চাঁদ ধরা

এস. কে. আহমেদ কামাল

জ্ঞান-প্রযুক্তি

[Knowledge Engineering]

ড. এস. কে. আহমেদ কামাল
ফলিত পদার্থবিজ্ঞান ও ইলেকট্রনিক্স বিভাগ
রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়
রাজশাহী

বাংলা একাডেমী ঢাকা

কবি-৪

প্রথম প্রকাশ
আষাঢ় ১৪০৯
জুন ২০০২

বাএ ৪২৮০

(২০০১-২০০২ পাঠ্যপুস্তক : ভৌ ও প্র ৪)

মুদ্রণ সংখ্যা ১২৫০

পাণ্ডুলিপি প্রণয়ন ও মুদ্রণ তত্ত্বাবধান
ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগ

ভৌ ও প্র ২১৬

প্রকাশক
সুব্রত বিকাশ বড়ুয়া
পরিচালক
পাঠ্যপুস্তক বিভাগ
বাংলা একাডেমী
ঢাকা ১০০০

মুদ্রক
মোঃ হামিদুর রহমান
ব্যবস্থাপক
বাংলা একাডেমী প্রেস
ঢাকা ১০০০

প্রচ্ছদ
মামুন কায়সার

মূল্য : ১০০.০০

BANDOC Library
Accession No. 10.6.04
Date

JNAN PRAJUKTI (Knowledge Engincering) by Dr. S. K. Ahmed Kamal. Published by Subrata Bikash Barua, Director, Textbook Division, Bangla Academy, Dhaka, Bangladesh. First edition, June 2002. Price : Taka 100.00

ISBN 984-07-4289-2

উৎসর্গ

যে মায়ের ভাষায়
আমি প্রথম কথাটি বলি
সেই মা-কে

ভূমিকা

বাংলা ভাষাভাষী বিশাল জনগোষ্ঠীর সাথে বিজ্ঞানের এবং বৈজ্ঞানিক পদ্ধতি ও নিয়ম-নীতির পরিচিতি অত্যন্ত কম। এর মূল কারণ বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় বাংলা ভাষায় রচিত গ্রন্থের সংখ্যা অত্যন্ত কম। এ কারণে এই গ্রন্থ প্রণয়নে আমি উদ্বুদ্ধ হই। ব্যাপক বৈজ্ঞানিক গবেষণার সাথে সাথে যে মানুষের ব্যবহারযোগ্য বস্তুর সুবিধাজনক ও প্রযুক্তিগত উন্নয়ন ঘটে তা-ই নয়, বরং এতে গবেষণালব্ধ নতুন তথ্যের সম্পৃক্ততা যুক্তিবিদ্যার ক্ষেত্রেও নতুন মাত্রা যুক্ত করে। ফলে মানুষ বৈজ্ঞানিক কাজে যুক্ত হওয়ার সাথে সাথে তার পরিবেশ ও সমাজের বিশ্লেষণে আরও বেশি যৌক্তিক ক্ষমতার অধিকারী হয়।

মানুষের জীবনযাত্রা এবং সামাজিক স্থিতিশীলতা সুনির্দিষ্ট ধারণা বা বিশ্বাসের ভিত্তিতে পরিচালিত হয়। অনেক ক্ষেত্রেই এই বিশ্বাস অন্ধবিশ্বাসে পরিণত হয়। যে কোনো বিষয়ের প্রতি অন্ধবিশ্বাস মানুষকে নতুন বৈজ্ঞানিক তথ্যের প্রতি বিরূপভাবাপন্ন করে তোলে। বিজ্ঞানের নতুন তথ্যকে সত্য বলে গ্রহণ করার মানসিকতা যদি কোনো সমাজের না থাকে তবে প্রচলিত ধারণার মূলে আঘাত করলে মানুষের জীবনযাত্রাই অস্থিতিশীল হয়ে পড়ে। নিরন্তর বিজ্ঞানচর্চার মাধ্যমে গড়ে ওঠা বিজ্ঞানমনস্কতাই কেবল এই প্রবণতা রোধ করতে পারে।

"জ্ঞানই শক্তি" এ কথাটি সর্বজনবিদিত হলেও জ্ঞান সম্বন্ধে বাস্তব ধারণা জ্ঞান-প্রযুক্তির মাধ্যমেই ব্যাপকভাবে বিশ্লেষিত হয়, কারণ জ্ঞান-প্রযুক্তির মাধ্যমে প্রকৃতপক্ষে জ্ঞানের যান্ত্রিকায়ন করা হয়। কোনো কিছুকে যান্ত্রিকায়ন করার প্রথম শর্ত হলো সেটিকে সুসংবদ্ধ রূপ দেয়া। জ্ঞানের প্রকৃত রূপ বা ধারণা সৃষ্টির ব্যাপারে কর্মকাণ্ড এ যাবৎ দর্শনশাস্ত্রের আওতায় সীমাবদ্ধ ছিল। কিন্তু তথ্যপ্রযুক্তির ব্যাপক উন্নয়ন ও জনজীবনে তার ব্যাপক ব্যবহার এবং তথ্য জ্ঞানের মৌলিক উপাদান বিধায় জ্ঞানকে তাত্ত্বিক গবেষণার বেড়াজাল থেকে মুক্ত করে তথ্য-প্রযুক্তির সাথে সমন্বিত করার ফলে জ্ঞান-প্রযুক্তির উদ্ভব হয়।

জ্ঞান-প্রযুক্তি নামক বিজ্ঞানের এই নতুন শাখার সাথে পরিচিতি বাংলাদেশের বিশাল জনগোষ্ঠীর জন্য বিশেষ প্রয়োজন। জ্ঞান-প্রযুক্তির বিভিন্ন বিষয়ে পরিচিতির সাথে সাথে মানুষের যৌক্তিক চিন্তার ক্ষমতাও ব্যাপকভাবে বৃদ্ধি পায়।

জ্ঞান-প্রযুক্তি'র মতো জটিল বিষয়ের উপর আলোকপাত করাই এই গ্রন্থের মূল উদ্দেশ্য। এই উদ্দেশ্যে গ্রন্থটিতে 'নলেজ ইঞ্জিনিয়ারিং'-এর বিভিন্ন তথ্য মোটামুটি সহজভাবে বর্ণনার চেষ্টা করা হয়েছে এবং আন্তর্জাতিকভাবে গৃহীত বিভিন্ন ইংরেজি শব্দ বাংলা ভাষায় রূপান্তরের চেষ্টা না করে সেসব শব্দের মূল রূপটিই ব্যবহার করা হয়েছে। এর ফলে গ্রন্থটি

BANGLADESH Dhaka

কেবল গাণিতিক জ্ঞানসম্পন্ন ব্যক্তিই নয়, বরং যে কোনো বিষয়ের উপর বিশ্লেষণমূলক জ্ঞানের অধিকারী যে কোনো ব্যক্তির কাছেই সহজপাঠ্য হবে বলে আশা করি।

জ্ঞান-প্রযুক্তির উপর বাংলা ভাষায় এ গ্রন্থটি লেখার ব্যাপারে সর্বাপেক্ষা বেশি উৎসাহ ও সাহায্য পেয়েছি ইউক্রেনের দানেৎস্ক স্টেট বিশ্ববিদ্যালয়ের কম্পিউটার বিজ্ঞান বিভাগের প্রধান ও আমার পিএইচ.ডি. গবেষণার পরিচালক প্রফেসর আনাতোলি আলেক্সিয়েভিচ কারগিন, পিএইচ.ডি., ডি.এসসি (Prof. Anatoly Aleksievitch Kargin Ph.D., D.Sc.) ও উক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের ইন্টারনেট অ্যাডমিনিস্ট্রেটর ইউরি আলেক্সিয়েভিচ কোজেমিয়াকিনের (Yuri Aleksievitch Kojemyakin) কাছ থেকে। উক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ে ভিজিটিং প্রফেসর হিসেবে অবস্থান করে গ্রন্থটি লেখার ব্যাপারে আমাকে সাহায্য করার জন্য দানেৎস্ক স্টেট ইউনিভার্সিটির প্রো-ভাইস চ্যান্সেলর প্রফেসর নিকোলাই পেত্রোভিচ ইভানিৎসিনের (Prof. Nikolai Petrovitch Ivanitsyn) নিকট আমি বিশেষভাবে কৃতজ্ঞ। রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়ের ফলিত পদার্থবিজ্ঞান ও ইলেকট্রনিক্স বিভাগের আমার সহকর্মী শ্রদ্ধেয় শিক্ষকবৃন্দ বিভিন্নভাবে সহযোগিতা ও উৎসাহ যুগিয়েছেন, আমি তাঁদের প্রতিও কৃতজ্ঞ। বাংলা ভাষায় কম্পিউটারবিষয়ক বই লেখার ব্যাপারে অগ্রদূত ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রফেসর লুৎফর রহমান এবং রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রাক্তন উপাচার্য প্রফেসর এম.এ. রকীবের পরামর্শ ও উৎসাহের জন্যও আমি কৃতজ্ঞ।

আমার জানামতে, জ্ঞান-প্রযুক্তির উপর বাংলা ভাষায় এটিই প্রথম গ্রন্থ। কম্পিউটার প্রযুক্তির উচ্চতর গবেষণার সাথে সম্পর্কিত এ বিষয়টির উপর বাংলা ভাষায় প্রণীত যে কোনো উচ্চ মানের গ্রন্থের চেয়েও ইংরেজি ভাষায় প্রকাশিত গ্রন্থাবলিই বিশ্ববিদ্যালয়ের ছাত্র-শিক্ষকদের কাছে প্রয়োজনীয় এবং গ্রহণযোগ্য বলে বিবেচিত; কিন্তু বিশ্ববিদ্যালয়ের উচ্চতর পর্যায়ের গবেষণার সহায়ক হবে বলে আমি এই গ্রন্থ প্রণয়ন করেছি। বইটি প্রকাশনার জন্য বাংলা একাডেমীর ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগের সংশ্লিষ্ট সকলের আন্তরিক সহযোগিতার জন্য তাঁদের প্রতিও কৃতজ্ঞতা জানাই।

পরিশেষে যাদের জন্য এ বইটি প্রণীত হয়েছে, তাদের প্রয়োজনে লাগলে আমার পরিশ্রম সার্থক বলে মনে করব। গ্রন্থটির উৎকর্ষের জন্য যে কোনো গঠনমূলক পরামর্শ ও সমালোচনা সাদরে গ্রহণ করা হবে।

এস. কে. আহমেদ কামাল

সূচিপত্র

প্রথম অধ্যায় : জ্ঞান-প্রযুক্তির উদ্ভব ১-১০

১.১ সাইবারনেটিক্স ; ১.২ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স ; ১.৩ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ব্যবহার ক্ষেত্র ; ১.৪ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ঐতিহাসিক প্রেক্ষাপট ; ১.৫ উপসংহার।

দ্বিতীয় অধ্যায় : সমস্যা ১১-৩২

২.১ সমস্যার প্রস্তাবনা ; ২.২ সমস্যার উপস্থাপনা ; ২.৩ আবদ্ধ সমস্যা ; ২.৪ সমস্যা সমাধানের সাধারণ পদক্ষেপ ; ২.৫ সমস্যা সমাধানের সাধারণ নিয়ম ; ২.৬ বিভিন্ন ধরনের সমস্যার শ্রেণীবিভাগ ; ২.৭ সমস্যার সমাধানে গণিতশাস্ত্রের ঐতিহাসিক ভূমিকা ; ২.৮ ধারণা ; ২.৯ গাণিতিক প্রকাশনা পদ্ধতি ; ২.১০ রৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি ; ২.১১ অরৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি ; ২.১২ সমস্যার সাধারণকরণ।

তৃতীয় অধ্যায় : জ্ঞানের প্রস্তাবনা পদ্ধতি ৩৩-৫৮

৩.১ জ্ঞান সম্বন্ধে ধারণা ; ৩.২ এক্সপার্ট সিস্টেম ; ৩.৩ জ্ঞানের প্রস্তাবনা ; ৩.৪ লজিক্যাল মডেল ; ৩.৫ সিমান্টিক নেট মডেল ; ৩.৬ ফ্রেম মডেল ; ৩.৭ প্রোডাকশন বা রুল-বেসড মডেল ; ৩.৮ ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল ; ৩.৯ রিলেশন মডেল বা টেবিল মডেল ; ৩.১০ গ্রাফ মডেল ; ৩.১১ টেনসর মডেল ; ৩.১২ ক্যাটেগরি ভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনা মডেল ; ৩.১৩ অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল ; ৩.১৪ জ্ঞান প্রস্তাবনার বিভিন্ন ধরন ও কম্পিউটারে তা ব্যবহারের সম্ভাবনা।

চতুর্থ অধ্যায় : প্রেডিকেট লজিক ৫৯-১১১

৪.১ ভাষার সিন্টাক্স ও সিমান্টিক্স ; ৪.২ প্রেডিকেট ভাষার সিন্টাক্স ; ৪.৩ টার্ম, কনস্ট্যান্ট, ভ্যারিয়েবল, ফাংশন ; ৪.৪ অ্যাটোমিক প্রেডিকেট ; ৪.৫ প্রেডিকেট লজিকে রক্ষিত চিহ্ন ; ৪.৬ সূত্র গঠনের সঠিক সংজ্ঞা ; ৪.৭ লজিক্যাল প্রেডিকেটের সিমান্টিক্স ; ৪.৮ প্রেডিকেট লজিকে সিদ্ধান্ত গ্রহণের নিয়ম ; ৪.৯ অ্যাক্সিওম্যাটিক ব্যাখ্যা ব্যতিরেকে থিওরেম প্রমাণের পদ্ধতি ; ৪.১০ রিজলিউশন মেথোডের সাহায্যে প্রমাণ (সিদ্ধান্তের নীতি) ; ৪.১১ স্কলেমের নর্মাল ফর্ম ; ৪.১২ ক্লজাল ফর্ম ; ৪.১৩ হর্ন সেন্টেন্স (হর্ন বাক্য) ; ৪.১৪ প্রমাণ

পদ্ধতির ফরমালাইজেশন ; ৪.১৫ লজিক্যাল সুপ্রকাশনার জন্য রিজলিউশন মেথোড ; ৪.১৬ প্রেডিকেট লজিকের জন্য রিজলিউশন মেথোড ; ৪.১৭ সংস্থাপন ; ৪.১৮ ইউনিফিকেশন (একত্রকরণ) ; ৪.১৯ প্রমাণের অ্যালগরিদম ; ৪.২০ প্রমাণের সম্পূর্ণতা ; ৪.২১ জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ ও প্রেডিকেট লজিক ; ৪.২২ ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সীমাবদ্ধতা ; ৪.২৩ প্রেডিকেট লজিকে ডাটার সেট ও কাঠামো ; ৪.২৪ বস্তুর অনুলিখন ; ৪.২৫ সেটের অ্যাক্সিওম তত্ত্ব ; ৪.২৬ ডাটার গঠনের ভিত্তিতে অ্যাক্সিওমের ব্যাখ্যা।

পঞ্চম অধ্যায় : **অনিশ্চিত জ্ঞানের প্রস্তাবনা এবং তার ব্যবহার** ১১২-১৫৬

৫.১ জ্ঞান-প্রযুক্তি ও অনিশ্চয়তা ; ৫.২ সিদ্ধান্তের দ্বারা পরিচালনার অনির্দিষ্টতা এবং হয়রিস্টিক জ্ঞান ; ৫.৩ অ্যালগরিদম A^* ; ৫.৪ অ্যালগরিদম A^* প্রয়োগের উদাহরণ ; ৫.৫ প্রোগ্রাম AM ; ৫.৬ বস্তুতার্থিকতা ও তাদের অপসারণ পদ্ধতি ; ৫.৭ রিলাক্সেশন্স মেথোড ; ৫.৮ অনির্ভরযোগ্য জ্ঞান বা সিদ্ধান্ত ; ৫.৯ অনির্ভরযোগ্য ডাটা সংবলিত সমস্যার বিভক্তকরণ ; ৫.১০ MYCIN মেথোড ; ৫.১১ সাবজেক্টিভ বায়েস মেথোড ; ৫.১২ ডেম্পস্টার-শাফের তত্ত্বের ভিত্তিতে সিদ্ধান্ত পদ্ধতি ; ৫.১৩ ফাজি লজিক ; ৫.১৪ প্রোবাবিলিটি লজিক ; ৫.১৫ অপূর্ণ জ্ঞান ও ননমনোটোনাস লজিক ; ৫.১৬ নীরবতার লজিক ; ৫.১৭ ফাজি সেট ; ৫.১৮ ফাজি রিলেশন ; ৫.১৯ ফাজি সিদ্ধান্ত ; ৫.২০ লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল ও তার ব্যবহার।

ষষ্ঠ অধ্যায় : **জ্ঞানের অধিকরণ** ১৫৭-১৭৪

৬.১ প্রোগ্রাম শিক্ষা ; ৬.২ মুখস্থবিদ্যা ; ৬.৩ পুস্তক থেকে জ্ঞানের অধিকরণ ; ৬.৪ শিক্ষার সবসাধারণকরণ ; ৬.৫ রবোটের জন্য কার্যকর শিক্ষা : STRIPS পদ্ধতি ; ৬.৬ খেলার নিয়ম অধিকরণ ; ৬.৭ ক্যারেক্টারিস্টিকগুলি বিবেচনাকরণ।

গ্রন্থপঞ্জি ১৭৫

প্রথম অধ্যায়

জ্ঞান-প্রযুক্তির উদ্ভব

১.১ সাইবারনেটিক্স (Cybernetics)

বিংশ শতাব্দীর সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ বৈজ্ঞানিক অগ্রগতি হলো—পারমাণবিক শক্তির আবিষ্কার, মহাশূন্যে মানুষের অগ্রযাত্রা ও সাইবারনেটিক্সের জন্ম। প্রথম দুটির ক্ষেত্রে যত দ্রুত প্রচার ও প্রকাশনা ঘটে সে হিসেবে তৃতীয়টি তত ব্যাপক প্রচার পায়নি। কিন্তু ক্রমান্বয়ে সাইবারনেটিক্সের ব্যাপক প্রভাব সর্বক্ষেত্রেই প্রকাশ পেতে শুরু করে এবং একবিংশ শতাব্দীতে সাইবারনেটিক্সই হবে সর্বাপেক্ষা অগ্রগামী বিজ্ঞান বিষয়।

কম্পিউটার বিজ্ঞানের উন্নতির সাথে সাথে মানুষের বুদ্ধিমত্তার বিকাশের ক্ষেত্রেও এক বৈপ্লবিক পরিবর্তন সাধিত হয়। সাথে সাথেই জাগে সেই পুরানো দার্শনিক প্রশ্ন—"বুদ্ধিমত্তা বলতে কি বুঝায়?" কম্পিউটার আবিষ্কারের পূর্বে যে মানুষদের অতি সহজেই বুদ্ধিহীন বলা যেতে পারতো—তাদের স্মৃতিশক্তির অভাবের কথা বিচার করে বা কার্যকরণ সম্পর্ক নির্ধারণের ক্ষমতার অভাবের কথা বিচার করে, কম্পিউটার আবিষ্কারের পর দেখা যায় যে এসব ব্যাপারে কম্পিউটারের দক্ষতা মানুষের চেয়ে অনেক বেশি। এমনকি কম্পিউটারের সহায়তায় মানুষের "যদি...তবে" সম্পর্ক দ্বারা কার্যকরণগত সম্পর্ক নির্ধারণ ও বাস্তবায়ন অনেকখানিই সহজ ও দ্রুততর হয়ে উঠে। কম্পিউটারের মেমোরি বা স্মৃতি ধারণক্ষমতা ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধির ফলে আর প্রশ্নই উঠে না স্মৃতিশক্তির ভিত্তিতে মানুষের বুদ্ধির পরিমাণ নির্ধারণের। বরং এই কম্পিউটারের যুগে বুদ্ধিমত্তার বিচার করা হয়—কোনো তথ্যকে কত সহজে প্রকাশ করা যায় এবং তার ভিত্তিতে কত সহজে সঠিক সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায় তার ভিত্তিতে। আর এ উদ্দেশ্যেই সৃষ্টি হয়েছে বিজ্ঞানের এক নতুন বিভাগ "সাইবারনেটিক্স"।

সাইবারনেটিক্স কি—এর উত্তরে বিজ্ঞানীরা বিভিন্ন সংজ্ঞা দিয়েছেন—

"সাইবারনেটিক্স হলো জীবনধারণ ও রক্ষার বিজ্ঞান"—ইংরেজ বিজ্ঞানী স্টাফোর্ড বির;

"সাইবারনেটিক্স হলো জটিল পরিচালনা পদ্ধতিতে তথ্য রক্ষা, তথ্য প্রেরণ ও প্রক্রিয়াকরণের বিজ্ঞান"—রুশ বিজ্ঞানী ভিক্টর গ্লুশকোভ;

"সাইবারনেটিক্স হলো জটিল, ডাইনামিক পরিচালনা পদ্ধতিতে গণিত, লজিক, অটোম্যাটিক পদ্ধতি তথা ইলেক্ট্রনিক লজিকের ব্যবহার"—সোভিয়েট ফিলোসফিক্যাল এনসাইক্লোপেডিয়া।

উপরের সংজ্ঞাগুলি থেকে দেখা যাচ্ছে যে, সাইবারনেটিক্সের এই ব্যাপক ক্ষেত্র নিয়ে বিজ্ঞানীরা একটি সাধারণ সংজ্ঞায় পৌঁছাতে পারেন নি। তাই একবার এক ফরাসি বিজ্ঞানী বলেছিলেন যে, সাইবারনেটিক্স হলো পৃথিবী পরিচালনার বিজ্ঞান কারণ এ ক্ষেত্রে বিজ্ঞানের সকল বিভাগের বিজ্ঞানীরাই কাজ করে থাকেন। সত্যি সত্যি সাইবারনেটিক্স আজ বিজ্ঞান

বিভাগের গবেষকদের চারণক্ষেত্রে পরিণত হয়েছে। প্রাকৃতিক বিজ্ঞান থেকে শুরু করে সামাজিক বিজ্ঞানের সবক্ষেত্রেই আজ বিজ্ঞানীরা সাইবারনেটিক্সকে বিস্তৃত করার বা প্রয়োগ করার চেষ্টা শুরু করেছেন। ফলে সাইবারনেটিক্স আজ স্বতন্ত্র বিজ্ঞান হিসেবে নিজস্বতা হারিয়ে ফেলেছে। তাই সাইবারনেটিক্সে বিশেষভাবে অনুরক্ত বিজ্ঞানীরা নতুন বিজ্ঞানধারার সূচনা করেছেন যার নাম হলো—"আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স" বা "কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা"। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মূল বিষয় হলো—জ্ঞান বা নলেজের সন্ধান ও তার প্রস্তাবনা বা প্রকাশনার পদ্ধতি বের করা এবং তা থেকে কার্যকর সর্বোত্তম সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা। এজন্য শুধু যে, তাত্ত্বিক দিক উন্নয়ন প্রয়োজন তা নয় বরং এর জন্য প্রয়োজন এমন ধরনের প্রোগ্রাম তৈরি করা যা কম্পিউটারের সাহায্যে কার্যকর করা সম্ভব হবে।

১.১ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স কম্পিউটার সায়েন্স, ভাষাবিজ্ঞান, মনোবিজ্ঞান ও যুক্তিবিদ্যার সঙ্গে অত্যন্ত নিবিড়ভাবে সম্পর্কযুক্ত কারণ এ বিষয়গুলি জ্ঞান, বোধন ও বুদ্ধিমত্তার উন্নয়নের বিভিন্ন দিক নিয়ে গবেষণা করে থাকে। এ বিষয়গুলি গণিতবিদ্যা ও জীববিদ্যার সহায়তায় জ্ঞানের প্রস্তাবনা ও প্রকাশনার নতুন মডেল উপস্থাপন করে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স এসব মডেলের কার্যকারিতা বিচার করে তা বাস্তবে রূপান্তরিত করার উপায় উদ্ভাবন করে এবং বিভিন্ন সমাধানে তার প্রয়োগ পদ্ধতি আবিষ্কার করে।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স এর সাথে যেসব বিজ্ঞান বিভাগের সম্পর্ক যেসব বিজ্ঞান বিষয় জ্ঞান-প্রযুক্তির ব্যাপারে গবেষণাযুক্ত। এর কারণ হলো এই যে, আমাদের জানা মতে মানুষের একমাত্র জ্ঞান-যন্ত্র হলো তার মস্তিষ্ক যার কার্যপদ্ধতিটি সম্বন্ধে মানুষ বলতে গেলে প্রায় কিছুই জানে না। যেহেতু মনুষ্যমস্তিষ্কের কর্মপদ্ধতি—বিশেষ করে চিন্তা বা বিশ্লেষণ ক্রিয়াগুলির বেশিরভাগই অনুকরণ করা হয় কম্পিউটারের সাহায্যে, তাই কম্পিউটার হয়ে উঠেছে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মূল হাতিয়ার।

কোপার্নিকাসের সৌরতত্ত্ব আর ডারউইনের বিবর্তনবাদের পর আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সই এগিয়ে আসে সম্মুখের সারিতে—মানুষ ও প্রকৃতির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণে। বুদ্ধি বলতে আজ শুধু স্মৃতিশক্তিকেই বুঝায় না, স্মৃতি ভাণ্ডারে রক্ষিত তথ্যকে যথাযথ বিশ্লেষণ ও প্রক্রিয়াকরণের মাধ্যমে উদ্দেশ্য মোতাবেক যথার্থসিদ্ধান্ত গ্রহণ করার ক্ষমতাকেই বুঝায়। আর আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের কাজ হচ্ছে যান্ত্রিকভাবে এই বুদ্ধিমত্তার বাস্তবায়ন।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স একটি বিজ্ঞানবিষয় হিসেবে ইতোমধ্যে তিনদশকেরও বেশি সময় ধরে বর্ধিত হচ্ছে। এর মূল গবেষণাবিষয় হলো সেই ধরনের পদ্ধতি বা যন্ত্র কম্পিউটার তৈরি করা যার সাহায্যে জ্ঞানভিত্তিক যুক্তি সম্পন্ন পর্যালোচনা সাপেক্ষে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা সম্ভব হবে। অবশ্য এর জন্য দুই ধরনের সমস্যার সম্মুখীন হতে হয়—

১. বিশ্লেষণ ক্ষেত্রেই কোনো কার্যসম্পাদনের পর মানুষ নিজেই সেই কার্যসম্পাদনের যথার্থ প্রক্রিয়া সম্পর্কে পুরাপুরিভাবে প্রকাশ করতে পারে না। মানুষের কাছে তার ভাষা প্রকাশের প্রক্রিয়া, তার বোধন-প্রক্রিয়া, কোনো বস্তুর প্রকৃতি নির্ধারণ, তত্ত্বের প্রমাণ প্রক্রিয়া, কোনো সিদ্ধান্তে বাস্তবায়ন প্রক্রিয়া, সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়া ইত্যাদির যথাযথ অ্যালগরিদম

অ্যালগরিদম হচ্ছে কোনো কাজ সম্পাদনের পর্যায়ক্রমিক ধারার প্রাথমিক ধারণা বা পরিকল্পনা) সম্বন্ধে পুরাপুরি ধারণা থাকে না। (২) কম্পিউটারের বুদ্ধিমত্তা মনুষের বুদ্ধিমত্তা থেকে এখনও অনেক অনুন্নত। কম্পিউটারের সাহায্যে কোনো কাজ সম্পাদনের পূর্বে সেই কম্পিউটারে বোধগম্য কোনো কম্পিউটার ভাষায় তার প্রোগ্রাম তৈরি করতে হয়। কিন্তু কম্পিউটার-ভাষাগুলির সাহায্যে কোনো সমস্যাকে মনুষ্য বোধগম্যভাবে প্রকাশরূপ দেয়ার সুযোগ অত্যন্ত সীমিত। কাজেই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স এখনও মূলত একটি নিরীক্ষামূলক বিজ্ঞান-শাখা। নিরীক্ষামূলক বলতে এখানে বুঝানো হচ্ছে—পর্যায়ক্রমিক পরীক্ষা ও সংশোধন প্রক্রিয়া। এই প্রক্রিয়ার সাহায্যে মনুষ্য-বুদ্ধিমত্তার অনুকরণক্রমে কম্পিউটারে বিভিন্ন প্রোগ্রামের সাহায্যে বিভিন্ন উদাহরণের যথার্থতা বিচার করে বুদ্ধিমত্তা প্রকাশের মডেল হাজির করা হয়।

১.৩ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ব্যবহার ক্ষেত্র

সকল প্রকার সমস্যা যেগুলির সমাধানের অ্যালগরিদম মানুষের অজানা তা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সমস্যা হিসেবে গণ্য করা হয়। অ্যালগরিদম বলতে কম্পিউটারে প্রয়োগযোগ্য পর্যায়ক্রমিক সুনির্দিষ্ট কার্যধারাকে বুঝায় যা সময়ের মাত্রায় অত্যন্ত যথাযথভাবে সুনির্দিষ্ট থাকে (অর্থাৎ সেই প্রোগ্রামটি বাস্তবায়নের জন্য ঠিক কতটুকু সময়ের প্রয়োজন তা নির্দিষ্ট থাকে)। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, দাবা খেলার অ্যালগরিদম যথাযথভাবে সুনির্দিষ্ট নয়। যদিও এই খেলার জন্য প্রয়োজনীয় সকল চালের সংখ্যা সীমিত, তথাপি তার সকলপ্রকার সম্ভাব্য চালের জন্য প্রোগ্রাম তৈরি করতে হলে হাজার হাজার বছর প্রয়োজন। ঠিক তেমনি বলা যেতে পারে যে, চিকিৎসা শাস্ত্রে রোগ নির্ণয় প্রক্রিয়ার অ্যালগরিদমও সুনির্দিষ্ট নয়।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিচার্য হিসেবে যেসব বিষয়কে ধরা হয় সেসব বিষয়ে সমস্যা সমাধানের বিশেষ কোনো সঠিক সুনিরূপিত পদ্ধতি বা প্রক্রিয়া অনুপস্থিত। এসব বিষয়ের দুটি বিশেষত্ব বিদ্যমান যা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সাথে কম্পিউটার সায়েন্সের পার্থক্য নির্ধারণ করে— (ক) এসব বিষয়ে সমস্যা সমাধানে তথ্যগুলিকে সাংকেতিকরূপে যেমন—অক্ষর, শব্দ, সাংকেতিক চিহ্ন বা ছবি আকারে প্রকাশ করা হয়। আর কম্পিউটার সায়েন্সের সাথে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের পার্থক্য হলো এখানেই কারণ কম্পিউটার সায়েন্সে তথ্যগুলিকে ব্যবহার ও প্রকাশ করা হয় সাংখ্যিকরূপে। (খ) আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে এসব বিষয়ে সমস্যা সমাধানের কয়েক ধরনের পদ্ধতির মধ্যে কোনো একটি পদ্ধতি বেছে নেয়ার সুযোগ বিদ্যমান। যেহেতু এসব সমস্যার সমাধানের কোনো সুনির্দিষ্ট অ্যালগরিদম নেই তাই এই অনির্দিষ্টতা ও অনিশ্চয়তা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিচার্য সমস্যাগুলির বিশেষ বৈশিষ্ট্য, যা কম্পিউটার সায়েন্সের বিচার্য সমস্যায় গ্রহণযোগ্য নয়।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সর্বপ্রধান বিচার্য সমস্যা হলো—তথ্য প্রস্তাবনার (representation) সমস্যা। মানুষ বিভিন্ন অনুভূতি বা ইন্দ্রিয়—যেমন দর্শন, কণ্ঠ, ঘ্রাণ, শ্রবণ বা স্বাদ ইত্যাদির সাহায্যে তথ্য প্রেরণ-গ্রহণ বা প্রস্তাবনা করে থাকে। কিন্তু যান্ত্রিকভাবে এধরনের তথ্য-প্রস্তাবনা পদ্ধতি অদ্যাবধি যথেষ্ট উন্নত নয়। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের কয়েকটি দিক এই তথ্য প্রস্তাবনাকেই গবেষণার বিশেষ বিষয় হিসেবে গ্রহণ করেছে। নিচে এই কয়েকটি দিকের বর্ণনা দেয়া হলো।

BANGLA BOOK Dhaka

বস্তু-প্রকৃতিগত তথ্যের প্রস্তাবনা

যে কোনো পদ্ধতি তথ্য গ্রহণের নিজস্ব তথ্য সংগ্রাহক অঙ্গগুলি ব্যবহার করে থাকে। মানুষের তথ্য-সংগ্রাহক অংগ তথা ইন্দ্রিয়গুলির মধ্যে সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ ইন্দ্রিয় হলো দর্শনেন্দ্রিয় বা চক্ষু। মানুষের চোখের যান্ত্রিক অনুকরণ হলো ক্যামেরা বা লেজার প্রযুক্তি। এই দৃষ্টি-যন্ত্রগুলির সাহায্যে বস্তুর প্রতিকৃতি এবং তার পশ্চাদভূমির বা ব্যাকগ্রাউন্ডের তথ্য সংগৃহীত হয়। শব্দ-যন্ত্রগুলি যেমন মাইক্রোফোন, টেপরেকর্ডার ইত্যাদি মানুষের শ্রবণেন্দ্রিয়েরই অনুকরণ। যেকোনো বস্তু-প্রকৃতির তথ্য-সংগ্রহকারী ব্যবস্থার কাজ শুধু তথ্য সংগ্রহই নয়, সংগৃহীত তথ্যকে যুক্তি ও বোধনের সাহায্যে বিশ্লেষণ করে বস্তুর প্রকৃতিগত যথাযথ রূপ নির্ধারণ করা। এই তথ্য সংগ্রহ ও পরিবর্তন প্রক্রিয়াকরণের জন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে দর্শনেন্দ্রিয়ের অনুকরণে প্রতিকৃতি প্রক্রিয়াকরণ (image processing) এবং কণ্ঠ বা শ্রবণেন্দ্রিয়ের অনুকরণে কণ্ঠস্বর প্রক্রিয়াকরণ (voice processing) আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বিশেষ গবেষণা বিষয় হিসেবে বিবেচিত হয়।

স্বয়ংক্রিয়ভাবে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্বের (Theory) প্রমাণ

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে তথ্যকে সাংখ্যিকভাবে প্রকাশ করার চেয়ে সাংকেতিকভাবে প্রকাশ করাকে বেশি গুরুত্ব দেয়া হয়। এজন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিজ্ঞানীরা প্রাথমিকভাবে গণিতশাস্ত্র ও বিভিন্ন ধরনের কম্পিউটার গেমের প্রতি নজর দেন। এই ক্ষেত্র দুটি যেহেতু মনুষ্য-বুদ্ধিমত্তার যুক্তিগত ব্যবহারের জন্য যথাযথ উপযোগী এবং সে সম্পর্কিত সমস্যাগুলি যথাযথভবে সূত্রীবদ্ধ (formalised), তাই তাদের ব্যাপারে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিজ্ঞানীরা বিশেষ আগ্রহ দেখান।

প্রথম কম্পিউটার আবিষ্কারের কিছুকাল পরেই ১৯৫৭ সালের দিকে স্বয়ংক্রিয়ভাবে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্বগুলি প্রমাণের জন্য প্রথম প্রোগ্রাম সৃষ্টি হয়। প্রথমদিকে এই প্রোগ্রামগুলি মোটামুটি সহজ ছিল কিন্তু ক্রমান্বয়ে তা জটিল থেকে জটিলতর হতে শুরু করে। এ ব্যাপারে মানুষের গড়পড়তা বুদ্ধির স্তর কম্পিউটারের দ্বারা ইতোমধ্যেই অর্জন করা সম্ভব হয়েছে। অবশ্য গণিতশাস্ত্রের একজন বিশেষজ্ঞের বুদ্ধিমত্তার স্তর কম্পিউটারের জন্য প্রোগ্রাম আকারে এখনও অর্জন করা সম্ভব হয় নি। এই প্রোগ্রামগুলি তৈরির ব্যাপারে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্ব প্রমাণের জন্য উন্নত পদ্ধতি আবিষ্কৃত হয়। এই লক্ষ্যে গণিতশাস্ত্রের যথাযথ সূত্রীবদ্ধ (formalised) সে সব শাখা যেমন গাণিতিক যুক্তিবিদ্যা (mathematical logic), রবোট-প্রযুক্তি, সমস্যার সমাধান নির্ধারণ, ডাটা-ব্যাংক থেকে তথ্য সন্ধান প্রক্রিয়া ইত্যাদির ব্যাপক ব্যবহার শুরু হয়। স্বয়ংক্রিয়ভাবে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্ব প্রমাণের পদ্ধতি আবিষ্কার করা আজও আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণার গুরুত্বপূর্ণ বিষয়।

কম্পিউটারে গেম

গণিতশাস্ত্রের যথাযথ সূত্রীবদ্ধ অন্যান্য পদ্ধতির মত বিভিন্ন গেমও সীমাবদ্ধ সংখ্যক অবস্থার বৈশিষ্ট্যযুক্ত। যেহেতু গেমগুলিকে সুনির্দিষ্ট নিয়মের দ্বারা বিশ্লেষণ করা সম্ভব তাই ডিডাক্টিভ লজিকের সাহায্যে গেমগুলির জন্য প্রোগ্রাম তৈরি করাও সম্ভব। এজন্য গেমগুলি আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষকদের কাছে বেশ আগ্রহ সৃষ্টি করেছে। এ ব্যাপারে গণিতশাস্ত্রের জন্য প্রয়োজনীয় গড়পড়তা মনুষ্য-বুদ্ধিমত্তার স্তর ইতোমধ্যেই অর্জিত হয়েছে

কোনও গেমের জন্য বিশ্বচ্যাম্পিয়নের বুদ্ধিমত্তার স্তর অর্জন যথেষ্ট কঠিন কারণ মানুষ-বিশেষজ্ঞ তার সিদ্ধান্ত গ্রহণে শুধু তার বিগত জীবনের সংগৃহীত তথ্যই ব্যবহার করে না, ভবিষ্যতের সম্ভবনাকেও সে এ ব্যাপারে গণনার মধ্যে আনে। গেমগুলির মধ্যে ভাগ্য খেলা—যেমন 'পোকার' এর ক্ষেত্রে প্রোবাবিলিটি তত্ত্ব ব্যবহারে কম্পিউটার মানুষের চেয়েও বেশি পারদর্শিতা প্রদর্শন করেছে।

সমস্যার সমাধান

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, 'সমাধান' কথাটির অর্থ অত্যন্ত ব্যাপক। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে 'সমাধান' বলতে সমস্যার প্রেক্ষাপট ও তার বিশ্লেষণ, সমস্যাসংশ্লিষ্ট অবস্থাগুলির প্রস্তাবনা এবং সমাধানলব্ধ সিদ্ধান্তকে সমষ্টিগতভাবে বুঝায়। অবশ্য আজ পর্যন্ত সমাধান নির্ণয় পদ্ধতি অত্যন্ত সীমাবদ্ধভাবে নির্ধারিত। এর কারণ এই যে, যদিও অনেক সমস্যার সমাধানই যথাযথভাবে নির্ধারিত তথাপি এমন অনেক সমস্যাই বিদ্যমান যাদের সমাধান যথাযথভাবে নির্ধারিত বা বিশ্লেষিত হয় নি। এসব অসমাধিত সমস্যাগুলির মধ্যে যেমন গণিতশাস্ত্রগত সমস্যা বিদ্যমান, ঠিক তেমনি দৈনন্দিন সমস্যাগুলিকেও এর মধ্যে ধরা যেতে পারে। অসমাধানকৃত সমস্যার সমাধান নির্ণয়ে প্রয়োজন সূক্ষ্ম বিশ্লেষণ ও সাধারণকরণের (generalisation) ক্ষমতা। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন রবোটকে সেসব সমস্যা সমাধানের ক্ষমতা রাখতে হবে যেসব সমস্যার সমাধান মানুষ অনেকটা অবচেতনভাবেই করে থাকে যেমন—উঁচু জায়গার উপর থেকে কোনো বস্তু স্থানান্তর করতে হলে একটা উঁচু জায়গার উপর দাঁড়াতে হবে, কিছু ভালোভাবে দেখতে হলে আলো জ্বালাতে হবে অথবা কোনো জায়গায় যেতে হলে যাত্রাপথে কোনো প্রতিকূলতা আছে কিনা অনবরতই তা বিচার করতে হবে। কিন্তু সমস্যর সমাধানে মানুষকে প্রায়শই অসম্পূর্ণ, অস্পষ্ট বা অনিশ্চিত তথ্যের উপর ভিত্তি করে সিদ্ধান্তে পৌছতে হয়। এজন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞানের এই অনিশ্চয়তা-বৈশিষ্ট্যের উপর ভিত্তি করে সিদ্ধান্তে পৌছানোর জন্য ফাজি নলেজের উপর গবেষণা চলছে।

প্রাকৃতিক ভাষার বোধন

প্রাকৃতিক ভাষা বলতে মানুষের বহুকাল ধরে ব্যবহৃত সাধারণভাবে প্রচলিত ভাষাগুলিকেই বুঝায়। প্রাকৃতিক ভাষাগুলির প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতি বলতে কোনো টেক্সটকে বিশ্লেষণ ও প্রবৃদ্ধিকরণ (generation), টেক্সটের অভ্যন্তরীণ অর্থ নির্ণয়করণকে বুঝায়। এর জন্য প্রয়োজন হয় গঠনমূলক (syntactic), অর্থমূলক (semantic) ও বাস্তবগত (pragmatic) জ্ঞানের। এ ব্যাপারে ইতোমধ্যেই ব্যাপক অগ্রগতি সাধিত হয়েছে।

উল্লেখযোগ্য যে, গবেষণালব্ধ ফল ও তার সামাজিক প্রতিক্রিয়া আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বেশ গুরুত্বপূর্ণ স্থান দখল করে আছে। বিভিন্ন বিজ্ঞান শাখা এ ব্যাপারে পরস্পর সংযুক্তভাবে কাজ করছে। যেমন, মনোবিজ্ঞান (মনুষ্য মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতি ও মানুষের আচরণে তার প্রতিফলন), যুক্তিবিদ্যা (যুক্তির ভিত্তিতে তথ্য প্রক্রিয়াকরণ), ভাষাবিদ্যা (সমস্যার প্রস্তাবনা ও তার প্রকাশনা পদ্ধতি), জীববিদ্যা (জীনের সাহায্যে তথ্য প্রেরণ প্রক্রিয়া), ইনফরম্যাটিক্স (কোনো পদ্ধতিতে স্বয়ংক্রিয়ভাবে প্রোগ্রাম তৈরি, তথ্য-স্মৃতি-ভাণ্ডার থেকে তথ্য সন্ধান, স্বয়ংক্রিয়ভাবে কোনো পদ্ধতি সংগঠিতকরণ),

চিকিৎসাশাস্ত্র (রোগ নির্ণয়ের ব্যবস্থা প্রোগ্রামকরণ) ইত্যাদি সকল শাখাই আজ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সাহায্যে সংবদ্ধ হয়ে একসাথে কাজ করছে। কোনো বিজ্ঞান শাখার সকল জ্ঞান আজ কেবল সেই শাখায় সীমাবদ্ধ নেই। সমস্যার সমাধানে বিজ্ঞানের সকল শাখায় লব্ধ জ্ঞান সুসংবদ্ধকরণের মাধ্যমে যথাযথ সিদ্ধান্ত গ্রহণই আজ বিজ্ঞানের লক্ষ্যে পরিণত হয়েছে। এর জন্য মানবিক বিজ্ঞান শাখায় সৃষ্টি হয়েছে কগনিটিভ সায়েন্স (cognitive science) যাকে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মানবিক শাখা হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। সম্মিলিতভাবে সাধারণ সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি মানুষকে প্রকৃতির সাথে সংঘাতের পরিবর্তে সহযোগিতার পথে আসতে সাহায্য করবে। বিজ্ঞানকে এতদিন প্রকৃতি জয়ের হাতিয়ার হিসেবেই বিবেচনা করা হয়েছে কিন্তু কোনো কিছুর সাথে কেবল সংঘাতেই জয়ের প্রশ্ন উঠে। যদি প্রকৃতির সাথে সংঘাতই মানুষের মূল কাজ হয় তাহলে মানুষকে প্রকৃতপক্ষে তার উৎসের সাথেই সংঘাতে লিপ্ত হতে হবে। যেহেতু সংঘাতের সৃষ্টি হয় পরস্পরিক অবোধগম্যতার কারণে তাই সংঘাত এড়াতে হলে সৃষ্টি করতে হবে বোধগম্যতা। কিন্তু প্রাকৃতিক বোধগম্যতার সৃষ্টির জন্য প্রয়োজন মানুষের লব্ধ জ্ঞানকে সুসংবদ্ধ করা। এজন্যই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞানের প্রস্তাবনা পদ্ধতি (Knowledge representation system) ও প্রাকৃতিক ভাষা প্রক্রিয়াকরণ (natural language processing) বেশ গুরুত্বপূর্ণ স্থান দখল করে আছে।

নিউরাল নেটওয়ার্ক

যেহেতু মানুষ তার যে কোনো সমস্যার সমাধান তার মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতির উপর ভিত্তি করেই নির্ধারণ করে সেহেতু মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতি যদি সফলভাবে অনুকরণ করা সম্ভব হয় বা মস্তিষ্কের কাজগুলি যদি যান্ত্রিকভাবে সম্পাদন করা সম্ভব হয় তবে মস্তিষ্কের বিভিন্ন জটিল কাজ যান্ত্রিকভাবে বাস্তবায়ন করে সমাধানকে আরো যুক্তিনির্ভর ও বস্তুনির্ভর করে তোলা সম্ভব। তাই মনুষ্য মস্তিষ্কের কর্মপদ্ধতির আনুমানিক অনুকরণে নিউরাল নেটওয়ার্ক তৈরি করার গবেষণাও ইদানীং আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের একটি বিশেষ ভাগ হিসেবে সুপরিচিত। যেহেতু মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতি অত্যন্ত জটিল এবং তার সমতুল কোনো কৃত্রিম ব্যবস্থা তৈরি করা প্রায় অকল্পনীয় হিসেবে বিবেচিত হলেও বিজ্ঞানীরা কোনো অকল্পনীয়কেই কল্পনা থেকে বাদ দিতে নারাজ। তাই নিউরাল নেটওয়ার্কের বাস্তবায়নও আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণা বিষয় হিসেবে ইদানীং গুরুত্ব ও বাস্তবতা লাভ করেছে।

১৪ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ঐতিহাসিক প্রেক্ষাপট

কম্পিউটার ছাড়াই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের অগ্রগতি সম্ভব হলেও কম্পিউটারের আবির্ভাব মূলত যান্ত্রিকভাবে বুদ্ধিমত্তার বাস্তবায়নের নতুন পথ খুলে দিয়েছে। ১৯৫৪ খ্রিষ্টাব্দে এ. নুয়েল দাবা খেলার প্রোগ্রামের কথা চিন্তা করেন। ইনফরমেশন তত্ত্বের প্রতিষ্ঠাতা কে. শেনন এর জন্য একটি পদ্ধতির প্রস্তাব করেন। বিখ্যাত কম্পিউটার বিজ্ঞানী টুরীং এই পদ্ধতিটিকে তাঁর তৈরি যন্ত্রের সাহায্যে বাস্তবে রূপ দেন। আমস্টার্ডের কিছু মনোবিজ্ঞানী (এ. জে. গ্রুত এর নেতৃত্বে) দাবা খেলার খেলোয়াড়দের খেলার ধরন নিয়েও গবেষণা শুরু করেন। এই বিজ্ঞানীদের দল এমন একটি প্রোগ্রাম ভাষার সৃষ্টি করেন যাতে তথ্যকে

সাংকেতিকভাবে ব্যবহার করে তথ্যতালিকা ও নির্দেশকের সাহায্যে প্রোগ্রাম তৈরি করা সম্ভব। এই ভাষাটি হলো আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বহুলভাবে ব্যবহৃত LISP ভাষার পূর্বসূরি IPL-1 (১৯৪৬ খ্রিষ্টাব্দ) প্রোগ্রাম ভাষা। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সর্বপ্রথম প্রোগ্রামের নাম "লজিকথিওরেটিক" যার সাহায্য পূর্বাভাষ দানের তত্ত্ব প্রমাণ করা হয়। এই প্রোগ্রামের কার্যকারিতা ১৯৫৬ সালের ৯ই আগস্ট প্রদর্শন করা হয়।

দাবা খেলার প্রোগ্রাম এন. এস. এস (N.S.S. নিউয়েল, শ" , সাইমন) সৃষ্টি হয় সর্বপ্রথম ১৯৫৭ সালে। এন. এস. এস প্রোগ্রাম ও লজিকথিওরেটিক প্রোগ্রামের কাঠামো, 'ইপ্সিত অবস্থা' ও 'হয়রিস্টিক' (heuristic–সুনির্দিষ্ট তত্ত্বের অনুপস্থিতিতে নির্বাচনের পদ্ধতি) প্রস্তাবনার দ্বারা পরবর্তীতে সর্বজনীন (universal) সমাধান বের করা সম্ভব হয়ে উঠে। এই প্রোগ্রামগুলির সাহায্যে বিভিন্ন অবস্থার বিশ্লেষণ ও লক্ষ্য নির্ধারণের মাধ্যমে "হ্যানয় টাওয়ার" ও "অনির্দিষ্ট ইন্টেগ্রাল" মান নির্ণয়করণ এর মত জটিল সমস্যাগুলির সমাধান সহজতর হয়ে উঠে।

ইনফরম্যাটিক্স বিশেষজ্ঞরা ক্রমেই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ব্যাপারে বেশ আগ্রহী হয়ে উঠেন। তাঁদের মধ্যে ম্যাক্কার্থী, মিনস্কী ও সাইমনের নাম বিশেষভাবে পরিচিত। এর ফলে শুরু হয় নতুন নতুন প্রোগ্রাম সৃষ্টির কাজ। গেলেন্টার (Gelenter ১৯৬০) দেখান যে, ইউক্লিডের স্কুল-জ্যামিতির তত্ত্বগুলি প্রমাণের জন্য তৈরি প্রোগ্রামগুলি তত্ত্ব প্রদানকারীর প্রমাণের চেয়েও শক্তিশালী। ফাইগেনবাউম (Feigenbaum)তৈরি করেন মৌলিকভাবে অনুধাবনকারী প্রোগ্রাম EPAM (Elementary Perceiving And Memorizing)। এই প্রোগ্রামগুলি মনস্তাত্ত্বিক অবস্থার মডেলিং এর জন্য বেশ কার্যকর।

প্রাকৃতিক ভাষা ব্যবহার করে তথ্য ভাণ্ডার বা ডাটা-ব্যাংক থেকে তথ্য সংগ্রহের প্রোগ্রাম অনেক আগেই তৈরি হয়েছে। যেমন BASEBALL প্রোগ্রামের সাহায্যে পূর্ববর্তী সকল বেসবল খেলার ফলাফল সংগ্রহ করা সম্ভব। তেমনি STUDENT প্রোগ্রামের সাহায্যে ইংরেজি ভাষায় অ্যালজেবরার সমস্যাগুলির সমাধান বের করা সম্ভব।

যান্ত্রিকভাবে বিভিন্ন ভাষার অনুবাদের জন্য প্রোগ্রাম তৈরির ব্যাপারে বিশেষজ্ঞরা বেশ আগ্রহী। এর জন্য গবেষকরা সিন্টাক্টিক (বাক্যের গঠনমূলক) বিশ্লেষণ ও অভিধানের (dictionary) শব্দ ভাণ্ডারের তথ্যগুলি ব্যবহার করে থাকেন। কিন্তু Dreyfus (১৯৭২) ও Lighthill (১৯৭৩) দেখান যে, অটোম্যাটিক অনুবাদের জন্য আরো প্রয়োজন বাক্যে নিহিত অর্থের অনুধাবন ক্ষমতার উন্নয়ন। তাই সিমান্টিক্সের সাহায্যে বাক্যের অর্থ ব্যাখ্যার পদ্ধতি সৃষ্টি হয়েছে।

১৯৬৪ সালে জর্জ রবিনসনের গবেষণায় দ্বন্দ্বমূলক পর্যালোচনার ভিত্তিতে ফরমাল লজিকের নতুন অধ্যায় শুরু হয়। এই নতুন পদ্ধতির সাহায্যে অনেক সমস্যাকে যথাযথ সূত্রীবদ্ধরূপ প্রদান ও যান্ত্রিকভাবে তার প্রয়োগ সম্ভব হয়ে উঠে এবং এর সাহায্যে তত্ত্বের প্রমাণ (সুইগল, গ্রীন, কোভালস্কি) ও প্রোগ্রামের যথার্থতা যাচাই (কিং, উওলদিং) করা সহজতর হয়ে উঠে। এই পদ্ধতির ভিত্তিতে বর্তমানে বহুল পরিচিত প্রোগ্রাম ভাষা PROLOG এর সৃষ্টি হয়। এই ভাষাটির ক্ষমতা ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের মতোই (এ সম্বন্ধে ধারণা পরবর্তীতে দেয়া হয়েছে)।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষকরা নতুন নতুন ধরনের প্রোগ্রাম-ভাষার সৃষ্টি করেছেন। এই নতুন ভাষাগুলির বৈশিষ্ট্য হলো—কম্পিউটারে সমস্যার অনুধাবন, বিশ্লেষণ ও

শব্দ-ভাণ্ডার ব্যবহারের সহজতা। LISP, PROLOG, PLANNER, QA4—এই গুরুত্বপূর্ণ ভাষাগুলির লক্ষ্য নির্ধারণ, সমস্যার যুক্তিগত সমাধানের যথাযথ সূত্রকরণ ও মডেল তৈরিতে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। MACSYMA ও REDUCE প্রোগ্রাম ভাষাগুলি গাণিতিক প্রকল্পনাগুলির কম্পিউটারে প্রক্রিয়াকরণে ব্যবহৃত হয়। TMS ভাষাটি অনিশ্চিত অবস্থার ভিত্তিতে পরিচালনা কাজ চালিয়ে যেতে পারে এবং এটি অনিশ্চিত অবস্থাগুলির মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ধারণে ব্যবহৃত হয়।

উপরিল্লিখিত প্রোগ্রাম ও আবিষ্কৃত ফলাফলগুলি বাস্তব ত্রিমাত্রিক প্রস্তরে (three dimensional space) স্থির তথা স্থানান্তরযোগ্য বিভিন্ন রবোটের পরিচালনা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত হচ্ছে। এর জন্য উদ্ভূত মূল সমস্যা হলো—কৃত্রিমভাবে তথ্য সংগ্রহকারী অরগান (organ) তৈরি করা। যান্ত্রিক দর্শনেন্দ্রিয় হিসেবে বর্তমানে টেলিক্যামেরা ব্যবহার করা হয়। কিন্তু কোনো বস্তুকে পুরাপুরি চিহ্নিত করতে হলে শুধু সেই বস্তুর দ্বিমাত্রিক (two dimensional) ছবি তুললেই হবে না, সেই বস্তুর পার্শ্ববর্তী বা তার ব্যাকগ্রাউন্ডে অবস্থিত অন্যান্য বস্তুর সাথে সেই বস্তুর ধার (edges) বা কিনারগুলির তুলনা করতে হবে (গুসম্যান, উইন্সটন, ডেভিড মার)। এ ব্যাপারে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষ বিভাগ ইমেজ প্রসেসিং (image processing) ব্যাপক গবেষণা ক্ষেত্রে পরিণত হয়েছে। ঠিক সাথে সাথে যান্ত্রিক শ্রবণেন্দ্রিয় তথা ভয়েস প্রসেসিং (voice processing) এর উপরও ব্যাপক গবেষণা চলছে।

১৯৩৮ সাল পর্যন্ত গবেষকরা মূলত "মাইক্রোস্পেস" সংযুক্ত গবেষণা চালিয়ে যান। তাঁরা মূলত অবস্থার সীমাবদ্ধতা গুণ সংবলিত সমস্যাগুলি নিয়ে কাজ করেন—যেমন গেম, ইউক্লিড জ্যামিতি, ইন্টেগ্রাল ক্যালকুলাস, কিউবিক জগৎ, স্বল্প শব্দভাণ্ডার সংবলিত ক্ষুদ্র কথোপকথন ইত্যাদি। এ সকল ক্ষেত্রেই মূলত একই ধরনের পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়—যা হলো শিথিল সংযোগ (flexible combination) পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে বিভিন্ন ধরনের বিকল্প সমাধানের সংখ্যাকে সাধারণ ধারণার সাহায্যে ক্রমান্বয়ে কমিয়ে আনা হয়, অবস্থার মূল্যায়নে সাংখ্যিক পদ্ধতি (numerical method) ব্যবহার করা হয় এবং সমাধান নির্ণয়ে হ্যুরিস্টিক পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। উপরিউক্ত উপায়ে এমন ধরনের যন্ত্রপাতি বা পদ্ধতি তৈরি হচ্ছে যেগুলি সমস্যার সমাধানে মানুষের সমকক্ষতা অর্জন করার প্রায় কাছাকাছি চলে এসেছে—যদিও মানুষের ক্ষমতা যান্ত্রিক ক্ষমতার চেয়ে অনেক দ্রুত উন্নয়নক্ষম। এ ক্ষেত্রে তবু সর্বদাই মানুষের বুদ্ধিমত্তার একস্তর নিচে থাকবে কেননা মানুষের ক্রমান্বয়ে উন্নত বুদ্ধিমত্তা যান্ত্রিকভাবে বাস্তবায়িত হয় আর সাথে সাথেই মানুষের বুদ্ধিমত্তা আরো একধাপ এগিয়ে যায়।

১.৫ উপসংহার

সত্তরের দশকে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে ঘটে বিপ্লবাত্মক অগ্রগতি। এর কারণ দুটি—প্রথমত সকল গবেষকই উপলব্ধি করতে পারলেন যে, পূর্বের সব ধরনের প্রোগ্রামেরই একটি অসম্পূর্ণতা বিদ্যমান এবং তা হলো সেই প্রোগ্রামের সমস্যাগত বিজ্ঞান শাখার গভীর জ্ঞান তাতে লিপিবদ্ধ নেই। একজন বিশেষজ্ঞ ও সাধারণ মানুষের মধ্যে পার্থক্য হলো এই যে, সেই বিশেষজ্ঞের স্বীয় এলাকায় সাধারণ মানুষের চেয়ে অনেক গভীর জ্ঞান ও অভিজ্ঞতা থাকে, তা সেই বিশেষজ্ঞ যে বিষয়েরই হোক না কেন। এই কারণে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের

কোনো প্রোগ্রামের মান উন্নত করতে হলে তার হয়রিস্টিক গুণ বা সমাধানের কোনো কোয়েফিসিয়েন্টের মান বাড়ালেই হবে না বরং সেই প্রোগ্রামে যুক্তিগতভাবে পর্যালোচনা করার ক্ষমতা বা সাংকেতিকভাবে জ্ঞানকে প্রকাশ করার ক্ষমতাও থাকতে হবে।

দ্বিতীয়ত—বিশেষ একটি সমস্যা হলো—প্রোগ্রাম প্রণেতার যেসব জ্ঞান নেই, অথচ একটি প্রোগ্রাম সেসব সমস্যা সমাধানের জন্য ব্যবহৃত হবে, যাতে এসব জ্ঞানের প্রয়োজন—সেই জ্ঞান বা তথ্য কিভাবে প্রোগ্রামে লিপিবদ্ধ করা যাবে বা সংযোজিত হবে? এর সমাধান হলো—প্রোগ্রাম এমনভাবে তৈরি করতে হবে যেন তা বিশেষজ্ঞের দ্বারা লিপিবদ্ধ জ্ঞান বা তথ্য থেকে নিজে নিজেই তা সংগ্রহ করতে পারবে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের প্রোগ্রামগুলিতে এমন ব্যবস্থা থাকতে হবে যেন তা নিজেই তথ্য সংগ্রহে সক্ষম হয়— যা সাধারণত চলতি কম্পিউটার ভাষাগুলিতে থাকে না। উদাহরণস্বরূপ, কোনো একটি সমস্যার সমাধানের জন্য ১৫ জুলাই একটি শহরে তাপমাত্রা কত ছিল সেই তথ্য জানা দরকার। কোনো একটি পদ্ধতিকে সেই সমস্যা সমাধানক্ষম হতে হলে তাকে এই তথ্য সংগ্রহ ও ব্যবহারের জন্য উপযোগী হতে হবে। যেহেতু প্রচলিত প্রোগ্রাম-ভাষাগুলিতে স্বয়ংক্রিয়ভাবে তথ্য সংগ্রহ ও ব্যবহারের কোনো সুব্যবস্থা নেই তাই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে ব্যবহৃত ভাষাগুলি উদ্ভাবনে এ ব্যাপারে মনোযোগ দেয়া হয়েছে।

উপরিল্লিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ কেননা একজন বিশেষজ্ঞ কোনো একটি পদ্ধতিতে যে কোনো সময়ই তথ্য সরবরাহ করতে পারে কিন্তু সেই পদ্ধতিটি সেই তথ্য কখন ব্যবহার করবে তা তার অজানা থাকে। তাই সরবরাহকৃত জ্ঞান যেন যথাযথভাবে ব্যবহার উপযোগী হয় সে ব্যাপারে বিশেষজ্ঞকে অবশ্যই লক্ষ্য রাখতে হবে। এই উদ্দেশ্যে সমস্যা সমাধানের ব্যাপারে ব্যাপক গবেষণা ও প্রাকৃতিক ভাষা অনুধাবন প্রক্রিয়ার সংযোগ সাধনে নতুন এক অধ্যায় সৃষ্টি হলো—"জ্ঞানের প্রস্তাবনা" (Knowledge Representation)।

১৯৭০ সালের দিকে উপরিউক্ত ধারণাগুলির (idea) ভিত্তিতে অনেকগুলি প্রোগ্রামের সৃষ্টি করা হয়। তাদের মধ্যে বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য প্রোগ্রাম হলো DENDRAL। এই প্রোগ্রামটি তৈরি হয় মাসস্পেক্ট্রোমিটার থেকে প্রাপ্ত কোনো তথ্য দ্বারা কোনো রাসায়নিক পদার্থের গঠনসূত্রী নির্ণয়ের নিমিত্তে। নোবেল পুরস্কার প্রাপ্ত বিজ্ঞানী ডি. লেদেরবেরগের সহযোগিতায় স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের বিজ্ঞানীরা এই প্রোগ্রামটি তৈরি করেন। এই প্রোগ্রামটি নিজস্ব ক্রিয়া পদ্ধতিতে ক্রমান্বয়ে অভিজ্ঞতা সংগ্রহে সক্ষম। বিশেষজ্ঞরা এই প্রোগ্রামটিতে শত সহস্র মৌলিক তথ্য নিয়ম আকারে সংযোজন করেন। এটিই ছিল সর্বাপেক্ষা প্রথম এক্সপার্ট সিস্টেম যার কাজ ছিল অভাবনীয়ভাবে সন্তোষজনক। বর্তমানে স্পেক্ট্রোমিটারের সাথে সাথে এই এক্সপার্ট সিস্টেমটিও সরবারহ করা হয়।

একটি প্রোগ্রামকে আদর্শ প্রোগ্রাম মনে করা হয় তখনই যখন সেই প্রোগ্রামটি লব্ধ অভিজ্ঞতা থেকে নিজেই সিদ্ধান্ত গ্রহণের নিমিত্তে যুক্তিগত নিয়মাবলি তৈরি করতে সক্ষম বা অন্য কথায় প্রোগ্রামটি নিজেই নিজেকে শিক্ষিত করে তুলতে পারে। স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের গবেষকরা DENDRAL প্রোগ্রামে ঠিক এই ব্যবস্থাই তৈরি করেন। METADENDRAL প্রোগ্রামে এমন কয়েকটি সাধারণ নিয়মাবলি ব্যবহার করা হয় যার সাহায্যে পদার্থের গঠনসূত্রী নির্ণয়ে সম্ভাব্য গঠন কাঠামোগুলির মধ্যে গ্রহণের অনুপযোগী গঠনগুলিকে বাদ দেয়ার ব্যবস্থা আছে। উপরন্তু, প্রোগ্রামটি পদার্থের রাসায়নিক গঠনসূত্রী

নির্ণয়ে নিজেই বিভিন্ন যুক্তিতে নিয়ম তৈরি ও তার কার্যকারিতা পরীক্ষা করে। প্রথমে গঠনসূত্রের পৃথক পৃথক রাসায়নিক বন্ধন নির্ণয়ে তা ব্যবহার করা হয় এবং পরে সামগ্রিকভাবে পদার্থটির রাসায়নিক সংযোগ নির্ণয়ে তা ব্যবহার করা হয়। এই প্রোগ্রামের সাহায্যে অবিশ্লেষিত রাসায়নিক পদার্থগুলির রাসায়নিক গঠনসূত্রী নির্ণয়ের পর ক্রমান্বয়ে তা আন্তর্জাতিক জার্নালগুলিতে প্রকাশ করা হয়।

১৯৭১ সালে টেরী ভিনোগ্রাদ কিউবিক বস্তু নিয়ে কাজ করতে সক্ষম রবোটগুলির মডেল সৃষ্টির জন্য SRDW পদ্ধতিটি তৈরি করেন। এই পদ্ধতিটির সাহায্যে রবোটকে ইংরেজি ভাষায় কথা বলানো যায়। এই পদ্ধতিটি শুধু বাক্যের গঠন বা সিনট্যাক্স নিয়েই ভাষাজ্ঞান সীমাবদ্ধ রাখে না, নিজস্ব কিউবিক জগতে (Cubic world) সিমান্টিক ও প্রাগম্যাটিক জ্ঞানের সাহায্যে বাক্যের অর্থ বুঝতেও সক্ষম। পদ্ধতিটি বাক্যের দ্বৈতার্থতা থেকে সঠিক অর্থ বের করতে, উদাহরণ বুঝতে, নিজস্ব কার্যাবলি নিয়ন্ত্রণ করতে এমনকি সে ব্যাপারে জবাবদিহি করতেও সক্ষম। এ সবই সম্ভব হয়েছে সৃষ্ট প্রোগ্রাম তৈরির বৈশিষ্ট্যে যার সাহায্যে রবোটের কার্যাবলি পরিচালিত হয়।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণায় খুব বেশি সংখ্যক গবেষক কর্মরত না থাকলেও এই বিজ্ঞান শাখার লব্ধ ফল আজ মানবজীবনের সর্বত্রই পরিলক্ষিত হচ্ছে। বিজ্ঞানের এই শাখার অভাবনীয় সাফল্য—বিশেষ করে স্বয়ংক্রিয় পরিচালনা ব্যবস্থা প্রায়শই প্রচার মাধ্যমে, মহাশূন্যের পরিচালনা ব্যবস্থায়, চিকিৎসাশাস্ত্রে রোগ নির্ণয়ে ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়। আবিষ্কৃত বা লব্ধ ফলকে কল্পনায় আরো বিস্তারিত করে আজকাল অনেক ফ্যান্টাসি ফিল্মও তৈরি হচ্ছে। অবশ্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণা অত্যন্ত দীর্ঘমেয়াদী ও কষ্টসাধ্য কারণ, কম্পিউটারকে মানবলব্ধ সকল জ্ঞানে জ্ঞানান্বিত করার অর্থ বলতে গেলে অনেকটা মানব সভ্যতাকে আদিম অবস্থা থেকে বর্তমান অবস্থায় উন্নীত করারই শামিল। তবে মানবলব্ধ সকল জ্ঞানকে আজ বিচ্ছিন্নভাবে বিভিন্ন মানব মস্তিষ্কে সীমাবদ্ধ না রেখে তা কম্পিউটারের স্মৃতিতে ধারণ করে সকল মানুষের জন্যই তা সহজলভ্য করে তোলার লক্ষ্য নিয়েই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষজ্ঞরা কাজ করে যাচ্ছে।

সাধারণভাবে বলতে হয় বিশেষজ্ঞদের সারা জীবনের লব্ধ জ্ঞান ও অভিজ্ঞতাকে কম্পিউটারে সংযোজিত করতে হলে তাতে প্রয়োগযোগ্য ভাষা ব্যবস্থা ও তথ্য প্রস্তাবনা পদ্ধতি উন্নত করা দরকার। একই সাথে দরকার মানুষের লব্ধ সকল জ্ঞানকে কম্পিউটারের স্মৃতি ভাণ্ডারে আবদ্ধ করার। সুখের বিষয় যে, কম্পিউটারের স্মৃতি ধারণক্ষমতা ক্রমশই বাড়ছে। তাই আজ গবেষণার বিষয় হয়ে দাঁড়িয়েছে মানুষ নিজেই। মানুষের বুদ্ধিমত্তা আর কর্মপদ্ধতি বিশ্লেষণ করাটাও আজ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষ কাজ হিসেবে বিবেচিত হচ্ছে, যাতে করে কম্পিউটারের বুদ্ধিমত্তা মানুষের সমতুল হতে পারে।

দ্বিতীয় অধ্যায়

সমস্যা

২.১ সমস্যার প্রস্তাবনা (Problem Representations)

সমস্যা শব্দটির অর্থ অত্যন্ত ব্যাপক। সাধারণ জীবনে সমস্যা বলতে সে অবস্থাকেই বুঝায় যে অবস্থায় জ্ঞাত কার্যকরণ সম্পর্কযুক্ত কর্মধারায় ইপ্সিত ফল পেতে অনিশ্চয়তা বিদ্যমান। এই অনিশ্চয়তার পরিমাণ যত বেশি সমস্যা ততই জটিল এবং অনিশ্চয়তা যত কম সমস্যা ততই সহজ। কোনো অবস্থাতে সেই অবস্থার সাথে সম্পর্কযুক্ত কার্যকরণ সম্পর্ক যত সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হয় সেই অবস্থায় ইপ্সিত ফল পেতে অনিশ্চয়তা ততই কম হয়। তাই যে কোনো সমস্যার সমাধানে সেই সমস্যার সাথে সম্পর্কযুক্ত কার্যকরণগত অবস্থাগুলির যথাযথ প্রস্তাবনা প্রয়োজন। গণিতশাস্ত্রের সমস্যাগুলি সর্বাপেক্ষা নির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত। তাই এই সমস্যাগুলির সমাধানও হয় সুনিশ্চিতভাবে। সমস্যা প্রস্তাবনার জন্য একটি ভাষার প্রয়োজন হয়, যেমন গণিতশাস্ত্রের ভাষা হলো গাণিতিক ভাষা।

স্কুলের গাণিতিক সমস্যাগুলির গণ্ডি পার হবার পর সাধারণ জীবন প্রবাহে তথা বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখার সমস্যাগুলি সুনির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত থাকে না। এর কারণ, সমস্যা প্রস্তাবনাকারীরা তথ্য সরবরাহে অসম্পূর্ণতা এবং সমস্যার প্রতি নিজস্ব দৃষ্টিভঙ্গী ব্যক্ত করে থাকেন। উপরন্তু, যে কোনো সমস্যার প্রস্তাবনায় ব্যবহার করা হয় প্রাকৃতিক ভাষা যাদের অসম্পূর্ণতা, অনিশ্চয়তা ও দ্বৈতার্থতার বৈশিষ্ট্যগুলি সমস্যার প্রস্তাবনায় যথেষ্ট বাধার সৃষ্টি করে।

মানুষের মধ্যে সাধারণ তথ্য বিনিময় প্রক্রিয়ায় তথা বাক্য বিনিময়ে ব্যবহৃত তথ্যাদি কখনই সুনির্দিষ্ট বা স্পষ্টভাবে প্রস্তাবিত বা ব্যক্ত হয় না। ধরে নেয়া হয় যে, বাক্যালাপে অংশগ্রহণকারী উভয় ব্যক্তিই আলাপের বিষয়বস্তু সম্বন্ধে মোটামুটি জ্ঞান রাখেন, অন্যথায় একজনের আরেকজনের তথাকে পুরাপুরি ভুল বুঝার সম্ভাবনা থাকে। তাই ভুল বুঝাবুঝি কমানোর জন্য যেমন বাক্যালাপে উভয় পক্ষেরই আলোচ্য বিষয়ে জ্ঞান ধারণের ক্ষমতা রাখতে হবে, ঠিক তেমনি জ্ঞান বা তথ্যকে একজন আরেকজনের কাছে বোধগম্য করার নিমিত্তে তা যথেষ্ট যৌক্তিকভাবে প্রস্তাব করতে হবে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে যন্ত্র ও মানুষের মধ্যে তথ্য বিনিময় প্রক্রিয়ায় তথ্য অত্যন্ত স্পষ্টভাবে ও একার্থভাবে প্রকাশ ও গ্রহণ করার ব্যবস্থা থাকতে হয়। এজন্য সাধারণ প্রাকৃতিক কথ্য ভাষায় তথ্য প্রকাশের জন্য প্রাকৃতিক ভাষাগুলিকে তাদের শব্দভাণ্ডারে যেমন বাড়াতে হবে, তেমনি ভাষার দ্বৈতার্থতাকে দূরীকরণের জন্য তাদের ব্যাকরণগত গঠনও ক্রমান্বয়ে উন্নত তথা সুস্পষ্টভাবে নির্দিষ্ট করতে হবে।

২.২ সমস্যার উপস্থাপনা (Presentation of the Problem)

সমস্যার উপস্থাপনা বলতে সমস্যার পূর্ববর্তী শর্তগুলিকে বোধগম্য করাকেই বুঝায় বা অন্যকথায় বলতে হয় যে, সমস্যা যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হওয়ার উপায় বের করাকেই সমস্যার উপস্থাপনা বলা হয়। প্রাথমিক পর্যায়ে সমস্যাকে উপস্থাপন করার জন্য ভাষা মাধ্যম ব্যবহার করে সাথে সাথে গ্রাফ বা লেখচিত্র ব্যবহার করা বেশি সুবিধাজনক কারণ দৃষ্টিশক্তির সাহায্যে বা সোজা কথায় এক নজরেই বুঝা যায় সমস্যাটা কি। বাস্তবত একটি সমস্যা তখনই সুপ্রস্তাবিত হয় যখন সমস্যার প্রস্তাবনায় কোনো দ্বৈতার্থতা থাকে না। এর ফলে সমস্যার সমাধান খোঁজার ব্যাপারেও কোনো সন্দেহ থাকে না। একই সাথে অবশ্য সমস্যার সিমান্টিক ও প্রাগম্যাটিক অর্থও যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ হওয়া প্রয়োজন। যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ সমস্যাকে আবদ্ধ সমস্যা (closed problem) বলা হয়।

২.৩ আবদ্ধ সমস্যা (Closed Problem)

সাধারণত গাণিতিক কোনো সমস্যাকে উপস্থাপন করা যায় নিম্নলিখিত উপায়ে–প্রদত্ত সীমাবদ্ধতার সম্ভার বা সেট $K(x)$ এর সাথে সম্পর্কযুক্ত বা সামঞ্জস্যপূর্ণ x বিন্দুগুলিকে X সম্ভারে নির্ণয় করতে হবে।

সমস্যার উপরিউক্ত উপস্থাপনার উদাহরণ হিসেবে নিম্নলিখিত সমস্যাটিকে ধরা যেতে পারে—"পূর্ণসংখ্যার X সম্ভারে সেই x সংখ্যাগুলি নির্ণয় করতে হবে যেগুলি এই $x^3 + 84 = 37x$ সমীকরণটিতে যথাযথভাবে প্রযোজ্য হবে"।

মন্তব্য : (১) প্রস্তর X প্রদানের সাথে এর গঠন ও তাতে সম্পাদনযোগ্য অপারেশনগুলিও সুনির্দিষ্ট থাকতে হবে ; (২) প্রারম্ভিকভাবে প্রাপ্ত সমস্যার আবদ্ধসূত্র প্রস্তর X ও তার সীমাবদ্ধতা $K(x)$ প্রয়োগের দ্বারা নতুনরূপে প্রকাশ করতে হবে এবং ক্রমান্বয়ে বিভিন্ন সীমাবদ্ধতার প্রয়োগ দ্বারা সূত্ররূপের পরিবর্তনের সাথে সমস্যার সমাধানের দিকে এগিয়ে যেতে হবে। সমস্যার সর্বশেষ আবদ্ধসূত্ররূপই হবে সমস্যার সমাধান।

সমস্যার আবদ্ধ সূত্ররূপ প্রস্তাবনার দুটি বিকল্প পথ আছে—

বিকল্প (১) : প্রদত্ত প্রস্তরে প্রারম্ভিক অবস্থা হলো S_0। সমস্যা হলো S_0 অবস্থা থেকে সর্বশেষ অবস্থা S_1 এ যেতে হবে। এই প্রস্তরে O_{ab} অপারেটরের সাহায্যে একটি অবস্থা S_a থেকে অন্য অবস্থা S_b তে যাওয়া যায়। সমস্যার সমাধান হলো S_0 অবস্থা থেকে S_1 অবস্থায় যাওয়ার পথ নির্ণয়।

উদাহরণস্বরূপ "১৫ টি সংখ্যাকে ক্রমিক পর্যায়ে সাজানো"—এই সমস্যাটিকে ধরা যেতে পারে :

$S_0 =$

2	□	6	7
12	8	10	3
15	5	1	9
4	13	14	11

$S_1 =$

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	□

চিত্র : ২.১

এই সমস্যায় অপারেটর O_{ab} এর অর্থ হলো এই যে—নম্বরযুক্ত ছকগুলিকে ক্রমান্বয়ে খালি ছকে স্থানান্তরিত করতে হবে। সমস্যার এই বিকল্প আবদ্ধ সূত্ররূপ হলো $x =$ (অপারেটরগুলির ক্রমানুসর)। সমস্যার সমাধান নির্ণয় এর অর্থ হলো অপরেটরগুলির ক্রমানুসর বা কোনটির পর কোনটি ঘটবে তা নির্ণয় করা অর্থাৎ

$$X = (O_{ab}, O_{bc}, ..., O_{tu}, O_{uv}),$$

যেখানে $S_a = S_0$ এবং $S_v = S_1$।

সীমাবদ্ধতার সম্ভার $K(x)$ হলো অপারেটরগুলির ক্রমানুসারে সাজানোর নিয়ম যেখানে অপারেটরের কোনো একটি পর্যায়ে তার সর্বশেষ অবস্থাকে পরবর্তী পর্যায়ের বা ধাপের প্রারম্ভিক অবস্থা হিসেবে ধরা হয়।

বিকল্প (২) : এই ধরনের উপস্থাপনায় গাণিতিক প্রমাণ প্রক্রিয়ায় সমস্যার ক্ল্যাসিকাল সূত্রকরণ প্রক্রিয়া ব্যবহার করে অর্থাৎ প্রদত্ত $H(x)$ এর ভিত্তিতে $C(x)$বের করতে হবে।

উদাহরণস্বরূপ, সমস্যার উপস্থাপনা নিম্নরূপ:

সকল n, $n \in N$ এর জন্য দেখাতে হবে যে,

$$\sum_{i=1}^{n} i^3 = \left(\sum_{i=1}^{n} i \right)^2$$

এই বিকল্পে যদি $S_0 = H(x)$ ও $S_1 = C(x)$ ধরা হয়, সমস্যার উপস্থাপনা ১ নং বিকল্পরূপ গ্রহণ করে। কিন্তু এখানে একটি পার্থক্য বিদ্যমান তা হলো ২ নং বিকল্পে ১ নং বিকল্পের ন্যায় ধাপ পার হওয়ার জন্য কোনো অপারেটর দেয়া নেই। গণিতবিদ্যার এটিই বিরাট দক্ষতা যে, তা কোনো সমস্যা সমাধানের জন্য প্রয়োজনীয় অপারেটরগুলির সন্ধান ও আবিষ্কার করে। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই সমস্যার উপস্থাপনায় অন্তিমদশা বা লক্ষ্য $C(x)$ প্রদত্ত থাকে না। সেক্ষেত্রে ২নং-বিকল্পের উপস্থাপনা দাঁড়ায় নিম্নরূপ :

"$\sum_{i=1}^{n} i^3$ এর মান নির্ণয় কর" এবং এক্ষেত্রে সমস্যার সমাধান নির্ণয়ে অনিশ্চয়তা দেখা দেয় কারণ, সমাধান অলক্ষ্য বস্তুতে পরিণত হয়। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই কোনো সমস্যার সমাধান সেই সমস্যার প্রাথমিক অবস্থার চেয়ে অনেক সহজে প্রকাশযোগ্য হয়।

২.৪ সমস্যা সমাধানের সাধারণ পদক্ষেপ

কোনো সমস্যার সমাধানে মানুষ সাধারণত সাতটি ধাপ অতিক্রম করে :

(১) সমস্যার পূর্বশর্তগুলির অর্থ ব্যাখ্যা করা ;

(২) সমস্যার পূর্বশর্তগুলি থেকে প্রাথমিক ফলাফল অনুধাবন ;

(৩) অবস্থাকে সমস্যার সমাধানে ব্যবহারের সুযোগ সন্ধান ;

(৪) সমস্যা সম্বন্ধে ব্যাপক চিন্তা ও বিশ্লেষণ ;

(৫) সমস্যাকে আবদ্ধরূপ প্রদান ;

(৬) ২ নং ধাপকে ব্যবহার করে অন্তিম সমাধানের সন্ধান ;

(৭) প্রাপ্ত সমাধানের নিরীক্ষণ ও সমাধানকে সাধারণরূপ দান।

১ নং ধাপে মানুষকে মূলত তথ্য সংগ্রহ করতে হয় তাই তার দর্শন ও শ্রবণেন্দ্রিয়ের ব্যাপক ব্যবহার এই ধাপে হয়। যেহেতু মানুষের তাৎক্ষণিকভাবে স্মৃতিধারণক্ষমতা অত্যন্ত সীমিত তাই সমস্যার পূর্বশর্তগুলিকে তার দীর্ঘকালীন সময় ধরে বিশ্লেষণ করতে হয়। ২ নং ধাপে মানুষ তার অভিজ্ঞতালব্ধ জ্ঞানকে ব্যবহার করে। এটি করা হয় এজন্য যে, প্রথমত সমস্যার প্রদত্ত শর্তগুলিকে যেসব তথ্য দেয়া না থাকে, সেগুলিকে যতদূর সম্ভব পূরণ করা এবং দ্বিতীয়ত, প্রদত্ত শর্তে যেসব তথ্য দীর্ঘাকার বাক্যরূপে পরিবেশিত থাকে সেগুলিকে প্রকৃতপক্ষে ছবি, গ্রাফ বা ফর্মুলার সাহায্যে খণ্ড খণ্ডভাবে বা স্পষ্টভাবে প্রকাশ করা হয়।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, ১৯৬২ সাল থেকেই মাত্র অল্পকিছু মূল শব্দ নিয়ে তৈরি প্রোগ্রামের দ্বারা পদার্থের গতিবিদ্যা ও প্রোবাবিলিটির সহজ সমস্যাগুলির সমাধান বের করা সম্ভব হয়ে উঠে।

সমস্যার সমাধানে ৩ নং ধাপটিই হচ্ছে মানুষের জন্য নীতিনির্ধারক কারণ এই ধাপে মানুষ ১ নং ও ২ নং ধাপগুলিকে পুনঃপুন পরীক্ষা করে সমস্যার পূর্বশর্তগুলিকে যথেষ্ট স্পষ্ট করে তোলে এবং সমস্যার জটিলতাটি কোথায় তা নির্ধারণ করে।

৪ নং ধাপে স্মৃতি থেকে সমস্যার সমাধানের জন্য অপ্রয়োজনীয় তথ্যগুলিকে দূরে সরিয়ে ফেলে সমস্যাকে আবদ্ধরূপ প্রদানের নিমিত্তে বিভিন্ন অপারেটরের সন্ধান করা হয়। এই ধাপে অনেক সময় প্রদত্ত সমস্যা সমাধানের চেষ্টা পরিহার করে অন্য কোনো সমস্যা নিয়ে ব্যস্ত হবার সম্ভবনা থাকে। এর ফলে প্রথম সমস্যা সমাধানের পথে বাধা সৃষ্টিকারী তথ্য বা ধারণাগুলি ক্রমান্বয়ে আপনাআপনিই দূরে সরে পড়ে। ফলে পরবর্তীতে সমস্যা সমাধানের সহজ পথটি পরিস্ফুটিত হয়ে উঠে। এ কারণেই অনেক সময় বলা হয়ে থাকে যে, "কোনো সমস্যা সম্বন্ধে ভুলে যাওয়াই হলো সেই সমস্যা সমাধানের সবচেয়ে ভালো উপায়।"

৫নং ধাপে সমস্যাকে আবদ্ধরূপ প্রদানের দ্বারা তার মধ্যে নিহিত অস্পষ্টতা ও দ্বৈতার্থতাকে দূরীভূত করা হয়। সমস্যাটির সমাধান কত জটিল তা এই ধাপেই নির্ধারিত হবে—তার সমাধানের প্রস্তর X- এর ব্যাপকতা, সীমাবদ্ধতা K(x) -এর জটিলতা ও অপারেশনের সংখ্যার উপর ভিত্তি করে।

৬নং ধাপে বিভিন্ন অপারেটর ব্যবহারের মাধ্যমে সমস্যার আবদ্ধরূপ ক্রমেই ক্ষুদ্রতর হয়ে আসে এবং সমাধানের সন্ধান লাভ সহজতর হয়ে উঠে। এজন্য ২নং ধাপের থেকে প্রক্রিয়াটি ক্ষুদ্রতর পরিসরে পুনশ্চ সম্পাদন করা হয়।

৭ নং ধাপে সমাধান নির্ধারিত হয় এবং সমস্যার প্রথম ধাপ থেকে তার প্রযোজ্যতা পরীক্ষা করা হয়। সমাধান সন্তোষজনক হলে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর খোঁজা হয় :

ক) প্রাপ্ত সমাধান পদ্ধতিটি ব্যবহারের জন্য সমস্যাটিকে সর্বজনীনরূপ (generalised ... দেয়া যায় কিনা?

খ) অন্য কোনো পদ্ধতি আছে কিনা, যেখানে একই পদ্ধতি ব্যবহার করে সমাধান ... যেতে পারে?

গ) একই সমস্যার সমাধানের জন্য অন্য কোনো পথ আছে কিনা?

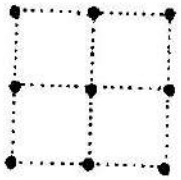
এবার কয়েকটি বাস্তব উদাহরণের সাহায্যে সমস্যা সমাধানের প্রক্রিয়া লক্ষ্য করা ...

২নং চিত্রে ৯টি বিন্দু আছে। সমস্যার শর্ত হলো :

(১) এক টানে অর্থাৎ কাগজ থেকে কলম না উঠিয়ে

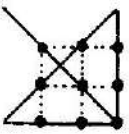
(২) ৯টি বিন্দুর মধ্য দিয়ে

(৩) চারটি সরলরেখা আঁকতে হবে।



চিত্র : ২.৩

যদি এই সমস্যার সমাধানের আবদ্ধতা লক্ষ্য করা যায় তবে দেখা যাবে যে, তিনটি শর্তই সমস্যার তিনটি সীমাবদ্ধতার রূপ নির্ধারণ করে। এখানে বলা নেই যে, সরল-রেখাগুলিকে এই নয়টি বিন্দুর দ্বারা সীমাবদ্ধ ক্ষেত্রের মধ্যেই থাকতে হবে। অতএব সমাধান হলো চিত্র ২.৩।



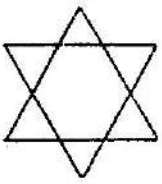
চিত্র : ২.৩

যদি এই সমস্যার সমাধানের সীমাবদ্ধতা ৯টি বিন্দুর দ্বারা আবদ্ধ ক্ষেত্রের মধ্যেই নিহিত থাকতো তাহলে এই সমস্যার সমাধান পাওয়ার ব্যাপারে অন্য ধরনের চেষ্টা করতে হতো এবং সমাধান পাওয়ার নিশ্চয়তা নাও থাকতে পারতো।

এবার অন্য একটি সমস্যা দেখা যাক—"ছয়টি দেশলাই কাঠির সাহায্যে চারটি সমবাহু ত্রিভুজ তৈরি করতে হবে"। যদি সমস্যাটির আবদ্ধরূপ দেখা যায় তবে সহজেই বলা যেতে পারে যে,

(১) ছয়টি দেশলাই কাঠির সাহায্যে
(২) চারটি সমবাহু ত্রিভুজ তৈরি করতে হবে।

এখানে বলা নেই যে, কাঠিগুলি একই সমতলে থাকতে হবে কিনা এবং এটিও বলা নেই যে, ছয়টি কাঠির সাহায্যে চারটির বেশি সমবাহু ত্রিভুজ তৈরি করলে তার সমাধান হবে না। অতএব সমাধান হলো চিত্র ২.৪।



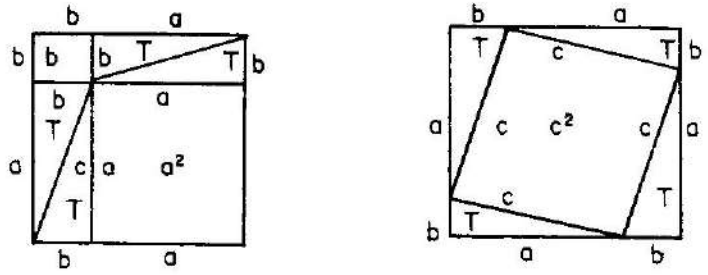
চিত্র : ২.৪

এবারে সাধারণ ভাষায় প্রচলিত কথায় একটি সমস্যা লক্ষ্য করা যাক—এক দেশে এক নিষ্ঠুর রাজা ছিল। একদিন রাস্তায় এক সুন্দরী মেয়ে দেখতে পেয়ে রাজা তাকে নিজ প্রাসাদে ধরে নিয়ে এলো এবং তাকে বিয়ে করার প্রস্তাব দিল কিন্তু মেয়েটি রাজি হলো না। রাজা তখন বললো "ঠিক আছে, তোমাকে আমি মুক্তি দেব, যদি তুমি তোমার মুক্তি আর বন্দীত্বের মধ্যে মুক্তিকেই বেছে নিতে পারো। আমি এই রাস্তা থেকে দুটি পাথর নিব, একটি হবে কালো রংয়ের এবং অন্যটি হবে সাদা রংয়ের। দুটি পাথর দু'হাতে থাকবে। যদি তুমি আমার হাত থেকে সাদা রংয়ের পাথরটি বেছে নিতে পারো তবে তোমাকে আমি মুক্তি দেব অন্যথায় আমাকে তোমার বিয়ে করতে হবে"। মেয়েটি উপায়ন্তর না দেখে তাতেই রাজি হলো। এবার রাজা রাস্তা থেকে দু'হাতে দুটি পাথর তুলে নিল। কিন্তু মেয়েটি লক্ষ্য করলো যে, রাজা কেবল কালো রংয়েরই পাথর দু'হাতে তুলে নিল। তাহলে দেখা যাচ্ছে যে রাজা নিজেই নিজের জয় সুনিশ্চিত করার জন্য পূর্বশর্ত ভঙ্গ করলো। অতএব, সাধারণ সূত্র মোতাবেক মেয়েটির মুক্তি সমস্যার কোনো সমাধান নেই। কিন্তু মেয়েটি বুদ্ধিমতী ছিল। সে রাজার এক হাতের পাথর নিয়ে যেন অসাবধানতাবশত পাথরটি রাস্তায় অন্যান্য পাথরের মধ্যে ফেলে দিল এবং বললো "আহা! এবার তাহলে রাজার অন্য হাতের পাথর থেকেই বলা যেতে পারে যে, পড়ে যাওয়া পাথরটির রং কি ছিল"। যেহেতু রাজার অন্য হাতেও কালো পাথর ছিল, কাজেই মেয়েটি মুক্তি পেলো।

উপরিউক্ত সমস্যা ও সমাধানগুলি থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, শুধু পূর্বশর্ত থেকে সমাধান পাওয়া দুষ্কর। সমস্যার সীমাবদ্ধতার বাইরে থেকে সমস্যার সমাধান খুঁজে নিতে হচ্ছে যা সমস্যার পূর্বশর্তগুলিকে লঙ্ঘন করে না।

আবার প্রায়শই এটি দেখা যায় যে, যখন সমস্যার পূর্বশর্তগুলি যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় না, তখন অনেকটা "এসপার অথবা ওসপার" ধরনের সমাধানের প্রতিই বেশিরভাগ মানুষ ঝুঁকি নেয়। কিন্তু এসব ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণভাবে সমস্যার বিশ্লেষণে অনেকটা অবচেতন মনের কাজেই সমাধান নির্ধারিত হয়। এবারে আমরা এ জাতীয় সমস্যার কয়েকটি উদাহরণ লক্ষ্য করি।

ধরা যাক, একটি ঘরে দুটি লোহার রড আছে। তাদের একটি চুম্বকায়িত, অন্যটি নয়। অন্য কোনো কিছুর সাহায্য ব্যতিরেকেই নির্ধারণ করতে হবে, কোন রডটি চুম্বকায়িত। এই সমস্যার দুটি শর্ত বিদ্যমান (১) একটি রড চুম্বকায়িত (২) অন্যটি সাধারণ লৌহখণ্ড। এই দুই শর্তে চুম্বকের গুণাবলি মোটেই উল্লিখিত নেই। তাই কেবল অভ্যন্তরীণভাবে বিশ্লেষণ করেই এই সমস্যার সমাধান পাওয়া যেতে পারে। পদার্থবিদ্যার জ্ঞান অনুযায়ী রড দুটি পরস্পরের কাছাকাছি আনলে তাদের মধ্যে আকর্ষণ ঘটবে তবে কেবল চুম্বকায়িত রডের মধ্যস্থলে এই আকর্ষণ অনুভূত হবে না। তাই যে কোনো একটি রড A এর একপ্রান্ত অন্য রড B এর মধ্যস্থানে আনলে যদি আকর্ষণ অনুভূত হয় তবে A রডটি চুম্বকায়িত আর আকর্ষণ অনুভূত না হলে B রডটি চুম্বকায়িত।



চিত্র ২.৫ : পিথাগোরাসের উপপাদ্যের প্রমাণ $a^2 + b^2 = c^2$ ।

পরবর্তী সমস্যাটি হলো—"চিত্রের সাহায্যে পিথাগোরাসের থিওরির প্রমাণ"। পিথাগোরাসের উপপাদ্য অনুযায়ী একটি সমকোণী ত্রিভুজের দুটি বাহুর বর্গের সমষ্টি অতিভুজের বর্গের সমান। এই সমস্যার পূর্বশর্ত হলো—"সমকোণী ত্রিভুজ"। সমাধান হলো—"উপপাদ্যের প্রমাণ"। এখানে কেবল অভ্যন্তরীণ বিশ্লেষণের সাহায্যেই সমাধান নির্ধারণ করা সম্ভব। সমাধানটি ২.৫ চিত্রে প্রদত্ত হয়েছে। চিত্রে দুটি বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল সমান অর্থাৎ $(a + b)^2$। বামদিকের চিত্রে $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 4T$ এবং ডানদিকের চিত্রে $(a + b)^2 = c^2 + 4T$। এটি থেকেই বুঝা যাচ্ছে যে $a^2 + b^2 = c^2$ যা প্রমাণের প্রয়োজন ছিল। এখানে, a ও b সমকোণী ত্রিভুজের দুই বাহু, c হচ্ছে তার অতিভুজ এবং T হচ্ছে সমকোণী ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল।

২.৫ সমস্যা সমাধানের সাধারণ নিয়ম

(১) সমস্যাকে বোধগম্য করার জন্য প্রয়োজন :

* সমস্যাতে অজানা কি আছে যা জানা দরকার। সমস্যা সমাধানে জ্ঞাত তথ্যগুলি কি কি আছে? সমস্যার শর্তগুলি কি কি?

* সমস্যার শর্তগুলি পূরণযোগ্য কিনা? প্রদত্ত শর্তাবস্থাগুলি সমস্যার অজানাকে জানার জন্য যথেষ্ট কিনা? শর্তাবস্থাগুলি কি অপর্যাপ্ত, অপূর্ণ বা পারস্পরিকভাবে বিপরীতধর্মী?

* সমস্যার চিত্রাঙ্কন সম্ভব হলে তা অঙ্কন করা এবং প্রয়োজনীয় তথ্যগুলি উক্ত চিত্রে সংযোজন করা।

* সমস্যার শর্তগুলি সম্ভব হলে পৃথক পৃথকভাবে উপস্থাপন করা এবং যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ করা।

(২) সমস্যা সমাধানের পরিকল্পনা প্রণয়নের জন্য প্রয়োজন

* সমস্যাতে প্রদত্ত তথ্য ও অজানা তথ্যের (unknown value) মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন।

* যদি উপরিউক্ত সম্পর্ক স্থাপন করা সম্ভব না হয় তবে সেই একই ধরনের অন্য সমস্যাগুলিও বিচার করে সম্পর্ক স্থাপনের চেষ্টা করা।

১৮

* একই ধরনের অন্য সমস্যা জানা আছে কিনা?

* একই ধরনের অন্য সমস্যা সমাধানের কোনো উপপাদ্য জানা আছে কিনা?

* অন্য কোনো সদৃশ সমস্যার কিছু অংশ পরিবর্তন করে প্রদত্ত সমস্যার রূপ দেয়া যায় কিনা?

* প্রদত্ত সমস্যাটি অন্য কোনোভাবে প্রস্তাবিত হয় কিনা? যদি সম্ভব হয় তবে প্রদত্ত সমস্যার অজানাকে এবং প্রদত্ত তথ্যকে অন্য কোনোভাবে প্রভাবিত করে সমাধান নির্ধারণ করা যায় কিনা?

* সমস্যায় প্রদত্ত সকল শর্ত ও তথ্য সমাধান নির্ধারণে ব্যবহার করা হয়েছে কিনা?

(৫) সমস্যা সমাধানের পরিকল্পনা বাস্তবায়ন

* সমাধান পরিকল্পনা প্রণয়নের পর তার তিনটি ধাপ সমাধান নির্ণয়ে ব্যবহার করে পরীক্ষা করা যে, পরীক্ষাকৃত পরিকল্পনাটি কতদূর প্রয়োগযোগ্য।

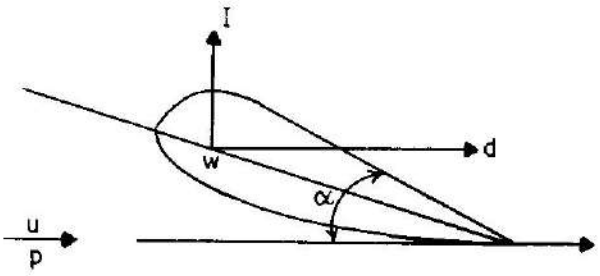
* সমাধান নির্ণয়ের পর পরীক্ষা করা যে সমাধানটি অন্য কোনো সমস্যার সমাধানে প্রয়োগযোগ্য কিনা?

২.৬ বিভিন্ন ধরনের সমস্যার শ্রেণীবিভাগ

সকল ধরনের সমস্যা বিশেষভাবে যেগুলি কম্পিউটারের সাহায্যে সমাধানের চেষ্টা করা হয়—সেগুলি সমাধানের ধরন, লক্ষ্যের বিশ্লেষণ, পূর্বধারণা, ডায়াগোনেস্টিক, পরিকল্পনা, প্রজেক্ট কন্ট্রোল, নিয়ন্ত্রণ ও পরিচালনা ইত্যাদির ভিত্তিতে ব্যাপকভাবে ভিন্নধর্মী হলেও তাদের প্রস্তাবনা পদ্ধতি ও সমাধানের অ্যালগরিদমের ভিত্তিতে সব সমস্যাকেই কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়। সব সমস্যাতেই কিছু একটা অজানা থাকে যা বিষয়বস্তু, পরিবেশ বা বৈশিষ্ট্য হতে পারে। বিষয়বস্তু,পরিবেশ বা বৈশিষ্ট্যের মধ্যে যে কোনো একটি অজানা থাকলে সমস্যাটি সমাধানের জন্য অবশ্যই অন্য দুটি জানা থাকতে হবে। অজানাটা কি—তার উপর ভিত্তি করেই সকল সমস্যাকে তিনটি মূলভাগে ভাগ করা যায় : (১) বিশ্লেষণমূলক সমস্যা (analytical problem) বিষয়বস্তু ও তার পরিবেশ সম্বন্ধে জানা থাকে, নির্ধারণ করতে হয় তার বৈশিষ্ট্য ; (২) সংশ্লেষণমূলক সমস্যা (problem of synthesis) বস্তুর বৈশিষ্ট্য ও তার পরিবেশ প্রদত্ত থাকে, তার বিষয়বস্তু নির্ধারণ করতে হয় ; (৩) পরিবেশ মূল্যায়ন সমস্যা (problem for evaluation of the environment) -সেই পরিবেশ নির্ধারণ করতে হবে যে পরিবেশে প্রদত্ত বস্তুর প্রদত্ত বৈশিষ্ট্য পরিস্ফুটিত হয়ে উঠবে।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, একটি বস্তু উড়োজাহাজের বিষয়বস্তু w হিসেবে উড়োজাহাজের পাখা, যেটির ভারোত্তলনের ক্ষমতা l, পরিবেশ e এর সাথে বিশেষভাবে সম্পর্কযুক্ত। ভারোত্তলনের ক্ষমতা ছাড়াও এই বস্তুটির আরও কিছু বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান যেমন—প্রতিরোধ ক্ষমতা ও ভরবেগ (resistivity and momentum)। আমরা এখানে

বিষয়বস্তুটির শুধু ভারোত্তলনের ক্ষমতাটিই বিচার করবো। এই উদাহরণটিকে নিম্নভাবে সূত্রীবদ্ধ করা যায় :



চিত্র ২.৬ : উড়োজাহাজের ডানা তৈরির পরিকল্পনা।

উত্থান (w, e, I), "উড়োজাহাজের ডানা w এর এককক্ষেত্রের উপর প্রদত্ত পরিবেশ e তে বলের মান I।"

এই সমস্যাটি সংশ্লেষণধর্মী সমস্যা। এখানে পরিবেশ e প্রদত্ত আছে। সাধারণত পরিবেশ একটি ভেক্টররাশি। ধরা যাক, প্রদত্ত উদাহরণে $e = (u, p, \alpha)$। এখানে u হচ্ছে বায়ুচ্ছটা বা বায়ুরাশির বেগ ; p হচ্ছে বায়ুরাশির ঘনত্ব ; α হচ্ছে বায়ুরাশির সাথে ডানার সৃষ্ট কোণ (আক্রমণ কোণ)।

উপরিউক্ত সূত্রটি যথেষ্ট সাধারণভাবে বর্ণিত। উক্ত তিনটি মানের মধ্যে কোন মানটি অজানা তার উপর নির্ভর করবে সমস্যাটি কোন গ্রুপে বা বিভাগে পড়ে। সমস্যা সমাধানের অ্যালগরিদমও নির্ভর করবে সমস্যাটি কোন গ্রুপে পড়বে তার উপর। অবশ্য সমস্যাটির গ্রুপ নির্ধারণ ছাড়াই সেটিকে কম্পিউটারে প্রয়োগযোগ্য হতে হবে অর্থাৎ সমস্যাটিকে যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হতে হবে।

বিশ্লেষণমূলক সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়া

সাধারণভাবে বিশ্লেষণ পদ্ধতির অ্যালগরিদম নিম্নরূপে লিপিবদ্ধ করা যায় :

(১) অজানা গুণাবলিবিশিষ্ট বস্তুর মডেল তৈরি করা ;

(২) মডেলের বৈশিষ্ট্যগুলির মূল্যায়নের জন্য প্রোগ্রাম তৈরি করা ;

(৩) উক্ত মডেল প্রোগ্রামের সাহায্যে বস্তুটির বৈশিষ্ট্যগুলি নির্ধারণ করা।

মডেল তৈরির জন্য বিশেষ কোনো পদ্ধতি নেই। এটি সম্পূর্ণভাবে সমাধানকারী মানুষের উপর নির্ভর করে। যদি মডেল মূল্যায়ন পদ্ধতি প্রদত্ত থাকে তবে মডেলের বৈশিষ্ট্য নির্ণয়ের প্রোগ্রাম তৈরি সহজ কাজ। বিশ্লেষণমূলক সমস্যা সমাধানের দুটি অংশ বিদ্যমান—মডেল বৈশিষ্ট্য নির্ণয়ের প্রোগ্রাম তৈরি ও সেই প্রোগ্রাম কার্যকর করা।

সংশ্লেষণমূলক সমস্যা সমাধানের প্রক্রিয়া ও পরিবেশ মূল্যায়নের সমস্যা

এ ধরনের সমস্যা সমাধানের পথটি কিছুটা ভিন্ন ধরনের। পৃথিবীতে এমন বহু বস্তুই বিদ্যমান যেগুলির বৈশিষ্ট্য ও ফাংশন একই ধরনের। কাজেই সংশ্লেষণমূলক সমস্যার সমাধানে সেই বস্তুটি নির্ধারণ করতে হয়, যে বস্তুটি প্রদত্ত বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে সামঞ্জস্য বজায় রাখে। এজন্য যে সাধারণ অ্যালগরিদম ব্যবহার করা যায় তা হলো :

(১) গবেষণামূলক একটি মডেল বস্তু তৈরি করা ;

(২) বিশ্লেষণমূলক সমস্যার ন্যায় মডেলের গুণাবলি বিশ্লেষণ করা ;

(৩) যদি প্রাপ্ত গুণাবলি প্রদত্ত গুণাবলি বা বস্তুর বৈশিষ্ট্যের সাথে সম্পূর্ণরূপে এক রকম হয় তবে মডেল বস্তুটির ভিত্তিতেই ইপ্সিত বস্তুটি নির্ধারণ করা সম্ভব। যদি মডেল বস্তুটি সেই সাদৃশ্য না দেখায়, তবে ২ নং প্রক্রিয়া পুনরাবৃত্তি প্রয়োজন।

সংশ্লেষণ পদ্ধতিটি পুনরাবৃত্তিকরণের জন্য অত্যন্ত জটিল এবং এই পদ্ধতিতে বিশ্লেষণ পদ্ধতির সাহায্য নিতে হয়। কম্পিউটারের সাহায্যে সমস্যা সমাধানের জন্য দুটি পদ্ধতি বিদ্যমান :

(১) টুরিং —ফন নেইমান পদ্ধতিতে :

- বিশ্লেষণমূলক সমস্যার সমাধান করা হয় ;
- সমস্যা সেট বা গুচ্ছের সাহায্যে যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় ;
- বৃহৎ আকারের সমস্যার সমাধান করা হয়।

(২) আধুনিক নলেজ-ইঞ্জিনিয়ারিং পদ্ধতিতে :

-সমস্যা সমাধানে বিশ্লেষণমূলক ও আংশিকভাবে সংশ্লেষণমূলক পদ্ধতি ব্যবহার করা হয় ;

- সমস্যা ভাষার দ্বারা প্রস্তাবিত হয় ;
- সমস্যার আকার খুব বেশি বড় হওয়া চলবে না।

২.৭ সমস্যার সমাধানে গণিতশাস্ত্রের ঐতিহাসিক ভূমিকা

গণিতশাস্ত্রের বয়স প্রায় চার হাজার বছর। উন্নততর প্রাণী এবং এমনকি মানবশিশুরা পর্যন্ত পারিপার্শ্বিক পৃথিবীতে যে দুটি অ্যাবস্ট্র্যাক্ট বাস্তবতা সম্বন্ধে ধারণা তৈরিতে সক্ষম তা হলো--কোনো সংখ্যা ও বস্তুর আকার। তাই অ্যারিথমেটিক্স বা পাটিগণিত ও জ্যামিতি ছিল বিজ্ঞান জগতের সর্বাপেক্ষা আদি দুটি ভাগ যার অনুধাবনই ছিল পাণ্ডিত্যের প্রকাশ। আদিমকালে মানুষের কাছে বিভিন্ন সংখ্যা সম্বন্ধে তত স্পষ্ট কোনো ধারণা ছিল না। তারা দুটি প্রায় একই ধরনের সম্ভার বা বস্তুসমষ্টির মধ্যে পার্থক্য নির্ধারণ করতে পারতো না কারণ তারা সংখ্যা বলতে এক, দুই এবং অনেক এই ধারণাই পোষণ করতো। ল্যাটিন ভাষায় অনেক বলতে বুঝায় "ত্রেস" (tres) যা পরে বিভিন্ন ভাষায় "তিন" রূপে চিহ্নিত হয়।

প্রাচীনকালে মহাকাশের তারকামণ্ডল মানুষের মনোযোগ খুব বিপুলভাবে আকর্ষণ করতো। তারা মহাকাশের তারকারাশির অবস্থান পরিবর্তন বিশেষভাবে লক্ষ্য করতো। কোনো কোনো সমাজে মানুষ প্রায় তিন হাজার বছর আগে চন্দ্র পঞ্জিকা ব্যবহার শুরু করে। এজন্য তারা চাঁদ দ্বারা এক সংখ্যাটি চিহ্নিত করে এবং মহাকাশের অন্যান্য দৃশ্যমান বস্তু দ্বারা অন্যান্য সংখ্যা চিহ্নিত করে। গণনাকাজ এবং ফলাফল নির্ধারণের প্রয়োজনীয়তা ক্রমান্বয়ে মানুষকে সংখ্যা চিহ্নিতকরণের উন্নততর ও সুবিধাজনক উপায় বের করতে অনুপ্রাণিত করে। লম্বভাবে বা সমান্তরালভাবে অঙ্কিত লাইনকে সিরিয়া, গ্রিস, দক্ষিণ আরব ও ভারতে প্রাচীনকালে "এক" সংখ্যা হিসেবে বিবেচনা করা হতো। পাঁচ, দশ বা বিশ সংখ্যাকে সমষ্টিগতভাবে কোনো চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করা হতো। এ সবই ছিল সমষ্টি বা যোগফলের অনুরূপে অনেকগুলি চিহ্নের পাশপাশি অঙ্কনের দ্বারা কোনো বিশেষ সমষ্টির প্রকাশ।

ব্যবিলনীয় সভ্যতায় ৬০-মাত্রিক সংখ্যা পদ্ধতির ব্যবহার গণনা প্রক্রিয়ায় চালু ছিল। এই পদ্ধতিতে ১, ১০, ৬০ এবং তারপর ৬০০, ৩৬০০ ইত্যাদি প্রকাশের জন্য বিশেষ চিহ্ন ব্যহার করা হতো। এই ব্যবিলনীয় সংখ্যা পদ্ধতি এখনও আমাদের গণনা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত হয়। যেমন সময়ের গণনা ৬০ সেকেন্ডে ১ মিনিট, ৬০ মিনিটে এক ঘন্টা ধরা হয়; কৌণিক মান মাপার ক্ষেত্রেও ৬০ মাত্রা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। অনেক সমাজে প্রচলিত ভাষার অক্ষরগুলিকেও সংখ্যা প্রকাশের মাধ্যম হিসেবে ব্যবহার করা হয়ে থাকে। অক্ষর দ্বারা সংখ্যা প্রকাশ ব্যবস্থায় শব্দে অক্ষরের অবস্থানের উপর তার মান নির্ভর করে। সংখ্যা দ্বারা অস্তিত্বমান বস্তুর পরিমাণ প্রকাশিত হলেও ক্রমান্বয়েই কোনো কিছুর অভাব বা 'কিছু না" এই ভাবটি প্রকাশ করার একটি মাধ্যমেরও ক্রমশ প্রয়োজনীয়তা অনুভূত হয়। "শূন্য" সংখ্যাটির উদ্ভব যে এই অভাববোধ থেকেই উৎপন্ন তাতে কোনো সন্দেহ নেই। প্রাচীন গ্রিসে "শূন্য" কে "0" চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা শুরু হয় যা নাকি "কিছুনা" এই শব্দটির গ্রিক প্রতিশব্দেরই (Ovδεν) প্রথম অক্ষর।

বর্তমান দশ ভিত্তিক গণনা পদ্ধতি প্রথম সৃষ্টি হয় ভারতে। পরবর্তীতে আরবীয় বণিকদের মাধ্যমে এই গণনা পদ্ধতিটি পশ্চিম ইউরোপীয় দেশগুলিতে বিস্তার লাভ করে। আরবীয় ভাষায় zifr কথাটির অর্থ শূন্য এবং এ থেকেই জিরো শব্দটির উৎপত্তি বলে ধারণা করা হয়।

মুদ্রণ পদ্ধতি আবিষ্কারের পর সংখ্যা পদ্ধতি মোটামুটি আধুনিককালীন রূপ লাভ করে। তবে বাস্তব সংখ্যা প্রকাশের নিমিত্তে ভাসমান কমা পদ্ধতির ব্যবহার শুরু হয় কেবল অষ্টাদশ শতাব্দীতে। অ্যারিথমেটিক্সের চারটি মূল অপারেশন যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ প্রাচীন মিশরীয়দের জ্ঞাত ছিল তবে এ ব্যাপারে তাদের প্রস্তাবনা পদ্ধতি ছিল অত্যন্ত জটিল। "+" চিহ্ন চালু হয় মধ্যযুগে ল্যাটিন শব্দ et (এবং) এর পরিবর্তীত রূপ হিসেবে। বিয়োগ চিহ্ন "–" চালু হয় ওজন মাপার প্রক্রিয়ায় ড্যাস চিহ্নের সাহায্যে কোনো কিছুকে বাদ দেয়ার প্রচলিত পদ্ধতি থেকে। মার্সেল কোয়েন "লিখন পদ্ধতি ও তার বিবরণ— গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার" নামক বইটিতে উল্লেখ করেন যে, + ও – চিহ্ন দুটি যোগ ও বিয়োগ শব্দ দুটিকে সংক্ষেপে লেখার প্রক্রিয়া থেকেই উদ্ভূত হয়। আধুনিক গুণ ও ভাগ চিহ্নগুলি কেবল সপ্তদশ শতাব্দীতেই চালু

হয়। ১৭শ খ্রিষ্টাব্দে সমান শব্দটি a চিহ্নটি দ্বারা আকাশের তারকারাশিতে একটি তারার সাথে আরেকটি তারার সমতা প্রকাশ করা হতো। "সমান" কথাটি ল্যাটিন শব্দ aequalis শব্দটি দ্বারা প্রকাশ করা হতো। পরে সেটি সংক্ষেপে ae এবং আরও পরে = চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা শুরু হয়। α চিহ্নটি দ্বারা বেশ কিছুকাল ১০০০ সংখ্যাটিকে প্রকাশ করা হতো। ১৬৬০ খ্রিষ্টাব্দে জর্জ ওয়েলস α চিহ্নটি দ্বারা অসীম সংখ্যাকে প্রকাশ পদ্ধতি চালু করেন।

এসব কিছু বর্ণনা করার অর্থ হলো এই যে, মানব সভ্যতা কেবল সংখ্যা পদ্ধতি চালু করতেই হাজার হাজার বছর ব্যয় করেছে। আধুনিক বিজ্ঞানের উদ্ভব মাত্র কয়েক শতাব্দী ধরে হচ্ছে। যদিও গণিতশাস্ত্রের উদ্ভব বহু হাজার বছর ধরে হচ্ছে, তার শৈশব কাল আমাদের সময় থেকে খুব বেশি দূরে নয়। কাজেই যখন মানবশিশুদের এমনকি প্রাপ্ত বয়স্ক মানুষেরও অঙ্কশাস্ত্রের বিভিন্ন ধারণাগুলি যথাযথভাবে অনুধাবন করতে কষ্ট হয় তখন তাতে আশ্চর্য হওয়ার কিছুই নেই কারণ মানব সভ্যতাকে বহু হাজার বছর অতিক্রম করতে হয়েছে কেবল সংখ্যা পদ্ধতি আবিষ্কার করতে। সংখ্যাপদ্ধতি হলো অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণা এবং যে কোনো ব্যাপারে অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণা তৈরি করা যথেষ্ট কঠিন।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মূল বিষয় হলো এই অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণাগুলির যথাযথভাবে প্রস্তাবনা। কোনো বিষয়ের প্রস্তাবনার অর্থ হলো সেই বিষয়ের সাধারণ বিষয়বস্তু বা বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্য থেকে তার মূল বৈশিষ্ট্যগুলিকে প্রকাশ করে তার বাস্তব মূল্যায়ন করা। এজন্য বৈশিষ্ট্যগুলিকে এমনভাবে প্রকাশ করা দরকার যেন সেগুলিকে নিয়ে প্রয়োজনমাফিক বিভিন্ন অপারেশন করা সম্ভব হয়। কাজেই কোনো বিষয়ের প্রস্তাবনার জন্য তার অনুধাবন প্রয়োজন অর্থাৎ তা বুঝা দরকার। বর্তমানকালে যখন জীববিদ্যা জীবন্ত জীনের সাহায্যে সেই বস্তুর উত্তরাধিকার সূত্রে প্রাপ্ত তথ্যের প্রকাশনার ব্যাপারে বেশকিছুটা এগিয়ে গেছে তখন নিউরোলজি ও সাইকোলজি মানুষের মস্তিষ্কে কোন তথ্য কিভাবে প্রস্তাবিত ও কোডকৃত তা জানার আদিম পর্যায়ে অবস্থান করছে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিজ্ঞানীরা এ ব্যাপারে তাদের সাহায্যে এগিয়ে এসেছেন।

খ্রিষ্টপূর্ব তৃতীয় শতাব্দীতে ইউক্লিডের সময় জ্যামিতিবিদরা অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণাগুলিকে বিভিন্ন অক্ষরের সাহায্যে প্রকাশ করা শুরু করেন। তৃতীয় শতাব্দীতে ম্যাপুস আলেক্সান্দ্রিস্কি এবং চতুর্থ শতাব্দীতে দিওফান্ত অজানা কোনো বস্তুকে কোনো অক্ষর বা চিহ্নের সাহায্যে প্রকাশ করার পদ্ধতি ব্যবহার শুরু করেন। চতুর্থ হেনরীর শাসনামলে ফ্রান্সের ফ্রাঁসোয়া বিয়েত সরকারি দলিলপত্র তৈরির জন্য রচিত "বিশ্লেষণ শিল্প" নামক প্রবন্ধে অক্ষর দ্বারা কোনো বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করার মাধ্যমেই প্রকৃতপক্ষে আধুনিক অ্যালজেবরার গোড়াপত্তন করেন। বিয়েতের প্রবন্ধে নিম্নলিখিত প্রকাশ দেখতে পাওয়া যায় :

H in D
–F in D
.....aequebitur A
F + D

এই প্রকাশনায় A ও D কোনো অজানা বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করে এবং in শব্দটি গুণন প্রক্রিয়া প্রকাশ করে। আধুনিক গণিতশাস্ত্রে এই প্রকাশনাটি প্রকাশ করা হয় এভাবে

$\frac{hd - fd}{f + d} = A$। বিয়েত সমীকরণ সমাধানের প্রক্রিয়ার ধারণাও সৃষ্টি করেন এভাবে : (F+D) ও (H–F) এর মধ্যে তেমন সম্পর্ক, যেমন সম্পর্ক D ও A এর মধ্যে।

সপ্তদশ শতাব্দীতে বিখ্যাত দার্শনিক ও গণিতবিদ ডিকার্ত এই সূত্রকরণ প্রক্রিয়াকে বিস্তৃত করেন। ডিকার্ত গাণিতিক মূল অপারেশনগুলির (যোগ, বিয়োগ, গুণন, ভাগ) চিহ্ন (+, –, *, /) গুলির প্রবর্তন করেন এবং অজানা বস্তুগুলিকে বর্ণমালার সর্বশেষ অক্ষরগুলির দ্বারা চিহ্নিত করার পদ্ধতি চালু করেন। "X" অক্ষরটির দ্বারা কোনো অজানা বস্তুর নামকরণ প্রকৃতপক্ষে আরবি শব্দ 'সেইজ' থেকে যার অর্থ 'কোনোকিছু'। ডিকার্ত চিহ্নকরণে গ্রিক অক্ষরগুলিকে বাদ দিয়ে সাধারণ ভাষার বর্ণমালার অক্ষরগুলির সাহায্যে চিহ্নকরণ প্রক্রিয়া চালু করেন। সবশেষে ডিকার্ত সংখ্যাবিজ্ঞান ও আকৃতিবিজ্ঞানকে সমন্বিত করে আধুনিক অ্যানালিটিকাল জ্যামিতির প্রবর্তন করেন। পরবর্তী শতাব্দীগুলিতে এই গণিত শাখার যথেষ্ট বিশ্লেষণ ও উৎকর্ষ সাধিত হয়।

সূচক এবং ডিগ্রি বা ধাপমানের প্রচলন হয় আরও পরে। অয়লার (Euler) (১৭০৭–১৭৮৩) x^3 প্রকাশের জন্য X*X*X ব্যবহার করেন। এবারিস্ট গাওলা প্রথম সূচক ব্যবহার পদ্ধতি চালু করেন। $\sum$ চিহ্নটির ব্যবহার প্রথম চালু করেন অয়লার। ফাংশনাল চিহ্নগুলির ব্যবহার চালু করেন লিবনিৎস ও বেবনুলি।

ফাংশনগুলিকে চিহ্ন দ্বারা প্রকাশের প্রক্রিয়ায় আজও কোনো একক পদ্ধতি সৃষ্টি হয় নি। প্রায়শই ফাংশন f ও কোনো x বিন্দুতে তার মান f(x) কে ওলট পালট করা হয়। এভাবে T + a(f) এর স্থানে অনেক সময় T + a(f(x)) লেখা হয়। এমনকি অনেক সময় কোনো ফাংশনের ডিফারেন্সিয়ালের সাথে তার মানের ওলট পালট হয়। এই ওলট পালট তাদের চিহ্নকরণে যথাযথ সর্বসম্মত পদ্ধতির অভাবের ফলেই হয়। এরকম ভুল বেশিরভাগ আংশিক ডিফারেন্সিয়ালের ক্ষেত্রেও ঘটে থাকে। সবচেয়ে বেশি ভুল বুঝাবুঝির সৃষ্টি হয় একটি ফাংশনকে তার আরগুমেন্টের মাধ্যমে প্রকাশের ক্ষেত্রে। যেমন যদি y কে সময়ের ফাংশন হিসেবে প্রকাশ করা হয় তবে লেখা হয় y(t)। আবার যদি y কে অবস্থানের ফাংশন হিসেবে প্রকাশ করা হয় তবে লেখা হয় y = f(x) । কিন্তু যদি বলা হয় ফাংশন y তবে বুঝার উপায় নেই তা সময় অথবা অবস্থানের ফাংশন। এই ধরনের চিহ্নকরণ প্রক্রিয়া যেমন পরস্পর অসামঞ্জস্যপূর্ণ তেমনি জটিল। উপরন্তু, প্রতিটি ফাংশনের জন্য আলাদা আলাদা চিহ্ন ব্যবহার করাও সম্ভব নয়।

১৯৫০ সালে চার্চ ও ব্যারিন λ– লিপির প্রস্তাব করেন। ঐ লিপি অনুসারে যদি কোনো প্রকাশনার আদিতে λx বসানো থাকে তবে তা x–এর ফাংশনে পরিবর্তিত বা রূপান্তরিত হয়। অর্থাৎ x–এর রৈখিক বা লিনিয়ার প্রকাশ করা যায় λx (ax + b) হিসেবে। এভাবে ফাংশন প্রকাশ করার ফলে ভুলবুঝাবুঝির অবসান ঘটানো সম্ভব। এই ধারণার ভিত্তিতেই

১৯৬৩ সালে ম্যাকার্থী LISP নামক প্রোগ্রাম ভাষাটির সৃষ্টি করেন। সিম্বলিক লজিক ও সেট উপপাদ্যের উৎপত্তিও খুব বেশি দিন হলো হয় নি। ১৮৯১ সালে পেয়ানো ভুক্তি চিহ্ন $\in$ এর প্রবর্তন করেন। $x \in A$ এর অর্থ হলো A এর একটি এলিমেন্ট বা উপাদান হলো x। প্রথমদিকে অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন হিসেবে $\propto$ এবং $<$ ব্যবহৃত হলেও পরবর্তীতে ১৯২০ সালে হাউসফোর্ড $\subset$ কে অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন হিসেবে প্রবর্তন করেন। অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন হিসেবে $\subset$ এর সাথে ছেদন চিহ্ন $\cap$, সংযোজন চিহ্ন $\cup$ ও ইম্প্লিকেশন চিহ্ন বা আর্থিক চিহ্ন $\supset$ হিসেবে সর্বস্বীকৃতি লাভ করে। অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন $\subset$ ও আর্থিক চিহ্ন $\supset$ বিপরীতভাবে লেখা হলেও তাদের অর্থ বিপরীতধর্মী নয়। যেমন যদি $E \subset B$ হয় তবে $(x \in E) \supset (x \in B)$ অর্থাৎ E যদি B এর অন্তর্ভুক্ত হয় এবং x যদি E এর একটি উপাদান হয় তবে x হচ্ছে B এরও একটি উপাদান। গিলবার্ট আর্থিক বা ইম্প্লিকেশন চিহ্ন হিসেবে "$\rightarrow$" কে ব্যবহার করেন। কিন্তু এই চিহ্নটি প্রতিবিম্ব চিহ্ন বা অনুলিপি চিহ্ন হিসেবেও অনেক সময় ব্যবহৃত হয়। আধুনিককালে আর্থিক চিহ্ন হিসেবে $\Rightarrow$ চিহ্নটি ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। এক নজরে যেন যুক্তিসঙ্গত ধারণা করা সম্ভব হয় তাই সেট বা গুচ্ছকে বৃত্তাকারে প্রকাশ করার পদ্ধতিটিকে ভেন ১৮৩৪–১৯২৩) ডায়াগ্রাম নামে অভিহিত করা হয়। লুইস হকবোল অন্য এক ধরনের ডায়াগ্রামের প্রস্তাব করেন যা পরে বুলিয়ান অ্যালজেবরাতে প্রয়োগ লাভ করে। $\cup$ এবং $\cap$ চিহ্ন দুটির অনুকরণে লজিকের ভাষায় $\vee$ (অথবা) $\wedge$ (এবং) চিহ্ন দুটির প্রচলন হয়। কোনো বিষয়বস্তুর নেতিবাচক কখনও "--" বা কখনও "~" এই চিহ্নগুলির বিষয়বস্তুর প্রকাশনার উপরে বা নিচে ব্যবহারের প্রচলন প্রাথমিকভাবে হয়। তবে ১৯৩৭ সালে হাইটিঙ্গ কর্তৃক প্রবর্তিত চিহ্ন $\neg$ নেতিবাচক চিহ্ন হিসেবে বর্তমানে ব্যাপকভাবে প্রচলিত আছে। "কোয়ান্টার" হিসেবে পরিচিত $\exists$ (কোনো কিছুর অস্তিত্ব চিহ্ন) পেয়ানো এবং $\forall$ (সকল সদস্যের জন্য প্রযোজ্য সূচক চিহ্ন) রাসেল ও হোয়াইটহেড সূচনা করেন।

গণিতবিদ্যাকে অনেকে কেবল গাণিতিক ভাষা হিসেবে বিচার করলেও যেহেতু গণিতবিদ্যার মূল লক্ষ্য হলো সমস্যার সমাধান তাই বিভিন্ন ধরনের সমস্যাকে যথাযথভাবে প্রস্তাবনার সমস্যাকে প্রকাশ করা এবং যুক্তিযুক্তভাবে তার সাহায্যে সমাধানের উপায় বের করার জন্য সুবিধাজনকভাবে সমস্যাকে চিহ্নিতকরণ প্রক্রিয়া গণিতবিদ্যার উৎপত্তির সাথে সাথেই শুরু হয়। কিন্তু কোনো সমস্যাকে সাধারণ কথায় প্রকাশ করার ক্ষেত্রে যেমন সমস্যাকে ভুল বুঝার সম্ভবনা যথেষ্ট থাকে ঠিক তেমনিই সমস্যাকে প্রকাশ করার জন্য যথাযথ চিহ্ন ও তার প্রয়োগ পদ্ধতি সর্বস্বীকৃত না হলে সেখানেও ভুল বুঝাবুঝির পরিমাণ কম হয় না। তাই বর্তমানে চেষ্টা করা হচ্ছে গাণিতিক চিহ্ন পদ্ধতিতে বিশ্বব্যাপী সর্বজনীন স্বীকৃত পদ্ধতি চালু করার।

বাস্তবক্ষেত্রে অনেক সময় "=" চিহ্নটি ব্যবহারে ভুল বুঝাবুঝির সৃষ্টি হয়। যেমন : $(a-b)^2 = a^2 + b^2 - 2ab$ এই প্রকাশনায় "=" চিহ্নটি প্রকৃতপক্ষে 'সমার্থক' এই কথাটিই প্রকাশ করে কারণ সমান বলতে প্রকৃতপক্ষে "=" চিহ্নটির উভয় দিকের মান, আকার ও গঠন ইত্যাদি সকল বৈশিষ্ট্যই একই ধরনের বুঝাবে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তা নয়।

সাধারণ ভাষা থেকে কোনো তথ্য বা সংজ্ঞা গাণিতিক ভাষায় রূপান্তরিত করার সময় অনেক বেশি সুনির্দিষ্টতা ও বিশুদ্ধতা অবলম্বন করতে হয়। যেমন সাধারণ ভাষায় প্রচলিত তথ্য সংজ্ঞা— "একটি সমকোণী ত্রিভুজ হলো সেই ত্রিভুজ যার একটি কোণ সমকোণ"। এই সংজ্ঞায় প্রথম শব্দ "একটি" বলতে সকল সমকোণী ত্রিভুজকেই বুঝায়। কিন্তু দ্বিতীয় "একটি" শব্দ দ্বারা কেবল "এক" সংখ্যাটিকেই বুঝায়। ঠিক একইভাবে "হয়", "বুঝায়", "সংযুক্ত" ইত্যাদি শব্দগুলি কোনো সংজ্ঞাকরণে যথেষ্ট সুনির্দিষ্টভাবে সংজ্ঞায়িত থাকে না।

সংযোগ শব্দ "অথবা" কোনো কোনো ক্ষেত্রে ইনক্লুসিভ (অন্তর্ভুক্ত) হিসেবে এবং কোনো কোনো ক্ষেত্রে এক্সক্লুসিভ (বহির্ভুক্ত) হিসেবে ব্যবহৃত হয়। যেমন "সাদা অথবা কালো" –এই প্রকাশনায় বহির্ভুক্তি প্রকাশ পাচ্ছে কেননা সাদা এবং কালো সম্পূর্ণ বিপরীতধর্মী। কিন্তু "অল্প অথবা বেশি"–এই প্রকাশনায় অল্প ও বেশি খুবই আপেক্ষিক ধারণা কারণ কোনো পরিমাণকে অবস্থা বিশেষে অল্প অথবা বেশি উভয়ই বলা যেতে পারে। কাজেই এখানে "অথবা" শব্দটি দুটি বিষয়বস্তুকে অনেকটা মিলিয়ে ফেলেছে বিধায় তা ইনক্লুসিভ।

শিক্ষা পদ্ধতির প্রাথমিক স্তরে যে গাণিতিক ধারণার পত্তন করা হয় তাতে শিশুদের অনুসরণ ক্ষমতা যথেষ্ট বাধাপ্রাপ্ত হয়। যেমন গুণন তালিকায় লিপিবদ্ধ সকল ফলাফল শিশুদের মধ্যে সত্যিকারভাবে গুণন প্রক্রিয়াটি কি তা প্রকাশ করে না। ফলে শিশুদের মধ্যে মুখস্থ প্রবণতাই বেশি দেখা যায়। কিন্তু যাদের স্মৃতিশক্তি তত প্রবল নয় তারা এই গুণন প্রক্রিয়া মনে রাখতে পারে না। ফলে তাদের মধ্যে ধারণা জন্মে যে অঙ্কশাস্ত্র অত্যন্ত কঠিন। যদি একজন প্রাথমিক স্তরের ছাত্রকে জিজ্ঞাসা করা হয় যে, "n" যদি একটি পূর্ণ সংখ্যা হয় তবে তার পরবর্তী পূর্ণ সংখ্যাটি কি হবে? "ছাত্রের উত্তর হবে "0"। কারণ পূর্ণসংখ্যা যে কোনো বর্ণাক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা যায় এবং তা করলে সংখ্যারাশির সাথে বর্ণমালার কি সম্পর্ক তা ছাত্রের পক্ষে অনুধাবন করা কঠিন। ঠিক তেমনি যদি বলা হয় যে– – ধরা যাক, "ক" হলো একটি স্বরবর্ণমালার গুচ্ছ বা সেট। তাহলে ছাত্ররা স্বভাবতই প্রশ্ন করবে—"ক" কিভাবে স্বরবর্ণ হয়?

তাহলে দেখা যাচ্ছে যে, চলতি ভাষা থেকে গাণিতিক ভাষায় রূপান্তর তত সহজ কাজ নয়। তাই বিজ্ঞানের যে কোনো শাখার একটি নিজস্ব ভাষা গড়ে উঠে যে ভাষায় পরিপূর্ণ দখল আনতে না পারলে সেই বিজ্ঞান শাখার বিভিন্ন ধারণাগুলি অনুধাবন ও প্রকাশ করা কঠিন। যে কোনো বিজ্ঞান শাখার কোনো ধারণা সৃষ্টিতে তাই যে পদ্ধতি ব্যবহার কার হয়—তার নাম মডেলিং। এই মডেল হচ্ছে বাস্তব অবস্থার অনুকরণে কোনোকিছুর সূত্রীবদ্ধ ধারণা। কিন্তু মডেল তৈরির কাজটিও সহজ নয়। তৈরিকৃত মডেলে অনেক বাস্তব তথ্যই অন্তর্ভুক্ত থাকে না।

গাণিতিক ভাষাতেও অনেক তথ্যই সুস্পষ্টভাবে প্রকাশিত হয় না—অনেক তথ্যই প্রচ্ছন্ন থাকে। এই প্রচ্ছন্ন তথ্য গতানুগতিক বা প্রচলিতভাবে স্বীকৃতি থেকেই প্রাপ্ত হয়। যেমন x,y,z দ্বারা অজানা বিষয়বস্তু প্রকাশ করা হয় ; i,j,k,l,m,n,p,q, দ্বারা পূর্ণ সংখ্যা

প্রকাশ করা হয়; r,s,t দ্বারা বাস্তব সংখ্যা প্রকাশ করা হয়, a, b, q, f গ্রিক বর্ণরাশি দ্বারা জ্যামিতিক কোণগুলি চিহ্নিত করা হয়, f,g,h দ্বারা ফাংশন প্রকাশ করা হয়; সেট বা গুচ্ছ বড় হাতের অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়, e,g,p এই অক্ষরগুলি দ্বারা বিশেষ বিশেষ মান প্রকাশ করা হয়। এই প্রচ্ছন্ন অক্ষর ধারণা ছাড়াও এমন কিছু অপ্রকাশিত তথ্য বা সম্পর্ক বিদ্যমান, যা ঐ ভাষার চর্চার মাধ্যমেই গড়ে উঠে।

এবারে দেখা যাক, গণিতবিদ্যা শিক্ষার ঐতিহাসিক ধারা কিভাবে গড়ে উঠেছে। খ্রিষ্টপূর্ব পঞ্চম শতাব্দীতে সক্রেটিসের স্কুল, খ্রিষ্টপূর্ব চতুর্থ শতাব্দীতে প্লেটোর স্কুল, খ্রিষ্টপূর্ব তৃতীয় শতাব্দীতে ইউক্লিডের স্কুল গণিত ইতিহাসে বিশেষ স্থান দখল করে আছে। ইউক্লিডের "জ্যামিতির মৌলতত্ত্ব" বহু বছর ধরে সুসংগঠিত নিয়ম ও ধারণার উদাহরণ হিসেবে প্রচলিত থাকে। ২৯০ খ্রিষ্টাব্দে পাপুস আলেক্সান্দ্রিস্কি তাঁর "গাণিতিক সংকলন" বইটি প্রকাশ করেন। আর ৩৫০ খ্রিষ্টাব্দে দিওফান্ত তাঁর "অ্যারিথমেটিক" বইটি প্রকাশ করেন। প্রাচীন গ্রিসের এই বিপুল গাণিতিক উন্মেষের পর দীর্ঘকাল আর ইউরোপে গণিতবিদ্যায় তেমন কোনো উল্লেখযোগ্য উন্নতি সাধন হয় নি। পরবর্তীতে ইতালীয়ানরা এ ব্যাপারে এগিয়ে এসে সঠিক বিজ্ঞান ও গণিতবিদ্যায় নতুন জাগরণী অধ্যায় শুরু করে।

গণিতশাস্ত্রের প্রাথমিক স্তরে দার্শনিকরাই মূলত এর চর্চা করে থাকতো। দর্শনের শিক্ষকরাই গণিতবিদ্যা শিক্ষা দিত। অবশ্য কিছু কিছু ক্ষেত্রে যেমন-- আর্কিটেকচার, জ্যোতির্বিদ্যা, নেভিগেশন, সামরিক প্রযুক্তিতে ক্রমান্বয়ে গণনার প্রয়োজনবোধে গণিতের শিক্ষা বিস্তার লাভ করে।

ফরাসি বিপ্লবের পর শিক্ষাব্যবস্থার মধ্যে ব্যাপক পরিবর্তন সাধিত হয়। এই পরিবর্তনের ফলে সঠিক বিজ্ঞান চর্চায় বিপুল সংখ্যক জনগণের অংশগ্রহণ সম্ভব হয়। গণিতশাস্ত্রের শিক্ষা প্রক্রিয়ায় দশমিক পদ্ধতি চালু হয়। প্রযুক্তিগত শিক্ষার ক্ষেত্রে ব্যাপক জনগণের অংশগ্রহণের ফলে গণিতশাস্ত্র তার তাত্ত্বিক বেড়াজাল ভেঙ্গে ক্রমান্বয়ে প্রযুক্তির ক্ষেত্রে প্রয়োগ সম্ভাবনা নিয়েই বিজ্ঞানীদের বেশি মনোযোগ আকর্ষণ করে।

২.৮ ধারণা

মানুষের মস্তিষ্ক তার পারিপার্শ্বিকতাকে বা বাস্তবতাকে এক একটি মডেল হিসেবেই গ্রহণ করে অর্থাৎ তার পঞ্চেন্দ্রিয়ের দ্বারা মানুষ বাস্তব বিষয়বস্তু সম্বন্ধে তার মস্তিষ্কে একটি নিজস্ব ধারণা তৈরি করে এবং এই ধারণাই সেই বস্তুর অস্তিত্ব সম্বন্ধে তার মস্তিষ্কে তথ্য সংরক্ষণ করে। পারিপার্শ্বিক বাস্তবতার মডেল মস্তিষ্কে কিভাবে সিগনাল আকারে কোডকৃত ও স্মৃতিতে রক্ষিত হয়—সেই ফিজিওলজিক্যাল মেকানিজম আজও মানুষের যথার্থ বোধগম্য নয়। কে. লরেন্সের মতে মস্তিষ্কে রক্ষিত সকল তথ্যই দর্শন প্রক্রিয়ার মাধ্যমেই সৃষ্ট। তাঁর যুক্তি হলো যে, মানুষ যদি আদিকাল থেকেই কোনো দৃষ্টিশক্তির অধিকারী না হতো তবে বস্তুর জগৎ সম্বন্ধে মানুষের ধারণা এখন যেভাবে সৃষ্টি হয়েছে, তখন তা থেকে পৃথক ধরনের হতো। দর্শনেন্দ্রিয় ব্যতিরেকে কোনো বস্তু সম্বন্ধে পূর্ব মডেল তৈরি সম্ভব নয়। তবে আমরা যা দেখি সেই দেখার মধ্যে কতটুকু বাস্তবতা বিদ্যমান, তা নিয়েও আজকাল

বিজ্ঞানীরা বেশ গবেষণা করছে। মানুষ একটি বস্তুকে একদিক থেকে দেখে তার সম্বন্ধে যে ধারণা-মডেল তৈরি করে, বস্তুটি অন্যদিক থেকে দেখলে তার সম্বন্ধে অন্য ধারণা-মডেল তৈরি হয়। উদাহরণস্বরূপ, কোনো গোলক বস্তুকে দূর থেকে দেখলে তার সম্বন্ধে একটি সমতল বৃত্তাকৃতির থালার ধারণার সৃষ্টি হবে। তাই বেশিরভাগ মানুষই কোনো নতুন বস্তু পেলে সেটি চারপাশ ঘুরিয়ে দেখে—তার সম্বন্ধে পুরাপুরি ধারণা-মডেল তৈরির উদ্দেশ্যে। ধারণা-মডেল তৈরিতে যে দর্শনেন্দ্রিয়ের প্রভাব অত্যন্ত ব্যাপক, তা চলতি ভাষায় ব্যবহৃত অনেকিছু শব্দকে সমার্থক ধরার মাধ্যমেই প্রকাশ পায়। যেমন, দৃষ্টিভঙ্গি ও ধারণা ; অন্ধকারাচ্ছন্নতা ও গোপনীয়তা; স্বচ্ছতা ও অগোপনীয়তা ইত্যাদি।

কোনো বিষয়বস্তু সম্বন্ধে অ্যাবস্ট্রাক্ট বা কাল্পনিক ধারণা উন্নত প্রাণী বা মানুষের দ্বারাই শুধু সম্ভব। কিন্তু এই অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণা সৃষ্টির ক্ষমতা মানুষের জন্মের সাথে সাথেই হয় না, মানুষকে শৈশবকাল থেকেই দীর্ঘসময় চর্চার মাধ্যমেই এই ক্ষমতার উন্নয়ন সাধন করতে হয়। বৈজ্ঞানী পিয়াজের মতে মানুষের ওজন ও আয়তন সম্বন্ধে অভ্যন্তরীণভাবে ধারণা সৃষ্টি হয় তার ১০বছর বয়সের দিকে। অবশ্য অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণা তৈরির এই ক্ষমতা মানুষকে ক্রমান্বয়ে বাস্তবতা থেকে দূরে সরিয়ে নিয়ে যায়। তাই কল্পনাপ্রবণ মানুষেরা বাস্তব জগতের সাথে তাল মিলিয়ে চলতে পারে না।

মানুষের অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণাকে বাস্তবরূপ দেয়ার উদ্দেশ্যেই মানুষকে বিভিন্ন অক্ষরমালা, সঙ্গীতের নোট, গাণিতিক সূত্রের আবিষ্কার করতে হয়েছে। চিত্রকলা বা বিভিন্ন শিল্পকর্মে মানুষের বিভিন্ন অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণারই প্রতিফলন দেখতে পাওয়া যায়। সেই অর্থে আমরা বলতে পারি যে, অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণাকে মানুষ গ্রাফিকাল পদ্ধতিতেই প্রস্তাব (represent) করতে সুবিধাজনক মনে করে।

২.৯ গাণিতিক প্রকাশনা পদ্ধতি

সকল ধরনের লিখন পদ্ধতিতেই কিছু চিহ্ন বা সংকেত বিদ্যমান যেগুলি কোনো বস্তুকে বা বিষয়বস্তুকে চিহ্নিত করার কাজে ব্যবহৃত হয়। কিছু চিহ্ন বা সংকেত বিদ্যমান যা বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক বা সংযোগ সাধনের নিমিত্তে বা বস্তুগুলির অবস্থা পরিবর্তনের প্রক্রিয়া পরিস্ফুট করার কাজে ব্যবহৃত হয়। দ্বিতীয় চিহ্নগুলিকে বলা হয় অপারেটর। $x + y - 2$ এই প্রকাশনায় x ও y দ্বারা দুটি বস্তু চিহ্নিত করা হয়েছে আর + ও –চিহ্ন দুটি অপারেটর চিহ্ন হিসেবে ব্যবহৃত হয়েছে। অপারেটরগুলিকে বেশ কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায় : যেমন + ও – অপারেটর দুটি অনেকগুলি বিষয়বস্তুকে সম্পর্কিত করতে পারে। $\in, \subset, \cup, \cap, \wedge, \vee$ এই অপারেটরগুলি কেবল দুটি বিষয়বস্তুকেই সম্পর্কিত করতে পারে। তাই এই অপারেটরগুলিকে বাইনারি অপারেটর বলা হয়। $\sqrt{}$, log, sin, cos ইত্যাদি অপারেটরগুলি কেবল একটি বিষয়বস্তু নিয়েই কাজ করে তাই তাদের ইউনারি অপারেটর বলা হয়ে থাকে। IF, THEN, ELSE এই অপারেটগুলি প্রোগ্রাম ভাষায় প্রায়শই ব্যবহৃত হয়। যদি কোনো অপারেটর n সংখ্যক বিষয়বস্তুকে সম্পর্কিত করে তবে তাকে n-মাত্রিক অপারেটর বলা হয়।

কয়েকটি বিষয়বস্তুকে যথাযথভাবে অপারেটরের সাহায্যে সংযুক্ত করে সেই প্রকাশনাটির দ্বারা প্রকাশিত তথ্যকে একটি নতুন বিষয়বস্তু হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। এই নতুন বিষয়বস্তুটিকে আবার কোনো অপারেটরের দ্বারা অন্যান্য বিষয়বস্তুর সাথে সংযুক্ত করে আরেকটি নতুন বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করতে পারি। এভাবে n সংখ্যক টার্ম বা বিষয়বস্তুর সাথে অন্য একটি টার্ম বা বিষয়বস্তুর সংযোগ প্রক্রিয়াকে রিকার্সিভ প্রক্রিয়া বলা হয়। রিকার্সিভ প্রক্রিয়ায় অবশ্যই কিছু বিষয়বস্তু পূর্বাহ্নেই প্রদত্ত হতে হবে। এই প্রদত্ত বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে কিছু বিষয়বস্তু অন্য কিছু বিষয়বস্তু দ্বারা পরিবর্তনযোগ্য ও কিছু বিষয়বস্তু অপরিবর্তনযোগ্য বা কনস্ট্যান্ট থাকে। উদাহরণস্বরূপ, $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ এই প্রকাশনাটিতে sin, cos, 2,1 এই বিষয়বস্তুভিত্তিক চিহ্নগুলি অপরিবর্তনযোগ্য কিন্তু x হচ্ছে পরিবর্তনযোগ্য বিষয়বস্তু।

২.১০ রৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি

পুস্তক মুদ্রণের সাথে সাথে ইউরোপীয় গাণিতিক লিখনপদ্ধতি বাম থেকে ডানে অনুসরণ করে। এই লিখন পদ্ধতিকে রৈখিক লিখন পদ্ধতি বলা হয়। এই পদ্ধতিতে অপারেটরগুলিকে তিনভাবে ব্যবহার করা যেতে পারে—টার্ম বা বিষয়বস্তুগুলির পূর্বে, পরে বা মধ্যস্থলে। এই তিন পদ্ধতিতেই বর্তমানে অপারেটরগুলি ব্যবহার করা হয় তবে তাদের ব্যবহার প্রক্রিয়া একই ধরনের নয়।

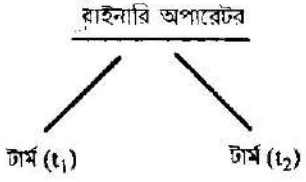
সর্বাপেক্ষা সাধারণভাবে প্রচলিত গাণিতিক লিখন পদ্ধতিতে অপারেটরগুলি টার্মের মধ্যে ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিকে ইনফিক্সড পদ্ধতি বলা হয়। এই পদ্ধতিতে গঠনের ও বোধগম্যতার সুবিধার্থে ব্রাকেট চিহ্নগুলি (), {}, [] ব্যবহার করা হয়। এই ব্রাকেটচিহ্নগুলি মূল অপারেটর চিহ্নের অন্তর্ভুক্ত নয়। ব্রাকেটগুলি মূলত ব্যবহার করা হয়ে থাকে দ্বৈতার্থতা দূরীকরণে ও বৃহৎ প্রকাশনাগুলিকে ছোট ছোট ভাগে বিভক্ত করার উদ্দেশ্যে। উদাহরণস্বরূপ, a−b+c এই প্রকাশনাটিকে অ্যালজেব্রাতে (a−b)+c হিসেবে বিচার করা হয়, a−(b+c) হিসেবে নয়। অ্যানালিটিকাল গণিতে কিছু কিছু অপারেটরের অ্যাসোসিয়েটিভ ও কমুটেটিভ বৈশিষ্ট্যগুলি স্বতঃসিদ্ধ হিসেবেই গ্রহণ করা হয়। যেমন : অপারেটর "+" ও "*" এর ক্ষেত্রে। উদাহরণস্বরূপ, 4 * x*b = x* 4*b = b*x*4 = b*4*x ধরা হয়। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই গুণন চিহ্ন "*" উহ্য থাকে।

গণিতবিদ্যায় ইউনারি অপারেটরগুলি লেখার জন্য বিভিন্ন চিহ্ন বিভিন্নভাবে ব্যবহার করার পদ্ধতি প্রচলিত আছে। sin A, cos A.....e^t, dx/dt, F!|G! ইত্যাদি। বিষয়বস্তুর পূর্বে মাইনাস (−) চিহ্ন ব্যবহার ও মাইনাস (−) চিহ্নকে মাইনাস অপারেটর হিসেবে ব্যবহার করার পদ্ধতি চালু থাকায় এই মাইনাস (−) চিহ্নটিকে একই সাথে ইউনারি ও বাইনারি চিহ্ন বা অপারেটর হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে। গাণিতিক ভাষায় চিহ্নগুলির ব্যবহার পদ্ধতিতে আজও পুরাপুরি একক পদ্ধতি সবক্ষেত্রে চালু করা সম্ভব হয় নি। তাই গাণিতিক প্রকাশনাগুলিতেও অনেক ক্ষেত্রেই দ্বৈতার্থতার উদ্ভব হয়।

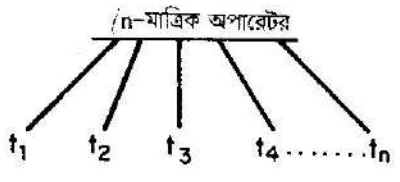
গাণিতিক লজিকে অপারেটরগুলিকে প্রিফিক্স হিসেবে বা বিষয়বস্তুর পূর্বে ব্যবহার করার পদ্ধতিই প্রচলিত আছে। এই পদ্ধতিতে "x অপারেটর y" এর পরিবর্তে "অপারেটর xy" লেখা হয়। যেমন "x + y" এর পরিবর্তে লেখা হয় " + xy"। এখানে অপারেটরটি সেই বিষয়বস্তুর পূর্বে ব্যবহার করা হয়, যে বিষয়বস্তুটি ঐ অপারেটরটি দ্বারা পরিবর্তিত বা পরিচালিত হয়। এভাবে ব্রাকেট ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা দূর করা হয় এবং প্রতি টার্মের পূর্বে অপারেটর ব্যবহারের ফলে সেই প্রকাশনায় সুস্পষ্টতা বৃদ্ধি পায়। উদাহরণস্বরূপ, ইনফিক্স ফর্মে লিখিত $(p \supset q) \supset p$ প্রকাশনাটি প্রিফিক্স ফর্মে ⊃⊃pqp হিসেবে লিখিত হবে। ইনফিক্স ফর্মে লিখিত $\log (y + \sqrt{y^2 - b/\sin x}$ এই প্রকাশনাটি প্রিফিক্স ফর্মে log + y√−↑y2/bsin x হিসেবে লিখিত হবে।

২.১১ অরৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি

রৈখিক লিখন পদ্ধতিতে লিখিত কোনো প্রকাশনা এক নজরেই কোনো ধারণার সৃষ্টি করে। কারণ এই পদ্ধতিতে প্রকাশনার সকল টার্মকেই একই গুরুত্বের মনে হয়। প্রকৃতপক্ষে এক্ষেত্রে প্রকাশনার কিছু টার্ম ভ্যারিয়েবল্, কিছু টার্ম কনস্টান্ট, কিন্তু কিছু টার্ম এর কোনোটিই নয়। প্রকাশনায় অপারেটরগুলিও একই ধরনের নয়। তাই অরৈখিক পদ্ধতিতে এই অস্পষ্টতা দূরীকরণে গ্রাফের সাহায্য নেয়া হয়। যেমন :



চিত্র : ২.৭



চিত্র : ২.৮

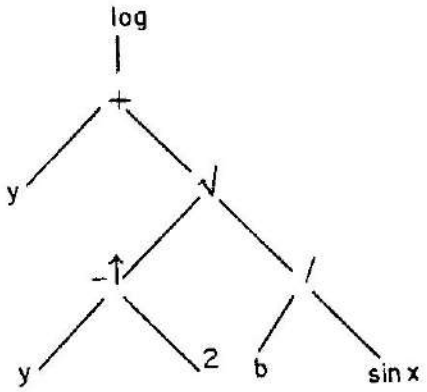
এই ধরনের গ্রাফকে ট্রি বলা হয়। ট্রি–এর সাহায্যে আমাদের পূর্ববর্তী রৈখিক প্রকাশনায় ব্যবহৃত উদাহরণটিকে নিম্নভাবে প্রকাশ করা যায় :

অরৈখিক পদ্ধতিতে লিখনকে তিনভাগে ভাগ করা যায়। যেমন :

(১) প্রিফিক্স ফর্ম : ট্রি–তে লিখনগুলিকে উপর থেকে নিচের দিকে এবং বাম থেকে ডানের দিকে পড়া হয়।

(২) পোস্টফিক্স ফর্ম : ট্রি–তে নিচ থেকে উপরের দিকে এবং ডান থেকে বামের দিকে লিখনগুলিকে পড়া হয়।

(৩) ইনফিক্স ফর্ম : ট্রি–তে একই সমান্তরাল লাইনে আপতিত চিহ্নগুলিকে ব্রাকেটের আওতায় নিয়ে উপর থেকে নিচের দিকে সমান্তরাল লাইনগুলি বিচার করা হয়।



চিত্র ২.৯ : প্রিফিক্স ফর্মে log + y√ ↑ y,/bsin x হিসেবে লিখিত প্রকাশনাটির ট্রি-রূপ।

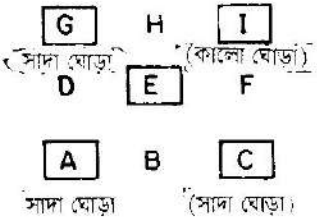
দেখা যাচ্ছে যে, কোনো প্রকাশনার জন্য সর্বাপেক্ষা সুবিধাজনক পদ্ধতি হলো সেই পদ্ধতি যাতে প্রকাশনাটিকে নিয়ে পরবর্তীতে কাজ করা যায়। গণিতে এক টার্মের স্থানে অন্য টার্মের ব্যবহার, দুটি টার্মের সংযোগ বা কোনো টার্মের অপসারণ কাজগুলিই মূলত সম্পাদন করা হয়। অরৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতিতে ট্রি-এর সাহায্যে এই অপারেশন কাজগুলি করা যথেষ্ট সহজতর। একটি ট্রি-এর মধ্যে বিভিন্ন শাখা প্রশাখাগুলিকে স্থানান্তর করা বা অপসারণ করা সহজতর, এক্ষেত্রে সমস্ত ট্রি-টিকে পুনরায় প্রকাশ করতে হয় না। কিন্তু রৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতিতে এই অপারেশন করার পর সমস্ত প্রকাশনাটিকে পুনরায় পরিবর্তিত আকারে লিখতে হয়।

২.১২ সমস্যার সাধারণকরণ

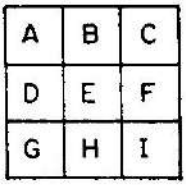
সঠিকভাবে কোনো সমস্যা ও তার সমাধানের পথ প্রস্তাবনাই হচ্ছে সমস্যাটির সমাধান প্রক্রিয়ার মূল অংশ। অনেক সমস্যার প্রস্তাবনার জন্য যে মানুষের মস্তিষ্ক গণনাক্রিয়ারই শুধু প্রয়োজন হয় তা নয়, এর সাথে দৃষ্টিশক্তি ও অন্যান্য অনুভব শক্তির ব্যবহারও আমরা সচরাচর করে থাকি। যদিও সমস্যার প্রস্তাবনার কোনো একক সুনির্দিষ্ট পদ্ধতি নেই, তথাপি যতদূর সম্ভব এই পদ্ধতিগুলিকে সাধারণকরণ করা সম্ভব হলে সমাধান প্রক্রিয়াও যথেষ্ট সহজতর হবে। এবারে তাহলে দেখা যাক, একটি বিশেষ সমস্যার সাধারণকরণ কিভাবে করা যেতে পারে—

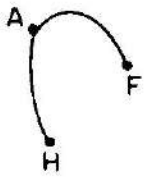
দাবা খেলার চারটি ঘোড়ার সমস্যা : সমস্যা-সমাধান প্রক্রিয়ায় দাবা খেলা বিশেষ স্থান দখল করে আছে। অনেক মাথাভাঙ্গা সমস্যা এই দাবা খেলার সাথে সম্পর্কিত। একই

সঙ্গে এই খেলায় প্রয়োজন অত্যন্ত সুষ্ঠু প্রস্তাবনা প্রক্রিয়া। প্রদত্ত সমস্যাটি হচ্ছে—কিভাবে সবচেয়ে কম চালে দুটি কালো ঘোড়া ও দুটি সাদা ঘোড়া তাদের স্থান পরিবর্তন করবে। এই সমস্যায় তিন বাই তিন আকারের দাবা টেবিল ব্যবহার করা হয়েছে। প্রথম চিত্রে ঘোড়াগুলির প্রারম্ভিক অবস্থান দেখানো হয়েছে। আমরা জানি যে দাবা খেলায় ঘোড়ার চাল হয় এক ধাপ সমান্তরালভাবে এবং দুইধাপ লম্বভাবে অথবা বিপরীতক্রমে দুইধাপ সমান্তরালে এবং এক ধাপ লম্বভাবে। সমস্যাটির সমাধানের জন্য সাধারণভাবে সকলেই চেষ্টা করবে সমস্যাটিকে দাবার টেবিলেই সমাধান করার। মানুষের সাধারণ ইন্টুইশনের সাহায্যে সহজেই বলা যেতে পারে যে এই সমস্যাটি সমাধানের পথ অনেক তবে আমাদের উদ্দেশ্য হচ্ছে যে, সমস্যাটির এমন একটি মডেল সমাধান নির্ধারণ করা যেটিকে সমস্যার সাধারণ সমাধান বলা যাবে।



চিত্র ২.১০ : প্রারম্ভিক অবস্থান।



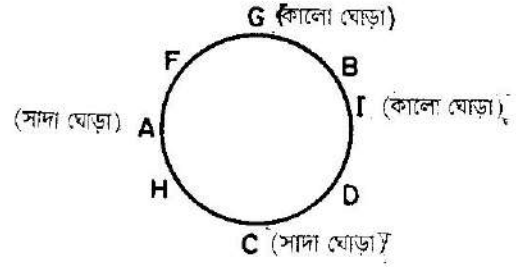


চিত্র ২.১১ : ঘোড়ার চালের সাধারণকরণ।

সমস্যাটির সমাধানে প্রকৃতপক্ষে দাবার টেবিল কোনো মুখ্য ভূমিকা রাখে না, সমাধানে মূল ভূমিকা রাখে অবস্থান পরিবর্তন প্রক্রিয়ায় চালগুলির মধ্যে সম্পর্ক। অতএব আমরা ঘোড়াগুলির সম্ভাব্য অবস্থাগুলিকে কিছু চিহ্ন বা সিম্বল দ্বারা চিহ্নিত করতে পারি। প্রদত্ত প্রথম চিত্র থেকে আমরা দেখতে পাই যে, কালো ঘোড়া H বা F অবস্থান থেকে A অবস্থানে এক চালেই আসতে পারবে। কিন্তু H অবস্থানে একটি ঘোড়া কেবল A অথবা C অবস্থান থেকে আসতে পারবে। C অবস্থানে আসতে পারবে D অবস্থান থেকে। D অবস্থানে আসতে পারবে I অবস্থান থেকে, I অবস্থানে আসতে পারবে B অবস্থান থেকে, B অবস্থানে আসতে পারবে G অবস্থান থেকে, G অবস্থানে আসতে পারবে F অবস্থান থেকে, F থেকে A অবস্থানেও যেতে পারবে। এবার আমরা এই অবস্থান দখল প্রক্রিয়াকে যথাযথভাবে প্রকাশ করার জন্য চক্রাকারের সাহায্য নিতে পারি।

সমস্যাটি চক্রাকারে ছবিতে প্রস্তাবিত হওয়ায় তা এক নজরেই স্পষ্ট হয়ে উঠে। চক্রে E এর অবস্থানটিকে দেখানো হয় নি কারণ এই অবস্থাটি সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়ায় মোটেই অংশগ্রহণ করে না। কোনো ঘোড়ার শুধু A অবস্থান থেকে স্থান পরিবর্তন নয়, অন্যান্য অবস্থান থেকে ঘোড়াগুলির অবস্থান পরিবর্তনও অনুরূপভাবে চক্রাকারে প্রস্তাবিত হয়। চক্রাকারে সমস্যাটি প্রস্তাবনার পর সমস্যাটির রূপ দাঁড়ায় ; কালো ঘোড়া দুটিকে A ও C

অবস্থানে এবং সাদা ঘোড়া দুটিকে G ও I অবস্থানে নিয়ে আসতে হবে এই চক্রপথে বামে অথবা ডানে স্থান পরিবর্তনের মাধ্যমে। অঙ্কিত চিত্র থেকে সুস্পষ্ট যে সবকটি ঘোড়া যদি অর্ধচক্র পরিক্রম করে তবে C থেকে G তে, A থেকে I তে, G থেকে C তে এবং I থেকে A তে আসতে পারবে। এর জন্য প্রতিটি ঘোড়াকে মোট চারবার চালতে হবে এবং চার ঘোড়ার জন্য মোট ১৬ চালের প্রয়োজন হবে যা হচ্ছে সর্বনিম্ন চাল সংখ্যা ও এটিই এই সমস্যার সমাধান।



চিত্র ২.১২ : A অবস্থান থেকে ঘোড়ার পথ।

চিত্র ২.১৩ : সমস্যার সমাধান।

তৃতীয় অধ্যায়

জ্ঞানের প্রস্তাবনা পদ্ধতি

(Knowledge Representation System)

৩.১ জ্ঞান সম্বন্ধে ধারণা

জ্ঞানের সংজ্ঞা নিয়ে দার্শনিকরা বহুমতে বিভক্ত। তবে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞান বলতে সকল প্রকার তথ্য সংরক্ষণ ও তথ্য প্রক্রিয়াকরণকে বুঝায়। জ্ঞান-প্রযুক্তিতে এই তথ্য সংরক্ষণ ও প্রক্রিয়াকরণের যান্ত্রিকভাবে তথা কম্পিউটারের সাহায্যে সম্পাদন করার উপায় উদ্ভাবন করার ব্যাপারেই গবেষণা করা হয়ে থাকে।

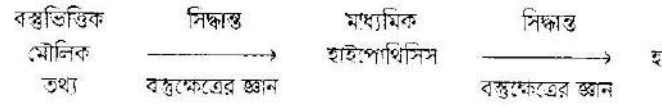
বাক্যের আকার ও গঠন বিভিন্ন ধরনের হলেও মানুষ কথা বুঝতে পারে। বস্তুর প্রতিচ্ছবি বহুভাবে অঙ্কন করা হলেও মানুষ তা থেকে মূল বস্তু সম্বন্ধে ধারণা পেতে সক্ষম। কিন্তু যন্ত্রের পক্ষে কোনো তথ্য – তা সে শব্দ, ছবি বা অন্য যে কোনো সাংকেতিকভাবেই দেয়া হোক না কেন যদি তা যথাযথভাবে প্রস্তাবিত না হয় তবে যন্ত্রের সাহায্যে তা প্রক্রিয়াকরণ করা সম্ভব হয় না। তাই জ্ঞান-প্রযুক্তিতে তথ্য-প্রস্তাবনা বিশেষ স্থান দখল করে আছে।

এ পর্যন্ত কম্পিউটারে ব্যবহৃত FORTRAN, PASCAL বা অন্যান্য প্রোগ্রাম ভাষার সাহায্যে যেমন সকল ধরনের তথ্য সংরক্ষণ ও প্রক্রিয়াকরণ সম্ভব নয় তেমনি এর জন্য প্রয়োজনীয় প্রোগ্রাম তৈরিও সহজ কাজ নয়। বিশেষজ্ঞদের কাছ থেকে যত বেশি বস্তু ভিত্তিক (object oriented) তথ্য আসতে থাকে, প্রোগ্রাম তৈরি ও তার বোধগম্যতা তত বেশি জটিল হতে থাকে।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের জ্ঞান-প্রযুক্তিতে উপরিউক্ত অসুবিধা দূরকরণের জন্য তথ্য সংরক্ষণ ও প্রক্রিয়াকরণে নতুন পদক্ষেপ গ্রহণ করা হয় – যার নাম দেয়া হয় 'জ্ঞান-ভিত্তিক পদ্ধতি' (Knowledge based system)। এই পদ্ধতিতে জ্ঞান যেমন প্রস্তাবিত হয় তেমনি তথ্যের পরিবর্তন, পরিবর্ধন ও প্রক্রিয়াকরণের ব্যবস্থাও থাকে। সংরক্ষিত যুক্তিভিত্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য জ্ঞানের প্রস্তাবনার সাথে সাথে তার ভিত্তিতে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণের যথাযথ ব্যবস্থাও জ্ঞান-প্রযুক্তিতে থাকা অত্যন্ত প্রয়োজন।

অভিধানে জ্ঞানকে দুভাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়ে থাকে— (১) জ্ঞান হচ্ছে অনুধাবনের ফল বা তথ্য; (২) জ্ঞান হচ্ছে নিয়মতান্ত্রিক ও বস্তুভিত্তিক বিশ্লেষণ পদ্ধতি। প্রথম সংজ্ঞাটির সাথে একমত সেসব বিজ্ঞানী যারা বৈজ্ঞানিক তথ্য আহরণ পদ্ধতিকেই মূল গুরুত্ব দিয়ে থাকেন। কিন্তু যাঁরা যুক্তিবাদী চিন্তার মাধ্যমে বস্তুভিত্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণকেই গুরুত্ব দিয়ে থাকেন তাঁরা দ্বিতীয় সংজ্ঞার সাথে একমত। অবশ্য আপাতদৃষ্টিতে দুটি সংজ্ঞার মধ্যে তেমন বেশি পার্থক্য নজরে আসে না কারণ বিজ্ঞান যুক্তিভিত্তিকই বটে, আর জ্ঞান যুক্তির

ভিত্তিতেই প্রতিষ্ঠিত হয়। তাই জ্ঞানকে এভাবে সংজ্ঞায়িত করাই বেশি যুক্তিযুক্ত যে, 'জ্ঞান হচ্ছে যুক্তিভিত্তিকভাবে আহরিত তথ্য ও তার ভিত্তিতে যুক্তিভিত্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণের পদ্ধতি'। এই সংজ্ঞার ভিত্তিতে নিম্নরূপে চিত্রাকারে জ্ঞানের মডেল তৈরি করা যায় :



যদি জ্ঞানকে কোনো বস্তুক্ষেত্রের (object world) সমস্যা সমাধানের পথ হিসেবে ধরা হয় তবে জ্ঞানকে দুভাগে ভাগ করা যায় – বাস্তব তথ্য বা ফ্যাক্ট এবং হয়রিস্টিক। প্রথম ধরনের জ্ঞানের আওতায় কোনো বস্তুক্ষেত্রের অত্যন্ত সুস্পষ্টভাবে জ্ঞাত তথ্যগুলিই পড়ে। তাই এ ধরনের জ্ঞানকে অনেক সময় টেক্সট নলেজ বলা হয় কারণ, এ ধরনের জ্ঞানের আওতায় বিশেষজ্ঞদের বহু বছরের অভিজ্ঞতা লব্ধ জ্ঞান বিদ্যমান। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষ ভাগ 'এক্সপার্ট সিস্টেম' এর দক্ষতা বাড়াতে এই জ্ঞানই মূল ভূমিকা পালন করে। এই জ্ঞানের বিশেষত্বের মধ্যে অপ্রয়োজনীয় তথ্যের অপসারণ, অনিশ্চিত তথ্যের ব্যবহার, বিভিন্ন তথ্যকে সুসংবদ্ধ করার ক্ষমতা উল্লেখযোগ্য। হয়রিস্টিক জ্ঞানের সাহায্যে সমস্যা সমাধানের ক্ষমতা বাড়লেও তার বৈজ্ঞানিক ভিত্তি অত্যন্ত দুর্বল।

এ ছাড়া জ্ঞানকে অন্য দুটি ভাগেও ভাগ করা যায় – বাস্তব তথ্য বা ফ্যাক্ট এবং রুল বা সিদ্ধান্ত গ্রহণের জ্ঞান। ফ্যাক্ট বলতে যে ধরনের জ্ঞান বুঝানো হয় তা এভাবে প্রকাশ করা যায় – "F হচ্ছে F" অর্থাৎ ফ্যাক্ট হচ্ছে তাই যা কেবল সেটিই। ফ্যাক্ট কোনো বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন পদ্ধতির ডাটা ব্যাংক তৈরি করে। রুলভিত্তিক জ্ঞান বলতে সেই জ্ঞানকেই বুঝায়, যা "যদি... তবে" সম্পর্কের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এ দুটি ভাগ ছাড়াও জ্ঞানের আরও একটি ভাগ আছে যাকে বলা হয় 'মেটানলেজ' বা জ্ঞান সম্বন্ধে জ্ঞান। অর্থাৎ মেটানলেজ বলতে জ্ঞানকে ব্যবহারের জ্ঞান বা জ্ঞানের বিশেষত্ব বিশ্লেষণের জ্ঞানকে বুঝানো হয়। যৌক্তিক সিদ্ধান্ত ব্যবহারের দ্বারা কোনো পদ্ধতিকে নতুন জ্ঞান দান করার জন্যই মূলত মেটানলেজ ব্যবহার করা হয়।

সাধারণত জ্ঞানের গঠন হিরারখিকাল (hirarchical) বা উত্তরাধিকারভিত্তিক হয়। যেমন : << জীবন্ত বস্তু ——→ প্রাণী ——→ মানুষ ——→ কামাল >> হচ্ছে উত্তরাধিকারভিত্তিক জ্ঞান। এই হিরারখিকাল গঠনের প্রতিটি এলিমেন্ট বা মৌল অন্য কোনো হিরারখির সাথে নানাভাবে সংযুক্ত থাকতে পারে। তাই সকল জ্ঞানকে নেট বা জালের আকারে সংযুক্ত করার দ্বারা প্রস্তাব করার প্রয়োজন আছে, তা সে বস্তুগত জ্ঞানই হোক বা সিদ্ধান্ত গ্রহণের জ্ঞানই হোক।

৩.২ এক্সপার্ট সিস্টেম

এক্সপার্ট সিস্টেম বলতে সেই ধরনের বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন প্রোগ্রামকে বুঝায় যা কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যা সমাধানের জন্য লব্ধ জ্ঞানকে কাজে লাগিয়ে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণে সক্ষম। এজন্য এক্সপার্ট সিস্টেমগুলিকে সেই ধরনের দক্ষতা রাখতে হবে যা এক্সপার্টের অনুপস্থিতিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণের ও তা কার্যকর করতে সক্ষম হবে। কাজেই বিশেষজ্ঞ বা

এক্সপার্টের যে জ্ঞান তা এক্সপার্ট সিস্টেমেরও থাকতে হবে। এজন্য এক্সপার্ট সিস্টেমের যেসব বৈশিষ্ট্য থাকা বাঞ্ছনীয় তা হলো–

– বিষয়বস্তু ক্ষেত্রের সাথে সম্পর্কযুক্ত জ্ঞানের ব্যবহার ক্ষমতা ;

– বিশেষজ্ঞ কর্তৃক লব্ধজ্ঞানগুলি আহরণ ক্ষমতা ;

–বিষয়বস্তুক্ষেত্রের বাস্তব জটিল সমস্যাগুলিকে প্রস্তাবিত ও সমাধান করার ক্ষমতা।

সমাজে চিকিৎসক, শিক্ষক, আইনজীবী, কেরানি, প্রোগামিস্ট, পরামর্শদাতা ইত্যাদি বহু ধরনের বিশেষজ্ঞ বিদ্যমান। সকল বিশেষজ্ঞেরই কিছু সাধারণ বৈশিষ্ট্য লক্ষণীয়, যেমন ;

– তার বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সম্বন্ধে বিপুল জ্ঞান ভাণ্ডার ;

– বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যাগুলি সমাধানে তার ব্যাপক অভিজ্ঞতা।

যেহেতু সাধারণ মানুষ এসব বৈশিষ্ট্যের অধিকারী হয় না তাই কোনো বিশেষজ্ঞ কোনো সমস্যার সমাধান অতি সহজেই করে ফেললে অবিশেষজ্ঞদের মনে প্রশ্ন জাগে–বিশেষজ্ঞ কোনো ভুল করে ফেলে নি তো? মানুষ-বিশেষজ্ঞের স্থানে যন্ত্র-বিশেষজ্ঞ কাজ করলে এই প্রশ্ন হয়তো বা আর উঠবে না কারণ, মানুষ কোনো যন্ত্রের জন্য নির্ধারিত কার্য সম্পাদন করার ক্ষমতার প্রতি বেশি আস্থাশীল। যেহেতু মানুষ-বিশেষজ্ঞ সিদ্ধান্ত গ্রহণের সময় তার অস্থিতিশীল মানসিক অবস্থার উপর নির্ভরশীল থাকে, তাই সে সবসময় যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণে সক্ষম হয় না। মানুষ-বিশেষজ্ঞের সিদ্ধান্ত গ্রহণে উল্লেখযোগ্য অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– মানুষ–বিশেষজ্ঞের দ্বারা সমস্যা সবসময় যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় না ; মানুষ–বিশেষজ্ঞ কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সম্বন্ধে তার স্মৃতিভাণ্ডারে রক্ষিত সকল তথ্য তাৎক্ষণিকভাবে আহরণ করতে পারে না ;

– মানুষ–বিশেষজ্ঞ একই সাথে কোনো সমস্যা সমাধানের জন্য ৭+২ এর বেশি সংখ্যক বিকল্প সমাধান বিচার করতে পারে না ;

– তথ্য আহরণ, সংরক্ষণ ও তা প্রক্রিয়াকরণে মানুষ ধারাবাহিকতা বজায় রাখতে পারে না ;

– কয়েকটি বিকল্প সমাধানের মধ্যে একটি সমাধান বেছে নেয়ার জন্য মানুষ সাধারণত তার ইন্টুইশন দ্বারাই পরিচালিত হয়, যার কোনো যুক্তিগত অগ্রাধিকার ভিত্তি থাকে না।

উপরিউক্ত অসুবিধাজনক দিকগুলি থেকে আংশিকভাবে মুক্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য প্রচলিত পদ্ধতি বা প্রোগ্রামকে এক্সপার্ট সিস্টেম নামে অভিহিত করা হয়। এক্সপার্ট সিস্টেমগুলি জ্ঞানের ভিত্তিতে কাজ করে থাকে বলে তাদের অনেক সময় জ্ঞানভিত্তিক পদ্ধতিও বলা হয়। কোনো এক্সপার্ট সিস্টেমের যেসব বৈশিষ্ট্য থাকা প্রয়োজন, তা হলো :

– জ্ঞানের যথাযথভাবে প্রস্তাবনা ও তাকে নিয়ন্ত্রণ করার ক্ষমতা ;

– নলেজ-বেস বা জ্ঞানভাণ্ডার ব্যবহার করার ক্ষমতা ;

– যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণের ক্ষমতা ;

– নলেজ-বেসের পরিবর্তন, পরিবর্ধন ও তার প্রক্রিয়াকরণের ক্ষমতা ;

– সিস্টেম ব্যবহারকারীর সাথে যোগাযোগ বা ইন্টারফেস বজায় রাখার ক্ষমতা।

এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরির সময় উপরিউক্ত মূল বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে আরও অনেক অবস্থাভিত্তিক প্রয়োজনীয় বৈশিষ্ট্য যোগ হতে পারে। কোনো বিশেষজ্ঞ তার লব্ধ জ্ঞান এক্সপার্ট সিস্টেমে বাস্তবায়ন করার সময় বুঝতে পারে যে, সে যতটুকু জ্ঞান রাখে বলে মনে করে প্রকৃতপক্ষে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে তার জ্ঞান আরও অনেক বেশি। মানুষ-বিশেষজ্ঞের বেশিরভাগ জ্ঞান বা তথ্যই তার অবচেতন স্মৃতিতেই রক্ষিত থাকে। কাজেই তার জ্ঞান বাস্তবায়ন করার সময়ই কেবল সে সেসব জ্ঞানের উদ্ধার নিজস্ব স্মৃতি থেকে করতে পারে। শুধু তাই নয়, মানুষ-বিশেষজ্ঞ অনেক সিদ্ধান্তই তার অবচেতন মনে নিয়ে থাকে। কিন্তু তার সিদ্ধান্ত গ্রহণের কারণ ব্যাখ্যা বা তা সিস্টেমে বাস্তবায়িত হতে হলে বিশেষজ্ঞ কর্তৃক অবশ্যই সমস্ত ব্যাপারটি যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হতে হবে। তাই যে কোনো বুদ্ধিমত্তা সম্পন্ন পদ্ধতির মূল বৈশিষ্ট্যই হলো সেই পদ্ধতিতে জ্ঞানের প্রস্তাবনা।

৩.৩ জ্ঞানের প্রস্তাবনা (Knowledge Representation)

মানুষ ভাষা ব্যতিরেকেও অনেক কিছু বুঝতে পারে, তথ্য সংগ্রহ করতে পারে বা সিদ্ধান্ত নিতে পারে। কিন্তু কোনো কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন পদ্ধতি যেমন কম্পিউটারের পক্ষে জ্ঞান প্রস্তাবনার মাধ্যম ব্যতিরেকে সেখানে জ্ঞান সংক্রান্ত কোনো কাজই সম্ভব নয়। উপরন্তু, কোনো বিপুল পরিমাণ জ্ঞান প্রস্তাবনার উপযোগী পদ্ধতি ছাড়া কৃত্রিমভাবে প্রয়োগ বা প্রক্রিয়াযোগ্য নয়।

জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল তৈরির জন্য যেসব ফ্যাক্টর ধর্তব্যের মধ্যে আনা দরকার, তা হলো প্রস্তাবনার ইউনিফরমিটি বা সুষমতা ও তার সহজবোধ্যতা। প্রস্তাবনার ইউনিফরমিটি ও সহজবোধ্যতা যুক্তিগত সিদ্ধান্তের মাধ্যমে নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থাকে সহজবোধ্য করে তোলে। জ্ঞান প্রস্তাবনার পদ্ধতিটি এক্সপার্ট সিস্টেম ও তার ব্যবহারকারী উভয়ের কাছেই গ্রহণযোগ্য হতে হবে। কিন্তু প্রস্তাবনার এই বৈশিষ্ট্যগুলি বজায় রাখা বেশ কঠিন কাজ। সহজ সমস্যাগুলির প্রস্তাবনার ক্ষেত্রে কিছু মাধ্যমিক সমঝোতা সৃষ্টি করা যায় কিন্তু জটিল ও বৃহদাকার সমস্যাগুলির জন্য সুসংবদ্ধ ও মডিউল আকারের প্রস্তাবনার প্রয়োজন। এ পর্যন্ত জ্ঞান প্রস্তাবনার জন্য যেসব মডেল চালু আছে সেগুলি হলো :

- সিমান্টিক্যাল নেট মডেল,
- ফ্রেম মডেল বা কম্পিউটার ফ্রেম মডেল,
- লজিক্যাল মডেল,
- প্রোডাকশন মডেল বা রুল বেস্‌ড মডেল ; ব্ল্যাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল,
- অ্যাক্সিওম্যাটিকভাবে লিখন মডেল,
- গ্রাফ মডেল,
- রিলেশন মডেল বা টেবিল মডেল,
- টেনসর মডেল,
- ক্যাটেগরিভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল,

– অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল (লিংগুইস্টিক মডেল, ফাজি লজিক ইত্যাদি)।

উপরিউক্ত মডেলগুলির মধ্যে প্রথম চারটি মডেলকেই জ্ঞান প্রস্তাবনার মূল মডেল হিসেবে বিচার করা হয়। সর্বশেষ মডেলটি ক্রমান্বয়ে ব্যাপক জনপ্রিয়তা লাভ করছে। সংক্ষিপ্তভাবে সবকটি মডেল সম্বন্ধেই কিছু ধারণা এখানে দেয়া হবে। তবে সর্বপ্রথমে জ্ঞান প্রস্তাবনার সাধারণ বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষ্য করা যাক।

জ্ঞান প্রস্তাবনার পদ্ধতি বলতে সেই পদ্ধতিকেই বুঝায় যা বস্তুক্ষেত্রভিত্তিক জ্ঞানকে কোনো প্রস্তাবনা ভাষার সাহায্যে প্রকাশ করতে সক্ষম। এই পদ্ধতিগুলির যেসব বৈশিষ্ট্য থাকা প্রয়োজন তা হলো :

– জ্ঞানের সংরক্ষণ, বিশ্লেষণ, সাধারণকরণ ও সুসংবদ্ধকরণের ক্ষমতা,

– অপ্রয়োজনীয় পুরাতন জ্ঞান বর্জন ও লব্ধ জ্ঞান থেকে দ্বৈত অর্থ অপসারণের ক্ষমতা,

– জ্ঞান ও তা ব্যবহারকারীর মধ্যে ইন্টারফেস তৈরি করার ক্ষমতা।

এবারে দেখা যাক উপরিউক্ত জ্ঞান প্রস্তাবনা মডেলগুলিতে এই বৈশিষ্ট্যগুলি কি পরিমাণে বিদ্যমান।

৩.৪ লজিক্যাল মডেল

জ্ঞান প্রস্তাবনার লজিক্যাল মডেলের ভিত্তি হিসেবে কাজ করে গাণিতিক লজিক। গাণিতিক লজিকের ভিত্তিতে প্রস্তাবিত ভাষাগুলির মধ্যে পূর্বাভাস প্রদানের ভাষা, ফরমাল প্রেডিকেটের সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের ভাষা, মডাল লজিক ইত্যাদি উল্লেখযোগ্য। লজিক্যাল পদ্ধতিতে জ্ঞানকে কতকগুলি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। সূত্রগুলি কনস্টান্ট, ভ্যারিয়েবল, ফাংশন, প্রেডিকেট, লজিক্যাল সংযোগ ও কোয়ান্টার দ্বারা গঠিত হয়। এই মডেলে সকল প্রকার জ্ঞানই একই প্রকার ফরমালিজমের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়। যেমন এই পদ্ধতিতে কিছু সিন্টাক্স রুল প্রদত্ত থাকে এবং কোনো প্রকাশনা সঠিক কিনা তা ঠিক করা হয় এটি সেই সিন্টাক্স-রুলের আওতায় পড়ে কিনা তার ভিত্তিতে। একইভাবে কিছু সিমান্টিক রুলের ভিত্তিতে ঠিক করা হয় কোনো প্রকাশনা সিমান্টিকভাবে সঠিক কি না। এই মডেলে মূলত ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিক ব্যবহার করা হয়। যেমন :

পিতা (কামাল,মমতাজ) : কামালের পিতা মমতাজ।

রাজধানী (বাংলাদেশ, ঢাকা) : বাংলাদেশের রাজধানী ঢাকা।

ভালোবাসি (আমি, তোমাকে) : আমি ভালবাসি তোমাকে।

অস্তিত্বসূচক কোয়ান্টার (∃) এবং সর্বপ্রয়োগসূচক কোয়ান্টার (∀) ব্যবহারের দ্বারা সঠিকভাবে তৈরি সূত্রের উদাহরণ নিম্নরূপ :

(∃X) [হাতি (X) ∨ বুদ্ধিমান (X)] : কিছু হাতির অস্তিত্ব আছে যেগুলি বুদ্ধিমান।

(∀X) [হাতি (X) → রং (X, কালো] : সব হাতির রং কালো।

লজিক্যাল মডেলের বৈশিষ্ট্য হলো– এই মডেলের পূর্ণ তাত্ত্বিক ভিত্তি বিদ্যমান এবং এই মডেলের সাহায্যে জ্ঞান অনেক সুনির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত হয় ও তার ভিত্তিতে একক সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়। এই মডেলে সুনির্দিষ্ট সিন্টাক্স ও সিমান্টিক্সের সাহায্যে সুস্পষ্টভাবে জ্ঞান প্রস্তাবিত হতে পারে। এজন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষজ্ঞরা ক্রমান্বয়ে এই মডেলের প্রতি দিচ্ছেন অধিকতর মনোযোগ এবং তার ব্যাপক উন্নতি সাধনের চেষ্টা করছেন।

অবশ্য এই মডেলের ব্যবহারে বেশ কিছু অসুবিধা বিদ্যমান। যেমন, আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বেশিরভাগ গবেষকরাই ইনফরমাল চিন্তাধারায় অভ্যস্ত। তাই এ যাবৎ নলেজ বেসের গঠন ফরমাল লজিকের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণভাবে গড়ে উঠে নি। উপরন্তু, ফরমাল লজিকের সাহায্যে সহজ সমস্যাগুলিরই কেবল সমাধান করা সম্ভব, জটিল সমস্যাগুলির ফরমাল লজিকের সাহায্যে প্রস্তাবনা ও সমাধান অত্যন্ত অসুবিধাজনক। ফরমাল লজিকের গবেষকরা মূলত এর তাত্ত্বিক দিক নিয়েই বেশি গবেষণা করে থাকেন। যেহেতু মানুষের যুক্তিগত বুদ্ধিমত্তা তার অনির্দিষ্ট জ্ঞানের ভিত্তিতে কাজ করে থাকে, তাই কঠিন যুক্তির বাঁধা ধরা নিয়মের আওতায় পরিপূর্ণভাবে মানুষের জ্ঞানের প্রস্তাবনা সম্ভব নয়। এ কারণে ইদানীং লজিক্যাল মডেলের সাহায্যে অনির্দিষ্ট অপূর্ণ জ্ঞানকে প্রস্তাব করার প্রচেষ্টা হিসেবে মডাল লজিক ও ইমপ্লিকেটিভ লজিকের উদ্ভাবন করা হয়। লজিক্যাল মডেলে আরও একটি নতুন উদ্ভাবিত পথ হলো–অ্যাক্সিওম্যাটিক লিখন মডেল। এই মডেলের তিনটি দিকে বিশেষভাবে নজর দেয়া হয় :

– জ্ঞানের অর্থের ধরন,

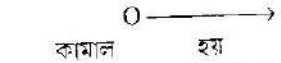
– জ্ঞানের গঠন,

– জ্ঞানকে কম্পিউটারে গণনা কাজে ব্যবহারের সম্ভাবনা।

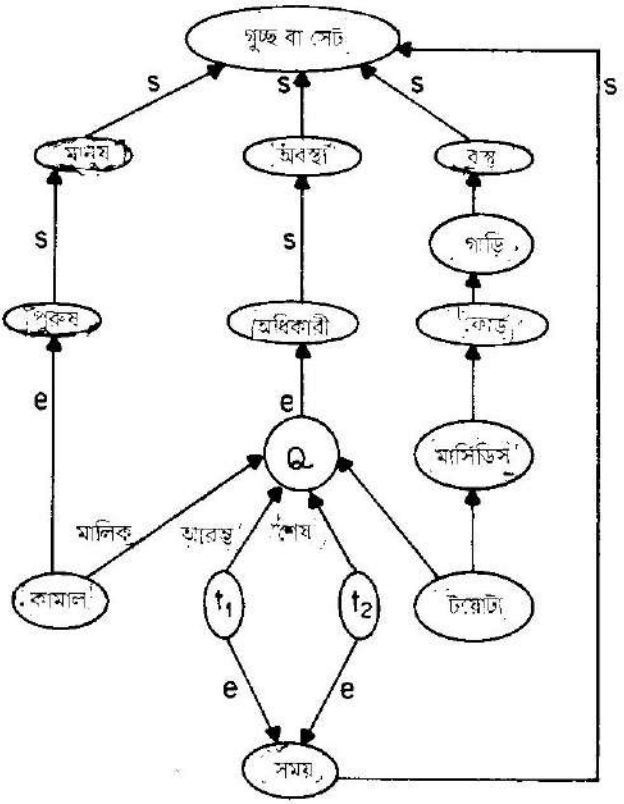
এই মডেলের সাহায্যে DECART প্রোগ্রাম ভাষাটি সৃষ্টি করা হয় এবং এক্সপার্ট সিস্টেম SPORA তৈরি করা হয়। PROLOG প্রোগ্রাম ভাষাটিও এই মডেলের ভিত্তিতে সৃষ্ট।

৩.৫ সিমান্টিক নেট মডেল

এই মডেলে সিমান্টিক নেট পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। সিমান্টিক নেট পদ্ধতিতে প্রদত্ত তথ্য এমনভাবে সংগঠিত করা হয়, যাকে নেটের সাথে তুলনা করা যায়। সিমান্টিক নেটের কোনো সুনির্দিষ্ট সংজ্ঞা নেই, তবে নেট বলা হয় এজন্য যে একটি নট বা গিট দ্বারা কোনো বিষয়বস্তু বা তার অর্থকে প্রকাশ করা হয় এবং এক নট থেকে অন্য নটকে সংযোগকারী লাইনের সাহায্যে নটগুলি দ্বারা চিহ্নিত বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, যদি দুটি নটকে "কামাল" ও "শিক্ষক" দ্বারা চিহ্নিত করা হয় এবং তাদের সংযোগকারী লাইন দ্বারা "হয়" সম্পর্কটি প্রকাশ করা হয়, তবে প্রদত্ত এই



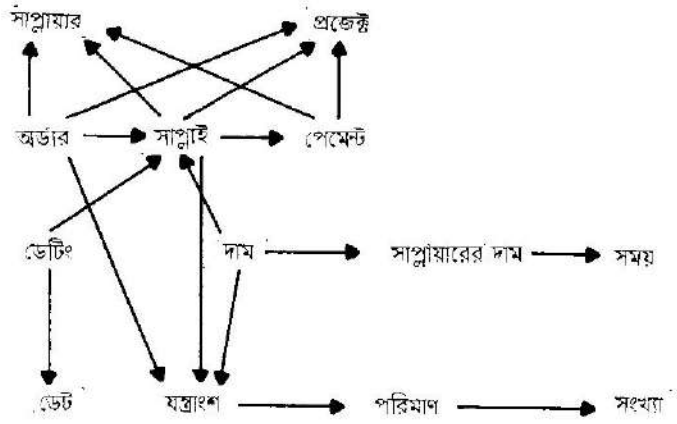
নেটটি দ্বারা 'কামাল হয় শিক্ষক' এই কথাটিকেই প্রকাশ করা হচ্ছে। এবারে নিম্নলিখিত উদাহরণের সাহায্যে দেখা যাক 'কামাল t_1 সময় থেকে t_2 সময় পর্যন্ত একটি টয়োটা গাড়ির মালিক ছিল এই কথাটিকে সিমান্টিক নেটের সাহায্যে কিভাবে প্রকাশ করা যায়।



চিত্র: ৩.১

৩.১ চিত্রে যে নেট দেখানো হয়েছে তাতে সম্পর্কগুলি s ও e দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। s বলতে এখানে সাবসেট বা অবগুচ্ছ এবং e দ্বারা এলিমেন্ট বুঝানো হয়েছে। এই নেট থেকে এটি সুস্পষ্ট হয়ে উঠেছে যে, একটি বাক্যকে মানুষের পক্ষে বুঝা সম্ভব হলেও সেটি কম্পিউটারকে বুঝানোর জন্য তার প্রতিটি শব্দের অর্থ ও তাদের মধ্যে সম্পর্ক সুস্পষ্ট করার জন্য তা সুসংগঠিতভাবে প্রকাশ করতে হবে। 'কামাল' কথাটি বলতে আমরা সহজেই বুঝে নিয়ে থাকি যে, কামাল একজন পুরুষ মানুষ। কিন্তু কম্পিউটারকে তা সুস্পষ্টভাবে না বললে তার পক্ষে বুঝা সম্ভব নয় 'কামাল' বলতে কি বুঝায়। তেমনি 'টয়োটা' শব্দটি দ্বারা একজন মানুষ সহজেই বুঝতে পারে যে, টয়োটা একটি গাড়ি জাতীয় বস্তু। কিন্তু কম্পিউটারকে তা সুস্পষ্টভাবে না জানালে তার পক্ষে মোটেই জানা সম্ভব নয় 'টয়োটা' শব্দটি দ্বারা কি বুঝায়। একইভাবে t_1 ও t_2 দ্বারা সময়কে বুঝানো হয়েছে এবং তাদের মধ্যে একটি 'আরম্ভ সময়' অন্যটি 'শেষ সময়' এবং এই সময়গুলি দ্বারা 'কামাল' ও 'টয়োটা' নামক বস্তু দুটি 'অধিকারী' নামক অবস্থার মাধ্যমে সম্পর্কিত।

এবারে সিমান্টিক নেটের আরেকটি উদাহরণ লক্ষ্য করা যাক। এই উদাহরণে এমন একটি অবস্থার প্রস্তাবনা করা হয়েছে, যে অবস্থায় কোনো প্রজেক্টের আওতায় কিছু যন্ত্রাংশের অর্ডার দেয়া হয়েছে এবং সাপ্লায়ারকে তার দাম প্রদান করা হয়েছে।



চিত্র : ৩.২

সিমান্টিক নেটের সাহায্যে জ্ঞান বা তথ্য প্রকাশ করতে হলে নিম্নলিখিত ফ্যাক্টরগুলির প্রতি বিশেষ নজর দেয়া দরকার :

— নেটের দ্বারা সিমান্টিক ও সিন্টাক্টিক উভয় জ্ঞানের প্রস্তাবনা প্রয়োজন। একই সাথে লিঙ্গুইস্টিক বা ভাষাগত এবং লজিক্যাল বা যুক্তিগত জ্ঞানও সম্পর্কযুক্ত হতে হবে।

– নেটে সকল তথ্য সুষমভাবে প্রস্তাবিত হতে হবে এবং তথ্য সন্ধান প্রক্রিয়া যথেষ্ট সহজসাধ্য ও দ্রুতগতিতে সম্পন্ন হতে হবে।

– নেটের গঠন উত্তরাধিকারভিত্তিক বা হিরারখিকাল হতে হবে।

– নেটের গঠনে সিমান্টিকভাবে কাছাকাছি বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক পরিস্ফুটন প্রক্রিয়া প্রতিফলিত হতে হবে।

– নেটে বিভিন্ন বিষয়বস্তু ও অবস্থাগুলিকে বিভিন্ন ক্লাসে বা গ্রুপে বিভক্তকরণের ব্যবস্থা থাকতে হবে।

– নেটের অ্যাসোসিয়েটিভ গুণ থাকতে হবে যাতে করে বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে যেগুলি সিমান্টিক্স নেটে উল্লিখিত হয়নি, সেগুলি যেন সেকেন্ডারিভাবে নেটে সংযুক্ত করা যায়।

– নেটে তথ্য সংরক্ষণ ব্যবস্থায় স্থান সংকুলানে মিতব্যয়ী হতে হবে।

সিমান্টিক নেট মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনার সুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– সন্ধান প্রক্রিয়াজনিত সমস্যাগুলির সমাধান সহজেই পাওয়া যায় কারণ, বিষয়বস্তুগুলি হিরারখিকালভাবে সাজানো থাকে এবং তাদের সাথে সংযুক্ত সকল প্রকার বৈশিষ্ট্যও দেয়া থাকে।

– একই সাথে সিন্টাক্টিক্যাল ও সিমান্টিক্যাল জ্ঞানের সমাহারের ফলে সিমান্টিক নেটে জ্ঞানের নবায়ন সহজতর হয়।

– গ্রাফিকালভাবে জ্ঞান প্রস্তাবিত হওয়ায় এক নজরেই বিভিন্ন বিষয়বস্তুর মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করা যায়।

– বর্ণনামূলক (ডিক্লারেটিভ) ও গঠনমূলক (প্রসিডিউরাল) জ্ঞান এই মডেলে সমন্বিতভাবে প্রকাশ করা যায়।

সিমান্টিক নেট মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনার অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– এই মডেলের সাহায্যে সিমান্টিক্যাল সম্পর্ক নির্ধারণের লাইনগুলির সংখ্যা অত্যধিক হওয়ার ফলে বিশ্লেষণমূলক অ্যালগরিদম তৈরি করা বেশ কঠিন কাজ।

–সিমান্টিক নেটে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে সকল তথ্য ও তার গঠন প্রকাশ করা সম্ভব হয় না।

– সিমান্টিক নেটের জটিলতার কারণে তার সাহায্যে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা বেশ কঠিন।

–সিমান্টিক নেটের নট ও সংযোগ রেখাগুলিকে কোনো বাঁধাধরা নিয়মমাফিক গঠন করা হয় না বলে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে যথেষ্ট জটিলতা দেখা দেয়।

–সিমান্টিক নেট গঠনের এ পর্যন্ত কোনো সার্বজনীন নিয়ম ঠিক করা হয় নি।

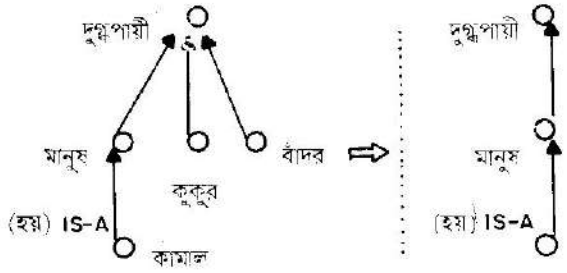
–সিমান্টিক নেটের সাহায্যে কেবল বিশেষ বিশেষ ধরনের সমস্যার প্রস্তাবনা ও সমাধান করা সম্ভব। এই মডেলের দ্বারা সব ধরনের সমস্যা ও জ্ঞান সুস্পষ্টভাবে প্রস্তাব করা সম্ভব নয়।

যেসব সিমান্টিক নেটে নতুন ধরনের ধারণা ও ধারণাগুলির মধ্যে সংযোগ সাধন করা হয়, সেই নেটগুলিকে প্রলম্বিত সিমান্টিক নেট বলা হয়। অ্যাসোসিয়েটিভ, ডাইনামিক, হিরারখিকাল ও ইকনোমিক্যাল গুণ উন্নয়নের দ্বারা সাধারণ সিমান্টিক নেট থেকে উন্নতমানের 'পিরামিড নেট' তৈরি করা সম্ভব। পিরামিড নেট নাম দেওয়ার কারণ, সেগুলিতে জ্ঞানকে পিরামিড এর ন্যায় সাজানো হয়। পিরামিড নেটের বিশেষ বৈশিষ্ট্য হলো যে এর সাহায্যে নেটের কেবল অংশবিশেষ পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে যে কোনো তথ্য সহজেই বের করা যায়।

পিরামিড নেটের আরেক ধরনের মডিফিকেশন হলো k–নেট বা নলেজ নেট। এই নেটে ইন্ডেক্স ব্যবহারের দ্বারা প্রেডিকেট নির্ধারণ করা হয়। k–নেটে নটগুলি বিষয়বস্তুকে চিহ্নিত করে এবং সংযোগরেখাগুলি নটগুলির মধ্যে বাইনারি সম্পর্ক নির্ধারণ করে। k–নেটের বিশেষ বৈশিষ্ট্য হলো এই যে, সমস্ত নেটটি কয়েকটি ভাগে বিভক্ত থাকে এবং লজিক্যাল অপারেশন ব্লকের সাহায্যে তাদের মধ্যে সংযোগ সাধন করা হয়। কাজেই সাধারণ সিমান্টিক নেট যখন কেবল একটি বিষয়বস্তুর জ্ঞান প্রস্তাব করতে পারে, k–নেটগুলি ব্লক গঠনের মাধ্যমে অনেকগুলি বিষয়বস্তুর জ্ঞান প্রস্তাবিত হতে পারে ও তাদের অভ্যন্তরীণ সম্পর্ক নির্ধারণ করতে পারে।

সিমান্টিক নেটের সাহায্যে জ্ঞানের প্রস্তাবনার সাথে সাথে সিদ্ধান্ত গ্রহণের প্রক্রিয়া নিয়েও ব্যাপক গবেষণা করা হয়েছে এবং হচ্ছে। সিমান্টিক নেটে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়

সাধারণ কমন নট সম্বলিত সংযোগ রেখাগুলির মধ্যে সম্পর্কের দ্বারা। নিম্নের উদাহরণে 'IS A' এই সম্পর্কের দ্বারা 'কামাল হয় দুগ্ধপানকারী' এই কথাটি প্রকাশ করা হয়েছে। এর জন্য প্রথমে 'কামাল IS A মানুষ IS A দুগ্ধপানকারী এই দুটি সম্পর্কের সংযোগ সাধনের মাধ্যমে কামাল IS A মানুষ IS A দুগ্ধপানকারী এই কথাটি প্রকাশ করা হয়েছে। সিমান্টিক নেটের সাহায্যে আরও সাধারণভাবে সমাধান বা সিদ্ধান্ত নেয়ার পদ্ধতি বের করার ব্যাপারে ব্যাপকভাবে গবেষণা হচ্ছে। তবে সন্তোষজনক ফল এখনও পাওয়া যায় নি। অবশ্য শুধু সিমান্টিক নেটের সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের চেয়ে সিমান্টিক নেট মডেলের সাথে অন্যান্য মডেলের সংযোগ সাধন করে সিদ্ধান্ত নিলে অধিকতর সন্তোষজনক ফল পাওয়া যায়।



চিত্র : ৩.৩

৩.৬ ফ্রেম মডেল

জ্ঞান প্রস্তাবনার ফ্রেম মডেল এম, মিনস্কের ফ্রেম তত্ত্বের (১৯৭৫) উপর ভিত্তি করে প্রতিষ্ঠিত। এই মডেলে মানুষের স্মৃতিশক্তি ও তার সচেতনতার অনুকরণ করার চেষ্টা করা হয়। এই মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনার সকল বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান এবং এই মডেলকে তথ্য প্রক্রিয়াকরণের নতুন পথ হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। ইতোমধ্যেই এই মডেলের সাহায্যে কিছু প্রোগ্রাম ভাষা গঠন করার চেষ্টা করা হচ্ছে।

ফ্রেমকে জ্ঞান ব্যবহারের দৃষ্টিকোণ থেকে বিষয়বস্তুর অর্থ প্রকাশ করার পদ্ধতি হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। ফ্রেম হচ্ছে জ্ঞান প্রস্তাবনার এমন একটি পদ্ধতি যার সাহায্যে প্রোডাকশন মডেল, প্রেডিকেট লজিক মডেল ও সিমান্টিক মডেলকে একই সাথে ব্যবহারের মাধ্যমে মানুষের আগ্রহ ও ইচ্ছানুসারে পারিপার্শ্বিকতার সাথে সামঞ্জস্য রেখে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে জ্ঞানকে প্রস্তাব করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, একজন মানুষ কাজ থেকে বাড়ি ফেরার পথের চিন্তাটিকে বিষয়বস্তু হিসেবে ধরা যাক। প্রথমে ফিরতি পথের সম্বন্ধে তার ধারণাক্ষেত্রটি কোনো একটি এলাকার পরিসরে ব্যাপ্ত থাকে। এই পরিসরে সে গন্তব্যপথ, যানবাহনের স্টপেজ ইত্যাদি সম্বন্ধে চিন্তা করে। সে যতই বাড়ির কাছকাছি আসতে থাকে গন্তব্যপথ সম্বন্ধে তার চিন্তা-পরিসর ক্রমান্বয়ে ততই সংকীর্ণ হতে থাকে। যখন সে বাড়িতে পৌঁছে যায় তখন তার চিন্তা-পরিসর তার নিজস্ব ঘরে পৌঁছানোতেই সীমাবদ্ধ হয়। যখন সে ঘরের মধ্যে প্রবেশ করে তখন তার চিন্তা-পরিসর তার ঘরের চার দেয়ালের মধ্যেই সীমাবদ্ধ

হয়ে পড়ে। এখন উপরিউক্ত গন্তব্য পথের জ্ঞানকে ফ্রেম আকারে প্রকাশ করলে প্রতিটি ধাপকেই এক একটি ফ্রেম হিসেবে দেখা যেতে পারে, যেগুলির প্রত্যেকেরই নিজস্ব পরিসর ও সীমাবদ্ধতা বিদ্যমান।

ফ্রেম তত্ত্বে তার বাস্তবায়ন পদ্ধতি সম্পর্কে তেমন কিছু উল্লেখ করা হয় নি। ফ্রেম তত্ত্ব পত্তনের সাথে সাথেই তার ভিত্তিতে কিছু প্রোগ্রাম ভাষার সৃষ্টি হয় যেগুলির সাহায্যে বিষয়বস্তু জগতের সাথে সম্পর্কযুক্ত সকল প্রকার ক্রিয়াকলাপ বিবেচিত ও উল্লিখিত হয়। প্রতিটি ফ্রেমের সাথে সম্পর্কযুক্ত প্রোগ্রামগুলি প্রয়োজনবোধে বিশেষ প্রোগ্রামের সাহায্যে একটি অন্যটির সাথে তথ্য বিনিময়ের মাধ্যমে সার্বিক নিয়ন্ত্রণ পদ্ধতি বাস্তবায়ন করে। যদিও এই প্রোগ্রামগুলি সরাসরি ফ্রেম তত্ত্বের সাথে সম্পর্কযুক্ত নয় তথাপি ফ্রেম তত্ত্ব পত্তনের পরপরই এই প্রোগ্রামগুলি কম্পিউটারে বাস্তবায়নের উপযোগী হিসেবে তৈরি হয়। তাই এই প্রোগ্রামগুলিকেই মূলত জ্ঞান প্রস্তাবনার ফ্রেম মডেল হিসেবে ধরা যেতে পারে। এজন্য অনেক সময় ফ্রেম মডেলকে কম্পিউটার ফ্রেম মডেল বা প্রসিডিউরাল মডেল বলা হয়ে থাকে।

এবারে দেখা যাক ফ্রেম মডেলের সাহায্যে কিভাবে জ্ঞান প্রস্তাবনা সম্ভব হয়। ফ্রেম মডেলে একটি একক বস্তুকে একটি ফ্রেমের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এই ফ্রেম হচ্ছে এমন একটি অবস্থার প্রস্তাবনা যে অবস্থায় কোনো বিষয়বস্তুকে তার অর্থ ও আকৃতির ভিত্তিতে বিচার করা হয়। কোনো ফ্রেমকে চিহ্নিত করার জন্য সেই ফ্রেমের একটি নাম দেয়া হয়। কোনো ফ্রেম পদ্ধতিতে সেই নাম কেবল কোনো একটি বিশেষ ফ্রেমকেই চিহ্নিত করবে। প্রতিটি ফ্রেমেরই নিজস্ব অভ্যন্তরীণ গঠন বিদ্যমান যেখানে 'স্লটগুলিরও নিজস্ব নাম ও অভ্যন্তরীণ গঠন বিদ্যমান।

কোন ফ্রেমের সাহায্যে কি কি ধরনের অবস্থাকে প্রস্তাব করা হবে তা ঠিক করে ফ্রেম ব্যবহারকারী। কিছু সংখ্যক ব্যক্তি বিশেষ বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে কিছু বিচার করলে তা একটি বিশেষ অবস্থার সৃষ্টি করে যা একটি ফ্রেমের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। প্রথমে স্লটের সাহায্যে ফ্রেম দ্বারা প্রস্তাবিতব্য বিষয়বস্তুর সম্বন্ধে সুনির্দিষ্ট তথ্য প্রস্তাবিত হয়। যদি এমন কোনো তথ্য প্রদত্ত হয় যা কোনো স্লটের তথ্য প্রস্তাবনার জন্য প্রয়োজনীয় শর্তগুলি পূরণ করে, তবে সেই প্রদত্ত তথ্যগুলি ফ্রেমের সাথে সমন্বিত হিসেবে বিচার করা হবে। নিম্নের উদাহরণের সাহায্যে ফ্রেম দ্বারা 'মানুষ' কে কিভাবে প্রস্তাব করা যায় তার প্রতি আলোকপাত করা হয়েছে।

ফ্রেম	: নাম
ক্লাস	: প্রাণী
গঠন উপাদান	: মাথা, গলা, হাত, পা,....
দৈর্ঘ্য	: ৩০ থেকে ২৫০ সে.মি.
ওজন	: ১ থেকে ২০০ কি. গ্রাম.
লেজ	: নেই
ভাষা	: বাংলা, ইংরেজি, হিন্দি, রুশ,....
অনুরূপ ফ্রেম	: গরিলা

মানুষ ফ্রেমের উদাহরণ

ধরা যাক এ ধরনের ফ্রেমের সাহায্যে জ্ঞানের প্রস্তাবনা হয়েছে কোনো একটি জ্ঞান পদ্ধতিতে। যদি এই জ্ঞান পদ্ধতিতে কোনো অবজেক্টকে মানুষ হিসেবে চিহ্নিত করতে হয় তবে 'মানুষ' নামক ফ্রেমে প্রস্তাবিত বিভিন্ন স্লটের দ্বারা প্রস্তাবিত বিভিন্ন অ্যাট্রিবিউট বা বৈশিষ্ট্যগুলির প্রতি নজর দিতে হবে। সর্বপ্রথম স্মৃতিশক্তি থেকে মানুষ' ফ্রেমটি বের করতে হবে। তারপর যদি প্রদত্ত অবজেক্টটি 'মানুষ' ফ্রেমের সবকটি স্লটের বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হয় তবে প্রদত্ত অবজেক্টটিকে মানুষ হিসেবে চিহ্নিত করা হবে। যদি কোনো স্লট–বৈশিষ্ট্য প্রদত্ত অবজেক্টটির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ না হয়, যেমন তার ওজন ২০০ কি. গ্রা. এর বেশি হয় তবে অবজেক্টটিকে মানুষ হিসেবে বিবেচনা করা হবে না। এরপর অবজেক্টটিকে 'অনুরূপ' ফ্রেমের সাথে তুলনা করা হবে।

ফ্রেম মডেলের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য হলো—অ্যাট্রিবিউটগুলির হিরারখিকাল গঠন। যদি একটি অবজেক্ট কয়েকটি ফ্রেমের দ্বারা প্রস্তাবিত হয় তবে সেই ফ্রেমগুলির মধ্যে একটি হিরারখিকাল সম্পর্ক থাকে। এজন্য উচ্চতর ফ্রেমের সাথে নিম্নতর ফ্রেমের সম্পর্ক 'IS A' অথবা 'PART OF' সম্পর্কের দ্বারা প্রকাশিত হয় এবং উচ্চতর ফ্রেমের আওতায় প্রস্তাবিত স্লটগুলিকে একই নামে নিম্নতর স্লটে প্রস্তাবিত হয়। ফ্রেমের মধ্যে হিরারখিকালভাবে তথ্য প্রস্তাবনায় 'অনুরূপ', 'একমাত্র', 'পরিসর' ইত্যাদি শব্দগুলি ব্যবহার করা যায়। ধরা যাক, 'মানুষ' নামের ফ্রেমের 'লেজ' নামক স্লটটির হিরারখিকাল মান দেয়া হলো 'না', তাহলে নিম্নতর 'পুরুষ' নামক ফ্রেমে 'লেজ' স্লটটি বৈশিষ্ট্যযুক্ত হলো। এখন 'মানুষ' ফ্রেমে 'ওজন' স্লটটি (১ থেকে ২০০) কি. গ্রা . হিসেবে প্রস্তাবিত হলে একই ধরনের সকল ফ্রেমেই এই স্লটটি সেই একই ধরনের ওজন পরিসরে থাকতে হবে। ফ্রেমের হিরারখিকাল বৈশিষ্ট্য সংযোগের ফলে তথ্য প্রকাশনায় পুনরাবৃত্তি ও দ্বৈত অর্থ নিরসনে সহায়ক হয়।

স্লটের সাহায্যে বিভিন্ন মান প্রকাশ করা হয়। স্লটের মানগুলির ধরনও বিভিন্ন হতে পারে যেমন– সাংখ্যিক মান, টেক্সট বা অন্য কোনো ফ্রেম বা স্লটের প্রতি নির্দেশকরণ, কোনো ফাংশন মান ইত্যাদি। এজন্য স্লটগুলিকে ফ্রেমে প্রসিডিউরাল উপায়ে প্রকাশ করা হয়।

ফ্রেমের নাম
  স্লটের নাম
    হিরারখি : (অনুরূপ, একমাত্র, পরিসর, ...)
    স্লটের অ্যাট্রিবিউট : (টেক্সট, সাংখ্যিক মান, নির্দেশক, ...)
    তেমন
  স্লটের নাম
  –
  –

ফ্রেমের গঠন প্রণালি

ফ্রেম মডেলে ফ্রেমগুলির মধ্যে তথ্য বিনিময়ের মাধ্যমে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়। এজন্য ফ্রেমগুলির মধ্যে হিরারখিকাল সম্পর্ক বিশেষভাবে কার্যকর হয় । 'তেমন' নামক ফাংশনটির

সাহায্যে স্বয়ংক্রিয়ভাবে কোনো প্রসিডিউরের অবতারণা করা হয় যদি কোনো বিশেষ মানের উদ্ভব হয়।

ফ্রেম মডেলের সুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– ফ্রেম মডেলে ডিক্লারেটিভ (বর্ণনামূলক) ও প্রসিডিউরাল (গঠনমূলক) জ্ঞানের সমন্বয় সাধনের মাধ্যমে ব্যাপকভাবে জ্ঞানের প্রস্তাবনা সম্ভব হয়।

– ফ্রেম মডেল জ্ঞান প্রস্তাবনায় মডিউল পদ্ধতির ব্যবহার, হিরারখিকাল সম্পর্কের ব্যবহার, স্থির বা স্ট্যাটিক অবজেক্টের জ্ঞান প্রস্তাবনা, সময়ের সাথে অবজেক্টের ডাইনামিকভাবে পরিবর্তিত জ্ঞান প্রস্তাবনা, স্লটগুলিতে গৃহীত সিদ্ধান্ত ধারণের ব্যবস্থা ইত্যাদির যথেষ্ট সুযোগ বিদ্যমান।

– ফ্রেম মডেলে অপূর্ণ বা অনিশ্চিত তথ্যের প্রস্তাবনা সম্ভব।

– ফ্রেম মডেলের দ্বারা জ্ঞান চিহ্নিতকরণ ও সংরক্ষণের সাথে সাথে জ্ঞান অনুধাবনের সুযোগ সৃষ্টি করাও সম্ভব।

– ফ্রেম মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনা বাস্তবসম্মত বিধায় বেশ কয়েকটি জনপ্রিয় প্রোগ্রাম ভাষা এই মডেলের ভিত্তিতে হয়েছে যেমন : GUS, FRL, KRL, HPRL, CONSUL, FAUTUS।

ফ্রেম মডেলের অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– ফ্রেম মডেলের সাহায্যে যে কোনো জটিল ধরনের জ্ঞানকে প্রস্তাব করা সম্ভব হলেও কোনো বিশেষ জ্ঞান পরিসরে আলাদাভাবে ফ্রেম ব্যবহার এখনও সম্ভব নয়।

– বস্তু পরিসরে কোনো বস্তু অন্যান্য বস্তুর সাথে পরস্পর সংযুক্তভাবে প্রস্তাবিত হওয়ার ফলে ফ্রেম মডেলের আকৃতি অত্যন্ত বিরাট হয়ে দাঁড়ায়।

– ফ্রেম মডেলে হিরারখিকাল সম্পর্ক ছাড়া বস্তু-তথ্যগুলির মধ্যে অন্য কোনো সম্পর্ক থাকে না।

– ফ্রেম মডেলে স্থির লক্ষ্য মোতাবেক সিদ্ধান্ত গ্রহণ সম্ভব হলেও প্রদত্ত জ্ঞানগুলিকে সমস্যা আকারে প্রস্তাবনায় জটিলতা হয়।

– ফ্রেম মডেলের এ পর্যন্ত সার্বজনীনভাবে গৃহীত জ্ঞান প্রস্তাবনার নিমিত্তে ফ্রেম গঠনের কোনো ব্যবস্থা নেই।

ফ্রেম মডেলের পরিবর্ধিত রূপ হলো–কম্পিউটার ফ্রেম। এই মডেলের বিশেষ বৈশিষ্ট্যগুলি হলো–

– এই মডেলে কিছু কম্পোনেন্ট থাকে যেগুলির মান কম্পিউটারের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। কম্পোনেন্ট হিসেবে অন্যান্য ফ্রেমগুলিও বিচার করা যেতে পারে।

– এই মডেলে এমন কিছু গণনামূলক সম্পর্ক প্রদত্ত থাকে যার সাহায্যে ফ্রেম কম্পোনেন্টগুলির মান নির্ণয় করা সম্ভব।

– ফ্রেমগুলি ব্যবহারের শর্ত প্রদত্ত থাকে।

– কম্পিউটার ফ্রেম মডেলে সিম্যান্টিক সম্পর্ক কম্পিউটার প্রোগ্রাম মডিউলের সাহায্যে দেয়া থাকে এবং এই প্রোগ্রামগুলি ফ্রেমের বাইরে থাকে। কম্পিউটার ফ্রেম মডেলের সাহায্যে

সংগঠনমূলক ও পরিকল্পনামূলক গণনা কাজ সুবিধাজনক এবং এর সাহায্যে জটিল লজিক্যাল সিদ্ধান্ত গ্রহণও সম্ভব।

৩.৭ প্রোডাকশন (production) বা রুল বেসড (Rule based) মডেল

প্রোডাকশন পদ্ধতি বলতে সেই ধরনের পদ্ধতিকে বুঝায় যা কিছু নিয়মের ভিত্তিতে কাজ করে এবং এই পদ্ধতিতে সুনির্দিষ্ট কিছু নিয়মের শর্তগুলি পূরণ হলে সুনির্দিষ্ট ফলও পাওয়া যায়। প্রোডাকশন মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবিত হয় < যদি...তবে..> এই সম্পর্কের দ্বারা। এই পদ্ধতিতে দুটি বিপরীতধর্মী সিদ্ধান্তগ্রহণ পদ্ধতি বিদ্যমান সরাসরি (direct) সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি এবং পশ্চাৎমুখী (backward) সিদ্ধান্তগ্রহণ পদ্ধতি। প্রথম ধরনের পদ্ধতি মোতাবেক MYCIN নামক এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরি করা হয়, যার সাহায্যে রোগ নির্ণয় করা সম্ভব। দ্বিতীয় ধরনের পদ্ধতিতে OPS নামক পদ্ধতির সাহায্যে প্রজেক্ট জাতীয় সমস্যার সমাধান করা হয়।

সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিতে লক্ষ্যে পৌঁছানোর জন্য প্রদত্ত ফ্যাক্টের ভিত্তিতে বিভিন্ন নিয়মাবলি পরীক্ষা দ্বারা ঠিক করা হয় যে সেই নিয়মের মাধ্যমে প্রাপ্ত সিদ্ধান্ত লক্ষ্যের সাথে মিল খায় কিনা। যদি মিল খায় তবে সেই সিদ্ধান্তটি ডাটা বেসে সংযুক্ত হয়। পশ্চাৎমুখী সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিতে লক্ষ্য থেকে শুরু করা হয় সেই নিয়মটিকে খোঁজার কাজ, যে নিয়মটির সিদ্ধান্তের সাথে লক্ষ্যের মিল আছে। যদি এ রকম নিয়ম পাওয়া যায় তবে সেই নিয়মের অন্তর্বর্তী শর্তগুলিকে পরবর্তী লক্ষ্য হিসেবে বিচার করে পুনরায় নিয়ম খোঁজার কাজ শুরু হয়। এভাবে ততক্ষণ পর্যন্ত লক্ষ্য খোঁজার কাজ চলতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত বিচার্য নিয়মটির লক্ষ্যফল ও প্রদত্ত ফ্যাক্ট একই মানের না হয়।

প্রোডাকশন পদ্ধতিতে কোনো নিয়মের একাধিক শর্ত থাকলেও তার সিদ্ধান্ত একক হয়। যদি সিদ্ধান্ত একের অধিক হয় তবে তা এককে রূপান্তরিত করার ব্যবস্থা করা হয়। যদি লক্ষ্য সুনির্দিষ্ট হয় তবে সিদ্ধান্ত গ্রহণ সহজ হয়। তবে লক্ষ্য অস্পষ্ট হলে সিদ্ধান্ত গ্রহণ বেশ জটিল হয়ে পড়ে। যেমন মেডিকেল এক্সপার্ট সিস্টেমের রোগ নির্ণয় প্রক্রিয়ায় রোগনির্ণয় কাজটিই হচ্ছে মূল লক্ষ্য কিন্তু সিদ্ধান্ত হিসেবে এই মূল লক্ষ্যটিই থাকে অজানা। তাই কেবল লক্ষণের ভিত্তিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করে লক্ষ্য স্থির করতে হয়, আর এজন্য তা অনির্দিষ্ট ও জটিল হয়ে পড়ে।

সিদ্ধান্তগ্রহণমূলক প্রোডাকশন পদ্ধতিতে এবং অথবা সম্পর্কের সাহায্যে ফ্যাক্ট ও সিদ্ধান্তের মধ্যে সংযোগ সাধনের দ্বারা এক ধরনের ট্রি তৈরি করা হয়। সিদ্ধান্ত সন্ধান প্রক্রিয়ায় যেসব পদ্ধতি গ্রহণ করা হয় তাহলো ডেপথ ফার্স্ট (deapth first), ব্রেডথ ফার্স্ট (breadth first), ব্ল্যাকবোর্ড সার্চ (blackboard search), অনিশ্চিত জ্ঞান সমন্বিত যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি ইত্যাদি।

সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিতে সকল ফ্যাক্টকেই বিচারে আনা হয় যার মধ্যে অনেকগুলিই হয়তোবা সিদ্ধান্ত গ্রহণের সাথে সরাসরিভাবে যুক্ত নয়। তাই এই পদ্ধতিতে ডাটা ব্যাংকের আয়তন অত্যন্ত বড় হয়। পশ্চাৎমুখী সিদ্ধান্ত গ্রহণে ফ্যাক্টের কেবল প্রয়োজনীয় অংশই ধর্তব্যের মধ্যে আনা হয়।

সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিসহ প্রোডাকশন মডেলে জ্ঞানের প্রস্তাবনা সর্বাধিক পুরনো এবং জনপ্রিয়ও বটে। এই পদ্ধতিতে তিনটি কম্পোনেন্ট বিদ্যমান : 'রুল-বেস', 'ডাটা-বেস' এবং 'রুল-ইন্টারপ্রেটর' (বা নিয়ম ব্যাখ্যাকারী)। রুল-বেস বিভিন্ন রুলের সমাহারে গঠিত। এর মধ্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের রুলও অন্তর্ভুক্ত থাকে। ডাটা-বেস বিভিন্ন ফ্যাক্টের সমাহারে গঠিত। রুল-ইন্টারপ্রেটর ডাটা-বেস ও রুল-বেসকে ভিত্তি করে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করে। ডাটা-বেস ও রুল-বেসকে একত্রে বলা হয় 'নলেজ-বেস'। ইন্টারপ্রেটর << বোধন-সাধন (সিদ্ধান্ত গ্রহণ) >> এই পদ্ধতিতে কাজ করে। প্রতিটি গৃহীত তথ্য ডাটা-বেসে সংযুক্ত হয়। ফলে ডাটা-বেস প্রাথমিক অবস্থা থেকে লক্ষ্যাবস্থার দিকে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ ডাটা-বেস সিন্থেসিসের মাধ্যমে লক্ষ্য গ্রহণ পদ্ধতিতে রূপান্তরিত হয়।

প্রোডাকশন মডেলের সুবিধাজনক দিকগুলো হলো :

– এই মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনা অত্যন্ত সহজ এবং তা সকল ধরনের সমস্যার জন্য বা সার্বজনীনভাবে প্রযোজ্য।

– নিয়মের মডিউলগুলির সহজবোধ্যতার কারণে তা অত্যন্ত নমনীয় ও সহজে পরীক্ষণীয়, সহজে গঠনযোগ্য এবং সহজে সিদ্ধান্ত গ্রহণের উপযোগী।

– নিয়ম-মডিউলগুলি প্যারালাল কম্পিউটারের সাহায্যে ব্যবহারের উপযোগী।

প্রোডাকশন মডেলের বিভিন্ন সুবিধাজনক দিক থাকা সত্ত্বেও এর বেশ কিছু অসুবিধাজনক দিক বিদ্যমান :

– কিছু কিছু বিষয়বস্তু-ক্ষেত্রের জন্য এই মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনা সহজ হয় না যদি সেই বিষয়বস্তুক্ষেত্রের নিয়ম গঠনে সুনির্দিষ্টতা না থাকে।

– নিয়মগুলির মধ্যে অভ্যন্তরীণ সম্পর্ক অস্পষ্ট থাকে।

– এই পদ্ধতিতে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ অত্যন্ত ধীরগতিসম্পন্ন।

– এই মডেলে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণে নমনীয়তার অভাব।

প্রোডাকশন মডেল অত্যন্ত সহজ ও সাধারণ। DENDRAL ও MYCIN নামক এক্সপার্ট সিস্টেমগুলিতে এই মডেলের ব্যবহারের ফলে তার ব্যাপক উপযোগিতা প্রমাণিত হয়।

DENDRAL এক্সপার্ট সিস্টেমটির ব্যাপারে গবেষণা শুরু হয় ১৯৬৫ সালে এবং এটিকে জ্ঞান-প্রযুক্তির সর্বপ্রথম সাফল্য বললে ভুল হবে না। এই এক্সপার্ট সিস্টেমটির সাহায্যে মাসস্পেক্ট্রোমিটারের মাধ্যমে প্রাপ্ত (পরবর্তীতে এর সাথে নিউক্লিয়াল ম্যাগনেটিক রেজোনান্সের ফলও যোগ করা হয়) পদার্থের রাসায়নিক গঠন সম্পর্কে পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করা হয়। DENDRAL এক্সপার্ট সিস্টেম কোনো অজানা পদার্থের রাসায়নিক গঠন বিভিন্ন ধরনের গঠনের সাথে তুলনা করে যে পদার্থের নামের সাথে ঐ গঠনের মিল পাওয়া যায়, সেই পদার্থ হিসেবেই ঐ পদার্থটিকে চিহ্নিত করা হয়। এই প্রক্রিয়ায় এক্সপার্টের জ্ঞান ব্যবহার করে দ্রুততর লক্ষ্যনির্ধারণী সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায়। এর ফলে এক্সপার্ট-জ্ঞান যত বেশি হয়, সিদ্ধান্ত গ্রহণ ততই সফল হয়। এ কারণে DENDRAL এর পরিবর্ধিত রূপ METADENDRAL তৈরি করা হয় যেখানে সিদ্ধান্তলব্ধ ফলগুলিকেও নলেজ-বেস বা জ্ঞান ভাণ্ডারে সংযুক্ত করা হয়।

প্রোডাকশন মডেলের আরেক ব্যবহার উপযোগী বহুল প্রচলিত MYCIN এক্সপার্ট সিস্টেমের সাহায্যে মেডিকেল ডায়াগোনেস্টিক কাজ করা হয়। যেহেতু ক্লিনিকাল ডায়াগোনেস্টিক বা রোগ নির্ণয়ের কাজটি চিকিৎসকের প্রাত্যহিক কর্মলব্ধ অভিজ্ঞতার ভিত্তিতেই সম্পন্ন হয় এবং যদিও অভিজ্ঞতালব্ধ জ্ঞানগুলি প্রসিডিউরাল ধরনের জ্ঞান কিন্তু এই জ্ঞানগুলি কোনো ফরমাল উপায়ে লিপিবদ্ধ হয় না। তাই তাদের প্রস্তাবনার জন্য প্রয়োজন হয় চলতি প্রাকৃতিক ভাষার কাছাকাছি কোনো প্রস্তাবনা মাধ্যম। এতদসত্ত্বেও প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে রোগের লক্ষণ থেকে রোগ নির্ণয় প্রক্রিয়াটি এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরিতে বিশেষভাবে উপযোগী প্রমাণিত হয়।

MYCIN এ প্রস্তাবিত জ্ঞান অত্যন্ত সাধারণ ধরনের এবং সহজভাবে বোধগম্য। কিন্তু সকল ধরনের ভাষাগত প্রকাশনা বা তথ্য << যদি...তবে...>> এই সম্পর্কের দ্বারা প্রকাশ করা সহজ নয়। প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে MYCIN এ জ্ঞান প্রস্তাবনাই এই মডেলের জন্য কিছুটা সীমাবদ্ধতা সৃষ্টি করে। মানুষের জ্ঞান শুধু MYCIN কেন অন্য যে কোনো একক পদ্ধতিতে প্রস্তাবনা সম্ভব নয়। তাই যে কোনো পেশাভিত্তিক ক্ষেত্রে জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণের জন্য একটি মাধ্যম প্রয়োজন। এই মাধ্যমটি উভয় পক্ষকেই ভালোভাবে বুঝতে পারবে এবং উভয় পক্ষের কাছেই তা বোধগম্য হবে। কিন্তু সমস্যা দাঁড়ায় এই মাধ্যমটি নির্বাচনের ব্যাপারে। এই সমস্যা এড়ানোর জন্যই অন্য একটি এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরি করা হয় যার নাম দেয়া হয় THIESIAS। এই এক্সপার্ট সিস্টেমটির সাহায্যে এক্সপার্টের জ্ঞান সরাসরি নলেজ বেসে প্রেরণ করা যায় এবং সেই জ্ঞানে কোনো ভুল থাকলে তা নির্ধারণ ও সংশোধন করা যায়। MYCIN এর আরেক পরিবর্ধিত রূপ হলো EMYCIN যার সার্বজনীনতার ফলে এই এক্সপার্ট সিস্টেমটি কোনো বিশেষ বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞান প্রস্তাবনায় সীমাবদ্ধ থাকে না, বরং সকল ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞান প্রস্তাবনার কাজে তা ব্যবহার করা যায়। EMYCIN কে কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞানের জন্য ব্যবহার করতে চাইলে তা MYCIN এর রূপ ধারণ করে।

দেখা যাচ্ছে যে, MYCIN জ্ঞান-প্রযুক্তির উন্নয়নে বিশেষ অবদান রেখেছে। এর সাহায্যে আরও কয়েকটি এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরি করা হয়েছে যেমন : PUFF, PROSPECTOR, RITA, ROSIE ইত্যাদি। PROSPECTOR এক্সপার্ট সিস্টেমটি খনিজ সম্পদ সন্ধানে ভূতত্ত্ববিদদের বিশেষ সহায়তায় আসে।

প্রোডাকশন মডেলের এককভাবে ব্যবহারের চেয়ে অন্যান্য মডেলের সাথে সমন্বিতভাবে তার ব্যাপক ব্যবহার হয়। এক মডেলের সাথে অন্য মডেলের সমন্বয়কে হাইব্রিড (hybrid) মডেল বলা হয়। হাইব্রিড মডেল সম্পর্কে পরবর্তীতে কিছুটা ব্যাপকভাবে আলোচনা করা হবে। প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে অনির্দিষ্ট ও অনিশ্চিত জ্ঞান প্রস্তাবনার জন্য লিঙ্গুইস্টিক মডেলের সাথে তার সমন্বয় সাধনের ব্যাপক চেষ্টা বর্তমানে চলছে এবং ভবিষ্যতে তার প্রয়োগ যে যথেষ্ট সম্ভবনাময় তা বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

৩.৮ ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল

প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনায় নলেজ-বেসে একই পদ্ধতির আওতায় বিভিন্ন ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যা সমাধানের জন্য একই ধরনের অনেকগুলি নিয়মের

সম্ভব হয়। কিন্তু বিভিন্ন ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জন্য একই ধরনের নিয়মাবলির সমন্বয়ে এক্সপার্ট সিস্টেমটির কর্মক্ষমতা যথেষ্ট কমে যায়। কাজেই একই এক্সপার্ট সিস্টেমের মধ্যে কয়েক ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যা সমাধানের চেষ্টা পরিহার করা বাঞ্ছনীয়। কিন্তু এমন কিছু অবস্থার সৃষ্টি হয় যখন একটি সমস্যার সমাধান কিছু ভিন্ন ভিন্ন ধরনের সমস্যার সমাধানের দ্বারা হয়। এমনও হয় যে, এই উপাদান সমস্যাগুলি একটি অন্যটি থেকে সম্পূর্ণ আলাদা ও সার্বভৌম। উপরন্তু, এই অঙ্গ সমস্যাগুলির একটির সমাধান আরেকটির সমাধানে সহায়ক হয়।

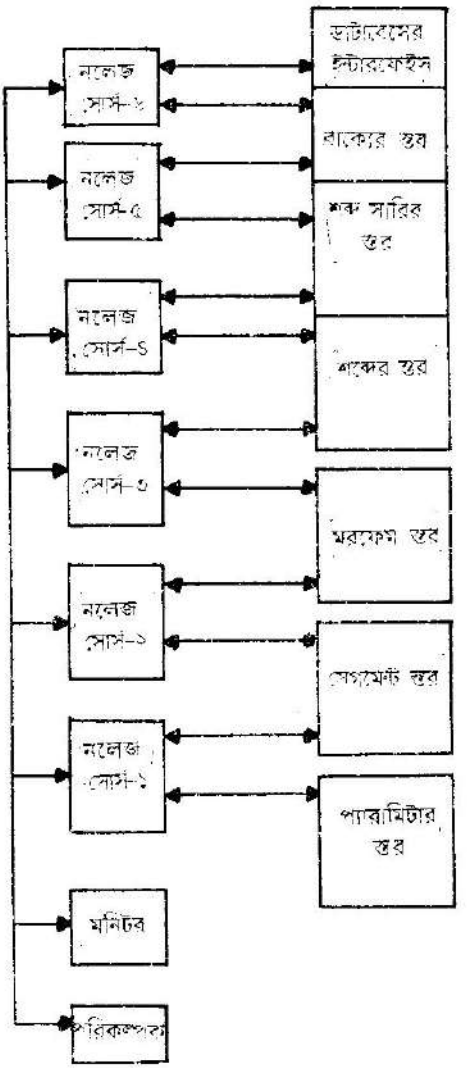
এই ধরনের সমস্যার উদাহরণ হিসেবে কণ্ঠস্বর প্রক্রিয়াকরণের (voice processing) সমস্যাকে ধরা যেতে পারে। এই সমস্যার সমাধান কয়েকটি ধাপে করতে হয়। যেমন, বক্তার কণ্ঠস্বরের সিগনাল প্রক্রিয়াকরণ, সিগনাল থেকে শব্দ বিশ্লেষণ, শব্দগুলি দ্বারা বাক্য গঠন, বাক্যের অর্থ নির্ধারণ, ইত্যাদি। প্রতিটি ধাপের সমস্যাগুলির ধরন ও গঠন ভিন্ন ভিন্ন ধরনের ও তাদের সমাধানের প্রক্রিয়া ভিন্ন ভিন্ন ধরনের হলেও তাদের সমাধানের ফলগুলি একটি অন্যটির সাথে সম্পর্কযুক্ত।

উপরিউক্ত ধরনের সমস্যা সমাধানের উদ্দেশ্যে HEARSAY–II এক্সপার্ট সিস্টেমটি তৈরি করা হয়। এই এক্সপার্ট সিস্টেমের গঠন থেকে নতুন এক ধরনের জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল তৈরি করা হয় যার নাম দেয়া হয়—ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল। অবশ্য এটিকে জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল না বলে জ্ঞান ব্যবহারের মডেল বলা বেশি যুক্তিযুক্ত। যেহেতু এই মডেলে বিভিন্ন ধরনের সমস্যাকে একত্রকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়, অনেকটা যেন ব্লাকবোর্ডে তথ্য সন্নিবেশ করার মতো ব্যাপার তাই এর নাম দেয়া হয়–ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল। আলাদা আলাদাভাবে সন্নিবেশিত জ্ঞানগুলিকে জ্ঞান–উৎস বা নলেজ–সোর্স বলা হয়। নলেজ–সোর্সগুলি প্রোডাকশন মডেলে তৈরি করা হয়। নলেজ সোর্সগুলি একত্রিতভাবে একক জ্ঞান পদ্ধতি সৃষ্টি করে।

নিচের চিত্রে ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলের সাহায্যে HEARSAY–II এক্সপার্ট সিস্টেমটির গঠন প্রক্রিয়া প্রদর্শিত হলো। এই মডেলের সাহায্যে সমস্যা প্রস্তাবনার বিভিন্ন হিরারখিকাল স্তরের সাথে সামঞ্জস্য বিধানকারী জ্ঞান উৎসগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে একজন পরিকল্পনাকারী। HEARSAY–II ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলের এই কাঠামোটি সাতটি হিরারখিকাল স্তর দ্বারা সন্নিবেশিত এবং এর প্রতিটি স্তরেই জ্ঞান সংরক্ষিত থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত, যতক্ষণ পর্যন্ত সেখানে জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণ শুরু না হয়। ডাটার প্রক্রিয়াকরণ শুরু হয় সেই সর্বনিম্ন স্তর থেকে যেখানে অ্যাকাউস্টিক বা ধ্বনিসংক্রান্ত প্যারামিটারগুলির প্রক্রিয়াকরণ শুরু হয়। এরপরে সিগনাল থেকে পর্যায়ক্রমে ফনেম গঠন, সিলেবল গঠন ও সর্বশেষ স্তরে সিন্টাক্সের মাধ্যমে বাক্যের গঠন সম্পন্ন হয়। প্রতিটি স্তরেই জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ অনির্দিষ্টভাবে সম্পন্ন হয় অর্থাৎ প্রাপ্ত ফল সম্ভাব্য সকল ধরনের অর্থের মধ্যে কেবল একটি অর্থই গ্রহণ করে থাকে যাকে বলা হয় হাইপোথিসিস। যখন কোনো স্তরের হাইপোথিসিস ব্যবহারের দ্বারা পরবর্তী উচ্চতর স্তরের হাইপোথিসিস তৈরি করা হয় তখন যে স্তরের জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণ করা হয় সেই স্তরের হাইপোথিসিসটি ব্যবহার করা হয়। যেমন, যদি ফনেম স্তরে অর্থবহুল শব্দ গঠন করা সম্ভব হয় তবে এই হাইপোথিসিসটি পরবর্তী

DHAKA LIBRARY

স্তরগুলিতে সঠিক হিসেবে ধরা হয়। কোনো নলেজ-সোর্স তার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ স্তরের হাইপোথিসিস গঠনের জন্য নিম্নতর স্তরের হাইপোথিসিস গ্রহণ করে এবং তা যথাযথ সিদ্ধান্ত গ্রহণ ও প্রক্রিয়াকরণের মাধ্যমে পরবর্তী স্তরের হাইপোথিসিস জেনারেট করে।



চিত্র ৩.৪ : ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল।

উচ্চতর হাইপোথিসিসকে লক্ষ্য-সিদ্ধান্ত হিসেবে বিচার করে তা নিম্নতর স্তরে প্রয়োগ করে তার কার্যকারিতা পরীক্ষা করার মাধ্যমে পূর্বাপর সম্পর্ক (feed back) বজায় রাখা হয়।

সকল নলেজ-সোর্সগুলি স্বাধীন কিন্তু তালবদ্ধ (Synchronised) এবং সেগুলি সমান্তরালভাবে কাজ করতে পারে। জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ ক্রিয়াকে বাস্তবায়নের জন্য চলতি অবস্থার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ নলেজ সোর্সটিকে কার্যকর করার ব্যবস্থা এক্সপার্ট সিস্টেমে থাকতে হবে। ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলে কন্ট্রোল-মেকানিজমের কার্যপদ্ধতি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। এই কন্ট্রোল-মেকানিজম ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশনে সন্নিবেশিত অবস্থাগুলিকে বিশ্লেষণ করে ঠিক করে কোন স্তরটি জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে সর্বাধিক প্রাধান্য পাবে এবং নলেজ-সোর্সগুলির কর্মপদ্ধতি পরিকল্পনা করে। HEARSAY-II পদ্ধতিতে নিয়ন্ত্রণ অংশটি মানুষের চিন্তা ও বুদ্ধিমত্তা অনুসরণ করার চেষ্টা করে। কিন্তু এই ধরনের পদ্ধতিগুলিতে কন্ট্রোল-মেকানিজম বাস্তবায়ন করার ব্যাপারে কন্ট্রোল-অ্যালগরিদম থেকে পৃথক কিছু সমস্যার উদ্ভব হয়। যেহেতু কন্ট্রোল-অ্যালগরিদম কন্ট্রোল মেকানিজম হিসেবে বাস্তবায়িত হয় তাই কন্ট্রোল-মেকানিজম সরাসরি এক্সপার্ট সিস্টেমে সার্বজনীন পদ্ধতি আকারে সংযুক্ত থাকে। কন্ট্রোল-অ্যালগরিদম কন্ট্রোল-মেকানিজম থেকে আলাদাভাবে পরিবেশিত হয় যা মেকানিজমকে অধিকতর কর্মোপযোগি করে তোলে। প্রোডাকশন সিস্টেমের আওতাভুক্ত MYCIN এ সিদ্ধান্ত গ্রহণের মেকানিজম তার নলেজ-বেস এর উপর নির্ভরশীল কিন্তু EMYCIN এ নলেজ-বেস ও সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি একটি থেকে অন্যটি পৃথক। MYCIN এক্সপার্ট সিস্টেমে জ্ঞান সরাসরি বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যার সাথে সম্পর্কিত বা সংযুক্ত থাকে কিন্তু বিষয়বস্তুভিত্তিক জ্ঞান সিদ্ধান্ত গ্রহণ মেকানিজমের উপর নির্ভরশীল নয়। কোনো বিষয়বস্তু ক্ষেত্রের জ্ঞানকে কিভাবে প্রক্রিয়াকরণ ও ব্যবহার করতে হবে, সে সম্পর্কে জ্ঞানকে মেটানলেজ বলা হয় এবং মেটানলেজকে বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যাভিত্তিক জ্ঞানকোষ থেকে আলাদাভাবে বিচার করা হয়।

HEARSAY-II এর জটিলতা সমস্যার জটিলতা বাড়ার সাথে সাথে বাড়তে থাকে। কণ্ঠস্বর অনুধাবন, অটোম্যাটিক প্রোগ্রাম, অটোম্যাটিক পরিকল্পনা, টেক্সট অনুধাবন, অঙ্কন বা ইমেজ প্রসেসিং ইত্যাদি জাতীয় সমস্যার জন্য HEARSAY-II এর চেয়েও উন্নত পদ্ধতির প্রয়োজন, যেখানে অনেকগুলি নলেজ-সোর্সকে একত্রকরণের মাধ্যমে তা বিশেষ বিষয়ভিত্তিক না হয়ে অনেকটা সার্বজনীন হওয়া বাঞ্ছনীয়। এই উদ্দেশ্যে ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলের ভিত্তিতে AGE, ART, ESHELL এক্সপার্ট সিস্টেমগুলি তৈরি হয়।

৩.৯ রিলেশন মডেল বা টেবিল মডেল

এই মডেলের সাহায্যে জ্ঞানকে টেবিলের আকারে প্রকাশ করা হয় ফাইনাইট সেট এলিমেন্ট ও তাদের মধ্যে সীমায়িত সম্পর্ক প্রদানের দ্বারা। এজন্য গাণিতিক ফরমালিজম হিসেবে অ্যালজেবরার রিলেশনাল অ্যাপারেটাস ও টেবিল ব্যবহার করা হয়। এই মডেলের সুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

- টেবিল আকারে সরাসরি সহজে ও সমতার ভিত্তিতে বিভিন্ন জ্ঞানকে প্রকাশ করা যায়,

– টেবিল পদ্ধতিতে কোনো অপারেশন করা অত্যন্ত সহজ,

– বিভিন্ন ধরনের তথ্যকে নমনীয়ভাবে প্রস্তাবনা ও প্রক্রিয়াকরণ করা যায়,

– এই পদ্ধতিতে তথ্য–প্রস্তাবনা তথ্য–প্রক্রিয়াকরণের ধরনের উপর নির্ভর করে না,

– এই পদ্ধতিতে সেট ধরনের তথ্য নিয়ে কাজ করার সুবিধা,

– টেবিল মডেলে কোনো ধরনের যুক্তিগত সম্পর্ক তথ্যগুলির মধ্যে সৃষ্টি না করেই যে কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের তথ্য প্রস্তাবনা করা যায় যা নাকি ফ্রেম বা নেট মডেলের জন্য অপরিহার্য,

– যোগ, গুণন বা প্রজেকশন জাতীয় অপারেশন টেবিল পদ্ধতিতে প্রকাশিত তথ্য নিয়ে কাজ করার ব্যাপারে যথেষ্ট সুবিধাজনক।

এই সুবিধাগুলি থাকা সত্ত্বেও রিলেশন মডেলের বেশকিছু অসুবিধাজনক দিক বিদ্যমান :

– রিলেশন মডেল বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সিমান্টিক্সকে যথাযথভাবে প্রকাশ করার সুযোগ দেয় না,

– এই মডেলকে কোনো অবজেক্টগ্রুপকে চিহ্নিতকরণের ক্ষেত্রে ব্যবহার করা যায় না,

– বিষয়বস্তু ক্ষেত্রের কাঠামো বা গঠন বিশ্লেষণ করার জন্য প্রদত্ত তথ্যকে শুধু মান দ্বারা প্রকাশ করলেই হবে না, তাদের নাম ও চিহ্নও একই সাথে বিবেচনায় আনতে হবে যা টেবিল মডেলের সাহায্যে সুবিধাজনকভাবে সম্ভব হয় না,

– রিলেশন মডেলের সাহায্যে কেবল কোনো বিশেষ বিষয়বস্তুক্ষেত্রেরই জ্ঞানের প্রস্তাবনা হয়, সার্বজনীনভাবে এই টেবিলের ব্যবহারে টেবিলের আয়তন এত বড় হয় যে তার কার্যকারিতা অনেক কমে যায়,

– রিলেশন মডেলের সাহায্যে অপূর্ণ বা অনিশ্চিত জ্ঞান প্রস্তাবনা সম্ভব হয় না,

– এই মডেলে তথ্যগুলির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করার ব্যবস্থা না থাকার ফলে তথ্যগুলিকে কোনো বিশেষ ক্রমানুসারে সাজানোর প্রয়োজন হয়, আর এজন্য অনেক অপ্রয়োজনীয় তথ্যকেও টেবিলে ধারণ করতে হয়,

– অসংগঠিত বা অপূর্ণ তথ্য প্রস্তাবনা টেবিল মডেলের সাহায্যে সম্ভব নয়,

– অনেক সময় বিভিন্ন টেবিলের মধ্যে পারস্পরিক বৈপরীত্য পরিলক্ষিত হওয়ার ফলে এই মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনার সঠিকতা নিয়ে সন্দেহের উদ্রেক হয়।

৩.১০ গ্রাফ মডেল

এই মডেলের বিশেষত্ব হলো এই যে, এতে কোনো বিশেষ সমস্যাগোষ্ঠীর বা ক্লাসের অর্থ নির্ণয়, তাদের শর্ত ও সিদ্ধান্ত নির্ধারণ, গণনা প্রক্রিয়ার সাংগঠনিক পদ্ধতি ইত্যাদি সবকিছুই গ্রাফ আকারে প্রকাশ করা হয়। গ্রাফ মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনার ভিত্তিতে DISUPP মারশরুট সিস্টেমটি তৈরি করা হয়। এই সিস্টেমে সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়াকে মারশরুট আকারে গ্রাফের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

মারশরুট গ্রাফকে প্রকাশ করা হয় G(M,R) এর দ্বারা যেখানে $M=(M_1, M_2, ... M_n)$ হচ্ছে গ্রাফের শেষ বিন্দু বা নটগুলির গুচ্ছ বা সেট যেগুলি সমস্যা সমাধানের বিভিন্ন প্রক্রিয়াকে চিহ্নিত করে। R হচ্ছে গ্রাফের শীর্ষ বিন্দুগুলি বা সমস্যা সমাধানের ধাপগুলির মধ্যবর্তী সম্পর্ক প্রকাশকারী সংযোগ রেখার সেট বা গুচ্ছ। সংযোগ রেখা R সমাধানের জন্য মারশরুটগুলির মধ্যে শর্ত নির্বাচন ও প্রতিটি ধাপের ক্রিয়া সম্পাদনের পর বিকল্প শর্তগুলি প্রকাশ করে। এই শর্তগুলি সমস্যার প্রস্তাবনার সাথে দেয়া থাকে অথবা তা বের করে নিতে হয়। মারশরুট পদ্ধতিতে একাধিক ব্যবহারকারী একই সাথে কাজ করার জন্য মারশরুটের শাখা প্রশাখায় বিভক্তকরণের ব্যাপারে বেশ উপযোগী।

৩.১১ টেনসর মডেল

টেনসর মডেলের সাহায্যে জ্ঞানের কাঠামো ও প্রক্রিয়াকরণগত প্রস্তাবনা এবং বিভিন্ন ধরনের জটিল পদ্ধতিগুলি ব্যবহার করে জ্ঞানকে এক পদ্ধতি থেকে অন্য পদ্ধতিতে বদল করার জন্য বেশ উপযোগী। এই মডেলে জ্যামিতিকভাবে জ্ঞানের প্রস্তাবনা হয় অনেকটা কোঅর্ডিনেট পদ্ধতির ন্যায়।

টেনসর মডেলে তথ্যকে কোনো এক জ্যামিতিক পরিসরে কতকগুলি বিন্দুর সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এই বিন্দু সমষ্টি তথ্য-পরিসরকে জ্যামিতিকভাবে অবজেক্ট টেনসরে প্রস্তাব করে। বিভিন্ন কোঅর্ডিনেট সিস্টেমে টেনসরের প্রজেকশনের সাহায্যে পদ্ধতি বদল করার জন্য অ্যালজেবরার টেনসর নিয়মগুলি অনুসরণ করা হয়। টেনসর মডেলের ভিত্তিতে টেনসর ডাটা-বেস তৈরি করা হয়।

৩.১২ ক্যাটেগরি ভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনা মডেল

গণিতের ক্যাটেগরি তত্ত্বের ভিত্তিতে এই মডেল তৈরি করা হয়েছে। এই মডেলের সাহায্যে লজিকাল গঠনের জ্ঞানের সিমান্টিক্স প্রস্তাবনা সম্ভব। এই মডেলের উদ্ভব ঘটে ডাটা-বেসের রিলেশন গঠনকে ভিত্তি করে অ্যাবস্ট্র্যাক্ট টাইপের তথ্যগুলিকে প্রোগ্রাম আকারে প্রস্তাবনার উদ্দেশ্যে। এজন্য গাণিতিক লজিকের ক্যাটেগরি তত্ত্ব ব্যবহার করার মাধ্যমে কোনো অবজেক্টকে অন্য অবজেক্টের সাথে সম্পর্কযুক্ত করা হয়। ক্যাটেগরি মডেলে বস্তুর নামের সাথে তার অর্থও সংযুক্ত থাকে। ক্যাটেগরিকে অ্যালজেব্রা-অবজেক্ট হিসেবে বিবেচনা করা হয়, কারণ তা বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ককে সীমায়িত সেট আকারে প্রকাশ করে। ক্যাটেগরি মডেল লজিকাল ও সিমান্টিক্যাল জ্ঞান প্রকাশ করার জন্য বেশ উপযোগী।

৩.১৩ অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল

সবসময় সঠিকভাবে জ্ঞানের প্রস্তাবনা সম্ভব হয় না, কারণ জ্ঞান অনেক সময় বা এমনকি বেশিরভাগ সময়ই থাকে অপূর্ণ বা অস্পষ্ট। মানুষ তার দৈনন্দিন সমস্যাগুলির সমাধান প্রায়ই অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞানের ভিত্তিতে করে থাকে। কাজেই কোনো যন্ত্র যদি কোনো মানুষের বুদ্ধিমত্তাকে অনুসরণ করতে চায় তবে তাতে অবশ্যই অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞানের প্রস্তাবনার ব্যবস্থা থাকতে হবে। অবশ্য 'অনিশ্চিত' কথাটিকে সঠিকভাবে সংজ্ঞায়িত করা দরকার। অনিশ্চিত জ্ঞানের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখযোগ্য : (১) সিদ্ধান্ত গ্রহণে অনির্দিষ্টতা, (২) বহুতার্থিকতা, (৩) অপূর্ণতা, (৪) অনির্ভরযোগ্যতা, (৫) সঠিকতার অভাব।

যেহেতু প্রতিটি বিষয়বস্তুক্ষেত্রেই বেঠিকভাবে প্রস্তাবিত সমস্যা বিদ্যমান, তাই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে ক্রমান্বয়েই এই অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান নিয়ে ব্যাপক গবেষণা হচ্ছে। সঠিক সমস্যাগুলিকে সিস্টেমাইজেশন ও প্রোগ্রামকরণের প্রস্তাবনা ও সমাধান করার অনেক উপায় বের হয়েছে। কিন্তু যেহেতু সঠিক নয় এমন সমস্যাগুলির ক্ষেত্রে পূর্ণ জ্ঞান পাওয়া যায় না, তাই তাদের প্রস্তাবনার জন্য প্রচলিত পদ্ধতিগুলির বাইরে অন্য পদ্ধতির সন্ধান বাঞ্ছনীয়।

মানুষের জ্ঞান অত্যন্ত ব্যাপকভিত্তিক এবং এ পর্যন্ত জানা সম্ভব হয় নি, মানুষের মস্তিষ্কে জ্ঞানের সাংগঠনিক রূপটা কি। মানুষ তার জ্ঞান নিয়ে কাজ করার সময় অনেকটা অবচেতন মনেই কাজ করে যায় তার সকল জ্ঞানকে যথাযথভাবে সংগঠিত বা প্রস্তাব না করেই। বেশিরভাগ সময়ই মানুষ তার অনুভব শক্তিগুলিকে জ্ঞান প্রস্তাবনা ও প্রক্রিয়াকরণে ব্যবহার করে। কিন্তু কোনো যন্ত্রের পক্ষে বিশৃঙ্খল বা নিয়মবিহীনভাবে প্রস্তাবিত জ্ঞানকে প্রক্রিয়াকরণ করা কোনোভাবেই সম্ভব নয়। উপরন্তু, যন্ত্রের অনুভব শক্তি কোনোক্রমেই মানুষের মত বহুমাত্রিক নয়। তাই অনিশ্চিত জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের জন্য বেশ কয়েকটি মডেল এ পর্যন্ত তৈরি হয়েছে। এগুলির মধ্যে ফাজি-লজিক ও লিংগুইস্টিক নলেজ মডেল বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। পরবর্তীতে এই মডেলগুলি সম্পর্কে বিশেষ ব্যাখ্যা প্রদান করা হয়েছে।

৩.১৪ জ্ঞান প্রস্তাবনার বিভিন্ন ধরন ও কম্পিউটারে তা ব্যবহারের সম্ভাবনা

একজন মানুষ সমাজে কি ভূমিকা পালন করে তার উপর ভিত্তি করে বিভিন্ন জনকে বিভিন্ন সমস্যার মুখোমুখি হতে হয়। এই সমস্যাগুলিকে ভিন্ন ভিন্ন মানুষ ভিন্ন ভিন্নভাবে গ্রহণ করে। তাই তাদের প্রস্তাবনা পদ্ধতিও হয় ভিন্ন ভিন্ন। কোনো সমস্যার সমাধানে একাধিক ব্যক্তির অংশগ্রহণও সমস্যা-প্রস্তাবনার উপর প্রভাব ফেলে, কারণ সমস্যা একই থাকলেও এক এক জনের কাছে তা এক একভাবে অনুভূত বা বোধগম্য হয়। মানুষের নিকট সমস্যার মূল বিষয়টি সবপ্রথম বিচার্য হলেও কম্পিউটারের জন্য সর্বপ্রথম বিচার্য হলো সমস্যা কিভাবে প্রস্তাবিত হয়েছে এবং তার সমাধানও নির্ভর করবে সমস্যা প্রস্তাবনার ধরনের উপর।

দেখা যাক, কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের তথ্য কিভাবে ধাপে ধাপে প্রক্রিয়াকরণ করা হয়। নিচের টেবিলে সহজভাবে দেখানো হয়েছে যে কিভাবে মানুষের জ্ঞানের স্তরের ভিত্তিতে কোনো বস্তু সম্পর্কে প্রতিটি তথ্য প্রক্রিয়াকরণ করা হয়। জ্ঞানের স্তরের ভিত্তিতে প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিকে চারভাগে ভাগ করা যেতে পারে :

জ্ঞান উন্নয়নের বিভিন্ন স্তর	তথ্য প্রস্তাবনার ধরন ও জ্ঞানের ধরন
প্রথম ধাপ : বাছাই পর্ব	তথ্য নেই
দ্বিতীয় ধাপ : নীরিক্ষা পর্ব	বাঁধাধরা নিয়ম ব্যতিরেকেই বর্ণনামূলক প্রস্তাবনা
তৃতীয় ধাপ : পরীক্ষা পর্ব	তথ্যকে পরিমাপিক বা সাংখ্যিকভাবে প্রস্তাবনা
চতুর্থ ধাপ : তাত্ত্বিক পর্ব	গাণিতিক বা অন্য কোনোভাবে সূত্রাকারে প্রস্তাবনা

প্রাথমিকধাপে গঠনতব্য বস্তুটি সম্বন্ধে কোনো তথ্য প্রায় অনুপস্থিত থাকে। ফলে বস্তুটি তৈরি করার প্রজেক্ট কোনো পরিকল্পনা ছাড়াই করা হয়। বস্তুটির প্রাথমিক মডেলটি অনেকটা আকস্মিক বা কাল্পনিকভাবেই তৈরি করা হয়। এ স্তরে কোনো শর্ত পূরণে সক্ষম এমনভাবে বস্তুর গঠন পরিকল্পনা করা বেশ কঠিন কাজ। যদি হঠাৎ করেই অন্তত আংশিকভাবেও আকাঙ্ক্ষিত গুণাবলি সংবলিত বস্তুটি তৈরি করা সম্ভব হয় তবে সেটিই বিরাট সাফল্য হিসেবে বিবেচনা করা হয়।

প্রাথমিক ধাপের কিছুকাল অতিবাহিত হবার সময় ইম্পিরিকাল তথ্য সংগ্রহ প্রক্রিয়া চলতে থাকে এবং তারপর শুরু হয় দ্বিতীয় ধাপ। এই ধাপে অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে অর্থাৎ ইতোমধ্যেই সংগৃহীত তথ্যাদির ভিত্তিতে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে মোটামুটি একটা ধারণা সৃষ্টি হয়। কিন্তু এই ধাপে বিষয়বস্তু সংক্রান্ত সকল তথ্য জ্ঞাত থাকে না। তাই কেবল অনুমানের ভিত্তিতে বিষয়বস্তু সংক্রান্ত বিভিন্ন পরিকল্পনা করা হয়।

তৃতীয় ধাপে বিভিন্ন নীরিক্ষার দ্বারা লব্ধ জ্ঞানের ফলে বিষয়বস্তু সংক্রান্ত কার্যকরণগত সম্পর্ক নির্ধারণের চেষ্টা করা হয় এবং এক্সপেরিমেন্টগুলিকে কোনো পদ্ধতিগতভাবে সম্পাদন করার উপায় বের করা হয়। এক্সপেরিমেন্ট থেকে প্রাপ্ত ফলগুলি সমষ্টিগতভাবে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে প্রজেক্ট গঠনে ব্যবহার করা হয়। এর ফলে ঘটনাক্রমিকভাবে কোনো ফাক্টরের প্রভাব প্রজেক্ট বাস্তবায়নে বা তথ্য প্রক্রিয়াকরণে অনেকখানি কমে যায়। কিন্তু এক্সপেরিমেন্টের ফলগুলি থেকে বস্তুর গুণাবলি সম্বন্ধে জ্ঞানের এখনও সম্পূর্ণতা অর্জিত হয় না কারণ এক্সপেরিমেন্টগুলি কেবল বিশেষ বিশেষ সীমাবদ্ধ শর্তাদির আওতায় করা হয় এবং তাতে পারিপার্শ্বিকতার প্রভাবে অবাঞ্ছিত ভুল তথ্য বা নলেজও সংযোজিত হয়। তথাপি প্রাপ্ত ফলগুলি বিশ্লেষণের মাধ্যমে বস্তুটি সম্বন্ধে সাধারণ নিয়মতান্ত্রিকতা বা রেগুলারিটি সৃষ্টি করা সম্ভব হয়। উপরন্তু, তথ্য বিশ্লেষণের দ্বারা কোনো এক ধরনের ইম্পিরিকাল সূত্র তৈরি করা সম্ভব হয়। কিন্তু ইম্পিরিকাল সূত্রগুলি বিষয়বস্তুর কেবল বাহ্যিক বা উপরিভাগের তথ্যগুলিই বিবেচনার মধ্যে আনে, বিষয়বস্তুর মূল তথ্য বা তার অভ্যন্তরীণ তথ্য তাতে অনুপস্থিত থাকে। তথাপি ইম্পিরিকাল সূত্র তৈরিতে এক্সপেরিমেন্ট করার যে শর্ত-পরিসর নির্ধারিত হয়, তা বস্তুর মূল তথ্য সংগ্রহে বিশেষ ভূমিকা পালন করে। এই ধাপে সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ অগ্রগতি অর্জিত হয় বস্তুর গুণাবলি নির্ধারণে যা পরবর্তীতে বস্তুর তাত্ত্বিক মডেল তৈরিতে যথেষ্ট সহায়ক হয়।

চতুর্থ ধাপে তাত্ত্বিক দিক দিয়ে বস্তুর মডেল তৈরির কাজ সম্পাদিত হয়। সঠিকভাবে বললে বলতে হয় যে, ইতোমধ্যেই জ্ঞাত গুণাবলি সংবলিত বস্তুটির মডেল তৈরির অ্যালগরিদমের ব্যবহার এই ধাপেই শুরু হয় ও সম্পাদিত হয়। বস্তু সম্বন্ধে এ পর্যন্ত অজানা তথ্যগুলি এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে এই ধাপেই নির্ধারিত হয়।

উপরিল্লিখিত ধাপে ধাপে কোনো অজানা বস্তুর গঠন প্রক্রিয়া সম্পর্কিত জ্ঞানের পদ্ধতি থেকে দেখা যাচ্ছে যে, ধাপগুলির কোনো নির্দিষ্ট সীমারেখা নেই। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে, একটি টেকনিকাল বিষয়বস্তুক্ষেত্র অন্য টেকনিকাল বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সাথে অনেক ব্যাপারেই সম্পর্কিত। তাই কোনো তথ্য একক্ষেত্রে এক ধাপে অর্জিত হলে অন্য ক্ষেত্রে তা অন্য ধাপে অর্জিত হতে পারে। এর ফলে তথ্যসংগ্রহে ধাপ বিভাজন তত সুনির্দিষ্ট থাকে না, বিশেষ

করে কয়েকটি পরস্পর সম্পর্কিত টেকনিকাল বিষয়বস্তুক্ষেত্রে তথ্য যখন একই সাথে প্রক্রিয়াকরণের প্রয়োজন পড়ে।

এবারে দেখা যাক, উপরিল্লিখিত ধাপগুলি একটি বাস্তব সমস্যার ক্ষেত্রে কিভাবে প্রযুক্ত হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, এরোপ্লেন তৈরির ইতিহাসে এই ধাপগুলি কিভাবে ব্যবহৃত হয়েছে। এরোপ্লেন হচ্ছে একটি জটিল পদ্ধতি যার গঠনকাজে বা আবিষ্কারে বিভিন্ন টেকনিকাল সমস্যাকে বিবেচনার মধ্যে আনতে হয়। কিন্তু সর্বপ্রথমে আমরা দেখি এরোপ্লেনের উপরে কার্যকর এরোডিনামিক শক্তির তাত্ত্বিকভাবে প্রস্তাবনা পদ্ধতি। প্রাথমিকভাবে কেবল উড়বার ইচ্ছা ও তা বাস্তবায়নের ইচ্ছাই মানুষকে টেকনিকালভাবে অনুপ্রাণিত করে নতুন একটি বিষয়বস্তুক্ষেত্র সম্বন্ধে জ্ঞানের অবতারণা ও বাস্তবায়ন করতে। এ পর্যায়ে উত্থানশক্তি বা লিফটিং ফোর্সের সম্বন্ধে মানুষের কোনো ধারণাই ছিল না। সবকিছুই নির্ভর করেছিল কোনো ঘটনাক্রমে পাখির মত উড়বার ক্ষমতা কেউ অর্জন করতে পারে কি না তার উপর। এ ব্যাপারে ক্রমান্বয়ে চেষ্টা ও চিন্তা চলতে থাকে। কিছুদিন পর মানুষ বুঝতে পারে যে কোনো বায়ুপ্রবাহ বরাবর যদি কোনো পাত স্থাপন করা যায় তবে সেই পাতের উপর বায়ুপ্রবাহের দিকের সাথে লম্বভাবে একটি শক্তি কাজ করে। মানুষ চেষ্টা চালিয়ে যেতে থাকে উপরিউক্ত শক্তিকে ব্যবহার করে এমন একটি যন্ত্র তৈরি করতে যা সত্যি সত্যি বাতাসে ভাসতে বা উড়তে সক্ষম হবে। অর্থাৎ শুরু হয় যন্ত্র তৈরিতে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের দ্বিতীয় ধাপ। এ পর্যায়ে অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলতে থাকে এবং অনেক আশাব্যঞ্জক সফলতাও ঘটে। অবশেষে এক পর্যায়ে বস্তুর উত্থান শক্তিকে পরিমাণগতভাবে নির্ধারণ করার পদ্ধতিও আবিষ্কৃত হয়।

শুরু হয় জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের তৃতীয় ধাপ যখন পরীক্ষার দ্বারা (এরোডিনামিক টিউবে) এই প্রশ্নের উত্তর দেয়ার চেষ্টা করা হয় যে, বায়ুছটার গতি ও তার সাথে পাতের দ্বারা সৃষ্ট আক্রমণ কোণ এর সাহায্যে উত্থান শক্তি কিভাবে নির্ণয় করা যায়। এসব পরীক্ষার দ্বারা যেসব ডাটা পাওয়া যায় তা গ্রাফ আকারে প্রকাশ করে পরবর্তী প্রজেক্টগুলিতে ব্যাপকভাবে ব্যবহার করা হয়।

তাত্ত্বিক ধারণা তৈরির ধাপে কেবল এক্সপেরিমেন্টের সাহায্যে প্রাপ্ত ডাটা থেকেই বাঞ্ছিত ফল পাওয়া গেছে তা নয় বরং এর জন্য বায়ুপ্রবাহের সাথে উড়োজাহাজের ডানার অনুকরণে মডেল তৈরি করে এরোডিনামিক শক্তি নির্ধারণ করার ব্যবস্থাও করা হয়েছে। এসব মডেলের ভিত্তিতে প্রাপ্ত তথ্যগুলি তত্ত্ব গঠনে অবশ্যই বিচারে আনা হয়। উপরন্তু, যদি কোনো তত্ত্ব তৈরি করা সম্ভব হয় তবে তার ভিত্তিতে বাস্তবে কার্যকর উড়োজাহাজের ডানা তৈরি করাও সম্ভব হবে। ঠিক এভাবে উড়োজাহাজের অন্যান্য অংশ সম্পর্কেও ধাপে ধাপে জ্ঞান পরিবর্ধনের সাহায্যে মানুষের উড়বার আকাঙ্ক্ষাকে বাস্তবায়িত করার উপযোগী যন্ত্রটির উদ্ভাবন করা সম্ভব হয়েছে।

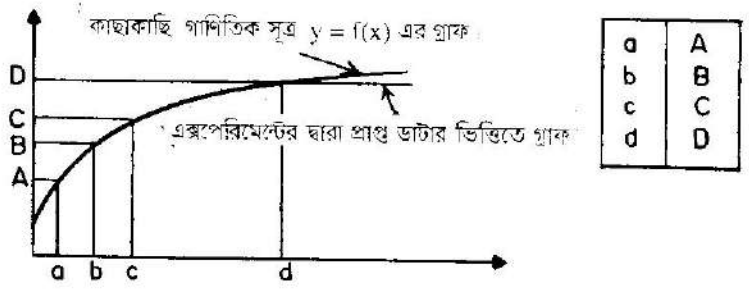
উপরে প্রদত্ত টেবিলে দেখানো হয়েছে যে, জ্ঞান উন্নয়নের প্রতিটি ধাপের সাথে জ্ঞানের ধরনও পরিবর্তিত হয়। যেহেতু প্রথম ধাপে কোনো বস্তু সম্পর্কে আদৌ কোনো ধারণা থাকে না তাই তাকে জ্ঞানের বা তথ্যের অনুপস্থিতি হিসেবেই ধরা হয়।

পরবর্তী দ্বিতীয় ধাপে এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে কেবল আংশিক জ্ঞান অর্জন করা সম্ভব হয়। এই ধাপের জ্ঞানে অনেক আকস্মিক ও অপ্রয়োজনীয় তথ্য থাকে। এই জ্ঞানগুলি

যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ না হওয়ার কারণে বিভিন্ন তথ্য বিভিন্নভাবে প্রস্তাবিত হয়। অর্থাৎ এই স্তরে জ্ঞান প্রস্তাবনার কোনো একক পদ্ধতি থাকে না—কিছু কিছু জ্ঞান সাংখ্যিক পদ্ধতিতে প্রস্তাবিত হয়, কিছু জ্ঞান চলতি ভাষার সাহায্যে অনির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত হয় এবং কিছু জ্ঞান রৈখিক চিত্র বা গ্রাফিকাল পদ্ধতিতেও প্রস্তাবিত হয়। কিন্তু এ সকল ধরনের জ্ঞানকেই এককভাবে প্রস্তাব করার প্রয়োজনীয়তা আছে।

যখন জ্ঞান উন্নয়নের তৃতীয় ধাপ শুরু হয়, তখন তথ্য প্রস্তাবনা যথেষ্ট সুসংবদ্ধ রূপ লাভ করে—এক্সপেরিমেন্টগুলি বাস্তব পরিস্থিতিতে সম্পাদিত হয়, পর্যবেক্ষণক্রিয়া ও পরিমাপক্রিয়া প্রদত্ত শর্ত বা অবস্থার আওতায় বিভিন্ন ফ্যাক্টরের প্রভাব বিবেচনা সাপেক্ষে সম্পাদিত হয় এবং নতুন নতুন তথ্য কেবল যথাযথভাবে সম্পাদিত এক্সপেরিমেন্টগুলির ভিত্তিতে সংগৃহীত হয়। এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে প্রাপ্ত সকল ডাটাই একই জাতীয় বা একই ধরনের হয়। আর এর ফলেই সম্ভব হয়ে উঠে ডাটা যে ধরনের হয় সেই ধরন মাফিক প্রস্তাবিত আকারে ডাটাবেস তৈরি করা। ডাটার ধরন দুই প্রকারের হতে পারে। এক প্রকার হলো সেই ধরনের ডাটা যা এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে পাওয়া যায়। এই ধরনের ডাটাগুলির সাথে বেশকিছু ভুল তথ্যও থাকে। তবে বিপুল পরিমাণ ডাটা একসাথে এভাবে একই পদ্ধতিতে প্রস্তাবিত হবার ফলে প্রোবাবিলিটির ভিত্তিতে মূল তথ্যগুলি এক্সপেরিমেন্টাল ডাটা থেকে যথাযথভাবেই বের হয়ে আসে। অন্য ধরনের ডাটা হলো বস্তুর বিশেষ সুনির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য যা প্রতিটি বস্তুর মধ্যে এবং তার স্বজাতীয়দের মধ্যে সর্বসাধারণভাবে বিদ্যমান থাকে। উদাহরণস্বরূপ বলা যতে পারে যে, পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব, তার গলন ও ফুটন তাপমাত্রা ইত্যাদি। এই তথ্যগুলি পরস্পর বিচ্ছিন্নভাবে ডাটাব্যাংকে সঞ্চিত থাকে।

তথ্যকে যেমন কিছু সাংকেতিক চিহ্ন বা সূত্রের সাহায্যে প্রস্তাব করা যায়, ঠিক তেমনি এক্সপেরিমেন্টালভাবে লব্ধ ডাটাভিত্তিক তথ্যগুলিকে স্ট্যাটিস্টিক্যাল পদ্ধতিতে ডাটা প্রক্রিয়াকরণের মাধ্যমে লব্ধ ফলাফল আকারেও প্রস্তাব করা যায়। অনেকক্ষেত্রে তথ্যকে শুধু গাণিতিক সূত্র হিসেবেই প্রকাশ করা হয় না, উপরন্তু সূত্রগুলিকে ও স্ট্যাটিস্টিক্যাল ডাটা পদ্ধতিতে সজ্জিত ডাটাগুলিকে গ্রাফের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। অবশ্য কম্পিউটারের ডাটাব্যাংকে গাণিতিক সূত্র ও গ্রাফের খণ্ড খণ্ড অংশগুলিকে সংখ্যামান দ্বারা প্রস্তাব করা হয়।



চিত্র ৩.৫ : কম্পিউটারের ডাটাব্যাংকে খণ্ড খণ্ড অংশ হিসেবে গ্রাফের প্রস্তাবনা।

এসবের সাথে দ্বিতীয় ধাপে প্রাপ্ত ইম্পিরিকাল ডাটাগুলিকে তৃতীয় ধাপে যথাযথভাবে প্রস্তাব করার ব্যবস্থা করা হয়। তৃতীয় ধাপের তথ্যগুলির সাহায্যে তাত্ত্বিক দিক উন্নয়নের জন্য ডাটাগুলি সুসংবদ্ধভাবে প্রস্তাবিত হয়। যদিও তাত্ত্বিক উন্নয়নের ধাপে প্রজেক্ট বাস্তবায়নের সাথে তত্ত্বগুলির বেশকিছু অসামঞ্জস্য লক্ষ্য করা যায়, তথাপি এই তত্ত্বগুলিকে যতদূর সম্ভব বাস্তবক্ষেত্রে প্রয়োগ করার চেষ্টা করা হয়। তৃতীয় ধাপে প্রাপ্ত ফলাফলগুলির ভিত্তিতে তাত্ত্বিক ভিত্তি সুপ্রতিষ্ঠিত করার চেষ্টা চললেও তথ্যগুলিকে একই ধারায় প্রকাশ করা সম্ভব হয় না, কারণ এই ধাপে তখনও অবজেক্ট-মডেল সম্বন্ধে ধারণা তত সুস্পষ্ট থাকে না। প্রজেক্ট বাস্তবায়নের তুলনায় তত্ত্ব প্রতিষ্ঠার পর্যায়টি মূলত গবেষণা ভিত্তিক হয়ে থাকে। তত্ত্ব গঠন বলতে শুধু পূর্বশর্ত বা ইনপুটের সাথে ফলাফল বা আউটপুটের মধ্যে সম্পর্ক বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ ডাটার ভিত্তিতে নির্ধারণই বুঝায় না, অবজেক্টের সাথে পারিপার্শ্বিকতার পারস্পরিক নির্ভরশীলতার সম্পর্ক নির্ধারণও বুঝায়। অর্থাৎ যদি কোনো অবজেক্টের মডেল দেয়া থাকে তবে তার উপর বাইরে থেকে কোনো অ্যাকশন বা ক্রিয়া ঘটলে অবজেক্টটি এই অ্যাকশনের কি প্রতিক্রিয়া দেখাবে সেটি নির্ধারণের ধারণাও এই তত্ত্বে থাকতে হবে।

বিশেষ জটিল বিষয়ের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য তত্ত্ব তৈরির জন্য অবজেক্টের গঠন, তার অ্যাট্রিবিউট বা গুণাবলি এবং পারিপার্শ্বিকতার প্রভাবের উত্তরে প্রতিক্রিয়াগুলি বিবেচনায় আনতে হবে। জ্ঞান উন্নয়নের দ্বিতীয় ও তৃতীয় ধাপে ভাষা ও সূত্রের সাহায্যে অ্যাট্রিবিউটগুলি প্রকাশ করা হয়। চতুর্থ ধাপে বাঞ্ছিত অবজেক্টটি তৈরি করা হয়। পূর্বে পরীক্ষালব্ধ ফলাফলগুলি ব্যবহার করে যতদূর সম্ভব প্রয়োজনমাফিক ট্রায়াল ও এরর (trial and error) পদ্ধতিতে বস্তুটি তৈরি করা হয়।

চতুর্থ অধ্যায়

প্রেডিকেট লজিক

(Predicate logic)

প্রেডিকেট লজিককে জ্ঞান প্রস্তাবনার বিভিন্ন ভাষার মধ্যে সার্বজনীনভাবে জ্ঞান প্রকাশের মাধ্যম হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে। ইদানীং প্রেডিকেট লজিক গাণিতিক লজিকের মতই দৃঢ় ভিত্তিসম্পন্ন ও সুসংবদ্ধ যদিও তা মূলত প্রাকৃতিক ভাষাগুলির ভিত্তি তৈরি করার মানসেই প্রথমে বাস্তবায়িত হয়। যেহেতু প্রাকৃতিক ভাষাগুলি অত্যন্ত জটিল ও তাদের তাত্ত্বিক ভিত্তি অত্যন্ত অবিন্যস্ত তাই প্রেডিকেট লজিকের সাহায্যে বস্তুর কেবল সেসব কম্পোনেন্ট নিয়ে কাজ করা হয় যেগুলির এলিমেন্টকে সূত্রীবদ্ধ বা ফর্মালাইজড (formalized) করা সম্ভব। মনে করা হয় যে, প্রেডিকেট লজিক বুঝা বেশ কঠিন তবে প্রাকৃতিক ভাষাগুলি দীর্ঘকাল চর্চার ফলে মানুষের নিকট সহজবোধ্য হলেও কম্পিউটারের কাছে তা মোটেই বোধগম্য নয়। কিন্তু প্রেডিকেট লজিক দীর্ঘকাল চর্চার দ্বারা যেমন মানুষের নিকট ঠিক তেমনি কম্পিউটারের নিকট সহজবোধ্য হয়ে উঠতে পারে।

৪.১ ভাষার সিন্টাক্স ও সিমান্টিক্স (Syntax and Semantics of the Languages)

ভাষা ভাব বিনিময় বা যোগাযোগের মাধ্যম এবং ভাষার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি থাকা প্রয়োজন ;

(১) সিন্টাক্সিক্যাল নিয়ম যার সাহায্যে ভাষার গঠন নির্ধারিত হয় ;

(২) সিমান্টিক্যাল নিয়ম যার সাহায্যে ভাষার ভাবপ্রকাশের বৈশিষ্ট্যগুলি থাকা প্রয়োজন ;

(৩) ভাষার সিমান্টিক্স ও ভাষার প্রস্তাবনা ক্রিয়ার মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণকারী নিয়ম নির্ধারণ।

উদাহরণস্বরূপ,

$$\aleph \wp \clubsuit \varsigma 9 \# \ldots \spadesuit \qquad (৪.১)$$

কে ভাষা বলা গেলেও এই চিহ্নগুলি দ্বারা কি প্রকাশ করা হচ্ছে তার সম্বন্ধে কেবল লেখক ব্যতীত অন্য কোনো ব্যক্তির কোনো ধারণা নেই। কোনো ধ্বনি বা চিহ্ন সমষ্টিকে ভাষা হিসেবে স্বীকৃত হতে হলে তাতে এমন কিছু ধ্বনি বা চিহ্নসমষ্টি থাকতে হবে যা অবশ্যই অন্ততপক্ষে কিছু মানুষের নিকট অর্থবহুল ও ব্যবহারযোগ্য হতে হবে। এই চিহ্নগুচ্ছ প্রতিটি ভাষার নিজস্ব হতে পারে তবে তা অবশ্যই সীমায়িত হতে হবে। অর্থাৎ একটি ভাষার অসংখ্য সীমাহীন চিহ্নগুচ্ছ থাকতে পারবে না।

এবারে দেখা যাক যে, নিম্নলিখিত অক্ষর সমষ্টি বা বাক্য দ্বারা কি ধারণা সৃষ্টি হতে পারে :

<<হোয়াট ইজ ইট >> (৪.২)

যদিও এই বাক্যের অক্ষরগুলি বাংলা ভাষার অন্তর্গত কিন্তু তা দিয়ে বাংলা ভাষাভাষীদের পক্ষে কিছুই বুঝা সম্ভব হবে না যদি না তাদের ইংরেজি ভাষায় কোনো জ্ঞান থাকে। যদিও এই বাক্যের প্রতিটি অক্ষর বাংলা অক্ষরমালার অন্তর্ভুক্ত তথাপি এটি থেকে কোনোক্রমেই বলা যায় না যে বাক্যটি বাংলা ভাষার অন্তর্ভুক্ত। এবারে নিচের বাক্যটি বিচার করা যাক –

<<সেই ছেলেটি হাঁটা>> (৪.৩)

এই বাক্যের প্রতিটি শূন্যস্থান দ্বারা বিচ্ছিন্ন অক্ষর সমষ্টিকে বাংলা ভাষার অন্তর্গত শব্দ হিসেবে চিহ্নিত করা গেলেও এই শব্দগুচ্ছ সমষ্টিগতভাবে কিছু প্রকাশ করে না অর্থাৎ তা বাংলা ভাষার অন্তর্গত কোনো বাক্য নয়। যদি বাক্যটি এভাবে লেখা হয় :

<<সেই ছেলেটি হাঁটা শিখছে>> তবে তার অর্থ বাংলা ভাষাভাষী সকলের নিকটই সুস্পষ্ট হয়ে ওঠে। কাজেই যে কোনো ভাষায় কোনো কিছু প্রকাশিত হতে হলে প্রকাশিতব্য সম্ভারে অবশ্যই নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি থাকতে হবে :

(১) কিছু চিহ্নগুচ্ছ যা সেই ভাষায় ব্যবহারযোগ্য হবে ;

(২) উক্ত চিহ্নসারির চিহ্নগুলির মধ্যে বিশেষভাবে সম্পর্কিত গঠন প্রক্রিয়া যার সাহায্যে অর্থবহুল শব্দ গঠন করা সম্ভব হবে (মরফেম সংজ্ঞা) ;

(৩) শব্দ সম্ভারের সাহায্যে বাক্য গঠনের নিয়ম (সিন্টাক্স নিয়ম)।

উপরিউক্ত বৈশিষ্ট্যগুলির উপর ভিত্তি করেই ভাষার গঠন হয়। ভাষার অন্তর্গত প্রতিটি শব্দই বাস্তব পৃথিবীর বস্তু, ভাব ও ঘটনাকে চিহ্নিত করে। কিছু কিছু শব্দ বস্তুর মূল বিষয় চিহ্নিত করে এবং কিছু শব্দ বস্তুর গুণাবলি ও তাদের মধ্যে অভ্যন্তরীণ ক্রিয়াকে চিহ্নিত করে। পরবর্তীতে এই শব্দগুলি আরও কিছু নিয়মাবলির সাহায্যে বাস্তবতার সাথে সামঞ্জস্য বজায় রেখে এক একটি বাক্য গঠন করে। সিন্টাক্স নিয়মগুলি দ্বারা শব্দগুলিকে সারিবদ্ধ করার মাধ্যমে বাস্তবতার সাথে মিল রেখে সিমান্টিক্স সম্পর্কগুলি তৈরি করা হয়। অবশ্য এটি বলা ঠিক হবে না যে, সিমান্টিক্স বজায় থাকলেই বাক্য দ্বারা প্রকাশিত তথ্য বা ভাব বাস্তবের সাথে সংগতিপূর্ণ হবে। সিন্টাক্স নিয়মমাফিক কোনো বাক্য তৈরি করা হলেও তা অনেক সময় বাস্তবতার বিপরীত তথ্য প্রকাশ করে অর্থাৎ মিথ্যাকে প্রকাশ করে এবং অনেক সময়ই বলা সম্ভব হয়ে ওঠে না যে, কোনো বাক্য আসলেই সত্য অথবা মিথ্যা কোনটিকে একার্থিকভাবে প্রকাশ করছে। অর্থাৎ বাস্তব পৃথিবীকে চিহ্নিত করার ব্যাপারে মানুষের ক্ষমতার চেয়ে ভাষাগুলির ক্ষমতা অত্যন্ত ব্যাপক। কাজেই কোনো বাক্য গঠনের পর তা সত্য অথবা মিথ্যা সেটি সুস্পষ্ট করার প্রয়োজন অর্থাৎ বাক্যটির দ্বারা প্রকাশিত তথ্য যদি বাস্তবতার সাথে সংগতিপূর্ণ হয় তবে তা সত্য অন্যথায় তা মিথ্যা বলে বিবেচিত হবে।

চাঁদ ধরা

এস. কে. আহমেদ কামাল

জ্ঞান-প্রযুক্তি

[Knowledge Engineering]

ড. এস. কে. আহমেদ কামাল
ফলিত পদার্থবিজ্ঞান ও ইলেকট্রনিক্স বিভাগ
রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়
রাজশাহী

বাংলা একাডেমী ঢাকা

কবি-৪

প্রথম প্রকাশ
আষাঢ় ১৪০৯
জুন ২০০২

বাএ ৪২৮০

(২০০১-২০০২ পাঠ্যপুস্তক : ভৌ ও প্র ৪)

মুদ্রণ সংখ্যা ১২৫০

পাণ্ডুলিপি প্রণয়ন ও মুদ্রণ তত্ত্বাবধান
ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগ

ভৌ ও প্র ২১৬

প্রকাশক
সুব্রত বিকাশ বড়ুয়া
পরিচালক
পাঠ্যপুস্তক বিভাগ
বাংলা একাডেমী
ঢাকা ১০০০

মুদ্রক
মোঃ হামিদুর রহমান
ব্যবস্থাপক
বাংলা একাডেমী প্রেস
ঢাকা ১০০০

প্রচ্ছদ
মামুন কায়সার

মূল্য : ১০০.০০

BANDOC Library
Accession No. 10.6.04
Date

JNAN PRAJUKTI (Knowledge Engincering) by Dr. S. K. Ahmed Kamal. Published by Subrata Bikash Barua, Director, Textbook Division, Bangla Academy, Dhaka, Bangladesh. First edition, June 2002. Price : Taka 100.00

ISBN 984-07-4289-2

উৎসর্গ

যে মায়ের ভাষায়
আমি প্রথম কথাটি বলি
সেই মা-কে

ভূমিকা

বাংলা ভাষাভাষী বিশাল জনগোষ্ঠীর সাথে বিজ্ঞানের এবং বৈজ্ঞানিক পদ্ধতি ও নিয়ম-নীতির পরিচিতি অত্যন্ত কম। এর মূল কারণ বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় বাংলা ভাষায় রচিত গ্রন্থের সংখ্যা অত্যন্ত কম। এ কারণে এই গ্রন্থ প্রণয়নে আমি উদ্বুদ্ধ হই। ব্যাপক বৈজ্ঞানিক গবেষণার সাথে সাথে যে মানুষের ব্যবহারযোগ্য বস্তুর সুবিধাজনক ও প্রযুক্তিগত উন্নয়ন ঘটে তা-ই নয়, বরং এতে গবেষণালব্ধ নতুন তথ্যের সম্পৃক্ততা যুক্তিবিদ্যার ক্ষেত্রেও নতুন মাত্রা যুক্ত করে। ফলে মানুষ বৈজ্ঞানিক কাজে যুক্ত হওয়ার সাথে সাথে তার পরিবেশ ও সমাজের বিশ্লেষণে আরও বেশি যৌক্তিক ক্ষমতার অধিকারী হয়।

মানুষের জীবনযাত্রা এবং সামাজিক স্থিতিশীলতা সুনির্দিষ্ট ধারণা বা বিশ্বাসের ভিত্তিতে পরিচালিত হয়। অনেক ক্ষেত্রেই এই বিশ্বাস অন্ধবিশ্বাসে পরিণত হয়। যে কোনো বিষয়ের প্রতি অন্ধবিশ্বাস মানুষকে নতুন বৈজ্ঞানিক তথ্যের প্রতি বিরূপভাবাপন্ন করে তোলে। বিজ্ঞানের নতুন তথ্যকে সত্য বলে গ্রহণ করার মানসিকতা যদি কোনো সমাজের না থাকে তবে প্রচলিত ধারণার মূলে আঘাত করলে মানুষের জীবনযাত্রাই অস্থিতিশীল হয়ে পড়ে। নিরন্তর বিজ্ঞানচর্চার মাধ্যমে গড়ে ওঠা বিজ্ঞানমনস্কতাই কেবল এই প্রবণতা রোধ করতে পারে।

"জ্ঞানই শক্তি" এ কথাটি সর্বজনবিদিত হলেও জ্ঞান সম্বন্ধে বাস্তব ধারণা জ্ঞান-প্রযুক্তির মাধ্যমেই ব্যাপকভাবে বিশ্লেষিত হয়, কারণ জ্ঞান-প্রযুক্তির মাধ্যমে প্রকৃতপক্ষে জ্ঞানের যান্ত্রিকায়ন করা হয়। কোনো কিছুকে যান্ত্রিকায়ন করার প্রথম শর্ত হলো সেটিকে সুসংবদ্ধ রূপ দেয়া। জ্ঞানের প্রকৃত রূপ বা ধারণা সৃষ্টির ব্যাপারে কর্মকাণ্ড এ যাবৎ দর্শনশাস্ত্রের আওতায় সীমাবদ্ধ ছিল। কিন্তু তথ্যপ্রযুক্তির ব্যাপক উন্নয়ন ও জনজীবনে তার ব্যাপক ব্যবহার এবং তথ্য জ্ঞানের মৌলিক উপাদান বিধায় জ্ঞানকে তাত্ত্বিক গবেষণার বেড়াজাল থেকে মুক্ত করে তথ্য-প্রযুক্তির সাথে সমন্বিত করার ফলে জ্ঞান-প্রযুক্তির উদ্ভব হয়।

জ্ঞান-প্রযুক্তি নামক বিজ্ঞানের এই নতুন শাখার সাথে পরিচিতি বাংলাদেশের বিশাল জনগোষ্ঠীর জন্য বিশেষ প্রয়োজন। জ্ঞান-প্রযুক্তির বিভিন্ন বিষয়ে পরিচিতির সাথে সাথে মানুষের যৌক্তিক চিন্তার ক্ষমতাও ব্যাপকভাবে বৃদ্ধি পায়।

জ্ঞান-প্রযুক্তি'র মতো জটিল বিষয়ের উপর আলোকপাত করাই এই গ্রন্থের মূল উদ্দেশ্য। এই উদ্দেশ্যে গ্রন্থটিতে 'নলেজ ইঞ্জিনিয়ারিং'-এর বিভিন্ন তথ্য মোটামুটি সহজভাবে বর্ণনার চেষ্টা করা হয়েছে এবং আন্তর্জাতিকভাবে গৃহীত বিভিন্ন ইংরেজি শব্দ বাংলা ভাষায় রূপান্তরের চেষ্টা না করে সেসব শব্দের মূল রূপটিই ব্যবহার করা হয়েছে। এর ফলে গ্রন্থটি

BANGLADESH Dhaka

কেবল গাণিতিক জ্ঞানসম্পন্ন ব্যক্তিই নয়, বরং যে কোনো বিষয়ের উপর বিশ্লেষণমূলক জ্ঞানের অধিকারী যে কোনো ব্যক্তির কাছেই সহজপাঠ্য হবে বলে আশা করি।

জ্ঞান-প্রযুক্তির উপর বাংলা ভাষায় এ গ্রন্থটি লেখার ব্যাপারে সর্বাপেক্ষা বেশি উৎসাহ ও সাহায্য পেয়েছি ইউক্রেনের দানেৎস্ক স্টেট বিশ্ববিদ্যালয়ের কম্পিউটার বিজ্ঞান বিভাগের প্রধান ও আমার পিএইচ.ডি. গবেষণার পরিচালক প্রফেসর আনাতোলি আলেক্সিয়েভিচ কারগিন, পিএইচ.ডি., ডি.এসসি (Prof. Anatoly Aleksievitch Kargin Ph.D., D.Sc.) ও উক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের ইন্টারনেট অ্যাডমিনিস্ট্রেটর ইউরি আলেক্সিয়েভিচ কোজেমিয়াকিনের (Yuri Aleksievitch Kojemyakin) কাছ থেকে। উক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ে ভিজিটিং প্রফেসর হিসেবে অবস্থান করে গ্রন্থটি লেখার ব্যাপারে আমাকে সাহায্য করার জন্য দানেৎস্ক স্টেট ইউনিভার্সিটির প্রো-ভাইস চ্যান্সেলর প্রফেসর নিকোলাই পেত্রোভিচ ইভানিৎসিনের (Prof. Nikolai Petrovitch Ivanitsyn) নিকট আমি বিশেষভাবে কৃতজ্ঞ। রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়ের ফলিত পদার্থবিজ্ঞান ও ইলেকট্রনিক্স বিভাগের আমার সহকর্মী শ্রদ্ধেয় শিক্ষকবৃন্দ বিভিন্নভাবে সহযোগিতা ও উৎসাহ যুগিয়েছেন, আমি তাঁদের প্রতিও কৃতজ্ঞ। বাংলা ভাষায় কম্পিউটারবিষয়ক বই লেখার ব্যাপারে অগ্রদূত ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রফেসর লুৎফর রহমান এবং রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রাক্তন উপাচার্য প্রফেসর এম.এ. রকীবের পরামর্শ ও উৎসাহের জন্যও আমি কৃতজ্ঞ।

আমার জানামতে, জ্ঞান-প্রযুক্তির উপর বাংলা ভাষায় এটিই প্রথম গ্রন্থ। কম্পিউটার প্রযুক্তির উচ্চতর গবেষণার সাথে সম্পর্কিত এ বিষয়টির উপর বাংলা ভাষায় প্রণীত যে কোনো উচ্চ মানের গ্রন্থের চেয়েও ইংরেজি ভাষায় প্রকাশিত গ্রন্থাবলিই বিশ্ববিদ্যালয়ের ছাত্র-শিক্ষকদের কাছে প্রয়োজনীয় এবং গ্রহণযোগ্য বলে বিবেচিত; কিন্তু বিশ্ববিদ্যালয়ের উচ্চতর পর্যায়ের গবেষণার সহায়ক হবে বলে আমি এই গ্রন্থ প্রণয়ন করেছি। বইটি প্রকাশনার জন্য বাংলা একাডেমীর ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগের সংশ্লিষ্ট সকলের আন্তরিক সহযোগিতার জন্য তাঁদের প্রতিও কৃতজ্ঞতা জানাই।

পরিশেষে যাদের জন্য এ বইটি প্রণীত হয়েছে, তাদের প্রয়োজনে লাগলে আমার পরিশ্রম সার্থক বলে মনে করব। গ্রন্থটির উৎকর্ষের জন্য যে কোনো গঠনমূলক পরামর্শ ও সমালোচনা সাদরে গ্রহণ করা হবে।

এস. কে. আহমেদ কামাল

সূচিপত্র

প্রথম অধ্যায় : জ্ঞান-প্রযুক্তির উদ্ভব ১-১০

১.১ সাইবারনেটিক্স ; ১.২ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স ; ১.৩ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ব্যবহার ক্ষেত্র ; ১.৪ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ঐতিহাসিক প্রেক্ষাপট ; ১.৫ উপসংহার।

দ্বিতীয় অধ্যায় : সমস্যা ১১-৩২

২.১ সমস্যার প্রস্তাবনা ; ২.২ সমস্যার উপস্থাপনা ; ২.৩ আবদ্ধ সমস্যা ; ২.৪ সমস্যা সমাধানের সাধারণ পদক্ষেপ ; ২.৫ সমস্যা সমাধানের সাধারণ নিয়ম ; ২.৬ বিভিন্ন ধরনের সমস্যার শ্রেণীবিভাগ ; ২.৭ সমস্যার সমাধানে গণিতশাস্ত্রের ঐতিহাসিক ভূমিকা ; ২.৮ ধারণা ; ২.৯ গাণিতিক প্রকাশনা পদ্ধতি ; ২.১০ রৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি ; ২.১১ অরৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি ; ২.১২ সমস্যার সাধারণকরণ।

তৃতীয় অধ্যায় : জ্ঞানের প্রস্তাবনা পদ্ধতি ৩৩-৫৮

৩.১ জ্ঞান সম্বন্ধে ধারণা ; ৩.২ এক্সপার্ট সিস্টেম ; ৩.৩ জ্ঞানের প্রস্তাবনা ; ৩.৪ লজিক্যাল মডেল ; ৩.৫ সিমান্টিক নেট মডেল ; ৩.৬ ফ্রেম মডেল ; ৩.৭ প্রোডাকশন বা রুল-বেসড মডেল ; ৩.৮ ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল ; ৩.৯ রিলেশন মডেল বা টেবিল মডেল ; ৩.১০ গ্রাফ মডেল ; ৩.১১ টেনসর মডেল ; ৩.১২ ক্যাটেগরি ভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনা মডেল ; ৩.১৩ অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল ; ৩.১৪ জ্ঞান প্রস্তাবনার বিভিন্ন ধরন ও কম্পিউটারে তা ব্যবহারের সম্ভাবনা।

চতুর্থ অধ্যায় : প্রেডিকেট লজিক ৫৯-১১১

৪.১ ভাষার সিন্টাক্স ও সিমান্টিক্স ; ৪.২ প্রেডিকেট ভাষার সিন্টাক্স ; ৪.৩ টার্ম, কনস্ট্যান্ট, ভ্যারিয়েবল, ফাংশন ; ৪.৪ অ্যাটোমিক প্রেডিকেট ; ৪.৫ প্রেডিকেট লজিকে রক্ষিত চিহ্ন ; ৪.৬ সূত্র গঠনের সঠিক সংজ্ঞা ; ৪.৭ লজিক্যাল প্রেডিকেটের সিমান্টিক্স ; ৪.৮ প্রেডিকেট লজিকে সিদ্ধান্ত গ্রহণের নিয়ম ; ৪.৯ অ্যাক্সিওম্যাটিক ব্যাখ্যা ব্যতিরেকে থিওরেম প্রমাণের পদ্ধতি ; ৪.১০ রিজলিউশন মেথোডের সাহায্যে প্রমাণ (সিদ্ধান্তের নীতি) ; ৪.১১ স্কলেমের নর্মাল ফর্ম ; ৪.১২ ক্লজাল ফর্ম ; ৪.১৩ হর্ন সেন্টেন্স (হর্ন বাক্য) ; ৪.১৪ প্রমাণ

পদ্ধতির ফরমালাইজেশন ; ৪.১৫ লজিক্যাল সুপ্রকাশনার জন্য রিজলিউশন মেথোড ; ৪.১৬ প্রেডিকেট লজিকের জন্য রিজলিউশন মেথোড ; ৪.১৭ সংস্থাপন ; ৪.১৮ ইউনিফিকেশন (একত্রকরণ) ; ৪.১৯ প্রমাণের অ্যালগরিদম ; ৪.২০ প্রমাণের সম্পূর্ণতা ; ৪.২১ জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ ও প্রেডিকেট লজিক ; ৪.২২ ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সীমাবদ্ধতা ; ৪.২৩ প্রেডিকেট লজিকে ডাটার সেট ও কাঠামো ; ৪.২৪ বস্তুর অনুলিখন ; ৪.২৫ সেটের অ্যাক্সিওম তত্ত্ব ; ৪.২৬ ডাটার গঠনের ভিত্তিতে অ্যাক্সিওমের ব্যাখ্যা।

পঞ্চম অধ্যায় : **অনিশ্চিত জ্ঞানের প্রস্তাবনা এবং তার ব্যবহার** ১১২-১৫৬

৫.১ জ্ঞান-প্রযুক্তি ও অনিশ্চয়তা ; ৫.২ সিদ্ধান্তের দ্বারা পরিচালনার অনির্দিষ্টতা এবং হয়রিস্টিক জ্ঞান ; ৫.৩ অ্যালগরিদম A^* ; ৫.৪ অ্যালগরিদম A^* প্রয়োগের উদাহরণ ; ৫.৫ প্রোগ্রাম AM ; ৫.৬ বস্তুতার্থিকতা ও তাদের অপসারণ পদ্ধতি ; ৫.৭ রিলাক্সেশন্স মেথোড ; ৫.৮ অনির্ভরযোগ্য জ্ঞান বা সিদ্ধান্ত ; ৫.৯ অনির্ভরযোগ্য ডাটা সংবলিত সমস্যার বিভক্তকরণ ; ৫.১০ MYCIN মেথোড ; ৫.১১ সাবজেক্টিভ বায়েস মেথোড ; ৫.১২ ডেম্পস্টার-শাফের তত্ত্বের ভিত্তিতে সিদ্ধান্ত পদ্ধতি ; ৫.১৩ ফাজি লজিক ; ৫.১৪ প্রোবাবিলিটি লজিক ; ৫.১৫ অপূর্ণ জ্ঞান ও ননমনোটোনাস লজিক ; ৫.১৬ নীরবতার লজিক ; ৫.১৭ ফাজি সেট ; ৫.১৮ ফাজি রিলেশন ; ৫.১৯ ফাজি সিদ্ধান্ত ; ৫.২০ লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল ও তার ব্যবহার।

ষষ্ঠ অধ্যায় : **জ্ঞানের অধিকরণ** ১৫৭-১৭৪

৬.১ প্রোগ্রাম শিক্ষা ; ৬.২ মুখস্থবিদ্যা ; ৬.৩ পুস্তক থেকে জ্ঞানের অধিকরণ ; ৬.৪ শিক্ষার সবসাধারণকরণ ; ৬.৫ রবোটের জন্য কার্যকর শিক্ষা : STRIPS পদ্ধতি ; ৬.৬ খেলার নিয়ম অধিকরণ ; ৬.৭ ক্যারেক্টারিস্টিকগুলি বিবেচনাকরণ।

গ্রন্থপঞ্জি ১৭৫

প্রথম অধ্যায়

জ্ঞান-প্রযুক্তির উদ্ভব

১.১ সাইবারনেটিক্স (Cybernetics)

বিংশ শতাব্দীর সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ বৈজ্ঞানিক অগ্রগতি হলো—পারমাণবিক শক্তির আবিষ্কার, মহাশূন্যে মানুষের অগ্রযাত্রা ও সাইবারনেটিক্সের জন্ম। প্রথম দুটির ক্ষেত্রে যত দ্রুত প্রচার ও প্রকাশনা ঘটে সে হিসেবে তৃতীয়টি তত ব্যাপক প্রচার পায়নি। কিন্তু ক্রমান্বয়ে সাইবারনেটিক্সের ব্যাপক প্রভাব সর্বক্ষেত্রেই প্রকাশ পেতে শুরু করে এবং একবিংশ শতাব্দীতে সাইবারনেটিক্সই হবে সর্বাপেক্ষা অগ্রগামী বিজ্ঞান বিষয়।

কম্পিউটার বিজ্ঞানের উন্নতির সাথে সাথে মানুষের বুদ্ধিমত্তার বিকাশের ক্ষেত্রেও এক বৈপ্লবিক পরিবর্তন সাধিত হয়। সাথে সাথেই জাগে সেই পুরানো দার্শনিক প্রশ্ন—"বুদ্ধিমত্তা বলতে কি বুঝায়?" কম্পিউটার আবিষ্কারের পূর্বে যে মানুষদের অতি সহজেই বুদ্ধিহীন বলা যেতে পারতো—তাদের স্মৃতিশক্তির অভাবের কথা বিচার করে বা কার্যকরণ সম্পর্ক নির্ধারণের ক্ষমতার অভাবের কথা বিচার করে, কম্পিউটার আবিষ্কারের পর দেখা যায় যে এসব ব্যাপারে কম্পিউটারের দক্ষতা মানুষের চেয়ে অনেক বেশি। এমনকি কম্পিউটারের সহায়তায় মানুষের "যদি...তবে" সম্পর্ক দ্বারা কার্যকরণগত সম্পর্ক নির্ধারণ ও বাস্তবায়ন অনেকখানিই সহজ ও দ্রুততর হয়ে উঠে। কম্পিউটারের মেমোরি বা স্মৃতি ধারণক্ষমতা ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধির ফলে আর প্রশ্নই উঠে না স্মৃতিশক্তির ভিত্তিতে মানুষের বুদ্ধির পরিমাণ নির্ধারণের। বরং এই কম্পিউটারের যুগে বুদ্ধিমত্তার বিচার করা হয়—কোনো তথ্যকে কত সহজে প্রকাশ করা যায় এবং তার ভিত্তিতে কত সহজে সঠিক সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায় তার ভিত্তিতে। আর এ উদ্দেশ্যেই সৃষ্টি হয়েছে বিজ্ঞানের এক নতুন বিভাগ "সাইবারনেটিক্স"।

সাইবারনেটিক্স কি—এর উত্তরে বিজ্ঞানীরা বিভিন্ন সংজ্ঞা দিয়েছেন—

"সাইবারনেটিক্স হলো জীবনধারণ ও রক্ষার বিজ্ঞান"—ইংরেজ বিজ্ঞানী স্টাফোর্ড বির;

"সাইবারনেটিক্স হলো জটিল পরিচালনা পদ্ধতিতে তথ্য রক্ষা, তথ্য প্রেরণ ও প্রক্রিয়াকরণের বিজ্ঞান"—রুশ বিজ্ঞানী ভিক্টর গ্লুশকোভ;

"সাইবারনেটিক্স হলো জটিল, ডাইনামিক পরিচালনা পদ্ধতিতে গণিত, লজিক, অটোম্যাটিক পদ্ধতি তথা ইলেক্ট্রনিক লজিকের ব্যবহার"—সোভিয়েট ফিলোসফিক্যাল এনসাইক্লোপেডিয়া।

উপরের সংজ্ঞাগুলি থেকে দেখা যাচ্ছে যে, সাইবারনেটিক্সের এই ব্যাপক ক্ষেত্র নিয়ে বিজ্ঞানীরা একটি সাধারণ সংজ্ঞায় পৌঁছাতে পারেন নি। তাই একবার এক ফরাসি বিজ্ঞানী বলেছিলেন যে, সাইবারনেটিক্স হলো পৃথিবী পরিচালনার বিজ্ঞান কারণ এ ক্ষেত্রে বিজ্ঞানের সকল বিভাগের বিজ্ঞানীরাই কাজ করে থাকেন। সত্যি সত্যি সাইবারনেটিক্স আজ বিজ্ঞান

বিভাগের গবেষকদের চারণক্ষেত্রে পরিণত হয়েছে। প্রাকৃতিক বিজ্ঞান থেকে শুরু করে সামাজিক বিজ্ঞানের সবক্ষেত্রেই আজ বিজ্ঞানীরা সাইবারনেটিক্সকে বিস্তৃত করার বা প্রয়োগ করার চেষ্টা শুরু করেছেন। ফলে সাইবারনেটিক্স আজ স্বতন্ত্র বিজ্ঞান হিসেবে নিজস্বতা হারিয়ে ফেলেছে। তাই সাইবারনেটিক্সে বিশেষভাবে অনুরক্ত বিজ্ঞানীরা নতুন বিজ্ঞানধারার সূচনা করেছেন যার নাম হলো—"আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স" বা "কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা"। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মূল বিষয় হলো—জ্ঞান বা নলেজের সন্ধান ও তার প্রস্তাবনা বা প্রকাশনার পদ্ধতি বের করা এবং তা থেকে কার্যকর সর্বোত্তম সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা। এজন্য শুধু যে, তাত্ত্বিক দিক উন্নয়ন প্রয়োজন তা নয় বরং এর জন্য প্রয়োজন এমন ধরনের প্রোগ্রাম তৈরি করা যা কম্পিউটারের সাহায্যে কার্যকর করা সম্ভব হবে।

১.১ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স কম্পিউটার সায়েন্স, ভাষাবিজ্ঞান, মনোবিজ্ঞান ও যুক্তিবিদ্যার সঙ্গে অত্যন্ত নিবিড়ভাবে সম্পর্কযুক্ত কারণ এ বিষয়গুলি জ্ঞান, বোধন ও বুদ্ধিমত্তার উন্নয়নের বিভিন্ন দিক নিয়ে গবেষণা করে থাকে। এ বিষয়গুলি গণিতবিদ্যা ও জীববিদ্যার সহায়তায় জ্ঞানের প্রস্তাবনা ও প্রকাশনার নতুন মডেল উপস্থাপন করে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স এসব মডেলের কার্যকারিতা বিচার করে তা বাস্তবে রূপান্তরিত করার উপায় উদ্ভাবন করে এবং বিভিন্ন সমাধানে তার প্রয়োগ পদ্ধতি আবিষ্কার করে।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স এর সাথে যেসব বিজ্ঞান বিভাগের সম্পর্ক যেসব বিজ্ঞান বিষয় জ্ঞান-প্রযুক্তির ব্যাপারে গবেষণাযুক্ত। এর কারণ হলো এই যে, আমাদের জানা মতে মানুষের একমাত্র জ্ঞান-যন্ত্র হলো তার মস্তিষ্ক যার কার্যপদ্ধতিটি সম্বন্ধে মানুষ বলতে গেলে প্রায় কিছুই জানে না। যেহেতু মনুষ্যমস্তিষ্কের কর্মপদ্ধতি—বিশেষ করে চিন্তা বা বিশ্লেষণ ক্রিয়াগুলির বেশিরভাগই অনুকরণ করা হয় কম্পিউটারের সাহায্যে, তাই কম্পিউটার হয়ে উঠেছে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মূল হাতিয়ার।

কোপার্নিকাসের সৌরতত্ত্ব আর ডারউইনের বিবর্তনবাদের পর আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সই এগিয়ে আসে সম্মুখের সারিতে—মানুষ ও প্রকৃতির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণে। বুদ্ধি বলতে আজ শুধু স্মৃতিশক্তিকেই বুঝায় না, স্মৃতি ভাণ্ডারে রক্ষিত তথ্যকে যথাযথ বিশ্লেষণ ও প্রক্রিয়াকরণের মাধ্যমে উদ্দেশ্য মোতাবেক যথার্থসিদ্ধান্ত গ্রহণ করার ক্ষমতাকেই বুঝায়। আর আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের কাজ হচ্ছে যান্ত্রিকভাবে এই বুদ্ধিমত্তার বাস্তবায়ন।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স একটি বিজ্ঞানবিষয় হিসেবে ইতোমধ্যে তিনদশকেরও বেশি সময় ধরে বর্ধিত হচ্ছে। এর মূল গবেষণাবিষয় হলো সেই ধরনের পদ্ধতি বা যন্ত্র কম্পিউটার তৈরি করা যার সাহায্যে জ্ঞানভিত্তিক যুক্তি সম্পন্ন পর্যালোচনা সাপেক্ষে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা সম্ভব হবে। অবশ্য এর জন্য দুই ধরনের সমস্যার সম্মুখীন হতে হয়—

১. বিশ্লেষণ ক্ষেত্রেই কোনো কার্যসম্পাদনের পর মানুষ নিজেই সেই কার্যসম্পাদনের যথার্থ প্রক্রিয়া সম্পর্কে পুরাপুরিভাবে প্রকাশ করতে পারে না। মানুষের কাছে তার ভাষা প্রকাশের প্রক্রিয়া, তার বোধন-প্রক্রিয়া, কোনো বস্তুর প্রকৃতি নির্ধারণ, তত্ত্বের প্রমাণ প্রক্রিয়া, কোনো সিদ্ধান্তে বাস্তবায়ন প্রক্রিয়া, সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়া ইত্যাদির যথাযথ অ্যালগরিদম

অ্যালগরিদম হচ্ছে কোনো কাজ সম্পাদনের পর্যায়ক্রমিক ধারার প্রাথমিক ধারণা বা পরিকল্পনা) সম্বন্ধে পুরাপুরি ধারণা থাকে না। (২) কম্পিউটারের বুদ্ধিমত্তা মনুষের বুদ্ধিমত্তা থেকে এখনও অনেক অনুন্নত। কম্পিউটারের সাহায্যে কোনো কাজ সম্পাদনের পূর্বে সেই কম্পিউটারে বোধগম্য কোনো কম্পিউটার ভাষায় তার প্রোগ্রাম তৈরি করতে হয়। কিন্তু কম্পিউটার-ভাষাগুলির সাহায্যে কোনো সমস্যাকে মনুষ্য বোধগম্যভাবে প্রকাশরূপ দেয়ার সুযোগ অত্যন্ত সীমিত। কাজেই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্স এখনও মূলত একটি নিরীক্ষামূলক বিজ্ঞান-শাখা। নিরীক্ষামূলক বলতে এখানে বুঝানো হচ্ছে—পর্যায়ক্রমিক পরীক্ষা ও সংশোধন প্রক্রিয়া। এই প্রক্রিয়ার সাহায্যে মনুষ্য-বুদ্ধিমত্তার অনুকরণক্রমে কম্পিউটারে বিভিন্ন প্রোগ্রামের সাহায্যে বিভিন্ন উদাহরণের যথার্থতা বিচার করে বুদ্ধিমত্তা প্রকাশের মডেল হাজির করা হয়।

১.৩ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ব্যবহার ক্ষেত্র

সকল প্রকার সমস্যা যেগুলির সমাধানের অ্যালগরিদম মানুষের অজানা তা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সমস্যা হিসেবে গণ্য করা হয়। অ্যালগরিদম বলতে কম্পিউটারে প্রয়োগযোগ্য পর্যায়ক্রমিক সুনির্দিষ্ট কার্যধারাকে বুঝায় যা সময়ের মাত্রায় অত্যন্ত যথাযথভাবে সুনির্দিষ্ট থাকে (অর্থাৎ সেই প্রোগ্রামটি বাস্তবায়নের জন্য ঠিক কতটুকু সময়ের প্রয়োজন তা নির্দিষ্ট থাকে)। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, দাবা খেলার অ্যালগরিদম যথাযথভাবে সুনির্দিষ্ট নয়। যদিও এই খেলার জন্য প্রয়োজনীয় সকল চালের সংখ্যা সীমিত, তথাপি তার সকলপ্রকার সম্ভাব্য চালের জন্য প্রোগ্রাম তৈরি করতে হলে হাজার হাজার বছর প্রয়োজন। ঠিক তেমনি বলা যেতে পারে যে, চিকিৎসা শাস্ত্রে রোগ নির্ণয় প্রক্রিয়ার অ্যালগরিদমও সুনির্দিষ্ট নয়।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিচার্য হিসেবে যেসব বিষয়কে ধরা হয় সেসব বিষয়ে সমস্যা সমাধানের বিশেষ কোনো সঠিক সুনিরূপিত পদ্ধতি বা প্রক্রিয়া অনুপস্থিত। এসব বিষয়ের দুটি বিশেষত্ব বিদ্যমান যা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সাথে কম্পিউটার সায়েন্সের পার্থক্য নির্ধারণ করে— (ক) এসব বিষয়ে সমস্যা সমাধানে তথ্যগুলিকে সাংকেতিকরূপে যেমন—অক্ষর, শব্দ, সাংকেতিক চিহ্ন বা ছবি আকারে প্রকাশ করা হয়। আর কম্পিউটার সায়েন্সের সাথে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের পার্থক্য হলো এখানেই কারণ কম্পিউটার সায়েন্সে তথ্যগুলিকে ব্যবহার ও প্রকাশ করা হয় সাংখ্যিকরূপে। (খ) আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে এসব বিষয়ে সমস্যা সমাধানের কয়েক ধরনের পদ্ধতির মধ্যে কোনো একটি পদ্ধতি বেছে নেয়ার সুযোগ বিদ্যমান। যেহেতু এসব সমস্যার সমাধানের কোনো সুনির্দিষ্ট অ্যালগরিদম নেই তাই এই অনির্দিষ্টতা ও অনিশ্চয়তা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিচার্য সমস্যাগুলির বিশেষ বৈশিষ্ট্য, যা কম্পিউটার সায়েন্সের বিচার্য সমস্যায় গ্রহণযোগ্য নয়।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সর্বপ্রধান বিচার্য সমস্যা হলো—তথ্য প্রস্তাবনার (representation) সমস্যা। মানুষ বিভিন্ন অনুভূতি বা ইন্দ্রিয়—যেমন দর্শন, কণ্ঠ, ঘ্রাণ, শ্রবণ বা স্বাদ ইত্যাদির সাহায্যে তথ্য প্রেরণ-গ্রহণ বা প্রস্তাবনা করে থাকে। কিন্তু যান্ত্রিকভাবে এধরনের তথ্য-প্রস্তাবনা পদ্ধতি অদ্যাবধি যথেষ্ট উন্নত নয়। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের কয়েকটি দিক এই তথ্য প্রস্তাবনাকেই গবেষণার বিশেষ বিষয় হিসেবে গ্রহণ করেছে। নিচে এই কয়েকটি দিকের বর্ণনা দেয়া হলো।

BANGLA BOOK Dhaka

বস্তু-প্রকৃতিগত তথ্যের প্রস্তাবনা

যে কোনো পদ্ধতি তথ্য গ্রহণের নিজস্ব তথ্য সংগ্রাহক অঙ্গগুলি ব্যবহার করে থাকে। মানুষের তথ্য-সংগ্রাহক অংগ তথা ইন্দ্রিয়গুলির মধ্যে সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ ইন্দ্রিয় হলো দর্শনেন্দ্রিয় বা চক্ষু। মানুষের চোখের যান্ত্রিক অনুকরণ হলো ক্যামেরা বা লেজার প্রযুক্তি। এই দৃষ্টি-যন্ত্রগুলির সাহায্যে বস্তুর প্রতিকৃতি এবং তার পশ্চাদভূমির বা ব্যাকগ্রাউন্ডের তথ্য সংগৃহীত হয়। শব্দ-যন্ত্রগুলি যেমন মাইক্রোফোন, টেপরেকর্ডার ইত্যাদি মানুষের শ্রবণেন্দ্রিয়েরই অনুকরণ। যেকোনো বস্তু-প্রকৃতির তথ্য-সংগ্রহকারী ব্যবস্থার কাজ শুধু তথ্য সংগ্রহই নয়, সংগৃহীত তথ্যকে যুক্তি ও বোধনের সাহায্যে বিশ্লেষণ করে বস্তুর প্রকৃতিগত যথাযথ রূপ নির্ধারণ করা। এই তথ্য সংগ্রহ ও পরিবর্তন প্রক্রিয়াকরণের জন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে দর্শনেন্দ্রিয়ের অনুকরণে প্রতিকৃতি প্রক্রিয়াকরণ (image processing) এবং কণ্ঠ বা শ্রবণেন্দ্রিয়ের অনুকরণে কণ্ঠস্বর প্রক্রিয়াকরণ (voice processing) আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বিশেষ গবেষণা বিষয় হিসেবে বিবেচিত হয়।

স্বয়ংক্রিয়ভাবে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্বের (Theory) প্রমাণ

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে তথ্যকে সাংখ্যিকভাবে প্রকাশ করার চেয়ে সাংকেতিকভাবে প্রকাশ করাকে বেশি গুরুত্ব দেয়া হয়। এজন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিজ্ঞানীরা প্রাথমিকভাবে গণিতশাস্ত্র ও বিভিন্ন ধরনের কম্পিউটার গেমের প্রতি নজর দেন। এই ক্ষেত্র দুটি যেহেতু মনুষ্য-বুদ্ধিমত্তার যুক্তিগত ব্যবহারের জন্য যথাযথ উপযোগী এবং সে সম্পর্কিত সমস্যাগুলি যথাযথভবে সূত্রীবদ্ধ (formalised), তাই তাদের ব্যাপারে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিজ্ঞানীরা বিশেষ আগ্রহ দেখান।

প্রথম কম্পিউটার আবিষ্কারের কিছুকাল পরেই ১৯৫৭ সালের দিকে স্বয়ংক্রিয়ভাবে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্বগুলি প্রমাণের জন্য প্রথম প্রোগ্রাম সৃষ্টি হয়। প্রথমদিকে এই প্রোগ্রামগুলি মোটামুটি সহজ ছিল কিন্তু ক্রমান্বয়ে তা জটিল থেকে জটিলতর হতে শুরু করে। এ ব্যাপারে মানুষের গড়পড়তা বুদ্ধির স্তর কম্পিউটারের দ্বারা ইতোমধ্যেই অর্জন করা সম্ভব হয়েছে। অবশ্য গণিতশাস্ত্রের একজন বিশেষজ্ঞের বুদ্ধিমত্তার স্তর কম্পিউটারের জন্য প্রোগ্রাম আকারে এখনও অর্জন করা সম্ভব হয় নি। এই প্রোগ্রামগুলি তৈরির ব্যাপারে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্ব প্রমাণের জন্য উন্নত পদ্ধতি আবিষ্কৃত হয়। এই লক্ষ্যে গণিতশাস্ত্রের যথাযথ সূত্রীবদ্ধ (formalised) সে সব শাখা যেমন গাণিতিক যুক্তিবিদ্যা (mathematical logic), রবোট-প্রযুক্তি, সমস্যার সমাধান নির্ধারণ, ডাটা-ব্যাংক থেকে তথ্য সন্ধান প্রক্রিয়া ইত্যাদির ব্যাপক ব্যবহার শুরু হয়। স্বয়ংক্রিয়ভাবে গণিতশাস্ত্রের তত্ত্ব প্রমাণের পদ্ধতি আবিষ্কার করা আজও আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণার গুরুত্বপূর্ণ বিষয়।

কম্পিউটারে গেম

গণিতশাস্ত্রের যথাযথ সূত্রীবদ্ধ অন্যান্য পদ্ধতির মত বিভিন্ন গেমও সীমাবদ্ধ সংখ্যক অবস্থার বৈশিষ্ট্যযুক্ত। যেহেতু গেমগুলিকে সুনির্দিষ্ট নিয়মের দ্বারা বিশ্লেষণ করা সম্ভব তাই ডিডাক্টিভ লজিকের সাহায্যে গেমগুলির জন্য প্রোগ্রাম তৈরি করাও সম্ভব। এজন্য গেমগুলি আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষকদের কাছে বেশ আগ্রহ সৃষ্টি করেছে। এ ব্যাপারে গণিতশাস্ত্রের জন্য প্রয়োজনীয় গড়পড়তা মনুষ্য-বুদ্ধিমত্তার স্তর ইতোমধ্যেই অর্জিত হয়েছে

কোনও গেমের জন্য বিশ্বচ্যাম্পিয়নের বুদ্ধিমত্তার স্তর অর্জন যথেষ্ট কঠিন কারণ মানুষ-বিশেষজ্ঞ তার সিদ্ধান্ত গ্রহণে শুধু তার বিগত জীবনের সংগৃহীত তথ্যই ব্যবহার করে না, ভবিষ্যতের সম্ভবনাকেও সে এ ব্যাপারে গণনার মধ্যে আনে। গেমগুলির মধ্যে ভাগ্য খেলা—যেমন 'পোকার' এর ক্ষেত্রে প্রোবাবিলিটি তত্ত্ব ব্যবহারে কম্পিউটার মানুষের চেয়েও বেশি পারদর্শিতা প্রদর্শন করেছে।

সমস্যার সমাধান

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, 'সমাধান' কথাটির অর্থ অত্যন্ত ব্যাপক। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে 'সমাধান' বলতে সমস্যার প্রেক্ষাপট ও তার বিশ্লেষণ, সমস্যাসংশ্লিষ্ট অবস্থাগুলির প্রস্তাবনা এবং সমাধানলব্ধ সিদ্ধান্তকে সমষ্টিগতভাবে বুঝায়। অবশ্য আজ পর্যন্ত সমাধান নির্ণয় পদ্ধতি অত্যন্ত সীমাবদ্ধভাবে নির্ধারিত। এর কারণ এই যে, যদিও অনেক সমস্যার সমাধানই যথাযথভাবে নির্ধারিত তথাপি এমন অনেক সমস্যাই বিদ্যমান যাদের সমাধান যথাযথভাবে নির্ধারিত বা বিশ্লেষিত হয় নি। এসব অসমাধিত সমস্যাগুলির মধ্যে যেমন গণিতশাস্ত্রগত সমস্যা বিদ্যমান, ঠিক তেমনি দৈনন্দিন সমস্যাগুলিকেও এর মধ্যে ধরা যেতে পারে। অসমাধানকৃত সমস্যার সমাধান নির্ণয়ে প্রয়োজন সূক্ষ্ম বিশ্লেষণ ও সাধারণকরণের (generalisation) ক্ষমতা। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে, কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন রবোটকে সেসব সমস্যা সমাধানের ক্ষমতা রাখতে হবে যেসব সমস্যার সমাধান মানুষ অনেকটা অবচেতনভাবেই করে থাকে যেমন—উঁচু জায়গার উপর থেকে কোনো বস্তু স্থানান্তর করতে হলে একটা উঁচু জায়গার উপর দাঁড়াতে হবে, কিছু ভালোভাবে দেখতে হলে আলো জ্বালাতে হবে অথবা কোনো জায়গায় যেতে হলে যাত্রাপথে কোনো প্রতিকূলতা আছে কিনা অনবরতই তা বিচার করতে হবে। কিন্তু সমস্যর সমাধানে মানুষকে প্রায়শই অসম্পূর্ণ, অস্পষ্ট বা অনিশ্চিত তথ্যের উপর ভিত্তি করে সিদ্ধান্তে পৌছতে হয়। এজন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞানের এই অনিশ্চয়তা-বৈশিষ্ট্যের উপর ভিত্তি করে সিদ্ধান্তে পৌছানোর জন্য ফাজি নলেজের উপর গবেষণা চলছে।

প্রাকৃতিক ভাষার বোধন

প্রাকৃতিক ভাষা বলতে মানুষের বহুকাল ধরে ব্যবহৃত সাধারণভাবে প্রচলিত ভাষাগুলিকেই বুঝায়। প্রাকৃতিক ভাষাগুলির প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতি বলতে কোনো টেক্সটকে বিশ্লেষণ ও প্রবৃদ্ধিকরণ (generation), টেক্সটের অভ্যন্তরীণ অর্থ নির্ণয়করণকে বুঝায়। এর জন্য প্রয়োজন হয় গঠনমূলক (syntactic), অর্থমূলক (semantic) ও বাস্তবগত (pragmatic) জ্ঞানের। এ ব্যাপারে ইতোমধ্যেই ব্যাপক অগ্রগতি সাধিত হয়েছে।

উল্লেখযোগ্য যে, গবেষণালব্ধ ফল ও তার সামাজিক প্রতিক্রিয়া আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বেশ গুরুত্বপূর্ণ স্থান দখল করে আছে। বিভিন্ন বিজ্ঞান শাখা এ ব্যাপারে পরস্পর সংযুক্তভাবে কাজ করছে। যেমন, মনোবিজ্ঞান (মনুষ্য মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতি ও মানুষের আচরণে তার প্রতিফলন), যুক্তিবিদ্যা (যুক্তির ভিত্তিতে তথ্য প্রক্রিয়াকরণ), ভাষাবিদ্যা (সমস্যার প্রস্তাবনা ও তার প্রকাশনা পদ্ধতি), জীববিদ্যা (জীনের সাহায্যে তথ্য প্রেরণ প্রক্রিয়া), ইনফরম্যাটিক্স (কোনো পদ্ধতিতে স্বয়ংক্রিয়ভাবে প্রোগ্রাম তৈরি, তথ্য-স্মৃতি-ভাণ্ডার থেকে তথ্য সন্ধান, স্বয়ংক্রিয়ভাবে কোনো পদ্ধতি সংগঠিতকরণ),

চিকিৎসাশাস্ত্র (রোগ নির্ণয়ের ব্যবস্থা প্রোগ্রামকরণ) ইত্যাদি সকল শাখাই আজ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সাহায্যে সংবদ্ধ হয়ে একসাথে কাজ করছে। কোনো বিজ্ঞান শাখার সকল জ্ঞান আজ কেবল সেই শাখায় সীমাবদ্ধ নেই। সমস্যার সমাধানে বিজ্ঞানের সকল শাখায় লব্ধ জ্ঞান সুসংবদ্ধকরণের মাধ্যমে যথাযথ সিদ্ধান্ত গ্রহণই আজ বিজ্ঞানের লক্ষ্যে পরিণত হয়েছে। এর জন্য মানবিক বিজ্ঞান শাখায় সৃষ্টি হয়েছে কগনিটিভ সায়েন্স (cognitive science) যাকে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মানবিক শাখা হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। সম্মিলিতভাবে সাধারণ সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি মানুষকে প্রকৃতির সাথে সংঘাতের পরিবর্তে সহযোগিতার পথে আসতে সাহায্য করবে। বিজ্ঞানকে এতদিন প্রকৃতি জয়ের হাতিয়ার হিসেবেই বিবেচনা করা হয়েছে কিন্তু কোনো কিছুর সাথে কেবল সংঘাতেই জয়ের প্রশ্ন উঠে। যদি প্রকৃতির সাথে সংঘাতই মানুষের মূল কাজ হয় তাহলে মানুষকে প্রকৃতপক্ষে তার উৎসের সাথেই সংঘাতে লিপ্ত হতে হবে। যেহেতু সংঘাতের সৃষ্টি হয় পরস্পরিক অবোধগম্যতার কারণে তাই সংঘাত এড়াতে হলে সৃষ্টি করতে হবে বোধগম্যতা। কিন্তু প্রাকৃতিক বোধগম্যতার সৃষ্টির জন্য প্রয়োজন মানুষের লব্ধ জ্ঞানকে সুসংবদ্ধ করা। এজন্যই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞানের প্রস্তাবনা পদ্ধতি (Knowledge representation system) ও প্রাকৃতিক ভাষা প্রক্রিয়াকরণ (natural language processing) বেশ গুরুত্বপূর্ণ স্থান দখল করে আছে।

নিউরাল নেটওয়ার্ক

যেহেতু মানুষ তার যে কোনো সমস্যার সমাধান তার মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতির উপর ভিত্তি করেই নির্ধারণ করে সেহেতু মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতি যদি সফলভাবে অনুকরণ করা সম্ভব হয় বা মস্তিষ্কের কাজগুলি যদি যান্ত্রিকভাবে সম্পাদন করা সম্ভব হয় তবে মস্তিষ্কের বিভিন্ন জটিল কাজ যান্ত্রিকভাবে বাস্তবায়ন করে সমাধানকে আরো যুক্তিনির্ভর ও বস্তুনির্ভর করে তোলা সম্ভব। তাই মনুষ্য মস্তিষ্কের কর্মপদ্ধতির আনুমানিক অনুকরণে নিউরাল নেটওয়ার্ক তৈরি করার গবেষণাও ইদানীং আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের একটি বিশেষ ভাগ হিসেবে সুপরিচিত। যেহেতু মস্তিষ্কের ক্রিয়া পদ্ধতি অত্যন্ত জটিল এবং তার সমতুল কোনো কৃত্রিম ব্যবস্থা তৈরি করা প্রায় অকল্পনীয় হিসেবে বিবেচিত হলেও বিজ্ঞানীরা কোনো অকল্পনীয়কেই কল্পনা থেকে বাদ দিতে নারাজ। তাই নিউরাল নেটওয়ার্কের বাস্তবায়নও আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণা বিষয় হিসেবে ইদানীং গুরুত্ব ও বাস্তবতা লাভ করেছে।

১৪ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ঐতিহাসিক প্রেক্ষাপট

কম্পিউটার ছাড়াই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের অগ্রগতি সম্ভব হলেও কম্পিউটারের আবির্ভাব মূলত যান্ত্রিকভাবে বুদ্ধিমত্তার বাস্তবায়নের নতুন পথ খুলে দিয়েছে। ১৯৫৪ খ্রিষ্টাব্দে এ. নুয়েল দাবা খেলার প্রোগ্রামের কথা চিন্তা করেন। ইনফরমেশন তত্ত্বের প্রতিষ্ঠাতা কে. শেনন এর জন্য একটি পদ্ধতির প্রস্তাব করেন। বিখ্যাত কম্পিউটার বিজ্ঞানী টুরীং এই পদ্ধতিটিকে তাঁর তৈরি যন্ত্রের সাহায্যে বাস্তবে রূপ দেন। আমস্টার্ডের কিছু মনোবিজ্ঞানী (এ. জে. গ্রুত এর নেতৃত্বে) দাবা খেলার খেলোয়াড়দের খেলার ধরন নিয়েও গবেষণা শুরু করেন। এই বিজ্ঞানীদের দল এমন একটি প্রোগ্রাম ভাষার সৃষ্টি করেন যাতে তথ্যকে

সাংকেতিকভাবে ব্যবহার করে তথ্যতালিকা ও নির্দেশকের সাহায্যে প্রোগ্রাম তৈরি করা সম্ভব। এই ভাষাটি হলো আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বহুলভাবে ব্যবহৃত LISP ভাষার পূর্বসূরি IPL-1 (১৯৪৬ খ্রিষ্টাব্দ) প্রোগ্রাম ভাষা। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সর্বপ্রথম প্রোগ্রামের নাম "লজিকথিওরেটিক" যার সাহায্য পূর্বাভাষ দানের তত্ত্ব প্রমাণ করা হয়। এই প্রোগ্রামের কার্যকারিতা ১৯৫৬ সালের ৯ই আগস্ট প্রদর্শন করা হয়।

দাবা খেলার প্রোগ্রাম এন. এস. এস (N.S.S. নিউয়েল, শ" , সাইমন) সৃষ্টি হয় সর্বপ্রথম ১৯৫৭ সালে। এন. এস. এস প্রোগ্রাম ও লজিকথিওরেটিক প্রোগ্রামের কাঠামো, 'ইপ্সিত অবস্থা' ও 'হয়রিস্টিক' (heuristic–সুনির্দিষ্ট তত্ত্বের অনুপস্থিতিতে নির্বাচনের পদ্ধতি) প্রস্তাবনার দ্বারা পরবর্তীতে সর্বজনীন (universal) সমাধান বের করা সম্ভব হয়ে উঠে। এই প্রোগ্রামগুলির সাহায্যে বিভিন্ন অবস্থার বিশ্লেষণ ও লক্ষ্য নির্ধারণের মাধ্যমে "হ্যানয় টাওয়ার" ও "অনির্দিষ্ট ইন্টেগ্রাল" মান নির্ণয়করণ এর মত জটিল সমস্যাগুলির সমাধান সহজতর হয়ে উঠে।

ইনফরম্যাটিক্স বিশেষজ্ঞরা ক্রমেই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের ব্যাপারে বেশ আগ্রহী হয়ে উঠেন। তাঁদের মধ্যে ম্যাক্কার্থী, মিনস্কী ও সাইমনের নাম বিশেষভাবে পরিচিত। এর ফলে শুরু হয় নতুন নতুন প্রোগ্রাম সৃষ্টির কাজ। গেলেন্টার (Gelenter ১৯৬০) দেখান যে, ইউক্লিডের স্কুল-জ্যামিতির তত্ত্বগুলি প্রমাণের জন্য তৈরি প্রোগ্রামগুলি তত্ত্ব প্রদানকারীর প্রমাণের চেয়েও শক্তিশালী। ফাইগেনবাউম (Feigenbaum)তৈরি করেন মৌলিকভাবে অনুধাবনকারী প্রোগ্রাম EPAM (Elementary Perceiving And Memorizing)। এই প্রোগ্রামগুলি মনস্তাত্ত্বিক অবস্থার মডেলিং এর জন্য বেশ কার্যকর।

প্রাকৃতিক ভাষা ব্যবহার করে তথ্য ভাণ্ডার বা ডাটা-ব্যাংক থেকে তথ্য সংগ্রহের প্রোগ্রাম অনেক আগেই তৈরি হয়েছে। যেমন BASEBALL প্রোগ্রামের সাহায্যে পূর্ববর্তী সকল বেসবল খেলার ফলাফল সংগ্রহ করা সম্ভব। তেমনি STUDENT প্রোগ্রামের সাহায্যে ইংরেজি ভাষায় অ্যালজেবরার সমস্যাগুলির সমাধান বের করা সম্ভব।

যান্ত্রিকভাবে বিভিন্ন ভাষার অনুবাদের জন্য প্রোগ্রাম তৈরির ব্যাপারে বিশেষজ্ঞরা বেশ আগ্রহী। এর জন্য গবেষকরা সিন্টাক্টিক (বাক্যের গঠনমূলক) বিশ্লেষণ ও অভিধানের (dictionary) শব্দ ভাণ্ডারের তথ্যগুলি ব্যবহার করে থাকেন। কিন্তু Dreyfus (১৯৭২) ও Lighthill (১৯৭৩) দেখান যে, অটোম্যাটিক অনুবাদের জন্য আরো প্রয়োজন বাক্যে নিহিত অর্থের অনুধাবন ক্ষমতার উন্নয়ন। তাই সিমান্টিক্সের সাহায্যে বাক্যের অর্থ ব্যাখ্যার পদ্ধতি সৃষ্টি হয়েছে।

১৯৬৪ সালে জর্জ রবিনসনের গবেষণায় দ্বন্দ্বমূলক পর্যালোচনার ভিত্তিতে ফরমাল লজিকের নতুন অধ্যায় শুরু হয়। এই নতুন পদ্ধতির সাহায্যে অনেক সমস্যাকে যথাযথ সূত্রীবদ্ধরূপ প্রদান ও যান্ত্রিকভাবে তার প্রয়োগ সম্ভব হয়ে উঠে এবং এর সাহায্যে তত্ত্বের প্রমাণ (সুইগল, গ্রীন, কোভালস্কি) ও প্রোগ্রামের যথার্থতা যাচাই (কিং, উওলদিং) করা সহজতর হয়ে উঠে। এই পদ্ধতির ভিত্তিতে বর্তমানে বহুল পরিচিত প্রোগ্রাম ভাষা PROLOG এর সৃষ্টি হয়। এই ভাষাটির ক্ষমতা ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের মতোই (এ সম্বন্ধে ধারণা পরবর্তীতে দেয়া হয়েছে)।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষকরা নতুন নতুন ধরনের প্রোগ্রাম-ভাষার সৃষ্টি করেছেন। এই নতুন ভাষাগুলির বৈশিষ্ট্য হলো—কম্পিউটারে সমস্যার অনুধাবন, বিশ্লেষণ ও

শব্দ-ভাণ্ডার ব্যবহারের সহজতা। LISP, PROLOG, PLANNER, QA4—এই গুরুত্বপূর্ণ ভাষাগুলির লক্ষ্য নির্ধারণ, সমস্যার যুক্তিগত সমাধানের যথাযথ সূত্রকরণ ও মডেল তৈরিতে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। MACSYMA ও REDUCE প্রোগ্রাম ভাষাগুলি গাণিতিক প্রকল্পনাগুলির কম্পিউটারে প্রক্রিয়াকরণে ব্যবহৃত হয়। TMS ভাষাটি অনিশ্চিত অবস্থার ভিত্তিতে পরিচালনা কাজ চালিয়ে যেতে পারে এবং এটি অনিশ্চিত অবস্থাগুলির মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ধারণে ব্যবহৃত হয়।

উপরিল্লিখিত প্রোগ্রাম ও আবিষ্কৃত ফলাফলগুলি বাস্তব ত্রিমাত্রিক প্রস্তরে (three dimensional space) স্থির তথা স্থানান্তরযোগ্য বিভিন্ন রবোটের পরিচালনা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত হচ্ছে। এর জন্য উদ্ভূত মূল সমস্যা হলো—কৃত্রিমভাবে তথ্য সংগ্রহকারী অরগান (organ) তৈরি করা। যান্ত্রিক দর্শনেন্দ্রিয় হিসেবে বর্তমানে টেলিক্যামেরা ব্যবহার করা হয়। কিন্তু কোনো বস্তুকে পুরাপুরি চিহ্নিত করতে হলে শুধু সেই বস্তুর দ্বিমাত্রিক (two dimensional) ছবি তুললেই হবে না, সেই বস্তুর পার্শ্ববর্তী বা তার ব্যাকগ্রাউন্ডে অবস্থিত অন্যান্য বস্তুর সাথে সেই বস্তুর ধার (edges) বা কিনারগুলির তুলনা করতে হবে (গুসম্যান, উইন্সটন, ডেভিড মার)। এ ব্যাপারে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষ বিভাগ ইমেজ প্রসেসিং (image processing) ব্যাপক গবেষণা ক্ষেত্রে পরিণত হয়েছে। ঠিক সাথে সাথে যান্ত্রিক শ্রবণেন্দ্রিয় তথা ভয়েস প্রসেসিং (voice processing) এর উপরও ব্যাপক গবেষণা চলছে।

১৯৩৮ সাল পর্যন্ত গবেষকরা মূলত "মাইক্রোস্পেস" সংযুক্ত গবেষণা চালিয়ে যান। তাঁরা মূলত অবস্থার সীমাবদ্ধতা গুণ সংবলিত সমস্যাগুলি নিয়ে কাজ করেন—যেমন গেম, ইউক্লিড জ্যামিতি, ইন্টেগ্রাল ক্যালকুলাস, কিউবিক জগৎ, স্বল্প শব্দভাণ্ডার সংবলিত ক্ষুদ্র কথোপকথন ইত্যাদি। এ সকল ক্ষেত্রেই মূলত একই ধরনের পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়—যা হলো শিথিল সংযোগ (flexible combination) পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে বিভিন্ন ধরনের বিকল্প সমাধানের সংখ্যাকে সাধারণ ধারণার সাহায্যে ক্রমান্বয়ে কমিয়ে আনা হয়, অবস্থার মূল্যায়নে সাংখ্যিক পদ্ধতি (numerical method) ব্যবহার করা হয় এবং সমাধান নির্ণয়ে হ্যুরিস্টিক পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। উপরিউক্ত উপায়ে এমন ধরনের যন্ত্রপাতি বা পদ্ধতি তৈরি হচ্ছে যেগুলি সমস্যার সমাধানে মানুষের সমকক্ষতা অর্জন করার প্রায় কাছাকাছি চলে এসেছে—যদিও মানুষের ক্ষমতা যান্ত্রিক ক্ষমতার চেয়ে অনেক দ্রুত উন্নয়নক্ষম। এ ক্ষেত্রে তবু সর্বদাই মানুষের বুদ্ধিমত্তার একস্তর নিচে থাকবে কেননা মানুষের ক্রমান্বয়ে উন্নত বুদ্ধিমত্তা যান্ত্রিকভাবে বাস্তবায়িত হয় আর সাথে সাথেই মানুষের বুদ্ধিমত্তা আরো একধাপ এগিয়ে যায়।

১.৫ উপসংহার

সত্তরের দশকে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে ঘটে বিপ্লবাত্মক অগ্রগতি। এর কারণ দুটি—প্রথমত সকল গবেষকই উপলব্ধি করতে পারলেন যে, পূর্বের সব ধরনের প্রোগ্রামেরই একটি অসম্পূর্ণতা বিদ্যমান এবং তা হলো সেই প্রোগ্রামের সমস্যাগত বিজ্ঞান শাখার গভীর জ্ঞান তাতে লিপিবদ্ধ নেই। একজন বিশেষজ্ঞ ও সাধারণ মানুষের মধ্যে পার্থক্য হলো এই যে, সেই বিশেষজ্ঞের স্বীয় এলাকায় সাধারণ মানুষের চেয়ে অনেক গভীর জ্ঞান ও অভিজ্ঞতা থাকে, তা সেই বিশেষজ্ঞ যে বিষয়েরই হোক না কেন। এই কারণে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের

কোনো প্রোগ্রামের মান উন্নত করতে হলে তার হয়রিস্টিক গুণ বা সমাধানের কোনো কোয়েফিসিয়েন্টের মান বাড়ালেই হবে না বরং সেই প্রোগ্রামে যুক্তিগতভাবে পর্যালোচনা করার ক্ষমতা বা সাংকেতিকভাবে জ্ঞানকে প্রকাশ করার ক্ষমতাও থাকতে হবে।

দ্বিতীয়ত—বিশেষ একটি সমস্যা হলো—প্রোগ্রাম প্রণেতার যেসব জ্ঞান নেই, অথচ একটি প্রোগ্রাম সেসব সমস্যা সমাধানের জন্য ব্যবহৃত হবে, যাতে এসব জ্ঞানের প্রয়োজন—সেই জ্ঞান বা তথ্য কিভাবে প্রোগ্রামে লিপিবদ্ধ করা যাবে বা সংযোজিত হবে? এর সমাধান হলো—প্রোগ্রাম এমনভাবে তৈরি করতে হবে যেন তা বিশেষজ্ঞের দ্বারা লিপিবদ্ধ জ্ঞান বা তথ্য থেকে নিজে নিজেই তা সংগ্রহ করতে পারবে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের প্রোগ্রামগুলিতে এমন ব্যবস্থা থাকতে হবে যেন তা নিজেই তথ্য সংগ্রহে সক্ষম হয়— যা সাধারণত চলতি কম্পিউটার ভাষাগুলিতে থাকে না। উদাহরণস্বরূপ, কোনো একটি সমস্যার সমাধানের জন্য ১৫ জুলাই একটি শহরে তাপমাত্রা কত ছিল সেই তথ্য জানা দরকার। কোনো একটি পদ্ধতিকে সেই সমস্যা সমাধানক্ষম হতে হলে তাকে এই তথ্য সংগ্রহ ও ব্যবহারের জন্য উপযোগী হতে হবে। যেহেতু প্রচলিত প্রোগ্রাম-ভাষাগুলিতে স্বয়ংক্রিয়ভাবে তথ্য সংগ্রহ ও ব্যবহারের কোনো সুব্যবস্থা নেই তাই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে ব্যবহৃত ভাষাগুলি উদ্ভাবনে এ ব্যাপারে মনোযোগ দেয়া হয়েছে।

উপরিল্লিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ কেননা একজন বিশেষজ্ঞ কোনো একটি পদ্ধতিতে যে কোনো সময়ই তথ্য সরবরাহ করতে পারে কিন্তু সেই পদ্ধতিটি সেই তথ্য কখন ব্যবহার করবে তা তার অজানা থাকে। তাই সরবরাহকৃত জ্ঞান যেন যথাযথভাবে ব্যবহার উপযোগী হয় সে ব্যাপারে বিশেষজ্ঞকে অবশ্যই লক্ষ্য রাখতে হবে। এই উদ্দেশ্যে সমস্যা সমাধানের ব্যাপারে ব্যাপক গবেষণা ও প্রাকৃতিক ভাষা অনুধাবন প্রক্রিয়ার সংযোগ সাধনে নতুন এক অধ্যায় সৃষ্টি হলো—"জ্ঞানের প্রস্তাবনা" (Knowledge Representation)।

১৯৭০ সালের দিকে উপরিউক্ত ধারণাগুলির (idea) ভিত্তিতে অনেকগুলি প্রোগ্রামের সৃষ্টি করা হয়। তাদের মধ্যে বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য প্রোগ্রাম হলো DENDRAL। এই প্রোগ্রামটি তৈরি হয় মাসস্পেক্ট্রোমিটার থেকে প্রাপ্ত কোনো তথ্য দ্বারা কোনো রাসায়নিক পদার্থের গঠনসূত্রী নির্ণয়ের নিমিত্তে। নোবেল পুরস্কার প্রাপ্ত বিজ্ঞানী ডি. লেদেরবেরগের সহযোগিতায় স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের বিজ্ঞানীরা এই প্রোগ্রামটি তৈরি করেন। এই প্রোগ্রামটি নিজস্ব ক্রিয়া পদ্ধতিতে ক্রমান্বয়ে অভিজ্ঞতা সংগ্রহে সক্ষম। বিশেষজ্ঞরা এই প্রোগ্রামটিতে শত সহস্র মৌলিক তথ্য নিয়ম আকারে সংযোজন করেন। এটিই ছিল সর্বাপেক্ষা প্রথম এক্সপার্ট সিস্টেম যার কাজ ছিল অভাবনীয়ভাবে সন্তোষজনক। বর্তমানে স্পেক্ট্রোমিটারের সাথে সাথে এই এক্সপার্ট সিস্টেমটিও সরবারহ করা হয়।

একটি প্রোগ্রামকে আদর্শ প্রোগ্রাম মনে করা হয় তখনই যখন সেই প্রোগ্রামটি লব্ধ অভিজ্ঞতা থেকে নিজেই সিদ্ধান্ত গ্রহণের নিমিত্তে যুক্তিগত নিয়মাবলি তৈরি করতে সক্ষম বা অন্য কথায় প্রোগ্রামটি নিজেই নিজেকে শিক্ষিত করে তুলতে পারে। স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের গবেষকরা DENDRAL প্রোগ্রামে ঠিক এই ব্যবস্থাই তৈরি করেন। METADENDRAL প্রোগ্রামে এমন কয়েকটি সাধারণ নিয়মাবলি ব্যবহার করা হয় যার সাহায্যে পদার্থের গঠনসূত্রী নির্ণয়ে সম্ভাব্য গঠন কাঠামোগুলির মধ্যে গ্রহণের অনুপযোগী গঠনগুলিকে বাদ দেয়ার ব্যবস্থা আছে। উপরন্তু, প্রোগ্রামটি পদার্থের রাসায়নিক গঠনসূত্রী

নির্ণয়ে নিজেই বিভিন্ন যুক্তিতে নিয়ম তৈরি ও তার কার্যকারিতা পরীক্ষা করে। প্রথমে গঠনসূত্রের পৃথক পৃথক রাসায়নিক বন্ধন নির্ণয়ে তা ব্যবহার করা হয় এবং পরে সামগ্রিকভাবে পদার্থটির রাসায়নিক সংযোগ নির্ণয়ে তা ব্যবহার করা হয়। এই প্রোগ্রামের সাহায্যে অবিশ্লেষিত রাসায়নিক পদার্থগুলির রাসায়নিক গঠনসূত্রী নির্ণয়ের পর ক্রমান্বয়ে তা আন্তর্জাতিক জার্নালগুলিতে প্রকাশ করা হয়।

১৯৭১ সালে টেরী ভিনোগ্রাদ কিউবিক বস্তু নিয়ে কাজ করতে সক্ষম রবোটগুলির মডেল সৃষ্টির জন্য SRDW পদ্ধতিটি তৈরি করেন। এই পদ্ধতিটির সাহায্যে রবোটকে ইংরেজি ভাষায় কথা বলানো যায়। এই পদ্ধতিটি শুধু বাক্যের গঠন বা সিনট্যাক্স নিয়েই ভাষাজ্ঞান সীমাবদ্ধ রাখে না, নিজস্ব কিউবিক জগতে (Cubic world) সিমান্টিক ও প্রাগম্যাটিক জ্ঞানের সাহায্যে বাক্যের অর্থ বুঝতেও সক্ষম। পদ্ধতিটি বাক্যের দ্বৈতার্থতা থেকে সঠিক অর্থ বের করতে, উদাহরণ বুঝতে, নিজস্ব কার্যাবলি নিয়ন্ত্রণ করতে এমনকি সে ব্যাপারে জবাবদিহি করতেও সক্ষম। এ সবই সম্ভব হয়েছে সৃষ্ট প্রোগ্রাম তৈরির বৈশিষ্ট্যে যার সাহায্যে রবোটের কার্যাবলি পরিচালিত হয়।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণায় খুব বেশি সংখ্যক গবেষক কর্মরত না থাকলেও এই বিজ্ঞান শাখার লব্ধ ফল আজ মানবজীবনের সর্বত্রই পরিলক্ষিত হচ্ছে। বিজ্ঞানের এই শাখার অভাবনীয় সাফল্য—বিশেষ করে স্বয়ংক্রিয় পরিচালনা ব্যবস্থা প্রায়শই প্রচার মাধ্যমে, মহাশূন্যের পরিচালনা ব্যবস্থায়, চিকিৎসাশাস্ত্রে রোগ নির্ণয়ে ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়। আবিষ্কৃত বা লব্ধ ফলকে কল্পনায় আরো বিস্তারিত করে আজকাল অনেক ফ্যান্টাসি ফিল্মও তৈরি হচ্ছে। অবশ্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের গবেষণা অত্যন্ত দীর্ঘমেয়াদী ও কষ্টসাধ্য কারণ, কম্পিউটারকে মানবলব্ধ সকল জ্ঞানে জ্ঞানান্বিত করার অর্থ বলতে গেলে অনেকটা মানব সভ্যতাকে আদিম অবস্থা থেকে বর্তমান অবস্থায় উন্নীত করারই শামিল। তবে মানবলব্ধ সকল জ্ঞানকে আজ বিচ্ছিন্নভাবে বিভিন্ন মানব মস্তিষ্কে সীমাবদ্ধ না রেখে তা কম্পিউটারের স্মৃতিতে ধারণ করে সকল মানুষের জন্যই তা সহজলভ্য করে তোলার লক্ষ্য নিয়েই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষজ্ঞরা কাজ করে যাচ্ছে।

সাধারণভাবে বলতে হয় বিশেষজ্ঞদের সারা জীবনের লব্ধ জ্ঞান ও অভিজ্ঞতাকে কম্পিউটারে সংযোজিত করতে হলে তাতে প্রয়োগযোগ্য ভাষা ব্যবস্থা ও তথ্য প্রস্তাবনা পদ্ধতি উন্নত করা দরকার। একই সাথে দরকার মানুষের লব্ধ সকল জ্ঞানকে কম্পিউটারের স্মৃতি ভাণ্ডারে আবদ্ধ করার। সুখের বিষয় যে, কম্পিউটারের স্মৃতি ধারণক্ষমতা ক্রমশই বাড়ছে। তাই আজ গবেষণার বিষয় হয়ে দাঁড়িয়েছে মানুষ নিজেই। মানুষের বুদ্ধিমত্তা আর কর্মপদ্ধতি বিশ্লেষণ করাটাও আজ আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষ কাজ হিসেবে বিবেচিত হচ্ছে, যাতে করে কম্পিউটারের বুদ্ধিমত্তা মানুষের সমতুল হতে পারে।

দ্বিতীয় অধ্যায়

সমস্যা

২.১ সমস্যার প্রস্তাবনা (Problem Representations)

সমস্যা শব্দটির অর্থ অত্যন্ত ব্যাপক। সাধারণ জীবনে সমস্যা বলতে সে অবস্থাকেই বুঝায় যে অবস্থায় জ্ঞাত কার্যকরণ সম্পর্কযুক্ত কর্মধারায় ইপ্সিত ফল পেতে অনিশ্চয়তা বিদ্যমান। এই অনিশ্চয়তার পরিমাণ যত বেশি সমস্যা ততই জটিল এবং অনিশ্চয়তা যত কম সমস্যা ততই সহজ। কোনো অবস্থাতে সেই অবস্থার সাথে সম্পর্কযুক্ত কার্যকরণ সম্পর্ক যত সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হয় সেই অবস্থায় ইপ্সিত ফল পেতে অনিশ্চয়তা ততই কম হয়। তাই যে কোনো সমস্যার সমাধানে সেই সমস্যার সাথে সম্পর্কযুক্ত কার্যকরণগত অবস্থাগুলির যথাযথ প্রস্তাবনা প্রয়োজন। গণিতশাস্ত্রের সমস্যাগুলি সর্বাপেক্ষা নির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত। তাই এই সমস্যাগুলির সমাধানও হয় সুনিশ্চিতভাবে। সমস্যা প্রস্তাবনার জন্য একটি ভাষার প্রয়োজন হয়, যেমন গণিতশাস্ত্রের ভাষা হলো গাণিতিক ভাষা।

স্কুলের গাণিতিক সমস্যাগুলির গণ্ডি পার হবার পর সাধারণ জীবন প্রবাহে তথা বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখার সমস্যাগুলি সুনির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত থাকে না। এর কারণ, সমস্যা প্রস্তাবনাকারীরা তথ্য সরবরাহে অসম্পূর্ণতা এবং সমস্যার প্রতি নিজস্ব দৃষ্টিভঙ্গী ব্যক্ত করে থাকেন। উপরন্তু, যে কোনো সমস্যার প্রস্তাবনায় ব্যবহার করা হয় প্রাকৃতিক ভাষা যাদের অসম্পূর্ণতা, অনিশ্চয়তা ও দ্বৈতার্থতার বৈশিষ্ট্যগুলি সমস্যার প্রস্তাবনায় যথেষ্ট বাধার সৃষ্টি করে।

মানুষের মধ্যে সাধারণ তথ্য বিনিময় প্রক্রিয়ায় তথা বাক্য বিনিময়ে ব্যবহৃত তথ্যাদি কখনই সুনির্দিষ্ট বা স্পষ্টভাবে প্রস্তাবিত বা ব্যক্ত হয় না। ধরে নেয়া হয় যে, বাক্যালাপে অংশগ্রহণকারী উভয় ব্যক্তিই আলাপের বিষয়বস্তু সম্বন্ধে মোটামুটি জ্ঞান রাখেন, অন্যথায় একজনের আরেকজনের তথাকে পুরাপুরি ভুল বুঝার সম্ভাবনা থাকে। তাই ভুল বুঝাবুঝি কমানোর জন্য যেমন বাক্যালাপে উভয় পক্ষেরই আলোচ্য বিষয়ে জ্ঞান ধারণের ক্ষমতা রাখতে হবে, ঠিক তেমনি জ্ঞান বা তথ্যকে একজন আরেকজনের কাছে বোধগম্য করার নিমিত্তে তা যথেষ্ট যৌক্তিকভাবে প্রস্তাব করতে হবে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে যন্ত্র ও মানুষের মধ্যে তথ্য বিনিময় প্রক্রিয়ায় তথ্য অত্যন্ত স্পষ্টভাবে ও একার্থভাবে প্রকাশ ও গ্রহণ করার ব্যবস্থা থাকতে হয়। এজন্য সাধারণ প্রাকৃতিক কথ্য ভাষায় তথ্য প্রকাশের জন্য প্রাকৃতিক ভাষাগুলিকে তাদের শব্দভাণ্ডারে যেমন বাড়াতে হবে, তেমনি ভাষার দ্বৈতার্থতাকে দূরীকরণের জন্য তাদের ব্যাকরণগত গঠনও ক্রমান্বয়ে উন্নত তথা সুস্পষ্টভাবে নির্দিষ্ট করতে হবে।

২.২ সমস্যার উপস্থাপনা (Presentation of the Problem)

সমস্যার উপস্থাপনা বলতে সমস্যার পূর্ববর্তী শর্তগুলিকে বোধগম্য করাকেই বুঝায় বা অন্যকথায় বলতে হয় যে, সমস্যা যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হওয়ার উপায় বের করাকেই সমস্যার উপস্থাপনা বলা হয়। প্রাথমিক পর্যায়ে সমস্যাকে উপস্থাপন করার জন্য ভাষা মাধ্যম ব্যবহার করে সাথে সাথে গ্রাফ বা লেখচিত্র ব্যবহার করা বেশি সুবিধাজনক কারণ দৃষ্টিশক্তির সাহায্যে বা সোজা কথায় এক নজরেই বুঝা যায় সমস্যাটা কি। বাস্তবত একটি সমস্যা তখনই সুপ্রস্তাবিত হয় যখন সমস্যার প্রস্তাবনায় কোনো দ্বৈতার্থতা থাকে না। এর ফলে সমস্যার সমাধান খোঁজার ব্যাপারেও কোনো সন্দেহ থাকে না। একই সাথে অবশ্য সমস্যার সিমান্টিক ও প্রাগম্যাটিক অর্থও যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ হওয়া প্রয়োজন। যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ সমস্যাকে আবদ্ধ সমস্যা (closed problem) বলা হয়।

২.৩ আবদ্ধ সমস্যা (Closed Problem)

সাধারণত গাণিতিক কোনো সমস্যাকে উপস্থাপন করা যায় নিম্নলিখিত উপায়ে–প্রদত্ত সীমাবদ্ধতার সম্ভার বা সেট $K(x)$ এর সাথে সম্পর্কযুক্ত বা সামঞ্জস্যপূর্ণ x বিন্দুগুলিকে X সম্ভারে নির্ণয় করতে হবে।

সমস্যার উপরিউক্ত উপস্থাপনার উদাহরণ হিসেবে নিম্নলিখিত সমস্যাটিকে ধরা যেতে পারে—"পূর্ণসংখ্যার X সম্ভারে সেই x সংখ্যাগুলি নির্ণয় করতে হবে যেগুলি এই $x^3 + 84 = 37x$ সমীকরণটিতে যথাযথভাবে প্রযোজ্য হবে"।

মন্তব্য : (১) প্রস্তর X প্রদানের সাথে এর গঠন ও তাতে সম্পাদনযোগ্য অপারেশনগুলিও সুনির্দিষ্ট থাকতে হবে ; (২) প্রারম্ভিকভাবে প্রাপ্ত সমস্যার আবদ্ধসূত্র প্রস্তর X ও তার সীমাবদ্ধতা $K(x)$ প্রয়োগের দ্বারা নতুনরূপে প্রকাশ করতে হবে এবং ক্রমান্বয়ে বিভিন্ন সীমাবদ্ধতার প্রয়োগ দ্বারা সূত্ররূপের পরিবর্তনের সাথে সমস্যার সমাধানের দিকে এগিয়ে যেতে হবে। সমস্যার সর্বশেষ আবদ্ধসূত্ররূপই হবে সমস্যার সমাধান।

সমস্যার আবদ্ধ সূত্ররূপ প্রস্তাবনার দুটি বিকল্প পথ আছে—

বিকল্প (১) : প্রদত্ত প্রস্তরে প্রারম্ভিক অবস্থা হলো S_0। সমস্যা হলো S_0 অবস্থা থেকে সর্বশেষ অবস্থা S_1 এ যেতে হবে। এই প্রস্তরে O_{ab} অপারেটরের সাহায্যে একটি অবস্থা S_a থেকে অন্য অবস্থা S_b তে যাওয়া যায়। সমস্যার সমাধান হলো S_0 অবস্থা থেকে S_1 অবস্থায় যাওয়ার পথ নির্ণয়।

উদাহরণস্বরূপ "১৫ টি সংখ্যাকে ক্রমিক পর্যায়ে সাজানো"—এই সমস্যাটিকে ধরা যেতে পারে :

$S_0 =$

2	□	6	7
12	8	10	3
15	5	1	9
4	13	14	11

$S_1 =$

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	□

চিত্র : ২.১

এই সমস্যায় অপারেটর O_{ab} এর অর্থ হলো এই যে—নম্বরযুক্ত ছকগুলিকে ক্রমান্বয়ে খালি ছকে স্থানান্তরিত করতে হবে। সমস্যার এই বিকল্প আবদ্ধ সূত্ররূপ হলো $x =$ (অপারেটরগুলির ক্রমানুসর)। সমস্যার সমাধান নির্ণয় এর অর্থ হলো অপরেটরগুলির ক্রমানুসর বা কোনটির পর কোনটি ঘটবে তা নির্ণয় করা অর্থাৎ

$$X = (O_{ab}, O_{bc}, ..., O_{tu}, O_{uv}),$$

যেখানে $S_a = S_0$ এবং $S_v = S_1$।

সীমাবদ্ধতার সম্ভার $K(x)$ হলো অপারেটরগুলির ক্রমানুসারে সাজানোর নিয়ম যেখানে অপারেটরের কোনো একটি পর্যায়ে তার সর্বশেষ অবস্থাকে পরবর্তী পর্যায়ের বা ধাপের প্রারম্ভিক অবস্থা হিসেবে ধরা হয়।

বিকল্প (২) : এই ধরনের উপস্থাপনায় গাণিতিক প্রমাণ প্রক্রিয়ায় সমস্যার ক্ল্যাসিকাল সূত্রকরণ প্রক্রিয়া ব্যবহার করে অর্থাৎ প্রদত্ত $H(x)$ এর ভিত্তিতে $C(x)$বের করতে হবে।

উদাহরণস্বরূপ, সমস্যার উপস্থাপনা নিম্নরূপ:

সকল n, $n \in N$ এর জন্য দেখাতে হবে যে,

$$\sum_{i=1}^{n} i^3 = \left(\sum_{i=1}^{n} i \right)^2$$

এই বিকল্পে যদি $S_0 = H(x)$ ও $S_1 = C(x)$ ধরা হয়, সমস্যার উপস্থাপনা ১ নং বিকল্পরূপ গ্রহণ করে। কিন্তু এখানে একটি পার্থক্য বিদ্যমান তা হলো ২ নং বিকল্পে ১ নং বিকল্পের ন্যায় ধাপ পার হওয়ার জন্য কোনো অপারেটর দেয়া নেই। গণিতবিদ্যার এটিই বিরাট দক্ষতা যে, তা কোনো সমস্যা সমাধানের জন্য প্রয়োজনীয় অপারেটরগুলির সন্ধান ও আবিষ্কার করে। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই সমস্যার উপস্থাপনায় অন্তিমদশা বা লক্ষ্য $C(x)$ প্রদত্ত থাকে না। সেক্ষেত্রে ২নং-বিকল্পের উপস্থাপনা দাঁড়ায় নিম্নরূপ :

"$\sum_{i=1}^{n} i^3$ এর মান নির্ণয় কর" এবং এক্ষেত্রে সমস্যার সমাধান নির্ণয়ে অনিশ্চয়তা দেখা দেয় কারণ, সমাধান অলক্ষ্য বস্তুতে পরিণত হয়। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই কোনো সমস্যার সমাধান সেই সমস্যার প্রাথমিক অবস্থার চেয়ে অনেক সহজে প্রকাশযোগ্য হয়।

২.৪ সমস্যা সমাধানের সাধারণ পদক্ষেপ

কোনো সমস্যার সমাধানে মানুষ সাধারণত সাতটি ধাপ অতিক্রম করে :

(১) সমস্যার পূর্বশর্তগুলির অর্থ ব্যাখ্যা করা ;

(২) সমস্যার পূর্বশর্তগুলি থেকে প্রাথমিক ফলাফল অনুধাবন ;

(৩) অবস্থাকে সমস্যার সমাধানে ব্যবহারের সুযোগ সন্ধান ;

(৪) সমস্যা সম্বন্ধে ব্যাপক চিন্তা ও বিশ্লেষণ ;

(৫) সমস্যাকে আবদ্ধরূপ প্রদান ;

(৬) ২ নং ধাপকে ব্যবহার করে অন্তিম সমাধানের সন্ধান ;

(৭) প্রাপ্ত সমাধানের নিরীক্ষণ ও সমাধানকে সাধারণরূপ দান।

১ নং ধাপে মানুষকে মূলত তথ্য সংগ্রহ করতে হয় তাই তার দর্শন ও শ্রবণেন্দ্রিয়ের ব্যাপক ব্যবহার এই ধাপে হয়। যেহেতু মানুষের তাৎক্ষণিকভাবে স্মৃতিধারণক্ষমতা অত্যন্ত সীমিত তাই সমস্যার পূর্বশর্তগুলিকে তার দীর্ঘকালীন সময় ধরে বিশ্লেষণ করতে হয়। ২ নং ধাপে মানুষ তার অভিজ্ঞতালব্ধ জ্ঞানকে ব্যবহার করে। এটি করা হয় এজন্য যে, প্রথমত সমস্যার প্রদত্ত শর্তগুলিকে যেসব তথ্য দেয়া না থাকে, সেগুলিকে যতদূর সম্ভব পূরণ করা এবং দ্বিতীয়ত, প্রদত্ত শর্তে যেসব তথ্য দীর্ঘাকার বাক্যরূপে পরিবেশিত থাকে সেগুলিকে প্রকৃতপক্ষে ছবি, গ্রাফ বা ফর্মুলার সাহায্যে খণ্ড খণ্ডভাবে বা স্পষ্টভাবে প্রকাশ করা হয়।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, ১৯৬২ সাল থেকেই মাত্র অল্পকিছু মূল শব্দ নিয়ে তৈরি প্রোগ্রামের দ্বারা পদার্থের গতিবিদ্যা ও প্রোবাবিলিটির সহজ সমস্যাগুলির সমাধান বের করা সম্ভব হয়ে উঠে।

সমস্যার সমাধানে ৩ নং ধাপটিই হচ্ছে মানুষের জন্য নীতিনির্ধারক কারণ এই ধাপে মানুষ ১ নং ও ২ নং ধাপগুলিকে পুনঃপুন পরীক্ষা করে সমস্যার পূর্বশর্তগুলিকে যথেষ্ট স্পষ্ট করে তোলে এবং সমস্যার জটিলতাটি কোথায় তা নির্ধারণ করে।

৪ নং ধাপে স্মৃতি থেকে সমস্যার সমাধানের জন্য অপ্রয়োজনীয় তথ্যগুলিকে দূরে সরিয়ে ফেলে সমস্যাকে আবদ্ধরূপ প্রদানের নিমিত্তে বিভিন্ন অপারেটরের সন্ধান করা হয়। এই ধাপে অনেক সময় প্রদত্ত সমস্যা সমাধানের চেষ্টা পরিহার করে অন্য কোনো সমস্যা নিয়ে ব্যস্ত হবার সম্ভবনা থাকে। এর ফলে প্রথম সমস্যা সমাধানের পথে বাধা সৃষ্টিকারী তথ্য বা ধারণাগুলি ক্রমান্বয়ে আপনাআপনিই দূরে সরে পড়ে। ফলে পরবর্তীতে সমস্যা সমাধানের সহজ পথটি পরিস্ফুটিত হয়ে উঠে। এ কারণেই অনেক সময় বলা হয়ে থাকে যে, "কোনো সমস্যা সম্বন্ধে ভুলে যাওয়াই হলো সেই সমস্যা সমাধানের সবচেয়ে ভালো উপায়।"

৫নং ধাপে সমস্যাকে আবদ্ধরূপ প্রদানের দ্বারা তার মধ্যে নিহিত অস্পষ্টতা ও দ্বৈতার্থতাকে দূরীভূত করা হয়। সমস্যাটির সমাধান কত জটিল তা এই ধাপেই নির্ধারিত হবে—তার সমাধানের প্রস্তর X- এর ব্যাপকতা, সীমাবদ্ধতা K(x) -এর জটিলতা ও অপারেশনের সংখ্যার উপর ভিত্তি করে।

৬নং ধাপে বিভিন্ন অপারেটর ব্যবহারের মাধ্যমে সমস্যার আবদ্ধরূপ ক্রমেই ক্ষুদ্রতর হয়ে আসে এবং সমাধানের সন্ধান লাভ সহজতর হয়ে উঠে। এজন্য ২নং ধাপের থেকে প্রক্রিয়াটি ক্ষুদ্রতর পরিসরে পুনশ্চ সম্পাদন করা হয়।

৭ নং ধাপে সমাধান নির্ধারিত হয় এবং সমস্যার প্রথম ধাপ থেকে তার প্রযোজ্যতা পরীক্ষা করা হয়। সমাধান সন্তোষজনক হলে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর খোঁজা হয় :

ক) প্রাপ্ত সমাধান পদ্ধতিটি ব্যবহারের জন্য সমস্যাটিকে সর্বজনীনরূপ (generalised ... দেয়া যায় কিনা?

খ) অন্য কোনো পদ্ধতি আছে কিনা, যেখানে একই পদ্ধতি ব্যবহার করে সমাধান ... যেতে পারে?

গ) একই সমস্যার সমাধানের জন্য অন্য কোনো পথ আছে কিনা?

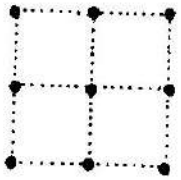
এবার কয়েকটি বাস্তব উদাহরণের সাহায্যে সমস্যা সমাধানের প্রক্রিয়া লক্ষ্য করা ...

২নং চিত্রে ৯টি বিন্দু আছে। সমস্যার শর্ত হলো :

(১) এক টানে অর্থাৎ কাগজ থেকে কলম না উঠিয়ে

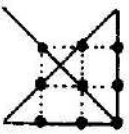
(২) ৯টি বিন্দুর মধ্য দিয়ে

(৩) চারটি সরলরেখা আঁকতে হবে।



চিত্র : ২.৩

যদি এই সমস্যার সমাধানের আবদ্ধতা লক্ষ্য করা যায় তবে দেখা যাবে যে, তিনটি শর্তই সমস্যার তিনটি সীমাবদ্ধতার রূপ নির্ধারণ করে। এখানে বলা নেই যে, সরল-রেখাগুলিকে এই নয়টি বিন্দুর দ্বারা সীমাবদ্ধ ক্ষেত্রের মধ্যেই থাকতে হবে। অতএব সমাধান হলো চিত্র ২.৩।



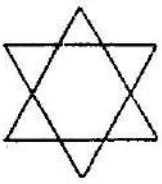
চিত্র : ২.৩

যদি এই সমস্যার সমাধানের সীমাবদ্ধতা ৯টি বিন্দুর দ্বারা আবদ্ধ ক্ষেত্রের মধ্যেই নিহিত থাকতো তাহলে এই সমস্যার সমাধান পাওয়ার ব্যাপারে অন্য ধরনের চেষ্টা করতে হতো এবং সমাধান পাওয়ার নিশ্চয়তা নাও থাকতে পারতো।

এবার অন্য একটি সমস্যা দেখা যাক—"ছয়টি দেশলাই কাঠির সাহায্যে চারটি সমবাহু ত্রিভুজ তৈরি করতে হবে"। যদি সমস্যাটির আবদ্ধরূপ দেখা যায় তবে সহজেই বলা যেতে পারে যে,

(১) ছয়টি দেশলাই কাঠির সাহায্যে
(২) চারটি সমবাহু ত্রিভুজ তৈরি করতে হবে।

এখানে বলা নেই যে, কাঠিগুলি একই সমতলে থাকতে হবে কিনা এবং এটিও বলা নেই যে, ছয়টি কাঠির সাহায্যে চারটির বেশি সমবাহু ত্রিভুজ তৈরি করলে তার সমাধান হবে না। অতএব সমাধান হলো চিত্র ২.৪।



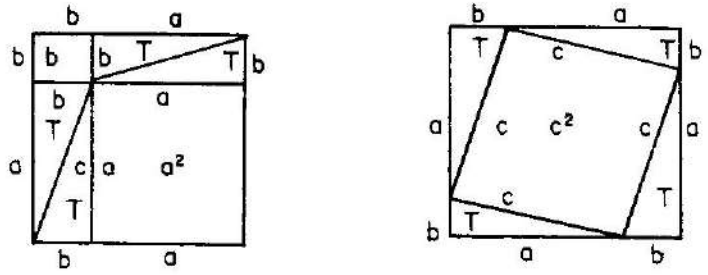
চিত্র : ২.৪

এবারে সাধারণ ভাষায় প্রচলিত কথায় একটি সমস্যা লক্ষ্য করা যাক—এক দেশে এক নিষ্ঠুর রাজা ছিল। একদিন রাস্তায় এক সুন্দরী মেয়ে দেখতে পেয়ে রাজা তাকে নিজ প্রাসাদে ধরে নিয়ে এলো এবং তাকে বিয়ে করার প্রস্তাব দিল কিন্তু মেয়েটি রাজি হলো না। রাজা তখন বললো "ঠিক আছে, তোমাকে আমি মুক্তি দেব, যদি তুমি তোমার মুক্তি আর বন্দীত্বের মধ্যে মুক্তিকেই বেছে নিতে পারো। আমি এই রাস্তা থেকে দুটি পাথর নিব, একটি হবে কালো রংয়ের এবং অন্যটি হবে সাদা রংয়ের। দুটি পাথর দু'হাতে থাকবে। যদি তুমি আমার হাত থেকে সাদা রংয়ের পাথরটি বেছে নিতে পারো তবে তোমাকে আমি মুক্তি দেব অন্যথায় আমাকে তোমার বিয়ে করতে হবে"। মেয়েটি উপায়ন্তর না দেখে তাতেই রাজি হলো। এবার রাজা রাস্তা থেকে দু'হাতে দুটি পাথর তুলে নিল। কিন্তু মেয়েটি লক্ষ্য করলো যে, রাজা কেবল কালো রংয়েরই পাথর দু'হাতে তুলে নিল। তাহলে দেখা যাচ্ছে যে রাজা নিজেই নিজের জয় সুনিশ্চিত করার জন্য পূর্বশর্ত ভঙ্গ করলো। অতএব, সাধারণ সূত্র মোতাবেক মেয়েটির মুক্তি সমস্যার কোনো সমাধান নেই। কিন্তু মেয়েটি বুদ্ধিমতী ছিল। সে রাজার এক হাতের পাথর নিয়ে যেন অসাবধানতাবশত পাথরটি রাস্তায় অন্যান্য পাথরের মধ্যে ফেলে দিল এবং বললো "আহা! এবার তাহলে রাজার অন্য হাতের পাথর থেকেই বলা যেতে পারে যে, পড়ে যাওয়া পাথরটির রং কি ছিল"। যেহেতু রাজার অন্য হাতেও কালো পাথর ছিল, কাজেই মেয়েটি মুক্তি পেলো।

উপরিউক্ত সমস্যা ও সমাধানগুলি থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, শুধু পূর্বশর্ত থেকে সমাধান পাওয়া দুষ্কর। সমস্যার সীমাবদ্ধতার বাইরে থেকে সমস্যার সমাধান খুঁজে নিতে হচ্ছে যা সমস্যার পূর্বশর্তগুলিকে লঙ্ঘন করে না।

আবার প্রায়শই এটি দেখা যায় যে, যখন সমস্যার পূর্বশর্তগুলি যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় না, তখন অনেকটা "এসপার অথবা ওসপার" ধরনের সমাধানের প্রতিই বেশিরভাগ মানুষ ঝুঁকি নেয়। কিন্তু এসব ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণভাবে সমস্যার বিশ্লেষণে অনেকটা অবচেতন মনের কাজেই সমাধান নির্ধারিত হয়। এবারে আমরা এ জাতীয় সমস্যার কয়েকটি উদাহরণ লক্ষ্য করি।

ধরা যাক, একটি ঘরে দুটি লোহার রড আছে। তাদের একটি চুম্বকায়িত, অন্যটি নয়। অন্য কোনো কিছুর সাহায্য ব্যতিরেকেই নির্ধারণ করতে হবে, কোন রডটি চুম্বকায়িত। এই সমস্যার দুটি শর্ত বিদ্যমান (১) একটি রড চুম্বকায়িত (২) অন্যটি সাধারণ লৌহখণ্ড। এই দুই শর্তে চুম্বকের গুণাবলি মোটেই উল্লিখিত নেই। তাই কেবল অভ্যন্তরীণভাবে বিশ্লেষণ করেই এই সমস্যার সমাধান পাওয়া যেতে পারে। পদার্থবিদ্যার জ্ঞান অনুযায়ী রড দুটি পরস্পরের কাছাকাছি আনলে তাদের মধ্যে আকর্ষণ ঘটবে তবে কেবল চুম্বকায়িত রডের মধ্যস্থলে এই আকর্ষণ অনুভূত হবে না। তাই যে কোনো একটি রড A এর একপ্রান্ত অন্য রড B এর মধ্যস্থানে আনলে যদি আকর্ষণ অনুভূত হয় তবে A রডটি চুম্বকায়িত আর আকর্ষণ অনুভূত না হলে B রডটি চুম্বকায়িত।



চিত্র ২.৫ : পিথাগোরাসের উপপাদ্যের প্রমাণ $a^2 + b^2 = c^2$ ।

পরবর্তী সমস্যাটি হলো—"চিত্রের সাহায্যে পিথাগোরাসের থিওরির প্রমাণ"। পিথাগোরাসের উপপাদ্য অনুযায়ী একটি সমকোণী ত্রিভুজের দুটি বাহুর বর্গের সমষ্টি অতিভুজের বর্গের সমান। এই সমস্যার পূর্বশর্ত হলো—"সমকোণী ত্রিভুজ"। সমাধান হলো—"উপপাদ্যের প্রমাণ"। এখানে কেবল অভ্যন্তরীণ বিশ্লেষণের সাহায্যেই সমাধান নির্ধারণ করা সম্ভব। সমাধানটি ২.৫ চিত্রে প্রদত্ত হয়েছে। চিত্রে দুটি বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল সমান অর্থাৎ $(a + b)^2$। বামদিকের চিত্রে $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 4T$ এবং ডানদিকের চিত্রে $(a + b)^2 = c^2 + 4T$। এটি থেকেই বুঝা যাচ্ছে যে $a^2 + b^2 = c^2$ যা প্রমাণের প্রয়োজন ছিল। এখানে, a ও b সমকোণী ত্রিভুজের দুই বাহু, c হচ্ছে তার অতিভুজ এবং T হচ্ছে সমকোণী ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল।

২.৫ সমস্যা সমাধানের সাধারণ নিয়ম

(১) সমস্যাকে বোধগম্য করার জন্য প্রয়োজন :

* সমস্যাতে অজানা কি আছে যা জানা দরকার। সমস্যা সমাধানে জ্ঞাত তথ্যগুলি কি কি আছে? সমস্যার শর্তগুলি কি কি?

* সমস্যার শর্তগুলি পূরণযোগ্য কিনা? প্রদত্ত শর্তাবস্থাগুলি সমস্যার অজানাকে জানার জন্য যথেষ্ট কিনা? শর্তাবস্থাগুলি কি অপর্যাপ্ত, অপূর্ণ বা পারস্পরিকভাবে বিপরীতধর্মী?

* সমস্যার চিত্রাঙ্কন সম্ভব হলে তা অঙ্কন করা এবং প্রয়োজনীয় তথ্যগুলি উক্ত চিত্রে সংযোজন করা।

* সমস্যার শর্তগুলি সম্ভব হলে পৃথক পৃথকভাবে উপস্থাপন করা এবং যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ করা।

(২) সমস্যা সমাধানের পরিকল্পনা প্রণয়নের জন্য প্রয়োজন

* সমস্যাতে প্রদত্ত তথ্য ও অজানা তথ্যের (unknown value) মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন।

* যদি উপরিউক্ত সম্পর্ক স্থাপন করা সম্ভব না হয় তবে সেই একই ধরনের অন্য সমস্যাগুলিও বিচার করে সম্পর্ক স্থাপনের চেষ্টা করা।

১৮

* একই ধরনের অন্য সমস্যা জানা আছে কিনা?

* একই ধরনের অন্য সমস্যা সমাধানের কোনো উপপাদ্য জানা আছে কিনা?

* অন্য কোনো সদৃশ সমস্যার কিছু অংশ পরিবর্তন করে প্রদত্ত সমস্যার রূপ দেয়া যায় কিনা?

* প্রদত্ত সমস্যাটি অন্য কোনোভাবে প্রস্তাবিত হয় কিনা? যদি সম্ভব হয় তবে প্রদত্ত সমস্যার অজানাকে এবং প্রদত্ত তথ্যকে অন্য কোনোভাবে প্রভাবিত করে সমাধান নির্ধারণ করা যায় কিনা?

* সমস্যায় প্রদত্ত সকল শর্ত ও তথ্য সমাধান নির্ধারণে ব্যবহার করা হয়েছে কিনা?

(৫) সমস্যা সমাধানের পরিকল্পনা বাস্তবায়ন

* সমাধান পরিকল্পনা প্রণয়নের পর তার তিনটি ধাপ সমাধান নির্ণয়ে ব্যবহার করে পরীক্ষা করা যে, পরীক্ষাকৃত পরিকল্পনাটি কতদূর প্রয়োগযোগ্য।

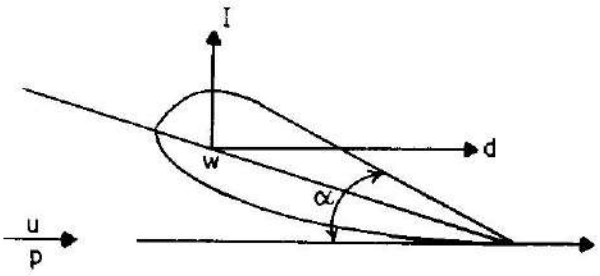
* সমাধান নির্ণয়ের পর পরীক্ষা করা যে সমাধানটি অন্য কোনো সমস্যার সমাধানে প্রয়োগযোগ্য কিনা?

২.৬ বিভিন্ন ধরনের সমস্যার শ্রেণীবিভাগ

সকল ধরনের সমস্যা বিশেষভাবে যেগুলি কম্পিউটারের সাহায্যে সমাধানের চেষ্টা করা হয়—সেগুলি সমাধানের ধরন, লক্ষ্যের বিশ্লেষণ, পূর্বধারণা, ডায়াগোনেস্টিক, পরিকল্পনা, প্রজেক্ট কন্ট্রোল, নিয়ন্ত্রণ ও পরিচালনা ইত্যাদির ভিত্তিতে ব্যাপকভাবে ভিন্নধর্মী হলেও তাদের প্রস্তাবনা পদ্ধতি ও সমাধানের অ্যালগরিদমের ভিত্তিতে সব সমস্যাকেই কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়। সব সমস্যাতেই কিছু একটা অজানা থাকে যা বিষয়বস্তু, পরিবেশ বা বৈশিষ্ট্য হতে পারে। বিষয়বস্তু,পরিবেশ বা বৈশিষ্ট্যের মধ্যে যে কোনো একটি অজানা থাকলে সমস্যাটি সমাধানের জন্য অবশ্যই অন্য দুটি জানা থাকতে হবে। অজানাটা কি—তার উপর ভিত্তি করেই সকল সমস্যাকে তিনটি মূলভাগে ভাগ করা যায় : (১) বিশ্লেষণমূলক সমস্যা (analytical problem) বিষয়বস্তু ও তার পরিবেশ সম্বন্ধে জানা থাকে, নির্ধারণ করতে হয় তার বৈশিষ্ট্য ; (২) সংশ্লেষণমূলক সমস্যা (problem of synthesis) বস্তুর বৈশিষ্ট্য ও তার পরিবেশ প্রদত্ত থাকে, তার বিষয়বস্তু নির্ধারণ করতে হয় ; (৩) পরিবেশ মূল্যায়ন সমস্যা (problem for evaluation of the environment) -সেই পরিবেশ নির্ধারণ করতে হবে যে পরিবেশে প্রদত্ত বস্তুর প্রদত্ত বৈশিষ্ট্য পরিস্ফুটিত হয়ে উঠবে।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, একটি বস্তু উড়োজাহাজের বিষয়বস্তু w হিসেবে উড়োজাহাজের পাখা, যেটির ভারোত্তলনের ক্ষমতা l, পরিবেশ e এর সাথে বিশেষভাবে সম্পর্কযুক্ত। ভারোত্তলনের ক্ষমতা ছাড়াও এই বস্তুটির আরও কিছু বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান যেমন—প্রতিরোধ ক্ষমতা ও ভরবেগ (resistivity and momentum)। আমরা এখানে

বিষয়বস্তুটির শুধু ভারোত্তলনের ক্ষমতাটিই বিচার করবো। এই উদাহরণটিকে নিম্নভাবে সূত্রীবদ্ধ করা যায় :



চিত্র ২.৬ : উড়োজাহাজের ডানা তৈরির পরিকল্পনা।

উত্থান (w, e, I), "উড়োজাহাজের ডানা w এর এককক্ষেত্রের উপর প্রদত্ত পরিবেশ e তে বলের মান I।"

এই সমস্যাটি সংশ্লেষণধর্মী সমস্যা। এখানে পরিবেশ e প্রদত্ত আছে। সাধারণত পরিবেশ একটি ভেক্টররাশি। ধরা যাক, প্রদত্ত উদাহরণে $e = (u, p, \alpha)$। এখানে u হচ্ছে বায়ুচ্ছটা বা বায়ুরাশির বেগ ; p হচ্ছে বায়ুরাশির ঘনত্ব ; α হচ্ছে বায়ুরাশির সাথে ডানার সৃষ্ট কোণ (আক্রমণ কোণ)।

উপরিউক্ত সূত্রটি যথেষ্ট সাধারণভাবে বর্ণিত। উক্ত তিনটি মানের মধ্যে কোন মানটি অজানা তার উপর নির্ভর করবে সমস্যাটি কোন গ্রুপে বা বিভাগে পড়ে। সমস্যা সমাধানের অ্যালগরিদমও নির্ভর করবে সমস্যাটি কোন গ্রুপে পড়বে তার উপর। অবশ্য সমস্যাটির গ্রুপ নির্ধারণ ছাড়াই সেটিকে কম্পিউটারে প্রয়োগযোগ্য হতে হবে অর্থাৎ সমস্যাটিকে যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হতে হবে।

বিশ্লেষণমূলক সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়া

সাধারণভাবে বিশ্লেষণ পদ্ধতির অ্যালগরিদম নিম্নরূপে লিপিবদ্ধ করা যায় :

(১) অজানা গুণাবলিবিশিষ্ট বস্তুর মডেল তৈরি করা ;

(২) মডেলের বৈশিষ্ট্যগুলির মূল্যায়নের জন্য প্রোগ্রাম তৈরি করা ;

(৩) উক্ত মডেল প্রোগ্রামের সাহায্যে বস্তুটির বৈশিষ্ট্যগুলি নির্ধারণ করা।

মডেল তৈরির জন্য বিশেষ কোনো পদ্ধতি নেই। এটি সম্পূর্ণভাবে সমাধানকারী মানুষের উপর নির্ভর করে। যদি মডেল মূল্যায়ন পদ্ধতি প্রদত্ত থাকে তবে মডেলের বৈশিষ্ট্য নির্ণয়ের প্রোগ্রাম তৈরি সহজ কাজ। বিশ্লেষণমূলক সমস্যা সমাধানের দুটি অংশ বিদ্যমান—মডেল বৈশিষ্ট্য নির্ণয়ের প্রোগ্রাম তৈরি ও সেই প্রোগ্রাম কার্যকর করা।

সংশ্লেষণমূলক সমস্যা সমাধানের প্রক্রিয়া ও পরিবেশ মূল্যায়নের সমস্যা

এ ধরনের সমস্যা সমাধানের পথটি কিছুটা ভিন্ন ধরনের। পৃথিবীতে এমন বহু বস্তুই বিদ্যমান যেগুলির বৈশিষ্ট্য ও ফাংশন একই ধরনের। কাজেই সংশ্লেষণমূলক সমস্যার সমাধানে সেই বস্তুটি নির্ধারণ করতে হয়, যে বস্তুটি প্রদত্ত বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে সামঞ্জস্য বজায় রাখে। এজন্য যে সাধারণ অ্যালগরিদম ব্যবহার করা যায় তা হলো :

(১) গবেষণামূলক একটি মডেল বস্তু তৈরি করা ;

(২) বিশ্লেষণমূলক সমস্যার ন্যায় মডেলের গুণাবলি বিশ্লেষণ করা ;

(৩) যদি প্রাপ্ত গুণাবলি প্রদত্ত গুণাবলি বা বস্তুর বৈশিষ্ট্যের সাথে সম্পূর্ণরূপে এক রকম হয় তবে মডেল বস্তুটির ভিত্তিতেই ইপ্সিত বস্তুটি নির্ধারণ করা সম্ভব। যদি মডেল বস্তুটি সেই সাদৃশ্য না দেখায়, তবে ২ নং প্রক্রিয়া পুনরাবৃত্তি প্রয়োজন।

সংশ্লেষণ পদ্ধতিটি পুনরাবৃত্তিকরণের জন্য অত্যন্ত জটিল এবং এই পদ্ধতিতে বিশ্লেষণ পদ্ধতির সাহায্য নিতে হয়। কম্পিউটারের সাহায্যে সমস্যা সমাধানের জন্য দুটি পদ্ধতি বিদ্যমান :

(১) টুরিং —ফন নেইমান পদ্ধতিতে :

- বিশ্লেষণমূলক সমস্যার সমাধান করা হয় ;
- সমস্যা সেট বা গুচ্ছের সাহায্যে যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় ;
- বৃহৎ আকারের সমস্যার সমাধান করা হয়।

(২) আধুনিক নলেজ-ইঞ্জিনিয়ারিং পদ্ধতিতে :

-সমস্যা সমাধানে বিশ্লেষণমূলক ও আংশিকভাবে সংশ্লেষণমূলক পদ্ধতি ব্যবহার করা হয় ;

- সমস্যা ভাষার দ্বারা প্রস্তাবিত হয় ;
- সমস্যার আকার খুব বেশি বড় হওয়া চলবে না।

২.৭ সমস্যার সমাধানে গণিতশাস্ত্রের ঐতিহাসিক ভূমিকা

গণিতশাস্ত্রের বয়স প্রায় চার হাজার বছর। উন্নততর প্রাণী এবং এমনকি মানবশিশুরা পর্যন্ত পারিপার্শ্বিক পৃথিবীতে যে দুটি অ্যাবস্ট্র্যাক্ট বাস্তবতা সম্বন্ধে ধারণা তৈরিতে সক্ষম তা হলো--কোনো সংখ্যা ও বস্তুর আকার। তাই অ্যারিথমেটিক্স বা পাটিগণিত ও জ্যামিতি ছিল বিজ্ঞান জগতের সর্বাপেক্ষা আদি দুটি ভাগ যার অনুধাবনই ছিল পাণ্ডিত্যের প্রকাশ। আদিমকালে মানুষের কাছে বিভিন্ন সংখ্যা সম্বন্ধে তত স্পষ্ট কোনো ধারণা ছিল না। তারা দুটি প্রায় একই ধরনের সম্ভার বা বস্তুসমষ্টির মধ্যে পার্থক্য নির্ধারণ করতে পারতো না কারণ তারা সংখ্যা বলতে এক, দুই এবং অনেক এই ধারণাই পোষণ করতো। ল্যাটিন ভাষায় অনেক বলতে বুঝায় "ত্রেস" (tres) যা পরে বিভিন্ন ভাষায় "তিন" রূপে চিহ্নিত হয়।

প্রাচীনকালে মহাকাশের তারকামণ্ডল মানুষের মনোযোগ খুব বিপুলভাবে আকর্ষণ করতো। তারা মহাকাশের তারকারাশির অবস্থান পরিবর্তন বিশেষভাবে লক্ষ্য করতো। কোনো কোনো সমাজে মানুষ প্রায় তিন হাজার বছর আগে চন্দ্র পঞ্জিকা ব্যবহার শুরু করে। এজন্য তারা চাঁদ দ্বারা এক সংখ্যাটি চিহ্নিত করে এবং মহাকাশের অন্যান্য দৃশ্যমান বস্তু দ্বারা অন্যান্য সংখ্যা চিহ্নিত করে। গণনাকাজ এবং ফলাফল নির্ধারণের প্রয়োজনীয়তা ক্রমান্বয়ে মানুষকে সংখ্যা চিহ্নিতকরণের উন্নততর ও সুবিধাজনক উপায় বের করতে অনুপ্রাণিত করে। লম্বভাবে বা সমান্তরালভাবে অঙ্কিত লাইনকে সিরিয়া, গ্রিস, দক্ষিণ আরব ও ভারতে প্রাচীনকালে "এক" সংখ্যা হিসেবে বিবেচনা করা হতো। পাঁচ, দশ বা বিশ সংখ্যাকে সমষ্টিগতভাবে কোনো চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করা হতো। এ সবই ছিল সমষ্টি বা যোগফলের অনুরূপে অনেকগুলি চিহ্নের পাশপাশি অঙ্কনের দ্বারা কোনো বিশেষ সমষ্টির প্রকাশ।

ব্যবিলনীয় সভ্যতায় ৬০-মাত্রিক সংখ্যা পদ্ধতির ব্যবহার গণনা প্রক্রিয়ায় চালু ছিল। এই পদ্ধতিতে ১, ১০, ৬০ এবং তারপর ৬০০, ৩৬০০ ইত্যাদি প্রকাশের জন্য বিশেষ চিহ্ন ব্যহার করা হতো। এই ব্যবিলনীয় সংখ্যা পদ্ধতি এখনও আমাদের গণনা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত হয়। যেমন সময়ের গণনা ৬০ সেকেন্ডে ১ মিনিট, ৬০ মিনিটে এক ঘন্টা ধরা হয়; কৌণিক মান মাপার ক্ষেত্রেও ৬০ মাত্রা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। অনেক সমাজে প্রচলিত ভাষার অক্ষরগুলিকেও সংখ্যা প্রকাশের মাধ্যম হিসেবে ব্যবহার করা হয়ে থাকে। অক্ষর দ্বারা সংখ্যা প্রকাশ ব্যবস্থায় শব্দে অক্ষরের অবস্থানের উপর তার মান নির্ভর করে। সংখ্যা দ্বারা অস্তিত্বমান বস্তুর পরিমাণ প্রকাশিত হলেও ক্রমান্বয়েই কোনো কিছুর অভাব বা 'কিছু না" এই ভাবটি প্রকাশ করার একটি মাধ্যমেরও ক্রমশ প্রয়োজনীয়তা অনুভূত হয়। "শূন্য" সংখ্যাটির উদ্ভব যে এই অভাববোধ থেকেই উৎপন্ন তাতে কোনো সন্দেহ নেই। প্রাচীন গ্রিসে "শূন্য" কে "0" চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা শুরু হয় যা নাকি "কিছুনা" এই শব্দটির গ্রিক প্রতিশব্দেরই (Ovδεν) প্রথম অক্ষর।

বর্তমান দশ ভিত্তিক গণনা পদ্ধতি প্রথম সৃষ্টি হয় ভারতে। পরবর্তীতে আরবীয় বণিকদের মাধ্যমে এই গণনা পদ্ধতিটি পশ্চিম ইউরোপীয় দেশগুলিতে বিস্তার লাভ করে। আরবীয় ভাষায় zifr কথাটির অর্থ শূন্য এবং এ থেকেই জিরো শব্দটির উৎপত্তি বলে ধারণা করা হয়।

মুদ্রণ পদ্ধতি আবিষ্কারের পর সংখ্যা পদ্ধতি মোটামুটি আধুনিককালীন রূপ লাভ করে। তবে বাস্তব সংখ্যা প্রকাশের নিমিত্তে ভাসমান কমা পদ্ধতির ব্যবহার শুরু হয় কেবল অষ্টাদশ শতাব্দীতে। অ্যারিথমেটিক্সের চারটি মূল অপারেশন যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ প্রাচীন মিশরীয়দের জ্ঞাত ছিল তবে এ ব্যাপারে তাদের প্রস্তাবনা পদ্ধতি ছিল অত্যন্ত জটিল। "+" চিহ্ন চালু হয় মধ্যযুগে ল্যাটিন শব্দ et (এবং) এর পরিবর্তীত রূপ হিসেবে। বিয়োগ চিহ্ন "–" চালু হয় ওজন মাপার প্রক্রিয়ায় ড্যাস চিহ্নের সাহায্যে কোনো কিছুকে বাদ দেয়ার প্রচলিত পদ্ধতি থেকে। মার্সেল কোয়েন "লিখন পদ্ধতি ও তার বিবরণ— গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার" নামক বইটিতে উল্লেখ করেন যে, + ও – চিহ্ন দুটি যোগ ও বিয়োগ শব্দ দুটিকে সংক্ষেপে লেখার প্রক্রিয়া থেকেই উদ্ভূত হয়। আধুনিক গুণ ও ভাগ চিহ্নগুলি কেবল সপ্তদশ শতাব্দীতেই চালু

হয়। ১৭শ খ্রিষ্টাব্দে সমান শব্দটি a চিহ্নটি দ্বারা আকাশের তারকারাশিতে একটি তারার সাথে আরেকটি তারার সমতা প্রকাশ করা হতো। "সমান" কথাটি ল্যাটিন শব্দ aequalis শব্দটি দ্বারা প্রকাশ করা হতো। পরে সেটি সংক্ষেপে ae এবং আরও পরে = চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা শুরু হয়। α চিহ্নটি দ্বারা বেশ কিছুকাল ১০০০ সংখ্যাটিকে প্রকাশ করা হতো। ১৬৬০ খ্রিষ্টাব্দে জর্জ ওয়েলস α চিহ্নটি দ্বারা অসীম সংখ্যাকে প্রকাশ পদ্ধতি চালু করেন।

এসব কিছু বর্ণনা করার অর্থ হলো এই যে, মানব সভ্যতা কেবল সংখ্যা পদ্ধতি চালু করতেই হাজার হাজার বছর ব্যয় করেছে। আধুনিক বিজ্ঞানের উদ্ভব মাত্র কয়েক শতাব্দী ধরে হচ্ছে। যদিও গণিতশাস্ত্রের উদ্ভব বহু হাজার বছর ধরে হচ্ছে, তার শৈশব কাল আমাদের সময় থেকে খুব বেশি দূরে নয়। কাজেই যখন মানবশিশুদের এমনকি প্রাপ্ত বয়স্ক মানুষেরও অঙ্কশাস্ত্রের বিভিন্ন ধারণাগুলি যথাযথভাবে অনুধাবন করতে কষ্ট হয় তখন তাতে আশ্চর্য হওয়ার কিছুই নেই কারণ মানব সভ্যতাকে বহু হাজার বছর অতিক্রম করতে হয়েছে কেবল সংখ্যা পদ্ধতি আবিষ্কার করতে। সংখ্যাপদ্ধতি হলো অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণা এবং যে কোনো ব্যাপারে অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণা তৈরি করা যথেষ্ট কঠিন।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের মূল বিষয় হলো এই অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণাগুলির যথাযথভাবে প্রস্তাবনা। কোনো বিষয়ের প্রস্তাবনার অর্থ হলো সেই বিষয়ের সাধারণ বিষয়বস্তু বা বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্য থেকে তার মূল বৈশিষ্ট্যগুলিকে প্রকাশ করে তার বাস্তব মূল্যায়ন করা। এজন্য বৈশিষ্ট্যগুলিকে এমনভাবে প্রকাশ করা দরকার যেন সেগুলিকে নিয়ে প্রয়োজনমাফিক বিভিন্ন অপারেশন করা সম্ভব হয়। কাজেই কোনো বিষয়ের প্রস্তাবনার জন্য তার অনুধাবন প্রয়োজন অর্থাৎ তা বুঝা দরকার। বর্তমানকালে যখন জীববিদ্যা জীবন্ত জীনের সাহায্যে সেই বস্তুর উত্তরাধিকার সূত্রে প্রাপ্ত তথ্যের প্রকাশনার ব্যাপারে বেশকিছুটা এগিয়ে গেছে তখন নিউরোলজি ও সাইকোলজি মানুষের মস্তিষ্কে কোন তথ্য কিভাবে প্রস্তাবিত ও কোডকৃত তা জানার আদিম পর্যায়ে অবস্থান করছে। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিজ্ঞানীরা এ ব্যাপারে তাদের সাহায্যে এগিয়ে এসেছেন।

খ্রিষ্টপূর্ব তৃতীয় শতাব্দীতে ইউক্লিডের সময় জ্যামিতিবিদরা অ্যাবস্ট্র্যাক্ট ধারণাগুলিকে বিভিন্ন অক্ষরের সাহায্যে প্রকাশ করা শুরু করেন। তৃতীয় শতাব্দীতে ম্যাপুস আলেক্সান্দ্রিস্কি এবং চতুর্থ শতাব্দীতে দিওফান্ত অজানা কোনো বস্তুকে কোনো অক্ষর বা চিহ্নের সাহায্যে প্রকাশ করার পদ্ধতি ব্যবহার শুরু করেন। চতুর্থ হেনরীর শাসনামলে ফ্রান্সের ফ্রাঁসোয়া বিয়েত সরকারি দলিলপত্র তৈরির জন্য রচিত "বিশ্লেষণ শিল্প" নামক প্রবন্ধে অক্ষর দ্বারা কোনো বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করার মাধ্যমেই প্রকৃতপক্ষে আধুনিক অ্যালজেবরার গোড়াপত্তন করেন। বিয়েতের প্রবন্ধে নিম্নলিখিত প্রকাশ দেখতে পাওয়া যায় :

H in D
–F in D
.....aequebitur A
F + D

এই প্রকাশনায় A ও D কোনো অজানা বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করে এবং in শব্দটি গুণন প্রক্রিয়া প্রকাশ করে। আধুনিক গণিতশাস্ত্রে এই প্রকাশনাটি প্রকাশ করা হয় এভাবে

$\frac{hd - fd}{f + d} = A$। বিয়েত সমীকরণ সমাধানের প্রক্রিয়ার ধারণাও সৃষ্টি করেন এভাবে : (F+D) ও (H–F) এর মধ্যে তেমন সম্পর্ক, যেমন সম্পর্ক D ও A এর মধ্যে।

সপ্তদশ শতাব্দীতে বিখ্যাত দার্শনিক ও গণিতবিদ ডিকার্ত এই সূত্রকরণ প্রক্রিয়াকে বিস্তৃত করেন। ডিকার্ত গাণিতিক মূল অপারেশনগুলির (যোগ, বিয়োগ, গুণন, ভাগ) চিহ্ন (+, –, *, /) গুলির প্রবর্তন করেন এবং অজানা বস্তুগুলিকে বর্ণমালার সর্বশেষ অক্ষরগুলির দ্বারা চিহ্নিত করার পদ্ধতি চালু করেন। "X" অক্ষরটির দ্বারা কোনো অজানা বস্তুর নামকরণ প্রকৃতপক্ষে আরবি শব্দ 'সেইজ' থেকে যার অর্থ 'কোনোকিছু'। ডিকার্ত চিহ্নকরণে গ্রিক অক্ষরগুলিকে বাদ দিয়ে সাধারণ ভাষার বর্ণমালার অক্ষরগুলির সাহায্যে চিহ্নকরণ প্রক্রিয়া চালু করেন। সবশেষে ডিকার্ত সংখ্যাবিজ্ঞান ও আকৃতিবিজ্ঞানকে সমন্বিত করে আধুনিক অ্যানালিটিকাল জ্যামিতির প্রবর্তন করেন। পরবর্তী শতাব্দীগুলিতে এই গণিত শাখার যথেষ্ট বিশ্লেষণ ও উৎকর্ষ সাধিত হয়।

সূচক এবং ডিগ্রি বা ধাপমানের প্রচলন হয় আরও পরে। অয়লার (Euler) (১৭০৭–১৭৮৩) x^3 প্রকাশের জন্য X*X*X ব্যবহার করেন। এবারিস্ট গাওলা প্রথম সূচক ব্যবহার পদ্ধতি চালু করেন। $\sum$ চিহ্নটির ব্যবহার প্রথম চালু করেন অয়লার। ফাংশনাল চিহ্নগুলির ব্যবহার চালু করেন লিবনিৎস ও বেবনুলি।

ফাংশনগুলিকে চিহ্ন দ্বারা প্রকাশের প্রক্রিয়ায় আজও কোনো একক পদ্ধতি সৃষ্টি হয় নি। প্রায়শই ফাংশন f ও কোনো x বিন্দুতে তার মান f(x) কে ওলট পালট করা হয়। এভাবে T + a(f) এর স্থানে অনেক সময় T + a(f(x)) লেখা হয়। এমনকি অনেক সময় কোনো ফাংশনের ডিফারেন্সিয়ালের সাথে তার মানের ওলট পালট হয়। এই ওলট পালট তাদের চিহ্নকরণে যথাযথ সর্বসম্মত পদ্ধতির অভাবের ফলেই হয়। এরকম ভুল বেশিরভাগ আংশিক ডিফারেন্সিয়ালের ক্ষেত্রেও ঘটে থাকে। সবচেয়ে বেশি ভুল বুঝাবুঝির সৃষ্টি হয় একটি ফাংশনকে তার আরগুমেন্টের মাধ্যমে প্রকাশের ক্ষেত্রে। যেমন যদি y কে সময়ের ফাংশন হিসেবে প্রকাশ করা হয় তবে লেখা হয় y(t)। আবার যদি y কে অবস্থানের ফাংশন হিসেবে প্রকাশ করা হয় তবে লেখা হয় y = f(x) । কিন্তু যদি বলা হয় ফাংশন y তবে বুঝার উপায় নেই তা সময় অথবা অবস্থানের ফাংশন। এই ধরনের চিহ্নকরণ প্রক্রিয়া যেমন পরস্পর অসামঞ্জস্যপূর্ণ তেমনি জটিল। উপরন্তু, প্রতিটি ফাংশনের জন্য আলাদা আলাদা চিহ্ন ব্যবহার করাও সম্ভব নয়।

১৯৫০ সালে চার্চ ও ব্যারিন λ– লিপির প্রস্তাব করেন। ঐ লিপি অনুসারে যদি কোনো প্রকাশনার আদিতে λx বসানো থাকে তবে তা x–এর ফাংশনে পরিবর্তিত বা রূপান্তরিত হয়। অর্থাৎ x–এর রৈখিক বা লিনিয়ার প্রকাশ করা যায় λx (ax + b) হিসেবে। এভাবে ফাংশন প্রকাশ করার ফলে ভুলবুঝাবুঝির অবসান ঘটানো সম্ভব। এই ধারণার ভিত্তিতেই

১৯৬৩ সালে ম্যাকার্থী LISP নামক প্রোগ্রাম ভাষাটির সৃষ্টি করেন। সিম্বলিক লজিক ও সেট উপপাদ্যের উৎপত্তিও খুব বেশি দিন হলো হয় নি। ১৮৯১ সালে পেয়ানো ভুক্তি চিহ্ন $\in$ এর প্রবর্তন করেন। $x \in A$ এর অর্থ হলো A এর একটি এলিমেন্ট বা উপাদান হলো x। প্রথমদিকে অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন হিসেবে $\propto$ এবং $<$ ব্যবহৃত হলেও পরবর্তীতে ১৯২০ সালে হাউসফোর্ড $\subset$ কে অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন হিসেবে প্রবর্তন করেন। অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন হিসেবে $\subset$ এর সাথে ছেদন চিহ্ন $\cap$, সংযোজন চিহ্ন $\cup$ ও ইম্প্লিকেশন চিহ্ন বা আর্থিক চিহ্ন $\supset$ হিসেবে সর্বস্বীকৃতি লাভ করে। অন্তর্ভুক্তি চিহ্ন $\subset$ ও আর্থিক চিহ্ন $\supset$ বিপরীতভাবে লেখা হলেও তাদের অর্থ বিপরীতধর্মী নয়। যেমন যদি $E \subset B$ হয় তবে $(x \in E) \supset (x \in B)$ অর্থাৎ E যদি B এর অন্তর্ভুক্ত হয় এবং x যদি E এর একটি উপাদান হয় তবে x হচ্ছে B এরও একটি উপাদান। গিলবার্ট আর্থিক বা ইম্প্লিকেশন চিহ্ন হিসেবে "$\rightarrow$" কে ব্যবহার করেন। কিন্তু এই চিহ্নটি প্রতিবিম্ব চিহ্ন বা অনুলিপি চিহ্ন হিসেবেও অনেক সময় ব্যবহৃত হয়। আধুনিককালে আর্থিক চিহ্ন হিসেবে $\Rightarrow$ চিহ্নটি ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। এক নজরে যেন যুক্তিসঙ্গত ধারণা করা সম্ভব হয় তাই সেট বা গুচ্ছকে বৃত্তাকারে প্রকাশ করার পদ্ধতিটিকে ভেন ১৮৩৪–১৯২৩) ডায়াগ্রাম নামে অভিহিত করা হয়। লুইস হকবোল অন্য এক ধরনের ডায়াগ্রামের প্রস্তাব করেন যা পরে বুলিয়ান অ্যালজেবরাতে প্রয়োগ লাভ করে। $\cup$ এবং $\cap$ চিহ্ন দুটির অনুকরণে লজিকের ভাষায় $\vee$ (অথবা) $\wedge$ (এবং) চিহ্ন দুটির প্রচলন হয়। কোনো বিষয়বস্তুর নেতিবাচক কখনও "--" বা কখনও "~" এই চিহ্নগুলির বিষয়বস্তুর প্রকাশনার উপরে বা নিচে ব্যবহারের প্রচলন প্রাথমিকভাবে হয়। তবে ১৯৩৭ সালে হাইটিঙ্গ কর্তৃক প্রবর্তিত চিহ্ন $\neg$ নেতিবাচক চিহ্ন হিসেবে বর্তমানে ব্যাপকভাবে প্রচলিত আছে। "কোয়ান্টার" হিসেবে পরিচিত $\exists$ (কোনো কিছুর অস্তিত্ব চিহ্ন) পেয়ানো এবং $\forall$ (সকল সদস্যের জন্য প্রযোজ্য সূচক চিহ্ন) রাসেল ও হোয়াইটহেড সূচনা করেন।

গণিতবিদ্যাকে অনেকে কেবল গাণিতিক ভাষা হিসেবে বিচার করলেও যেহেতু গণিতবিদ্যার মূল লক্ষ্য হলো সমস্যার সমাধান তাই বিভিন্ন ধরনের সমস্যাকে যথাযথভাবে প্রস্তাবনার সমস্যাকে প্রকাশ করা এবং যুক্তিযুক্তভাবে তার সাহায্যে সমাধানের উপায় বের করার জন্য সুবিধাজনকভাবে সমস্যাকে চিহ্নিতকরণ প্রক্রিয়া গণিতবিদ্যার উৎপত্তির সাথে সাথেই শুরু হয়। কিন্তু কোনো সমস্যাকে সাধারণ কথায় প্রকাশ করার ক্ষেত্রে যেমন সমস্যাকে ভুল বুঝার সম্ভবনা যথেষ্ট থাকে ঠিক তেমনিই সমস্যাকে প্রকাশ করার জন্য যথাযথ চিহ্ন ও তার প্রয়োগ পদ্ধতি সর্বস্বীকৃত না হলে সেখানেও ভুল বুঝাবুঝির পরিমাণ কম হয় না। তাই বর্তমানে চেষ্টা করা হচ্ছে গাণিতিক চিহ্ন পদ্ধতিতে বিশ্বব্যাপী সর্বজনীন স্বীকৃত পদ্ধতি চালু করার।

বাস্তবক্ষেত্রে অনেক সময় "=" চিহ্নটি ব্যবহারে ভুল বুঝাবুঝির সৃষ্টি হয়। যেমন : $(a-b)^2 = a^2 + b^2 - 2ab$ এই প্রকাশনায় "=" চিহ্নটি প্রকৃতপক্ষে 'সমার্থক' এই কথাটিই প্রকাশ করে কারণ সমান বলতে প্রকৃতপক্ষে "=" চিহ্নটির উভয় দিকের মান, আকার ও গঠন ইত্যাদি সকল বৈশিষ্ট্যই একই ধরনের বুঝাবে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তা নয়।

সাধারণ ভাষা থেকে কোনো তথ্য বা সংজ্ঞা গাণিতিক ভাষায় রূপান্তরিত করার সময় অনেক বেশি সুনির্দিষ্টতা ও বিশুদ্ধতা অবলম্বন করতে হয়। যেমন সাধারণ ভাষায় প্রচলিত তথ্য সংজ্ঞা— "একটি সমকোণী ত্রিভুজ হলো সেই ত্রিভুজ যার একটি কোণ সমকোণ"। এই সংজ্ঞায় প্রথম শব্দ "একটি" বলতে সকল সমকোণী ত্রিভুজকেই বুঝায়। কিন্তু দ্বিতীয় "একটি" শব্দ দ্বারা কেবল "এক" সংখ্যাটিকেই বুঝায়। ঠিক একইভাবে "হয়", "বুঝায়", "সংযুক্ত" ইত্যাদি শব্দগুলি কোনো সংজ্ঞাকরণে যথেষ্ট সুনির্দিষ্টভাবে সংজ্ঞায়িত থাকে না।

সংযোগ শব্দ "অথবা" কোনো কোনো ক্ষেত্রে ইনক্লুসিভ (অন্তর্ভুক্ত) হিসেবে এবং কোনো কোনো ক্ষেত্রে এক্সক্লুসিভ (বহির্ভুক্ত) হিসেবে ব্যবহৃত হয়। যেমন "সাদা অথবা কালো" –এই প্রকাশনায় বহির্ভুক্তি প্রকাশ পাচ্ছে কেননা সাদা এবং কালো সম্পূর্ণ বিপরীতধর্মী। কিন্তু "অল্প অথবা বেশি"–এই প্রকাশনায় অল্প ও বেশি খুবই আপেক্ষিক ধারণা কারণ কোনো পরিমাণকে অবস্থা বিশেষে অল্প অথবা বেশি উভয়ই বলা যেতে পারে। কাজেই এখানে "অথবা" শব্দটি দুটি বিষয়বস্তুকে অনেকটা মিলিয়ে ফেলেছে বিধায় তা ইনক্লুসিভ।

শিক্ষা পদ্ধতির প্রাথমিক স্তরে যে গাণিতিক ধারণার পত্তন করা হয় তাতে শিশুদের অনুসরণ ক্ষমতা যথেষ্ট বাধাপ্রাপ্ত হয়। যেমন গুণন তালিকায় লিপিবদ্ধ সকল ফলাফল শিশুদের মধ্যে সত্যিকারভাবে গুণন প্রক্রিয়াটি কি তা প্রকাশ করে না। ফলে শিশুদের মধ্যে মুখস্থ প্রবণতাই বেশি দেখা যায়। কিন্তু যাদের স্মৃতিশক্তি তত প্রবল নয় তারা এই গুণন প্রক্রিয়া মনে রাখতে পারে না। ফলে তাদের মধ্যে ধারণা জন্মে যে অঙ্কশাস্ত্র অত্যন্ত কঠিন। যদি একজন প্রাথমিক স্তরের ছাত্রকে জিজ্ঞাসা করা হয় যে, "n" যদি একটি পূর্ণ সংখ্যা হয় তবে তার পরবর্তী পূর্ণ সংখ্যাটি কি হবে? "ছাত্রের উত্তর হবে "0"। কারণ পূর্ণসংখ্যা যে কোনো বর্ণাক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা যায় এবং তা করলে সংখ্যারাশির সাথে বর্ণমালার কি সম্পর্ক তা ছাত্রের পক্ষে অনুধাবন করা কঠিন। ঠিক তেমনি যদি বলা হয় যে– – ধরা যাক, "ক" হলো একটি স্বরবর্ণমালার গুচ্ছ বা সেট। তাহলে ছাত্ররা স্বভাবতই প্রশ্ন করবে—"ক" কিভাবে স্বরবর্ণ হয়?

তাহলে দেখা যাচ্ছে যে, চলতি ভাষা থেকে গাণিতিক ভাষায় রূপান্তর তত সহজ কাজ নয়। তাই বিজ্ঞানের যে কোনো শাখার একটি নিজস্ব ভাষা গড়ে উঠে যে ভাষায় পরিপূর্ণ দখল আনতে না পারলে সেই বিজ্ঞান শাখার বিভিন্ন ধারণাগুলি অনুধাবন ও প্রকাশ করা কঠিন। যে কোনো বিজ্ঞান শাখার কোনো ধারণা সৃষ্টিতে তাই যে পদ্ধতি ব্যবহার কার হয়—তার নাম মডেলিং। এই মডেল হচ্ছে বাস্তব অবস্থার অনুকরণে কোনোকিছুর সূত্রীবদ্ধ ধারণা। কিন্তু মডেল তৈরির কাজটিও সহজ নয়। তৈরিকৃত মডেলে অনেক বাস্তব তথ্যই অন্তর্ভুক্ত থাকে না।

গাণিতিক ভাষাতেও অনেক তথ্যই সুস্পষ্টভাবে প্রকাশিত হয় না—অনেক তথ্যই প্রচ্ছন্ন থাকে। এই প্রচ্ছন্ন তথ্য গতানুগতিক বা প্রচলিতভাবে স্বীকৃতি থেকেই প্রাপ্ত হয়। যেমন x,y,z দ্বারা অজানা বিষয়বস্তু প্রকাশ করা হয় ; i,j,k,l,m,n,p,q, দ্বারা পূর্ণ সংখ্যা

প্রকাশ করা হয়; r,s,t দ্বারা বাস্তব সংখ্যা প্রকাশ করা হয়, a, b, q, f গ্রিক বর্ণরাশি দ্বারা জ্যামিতিক কোণগুলি চিহ্নিত করা হয়, f,g,h দ্বারা ফাংশন প্রকাশ করা হয়; সেট বা গুচ্ছ বড় হাতের অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়, e,g,p এই অক্ষরগুলি দ্বারা বিশেষ বিশেষ মান প্রকাশ করা হয়। এই প্রচ্ছন্ন অক্ষর ধারণা ছাড়াও এমন কিছু অপ্রকাশিত তথ্য বা সম্পর্ক বিদ্যমান, যা ঐ ভাষার চর্চার মাধ্যমেই গড়ে উঠে।

এবারে দেখা যাক, গণিতবিদ্যা শিক্ষার ঐতিহাসিক ধারা কিভাবে গড়ে উঠেছে। খ্রিষ্টপূর্ব পঞ্চম শতাব্দীতে সক্রেটিসের স্কুল, খ্রিষ্টপূর্ব চতুর্থ শতাব্দীতে প্লেটোর স্কুল, খ্রিষ্টপূর্ব তৃতীয় শতাব্দীতে ইউক্লিডের স্কুল গণিত ইতিহাসে বিশেষ স্থান দখল করে আছে। ইউক্লিডের "জ্যামিতির মৌলতত্ত্ব" বহু বছর ধরে সুসংগঠিত নিয়ম ও ধারণার উদাহরণ হিসেবে প্রচলিত থাকে। ২৯০ খ্রিষ্টাব্দে পাপুস আলেক্সান্দ্রিস্কি তাঁর "গাণিতিক সংকলন" বইটি প্রকাশ করেন। আর ৩৫০ খ্রিষ্টাব্দে দিওফান্ত তাঁর "অ্যারিথমেটিক" বইটি প্রকাশ করেন। প্রাচীন গ্রিসের এই বিপুল গাণিতিক উন্মেষের পর দীর্ঘকাল আর ইউরোপে গণিতবিদ্যায় তেমন কোনো উল্লেখযোগ্য উন্নতি সাধন হয় নি। পরবর্তীতে ইতালীয়ানরা এ ব্যাপারে এগিয়ে এসে সঠিক বিজ্ঞান ও গণিতবিদ্যায় নতুন জাগরণী অধ্যায় শুরু করে।

গণিতশাস্ত্রের প্রাথমিক স্তরে দার্শনিকরাই মূলত এর চর্চা করে থাকতো। দর্শনের শিক্ষকরাই গণিতবিদ্যা শিক্ষা দিত। অবশ্য কিছু কিছু ক্ষেত্রে যেমন-- আর্কিটেকচার, জ্যোতির্বিদ্যা, নেভিগেশন, সামরিক প্রযুক্তিতে ক্রমান্বয়ে গণনার প্রয়োজনবোধে গণিতের শিক্ষা বিস্তার লাভ করে।

ফরাসি বিপ্লবের পর শিক্ষাব্যবস্থার মধ্যে ব্যাপক পরিবর্তন সাধিত হয়। এই পরিবর্তনের ফলে সঠিক বিজ্ঞান চর্চায় বিপুল সংখ্যক জনগণের অংশগ্রহণ সম্ভব হয়। গণিতশাস্ত্রের শিক্ষা প্রক্রিয়ায় দশমিক পদ্ধতি চালু হয়। প্রযুক্তিগত শিক্ষার ক্ষেত্রে ব্যাপক জনগণের অংশগ্রহণের ফলে গণিতশাস্ত্র তার তাত্ত্বিক বেড়াজাল ভেঙ্গে ক্রমান্বয়ে প্রযুক্তির ক্ষেত্রে প্রয়োগ সম্ভাবনা নিয়েই বিজ্ঞানীদের বেশি মনোযোগ আকর্ষণ করে।

২.৮ ধারণা

মানুষের মস্তিষ্ক তার পারিপার্শ্বিকতাকে বা বাস্তবতাকে এক একটি মডেল হিসেবেই গ্রহণ করে অর্থাৎ তার পঞ্চেন্দ্রিয়ের দ্বারা মানুষ বাস্তব বিষয়বস্তু সম্বন্ধে তার মস্তিষ্কে একটি নিজস্ব ধারণা তৈরি করে এবং এই ধারণাই সেই বস্তুর অস্তিত্ব সম্বন্ধে তার মস্তিষ্কে তথ্য সংরক্ষণ করে। পারিপার্শ্বিক বাস্তবতার মডেল মস্তিষ্কে কিভাবে সিগনাল আকারে কোডকৃত ও স্মৃতিতে রক্ষিত হয়—সেই ফিজিওলজিক্যাল মেকানিজম আজও মানুষের যথার্থ বোধগম্য নয়। কে. লরেন্সের মতে মস্তিষ্কে রক্ষিত সকল তথ্যই দর্শন প্রক্রিয়ার মাধ্যমেই সৃষ্ট। তাঁর যুক্তি হলো যে, মানুষ যদি আদিকাল থেকেই কোনো দৃষ্টিশক্তির অধিকারী না হতো তবে বস্তুর জগৎ সম্বন্ধে মানুষের ধারণা এখন যেভাবে সৃষ্টি হয়েছে, তখন তা থেকে পৃথক ধরনের হতো। দর্শনেন্দ্রিয় ব্যতিরেকে কোনো বস্তু সম্বন্ধে পূর্ব মডেল তৈরি সম্ভব নয়। তবে আমরা যা দেখি সেই দেখার মধ্যে কতটুকু বাস্তবতা বিদ্যমান, তা নিয়েও আজকাল

বিজ্ঞানীরা বেশ গবেষণা করছে। মানুষ একটি বস্তুকে একদিক থেকে দেখে তার সম্বন্ধে যে ধারণা-মডেল তৈরি করে, বস্তুটি অন্যদিক থেকে দেখলে তার সম্বন্ধে অন্য ধারণা-মডেল তৈরি হয়। উদাহরণস্বরূপ, কোনো গোলক বস্তুকে দূর থেকে দেখলে তার সম্বন্ধে একটি সমতল বৃত্তাকৃতির থালার ধারণার সৃষ্টি হবে। তাই বেশিরভাগ মানুষই কোনো নতুন বস্তু পেলে সেটি চারপাশ ঘুরিয়ে দেখে—তার সম্বন্ধে পুরাপুরি ধারণা-মডেল তৈরির উদ্দেশ্যে। ধারণা-মডেল তৈরিতে যে দর্শনেন্দ্রিয়ের প্রভাব অত্যন্ত ব্যাপক, তা চলতি ভাষায় ব্যবহৃত অনেকিছু শব্দকে সমার্থক ধরার মাধ্যমেই প্রকাশ পায়। যেমন, দৃষ্টিভঙ্গি ও ধারণা ; অন্ধকারাচ্ছন্নতা ও গোপনীয়তা; স্বচ্ছতা ও অগোপনীয়তা ইত্যাদি।

কোনো বিষয়বস্তু সম্বন্ধে অ্যাবস্ট্রাক্ট বা কাল্পনিক ধারণা উন্নত প্রাণী বা মানুষের দ্বারাই শুধু সম্ভব। কিন্তু এই অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণা সৃষ্টির ক্ষমতা মানুষের জন্মের সাথে সাথেই হয় না, মানুষকে শৈশবকাল থেকেই দীর্ঘসময় চর্চার মাধ্যমেই এই ক্ষমতার উন্নয়ন সাধন করতে হয়। বৈজ্ঞানী পিয়াজের মতে মানুষের ওজন ও আয়তন সম্বন্ধে অভ্যন্তরীণভাবে ধারণা সৃষ্টি হয় তার ১০বছর বয়সের দিকে। অবশ্য অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণা তৈরির এই ক্ষমতা মানুষকে ক্রমান্বয়ে বাস্তবতা থেকে দূরে সরিয়ে নিয়ে যায়। তাই কল্পনাপ্রবণ মানুষেরা বাস্তব জগতের সাথে তাল মিলিয়ে চলতে পারে না।

মানুষের অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণাকে বাস্তবরূপ দেয়ার উদ্দেশ্যেই মানুষকে বিভিন্ন অক্ষরমালা, সঙ্গীতের নোট, গাণিতিক সূত্রের আবিষ্কার করতে হয়েছে। চিত্রকলা বা বিভিন্ন শিল্পকর্মে মানুষের বিভিন্ন অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণারই প্রতিফলন দেখতে পাওয়া যায়। সেই অর্থে আমরা বলতে পারি যে, অ্যাবস্ট্রাক্ট ধারণাকে মানুষ গ্রাফিকাল পদ্ধতিতেই প্রস্তাব (represent) করতে সুবিধাজনক মনে করে।

২.৯ গাণিতিক প্রকাশনা পদ্ধতি

সকল ধরনের লিখন পদ্ধতিতেই কিছু চিহ্ন বা সংকেত বিদ্যমান যেগুলি কোনো বস্তুকে বা বিষয়বস্তুকে চিহ্নিত করার কাজে ব্যবহৃত হয়। কিছু চিহ্ন বা সংকেত বিদ্যমান যা বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক বা সংযোগ সাধনের নিমিত্তে বা বস্তুগুলির অবস্থা পরিবর্তনের প্রক্রিয়া পরিস্ফুট করার কাজে ব্যবহৃত হয়। দ্বিতীয় চিহ্নগুলিকে বলা হয় অপারেটর। $x + y - 2$ এই প্রকাশনায় x ও y দ্বারা দুটি বস্তু চিহ্নিত করা হয়েছে আর + ও –চিহ্ন দুটি অপারেটর চিহ্ন হিসেবে ব্যবহৃত হয়েছে। অপারেটরগুলিকে বেশ কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায় : যেমন + ও – অপারেটর দুটি অনেকগুলি বিষয়বস্তুকে সম্পর্কিত করতে পারে। $\in, \subset, \cup, \cap, \wedge, \vee$ এই অপারেটরগুলি কেবল দুটি বিষয়বস্তুকেই সম্পর্কিত করতে পারে। তাই এই অপারেটরগুলিকে বাইনারি অপারেটর বলা হয়। $\sqrt{}$, log, sin, cos ইত্যাদি অপারেটরগুলি কেবল একটি বিষয়বস্তু নিয়েই কাজ করে তাই তাদের ইউনারি অপারেটর বলা হয়ে থাকে। IF, THEN, ELSE এই অপারেটগুলি প্রোগ্রাম ভাষায় প্রায়শই ব্যবহৃত হয়। যদি কোনো অপারেটর n সংখ্যক বিষয়বস্তুকে সম্পর্কিত করে তবে তাকে n-মাত্রিক অপারেটর বলা হয়।

কয়েকটি বিষয়বস্তুকে যথাযথভাবে অপারেটরের সাহায্যে সংযুক্ত করে সেই প্রকাশনাটির দ্বারা প্রকাশিত তথ্যকে একটি নতুন বিষয়বস্তু হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। এই নতুন বিষয়বস্তুটিকে আবার কোনো অপারেটরের দ্বারা অন্যান্য বিষয়বস্তুর সাথে সংযুক্ত করে আরেকটি নতুন বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করতে পারি। এভাবে n সংখ্যক টার্ম বা বিষয়বস্তুর সাথে অন্য একটি টার্ম বা বিষয়বস্তুর সংযোগ প্রক্রিয়াকে রিকার্সিভ প্রক্রিয়া বলা হয়। রিকার্সিভ প্রক্রিয়ায় অবশ্যই কিছু বিষয়বস্তু পূর্বাহ্নেই প্রদত্ত হতে হবে। এই প্রদত্ত বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে কিছু বিষয়বস্তু অন্য কিছু বিষয়বস্তু দ্বারা পরিবর্তনযোগ্য ও কিছু বিষয়বস্তু অপরিবর্তনযোগ্য বা কনস্ট্যান্ট থাকে। উদাহরণস্বরূপ, $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ এই প্রকাশনাটিতে sin, cos, 2,1 এই বিষয়বস্তুভিত্তিক চিহ্নগুলি অপরিবর্তনযোগ্য কিন্তু x হচ্ছে পরিবর্তনযোগ্য বিষয়বস্তু।

২.১০ রৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি

পুস্তক মুদ্রণের সাথে সাথে ইউরোপীয় গাণিতিক লিখনপদ্ধতি বাম থেকে ডানে অনুসরণ করে। এই লিখন পদ্ধতিকে রৈখিক লিখন পদ্ধতি বলা হয়। এই পদ্ধতিতে অপারেটরগুলিকে তিনভাবে ব্যবহার করা যেতে পারে—টার্ম বা বিষয়বস্তুগুলির পূর্বে, পরে বা মধ্যস্থলে। এই তিন পদ্ধতিতেই বর্তমানে অপারেটরগুলি ব্যবহার করা হয় তবে তাদের ব্যবহার প্রক্রিয়া একই ধরনের নয়।

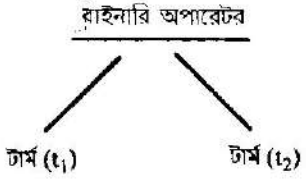
সর্বাপেক্ষা সাধারণভাবে প্রচলিত গাণিতিক লিখন পদ্ধতিতে অপারেটরগুলি টার্মের মধ্যে ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিকে ইনফিক্সড পদ্ধতি বলা হয়। এই পদ্ধতিতে গঠনের ও বোধগম্যতার সুবিধার্থে ব্রাকেট চিহ্নগুলি (), {}, [] ব্যবহার করা হয়। এই ব্রাকেটচিহ্নগুলি মূল অপারেটর চিহ্নের অন্তর্ভুক্ত নয়। ব্রাকেটগুলি মূলত ব্যবহার করা হয়ে থাকে দ্বৈতার্থতা দূরীকরণে ও বৃহৎ প্রকাশনাগুলিকে ছোট ছোট ভাগে বিভক্ত করার উদ্দেশ্যে। উদাহরণস্বরূপ, a–b+c এই প্রকাশনাটিকে অ্যালজেব্রাতে (a–b)+c হিসেবে বিচার করা হয়, a–(b+c) হিসেবে নয়। অ্যানালিটিকাল গণিতে কিছু কিছু অপারেটরের অ্যাসোসিয়েটিভ ও কমুটেটিভ বৈশিষ্ট্যগুলি স্বতঃসিদ্ধ হিসেবেই গ্রহণ করা হয়। যেমন : অপারেটর "+" ও "*" এর ক্ষেত্রে। উদাহরণস্বরূপ, 4 * x*b = x* 4*b = b*x*4 = b*4*x ধরা হয়। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই গুণন চিহ্ন "*" উহ্য থাকে।

গণিতবিদ্যায় ইউনারি অপারেটরগুলি লেখার জন্য বিভিন্ন চিহ্ন বিভিন্নভাবে ব্যবহার করার পদ্ধতি প্রচলিত আছে। sin A, cos A.....e^t, dx/dt, F!IGI ইত্যাদি। বিষয়বস্তুর পূর্বে মাইনাস (–) চিহ্ন ব্যবহার ও মাইনাস (–) চিহ্নকে মাইনাস অপারেটর হিসেবে ব্যবহার করার পদ্ধতি চালু থাকায় এই মাইনাস (–) চিহ্নটিকে একই সাথে ইউনারি ও বাইনারি চিহ্ন বা অপারেটর হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে। গাণিতিক ভাষায় চিহ্নগুলির ব্যবহার পদ্ধতিতে আজও পুরাপুরি একক পদ্ধতি সবক্ষেত্রে চালু করা সম্ভব হয় নি। তাই গাণিতিক প্রকাশনাগুলিতেও অনেক ক্ষেত্রেই দ্বৈতার্থতার উদ্ভব হয়।

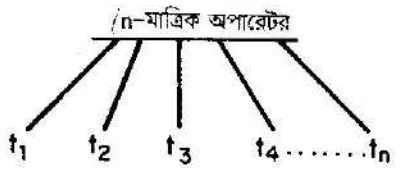
গাণিতিক লজিকে অপারেটরগুলিকে প্রিফিক্স হিসেবে বা বিষয়বস্তুর পূর্বে ব্যবহার করার পদ্ধতিই প্রচলিত আছে। এই পদ্ধতিতে "x অপারেটর y" এর পরিবর্তে "অপারেটর xy" লেখা হয়। যেমন "x + y" এর পরিবর্তে লেখা হয় " + xy"। এখানে অপারেটরটি সেই বিষয়বস্তুর পূর্বে ব্যবহার করা হয়, যে বিষয়বস্তুটি ঐ অপারেটরটি দ্বারা পরিবর্তিত বা পরিচালিত হয়। এভাবে ব্রাকেট ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা দূর করা হয় এবং প্রতি টার্মের পূর্বে অপারেটর ব্যবহারের ফলে সেই প্রকাশনায় সুস্পষ্টতা বৃদ্ধি পায়। উদাহরণস্বরূপ, ইনফিক্স ফর্মে লিখিত $(p \supset q) \supset p$ প্রকাশনাটি প্রিফিক্স ফর্মে ⊃⊃pqp হিসেবে লিখিত হবে। ইনফিক্স ফর্মে লিখিত $\log (y + \sqrt{y^2 - b/\sin x}$ এই প্রকাশনাটি প্রিফিক্স ফর্মে log + y√−↑y2/bsin x হিসেবে লিখিত হবে।

২.১১ অরৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতি

রৈখিক লিখন পদ্ধতিতে লিখিত কোনো প্রকাশনা এক নজরেই কোনো ধারণার সৃষ্টি করে। কারণ এই পদ্ধতিতে প্রকাশনার সকল টার্মকেই একই গুরুত্বের মনে হয়। প্রকৃতপক্ষে এক্ষেত্রে প্রকাশনার কিছু টার্ম ভ্যারিয়েবল্, কিছু টার্ম কনস্টান্ট, কিন্তু কিছু টার্ম এর কোনোটিই নয়। প্রকাশনায় অপারেটরগুলিও একই ধরনের নয়। তাই অরৈখিক পদ্ধতিতে এই অস্পষ্টতা দূরীকরণে গ্রাফের সাহায্য নেয়া হয়। যেমন :



চিত্র : ২.৭



চিত্র : ২.৮

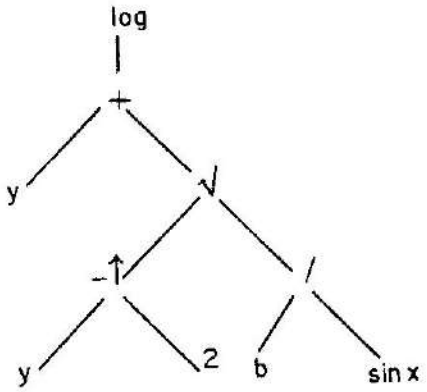
এই ধরনের গ্রাফকে ট্রি বলা হয়। ট্রি–এর সাহায্যে আমাদের পূর্ববর্তী রৈখিক প্রকাশনায় ব্যবহৃত উদাহরণটিকে নিম্নভাবে প্রকাশ করা যায় :

অরৈখিক পদ্ধতিতে লিখনকে তিনভাগে ভাগ করা যায়। যেমন :

(১) প্রিফিক্স ফর্ম : ট্রি–তে লিখনগুলিকে উপর থেকে নিচের দিকে এবং বাম থেকে ডানের দিকে পড়া হয়।

(২) পোস্টফিক্স ফর্ম : ট্রি–তে নিচ থেকে উপরের দিকে এবং ডান থেকে বামের দিকে লিখনগুলিকে পড়া হয়।

(৩) ইনফিক্স ফর্ম : ট্রি–তে একই সমান্তরাল লাইনে আপতিত চিহ্নগুলিকে ব্রাকেটের আওতায় নিয়ে উপর থেকে নিচের দিকে সমান্তরাল লাইনগুলি বিচার করা হয়।



চিত্র ২.৯ : প্রিফিক্স ফর্মে log + y√ ↑ y,/bsin x হিসেবে লিখিত প্রকাশনাটির ট্রি-রূপ।

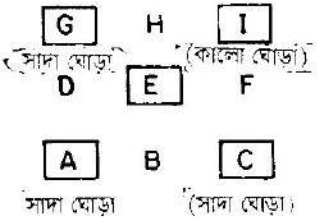
দেখা যাচ্ছে যে, কোনো প্রকাশনার জন্য সর্বাপেক্ষা সুবিধাজনক পদ্ধতি হলো সেই পদ্ধতি যাতে প্রকাশনাটিকে নিয়ে পরবর্তীতে কাজ করা যায়। গণিতে এক টার্মের স্থানে অন্য টার্মের ব্যবহার, দুটি টার্মের সংযোগ বা কোনো টার্মের অপসারণ কাজগুলিই মূলত সম্পাদন করা হয়। অরৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতিতে ট্রি-এর সাহায্যে এই অপারেশন কাজগুলি করা যথেষ্ট সহজতর। একটি ট্রি-এর মধ্যে বিভিন্ন শাখা প্রশাখাগুলিকে স্থানান্তর করা বা অপসারণ করা সহজতর, এক্ষেত্রে সমস্ত ট্রি-টিকে পুনরায় প্রকাশ করতে হয় না। কিন্তু রৈখিক প্রকাশনা পদ্ধতিতে এই অপারেশন করার পর সমস্ত প্রকাশনাটিকে পুনরায় পরিবর্তিত আকারে লিখতে হয়।

২.১২ সমস্যার সাধারণকরণ

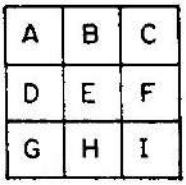
সঠিকভাবে কোনো সমস্যা ও তার সমাধানের পথ প্রস্তাবনাই হচ্ছে সমস্যাটির সমাধান প্রক্রিয়ার মূল অংশ। অনেক সমস্যার প্রস্তাবনার জন্য যে মানুষের মস্তিষ্ক গণনাক্রিয়ারই শুধু প্রয়োজন হয় তা নয়, এর সাথে দৃষ্টিশক্তি ও অন্যান্য অনুভব শক্তির ব্যবহারও আমরা সচরাচর করে থাকি। যদিও সমস্যার প্রস্তাবনার কোনো একক সুনির্দিষ্ট পদ্ধতি নেই, তথাপি যতদূর সম্ভব এই পদ্ধতিগুলিকে সাধারণকরণ করা সম্ভব হলে সমাধান প্রক্রিয়াও যথেষ্ট সহজতর হবে। এবারে তাহলে দেখা যাক, একটি বিশেষ সমস্যার সাধারণকরণ কিভাবে করা যেতে পারে—

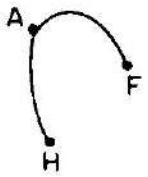
দাবা খেলার চারটি ঘোড়ার সমস্যা : সমস্যা-সমাধান প্রক্রিয়ায় দাবা খেলা বিশেষ স্থান দখল করে আছে। অনেক মাথাভাঙ্গা সমস্যা এই দাবা খেলার সাথে সম্পর্কিত। একই

সঙ্গে এই খেলায় প্রয়োজন অত্যন্ত সুষ্ঠু প্রস্তাবনা প্রক্রিয়া। প্রদত্ত সমস্যাটি হচ্ছে—কিভাবে সবচেয়ে কম চালে দুটি কালো ঘোড়া ও দুটি সাদা ঘোড়া তাদের স্থান পরিবর্তন করবে। এই সমস্যায় তিন বাই তিন আকারের দাবা টেবিল ব্যবহার করা হয়েছে। প্রথম চিত্রে ঘোড়াগুলির প্রারম্ভিক অবস্থান দেখানো হয়েছে। আমরা জানি যে দাবা খেলায় ঘোড়ার চাল হয় এক ধাপ সমান্তরালভাবে এবং দুইধাপ লম্বভাবে অথবা বিপরীতক্রমে দুইধাপ সমান্তরালে এবং এক ধাপ লম্বভাবে। সমস্যাটির সমাধানের জন্য সাধারণভাবে সকলেই চেষ্টা করবে সমস্যাটিকে দাবার টেবিলেই সমাধান করার। মানুষের সাধারণ ইন্টুইশনের সাহায্যে সহজেই বলা যেতে পারে যে এই সমস্যাটি সমাধানের পথ অনেক তবে আমাদের উদ্দেশ্য হচ্ছে যে, সমস্যাটির এমন একটি মডেল সমাধান নির্ধারণ করা যেটিকে সমস্যার সাধারণ সমাধান বলা যাবে।



চিত্র ২.১০ : প্রারম্ভিক অবস্থান।



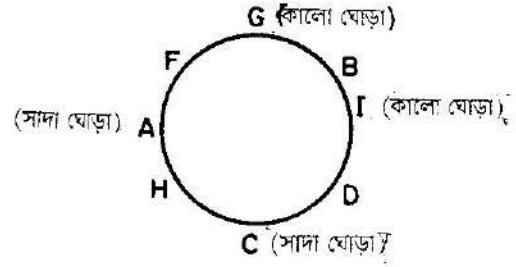


চিত্র ২.১১ : ঘোড়ার চালের সাধারণকরণ।

সমস্যাটির সমাধানে প্রকৃতপক্ষে দাবার টেবিল কোনো মুখ্য ভূমিকা রাখে না, সমাধানে মূল ভূমিকা রাখে অবস্থান পরিবর্তন প্রক্রিয়ায় চালগুলির মধ্যে সম্পর্ক। অতএব আমরা ঘোড়াগুলির সম্ভাব্য অবস্থাগুলিকে কিছু চিহ্ন বা সিম্বল দ্বারা চিহ্নিত করতে পারি। প্রদত্ত প্রথম চিত্র থেকে আমরা দেখতে পাই যে, কালো ঘোড়া H বা F অবস্থান থেকে A অবস্থানে এক চালেই আসতে পারবে। কিন্তু H অবস্থানে একটি ঘোড়া কেবল A অথবা C অবস্থান থেকে আসতে পারবে। C অবস্থানে আসতে পারবে D অবস্থান থেকে। D অবস্থানে আসতে পারবে I অবস্থান থেকে, I অবস্থানে আসতে পারবে B অবস্থান থেকে, B অবস্থানে আসতে পারবে G অবস্থান থেকে, G অবস্থানে আসতে পারবে F অবস্থান থেকে, F থেকে A অবস্থানেও যেতে পারবে। এবার আমরা এই অবস্থান দখল প্রক্রিয়াকে যথাযথভাবে প্রকাশ করার জন্য চক্রাকারের সাহায্য নিতে পারি।

সমস্যাটি চক্রাকারে ছবিতে প্রস্তাবিত হওয়ায় তা এক নজরেই স্পষ্ট হয়ে উঠে। চক্রে E এর অবস্থানটিকে দেখানো হয় নি কারণ এই অবস্থাটি সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়ায় মোটেই অংশগ্রহণ করে না। কোনো ঘোড়ার শুধু A অবস্থান থেকে স্থান পরিবর্তন নয়, অন্যান্য অবস্থান থেকে ঘোড়াগুলির অবস্থান পরিবর্তনও অনুরূপভাবে চক্রাকারে প্রস্তাবিত হয়। চক্রাকারে সমস্যাটি প্রস্তাবনার পর সমস্যাটির রূপ দাঁড়ায় ; কালো ঘোড়া দুটিকে A ও C

অবস্থানে এবং সাদা ঘোড়া দুটিকে G ও I অবস্থানে নিয়ে আসতে হবে এই চক্রপথে বামে অথবা ডানে স্থান পরিবর্তনের মাধ্যমে। অঙ্কিত চিত্র থেকে সুস্পষ্ট যে সবকটি ঘোড়া যদি অর্ধচক্র পরিক্রম করে তবে C থেকে G তে, A থেকে I তে, G থেকে C তে এবং I থেকে A তে আসতে পারবে। এর জন্য প্রতিটি ঘোড়াকে মোট চারবার চালতে হবে এবং চার ঘোড়ার জন্য মোট ১৬ চালের প্রয়োজন হবে যা হচ্ছে সর্বনিম্ন চাল সংখ্যা ও এটিই এই সমস্যার সমাধান।



চিত্র ২.১২ : A অবস্থান থেকে ঘোড়ার পথ।

চিত্র ২.১৩ : সমস্যার সমাধান।

তৃতীয় অধ্যায়

জ্ঞানের প্রস্তাবনা পদ্ধতি

(Knowledge Representation System)

৩.১ জ্ঞান সম্বন্ধে ধারণা

জ্ঞানের সংজ্ঞা নিয়ে দার্শনিকরা বহুমতে বিভক্ত। তবে আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞান বলতে সকল প্রকার তথ্য সংরক্ষণ ও তথ্য প্রক্রিয়াকরণকে বুঝায়। জ্ঞান-প্রযুক্তিতে এই তথ্য সংরক্ষণ ও প্রক্রিয়াকরণের যান্ত্রিকভাবে তথা কম্পিউটারের সাহায্যে সম্পাদন করার উপায় উদ্ভাবন করার ব্যাপারেই গবেষণা করা হয়ে থাকে।

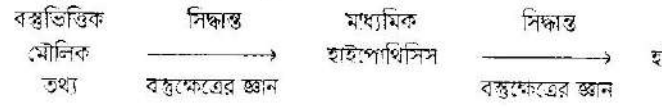
বাক্যের আকার ও গঠন বিভিন্ন ধরনের হলেও মানুষ কথা বুঝতে পারে। বস্তুর প্রতিচ্ছবি বহুভাবে অঙ্কন করা হলেও মানুষ তা থেকে মূল বস্তু সম্বন্ধে ধারণা পেতে সক্ষম। কিন্তু যন্ত্রের পক্ষে কোনো তথ্য – তা সে শব্দ, ছবি বা অন্য যে কোনো সাংকেতিকভাবেই দেয়া হোক না কেন যদি তা যথাযথভাবে প্রস্তাবিত না হয় তবে যন্ত্রের সাহায্যে তা প্রক্রিয়াকরণ করা সম্ভব হয় না। তাই জ্ঞান-প্রযুক্তিতে তথ্য-প্রস্তাবনা বিশেষ স্থান দখল করে আছে।

এ পর্যন্ত কম্পিউটারে ব্যবহৃত FORTRAN, PASCAL বা অন্যান্য প্রোগ্রাম ভাষার সাহায্যে যেমন সকল ধরনের তথ্য সংরক্ষণ ও প্রক্রিয়াকরণ সম্ভব নয় তেমনি এর জন্য প্রয়োজনীয় প্রোগ্রাম তৈরিও সহজ কাজ নয়। বিশেষজ্ঞদের কাছ থেকে যত বেশি বস্তু ভিত্তিক (object oriented) তথ্য আসতে থাকে, প্রোগ্রাম তৈরি ও তার বোধগম্যতা তত বেশি জটিল হতে থাকে।

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের জ্ঞান-প্রযুক্তিতে উপরিউক্ত অসুবিধা দূরকরণের জন্য তথ্য সংরক্ষণ ও প্রক্রিয়াকরণে নতুন পদক্ষেপ গ্রহণ করা হয় – যার নাম দেয়া হয় 'জ্ঞান-ভিত্তিক পদ্ধতি' (Knowledge based system)। এই পদ্ধতিতে জ্ঞান যেমন প্রস্তাবিত হয় তেমনি তথ্যের পরিবর্তন, পরিবর্ধন ও প্রক্রিয়াকরণের ব্যবস্থাও থাকে। সংরক্ষিত যুক্তিভিত্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য জ্ঞানের প্রস্তাবনার সাথে সাথে তার ভিত্তিতে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণের যথাযথ ব্যবস্থাও জ্ঞান-প্রযুক্তিতে থাকা অত্যন্ত প্রয়োজন।

অভিধানে জ্ঞানকে দুভাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়ে থাকে— (১) জ্ঞান হচ্ছে অনুধাবনের ফল বা তথ্য; (২) জ্ঞান হচ্ছে নিয়মতান্ত্রিক ও বস্তুভিত্তিক বিশ্লেষণ পদ্ধতি। প্রথম সংজ্ঞাটির সাথে একমত সেসব বিজ্ঞানী যারা বৈজ্ঞানিক তথ্য আহরণ পদ্ধতিকেই মূল গুরুত্ব দিয়ে থাকেন। কিন্তু যাঁরা যুক্তিবাদী চিন্তার মাধ্যমে বস্তুভিত্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণকেই গুরুত্ব দিয়ে থাকেন তাঁরা দ্বিতীয় সংজ্ঞার সাথে একমত। অবশ্য আপাতদৃষ্টিতে দুটি সংজ্ঞার মধ্যে তেমন বেশি পার্থক্য নজরে আসে না কারণ বিজ্ঞান যুক্তিভিত্তিকই বটে, আর জ্ঞান যুক্তির

ভিত্তিতেই প্রতিষ্ঠিত হয়। তাই জ্ঞানকে এভাবে সংজ্ঞায়িত করাই বেশি যুক্তিযুক্ত যে, 'জ্ঞান হচ্ছে যুক্তিভিত্তিকভাবে আহরিত তথ্য ও তার ভিত্তিতে যুক্তিভিত্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণের পদ্ধতি'। এই সংজ্ঞার ভিত্তিতে নিম্নরূপে চিত্রাকারে জ্ঞানের মডেল তৈরি করা যায় :



যদি জ্ঞানকে কোনো বস্তুক্ষেত্রের (object world) সমস্যা সমাধানের পথ হিসেবে ধরা হয় তবে জ্ঞানকে দুভাগে ভাগ করা যায় – বাস্তব তথ্য বা ফ্যাক্ট এবং হয়রিস্টিক। প্রথম ধরনের জ্ঞানের আওতায় কোনো বস্তুক্ষেত্রের অত্যন্ত সুস্পষ্টভাবে জ্ঞাত তথ্যগুলিই পড়ে। তাই এ ধরনের জ্ঞানকে অনেক সময় টেক্সট নলেজ বলা হয় কারণ, এ ধরনের জ্ঞানের আওতায় বিশেষজ্ঞদের বহু বছরের অভিজ্ঞতা লব্ধ জ্ঞান বিদ্যমান। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষ ভাগ 'এক্সপার্ট সিস্টেম' এর দক্ষতা বাড়াতে এই জ্ঞানই মূল ভূমিকা পালন করে। এই জ্ঞানের বিশেষত্বের মধ্যে অপ্রয়োজনীয় তথ্যের অপসারণ, অনিশ্চিত তথ্যের ব্যবহার, বিভিন্ন তথ্যকে সুসংবদ্ধ করার ক্ষমতা উল্লেখযোগ্য। হয়রিস্টিক জ্ঞানের সাহায্যে সমস্যা সমাধানের ক্ষমতা বাড়লেও তার বৈজ্ঞানিক ভিত্তি অত্যন্ত দুর্বল।

এ ছাড়া জ্ঞানকে অন্য দুটি ভাগেও ভাগ করা যায় – বাস্তব তথ্য বা ফ্যাক্ট এবং রুল বা সিদ্ধান্ত গ্রহণের জ্ঞান। ফ্যাক্ট বলতে যে ধরনের জ্ঞান বুঝানো হয় তা এভাবে প্রকাশ করা যায় – "F হচ্ছে F" অর্থাৎ ফ্যাক্ট হচ্ছে তাই যা কেবল সেটিই। ফ্যাক্ট কোনো বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন পদ্ধতির ডাটা ব্যাংক তৈরি করে। রুলভিত্তিক জ্ঞান বলতে সেই জ্ঞানকেই বুঝায়, যা "যদি... তবে" সম্পর্কের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এ দুটি ভাগ ছাড়াও জ্ঞানের আরও একটি ভাগ আছে যাকে বলা হয় 'মেটানলেজ' বা জ্ঞান সম্বন্ধে জ্ঞান। অর্থাৎ মেটানলেজ বলতে জ্ঞানকে ব্যবহারের জ্ঞান বা জ্ঞানের বিশেষত্ব বিশ্লেষণের জ্ঞানকে বুঝানো হয়। যৌক্তিক সিদ্ধান্ত ব্যবহারের দ্বারা কোনো পদ্ধতিকে নতুন জ্ঞান দান করার জন্যই মূলত মেটানলেজ ব্যবহার করা হয়।

সাধারণত জ্ঞানের গঠন হিরারখিকাল (hirarchical) বা উত্তরাধিকারভিত্তিক হয়। যেমন : << জীবন্ত বস্তু ——→ প্রাণী ——→ মানুষ ——→ কামাল >> হচ্ছে উত্তরাধিকারভিত্তিক জ্ঞান। এই হিরারখিকাল গঠনের প্রতিটি এলিমেন্ট বা মৌল অন্য কোনো হিরারখির সাথে নানাভাবে সংযুক্ত থাকতে পারে। তাই সকল জ্ঞানকে নেট বা জালের আকারে সংযুক্ত করার দ্বারা প্রস্তাব করার প্রয়োজন আছে, তা সে বস্তুগত জ্ঞানই হোক বা সিদ্ধান্ত গ্রহণের জ্ঞানই হোক।

৩.২ এক্সপার্ট সিস্টেম

এক্সপার্ট সিস্টেম বলতে সেই ধরনের বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন প্রোগ্রামকে বুঝায় যা কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যা সমাধানের জন্য লব্ধ জ্ঞানকে কাজে লাগিয়ে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণে সক্ষম। এজন্য এক্সপার্ট সিস্টেমগুলিকে সেই ধরনের দক্ষতা রাখতে হবে যা এক্সপার্টের অনুপস্থিতিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণের ও তা কার্যকর করতে সক্ষম হবে। কাজেই বিশেষজ্ঞ বা

এক্সপার্টের যে জ্ঞান তা এক্সপার্ট সিস্টেমেরও থাকতে হবে। এজন্য এক্সপার্ট সিস্টেমের যেসব বৈশিষ্ট্য থাকা বাঞ্ছনীয় তা হলো–

– বিষয়বস্তু ক্ষেত্রের সাথে সম্পর্কযুক্ত জ্ঞানের ব্যবহার ক্ষমতা ;

– বিশেষজ্ঞ কর্তৃক লব্ধজ্ঞানগুলি আহরণ ক্ষমতা ;

–বিষয়বস্তুক্ষেত্রের বাস্তব জটিল সমস্যাগুলিকে প্রস্তাবিত ও সমাধান করার ক্ষমতা।

সমাজে চিকিৎসক, শিক্ষক, আইনজীবী, কেরানি, প্রোগামিস্ট, পরামর্শদাতা ইত্যাদি বহু ধরনের বিশেষজ্ঞ বিদ্যমান। সকল বিশেষজ্ঞেরই কিছু সাধারণ বৈশিষ্ট্য লক্ষণীয়, যেমন ;

– তার বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সম্বন্ধে বিপুল জ্ঞান ভাণ্ডার ;

– বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যাগুলি সমাধানে তার ব্যাপক অভিজ্ঞতা।

যেহেতু সাধারণ মানুষ এসব বৈশিষ্ট্যের অধিকারী হয় না তাই কোনো বিশেষজ্ঞ কোনো সমস্যার সমাধান অতি সহজেই করে ফেললে অবিশেষজ্ঞদের মনে প্রশ্ন জাগে–বিশেষজ্ঞ কোনো ভুল করে ফেলে নি তো? মানুষ-বিশেষজ্ঞের স্থানে যন্ত্র-বিশেষজ্ঞ কাজ করলে এই প্রশ্ন হয়তো বা আর উঠবে না কারণ, মানুষ কোনো যন্ত্রের জন্য নির্ধারিত কার্য সম্পাদন করার ক্ষমতার প্রতি বেশি আস্থাশীল। যেহেতু মানুষ-বিশেষজ্ঞ সিদ্ধান্ত গ্রহণের সময় তার অস্থিতিশীল মানসিক অবস্থার উপর নির্ভরশীল থাকে, তাই সে সবসময় যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণে সক্ষম হয় না। মানুষ-বিশেষজ্ঞের সিদ্ধান্ত গ্রহণে উল্লেখযোগ্য অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– মানুষ–বিশেষজ্ঞের দ্বারা সমস্যা সবসময় যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় না ; মানুষ–বিশেষজ্ঞ কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সম্বন্ধে তার স্মৃতিভাণ্ডারে রক্ষিত সকল তথ্য তাৎক্ষণিকভাবে আহরণ করতে পারে না ;

– মানুষ–বিশেষজ্ঞ একই সাথে কোনো সমস্যা সমাধানের জন্য ৭+২ এর বেশি সংখ্যক বিকল্প সমাধান বিচার করতে পারে না ;

– তথ্য আহরণ, সংরক্ষণ ও তা প্রক্রিয়াকরণে মানুষ ধারাবাহিকতা বজায় রাখতে পারে না ;

– কয়েকটি বিকল্প সমাধানের মধ্যে একটি সমাধান বেছে নেয়ার জন্য মানুষ সাধারণত তার ইন্টুইশন দ্বারাই পরিচালিত হয়, যার কোনো যুক্তিগত অগ্রাধিকার ভিত্তি থাকে না।

উপরিউক্ত অসুবিধাজনক দিকগুলি থেকে আংশিকভাবে মুক্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য প্রচলিত পদ্ধতি বা প্রোগ্রামকে এক্সপার্ট সিস্টেম নামে অভিহিত করা হয়। এক্সপার্ট সিস্টেমগুলি জ্ঞানের ভিত্তিতে কাজ করে থাকে বলে তাদের অনেক সময় জ্ঞানভিত্তিক পদ্ধতিও বলা হয়। কোনো এক্সপার্ট সিস্টেমের যেসব বৈশিষ্ট্য থাকা প্রয়োজন, তা হলো :

– জ্ঞানের যথাযথভাবে প্রস্তাবনা ও তাকে নিয়ন্ত্রণ করার ক্ষমতা ;

– নলেজ-বেস বা জ্ঞানভাণ্ডার ব্যবহার করার ক্ষমতা ;

– যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণের ক্ষমতা ;

– নলেজ-বেসের পরিবর্তন, পরিবর্ধন ও তার প্রক্রিয়াকরণের ক্ষমতা ;

– সিস্টেম ব্যবহারকারীর সাথে যোগাযোগ বা ইন্টারফেস বজায় রাখার ক্ষমতা।

এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরির সময় উপরিউক্ত মূল বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে আরও অনেক অবস্থাভিত্তিক প্রয়োজনীয় বৈশিষ্ট্য যোগ হতে পারে। কোনো বিশেষজ্ঞ তার লব্ধ জ্ঞান এক্সপার্ট সিস্টেমে বাস্তবায়ন করার সময় বুঝতে পারে যে, সে যতটুকু জ্ঞান রাখে বলে মনে করে প্রকৃতপক্ষে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে তার জ্ঞান আরও অনেক বেশি। মানুষ-বিশেষজ্ঞের বেশিরভাগ জ্ঞান বা তথ্যই তার অবচেতন স্মৃতিতেই রক্ষিত থাকে। কাজেই তার জ্ঞান বাস্তবায়ন করার সময়ই কেবল সে সেসব জ্ঞানের উদ্ধার নিজস্ব স্মৃতি থেকে করতে পারে। শুধু তাই নয়, মানুষ-বিশেষজ্ঞ অনেক সিদ্ধান্তই তার অবচেতন মনে নিয়ে থাকে। কিন্তু তার সিদ্ধান্ত গ্রহণের কারণ ব্যাখ্যা বা তা সিস্টেমে বাস্তবায়িত হতে হলে বিশেষজ্ঞ কর্তৃক অবশ্যই সমস্ত ব্যাপারটি যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হতে হবে। তাই যে কোনো বুদ্ধিমত্তা সম্পন্ন পদ্ধতির মূল বৈশিষ্ট্যই হলো সেই পদ্ধতিতে জ্ঞানের প্রস্তাবনা।

৩.৩ জ্ঞানের প্রস্তাবনা (Knowledge Representation)

মানুষ ভাষা ব্যতিরেকেও অনেক কিছু বুঝতে পারে, তথ্য সংগ্রহ করতে পারে বা সিদ্ধান্ত নিতে পারে। কিন্তু কোনো কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন পদ্ধতি যেমন কম্পিউটারের পক্ষে জ্ঞান প্রস্তাবনার মাধ্যম ব্যতিরেকে সেখানে জ্ঞান সংক্রান্ত কোনো কাজই সম্ভব নয়। উপরন্তু, কোনো বিপুল পরিমাণ জ্ঞান প্রস্তাবনার উপযোগী পদ্ধতি ছাড়া কৃত্রিমভাবে প্রয়োগ বা প্রক্রিয়াযোগ্য নয়।

জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল তৈরির জন্য যেসব ফ্যাক্টর ধর্তব্যের মধ্যে আনা দরকার, তা হলো প্রস্তাবনার ইউনিফরমিটি বা সুষমতা ও তার সহজবোধ্যতা। প্রস্তাবনার ইউনিফরমিটি ও সহজবোধ্যতা যুক্তিগত সিদ্ধান্তের মাধ্যমে নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থাকে সহজবোধ্য করে তোলে। জ্ঞান প্রস্তাবনার পদ্ধতিটি এক্সপার্ট সিস্টেম ও তার ব্যবহারকারী উভয়ের কাছেই গ্রহণযোগ্য হতে হবে। কিন্তু প্রস্তাবনার এই বৈশিষ্ট্যগুলি বজায় রাখা বেশ কঠিন কাজ। সহজ সমস্যাগুলির প্রস্তাবনার ক্ষেত্রে কিছু মাধ্যমিক সমঝোতা সৃষ্টি করা যায় কিন্তু জটিল ও বৃহদাকার সমস্যাগুলির জন্য সুসংবদ্ধ ও মডিউল আকারের প্রস্তাবনার প্রয়োজন। এ পর্যন্ত জ্ঞান প্রস্তাবনার জন্য যেসব মডেল চালু আছে সেগুলি হলো :

- সিমান্টিক্যাল নেট মডেল,
- ফ্রেম মডেল বা কম্পিউটার ফ্রেম মডেল,
- লজিক্যাল মডেল,
- প্রোডাকশন মডেল বা রুল বেস্‌ড মডেল ; ব্ল্যাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল,
- অ্যাক্সিওম্যাটিকভাবে লিখন মডেল,
- গ্রাফ মডেল,
- রিলেশন মডেল বা টেবিল মডেল,
- টেনসর মডেল,
- ক্যাটেগরিভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল,

– অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল (লিংগুইস্টিক মডেল, ফাজি লজিক ইত্যাদি)।

উপরিউক্ত মডেলগুলির মধ্যে প্রথম চারটি মডেলকেই জ্ঞান প্রস্তাবনার মূল মডেল হিসেবে বিচার করা হয়। সর্বশেষ মডেলটি ক্রমান্বয়ে ব্যাপক জনপ্রিয়তা লাভ করছে। সংক্ষিপ্তভাবে সবকটি মডেল সম্বন্ধেই কিছু ধারণা এখানে দেয়া হবে। তবে সর্বপ্রথমে জ্ঞান প্রস্তাবনার সাধারণ বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষ্য করা যাক।

জ্ঞান প্রস্তাবনার পদ্ধতি বলতে সেই পদ্ধতিকেই বুঝায় যা বস্তুক্ষেত্রভিত্তিক জ্ঞানকে কোনো প্রস্তাবনা ভাষার সাহায্যে প্রকাশ করতে সক্ষম। এই পদ্ধতিগুলির যেসব বৈশিষ্ট্য থাকা প্রয়োজন তা হলো :

– জ্ঞানের সংরক্ষণ, বিশ্লেষণ, সাধারণকরণ ও সুসংবদ্ধকরণের ক্ষমতা,

– অপ্রয়োজনীয় পুরাতন জ্ঞান বর্জন ও লব্ধ জ্ঞান থেকে দ্বৈত অর্থ অপসারণের ক্ষমতা,

– জ্ঞান ও তা ব্যবহারকারীর মধ্যে ইন্টারফেস তৈরি করার ক্ষমতা।

এবারে দেখা যাক উপরিউক্ত জ্ঞান প্রস্তাবনা মডেলগুলিতে এই বৈশিষ্ট্যগুলি কি পরিমাণে বিদ্যমান।

৩.৪ লজিক্যাল মডেল

জ্ঞান প্রস্তাবনার লজিক্যাল মডেলের ভিত্তি হিসেবে কাজ করে গাণিতিক লজিক। গাণিতিক লজিকের ভিত্তিতে প্রস্তাবিত ভাষাগুলির মধ্যে পূর্বাভাস প্রদানের ভাষা, ফরমাল প্রেডিকেটের সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের ভাষা, মডাল লজিক ইত্যাদি উল্লেখযোগ্য। লজিক্যাল পদ্ধতিতে জ্ঞানকে কতকগুলি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। সূত্রগুলি কনস্টান্ট, ভ্যারিয়েবল, ফাংশন, প্রেডিকেট, লজিক্যাল সংযোগ ও কোয়ান্টার দ্বারা গঠিত হয়। এই মডেলে সকল প্রকার জ্ঞানই একই প্রকার ফরমালিজমের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়। যেমন এই পদ্ধতিতে কিছু সিন্টাক্স রুল প্রদত্ত থাকে এবং কোনো প্রকাশনা সঠিক কিনা তা ঠিক করা হয় এটি সেই সিন্টাক্স-রুলের আওতায় পড়ে কিনা তার ভিত্তিতে। একইভাবে কিছু সিমান্টিক রুলের ভিত্তিতে ঠিক করা হয় কোনো প্রকাশনা সিমান্টিকভাবে সঠিক কি না। এই মডেলে মূলত ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিক ব্যবহার করা হয়। যেমন :

পিতা (কামাল,মমতাজ) : কামালের পিতা মমতাজ।

রাজধানী (বাংলাদেশ, ঢাকা) : বাংলাদেশের রাজধানী ঢাকা।

ভালোবাসি (আমি, তোমাকে) : আমি ভালবাসি তোমাকে।

অস্তিত্বসূচক কোয়ান্টার (∃) এবং সর্বপ্রয়োগসূচক কোয়ান্টার (∀) ব্যবহারের দ্বারা সঠিকভাবে তৈরি সূত্রের উদাহরণ নিম্নরূপ :

(∃X) [হাতি (X) ∨ বুদ্ধিমান (X)] : কিছু হাতির অস্তিত্ব আছে যেগুলি বুদ্ধিমান।

(∀X) [হাতি (X) → রং (X, কালো] : সব হাতির রং কালো।

লজিক্যাল মডেলের বৈশিষ্ট্য হলো– এই মডেলের পূর্ণ তাত্ত্বিক ভিত্তি বিদ্যমান এবং এই মডেলের সাহায্যে জ্ঞান অনেক সুনির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত হয় ও তার ভিত্তিতে একক সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়। এই মডেলে সুনির্দিষ্ট সিন্টাক্স ও সিমান্টিক্সের সাহায্যে সুস্পষ্টভাবে জ্ঞান প্রস্তাবিত হতে পারে। এজন্য আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিশেষজ্ঞরা ক্রমান্বয়ে এই মডেলের প্রতি দিচ্ছেন অধিকতর মনোযোগ এবং তার ব্যাপক উন্নতি সাধনের চেষ্টা করছেন।

অবশ্য এই মডেলের ব্যবহারে বেশ কিছু অসুবিধা বিদ্যমান। যেমন, আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বেশিরভাগ গবেষকরাই ইনফরমাল চিন্তাধারায় অভ্যস্ত। তাই এ যাবৎ নলেজ বেসের গঠন ফরমাল লজিকের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণভাবে গড়ে উঠে নি। উপরন্তু, ফরমাল লজিকের সাহায্যে সহজ সমস্যাগুলিরই কেবল সমাধান করা সম্ভব, জটিল সমস্যাগুলির ফরমাল লজিকের সাহায্যে প্রস্তাবনা ও সমাধান অত্যন্ত অসুবিধাজনক। ফরমাল লজিকের গবেষকরা মূলত এর তাত্ত্বিক দিক নিয়েই বেশি গবেষণা করে থাকেন। যেহেতু মানুষের যুক্তিগত বুদ্ধিমত্তা তার অনির্দিষ্ট জ্ঞানের ভিত্তিতে কাজ করে থাকে, তাই কঠিন যুক্তির বাঁধা ধরা নিয়মের আওতায় পরিপূর্ণভাবে মানুষের জ্ঞানের প্রস্তাবনা সম্ভব নয়। এ কারণে ইদানীং লজিক্যাল মডেলের সাহায্যে অনির্দিষ্ট অপূর্ণ জ্ঞানকে প্রস্তাব করার প্রচেষ্টা হিসেবে মডাল লজিক ও ইমপ্লিকেটিভ লজিকের উদ্ভাবন করা হয়। লজিক্যাল মডেলে আরও একটি নতুন উদ্ভাবিত পথ হলো–অ্যাক্সিওম্যাটিক লিখন মডেল। এই মডেলের তিনটি দিকে বিশেষভাবে নজর দেয়া হয় :

– জ্ঞানের অর্থের ধরন,

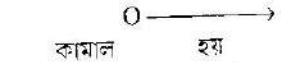
– জ্ঞানের গঠন,

– জ্ঞানকে কম্পিউটারে গণনা কাজে ব্যবহারের সম্ভাবনা।

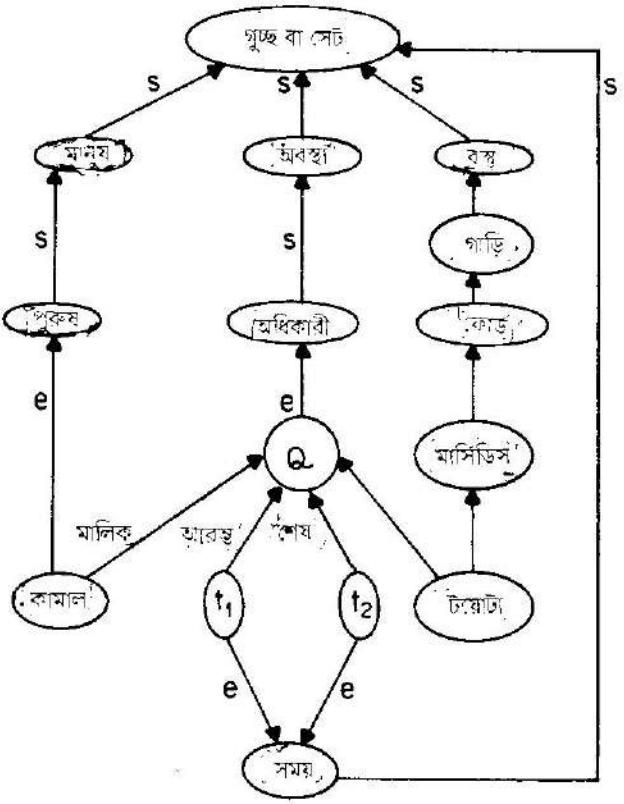
এই মডেলের সাহায্যে DECART প্রোগ্রাম ভাষাটি সৃষ্টি করা হয় এবং এক্সপার্ট সিস্টেম SPORA তৈরি করা হয়। PROLOG প্রোগ্রাম ভাষাটিও এই মডেলের ভিত্তিতে সৃষ্ট।

৩.৫ সিমান্টিক নেট মডেল

এই মডেলে সিমান্টিক নেট পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। সিমান্টিক নেট পদ্ধতিতে প্রদত্ত তথ্য এমনভাবে সংগঠিত করা হয়, যাকে নেটের সাথে তুলনা করা যায়। সিমান্টিক নেটের কোনো সুনির্দিষ্ট সংজ্ঞা নেই, তবে নেট বলা হয় এজন্য যে একটি নট বা গিট দ্বারা কোনো বিষয়বস্তু বা তার অর্থকে প্রকাশ করা হয় এবং এক নট থেকে অন্য নটকে সংযোগকারী লাইনের সাহায্যে নটগুলি দ্বারা চিহ্নিত বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, যদি দুটি নটকে "কামাল" ও "শিক্ষক" দ্বারা চিহ্নিত করা হয় এবং তাদের সংযোগকারী লাইন দ্বারা "হয়" সম্পর্কটি প্রকাশ করা হয়, তবে প্রদত্ত এই



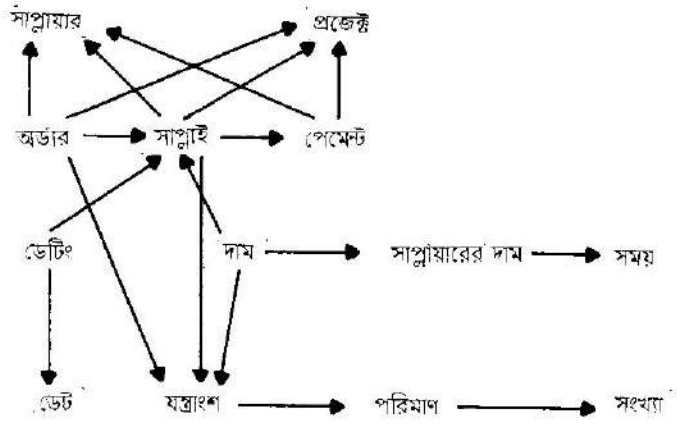
নেটটি দ্বারা 'কামাল হয় শিক্ষক' এই কথাটিকেই প্রকাশ করা হচ্ছে। এবারে নিম্নলিখিত উদাহরণের সাহায্যে দেখা যাক 'কামাল t_1 সময় থেকে t_2 সময় পর্যন্ত একটি টয়োটা গাড়ির মালিক ছিল এই কথাটিকে সিমান্টিক নেটের সাহায্যে কিভাবে প্রকাশ করা যায়।



চিত্র: ৩.১

৩.১ চিত্রে যে নেট দেখানো হয়েছে তাতে সম্পর্কগুলি s ও e দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। s বলতে এখানে সাবসেট বা অবগুচ্ছ এবং e দ্বারা এলিমেন্ট বুঝানো হয়েছে। এই নেট থেকে এটি সুস্পষ্ট হয়ে উঠেছে যে, একটি বাক্যকে মানুষের পক্ষে বুঝা সম্ভব হলেও সেটি কম্পিউটারকে বুঝানোর জন্য তার প্রতিটি শব্দের অর্থ ও তাদের মধ্যে সম্পর্ক সুস্পষ্ট করার জন্য তা সুসংগঠিতভাবে প্রকাশ করতে হবে। 'কামাল' কথাটি বলতে আমরা সহজেই বুঝে নিয়ে থাকি যে, কামাল একজন পুরুষ মানুষ। কিন্তু কম্পিউটারকে তা সুস্পষ্টভাবে না বললে তার পক্ষে বুঝা সম্ভব নয় 'কামাল' বলতে কি বুঝায়। তেমনি 'টয়োটা' শব্দটি দ্বারা একজন মানুষ সহজেই বুঝতে পারে যে, টয়োটা একটি গাড়ি জাতীয় বস্তু। কিন্তু কম্পিউটারকে তা সুস্পষ্টভাবে না জানালে তার পক্ষে মোটেই জানা সম্ভব নয় 'টয়োটা' শব্দটি দ্বারা কি বুঝায়। একইভাবে t_1 ও t_2 দ্বারা সময়কে বুঝানো হয়েছে এবং তাদের মধ্যে একটি 'আরম্ভ সময়' অন্যটি 'শেষ সময়' এবং এই সময়গুলি দ্বারা 'কামাল' ও 'টয়োটা' নামক বস্তু দুটি 'অধিকারী' নামক অবস্থার মাধ্যমে সম্পর্কিত।

এবারে সিমান্টিক নেটের আরেকটি উদাহরণ লক্ষ্য করা যাক। এই উদাহরণে এমন একটি অবস্থার প্রস্তাবনা করা হয়েছে, যে অবস্থায় কোনো প্রজেক্টের আওতায় কিছু যন্ত্রাংশের অর্ডার দেয়া হয়েছে এবং সাপ্লায়ারকে তার দাম প্রদান করা হয়েছে।



চিত্র : ৩.২

সিমান্টিক নেটের সাহায্যে জ্ঞান বা তথ্য প্রকাশ করতে হলে নিম্নলিখিত ফ্যাক্টরগুলির প্রতি বিশেষ নজর দেয়া দরকার :

— নেটের দ্বারা সিমান্টিক ও সিন্টাক্টিক উভয় জ্ঞানের প্রস্তাবনা প্রয়োজন। একই সাথে লিঙ্গুইস্টিক বা ভাষাগত এবং লজিক্যাল বা যুক্তিগত জ্ঞানও সম্পর্কযুক্ত হতে হবে।

– নেটে সকল তথ্য সুষমভাবে প্রস্তাবিত হতে হবে এবং তথ্য সন্ধান প্রক্রিয়া যথেষ্ট সহজসাধ্য ও দ্রুতগতিতে সম্পন্ন হতে হবে।

– নেটের গঠন উত্তরাধিকারভিত্তিক বা হিরারখিকাল হতে হবে।

– নেটের গঠনে সিমান্টিকভাবে কাছাকাছি বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক পরিস্ফুটন প্রক্রিয়া প্রতিফলিত হতে হবে।

– নেটে বিভিন্ন বিষয়বস্তু ও অবস্থাগুলিকে বিভিন্ন ক্লাসে বা গ্রুপে বিভক্তকরণের ব্যবস্থা থাকতে হবে।

– নেটের অ্যাসোসিয়েটিভ গুণ থাকতে হবে যাতে করে বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে যেগুলি সিমান্টিক্স নেটে উল্লিখিত হয়নি, সেগুলি যেন সেকেন্ডারিভাবে নেটে সংযুক্ত করা যায়।

– নেটে তথ্য সংরক্ষণ ব্যবস্থায় স্থান সংকুলানে মিতব্যয়ী হতে হবে।

সিমান্টিক নেট মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনার সুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– সন্ধান প্রক্রিয়াজনিত সমস্যাগুলির সমাধান সহজেই পাওয়া যায় কারণ, বিষয়বস্তুগুলি হিরারখিকালভাবে সাজানো থাকে এবং তাদের সাথে সংযুক্ত সকল প্রকার বৈশিষ্ট্যও দেয়া থাকে।

– একই সাথে সিন্টাক্টিক্যাল ও সিমান্টিক্যাল জ্ঞানের সমাহারের ফলে সিমান্টিক নেটে জ্ঞানের নবায়ন সহজতর হয়।

– গ্রাফিকালভাবে জ্ঞান প্রস্তাবিত হওয়ায় এক নজরেই বিভিন্ন বিষয়বস্তুর মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করা যায়।

– বর্ণনামূলক (ডিক্লারেটিভ) ও গঠনমূলক (প্রসিডিউরাল) জ্ঞান এই মডেলে সমন্বিতভাবে প্রকাশ করা যায়।

সিমান্টিক নেট মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনার অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– এই মডেলের সাহায্যে সিমান্টিক্যাল সম্পর্ক নির্ধারণের লাইনগুলির সংখ্যা অত্যধিক হওয়ার ফলে বিশ্লেষণমূলক অ্যালগরিদম তৈরি করা বেশ কঠিন কাজ।

–সিমান্টিক নেটে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে সকল তথ্য ও তার গঠন প্রকাশ করা সম্ভব হয় না।

– সিমান্টিক নেটের জটিলতার কারণে তার সাহায্যে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা বেশ কঠিন।

–সিমান্টিক নেটের নট ও সংযোগ রেখাগুলিকে কোনো বাঁধাধরা নিয়মমাফিক গঠন করা হয় না বলে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে যথেষ্ট জটিলতা দেখা দেয়।

–সিমান্টিক নেট গঠনের এ পর্যন্ত কোনো সার্বজনীন নিয়ম ঠিক করা হয় নি।

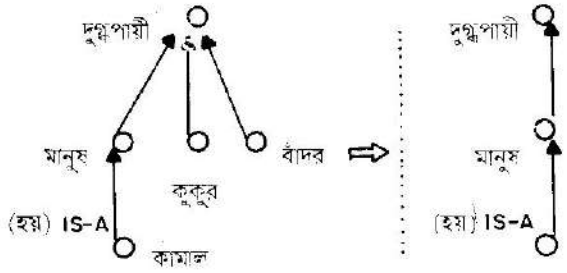
–সিমান্টিক নেটের সাহায্যে কেবল বিশেষ বিশেষ ধরনের সমস্যার প্রস্তাবনা ও সমাধান করা সম্ভব। এই মডেলের দ্বারা সব ধরনের সমস্যা ও জ্ঞান সুস্পষ্টভাবে প্রস্তাব করা সম্ভব নয়।

যেসব সিমান্টিক নেটে নতুন ধরনের ধারণা ও ধারণাগুলির মধ্যে সংযোগ সাধন করা হয়, সেই নেটগুলিকে প্রলম্বিত সিমান্টিক নেট বলা হয়। অ্যাসোসিয়েটিভ, ডাইনামিক, হিরারখিকাল ও ইকনোমিক্যাল গুণ উন্নয়নের দ্বারা সাধারণ সিমান্টিক নেট থেকে উন্নতমানের 'পিরামিড নেট' তৈরি করা সম্ভব। পিরামিড নেট নাম দেওয়ার কারণ, সেগুলিতে জ্ঞানকে পিরামিড এর ন্যায় সাজানো হয়। পিরামিড নেটের বিশেষ বৈশিষ্ট্য হলো যে এর সাহায্যে নেটের কেবল অংশবিশেষ পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে যে কোনো তথ্য সহজেই বের করা যায়।

পিরামিড নেটের আরেক ধরনের মডিফিকেশন হলো k–নেট বা নলেজ নেট। এই নেটে ইন্ডেক্স ব্যবহারের দ্বারা প্রেডিকেট নির্ধারণ করা হয়। k–নেটে নটগুলি বিষয়বস্তুকে চিহ্নিত করে এবং সংযোগরেখাগুলি নটগুলির মধ্যে বাইনারি সম্পর্ক নির্ধারণ করে। k–নেটের বিশেষ বৈশিষ্ট্য হলো এই যে, সমস্ত নেটটি কয়েকটি ভাগে বিভক্ত থাকে এবং লজিক্যাল অপারেশন ব্লকের সাহায্যে তাদের মধ্যে সংযোগ সাধন করা হয়। কাজেই সাধারণ সিমান্টিক নেট যখন কেবল একটি বিষয়বস্তুর জ্ঞান প্রস্তাব করতে পারে, k–নেটগুলি ব্লক গঠনের মাধ্যমে অনেকগুলি বিষয়বস্তুর জ্ঞান প্রস্তাবিত হতে পারে ও তাদের অভ্যন্তরীণ সম্পর্ক নির্ধারণ করতে পারে।

সিমান্টিক নেটের সাহায্যে জ্ঞানের প্রস্তাবনার সাথে সাথে সিদ্ধান্ত গ্রহণের প্রক্রিয়া নিয়েও ব্যাপক গবেষণা করা হয়েছে এবং হচ্ছে। সিমান্টিক নেটে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়

সাধারণ কমন নট সম্বলিত সংযোগ রেখাগুলির মধ্যে সম্পর্কের দ্বারা। নিম্নের উদাহরণে 'IS A' এই সম্পর্কের দ্বারা 'কামাল হয় দুগ্ধপানকারী' এই কথাটি প্রকাশ করা হয়েছে। এর জন্য প্রথমে 'কামাল IS A মানুষ IS A দুগ্ধপানকারী এই দুটি সম্পর্কের সংযোগ সাধনের মাধ্যমে কামাল IS A মানুষ IS A দুগ্ধপানকারী এই কথাটি প্রকাশ করা হয়েছে। সিমান্টিক নেটের সাহায্যে আরও সাধারণভাবে সমাধান বা সিদ্ধান্ত নেয়ার পদ্ধতি বের করার ব্যাপারে ব্যাপকভাবে গবেষণা হচ্ছে। তবে সন্তোষজনক ফল এখনও পাওয়া যায় নি। অবশ্য শুধু সিমান্টিক নেটের সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের চেয়ে সিমান্টিক নেট মডেলের সাথে অন্যান্য মডেলের সংযোগ সাধন করে সিদ্ধান্ত নিলে অধিকতর সন্তোষজনক ফল পাওয়া যায়।



চিত্র : ৩.৩

৩.৬ ফ্রেম মডেল

জ্ঞান প্রস্তাবনার ফ্রেম মডেল এম, মিনস্কের ফ্রেম তত্ত্বের (১৯৭৫) উপর ভিত্তি করে প্রতিষ্ঠিত। এই মডেলে মানুষের স্মৃতিশক্তি ও তার সচেতনতার অনুকরণ করার চেষ্টা করা হয়। এই মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনার সকল বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান এবং এই মডেলকে তথ্য প্রক্রিয়াকরণের নতুন পথ হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। ইতোমধ্যেই এই মডেলের সাহায্যে কিছু প্রোগ্রাম ভাষা গঠন করার চেষ্টা করা হচ্ছে।

ফ্রেমকে জ্ঞান ব্যবহারের দৃষ্টিকোণ থেকে বিষয়বস্তুর অর্থ প্রকাশ করার পদ্ধতি হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। ফ্রেম হচ্ছে জ্ঞান প্রস্তাবনার এমন একটি পদ্ধতি যার সাহায্যে প্রোডাকশন মডেল, প্রেডিকেট লজিক মডেল ও সিমান্টিক মডেলকে একই সাথে ব্যবহারের মাধ্যমে মানুষের আগ্রহ ও ইচ্ছানুসারে পারিপার্শ্বিকতার সাথে সামঞ্জস্য রেখে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে জ্ঞানকে প্রস্তাব করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, একজন মানুষ কাজ থেকে বাড়ি ফেরার পথের চিন্তাটিকে বিষয়বস্তু হিসেবে ধরা যাক। প্রথমে ফিরতি পথের সম্বন্ধে তার ধারণাক্ষেত্রটি কোনো একটি এলাকার পরিসরে ব্যাপ্ত থাকে। এই পরিসরে সে গন্তব্যপথ, যানবাহনের স্টপেজ ইত্যাদি সম্বন্ধে চিন্তা করে। সে যতই বাড়ির কাছকাছি আসতে থাকে গন্তব্যপথ সম্বন্ধে তার চিন্তা-পরিসর ক্রমান্বয়ে ততই সংকীর্ণ হতে থাকে। যখন সে বাড়িতে পৌঁছে যায় তখন তার চিন্তা-পরিসর তার নিজস্ব ঘরে পৌঁছানোতেই সীমাবদ্ধ হয়। যখন সে ঘরের মধ্যে প্রবেশ করে তখন তার চিন্তা-পরিসর তার ঘরের চার দেয়ালের মধ্যেই সীমাবদ্ধ

হয়ে পড়ে। এখন উপরিউক্ত গন্তব্য পথের জ্ঞানকে ফ্রেম আকারে প্রকাশ করলে প্রতিটি ধাপকেই এক একটি ফ্রেম হিসেবে দেখা যেতে পারে, যেগুলির প্রত্যেকেরই নিজস্ব পরিসর ও সীমাবদ্ধতা বিদ্যমান।

ফ্রেম তত্ত্বে তার বাস্তবায়ন পদ্ধতি সম্পর্কে তেমন কিছু উল্লেখ করা হয় নি। ফ্রেম তত্ত্ব পত্তনের সাথে সাথেই তার ভিত্তিতে কিছু প্রোগ্রাম ভাষার সৃষ্টি হয় যেগুলির সাহায্যে বিষয়বস্তু জগতের সাথে সম্পর্কযুক্ত সকল প্রকার ক্রিয়াকলাপ বিবেচিত ও উল্লিখিত হয়। প্রতিটি ফ্রেমের সাথে সম্পর্কযুক্ত প্রোগ্রামগুলি প্রয়োজনবোধে বিশেষ প্রোগ্রামের সাহায্যে একটি অন্যটির সাথে তথ্য বিনিময়ের মাধ্যমে সার্বিক নিয়ন্ত্রণ পদ্ধতি বাস্তবায়ন করে। যদিও এই প্রোগ্রামগুলি সরাসরি ফ্রেম তত্ত্বের সাথে সম্পর্কযুক্ত নয় তথাপি ফ্রেম তত্ত্ব পত্তনের পরপরই এই প্রোগ্রামগুলি কম্পিউটারে বাস্তবায়নের উপযোগী হিসেবে তৈরি হয়। তাই এই প্রোগ্রামগুলিকেই মূলত জ্ঞান প্রস্তাবনার ফ্রেম মডেল হিসেবে ধরা যেতে পারে। এজন্য অনেক সময় ফ্রেম মডেলকে কম্পিউটার ফ্রেম মডেল বা প্রসিডিউরাল মডেল বলা হয়ে থাকে।

এবারে দেখা যাক ফ্রেম মডেলের সাহায্যে কিভাবে জ্ঞান প্রস্তাবনা সম্ভব হয়। ফ্রেম মডেলে একটি একক বস্তুকে একটি ফ্রেমের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এই ফ্রেম হচ্ছে এমন একটি অবস্থার প্রস্তাবনা যে অবস্থায় কোনো বিষয়বস্তুকে তার অর্থ ও আকৃতির ভিত্তিতে বিচার করা হয়। কোনো ফ্রেমকে চিহ্নিত করার জন্য সেই ফ্রেমের একটি নাম দেয়া হয়। কোনো ফ্রেম পদ্ধতিতে সেই নাম কেবল কোনো একটি বিশেষ ফ্রেমকেই চিহ্নিত করবে। প্রতিটি ফ্রেমেরই নিজস্ব অভ্যন্তরীণ গঠন বিদ্যমান যেখানে 'স্লটগুলিরও নিজস্ব নাম ও অভ্যন্তরীণ গঠন বিদ্যমান।

কোন ফ্রেমের সাহায্যে কি কি ধরনের অবস্থাকে প্রস্তাব করা হবে তা ঠিক করে ফ্রেম ব্যবহারকারী। কিছু সংখ্যক ব্যক্তি বিশেষ বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে কিছু বিচার করলে তা একটি বিশেষ অবস্থার সৃষ্টি করে যা একটি ফ্রেমের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। প্রথমে স্লটের সাহায্যে ফ্রেম দ্বারা প্রস্তাবিতব্য বিষয়বস্তুর সম্বন্ধে সুনির্দিষ্ট তথ্য প্রস্তাবিত হয়। যদি এমন কোনো তথ্য প্রদত্ত হয় যা কোনো স্লটের তথ্য প্রস্তাবনার জন্য প্রয়োজনীয় শর্তগুলি পূরণ করে, তবে সেই প্রদত্ত তথ্যগুলি ফ্রেমের সাথে সমন্বিত হিসেবে বিচার করা হবে। নিম্নের উদাহরণের সাহায্যে ফ্রেম দ্বারা 'মানুষ' কে কিভাবে প্রস্তাব করা যায় তার প্রতি আলোকপাত করা হয়েছে।

ফ্রেম	: নাম
ক্লাস	: প্রাণী
গঠন উপাদান	: মাথা, গলা, হাত, পা,....
দৈর্ঘ্য	: ৩০ থেকে ২৫০ সে.মি.
ওজন	: ১ থেকে ২০০ কি. গ্রাম.
লেজ	: নেই
ভাষা	: বাংলা, ইংরেজি, হিন্দি, রুশ,....
অনুরূপ ফ্রেম	: গরিলা

মানুষ ফ্রেমের উদাহরণ

ধরা যাক এ ধরনের ফ্রেমের সাহায্যে জ্ঞানের প্রস্তাবনা হয়েছে কোনো একটি জ্ঞান পদ্ধতিতে। যদি এই জ্ঞান পদ্ধতিতে কোনো অবজেক্টকে মানুষ হিসেবে চিহ্নিত করতে হয় তবে 'মানুষ' নামক ফ্রেমে প্রস্তাবিত বিভিন্ন স্লটের দ্বারা প্রস্তাবিত বিভিন্ন অ্যাট্রিবিউট বা বৈশিষ্ট্যগুলির প্রতি নজর দিতে হবে। সর্বপ্রথম স্মৃতিশক্তি থেকে মানুষ' ফ্রেমটি বের করতে হবে। তারপর যদি প্রদত্ত অবজেক্টটি 'মানুষ' ফ্রেমের সবকটি স্লটের বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হয় তবে প্রদত্ত অবজেক্টটিকে মানুষ হিসেবে চিহ্নিত করা হবে। যদি কোনো স্লট–বৈশিষ্ট্য প্রদত্ত অবজেক্টটির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ না হয়, যেমন তার ওজন ২০০ কি. গ্রা. এর বেশি হয় তবে অবজেক্টটিকে মানুষ হিসেবে বিবেচনা করা হবে না। এরপর অবজেক্টটিকে 'অনুরূপ' ফ্রেমের সাথে তুলনা করা হবে।

ফ্রেম মডেলের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য হলো—অ্যাট্রিবিউটগুলির হিরারখিকাল গঠন। যদি একটি অবজেক্ট কয়েকটি ফ্রেমের দ্বারা প্রস্তাবিত হয় তবে সেই ফ্রেমগুলির মধ্যে একটি হিরারখিকাল সম্পর্ক থাকে। এজন্য উচ্চতর ফ্রেমের সাথে নিম্নতর ফ্রেমের সম্পর্ক 'IS A' অথবা 'PART OF' সম্পর্কের দ্বারা প্রকাশিত হয় এবং উচ্চতর ফ্রেমের আওতায় প্রস্তাবিত স্লটগুলিকে একই নামে নিম্নতর স্লটে প্রস্তাবিত হয়। ফ্রেমের মধ্যে হিরারখিকালভাবে তথ্য প্রস্তাবনায় 'অনুরূপ', 'একমাত্র', 'পরিসর' ইত্যাদি শব্দগুলি ব্যবহার করা যায়। ধরা যাক, 'মানুষ' নামের ফ্রেমের 'লেজ' নামক স্লটটির হিরারখিকাল মান দেয়া হলো 'না', তাহলে নিম্নতর 'পুরুষ' নামক ফ্রেমে 'লেজ' স্লটটি বৈশিষ্ট্যযুক্ত হলো। এখন 'মানুষ' ফ্রেমে 'ওজন' স্লটটি (১ থেকে ২০০) কি. গ্রা . হিসেবে প্রস্তাবিত হলে একই ধরনের সকল ফ্রেমেই এই স্লটটি সেই একই ধরনের ওজন পরিসরে থাকতে হবে। ফ্রেমের হিরারখিকাল বৈশিষ্ট্য সংযোগের ফলে তথ্য প্রকাশনায় পুনরাবৃত্তি ও দ্বৈত অর্থ নিরসনে সহায়ক হয়।

স্লটের সাহায্যে বিভিন্ন মান প্রকাশ করা হয়। স্লটের মানগুলির ধরনও বিভিন্ন হতে পারে যেমন– সাংখ্যিক মান, টেক্সট বা অন্য কোনো ফ্রেম বা স্লটের প্রতি নির্দেশকরণ, কোনো ফাংশন মান ইত্যাদি। এজন্য স্লটগুলিকে ফ্রেমে প্রসিডিউরাল উপায়ে প্রকাশ করা হয়।

ফ্রেমের নাম
  স্লটের নাম
    হিরারখি : (অনুরূপ, একমাত্র, পরিসর, ...)
    স্লটের অ্যাট্রিবিউট : (টেক্সট, সাংখ্যিক মান, নির্দেশক, ...)
    তেমন
  স্লটের নাম
  –
  –

ফ্রেমের গঠন প্রণালি

ফ্রেম মডেলে ফ্রেমগুলির মধ্যে তথ্য বিনিময়ের মাধ্যমে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়। এজন্য ফ্রেমগুলির মধ্যে হিরারখিকাল সম্পর্ক বিশেষভাবে কার্যকর হয় । 'তেমন' নামক ফাংশনটির

সাহায্যে স্বয়ংক্রিয়ভাবে কোনো প্রসিডিউরের অবতারণা করা হয় যদি কোনো বিশেষ মানের উদ্ভব হয়।

ফ্রেম মডেলের সুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– ফ্রেম মডেলে ডিক্লারেটিভ (বর্ণনামূলক) ও প্রসিডিউরাল (গঠনমূলক) জ্ঞানের সমন্বয় সাধনের মাধ্যমে ব্যাপকভাবে জ্ঞানের প্রস্তাবনা সম্ভব হয়।

– ফ্রেম মডেল জ্ঞান প্রস্তাবনায় মডিউল পদ্ধতির ব্যবহার, হিরারখিকাল সম্পর্কের ব্যবহার, স্থির বা স্ট্যাটিক অবজেক্টের জ্ঞান প্রস্তাবনা, সময়ের সাথে অবজেক্টের ডাইনামিকভাবে পরিবর্তিত জ্ঞান প্রস্তাবনা, স্লটগুলিতে গৃহীত সিদ্ধান্ত ধারণের ব্যবস্থা ইত্যাদির যথেষ্ট সুযোগ বিদ্যমান।

– ফ্রেম মডেলে অপূর্ণ বা অনিশ্চিত তথ্যের প্রস্তাবনা সম্ভব।

– ফ্রেম মডেলের দ্বারা জ্ঞান চিহ্নিতকরণ ও সংরক্ষণের সাথে সাথে জ্ঞান অনুধাবনের সুযোগ সৃষ্টি করাও সম্ভব।

– ফ্রেম মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনা বাস্তবসম্মত বিধায় বেশ কয়েকটি জনপ্রিয় প্রোগ্রাম ভাষা এই মডেলের ভিত্তিতে হয়েছে যেমন : GUS, FRL, KRL, HPRL, CONSUL, FAUTUS।

ফ্রেম মডেলের অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

– ফ্রেম মডেলের সাহায্যে যে কোনো জটিল ধরনের জ্ঞানকে প্রস্তাব করা সম্ভব হলেও কোনো বিশেষ জ্ঞান পরিসরে আলাদাভাবে ফ্রেম ব্যবহার এখনও সম্ভব নয়।

– বস্তু পরিসরে কোনো বস্তু অন্যান্য বস্তুর সাথে পরস্পর সংযুক্তভাবে প্রস্তাবিত হওয়ার ফলে ফ্রেম মডেলের আকৃতি অত্যন্ত বিরাট হয়ে দাঁড়ায়।

– ফ্রেম মডেলে হিরারখিকাল সম্পর্ক ছাড়া বস্তু-তথ্যগুলির মধ্যে অন্য কোনো সম্পর্ক থাকে না।

– ফ্রেম মডেলে স্থির লক্ষ্য মোতাবেক সিদ্ধান্ত গ্রহণ সম্ভব হলেও প্রদত্ত জ্ঞানগুলিকে সমস্যা আকারে প্রস্তাবনায় জটিলতা হয়।

– ফ্রেম মডেলের এ পর্যন্ত সার্বজনীনভাবে গৃহীত জ্ঞান প্রস্তাবনার নিমিত্তে ফ্রেম গঠনের কোনো ব্যবস্থা নেই।

ফ্রেম মডেলের পরিবর্ধিত রূপ হলো–কম্পিউটার ফ্রেম। এই মডেলের বিশেষ বৈশিষ্ট্যগুলি হলো–

– এই মডেলে কিছু কম্পোনেন্ট থাকে যেগুলির মান কম্পিউটারের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। কম্পোনেন্ট হিসেবে অন্যান্য ফ্রেমগুলিও বিচার করা যেতে পারে।

– এই মডেলে এমন কিছু গণনামূলক সম্পর্ক প্রদত্ত থাকে যার সাহায্যে ফ্রেম কম্পোনেন্টগুলির মান নির্ণয় করা সম্ভব।

– ফ্রেমগুলি ব্যবহারের শর্ত প্রদত্ত থাকে।

– কম্পিউটার ফ্রেম মডেলে সিম্যান্টিক সম্পর্ক কম্পিউটার প্রোগ্রাম মডিউলের সাহায্যে দেয়া থাকে এবং এই প্রোগ্রামগুলি ফ্রেমের বাইরে থাকে। কম্পিউটার ফ্রেম মডেলের সাহায্যে

সংগঠনমূলক ও পরিকল্পনামূলক গণনা কাজ সুবিধাজনক এবং এর সাহায্যে জটিল লজিক্যাল সিদ্ধান্ত গ্রহণও সম্ভব।

৩.৭ প্রোডাকশন (production) বা রুল বেসড (Rule based) মডেল

প্রোডাকশন পদ্ধতি বলতে সেই ধরনের পদ্ধতিকে বুঝায় যা কিছু নিয়মের ভিত্তিতে কাজ করে এবং এই পদ্ধতিতে সুনির্দিষ্ট কিছু নিয়মের শর্তগুলি পূরণ হলে সুনির্দিষ্ট ফলও পাওয়া যায়। প্রোডাকশন মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবিত হয় < যদি...তবে..> এই সম্পর্কের দ্বারা। এই পদ্ধতিতে দুটি বিপরীতধর্মী সিদ্ধান্তগ্রহণ পদ্ধতি বিদ্যমান সরাসরি (direct) সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি এবং পশ্চাৎমুখী (backward) সিদ্ধান্তগ্রহণ পদ্ধতি। প্রথম ধরনের পদ্ধতি মোতাবেক MYCIN নামক এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরি করা হয়, যার সাহায্যে রোগ নির্ণয় করা সম্ভব। দ্বিতীয় ধরনের পদ্ধতিতে OPS নামক পদ্ধতির সাহায্যে প্রজেক্ট জাতীয় সমস্যার সমাধান করা হয়।

সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিতে লক্ষ্যে পৌঁছানোর জন্য প্রদত্ত ফ্যাক্টের ভিত্তিতে বিভিন্ন নিয়মাবলি পরীক্ষা দ্বারা ঠিক করা হয় যে সেই নিয়মের মাধ্যমে প্রাপ্ত সিদ্ধান্ত লক্ষ্যের সাথে মিল খায় কিনা। যদি মিল খায় তবে সেই সিদ্ধান্তটি ডাটা বেসে সংযুক্ত হয়। পশ্চাৎমুখী সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিতে লক্ষ্য থেকে শুরু করা হয় সেই নিয়মটিকে খোঁজার কাজ, যে নিয়মটির সিদ্ধান্তের সাথে লক্ষ্যের মিল আছে। যদি এ রকম নিয়ম পাওয়া যায় তবে সেই নিয়মের অন্তর্বর্তী শর্তগুলিকে পরবর্তী লক্ষ্য হিসেবে বিচার করে পুনরায় নিয়ম খোঁজার কাজ শুরু হয়। এভাবে ততক্ষণ পর্যন্ত লক্ষ্য খোঁজার কাজ চলতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত বিচার্য নিয়মটির লক্ষ্যফল ও প্রদত্ত ফ্যাক্ট একই মানের না হয়।

প্রোডাকশন পদ্ধতিতে কোনো নিয়মের একাধিক শর্ত থাকলেও তার সিদ্ধান্ত একক হয়। যদি সিদ্ধান্ত একের অধিক হয় তবে তা এককে রূপান্তরিত করার ব্যবস্থা করা হয়। যদি লক্ষ্য সুনির্দিষ্ট হয় তবে সিদ্ধান্ত গ্রহণ সহজ হয়। তবে লক্ষ্য অস্পষ্ট হলে সিদ্ধান্ত গ্রহণ বেশ জটিল হয়ে পড়ে। যেমন মেডিকেল এক্সপার্ট সিস্টেমের রোগ নির্ণয় প্রক্রিয়ায় রোগনির্ণয় কাজটিই হচ্ছে মূল লক্ষ্য কিন্তু সিদ্ধান্ত হিসেবে এই মূল লক্ষ্যটিই থাকে অজানা। তাই কেবল লক্ষণের ভিত্তিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করে লক্ষ্য স্থির করতে হয়, আর এজন্য তা অনির্দিষ্ট ও জটিল হয়ে পড়ে।

সিদ্ধান্তগ্রহণমূলক প্রোডাকশন পদ্ধতিতে এবং অথবা সম্পর্কের সাহায্যে ফ্যাক্ট ও সিদ্ধান্তের মধ্যে সংযোগ সাধনের দ্বারা এক ধরনের ট্রি তৈরি করা হয়। সিদ্ধান্ত সন্ধান প্রক্রিয়ায় যেসব পদ্ধতি গ্রহণ করা হয় তাহলো ডেপথ ফার্স্ট (deapth first), ব্রেডথ ফার্স্ট (breadth first), ব্ল্যাকবোর্ড সার্চ (blackboard search), অনিশ্চিত জ্ঞান সমন্বিত যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি ইত্যাদি।

সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিতে সকল ফ্যাক্টকেই বিচারে আনা হয় যার মধ্যে অনেকগুলিই হয়তোবা সিদ্ধান্ত গ্রহণের সাথে সরাসরিভাবে যুক্ত নয়। তাই এই পদ্ধতিতে ডাটা ব্যাংকের আয়তন অত্যন্ত বড় হয়। পশ্চাৎমুখী সিদ্ধান্ত গ্রহণে ফ্যাক্টের কেবল প্রয়োজনীয় অংশই ধর্তব্যের মধ্যে আনা হয়।

সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিসহ প্রোডাকশন মডেলে জ্ঞানের প্রস্তাবনা সর্বাধিক পুরনো এবং জনপ্রিয়ও বটে। এই পদ্ধতিতে তিনটি কম্পোনেন্ট বিদ্যমান : 'রুল-বেস', 'ডাটা-বেস' এবং 'রুল-ইন্টারপ্রেটর' (বা নিয়ম ব্যাখ্যাকারী)। রুল-বেস বিভিন্ন রুলের সমাহারে গঠিত। এর মধ্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের রুলও অন্তর্ভুক্ত থাকে। ডাটা-বেস বিভিন্ন ফ্যাক্টের সমাহারে গঠিত। রুল-ইন্টারপ্রেটর ডাটা-বেস ও রুল-বেসকে ভিত্তি করে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করে। ডাটা-বেস ও রুল-বেসকে একত্রে বলা হয় 'নলেজ-বেস'। ইন্টারপ্রেটর << বোধন-সাধন (সিদ্ধান্ত গ্রহণ) >> এই পদ্ধতিতে কাজ করে। প্রতিটি গৃহীত তথ্য ডাটা-বেসে সংযুক্ত হয়। ফলে ডাটা-বেস প্রাথমিক অবস্থা থেকে লক্ষ্যাবস্থার দিকে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ ডাটা-বেস সিন্থেসিসের মাধ্যমে লক্ষ্য গ্রহণ পদ্ধতিতে রূপান্তরিত হয়।

প্রোডাকশন মডেলের সুবিধাজনক দিকগুলো হলো :

– এই মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনা অত্যন্ত সহজ এবং তা সকল ধরনের সমস্যার জন্য বা সার্বজনীনভাবে প্রযোজ্য।

– নিয়মের মডিউলগুলির সহজবোধ্যতার কারণে তা অত্যন্ত নমনীয় ও সহজে পরীক্ষণীয়, সহজে গঠনযোগ্য এবং সহজে সিদ্ধান্ত গ্রহণের উপযোগী।

– নিয়ম-মডিউলগুলি প্যারালাল কম্পিউটারের সাহায্যে ব্যবহারের উপযোগী।

প্রোডাকশন মডেলের বিভিন্ন সুবিধাজনক দিক থাকা সত্ত্বেও এর বেশ কিছু অসুবিধাজনক দিক বিদ্যমান :

– কিছু কিছু বিষয়বস্তু-ক্ষেত্রের জন্য এই মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনা সহজ হয় না যদি সেই বিষয়বস্তুক্ষেত্রের নিয়ম গঠনে সুনির্দিষ্টতা না থাকে।

– নিয়মগুলির মধ্যে অভ্যন্তরীণ সম্পর্ক অস্পষ্ট থাকে।

– এই পদ্ধতিতে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ অত্যন্ত ধীরগতিসম্পন্ন।

– এই মডেলে যুক্তিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণে নমনীয়তার অভাব।

প্রোডাকশন মডেল অত্যন্ত সহজ ও সাধারণ। DENDRAL ও MYCIN নামক এক্সপার্ট সিস্টেমগুলিতে এই মডেলের ব্যবহারের ফলে তার ব্যাপক উপযোগিতা প্রমাণিত হয়।

DENDRAL এক্সপার্ট সিস্টেমটির ব্যাপারে গবেষণা শুরু হয় ১৯৬৫ সালে এবং এটিকে জ্ঞান-প্রযুক্তির সর্বপ্রথম সাফল্য বললে ভুল হবে না। এই এক্সপার্ট সিস্টেমটির সাহায্যে মাসস্পেক্ট্রোমিটারের মাধ্যমে প্রাপ্ত (পরবর্তীতে এর সাথে নিউক্লিয়াল ম্যাগনেটিক রেজোনান্সের ফলও যোগ করা হয়) পদার্থের রাসায়নিক গঠন সম্পর্কে পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করা হয়। DENDRAL এক্সপার্ট সিস্টেম কোনো অজানা পদার্থের রাসায়নিক গঠন বিভিন্ন ধরনের গঠনের সাথে তুলনা করে যে পদার্থের নামের সাথে ঐ গঠনের মিল পাওয়া যায়, সেই পদার্থ হিসেবেই ঐ পদার্থটিকে চিহ্নিত করা হয়। এই প্রক্রিয়ায় এক্সপার্টের জ্ঞান ব্যবহার করে দ্রুততর লক্ষ্যনির্ধারণী সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায়। এর ফলে এক্সপার্ট-জ্ঞান যত বেশি হয়, সিদ্ধান্ত গ্রহণ ততই সফল হয়। এ কারণে DENDRAL এর পরিবর্ধিত রূপ METADENDRAL তৈরি করা হয় যেখানে সিদ্ধান্তলব্ধ ফলগুলিকেও নলেজ-বেস বা জ্ঞান ভাণ্ডারে সংযুক্ত করা হয়।

প্রোডাকশন মডেলের আরেক ব্যবহার উপযোগী বহুল প্রচলিত MYCIN এক্সপার্ট সিস্টেমের সাহায্যে মেডিকেল ডায়াগোনেস্টিক কাজ করা হয়। যেহেতু ক্লিনিকাল ডায়াগোনেস্টিক বা রোগ নির্ণয়ের কাজটি চিকিৎসকের প্রাত্যহিক কর্মলব্ধ অভিজ্ঞতার ভিত্তিতেই সম্পন্ন হয় এবং যদিও অভিজ্ঞতালব্ধ জ্ঞানগুলি প্রসিডিউরাল ধরনের জ্ঞান কিন্তু এই জ্ঞানগুলি কোনো ফরমাল উপায়ে লিপিবদ্ধ হয় না। তাই তাদের প্রস্তাবনার জন্য প্রয়োজন হয় চলতি প্রাকৃতিক ভাষার কাছাকাছি কোনো প্রস্তাবনা মাধ্যম। এতদসত্ত্বেও প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে রোগের লক্ষণ থেকে রোগ নির্ণয় প্রক্রিয়াটি এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরিতে বিশেষভাবে উপযোগী প্রমাণিত হয়।

MYCIN এ প্রস্তাবিত জ্ঞান অত্যন্ত সাধারণ ধরনের এবং সহজভাবে বোধগম্য। কিন্তু সকল ধরনের ভাষাগত প্রকাশনা বা তথ্য << যদি...তবে...>> এই সম্পর্কের দ্বারা প্রকাশ করা সহজ নয়। প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে MYCIN এ জ্ঞান প্রস্তাবনাই এই মডেলের জন্য কিছুটা সীমাবদ্ধতা সৃষ্টি করে। মানুষের জ্ঞান শুধু MYCIN কেন অন্য যে কোনো একক পদ্ধতিতে প্রস্তাবনা সম্ভব নয়। তাই যে কোনো পেশাভিত্তিক ক্ষেত্রে জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণের জন্য একটি মাধ্যম প্রয়োজন। এই মাধ্যমটি উভয় পক্ষকেই ভালোভাবে বুঝতে পারবে এবং উভয় পক্ষের কাছেই তা বোধগম্য হবে। কিন্তু সমস্যা দাঁড়ায় এই মাধ্যমটি নির্বাচনের ব্যাপারে। এই সমস্যা এড়ানোর জন্যই অন্য একটি এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরি করা হয় যার নাম দেয়া হয় THIESIAS। এই এক্সপার্ট সিস্টেমটির সাহায্যে এক্সপার্টের জ্ঞান সরাসরি নলেজ বেসে প্রেরণ করা যায় এবং সেই জ্ঞানে কোনো ভুল থাকলে তা নির্ধারণ ও সংশোধন করা যায়। MYCIN এর আরেক পরিবর্ধিত রূপ হলো EMYCIN যার সার্বজনীনতার ফলে এই এক্সপার্ট সিস্টেমটি কোনো বিশেষ বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞান প্রস্তাবনায় সীমাবদ্ধ থাকে না, বরং সকল ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞান প্রস্তাবনার কাজে তা ব্যবহার করা যায়। EMYCIN কে কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞানের জন্য ব্যবহার করতে চাইলে তা MYCIN এর রূপ ধারণ করে।

দেখা যাচ্ছে যে, MYCIN জ্ঞান-প্রযুক্তির উন্নয়নে বিশেষ অবদান রেখেছে। এর সাহায্যে আরও কয়েকটি এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরি করা হয়েছে যেমন : PUFF, PROSPECTOR, RITA, ROSIE ইত্যাদি। PROSPECTOR এক্সপার্ট সিস্টেমটি খনিজ সম্পদ সন্ধানে ভূতত্ত্ববিদদের বিশেষ সহায়তায় আসে।

প্রোডাকশন মডেলের এককভাবে ব্যবহারের চেয়ে অন্যান্য মডেলের সাথে সমন্বিতভাবে তার ব্যাপক ব্যবহার হয়। এক মডেলের সাথে অন্য মডেলের সমন্বয়কে হাইব্রিড (hybrid) মডেল বলা হয়। হাইব্রিড মডেল সম্পর্কে পরবর্তীতে কিছুটা ব্যাপকভাবে আলোচনা করা হবে। প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে অনির্দিষ্ট ও অনিশ্চিত জ্ঞান প্রস্তাবনার জন্য লিঙ্গুইস্টিক মডেলের সাথে তার সমন্বয় সাধনের ব্যাপক চেষ্টা বর্তমানে চলছে এবং ভবিষ্যতে তার প্রয়োগ যে যথেষ্ট সম্ভবনাময় তা বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

৩.৮ ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল

প্রোডাকশন মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনায় নলেজ-বেসে একই পদ্ধতির আওতায় বিভিন্ন ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যা সমাধানের জন্য একই ধরনের অনেকগুলি নিয়মের

সম্ভব হয়। কিন্তু বিভিন্ন ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জন্য একই ধরনের নিয়মাবলির সমন্বয়ে এক্সপার্ট সিস্টেমটির কর্মক্ষমতা যথেষ্ট কমে যায়। কাজেই একই এক্সপার্ট সিস্টেমের মধ্যে কয়েক ধরনের বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যা সমাধানের চেষ্টা পরিহার করা বাঞ্ছনীয়। কিন্তু এমন কিছু অবস্থার সৃষ্টি হয় যখন একটি সমস্যার সমাধান কিছু ভিন্ন ভিন্ন ধরনের সমস্যার সমাধানের দ্বারা হয়। এমনও হয় যে, এই উপাদান সমস্যাগুলি একটি অন্যটি থেকে সম্পূর্ণ আলাদা ও সার্বভৌম। উপরন্তু, এই অঙ্গ সমস্যাগুলির একটির সমাধান আরেকটির সমাধানে সহায়ক হয়।

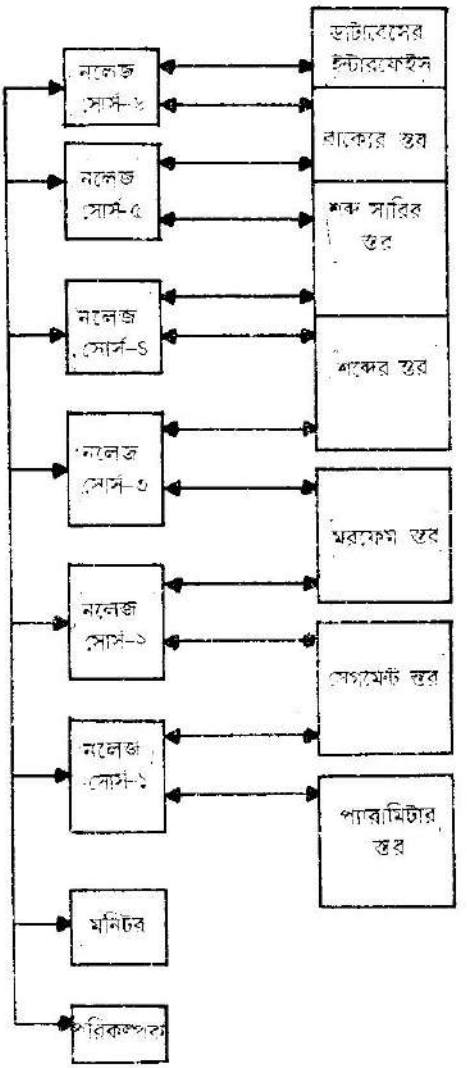
এই ধরনের সমস্যার উদাহরণ হিসেবে কণ্ঠস্বর প্রক্রিয়াকরণের (voice processing) সমস্যাকে ধরা যেতে পারে। এই সমস্যার সমাধান কয়েকটি ধাপে করতে হয়। যেমন, বক্তার কণ্ঠস্বরের সিগনাল প্রক্রিয়াকরণ, সিগনাল থেকে শব্দ বিশ্লেষণ, শব্দগুলি দ্বারা বাক্য গঠন, বাক্যের অর্থ নির্ধারণ, ইত্যাদি। প্রতিটি ধাপের সমস্যাগুলির ধরন ও গঠন ভিন্ন ভিন্ন ধরনের ও তাদের সমাধানের প্রক্রিয়া ভিন্ন ভিন্ন ধরনের হলেও তাদের সমাধানের ফলগুলি একটি অন্যটির সাথে সম্পর্কযুক্ত।

উপরিউক্ত ধরনের সমস্যা সমাধানের উদ্দেশ্যে HEARSAY–II এক্সপার্ট সিস্টেমটি তৈরি করা হয়। এই এক্সপার্ট সিস্টেমের গঠন থেকে নতুন এক ধরনের জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল তৈরি করা হয় যার নাম দেয়া হয়—ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল। অবশ্য এটিকে জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল না বলে জ্ঞান ব্যবহারের মডেল বলা বেশি যুক্তিযুক্ত। যেহেতু এই মডেলে বিভিন্ন ধরনের সমস্যাকে একত্রকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়, অনেকটা যেন ব্লাকবোর্ডে তথ্য সন্নিবেশ করার মতো ব্যাপার তাই এর নাম দেয়া হয়–ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল। আলাদা আলাদাভাবে সন্নিবেশিত জ্ঞানগুলিকে জ্ঞান–উৎস বা নলেজ–সোর্স বলা হয়। নলেজ–সোর্সগুলি প্রোডাকশন মডেলে তৈরি করা হয়। নলেজ সোর্সগুলি একত্রিতভাবে একক জ্ঞান পদ্ধতি সৃষ্টি করে।

নিচের চিত্রে ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলের সাহায্যে HEARSAY–II এক্সপার্ট সিস্টেমটির গঠন প্রক্রিয়া প্রদর্শিত হলো। এই মডেলের সাহায্যে সমস্যা প্রস্তাবনার বিভিন্ন হিরারখিকাল স্তরের সাথে সামঞ্জস্য বিধানকারী জ্ঞান উৎসগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে একজন পরিকল্পনাকারী। HEARSAY–II ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলের এই কাঠামোটি সাতটি হিরারখিকাল স্তর দ্বারা সন্নিবেশিত এবং এর প্রতিটি স্তরেই জ্ঞান সংরক্ষিত থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত, যতক্ষণ পর্যন্ত সেখানে জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণ শুরু না হয়। ডাটার প্রক্রিয়াকরণ শুরু হয় সেই সর্বনিম্ন স্তর থেকে যেখানে অ্যাকাউস্টিক বা ধ্বনিসংক্রান্ত প্যারামিটারগুলির প্রক্রিয়াকরণ শুরু হয়। এরপরে সিগনাল থেকে পর্যায়ক্রমে ফনেম গঠন, সিলেবল গঠন ও সর্বশেষ স্তরে সিন্টাক্সের মাধ্যমে বাক্যের গঠন সম্পন্ন হয়। প্রতিটি স্তরেই জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ অনির্দিষ্টভাবে সম্পন্ন হয় অর্থাৎ প্রাপ্ত ফল সম্ভাব্য সকল ধরনের অর্থের মধ্যে কেবল একটি অর্থই গ্রহণ করে থাকে যাকে বলা হয় হাইপোথিসিস। যখন কোনো স্তরের হাইপোথিসিস ব্যবহারের দ্বারা পরবর্তী উচ্চতর স্তরের হাইপোথিসিস তৈরি করা হয় তখন যে স্তরের জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণ করা হয় সেই স্তরের হাইপোথিসিসটি ব্যবহার করা হয়। যেমন, যদি ফনেম স্তরে অর্থবহুল শব্দ গঠন করা সম্ভব হয় তবে এই হাইপোথিসিসটি পরবর্তী

DHAKA LIBRARY

স্তরগুলিতে সঠিক হিসেবে ধরা হয়। কোনো নলেজ-সোর্স তার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ স্তরের হাইপোথিসিস গঠনের জন্য নিম্নতর স্তরের হাইপোথিসিস গ্রহণ করে এবং তা যথাযথ সিদ্ধান্ত গ্রহণ ও প্রক্রিয়াকরণের মাধ্যমে পরবর্তী স্তরের হাইপোথিসিস জেনারেট করে।



চিত্র ৩.৪ : ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেল।

উচ্চতর হাইপোথিসিসকে লক্ষ্য-সিদ্ধান্ত হিসেবে বিচার করে তা নিম্নতর স্তরে প্রয়োগ করে তার কার্যকারিতা পরীক্ষা করার মাধ্যমে পূর্বাপর সম্পর্ক (feed back) বজায় রাখা হয়।

সকল নলেজ-সোর্সগুলি স্বাধীন কিন্তু তালবদ্ধ (Synchronised) এবং সেগুলি সমান্তরালভাবে কাজ করতে পারে। জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ ক্রিয়াকে বাস্তবায়নের জন্য চলতি অবস্থার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ নলেজ সোর্সটিকে কার্যকর করার ব্যবস্থা এক্সপার্ট সিস্টেমে থাকতে হবে। ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলে কন্ট্রোল-মেকানিজমের কার্যপদ্ধতি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। এই কন্ট্রোল-মেকানিজম ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশনে সন্নিবেশিত অবস্থাগুলিকে বিশ্লেষণ করে ঠিক করে কোন স্তরটি জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে সর্বাধিক প্রাধান্য পাবে এবং নলেজ-সোর্সগুলির কর্মপদ্ধতি পরিকল্পনা করে। HEARSAY-II পদ্ধতিতে নিয়ন্ত্রণ অংশটি মানুষের চিন্তা ও বুদ্ধিমত্তা অনুসরণ করার চেষ্টা করে। কিন্তু এই ধরনের পদ্ধতিগুলিতে কন্ট্রোল-মেকানিজম বাস্তবায়ন করার ব্যাপারে কন্ট্রোল-অ্যালগরিদম থেকে পৃথক কিছু সমস্যার উদ্ভব হয়। যেহেতু কন্ট্রোল-অ্যালগরিদম কন্ট্রোল মেকানিজম হিসেবে বাস্তবায়িত হয় তাই কন্ট্রোল-মেকানিজম সরাসরি এক্সপার্ট সিস্টেমে সার্বজনীন পদ্ধতি আকারে সংযুক্ত থাকে। কন্ট্রোল-অ্যালগরিদম কন্ট্রোল-মেকানিজম থেকে আলাদাভাবে পরিবেশিত হয় যা মেকানিজমকে অধিকতর কর্মোপযোগি করে তোলে। প্রোডাকশন সিস্টেমের আওতাভুক্ত MYCIN এ সিদ্ধান্ত গ্রহণের মেকানিজম তার নলেজ-বেস এর উপর নির্ভরশীল কিন্তু EMYCIN এ নলেজ-বেস ও সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি একটি থেকে অন্যটি পৃথক। MYCIN এক্সপার্ট সিস্টেমে জ্ঞান সরাসরি বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যার সাথে সম্পর্কিত বা সংযুক্ত থাকে কিন্তু বিষয়বস্তুভিত্তিক জ্ঞান সিদ্ধান্ত গ্রহণ মেকানিজমের উপর নির্ভরশীল নয়। কোনো বিষয়বস্তু ক্ষেত্রের জ্ঞানকে কিভাবে প্রক্রিয়াকরণ ও ব্যবহার করতে হবে, সে সম্পর্কে জ্ঞানকে মেটানলেজ বলা হয় এবং মেটানলেজকে বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সমস্যাভিত্তিক জ্ঞানকোষ থেকে আলাদাভাবে বিচার করা হয়।

HEARSAY-II এর জটিলতা সমস্যার জটিলতা বাড়ার সাথে সাথে বাড়তে থাকে। কণ্ঠস্বর অনুধাবন, অটোম্যাটিক প্রোগ্রাম, অটোম্যাটিক পরিকল্পনা, টেক্সট অনুধাবন, অঙ্কন বা ইমেজ প্রসেসিং ইত্যাদি জাতীয় সমস্যার জন্য HEARSAY-II এর চেয়েও উন্নত পদ্ধতির প্রয়োজন, যেখানে অনেকগুলি নলেজ-সোর্সকে একত্রকরণের মাধ্যমে তা বিশেষ বিষয়ভিত্তিক না হয়ে অনেকটা সার্বজনীন হওয়া বাঞ্ছনীয়। এই উদ্দেশ্যে ব্লাকবোর্ড ডিক্লারেশন মডেলের ভিত্তিতে AGE, ART, ESHELL এক্সপার্ট সিস্টেমগুলি তৈরি হয়।

৩.৯ রিলেশন মডেল বা টেবিল মডেল

এই মডেলের সাহায্যে জ্ঞানকে টেবিলের আকারে প্রকাশ করা হয় ফাইনাইট সেট এলিমেন্ট ও তাদের মধ্যে সীমায়িত সম্পর্ক প্রদানের দ্বারা। এজন্য গাণিতিক ফরমালিজম হিসেবে অ্যালজেবরার রিলেশনাল অ্যাপারেটাস ও টেবিল ব্যবহার করা হয়। এই মডেলের সুবিধাজনক দিকগুলি হলো :

- টেবিল আকারে সরাসরি সহজে ও সমতার ভিত্তিতে বিভিন্ন জ্ঞানকে প্রকাশ করা যায়,

– টেবিল পদ্ধতিতে কোনো অপারেশন করা অত্যন্ত সহজ,

– বিভিন্ন ধরনের তথ্যকে নমনীয়ভাবে প্রস্তাবনা ও প্রক্রিয়াকরণ করা যায়,

– এই পদ্ধতিতে তথ্য–প্রস্তাবনা তথ্য–প্রক্রিয়াকরণের ধরনের উপর নির্ভর করে না,

– এই পদ্ধতিতে সেট ধরনের তথ্য নিয়ে কাজ করার সুবিধা,

– টেবিল মডেলে কোনো ধরনের যুক্তিগত সম্পর্ক তথ্যগুলির মধ্যে সৃষ্টি না করেই যে কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের তথ্য প্রস্তাবনা করা যায় যা নাকি ফ্রেম বা নেট মডেলের জন্য অপরিহার্য,

– যোগ, গুণন বা প্রজেকশন জাতীয় অপারেশন টেবিল পদ্ধতিতে প্রকাশিত তথ্য নিয়ে কাজ করার ব্যাপারে যথেষ্ট সুবিধাজনক।

এই সুবিধাগুলি থাকা সত্ত্বেও রিলেশন মডেলের বেশকিছু অসুবিধাজনক দিক বিদ্যমান :

– রিলেশন মডেল বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সিমান্টিক্সকে যথাযথভাবে প্রকাশ করার সুযোগ দেয় না,

– এই মডেলকে কোনো অবজেক্টগ্রুপকে চিহ্নিতকরণের ক্ষেত্রে ব্যবহার করা যায় না,

– বিষয়বস্তু ক্ষেত্রের কাঠামো বা গঠন বিশ্লেষণ করার জন্য প্রদত্ত তথ্যকে শুধু মান দ্বারা প্রকাশ করলেই হবে না, তাদের নাম ও চিহ্নও একই সাথে বিবেচনায় আনতে হবে যা টেবিল মডেলের সাহায্যে সুবিধাজনকভাবে সম্ভব হয় না,

– রিলেশন মডেলের সাহায্যে কেবল কোনো বিশেষ বিষয়বস্তুক্ষেত্রেরই জ্ঞানের প্রস্তাবনা হয়, সার্বজনীনভাবে এই টেবিলের ব্যবহারে টেবিলের আয়তন এত বড় হয় যে তার কার্যকারিতা অনেক কমে যায়,

– রিলেশন মডেলের সাহায্যে অপূর্ণ বা অনিশ্চিত জ্ঞান প্রস্তাবনা সম্ভব হয় না,

– এই মডেলে তথ্যগুলির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করার ব্যবস্থা না থাকার ফলে তথ্যগুলিকে কোনো বিশেষ ক্রমানুসারে সাজানোর প্রয়োজন হয়, আর এজন্য অনেক অপ্রয়োজনীয় তথ্যকেও টেবিলে ধারণ করতে হয়,

– অসংগঠিত বা অপূর্ণ তথ্য প্রস্তাবনা টেবিল মডেলের সাহায্যে সম্ভব নয়,

– অনেক সময় বিভিন্ন টেবিলের মধ্যে পারস্পরিক বৈপরীত্য পরিলক্ষিত হওয়ার ফলে এই মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনার সঠিকতা নিয়ে সন্দেহের উদ্রেক হয়।

৩.১০ গ্রাফ মডেল

এই মডেলের বিশেষত্ব হলো এই যে, এতে কোনো বিশেষ সমস্যাগোষ্ঠীর বা ক্লাসের অর্থ নির্ণয়, তাদের শর্ত ও সিদ্ধান্ত নির্ধারণ, গণনা প্রক্রিয়ার সাংগঠনিক পদ্ধতি ইত্যাদি সবকিছুই গ্রাফ আকারে প্রকাশ করা হয়। গ্রাফ মডেলের সাহায্যে জ্ঞান প্রস্তাবনার ভিত্তিতে DISUPP মারশরুট সিস্টেমটি তৈরি করা হয়। এই সিস্টেমে সমস্যার সমাধান প্রক্রিয়াকে মারশরুট আকারে গ্রাফের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

মারশরুট গ্রাফকে প্রকাশ করা হয় G(M,R) এর দ্বারা যেখানে $M=(M_1, M_2, ... M_n)$ হচ্ছে গ্রাফের শেষ বিন্দু বা নটগুলির গুচ্ছ বা সেট যেগুলি সমস্যা সমাধানের বিভিন্ন প্রক্রিয়াকে চিহ্নিত করে। R হচ্ছে গ্রাফের শীর্ষ বিন্দুগুলি বা সমস্যা সমাধানের ধাপগুলির মধ্যবর্তী সম্পর্ক প্রকাশকারী সংযোগ রেখার সেট বা গুচ্ছ। সংযোগ রেখা R সমাধানের জন্য মারশরুটগুলির মধ্যে শর্ত নির্বাচন ও প্রতিটি ধাপের ক্রিয়া সম্পাদনের পর বিকল্প শর্তগুলি প্রকাশ করে। এই শর্তগুলি সমস্যার প্রস্তাবনার সাথে দেয়া থাকে অথবা তা বের করে নিতে হয়। মারশরুট পদ্ধতিতে একাধিক ব্যবহারকারী একই সাথে কাজ করার জন্য মারশরুটের শাখা প্রশাখায় বিভক্তকরণের ব্যাপারে বেশ উপযোগী।

৩.১১ টেনসর মডেল

টেনসর মডেলের সাহায্যে জ্ঞানের কাঠামো ও প্রক্রিয়াকরণগত প্রস্তাবনা এবং বিভিন্ন ধরনের জটিল পদ্ধতিগুলি ব্যবহার করে জ্ঞানকে এক পদ্ধতি থেকে অন্য পদ্ধতিতে বদল করার জন্য বেশ উপযোগী। এই মডেলে জ্যামিতিকভাবে জ্ঞানের প্রস্তাবনা হয় অনেকটা কোঅর্ডিনেট পদ্ধতির ন্যায়।

টেনসর মডেলে তথ্যকে কোনো এক জ্যামিতিক পরিসরে কতকগুলি বিন্দুর সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এই বিন্দু সমষ্টি তথ্য-পরিসরকে জ্যামিতিকভাবে অবজেক্ট টেনসরে প্রস্তাব করে। বিভিন্ন কোঅর্ডিনেট সিস্টেমে টেনসরের প্রজেকশনের সাহায্যে পদ্ধতি বদল করার জন্য অ্যালজেবরার টেনসর নিয়মগুলি অনুসরণ করা হয়। টেনসর মডেলের ভিত্তিতে টেনসর ডাটা-বেস তৈরি করা হয়।

৩.১২ ক্যাটেগরি ভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনা মডেল

গণিতের ক্যাটেগরি তত্ত্বের ভিত্তিতে এই মডেল তৈরি করা হয়েছে। এই মডেলের সাহায্যে লজিকাল গঠনের জ্ঞানের সিমান্টিক্স প্রস্তাবনা সম্ভব। এই মডেলের উদ্ভব ঘটে ডাটা-বেসের রিলেশন গঠনকে ভিত্তি করে অ্যাবস্ট্র্যাক্ট টাইপের তথ্যগুলিকে প্রোগ্রাম আকারে প্রস্তাবনার উদ্দেশ্যে। এজন্য গাণিতিক লজিকের ক্যাটেগরি তত্ত্ব ব্যবহার করার মাধ্যমে কোনো অবজেক্টকে অন্য অবজেক্টের সাথে সম্পর্কযুক্ত করা হয়। ক্যাটেগরি মডেলে বস্তুর নামের সাথে তার অর্থও সংযুক্ত থাকে। ক্যাটেগরিকে অ্যালজেব্রা-অবজেক্ট হিসেবে বিবেচনা করা হয়, কারণ তা বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ককে সীমায়িত সেট আকারে প্রকাশ করে। ক্যাটেগরি মডেল লজিকাল ও সিমান্টিক্যাল জ্ঞান প্রকাশ করার জন্য বেশ উপযোগী।

৩.১৩ অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান প্রস্তাবনার মডেল

সবসময় সঠিকভাবে জ্ঞানের প্রস্তাবনা সম্ভব হয় না, কারণ জ্ঞান অনেক সময় বা এমনকি বেশিরভাগ সময়ই থাকে অপূর্ণ বা অস্পষ্ট। মানুষ তার দৈনন্দিন সমস্যাগুলির সমাধান প্রায়ই অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞানের ভিত্তিতে করে থাকে। কাজেই কোনো যন্ত্র যদি কোনো মানুষের বুদ্ধিমত্তাকে অনুসরণ করতে চায় তবে তাতে অবশ্যই অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞানের প্রস্তাবনার ব্যবস্থা থাকতে হবে। অবশ্য 'অনিশ্চিত' কথাটিকে সঠিকভাবে সংজ্ঞায়িত করা দরকার। অনিশ্চিত জ্ঞানের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখযোগ্য : (১) সিদ্ধান্ত গ্রহণে অনির্দিষ্টতা, (২) বহুতার্থিকতা, (৩) অপূর্ণতা, (৪) অনির্ভরযোগ্যতা, (৫) সঠিকতার অভাব।

যেহেতু প্রতিটি বিষয়বস্তুক্ষেত্রেই বেঠিকভাবে প্রস্তাবিত সমস্যা বিদ্যমান, তাই আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে ক্রমান্বয়েই এই অনিশ্চিত বা অপূর্ণ জ্ঞান নিয়ে ব্যাপক গবেষণা হচ্ছে। সঠিক সমস্যাগুলিকে সিস্টেমাইজেশন ও প্রোগ্রামকরণের প্রস্তাবনা ও সমাধান করার অনেক উপায় বের হয়েছে। কিন্তু যেহেতু সঠিক নয় এমন সমস্যাগুলির ক্ষেত্রে পূর্ণ জ্ঞান পাওয়া যায় না, তাই তাদের প্রস্তাবনার জন্য প্রচলিত পদ্ধতিগুলির বাইরে অন্য পদ্ধতির সন্ধান বাঞ্ছনীয়।

মানুষের জ্ঞান অত্যন্ত ব্যাপকভিত্তিক এবং এ পর্যন্ত জানা সম্ভব হয় নি, মানুষের মস্তিষ্কে জ্ঞানের সাংগঠনিক রূপটা কি। মানুষ তার জ্ঞান নিয়ে কাজ করার সময় অনেকটা অবচেতন মনেই কাজ করে যায় তার সকল জ্ঞানকে যথাযথভাবে সংগঠিত বা প্রস্তাব না করেই। বেশিরভাগ সময়ই মানুষ তার অনুভব শক্তিগুলিকে জ্ঞান প্রস্তাবনা ও প্রক্রিয়াকরণে ব্যবহার করে। কিন্তু কোনো যন্ত্রের পক্ষে বিশৃঙ্খল বা নিয়মবিহীনভাবে প্রস্তাবিত জ্ঞানকে প্রক্রিয়াকরণ করা কোনোভাবেই সম্ভব নয়। উপরন্তু, যন্ত্রের অনুভব শক্তি কোনোক্রমেই মানুষের মত বহুমাত্রিক নয়। তাই অনিশ্চিত জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের জন্য বেশ কয়েকটি মডেল এ পর্যন্ত তৈরি হয়েছে। এগুলির মধ্যে ফাজি-লজিক ও লিংগুইস্টিক নলেজ মডেল বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। পরবর্তীতে এই মডেলগুলি সম্পর্কে বিশেষ ব্যাখ্যা প্রদান করা হয়েছে।

৩.১৪ জ্ঞান প্রস্তাবনার বিভিন্ন ধরন ও কম্পিউটারে তা ব্যবহারের সম্ভাবনা

একজন মানুষ সমাজে কি ভূমিকা পালন করে তার উপর ভিত্তি করে বিভিন্ন জনকে বিভিন্ন সমস্যার মুখোমুখি হতে হয়। এই সমস্যাগুলিকে ভিন্ন ভিন্ন মানুষ ভিন্ন ভিন্নভাবে গ্রহণ করে। তাই তাদের প্রস্তাবনা পদ্ধতিও হয় ভিন্ন ভিন্ন। কোনো সমস্যার সমাধানে একাধিক ব্যক্তির অংশগ্রহণও সমস্যা-প্রস্তাবনার উপর প্রভাব ফেলে, কারণ সমস্যা একই থাকলেও এক এক জনের কাছে তা এক একভাবে অনুভূত বা বোধগম্য হয়। মানুষের নিকট সমস্যার মূল বিষয়টি সবপ্রথম বিচার্য হলেও কম্পিউটারের জন্য সর্বপ্রথম বিচার্য হলো সমস্যা কিভাবে প্রস্তাবিত হয়েছে এবং তার সমাধানও নির্ভর করবে সমস্যা প্রস্তাবনার ধরনের উপর।

দেখা যাক, কোনো বিষয়বস্তুক্ষেত্রের তথ্য কিভাবে ধাপে ধাপে প্রক্রিয়াকরণ করা হয়। নিচের টেবিলে সহজভাবে দেখানো হয়েছে যে কিভাবে মানুষের জ্ঞানের স্তরের ভিত্তিতে কোনো বস্তু সম্পর্কে প্রতিটি তথ্য প্রক্রিয়াকরণ করা হয়। জ্ঞানের স্তরের ভিত্তিতে প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিকে চারভাগে ভাগ করা যেতে পারে :

জ্ঞান উন্নয়নের বিভিন্ন স্তর	তথ্য প্রস্তাবনার ধরন ও জ্ঞানের ধরন
প্রথম ধাপ : বাছাই পর্ব	তথ্য নেই
দ্বিতীয় ধাপ : নীরিক্ষা পর্ব	বাঁধাধরা নিয়ম ব্যতিরেকেই বর্ণনামূলক প্রস্তাবনা
তৃতীয় ধাপ : পরীক্ষা পর্ব	তথ্যকে পরিমাপিক বা সাংখ্যিকভাবে প্রস্তাবনা
চতুর্থ ধাপ : তাত্ত্বিক পর্ব	গাণিতিক বা অন্য কোনোভাবে সূত্রাকারে প্রস্তাবনা

প্রাথমিকধাপে গঠনতব্য বস্তুটি সম্বন্ধে কোনো তথ্য প্রায় অনুপস্থিত থাকে। ফলে বস্তুটি তৈরি করার প্রজেক্ট কোনো পরিকল্পনা ছাড়াই করা হয়। বস্তুটির প্রাথমিক মডেলটি অনেকটা আকস্মিক বা কাল্পনিকভাবেই তৈরি করা হয়। এ স্তরে কোনো শর্ত পূরণে সক্ষম এমনভাবে বস্তুর গঠন পরিকল্পনা করা বেশ কঠিন কাজ। যদি হঠাৎ করেই অন্তত আংশিকভাবেও আকাঙ্ক্ষিত গুণাবলি সংবলিত বস্তুটি তৈরি করা সম্ভব হয় তবে সেটিই বিরাট সাফল্য হিসেবে বিবেচনা করা হয়।

প্রাথমিক ধাপের কিছুকাল অতিবাহিত হবার সময় ইম্পিরিকাল তথ্য সংগ্রহ প্রক্রিয়া চলতে থাকে এবং তারপর শুরু হয় দ্বিতীয় ধাপ। এই ধাপে অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে অর্থাৎ ইতোমধ্যেই সংগৃহীত তথ্যাদির ভিত্তিতে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে মোটামুটি একটা ধারণা সৃষ্টি হয়। কিন্তু এই ধাপে বিষয়বস্তু সংক্রান্ত সকল তথ্য জ্ঞাত থাকে না। তাই কেবল অনুমানের ভিত্তিতে বিষয়বস্তু সংক্রান্ত বিভিন্ন পরিকল্পনা করা হয়।

তৃতীয় ধাপে বিভিন্ন নীরিক্ষার দ্বারা লব্ধ জ্ঞানের ফলে বিষয়বস্তু সংক্রান্ত কার্যকরণগত সম্পর্ক নির্ধারণের চেষ্টা করা হয় এবং এক্সপেরিমেন্টগুলিকে কোনো পদ্ধতিগতভাবে সম্পাদন করার উপায় বের করা হয়। এক্সপেরিমেন্ট থেকে প্রাপ্ত ফলগুলি সমষ্টিগতভাবে বিষয়বস্তু সম্বন্ধে প্রজেক্ট গঠনে ব্যবহার করা হয়। এর ফলে ঘটনাক্রমিকভাবে কোনো ফাক্টরের প্রভাব প্রজেক্ট বাস্তবায়নে বা তথ্য প্রক্রিয়াকরণে অনেকখানি কমে যায়। কিন্তু এক্সপেরিমেন্টের ফলগুলি থেকে বস্তুর গুণাবলি সম্বন্ধে জ্ঞানের এখনও সম্পূর্ণতা অর্জিত হয় না কারণ এক্সপেরিমেন্টগুলি কেবল বিশেষ বিশেষ সীমাবদ্ধ শর্তাদির আওতায় করা হয় এবং তাতে পারিপার্শ্বিকতার প্রভাবে অবাঞ্ছিত ভুল তথ্য বা নলেজও সংযোজিত হয়। তথাপি প্রাপ্ত ফলগুলি বিশ্লেষণের মাধ্যমে বস্তুটি সম্বন্ধে সাধারণ নিয়মতান্ত্রিকতা বা রেগুলারিটি সৃষ্টি করা সম্ভব হয়। উপরন্তু, তথ্য বিশ্লেষণের দ্বারা কোনো এক ধরনের ইম্পিরিকাল সূত্র তৈরি করা সম্ভব হয়। কিন্তু ইম্পিরিকাল সূত্রগুলি বিষয়বস্তুর কেবল বাহ্যিক বা উপরিভাগের তথ্যগুলিই বিবেচনার মধ্যে আনে, বিষয়বস্তুর মূল তথ্য বা তার অভ্যন্তরীণ তথ্য তাতে অনুপস্থিত থাকে। তথাপি ইম্পিরিকাল সূত্র তৈরিতে এক্সপেরিমেন্ট করার যে শর্ত-পরিসর নির্ধারিত হয়, তা বস্তুর মূল তথ্য সংগ্রহে বিশেষ ভূমিকা পালন করে। এই ধাপে সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ অগ্রগতি অর্জিত হয় বস্তুর গুণাবলি নির্ধারণে যা পরবর্তীতে বস্তুর তাত্ত্বিক মডেল তৈরিতে যথেষ্ট সহায়ক হয়।

চতুর্থ ধাপে তাত্ত্বিক দিক দিয়ে বস্তুর মডেল তৈরির কাজ সম্পাদিত হয়। সঠিকভাবে বললে বলতে হয় যে, ইতোমধ্যেই জ্ঞাত গুণাবলি সংবলিত বস্তুটির মডেল তৈরির অ্যালগরিদমের ব্যবহার এই ধাপেই শুরু হয় ও সম্পাদিত হয়। বস্তু সম্বন্ধে এ পর্যন্ত অজানা তথ্যগুলি এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে এই ধাপেই নির্ধারিত হয়।

উপরিল্লিখিত ধাপে ধাপে কোনো অজানা বস্তুর গঠন প্রক্রিয়া সম্পর্কিত জ্ঞানের পদ্ধতি থেকে দেখা যাচ্ছে যে, ধাপগুলির কোনো নির্দিষ্ট সীমারেখা নেই। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে, একটি টেকনিকাল বিষয়বস্তুক্ষেত্র অন্য টেকনিকাল বিষয়বস্তুক্ষেত্রের সাথে অনেক ব্যাপারেই সম্পর্কিত। তাই কোনো তথ্য একক্ষেত্রে এক ধাপে অর্জিত হলে অন্য ক্ষেত্রে তা অন্য ধাপে অর্জিত হতে পারে। এর ফলে তথ্যসংগ্রহে ধাপ বিভাজন তত সুনির্দিষ্ট থাকে না, বিশেষ

করে কয়েকটি পরস্পর সম্পর্কিত টেকনিকাল বিষয়বস্তুক্ষেত্রে তথ্য যখন একই সাথে প্রক্রিয়াকরণের প্রয়োজন পড়ে।

এবারে দেখা যাক, উপরিল্লিখিত ধাপগুলি একটি বাস্তব সমস্যার ক্ষেত্রে কিভাবে প্রযুক্ত হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, এরোপ্লেন তৈরির ইতিহাসে এই ধাপগুলি কিভাবে ব্যবহৃত হয়েছে। এরোপ্লেন হচ্ছে একটি জটিল পদ্ধতি যার গঠনকাজে বা আবিষ্কারে বিভিন্ন টেকনিকাল সমস্যাকে বিবেচনার মধ্যে আনতে হয়। কিন্তু সর্বপ্রথমে আমরা দেখি এরোপ্লেনের উপরে কার্যকর এরোডিনামিক শক্তির তাত্ত্বিকভাবে প্রস্তাবনা পদ্ধতি। প্রাথমিকভাবে কেবল উড়বার ইচ্ছা ও তা বাস্তবায়নের ইচ্ছাই মানুষকে টেকনিকালভাবে অনুপ্রাণিত করে নতুন একটি বিষয়বস্তুক্ষেত্র সম্বন্ধে জ্ঞানের অবতারণা ও বাস্তবায়ন করতে। এ পর্যায়ে উত্থানশক্তি বা লিফটিং ফোর্সের সম্বন্ধে মানুষের কোনো ধারণাই ছিল না। সবকিছুই নির্ভর করেছিল কোনো ঘটনাক্রমে পাখির মত উড়বার ক্ষমতা কেউ অর্জন করতে পারে কি না তার উপর। এ ব্যাপারে ক্রমান্বয়ে চেষ্টা ও চিন্তা চলতে থাকে। কিছুদিন পর মানুষ বুঝতে পারে যে কোনো বায়ুপ্রবাহ বরাবর যদি কোনো পাত স্থাপন করা যায় তবে সেই পাতের উপর বায়ুপ্রবাহের দিকের সাথে লম্বভাবে একটি শক্তি কাজ করে। মানুষ চেষ্টা চালিয়ে যেতে থাকে উপরিউক্ত শক্তিকে ব্যবহার করে এমন একটি যন্ত্র তৈরি করতে যা সত্যি সত্যি বাতাসে ভাসতে বা উড়তে সক্ষম হবে। অর্থাৎ শুরু হয় যন্ত্র তৈরিতে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের দ্বিতীয় ধাপ। এ পর্যায়ে অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলতে থাকে এবং অনেক আশাব্যঞ্জক সফলতাও ঘটে। অবশেষে এক পর্যায়ে বস্তুর উত্থান শক্তিকে পরিমাণগতভাবে নির্ধারণ করার পদ্ধতিও আবিষ্কৃত হয়।

শুরু হয় জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের তৃতীয় ধাপ যখন পরীক্ষার দ্বারা (এরোডিনামিক টিউবে) এই প্রশ্নের উত্তর দেয়ার চেষ্টা করা হয় যে, বায়ুছটার গতি ও তার সাথে পাতের দ্বারা সৃষ্ট আক্রমণ কোণ এর সাহায্যে উত্থান শক্তি কিভাবে নির্ণয় করা যায়। এসব পরীক্ষার দ্বারা যেসব ডাটা পাওয়া যায় তা গ্রাফ আকারে প্রকাশ করে পরবর্তী প্রজেক্টগুলিতে ব্যাপকভাবে ব্যবহার করা হয়।

তাত্ত্বিক ধারণা তৈরির ধাপে কেবল এক্সপেরিমেন্টের সাহায্যে প্রাপ্ত ডাটা থেকেই বাঞ্ছিত ফল পাওয়া গেছে তা নয় বরং এর জন্য বায়ুপ্রবাহের সাথে উড়োজাহাজের ডানার অনুকরণে মডেল তৈরি করে এরোডিনামিক শক্তি নির্ধারণ করার ব্যবস্থাও করা হয়েছে। এসব মডেলের ভিত্তিতে প্রাপ্ত তথ্যগুলি তত্ত্ব গঠনে অবশ্যই বিচারে আনা হয়। উপরন্তু, যদি কোনো তত্ত্ব তৈরি করা সম্ভব হয় তবে তার ভিত্তিতে বাস্তবে কার্যকর উড়োজাহাজের ডানা তৈরি করাও সম্ভব হবে। ঠিক এভাবে উড়োজাহাজের অন্যান্য অংশ সম্পর্কেও ধাপে ধাপে জ্ঞান পরিবর্ধনের সাহায্যে মানুষের উড়বার আকাঙ্ক্ষাকে বাস্তবায়িত করার উপযোগী যন্ত্রটির উদ্ভাবন করা সম্ভব হয়েছে।

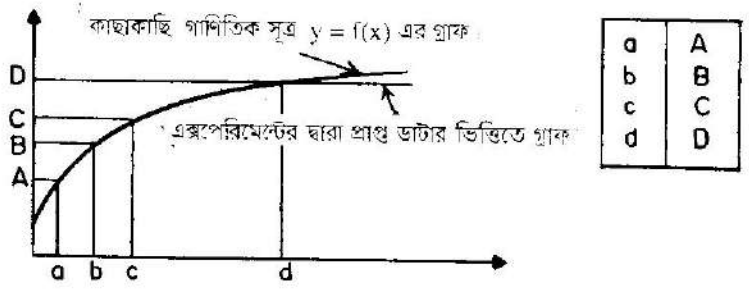
উপরে প্রদত্ত টেবিলে দেখানো হয়েছে যে, জ্ঞান উন্নয়নের প্রতিটি ধাপের সাথে জ্ঞানের ধরনও পরিবর্তিত হয়। যেহেতু প্রথম ধাপে কোনো বস্তু সম্পর্কে আদৌ কোনো ধারণা থাকে না তাই তাকে জ্ঞানের বা তথ্যের অনুপস্থিতি হিসেবেই ধরা হয়।

পরবর্তী দ্বিতীয় ধাপে এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে কেবল আংশিক জ্ঞান অর্জন করা সম্ভব হয়। এই ধাপের জ্ঞানে অনেক আকস্মিক ও অপ্রয়োজনীয় তথ্য থাকে। এই জ্ঞানগুলি

যথাযথভাবে সূত্রীবদ্ধ না হওয়ার কারণে বিভিন্ন তথ্য বিভিন্নভাবে প্রস্তাবিত হয়। অর্থাৎ এই স্তরে জ্ঞান প্রস্তাবনার কোনো একক পদ্ধতি থাকে না—কিছু কিছু জ্ঞান সাংখ্যিক পদ্ধতিতে প্রস্তাবিত হয়, কিছু জ্ঞান চলতি ভাষার সাহায্যে অনির্দিষ্টভাবে প্রস্তাবিত হয় এবং কিছু জ্ঞান রৈখিক চিত্র বা গ্রাফিকাল পদ্ধতিতেও প্রস্তাবিত হয়। কিন্তু এ সকল ধরনের জ্ঞানকেই এককভাবে প্রস্তাব করার প্রয়োজনীয়তা আছে।

যখন জ্ঞান উন্নয়নের তৃতীয় ধাপ শুরু হয়, তখন তথ্য প্রস্তাবনা যথেষ্ট সুসংবদ্ধ রূপ লাভ করে—এক্সপেরিমেন্টগুলি বাস্তব পরিস্থিতিতে সম্পাদিত হয়, পর্যবেক্ষণক্রিয়া ও পরিমাপক্রিয়া প্রদত্ত শর্ত বা অবস্থার আওতায় বিভিন্ন ফ্যাক্টরের প্রভাব বিবেচনা সাপেক্ষে সম্পাদিত হয় এবং নতুন নতুন তথ্য কেবল যথাযথভাবে সম্পাদিত এক্সপেরিমেন্টগুলির ভিত্তিতে সংগৃহীত হয়। এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে প্রাপ্ত সকল ডাটাই একই জাতীয় বা একই ধরনের হয়। আর এর ফলেই সম্ভব হয়ে উঠে ডাটা যে ধরনের হয় সেই ধরন মাফিক প্রস্তাবিত আকারে ডাটাবেস তৈরি করা। ডাটার ধরন দুই প্রকারের হতে পারে। এক প্রকার হলো সেই ধরনের ডাটা যা এক্সপেরিমেন্টের মাধ্যমে পাওয়া যায়। এই ধরনের ডাটাগুলির সাথে বেশকিছু ভুল তথ্যও থাকে। তবে বিপুল পরিমাণ ডাটা একসাথে এভাবে একই পদ্ধতিতে প্রস্তাবিত হবার ফলে প্রোবাবিলিটির ভিত্তিতে মূল তথ্যগুলি এক্সপেরিমেন্টাল ডাটা থেকে যথাযথভাবেই বের হয়ে আসে। অন্য ধরনের ডাটা হলো বস্তুর বিশেষ সুনির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য যা প্রতিটি বস্তুর মধ্যে এবং তার স্বজাতীয়দের মধ্যে সর্বসাধারণভাবে বিদ্যমান থাকে। উদাহরণস্বরূপ বলা যতে পারে যে, পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব, তার গলন ও ফুটন তাপমাত্রা ইত্যাদি। এই তথ্যগুলি পরস্পর বিচ্ছিন্নভাবে ডাটাব্যাংকে সঞ্চিত থাকে।

তথ্যকে যেমন কিছু সাংকেতিক চিহ্ন বা সূত্রের সাহায্যে প্রস্তাব করা যায়, ঠিক তেমনি এক্সপেরিমেন্টালভাবে লব্ধ ডাটাভিত্তিক তথ্যগুলিকে স্ট্যাটিস্টিক্যাল পদ্ধতিতে ডাটা প্রক্রিয়াকরণের মাধ্যমে লব্ধ ফলাফল আকারেও প্রস্তাব করা যায়। অনেকক্ষেত্রে তথ্যকে শুধু গাণিতিক সূত্র হিসেবেই প্রকাশ করা হয় না, উপরন্তু সূত্রগুলিকে ও স্ট্যাটিস্টিক্যাল ডাটা পদ্ধতিতে সজ্জিত ডাটাগুলিকে গ্রাফের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। অবশ্য কম্পিউটারের ডাটাব্যাংকে গাণিতিক সূত্র ও গ্রাফের খণ্ড খণ্ড অংশগুলিকে সংখ্যামান দ্বারা প্রস্তাব করা হয়।



চিত্র ৩.৫ : কম্পিউটারের ডাটাব্যাংকে খণ্ড খণ্ড অংশ হিসেবে গ্রাফের প্রস্তাবনা।

এসবের সাথে দ্বিতীয় ধাপে প্রাপ্ত ইম্পিরিকাল ডাটাগুলিকে তৃতীয় ধাপে যথাযথভাবে প্রস্তাব করার ব্যবস্থা করা হয়। তৃতীয় ধাপের তথ্যগুলির সাহায্যে তাত্ত্বিক দিক উন্নয়নের জন্য ডাটাগুলি সুসংবদ্ধভাবে প্রস্তাবিত হয়। যদিও তাত্ত্বিক উন্নয়নের ধাপে প্রজেক্ট বাস্তবায়নের সাথে তত্ত্বগুলির বেশকিছু অসামঞ্জস্য লক্ষ্য করা যায়, তথাপি এই তত্ত্বগুলিকে যতদূর সম্ভব বাস্তবক্ষেত্রে প্রয়োগ করার চেষ্টা করা হয়। তৃতীয় ধাপে প্রাপ্ত ফলাফলগুলির ভিত্তিতে তাত্ত্বিক ভিত্তি সুপ্রতিষ্ঠিত করার চেষ্টা চললেও তথ্যগুলিকে একই ধারায় প্রকাশ করা সম্ভব হয় না, কারণ এই ধাপে তখনও অবজেক্ট-মডেল সম্বন্ধে ধারণা তত সুস্পষ্ট থাকে না। প্রজেক্ট বাস্তবায়নের তুলনায় তত্ত্ব প্রতিষ্ঠার পর্যায়টি মূলত গবেষণা ভিত্তিক হয়ে থাকে। তত্ত্ব গঠন বলতে শুধু পূর্বশর্ত বা ইনপুটের সাথে ফলাফল বা আউটপুটের মধ্যে সম্পর্ক বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ ডাটার ভিত্তিতে নির্ধারণই বুঝায় না, অবজেক্টের সাথে পারিপার্শ্বিকতার পারস্পরিক নির্ভরশীলতার সম্পর্ক নির্ধারণও বুঝায়। অর্থাৎ যদি কোনো অবজেক্টের মডেল দেয়া থাকে তবে তার উপর বাইরে থেকে কোনো অ্যাকশন বা ক্রিয়া ঘটলে অবজেক্টটি এই অ্যাকশনের কি প্রতিক্রিয়া দেখাবে সেটি নির্ধারণের ধারণাও এই তত্ত্বে থাকতে হবে।

বিশেষ জটিল বিষয়ের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য তত্ত্ব তৈরির জন্য অবজেক্টের গঠন, তার অ্যাট্রিবিউট বা গুণাবলি এবং পারিপার্শ্বিকতার প্রভাবের উত্তরে প্রতিক্রিয়াগুলি বিবেচনায় আনতে হবে। জ্ঞান উন্নয়নের দ্বিতীয় ও তৃতীয় ধাপে ভাষা ও সূত্রের সাহায্যে অ্যাট্রিবিউটগুলি প্রকাশ করা হয়। চতুর্থ ধাপে বাঞ্ছিত অবজেক্টটি তৈরি করা হয়। পূর্বে পরীক্ষালব্ধ ফলাফলগুলি ব্যবহার করে যতদূর সম্ভব প্রয়োজনমাফিক ট্রায়াল ও এরর (trial and error) পদ্ধতিতে বস্তুটি তৈরি করা হয়।

চতুর্থ অধ্যায়

প্রেডিকেট লজিক

(Predicate logic)

প্রেডিকেট লজিককে জ্ঞান প্রস্তাবনার বিভিন্ন ভাষার মধ্যে সার্বজনীনভাবে জ্ঞান প্রকাশের মাধ্যম হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে। ইদানীং প্রেডিকেট লজিক গাণিতিক লজিকের মতই দৃঢ় ভিত্তিসম্পন্ন ও সুসংবদ্ধ যদিও তা মূলত প্রাকৃতিক ভাষাগুলির ভিত্তি তৈরি করার মানসেই প্রথমে বাস্তবায়িত হয়। যেহেতু প্রাকৃতিক ভাষাগুলি অত্যন্ত জটিল ও তাদের তাত্ত্বিক ভিত্তি অত্যন্ত অবিন্যস্ত তাই প্রেডিকেট লজিকের সাহায্যে বস্তুর কেবল সেসব কম্পোনেন্ট নিয়ে কাজ করা হয় যেগুলির এলিমেন্টকে সূত্রীবদ্ধ বা ফর্মালাইজড (formalized) করা সম্ভব। মনে করা হয় যে, প্রেডিকেট লজিক বুঝা বেশ কঠিন তবে প্রাকৃতিক ভাষাগুলি দীর্ঘকাল চর্চার ফলে মানুষের নিকট সহজবোধ্য হলেও কম্পিউটারের কাছে তা মোটেই বোধগম্য নয়। কিন্তু প্রেডিকেট লজিক দীর্ঘকাল চর্চার দ্বারা যেমন মানুষের নিকট ঠিক তেমনি কম্পিউটারের নিকট সহজবোধ্য হয়ে উঠতে পারে।

৪.১ ভাষার সিন্টাক্স ও সিমান্টিক্স (Syntax and Semantics of the Languages)

ভাষা ভাব বিনিময় বা যোগাযোগের মাধ্যম এবং ভাষার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি থাকা প্রয়োজন ;

(১) সিন্টাক্সিক্যাল নিয়ম যার সাহায্যে ভাষার গঠন নির্ধারিত হয় ;

(২) সিমান্টিক্যাল নিয়ম যার সাহায্যে ভাষার ভাবপ্রকাশের বৈশিষ্ট্যগুলি থাকা প্রয়োজন ;

(৩) ভাষার সিমান্টিক্স ও ভাষার প্রস্তাবনা ক্রিয়ার মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণকারী নিয়ম নির্ধারণ।

উদাহরণস্বরূপ,

$$\aleph \wp \clubsuit \varsigma 9 \# \ldots \spadesuit \qquad (৪.১)$$

কে ভাষা বলা গেলেও এই চিহ্নগুলি দ্বারা কি প্রকাশ করা হচ্ছে তার সম্বন্ধে কেবল লেখক ব্যতীত অন্য কোনো ব্যক্তির কোনো ধারণা নেই। কোনো ধ্বনি বা চিহ্ন সমষ্টিকে ভাষা হিসেবে স্বীকৃত হতে হলে তাতে এমন কিছু ধ্বনি বা চিহ্নসমষ্টি থাকতে হবে যা অবশ্যই অন্ততপক্ষে কিছু মানুষের নিকট অর্থবহুল ও ব্যবহারযোগ্য হতে হবে। এই চিহ্নগুচ্ছ প্রতিটি ভাষার নিজস্ব হতে পারে তবে তা অবশ্যই সীমায়িত হতে হবে। অর্থাৎ একটি ভাষার অসংখ্য সীমাহীন চিহ্নগুচ্ছ থাকতে পারবে না।

এবারে দেখা যাক যে, নিম্নলিখিত অক্ষর সমষ্টি বা বাক্য দ্বারা কি ধারণা সৃষ্টি হতে পারে :

<<হোয়াট ইজ ইট >> (৪.২)

যদিও এই বাক্যের অক্ষরগুলি বাংলা ভাষার অন্তর্গত কিন্তু তা দিয়ে বাংলা ভাষাভাষীদের পক্ষে কিছুই বুঝা সম্ভব হবে না যদি না তাদের ইংরেজি ভাষায় কোনো জ্ঞান থাকে। যদিও এই বাক্যের প্রতিটি অক্ষর বাংলা অক্ষরমালার অন্তর্ভুক্ত তথাপি এটি থেকে কোনোক্রমেই বলা যায় না যে বাক্যটি বাংলা ভাষার অন্তর্ভুক্ত। এবারে নিচের বাক্যটি বিচার করা যাক –

<<সেই ছেলেটি হাঁটা>> (৪.৩)

এই বাক্যের প্রতিটি শূন্যস্থান দ্বারা বিচ্ছিন্ন অক্ষর সমষ্টিকে বাংলা ভাষার অন্তর্গত শব্দ হিসেবে চিহ্নিত করা গেলেও এই শব্দগুচ্ছ সমষ্টিগতভাবে কিছু প্রকাশ করে না অর্থাৎ তা বাংলা ভাষার অন্তর্গত কোনো বাক্য নয়। যদি বাক্যটি এভাবে লেখা হয় :

<<সেই ছেলেটি হাঁটা শিখছে>> তবে তার অর্থ বাংলা ভাষাভাষী সকলের নিকটই সুস্পষ্ট হয়ে ওঠে। কাজেই যে কোনো ভাষায় কোনো কিছু প্রকাশিত হতে হলে প্রকাশিতব্য সম্ভারে অবশ্যই নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি থাকতে হবে :

(১) কিছু চিহ্নগুচ্ছ যা সেই ভাষায় ব্যবহারযোগ্য হবে ;

(২) উক্ত চিহ্নসারির চিহ্নগুলির মধ্যে বিশেষভাবে সম্পর্কিত গঠন প্রক্রিয়া যার সাহায্যে অর্থবহুল শব্দ গঠন করা সম্ভব হবে (মরফেম সংজ্ঞা) ;

(৩) শব্দ সম্ভারের সাহায্যে বাক্য গঠনের নিয়ম (সিন্টাক্স নিয়ম)।

উপরিউক্ত বৈশিষ্ট্যগুলির উপর ভিত্তি করেই ভাষার গঠন হয়। ভাষার অন্তর্গত প্রতিটি শব্দই বাস্তব পৃথিবীর বস্তু, ভাব ও ঘটনাকে চিহ্নিত করে। কিছু কিছু শব্দ বস্তুর মূল বিষয় চিহ্নিত করে এবং কিছু শব্দ বস্তুর গুণাবলি ও তাদের মধ্যে অভ্যন্তরীণ ক্রিয়াকে চিহ্নিত করে। পরবর্তীতে এই শব্দগুলি আরও কিছু নিয়মাবলির সাহায্যে বাস্তবতার সাথে সামঞ্জস্য বজায় রেখে এক একটি বাক্য গঠন করে। সিন্টাক্স নিয়মগুলি দ্বারা শব্দগুলিকে সারিবদ্ধ করার মাধ্যমে বাস্তবতার সাথে মিল রেখে সিমান্টিক্স সম্পর্কগুলি তৈরি করা হয়। অবশ্য এটি বলা ঠিক হবে না যে, সিমান্টিক্স বজায় থাকলেই বাক্য দ্বারা প্রকাশিত তথ্য বা ভাব বাস্তবের সাথে সংগতিপূর্ণ হবে। সিন্টাক্স নিয়মমাফিক কোনো বাক্য তৈরি করা হলেও তা অনেক সময় বাস্তবতার বিপরীত তথ্য প্রকাশ করে অর্থাৎ মিথ্যাকে প্রকাশ করে এবং অনেক সময়ই বলা সম্ভব হয়ে ওঠে না যে, কোনো বাক্য আসলেই সত্য অথবা মিথ্যা কোনটিকে একার্থিকভাবে প্রকাশ করছে। অর্থাৎ বাস্তব পৃথিবীকে চিহ্নিত করার ব্যাপারে মানুষের ক্ষমতার চেয়ে ভাষাগুলির ক্ষমতা অত্যন্ত ব্যাপক। কাজেই কোনো বাক্য গঠনের পর তা সত্য অথবা মিথ্যা সেটি সুস্পষ্ট করার প্রয়োজন অর্থাৎ বাক্যটির দ্বারা প্রকাশিত তথ্য যদি বাস্তবতার সাথে সংগতিপূর্ণ হয় তবে তা সত্য অন্যথায় তা মিথ্যা বলে বিবেচিত হবে।

অতএব, দেখা যাচ্ছে যে, শব্দগুলি পৃথক পৃথকভাবে বাস্তবতা ও বস্তুর গুণাবলি চিহ্নিত করে। কিন্তু ভাষার দ্বারা কেবল বাস্তব পৃথিবীকেই চিহ্নিত বা প্রকাশ করা হয় না, এর দ্বারা অবাস্তব অনেক কিছুও প্রকাশ করা হয় — যেমন রূপকথা, কল্পকাহিনী বা ফ্যান্টাসি ইত্যাদি। এসব ক্ষেত্রে যে শব্দগুলি দ্বারা বস্তুকে চিহ্নিত করা হয় তা সেই বস্তুজগতের অন্তর্গত, যে বস্তুজগতের ব্যাপারে বর্ণনা করা হয় এবং ঐ শব্দগুলি দ্বারা চিহ্নিত বস্তুর গুণাবলি, ঘটনা এবং সম্পর্কগুলিকেও সেই বস্তুজগতের সাথে সংগতিপূর্ণ হতে হবে। অর্থাৎ বিষয়বস্তুজগতের উপর ভিত্তি করেই প্রতিটি ভাষার সৃষ্টি হয় এবং বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করার যথেষ্ট ক্ষমতা সেই ভাষার থাকতে হবে। অতএব যেসব সম্পর্কের দ্বারা বিষয়বস্তু ও তার গুণাবলি প্রকাশ করা হয়, বিষয়বস্তুজগতের অন্তর্ভুক্ত শব্দগুলির মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করা হয় এবং বাক্যের সত্যতা ও অসত্যতা প্রকাশ করা হয় তাকেই বলা হয় সেই ভাষার "সিমান্টিক্স"। এই সঙ্গতি নির্ধারণকারী সম্পর্কগুলিকে "ব্যাখ্যা" নামে অভিহিত করা হয়। ব্যাখ্যার এই ধারণা থেকে বলা যেতে পারে যে, অবস্থাভেদে ব্যাখ্যা একাধিকবারও দেয়া যেতে পারে।

এবারে আমরা তিনটি বাক্য লক্ষ্য করি –

<<আমি কামালকে টেলিফোন করতে চাই কিন্তু টেলিফোন কাজ করছে না>> (৪.৪)

<<কামাল বকুলের নিকট গেছে >> (৪.৫)

<<সেক্ষেত্রে বকুলের নিকট টেলিফোন করি>> (৪.৬)

সর্বশেষ (৪.৬) বাক্যটিকে স্বাভাবিক সিদ্ধান্ত হিসেবে বিচার করা যেতে পারে এবং ফর্মালাইজড বা সূত্রীবদ্ধভাবে বাক্যটিকে নিম্নরূপে লেখা যেতে পারে –

<<যদি কোনো X কোনো Y এর কাছে অবস্থান করে তবে X এর সাথে যোগাযোগ করা যাবে, যদি Y কে টেলিফোন করা যায় >> (৪.৭)

অথবা,

<< যদি কোনো X কোনো Y এর নিকট যায়, তবে X (কিছু সময় পরে) Y এর নিকট অবস্থান করবে>> (৪.৮)

(৪.৬) বাক্যটিকে উপরিউক্ত ব্যাখ্যায় "সত্য" বলে ধরা হবে যে কোনো অবস্থাতেই। যদি কোনো একটি গ্রুপের বাক্যগুলি (উদাহরণস্বরূপ, (৪.৪), (৪.৫), (৪.৭), (৪.৮)) যদি কোনো একটি ব্যাখ্যানুসারে সত্য বলে ধরা হয় তবে সেই ব্যাখ্যানুসারে নতুন বাক্যগুলিকেও সত্য হিসেবে গণ্য করা হবে বাক্যটির সত্যতা পূর্বাহ্নে জানা না থাকলেও। এক্ষেত্রে দেখা যায় যে, সর্বশেষ বাক্যটি সিমান্টিক্স মোতাবেক সেই বাক্যগ্রুপের সমান অর্থ বহন করে যে বাক্যগ্রুপের রেফারেন্স হিসেবে তা কাজ করে। যদি কোনো বাক্যগ্রুপের ভিত্তিতে কোনো বাক্যকে সিদ্ধান্ত হিসেবে বিচার করা হয় তখন আমরা ধরে নেই যে, বাক্যটি সিমান্টিক্স অনুসারে সঠিক বাক্য। প্রকৃতপক্ষে এটি অবশ্য প্রয়োজনীয় কিছু নয়। কোনো বাক্যগ্রুপের সাথে তার সিদ্ধান্ত বাক্যটিও সিমান্টিক্সগতভাবে যথাযথ কিনা তা পরীক্ষা করা দরকার। কিন্তু সময়াভাবে তা সম্ভব হয় না। অর্থাৎ বাস্তব ক্রিয়ার দ্বারা তা পরীক্ষা করা সময়সাপেক্ষ ব্যাপার। তাই আমরা এ ধরনের সঠিকতার যাচাই ভাষার কতকগুলি ফাংশনের সাহায্যে

করতে পারি। উপরের উদাহরণে বাক্যসমষ্টিতে তা দেখানো হয়েছে। এবারে আমরা আরও একটি সহজ উদাহরণের সাহায্যে তা যাচাই করে দেখি–

<< বাবার ভাই হচ্ছে চাচা >> (৪.৯)

<< চাচার পুত্র হচ্ছে কাজিন >> (৪.১০)

<< কামালের বাবা হচ্ছে মমতাজ >> (৪.১১)

<< বকুলের বাবা হচ্ছে আনিস>> (৪.১২)

<< মমতাজ ও আনিস হচ্ছে ভাই >> (৪.১৩)

(৪.১১) থেকে (৪.১৩) পর্যন্ত বাক্যগুলিতে বিষয়বস্তু হচ্ছে কয়েকটি নাম : কামাল, মমতাজ, বকুল, আনিস অর্থাৎ এগুলি হচ্ছে "কনস্ট্যান্ট" যাদের মধ্যে সম্পর্কগুলি একাথিকভাবে সুনির্দিষ্ট করা আছে। <<বাবা>> (<< চাচা>>, << কাজিন>>) বা <<X হচ্ছে Y এর বাবা (চাচা, কাজিন)>> দ্বারা সর্বসাধারণ সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়েছে। (৪.৯) ও (৪.১০) বাক্যদ্বয় সেই ধরনের সম্পর্ক প্রকাশ করে যাতে কয়েকটি ভ্যারিয়েবল আছে। উপরিউক্ত সম্পর্কগুলি থেকে নিচের সম্পর্কটি বের করা যায় –

<< কামাল ও বকুল হচ্ছে কাজিন>> (৪.১৪)

যদি সিদ্ধান্ত সিমান্টিক্স অনুযায়ী গৃহীত হয়, <<বাবা>>, <<চাচা>>, <<কাজিন>> নামক ভ্যারিয়েবলগুলির সাথে সংযুক্ত কনস্ট্যান্ট কামাল, মমতাজ, বকুল, আনিস ও (৪.৯) থেকে (৪.১৩) বাক্যগুলি সত্য হয়, তবে (৪.১৪) বাক্যটিও সত্য হিসেবে বিবেচিত হবে। (৪.৯) ও (৪.১৩) বাক্যগুলি অনেকটা মেকানিক্যালভাবে ব্যবহৃত হয়েছে। <<কামালের বাবা হচ্ছে মমতাজ>> এবং <<মমতাজ ও আনিস হচ্ছে ভাই>> এই বাক্যদ্বয় থেকে বলা যায় যে, <<আনিস হচ্ছে কামালের চাচা>>। এবারে চেষ্টা করা যাক, ফলাফল হিসেবে প্রাপ্ত বাক্য <<বকুল হচ্ছে কামালের কাজিন >> থেকে সিমান্টিক্যালভাবে সিদ্ধান্ত বের করার। সিদ্ধান্ত বের করার পদ্ধতি নির্বাচনে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ হচ্ছে, সিদ্ধান্তটি সিমান্টিক্যাল এবং ফরমাল ভিত্তিতে সঠিকভাবে গৃহীত কিনা তা নির্ধারণ করা। প্রেডিকেট লজিকের আওতায় প্রাপ্ত সিদ্ধান্তগুলি এই দুই পদ্ধতিতে একই ধরনের হয় অর্থাৎ ফরমাল পদ্ধতিতে প্রাপ্ত সিদ্ধান্তগুলি সিমান্টিক পদ্ধতিতে প্রাপ্ত সিদ্ধান্তেরই অনুরূপ হবে। এর ফলে ভাষা গঠনের তিন নম্বর বৈশিষ্ট্যটির যথার্থতা বজায় থাকে।

অতএব, একটি বাক্যগুচ্ছ বা প্রস্তাবনা গ্রুপের ভিত্তিতে ফল নির্ধারণ প্রক্রিয়াকে "সিদ্ধান্ত গ্রহণ" বলা হয়ে থাকে। সিদ্ধান্ত বলতে সেই বাক্যটিকেই বুঝায়, যা ভাষার আকারে প্রকাশিত কয়েকটি বাক্যের ভিত্তিতে গৃহীত হয় এবং সিদ্ধান্ত সকল ধরনের ব্যাখ্যাতেই সত্য হিসেবে বিবেচিত হয়। একই ধরনের বাক্য দ্বারা প্রকাশিত সম্পর্কগুলি বিভিন্ন গঠনের হতে পারে। তবে সুবুদ্ধি দ্বারা প্রসূত বাক্যগুলি যান্ত্রিকভাবে অনুবাদের জন্য বেশ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে, যেমন– << x যদি সঠিক হয় এবং y যদি x এর অনুরূপ হয় তবে y-ও সঠিক হবে >>। এই ধরনের সঠিক বাক্যগুলিকে "টাউটোলোজি" বলা হয়। যেহেতু অনেকগুলি টাউটোলোজি অন্য টাউটোলোজি থেকে প্রসূত হয় তাই কতকগুলি মূল টাউটোলোজি নির্ধারণ করা হয় যেগুলিকে বলা হয় "অ্যাক্সিওম"।

৪.২ প্রেডিকেট ভাষার সিন্টাক্স

প্রেডিকেট লজিকের সৃষ্টি হয়েছে প্রাকৃতিক ভাষার সেসব অংশের উপর ভিত্তি করে যেগুলির মধ্যে কোনো প্রকার অস্পষ্টতা নেই। এদিক দিয়ে বলা যায় যে, প্রেডিকেট লজিক হচ্ছে প্রাকৃতিক ভাষারই কম্পোনেন্ট। এ কারণে প্রাকৃতিক ভাষার তিনটি দিক – সিন্টাক্স, সিমান্টিক্স ও অপারেশন প্রেডিকেট লজিকেও প্রযোজ্য। প্রেডিকেট লজিকের দ্বারা সংজ্ঞায়িত ভাষাগুলিকে প্রেডিকেট ভাষা বলা হয়।

প্রেডিকেট লজিকের জটিলতার মাপকাঠিতে সিন্টাক্স নিয়মগুলিকে ভিত্তি করে হায়ারার্কিকালভাবে ফার্স্ট-অর্ডার, সেকেন্ড-অর্ডার, ...,n-অর্ডার নামক প্রেডিকেট লজিকের বিভিন্ন ভাগ বিদ্যমান। তবে বাস্তব ব্যবহারের জন্য সহজতম বিধায় ফার্স্ট-অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের বেশি প্রচলন আছে। কাজেই পরবর্তীতে আমরা মূলত ফার্স্ট-অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের ভিত্তিতেই আলোচনা করবো।

প্রাকৃতিক ভাষার সিন্টাক্স নিয়ম বা গ্রামার অত্যন্ত জটিল এবং এগুলিকে হুবহু সিস্টেম্যাটিকাল লিখন পদ্ধতিকেও ততো সহজ হিসেবে বিবেচনা করা হয় না। তাই প্রেডিকেট লজিকে লিখন পদ্ধতি সহজতর করা হয় বস্তুকে সংজ্ঞায়িত করার জন্য কতকগুলি সীমাবদ্ধতা সৃষ্টির মাধ্যমে। অন্যকথায় বলতে হয়–প্রেডিকেট লজিক হচ্ছে সেই ধরনের ভাষা পদ্ধতি যা প্রাকৃতিক ভাষার বাক্যগুলিকে কতকগুলি সহজ সিমান্টিকাল নিয়ম দ্বারা সীমাবদ্ধ করে তা প্রকাশ করে থাকে।

ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, ভাষার গঠন প্রণালি নির্ধারণ করার জন্য তিনটি উপাদান দরকার –(১) অক্ষর সম্ভার, (২) মরফেম, (৩) সিন্টাক্স। প্রেডিকেট লজিকও হচ্ছে এক ধরনের ভাষা, কাজেই উপরিউক্ত উপাদানগুলি এই ভাষাতেও বিদ্যমান থাকতে হবে যেহেতু (১) ও (২) উপাদান দুটি সকল ভাষাতেই নিজস্বভাবে বিদ্যমান, কাজেই আমরা ৩ নং উপাদানটির দিকেই নজর দিব। ভাষার অক্ষরসম্ভারের ভিত্তিতে গঠিত সুবিন্যস্ত অক্ষরগুচ্ছ দ্বারাই শব্দ গঠিত হয়। আমাদের পরবর্তী আলোচনার সুবিধার জন্য আমরা শব্দগুলিকে a, b, x, y ইত্যাদি চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করবো।

৪.৩ টার্ম, কনস্টান্ট, ভ্যারিয়েবল, ফাংশন

প্রেডিকেট ভাষার বিশেষ ফাংশন হলো কিছু শব্দ যা আলোচ্য বিষয়বস্তুজগতের বস্তুগুলিকে চিহ্নিত করে, আর কিছু শব্দ বস্তুগুলির অ্যাট্রিবিউট বা গুণাবলি এবং তাদের মধ্যে সম্পর্ক ও ব্যবহারবিধি প্রকাশ করে। প্রথম ধরনের শব্দগুলিকে প্রেডিকেট লজিকে বলা হয় "টার্ম" এবং দ্বিতীয় ধরনের শব্দগুলিকে বলা হয় "প্রেডিকেট"।

এবারে আমরা প্রেডিকেট ভাষার গঠন প্রণালি সম্পর্কে বিশ্লেষণ করবো। প্রেডিকেট লজিকে কিছু বিশেষ বক্ষিত চিহ্ন সম্ভার বিদ্যমান। এছাড়া প্রায় কোনো বিশেষ ধরনের অক্ষর বা চিহ্ন প্রেডিকেট ভাষার কোনো সীমাবদ্ধতা ছাড়াই ব্যবহার করা হয়। এই বিশেষ চিহ্নগুলি সম্বন্ধে পরবর্তী পৃষ্ঠায় বর্ণনা করা হলো।

কোনো বিষয়বস্তু বা ভ্যারিয়েবল প্রকাশ করা হয় কিছু সীমিত অক্ষরসারি বা চিহ্ন দ্বারা। প্রকাশ সেই চিহ্নগুলির মধ্যে বিশেষভাবে রক্ষিত চিহ্নগুলি পড়ে না। পরবর্তীতে আমরা মূলত অক্ষর দ্বারাই বিষয়বস্তু ও ভ্যারিয়েবলগুলিকে প্রকাশ করবো। কনস্টান্ট ও ভ্যারিয়েবলগুলির সাহায্যে বিষয়বস্তুজগতের বিভিন্ন বস্তুকে প্রকাশ করা হয়। ইংরেজি বর্ণমালার সর্বশেষ অক্ষরগুলি বিশেষত u, v, w, x, y, z ইত্যাদি দ্বারা ভ্যারিয়েবলগুলিকে প্রকাশ করা হয়।

n সংখ্যক কনস্টান্ট বা ভ্যারিয়েবল (n সীমিত ও n > 1) প্রথম বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ করে ফাংশন নামের পরে যোগ করা হয়। ফাংশন নামটি কয়েকটি সীমিত সংখ্যক অক্ষরমালা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন f(x,y) ফাংশনটি সেই মানটি প্রকাশ করে বা তার আরগুমেন্ট (কনস্টান্ট বা ভ্যারিয়েবল) নিরূপণ করে। ফাংশনের মান আরগুমেন্টের মানগুলির মতোই বাস্তব পৃথিবীর সাথে সম্পর্কিত কোনো বস্তু বা মান প্রকাশ করে। ফাংশন দ্বারা এক বস্তুর সাথে আর এক বস্তুর সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়। এই বস্তুদ্বয় একই জাতীয় বা ভিন্ন জাতীয় হতে পারে। ফাংশনের মান কোনো সংখ্যা বা ভ্যারিয়েবলের মতোই বাস্তব পৃথিবীর ধারণার সাথে সম্পর্কযুক্ত এবং এগুলিকে এককভাবে "টার্ম" নামে অভিহিত করা হয়।

৪.৪ অ্যাটোমিক প্রেডিকেট

অ্যাটোমিক প্রেডিকেট বলা হয় n সংখ্যক (n সীমিত ও n > 1) প্রথম বন্ধনী দ্বারা আবদ্ধ টার্মের সারি (কনস্টান্ট, ভ্যারিয়েবল বা ফাংশন) যা প্রেডিকেট সিম্বলের (কয়েকটি অক্ষর সারি পরে অবস্থান করে। উদাহরণস্বরূপ, <<পিতা(x,y)>> একটি অ্যাটোমিক প্রেডিকেট। এই অ্যাটোমিক প্রেডিকেটটির চলতি ভাষায় অর্থ দাঁড়াবে <<x হচ্ছে y এর পিতা >> প্রেডিকেটের মান হয় "সত্য" অথবা "মিথ্যা" হবে এবং এটি নির্ভর করবে প্রেডিকেটের আরগুমেন্ট (কনস্টান্ট, ভ্যারিয়েবল বা ফাংশন) এর উপর। আমাদের কথ্য বাক্যালাপের সর্বাধিক সহজ বাক্য হিসেবে অ্যাটোমিক প্রেডিকেটকে ধরা যায়। অবশ্য এই সহজ বাক্যটি কথ্য ভাষায় তেমন প্রচলিত নয় অর্থাৎ যাতে শুধু একটি ক্রিয়াপদ বা বাক্যের সেই অংশ বিদ্যমান যা ঐ ধরনের ফাংশন পালন করে। প্রচলিত ভাষায় সহজতম বাক্যগুলিকে বিভিন্ন সংযোগ সাধনকারী অব্যয় ও সর্বনামের ব্যবহারের দ্বারা জটিল বাক্য গঠন করা হয়। একইভাবে প্রেডিকেট লজিকেও বিভিন্ন অ্যাটোমিক প্রেডিকেটকে সংযোগ সাধনকারী চিহ্নের দ্বারা লজিক্যাল ফর্মুলা তৈরি করা হয়। লজিক্যাল ফর্মুলাগুলিকে প্রচলিত ভাষার জটিল বাক্যগুলির সাথে তুলনা করা যেতে পারে। প্রেডিকেট লজিকে লজিক্যাল ফর্মুলাগুলিতে অ্যাটোমিক প্রেডিকেটের সাহায্যে আরগুমেন্ট দ্বারা প্রকাশিত বিষয়বস্তুগুলির মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়। এজন্য পূর্বাহ্নেই অ্যাটোমিক প্রেডিকেট কিভাবে গঠন করা হবে তার ব্যাখ্যা বা সংজ্ঞা দেয়ার প্রয়োজন নেই। কারণ, যখন কোনো ব্যক্তি প্রেডিকেট লজিকের সাহায্যে কোনো বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করতে চায়, তখন সে প্রেডিকেটগুলি প্রয়োজনীয় অবস্থার পরিপ্রেক্ষিতেই তৈরি করে। <<পিতা(x,y)>> প্রেডিকেটটি এক পলকে ইচ্ছামাফিকই তৈরি করা হয়েছে। যদি কোনো প্রদত্ত প্রেডিকেট লজিকের সাহায্যে মেকানিক্যাল কনফিগারেশনগুলিকে প্রকাশ করা হয়, তবে সেখানে প্রেডিকেটগুলিতে

বিষয়বস্তু হিসেবে ত্রিমাত্রিক ঘন বস্তুগুলিকে প্রকাশ করা হবে, এক্ষেত্রে প্রদত্ত পিতা-পুত্র সম্পর্কিত প্রেডিকেটের কোনো প্রয়োজন নেই। অবশ্য প্রজেক্ট বাস্তবায়নকারী মেকানিক্যাল কনস্ট্রাকশনের বিষয়বস্তুগুলির সম্পর্ককে <<পিতা(x,y)>> প্রেডিকেটটি দ্বারা প্রকাশ করতে চাইলে সেক্ষেত্রে প্রেডিকেটটির অর্থ দাড়াবে <<y হচ্ছে x এর অংশ)>>। এ কথা বলার অপেক্ষা রাখে না যে, একই পদ্ধতিতে একই প্রেডিকেটকে একাধিক অর্থে ব্যবহার করা যাবে না।

৪.৫ প্রেডিকেট লজিকে রক্ষিত চিহ্ন

প্রচলিত ভাষার বাক্যগুলিকে প্রেডিকেট লজিকে প্রেডিকেট ফর্মুলার সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। প্রেডিকেটগুলির মধ্যে সম্পর্ক অ্যাটোমিক প্রেডিকেটের চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় না, বরং বিশেষ কিছু চিহ্নের দ্বারা অ্যাটোমিক প্রেডিকেটগুলিকে সম্পর্কযুক্ত করে লজিক্যাল ফর্মুলা তৈরি করা হয়। এই চিহ্নগুলি প্রচলিত ভাষার অব্যয় ও সর্বনামের ভূমিকার অনুরূপ ভূমিকা পালন করে এবং তাদের সাহায্যে প্রেডিকেটগুলির সিমান্টিক্সের যথাযথ সংজ্ঞাকরণ সম্ভব হয়। অবশ্য প্রচলিত ভাষায় বিভিন্ন অবস্থাভিত্তিক সম্পর্ক ব্যবহার করা হয় কিন্তু প্রেডিকেট লজিকে কেবল লজিক্যাল সম্পর্ক ব্যবহার করা হয় বিধায় অস্পষ্টতা এড়ানোর জন্য অল্প কিছু সংখ্যক সংযোগ চিহ্নের ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, প্রচলিত ভাষায় গঠিত <<কামাল বিষণ্ন ছিল কিন্তু সে কাঁদে নি>> বাক্যটি দুটি সহজ বাক্যকে "কিন্তু" এই বিপরীতধর্মীতা প্রকাশকারী সংযোজন শব্দটি দ্বারা যুক্ত করার ফলে গঠিত হয়েছে। অন্যদিকে <<কামাল বিষণ্ন ছিল এবং সে কাঁদে নি>> বাক্যটি ব্যাকরণবিধিগতভাবে সঠিক হলেও তার অর্থ সুস্পষ্ট নয়। এই বাক্যে সংযোগকারী শব্দ "এবং" ব্যবহার করে দুটি সহজ বাক্যকে একত্রিত করা হয়েছে। যেহেতু উভয় ধরনের সংযুক্ত বাক্যগুলিতে একই ধরনের ফ্যাক্ট ব্যবহার করা হয়েছে, কাজেই যুক্তিগতভাবে উভয় বাক্যই সত্য অর্থাৎ "কিন্তু" ও "এবং" উভয় সংযোগকারী শব্দই একই ধরনের লজিক্যাল ফাংশন পালন করছে। কাজেই এ দুটি শব্দকেই একই চিহ্ন $\wedge$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। প্রেডিকেট লজিকে $\wedge$ চিহ্নটিকে পড়া হয় "এবং" যার নাম হচ্ছে "কনজাংশন"। ঠিক একইভাবে সংযোগকারী সর্বনামগুলিকেও প্রেডিকেট লজিকে সংযোগকারী চিহ্নের দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন <<কামালের একটি বন্ধু আছে যে ইংরেজিতে কথা বলে>> এই বাক্যটিকে প্রেডিকেট লজিকে দুটি সহজ বাক্যের সমন্বয়ে প্রকাশ করা হয় $\wedge$ সংযোগ চিহ্নের দ্বারা অর্থাৎ << কামালের একটি বন্ধু আছে $\wedge$ সেই বন্ধুটি ইংরেজিতে কথা বলে >>। যদিও প্রেডিকেট লজিকের সাহায্যে এভাবে বাক্যকে প্রকাশ করার ফলে অনেক সময় প্রচলিত ভাষায় প্রকাশিত বাক্যরূপটির কিছু বিশেষত্ব পরিবর্তিত হয় তথাপি কম্পিউটারের সাহায্যে জ্ঞানের প্রক্রিয়াকরণে প্রচলিত ভাষার জটিলতাকে এড়ানো ছাড়া সম্ভবপর নয়।

উপরিউক্ত ধরনের সংযোগকারী চিহ্ন হিসেবে প্রেডিকেট লজিকে নিম্নলিখিত পাঁচ ধরনের সংযোগ চিহ্ন বিদ্যমান। এছাড়া সংযোগচিহ্নগুলিকে প্রেডিকেট লজিকে দুটি ভাগে ভাগ করা হয়। নিম্নে আমরা সংক্ষেপে এই দুই ধরনের ক্লাসের সম্বন্ধে কিছুটা আলোচনা করবো।

প্রথম ক্লাসের সংযোগচিহ্ন :

নিচের ট্রুথ টেবিলে সংযোগকারী চিহ্নগুলি দেখানো হলো।

A	B	A∧B	A∨B	~A	A→B	A↔B
F	F	F	F	T	T	T
F	T	F	T	T	T	F
T	F	F	T	F	F	F
T	T	T	T	F	T	T

পরবর্তীতে আমরা A, A_1, A_2,..., B, C ইত্যাদি অক্ষরগুলিকে প্রেডিকেট হিসেবে ব্যবহার করবো। যেহেতু প্রথম ক্লাসের সংযোগচিহ্নগুলিকে ব্যাখার জন্য প্রেডিকেটগুলির আরগুমেন্ট বিচারের কোনো প্রয়োজন নেই তাই আমরা প্রেডিকেটগুলিতে আরগুমেন্ট উল্লেখ করবো না। প্রথম ক্লাসের সংযোগচিহ্নের সাহায্যে ইতোমধ্যেই নির্ধারিত প্রেডিকেটগুলির সমন্বয়ে নতুন ধরনের প্রেডিকেট গঠন করা সম্ভব। প্রথম ক্লাসের সংযোগচিহ্নগুলির মধ্যে পার্থক্য হলো এই যে, তাদের নিজস্ব ব্যবহার বিধি বিদ্যমান। এই নিয়মগুলির সাহায্যে সংযোজিত অঙ্গ প্রেডিকেটগুলির সত্যতা ও অসত্যতার উপর ভিত্তি করে সংযুক্ত প্রেডিকেটটির ভিন্ন ভিন্ন ধরনের সত্যতা ও অসত্যতার মান নির্ধারিত হয়। যেহেতু সংযুক্ত প্রেডিকেটটি নিজেও একটি প্রেডিকেট, তাই তাকে আমরা পরবর্তীতে "C" অক্ষরটি দ্বারা চিহ্নিত করবো।

সিম্বল ∧ :

এই সিম্বল দ্বারা সংযুক্ত প্রেডিকেট C=A∧B এর মান সত্য হয় কেবল তখন, যখন A ও B একই সাথে সত্য হয় অন্যক্ষেত্রে তা হয় অসত্য। উদাহরণস্বরূপ, ইতঃপূর্বে উল্লিখিত <<কামালের একটি বন্ধু আছে>> ও <<সেই বন্ধুটি ইংরেজিতে কথা বলে>> এই প্রেডিকেট দুটি যদি যথাক্রমে A ও B হয় তবে তাদের মধ্যে যে কোনো একটি অসত্য হলে তাদের সংযুক্ত প্রেডিকেটটিও অসত্য হবে। প্রেডিকেট লজিকের ভাষায় A ও B এর সংযুক্তিতে প্রাপ্ত প্রেডিকেট C কে কনজাংশন বলা হয় এবং সাধারণভাবে ∧ কে বলা হয় "এবং" চিহ্ন।

সিম্বল ∨ :

এই সিম্বল দ্বারা সংযুক্ত প্রেডিকেট C = A∨B এর মান সত্য হয় যদি A ও B এর মধ্যে যে কোনো একটির মান সত্য হয়। যদি A ও B উভয়েরই মান অসত্য হয় তবে C এর মানও অসত্য হবে। ∨ এই সিম্বলটিকে প্রেডিকেট লজিকের ভাষায় বলা হয় "ডিসজাংশন" এবং সাধারণভাবে বলা হয় "অথবা" চিহ্ন।

সিম্বল ~ :

এই চিহ্নটি একটি প্রেডিকেট থেকে অন্য একটি প্রেডিকেটে রূপান্তর প্রকাশ করে। প্রেডিকেট C = ~A এর মান হবে সত্য যদি A এর মান মিথ্যা হয় এবং অসত্য হবে যদি A এর মান

সত্য হয়। উদাহরণস্বরূপ, যদি A প্রেডিকেটটি << কামালের একটি বন্ধু আছে>> হয়, তবে ~A প্রেডিকেটটি হবে <<কামালের একটি বন্ধু নেই>>। প্রেডিকেট লজিকের ভাষায় এই সিম্বলটিকে বলা হয় "নিগেশন" বা চলতি ভাষায় "অস্বীকৃতি" চিহ্ন।

সিম্বল $\rightarrow$:

এই সিম্বল দ্বারা সংযুক্ত প্রেডিকেট $C=A\rightarrow B$ এর মান সত্য হয় যদি A মিথ্যা হয়, অথবা A ও B একই সাথে সত্য মান গ্রহণ করে। $C=A\rightarrow B$ এই প্রকাশনাটিকে অন্যভাবে $C=\sim A\vee B$ হিসেবে লেখা যায়। কাজেই $\rightarrow$সিম্বলটি কোনো মূল সিম্বল নয়। একই সাথে $\wedge$, $\vee$, $\sim$ ও $\rightarrow$ সিম্বলগুলি ব্যবহারে অস্পষ্টতার সৃষ্টি হতে পারে কারণ $\rightarrow$ সিম্বলটি ব্যতিরেকেই অন্য তিনটি সিম্বলের সাহায্যে একই অর্থের কোনো সংযুক্ত প্রেডিকেট তৈরি করা যায়। তথাপি $\rightarrow$ সিম্বলটিকে মূল সিম্বলগুলির আওতাভুক্ত করা হয় কারণ প্রচলিত ভাষায় $A\rightarrow B$ প্রেডিকেটটিকে প্রকাশ করা হয় << যদি A,তবে B>> এইভাবে । এতে কোনো সন্দেহ নেই যে, যদি A ও B সত্য হয়, তবে $A\rightarrow B$ এর মানও সত্য হবে এবং <<যদি A, তবে B >> ও সত্য হবে। কিন্তু প্রশ্ন উঠে <<যদি A, তবে B>>এর অর্থ কি হবে যদি A মিথ্যা হয়? প্রচলিত ভাষায়<<যদি A, তবে B>>এর অর্থ অনির্ধারিত থাকে, যদি A মিথ্যা হয়। কিন্তু লজিকের ভাষায় এ ধরনের অস্পষ্টতা ও অনির্দিষ্টতা অগ্রহণযোগ্য। এজন্য $\rightarrow$ চিহ্নটিকে সাধারণত প্রেডিকেট ভাষায় বলা হয় "ইমপ্লিকেশন" চিহ্ন। প্রচলিত ভাষায় $A\rightarrow B$ কে বলা যায় যে A প্রেডিকেটটি B প্রেডিকেটের প্রতি নির্দেশ করে।

লজিকের ভাষায় "অ্যান্টিথিসিস" এর ধারণা প্রচলিত আছে। অর্থাৎ <<যদি A,তবে B>> কার্যকর হলে <<যদি B না হয়, তবে A হবে না >> প্রেডিকেটটিকে পূর্ববর্তী প্রেডিকেটের অ্যান্টিথিসিস হিসেবে বিবেচনা করা হবে। যেহেতু $A\rightarrow B$ কে $\sim A\vee B$ হিসেবে লেখা যায় কাজেই তার অ্যান্টিথিসিস $\sim B\rightarrow\sim A$ কেও $\sim A\vee B$ সমমানের ধরা যাবে। এখান থেকে বলা যায় যে, <<যদি A, তবে B >> এই প্রকাশনায় A ও B এর মধ্যে ক্রমিক সম্পর্ক বিদ্যমান অর্থাৎ A কে বলে পূর্বশর্ত ও B কে বলা হয় অনুসিদ্ধান্ত।

সিম্বল $\leftrightarrow$:

এই সিম্বল দ্বারা সংযুক্ত প্রেডিকেট $C=A\leftrightarrow B$কে সমমানের প্রেডিকেট $C=(A\rightarrow B)\wedge(B\rightarrow A)$ হিসেবে প্রকাশ করা যায়। যেহেতু '$\rightarrow$' সিম্বলটি $\sim$,$\vee$ ও $\wedge$সিম্বলগুলি দ্বারাও প্রকাশ করা যায়, কাজেই '$\leftrightarrow$' সিম্বলটিও $\sim$, $\wedge$ ও $\vee$ দ্বারা প্রকাশ করা যায় অর্থাৎ $C=A\leftrightarrow B=(\sim A\vee B)\wedge(\sim B\vee A)$। কথায় প্রকাশ করলে বলতে হয়, '$A\leftrightarrow B$' এর অর্থ হলো << A ও B ইকুইভ্যালেন্ট অর্থাৎ C এর মান সত্য হবে, যখন A ও B এর মান একই রকম "সত্য" অথবা "মিথ্যা" হবে। '$\leftrightarrow$' সিম্বলটিকে লজিকের ভাষায় বলা হয় "ইকুইভ্যালেন্স"।

দ্বিতীয় ক্লাসের রক্ষিত চিহ্ন

এই দ্বিতীয় ধরনের চিহ্নগুলির মধ্যে পড়ে $\forall$ ও $\exists$ চিহ্ন দুটি। এই চিহ্ন দুটিকে ল্যাটিন $\forall$ অক্ষর A ও E এর উল্টারূপ হিসেবে ধরা যায়। এই চিহ্ন দুটির অর্থ সূক্ষ্মভাবে নির্ধারণ

করার জন্য প্রথমে প্রেডিকেটের মূল অর্থ বা বিষয়বস্তু কি সেটি জানা দরকার। সহজবোধ্যতার কারণে প্রথমে এককস্থানীয় প্রেডিকেটকে লক্ষ্য করা যাক।

ইতঃপূর্বেই বলা হয়েছে যে, প্রেডিকেটের ভ্যারিয়েবলগুলি বস্তুজগতের কোনো বিষয়বস্তুকে চিহ্নিত করে। ধরা যাক, বস্তুজগতে a, b, c,... ইত্যাদি বিষয়বস্তুগুলি বিদ্যমান। যদি প্রেডিকেট F(x) এ x কোনো বিষয়বস্তুকে চিহ্নিত করে তাহলে বলা যেতে পারে যে, x এর মধ্যেই বিষয়বস্তু সম্পর্কিত তথ্য নিহিত আছে। প্রেডিকেট F(x) সেই বিষয়বস্তুর সত্যতা বা অসত্যতা নির্ধারণ করে। ধরা যাক যে, F(x) প্রেডিকেটটি দ্বারা এই বাক্যটি প্রকাশ করা হচ্ছে যে, <<x হয় কোনো পুরুষ>>। এবার F(a) এর মান সত্য হবে যদি a একজন পুরুষ হয়। কিন্তু F(b) মিথ্যা হবে যদি b একজন নারি হয়। কোনো প্রেডিকেটের মধ্যে ভ্যারিয়েবলের স্থানে কোনো কনস্টান্ট মান না বসানো পর্যন্ত সমগ্র প্রেডিকেটটির মানের সত্যতা বা অসত্যতা নির্ণয় করা সম্ভব নয়। অবশ্য যখন কোনো সাধারণকরণ হয়, তখন ভ্যারিয়েবলের কনস্টান্ট মান ছাড়াই প্রেডিকেটের মান নির্ণয় করা সম্ভব। যেমন <<সবকিছুই প্রবাহমান ও পরিবর্তনশীল>> বাক্যটিকে **প্রবাহ** (x) এই প্রেডিকেট দ্বারা প্রকাশ করলে বলতে পারি যে, **প্রবাহ** (x) দ্বারা প্রকাশিত <<x প্রবাহমান ও পরিবর্তনশীল>> কথাটি x এর যে কোনো মানের জন্যই প্রযোজ্য। প্রেডিকেটের ভাষায় <<সবকিছুই প্রবাহমান ও পরিবর্তনশীল>> কথাটি প্রকাশ করা হয় এভাবে- ∀x প্রবাহ (x)। এখানে ∀x দ্বারা প্রকাশ করা হচ্ছে "সকল x এর জন্য প্রযোজ্য"। ∀ সিম্বলটি কোনো বাক্যকে সর্বসাধারণকরণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

∀ সিম্বলের পাশাপাশি প্রেডিকেটের ভিত্তি মান নির্ণয়ের জন্য অন্য একটি গঠন সিম্বল ব্যবহার করা হয়। এই গঠনটি অনেক সময় এই ভাব প্রকাশ করে যে, <<সকল বিষয়বস্তুই যে প্রেডিকেট F(x) এর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হবে বা সন্তুষ্ট করবে তা সঠিক নয়>>। যদি কোনো প্রেডিকেট নেতিবাচক করার জন্য <<সকল x এর মানের জন্য সত্য নয় অর্থাৎ ~F(x) এর মান সত্য>> তাহলে এটি থেকে বুঝা যায় যে, <<অন্ততঃপক্ষে একটি x বিদ্যমান যার জন্য F(x) এর মান সত্য হবে>>। আন্ডারলাইন করা বাক্যাংশটিকে ∃x চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় সমস্ত বাক্যটিকে ∃x F(x) ভাবে প্রেডিকেট ভাষায় প্রকাশ করা হয়। প্রচলিত প্রেডিকেট লজিকে উপরিউক্ত ∀ এবং ∃ সিম্বল দুটি প্রেডিকেটের ভ্যারিয়েবলগুলির সীমাবদ্ধতা নিরূপণ করে। এই সিম্বল দুটিকে যথাক্রমে "সবার জন্য" ও "বিদ্যমান" অর্থে ব্যবহার করা হয়। অনেক সময় এদের যথাক্রমে "সার্বজনীন" ও "অস্তিত্বমূলক" কোয়ান্টার নামেও অভিহিত করা হয়। কোয়ান্টার বলতে প্রেডিকেট লজিকে এই চিহ্ন দুটিকেই বুঝায়। কোনো ভ্যারিয়েবল কোয়ান্টার দ্বারা সংযুক্ত হলে তাকে "সংযুক্ত ভ্যারিয়েবল" এবং কোয়ান্টার দ্বারা সংযুক্ত না থাকলে তাকে "মুক্ত ভ্যারিয়েবল" বলা হয়।

এ পর্যন্ত কোয়ান্টারগুলির ব্যবহার কেবল একটি ভ্যারিয়েবলের ক্ষেত্রেই করা হয়েছে। কিন্তু কোয়ান্টারগুলিকে একাধিক ভ্যারিয়েবলের ক্ষেত্রেও ব্যবহার করা যায়। অবশ্য কিছু ভ্যারিয়েবল কোয়ান্টার ∀ দ্বারা ও কিছু ভ্যারিয়েবল কোয়ান্টার ∃ দ্বারা প্রকাশ করলে

প্রেডিকেটগুলির অর্থ নিরূপণে অনির্দিষ্টতা বা অস্পষ্টতার উদ্ভব হতে পারে। এই অসুবিধা এড়ানোর জন্য ভ্যারিয়েবলগুলির প্রেডিকেটের মধ্যে ক্রমিক অবস্থান সুনির্দিষ্ট করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, <<ভালোবাসে (x,y)>> এই প্রেডিকেটটি দ্বারা <<x ভালোবাসে y কে>> এই সম্পর্কটি প্রকাশ করা হয়। যদি x ভ্যারিয়েবলটি সার্বজনীনমূলক কোয়ান্টার দ্বারা এবং y ভ্যারিয়েবলটি অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টার দ্বারা সংযুক্ত হয় তবে দুভাবে বলা যেতে পারে যে, <<সকল xএর জন্য y মানুষটি অস্তিত্বশীল যাকে ভালোবাসে x>> এবং <<y মানুষটি অস্তিত্বশীল যাকে সকল x ভালোবাসে >>। এই বাক্য দুটির মধ্যে ভাব সুস্পষ্ট করার জন্য কোয়ান্টার নিম্ন উপায়ে ব্যবহার করা যেতে পারে। প্রথম বাক্যটির জন্য <<(∀x)(∃y) ভালোবাসে (x,y)>> এবং দ্বিতীয় বাক্যটির জন্য <<(∃y)(∀x) ভালোবাসে (x,y)>>। এক্ষেত্রে কোয়ান্টারযুক্ত ভ্যারিয়েবলগুলিকে প্রেডিকেটের বামদিক থেকে ডানদিকে পড়া হবে। এবারে দেখা যাক, কোয়ান্টারগুলি বিভিন্নভাবে ব্যবহারের ফলে প্রেডিকেটের অর্থের কি পরিবর্তন হয় (এখানে x ও y দ্বারা মানুষকে চিহ্নিত করা হয়েছে)।

<<(∀x)(∀y) ভালোবাসে (x,y)>> : সকল মানুষ সকল মানুষকে ভালোবাসে ;

<<(∃x)(∀y) ভালোবাসে (x,y) >> : এমন একটি মানুষ অস্তিত্বশীল, যে সকল মানুষকে ভালোবাসে ;

<<(∀x)(∃y) ভালোবাসে (x,y) >> : প্রতিটি মানুষের জন্য এমন মানুষ অস্তিত্বশীল, যে তাকে ভালোবাসে ;

<<(∃x)(∃y) ভালোবাসে (x,y) >> : এমন মানুষ অস্তিত্বশীল, যে অন্য একজন মানুষকে ভালোবাসে ;

<<(∃x)(∃y) ভালোবাসে (x,y) ∧ সমান (x,y)>> : এমন মানুষ অস্তিত্বশীল, যে নিজেকে ভালোবাসে ;

যখন কোনো প্রেডিকেটের সকল ভ্যারিয়েবল কোয়ান্টার-সংযুক্ত হয় তখন সেই প্রেডিকেটটিকে বলা হয় একটি বাক্য। উপরের উদাহরণগুলির সবগুলি প্রেডিকেটই এই ধরনের বাক্য। জ্ঞান-প্রস্তাবনায় ব্যবহৃত প্রেডিকেটগুলিকে বাক্য হিসেবে গণ্য করা হয়।

৪.৬. সূত্র গঠনের সঠিক সংজ্ঞা

উপরিউক্ত চিহ্নগুলিকে রিকারসিভ বা পুনঃপুন ব্যবহারের দ্বারা প্রেডিকেট লজিকের অঙ্গ সূত্রগুলি নির্ধারণ করা যায়। সঠিকভাবে গঠিত সূত্রগুলিকে পরবর্তীতে সঠিক সূত্র বা লজিক্যাল সূত্র নামে অভিহিত করা হবে। সঠিক সূত্রগুলিকে প্রচলিত ভাষায় সাধারণ বাক্য হিসেবে গণ্য করা যেতে পারে।

(১) অ্যাটোমিক সূত্রগুলি সবই হচ্ছে লজিক্যাল সূত্র ;

(২) যদি F, G লজিক্যাল সূত্র হয়, তবে F∧G, F∨G, F→G, F↔G, ~F গুলিও হচ্ছে লজিক্যাল সূত্র ;

(৩) যদি F(x) লজিক্যাল সূত্র হয়, তবে (∀x)F(x), (∃x)F(x) গুলিও হচ্ছে লজিক্যাল সূত্র ;

(৪) উপরিউক্ত (১) থেকে (৩) পর্যন্ত সংজ্ঞাগুলিকে সীমিত সংখ্যকবার পুনরাবৃত্তি করার ফলে যে ফল পাওয়া যায়, তাকেও লজিক্যাল সূত্র বলা হবে।

উপরিউক্ত সংজ্ঞাগুলি ব্যবহারের দ্বারা আমরা <<সকল মানুষ মরণশীল>>এই বাক্যটিকে <<(∀x) [মানুষ (x)→মরণশীল (x)] >> এই লজিক্যাল সূত্রগুলির সাহায্যে লিখতে পারি।

৪.৭. লজিক্যাল প্রেডিকেটের সিমান্টিক্স

প্রেডিকেট লজিকে লজিক্যাল সূত্রগুলির সংজ্ঞা নির্ধারণ করা যায় এভাবে-লজিক্যাল সূত্র হলো অ্যাটোমিক প্রেডিকেটগুলির মধ্যে মূল সম্পর্কগুলি প্রকাশকারী সিন্টাক্স নিয়মগুলির দ্বারা সহজ বাক্যগুলি থেকে জটিল বাক্য গঠন করার নিয়ম। এই নিয়মগুলি প্রচলিত ভাষার সিন্টাক্স নিয়মগুলির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। এই ধরনের লজিক্যাল সূত্র কোনো সার্বজনীন সম্পর্ক প্রকাশ করে।

বলা যেতে পারে যে, লজিক্যাল প্রেডিকেটগুলি কোনো বস্তুজগতের উপর ভিত্তি না করেই চিহ্ন পদ্ধতির দ্বারা তৈরি হয়। যদি সূত্রগুলির দ্বারা কোনো বিশেষ বস্তুজগতকে প্রকাশ করতে হয় তবে তাদের মধ্যে যথাযথ সম্পর্ক নির্ধারণ করতে হবে। এই সম্পর্ক নির্ধারণের ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত নিয়মগুলি অনুসরণ করা বাঞ্ছনীয়।

(১) প্রেডিকেট লজিকের কনস্ট্যান্টগুলির সাথে বিষয়বস্তুজগতের সম্পর্ক নির্ধারণ করতে হবে (কনস্ট্যান্টগুলি বিষয়বস্তুজগতের বস্তুগুলির নাম চিহ্নিত করে) ;

(২) প্রেডিকেট লজিকের সূত্রগুলির সাথে বিষয়বস্তুজগতের ফাংশনাল সম্পর্ক নির্ধারণ করতে হবে ;

(৩) অ্যাটোমিক প্রেডিকেটগুলির সাথে বিষয়বস্তুজগতের (কনসেপচুয়াল) ধারণাগুলির সম্পর্ক নির্ধারণ করতে হবে।

(২) ও (৩) নম্বর প্রক্রিয়াগুলির দ্বারা প্রকাশিত বিষয়বস্তুজগতের বিষয়বস্তু ও তাদের সংখ্যাগুলির মধ্যে সামঞ্জস্য থাকতে হবে। উপরন্তু, লজিক্যাল সূত্রগুলি দ্বারা প্রকাশিত ধারণাগুলির সত্যতা ও অসত্যতা মান প্রদান করতে হবে।

উপরিউক্ত সম্পর্কগুলি প্রেডিকেট লজিকের সূত্র ও কনসেপ্টগুলির সাথে বাস্তব বিষয়বস্তুজগতের সামঞ্জস্য বিধানের দ্বারা নির্ধারণ করতে হবে। এই কনসেপ্ট বা ধারণাই হচ্ছে প্রেডিকেট লজিকের সিমান্টিক্স। সাধারণত উপরিউক্ত ব্যাখ্যা ফরমালভাবে নিম্নরূপে লিপিবদ্ধ করা যায় –

(১) কোনো অশূন্য সেট D দ্বারা বিষয়বস্তুকে প্রকাশ করতে হবে, যে সেটের এলিমেন্টগুলি কনস্ট্যান্ট ও ভ্যারিয়েবলগুলিকে চিহ্নিত করবে ;

(২) D^n (DxDxDx ... xD) থেকে D পর্যন্ত সকল সেটের সকল ফাংশনগুলির জন্য ফাংশনাল চিহ্ন নির্ধারণ করতে হবে ;

(৩) D^n এর প্রতিটি প্রেডিকেটের n সংখ্যক ভ্যারিয়েবলগুলির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করতে হবে এবং প্রেডিকেটের সত্যতা বা অসত্যতার মান নির্ধারণ করতে হবে।

লজিক্যাল প্রেডিকেটের দৃষ্টিতে D সেটটিকে ভ্যারিয়েবল ক্ষেত্র বলা যেতে পারে। উপরিউক্ত D ধারণার লজিক্যাল সূত্রগুলির মান নিম্নরূপে নির্ধারণ করা যায়–

(১) যদি F ও G লজিক্যাল সূত্রগুলির মান নির্ণয় করতে হয় তবে পূর্বোল্লিখিত ট্রুথ টেবিলের সাহায্যে –F, F∧G, F∨G, F→G, F↔G এর মান নির্ধারণ করতে হবে ;

(২) যদি D সেটের সকল এলিমেন্ট x এর জন্য F সত্য হয় তবে $(\forall x)F$ প্রেডিকেটটিও সত্য হবে ;

(৩) যদি D সেটে অন্তত একটি এলিমেন্ট x এর জন্য F সত্য হয় তবে $(\exists x)F$ এর মানও সত্য হবে।

লজিক্যাল প্রেডিকেটে ∀ ও ∃ কোয়ান্টারগুলি দ্বারা সীমায়িত ভ্যারিয়েবল এবং কোয়ান্টারবিহীন ভ্যারিয়েবল উভয়ই অন্তর্ভুক্ত হয়। যদি কোনো লজিক্যাল সূত্রগুলির সকল ভ্যারিয়েবলগুলিই কোয়ান্টার সংযুক্ত হয় তবে সেই সূত্রকে "বাক্য" বলা হয়। যেহেতু বাক্যের যে কোনো ভ্যারিয়েবলের ফাংশনাল মান কোয়ান্টারগুলি দ্বারা নির্ধারিত হয়, কাজেই তাদের সিমান্টিক্যাল ব্যাখ্যাও কোয়ান্টারগুলির সাহায্যে সুস্পষ্ট হয়ে উঠে।

অবশ্য প্রেডিকেট লজিকের সূত্রগুলির সংজ্ঞানুসারে সেগুলিতে মুক্ত ভ্যারিয়েবল থাকারও বিধান আছে। কিন্তু আমরা এ বইয়ের আওতায় কেবল সংযুক্ত ভ্যারিয়েবল দ্বারা গঠিত বাক্যগুলিকেই বিচার করবো।

কোনো লজিক্যাল সূত্র বাক্য অথবা বাক্য নয় এটি নির্ধারণ করার উপায় হলো এই যে, যদি লজিক্যাল সূত্র বাক্য হয় তবে অবশ্যই তার মানের সত্যতা বা অসত্যতা নির্ধারণ করা সম্ভব হবে কিন্তু বাক্য নয় এমন সূত্রের মানের সত্যতা বা অসত্যতা নির্ধারণ করা সম্ভব নয়। উদাহরণস্বরূপ, পিতা (x,y) কোনো বাক্য নয়। তবে যদি x এর স্থলে 'মমতাজ' এবং y এর স্থলে 'কামাল' বসানো হয় তবে পিতা (মমতাজ, কামাল) প্রেডিকেটটিকে বাক্য বলা যাবে, কারণ তার মান সত্য। পিতা (অমল, কামাল) প্রেডিকেটটির মান যদি অসত্য ধরা হয়, তবে এটিও একটি বাক্য। মুক্ত ভ্যারিয়েবল ধারণকারী প্রেডিকেটগুলির মানের সত্যতা বা অসত্যতা নির্ধারণ করা যায়, যদি এই ভ্যারিয়েবলগুলির কোনো বিষয়বস্তুগত অর্থ থাকে। অন্যদিকে সংযুক্ত ভ্যারিয়েবলগুলির জন্য তেমন কোনো বিষয়বস্তুগত অর্থ অর্পণ ছাড়াই প্রেডিকেটের মানের সত্যতা বা অসত্যতা নির্ধারণ করা যায়। যেমন <<$(\forall x)(\exists y)$ পিতা(x,y)>> অর্থাৎ <<প্রতিটি মানুষ(y) এর একজন পিতা (x) বিদ্যমান>> এর মান সত্য। অন্যদিকে <<$(\forall x)(\exists y)$ পিতা(x,y)>> অর্থাৎ <<প্রতিটি মানুষ(x) হচ্ছে সন্তান (y) এর পিতা>> এই প্রেডিকেট সূত্রটির মান অসত্য, কারণ সকল মানুষের সন্তান আছে এমনটি সত্য নয়। এভাবে বলা যায় যে, বাক্যগুলির সেই ধরনের গুণাবলি বিদ্যমান যা কোনো প্রকাশনায় কোনো ভ্যারিয়েবলের মান ছাড়াই থাকতে পারে।

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, লজিক্যাল প্রেডিকেট পদ্ধতি কোনো বস্তুজগতের উপর ভিত্তি না করেই তৈরি করা হয়। বস্তুজগতের সাথে লজিক্যাল প্রেডিকেটের সামঞ্জস্য বিধান করতে হলে ব্যাখ্যার সাহায্যে যথাযথ সিমান্টিক্স নির্ধারণ করতে হবে।

এভাবে ভাষার শব্দগুলির সাথে সেসব অর্থ সংযুক্ত করা হয়, যা বাস্তব জগতের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। পরবর্তীতে এই ভাষার দ্বারা বস্তুজগতের অন্যান্য ভাব বা অর্থ প্রকাশ করা হয়। ভাষার এই ভূমিকায় কোনো সন্দেহ নেই। ভাষার অন্য একটি ফাংশন হলো ভাষার মাধ্যমে চিন্তা করা যায়। অবশ্য চিন্তা কথাটি অত্যন্ত ব্যাপক তাই বলা বাঞ্ছনীয় যে, ইতোমধ্যেই ভাষায় পূর্ণভাবে নির্ধারিত সূত্রগুলির সাহায্যে অনির্ধারিত মান নির্ণয় করা সম্ভব হয়। অবশ্য এভাবে নির্ধারিত জ্ঞানের মধ্যে বেশ অস্পষ্টতা সৃষ্টি হয়। তাই প্রয়োজন হয় ভাষার সিমান্টিক্সের যথার্থতা নিরূপণ করার।

ধরা যাক যে, Σ হচ্ছে লজিক্যাল সূত্রগুলির একটি সেট। যদি এই ধরনের ব্যাখ্যা দেয়া হয় যে, এই সেটের সকল সূত্রগুলির মানই সত্য তবে সেই ব্যাখ্যাকে মডেল বলা হয়। ধরা যাক, Σ ও D নিম্ন ধরনের দুটি সেট –

D = {কামাল, শহর – রাজশাহী}

Σ = {মানুষ(কামাল), $(\forall x)$ [মানুষ(x)$\rightarrow$মরণশীল (x)]}

তাহলে নিম্নধরনের ব্যাখ্যা –

মানুষ(কামাল), সত্য

মরণশীল(কামাল) ; সত্য

মানুষ(শহর – রাজশাহী), অসত্য

এই ব্যাখ্যাটিকে মডেল বলা হবে, কারণ Σ সেটের সকল সূত্রগুলির মান সত্য। অবশ্য এ ধরনের ব্যাখ্যা যে একক হবে তা বলা ঠিক হবে না।

ধরা যাক, Σ হচ্ছে কোনো এক গ্রুপ লজিক্যাল সূত্রের সেট। যদি Σ এর সকল মডেল (অর্থাৎ যে কোনো ব্যাখ্যানুসারে Σ সত্য) এর জন্য কোনো সূত্র σ সত্য হয়, তবে তাকে Σ সেটের লজিক্যাল সিদ্ধান্ত বা কনসেকুয়েন্ট বলা হয়। <<সকল মডেলের জন্য>> এই কথাটির অর্থ <<এই ভাষার Σ সম্পর্কের দ্বারা প্রস্তাবিত সকল বস্তুজগতের জন্য>>। লজিক্যাল কনসেকুয়েন্ট দ্বারা বাস্তবায়িত যে কোনো ফ্যাক্টকে প্রকাশ করা হয় এভাবে $(\Sigma \models \sigma)$।

যদি কোনো ব্যাখ্যায় σ এর সত্যতা অস্পষ্ট হয়, কিন্তু তা Σ এর ব্যাখ্যা দ্বারা প্রতিষ্ঠিত হয় এবং Σ এর ব্যাখ্যা যদি ইতোমধ্যেই প্রতিষ্ঠিত থাকে, তাহলে σ এর ব্যাখ্যা কেবল লজিক্যাল সিদ্ধান্ত দ্বারাই প্রতিষ্ঠা করা সম্ভব। সিদ্ধান্ত গ্রহণের প্রসিডিউর Σ এর সকল সূত্রের সাহায্যেই সম্পন্ন করা দরকার। অবশ্য যদি Σ তে লজিক্যাল সূত্রের সংখ্যা খুব বেশি হয় তাহলে প্রসিডিউরটি বেশ দীর্ঘ হবে। তাই লজিক্যাল প্রেডিকেটে এমন ব্যবস্থা রাখা হয়েছে যেন অটোম্যাটিকভাবে প্রসিডিউর সম্পাদন সম্ভব হয়।

ইতঃপূর্বেই বলা হয়েছে যে, এমন কিছু বাক্য আছে যেগুলি যে কোনো ব্যাখ্যানুসারেই সত্য। এই মৌলিকভাবে সত্য বাক্যগুলির সাহায্যে অন্যান্য বাক্যগুলির সত্যতা নিরূপণ করা

হয়। এই মৌলিকভাবে সত্য বাক্যগুলিকে বলা হয় 'অ্যাক্সিওম'। নিচের সম্পর্কগুলি অনুসারে অ্যাক্সিওম নির্বাচনের পদ্ধতির উদাহরণ দেখানো হলো।

$(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\ [\sigma \rightarrow (\varphi \rightarrow \sigma)]$

$(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\ [(\sigma \rightarrow (\varphi \rightarrow \psi)) \rightarrow ((\sigma \rightarrow \varphi) \rightarrow (\sigma \rightarrow \psi))]$

$(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\ [(\neg\sigma \rightarrow \neg\varphi) \rightarrow ((\neg\sigma \rightarrow \varphi) \rightarrow \sigma)]$

$(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\ [(\forall x)(\sigma \rightarrow \varphi) \rightarrow (\sigma \rightarrow (\forall x)\varphi)]$

এখানে ধরা হয়েছে যে, φ এর মধ্যে x কোনো মুক্ত ভ্যারিয়েবল নয়।

$(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\ [\sigma \rightarrow \varphi] \rightarrow [(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\sigma \rightarrow (\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\varphi]$

$(\forall x_1) \ldots (\forall x_n)\ [(\forall x)\sigma(x) \rightarrow \sigma(y)]$

যখন মুক্ত ভ্যারিয়েবল x এর স্থলে ভ্যারিয়েবল y বসানো হয়, তখন ধরা হয় যে, $\sigma(x)$ এর মধ্যে y মুক্ত ভ্যারিয়েবলের রূপ নেয়।

৪.৮ প্রেডিকেট লজিকে সিদ্ধান্ত গ্রহণের নিয়ম

ভাষার আরও একটি গুরুত্বপূর্ণ দিক হলো এই যে, ভাষার দ্বারা সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা সম্ভব অর্থাৎ ভাষায় সিদ্ধান্ত-ফাংশন বিদ্যমান। এই সিদ্ধান্ত-ফাংশন ব্যবহারের দ্বারা এমন একটি প্রমাণ প্রসিডিউর তৈরি করা সম্ভব, যেটির সাহায্যে পূর্ব-প্রদত্ত শর্ত বাক্যগুলি থেকে সিদ্ধান্ত-বাক্য নির্ণয় করা সম্ভব। এই সিদ্ধান্ত গ্রহণের প্রসিডিউরটি যথাযথ পদ্ধতিকরণের উদ্দেশ্যে লজিক্যাল প্রেডিকেটের সিদ্ধান্ত গ্রহণের প্রসিডিউরটি ফরমালাইজড বা সূত্রীবদ্ধ করা প্রয়োজন। যদি কোনো প্রসিডিউর পরিপূর্ণভাবে সূত্রীবদ্ধ না হয়, তবে তার মধ্যে এমনকিছু এলিমেন্টের অনুপ্রবেশ ঘটতে পারে যেগুলির জন্য অত্যন্ত জটিল ধরনের প্রক্রিয়া পদ্ধতি ব্যতিরেকে কম্পিউটারের সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণ সম্ভব হয় না। সূত্রীবদ্ধ করার ব্যাপারটি আমরা পরে আলোচনা করবো তবে প্রথমে আমরা সিদ্ধান্ত গ্রহণের ব্যাপারটি নিয়ে আলোচনা করবো।

সিদ্ধান্ত গ্রহণের প্রসিডিউরের সাহায্যে প্রদত্ত শর্ত-বাক্যগুলির সাহায্যে তাদের থেকে পৃথক একটি বাক্য গঠন করা হয়। এজন্য শর্ত-বাক্যগুলি ও সিদ্ধান্ত-বাক্যটির মধ্যে একই জাতীয় সিমান্টিক্স থাকা প্রয়োজন। ধরা যাক, $\sigma_1, \sigma_2 \ldots \sigma_n$ কয়েকটি শর্ত-বাক্যের একটি গ্রুপ যা Σ সেটের অন্তর্ভুক্ত এবং σ হচ্ছে এই সেটের একটি সিদ্ধান্ত। ইতঃপূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, যে ব্যাখ্যায় Σ সেটের সকল বাক্যের মান সত্য হয় সেই ব্যাখ্যাকে Σ এর মডেল বলা হয়। সিদ্ধান্ত গ্রহণ বলতে সেই প্রসিডিউরকে বুঝায় যা Σ এর সাহায্যে সেই σ প্রকাশনাটি অটোম্যাটিকভাবে বের করে নেয় যার জন্য $<<\Sigma$ এর জন্য প্রযোজ্য সকল মডেল σ এর জন্যও প্রযোজ্য $>>$ এই প্রকাশনাটির মান সত্য হয়। এই প্রসিডিউরটি বিশেষভাবে প্রকাশ করা হলে তাকে সিদ্ধান্ত-নিয়ম বলা হয়। এটি থেকে বলা যায় যে, কোনো একটি প্রকাশনা গ্রুপকে পূর্বশর্ত হিসেবে ধরে যদি তার মান সত্য হয়, তবে সেই প্রকাশনা গ্রুপ থেকে সিদ্ধান্ত-নিয়মের দ্বারা লব্ধ সিদ্ধান্তটিও সত্য হবে। লজিক্যাল প্রেডিকেটে সিদ্ধান্ত-

নিয়ম হিসেবে <<দুটি প্রকাশনা "A" ও "A→B" এর সিদ্ধান্ত হবে প্রকাশনা "B">> এই নিয়মটি ব্যবহার করা হয়। যে সিদ্ধান্ত-নিয়ম দ্বারা পূর্বজ্ঞাত শর্ত প্রকাশনাগুলি থেকে নতুন একটি প্রকাশনা লাভ করা যায় তাকে "ডিডাক্টিভ সিদ্ধান্ত-নিয়ম" বলা হয়।

সিদ্ধান্ত-নিয়ম প্রকাশের জন্য নিম্নরূপের প্রকাশনা ব্যবহার করা হয়, যাতে একটি লাইনের উপরে শর্ত-প্রকাশনাগুলি লিখিত হয় এবং লাইনের নিচে সিদ্ধান্ত-প্রকাশনা লিখিত হয়। উপরিল্লিখিত সিদ্ধান্ত-নিয়মটি এ হিসেবে রূপ নিবে :

$$\frac{A,\ A\rightarrow B}{B}$$

এই ধরনের সিদ্ধান্ত-নিয়মকে বলা হয় "মডুস-পনেন" (modus ponen)।

লজিক্যাল প্রেডিকেটে সার্বজনীন সিদ্ধান্ত-নিয়ম বিদ্যমান, যা মুক্ত ভ্যারিয়েবল সমন্বিত সূত্রের সাহায্যে কাজ করে। এই ধরনের সিদ্ধান্ত-নিয়মকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় -<<যদি লজিক্যাল সূত্রতে মুক্ত ভ্যারিয়েবল থাকে এবং এই সূত্রের মান সত্য হয় (অর্থাৎ সূত্রটি ভ্যারিয়েবলের যে কোনো মানের জন্যই সত্য) তবে অন্য কোনো সূত্রে যদি এই ভ্যারিয়েবলটি সার্বজনীন কোয়ান্টারযুক্ত ($\forall$) থাকে, সেই সূত্রটিও সত্য হবে >>। অবশ্য এধরনের সার্বজনীন সিদ্ধান্ত-নিয়মের তেমন প্রয়োজন হয় না।

একই সিদ্ধান্ত-নিয়মের পুনঃপুন ব্যবহারের তেমন কোনো বাধা নেই । তাই যদি "A" ও "A→B" এর সাথে আরও একটি প্রকাশনা "B→C" থাকে তবে পূর্বোক্ত সিদ্ধান্ত-নিয়মকে দুবার ব্যবহার করে "C" সিদ্ধান্তটি বের করা যেতে পারে। যদি Σ সেটের প্রকাশনাগুলির উপর সীমিত সংখ্যকবার সিদ্ধান্ত নিয়মটি প্রয়োগের পর σ সিদ্ধান্তটি লাভ করা যায় তবে তা লিখিত হবে এভাবে <<$\Sigma \vdash \sigma$>>। এক্ষেত্রে বলা হয় যে, σ সিদ্ধান্তটি Σ থেকে ডিডাক্টিভভাবে গৃহীত।

সিদ্ধান্ত নিয়মের জন্য নিম্নবর্ণিত ডিডাক্টিভ তত্ত্ব ব্যবহৃত হয়। ধরা যাক, Σ প্রকাশনা সেটটিকে σ_1 ও $\Sigma'=\{\sigma_2,\sigma_3, \ldots, \alpha_n\}$ অর্থাৎ $\Sigma=\sigma_1\cup\Sigma'$ এই দুভাগে ভাগ করা হলো। (এখানে $\cup$ দ্বারা ইউনিয়ন বা সংযোগ বুঝাচ্ছে)। এক্ষেত্রে যদি $\Sigma \vdash \sigma$ হয়, তবে বলা যাবে যে, $\Sigma' \vdash (\sigma_1 \rightarrow \sigma)$ অর্থাৎ Σ' থেকে ডিডাক্টিভভাবে $(\sigma_1 \rightarrow \sigma)$ এই ইমপ্লিকেশন সূত্রটি বের করা যায়। এই কনফারমেশনটির সাহায্যে বলা যেতে পারে যে, C যদি $\Sigma = \{A, A\rightarrow B, B\rightarrow C\}$ এই প্রকাশনাটির সিদ্ধান্ত হয়, তবে $A\rightarrow C$ হবে $\Sigma' = \{A\rightarrow B, B\rightarrow C\}$ এর সিদ্ধান্ত। তাই পূর্বোক্ত সিদ্ধান্ত-নিয়মের সাহায্যে লেখা যায় $\frac{A\rightarrow B,\ B\rightarrow C}{A\rightarrow C}$ ।

ধরা যাক, Σ হচ্ছে একটি সূত্র-গ্রুপ যার প্রতিটি সূত্রের মান হচ্ছে সত্য। এই শর্ত থেকে কোনো একটি সূত্র σ এর সত্যতা বা অসত্যতার মান নির্ণয় করতে হবে। ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, সিমান্টিক্সকে প্রকাশ করা যায় এভাবে $\Sigma \models \sigma$। কিন্তু প্রেডিকেট লজিকে ফরমাল প্রমাণ পদ্ধতি প্রকাশ করা হয় এভাবে $\Sigma \vdash \sigma$। তাহলে আমরা প্রথমে $\Sigma \vdash \sigma$ কিভাবে পাওয়া যায় সেটি লক্ষ্য করি।

৪.৯ অ্যাক্সিওম্যাটিক ব্যাখ্যা ব্যতিরেকে থিওরেম প্রমাণের পদ্ধতি

প্রতিকেট লজিকে থিওরেম প্রমাণের জন্য ফরমাল পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিতে কম্পিউটারে থিওরেম-প্রমাণ বাস্তবায়ন করা সম্ভব। এবারে ফরমাল মেথোডের অনুভবগত (ইন্টুইটিভ) অর্থ পরিষ্কার করার জন্য অ্যাক্সিওমবিহীন প্রমাণ পদ্ধতিটি লক্ষ্য করা যাক। ধরা যাক, Σ সেট হিসেবে নিম্নলিখিত লজিক্যাল সূত্রগুলি প্রদত্ত হলো –

পিতা (x,y) ; x হচ্ছে y এর পিতা ;

ভ্রাতা (x,y), x ও y হচ্ছে ভাই ;

কাজিন (x,y) ; x ও y হচ্ছে কাজিন ;

পিতামহ (x,y) ; x হচ্ছে y এর পিতামহ।

এই সূত্র-গ্রুপটি ব্যবহার করে নিম্নলিখিত সূত্রগুলি লেখা যায় :

$$\forall(x_1, y_1, z_1)\ [\text{পিতা}(x_1, y_1) \wedge \text{পিতা}(y_1, z_1) \rightarrow \text{পিতামহ}(x_1, z_1)] \qquad (৪.১৫)$$

অর্থাৎ যদি x_1 হয় y_1 এর পিতা এবং y_1 হয় z_1 এর পিতা, তবে x_1 হবে z_1 এর পিতামহ।

$$\forall(x_2, y_2, z_2, w_2)[\text{পিতা}(x_2, y_2) \wedge \text{ভ্রাতা}(x_2, z_2) \wedge \text{পিতা}(z_2, w_2) \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{কাজিন}(y_2, w_2)] \qquad (৪.১৬)$$

অর্থাৎ x_2 যদি y_2 এর পিতা হয়, x_2 ও z_2 ভাই হয় এবং z_2 যদি w_2 এর পিতা হয়, তবে y_2 ও w_2 হচ্ছে কাজিন।

$$\forall(x_3, y_3, z_3)\ \text{পিতা}(x_3, y_3) \wedge \text{পিতা}(x_3, z_3) \wedge$$

$$\wedge \sim \text{সমান}(y_3, z_3) \rightarrow \text{ভ্রাতা}(y_3, z_3) \qquad (৪.১৭)$$

অর্থাৎ x_3 যদি y_3 এর পিতা হয় এবং x_3 যদি z_3 এর পিতা হয় এবং y_3 ও z_3 যদি একই ব্যক্তি না হয় তবে y_3 ও z_3 হবে ভাই।

উপরিউক্ত সূত্রগুলিতে $\forall(x_1)$, $\forall(y_1), \forall(z_1)$ কে সংক্ষেপে $\forall(x_1, y_1, z_1)$ হিসেবে লেখা হয়েছে। ধরা যাক, উপরিউক্ত লজিক্যাল সূত্রগুলির সাথে নিম্নোক্ত আরও কয়েকটি লজিক্যাল সূত্র দেয়া আছে।

পিতা (তাপস, ইমন) (৪.১৮)

: তাপস হচ্ছে ইমনের পিতা।

পিতা (ইমন, এডিক) (৪.১৯)

: ইমন হচ্ছে এডিকের পিতা

পিতা (ইমন, ইশপ) (৪.২০)

: ইমন হচ্ছে ইশপের পিতা।

এছাড়া নিম্নরূপের সূত্রটিকেও বিচার করা হবে –

(∃x4) পিতা (তাপস, x4) ∧ পিতা (x4, কমল) ∧ –সমান (ইমন, x4) (৪.২১)

: এমন x4 অস্তিত্বশীল যার পিতা হচ্ছে তাপস এবং x4 হচ্ছে কমলের পিতা এবং x4 ও ইমন একই ব্যক্তি নয়।

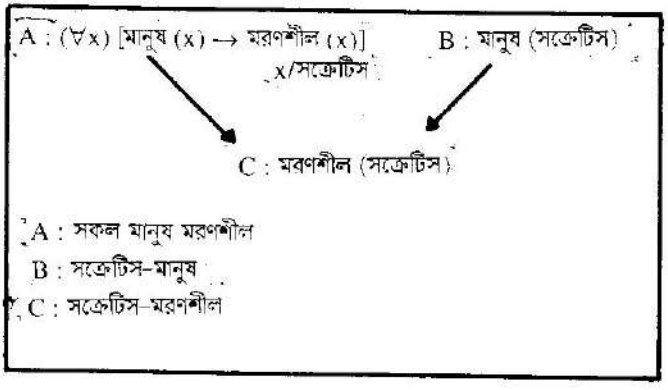
প্রথমেই চেষ্টা করা যাক, অ্যাক্সিওমবিহীনভাবেই একটি প্রসিডিউর তৈরি করার যার সাহায্যে উপরিউক্ত লজিক্যাল সূত্রগুলি থেকে কোনো সিদ্ধান্ত বের করা যায়। এরপর (৪.১) চিত্রের অনুরূপে A ও B লজিক্যাল সূত্র থেকে C লজিক্যাল সিদ্ধান্ত সূত্রটি বের করা হবে। এরপরে ভ্যারিয়েবলের স্থানে তার মান বসানোর উদ্দেশ্যে (ভ্যারিয়েবল/মান) এই প্রক্রিয়াটি অনুসরণ করা হবে। অর্থাৎ x এর স্থলে যদি ইশপ মানটি বসানো যায়, তবে তা x/ইশপ হিসেবে লিখিত হবে।

এবার আমাদের জানতে হবে, কোনো একটি লজিক্যাল সূত্র সত্য কি না। কোনো সূত্রের সত্যতা বা অসত্যতা নির্ণয়ের জন্য পূর্বজ্ঞাত সূত্রগুলিকে লজিক্যাল প্রসিডিউর দ্বারা প্রক্রিয়াকরণ করা হয়। এই প্রসিডিউরটি গাণিতিক থিওরেম প্রমাণের ন্যায় ইতোমধ্যেই জ্ঞাত অ্যাক্সিওমগুলি ব্যবহার করে।

উদাহরণস্বরূপ, ধরা যাক, প্রশ্ন করা হলো ‹‹এডিকের পিতামহ কে?›› । এই প্রশ্নটি লেখা যায় নিম্নরূপে :

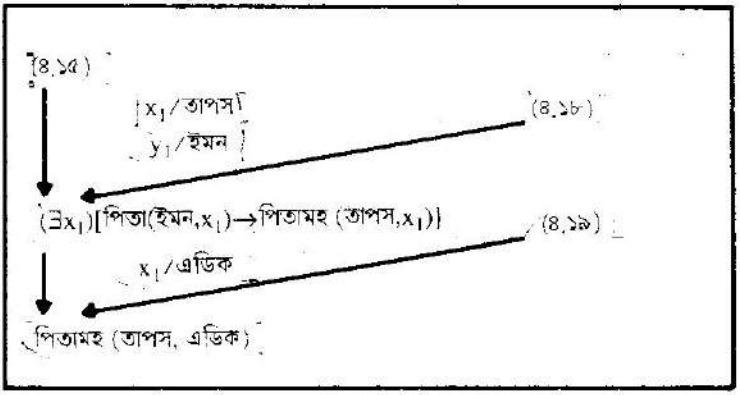
(∃x) পিতামহ (x, এডিক) ? (৪.২২)

এই প্রশ্নের উত্তর পাওয়া যায় পর্যায়ক্রমে যেভাবে (৪.৩) চিত্রে দেখানো হয়েছে। উত্তরটি ইতোমধ্যেই বিদ্যমান লজিক্যাল সূত্রগুলির সাহায্যে অনেকটা প্রোডাকশন নিয়মানুযায়ী প্রসিডিউরের সাহায্যে এক সিদ্ধান্ত থেকে অন্যান্য সিদ্ধান্ত নির্ণয়ের মাধ্যমে পাওয়া যায়।

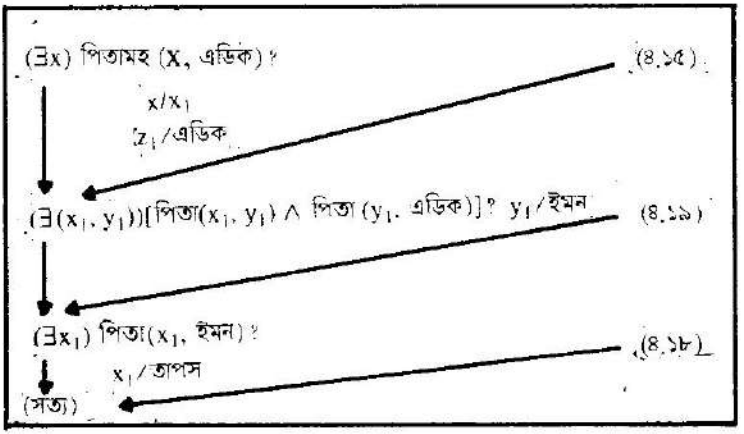


চিত্র ৪.১ : সিদ্ধান্ত অ্যালগরিদম।

এই উদাহরণের সাহায্যে প্রাপ্ত সিদ্ধান্তকে সত্য প্রমাণ করানোটাও দেখানো হয়েছে (চিত্র ৪.৩)। এজন্য প্রাপ্ত সিদ্ধান্ত থেকে পর্যায়ক্রমে অগ্রসর হতে হয় এবং ডাটা–বেসে তথ্য খুঁজতে হয় প্রতিটি পর্যায়ের ভ্যারিয়েবলগুলির মান নির্ণয়ের জন্য এবং মান পাওয়া গেলে তার সহায্যে পরবর্তী পর্যায়ের সিদ্ধান্তের ভ্যারিয়েবলের মান খোঁজা হয়। এভাবে সন্ধান প্রক্রিয়া চলতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না বাঞ্ছনীয় উত্তরটি পাওয়া যায়।



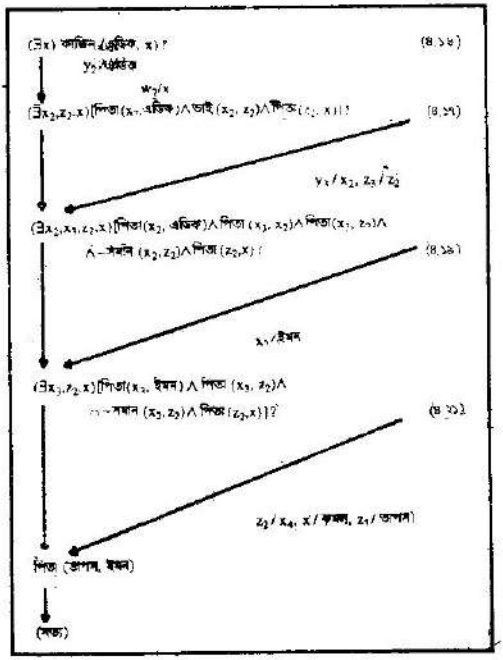
চিত্র ৪.২ : সরাসরি সিদ্ধান্তের দ্বারা প্রমাণ।



চিত্র ৪.৩ : পশ্চাৎ সিদ্ধান্তের দ্বারা প্রমাণ।

অন্য এক উদাহরণ হিসেবে এই প্রশ্নের উত্তর খোঁজা যাক <<এডিকের কাজিন কে?>>। লজিক্যাল সূত্র হিসেবে প্রশ্নটি লেখা যায় এভাবে :

$(\exists x)$ কাজিন (এডিক, x)?



চিত্র ৪.৪ : <<কাজিন>> সন্ধানের উদাহরণ।

৪.৪ চিত্রে দেখানো হয়েছে কিভাবে বাঞ্ছনীয় সিদ্ধান্ত থেকে পর্যায়ক্রমে এই প্রশ্নের উত্তর পাওয়া যায়। এখানে লক্ষণীয় যে, (৪.১১) লজিক্যাল সূত্রটিতে ভ্যারিয়েবলগুলির মান বসানোর ব্যাপারে যথেষ্ট নির্ভুলতা অবলম্বনের প্রয়োজন আছে। অবশ্য বাঞ্ছনীয় সিদ্ধান্ত প্রমাণ পদ্ধতিতে উত্তর নির্ধারণ এক্ষেত্রে তত সহজ নয়, যেমনটি সহজ ছিল আগের উদাহরণটিতে।

(৪.১৫) থেকে (৪.১৭) লজিক্যাল সূত্রগুলি অনেকটা প্রোডাকশন রুল <<যদি ... তবে>> এর অনুরূপ। কিন্তু লজিক্যাল সূত্রগুলিতে (শর্ত–সিদ্ধান্ত) এই নিয়ম কড়াকড়িভাবে অনুসরণ করা হয় এবং ফলে অনেক সময় সিদ্ধান্ত পাওয়া কঠিন হয়। অবশ্য একই ধরনের সমস্যার সমাধানে একই ধরনের তথ্য ব্যবহার করলেও সমাধানের পদ্ধতির উপর সমাধানের সফলতা নির্ভর করে।

যদিও নিম্নরূপ উদাহরণে ব্যবহৃত প্রমাণের জন্য ইন্টুইটিভ মেথোড তত আশাব্যঞ্জক নয় তবু এই মেথোডটি লজিক্যাল প্রেডিকেটে মোটামুটি ফরমালাইজ করা হয়েছে। এই মেথোডে

সিদ্ধান্ত নির্ধারণের কোনো দিক নির্দেশনা থাকে না। তাই যদি কোনো প্রেডিকেট সূত্র সম্বন্ধে লজিক্যাল প্রেডিকেটে বলা হয় যে, কেন লজিক্যাল সূত্রগুলো উক্ত লজিক্যাল সূত্রটি সত্য হবে তবে অনেকটা সুনিশ্চিতভাবে ফরমাল প্রসিডিউর মোতাবেক তার সত্যতা প্রমাণ করা যাবে।

৪.১০ রিজলিউশন মেথোডের সাহায্যে প্রমাণ (সিদ্ধান্তের নীতি)

উপরে বর্ণিত অ্যাক্সিওমবিহীন মেথোডের সাহায্যে থিওরেম প্রমাণের জন্য লজিক্যাল সিদ্ধান্ত ব্যবহারের পদ্ধতি মানুষের পক্ষে বুঝা সহজ হলেও সেটি যে কম্পিউটারে তা ব্যবহারের জন্য বেশ উপযোগী, একথাটি জোর দিয়ে বলা যাবে না। উপরন্তু, কোনো মেথোডের তাত্ত্বিক ভিত্তি তৈরির জন্য প্রয়োজন সেই মেথোডের ফান্ডামেন্টাল ফরমালাইজেশন বা মৌলিক সূত্রীকরণ। থিওরি প্রমাণের জন্য এ ধরনের একটি স্বয়ংসম্পূর্ণ মেথোড হলো "রিজলিউশন মেথোড"। আগে এই মেথোডটিকে বলা হতো "সিদ্ধান্ত নীতি", কিন্তু তা যথাযথভাবে মেথোডটির সিমান্টিক্স প্রকাশ করে না। তাই আমরা এই মেথোডটিকে রিজলিউশন মেথোডই বলবো।

এই মেথোডটিকে প্রয়োগের জন্য প্রয়োজন প্রদত্ত লজিক্যাল সূত্র-গ্রুপটিকে একটি বিশেষ নর্মাল ফর্মে আনার। এই নর্মাল ফর্মে আনার বা ট্রান্সফর্মেশনের কাজটি কয়েকটি ধাপে সম্পাদন করা হয়। এই ধাপগুলির ধারাবাহিকতা ও মূল বিষয় নিচে বর্ণিত হলো।

নর্মাল ফর্মে ট্রান্সফর্মেশন

লজিক্যাল প্রেডিকেটে সূত্র ব্যবহারের জন্য কোনো বিশেষ লিখন পদ্ধতি অবলম্বন করতে হবে এমন কোনো বাঁধাধরা নিয়ম নেই। এ ব্যাপারে প্রতিটি ব্যক্তির নিজস্ব দৃষ্টিভঙ্গি প্রকাশের যথেষ্ট সুযোগ আছে। এটি অনেকটা প্রচলিত ভাষায় একই ভাব নানা কথায় প্রকাশ করার মতো। তাই লজিক্যাল প্রেডিকেটে কোনো সিদ্ধান্তে আসার পূর্বে প্রদত্ত সূত্রগুলিকে একটি বিশেষ ফর্মে আনার প্রয়োজন আছে যাতে করে সিদ্ধান্ত গ্রহণের মেকানিজম যথাযথভাবে কার্যকর হয়।

নর্মাল প্রিফিক্স ফর্ম

যদি কোনো প্রচলিত ভাষার একটি ব্যাক্যকে যেমন <<যে কোনো মানুষেরই পিতা আছে>> প্রেডিকেট লজিকের ভাষায় প্রকাশ করতে হয় তবে লিখতে হয় $(\forall x)[\text{মানুষ}(x) \rightarrow (\exists y)$ পিতা $(y,x)]$ যা থেকে দেখা যায় যে, কোয়ান্টার (প্রদত্ত উদাহরণে $\exists$) কে লজিক্যাল সূত্রের অভ্যন্তরে ব্যবহার করা হয়েছে (পরবর্তীতে সঠিকভাবে তৈরি সূত্রগুলিকে "সতফ" হিসেবে লেখা হবে)। কিন্তু সূত্রের অভ্যন্তরে কোয়ান্টার ব্যবহার করা অসুবিধাজনক। তাই প্রেডিকেট সূত্রগুলিকে নর্মাল বা স্ট্যান্ডার্ড ফর্মে আনার জন্য সর্বপ্রথমে প্রয়োজন কোয়ান্টারগুলিকে বন্ধনীর বাইরে আনার এবং সেগুলিকে সতফ এর পূর্বে স্থাপন করা। এই ধরনের প্রকাশনা পদ্ধতিকে "নর্মাল প্রিফিক্স ফর্ম" বলা হয়।

যে কোনো সতফকে কয়েকটি বিশেষ নিয়মের সাহায্যে যান্ত্রিক পদ্ধতিতে নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মে আনা সম্ভব। কোন ধরনের প্রেডিকেট প্রকাশনাকে নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মে আনার জন্য প্রয়োজন সেসব অবস্থাগুলিকে বিবেচনায় আনা যেসব অবস্থায় ট্রান্সফরমেশন নিয়মগুলি ব্যবহার করা যাবে। অর্থাৎ কিছু কিছু সতফের মধ্যে এমন কিছু ভ্যারিয়েবল আছে অথবা নেই যেগুলি কোয়ান্টার ∀ ও ∃ সংযুক্ত বা সংযুক্ত নয়, এসব অবস্থার কথা বিবেচনা করা। এমনকি ~,∨, ∧, →, ↔ এই সিম্বলগুলির দ্বারা তৈরি বিভিন্ন ধরনের সতফগুলিকেও বিবেচনার মধ্যে আনতে হবে।

প্রাথমিকভাবে আমরা → ও ↔ এই সিম্বল দুটিকে বিবেচনা থেকে বাদ দিব কেন না সংজ্ঞানুযায়ী এই চিহ্ন দুটি অবশিষ্ট তিনটি সংযোগ চিহ্নের সাহায্যে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

$$F\leftrightarrow G = (F\rightarrow G) \wedge (G\rightarrow F) \qquad (৪.২৩ক)$$

$$F \rightarrow G = \sim F \vee G \qquad (৪.২৩খ)$$

কাজেই এই সংজ্ঞাদুটির সাহায্যে আমরা সতফগুলির সকল কম্বিনেশনে কেবল তিনটি সংযোগচিহ্ন ব্যবহারের মধ্যে সীমাবদ্ধ রাখবো।

যেসব প্রেডিকেটে কোনো ভ্যারিয়েবল নেই অর্থাৎ সেসব লজিক্যাল প্রকাশনা যা সত্য অথবা মিথ্যা মান প্রকাশ করে, সেগুলিকে আমরা "সুপ্রকাশনা" বলবো এবং তাদেরকে আমরা F এবং G দ্বারা প্রকাশ করবো। যখন কোনো লজিক্যাল প্রকাশনায় ∀ বা ∃ কোয়ান্টারগুলি বিদ্যমান থাকে তখন প্রতিবার এই কোয়ান্টারগুলি ব্যবহার করা অসুবিধাজনক বিধায় সাধারণভাবে তা θx দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এবারে নিচের দুটি সম্পর্ক–সূত্র লক্ষ্য করা যাক–

$$(\theta x)\, F(x)\vee G = (\theta x)(\, F(x)\vee G) \qquad (৪.২৪ক)$$

$$(\theta x)\, F(x)\wedge G = (\theta x)(\, F(x)\wedge G) \qquad (৪.২৪খ)$$

এই সূত্র দুটি থেকে দেখা যাচ্ছে যে, সুপ্রকাশনা অন্য প্রেডিকেটের সাথে সংযুক্ত কোয়ান্টারের সাথে কোনোভাবে সম্পর্কযুক্ত নয়। নিম্নলিখিত সূত্রগুলির সাহায্যে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ সম্পর্ক প্রকাশ করা হয় –

$$\sim(\forall x)F(X)) = (\exists x)(\sim F(x)) \qquad (৪.২৫ক)$$

$$\sim((\exists x)F(x)) = (\forall x)(\sim F(x)) \qquad (৪.২৫খ)$$

(৪.২৫ক) সূত্রটিতে <<সকল x এর জন্য F(x) প্রযোজ্য >> কথাটিকে অস্বীকার করা হয়েছে। এর অর্থ হলো এই যে, <<এটি অবশ্যম্ভাবী নয় যে, সকল x এর জন্য F(x) প্রযোজ্য >> এবং এটিকে অন্যকথায় বলা যায় যে, <<এমন একটি x বিদ্যমান যার জন্য F(x) প্রযোজ্য নয় >>। অনুরূপভাবে (৪.২৫খ) সূত্রটিতে বামপাশের সূত্রটিতে << এমন একটি x বিদ্যমান যার জন্য F(x) প্রযোজ্য >> কথাটিকে অস্বীকার করা হয়েছে অর্থাৎ

<< সকল x এর জন্য F(x) প্রযোজ্য নয় >> বা অন্যকথায় <<সকল x এর জন্য (~F(x) প্রযোজ্য>>। এবারে দেখা যাক, নিম্নলিখিত দুটি প্রেডিকেট-সম্পর্ক।

$$(\forall x)F(x) \wedge (\forall x)H(x) = (\forall x)\,(F(x) \wedge H(x)) \qquad (৪.২৬ক)$$

$$(\exists x)F(x) \vee (\exists x)H(x) = (\exists x)(F(x) \vee (\exists x)H(x)) \qquad (৪.২৬খ)$$

উপরের সম্পর্ক দুটি থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, কোয়ান্টার $\forall$ এর সাথে সংযোগচিহ্ন $\vee$ এর ডিস্ট্রিবিউটিভ গুণ বিদ্যমান। (৪.২৬ক) সূত্রটিতে দেখা যাচ্ছে যে, বাম পাশের <<সকল x এর জন্য F(x) প্রযোজ্য এবং সকল x এর জন্য H(x) প্রযোজ্য>> এবং ডানপাশের <<সকল x এর জন্য F(x) এবং H(x) প্রযোজ্য>> কথাদুটি সমমানের। একইভাবে (৪.২৬খ) সূত্রটিতে বামপাশের <<এমন একটি x বিদ্যমান যার জন্য F(x) প্রযোজ্য অথবা এমন একটি x বিদ্যমান যার জন্য H(x) প্রযোজ্য >> এবং ডানপাশের << এমন একটি x বিদ্যমান যার জন্য F(x) অথবা H(x) প্রযোজ্য >>কথাদুটি সমমানের। অবশ্য এ ব্যাপারে নিম্নলিখিত সূত্রগুলিতে লক্ষণীয় যে, আপাতদৃষ্টিতে সেগুলি সমমানের মনে হলেও সূত্রগুলি সমমানের নয়।

$$(\forall x)F(x) \vee (\forall x)H(x) \neq (\forall x)\,(F(x) \vee H(x)) \qquad (৪.২৭ক)$$

$$(\exists x)F(x) \wedge (\exists x)H(x) \neq (\exists x)(F(x) \wedge H(x)) \qquad (৪.২৭খ)$$

এটির যথার্থতা বিচার করার জন্য নিম্নলিখিত উদাহরণগুলি লক্ষ্য করা যাক–

যদি x এর পরিবর্তনক্ষেত্র হয় D = {a, b, c} এবং এই ক্ষেত্রে কেবল F(a), F(b) এবং F(c) সত্য হয়, তবে (৪.২৭ক) প্রেডিকেটটির বাম পাশের সূত্রগুলি সত্য নয়, কিন্তু ডান পাশের সূত্রগুলি সত্য। কাজেই বামপাশ সমান নয়। অন্যদিকে যদি বামপাশের সূত্রটি সত্য হয়, তবে ডানপাশের সূত্রটিও অবশ্যই সত্য হবে। কাজেই (৪.২৭ক) সূত্রটিকে নিম্নরূপে লেখা যেতে পারে:

$$(\forall x)F(x) \vee (\forall x)H(x) \rightarrow (\forall x)\,(F(x) \vee H(x)) \qquad (৪.২৮ক)$$

(৪.২৭খ) সূত্রটির ব্যাপারেও একই ধরনের ব্যাখ্যা দেয়া যেতে পারে। যদি উপরিউক্ত উদাহরণে কেবল F(a) এবং H(b) সত্য হয় তবে প্রেডিকেটটির বামপার্শ্বের অংশ সত্য হবে কিন্তু ডানপার্শ্বের অংশ হবে অসত্য। কিন্তু যদি প্রেডিকেটটির ডানপার্শ্বের অংশ সত্য হয় তবে বামপার্শ্বের অংশ অবশ্যই সত্য হবে। এর ভিত্তিতে বলা যেতে পারে,

$$(\exists x)F(x) \wedge (\exists x)H(x) \rightarrow (\exists x)(F(x) \wedge (\exists x)H(x)) \qquad (৪.২৮খ)$$

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, প্রেডিকেট সূত্রের প্রিফিক্স ফর্ম সরাসরি পাওয়া সম্ভব নয়। এটি পাওয়ার জন্য নতুন ভ্যারিয়েবলের প্রবর্তন করা প্রয়োজন। (৪.২৮) সূত্র দুটি থেকে লক্ষণীয় যে, সেগুলিতে দুটি বিচ্ছিন্ন প্রেডিকেটে ব্যবহৃত ভ্যারিয়েবলগুলি এককভাবে সংযুক্ত প্রেডিকেটে ব্যবহৃত ভ্যারিয়েবল থেকে ভিন্ন। যেহেতু এই ভ্যারিয়েবলগুলির পরিবর্তন পরিসর সংযুক্ত প্রেডিকেটগুলির মধ্যেই সীমাবদ্ধ, তাই (৪.২৮.ক) ও (৪.২৮খ) সূত্রগুলির ডানপার্শ্বের ভ্যারিয়েবলগুলিকে পরিবর্তন করে লেখা যায়:

$$(\forall x)F(x) \vee (\forall x)H(x) = (\forall x)\,(F(x) \vee (\forall y)\,H(y)) \qquad (৪.২৯ক)$$

$$(\exists x)F(x) \wedge (\exists x)H(x) = (\exists x)F(x) \wedge (\exists y)\,H(y)) \qquad (৪.২৯খ)$$

ডানপাশের এই সূত্রগুলিতে প্রেডিকেট কোনো একক ভ্যারিয়েবল ধারণ করে না, প্রেডিকেটটি ভ্যারিয়েবলের উপর নির্ভরশীল নয় (অনেকটা সুপ্রকাশনার মত)। তাই সূত্রগুলিকে নিম্নলিখিত উপায়ে লেখা যায় –

$$(\forall x)F(x) \vee (\forall x)H(x) = (\forall x)(\forall y)[F(x) \vee H(y)] \qquad (৪.৩০ক)$$

$$(\exists x)F(x) \wedge (\exists x)H(x) = (\exists x)(\exists y)[F(x) \wedge H(y)] \qquad (৪.৩০খ)$$

অবশেষে দেখা যায় যে, এক্ষেত্রে নতুন ভ্যারিয়েবল প্রবর্তনের দরকার। উপরিল্লিখিত নিয়মটি কেবল একটি ভ্যারিয়েবল সংবলিত প্রেডিকেটের ক্ষেত্রেই প্রয়োগ করা হয়েছে। কিন্তু একাধিক ভ্যারিয়েবল সংবলিত প্রেডিকেটের ক্ষেত্রে নিয়মটি প্রতিটি ভ্যারিয়েবলের জন্য ধারাবাহিকভাবে ব্যবহার করা হয়। বাস্তব উদাহরণের সাহায্যে এ ব্যাপারটি লক্ষ্য করা যাক।

যদি নর্মাল প্রিফিক্স ফর্ম প্রাপ্তি প্রক্রিয়াটি সুসংবদ্ধ করা যায় তবে তা নিম্নরূপে বর্ণনা করা যেতে পারে –

(১) $F \leftrightarrow G = (F \rightarrow G) \wedge (G \rightarrow F)$ এবং $F \rightarrow G = \sim F \vee G$ এই সূত্র দুটির সাহায্যে $\rightarrow$ ও $\leftrightarrow$ চিহ্ন দুটিকে $\sim$, $\wedge$ ও $\vee$ এই চিহ্নগুলি দ্বারা পরিবর্তন করা যায়।

(২) নিম্নের সূত্রগুলির সাহায্যে প্রদত্ত সূত্রগুলিকে এমনভাবে পরিবর্তন করতে হবে, যেন নেতিবাচক (denial) চিহ্ন "$\sim$" প্রেডিকেট সিম্বলগুলির বাইরে সূত্রগুলির প্রারম্ভে স্থাপিত হয়।

$\sim(\sim F) = F$;

$\sim((\forall x)F(x) = (\exists x)(\sim F(x))$;

$\sim(F \wedge G) = \sim F \vee \sim G$;

$\sim(F \vee G) = \sim F \wedge \sim G$;

$\sim((\exists x)F(x)) = (\forall x)(\sim F(x))$

(৩) (৪.২৪) সূত্রগুলির জন্য নতুন ভ্যারিয়েবল প্রবর্তন করতে হবে।

(৪) (৪.২৪), (৪.২৬) ও (৪.৩০) সূত্রগুলির সাহায্যে প্রদত্ত সূত্রগুলিকে নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মে আনতে হবে।

উদাহরণস্বরূপ, আমরা নিম্নলিখিত প্রকাশনাটি লক্ষ্য করি–

$$A:(\forall x)(\forall y)((\exists z)(F(x,z) \wedge G(y,z)) \rightarrow (\exists u)H(x,y,u) \qquad (৪.৩১)$$

পূর্বোক্ত নিয়মের সাহায্যে প্রকাশনা (৪.৩১) কে নিম্নরূপে পরিবর্তন করা যায়–

১নং নিয়মের সাহায্যে

$$A:(\forall x)(\forall y)(\sim(\exists z)(F(x,z) \wedge G(y,z))) \vee (\exists u)H(x,y,u)$$

২নং নিয়মের সাহায্যে

$$A:(\forall x)(\forall y)((\forall z)(\sim F(x,z) \vee \sim G(y,z))) \vee (\exists u)H(x,y,u)$$

৪.২৪) সম্পর্কের সাহায্যে

$$A:(\forall x)(\forall y)(\forall z)(\exists u)(\sim F(x,z)\vee\sim G(y,z)\vee(\exists u)H(x,y,u)$$

সর্বশেষ প্রকাশনাটি নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মে পরিবর্তিত হয়েছে।

৪.১১ স্কলেমের নর্মাল ফর্ম

নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মে আনিত সূত্রগুলির অভ্যন্তর হতে কোয়ান্টারগুলিকে সূত্রগুলির বাইরে আনার পরের পদক্ষেপ হলো সূত্রগুলি থেকে কোয়ান্টারগুলিকে অপসারণ করা। কোয়ান্টারগুলিকে অপসারণ করা হলে সূত্রগুলিকে যান্ত্রিক উপায়ে প্রক্রিয়াকরণ করা সহজ হবে। যেহেতু কোয়ান্টার ব্যবহারের মাধ্যমে প্রেডিকেট ভাষার সিমান্টিক্স পরিস্ফুটন সহজতর হয়, তাই কোয়ান্টারগুলি অপসারণের পূর্বে সূত্রগুলির সিমান্টিক্স সম্পূর্ণরূপে বজায় রাখার ব্যবস্থা করতে হবে। এই প্রসিডিউরটি স্কলেমের ফাংশনের সাহায্যে করা হয়। এই ফাংশনটি যথাযথভাবে লিপিবদ্ধ করার জন্য নিম্নলিখিত উদাহরণটি লক্ষ্য করা যাক :

$$(\forall x)(\exists y)\ \underline{\text{ভালোবাসে}}\ (x,y)$$

:<< প্রতিটি x এর জন্য এমন একটি y বিদ্যমান, যাকে x ভালোবাসে >> এর অর্থ হলো এই যে, যদি একটি বিশেষ x কে বিবেচনা করা হয় তবে সেই x এর জন্য এমন একটি y বিদ্যমান, যার জন্য ভালোবাসে (x, y) প্রযোজ্য হয়। অন্যকথায় x এর উপর y নির্ভরশীল বা x এর উপর ভিত্তি করে y নির্ধারণ করা হয়। এই সম্পর্কটি এভাবেও বিচার করা যেতে পারে – যদি x প্রদত্ত থাকে, তবে তার সাথে সঙ্গতিপূর্ণ y এর অস্তিত্ব বিদ্যমান। এটি থেকে বলা যেতে পারে যে, y এর স্থলে একটি ফাংশন f(x) ব্যবহার করা যেতে পারে যে, যে ফাংশনটি প্রদত্ত সম্পর্কটি প্রকাশ করবে। যেহেতু f(x) ফাংশনটি এই কোয়ান্টারটি ছাড়াই তার ভাব প্রকাশ করবে। অতএব প্রদত্ত লজিক্যাল সূত্রটি লেখা যায় নিম্নভাবে :

$$(\forall x)\ \underline{\text{ভালোবাসে}}\ (x,f(x))$$

উপরিউক্ত ফাংশনকে বলা হয় "স্কলেম ফাংশন"। স্কলেম ফাংশনের প্রয়োজন হয় প্রেডিকেট সূত্রতে আরগুমেন্ট হিসেবে কেবল সেসব ভ্যারিয়েবলগুলিকে রাখার, যে ভ্যারিয়েবলগুলির উপর অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টারযুক্ত ভ্যারিয়েবলগুলি নির্ভরশীল।

প্রিফিক্স ফর্মে কোয়ান্টারগুলির কার্যকারিতা বাম থেকে ডানদিকে ক্রমানুসারে বিচার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ সূত্র :

$$(\forall x)(\exists y)(\forall z)F(x,y,z) \qquad (৪.৩২)$$

এর অর্থ হলো <<সকল x এর জন্য এমন একটি y বিদ্যমান যেন সকল z এর জন্য F(x,y,z) সত্য হয়>>। এই সূত্র থেকে দেখা যাচ্ছে যে, যে ভ্যারিয়েবলটি ∃ কোয়ান্টারযুক্ত ভ্যারিয়েবল y কে প্রভাবিত করে, সেটি হলো x। অতএব সূত্রটিকে লেখা যায় নিম্নরূপে –

$$(\forall x)(\forall z)F(x,f(x),z) \qquad (৪.৩৩)$$

যদি প্রদত্ত লজিক্যাল সূত্রটি নিম্নরূপের হয়,

$$(\forall x)(\forall z)(\exists y)\, F(x,y,z) \qquad (৪.৩৪)$$

তবে সূত্রটিতে দেখা যাচ্ছে যে, $\exists$ কোয়ান্টারযুক্ত ভ্যারিয়েবল y কে x ও z উভয় ভ্যারিয়েবলই প্রভাবিত করে। অতএব আমরা সূত্রটিকে স্কলেম ফাংশনের সাহায্যে লিখতে পারি নিম্নরূপে :

$$(\exists x)(\forall z)F(x,f(x,z),z) \qquad (৪.৩৫)$$

অন্য কথায় বলতে হয়, নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মে প্রস্তাবিত লজিক্যাল সূত্রতে অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টার $\exists$ যুক্ত ভ্যারিয়েবলটি তার বামপার্শ্বে অবস্থিত সার্বজনীন কোয়ান্টার $\forall$ যুক্ত সকল ভ্যারিয়েবলের উপর নির্ভরশীল। যদি অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টার $\exists$ যুক্ত ভ্যারিয়েবলটি নর্মাল প্রিফিক্স ফর্মের সূত্রতে সর্ববামে অবস্থিত হয় তবে সে সূত্রটিকে আরগুমেন্টবিহীন ফাংশন বা কনস্টান্ট দ্বারা পরিবর্তন করা যায়।

$$(\exists x)(\forall y \text{ ভালোবেসে } (x,y) = \text{ভালোবাসে } (a,y) \qquad (৪.৩৬)$$

যদি উপরিউক্ত অপারেশনগুলি (৪.৩১) উদাহরণে প্রয়োগ করা হয় তবে তার ফলে আমরা পাবো :

$$(\forall x)(\forall y)((\forall z)(\sim F(x,z) \vee \sim G(y,z) \vee H(x,y, f(z,y,z)) \qquad (৪.৩৭)$$

যদি লজিক্যাল সূত্রতে দুই বা ততোধিক অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টার $\exists$ যুক্ত ভ্যারিয়েবল বিদ্যমান থাকে তবে সেই সূত্রতে স্কলেম ফাংশন কয়েকটি ফাংশনে রূপান্তরিত হয়। যেমন–

$$(\forall x)(\exists y)((\forall z)(\exists u)F(x,y,z,u) = (\forall x)(\forall z)F(x,f(x)z,g\,(x,z)) \qquad (৪.৩৮)$$

অতএব উপরিউক্ত উপায়ে যদি অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টারগুলি $\exists$ লজিক্যাল সূত্র থেকে সরানো সম্ভব হয় তবে অবশিষ্ট ভ্যারিয়েবলগুলি কেবল সার্বজনীন কোয়ান্টার $\forall$ দ্বারা সংযুক্ত থাকবে। আর এ কারণে ফরমুলাগুলিতে কোয়ান্টারের উল্লেখের কোনো প্রয়োজন হবে না। এক্ষেত্রে (৪.৩৭) ফরমুলাটির ধরন দাঁড়াবে :

$$\sim F(x,z) \vee \sim G(y,z) \vee H(x,y, f(x,y,z)) \qquad (৪.৩৯)$$

উপরিউক্ত উপায়ে প্রদত্ত সূত্রের তথ্য সংরক্ষিত রেখেই সূত্রগুলিকে কোয়ান্টারমুক্ত করে সহজভাবে প্রস্তাব (represent) করা সম্ভব। প্রেডিকেট সূত্রগুলির এভাবে ফরমাল প্রস্তাবনাকে "স্কলেমের নর্মাল ফর্ম" বলা হয়।

৪.১২ ক্লজাল ফর্ম

রিজলিউশন মেথড প্রয়োগ প্রক্রিয়ার পরবর্তী ধাপ হলো পূর্বে প্রাপ্ত ফলগুলিকে কনজাংটিভ নর্মাল ফর্মে পরিবর্তিত করা এবং তারপর প্রেডিকেট সূত্রগুলিকে বাক্য বা ক্লজাল ফর্মে লেখা।

সাধারণত স্কলেমের নর্মাল ফর্ম হলো সূত্রগুলিতে বিভিন্ন ধরনের সংযোগ চিহ্ন দ্বারা সংযুক্ত এবং কয়েকটি ভ্যারিয়েবল সংবলিত কিছু প্রেডিকেট। কিন্তু এমনকি এই নর্মাল ফর্মেও একই ধরনের অর্থবহ প্রেডিকেট ফরমুলাগুলি যথাযথভাবে সুনির্দিষ্ট থাকে না এবং তাদের মধ্যে কিছুটা অনির্দিষ্টতা থেকে যায় যা প্রথম থেকেই প্রকাশনাটির মধ্যে বিদ্যমান। উদাহরণস্বরূপ,

$$F(x, f(x)) \wedge (G(x) \vee H(f(x),z)) \tag{৪.৪০}$$

ফরমুলাগুলিকে নিম্নভাবে লেখা যায় :

$$(F(x, f(x)) \wedge G(x,z)) \vee (F(x, f(x)) \wedge H(f(x),z)) \tag{৪.৪১}$$

উপরের সূত্রটি নিম্নের সুপ্রকাশনাটির সমতুল—

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \tag{৪.৪২}$$

অবশ্য স্কলেমের নর্মাল সূত্রগুলিতে নিম্নলিখিত লজিক্যাল সূত্রগুলিও প্রযোজ্য। যেমন :

$$\begin{aligned}
&\sim(\sim A) = A \\
&A \wedge (B \vee C) = A \wedge B) \vee (A \wedge C) \\
&A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C) \\
&(A \wedge \sim B) \vee B = A \vee B \\
&\sim(A \vee B) = \sim A \wedge \sim B \\
&\sim(A \wedge B) = \sim A \vee \sim B
\end{aligned} \tag{৪.৪৩}$$

লজিক্যাল সুপ্রকাশনাতে এই নিয়মগুলির সাহায্যে যে কোনো লজিক্যাল সূত্রকে ডিসজাংটিভ নর্মাল ফর্মে বা কনজাংটিভ নর্মাল ফর্মে রূপান্তরিত করা যায়। ডিসজাংটিভ নর্মাল ফর্ম তৈরি করা হয় পৃথক পৃথক সুপ্রকাশনাগুলিকে কনজাংশনের মাধ্যমে সেই ফর্মে আনা যাতে করে $\wedge$ চিহ্নের দ্বারা সংযোগ সাধন করা যায়, আর এই কনজাংশনগুলিও সংযুক্ত হয় $\vee$ চিহ্নের সাহায্যে।

$$(A \wedge B) \vee (C \wedge D) \tag{৪.৪৪}$$

কনজাংটিভ নর্মাল ফর্ম তৈরি করা হয় কয়েকটি সুপ্রকাশনাকে ডিসজাংশনের মাধ্যমে, সেই ফর্মে আনা যাতে $\vee$ সংযোগ চিহ্নটি ব্যবহৃত হয় এবং এই ডিসজাংশনগুলি সংযুক্ত হয় $\wedge$ চিহ্ন দ্বারা :

$$(A \vee B) \wedge (C \vee D) \tag{৪.৪৫}$$

উপরিউক্ত সম্পর্কগুলি ব্যবহারের দ্বারা যে কোনো লজিক্যাল সূত্রকে তার ভাবার্থ পুরাপুরি বজায় রেখেই ডিসজাংটিভ বা কনজাংটিভ নর্মাল ফর্মে রূপান্তরিত করা যায়। এই

ফর্মগুলির কোনটি ব্যবহার করা হবে তা ঠিক করতে হবে রূপান্তরকরণের উদ্দেশ্য বিচার করে।

এভাবে দেখা যাচ্ছে যে, স্কলেমের নর্মাল ফর্ম থেকে ডিসজাংটিভ বা কনজাংটিভ ফর্মে রূপান্তর করা যায়। এই ফর্মগুলির সাহায্যে সূত্রগুলির অস্পষ্টতা দূরকরণ ও একই জাতীয় প্রস্তাবনার সাহায্যে একই ধরনের ভাব প্রকাশ করা সম্ভব হয়। যান্ত্রিক উপায়ে বা কম্পিউটারের সাহায্যে প্রক্রিয়াকরণের সময় সূত্রগুলির সিমান্টিক্স বা ভাব সংরক্ষণে পূর্বোক্ত ফর্ম রূপান্তরকরণ প্রক্রিয়াগুলি বিশেষ ভূমিকা পালন করে। বিভিন্নভাবে প্রস্তাবিত বা ভিন্ন ভিন্ন ধরনের সূত্র দ্বারা একইভাব প্রকাশের ফলে তথ্য প্রক্রিয়াকরণে অসুবিধাজনক অবস্থার সৃষ্টি হয়।

রিজলিউশন মেথডে স্কলেমের নর্মাল ফর্ম কনজাংটিভ নর্মাল ফর্মে লেখা হয়। উদাহরণস্বরূপ, (৪.৪০) সূত্রটিকে নর্মাল কনজাংটিভ ফর্মে (৪.৪১) রূপান্তর করা হয়েছে।

এই অবস্থায় নর্মাল ফর্মে রূপান্তরের প্রসিডিউরটি শেষ হয়। কিন্তু রূপান্তরের কাজ আরো কিছুদূর এগিয়ে নিয়ে যাওয়া হয় ক্লজাল বা বাক্য ফর্মে সূত্রগুলিকে রূপান্তরের মাধ্যমে। ক্লজাল ফর্মে বাক্যের ধারণা সৃষ্টি করা হয় এভাবে—বাক্য হলো নর্মাল কনজাংটিভ ফর্মের সূত্রের সেই অংশ, যা প্রথম বন্ধনী () দ্বারা আবদ্ধ এবং ∨ সংযোগ চিহ্নটি দ্বারা সংযুক্ত কয়েকটি প্রেডিকেট দ্বারা গঠিত। সকল ধরনের প্রদত্ত লজিক্যাল সূত্র যেগুলি নর্মাল কনজাংটিভ ফর্মে প্রস্তাবিত এবং সেগুলিকে ∧ চিহ্নটি দ্বারা সংযুক্ত করা হলে সেগুলিকেও বাক্য বলা হবে।

সকল লজিক্যাল সূত্র যেগুলি একটি সত্য লজিক্যাল সূত্রের অন্তর্গত, সেগুলিকে পৃথক পৃথকভাবেও সত্য সূত্র হিসেবে গণ্য করা যাবে এবং ∧ সংযোগ চিহ্নের দ্বারা সংযুক্ত করার মাধ্যমে তারা একটি একক সূত্র গঠন করবে। অন্যদিকে ∧ সংযোগের দ্বারা যুক্ত সূত্রগুলি পৃথক পৃথক সূত্র হিসেবে প্রস্তাবিত। কিন্তু যদি ∧ চিহ্নের দ্বারা সংযুক্ত একাধিক সূত্রতে একই ভ্যারিয়েবল কার্যকর থাকে তবে সেই সূত্রগুলিকে পৃথক করা যাবে না। এক্ষেত্রে নর্মাল কনজাংটিভ ফর্মের অবস্থা কি দাঁড়াবে? একটি উদাহরণের মাধ্যমে ব্যাপারটি লক্ষ্য করা যাক—

$$(F(x, f(x))\vee G(z))\wedge(F(x,z)\vee H(g(x))) \qquad (৪.৪৬)$$

যদি এই সূত্রটিকে নর্মাল ফর্ম থেকে উল্টাদিকে রূপান্তর করা যায় তবে সূত্রটির আকার দাঁড়াবে নিম্নরূপ :

$$(\forall x)(\exists u)(\exists v)(\forall z)[(F(x,u)\vee G(z))\wedge(Fx,z)\vee H(v))] \qquad (৪.৪৭)$$

কিন্তু (৪.২৩), (৪.২৪) ও (৪.২৫) সূত্রগুলি মোতাবেক কোয়ান্টার ও সংযোগচিহ্ন ∧ এর মধ্যে সংযোগ সাধনের মাধ্যমে আমরা লিখতে পারি :

$$(\forall x)(\exists u)(\forall z)(F(x,u)\vee G(z))\wedge(\forall x)(\exists v)(\forall z)(F(x,z)\vee H(v)) \qquad (৪.৪৮)$$

যেহেতু লজিক্যাল সূত্রগুলির অভ্যন্তরে ভ্যারিয়েবলগুলি সেই সূত্রেরই অন্তর্গত প্রেডিকেটগুলির মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে, কাজেই উপরের লজিক্যাল সূত্রটিকে দুটি সার্বভৌম সূত্রে বিভক্ত করা যায় :

$$F(x,f(x))\vee G(z) \qquad (৪.৪৯ক)$$

$$F(x, z))\vee H(g(x)) \qquad (৪.৪৯খ)$$

অতএব কনজাংটিভ নর্মাল ফর্মে প্রদত্ত (৪.৪৬) সূত্রটিকে দুটি পৃথক পৃথক সূত্রজাতীয় বাক্যের সাথে সমতুল ধরা যেতে পারে। কোনো লজিক্যাল সূত্রকে বিভক্তকরণের মাধ্যমে যে বাক্য গুচ্ছ পাওয়া যায় তাকে ক্লজাল গুচ্ছ বলা হয়।

যদি কোনো প্রদত্ত লজিক্যাল সূত্রকে বিভক্তকরণের মাধ্যমে প্রাপ্ত প্রতিটি বাক্য প্রদত্ত সূত্রটি থেকে সম্পূর্ণ সার্বভৌম হয় তবে অন্য কোনো সূত্রকে বিভক্তকরণের ফলে প্রাপ্ত সার্বভৌম বাক্যগুচ্ছের সাথে প্রথম বাক্যগুচ্ছের একত্রকরণে কোনো অসুবিধা নেই। যেহেতু বাক্যগুলি একটি অন্যটি থেকে সম্পূর্ণ সার্বভৌম, তাই কোনো ভ্যারিয়েবল চিহ্ন একাধিক বাক্যে ব্যবহারের ফলেও তাদের মধ্যে কোনো সম্পর্ক সৃষ্টি হয় না। উদাহরণস্বরূপ, (৪.৪৯ক) ও (৪.৪৯খ) সূত্র দুটিতে x ও z ভ্যারিয়েবলগুলি বিদ্যমান কিন্তু সূত্র দুটির মধ্যে কোনো সম্পর্ক নেই তাই তাদেরকে নিম্নরূপেও লেখা যায় :

$$F(x,f(x))\vee G(z) \qquad (৪.৫০ক)$$

$$F(u,v)\vee H(g(u)) \qquad (৪.৫০খ)$$

মনোযোগের সাথে লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে, লজিক্যাল প্রেডিকেট সূত্রগুলির সাথে তাদের থেকে বিভিন্ন প্রসিডিউরের মাধ্যমে প্রাপ্ত ক্লজগুচ্ছগুলিকে সমমানের বা ইকুইভ্যালেন্ট হিসেবে গণ্য করা যাবে না। (৪.৪৬) সূত্রটিতে এই জাতীয় সমতুলতা আপাতদৃষ্টিতে প্রতীয়মান হলেও প্রকৃতপক্ষে তা সমতুল নয়। কারণ (৪.৪৬) সূত্রে প্রেডিকেট চিহ্ন H এর অন্তর্ভুক্ত g(x) ফাংশনটি f(x) ফাংশন থেকে প্রথম থেকেই পৃথক। এই কারণেই (৪.৪৭) সূত্রটিতে u ও v ভ্যারিয়েবল দুটিকে অস্তিত্বমূলক কোয়ান্টারযুক্ত করা হয়েছে। ফলে (৪.৪৭) সূত্রটিকে কোয়ান্টার ∃ এর সাথে সংযুক্ত করেও ব্যবহার করা যাবে। ধরা যাক যে, (৪.৪৬) সূত্রটির আকার নিম্নরূপ :

$$(F(x, f(x))\vee G(z))\wedge(F(x,z)\vee H(f(x))) \qquad (৪.৫১)$$

এই সূত্রটির ভিত্তিতে (৪.৪৭) সূত্রটির ধরন দাঁড়াবে :

$$(\forall x)(\exists u)(\forall z)[(F(x,u)\vee G(z))\wedge(F(x,z)\vee H(u))] \qquad (৪.৫২)$$

এখানে (৪.২৪) সূত্রটি ব্যবহার করা যাবে না। অন্যদিকে সূত্রটি ব্যবহার করলে ফল দাঁড়াবে :

$$(\forall x)(\exists u)(\forall z)[(F(x,u)\vee G(z))\wedge(F(x,z)\vee H(u))] \rightarrow$$

$$\rightarrow (\forall x)(\exists u)(\forall z)(F(x,u)\vee G(z)\wedge(\forall x)(\exists u)(\forall z)(F(x,u)\vee H(u)) \quad (৪.৫৩)$$

এক্ষেত্রে বামপার্শ্বের ও ডানপার্শ্বের অংশ সমতুল বা ইকুইভ্যালেন্ট নয়। ডানপার্শ্বে সম্পূর্ণ দুটি পৃথক সূত্র বিদ্যমান।

অতএব সাধারণ ধারণা থেকে প্রতীয়মান হচ্ছে যে, ক্লজগুচ্ছগুলি সার্বভৌম সূত্রগুলির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ নয়। (৪.৫১) সূত্রটিতে f(x) দুটি পৃথক বাক্যে ব্যবহার করা হয়েছে, কাজেই এই জাতীয় সূত্রকে একই ধরনের মনে করা যেতে পারে। উপরিউক্ত পদ্ধতিতে ক্লজগুচ্ছ ব্যবহারের ফলে রিজলিউশন মেথডে প্রমাণ প্রক্রিয়ায় কোনো অসুবিধা হয় না।

৪.১৩ হর্ন সেন্টেন্স (হর্ন বাক্য)

অধুনা জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিতে হর্ন সেন্টেন্সের ব্যাপক ব্যবহার নিয়ে বেশ সাড়া জেগেছে। দেখা যাক, এই হর্ন সেন্টেন্স প্রথম ধাপের বা ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সাথে কিভাবে সম্পর্কযুক্ত। উপরিল্লিখিত ক্লজ সূত্র বা বাক্যগুলি কয়েকটি প্রেডিকেটকে $\vee$ সংযোগ চিহ্ন দ্বারা যুক্ত করার ফলে গঠিত হয়। সর্বসাধারণভাবে এই সূত্রগুলিকে সর্বসাধারণভাবে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রকাশ করা যায় :

$$\sim F_1 \vee \sim F_2 \vee \sim F_3 \vee \ldots \vee \sim F_k \vee G_1 \vee G_2 \vee G_3 \vee \ldots \vee G_l \quad (৪.৫৪)$$

যেহেতু উপরিউক্ত উপায়ে ক্লজ সূত্র প্রকাশের ফলে দেখা যাচ্ছে যে, এই সূত্রে কেবল $\vee$ সংযোগ চিহ্নটিই বিদ্যমান, তাই সূত্রটিকে এই চিহ্ন ছাড়াও লেখা যায় নিম্নরূপে :

$$\sim F_1, \sim F_2, \sim F_3, \ldots, \sim F_k, G_1, G_2, G_3, \ldots G_l$$

ক্লজ ফর্মে লজিক্যাল সূত্রকে সাধারণ উপায়ে (৪.৫৪) আকারে প্রকাশ করলে তাকে k ও l এর মানের ভিত্তিতে কয়েকটি ভাগে বিভক্ত করা যায় :

(১) টাইপ-১ : $k = 0, l = 1$

এক্ষেত্রে বাক্য বা সূত্রতে কেবল একটি প্রেডিকেট বিদ্যমান এবং তাকে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রকাশ করা যায় :

$$\rightarrow F(t_1, t_2, t_3, \ldots, t_m) \quad (৪.৫৫)$$

এখানে $t_1, t_2, t_3, \ldots, t_m$ হচ্ছে প্রেডিকেট অন্তর্গত টার্ম। যদি সবগুলি টার্মই কনস্টান্ট হয় তবে সেগুলির দ্বারা ফ্যাক্ট প্রকাশ করা হয় যা ডাটা ব্যাংকে রক্ষিত ডাটাগুলিকে প্রকাশ করে। যদি টার্মগুলিতে কোনো ভ্যারিয়েবল থাকে তবে সেগুলি কোনো ফ্যাক্টগুচ্ছকে সাধারণভাবে প্রকাশ করে। উদাহরণস্বরূপ,

BANSDOC Library

প্রবাহতত্ত্ব (x) : ‹ ‹ সবকিছুই প্রবাহমান, সবকিছুই পরিবর্তনশীল > >।

(২) টাইপ-২ : $k \geq 1, l = 0$

এ ধরনের সূত্রকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যেতে পারে :

$$F_1 \wedge F_2 \wedge F_3 \wedge \ldots \wedge F_k \rightarrow \qquad (৪.৫৬)$$

এই টাইপটি সাধারণত প্রশ্ন প্রকাশের জন্য ব্যবহৃত হয়। প্রশ্নের উত্তর নির্ধারণ করা হয় একটি প্রমাণ পদ্ধতির সাহায্যে, যে পদ্ধতিতে প্রদত্ত সূত্রটিকে অস্বীকার করা হয় এবং পরবর্তীতে প্রমাণ করা হয় যে এই অস্বীকৃতি সঠিক বা সত্য নয়। প্রশ্নের ধরন দাঁড়ায় (৪.৫৬) এর অনুরূপ।

(৩) টাইপ-৩ : $k \geq 1, l = 1$

এই টাইপটি জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে "IF ... THEN" বা "যদি ...তবে" এর অনুরূপ :

$$F_1 \wedge F_2 \wedge F_3 \wedge \ldots \wedge F_k \rightarrow G_1 \qquad (৪.৫৭)$$

(৪) টাইপ-৪ : $k = 0, l \geq 1$

এই টাইপে সূত্রটির রূপ দাঁড়ায়—

$$\rightarrow G_1 \vee G_2 \vee G_3 \vee \ldots \vee G_l \qquad (৪.৫৮)$$

এই টাইপে ফ্যাক্ট প্রস্তাবনার মধ্যে কিছুটা অনির্দিষ্টতারও সংযোগ ঘটে। সাধারণত এই অনির্দিষ্টতার উদ্ভব হয়, তথ্যগুলির সম্পূর্ণতার অভাবে। (৪.৫৮) সূত্রটিতে তথ্যের অসম্পূর্ণতার কারণ ঘটে এজন্য যে, সূত্রের প্রেডিকেটগুলির মধ্যে কোনটি সত্য তা সুনির্দিষ্টভাবে বুঝার উপায় নেই।

(৫) টাইপ-৫ : $k = 1, l \geq 1$

(৪.৫৪) সূত্রটির সর্বাপেক্ষা সাধারণ ধরন হলো এই টাইপটি। এই টাইপের উদাহরণ হলো—

প্যারেন্ট (x,y)→পিতা (x, y) ∨ মাতা (x, y)

উপরিল্লিখিত বিভিন্ন টাইপের বাক্যের মধ্যে হর্ন বাক্যে কেবল ১, ২ ও ৩ নং টাইপকেই ব্যবহার করা হয় এবং ৪ ও ৫ নং টাইপের ব্যবহার নিষিদ্ধ থাকে। যদিও ৪ ও ৫নং টাইপের বাক্যগুলি হর্ন বাক্যে ব্যবহৃত হয় না, কিন্তু তাদের সহজ বাস্তবায়নের কারণে সেগুলির ব্যাপক ব্যবহার অন্যক্ষেত্রে প্রচলিত আছে।

BANSDOC Library
Accession No. 18062
Date 10.6.04

৪.১৪ প্রমাণ পদ্ধতির ফর্মালাইজেশন

প্রমাণ পদ্ধতিতে দেখানো হয় যে, কোনো সাঠকভাবে তৈরি ফর্মুলা (সতফ) হচ্ছে কোনো অ্যাক্সিওমগুচ্ছ Σ এর অন্তর্গত একটি থিওরেম বা অ্যাক্সিওম দ্বারা লজিক্যালভাবে প্রাপ্ত সিদ্ধান্ত। অবশ্য অ্যাক্সিওমগুলির ক্ষেত্রে প্রমাণ পদ্ধতিকে কিছুটা ভিন্নভাবে দেখানো হয়।

ধরা যাক, Σ হচ্ছে n সংখ্যক সতফ $A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n$ দ্বারা তৈরি একটি গুচ্ছ এবং B হচ্ছে একটি সতফ। দেখাতে হবে যে, Σ গুচ্ছের জন্য B একটি থিওরেম কিনা। অর্থাৎ এক্ষেত্রে দেখাতে হবে যে, যে কোনো ব্যাখ্যাতেই নিচের সূত্রটির সত্যতা বিদ্যমান।

$$A_1 \wedge A_2 \wedge A_3 \wedge \ldots \wedge A_n \rightarrow B \qquad (৪.৫৯)$$

অন্যভাবে দেখানো যেতে পারে যে, নিম্নলিখিত সূত্রটি যা (৪.৫৯) এর নেতিবাচক, তা কোনো ব্যাখ্যাতেই সত্য নয় বা সর্বদাই মিথ্যা।

$$\sim(A_1 \wedge A_2 \wedge A_3 \wedge \ldots \wedge A_n \rightarrow B) \qquad (৪.৬০)$$

যেহেতু (৪.৬০) সূত্রটি একটি সতফ, কাজেই এই সূত্রটিকে একটি ক্লজগুচ্ছে রূপান্তর করা যায়। এজন্য পূর্বে উল্লিখিত অ্যালগরিদম ব্যবহার করা যেতে পারে। ধরা যাক যে, এই রূপান্তরিত ফর্মটি হলো S।

রিজলিউশন মেথড একটি গুরুত্বপূর্ণ প্রমাণ পদ্ধতি এবং তার মূল বিষয়বস্তু হলো পরীক্ষা করা—

(১) S এর মধ্যে কোনো শূন্য বাক্য আছে কিনা,

(২) যদি S এর মধ্যে কোনো শূন্য বাক্য না থাকে, তবে S হতে কোনো শূন্য বাক্য সিদ্ধান্ত হিসেবে নির্ণীত হয় কিনা।

S এর অঙ্গীভূত যে কোনো বাক্য কয়েকটি প্রেডিকেট বা প্রেডিকেটের নেতিবাচক ডিসজাংশন চিহ্ন $\vee$ এর সংযোগ দ্বারা গঠিত হয়। কোনো প্রেডিকেট বা তার নেতিবাচককে এক কথায় বলা হয় "লিটারেল"। উদাহরণস্বরূপ,

$$C_1 = \rightarrow P_{i1} \vee P_{i2} \vee \ldots \vee P_{im} \qquad (৪.৬১)$$

কিন্তু S নিজে হলো কনজাংশন ফর্মের অর্থাৎ $\wedge$ দ্বারা যুক্ত সূত্র—

$$S = C_1 \wedge C_2 \wedge C_3 \wedge \ldots \wedge C_k \qquad (৪.৬২)$$

এতদানুসারে বলা যেতে পারে যে, S যদি সত্য হতে হয় তবে তার অঙ্গীভূত সকল C_i কেই সত্য হতে হবে এবং বিপরীতভাবে যদি কেবল একটি C_i মিথ্যা হয় তবে S মিথ্যা হবে। কিন্তু যদি C_i কে কোনো ব্যাখ্যানুসারে মিথ্যা হতে হয় তবে $\{P_{i1}, P_{i2}, \ldots, P_{im}\}$ কে একটি শূন্য গুচ্ছ হতে হবে। এটি নিচের উদাহরণের সাহায্যে প্রমাণ করা যেতে পারে। ধরা

থাকে যে, উদাহরণটি সঠিক নয়। তাহলে এমন একটি ব্যাখ্যা বিদ্যমান, যে ব্যাখ্যানুসারে P_{i1}, P_{i2}, ... P_{im} এর যে কোনো একটি বা সবকটি লিটারেলই সত্য এবং এবং এক্ষেত্রে C_i মিথ্যা হবে না। এতদানুসারে যদি S এর মধ্যে কোনো একটি শূন্য বাক্য থেকে থাকে, তবে (৪.৬০) সূত্রটি মিথ্যা হবে অর্থাৎ মূলসূত্র (৪.৫৯) টিও মিথ্যা হবে। এটি থেকে বলা যায় যে, B নির্ণীত হয় প্রেডিকেট গ্রুপ $A_1, A_2, A_3, \ldots A_n$ বা Σ এর সাহায্যে। দ্বিতীয় ধাপে S এর মধ্যে কোনো শূন্য বাক্যের অস্তিত্ব পরীক্ষার অর্থ হলো সিদ্ধান্ত নিয়মের সাহায্যে S কে রূপান্তরের পর সেটির ফল পরীক্ষা করা।

৪.১৫ লজিক্যাল সুপ্রকাশনার জন্য রিজলিউশন মেথড

যে প্রেডিকেটগুলির মধ্যে কোনো ভ্যারিয়েবল নেই, সেই প্রেডিকেটগুলিকে সুপ্রকাশনার সমতুল ধরা যেতে পারে। কাজেই সুপ্রকাশনার জন্য প্রযোজ্য রিজলিউশন মেথডটিকে পর্যালোচনা করা দরকার। ধরা যাক যে, কোনো বাক্য গুচ্ছে নিম্নরূপের অতিরিক্ত লিটেরাল বিদ্যমান (লিটেরালগুলি কেবল নেতিবাচক চিহ্ন দ্বারা একটি অন্যটি থেকে পৃথক অর্থাৎ L ও ~L দুটি পৃথক লিটেরাল)—

$$C_i = L_{i1} \vee L_{i2} \vee \ldots \vee L_{imi} \vee L \qquad (৪.৬৩ক)$$

$$C_j = L_{j1} \vee L_{j2} \vee \ldots \vee L_{jmj} \vee \sim L \qquad (৪.৬৩খ)$$

এই দুটি বাক্য থেকে অতিরিক্ত লিটেরালগুলি বাদ দিয়ে অবশিষ্টাংশ ডিসজাংশনফর্মে প্রস্তাবিত হয় (এ ধরনের প্রস্তাবনাকে C_1 ও C_2 এর রিজলভেন্ট বলা হয়) :

$$C = L_{i1} \vee L_{i2} \vee \ldots \vee L_{imi} \vee L_{j1} \vee L_{j2} \vee \ldots \vee L_{jmj}$$

$$= (C_1 - L) \vee (C_2 - \sim L) \qquad (৪.৬৪)$$

এই অপারেশনটি সম্পন্ন করার পর দেখা যাচ্ছে যে, C হচ্ছে C_1 ও C_2 এর লজিক্যাল সিদ্ধান্ত। কাজেই S গুচ্ছে C এর সংযোগের ফলে S এর সত্যতা বা অসত্যতার উপর কোনো প্রভাব পড়ে না।

যদি $C_1 = L$ এবং $C_2 = \sim L$ হয় (৪.৬৫)

তবে C হবে শূন্য বাক্য। << C হচ্ছে S এর ভিত্তিতে গৃহীত সিদ্ধান্ত এবং C একটি শূন্য বাক্য >> একথাটির দ্বারা লজিক্যাল সূত্র S এর অসত্যতা প্রমাণিত হয়। নিচের চিত্রের সাহায্যে এ জাতীয় প্রমাণ পদ্ধতির উদাহরণ দেখানো হয়েছে।

$S : C_1 \wedge C_2 \wedge C_3 \wedge C_4 \wedge C_5$

(1) $C_1 : \sim P \vee \sim Q \vee R$

(2) $C_2 : \sim P \vee \sim Q \vee S$

(3) $C_3 : P$

(4) $C_4 : \sim S$

(5) $C_5 : Q$

রিজলিউশন মেথডের সাহায্যে নিম্নের প্রমাণটি পাওয়া যায় :

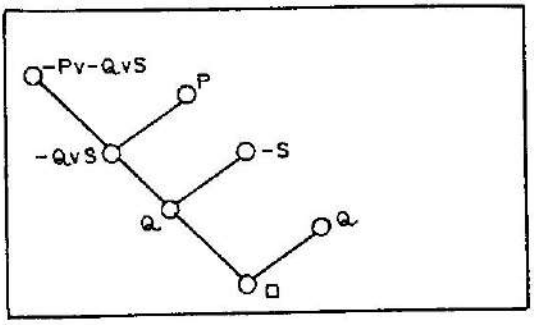
(6) $C_6 : \sim Q \vee S$ (2) ও (3) এর রিজলভেন্ট

(7) $C_7 : \sim Q$ (4) ও (6) এর রিজলভেন্ট

(8) $C_8 : \square$ (5) ও (7) এর রিজলভেন্ট

($\square$ হচ্ছে শূন্য বাক্য)

চিত্র ৪.৫ : রিজলিউশন মেথডের দ্বারা লজিক্যাল প্রডিকেট প্রমাণ।



চিত্র ৪.৬ : ডিডাক্টিভ ট্রি-র সাহায্যে প্রমাণ।

কোনো অ্যাক্সিওম্যাটিক সিস্টেম থেকে সিদ্ধান্ত থিওরেম বের করার জন্য উপরিউক্ত অ্যালগরিদম ব্যবহারকে বলা হয় ডিডাকশন। ডিডাকশন সিদ্ধান্তের অ্যালগরিদম অনেক সময় ৪.৬ চিত্রের অনুরূপে ট্রি আকৃতিতে প্রস্তাবিত। তাই এই স্ট্রাকচার বা গঠনকে সিদ্ধান্ত-ট্রি বলা হয়।

৪.১৬ প্রেডিকেট লজিকের জন্য রিজলিউশন মেথড

যেহেতু প্রেডিকেট লজিকে প্রেডিকেটগুলির মধ্যে ভ্যারিয়েবল বিদ্যমান থাকে, সেজন্য প্রমাণ অ্যালগরিদম কিছুটা জটিল হয়ে পড়ে। এ কারণে উপরিউক্ত অ্যালগরিদম প্রয়োগ করার পূর্বে ভ্যারিয়েবলগুলিকে সংস্থাপন করা হবে এবং এই সংস্থাপনার মাধ্যমে ইউনিফিকেশন বা একত্রকরণ সম্বন্ধে কিছুটা ধারণা প্রদান করা হবে।

L(x) ও L(a) এই প্রেডিকেট দুটিকে লক্ষ্য করা যাক। ধরা যাক, x হচ্ছে ভ্যারিয়েবল এবং a হচ্ছে কনস্টান্ট। এখানে প্রেডিকেট সিম্বল একই ধরনের হলেও প্রেডিকেট দুটি একই জাতীয় নয়।

এতদসত্ত্বেও x এর স্থলে a বসানোর দ্বারা প্রেডিকেট দুটিকে একই জাতীয় করা যেতে পারে। এই সংস্থাপনের প্রক্রিয়াকে ইউনিফিকেশন বলা হয়। ইউনিফিকেশনের উদ্দেশ্য হলো—উপরিল্লিখিত প্রেডিকেটগুলি প্রমাণের অ্যালগরিদম ব্যবহার করা। উদাহরণস্বরূপ, ধরা যাক যে, (৪.৬৩) সমীকরণকে সাধারণকরণের মাধ্যমে নিম্নরূপে দেখা যেতে পারে :

$$C_i = L_{i1} \vee L_{i2} \vee \ldots \vee L_{imi} \vee L(x) \qquad (৪.৬৬ক)$$

$$C_j = L_{j1} \vee L_{j2} \vee \ldots \vee L_{jmj} \vee \sim L(a) \qquad (৪.৬৬খ)$$

উপরের সমীকরণ দুটি পরস্পর পরিপূরক সম্পর্কে নেই কিন্তু যদি x এর স্থলে a বসানো যায় তবে তারা পরিপূরক সম্পর্কে আসবে। অবশ্য সংস্থাপন প্রক্রিয়াটি কোনো সীমাবদ্ধ শর্ত ব্যতিরেকে প্রয়োগযোগ্য নয়।

৪.১৭ সংস্থাপন

x এর স্থলে t স্থাপন করাকে $\{t/x\}$ হিসেবে লেখা যায়। যেহেতু একটি সতফে একাধিক ভ্যারিয়েবল থাকতে পারে, কাজেই একাধিক সংস্থাপন প্রক্রিয়াও ঘটতে পারে যাকে একটি পর্যায়ক্রমিক জোড় হিসেবে প্রকাশ করা যেতে পারে—$\{t_1/x_1, t_2/x_2, t_3/x_3, \ldots, t_n/x_n\}$। সংস্থাপন প্রক্রিয়ায় যেসব শর্ত পালন প্রয়োজন, তাহলো—

(১) x_i হচ্ছে ভ্যারিয়েবল এবং t_i হচ্ছে টার্ম (কনস্টান্ট, ভ্যারিয়েবল, ফাংশন-সিম্বল), যা কি না x_i থেকে সম্পূর্ণ ভিন্ন,

(২) যেকোনো সংস্থাপিত ভ্যারিয়েবল জোড়ার "/" চিহ্নের ডান পার্শ্বে একই জাতীয় ভ্যারিয়েবল থাকতে পারে না, অর্থাৎ t_i/x_i এবং t_j/x_j এই সংস্থাপনা দুটির x_i ও x_j ভ্যারিয়েবল দুটি একটি অন্যটি থেকে ভিন্ন ও পৃথক।

৪.১৮ ইউনিফিকেশন (একত্রকরণ)

ধরা যাক, কোনো একটি সংস্থাপন গ্রুপ $\{t_1/x_1, t_2/x_2, t_3/x_3, \ldots, t_n/x_n\}$ কে "Q" সিম্বল দ্বারা চিহ্নিত করা হলো। যখন কোনো প্রস্তাবনা L এ বিদ্যমান $\{x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n\}$ এর স্থলে $\{t_1, t_2, t_3, \ldots, t_n\}$ টার্মগুলি দ্বারা পরিবর্তন করা হয় বা সংস্থাপন করা হয় তখন এই সংস্থাপন প্রক্রিয়াটির ফলকে প্রকাশ করা হয় LQ দ্বারা।

যদি কোনো প্রেডিকেট গ্রুপ L অর্থাৎ $\{L_1, L_2, L_3, \ldots, L_m\}$ এর জন্য এমন একটি Q থাকে, যার সংস্থাপনে অঙ্গ প্রেডিকেটগুলি একই জাতীয় রূপ ধারণ করে বা $\{L_1Q = L_2Q = L_3Q = \ldots = L_mQ\}$ হয়, তখন Q কে $\{L_1, L_2, L_3, \ldots, L_m\}$ এর জন্য ইউনিফিকেটর বলা হয়। যদি Q এর অস্তিত্ব থাকে তবে বলা হয় $\{L_1, L_2, L_3, \ldots, L_m\}$ গুচ্ছটি ইউনিফিকেশনযোগ্য। পূর্ববর্তী উদাহরণে $\{L(x), L(a)\}$ গুচ্ছটি ইউনিফিকেশনযোগ্য এবং $\{a/x\}$ হচ্ছে ইউনিফিকেটর।

কোনো একটি প্রস্তাবনা গ্রুপের জন্য যে কেবল একটি ইউনিফিকেটর থাকবে, এমন কোনো সীমাবদ্ধতা নেই। $\{L(x,y), L(z,f(x)\}$ এই প্রকাশনা গ্রুপটির জন্য একটি ইউনিফিকেটর হচ্ছে $Q = \{x/z, f(x)/y\}$ এবং অন্য ইউনিফিকেটর হচ্ছে $Q = \{a/x, a/z, f(a)/y\}$, যেখানে a হচ্ছে কনস্টান্ট এবং x হচ্ছে ভ্যারিয়েবল। এক্ষেত্রে সমস্যা দাঁড়ায় কোনো ইউনিফিকেটরটি সংস্থাপনের জন্য সর্বাধিক গ্রহণযোগ্য।

সেক্ষেত্রে সংস্থাপন সমস্যাটিকে একটু ভিন্ন দৃষ্টিতে দেখা যেতে পারে। সংস্থাপন প্রক্রিয়াটি একবারে না সম্পন্ন করে কয়েকটি ধাপে করা যেতে পারে। এজন্য ভ্যারিয়েবলগুলির ভিত্তিতে $\{t_1/x_1, t_2/x_2, t_3/x_3, t_4/x_4\}$ সংস্থাপনটিকে উদাহরণস্বরূপ, প্রথমে $\{t_1/x_1, t_2/x_2\}$ এর ভিত্তিতে এবং তারপর $\{t_3/x_3, t_4/x_4\}$ এর ভিত্তিতে করা যেতে পারে। এমনকি a/x এই সংস্থাপনকে দুই ধাপে u/x এবং a/u (যেখানে x ও u উভয়ই হচ্ছে ভ্যারিয়েবল) এর মাধ্যমে সম্পন্ন করা যেতে পারে। পর্যায়ক্রমে দুটি সংস্থাপন প্রক্রিয়া θ ও λ এর ফলকেও সংস্থাপন হিসেবে গণ্য করা হবে। এ জাতীয় সংস্থাপনকে জটিল সংস্থাপন বলা হয় এবং তা প্রকাশ করা হয় $\lambda.\theta$ দ্বারা।

যেমনটি ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, যদি কয়েকটি বা একাধিক ইউনিফিকেটর থাকে তবে এমন একটি সংস্থাপন "σ" পাওয়া যাবে যেন অন্য ইউনিফিকেটরগুলিকে $\sigma.\lambda$ আকারে জটিল সংস্থাপন হিসেবে প্রকাশ করা যায়। সংস্থাপনের ফলে প্রকাশনায় ভ্যারিয়েবলগুলি কনস্টান্ট দ্বারা পরিবর্তন করা হয়, ফলে সতফগুলির প্রকাশনা ক্ষমতা সীমাবদ্ধ হয়ে পড়ে। দুটি ভিন্ন ধরনের প্রেডিকেট প্রকাশনাকে ইউনিফর্ম করার জন্যই এমন একটি সংস্থাপন প্রয়োজন যে, বৃহত্তর প্রকাশনা ক্ষমতাসম্পন্ন প্রকাশনাকে ক্ষুদ্রতর প্রকাশনাসম্পন্ন প্রকাশনাটির সাথে সামঞ্জস্য বিধান করা সম্ভব হয়; অবশ্য এজন্য অন্য সকল সংস্থাপনের দ্বারা প্রকাশনা ক্ষমতাকে সীমাবদ্ধ করা প্রয়োজন। অর্থাৎ সংস্থাপন প্রক্রিয়ায় সেই ইউনিফিকেটরটিই ব্যবহার করা হয়, যার সাহায্যে প্রকাশনা ক্ষমতার সীমাবদ্ধতা সর্বনিম্ন হবে। এই অর্থে এই সংস্থাপনকে << সর্বাপেক্ষা সাধারণ ইউনিফিকেটর বলা হয় >>। এটি একটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বোধন। কোনো প্রেডিকেট প্রকাশনা গ্রুপের সর্বাপেক্ষা সাধারণ ইউনিফিকেটর বা "**সসাই**" নির্বাচন প্রক্রিয়াকে ইউনিফিকেশন-অ্যালগরিদম বলা হয়।

এই অ্যালগরিদমটি অত্যন্ত সহজ। এর মূল বিষয় হলো—প্রথমে ইউনিফিকেশনযোগ্য প্রকাশনাগুলিকে পর্যায়ক্রমিকভাবে সাজাতে হবে। এই পর্যায়ক্রমটি অ্যালফাবেট অনুসারে বা সিম্বল অনুসারে হতে পারে। অতঃপর সাজানো প্রকাশনাগুলির মধ্যে এমন প্রকাশনাগুলি খুঁজে বের করতে হবে, যাদের অন্তর্গত সমপর্যায়িক টার্মগুলির মধ্যে পার্থক্য বিদ্যমান। ধরা যাক যে, সকল প্রকাশনাগুলিকে বাম থেকে ডানে পর্যবেক্ষণ দ্বারা নির্ণীত হলো যে, সমস্থানীয় অসদৃশ টার্মগুলি হলো x ও t। উদাহরণস্বরূপ, {L(a, t, f(z)), L(a, x, z)} আকারে প্রকাশনাগুলিকে সাজানো হয়েছে। এক্ষেত্রে লক্ষণীয় যে, (১) x হচ্ছে ভ্যারিয়েবল এবং (২) x এর মধ্যে t অন্তর্ভুক্ত নয়। কাজেই এখানে {t/x} সংস্থাপনটি সম্ভব। যদি এই অপারেশনগুলির পুনরাবৃত্তির ফলে প্রাথমিকভাবে প্রদত্ত পৃথক জাতীয় প্রকাশনাগুলি একই জাতীয় প্রকাশনায় রূপান্তরিত হয় তবে তাদেরকে ইউনিফাইড প্রকাশনা বলা হয় এবং তাদের সংস্থাপনকে বলা হয় সর্বাধিক সাধারণ ইউনিফিকেশন (সসাই)।

উদাহরণ : $P_1 = L(a, x, f(g(y)))$

$P_2 = L(z, f(z), f(u))$

1. বাম থেকে ডানে লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে, প্রেডিকেট দুটিতে প্রথম সমস্থানীয় অসদৃশ টার্মদুটি হলো : {a,z}

   সংস্থাপন : a/z এর ফলে পাওয়া যায়

   $P_1 = L(a, x, f(g(y)))$

   $P_2 = L(a, f(a), f(u))$

2. উপরের প্রেডিকেট দুটিতে প্রথম সমস্থানীয় অসদৃশ টার্ম হলো {x,f(a)}

   সংস্থাপন : [f(a)/x]

   $P_1 = L(a, f(a), f(g(y)))$

   $P_2 = L(a, f(a), f(u))$

   সংস্থাপন : [a/z, f(a)/x]

3. যদি আরও একটি সংস্থাপন [g(y)/u] সম্পন্ন করা যায়, তবে ইউনিফিকেশন শেষ হয়। কাজেই এই উদাহরণে সর্বাপেক্ষা সাধারণ ইউনিফিকেশন হলো :

   [a/z, f(a)/x, g(y)/u]

চিত্র ৪.৭ : ইউনিফিকেশন অ্যালগরিদমের উদাহরণ।

উপরের উদাহরণে তৃতীয় টার্মটি একটি প্রেডিকেটে হচ্ছে z এবং অন্য প্রেডিকেট হচ্ছে f(z)। কাজেই প্রথম শর্তটি পূরণ হলেও দ্বিতীয় শর্তটি পূরণ হয় না। কাজেই এক্ষেত্রে সংস্থাপন অপ্রযোজ্য। যদি কোনো প্রেডিকেট প্রকাশনাগ্রুপে একটি প্রকাশনাও থাকে, যাকে কোনো প্রকার সংস্থাপনার সাহায্যে গ্রুপের অন্য প্রকাশনাগুলির সাথে সাদৃশ্যপূর্ণ করা না যায়, তবে সেই প্রকাশনা গ্রুপকে ইউনিফিকেশন অযোগ্য বলা হয়। ৪.৭ চিত্রে ইউনিফিকেশন অ্যালগরিদম দেখানো হয়েছে।

৪.১৯ প্রমাণের অ্যালগরিদম

প্রাথমিক প্রস্তুতির পর সরাসরি প্রেডিকেট লজিকের জন্য রিজলিউশন মেথডের বর্ণনায় আলোকপাত করা যায়। বাস্তবিকভাবে এই মেথডটি প্রপজিশনাল লজিকের রিজলিউশন মেথডের অনুরূপ। পার্থক্য হলো এই যে, এক্ষেত্রে সংস্থাপন প্রক্রিয়ার সাহায্যে অতিরিক্ত লিটেরালের সৃষ্টি করা হবে। ইত:পূর্বে উল্লিখিত উদাহরণের ন্যায় L(x) ও ~L(x) প্রেডিকেটগুলিকে সংস্থাপন {a/x} এর সাহায্যে অতিরিক্ত বা সম্পূরক হিসেবে দেখানো হবে। অন্যকথায়, দুটি প্রকাশনা পরস্পর সম্পূরক কি না তা ঠিক করা হবে—(১) তাদের মধ্যে ব্যবহৃত চিহ্নগুলির ভিত্তিতে ; এবং (২) উভয় প্রকাশনার জন্য এমন "সসাই" বিদ্যমান যার সাহায্যে একই জাতীয় সিম্বল অপসারিত হয়। পরবর্তী পদক্ষেপগুলি রিকার্সিভ বা পৌনঃপুনিকভাবেই সম্পাদন করা হয়। সহজেই বোধগম্য যে, কোনো একটি প্রকাশনার কোনো এক স্থানে ভ্যারিয়েবল x এর স্থলে টার্ম t ব্যবহার করা হলে অন্যসব ক্ষেত্রেও একই ধরনের প্রকাশনায় x ভ্যারিয়েবলটি t টার্ম দ্বারা পরিবর্তন করা হবে। এবারে একটি সহজ উদাহরণের সাহায্যে রিজলিউশন মেথডটি লক্ষ্য করা যাক।

উদাহরণ : ধরা যাক, নিম্নরূপের একটি প্রস্তাবনা প্রদত্ত হলো—

<< পুলিশ ডিপ্লোম্যাট ছাড়া সকল ব্যক্তিকে অনুসন্ধান করছে। দেশে স্পাই প্রবেশ করেছে। কিন্তু স্পাইকে কেবল আরেকজন স্পাই চিহ্নিত করতে পারে। স্পাই ডিপ্লোম্যাট নয়। >>

উপরিউক্ত প্রস্তাবনার ভিত্তিতে ঠিক করা যাক যে, নিচের সিদ্ধান্ত ঠিক কিনা—

<<পুলিশের মধ্যে স্পাই আছে>>।

এবারে প্রেডিকেটের সাহায্যে উপরের তথ্যগুলি প্রকাশ করা যাক—

প্রবেশকারী (x) : x দেশে প্রবেশ করেছে।

ডিপ্লোম্যাট (x) : x একজন ডিপ্লোম্যাট।

সন্ধানকারী (x,y) : x সন্ধান করে y কে।

পুলিশ (x) : x হচ্ছে একজন পুলিশ।

যদি উপরিউক্ত প্রেডিকেটগুলির সাহায্যে প্রদত্ত প্রস্তাবনা ও সিদ্ধান্তকে "সতফ" ফর্মে প্রকাশ করা যায়, তাহলে আমরা পাবো—

A_1 : $(\forall x)$ [প্রবেশকারী $(x) \wedge$ ~ডিপ্লোম্যাট $(x) \rightarrow (\exists y)$ (সন্ধানকারী $(y,x) \wedge$ পুলিশ (y))] (৪.৬৭)

অর্থ : (সকল প্রবেশকারী x এর জন্য) যদি x ডিপ্লোম্যাট না হয় তবে কোনো একজন পুলিশ বিদ্যমান, যে x কে সন্ধান করছে।

A_2 : $(\exists x)$ [স্পাই$(x) \wedge$ প্রবেশকারী $(x) \wedge (\forall y)$ (সন্ধানকারী $(y, x) \rightarrow$ স্পাই (y))] (৪.৬৮)

অর্থ : যদি কোনো স্পাই x এর অস্তিত্ব থাকে এবং x দেশে প্রবেশ করে থাকে এবং কোনো y এই x স্পাইকে সন্ধান করে তবে y হচ্ছে স্পাই।

A_3 : $(\forall x)$ [স্পাই $(x) \rightarrow$ ~ডিপ্লোম্যাট (x)] (৪.৬৯)

অর্থ : সকল x এর জন্য প্রযোজ্য যে, x যদি স্পাই হয় তবে x কোনো ডিপ্লোম্যাট নয়।

B : $(\exists x)$ [স্পাই $(x) \wedge$ পুলিশ (x)] (৪.৭০)

অর্থ : এমন x বিদ্যমান, যে x হচ্ছে স্পাই এবং পুলিশ।

যদি উপরিউক্ত সমীকরণগুলিকে পূর্বে উল্লিখিত অ্যালগরিদমের সাহায্যে ক্লজাল ফর্মে রূপান্তর করা হয় তবে ফল হিসেবে আমরা নিচের ৪.৮ চিত্রে প্রদর্শিত (১)–(৩) সমীকরণগুলি পাবো। এক্ষেত্রে (৪.৬৭) সমীকরণটি (১) ও (২) এই সমীকরণে বিভক্ত করা হয়েছে আর (৪.৬৮) সমীকরণটি (৩)–(৫) সমীকরণগুলিতে বিভক্ত করা হয়েছে। সিদ্ধান্ত সমীকরণ (৪.৭০) নিম্নরূপে প্রথমে নেতিবাচক (denial) সমীকরণে রূপান্তরিত হয়—

$\sim(\exists x)$ [স্পাই $(x) \wedge$ পুলিশ (x)] = $(\forall x)$ [~স্পাই $(x) \vee$ ~পুলিশ(x)]

পরবর্তীতে উপরের সমীকরণটি ক্লজাল ফর্মে রূপান্তরিত হয়। অর্থাৎ সমীকরণগুলিকে (৪.৬০) সমীকরণের অনুরূপে বাক্যগুচ্ছে রূপান্তরিত হয় :

$$\sim(A_1 \wedge A_2 \wedge A_3 \rightarrow B)$$

প্রমাণ পদ্ধতিতে পরবর্তী ধাপগুলি (৮)–(১৫) এর সাহায্যে দেখানো হয়েছে।

(১) ~প্রবেশকারী$(x) \vee$ ডিপ্লোম্যাট $(x) \vee$ সন্ধানকারী $(f(x),x)$

(২) ~প্রবেশকারী$(x) \vee$ ডিপ্লোম্যাট $(x) \vee$ পুলিশ $(f(x))$

(৩) স্পাই (a)

(৪) প্রবেশকারী (a)

(৫) ~সন্ধানকারী $(f(x),x) \vee$ স্পাই $(f(x))$

(৬) ~স্পাই $(x) \vee$ ~ডিপ্লোম্যাট (x)

(৭) ~স্পাই $(x) \vee$ ~পুলিশ (x)

বিচ্ছিন্ন প্রমাণ পদ্ধতি নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়—

(৮) ~ডিপ্লোম্যাট (x)	[a/x] (৩) ও (৬) থেকে
(৯) ডিপ্লোম্যাট (a) ∨ পুলিশ (f(a))	[a/x] (২) ও (৪) থেকে
(১০) পুলিশ f(a)	[a/x] (৮) ও (৯) থেকে
(১১) ডিপ্লোম্যাট (a) ∨ সন্ধানকারী (f(a),a)	[a/x] (১) ও (৪) থেকে
(১২) সন্ধানকারী (f(a),a)	[a/x] (৮) ও (১১) থেকে
(১৩) স্পাই (f(a))	[a/x] (১২) ও (৫) থেকে
(১৪) ~পুলিশ (f(a))	[f(a)/y] (১৩) ও (৭) থেকে
(১৫) ❑	[f(a)/x] (১৩) ও (১৪) থেকে

চিত্র ৪.৮ : রিজলিউশন মেথড ব্যবহারের উদাহরণ।

এভাবে রিজলিউশন মেথড ব্যবহারের দ্বারা সব প্রমাণ পদ্ধতিটি তৈরি করা যায়। রিজলিউশন মেথডের আরও একটি সুবিধা হলো এই যে, সিদ্ধান্তের মধ্যে বিদ্যমান ভ্যারিয়েবলগুলির সুনির্দিষ্ট মান পাওয়া যায়। উদাহরণস্বরূপ, নিচের সূত্রটি প্রদত্ত হলো :

$(\forall x)(\forall y)(\forall z)$[পিতা (x,y)∧পিতা(y,z)]→পিতামহ (x, z)

: পিতার পিতা হচ্ছে পিতামহ।

পিতা (মমতাজ, কামাল) : মমতাজ হচ্ছে কামালের পিতা

পিতা (সায়িদ, মমতাজ) : সায়িদ হচ্ছে মমতাজের পিতা এবং ধরা যাক যে, ডিডাক্টিভভাবে পাওয়া গেল—

$(\exists x)$ পিতামহ (x, কামাল) : কামালের পিতামহ বিদ্যমান

এই সিদ্ধান্তের প্রমাণ নিচের চিত্রে দেওয়া হলো—

(১) ~পিতা (x,y) ∨ ~পিতা (y,z) ∨ পিতামহ (x,z)	
(২) পিতা (সায়িদ, মমতাজ)	
(৩) পিতা (মমতাজ, কামাল)	
(৪) ~পিতামহ (x, কামাল)	
এখান থেকে পাওয়া যায়—	
(৫) ~পিতা (x, y) ∨ ~পিতা (y, কামাল)	[কামাল/z] (১) ও (৪) থেকে
(৬) ~পিতা (x, মমতাজ)	[মমতাজ/y] (৫) ও (৩) থেকে
(৭) ❑	[সায়িদ/x] (৬) ও (২) থেকে

চিত্র ৪.৯ : রিজলিউশন মেথড ব্যবহারের উদাহরণ।

এ উদাহরণে লজিক্যালভাবে সঠিক সিদ্ধান্ত লাভের সাথে সাথে x ভ্যারিয়েবলটির মানও পাওয়া গেছে x : সায়িদ।

৪.২০ প্রমাণের সম্পূর্ণতা

এভাবে দেখা যাচ্ছে যে, প্রেডিকেট লজিক এমন একটি সম্পূর্ণ ফরমালাইজড পদ্ধতি, যার মধ্যে সিন্ট্যাক্স, সিমান্টিক্স ও প্রমাণ পদ্ধতির ফরমালাইজেশন অন্তর্ভুক্ত। ফরমালিজমের ভিত্তিতে লজিক্যালভাবে প্রেডিকেটগুলির বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য নিরূপণ করা সম্ভব হয়েছে। প্রেডিকেট লজিক একটি অত্যন্ত সুগঠিত লিখন পদ্ধতি, যাতে লজিক্যালভাবে সিন্ট্যাক্স, সিমান্টিক্স ও সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতি অত্যন্ত সুস্পষ্টভাবে নিরূপিত আছে। এই অধ্যায়ে আমরা প্রমাণ পদ্ধতির একটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য—"সম্পূর্ণতা" নিয়ে আলোচনা করবো।

ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, যদি কোনো প্রকাশনাগ্রুপ Σ থেকে কোনো সিদ্ধান্ত হিসেবে নতুন একটি প্রকাশনা σ কে বের করতে হয় তবে এর জন্য প্রয়োজন সিমান্টিক্সভাবে একার্থতা অর্থাৎ Σ এর সকল মডেলকে σ এরও মডেল হতে হবে ($\Sigma \models \sigma$)। অবশ্য বাস্তবক্ষেত্রে $\sigma \vdash \Sigma$ ব্যবহার করে পৌনঃপুনিকভাবে সিদ্ধান্ত গ্রহণের মাধ্যমে অন্তিম সিদ্ধান্ত হিসেবে Σ কে রূপান্তরিত করা হয়। এর জন্য নিশ্চয়তা দরকার যে, উভয় ক্ষেত্রেই আমরা একই সিদ্ধান্তে পৌঁছাবো। লজিক্যাল প্রেডিকেটের বিশেষত্ব হলো এই যে, সিমান্টিক অর্থে প্রাপ্ত $\Sigma \models \sigma$ এবং প্রমাণ পদ্ধতির সাহায্যে কনসেকুয়েন্ট হিসেবে প্রাপ্ত $\Sigma \vdash \sigma$ থিওরেটিকালভাবে সমমানের। এটি দুটি নীতিতে ভিত্তিবদ্ধ (কনফার্ম) করা যায়। প্রথম নীতিটি হলো–যদি $\Sigma \vdash \sigma$ হয় তবে $\Sigma \vdash \Sigma$ হবে, যার অর্থ হলো << প্রমাণ তত্ত্বের ভিত্তিতে প্রাপ্ত ফল সিমান্টিক্সভাবে সঠিক >>। অন্য নীতিটি হলো, যদি $\Sigma \models \sigma$ হয়, তবে $\Sigma \vdash \sigma$ হবে।

সম্পূর্ণতার অর্থ এখানে হচ্ছে এই যে, << সিমান্টিক্সভাবে প্রাপ্ত সঠিক ফলটি প্রমাণ পদ্ধতির মাধ্যমেও পাওয়া যাবে >>। লজিক্যাল প্রেডিকেটের মেথডোলজি সিন্ট্যাক্স নিয়মাবলি ও সিদ্ধান্ত নিয়মাবলির সাহায্যে উপরিউক্ত নীতি দুটির সঠিকতা প্রমাণের উপর ভিত্তি করেই প্রতিষ্ঠিত।

৪.২১ জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ ও প্রেডিকেট লজিক

এবারে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ ও প্রেডিকেট লজিকের মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করা যাক। অনেকটা ঐতিহাসিকভাবেই রিজলিউশন মেথড আবির্ভাবের সাথে সাথে ডিডাক্টিভ প্রমাণ পদ্ধতির বাস্তবায়ন যান্ত্রিকভাবে সম্ভব হয়ে উঠে আর একইসাথে আধুনিক জ্ঞান প্রযুক্তির ভিত্তি হয়ে দাঁড়ায়। প্রকৃতপক্ষে ১৯৬৫ সালে জর্জ রবিনসন কর্তৃক এই পদ্ধতিটির ধারণা প্রকাশ করার

সাথে সাথে যুক্তরাষ্ট্রে কয়েকটি প্রশ্ন-উত্তর ভিত্তিক পদ্ধতির সৃষ্টি হয়, যাতে তা বাস্তবায়িত হয়। কিন্তু এই পদ্ধতিটি শীঘ্রই ব্যবহার থেকে দূরে সরে যেতে থাকে। এর কারণ, তৎকালীন কম্পিউটার টেকনোলজিতে এই জাতীয় সার্বজনীন মেথডের কার্যকারিতা যথেষ্ট নিম্নমানের বলে প্রমাণিত হয়। এর স্থলে বিভিন্ন ফলিত বিভাগের জন্য বিভিন্ন ধরনের এক্সপার্ট সিস্টেমের উদ্ভব হয়। এই ধারাটি ইদানীংকালেও যথেষ্ট প্রচলিত থাকা সত্ত্বেও তাতে বিভিন্ন ধরনের সমস্যা বিদ্যমান। এই কারণে লজিক্যাল প্রেডিকেটের দিকে আবার বিজ্ঞানীদের নজর পড়েছে। অবশ্য প্রেডিকেট লজিক জ্ঞান প্রস্তাবনায় ব্যবহার হোক বা না হোক, তাকে জ্ঞান প্রস্তাবনার তাত্ত্বিক ভিত্তি হিসেবে গণ্য করা হয়। এ অধ্যায়ে দেখানো হয়েছে যে জ্ঞান প্রস্তাবনা প্রেডিকেট লজিকের ইকুইভ্যালেন্ট হবে এবং তার সকল গুণাবলিই ধারণ করবে, যদি প্রেডিকেট লজিকের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ ভাষা জ্ঞান প্রস্তাবনায় ব্যবহার করা হয়। অবশ্য তাতে প্রেডিকেট লজিকের চিহ্নাবলি বা প্রস্তাবনা পদ্ধতি ব্যবহার না করলেও যায় আসে না।

প্রেডিকেট লজিকের জ্ঞান প্রস্তাবনার সাথে প্রোডাকশন মডেল ও সিমান্টিক নেট মডেলে জ্ঞান প্রস্তাবনার বেশ মিল আছে। উদাহরণস্বরূপ, প্রোডাকশন মডেলে <<যদি-তবে>> ফরমালিজমটি প্রেডিকেট লজিকের ইম্প্লিকেশনের অনুরূপ। অন্যদিকে যদি প্রেডিকেট লজিকের টার্মগুলিকে সিমান্টিক নেটের নটগুলির সাথে এবং প্রেডিকেট চিহ্নগুলিকে নেটের সংযোগ শাখা চিহ্নগুলির সাথে তুলনা করা যায় তবে আমরা নেট থেকে প্রেডিকেট পেতে পারি। কিন্তু এই মডেলগুলি সম্পূর্ণভাবে প্রেডিকেট লজিকের ইকুইভ্যালেন্ট নয় তাই সেই মডেলগুলিতে সম্পূর্ণতার অভাব বিদ্যমান। দুটি পদ্ধতিকে ইকুইভ্যালেন্ট হতে হলে তাদের মধ্যে একই অর্থের সামঞ্জস্যতা থাকতে হবে, যেটি প্রোডাকশন পদ্ধতি ও সিমান্টিক নেট পদ্ধতিতে কেবল আংশিকভাবে বিদ্যমান।

উদাহরণস্বরূপ, যেমনটি ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, <<যদি A হয়, তবে B হবে>> এই জাতীয় প্রকাশনার অ্যান্টিথিসিস<<যদি B না হয়, তবে A হবে না>> বা <<যদি ~B, তবে ~A >>। কাজেই যদি << ~B >> ও << যদি A হয়, তবে B হবে>> এই জ্ঞানের ভিত্তিতে << ~A?>> এই প্রশ্নের উত্তরটি হবে <<হাঁ>>। অবশ্য সিম্বল পদ্ধতিতে প্রক্রিয়াকরণের সাহায্যে ফরমাল সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হলে এবং A ও ~A কে দুটি পৃথক বিষয়বস্তু হিসেবে গণ্য করা হলে উপরিউক্ত ফলটি পাওয়া যাবে না। এজন্য একটি নিয়মের সাথে তার ইকুইভ্যালেন্ট প্রকাশনাগুলিও প্রদান করা প্রয়োজন। উদাহরণস্বরূপ,

<<যদি $A_1, A_2, A_3, \ldots A_n$ হয়, তবে B হবে>>

এই প্রকাশনাটির সাথে তার ইকুইভ্যালেন্ট নিম্নলিখিত নিয়মগুলিও প্রদান করা দরকার :

<<যদি ~B, $A_2, A_3, \ldots A_n$ হয়, তবে $\sim A_1$ হবে>>

<<যদি A_1, ~B, A_3, ... A_n হয়, তবে ~A_2 হবে>>

... ...

... ...

<<যদি A_1, A_2, A_3, ... ~B হয়, তবে ~A_n হবে>>

অথবা এই ইকুইভ্যালেন্ট নিয়মগুলি সিদ্ধান্ত মেকানিজমের অভ্যন্তরেই সংগঠিত হতে হবে। এর ফলে প্রদত্ত সমীকরণটির রূপ দাঁড়াবে :

$$\sim A_1 \vee \sim A_2 \vee \sim A_3 \vee \ldots \vee \sim A_n \vee B$$

এটি প্রমাণ পদ্ধতিতে রিজলিউশন মেথড ব্যবহারেরই অনুরূপ।

ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, জ্ঞান প্রস্তাবনা ও সিদ্ধান্ত ফাংশন জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে মূল ভূমিকা পালন করে। এটি থেকে বলা যেতে পারে যে, তাদের ভিত্তিতে বিভিন্ন বিষয়বস্তুক্ষেত্রের জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের নিমিত্তে প্রয়োজনীয় বোধ্যতার সৃষ্টি করা সম্ভব। এর জন্য বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ হলো, জ্ঞান প্রস্তাবনা ও সিদ্ধান্ত মেকানিজম "সম্পূর্ণতা" গুণটি ধারণ করে কি না তা খতিয়ে দেখা। অবশ্য এই খতিয়ে দেখার গুরুত্বটি সিস্টেম তৈরির উদ্দেশ্যের উপর নির্ভরশীল। যদি সিদ্ধান্ত মেকানিজমটি সিস্টেমের মূল এলিমেন্টের সাথে সংযুক্ত করা হয় এবং সিস্টেম ব্যবহারকারী যদি লক্ষ্য হিসেবে নতুন একটি ইউনিভার্সাল সিস্টেম তথ্য প্রক্রিয়াকরণের জন্য সৃষ্টি করতে চায়, অথচ নতুন সিস্টেমটির ফাংশন পদ্ধতি ও উপযোগিতার ব্যাপারে তার সম্পূর্ণ ধারণা না থাকে তবে উপরিউক্ত এলিমেন্টগুলির সম্পূর্ণতার উপর তাকে গুরুত্ব দিতে হবে। অবশ্য যদি সিস্টেম তৈরির উদ্দেশ্য হয় এক্সপার্টের জ্ঞান অন্য মানুষের কাছে প্রদান করা, যা নাকি বর্তমান এক্সপার্ট সিস্টেমগুলির মূল উদ্দেশ্য, সেক্ষেত্রে তথ্য ব্যবহারের মূল দায়িত্ব ব্যবহারকারী মানুষের উপর বর্তায় এবং এক্সপার্ট সিস্টেমটি ততো সম্পূর্ণ না হলেও চলে। অবশ্য এ ধরনের এক্সপার্ট সিস্টেম ব্যবহারের যথেষ্ট সীমাবদ্ধতা বিদ্যমান। এজন্য জ্ঞান প্রযুক্তির ভবিষ্যৎ উন্নয়নের ব্যাপারে অধিকতর ইউনিভার্সাল বা সার্বজনীন এক্সপার্ট সিস্টেম তৈরিকেই গুরুত্ব দিতে হবে।

৪.২২ ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সীমাবদ্ধতা

প্রেডিকেট লজিক তথা ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকে প্রকাশনা ও লিখন পদ্ধতি অত্যন্ত কঠোরভাবে নিয়মবদ্ধ। আর এই নিয়ম বা সীমাবদ্ধতা যে কোনো সিস্টেম ব্যবহারে অনেক বাধার সৃষ্টি করে। প্রেডিকেট লজিকও এর ব্যতিক্রম নয়। কাজেই প্রেডিকেট লজিককে পূর্বোল্লিখিত গেম বা ধাঁধার সাথে তুলনা করা যেতে পারে যদিও প্রেডিকেট লজিকের প্রয়োগক্ষেত্র গেম বা ধাঁধাগুলির চেয়ে অনেক ব্যাপক, এমনকি প্রোডাকশন নিয়মের চেয়েও অনেক বেশি বিস্তৃত। অবশ্য তথ্য প্রক্রিয়াকরণের নতুন সিস্টেমগুলিতে লজিকের দ্বারা যা সম্ভব, তার চেয়েও অনেক বেশি উপযোগিতার প্রয়োজন। পরবর্তী জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ

পদ্ধতিতে এই সম্ভাব্যতা ও প্রয়োজনের মধ্যে ব্যবধান কমিয়ে আনার সমস্যাটিকেই গুরুত্ব দেয়া হয়।

এটি ঠিক যে, ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সম্ভাব্য উপযোগিতার যে সীমারেখা তা সিন্টাক্স নিয়মগুলির দ্বারাই নির্ধারিত হয়। প্রেডিকেট লজিকে বিদ্যমান সিন্টাক্স নিয়মগুলি অত্যন্ত সহজ। এমনকি প্রচলিত প্রাকৃতিক বা কথ্য ভাষাগুলির সিন্টাক্স নিয়মগুলির চেয়েও প্রেডিকেট লজিকের সিন্টাক্স নিয়মগুলি অনেক বেশি সহজ। এর একটি কারণ হলো, প্রাকৃতিক ভাষাগুলির সিন্টাক্স নিয়মগুলির মধ্যে বিদ্যমান ব্যতিক্রম প্রেডিকেট লজিকের সিন্টাক্স নিয়ম থেকে কঠিন নিয়মবদ্ধতার সাথে অপসারণ করা হয়। এর ফলে যদিও ভাষার প্রকাশ ক্ষমতা অনেকখানি কমে যায়, কিন্তু ভাষার গঠনকে তা অনেকখানি সহজ করে তোলে। ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সিন্টাক্স নিয়মগুলিকে টার্ম ও প্রেডিকেটের সাহায্যে ম্যানিপুলেট করা হয়। টার্মগুলির দ্বারা বস্তুজগতের সেসব বস্তুগুলিকে চিহ্নিত করা হয়, যা আরো ছোট আকারে প্রকাশ করার প্রয়োজন হয় না ; আর প্রেডিকেটগুলিতে আরগুমেন্টের সাহায্যে বিষয়বস্তু ও তাদের অভ্যন্তরীণ সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়। উপরন্তু, ভ্যারিয়েবল হিসেবে কেবল টার্ম ব্যবহার করা হয়। কিন্তু প্রেডিকেট লজিককে প্রচলিত প্রাকৃতিক ভাষাগুলির সাথে সমজাতীয় করে তুলতে হলে অনেকক্ষেত্রেই প্রেডিকেটগুলিকে ভ্যারিয়েবল হিসেবে ব্যবহার করার প্রয়োজন পড়ে। উদাহরণস্বরূপ, পিতা (x,y) এই প্রেডিকেটটি দ্বারা x ও y এর মধ্যে "পিতা" সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়। অবশ্য যদি প্রেডিকেট ভাষার সূত্রের সাহায্যে << কামাল ও মমতাজের মধ্যে সম্পর্ক কি ?>> এই প্রকাশনাটিকে প্রশ্ন আকারে প্রকাশ করতে হয় তবে প্রেডিকেট সিম্বলটিকেই ভ্যারিয়েবল হিসেবে ব্যবহার করতে হবে-- –অর্থাৎ (∃z)z (কামাল, মমতাজ) ? এখানে z দ্বারা "পিতা" সম্পর্কটি প্রকাশ করা হবে।

কিন্তু ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের শর্তানুসারে এটি নিয়মবহির্ভূত। কাজেই সিন্টাক্স নিয়মগুলিকে এমনভাবে বিস্তৃত করতে হবে, যেন প্রেডিকেট সিম্বলগুলিকে ভ্যারিয়েবল হিসেবে ব্যবহার করা যায় এবং পর্যায়ক্রমে ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিক দ্বারা লিখিত সমস্ত বাক্যই ভ্যারিয়েবলে রূপান্তরিত হয়। এই বিস্তৃত সিন্টাক্স নিয়মবদ্ধ প্রেডিকেট লজিককে সেকেন্ড অর্ডার প্রেডিকেট লজিক বলা হয়। এভাবে বলা যায় যে, সেকেন্ড অর্ডার প্রেডিকেট লজিকে ভ্যারিয়েবল হিসেবে কেবল টার্মই ব্যবহার করা হয় না, বিষয়বস্তু এমনকি ফার্স্ট অর্ডারের বাক্যগুলিকেও ভ্যারিয়েবল হিসেবে ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, ধরা যাক যে, << সম্পর্ক (x,y,z)>> হচ্ছে একটি প্রেডিকেট। এই প্রেডিকেট দ্বারা প্রকাশ করা হয় যে, << y এবং z এর মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে x>> এবং <<পিতা (y, z)>> এই ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেটটি পূর্বোক্ত প্রেডিকেটে <<সম্পর্ক (পিতা, y, z)>> হিসেবে বিদ্যমান। যদি এবারে লেখা যায় যে, <<(∃x) সম্পর্ক (x, কামাল, মমতাজ) >>, তবে তা পূর্বোক্ত প্রশ্নবোধক বাক্যটিকেই প্রকাশ করবে কারণ এখানে ভ্যারিয়েবলটিকে নির্ণয় করতে হবে।

উপরিউক্ত ধারণার ভিত্তিতে প্রেডিকেট লজিককে আরও বিস্তৃত করে ক্রমান্বয়ে থার্ড-অর্ডার, ফোর্থ-অর্ডার এবং এই পরম্পরায় (এ,এ,প) উন্নয়ন করা যেতে পারে। n–মাত্রিক

প্রেডিকেটগুলিতে (n–1) মাত্রিক প্রেডিকেটগুলি পর্যন্ত আরগুমেন্ট হিসেবে অন্তর্ভুক্ত হয়। সেকেন্ড অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের চেয়ে উচ্চতর মাত্রার প্রেডিকেটগুলিকে উচ্চমাত্রিক প্রেডিকেট হিসেবে চিহ্নিত করা হয়। এর কারণ হলো এই যে, বলতে গেলে লজিকের সাথে সম্পর্কযুক্ত সকল বাস্তব সমস্যা ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের মধ্যেই সীমাবদ্ধ থাকে এবং সকল বোধ্যতা, সংজ্ঞা, অ্যালগরিদম, সিমান্টিক্স নির্ধারণ, সিদ্ধান্ত নিয়ম, প্রমাণ পদ্ধতি ইত্যাদি ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সিন্টাক্স নিয়ম দ্বারাই নির্ণয় করা হয়।

অবশ্য প্রাকৃতিক ভাষাগুলিতে গঠিত বাক্যগুলি বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই বহুমাত্রিক প্রেডিকেট লজিকের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। উদাহরণস্বরূপ, <<কামাল অমলকে কথা দিয়েছে যে, সে মুনীরকে সহযোগীতা করবে>> এই বাক্যটি সেকেন্ড অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় কারণ এই বাক্যটিতে ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট বিদ্যমান, যার নাম দেয়া যাক, S : <<কামাল মুনীরের সাথে সহযোগিতা করবে>> এবং << কামাল অমলকে S সম্বন্ধে কথা দিয়েছে>>। তথ্য প্রক্রিয়াকরণের নতুন পদ্ধতিগুলির মধ্যে বিদ্যমান অসুবিধাগুলি দূর করার জন্য উচ্চমাত্রিক প্রেডিকেট লজিকের প্রয়োজন দেখা দেয় যদিও ইতিমধ্যে বিদ্যমান পদ্ধতিগুলিতে ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিককেই সাধারণভাবে ব্যবহার করা হয়। এখানে 'সাধারণভাবে' বলা হচ্ছে এই কারণে যে, ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকে কোনো সমস্যার ফরমালাইজেশন প্রক্রিয়ার দ্বারা উচ্চমাত্রিক প্রেডিকেট লজিকের কেবল সাধারণ ধারণা পাওয়া যায়। পূর্বোল্লিখিত উদাহরণে << সম্পর্ক (x, y, z)>> এর মধ্যে বিভিন্ন ধরনের সম্পর্ক থাকতে পারে, যা y ও z এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করবে যেমন— <<ভাই–বোন>>, <<বন্ধু>>, <<উপরওয়ালা>> ইত্যাদি সম্পর্ক। যদি এই সম্পর্কগুলি পূর্বাহ্নেই সীমিত সংখ্যক সম্পর্কের মধ্যে সীমাবদ্ধ ধরা যায় (অর্থাৎ এর বাইরে আর কোনো সম্পর্ক বিদ্যমান নেই), সেক্ষেত্রে সেকেন্ড অর্ডার প্রেডিকেটকে কয়েকটি ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেটে বিভক্ত করা যায়। যেমন পূর্বোক্ত উদাহরণে বিভিন্ন y ও z এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণের জন্য x এর স্থলে সম্পর্ক–মানগুলি বসালে আমরা <<সম্পর্ক (প্যারেন্ট, y, z)>>, <<সম্পর্ক (ভাই, y, z)>>, ইত্যাদি পেতে পারি। এই সম্পর্কগুলিকে আমরা এভাবেও লিখতে পারি যে, <<সম্পর্ক–প্যারেন্ট (y, z)>>, <<সম্পর্ক–ভাই (y, z)>>, ...। এই প্রেডিকেটগুলি হচ্ছে ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট এবং তাদের সংখ্যাও সীমাবদ্ধ। অতএব <<সম্পর্ক (x, y, z)>> এই প্রকাশনাটিকে ভ্যারিয়েবলের মান অনুযায়ী বিভক্ত করার মাধ্যমে আমরা পেতে পারি—

$$(\forall x)\ \text{সম্পর্ক}\ (x, y, z) = \text{সম্পর্ক–প্যারেন্ট}\ (y, z) \wedge \text{সম্পর্ক–ভাই}\ (y, z) \wedge \ldots$$

$$(\exists x)\ \text{সম্পর্ক}\ (x, y, z) = \text{সম্পর্ক–প্যারেন্ট}\ (y, z) \vee \text{সম্পর্ক–ভাই}\ (y, z) \vee \ldots$$

এভাবে সেকেন্ড অর্ডার প্রেডিকেটের ব্যবহার–প্রণালি লিপিবদ্ধ করা সম্ভব। যদি এ ধরনের উপস্থাপনা সম্ভবপর হয় তবে এভাবে বাক্যকে ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেটের কাঠামোতে প্রকাশ করার কাজটি যথেষ্ট বিস্তৃত করা সম্ভবপর হয়ে উঠে। অবশ্য এক্ষেত্রে এ ধরনের উপস্থাপনা শর্তগুলি বজায় রাখার মাধ্যমেই তা করতে হবে।

যদিও এভাবে ফার্স্ট অর্ডার প্রেডিকেট লজিকের প্রকাশ ক্ষমতা যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়, কিন্তু জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের বাস্তব সমস্যার ভিত্তিতে যে পদ্ধতিতে তা ব্যবহার করা হবে, তারও আধুনিকায়ন প্রয়োজন। জ্ঞান প্রযুক্তির উন্নয়নের সাথে সাথে প্রেডিকেট লজিকের ব্যবহারের সম্ভাবনাও ক্রমশ বেড়ে যায়।

৪.২৩ প্রেডিকেট লজিকে ডাটার সেট ও কাঠামো

তথ্য প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিতে প্রেডিকেট ভাষা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ স্থান দখল করে আছে। প্রেডিকেট ভাষা সে ধরনের লিখন পদ্ধতি দ্বারা গঠিত, যাদের সাহায্যে উল্লেখ্য বস্তুর সাথে তাদের বৈশিষ্ট্য ও গুণাবলির সম্পর্ক প্রকাশ করা যায়। কম্পিউটারগুলিতে ব্যবহৃত ট্রাডিশনাল ভাষাগুলির ডাটার কাঠামো ও তাদের প্রক্রিয়াকরণের প্রসিডিউর সেই কম্পিউটারগুলির কাঠামোর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হতে হয়। জ্ঞান প্রস্তাবনার ক্ষেত্রেও ব্যাপারটা একই রকম অর্থাৎ ডাটার গঠন প্রক্রিয়াকরণীয় বস্তুর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হতে হবে। অবশ্য জ্ঞান প্রস্তাবনার ভাষাগুলিকে বর্ণনামূলক বা ডিক্লারেটিভ টাইপের হতে হয় এবং ডিক্লারেটিভ ভাষাগুলিতে ডাটার গঠন প্রসিডিউর টাইপের ভাষার ডাটার গঠনের উপর নির্ভরশীল। কিন্তু উভয় জাতীয় ডাটার গঠনের মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য বিদ্যমান এবং এই পার্থক্যগুলি ভাষার সিমান্টিক্সের পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল। যদি প্রসিডিউর টাইপের ভাষাতে সে ধরনের এলিমেন্ট থাকে, যেগুলি কম্পিউটারে ডাটার গঠন নির্ধারণ করে তবে ভাষাগুলির অভ্যন্তরে প্রসিডিউরগতভাবে নতুন ধরনের ধারণা প্রকাশের জন্য ডাটার গঠন নির্ধারণ করা সম্ভব। অন্যদিকে ডিক্লারেটিভ টাইপের ভাষার বৈশিষ্ট্য হলো, তাদের এলিমেন্টগুলির যে ধরনের সিমান্টিক্স বিদ্যমান, সেগুলি প্রকাশিতব্য বস্তুর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। যদি ডাটার গঠন সম্বন্ধে বলতে হয় তবে প্রকাশিতব্য বস্তুজগতের মূল এলিমেন্টগুলির গঠন পূর্বাহ্নেই নির্ধারিত হতে হবে। বর্তমান অধ্যায়ে এ দৃষ্টিকোণ থেকে জ্ঞান প্রস্তাবনার গঠনের ব্যাপারে আলোচনা করা হয়েছে।

৪.২৪ বস্তুর অনুলিখন

প্রেডিকেট লজিকের মতই জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের পদ্ধতির মৌলিক ধারণা সৃষ্টির জন্য ডাটার গঠনলিপি সৃষ্টির প্রয়োজন। যে কোনো ধরনের লিপি পদ্ধতি দুটি উপাদানের ভিত্তিতে গঠিত হয়— <<বস্তু>> ও <<বস্তুকে লিপিবদ্ধকারী এলিমেন্ট>>। সিমান্টিক্সের ভিত্তিতে ভাষাগুলির মধ্যে পার্থক্য বিদ্যমান থাকলেও এই দুটি উপাদান সকল ভাষা বা লিপি-মাধ্যমেই বিদ্যমান। উদাহরণস্বরূপ, আধুনিক তথ্য প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিতে সমস্যাকে একটি প্রোগ্রামের সাহায্যে লিপিবদ্ধ করা হয়, যে প্রোগ্রামটির দুটি উপাদান বিদ্যমান – একটি হলো যে বস্তুটিকে প্রক্রিয়াকরণ করা হবে সেই বস্তুটির ডাটা উপাদান এবং অন্য উপাদানটি হলো এই প্রক্রিয়াকরণ কাজটি সম্পাদন করার প্রসিডিউর উপাদান। জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণেও একই ব্যাপার ঘটে। প্রেডিকেট লজিকে ভাষার মূল এলিমেন্টগুলি হলো— টার্ম ও প্রেডিকেট। টার্মগুলি প্রকাশিতব্য বস্তুজগতের বিষয়বস্তুর গঠন প্রকাশ করে এবং প্রেডিকেটগুলি তাদের অ্যাট্রিবিউট বা গুণাবলি প্রকাশ করে। প্রেডিকেট লজিকের ব্যাপারে আলোচনা করতে গেলে

যথেষ্ট গুরুত্ব দেয়া দরকার বস্তুজগতের বিষয়বস্তুর বৈশিষ্ট্যগুলির গঠন প্রণালির উপর কিন্তু এ ব্যাপারে বস্তুজগতকে কোনোভাবে সম্পর্কযুক্ত করা হয় না বা অন্যকথায় প্রেডিকেট লজিক সেই তত্ত্ব, যা বস্তুর লিপিপদ্ধতির গঠন প্রণালির সাথে সম্পর্কযুক্ত কিন্তু তা বস্তুজগতের গঠন প্রণালির ব্যাপারে সম্পর্কহীন। বস্তুজগতের গঠন প্রণালি কেবল প্রয়োজনমাফিক প্রেডিকেটগুলির সাহায্যে লিপিবদ্ধ করা হয়।

জটিল বস্তুগুলির গঠন প্রণালি ভাষার সাহায্যে প্রকাশ করা সম্ভব হলেও এটি প্রয়োজন হয় বিশেষ করে বস্তুর কোনো বিশেষ অংশের বর্ণনার ক্ষেত্রে। কিন্তু বস্তুর সমস্যার ক্ষেত্রে এ ধরনের ভাষাগত বর্ণনার প্রচলন নেই। উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, কোনো প্রজেক্টের বস্তুক্ষেত্র। স্বয়ংক্রিয়ভাবে প্রজেক্ট প্রণয়ন প্রক্রিয়ায় ভবিষ্যৎ প্রজন্মের জন্য প্রয়োজন হবে, যে বস্তুর প্রজেক্ট তৈরি করা হবে তার মডেলের পূর্ণ বর্ণনালিপি। কিন্তু যদি প্রজেক্টের বস্তুগুলি উদাহরণস্বরূপ কোনো বিল্ডিং, এরোপ্লেন, আণবিক চুল্লি ইত্যাদি হয় তবে তাদের গঠন প্রণালির পূর্ণ বর্ণনা ভাষার সাহায্যে প্রকাশ করা সম্ভব নয়। আধুনিককালে টেকনিক্যাল ক্ষেত্রগুলিতে বস্তুর গঠন প্রণালি গ্রাফিকাল মেথোডে বা ড্রয়িং এর সাহায্যে অনুলিখিত হয় এবং এর মাধ্যমেই এ পর্যন্ত ব্যাপক যান্ত্রিক অগ্রগতি সম্ভব হয়েছে। যদি প্রতিটি গঠনতব্য বস্তুরই ভাষার মাধ্যমে অনুলিখন প্রয়োজন হতো তবে তা কেবল সহজ কিছু বস্তুজগতের মধ্যেই সীমাবদ্ধ থাকতো এবং আধুনিক যান্ত্রিক প্রগতি আদৌ সম্ভব হতো না।

এ পর্যন্ত প্রেডিকেট লজিকে আমরা যেসব সমস্যা লক্ষ্য করেছি, সেগুলি যথেষ্ট সহজ ধরনের ছিল, তাই তাদের অনুলিখনও ছিল যথেষ্ট সহজ। আধুনিক প্রযুক্তি সমস্যার বিষয়বস্তু হিসেবে প্রক্রিয়াকরণ বস্তুগুলি যথেষ্ট জটিল ধরনের হয়। যেহেতু জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ তথ্য প্রক্রিয়াকরণের নতুন হাতিয়ার হিসেবে আত্মপ্রকাশ করেছে, তাই প্রক্রিয়াকরণ বস্তুগুলির জন্য ঐতিহ্যগতভাবে প্রচলিত প্রস্তাবনা কাঠামোর বাইরে নতুন ধরনের প্রস্তাবনা–মাধ্যমের প্রয়োজনীয়তা দেখা দিয়েছে। বর্ণনামূলক অনুলিখন পদ্ধতিতে বস্তুজগতের অনুলিখনে জ্ঞান প্রস্তাবনায় ভাষা মাধ্যমের ব্যবহারের প্রবণতা বিদ্যমান। তাই অনুলিখন ক্ষমতাবৃদ্ধির জন্য ভাষার দ্বারা অনুলিখনযোগ্য বস্তুজগতে অভ্যন্তরীণ ধারণাকেও যতদূর সম্ভব সহজ করে তোলা দরকার এবং উপরিল্লিখিত উপাদান নিয়েও ব্যাপক গবেষণা করা দরকার।

বর্ণনামূলক বা ডিক্লারেটিভ ভাষাগুলিতে কোনো টেক্সটের সিমান্টিক্স পৃথক পৃথক শব্দের সিমান্টিক্স ও ব্যাকরণ নিয়ম দ্বারা গঠিত হয়। পৃথক পৃথক শব্দগুলির অবিভাজ্য সিমান্টিক্সই হচ্ছে কোনো বিষয়বস্তুর বোধগম্যতার মূল সিমান্টিক্স। এভাবে সাধারণ গঠন প্রণালির অনুলিখনের সিমান্টিক্সকে গঠনের মৌলিক এলিমেন্ট ও সূত্র দ্বারা প্রকাশ করা যায়। গঠন প্রণালিকে এই মৌলিক এলিমেন্টের চেয়ে ক্ষুদ্রতর সিমান্টিক এলিমেন্টে ভাগ করা যায় না। অন্যকথায় এই প্রশ্নের উত্তর খোঁজা দরকার যে, গঠন প্রণালিটি মৌলিক সিমান্টিক এলিমেন্টের সাহায্যে কিভাবে অনুলিখিত হতে পারে। এজন্য গঠন প্রণালিটিকে যথেষ্ট সুস্পষ্ট করার মাধ্যমে খোঁজা দরকার।

৪.২৫ সেটের অ্যাক্সিওম তত্ত্ব

প্রকৃতপক্ষে এই জাতীয় প্রশ্ন গণিতশাস্ত্রে অনেক আগে থেকেই বিবেচিত হচ্ছে। গণিত ও লজিকের মধ্যে সম্পর্ক অত্যন্ত গভীর। বুলিয়ান, ফ্রেজিয়ান ও অন্যান্য লজিকের সাহায্যে প্রাপ্ত ফরমাল ডিডাক্টিভ লজিকের উদ্ভবের সাথে সাথে গণিতে সিম্বল ব্যবহারের ব্যাপক প্রবণতা শুরু হয়। যদি গণিতে একইভাবে প্রেডিকেট সিম্বল ব্যবহার করা হয় তবে গণিতের সকল ক্ষেত্রেই প্রেডিকেট ভাষার সাহায্যে ব্যাখ্যা প্রদান সম্ভব। অন্যদিকে গাণিতিক বিশ্লেষণে ডিফারেন্সিয়াল ও ইন্টিগ্রাল ক্যালকুলাস উদ্ভাবনের সাথে সাথে ইনফিনাইট সেট বা অসীম সম্ভারের ধারণার উৎপত্তি ও ক্রমান্বয়ে তার উন্নয়ন সাধিত হয়। এ পর্যন্ত প্রাপ্ত ফলাফলগুলিকে পর্যালোচনা করলে বলা যেতে পারে যে, গণিত হচ্ছে লজিক ও সেট তত্ত্বের সমন্বয়। জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের বহু সমস্যা গাণিতিক মেথোডে সমাধান করা সম্ভব হলেও এই মেথোডগুলি সমস্যা লিপিবদ্ধকারী প্রেডিকেট পদ্ধতিতে ব্যবহার করার জন্য গাণিতিকভাবে সেই তত্ত্বের অন্তর্ভুক্তি প্রয়োজন।

এখানে অবশ্য আমাদের মূল আলোচ্য বিষয় গণিত নয়। কিন্তু যখন জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে বস্তুগুলিকে অনুলিখন করার পদ্ধতি নির্ধারণ করা হয়, সেক্ষেত্রে লজিক্যাল প্রেডিকেটের ন্যায় তত্ত্বীয় ভিত্তি তৈরি করা প্রয়োজন, যা নাকি গণিতের সেট তত্ত্বের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। এ ব্যাপারে গণিতে ও লজিকে সেট তত্ত্ব ব্যবহারের মধ্যে পার্থক্য স্পষ্ট করা হবে। আমাদের প্রয়োজন সেই ব্যাপারটি যথেষ্ট পরিষ্কার করে তোলা যে, জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে ডাটা গঠনের মূল এলিমেন্ট হিসেবে কি ব্যবহার করা উচিত।

লজিকে সেট তত্ত্ব ব্যবহারের জন্য আমরা প্রথমে গণিতে তার উদ্ভব কিভাবে হয়েছে সেটি বিচার করে দেখি। গণিতের সেট তত্ত্বের প্রয়োজন হয়, গাণিতিক সিস্টেমে মূল ধারণা সৃষ্টির জন্য। সেটগুলির ধারণা যথেষ্ট বিস্তৃত করা হয় যেন তা গণিতের কোনো বিশেষ ক্ষেত্রের মধ্যে সীমাবদ্ধ না থাকে।

সমস্যা হচ্ছে যে, সেটের এমন কোনো ফরমাল সংজ্ঞা নির্ধারণ করা প্রয়োজন যার সাহায্যে লজিক্যাল প্রেডিকেটকে অনুলিখন পদ্ধতির মাধ্যম হিসেবে ফরমালাইজেশন করা সম্ভব হবে। বলা যেতে পারে যে, সেটকে লজিক্যাল প্রেডিকেটের সাহায্যে প্রকাশিত কিছু অ্যাক্সিওমের সমন্বয় গঠন করা যেতে পারে। সেটের এই জাতীয় গঠনকে সেটের অ্যাক্সিওম তত্ত্ব বলা হয়। এবারে প্রশ্ন- কি জাতীয় অ্যাক্সিওম দ্বারা সেট গঠিত হবে? সেট- এটি হচ্ছে মূলত বস্তুসম্ভার। তবে যে ইন্টুইটিভ বা আনুমানিক পদ্ধতির দ্বারা বস্তুগুলিকে সম্পর্কযুক্ত করা হয়, তা হলো সেই জাতীয় সেটের অস্তিত্বের হাইপোথিসিস বা পূর্ব ধারণা, যার সাহায্যে বস্তুগুলির মধ্যে নিহিত সাধারণ গুণাবলিকে প্রেডিকেট অ্যাক্সিওমের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়। এই গুণাবলিকে পরবর্তীতে $P(x)$ প্রেডিকেট দ্বারা প্রকাশ করা হবে। এক্ষেত্রে যে কোনো বৈশিষ্ট্য $P(x)$ এর জন্য এমন একটি সেট Y বিদ্যমান যার জন্য নিচের প্রকাশনাটি প্রযোজ্য

$$x \in Y \leftrightarrow P(x)$$

(এখানে $\leftrightarrow$ এই সিম্বলটির সাহায্যে বাম ও ডান পাশের সমতা বা ইকুইভ্যালেন্স প্রকাশ করা হয়।) এই প্রকাশনাটিকে প্রথম দৃষ্টিতে সত্য বলে মনে হলেও প্রকৃতপক্ষে তা সত্য নয়। যেহেতু $P(x)$ যে কোনো একটি গুণ বা অ্যাট্রিবিউট, তাই ধরা যেতে পারে যে, $x \notin y$। ধরা যাক, R সেটটি দ্বারা তার এলিমেন্টগুলির নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য প্রকাশ করা হয় $x \in R \leftrightarrow x \notin x$। এখানে R দ্বারা সেটকে ফরমালভাবে প্রকাশ করা হয়েছে এবং তার অর্থ হলো << একটি সেট সেই সেট দ্বারাই গঠিত, কিন্তু সে তার নিজের এলিমেন্ট নয় >>। যদি ধরা হয় যে, এরকম একটি সেট অস্তিত্বশীল, তাহলে প্রশ্ন করা যেতে পারে যে, << R কি R এর এলিমেন্ট? >>। এই প্রশ্নের ইতিবাচক উত্তর দেয়া সম্ভব নয় কারণ তাহলে $R \in R \leftrightarrow R \notin R$ কেও সত্য হতে হবে, আর তা হবে স্ববিরোধী।

এই ফ্যাক্টটিকে রাসেলের "বিপরীত তত্ত্ব" বলা হয় এবং এর দ্বারা এটিই প্রকাশ করা হয় যে, সেটকে যে কোনো বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন বস্তু সম্ভার দ্বারা প্রকাশ করা যায় এই ইন্টুইটিভ বা আনুমানিক ধারণাটি ভুল। এজন্য আমাদের সেটের অন্যান্য সংজ্ঞা লক্ষ্য করা উচিত, যেগুলির মধ্যে "বিপরীত তত্ত্ব" এর মত অবস্থা সৃষ্টির অবকাশ নেই। সেটের সংজ্ঞাকরণের একটি পদ্ধতি হলো "ক্রমবর্ধমান পদ্ধতি"। ক্রমবর্ধমান পদ্ধতির মূল বিষয়বস্তু হলো— প্রথমে একটি ক্ষুদ্র সেট দেয়া হয়। এই সেটের ভিত্তিতে বিশেষ পদ্ধতির মাধ্যমে নতুন সেটের উদ্ভব হয়। এই বিশেষ পদ্ধতিগুলিকে পরবর্তীতে অ্যাক্সিওমাইজ করা হয়। যদি উপরিউক্ত ধারণাগুলি তথ্যপ্রক্রিয়াকরণের দৃষ্টি থেকে দেখা যায়, তবে বলা যেতে পারে যে ক্রমবর্ধমান নিয়ম যা নাকি ইতোমধ্যেই জ্ঞাত সেট থেকে নতুন সেটের জন্ম দেয় তা ডাটা গঠনের উপায় হিসেবেও কাজ করে। অ্যাক্সিওমাইজড সেটকে যথেষ্ট বিস্তৃত করে কোনো গাণিতিক সিস্টেম অনুলিখনের প্রক্রিয়ায় প্রতিবন্ধকতা দূর করা যেতে পারে। কাজেই যদি ডাটার গঠন মেকানিজমে এই ক্রমবর্ধমান নিয়ম অন্তর্ভুক্ত করা যায় তাহলে তথ্য প্রক্রিয়াকরণের যথাযথ ভিত্তি তৈরি করা সম্ভব এবং এটি বাস্তবেও প্রয়োগ করা সম্ভব।

এবারে অ্যাক্সিওমেটিক সিস্টেমটি প্রস্তাবিত হতে পারে নিম্নরূপে :

(১) সার্বজনীনতার অ্যাক্সিওম

$$(\forall x)(\forall y)\,[x = y \leftrightarrow (\forall z) z \in x \leftrightarrow z \leq y]$$

অর্থাৎ দুটি যথাযথ একই ধরনের এলিমেন্ট সমন্বিত সেট সমান সমান।

(২) অন্তর্ভুক্তির অ্যাক্সিওম

$$(\forall u)(\exists v)\,(\forall x)[x \in v \leftrightarrow x \in u \wedge P(x)]$$

অর্থাৎ যদি সেট u এবং প্রেডিকেট লজিক সূত্র $P(x)$ প্রদত্ত থাকে তবে এমন একটি সেট v অস্তিত্বশীল যার এলিমেন্টগুলি হবে $P(x)$ বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন u এর এলিমেন্টগুলির অনুরূপ।

(৩) জোড়ার অ্যাক্সিওম

$$(\forall y)(\forall y)(\exists z)(\forall t)[t \in z \leftrightarrow t = x \vee t = y]$$

অর্থাৎ যদি দুটি সেট x এবং y প্রদত্ত থাকে তবে এমন একটি সেট {x,y} বিদ্যমান যার এলিমেন্টগুলি হবে ঠিক x, y।

(৪) বিস্তৃত সেটের অ্যাক্সিওম

$$(\forall u)(\exists y)(\forall z)[z \in y \leftrightarrow z \subset u]$$

অর্থাৎ এমন একটি সেট y অস্তিত্বশীল যার এলিমেন্টগুলি হচ্ছে প্রদত্ত u সেটের সকল সম্ভাব্য সাবসেট।

(৫) শূন্য সেটের অ্যাক্সিওম

$$(\forall y)[y \notin 0]$$

অর্থাৎ এমন একটি সেট 0 বিদ্যমান যার কোনো এলিমেন্ট নেই (এখানে 0, শূন্যসেট)।

(৬) পরিবর্তনের অ্যাক্সিওম (গ্রাফ স্কিম)

$$(\forall x)(\forall y)(\forall z)[P(x,z) \wedge P(x,y) \rightarrow y=z \rightarrow$$
$$\rightarrow (\forall u)(\exists v)(\forall y)[y \in v \leftrightarrow (\exists x)[x \in u \wedge P(x,y)]]$$

অর্থাৎ যদি কোনো লজিক্যাল প্রেডিকেট P(x,y) এবং সেট u প্রদত্ত থাকে তবে এমন কোনো সেট v বিদ্যমান যা P(x,y) দ্বারা সম্পর্কযুক্ত সকল x এর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ y সেট দ্বারা গঠিত (x গুলি হচ্ছে u সেটের অন্তর্ভুক্ত সেট)। এই অ্যাক্সিওমটি ২নং অ্যাক্সিওমটির অনুরূপ।

(৭) রেগুলারিটি অ্যাক্সিওম

যে কোনো ক্রমহ্রাসমান সেট-এলিমেন্ট সম্পর্কের সারি হচ্ছে সীমাবদ্ধ (যদি সেটের এলিমেন্টগুলিও সেট হয়, তবে ... $x_1 x_2 x_3$ ... জাতীয় ক্রমহ্রাসমান সারির অস্তিত্ব বিদ্যমান। যদি এই ক্রমহ্রাসমান সারিটি সীমাহীনভাবে বৃদ্ধি পায় তবে সেক্ষেত্রে স্ববিরোধিতা দেখা দেয়, কাজেই তা অবশ্যই সীমাবদ্ধ ও অন্তিমদশাযুক্ত হতে হবে)।

(৮) সেটের যোগ অ্যাক্সিওম

$$(\forall x)(\exists y)(\forall z)[z \in y \leftrightarrow (\exists u)[u \in x \wedge z \in u]]$$

অর্থাৎ কয়েকটি সেটের যোগফলও হচ্ছে একটি সেট।

(৯) সীমাহীন সেটের অ্যাক্সিওম

$$(\exists u)\{(\Phi \in u \wedge (\forall x)[x \in u \leftrightarrow x \vee \{x\} \in u)]\}$$

অর্থাৎ সীমাহীন সেটের অস্তিত্ব বিদ্যমান।

(১০) নির্বাচনের অ্যাক্সিওম (axiom of choice)

$$(\forall z)(\forall x)[x\in z\rightarrow x\neq 0]\wedge(\forall x)(\forall y)[x,y\in z\wedge x\neq y\rightarrow x\wedge y=\phi]\rightarrow$$

$$(\exists u)(\forall x)[x\in z\rightarrow(\exists t)[u\cap x=\{t\}]]]$$

অর্থাৎ সকল সেটেরই নির্বাচন ফাংশন বিদ্যমান। অশূন্য x সেট এর প্রতিটি এলিমেন্ট y সেটের নির্বাচন ফাংশন y এর একটি এলিমেন্টের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ (y সাধারণ সেট)।

৪.২৬ ডাটার গঠনের ভিত্তিতে অ্যাক্সিওমের ব্যাখ্যা

পূর্বে বর্ণিত অ্যাক্সিওমগুলি সবই প্রেডিকেট মাধ্যমে লিখিত। যেহেতু এই পুস্তকে কোনো গাণিতিক বিশ্লেষণের অবতারণা মূল উদ্দেশ্য নয়, তাই অ্যাক্সিওমগুলি প্রকাশনার সুবিধার্থে প্রেডিকেট ফর্মে দেয়া হয়েছে। এরপর আমরা এই অ্যাক্সিওমগুলিকে ডাটা গঠন ও তথ্য প্রক্রিয়াকরণের দৃষ্টিকোণ থেকে ব্যাখ্যা করার চেষ্টা করবো। প্রক্রিয়াকরণের ক্ষেত্রে ডাটার মূল গঠন হিসেবে সেটের ব্যবহারকে প্রাধান্য দেয়া হবে।

(১) সার্বজনীনতার অ্যাক্সিওম সেট জাতীয় ডাটাতে দুটি সেটের সমতার শর্ত হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

(২) অন্তর্ভুক্তির অ্যাক্সিওম বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ কারণ এর দ্বারা বিভিন্ন ধারণার ইকুইভ্যালেন্সি সেটের ধারণা, সেটের গুণাবলির ইকুইভ্যালেন্সি নির্ধারণ করা হয়। এখানে সেটের ধারণার মধ্যে হিরারখিকাল গঠন অন্তর্ভুক্ত। এটি পরিষ্কার হয়ে উঠে বাস্তব সমস্যা হিসেবে এক জাতীয় ডাটা থেকে অন্য জাতীয় ডাটার প্রাপ্তির ক্ষেত্রে যেমন, বস্তুর প্রদত্ত গঠনের ভিত্তিতে বস্তুর গুণাবলি নিরূপণ অথবা বস্তুর প্রদত্ত গুণাবলি থেকে তার গঠন নিরূপণ।

(৩) জোড়ার অ্যাক্সিওম : এই অ্যাক্সিওমটিকে পৌনঃপুনিকভাবে (রিকারসিভ) ব্যবহারের দ্বারা ক্রমানুসারে n এলিমেন্টের গ্রুপ

$$<a_0, a_1, a_2, \ldots a_{n-1}>=<a_0, <a_1, a_2, \ldots, a_{n-1}>>$$

তৈরি হয়। এর দ্বারা ডাটার ক্রমানুসারিক গঠন সম্ভব হয়।

(৪) বিস্তৃত সেটের অ্যাক্সিওমের পৌনঃপুনিকভাবে ব্যবহারের দ্বারা $\ldots x_1\in x_2\in x_3\in \ldots$ এই সম্পর্কযুক্ত এলিমেন্টগুলির সেট তৈরি হয়। আর এটি হিরারখিকাল গঠন ছাড়া অন্যকিছু নয়। যদিও এটি গাণিতিকভাবে গঠন প্রকাশ করে, তথাপি বাস্তব সমস্যার ক্ষেত্রে গঠনের "পূর্ণ–আংশিক" সম্পর্ক প্রকাশ করে। এটি অবশ্য "সেট–এলিমেন্ট" সম্পর্ক নয়, কিন্তু এর সাহায্যে বাস্তব সমস্যাকে গণিতে প্রতিবিম্বিত করা হয়।

(৫) শূন্য সেটের অ্যাক্সিওম সেট তত্ত্বের একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভিত্তিমূলক ধারণা।

(৬) পরিবর্তনের অ্যাক্সিওম (গ্রাফ স্কিম) : এটি একটি গাণিতিক ধারণা, যা অনুমানের দ্বারা বুঝা কঠিন। কোনো প্রদত্ত সেটের সকল এলিমেন্টের জন্য প্রদত্ত ফাংশনাল সম্পর্কের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ সেটটি প্রদত্ত সেটের বিস্তৃত অংশ বলে বিবেচিত হয়। এই অ্যাক্সিওমটির প্রয়োজন এমন একটি মিনিমাম সেটের নির্ধারণের ক্ষেত্রে, যে সেটটি কোনো স্ববিরোধিতার সৃষ্টি করবে না। বাস্তব সমস্যার ক্ষেত্রে এই অ্যাক্সিওমের সাহায্যে সেটের যোগ ও গুণনের ধারণা সৃষ্টি করা হয়।

(৭) রেগুলারিটি অ্যাক্সিওম দ্বারা হিরারখিকাল গঠন নিচের দিকে সীমাবদ্ধ অর্থাৎ গঠন কাঠামোতে ক্ষুদ্রতম এলিমেন্ট বিদ্যমান। অন্যকথায় অ্যাটমের অস্তিত্ব বিদ্যমান। বাস্তবভাবে কম্পিউটারে প্রক্রিয়াকরণের জন্য এটিই হচ্ছে স্বাভাবিক শর্ত।

(৮) এই গুরুত্বপূর্ণ সেটের যোগ অ্যাক্সিওমটি পূর্বোক্ত ৬নং অ্যাক্সিওমের অন্তর্ভুক্ত এবং তা তথ্য প্রক্রিয়াকরণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে।

(৯) সীমাহীন সেটের অ্যাক্সিওম তথ্য প্রক্রিয়াকরণে কোনো ভূমিকা রাখে না।

(১০) নির্বাচনের অ্যাক্সিওমটি গাণিতিকভাবে একটি অসমাধিত সমস্যা এবং কিছু গণিত বিজ্ঞানী এই অ্যাক্সিওমটির যথার্থতার ব্যাপারে সন্দেহ প্রকাশ করে থাকেন। বাস্তবক্ষেত্রে এই অ্যাক্সিওমটির প্রয়োগ প্রশ্নসাপেক্ষ। তথাপি সেটের এলিমেন্টগুলি বা সেট অন্তর্ভুক্ত সেটগুলির মধ্য থেকে একটি এলিমেন্টকে পৃথককরণের জন্য ফাংশন তৈরি করা সহজ এবং এর দ্বারা নির্বাচিত এলিমেন্টগুলির উপর প্রয়োজনমাফিক প্রয়োগযোগ্য অপারেশন নির্ধারণ করাও সহজ।

এভাবে অ্যাক্সিওম তত্ত্বের সেটের প্রতিটি অ্যাক্সিওমের জন্য সেটের গুণাবলি বাস্তবায়নকারী তথ্য প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিটির সাথে সঙ্গতিপূর্ণ ডাটার গঠন সেট নির্ধারণ এবং সেটের উপর প্রয়োগযোগ্য অপারেশন নির্ধারণ করা হয়। বিশেষ করে নতুন সেট জেনারেশনের জন্য কিছু ভিত্তিমূলক ফাংশন প্রদত্ত থাকে। অবশ্য যদি প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিতে কিছু বিশেষ গুণাবলির অভাব থাকে তবে এই ফাংশনগুলি ব্যবহারযোগ্য হবে না।

সেটের ক্ষেত্রে প্রয়োগযোগ্য যেসব ফাংশন ব্যবহার করা হয় তাহলো— যোগ, বিয়োগ, গুণন, বিস্তৃতিকরণ ইত্যাদি। এই অপারেশনগুলির সাহায্যে নতুন সেটের সৃষ্টি করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, *(A∪B) সেটটি গঠিত হয়, A ও B সেট দুটির যোগফলের সকল সাবসেটের দ্বারা। যদি পূর্ব নির্ধারিত কোনো সেট D এর ভিত্তিতে নতুন সেট A তৈরি করা হয় তবে D কে A সেটের ভিত্তিমূলক সেট বলা হয়। সেটকে বিস্তৃতিকরণের অপারেটরের দ্বারা নির্ণিত সেটের হিরারখিকাল গঠন হচ্ছে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ধারণা। হিরারখিকাল গঠন রিকারসিভ প্রকাশনা $*n = *(*n-1)$ এর অনুরূপে নির্ধারিত হয়।

ডিক্লারেটিভ বা বর্ণনামূলক ভাষাগুলিতে উপরিউক্ত সকল ভিত্তিমূলক গঠন এলিমেন্ট অন্তর্ভুক্ত থাকতে হবে। ডিক্লারেটিভ টাইপের ভাষাগুলিতে ডাটার গঠন প্রসিডিউর টাইপের

ভাষার গঠন থেকে যথেষ্ট পৃথক। ডিক্লারেটিভ টাইপের ভাষাগুলিতে ডাটার গঠন প্রসিডিউর টাইপের ভাষার গঠন থেকে যথেষ্ট পৃথক। ডিক্লারেটিভ টাইপের ভাষাগুলিতে প্রাধান্য দেয়া হয় বস্তুর অনুলিখন পদ্ধতিকে কারণ এখানে সিম্বলগুলির সিমান্টিক্স সরাসরিভাবে অনুলিখনসাপেক্ষ বস্তুজগতের ধারণার সাথে সঙ্গতিপূর্ণ হয়। প্রসিডিউর টাইপের ভাষাগুলিতে সিম্বলগুলিকে কম্পিউটারের অভ্যন্তরীণ কর্মপদ্ধতির সাথে সঙ্গতিপূর্ণ হতে হয়। প্রদত্ত ইনপুট ডাটা এবং অপারেশনের ফল হিসেবে প্রাপ্ত আউটপুট ডাটা সবসময় বহির্জগতের বস্তুগুলির সাথে সঙ্গতিপূর্ণ হয় না কারণ ডাটা ও বস্তুজগতের মধ্যে সঙ্গতি নির্ধারণকারী ব্যাখ্যা দেয় মানুষ। উপরিল্লিখিত অবস্থাগুলির ভিত্তিতে অ্যাবস্ট্র্যাক্ট টাইপের ডাটাগুলির গঠন তত্ত্বের উপর ব্যাপক আলোচনা হয়। প্রসিডিউর টাইপের ভাষাগুলিতে কম্পিউটারের অভ্যন্তরে ডাটার গঠন প্রস্তাবনার এলিমেন্টগুলিকে মূল গঠন এলিমেন্ট হিসেবে বিচার করা যেতে পারে। যেহেতু প্রসিডিউরাল ভাষাতে প্রয়োজনমাফিক ডাটার মূল গঠন এলিমেন্টগুলি তৈরি হয়, তাই সেক্ষেত্রে সিমান্টিক্সের সমস্যা আসে না। এ কারণে পুরাপুরি ডিক্লারেটিভ ভাষা সৃষ্টির চেয়ে প্রসিডিউরাল ভাষার সাহায্যে ডিক্লারেটিভ ভাষা সৃষ্টিই যুক্তিযুক্ত।

পঞ্চম অধ্যায়

অনিশ্চিত জ্ঞানের প্রস্তাবনা এবং তার ব্যবহার

জ্ঞান বা তথ্য সর্বদাই সঠিক বা সুনিশ্চিতভাবে প্রকাশ করা যায় না। প্রায়শই আমাদের অনিশ্চিত জ্ঞান নিয়ে কাজ করতে হয়। মানুষ তার দৈনন্দিন সমস্যাগুলিকে সমাধান করে মূলত তার অনিশ্চিত জ্ঞানের ভিত্তিতে। তাই কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন পদ্ধতিগুলিকেও অনিশ্চিত জ্ঞানের নমনীয়তা, বিস্তৃত পরিসর, সহজভাবে প্রয়োগযোগ্যতার গুণাবলি সমৃদ্ধ প্রস্তাবনাসহ ব্যবহারযোগ্য হতে হবে। অবশ্য <<অনিশ্চিত>> এই টার্মটির অর্থ অত্যন্ত ব্যাপক। এই অধ্যায়ে জ্ঞান-প্রযুক্তিতে অনিশ্চিত জ্ঞানকে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে বিবেচনা করা হবে : (১) সিদ্ধান্তের অনির্দিষ্টতা, (২) বহুতার্থিকতা, (৩) অনির্ভরযোগ্যতা, (৪) অপূর্ণতা, (৫) নির্ভুলতা বা সঠিকতার অভাব।

৫.১ জ্ঞান-প্রযুক্তি ও অনিশ্চয়তা

অস্পষ্টভাবে প্রস্তাবিত (সঠিক নয়) সমস্যা প্রতিটি বস্তুক্ষেত্রেই অস্তিত্বশীল। তাই নতুন প্রজন্মের তথ্য প্রক্রিয়াকরণের পদ্ধতিগুলিতে উপরিউক্ত সমস্যাগুলিকে প্রক্রিয়াকরণ করার ব্যবস্থা থাকা দরকার। এ জাতীয় সমস্যাগুলির মধ্যে সেসব সমস্যা অন্তর্ভুক্ত, যা জটিল এবং সঠিকভাবে প্রস্তাবনার অযোগ্য। সঠিক সমস্যাগুলিকে ইতোমধ্যেই বিদ্যমান কম্পিউটার প্রোগ্রামগুলির সাহায্যে সমাধান করা সম্ভব। অনিশ্চিত সমস্যাগুলির ক্ষেত্রে সঠিক জ্ঞানের অভাব থাকে এবং তা তাৎক্ষণিকভাবে পাওয়াও সম্ভব নয়। তাই সে জাতীয় পদ্ধতি গ্রহণ করা প্রয়োজন, যার সাহায্যে ক্রমান্বয়ে পূর্ণ জ্ঞানের প্রতি অগ্রসর হওয়া যায়। যেহেতু জ্ঞান বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই অনিশ্চিত, তাই বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন পদ্ধতিগুলি যেন সহজ সিম্বলিক সিদ্ধান্ত পদ্ধতির ক্ষেত্রের বাইরে ক্রমান্বয়ে মানুষের চিন্তা পদ্ধতির সমকক্ষতা অর্জন করতে পারে সেজন্য প্রয়োজন অনিশ্চিত জ্ঞানের প্রস্তাবনা ও তা থেকে সিদ্ধান্ত গ্রহণের যথাযথ পদ্ধতির।

<<অনিশ্চয়তা>> টার্মটির অর্থও অনিশ্চিত বা অনির্দিষ্ট। এই অধ্যায়ে এ পর্যন্ত জ্ঞান প্রযুক্তিতে আবিষ্কৃত ও ব্যবহৃত অনিশ্চিত জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণ পদ্ধতিগুলি সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে।

মানুষ বহু ধরনের জ্ঞানের অধিকারী। কিন্তু এ পর্যন্ত মানুষ জানে না যে, তার জ্ঞানগুলি তার মস্তিষ্কে কিভাবে গঠিত বা সুসংবদ্ধ আছে। কিন্তু কম্পিউটারে জ্ঞানকে ব্যবহারের জন্য তা অবশ্যই যথাযথ সূত্রীবদ্ধ ও অনুলিখিত হতে হবে। যতক্ষণ পর্যন্ত জ্ঞান যথাযথ সূত্রীবদ্ধ এবং অনুলিখিত না হয়, তা কম্পিউটারে ব্যবহারের অযোগ্য হিসেবে বিবেচিত হয়।

৫.২ সিদ্ধান্তের দ্বারা পরিচালনার অনির্দিষ্টতা এবং হয়রিস্টিক জ্ঞান

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিভিন্ন পরিচালনা পদ্ধতিতে অনির্দিষ্টতামূলক বৈশিষ্ট্য বিশেষ স্থান দখল করে আছে। এ জাতীয় পরিচালনা পদ্ধতির প্রয়োজন এ 'কারণে যে, জ্ঞান আংশিকভাবে সংগৃহীত হয় এবং পূর্বাহ্নেই তাদের ভিত্তিতে লজিক্যাল সিদ্ধান্ত গ্রহণের চেইন বা ধারাবাহিকতা নির্ধারণ করা সম্ভব নয়। অন্যকথায় "ট্রায়াল এবং এরর" পদ্ধতিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণের চেইনটি বের করতে হবে। এক প্রক্রিয়ায় সফল না হলে আবার প্রথম থেকে নতুন চেইনের সন্ধান করতে হবে, যতক্ষণ পর্যন্ত না আসল সিদ্ধান্ত চেইনটি পাওয়া যাবে। এ জাতীয় পরিচালনা পদ্ধতি যথেষ্ট নমনীয়তা ও বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন হতে পারে যার সাহায্যে বিভিন্ন অবস্থার পরিপ্রেক্ষিতে উপযোগী পথটি বের করে নেয়া সম্ভব হয়।

যেহেতু সাধারণ উপায়ে সন্ধান প্রক্রিয়া যথেষ্ট নিম্নমানের, তাই প্রথমেই কিভাবে সন্ধান প্রক্রিয়া শুরু করতে হবে সেই পথটিই বের করা দরকার। হয়রিস্টিক সন্ধানে, যেমন A* অ্যালগরিদমে যা কিনা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের প্রথমদিকে তৈরি করা হয় এবং মূল্যায়ন ফাংশন দ্বারা পরিচালিত হয়, কখনোই তা পুরাপুরি সঠিক হয় না।

জ্ঞান প্রযুক্তিতে সিদ্ধান্ত-সন্ধান প্রক্রিয়াকে জ্ঞানের ভিত্তিতে সম্পন্ন করা হয়। এজন্য অনিশ্চিত বা হয়রিস্টিক জ্ঞান বিশেষভাবে ব্যবহার করা হয়। এর উদাহরণ হলো AM প্রোগ্রাম যা নতুন গাণিতিক ধারণার সৃষ্টি করে। এই প্রোগ্রামের স্রষ্টা লেনাটের মতে AM প্রোগ্রামে হয়রিস্টিক জ্ঞান বিশেষ ভূমিকা পালন করে।

৫.৩ অ্যালগরিদম A*

বেশিরভাগ সন্ধান সমস্যাকে প্রাথমিক অবস্থা থেকে গন্তব্য অবস্থাতে যাওয়ার জন্য পৌনঃপুনিকভাবে বিভিন্ন অপারেটর ব্যবহারের প্রক্রিয়া হিসেবে ধরা যেতে পারে। অবস্থা পরিসরে সার্চ-ট্রি ব্যবহার করা হয়। সর্বাপেক্ষা মূল সন্ধান পদ্ধতি হলো লম্বভাবে ও সমান্তরালভাবে সন্ধান প্রক্রিয়া। A* অ্যালগরিদমে প্রতিটি সন্ধানপথের মূল্য নির্ধারিত হয়, যার ফলে সন্ধানের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায়।

কিছু ধারাবাহিক প্রক্রিয়ার পর প্রাথমিক অবস্থা থেকে প্রাপ্ত অবস্থা S কে কোনো সাংখ্যিকভাবে মুল্যায়ন করা হয় : $f(s) = g(s) + h(s)$, যেখানে $g(s)$ হলো S অবস্থার আসল তাৎক্ষণিক মূল্য ; $h(s)$ হলো হয়রিস্টিক ফাংশন যার সাহায্যে S অবস্থা থেকে শুরু করে সর্বশেষ অবস্থা পর্যন্ত ধারাবাহিক প্রক্রিয়াগুলির সর্বাপেক্ষা উত্তম মূল্যায়ন করা হয়। কাজেই $f(s)$ হলো S অবস্থার সাথে সংযুক্ত সমাধানের মূল্যায়ন। উদাহরণস্বরূপ, a অ্যাকশনের সাহায্যে S_1 অবস্থা থেকে S_2 অবস্থায় যাওয়ার জন্য প্রতিটি অবস্থাকে $C(S_1, S_2, a)$ দ্বারা মুল্যায়ন করলে $g(s)$ ফাংশনটি নির্ধারণ করা সহজ। এর মূল্য হবে প্রাথমিক অবস্থা S থেকে লক্ষ্য অবস্থায় পৌছানোর জন্য যে অ্যাকশনগুলির প্রয়োজন হবে তাদের মূল্যের যোগফল। যেহেতু অ্যাকশন মূল্য পজিটিভ তাই $g(s)$ ফাংশনটিও পজিটিভ হবে।

অ্যালগরিদম A*

ধাপ নং 0 : সন্ধান গ্রাফ R = (E, A) প্রণয়ন, যার মধ্যে

$S_1 \leftarrow E$ (প্রারম্ভিক প্রদত্ত অবস্থা)

$f(S_0) \leftarrow 0$ {পরবর্তীতে E দুটি অবস্থার সাবসেটে ভাগ করা হবে—

O (মুক্ত–শুরু) ও F (আবদ্ধ–শেষ)}

$O \leftarrow S_0$; $F \leftarrow 0$;

ততোক্ষণ পর্যন্ত প্রক্রিয়া চালিয়ে যাওয়া, যতোক্ষণ পর্যন্ত $O \neq 0$;

ধাপ নং ১ : O সেটে S অবস্থার চয়ন এমনভাবে হয় যেন f(s) ন্যূনতম হয় ;

$O \leftarrow O - S$; $F \leftarrow F + S$

যদি S সমাধান হয় তবে শেষ।

ধাপ নং ২ : যদি S সমাধান হয় তবে S অবস্থাকে সম্ভাব্য অ্যাকশনের দ্বারা S_i অবস্থা সৃষ্টির মাধ্যমে পরিবর্তন করা $(0 \leq i \leq n_s)$।

ধাপ নং ৩ : প্রতিটি উদ্ভূত অবস্থার জন্য নির্ধারণ করা :

$f(S_i) = g(S_i) + h(S_i)$

ধাপ নং ৪ : O এবং F উভয়ের মধ্যেই অবস্থাগুলিকে তার মূল্যমানসহ O এর মধ্যে অন্তর্ভুক্ত এবং যেসব S_i ইতোমধ্যেই O অথবা F এর অন্তর্ভুক্ত সেই অবস্থাগুলির জন্য নির্ধারণ করা : $f(S_i) \leftarrow \min(f(S_i)_{পুরাতন}, f(S_i)_{নূতন})$;

S_i যদি F এর অন্তর্ভুক্ত হয়, তবে

$F \leftarrow F - Si$; $O \leftarrow O + S_i$

যতোক্ষণ পর্যন্ত চক্র শেষ না হয় ;

শেষ A*।

A* অ্যালগরিদমে h ফাংশনটির সাথে নিম্নলিখিত মূল বৈশিষ্ট্য সংযুক্ত থাকে : S অবস্থা থেকে সমাধানের জন্য অ্যাকশন সারির ধারাবাহিকতার মানগুলির মধ্যে যদি $h^*(s)$ সর্বনিম্ন মান হয় তবে $h^*(s)$ হচ্ছে h(s)–এর নিম্নতম সীমা। উপরন্তু, $h^*(s)$ কে পজিটিভ হতে হবে। কাজেই বলা যেতে পারে যে, $0 \leq h^*(S) \leq h(S)$। f(s) হচ্ছে অপ্টিমাল ফাংশন $f^*(s)$ এর মূল্য নির্ধারণকারী ফাংশন এবং $f^*(s)$ নির্ধারণ করা হয় এভাবে : $f^*(S) = g^*(S) + h^*(S)$; যেখানে $f^*(S)$ হচ্ছে S এর মাধ্যমে প্রাপ্ত সমাধানের সর্বোত্তম মূল্যমান, $g^*(s)$ হচ্ছে S_0 অবস্থা থেকে S অবস্থায় যাওয়ার পথের সর্বোত্তম মূল্যমান এবং $h^*(s)$ হচ্ছে S অবস্থা থেকে লক্ষ্যাবস্থায় যাওয়ার সর্বোত্তম পথের মূল্যমান।

উপপাদ্য: যদি প্রদত্ত অবস্থা থেকে সমাধান অবস্থায় পৌঁছানোর জন্য অ্যাকশনগুলির সারি সীমাবদ্ধ হয় তবে A* অ্যালগরিদমের সাহায্যে সীমিত সংখ্যক ধাপে লক্ষ্যে পৌঁছানো যায়।

প্রমাণ : প্রথমে উল্লেখ্য যে, যদি প্রতিটি অবস্থার জন্য অ্যাকশনগুলি সর্বদাই সীমিত সংখ্যক হয় এবং অবস্থাগুলিও সীমিত সংখ্যক হয় তবে অ্যালগরিদম A* মিলিত (converge) হয়। বাস্তবেই প্রতিটি পুনরাবৃত্তিতে O সেট থেকে সন্ধান-ট্রি-এর একটি শীর্ষের অপসারণ ঘটে এবং সেখানে বাস্তবেই কয়েকটি সীমিত সংখ্যক শীর্ষের অবতারণা ঘটে। কিন্তু এক্ষেত্রে সন্ধান গ্রাফের শীর্ষবিন্দু সমষ্টির সংখ্যা সীমিত থাকে। ফলে সীমিত সংখ্যক পুনরাবৃত্তির দ্বারা পর্যায়ক্রমে শীর্ষ অপসারণের মাধ্যমে লক্ষ্যে পৌঁছানো সম্ভব।

ধরা যাক, সন্ধান গ্রাফ সীমাহীন এবং উপপাদ্যে প্রদত্ত শর্ত পালিত হচ্ছে। এবারে আমরা বিপরীতভাবে ব্যাপারটা দেখবো। মনে করি যে, অ্যালগরিদম A* অসীম সময় ধরে কাজ করছে। এটি সম্ভব তখনই যদি O সেটটি সীমাহীনভাবে বৃদ্ধি পায়। দেখানো হবে যে, এক্ষেত্রে f(s) এর সর্বনিম্নমানও হবে সীমাহীন এবং সীমিতসংখ্যক ধাপে সমাধান নির্ণয় সম্ভব নয়। ধরা যাক, সকল ধরনের অবস্থা S এর জন্য $v^*(S)$ হচ্ছে ন্যূনতম সংখ্যক অ্যাকশন, যার সাহায্যে S_0 অবস্থা থেকে S অবস্থায় পৌঁছানো যায়। যেহেতু যেকোনো পথের মূল্য পজিটিভ তাই অপ্টিমাল মূল্য $g^*(s)$ হবে : $g^*(S) > \varepsilon v^*(S)$।

অ্যালগরিদম A* দ্বারা নির্ণীত বাস্তবমান g(s) এই নিচের অসমতাটিকে সন্তুষ্ট করবে : $g(S) \geq g^*(S) > \varepsilon v^*(S)$। যেহেতু হয়রিস্টিক ফাংশন $h(S) \geq 0$, কাজেই বলা যেতে পারে $f(S) \geq g(S) > \varepsilon v^*(S)$। এখন যদি $v^*(S) \to \infty$ হয় তবে f(s)-ও অসীম হবে, আর এর অর্থ হলো এই যে, কোনো সসীম অ্যাকশন সারি ধারার অস্তিত্ব নেই।

এবারে আমরা দেখাবো যে, প্রতিটি ধাপে অ্যালগরিদমের কাজের শেষ পর্যন্ত O সেটে অবশ্যই এমন একটি শীর্ষ S_2 অস্তিত্বশীল যে, $f(S_2) \leq f^*(S_0)$।

ধরা যাক যে, S_0 অবস্থা থেকে লক্ষ্যে পৌঁছানোর জন্য সীমাবদ্ধ সংখ্যক অবস্থার ও অ্যাকশনের ধারাবাহিক সারি বিদ্যমান। তাহলে S_2 সারির প্রথম অবস্থা যা O সেটের অন্তর্ভুক্ত। এই S_2 জাতীয় শীর্ষ অস্তিত্বশীল থাকে ততোক্ষণ পর্যন্ত যতোক্ষণ পর্যন্ত A* অ্যালগরিদম কার্যকর থাকে। অন্যান্য যে কোনো অবস্থার ন্যায় $f(S_2) = g(S_2) + h(S_2)$; কিন্তু এখানে $(g(S_2) = g^*(S_2)$ (কারণ, S_2 এর সংজ্ঞানুসারে তার পূর্ববর্তী সকল অবস্থা F এর অন্তর্ভুক্ত)। উপরন্তু, অ্যালগরিদম A* এর গঠনানুসারে $h(S_2) \leq h^*(S_2)$ অসমতাটি সঠিক হবে। অবশেষে আমরা পাচ্ছি $f(S_2) \leq g^*(S_2) + h^*(S_2)$ অর্থাৎ $f(S_2) \leq f^*(S_2)$। আংশিকভাবে বলা যেতে পারে যে, যদি প্রদত্ত সারিধারা অপ্টিমাল হয় তবে $f(S_2) \leq f^*(S_0)$।

BANGLADESH LIBRARY

অতএব, f এর অসীমতা এবং A* অ্যালগরিদমের কাজের অসীমতা পারস্পরিকভাবে বিপরীতধর্মী বা অসামঞ্জস্যপূর্ণ (এই শর্ত মোতাবেক যে, এমনকি লোকালভাবে সীমাহীন গ্রাফগুলির জন্যও সীমাবদ্ধ দূরত্বসহ সমাধান বিদ্যমান)। উপরন্তু প্রাপ্ত সমাধানটির অপ্টিমাল মূল্যমান বিদ্যমান। যদি A* অ্যালগরিদমটি S_3 নটে থেমে যেত, যেখানে $f(S_3) \leq f^*(S_0)$ তাহলে উপরের প্রমাণ পদ্ধতির সাথে সঙ্গতি রাখতে গেলে বলতে হয় যে, এমন একটি নট S_2 অস্তিত্বশীল যার জন্য $f(S_2) \leq f^*(S_0)$ কার্যকর হবে। কাজেই ১নং ধাপে যেন S_3 নটটি চয়ন করা হয়নি, করা হয়েছিল S_2 নটটি। প্রকৃতপক্ষে, যেকোনো নট S যা A* অ্যালগরিদমের ক্রিয়ার ফলে পাওয়া যায়, তার মূল্যমান হবে f(s) এবং সেটি $f^*(S_0)$-এর চেয়ে বেশি হবে না কারণ অন্যথায় হয় S সমাধান নট হিসেবে বিবেচিত হতো অথবা তা আদৌ নির্বাচিত হতো না।

f ফাংশনের মান অবশ্যই যতদূর সম্ভব $f^*(S_0)$-এর মানগুলির কাছাকাছি হতে হবে এবং তাদের চেয়ে কম হতে হবে। h(s)-এর মান যতবেশি হবে, অ্যালগরিদমটি ততো বেশি কার্যকর হবে। প্রকৃতপক্ষে, অতি সহজেই প্রমাণ করা যেতে পারে যে, যদি $h_2(S) > h_1(S)$ হয় তবে h_2 ফাংশনের সাহায্যে প্রাপ্ত যেকোনো ফাংশনের শীর্ষ h_1 ফাংশনের সাহায্যে পাওয়া যেতে পারে। যদি h ফাংশনটির লোকাল মূল্যমানের তুলনায় মনোটোনাস গুণ থাকে অর্থাৎ যদি $h(S_2) \leq h^*(S_1) + C(S_1, S_2, \alpha)$ হয় তবে আমরা প্রমাণ করতে পারি যে, প্রাপ্ত প্রতিটি শীর্ষের জন্য অ্যালগরিদম A* এর শীর্ষে অন্তিমদশা প্রাপ্ত অপ্টিমাল অবস্থা সারির সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে প্রতিটি প্রাপ্ত শীর্ষের জন্য f(S) ফাংশনের মানসারি কেবল ক্রমহ্রাসমান হতে পারে যা অ্যালগরিদমের দ্রুত সম্মিলনের (convergence) সহায়ক হয়।

এই অ্যালগরিদমটির সবচেয়ে বড় অসুবিধা হলো এই যে, প্রদত্ত সমস্যার সমাধানের অনুপস্থিতিতে তার ব্যবহারও হয় অনির্দিষ্ট।

৫.৪ অ্যালগরিদম A* প্রয়োগের উদাহরণ

এবারের একটি মাথাভাঙ্গা সমস্যা দেখা যাক যা স্যাম লয়েড কর্তৃক আবিষ্কৃত ৮ এর খেলা হিসেবে পরিচিত। সমস্যাটি হলো ৯টি ছকবিশিষ্ট ক্ষেত্রে

$$S_0 = \begin{matrix} 2 & 8 & 3 \\ 1 & 6 & 4 \\ 7 & \square & 5 \end{matrix} \qquad S_h = \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ 8 & \square & 4 \\ 7 & 6 & 5 \end{matrix}$$

S_0 অবস্থা থেকে S_h অবস্থায় আসতে হবে। "□" চিহ্নটি দ্বারা শূন্য ছক দেখানো হয়। এই শূন্য ছকে পার্শ্ববর্তী লম্বভাবে বা সমান্তরালভাবে অবস্থিত ছকগুলির নম্বর বসানো যেতে পারে। সমস্যাটি সমাধানের পদক্ষেপ সংখ্যা সীমিত হতে হবে।

মূল্যমান ফাংশন হিসেবে ধরি, g(s) হচ্ছে S_0 অবস্থা থেকে S_b অবস্থায় যাওয়ার পদক্ষেপ সংখ্যা। h(s) হচ্ছে সেসব ছকগুলির সংখ্যা যেগুলি যথাস্থানে নেই।

অতএব আমরা দেখতে পাচ্ছি যে,

(১) $g(S) \leq g^*(S)$ (g এর গঠনানুসারে)

(২) $h(S) \leq h^*(S)$ (সমস্যার শর্তানুসারে)

h-এর মনোটোনাস গুণের নিশ্চয়তা দেয়া নেই। পরবর্তী চিত্র ৫.১-এ অ্যালগরিদম A*-এর সাহায্যে প্রাপ্ত সার্চ-ট্রিটি উপস্থাপিত হয়েছে। $f(s)=g(s)+h(s)$ এই সম্পর্ক অনুসারে ডানদিক থেকে প্রতিটি অবস্থাতে g(s) ও h(s) নির্ধারণ করতে হবে।

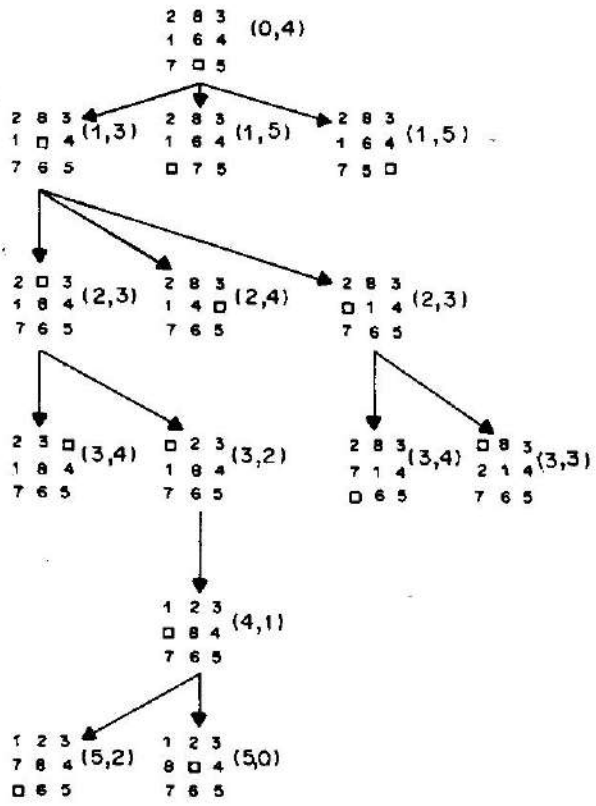
এই অ্যালগরিদমের জন্য কয়েকটি বিকল্পের প্রস্তাবনা হয়। কিন্তু f(s) ফাংশনের সর্বাপেক্ষা সাধারণ ফর্ম ১৯৭০ সালে পোহল (Pohl) কর্তৃক প্রস্তাবিত হয় :

$$f(s) = (1-\alpha)\, g(s) + \alpha h(s),$$

যেখানে α বাস্তব জাতীয় কনস্টান্ট যার মান 0 থেকে 1 এই পরিসীমায় বিদ্যমান। এভাবে g(s) এবং h(s)-এর ব্যালান্স রক্ষা করা হয়। অ্যালগরিদম A* তে $\alpha = 1/2$।

প্রকৃতপক্ষে, α কোয়েফিসিয়েন্টটি সকল সন্ধান প্রক্রিয়ায় কনস্টান্ট থাকতে হবে এমন কোনো কথা নেই, তার মান সম্মুখে অগ্রসর হওয়ার সাথে কমানো যেতে পারে যদি হয়রিস্টিক মান কোনো ভূমিকা পালন না করে। সন্ধান প্রক্রিয়া দুইদিক থেকে একই সাথে চলতে পারে, প্রদত্ত অবস্থা থেকে লক্ষ্যাবস্থার দিকে সন্ধান এবং লক্ষ্যাবস্থা থেকে ইনভার্স বা বিপরীত ক্রিয়ার মাধ্যমে সম্ভাব্য অ্যাকশনগুলির সন্ধান। সন্ধান ক্রিয়া শেষ হবে যখন উভয়দিক থেকে একই অবস্থায় পৌঁছানো যাবে।

A* অ্যালগরিদমটি একটি সাংখ্যিক পদ্ধতি। এজন্য তাতে প্রতিটি অবস্থার কোনো ফরমাল অ্যানালিসিস করা সম্ভব নয়। অ্যালগরিদমটি সমাধানের ইউনিক সাংখ্যিক মান নির্ধারণের উপর ভিত্তি করে সৃষ্টি। তাই যেসব সমস্যা কোনো ইউনিক সাংখ্যিক মান নির্ধারণ করে না সেসব সমস্যাতে এসব মান প্রযোজ্য নয়। তাই ইন্টিগ্রালের মান নির্ণয়, সমীকরণ সমষ্টির সমাধান বা মেডিক্যাল ডায়াগোনেসিসে এই অ্যালগরিদম কাজ করবে না। এই অ্যালগরিদম কেবল সম্ভাব্য স্বল্পসংখ্যক সন্ধান পথের ক্ষেত্রে কার্যকর। যদি ৮-এর খেলায় উপরের সারির নম্বরগুলি (8 2 3) হয় তবে সমস্যাটির কোনো সমাধান নেই। কিন্তু অ্যালগরিদমটি সম্ভাব্য সকল পথেরই সন্ধান করবে তার অকার্যকারিতা প্রমাণ করার জন্য।



চিত্র ৫.১ : ৮-খেলার অ্যালগরিদম-এর সার্চ-ট্রি।

৫.৫ প্রোগ্রাম AM

লেনাট কর্তৃক সৃষ্ট AM প্রোগ্রামটি পূর্ণসংখ্যার জগতে নতুন ধারণার সৃষ্টি করে। ফলে কোনো আবিষ্কার কাজ পরিচালনার জন্য সর্বোচ্চ মানের হয়রিস্টিক ব্যবহার করা হয়। এই প্রোগ্রামটি ১১৫টি পূর্ব প্রদত্ত সেট তত্ত্বের মূল ধারণা ও ২৪৩টি হয়রিস্টিক জ্ঞানের ভিত্তিতে অজ্ঞাত নতুন ধরনের জ্ঞানের আহরণ কাজ শুরু করতে পারে। সৃষ্ট ধারণাগুলি ফ্রেম পদ্ধতিতে স্লটের সাহায্যে প্রস্তাবিত হয়। পরবর্তী ৫.২ চিত্রের সাহায্যে "সহজ সংখ্যা" এই প্রোগ্রামের গঠন AM প্রোগ্রামের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। হয়রিস্টিক জ্ঞানগুলি <<যদি তবে>> এই জাতীয় নিয়মের সাহায্যে প্রস্তাবিত হয়ে সঙ্গতিপূর্ণ স্লটগুলিতে যোগ করা হয়। পরিচালনা পদ্ধতির সার্বিক বা গ্লোবাল গঠন এজেন্ডার মেকানিজমের ভিত্তিতে নির্ধারিত হয়। এই প্রক্রিয়ায় যে সকল কাজ শেষ করতে হবে সেগুলিকে অগ্রাধিকার ভিত্তিতে তালিকাবদ্ধ

করা হয় এবং সর্বাধিক অগ্রাধিকারপ্রাপ্ত কাজটি বাছাই করে তা সম্পন্ন করা হয়। কাজটি সম্পাদন করার সময় সঙ্গতিপূর্ণ রুলগুলি নির্বাচন করা হয় এবং তা কার্যকর করা হয়।

নাম :	সহজ সংখ্যা
সংজ্ঞা :	
উৎস : বিভাজন সংখ্যা (x)–2	
	প্রেডিকেট ক্যালকুলাস :
	Prime (x) ≡ (∀z) (z| x ⇒z–1 ⊕z–x)
	পুনরাবৃত্তি : (x>1 এর জন্য) :
	For i from 2 to sqrt(x), –(i|x)
উদাহরণ :	2, 3, 5, 7, 11, 13, 17
	সীমা : 2, 3
	অসফলতার সীমা : 0, 1
	অসফলতা : 12
সাধারণকরণ :	সংখ্যা, জোড় সংখ্যক বিভাজন সংখ্যাসহ সংখ্যা, সাধারণ বিভাজন সংখ্যাসহ সংখ্যা,
বিশেষজ্ঞতা :	বেজোড় সংখ্যা, সাধারণ সংখ্যার জোড়া, সাধারণ সংখ্যা যা একার্থিকভাবে সংযোগ করা যায়,
অনুমান :	একার্থিকভাবে ফ্যাক্টরিং, গোল্ডবাখের হাইপোথিসিস, বিভাজন সংখ্যাগুলির চরম অবস্থা,
অ্যানালজি :	সর্বোচ্চ সংখ্যক বিভাজকসহ সংখ্যা,
	বিভাজক সংখ্যাগুলির চরম অবস্থার বিপরীতধর্মীতা, জটিল গ্রুপগুলিকে সহজ সংখ্যায় বিভাজন,
ইন্টারেস্ট :	ধরি যে, সহজ সংখ্যাগুলি সময় ও বিভাজন সংখ্যার সাথে সম্পর্কযুক্ত,
মূল্য :	৮০০
"সংজ্ঞা", "উদাহরণ", "সাধারণকরণ", "বিশেষজ্ঞতা", "অনুমান", "অ্যানালজি", "ইন্টারেস্ট", "মূল্য" স্লটগুলি উপস্থাপন করা হয় (0 থেকে ১০০০ পর্যন্ত প্রদান করা হয়)	

চিত্র ৫.২ : AM প্রোগ্রামের সাহায্যে প্রাপ্ত "সহজ সংখ্যা" ফ্রেমটির ধারণা।

৫.৬ বহুতার্থিকতা ও তাদের অপসারণ পদ্ধতি

ব্যাখ্যার বহুতার্থিকতা বৈশিষ্ট্য প্রাকৃতিক ভাষা, প্রতিচ্ছবি ও কণ্ঠস্বরের প্রক্রিয়াকরণে অতি স্বাভাবিকভাবেই উদ্ভূত হয়। প্রাকৃতিক ভাষাগুলির বোধগম্যতা বা ব্যাখ্যায় শব্দের বহুতার্থিকতা, তাদের ব্যবহার প্রণালিতে অনির্দিষ্ট নিয়মাবলি, সর্বনামগুলির সরাসরি অর্থ

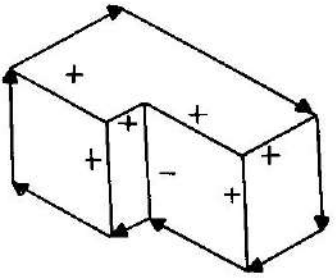
নির্ণয় ইত্যাদি বিশেষ জাতীয় সমস্যার সাথে জ্ঞান-প্রযুক্তিতে প্রায়শই মোকাবেলা করতে হয়। সাধারণত ভাষার বহুতার্থিকতা কন্টেকস্টকে বিস্তৃতকরণ ও সিমান্টিক্সের সীমাবদ্ধ করণের মাধ্যমে দূরীভূত করা হয়। প্রতিচ্ছবি বা ইমেজ প্রসেসিং-এ ইমেজ-এলিমেন্টগুলির (কন্টুর, ক্ষেত্র ইত্যাদি) বহুতার্থিকতা বিদ্যমান। এক্ষেত্রে পরিসর সম্পর্ক বিস্তৃতিকরণের মাধ্যমে ও অন্যান্য পদ্ধতির সাহায্যে ইমেজের বহুতার্থিকতা দূর করা হয়। এ জাতীয় একটি পদ্ধতি হলো রিলাক্সেশন পদ্ধতি—এই পদ্ধতির সাহায্যে বিভিন্ন অপারেশনের সাইক্লিক পুনরাবৃত্তির দ্বারা ইমেজ ব্যাখার বহুতার্থিকতা অপসারণ করা হয়। এই মেথোডটি নিচে ব্যাখ্যা করা হয়েছে। জ্ঞান হিসেবে এই পদ্ধতিতে স্থানীয় সীমাবদ্ধতা বা লোকাল লিমিটেশনকে ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিটি দুই জাতীয় হতে পারে— ডিস্ক্রেট (বিচ্ছিন্ন) এবং প্রোবাবিলিস্টিক (সম্ভাব্য) রিলাক্সেশন।

কণ্ঠস্বর প্রসেসিং এর HEARSAY-II পদ্ধতিতে ব্যাখ্যার স্তরগুলির (আওয়াজ, সিলেবল, শব্দ, শব্দগুচ্ছ বাক্য) বহুতার্থিকতা প্রতিটি স্তরকে সর্বশেষ স্তরের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ করে অপসারণ করা হয়। এই পদ্ধতিটি জ্ঞান প্রস্তাবনায় ব্ল্যাকবোর্ড মডেল ব্যবহার করে বাস্তবায়ন করা হয়।

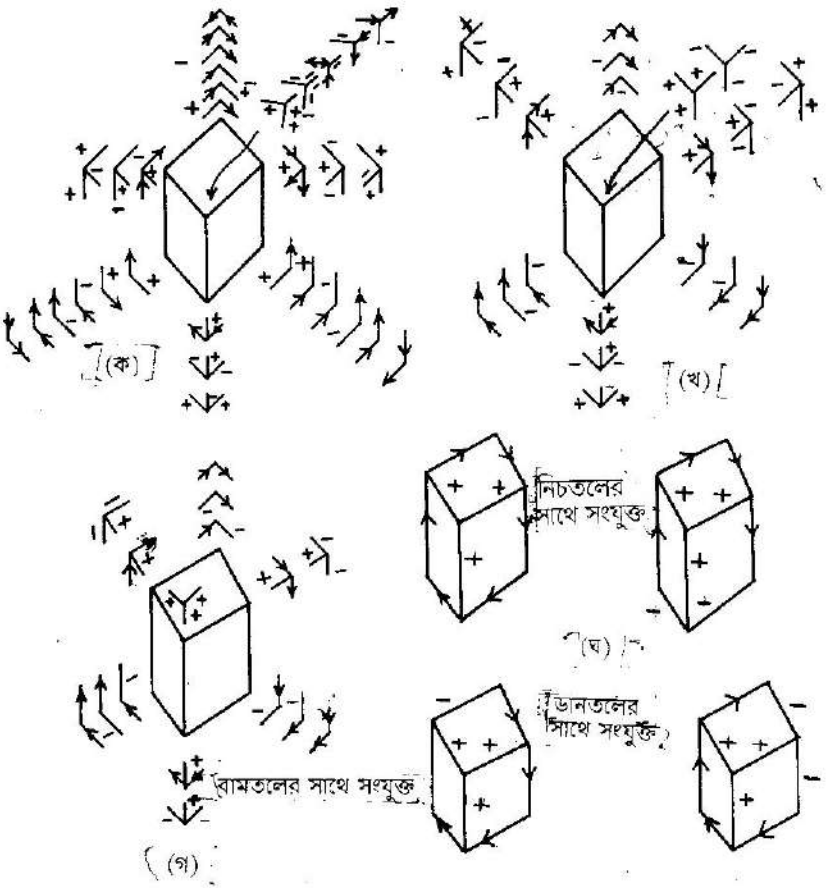
৫.৭ রিলাক্সেশন্স মেথোড

রিলাক্সেশন্স মেথোডটি মূলত ডিফারেন্সিয়াল ইকুয়েশনগুলিতে আংশিক ডিফারেন্সিয়াল এর সমাধানের জন্য আবিষ্কৃত হলেও ৭০ এর দশকের মাঝামাঝি এই মেথোডটি ইমেজ প্রসেসিং এর কাজে ব্যবহার শুরু হয়। লোকাল লিমিটেশনে এই মেথোডটি ব্যবহার করে ইমেজগুলির বহুতার্থিকতা অপসারণ করা হয়। এই মেথোডের দ্বারা যে শুধু রুলভিত্তিক জ্ঞান প্রস্তাবনারই বহুতার্থিকতা দূর করা সম্ভব তা নয়, জ্ঞান প্রযুক্তির অন্যান্য ক্ষেত্রেও এর ব্যবহার যথেষ্ট ব্যাপক। এবারে আমরা ডিস্ক্রেট রিলাক্সেশন্স মেথোডের সাহায্যে ছবির কন্টুরগুলির বহুতার্থিকতা কিভাবে দূর করা সম্ভব হয় সেটি লক্ষ্য করি।

৫.৩ চিত্রে উদাহরণ হিসেবে শিশুদের খেলার কিউবগুলির সাহায্যে গঠিত একটি বহুতল বস্তুর সাদা কালো ইমেজের কন্টুর চিত্রকে বিচার করি। বস্তুটিকে চিহ্নিত করার জন্য সর্বপ্রথম প্রয়োজন লাইনগুলির অর্থ ব্যাখ্যা করা। প্রতিটি ধার বা এজ লাইনকে তাদের ভূমিকার ভিত্তিতে কনভেক্স লাইন (+ দ্বারা চিহ্নিত), কনকেভ লাইন (-দ্বারা চিহ্নিত), লিমিটিং লাইন (1দ্বারা চিহ্নিত) বুঝানো হয়েছে এবং তীরের ডানদিক থেকে দৃশ্যমান তলটি চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৫.৩ : একটি বহুতলবিশিষ্ট বস্তুর ধারগুলির ব্যাখ্যা।



চিত্র ৫.৪ : (ক) সকল শীর্ষবিন্দুর সম্ভাব্য সকল ব্যাখ্যা, (খ) একবার ফিল্টেশন করার পর শীর্ষবিন্দুগুলির ব্যাখ্যা, (গ) তিনবার ফিল্টেশন করার পর শীর্ষবিন্দুগুলির ব্যাখ্যা, (ঘ) সম্ভাব্য ধারণার ব্যাখ্যা।

এই উদাহরণে সবচেয়ে সহজ ভ্যারিয়েন্ট হলো একটি সমকোণী প্যারালেলোপিডের কন্টুর। যদি কেবল সেই জাতীয় বহুতল বস্তুতেই আমরা আমাদের বিচার সীমাবদ্ধ করি, যেখানে প্রতিটি শীর্ষবিন্দুতে কেবল তিনটি তল সমন্বিত হয়েছে তবে সকল সম্ভাব্য শীর্ষবিন্দুকে আমরা চিহ্নিত করতে পারি। পরবর্তী ৫.৪ চিত্রে শীর্ষবিন্দুগুলির লোকাল ব্যাখ্যার সম্ভাব্য সকল ভ্যারিয়েন্ট দেখানো হয়েছে। লোকাল বা স্থানীয় দৃষ্টিতে প্রতিটি

শীর্ষবিন্দুর ব্যাখ্যা বহুতার্থিক হলেও ব্যাখ্যার সংখ্যা সীমাবদ্ধ। কিন্তু এই বহুতার্থিকতা পার্শ্ববর্তী শীর্ষবিন্দুগুলির সাথে সঙ্গতি বিধান করে দূর করা যেতে পারে।

উপরিউক্ত উদাহরণে কন্টুরের ব্যাখ্যায় দুটি পাশাপাশি শীর্ষবিন্দুকে ব্যবহারকারী ধার (edge) একটি ব্যাখ্যা সংবলিত হতে হবে। কাজেই দুটি পাশাপাশি শীর্ষবিন্দুর সাথে সামঞ্জস্যবিধানকারী লাইনের ব্যাখ্যাটি রেখে অন্যান্য ব্যাখ্যা বর্জন করা হয়। এটি পর্যায়ক্রমে সকল শীর্ষবিন্দুর জন্যই করা হবে। এই প্রক্রিয়াটিকে বলা হয় ফিল্টেশন। ৫.৪ (খ) চিত্রে একবার ফিল্টেশন করার পর শীর্ষবিন্দুগুলির ব্যাখ্যা দেখানো হয়েছে। এভাবে কয়েকবার ফিল্টেশন করার পর শীর্ষবিন্দুগুলির সর্বশেষ ব্যাখ্যা পাওয়া যাবে। ৫.৪ (গ) চিত্রে তিনবার ফিল্টেশন করার পর শীর্ষবিন্দুগুলির সর্বশেষ ব্যাখ্যা পাওয়া গেছে যার ভিত্তিতে ৫.৪ (ঘ) চিত্রে চার ধরনের ধারসহ প্রদত্ত কন্টুরের ব্যাখ্যা দেয়া হয়েছে। যদি একক ব্যাখ্যা পেতে হয় তবে বস্তুটি কোন তলের সাথে সংযুক্ত তা বিচার করতে হবে। এভাবে লোকাল লিমিটেশনের সাহায্যে ব্যাখ্যার বহুতার্থিকতা দূরীকরণ করা বা কমিয়ে আনা সম্ভব। এই ডিস্ক্রেট রিলাক্সেশন্স মেথোডটি ইমেজ প্রসেসিং কন্টুরগুলির বহুতার্থিকতা দূরীকরণে ব্যবহার করা হয়।

৫.৮ অনির্ভরযোগ্য জ্ঞান বা সিদ্ধান্ত

আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের সমস্যাগুলিতে এমন কিছু সমস্যা আছে যেগুলিতে জ্ঞান ও ফ্যাক্টগুলি অনির্ভরযোগ্য এবং সেগুলিকে সত্য বা মিথ্যা (0 বা ১) এর দ্বারা প্রস্তাব করা যায় না। উদাহরণস্বরূপ, এমনকিছু জ্ঞান বিদ্যমান যার নির্ভরযোগ্যতা বা বিশ্বাসযোগ্যতা ধরা যাক ০.৭। এ জাতীয় অনির্ভরযোগ্যতা আধুনিক পদার্থবিদ্যায় ও প্রযুক্তিবিদ্যায় বায়েসের নিয়মসঙ্গত প্রোবাবিলিটির সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। কিন্তু জ্ঞান প্রযুক্তিতে বায়েসের প্রোবাবিলিটি অনুযায়ী জ্ঞানকে প্রথম থেকেই অনির্ভরযোগ্যভাবে প্রস্তাব করা যুক্তিসঙ্গত নয়।

এ কারণে MYCIN পদ্ধতিতে প্রথমদিকের একটি পদ্ধতি হিসেবে নির্ভরযোগ্যতার কোয়েফিসিয়েন্ট ব্যবহার করা হয়। যদিও এই পদ্ধতির তাত্ত্বিক কোনো ভিত্তি ছিল না তবুও তাকে উদাহরণ হিসেবে ধরে পরবর্তীতে অনির্ভরযোগ্য জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের পথ বের করা হয়। এভাবে USA এর SRI ফার্মে PROSPECTOR সিস্টেমটির জন্য সাবজেক্টিভ মেথোড বের করা হয়। এই উদ্দেশ্যে এর পরে ডেম্পস্টার-শাফেরের প্রোবাবিলিটি উপপাদ্যটি উদ্ভাবন করা হয় এবং এই উপপাদ্যটির সব ধরনের গাণিতিক বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান। বায়েস -প্রোবাবিলিটির সাথে ডেম্পস্টার-শাফেরের উপপাদ্যের পার্থক্য হলো এই যে, দ্বিতীয়টি প্রোবাবিলিটিসহ জ্ঞানকে সুনির্দিষ্ট করে না বরং জ্ঞানের অভাবটিকেই প্রকাশ বা প্রস্তাব করে।

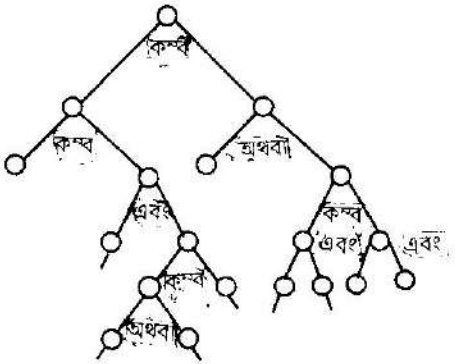
কোনো সমস্যাকে কয়েকটি ভাগে ভাগ করলে অঙ্গ সমস্যাগুলিকে সত্য এবং মিথ্যা এই সংযোগের ভিত্তিতে "এবং" ও "অথবা" অপারেশনের সাহায্যে প্রকাশ করা যেতে পারে। অনির্ভরযোগ্যভাবে প্রদত্ত ডাটারভিত্তিতে প্রস্তাবিত সমস্যাগুলিতে "এবং" ও "অথবা" সম্পর্ক ছাড়াও "কম্ব (COMB)" সম্পর্কটি ব্যবহার করা হয়। এই সম্পর্কটি স্বাধীনভাবে দুই বা ততোধিক প্রমাণের ভিত্তিতে লক্ষ্য সুনির্দিষ্ট করা হয় বা বর্জন করা হয়। নিচে এই পদ্ধতিতে

সমস্যার সিদ্ধান্ত-সমাধান বিচার করা হবে। ফাজি সেট উপপাদ্যের ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত ফাজি লজিকে অবিচ্ছিন্ন লজিক (continual logic) এর ন্যায় লজিক্যাল সূত্রগুলির মান ০ ও ১ এর ইন্টারভেলের মধ্যেই সীমাবদ্ধ রাখা হয়। উপরিউক্ত পদ্ধতিগুলি প্রোবাবিলিটি উপপাদ্যের সাথে সামঞ্জস্য বিধানের মাধ্যমে ফাজি লজিকের চেয়ে বেশি শক্তিশালী পদ্ধতি তৈরি করে। নিশ্চিত জ্ঞানের ন্যায় অনিশ্চিত জ্ঞানেও মূলত লজিকেরই ব্যবহার করা হয়। এজন্য পরবর্তীতে আমরা নিলসনের প্রোবাবিলিটি লজিকের সাথে পরিচিত হবো।

৫.৯ অনির্ভরযোগ্য ডাটা সংবলিত সমস্যার বিভক্তকরণ

কোনো জটিল সমস্যাকে সমাধান করতে হলে তাকে কয়েকটি অঙ্গ সমস্যায় বিভক্ত করার পদ্ধতি ব্যবহার করার প্রচলন আছে। প্রতিটি অঙ্গ সমস্যাকে তার চেয়ে ক্ষুদ্রতর অঙ্গ সমস্যায় বিভক্ত করা যেতে পারে। এভাবে একটি সমস্যাকে তার অঙ্গ সমস্যাগুলির হিরারখিকাল সম্পর্কের দ্বারা প্রকাশ করা যেতে পারে। অঙ্গ সমস্যাগুলির শর্তের ভিত্তিতে লব্ধ জ্ঞান তার উচ্চতর স্তরের অঙ্গ সমস্যার শর্ত হিসেবে নির্ধারিত হয়। এভাবে সমগ্র সমস্যাটির শর্ত বিচ্ছিন্নভাবে সংগৃহীত হয় ও তাদের ভিত্তিতে সমাধান নির্ধারিত হয়। অনির্ভরযোগ্য ডাটাভিত্তিক সমস্যাগুলিতে জ্ঞানের নির্ভরযোগ্যতা ০ ও ১ এর মধ্যে অর্থাৎ "সত্য" এবং "মিথ্যা"র মধ্যে বিদ্যমান থাকে। ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, সমস্যাকে অঙ্গ সমস্যাতে বিভক্তকরণে "এবং", "অথবা" ও "কম্ব" সম্পর্কগুলি ব্যবহার করা হয়। ৫.৫ চিত্রে এই সম্পর্কগুলির ভিত্তিতে গ্রাফ বা ট্রি আকারে সমস্যাকে প্রস্তাবনার পদ্ধতি দেখানো হয়েছে।

"কম্ব" সম্পর্কের ক্ষেত্রে দুই বা ততোধিক প্রমাণের ভিত্তিতে লক্ষ্য বা অঙ্গ লক্ষ্যগুলি স্বাধীনভাবে নির্ধারিত (গৃহীত বা বর্জিত হয় যদি প্রমাণগুলি পরস্পর বিপরীতধর্মী হয়) হয়। উদাহরণস্বরূপ, ডায়াগোনেসিস করার ব্যাপারে নির্ধারণ করা যাক, কোনো একটি রোগীর ঠাণ্ডা লাগার রোগ আছে কিনা। ধরা যাক,



চিত্র ৫.৫ : "এবং", "অথবা" ও "কম্ব" সম্পর্কের দ্বারা প্রস্তাবিত ট্রি-এর সাহায্যে অনির্ভরযোগ্য জ্ঞানের প্রস্তাবনা।

প্রমাণ ১ : রোগীর কাশি আছে (তথ্যের নির্ভরযোগ্যতা 0.৬ মাত্রার) ;

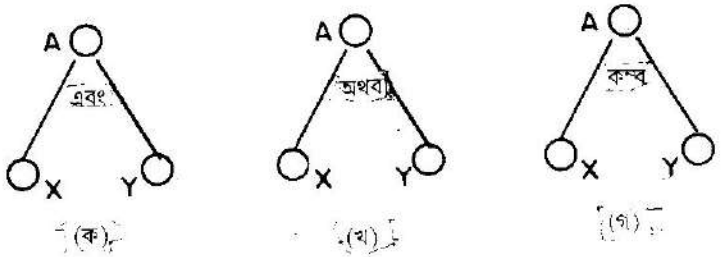
প্রমাণ ২ : রোগীর শরীরের তাপমাত্রা ৩৯-৪০ ডিগ্রি সেলসিয়াস (তথ্যের নির্ভরযোগ্যতা 0.৫ মাত্রা)।

প্রমাণ দুটিকে যদি আলাদা আলাদাভাবে বিচার করা যায় তবে বলা যেতে পারে যে, রোগীর ঠাণ্ডা লেগেছে। এই সিদ্ধান্তের নির্ভরযোগ্যতা হতে পারে 0.৬ অথবা 0.৫ মাত্রার। কিন্তু যদি উভয় প্রমাণ একই সাথে বিচার করা যায় তবে বলতে হয় যে, "ঠাণ্ডা লেগেছে" এই সিদ্ধান্তটি বেশি নির্ভরযোগ্য। যদি "কম্ব" অপারেশন করা হয় তবে ধরা যাক, এক্ষেত্রে সিদ্ধান্তের নির্ভরযোগ্যতা দাঁড়াবে 0.৮। কিন্তু রোগীর অন্য অবস্থা—

প্রমাণ ১ : কাশি আছে (তথ্যের নির্ভরযোগ্যতা 0.৬),

প্রমাণ ২ : তাপমাত্রা নর্মাল অর্থাৎ তাপমাত্রা ৩৯-৪০ ডিগ্রি সেলসিয়াস (তথ্যের নির্ভরযোগ্যতা 0.৩)। তাহলে রোগীর "ঠাণ্ডা লেগেছে" এই সিদ্ধান্তের নির্ভরযোগ্যতা কমে যাবে অর্থাৎ "কম্ব" অপারেশনের ফলে তার মান দাঁড়াবে 0.৪৫। "কম্ব" অপারেশনটির গড়ও হতে পারে বা অন্য কোনো কম্বাইনিং অপারেশন হতে পারে।

জ্ঞান প্রস্তাবনার পদ্ধতিগুলি একই জাতীয় বা একার্থিক নাও হতে পারে কিন্তু সিদ্ধান্তগ্রহণ পদ্ধতিগুলিকে সুস্পষ্ট হতে হবে। এজন্য সিদ্ধান্ত-পদ্ধতি হিসেবে আমরা প্রোডাকশন পদ্ধতিটির রুলভিত্তিক সিদ্ধান্ত পদ্ধতিকেই গ্রহণ করবো। রুলগুলিকে "এবং", "অথবা" ও "কম্ব" সম্পর্কের দ্বারা যুক্ত করে যদি অনুলিখন করা যায় তবে এক্ষেত্রে পরবর্তী চিত্রানুযায়ী (চিত্র ৫.৬) রুলগুলিকে বিচার করা হবে, যেখানে X. Y প্রমাণের ফল, A হচ্ছে লক্ষ্য বা হাইপোথিসিস, "এবং", "অথবা" ও "কম্ব" হচ্ছে সংযোগের ধরন, C_1, C_2,... C_{31}, C_{32} হচ্ছে অনুলিখিত রুলগুলির (জ্ঞানের) নির্ভরযোগ্যতার মাত্রা।



চিত্র ৫.৬ : "এবং", "অথবা" ও "কম্ব" সংযোগের উদাহরণ।

রুল : যদি x এবং y
তবে A নির্ভরযোগ্যতা C_1 সহ,
রুল : যদি x অথবা y
তবে A নির্ভরযোগ্যতা C_2 সহ,

যদি x এবং y একই সাথে পালিত না হয়, তবে এই রুলটিকে দুটি পৃথক রুলে বিভক্ত করা যায়—

রুল : যদি x তবে A নির্ভরযোগ্যতা C_{21} সহ,

রুল : যদি y তবে A নির্ভরযাগ্যতা C_{22} সহ,

রুল ১ : যদি x তবে A নির্ভরযোগ্যতা C_{31} সহ,

রুল ২ : যদি y তবে A নির্ভরযোগ্যতা C_{32} সহ।

যদি প্রদত্ত সমস্যাটিতে ইতঃপূর্বে x ও y এর নির্ভরযোগ্যতা পূর্ববর্তী সিদ্ধান্ত বা পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে নির্ধারিত হয়ে থাকে তবে নলেজ বেসে রক্ষিত রুলের সাহায্যে হয় সিদ্ধান্ত নির্ণয় করা যেতে পারে অথবা A এর নির্ভরযোগ্যতা নির্ণয় করা যেতে পারে। "এবং" সংযোগের ক্ষেত্রে সর্বাপেক্ষা কম নির্ভরযোগ্যতার মান এবং "অথবা" সংযোগের ক্ষেত্রে সর্বপেক্ষা বড় নির্ভরযোগ্যতার মান নির্ণয় করার পদ্ধতিই এ পর্যন্ত সর্বোত্তম পদ্ধতি বলে ধরা হয়। "কম্ব" সংযোগের ক্ষেত্রে MYCIN পদ্ধতি, সাবজেক্টিভ বায়েস পদ্ধতি ও ডেম্পস্টার শাফেরের পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

যদি "এবং", "অথবা ও "কম্ব" সংযোগের জন্য সিদ্ধান্ত-পদ্ধতি নির্বাচন করা হয় তবে নির্ভরযোগ্যতার মাত্রা সিদ্ধান্তের হিরারখিকাল নেটে তা প্রয়োগ করা যেতে পারে। এভাবে লক্ষ্য নির্ধারণের নির্ভরযোগ্যতাও সবশেষে পাওয়া যেতে পারে।

৫.১০ MYCIN মেথোড

রক্তে মাইক্রোঅর্গানিজমের চিহ্নকরণের জন্য সৃষ্ট এক্সপার্ট সিস্টেম MYCIN এ নির্ভরযোগ্যতাকে নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট CF দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই কোয়েফিসিয়েন্টটির মান [1, – 1] ইন্টারভালের (1=সত্য, –1 = মিথ্যা) মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে। A সিদ্ধান্তের নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট C[A, X] নির্ধারণ করা হয়, যদি x পূর্বশর্তটি পালিত হয়। এজন্য বায়েসের প্রোবাবিলিটির উদাহরণ বা ইনস্ট্রুমেন্টটি ব্যবহার করা যেতে পারে।

$$CF[A,X] = \begin{cases} \dfrac{P(A \mid x) - P(A)}{1 - P(A)}, & P(A \mid x) \geq P(A) \\ & (P(A) \neq 0, 1) \\ \dfrac{P(A \mid x) - P(A)}{P(A)}, & P(A \mid x) < P(A) \end{cases} \qquad (৫.১)$$

এখানে P(A) হচ্ছে "অ্যাপ্রিওর প্রোবাবিলিটি" যার অর্থ হলো A হাইপোথিসিসটির ফ্যাক্ট x কে গণ্যের মধ্যে আনা ছাড়াই সত্য হওয়ার সম্ভাবনা। P(A|x) হচ্ছে ফ্যাক্ট x কে গণ্য করে A হাইপোথিসিসটির সত্য হওয়ার সম্ভাবনা।

পূর্ববর্তী চিত্রে $C_1, C_2, \ldots, C_{31}, C_{32}$ নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট হিসেবে যথাক্রমে CF[A, x এবং y], CF[A, x অথবা y], CF[A, x], CF[A,y] বা সাধারণভাবে CF-রুল হিসেবে প্রকাশ করা হয়।

সিদ্ধান্ত গ্রহণে সর্বপ্রথমে পাওয়া যায় $CF_{পূর্বশর্ত}$। যদি পূর্বশর্তে কেবল একটি উপাদান থাকে তবে ইতোমধ্যে প্রাপ্ত প্রমাণের CF টিই হবে $CF_{পূর্বশর্ত}$। কিন্তু "এবং", "অথবা", CF[x,], CF[y,] সম্পর্কগুলির দ্বারা যুক্ত প্রমাণ x, y এর ক্ষেত্রে (. নির্ধারণ করা হয় সিদ্ধান্তের উপর ভিত্তি করে এবং তা কোনো শর্তের ভিত্তিতে নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট প্রকাশ করবার জন্য যুক্ত করা হয়) অবস্থাভেদে ম্যাক্সিমাম বা মিনিমাম মান গৃহীত হয়। অতএব $CF_{পূর্বশর্ত}$ নির্ণয়ে নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি ব্যবহার করা হয় :

(১) "এবং" সম্পর্কের ক্ষেত্রে

$$CF_{পূর্বশর্ত} = CF[x \text{ এবং } y,.] = \min \{CF[x,.], CF[y,.]\} \quad (৫.২)$$

(২) "অথবা" সম্পর্কের ক্ষেত্রে

$$CF_{পূর্বশর্ত} = CF[x \text{ অথবা } y,.] = \max \{CF[x,.], CF[y,.]\} \quad (৫.৩)$$

যদি $CF_{পূর্বশর্ত}$ নেগেটিভ হয় তবে সিদ্ধান্ত গ্রহণে রুলটি কাজ করবে না, সেটি কাজ করবে যদি $CF_{পূর্বশর্ত}$ পজিটিভ হয়।

সিদ্ধান্ত-সঠিকতার নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট হবে $CF_{রুল}$ $CF_{পূর্বশর্ত}$ এবং এই কোয়েফিসিয়েন্টটি সিদ্ধান্তের জন্য প্রযোজ্য হয় :

$$CF[A,.] = CF_{রুল} . CF_{পূর্বশর্ত} \quad (৫.৪)$$

যদি $CF_{পূর্বশর্ত}$ এর মান হয় $CF_{রুল}$ তবে এই রুল দ্বারা গৃহীত A সিদ্ধান্তের নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট $CF_{রুল}$ এর মান হবে। কিন্তু যদি পূর্বশর্ত আংশিকভাবে পূর্ণ হয় তবে সিদ্ধান্তের CF আনুপাতিকভাবে কমে যায়।

৫.৬(গ) চিত্রে "কম্বি" সম্পর্কটির ক্ষেত্রে CF[A,x] এবং CF[A, y] পৃথকভাবে নির্ণয় করা হয়। MYCIN পদ্ধতিতে নিম্নলিখিত "কম্বিনেশন ফাংশন" ব্যবহার করা হয় :

+ 1, যদি CF[A, x] = 1 অথবা CF[A,y] = 1 হয় (৫.৫)

CF[A,x] + CF[A,y] – CF[A, x] CF[A, y],

যদি CF[A, x] >0, CF[A, y] >0 হয় (৫.৬)

CF[A, x] + CF[A, y],

যদি CF[A, x] CF[a, y] <= 0,

CF[A, x] ≠ ±1 এবং CF[A, y] ≠ ±1 হয় (৫.৭

CF[A, x] + CF[A, y] + CF[A, x] CF[A, y],

যদি CF[A, x] <0, CF[A, y] <0 হয় (৫.৮)

−1, যদি CF[A, x] = −1,

অথবা CF[A, y] = −1 হয় (৫.৯)

নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট CF তিন বা ততোধিক প্রমাণের ভিত্তিতে নির্ধারণ করতে হলে উপরিউক্ত সমীকরণগুলিকে পর্যায়ক্রমে ব্যবহার করা হয়। কিন্তু পজিটিভ অথবা নেগেটিভ CF এর ক্ষেত্রে প্রথমে (৫.৬) ও (৫.৮) সমীকরণগুলিতে CF এর সাইন নির্ধারণ করতে হবে এবং পরে CF এর সাইনের ভিত্তিতে (৫.৭) সমীকরণটিকে ব্যবহার করতে হবে। যদি এই নীতিটি পালন না করা হয় তবে সমীকরণের ক্রম অনুযায়ী ভিন্ন ভিন্ন CF পাওয়া যাবে। MYCIN পদ্ধতিতে পজিটিভ CF কে সুনিশ্চয়তার মাত্রা বলা হয় এবং নেগেটিভ CF কে অনিশ্চয়তার মাত্রা বলা হয়। যেহেতু উপরিউক্ত সমীকরণগুলির ব্যবহার ক্রম পরিবর্তনের ফলে CF এর মানও পরিবর্তিত হয়, কাজেই MYCIN-এর ভিত্তিতে তৈরি সর্বজনীন এক্সপার্ট সিস্টেম EMYCIN পদ্ধতিতে (৫.৭) সমীকরণটিকে পরিবর্তিত করে নিম্নরূপভাবে লেখা হয় :

$$CF[A, (x, y)] = \frac{CF[A, x] + CF[A, y]}{1 - \min\{|CF[A, x]|, |CF[A, y]|\}} \qquad (৫.১০)$$

যদি $CF[A, x] + CF[A, y] \leq 0$, $CF[A, x] \neq \pm 1$ এবং $CF[A, y] \neq \pm 1$ হয়।

MYCIN পদ্ধতিতে সিদ্ধান্ত "উপর-নিচ" পদ্ধতিতে লক্ষ্যের দিকে নির্দেশিত হয়। কিন্তু যদি সাবগোল বা অবলক্ষ্যের অ্যাবসলিউট মান নির্ধারিত লিমিট 0.2 এর চেয়ে কম হয় তবে তার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ রুলগুলি ব্যবহার করা হয় না এবং সংযুক্ত তথ্যগুলিকে অনির্ভরযোগ্য ধরা হয়।

যদিও MYCIN পদ্ধতিতে নিশ্চয়তা কোয়েফিসিয়েন্ট এর ততো সুদৃঢ় তাত্ত্বিক ভিত্তি নেই তথাপি তার সহজ ব্যবহারযোগ্যতার কারণে তা জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের সর্বজনীন বা ইউনিভার্সাল পদ্ধতিগুলিতে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

৫.১১ সাবজেক্টিভ বায়েস মেথোড

ডুডা, হার্ট ও নিলসন জ্ঞান প্রযুক্তিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য বায়েসের সমীকরণগুলিকে কিছুটা পরিবর্তন করে সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য বায়েসের সাবজেক্টিভ মেথোডের অবতারণা করেন। এই মেথোডে "এবং" ও "অথবা" সম্পর্কগুলি বিশেষভাবে নির্ধারিত থাকে না বরং তাদের প্রতিটি উপাদানকে বায়েসের প্রোবাবিলিটির মিনিম্যাম বা ম্যাক্সিমাম মান দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এরপর নির্ভরযোগ্যতার কোয়েফিসিয়েন্টসহ রুলগুলির সাহায্যে ও "কন্ব" সম্পর্কের সাহায্যে স্বাধীন প্রমাণগুলির সিদ্ধান্ত নিম্নরূপে গ্রহণ করা হয় :

সর্বপ্রথমে বায়েসের সমীকরণগুলি থেকে নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলি ঠিক করা হয় :

$$P[A|x] = \frac{P(x \mid A)P(A)}{P(x)} \qquad (৫.১১)$$

$$P[\bar{A}|x] = \frac{P(x|\bar{A})P(\bar{A})}{P(x)}$$

এটি থেকে পাওয়া যায় :

$$\frac{P(A|x)}{P(\bar{A}|x)} = \frac{P(x|A)}{P(x|\bar{A})} \frac{P(A)}{P(\bar{A})} \qquad (৫.১২)$$

এখানে $\bar{A}$ হচ্ছে A সেটের কমপ্লিমেন্ট। উপরন্তু, যদি x ও y আপেক্ষিকভাবে A থেকে স্বাধীন হয় তবে নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলি সত্য হবে :

$$\frac{P(A|x, y)}{P(\bar{A}|x,y)} = \frac{P(x,y|A)P(A)}{P(x,y|\bar{A})P(\bar{A})} = \frac{P(x|A)\,P(y|A)}{P(x|\bar{A})\,P(y|\bar{A})} \frac{P(A)}{P(\bar{A})} \qquad (৫.১৩)$$

এভাবে প্রোবাবিলিটি P(A) ব্যবহার করে A এর অ্যাপ্রিওর চান্স নিম্নরূপে নির্ণয় করা যায় :

$$O(A) = \frac{P(A)}{P(\bar{A})} = \frac{P(A)}{1 - P(A)} \qquad (৫.১৪)$$

এবং x এর প্রমাণটি পাওয়ার জন্য A এর অ্যাপ্রিওর চান্স নির্ণয় করা যায় নিম্নভাবে :

$$O(A|x) = \frac{P(A \mid x)}{P(\bar{A} \mid x)} = \frac{P(A \mid x)}{1 - P(A \mid x)} \qquad (৫.১৫$$

প্রোবাবিলিটি P এবং চান্স O এর মধ্যে সম্পর্ক হলো :

$$P = O/(O+1) \qquad (৫.১৬$$

অতএব, যদি চান্স O নির্ধারিত থাকে তবে প্রোবাবিলিটি P নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাক :

$$\lambda_x = P(x \mid A)/P(x \mid \bar{A}) \qquad (৫.১$$

λ_x হচ্ছে x প্রমাণটি পাওয়ার জন্য প্রয়োজনীয় স্বতঃসিদ্ধতা। অতএব (৫.১২) আমরা নিম্নরূপে প্রকাশ করতে পারি :

$$O(A \mid x) = \lambda_x O(x) \qquad (৫.১$$

একইভাবে যদি y প্রমাণটির জন্য স্বতঃসিদ্ধতা λ_y নির্ধারণ করা যায় তবে সার্বভৌম স্বাধীন প্রমাণ x এবং y থেকে সিদ্ধান্ত পাওয়ার জন্য (৫.১৩) সমীকরণের সাহায্যে A অ্যাপোস্টেরিওরিক চান্স নির্ণয় করা যায় :

$$O(A \mid x,y) = \lambda_x \lambda_y O(A) \qquad (৫.$$

হাইপোথিসিস A এর অ্যাপ্রিওর প্রোবাবিলিটি P(A) (অথবা অ্যাপ্রিওর চান্স O(A)) এবং স্বতঃসিদ্ধতার সম্পর্ক λ_x, λ_y এক্সপার্ট সিস্টেম এর নলেজে প্রদত্ত থাকে। যদি x অথবা y প্রমাণগুলির যে কোনো একটি বা উভয় প্রোবাবিলিটির মান 1 দ্বারা নির্ধারিত থাকে তবে (৫.১৮) ও (৫.১৯) সমীকরণগুলির সাহায্যে অ্যাপোস্টেরিওর চান্স ও অ্যাপোস্টেরিওর প্রোবাবিলিটি A নির্ণয় করা যায়। কিন্তু যদি প্রমাণগুলিতে অনির্ভরযোগ্য ডাটা থাকে তবে নিম্নলিখিত অ্যাপ্রোক্সিমেট মেথোডটি ব্যবহার করা হয়।

ধরা যাক, পূর্ব প্রদত্ত সিদ্ধান্তগুলির ভিত্তিতে প্রমাণ x এর সত্যতা [0, 1] ইন্টারভালে প্রোবাবিলিটি P(x | .) সহ বিদ্যমান। তাহলে হাইপোথিসিস A এর অ্যাপোস্টেরিওর প্রোবাবিলিটি P(A | (x | .)) ৫.৭ চিত্রানুযায়ী একটি ফাংশন হিসেবে প্রকাশ করা যায়। অর্থাৎ যদি কোনো প্রমাণ অ্যাপ্রিওর প্রোবাবিলিটি P(x) এর চেয়ে কম প্রোবাবিলিটি সহ নির্ধারিত হয় তবে তার সাথে সঙ্গতিপূর্ণ রুলটি পরবর্তী সিদ্ধান্তগুলির উপর কোনো প্রকার প্রভাব রাখে না। কিন্তু প্রোবাবিলিটি যদি P(x) এর চেয়ে বেশি হয় তবে তা লিনিয়ার ফাংশন অনুসারে প্রভাব রাখে। এক্ষেত্রে স্বতঃসিদ্ধতার প্রকৃত বা কার্যকর সম্পর্ক নিম্ন উপায়ে প্রকাশ করা হয় :

$$\lambda'_x = \frac{O(A \mid (x \mid .))}{O(A)} = \frac{P(A \mid (x \mid .))}{1 - P(A \mid x \mid .)} \cdot \frac{1 - P(A)}{p(A)} \qquad (৫.২০)$$

একইভাবে y প্রমাণটির জন্য কার্যকর স্বতঃসিদ্ধতার সম্পর্ক λ'_y ও নির্ণয় করা যায়। উপরিল্লিখিত তথ্যগুলির ভিত্তিতে বলা যায় যে, অনির্ভরযোগ্য প্রমাণের ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত নিয়মগুলি ব্যবহার করা যেতে পারে। যদি কেবল প্রমাণ x থাকে তবে (৫.১৮) সমীকরণটিতে λ_x কে λ'_y দ্বারা পরিবর্তন করা যায়।

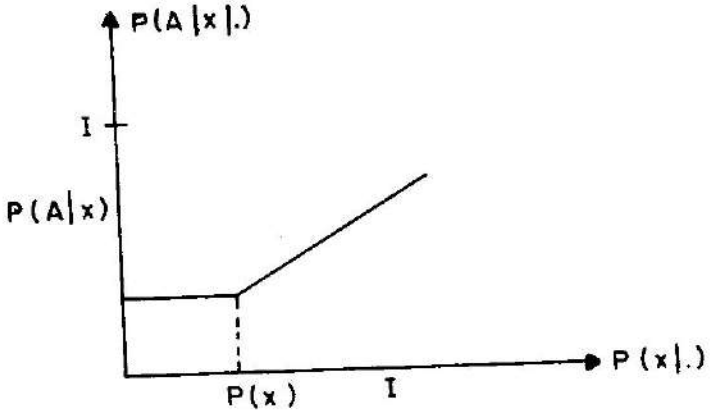
$$O(A \mid (x \mid .)) = \lambda'_x \; O(A) \qquad (৫.২১)$$

কিন্তু যদি একই সময়ে সার্বভৌম প্রমাণ y বিদ্যমান তবে (৫.১৯) সূত্রটিকে λ_y কে λ'_y দ্বারা পরিবর্তিত করা যায় :

$$O(A \mid (x \mid .), (y \mid .)) = \lambda'_x \, \lambda'_y \, O(A) \qquad (৫.২২)$$

এটাই হচ্ছে বায়েসের সাবজেক্টিভ মেথোড।

এখানে সমস্যা দাঁড়ায়, যদি পরস্পর দ্বন্দ্বমূলক কিছু অবলক্ষ্যের সাবসেটগুলির প্রোবাবিলিটির যোগফল ১ এর সমান না হয়, তাহলে কি করা যাবে? এক্ষেত্রে প্রোবাবিলিটিগুলিকে নরমালাইজ করতে হবে। এছাড়াও প্রতিটি শর্তের অ্যাপ্রিওর প্রোবাবিলিটি পূর্বাহ্নেই নির্ধারণের সমস্যা ৫.৭ চিত্রের ফাংশনটির কার্যকারিতার সাথে সামঞ্জস্য বিধানের সমস্যা বিদ্যমান।



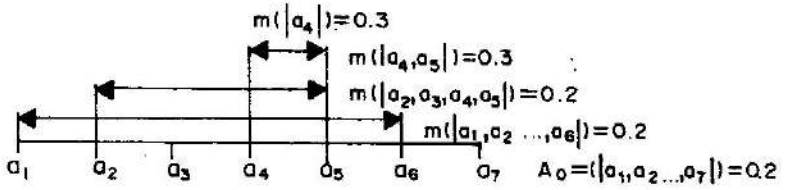
চিত্র ৫.৭ : অনির্ভরযোগ্য ডাটারভিত্তিতে প্রমাণের জন্য হাইপোথিসিসের অ্যাপোস্টেরিওর প্রোবাবিলিটির উদাহরণ।

৫.১২ ডেম্পস্টার-শাফের তত্ত্বের ভিত্তিতে সিদ্ধান্ত পদ্ধতি

যেহেতু বায়েস-প্রোবাবিলিটির সাহায্যে জ্ঞানের অনির্ভরযোগ্যতা প্রকাশ পদ্ধতিটি মানুষের সাবজেক্টিভ মতামতের উপর নির্ভরশীল, তাই এই মেথোডটি ততো কার্যকর নয়। অন্য কথায়, বায়েসের প্রোবাবিলিটিতে $P(A) + P(\bar{A}) = 1$ এই সম্পর্কটির যথার্থতা বজায় রাখার প্রয়োজনে জ্ঞানের নির্ভরযোগ্যতাকে তার অনির্ভরযোগ্যতা থেকে পৃথক করে দেখা যায় না, তাই উভয় ক্ষেত্রেই P(A)-কে প্রকাশনার নির্ভরযোগ্যতার মাপকাঠি হিসেবে ধরা হয়।

বায়েসের প্রোবাবিলিটির সাহায্যে যে সাবজেক্টিভ অনির্ভরযোগ্যতা প্রকাশ করা সম্ভব হয় না তার জন্য ১৯৬৭ সালে ডেম্পস্টার নিম্ন ও উচ্চ প্রোবাবিলিটির ধারণার প্রস্তাব করেন। পরবর্তীতে শাফের ডেম্পস্টারের তত্ত্বকে উন্নত করে এই ধারণাগুলিতে সাবজেক্টিভ ধারণার অবতারণা করে সেখানে নির্ভরযোগ্যতা ফাংশন ও স্বতঃসিদ্ধতার মাপকাঠি প্রকাশ করার প্রস্তাব করেন। উভয়ের সম্মিলিত তত্ত্বটি পরে ডেম্পস্টার-শাফের তত্ত্ব নামে পরিচিত হয়। নিচে এই তত্ত্বটির সাধারণ ধারণা ও জ্ঞান-প্রযুক্তিতে তার ব্যবহার প্রণালি প্রদান করা হলো।

নিম্ন ও উচ্চ প্রোবাবিলিটি বেস-প্রোবাবিলিটির সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। শাফেরে মতে বেস-প্রোবাবিলিটি $m(A_i)$ সাবসেট A_i এর মধ্যে সীমাবদ্ধ এবং তার সম্বন্ধে ধার A_i এর সকল বিন্দুতে চলাচলে সক্ষম একটি <<আধা চলমান প্রোবাবিলিটি-ভর>> হিসে নিচের চিত্রের অনুরূপে প্রকাশ করা হয়।



চিত্র ৫.৮ : ডেম্পস্টার-শাফেরের বেস-প্রোবাবিলিটি $m(A_i)$ এর ধারণা।

এই মডেলকে উপরিউক্ত প্রোবাবিলিটির ধারণার ভিত্তি হিসেবে ধরা যেতে পারে। ধরা যাক, A_0 একটি লিমিটেড সেট, $A_{i\supset(i=1,2...)}$ হচ্ছে তার সাবসেট। বেস প্রোবাবিলিটি ফাংশন "m" এর দ্বারা প্রকাশ করা যায়, যদি তা নিম্নলিখিত শর্তগুলি পালন করে :

$$\begin{cases} m(\varnothing)=0 \ (\varnothing \text{ একটি শূন্য সেট}) \\ \Sigma(A_i)=1 \ (i=0,1,2,\ldots) \\ A_i \subseteq A_0 \end{cases} \qquad (৫.২৩)$$

অজ্ঞানতার মাত্রা পূর্ণ সেটের বেস প্রোবাবিলিটি $m(A_0)$ দ্বারা প্রকাশ করা হয় যদি $m(A_i)<0$ হয় তবে A_i কে বলা হয় সেন্ট্রাল এলিমেন্ট।

"নিম্ন প্রোবাবিলিটি" বেস প্রোবাবিলিটির সাহায্যে নিম্ন উপায়ে প্রকাশ করা যায় :

$$P^*(A_i) = \sum_{A_j \subseteq A_i} m(A_j) = 1 \ (i = 0, 1, 2\ldots) \qquad (৫.২৪)$$

অন্যভাবে বলা যেতে পারে যে, "নিম্ন প্রোবাবিলিটি" হলো A_i সাবসেটের মধ্যে সীমাবদ্ধ বেস প্রোবাবিলিটির যোগফল।

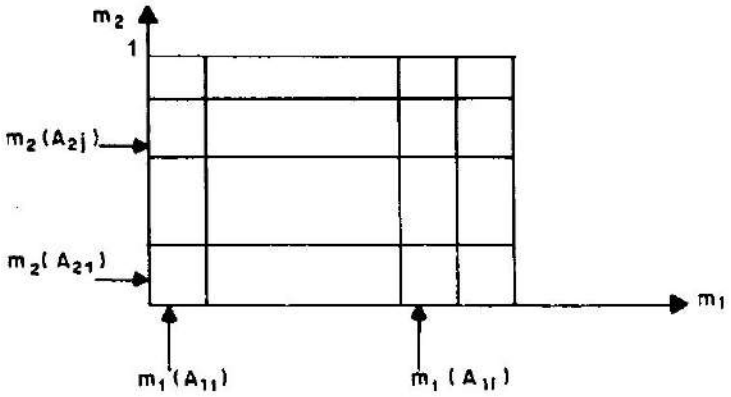
"উচ্চ প্রোবাবিলিটি নির্ণয় করা হয় নিম্নভাবে :

$$P^*(\bar{A}_i) = 1 - P_*(A_{ii} = \sum_{A_j \supseteq A_i} m(\bar{A}_j) \qquad (৫.২৫)$$

অর্থাৎ উচ্চ প্রোবাবিলিটি হলো সেই বেস প্রোবাবিলিটিগুলির যোগফল যা আংশিকভাবে সেট A_i এর মধ্যে অন্তর্ভুক্ত থাকতে পারে।

এখানে মূল রুলটি হলো ডেম্পস্টারের কম্বিনেশন রুল। ধরা যাক, m_1 ও m_2 হলো সার্বভৌম প্রমাণ দ্বারা প্রাপ্ত বেস-প্রোবাবিলিটির হাইপোথিসিস, A_{1i} ও A_{2j} $(i, j = 0, 1, 2, \ldots)$ হলো তাদের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ যথাক্রমে সেন্ট্রাল এলিমেন্ট। তাহলে ডেম্পস্টারের কম্বিনেশন রুলের সাহায্যে নতুন বেস-প্রোবাবিলিটিকে নিম্ন উপায়ে প্রকাশ করা যায় :

$$m(A_k) = \frac{\sum_{A_{1i} \cap A_{2j} = A_k} m_1(A_{1i})\, m_2(A_{2j})}{1 - \sum_{A_{1i} \cap A_{2j} = 0} m_1(A_{1i})\, m_2(A_{2j})} \ (A_k \neq 0) \qquad (৫.২৬)$$



চিত্র ৫.৯ : সেট বিচ্ছেদনে $(A_{1i}) \cap (A_{2j})$ তে বেস প্রোবাবিলিটির বন্টন।

(৫.২৬) সূত্রটিতে নমিনেটরে A_{1i} ও A_{2j} এর বিচ্ছেদনে (সেট A_k) তাদের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ বেস-প্রোবাবিলিটির গুণফল বিদ্যমান (চিত্রে তীরচিহ্ন দ্বারা সেই এলাকাটি বেস প্রোবাবিলিটি পরিসরে দেখানো হয়েছে)। ডেনোমিনেটরে সেই গুণফলটিকে নরমালাইজ করা হয়েছে। যদি A_{1i} ও A_{2j} সেট দুটির বিচ্ছেদনে শূন্য সেট হয় তাহলে কম্বিনেশনে সিদ্ধান্তগুলি পরস্পর দ্বন্দ্বমূলক বলে বিবেচিত হয়। যদি দুই বা ততোধিক বেস-প্রোবাবিলিটি সার্বভৌম প্রমাণ থেকে প্রাপ্ত হয় তবে লক্ষ্য প্রোবাবিলিটি (৫.২৬) সূত্রকে পুনঃপুন ব্যবহারের মাধ্যমে পাওয়া যেতে পারে।

জ্ঞান-প্রযুক্তিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণের পদ্ধতিগুলিতে ডেম্পস্টার-শাফেরের তত্ত্ব ব্যবহারের প্রণালি নিম্নরূপে বর্ণনা করা যায়। ধরা যাক, ৫.৬ (গ) চিত্রে (১) এবং (২) নং রুল এর সিদ্ধান্তগুলি যথাক্রমে A_1 ও A_2 এই দুটি সাবসেট গঠন করে। কিন্তু এই সাবসেট দুটি পূর্ণ সেট A_0 এর একই জাতীয় সাবসেট নয়।

রুল ১ : যদি x

তবে A_1 নির্ভরযোগ্যতার মান C_{31}

রুল ২ : যদি y

তবে A_2 নির্ভরযোগ্যতার মান C_{32}

ধরা যাক, যদি কোনো রুলের পূর্বশর্ত পালিত হয় তবে সেই রুলটির নির্ভরযোগ্যতার মানকে প্রকাশ করি $C_{রুল}$ দ্বারা।। তাহলে $C_{রুল}$ এর মান হবে [0, 1] ইন্টারভালে এবং এটিই হচ্ছে রুলটির সিদ্ধান্তে উল্লিখিত প্রোবাবিলিটি সেটে বর্ণিত মান।

সিদ্ধান্ত গ্রহণে সর্বপ্রথমে (৫.২৪) সূত্রানুসারে পূর্বশর্তের নিম্ন প্রোবাবিলিটি নির্ধারিত হয়। যদি ৫.৩ চিত্রের ন্যায় পূর্বশর্তে "এবং" ও "অথবা" সম্পর্ক থাকে তবে তাদের সাথে

সঙ্গতিপূর্ণ নিম্ন প্রোবাবিলিটির মিনিমাম ও ম্যাক্সিমাম মান গ্রহণ করা হয়। এরপর তা $C_{রুল}$ দ্বারা গুণন করা হয় এবং প্রাপ্ত ফলকে প্রদত্ত রুলের সাবসেটের বেস প্রোবাবিলিটি হিসেবে গণ্য করা হয়। যদি (১) নং রুল ও প্রমাণ x এর ভিত্তিতে প্রাপ্ত A_1 হাইপোথিসিসের বেস প্রোবাবিলিটি m_1 হয় তবে

$$m_1(A_1) = P_*(x).C_{31} \qquad (৫.২৭)$$

একইভাবে (২) নং রুল ও প্রমাণ y এর ভিত্তিতে $m_2(A_2)$ নির্ধারণ করা হয়। "কম্ব" সম্পর্কটি দ্বারা সম্পর্কযুক্ত x ও y প্রমাণ থেকে (৫.২৬) সূত্রের সাহায্যে বেস প্রোবাবিলিটির বণ্টন পাওয়া যেতে পারে। যদি সাবসেট $A_1=A_2$ হয় তবে ডেম্পস্টার-শাফের তত্ত্বের সাহায্যে প্রমাণগুলির কম্বিনেশন বা সংযুক্তি MYCIN মেথোডের (৫.৬) কম্বিনেশন ফাংশনটির অনুরূপ হয়।

ডেম্পস্টার-শাফেরের তত্ত্ব সেট ধারণার ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত। যদি বাস্তব জ্ঞানের সাবসেটগুলিতে কোনো সাধারণ অংশ থাকে তবে জ্ঞান-প্রযুক্তির প্রক্রিয়াকরণের সর্বজনীন পদ্ধতি হিসেবে তা বাস্তবায়নে এই তত্ত্বটি যথেষ্ট জটিলতার মুখোমুখি হতে হয়। কিন্তু যদি পরস্পর বিচ্ছেদ করে না এমন সাবসেটগুলির মধ্যে প্রক্রিয়াকরণ সীমাবদ্ধ রাখা যায় তবে তত্ত্বটি যথেষ্ট কার্যকর হয়। অনির্দিষ্ট সীমা দ্বারা আবদ্ধ সেটগুলিকে ফাজি সেট হিসেবে গণ্য করে ডেম্পস্টার-শাফের তত্ত্বকে সেক্ষেত্রে ব্যবহার করা যেতে পারে। জাপানের ইসিদজুকা কর্তৃক আবিষ্কৃত SPERIL এক্সপার্ট সিস্টেম দ্বারা জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে জ্ঞানের অপহরণ বা লস নির্ধারণে ডেম্পস্টার-শ্যাফেরের বিস্তৃত তত্ত্বটি ব্যবহার করা হয়।

৫.১৩ ফাজি লজিক

ফাজি লজিক ফাজি সেট তত্ত্বের অঙ্গীভূত বিরতিহীন লজিকেরই একটি ধরন যেখানে লজিক্যাল সূত্রগুলির সত্যতার মান ১ ও 0 এই ইন্টারভেল এর মধ্যে হয়। এখানে উল্লেখযোগ্য যে, বিরতিহীন লজিক ও বহুতার্থিকতার মধ্যে বিশেষ সম্পর্ক বিদ্যমান।

ফাজি লজিকে নির্ভরযোগ্যতাকে ১ ও 0 এই ইন্টারভেল এর মধ্যে সত্যতার মান হিসেবে দেখানো হয়। প্রোবাবিলিটির মান ও সত্যতার মানের মধ্যে পার্থক্য হলো এই যে, প্রোবাবিলিটির মান স্ট্যাটিস্টিকাল ধারণার অনুরূপ কিন্তু সত্যতার মানে কোনো প্রকার স্ট্যাটিস্টিকাল ধারণা থাকে না, এটি একটা সাবজেক্টিভ মান। ধরা যাক, t_x ও t_y হচ্ছে কোনো প্রদত্ত রুলের পূর্বশর্ত x ও y এর সত্যতার মান। তাহলে ৫.৬ (ক) ও ৫.৬ (খ) চিত্রে যেখানে "এবং" ও "অথবা" সম্পর্কগুলির ক্ষেত্রে সত্যতার মান $t_{পূর্বশর্ত}$ নিম্নভাবে নির্ণয় করা যায় :

(১) "এবং" সংযোগের ক্ষেত্রে

$$t_{পূর্বশর্ত} = \min\{t_x, t_y\} \qquad (৫.২৮)$$

(২) "অথবা" সংযোগের ক্ষেত্রে

$$t_{পূর্বশর্ত} = \max\{t_x, t_y\} \qquad (৫.২৯)$$

যদি সাধারণভাবে $t_{রুল}$ কোনো রুলের সত্যতার মান হয় তবে তার দ্বারা গৃহীত সিদ্ধান্ত A এর সত্যতার মান হবে :

$$t_A = \min \{t_{পূর্বশর্ত}, t_{রুল}\} \qquad (৫.৩০)$$

ফাজি লজিকে min মানটির দ্বারা সত্যতার মান নির্ণয় একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য। অন্যান্য পদ্ধতিতে min মান এর স্থলে গুণন করা হয়। ফাজি লজিকে "কন্ব" সংযোগটিকে আলাদাভাবে বিচার না করে তাকে "এবং" বা "অথবা" সংযোগ হিসেবে বিচার করা হয়।

৫.১৪ প্রোবাবিলিটি লজিক

নিলসন লজিককে বিস্তৃতকরণের প্রস্তাব করেন এবং প্রোবাবিলিটি লজিকের ধারণার পত্তন করেন, যাতে লজিক্যাল সূত্রগুলিকে প্রোবাবিলিটি মানযুক্ত করা হয়। এক্ষেত্রে প্রোবাবিলিটি বায়েসের নিয়ম অনুসরণ করে। লজিক ও প্রোবাবিলিটির সংযোগ লজিক্যাল মডেলিং এর ভিত্তিতে নতুন র‍্যাশনাল তত্ত্ব পত্তনের জন্য বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। যদিও এই তত্ত্বটি গুণন প্রক্রিয়ায় এখনও ব্যবহারযোগ্যভাবে তৈরি হয় নেই তথাপি সহজ উদাহরণের সাহায্যে তার মূল বিষয়টি দেখা যাক।

তিনটি লজিক্যাল প্রকাশনার সূত্র A,A⊃B,B কে বিচার করা যাক। এবার নিম্নে প্রদত্ত ভেক্টরগুলিকে বিচার করা যাক :

(1) (2) (3) (4)

$$\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\1\\1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\1\\0\end{bmatrix}\begin{matrix}\leftarrow A\\ \leftarrow A\supset B\\ \leftarrow B\end{matrix}$$

খানে (1) A, A⊃B ও B এর সত্যতার ওয়ার্ল্ড,

(2) A এর সত্যতা এবং A⊃B ও B এর অসত্যতার ওয়ার্ল্ড,

(3) A এর অসত্যতা এবং A⊃B ও B এর সত্যতার ওয়ার্ল্ড,

(4) A ও B এর অসত্যতার এবং A⊃B এর সত্যতার ওয়ার্ল্ড।

উপরের ভেক্টরগুলিতে প্রথম সারিতে A এর সত্যতা ও অসত্যতা যথাক্রমে 1 ও 0 দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। এভাবে দ্বিতীয় ও তৃতীয় সারিতে যথাক্রমে A⊃B ও B এর সত্যতা ও অসত্যতার মান 1 ও 0 দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। এই তিনটি লজিক্যাল সূত্রকে এমনভাবে গঠন করা হয়েছে যে, কেবল উল্লিখিত চারটি পরস্পর দ্বন্দ্বহীন সমন্বয়ই সম্ভব। উপরে "ওয়ার্ল্ড" কথাটি দ্বারা সম্ভাব্যতার পরিসরকে বুঝানো হয়েছে। অন্য ধরনের ওয়ার্ল্ড, যেমন A, A⊃B এর সত্যতার ও B এর অসত্যতার ওয়ার্ল্ড অভ্যন্তরীণভাবে দ্বন্দ্বমূলক।

যদি সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডগুলির মধ্যে একটি ওয়ার্ল্ডকে বিচার করা হয় তবে ঐতিহ্যগত ডুয়াল লজিক বা দ্বৈতার্থিক লজিকের উদ্ভব হয়। প্রোবাবিলিটি লজিকে সেই ধরনের অবস্থা বিচার করা হয়, যেখানে একই সাথে কোনো একটি প্রোবাবিলিটি মানসহ কয়েকটি ওয়ার্ল্ডের অস্তিত্ব সম্ভব থাকে। উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, (1) ওয়ার্ল্ডে কোনো ব্যাখ্যার প্রোবাবিলিটি 0.4 এবং (2), (3), (4) ওয়ার্ল্ডে ব্যাখ্যার প্রোবাবিলিটি যথাক্রমে 0.3, 0.2, 0.1 (সকল প্রোবাবিলিটির যোগফল সমান 1.0) তাহলে সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডগুলির প্রোবাবিলিটি ভেক্টর নিম্নরূপে গঠন করা যায় :

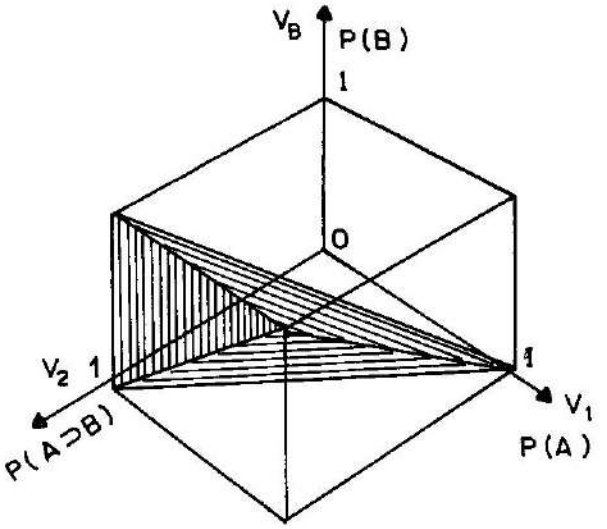
$$P = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.3 \\ 0.2 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

বিপরীতভাবে বলা যেতে পারে যে, যদি কোনো লজিক্যাল সূত্র গ্রুপ বিদ্যমান থাকে যার প্রতিটি সূত্রের জন্য কোনো একটি প্রোবাবিলিটি মান অস্তিত্বশীল তবে এই সূত্রগ্রুপটিকে ক্রমিকভাবে সাজানো বা দ্বন্দ্বহীন বলা যেতে পারে কেবল তখনই যখন সূত্রগুলির সাথে সঙ্গতিপূর্ণ সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডগুলি প্রোবাবিলিটি মানসহ থাকার সম্ভাবনা থাকে। পরবর্তী ৫.১০ চিত্রে এটা দাগকাটা পরিসর দ্বারা চিহ্নিত করা হয়েছে।

যদি ম্যাট্রিক্স M এমনভাবে গঠন করা হয়, যেন তার ভার্টিকাল ভেক্টরগুলি দ্বারা সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডগুলি প্রস্তাবিত হয় তবে MP = V এই ম্যাট্রিক্স অপারেশনটি দ্বারা প্রতিটি লজিক্যাল সূত্রের চয়েস প্রোবাবিলিটি বা বাছাই সম্ভাব্যতা নির্ণয় করা যেতে পারে। প্রদত্ত উদাহরণে

$$MP = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.3 \\ 0.2 \\ 0.1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.6 \end{bmatrix} = V$$

অর্থাৎ এই সম্ভাব্য প্রোবাবিলিটি ওয়ার্ল্ডগুলির সত্যতার মান 0.7(A), 0.7(A⊃B) এবং 0.6(B)।



চিত্র ৫.১০ : দ্বন্দ্বহীন বা ক্রমিকভাবে সাজানো প্রোবাবিলিটি বণ্টনক্ষেত্র A, A⊃B ,B (P(A), P(A⊃B), P(B)– সঙ্গতিপূর্ণ প্রোবাবিলিটি বণ্টন এর জন্য)।

ধরা যাক, প্রদত্ত A এর প্রোবাবিলিটি P(A) এবং A⊃B এর প্রোবাবিলিটি P(A⊃B), তাহলে P(B) অবস্থান করবে নিম্নলিখিত পরিসরে—

$$P(A\supset B) + P(A) - 1 \leq P(B) \leq P(A\supset B)$$

একার্থিকভাবে লজিক্যাল সিদ্ধান্তের প্রোবাবিলিটি নির্ধারণের একটি পদ্ধতি অনুসারে সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডগুলির ক্রমবর্ধমান এন্ট্রোপিসহ প্রোবাবিলিটি বিদ্যমান। যদিও বৃহৎ সংখ্যক লজিক্যাল সূত্রের ক্ষেত্রে ব্যাপক জটিলতা ও অন্যান্য সমস্যা বিদ্যমান, তথাপি লজিক ও প্রোবাবিলিটির সংযোগ সাধনের ধারণাটি জ্ঞান প্রযুক্তিতে যথেষ্ট গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখতে পারে।

৫.১৫ অপূর্ণ জ্ঞান ও ননমনোটোনাস লজিক

সমস্যা জগৎকে পুরাপুরি অনুলিখন করা সম্ভব নয়। যেমন, <<পাখি উড়তে পারে>> এই জ্ঞানটি সত্য। তবে এমনকিছু পাখি আছে যারা উড়তে পারে না। কাজেই ঐ জ্ঞানটি অপূর্ণ। নিম্নলিখিত সমস্যাটি আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বিশেষভাবে বিচার করা হয় : <<একটি নৌকার সাহায্যে নদীর এক পাড় থেকে অন্য পাড়ে তিনজন মিশনারি ও তিনজন মানুষখেকো এমনভাবে পার করতে হবে যেন প্রতিবার পারাপারে কেবল দুইজন পার হতে পারবে এবং কোনো পাড়েই মানুষখেকোর সংখ্যা মিশনারির সংখ্যার অধিক হতে পারবে না, কারণ

তাহলে মিশনারিকে মানুষখেকো খেয়ে ফেলতে পারে>>। এই সমস্যাটির প্রস্তাবনায় তার শর্ত ও সীমাবদ্ধতাগুলি যথাযথভাবে উল্লেখ থাকলেও এ কথা বলা নেই যে, হঠাৎ করে যদি নৌকায় দাঁড়ের অভাব ঘটে বা তার তলায় ফুটা হয়ে যায় তবে কি করতে হবে। সেক্ষেত্রে জ্ঞানের অপূর্ণতা প্রকট হয়ে উঠে। সাধারণভাবেই ধরে নেয়া হয় যে, যেহেতু নৌকা আছে, কাজেই তার সাহায্যে পার হওয়া যাবেই। এই ধরনের অপূর্ণতা যেকোনো সমস্যা সম্পর্কিত জ্ঞানের মধ্যেই বিদ্যমান।

অন্য একটি উদাহরণ, একটি ঘরের মধ্যে কি কি বস্তু আছে তার তালিকা করা যায় কিন্তু সেই ঘরের মধ্যে কি কি বস্তু নেই তার তালিকা তৈরি করা সম্ভব নয়। অনুপস্থিত বস্তুগুলির সেটটি হবে অসীম। কাজেই নলেজ বেসে কেবল নির্ভরযোগ্য জ্ঞানকেই নির্ণয় করা সম্ভব, অনির্ভরযোগ্য জ্ঞানকে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। যে জ্ঞানের সত্যতা বা অসত্যতা সম্বন্ধে কিছুই বলা থাকে না, সেই জ্ঞানকে অসত্য বলে ধরে নেয়া হয়। এটিকে ক্লোজড ওয়ার্ল্ড হাইপোথিসিস (আবদ্ধ জগতের ধারণা) বলা হয়। PROLOG ভাষায় not প্রেডিকেটটির মান "সত্য" হয়, যদি তার আরগুমেন্টগুলির মধ্যে সমাধান না থাকে এবং তার কার্যকারিতার ভিত্তি ক্লোজড ওয়ার্ল্ড হাইপোথিসিস হয়। এই হাইপোথিসিসটি অপূর্ণ বা অনির্দিষ্ট জ্ঞানের বিভিন্ন ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়। ক্ল্যাসিকাল লজিকে ধরা হয় যে, যদি অ্যাক্সিওম (জ্ঞান) সেট সম্পূর্ণ হয় তাহলে সঠিক সিদ্ধান্ত পরিবর্তিত হয় না, এমনকি যদি তাতে নতুন কোনো অ্যাক্সিওমও সংযোজন করা হয়। এই বৈশিষ্ট্যকে "মনোটোনাস" গুণ বলা হয়। যদি এমনটি হয় যে, নলেজ বেসে এই জাতীয় জ্ঞান সংযোজন করা হয়েছে <<নিয়ম মাফিক পাখি উড়তে পারে (অবশ্য কিছু ব্যতিক্রম আছে)>>, তাহলে সেক্ষেত্রে সিদ্ধান্তের ননমনোটোনাস বৈশিষ্ট্য প্রকাশ পায়। অনেক সময় নতুন অ্যাক্সিওম সংযোজনের ফলে পুরাতন নলেজ বেস বা অ্যাক্সিওমগুলির ভিত্তিতে গৃহীত সিদ্ধান্ত 'অসত্য" হয়ে পড়ে।

একটি চিহ্ন M এর অবতারণা করা যাক, যেন M_p দ্বারা বুঝানো হয় যে, <<লজিক্যাল সূত্র P দ্বন্দ্বহীন (অন্যান্য জ্ঞানের বিচারে)>> (অন্যকথায়, <<M_p "সত্য" হবে, যদি অন্যান্য জ্ঞান থেকে $\neg P$ সিদ্ধান্তটি "সত্য" না হয়, অর্থাৎ "অসত্য" হয়>>। এভাবে <<নিয়মমাফিক পাখি উড়তে পারে (অবশ্য কিছু ব্যতিক্রম আছে)>> জ্ঞানটিকে লজিক্যাল সূত্রের সাহায্যে নিম্নভাবে প্রকাশ করা যায় :

$(\forall x)$ পাখি $(x) \wedge M_{\text{উড়তে পারে}}(x) \supset$ উড়তে পারে (x)

{অর্থ : x পাখি, x উড়তে পারে, যদি 'উড়তে পারা' দ্বন্দ্বমূলক না হয় (অন্য জ্ঞানের সাথে)}

এবার নিম্নলিখিত জ্ঞান সংবলিত অ্যাক্সিওম পদ্ধতিটি লক্ষ্য করা যাক :

$(\forall x)$ পাখি $(x) \wedge M_{\text{উড়তে পারে}}(x) \supset$ উড়তে পারে (x)

$(\forall x)$ পেঙ্গুইন $(x) \supset \neg$ উড়তে পারে (x)

পাখি (পিকোলো)

এই অ্যাক্সিওম পদ্ধতি থেকে সিদ্ধান্ত পাওয়া যেতে পারে যে, <<উড়তে পারে (পিকোলো)>>, অর্থাৎ পিকোলো (পাখিটির নাম) উড়তে পারে। কিন্তু ধরা যাক, কনসেকুয়েন্স হিসেবে আরও ব্যাপক তথ্য পাওয়া গেল যে, পিকোলো হচ্ছে পেঙ্গুইন।

এবার অ্যাক্সিওম পদ্ধতিতে নতুন অ্যাক্সিওম সংযোজিত হলো পেঙ্গুইন (পিকোলো)। তাহলে পূর্বপ্রাপ্ত সিদ্ধান্তটি <<উড়তে পারে (পিকোলো>> অস্বীকৃত হয় এবং নতুন সিদ্ধান্ত গৃহীত হয় <<¬উড়তে পারে (পিকোলো)>>। এটি ননমনোটোনাস সিদ্ধান্তের উদাহরণ। অপূর্ণ জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের ফরমাল পদ্ধতি হিসেবে ননমনোটোনাস লজিক নিয়ে ব্যাপক গবেষণা হচ্ছে। এর জন্য টিপিকাল পদক্ষেপ হিসেবে ম্যাকদেরমোত ও ডোউল এর ননমনোটোনাস লজিক, রেইটারের নীরবতা লজিক, ম্যাকার্থির সারকমসক্রিপশন (circumscription), পরিবেশ-সীমাবদ্ধতা ইত্যাদির নাম উল্লেখযোগ্য। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে বহুল প্রচলিত LISP ভাষার স্রষ্টা ম্যাকার্থির মতে কম্পিউটারের সাহায্যে জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে একটি বৈপ্লবিক পরিবর্তন ঘটানোর প্রয়োজন জ্ঞান পরিসরে কমনসেন্স এর সংযোজনের মাধ্যমে। ফলে ননমনোটোনাস লজিকের সাহায্য ছাড়া এগুনোর উপায় নেই।

মাকদেরমোত ও ডোউল এর ননমনোটোনাস লজিকে ও রেইটারের নীরবতার বা প্রচ্ছন্নতার লজিকে M লজিক্যাল চিহ্নটির অবতারণা হয়েছে যার সাহায্যে M_p অর্থাৎ <<লজিক্যাল সূত্র p দ্বন্দ্বমূলক নয় (অন্যান্য জ্ঞানের সম্পর্কে)>> কথাটি বুঝানো হয়। এই ধরনের জ্ঞানের অবতারণায় যেসব সমস্যার উদ্ভব হয় তাহলো নিম্নরূপ :

ধরা যাক, নলেজ বেস (অ্যাক্সিওম সিস্টেমে) এই জ্ঞানগুলি (লজিক্যাল সূত্রগুলি) $\{M_p \supset \neg q, M_p \supset \neg p\}$ বিদ্যমান। তাহলে সমাধান দুই প্রকারের হতে পারে : {সমাধান যার মধ্যে $\neg p$ আছে, কিন্তু $\neg q$ নেই এবং সমাধান যার মধ্যে $\neg q$ আছে, কিন্তু $\neg p$ নেই} অর্থাৎ সমাধান একার্থিকভাবে নির্ধারিত হয় না। এরফলে এই সিদ্ধান্ত নেয়া সম্ভব নয় যে, $\neg p$ অথবা $\neg q$ সমাধান হবে। এই সমস্যা সমাধানের ব্যাপারে গবেষণা হচ্ছে।

ননমনোটোনাস লজিক সম্পর্কে এখনও পুরাপুরি গবেষণা হয় নি। কিন্তু নীরবতা (প্রচ্ছন্নতা) ফাংশনের মান ইতোমধ্যেই ব্যবহৃত হচ্ছে যেমন, ফ্রেম প্রস্তাবনায়। এসব ক্ষেত্রে এমন একটি পদ্ধতি ব্যবহার করা হয় যার সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণের পদ্ধতি মোতাবেক একার্থিকভাবে মান নির্ণয় করা সম্ভব হয়। উদাহরণস্বরূপ, ৫.১১ চিত্রে একটি ফ্রেম বেস দেয়া হয়েছে এবং প্রশ্ন দেয়া হয়েছে, <<পিকোলো কি উড়তে পারে?>> ; কিন্তু পিকোলো ফ্রেমে <<উড়তে পারে>> এই শব্দটির কোনো ধারণা দেয়া হয় নি, তাই লক্ষ্য করা যাক পেঙ্গুইন ফ্রেমটি যা IS–A এর প্রতি নির্দেশ করছে। তার মধ্যে <<উড়তে পারে না>> এর সংজ্ঞা দেয়া আছে, কাজেই সর্বশেষ উত্তর <<না>>। এখানে অবশ্য নির্দেশক IS–A পাখি ফ্রেমটির প্রতি

নির্দেশ করছে, যেখানে নীরবভাবে বলা হয়েছে <<হ্যাঁ>> কিন্তু অগ্রাধিকার দেয়া হবে পেঙ্গুইন ফ্রেমের স্লটটিকে যেখান থেকে সর্বশেষ নির্দেশনা এসেছিল। IS–A স্লটটি ফ্রেমের উপরের স্তরের প্রতি নির্দেশ করে, যেখান থেকে বৈশিষ্ট্যটির উদ্ভব হয়েছিল।

পাখি

(উড়তে পারে নীরবভাবে : হ্যাঁ)

(ধারণ করে ডানা)

ময়না

(IS–A পাখি)

পেঙ্গুইন

(IS–A পাখি)

(উড়তে পারে না)

পিকোলো

IS–A (পেঙ্গুইন)

চিত্র ৫.১১ : নীরবতার মানসহ ফ্রেম বেসের উদাহরণ।

"সত্যতা" মান ধারণকারী পদ্ধতি অপূর্ণ জ্ঞান ও তাদের পরিচালনা পদ্ধতির সাথে সম্পর্কিত ধরা হয়। এই পদ্ধতিতে নলেজ বেসে সকল অপূর্ণ ও দ্বন্দ্বমূলক জ্ঞানকে দুভাগে ভাগ করা হয়— বিশ্বাসযোগ্য ও অবিশ্বাসযোগ্য জ্ঞান। এই পদ্ধতিতে বিশ্বাসযোগ্য সত্য মানগুলিকে <<IN>> ক্লাসের আওতাভুক্ত করা হয় এবং যেসব সত্যতার মান অবিশ্বাসযোগ্য বা বিশ্বাস করার মতো যথেষ্ট কারণ নেই তাদের <<OUT>> ক্লাসের আওতাভুক্ত করা হয়। যদি নতুন জ্ঞানের সংযোজনের ফলে দ্বন্দ্বের উদ্ভব হয় তবে নতুনভাবে ক্লাস নির্ধারণ করা হয়। এই ধরনের ফাংশন ICO নামক লজিক্যাল প্রোগ্রামিং পদ্ধতিতে ব্যবহার করা হয়েছে এবং তাদের নামকরণ করা হয়েছে কোঅর্ডিনেশন ফাংশন ও জ্ঞানের ইকুইলিব্রিয়াম বা ভারসাম্যতা রক্ষার ফাংশন হিসেবে।

৫.১৬ নীরবতা লজিক

ননমনোটোনাস লজিকের উদাহরণ হিসেবে রেইটারের নীরবতা লজিকের বিচার করা যেতে পারে। ম্যাকডেরমোত ও ডোউলের ননমনোটোনাস লজিকে M চিহ্নসহ অ্যাটোমিক সূত্রগুলিকে সঠিকভাবে তৈরি সূত্রগুলির (সতফ) যেকোনো স্থানেই লেখা যেতে পারে কিন্তু

রেইটারের নীরবতার লজিকে যেগুলি কেবল সিদ্ধান্ত রুলের পূর্বশর্তে ব্যবহৃত হয়। নিম্নলিখিত সূত্রটিকে বিচার করা যাক :

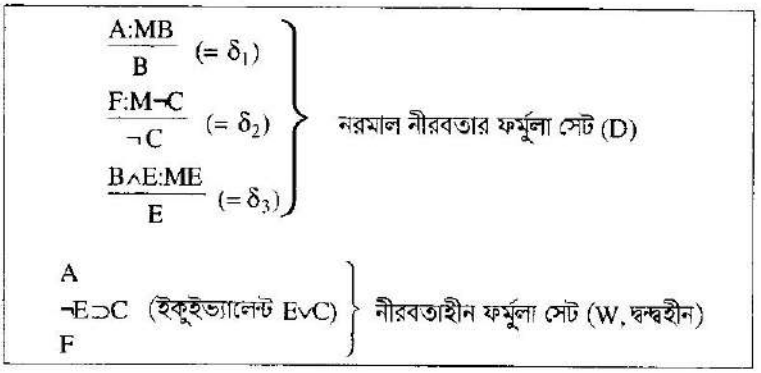
$$\frac{\text{পাখি } (x) : M_{\text{উড়তে পারে}}\ (x)}{\text{উড়তে পারে } (x)}$$

সূত্রটি দ্বারা বুঝানো হচ্ছে যে, < < পাখি (x) ∧ M উড়তে পারে (x)⊃ উড়তে পারে (x) > > অর্থাৎ < < x হচ্ছে পাখি, x উড়তে পারে যদি তা অন্যান্য জ্ঞানের সাথে দ্বন্দ্বমূলক না হয় > >। রুলটির পূর্বশর্ত লাইনের উপরে লেখা আছে এবং তা ":" এই চিহ্ন দ্বারা দুভাগে বিভক্ত— M চিহ্নসহ সূত্র ও M চিহ্ন ব্যতিরেকে সূত্র। এভাবে M চিহ্নসহ সূত্রটির অবস্থানের উপর সীমাবদ্ধতা আরোপ করা হয়েছে। ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, এক্ষেত্রে কয়েকটি সমাধানের উদ্ভব হয় এবং এ অবস্থায় একার্থিকভাবে সমাধান নির্ণয় করা সম্ভব হয় না। কোনো একটি সমাধানকে সম্ভার ওয়ার্ল্ডগুলির মধ্যে সঙ্গতিপূর্ণ একটি ওয়ার্ল্ড হিসেবে ধরা হয় এবং তাকে বলা হয় "বর্ধিত (extended) অ্যাক্সিওম" পদ্ধতি। এক সমাধান থেকে অন্য সমাধানে স্থান পরিবর্তনকে সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডগুলির মধ্যে স্থান পরিবর্তন হিসেবে ধরা হবে। M চিহ্নসহ সিদ্ধান্তগুলিকে সংক্ষেপে নীরবতার রুল বলা হয়। এটির সাধারণ সূত্র হলো :

$$\frac{\alpha(x) : M\beta\ (x)}{\beta\ (x)}$$

যে অনুলিখনে পূর্বশর্তে M চিহ্নের পরবর্তী সূত্রটি সিদ্ধান্ত সূত্রের অনুরূপ, তাকে বলা হয় "আবদ্ধ নর্মাল নীরবতা"। যদি সকল নীরবতাই আবদ্ধ নরমাল নীরবতা হয় তবে দেখানো যেতে পারে যে, এই জ্ঞান পদ্ধতিতে অন্ততঃপক্ষে একটি extension বা বর্ধিত ওয়ার্ল্ড বিদ্যমান।

রেইটার সেই প্রমাণ প্রসিডিউরটি নির্ণয় করেন, যার সাহায্যে নির্ধারণ করা যায় যে, নর্মাল নীরবতা ধারণাকারী কোনো বর্ধিত (extended) পদ্ধতিতে কোনো সূত্র কার্যকর হয় কি না (অর্থাৎ এমন কোনো উপপাদ্য আছে কিনা, যা এই পদ্ধতি থেকে নির্ধারণ করা যায়)। সুপ্রকাশনা লজিকের জন্য এই প্রসিডিউরটি বের করা যাক। ধরা যাক, নর্মাল নীরবতা ধারণকারী পদ্ধতিটি নিচের চিত্রের সাহায্যে অনুলিখন সম্ভব যেখানে, D নর্মাল নীরবতার সূত্রের সেট, W নীরবতাহীন সূত্রগুলির সেট, (D,W) প্রদত্ত পদ্ধতি। আমরা দেখব সূত্র E কোনো একটি বর্ধনে (extension) কার্যকর হয় কিনা।



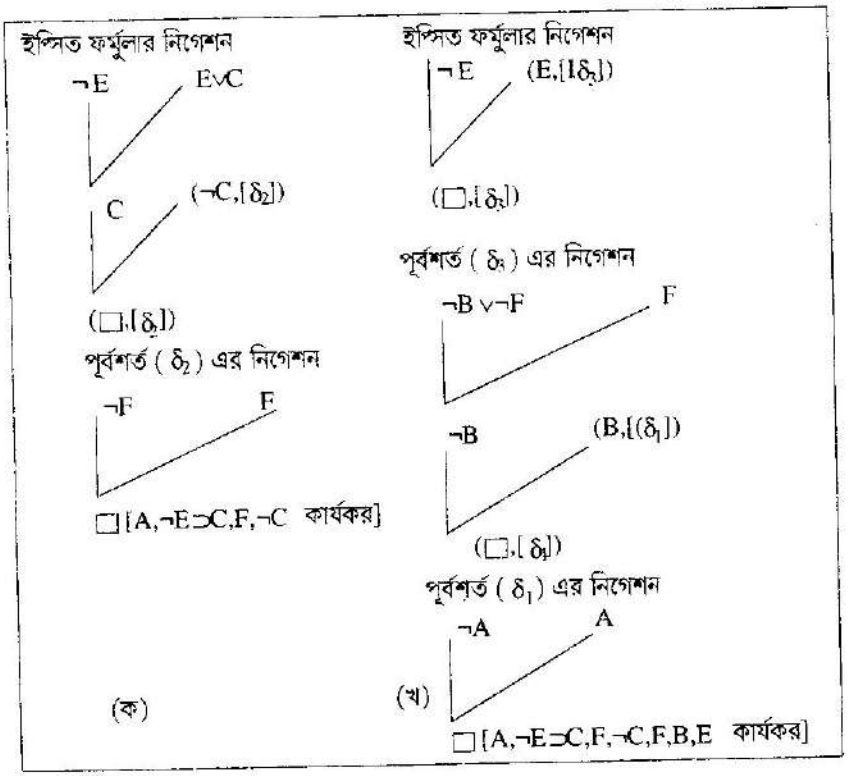
চিত্র ৫.১২ : নরমাল নীরবতা ধারণকারী পদ্ধতির উদাহরণ— (D, W) সমষ্টিগতভাবে নির্ধারিত হয়।

বিপরীত নীতি (দ্বন্দ নীতি) অনুযায়ী টপ-ডাউন লিনিয়ার সিদ্ধান্ত পদ্ধতি ব্যবহার দ্বারা ধরা যাক যদি প্রদত্ত সূত্রের নিগেশন ¬ E এর মান সত্য হয় তাহলে এক্ষেত্রে দ্বন্দ্বের সৃষ্টি হয় (যদি অ্যাবসার্ড প্রমাণ পদ্ধতিতে অবতারণা হয় তবে লজিক্যাল ফলাফল হিসেবে ধরা হয় যে, কোনো একটি বর্ধনে E কার্যকর হয়)। নিচে এই পদ্ধতিটির মূল ধাপগুলি অনুলিখিত হলো। " : " চিহ্নের বামপার্শ্বে M চিহ্ন দ্বারা লজিক্যাল সূত্রগুলিকে পূর্বশর্তের নীরবতা সেট (D_i) এর মধ্যে পূর্বশর্ত(D_i) ($i = 0,1, 2,.....u$) দ্বারা চিহ্নিত করা হলো এবং সিদ্ধান্ত-সূত্রগুলিকে সিদ্ধান্ত(D_i) দ্বারা চিহ্নিত বা প্রকাশ করা হলো।

সর্বপ্রথমে D সেটের সাবসেট (D_0) ও W সেটকে বিবেচেনা করি ও দ্বন্দ্ব পদ্ধতির সাহায্যে প্রমাণ করার চেষ্টা করি যে, E কে $W \cup$ সিদ্ধান্ত (D_0) থেকে বের করা যায়।

এই ক্ষেত্রে পূর্বশর্ত (D_0) কে সত্য হতে হবে। কাজেই ধরি (D_1) হচ্ছে D সেটের একটি সাবসেট এবং একই পদ্ধতির সাহায্যে প্রমাণ করি যে, পূর্বশর্ত (D_0) কে $W \cup$ সিদ্ধান্ত (D_1) থেকে বের করা যাবে।

এভাবে ক্রমান্বয়ে প্রমাণ করা হবে যে, পূর্বশর্ত (D_1) কে $W \cup$ সিদ্ধান্ত (D_2) থেকে বের করা যাবে। এই ক্রমিক প্রমাণ পদ্ধতি ততক্ষণ পর্যন্ত চালানো হবে যতক্ষণ পর্যন্ত না $D_k = 0$ (শূন্য সেট) পাওয়া যায়।



চিত্র ৫.১৩ : পূর্বের ৫.১২ চিত্রে প্রদর্শিত পদ্ধতিতে E কার্যকরভাবে অন্তর্ভুক্ত—এটির প্রমাণ। (β, {δ}), এটির অর্থ সিদ্ধান্ত β তে নীরবতা δ ব্যবহার করা হয়েছে।

সবশেষে এই সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায় যে, $W \cup U_{i=0}^{k} = 0$ সিদ্ধান্ত (D_i) দ্বন্দ্বমূলক নয় বা তা কার্যকর। যদি এটি তাই হয় তবে প্রমাণ করা যেতে পারে যে, ইপ্সিত সূত্রটি কোনো একটি সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডের অন্তর্ভুক্ত। ৫.১৩ (ক,খ) চিত্রে এভাবে প্রমাণ পদ্ধতির দুটি ধাপ দেখানো হয়েছে, যেখানে E কে ৫.১২ চিত্রের সম্ভাব্য ওয়ার্ল্ডে দেখানো হয়েছে।

ননমনোটোনাস লজিক এবং নীরবতা লজিক বহুবিধ সমস্যাবদ্ধ হলেও অসম্পূর্ণ জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে তাদের ভূমিকা অনস্বীকার্য, তাই তা যথেষ্ট আগ্রহ সহকারে গবেষণা করা হচ্ছে।

৫.১৭ ফাজি সেট

আমরা যখন বলি, একটি মানুষ << বৃদ্ধ >> তখন এটি দ্বারা সুস্পষ্টভাবে বুঝা যায় না, তার বয়স কত, ৫০/৬০ বা তারও বেশি। কোনো সীমামান ছাড়া জ্ঞানকে প্রক্রিয়াকরণের

জন্য বিখ্যাত বিজ্ঞানী জাদে ১৯৬৫ সালে ফাজি সেট উপপাদ্যের অবতারণা করেন এবং ক্রমান্বয়ে তার উপর ব্যাপক গবেষণা চলতে থাকে। ফাজি সেটের ভিত্তিতে রুল দ্বারা গৃহীত ফাজি সিদ্ধান্ত গ্রহণের পদ্ধতি জ্ঞান-প্রযুক্তিতে ইতোমধ্যেই ব্যাপক জনপ্রিয়তা লাভ করেছে। এই অধ্যায়ে আমরা ফাজি সেটের ধারণা নিয়ে আলোচনা করবো।

ফাজি সেট চিহ্নকরণ ও অন্তর্ভুক্তি ফাংশন

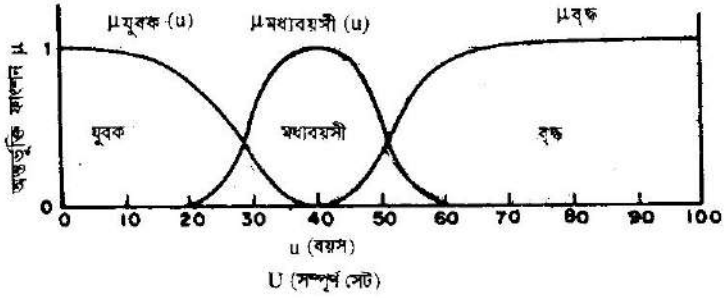
ধরা যাক, U হচ্ছে একটি সম্পূর্ণ সেট যা দ্বারা সকল সমস্যা ক্ষেত্র প্রস্তাবিত হয়। সাধারণত কোনো ফাজি সেটকে তার নাম চিহ্নের উপরে বা নিচে "~" চিহ্নটি দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। অর্থাৎ U যদি একটি সাধারণ সেট হয় তবে ফাজি সেটকে $\tilde{U}$ দ্বারা চিহ্নিত করা হবে। ফাজি সেটকে প্রকৃতপক্ষে সাধারণ সেটের সাবসেট হিসেবে বিচার করা যেতে পারে।

U সেটের ফাজি সাবসেট $\tilde{F}$ কে তার "অন্তর্ভুক্তি ফাংশন" $\mu_F(u)$ দ্বারা মূল্যায়ন করা হয় (এখানে u হচ্ছে U এর একটি এলিমেন্ট বা $u \varepsilon U$)। $\mu_F(u)$ এর মান। [0, 1] এই ইন্টারভেলে সীমাবদ্ধ থাকে। অন্তর্ভুক্তি ফাংশন $\mu_F(u)$ দ্বারা এই কথাটিই প্রকাশ করা হয় যে, u এলিমেন্টটির ফাজি সাবসেট $\tilde{F}$ এর মধ্যে অন্তর্ভুক্ত থাকার সম্ভাবনা কতটুকু।

যদি সম্পূর্ণ সেট U সীমিত সংখ্যক এলিমেন্ট $u_1, u_2, u_3, \ldots, u_n$ দ্বারা গঠিত হয় তবে তার ফাজি সাবসেট $\tilde{F}$ কে নিম্ন উপায়ে প্রকাশ করা যেতে পারে :

$$\tilde{F} = \mu_F(u_1) \mid u_1 + \mu_F(u_2) \mid + u_2 + \ldots + \mu_F(u_n) = \sum_{i=1}^{n} \mu_F(u_i) \mid u_i \qquad (৫.৩১)$$

এখানে " + ", "Σ", " | " সাধারণ অ্যালজেবরাতে ব্যবহৃত অর্থে অনুরূপ নয়। "+" চিহ্নটি দ্বারা এখানে বুঝানো হচ্ছে সংযোগ, "Σ" দ্বারা বুঝানো হচ্ছে এলিমেন্টগুলির সমন্বয় আর " | " দ্বারা বুঝানো হচ্ছে যে, এলিমেন্টটির সাথে অন্তর্ভুক্তি ফাংশন সংযুক্ত। যদি U সেটটি অবিচ্ছিন্ন এলিমেন্টগুলি দ্বারা গঠিত হয় তবে তাকে "∫"এর ইন্টিগ্রাল চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ফাজি সেটের ধারণায় "Σ" ও "∫"চিহ্ন দ্বারা প্রস্তাবিত প্রকাশনাটিকে অনেক সময় একটি ভেক্টর হিসেবে বিবেচনা করা হয়।



চিত্র ৫.১৪ : ফাজি সেট ও অন্তর্ভুক্তি ফাংশন।

DAIRY DU LIBRARY

উপরের চিত্রানুসারে বয়সের কন্টিনিউয়াস সেট U এর ফাজি সাবসেট $\tilde{F}$ কে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

$$F = \int_U \mu_F(u) \mid u \qquad (৫.৩২)$$

তবে ফাজি সেটের সাহায্যে প্রস্তাবিত জ্ঞানকে গাণিতিকভাবে প্রক্রিয়াকরণের জন্য তাকে বিচ্ছিন্নভাবে "Σ" চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা বেশি সুবিধাজনক।

উদাহরণস্বরূপ, ধরা যাক 0 থেকে ১০০ বছর বয়সী সকল ব্যক্তির সেটটি একটি সম্পূর্ণ সেট। এই সেটে ফাজি সাবসেট "যুবক", "মধ্যবয়সী" ও "বৃদ্ধ" এই বয়সগুলির অন্তর্ভুক্তি ফাংশন অবিচ্ছিন্ন ফাংশন হিসেবে ৫.১৪ চিত্রে দেখানো হয়েছে। যদি ১০ বছরের ইন্টারভেলে এই ফাজি সাবসেটগুলিকে প্রকাশ করা যায় তবে তাদের ভেক্টরগুলিতে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

$$\text{যুবক} = \mu_{\text{যুবক}}(u) = 0 \mid 0 + 0.5 \mid 10 + 1 \mid 20 + 0.5 \mid 30 \qquad (৫.৩৩)$$

$$\text{মধ্যবয়সী} = \mu_{\text{মধ্যবয়সী}}(u) = 0.5 \mid 30 + 1 \mid 40 + 0.5 \mid 50 \qquad (৫.৩৪)$$

$$\text{বৃদ্ধ} = \mu_{\text{বৃদ্ধ}} = 0.4 \mid 50 + 0.8 \mid 60 + 1 \mid 70 + 1 \mid 80 + 1 \mid 90 \qquad (৫.৩৫)$$

এই ভেক্টরগুলিতে যেসব এলিমেন্টের অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের মান 0 সেগুলিকে লেখা হয় নি। যেমন, যুবক = $\mu_{\text{যুবক}}(u) = \ldots + 0 \mid 40 + 0 \mid 60 + 0 \mid 70 \ldots$ লেখা হয় নি। এখানে উল্লেখ্য যে, উপরে উল্লিখিত ভেক্টরগুলিকে জ্ঞান প্রস্তাবনায় লিঙ্গুইস্টিক মডেলে লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এ সম্বন্ধে পরবর্তীতে বিশদভাবে আলোচনা করা হয়েছে।

এবারের ফাজি সেটের কমপ্লিমেন্ট, ইউনিফিকেশন ও ডিসেকশন সম্বন্ধে ধারণা দেয়া যাক।

(১) সেটের কমপ্লিমেন্ট :

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^{n} (1 - \mu_F(u_i)) \mid u_i \quad \text{অথবা} \quad \mu_{\bar{F}}(u) = 1 - \mu_F(u) \qquad (৫.৩৬)$$

(২) সেটের ইউনিফিকেশন :

$$F \cup G = \sum_{i=1}^{n} (\mu_F(u_i) \vee \mu_G(u_i)) \mid u_i \quad \text{অথবা} \quad \mu_{F \cup G} = \mu_F(u) \vee \mu_G(u) \qquad (৫.৩৭)$$

এখানে $\vee$ দ্বারা সেই অপারেশনটি করা হয় যাতে $\mu_F(u)$ ও $\mu_G(u)$ এর মধ্যে যেটি অপেক্ষাকৃত বড় সেটিকেই গ্রহণ করা হয়।

(৩) সেট ডিসেকশন :

$$F \cap G = \sum_{i=1}^{n} (\mu_F(u_i) \wedge \mu_G(u_i)) \mid u_i$$

অথবা $\mu_{F \cap G}(u) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(u)$ (৫.৩৮)

এখানে $\wedge$ চিহ্নটি দ্বারা অপেক্ষাকৃত কম বা মিনিমাম মানটি গ্রহণ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, পূর্বে প্রদত্ত "যুবক" ও "মধ্যবয়সী" ফাজি সেট দুটির ক্ষেত্রে।

$$\overline{\text{যুবক}} = \mu_{\overline{\text{যুবক}}}(u) = 0 \mid 20 + 0.5 \mid 30 + 1 \mid 40 + 1 \mid 50 + 1 \mid 60 + 1 \mid 70 + 1 \mid 80 + 1 \mid 90 \qquad (৫.৩৯)$$

$$(\text{যুবক} \cup \text{মধ্যবয়সী}) = \mu_{\text{যুবক} \cup \text{মধ্যবয়সী}}(u) = 0 \mid 0 + 0.5 \mid 10 + 1.0 \mid 20 + 0.5 \mid 30 + + 1 \mid 40 + 0.5 \mid 50 + 0 \mid 60 + 0 \mid 70 + 0 + 80 + 0 \mid 90... \qquad (৫.৪০)$$

$$(\text{যুবক} \cap \text{মধ্যবয়েসী}) = \mu_{\text{যুবক} \cap \text{মধ্যবয়েসী}}(u) = 0.5 \mid 30 \qquad (৫.৪১)$$

৫.১৮ ফাজি রিলেশন

ফাজি সিদ্ধান্ত সেটগুলির মধ্যে ফাজি সম্পর্কের সাহায্যে গৃহীত হয়। একটি সমস্যা পরিসর (পূর্ণ সেট U) ও অন্য একটি সমস্যা পরিসর (পূর্ণ সেট V) এর মধ্যে ফাজি সম্পর্ক R বলতে বুঝায় U ও V এর সরাসরি গুণফল U × V হিসেবে প্রাপ্ত ফাজি সাবসেটটিকে। অর্থাৎ

$$R = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{I} \mu_k(u_i, v_j) \mid (u_i, v_j) \qquad (৫.৪২)$$

এখানে $U = \{u_1, u_2, \ldots, u_i\}$ এবং $V = \{v_1, v_2, \ldots, v_m\}$

ধরা যাক, ফাজি সেট $F (\subset U)$ এবং $G(\subset V)$ এর মধ্যে নলেজ-রুল সম্পর্ক $<<$ যদি U হয় তবে V হবে $>>$ বিদ্যমান। তাহলে পূর্ণ সেট U এর সাথে পূর্ণ সেট V এর ফাজি সম্পর্ক নির্ধারণ করা হয় নিম্নরূপভাবে :

$$R = F \times G = = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{I} (\mu_F(u_i) \wedge \mu_G(v_i)) \mid (u_i, v_i)$$

অথবা $$\mu_R(u,v) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(v) \qquad (৫.৪৩)$$

এভাবে ফাজি সম্পর্ক নির্ধারণের আরও অন্য ধরনের পদ্ধতি বিদ্যমান। যেমন,

$$R_c(v) = R_F(u) \circ R_G(v) = \max_u(\min)(\mu_F(u), \mu_G(v)))$$

উদাহরণ : ধরা যাক, U এবং V হচ্ছে ১ থেকে ৪ পর্যন্ত প্রাকৃতিক সংখ্যাগুলির সেট। এবারে আমরা দুটি ফাজি সেট "F = ছোট" এবং "G = বড়" নিম্ন উপায়ে সংজ্ঞায়িত করবো :

$$U = V = \{1,2,3,4,\}$$

$$F = \text{ছোট} = 1 \mid 1 + 0.6 \mid 2 + 0.1 \mid 3 + 0 \mid 4 \qquad (৫.৪৪)$$

$$G = \text{বড়} = 0 \mid 1 + 0.1 \mid 2 + 0.6 \mid 3 + 1 \mid 4 \qquad (৫.৪৫)$$

যদি এই নলেজ রুলটি দেয়া থাকে যে, $<<$ যদি U ছোট হয় তবে V বড় হবে $>>$ বা $F \Rightarrow G$, তাহলে সেট দুটির মধ্যে ফাজি সম্পর্ক নিম্ন উপায়ে তৈরি করা যেতে পারে :

$$R = \begin{array}{ccccc} u_i/v_i & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & 0.1 & 0.6 & 1 \\ 2 & 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 3 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \qquad (৫.৪৬)$$

এখানে ম্যাট্রিক্সের (u_i, v_i) এলিমেন্টগুলি পূর্বপ্রদত্ত (৫.৪৩) সম্পর্ক অনুসারে (৫.৪৪) ও (৫.৪৫) সেটগুলির এলিমেন্ট থেকে গঠন করা হয়েছে।

ফাজি সেট তত্ত্বে ফাজি সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য শৃংখলাবদ্ধ রুলের ক্ষেত্রে max–min অপারেশনের ব্যবহার করা হয়। ধরা যাক, R হচ্ছে U পরিসরের V পরিসরে ফাজি সম্পর্ক এবং S হচ্ছে U পরিসরের সম্পূর্ণ সেট W পরিসরে ফাজি সম্পর্ক। তাহলে U পরিসরের W পরিসরে ফাজি সম্পর্ক নির্ধারণ করা হয় নিম্ন উপায়ে :

$$R \circ S = \sum_{i=1}^{l} \sum_{ikl}^{n} \bigvee_{v_j \in v} (\mu_R(u_i, v_i)) \wedge \mu_s(v_j, w_k)) / (u_i, w_k) \qquad (৫.৪৭)$$

"$\circ$" দ্বারা max–min সম্পর্ক ডান দিক থেকে নির্ণয় করা হয় অর্থাৎ প্রথমে সম্পর্ক "$\wedge$" বা min এবং তারপর সম্পর্ক "$\vee$" বা max কার্যকর করা হয়। max–min অপারেশনের দ্বারা সিদ্ধান্ত নির্ণয় প্রক্রিয়াকে অনেক সময় 'কম্পোজিশন রুল" বলা হয়।

উদাহরণস্বরূপ, W={1,2,3,4) এই পূর্ণ সেটের জন্য দুটি ফাজি সাবসেট "$\tilde{F}(\subset V)$ = ছোট–নয়" এবং "$H (\subset W)$= খুব–বড়" নিম্নভাবে নির্ধারণ করা হলো :

$$\tilde{F} = \text{ছোট–নয়} = 0 \,|\, 1 + 0.4 \,|\, 2 + 0.9 \,|\, 3 + 1 \,|\, 4 \qquad (৫.৪৮)$$

$$H = \text{খুব–বড়} = 0 \,|\, 1 + 0 \,|\, 2 + 0.5 \,|\, 3 + 1 \,|\, 4 \qquad (৫.৪৯)$$

এখন যদি এই নলেজ–রুল সম্পর্কটি দেয়া থাকে যে,

$<<$ যদি হয় v "ছোট–নয়" তবে W হবে "খুব–বড়" $>>$ (বা $\tilde{F} \Rightarrow \tilde{H}$), তাহলে (৫.৪৩) সূত্র অনুযায়ী v থেকে w এর মধ্যে ফাজি সম্পর্ক নিম্নভাবে নির্ণয় করা যায় :

$$S = \begin{array}{ccccc} V_i/W_k & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0.4 & 0.4 \\ 3 & 0 & 0 & 0.5 & 0.9 \\ 4 & 0 & 0 & 0.5 & 1 \end{array} \qquad (৫.৫০)$$

যদি (৫.৪৭) সূত্র অনুসারে max–min অপারেশনটি ফাজি সম্পর্ক (৫.৪৬) এর উপর সম্পন্ন করা হয় তবে

<< যদি u ছোট হয় তবে v বড় হবে > > এবং

<<যদি v ছোট–নয় হয় তবে w খুব–বড় হবে>>

এই সম্পর্ক দুটির ভিত্তিতে W এর মধ্যে U এর ফাজি সম্পর্ক নিম্নলিখিতভাবে তৈরি করা যায়,

$$\text{RoS} = \bigvee_{v \in V} \{ \mu_R (u, v) \wedge \mu_s (V, W) \}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 1 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0.3 & 1 \end{bmatrix} = \qquad (৫.৫১)$$

$$W_k \rightarrow$$

$$= u_i \downarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

৫.১৯ ফাজি সিদ্ধান্ত

ট্রাডিশনাল ডিডাকটিভ সিদ্ধান্ত (তথাকথিত মডুস–পোনেন $P \Rightarrow Q$ রুল অনুসারে P ফ্যাক্ট থেকে Q সিদ্ধান্ত নির্ধারণ করা) অনুলিখিত হয় নিম্ন উপায়ে :

$$\frac{\begin{array}{l} P \Rightarrow Q \\ P \end{array}}{Q}$$

যদি নলেজ ফাজি সেট (F, G, F′, G′ হয় তবে ফাজি ডিডাকটিভ সিদ্ধান্তের ক্ষেত্রেও উপরিউক্ত প্রকাশনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয় অর্থাৎ $F \Rightarrow G$ রুল অনুসারে F′ থেকে G′ নির্ধারণের পদ্ধতিকে নিম্নোক্তভাবে লেখা হয়।

$$\frac{\begin{array}{l} F \Rightarrow G \\ F' \end{array}}{G'}$$

এই লিখন পদ্ধতিতে একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান ; F ও F′ সেটগুলিকে সমান হতে হবে এমন কথা নেই। যদি F ও F′ মোটামুটি কাছাকাছি মানের হয়, তাহলে তাদের প্রায় সমান ধরা যেতে পারে এবং তাদের সমতাক্ষেত্রে G′ সিদ্ধান্তটি গ্রহণ করা যেতে পারে। যথাযথভাবে ফাজি সিদ্ধান্ত নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা হয়।

সর্বপ্রথমে F⇒G রুলটি দ্বারা ফাজি সম্পর্ক নির্ণয় করা যাক। ইতোমধ্যেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, এক ধরনের পদ্ধতি হলো (৫.৪৩) সমীকরণটি ব্যবহারের অনুরূপ। কিন্তু শৃংখলাবদ্ধ রুল-সমষ্টির ক্ষেত্রে max–min অপারেশন ব্যবহার করা হয়। ফাজি সেট F′ থেকে R সম্পর্কের দ্বারা G′ সিদ্ধান্ত নির্ধারিত হয় :

$$G' = F' \circ R = \sum_{i=1}^{m} \bigvee_{u_i \in U} (\mu_{F'}(u_i) \wedge \mu_R(u_i, v_j))/V_j \qquad (৫.৫২)$$

এখানে $F, F' \subset U, G, G' \subset (V=\{v_1, v_2, \ldots, v_m\})$

এবারে সুনির্দিষ্ট উদাহরণ লক্ষ্য করা যেতে পারে। পূর্ববর্তী উদাহরণের ন্যায় ধরা যাক,

উদাহরণ-১

$$U = V\ \{1,2,3,4\}$$

$$F(\subset U) = \text{ছোট} = 1/1 + 0.6/2 + 0.1/3 + 0/4 \qquad (৫.৫৩)$$

$$G(\subset V) = \text{বড়} = 0/1 + 0.1/2 + 0.6/3 + 1/4 \qquad (৫.৫৪)$$

এছাড়াও ধরা যাক,

$$F' = \text{প্রায় } 2 = 0.3/1 + 0.1/2 + 0.3/3 + 0/4 \qquad (৫.৫৫)$$

প্রদত্ত শর্তগুলি হলো :

<< যদি u ছোট হয় তবে v বড় হবে >>, (F⇒ G)

<< u প্রায় 2>>, (F′)

নির্ণয় করতে হবে << v কি? >>।

উপরের শর্তগুলি থেকে V ক্ষেত্রে U সেটে R সম্পর্কটি (৫.৪৩) সমীকরণটির সাহায্যে নির্ণয় করা যায় :

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 1 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad (৫.৫৬)$$

এবার (৫.৫২) সমীকরণের সাহায্যে max–min পদ্ধতিতে G′ সিদ্ধান্তটি নির্ণয় করা যাক :

$$G' = F' \circ R = [0.3\ \ 1\ \ 0.3\ \ 0] \circ \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 1 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad (৫.৫৭)$$

$$= [0\ \ 0.1\ \ 0.6\ \ 0.6]$$

এখানে $F' = 0.3 \mid 1 + 1 \mid 2 + 0.3 \mid 3 + 0 \mid 4$ কে ম্যাট্রিক্স [0.3 1 0.3 0] হিসেবে ব্যবহার করা হয়েছে। প্রাপ্ত ম্যাট্রিক্সে G′ এর j-তম এলিমেন্টগুলি V_j এর অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের মান প্রকাশ করে।

নির্ণীত হলো << v হচ্ছে G >> যেখানে

$$G' = 0 \mid 1 + 0.1 \mid 2 + 0.6 \mid 3 + 0.6 \mid 4$$

অন্যকথায় বললে বলতে হয় G′ হলো "মোটামুটি-বড়"। এভাবে আমরা ফাজি সেট ও সিদ্ধান্তের সাহায্যে মোটামুটি সঠিক সিদ্ধান্ত গ্রহণ করতে পারি।

উদাহরণ-২

যদি এই ফাজি নলেজ সম্পর্কটি দেয়া থাকে :

$\widetilde{R}$ = << প্রায় সমান >>

R: V \ U	1	2	3	4
1	1	.5	0	0
2	.5	1	.5	0
3	0	.5	1	.5
4	0	0	.5	1

F = ছোট = $1 \mid 1 + 0.6 \mid 2 + 0.1 \mid 3 + 0 \mid 4$

তাহলে max-min কম্পোজিশন রুল ব্যবহার করে নিচের উপায়ে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় :

$$R_c(V) = \max_u (\min (\mu_F(u), \mu_G(v)))$$

$$= \max_u \ (\min [(1,1), (.6,.5), (.1,0), (0,0)],$$
$$\min [(1,.5), (.6,1), (.1,.5), (0,0)],$$
$$\min [(1,0), (.6,.5), (.1,1), (0,.5)],$$
$$\min [(1,.0), (.6,0), (.1,.5), (0,1)])$$

$$= \max_u ([1,.5,0,0], [.5,.6,.1,0], [0,.5,.1,0], [0,0,.1,0])$$

$$= ([1], [.6], [.5], [.1])$$

অতএব সিদ্ধান্ত হিসেবে পাওয়া গেল—

$$R_c(V) = \{(1 | 1) + (.6 | 2) + (.5 | 3) + (.1 | 4)\}$$

ফাজি মডুস পোনেন্স অনুযায়ী এই সিদ্ধান্তটি নিম্নরূপ হতে পারে :

পূর্বশর্ত : F হচ্ছে ছোট

ইমপ্লিকেশন : F এবং G প্রায় সমান

সিদ্ধান্ত : G হচ্ছে কম বেশি ছোট

উপসংহার

উপরে অনির্দিষ্ট জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের বিভিন্ন পদ্ধতি ও দিক নিয়ে আলোচনা করা হলো। অবশ্য এই পদ্ধতিগুলির যথাযথ সূত্রীবদ্ধ করা সম্ভব নয়। কারণ, জ্ঞানের অনিশ্চয়তা বৈশিষ্ট্য দূরীকরণে ঠিক কোন পদ্ধতি বেশি প্রযোজ্য তা বলা বেশ কঠিন। কোনো বিশেষ উদাহরণ বা হয়রিস্টিক জ্ঞানের সাহায্যে নির্ধারণ করা যায়। তবে বিভিন্ন জাতীয় অনিশ্চিত জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের কোনো ইউনিফাইড বা একক পদ্ধতি এখনও তৈরি করা সম্ভব হয় নি। এ পর্যন্ত আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে অনিশ্চিত জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণের জন্য কেবল ডিডাকটিভ সিদ্ধান্ত পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়েছে, কিন্তু ভবিষ্যতে ইনডাকটিভ সিদ্ধান্ত পদ্ধতি ব্যবহারের সম্ভাবনা নিয়েও গবেষণার প্রয়োজন আছে।

৫.২০ লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল ও তার ব্যবহার

লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল বলতে আমরা সেসব মানকে বুঝাবো যা কোনো শব্দ বা বাক্য দ্বারা প্রকাশ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, "বয়স" যদি সাংখ্যিক মান গ্রহণ না করে কোনো লিঙ্গুইস্টিক মান গ্রহণ করে তবে তাকে আমরা লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল বলতে পারি। এক্ষেত্রে "বয়স" লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলটির নিম্নলিখিত লিঙ্গুইস্টিক মান গ্রহণ করতে পারে :

"বয়স" = {শিশু, শিশু-নয়, যুবক, যুবক-নয়, মধ্যবয়সী, মধ্যবয়সী-নয়, বৃদ্ধ, বৃদ্ধ-নয়, অতিবৃদ্ধ}

ফরমালভাবে লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলকে সমষ্টিগতভাবে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$(X, T(X), U, G, M)$$

এখানে X ভ্যারিয়েবলের মান ; T(X) হলো X এর টার্মগুলির সেট ; U হলো ইউনিভার্সেল সেট ; G হলো টার্ম সেট T (X) এর টার্মগুলি গঠনের সিন্টাক্স ; M, প্রতিটি লিঙ্গুইস্টিক মান X এর সাথে সঙ্গতিপূর্ণ অর্থ M(X) এর সিমান্টিক রুল যেখানে M(X) দ্বারা U সেটের ফাজি সাবসেটকে চিহ্নিত করা যায়।

লিঙ্গুইস্টিক মান X কে U এর এলিমেন্ট u গুলির অন্তর্ভুক্তির ফাংশন μ [0,1] দ্বারা প্রকাশ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, "বয়স" নামক লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলটির টার্ম "যুবক" এর জন্য ২৭ বছর এর অন্তর্ভুক্তি ফাংশন ০.৭। কিন্তু এই ভ্যারিয়েবলটির সাংখ্যিক মান ৩৫ বছরের জন্য অন্তর্ভুক্তি ফাংশন ০.২। সিমান্টিক রুল হিসেবে লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের টার্মগুলিকে ভ্যারিয়েবলটির বিভিন্ন ধাপ হিসেবে ধরা যেতে পারে, যেমন এই সিমান্টিক্স অনুযায়ী "বয়স" এর টার্ম শিশু, যুবক বা বৃদ্ধ হতে পারে ; আবার বৃদ্ধ, অতি-বৃদ্ধ, অতি-যুবক, যুবক-নয় ইত্যাদি টার্মগুলিকেও বিচার করা যেতে পারে।

আধুনিক বিজ্ঞানের একটি মূলনীতি হলো যে, কোনো ঘটনা যথাযথভাবে প্রস্তাবিত হয় না, যতক্ষণ পর্যন্ত না তাদের সংখ্যিক মান দ্বারা প্রকাশ করা সম্ভব হয়। এ জাতীয় বৈজ্ঞানিক দৃষ্টিভঙ্গি থেকেই বিভিন্ন অবস্থা, ঘটনার পরিমাণগত মান নির্ণয়ার্থে বিভিন্ন গাণিতিক মডেলের সৃষ্টি করা হয়। তাই কম্পিউটারের গঠন প্রণালিতেও এই যথাযথ সাংখ্যিক মান নির্ণয়ের ক্ষমতার উপরই জোর দেয়া হয়। এটি অনস্বীকার্য যে, কম্পিউটারের সাহায্যে মেকানিক্স, ফিজিক্স, রসায়নবিদ্যা, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক জাতীয় সমস্যার মেকানিক্যাল পদ্ধতিতে বুদ্ধিমত্তার ব্যবহার করা হয় এবং তা যথেষ্ট সফল হয়। কিন্তু মানববিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় উপরিউক্ত পদ্ধতিতে বা উদ্দেশ্যে কম্পিউটারের ব্যবহার ততোটুকু সফল নয়। দর্শন, সাহিত্য, আইন, সমাজবিজ্ঞান, রাজনীতি ইত্যাদি শাখায় কম্পিউটারের ব্যবহার এ কারণে সীমাবদ্ধভাবে অত্যন্ত কম। মনুষ্য বুদ্ধিমত্তার মডেল তৈরিতে কম্পিউটার আজও আদিম পর্যায়ে বিদ্যমান। অবশ্য অধুনা আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সের বিভিন্ন গবেষণায় এই সীমাবদ্ধতা দূরীকরণের প্রচেষ্টা যথেষ্ট প্রবল।

মানবিকবিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় কম্পিউটারের ব্যবহারের সীমাবদ্ধতার কারণ, ঐ জ্ঞান শাখাগুলি হলো অত্যন্ত জটিল এবং অনিশ্চিত জ্ঞানসম্পন্ন। জটিলতা এবং সঠিকতা এ দুটি হলো পরস্পর বিপরীতধর্মী। আধুনিক কম্পিউটারগুলি কেবল সাংখ্যিক মানসম্পন্ন সঠিক জ্ঞানগুলিকে প্রক্রিয়াকরণে সক্ষম হওয়ার কারণে মানুষের জটিল চিন্তাধারা ও সিদ্ধান্ত গ্রহণের ক্ষমতাকে অনুকরণে অক্ষম। তাই কম্পিউটারকে মানবিক বিজ্ঞান শাখায় ব্যবহার উপযোগী করে তোলার জন্য সিদ্ধান্ত গ্রহণ পদ্ধতিও জ্ঞান প্রক্রিয়াকরণে সুনির্দিষ্ট মেকানিক্যাল পদ্ধতিকে নমনীয় করে মোটামুটিভাবে সঠিকতার প্রতি গুরুত্ব দেয়া যুক্তিযুক্ত। সমস্যার জটিলতার মুখে সঠিক সিদ্ধান্ত গ্রহণের কড়াকড়ি নিয়মকে কিছুটা নমনীয় করার লক্ষ্যেই লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের ব্যবহার প্রয়োজন হয়, যার ফলে মান নির্ণয়ে সঠিক সাংখ্যিক মান নির্ণয়কে গুরুত্ব না দিয়ে কাছাকাছি বা মোটামুটি সঠিক মান নির্ণয়ার্থে প্রচলিত ভাষার "শব্দ"কে ব্যবহার করা হয়।

সংখ্যার স্থলে শব্দকে ব্যবহার করার কারণ হলো সংখ্যার দ্বারা কোনো কিছুকে অনুলিখিত করতে যে কড়াকড়ি পদ্ধতিগত সঠিকতা বজায় রাখতে হয়, শব্দ দ্বারা প্রকাশে তা অনেকখানি শিথিল করা সম্ভব। যেমন, 'কামালের বয়স ৪০ বছর" একথাটি "কামাল মধ্যবয়সী" এ কথার চেয়ে অনেক সীমাবদ্ধ। "মধ্যবয়সী" ও "৪০ বছর বয়সী" উভয়

অনুলিখনইও "বয়স" নামক শব্দের মান প্রকাশ করলেও "মধ্যবয়সী" দ্বারা পরিসর বেশ কিছুটা বিস্তৃতরূপ লাভ করে এবং কম সঠিক আর সাথে সাথে তুলনামূলকভাবে কম তথ্যবহুলও বটে। ঠিক একই কথা বলা যেতে পারে "খুব-যুবক", "যুবক-নয়", "যুবকের-মত" ইত্যাদি শব্দগুলি যথাক্রমে ২০ বছর, ১৪ বছর, ৩০ বছর এই সাংখ্যিক মানের সম্পর্কটি ৫.১৮ চিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়েছে, যেখানে দেখা যায় অনেক সময় দুটি লিঙ্গুইস্টিক মান অনেক সময় একই সাংখ্যিক মান গ্রহণ করে।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, সিস্টেম অ্যানালিসিসের জন্য ব্যবহৃত গাণিতিক অ্যাপারেটাসের সাধারণকরণ নীতিটি লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের আনুমানিক মান নির্ধারণী বৈশিষ্ট্য দ্বারা সাধারণকরণ নীতি বাস্তবায়ন ক্রমান্বয়েই জনপ্রিয় হয়ে উঠার সম্ভাবনা যথেষ্ট বিদ্যমান।

লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের মানগুলির সমাহারকে ভ্যারিয়েবলের টার্মগুলির সেট হিসেবে প্রকাশ করা যায়। এই সেটটির এলিমেন্ট সংখ্যা প্রকৃতপক্ষে অসংখ্য হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, "বয়স" ভ্যারিয়েবলটিকে তার টার্মগুলির সেট হিসেবে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যেতে পারে (এখানে "+" চিহ্নটি দ্বারা সমাহারকে প্রকাশ করা হয়েছে, এটি কোনো গাণিতিক যোগ নয়)।

T (বয়স) = {শিশু + শিশু-নয় + বালক + খুব-বালক + বালক-নয় + যুবক + খুব-যুবক + যুবক-নয় + খুব-বেশি-যুবক + মধ্যবয়সী + প্রারম্ভিক-মধ্যবয়সী + অন্তিম-মধ্যবয়সী + বৃদ্ধ + বৃদ্ধ-নয় + অতি-বৃদ্ধ + মোটামুটি-বৃদ্ধ+.....}

এভাবে লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল "চেহারা" কে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

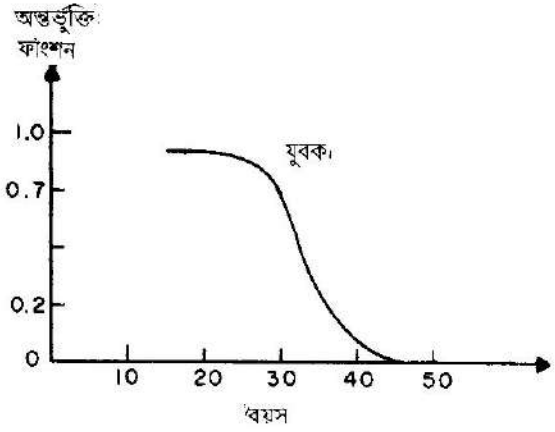
T (চেহারা) = {সুন্দর + অসুন্দর + গোলগাল + শুকনা + যুবকসুলভ + বালকসুলভ + নির্দোষ + খুব-সুন্দর + আকর্ষণীয় + খুব-আকর্ষণীয় + ঘৃণ্য + খুব-ঘৃণ্য + জঘণ্য +.....}

লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল "বয়স" যার সাংখ্যিক মান ০,১,২,.....,১২০ হতে পারে, তাকে বেস ভ্যারিয়েবল বলা হয়। এক্ষেত্রে লিঙ্গুইস্টিক মান "যুবক" কে বেস-ভ্যারিয়েবল "বয়স" এর ফাজি-লিমিটেশন হিসেবে চিহ্নিত করা যেতে পারে। এই ফাজি-লিমিটেশনকে লিঙ্গুইস্টিক মানের অর্থ হিসেবেও বিচার করা যেতে পারে। বেস-ভ্যারিয়েবলগুলির মানকে অন্তর্ভুক্তি-ফাংশনের সাহায্যে ফাজি লিমিটেশন বৈশিষ্ট্য সম্পন্ন করা হয়। এই অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের সাংখ্যিক মান [০,১] এর ইন্টারভালের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে।

উদাহরণস্বরূপ, লিঙ্গুইস্টিক বেস-ভ্যারিয়েবল "বয়স" এর লিঙ্গুইস্টিক মান "যুবক" কে সাংখ্যিকভাবে ২২, ২৮,৩৫ ইত্যাদির অন্তর্ভুক্তি ফাংশন যথাক্রমে ১,০.৭,০.২ দ্বারা প্রকাশের সাহায্যে ফাজি লিমিটেশন বৈশিষ্ট্য সম্পন্ন করা যায়। অর্থাৎ

$$\text{যুবক} = 22 \mid 1 + 28 \mid 0.7 + 35 \mid 0.2$$

গ্রাফিকভাবে "বয়স", "যুবক", সাংখ্যিক মান অন্তর্ভুক্তি ফাংশন এর সম্পর্ক ৫.১৫ চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৫.১৫ : "যুবক" এর অন্তর্ভুক্তি ফাংশন।

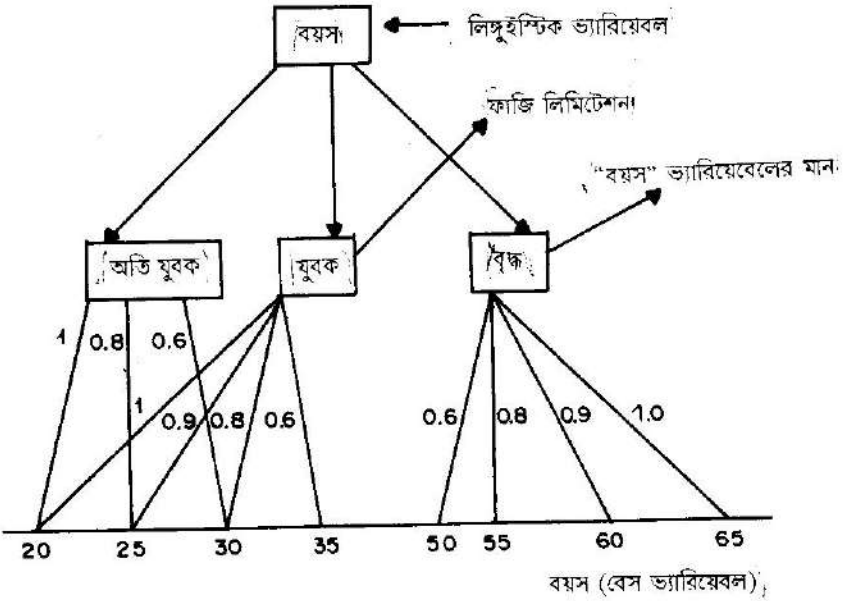
"কামাল যুবক" এই কথাটির অর্থ হলো এই যে, কামাল সেই মানুষ ক্লাসের অন্তর্ভুক্ত, যে মানুষগুলি যুবক। কিন্তু যুবক-মানুষগুলির ক্লাসটি হচ্ছে একটি ফাজি সেট। অর্থাৎ "যুবক" ও "যুবক-নয়" এই সেট দুটির মধ্যে সুস্পষ্ট অবচ্ছেদ বা ডিসেকশন নেই। ঠিক তেমনি এখানে কোনো এলিমেন্ট "কামাল" এর ফাজি সেট "যুবক-মানুষ" এ অন্তর্ভুক্তির কোনো সুস্পষ্ট মান বা ফাংশন নেই। লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের ধারণায় এই অস্পষ্টতা দূরীকরণ হয়েছে।

উপরের উদাহরণে "কামাল" নামটিকে একটি লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের নাম হিসেবে ধরলে তার উপাদান "বয়স", "উচ্চতা", ওজন", "চেহারা" ইত্যাদিগুলিকেও লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল হিসেবে ধরা যায়। এবার "কামাল-যুবক" কথাটিকে নিম্নরূপে সমীকরণের ধাঁচে প্রকাশ করা যায় :

বয়স = যুবক

যেখানে লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল "বয়স" এর মান হিসেবে "যুবক" দেখানো হয়েছে (চিত্র ৫.১৬।

চিত্র ৫.১৬ : কামাল ও x এর সংশ্লিষ্ট লিঙ্গুইস্টিক মান।



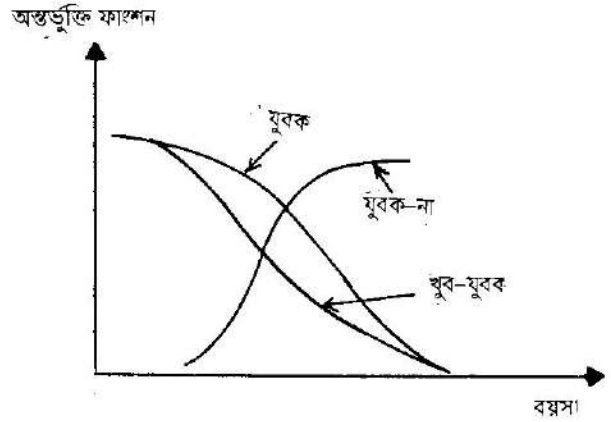
চিত্র ৫.১৭ : লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের হিরারখিকাল গঠন।

প্রকৃতপক্ষে "যুবক" হচ্ছে বেস-ভ্যারিয়েবল "বয়স" এর ফাজি লিমিটেশন এবং এই লিমিটেশন-এর অর্থ অন্তর্ভুক্তির ফাংশনের দ্বারা প্রকাশ করা হয়। লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলকে ভালোভাবে বুঝতে হলে ৫.১৭ চিত্রটিকে বিচার করা যেতে পারে যেখানে লিঙ্গুইস্টিক "বয়স" এর সাথে ফাজি-লিমিটেশন, তার অর্থ ও বেস-ভ্যারিয়েবল হিয়ারখিকাল গঠনমূলক সম্পর্ক দেখানো হয়েছে।

লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের কয়েকটি ব্যাপার পরিষ্কার করা দরকার। প্রথমত অন্তর্ভুক্তি ফাংশন প্রোবাবিলিটি ফাংশন থেকে আলাদা। উদাহরণস্বরূপ, "বয়স" এর সাংখ্যিক মান ২৮ এর সাথে সঙ্গতিপূর্ণ লিঙ্গুইস্টিক মান "যুবক" এর অন্তর্ভুক্তি ফাংশন ০.৭ এর অর্থ এই নয় যে, ২৮ বছর বয়সের প্রোবাবিলিটি ০.৭। অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের আসল অর্থ হলো এই যে, "যুবক" শব্দটির সাথে ২৮ বছর সংখ্যাটি কতটুকু সঙ্গতিপূর্ণ তার সাবজেক্টিভ মান। এ কারণে প্রোবাবিলিটি মানের ক্ষেত্রে যেসব গাণিতিক অপারেশন প্রযোজ্য, অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের ক্ষেত্রে তা প্রযোজ্য নয়। অবশ্য কিছু কিছু ক্ষেত্রে তাদের মধ্যে সাদৃশ্য বিদ্যমান।

দ্বিতীয়ত আমরা ধরবো যে, লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের গঠন দুটি নিয়ম পালন করে। প্রথম নিয়মটি হলো, সেই লিঙ্গুইস্টিক রুল যার সাহায্যে ভ্যারিয়েবলের টার্ম সেটটির টার্মগুলির গঠন প্রণালি নির্ধারণ করা হয়। এক্ষেত্রে আমরা ধরবো যে, টার্ম সেটের এলিমেন্টগুলি কোনো কনটেক্সট গ্রামার অর্থাৎ সূত্রীবদ্ধ গ্রামার ছাড়াই সৃষ্টি হয়। দ্বিতীয় নিয়মটি হলো সেই সিমান্টিক্স রুল যার সাহায্যে লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের অর্থ নির্ধারণ করা হয়। এ প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যায় যে, "খুব-যুবক-নয়", "অতি-বৃদ্ধ" এই টার্মগুলির মধ্যে মূল টার্ম "যুবক" ও "বৃদ্ধ" টার্মগুলি অন্তর্ভুক্ত যাদের অর্থ পূর্বাহ্নেই নির্ধারিত থাকে।

লিঙ্গুইস্টিক মানগুলিতে মূল টার্মগুলি ছাড়াও "এবং", "অথবা", "নয়", "কাছাকাছি", "মোটামুটি", "পুরাপুরি" ইত্যাদি জাতীয় সংযোগের দ্বারা মূল টার্ম থেকে নতুন টার্মের উৎপত্তি হয়। এই সংযোগগুলির দ্বারা মূল টার্মগুলির অর্থের পরিবর্তন করা যায়। টার্মগুলির মধ্যে কোনো বিশেষ সূত্রের সাহায্যে সম্পর্কও সৃষ্টি করা যায়। যেমন "খুব-যুবক" এই টার্মটির অন্তর্ভুক্তি ফাংশন হলো "যুবক" টার্মটির অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের বর্গ। তেমনি "যুবক-নয়" টার্মটির অন্তর্ভুক্তি ফাংশনকে (১—"যুবক" টার্মের অন্তর্ভুক্তি ফাংশন) হিসেবে প্রকাশ করা যায়। গ্রাফের সাহায্যে নিচের চিত্রে তা দেখানো হয়েছে। এটি অবশ্য একটি আংশিক নিয়ম অর্থাৎ টার্মগুলির মধ্যে সম্পর্ক অন্যভাবেও ঠিক করা যায়।



চিত্র ৫.১৮ : টার্মগুলির অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের সম্পর্ক।

তৃতীয়ত লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল "বয়স" যা নাকি সাধারণত সংখ্যা দ্বারাই প্রকাশ করা হয়। তাই তার লিঙ্গুইস্টিক মান "যুবক" দ্বারা বয়সের সাংখ্যিক মান ১ থেকে ১০০ পর্যন্ত সংখ্যাগুলিকে বিভিন্ন অন্তর্ভুক্তি ফাংশনের সমাহারের সাহায্যে প্রকাশ করা হবে, যা নাকি 0 থেকে ১ এর ইন্টারভেলে সীমাবদ্ধ থাকবে।

অন্যদিকে কোনো লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবলের যদি কোনো সাংখ্যিক মান না থাকে, যেমন, "চেহারা" তবে তা আমাদের ইম্প্রেশন এর মানকে 0 থেকে ১ এর মধ্যে সীমাবদ্ধ রেখে তা দ্বারাই প্রকাশ করতে পারি। যেমন, (ভালো-চেহারা/০.১ + মোটামুটি-ভালো-চেহারা/০.৫ + খুব-ভালো-চেহারা/০.৮) দ্বারা কোনো বিশেষ ব্যক্তির চেহারাকে প্রকাশ করতে পারি।

এভাবে আমরা কেবল সংখ্যা দ্বারা কোনো তথ্যকে প্রকাশ না করে কোনো সংখ্যা সম্ভারের দ্বারা প্রকাশ করার ফলে তথ্যটিকে কম্পিউটারের সাহায্যে প্রক্রিয়াকরণযোগ্যতা বজায় থাকে এবং একই সাথে তথ্যটিকে কোনো বাঁধাধরা মান দ্বারা সীমাবদ্ধ হয় না। তাই অনির্দিষ্ট তথ্য প্রকাশ করা এই পদ্ধতিতে বেশি সুবিধাজনক। লিঙ্গুইস্টিক ভ্যারিয়েবল পদ্ধতিতে প্রকাশিত তথ্য থেকে সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য পূর্ববর্ণিত কম্পজিশন রুল ব্যবহার করা হয়।

ষষ্ঠ অধ্যায়

জ্ঞানের অধিকরণ

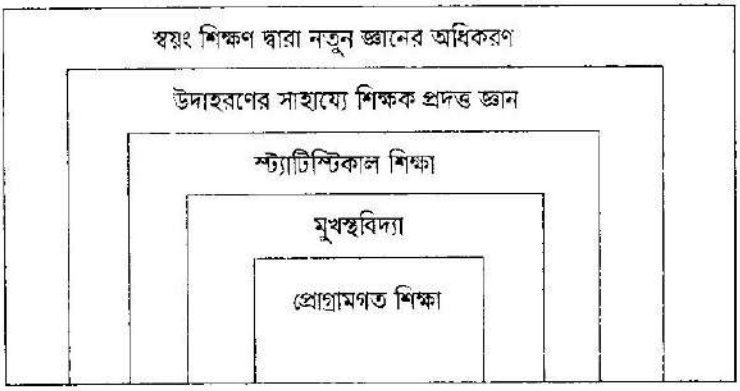
"জ্ঞানের অধিকরণ" অভিজ্ঞতা আহরণের সর্বোচ্চ ধরন হিসেবে সংজ্ঞায়িত। আর্টিফিসিয়াল ইন্টেলিজেন্সে জ্ঞানের অধিকরণ যথেষ্ট গুরুত্বপূর্ণ স্থান লাভ করেছে। যে জ্ঞান আহরিত হবে তা এত বেশি ভিন্ন ধরনের যে, তথ্য আহরণকারী কম্পিউটারগুলির জন্য জ্ঞানকে উদাহরণের সাহায্যে প্রস্তাব করা সরাসরি জ্ঞান প্রদান করার চেয়ে বেশি কার্যকর। কিন্তু স্বল্প সময়ের ভিতরে কোনো স্বয়ং শিক্ষণীয় পদ্ধতির জন্য কোনো প্রোগ্রাম তৈরি করা যথেষ্ট জটিল এবং কিছুটা অভাবনীয়ও বটে।

উপরন্তু, প্রতিটি স্বয়ং শিক্ষণ পদ্ধতি একটি বিশেষ সমস্যার মুখোমুখি হয়, তা হলো "বিস্মৃতি" বা "ভুলে যাওয়ার" সমস্যা। এই বিস্মৃতির যথেষ্ট উপযোগিতা আছে বটে অর্থাৎ প্রচুর পরিমাণ আহরিত বিভিন্ন ধরনের জ্ঞানের মধ্যে কিছু জ্ঞান ভুলে যাওয়ার যথেষ্ট প্রয়োজন আছে। এভাবে বলা যায় যে, কম্পিউটারের টেকনিকাল বৈশিষ্ট্য এবং মানুষের মধ্যে জ্ঞান আহরণ ও সমস্যা সমাধানের যথেষ্ট পার্থক্য বিদ্যমান।

৬.১ প্রোগ্রাম শিক্ষা

বলা যেতে পারে যে, মানুষ তার জ্ঞান আহরণের ব্যাপারে মোটামুটিভাবে কিছু প্রোগ্রামমাফিক কাজ করে। মাঝে মাঝে মানুষকে অনেক কিছুই নিজের ইচ্ছার বিরুদ্ধে করতে হয় এবং প্রায়ই সে তার লব্ধ অভিজ্ঞতা বা জ্ঞানকে স্মরণে রাখার চেষ্টা করে না। জন্ম থেকেই মানুষের আচরণের মধ্যে প্রতিফলন জাতীয় বা রিফ্লেক্সিভ বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান এবং মানুষ যথেষ্ট অনুসন্ধিৎসু পরায়ণ। মানুষ সারাটা জীবন তথ্য সংগ্রহ ও অনুসন্ধিৎসু প্রবৃত্তির দ্বারা তাড়িত। পারিপার্শ্বিকতা ও তার মধ্যে সংঘটিত বিভিন্ন ঘটনা যা তার দৃষ্টি, শ্রবণ বা অন্যান্য ইন্দ্রিয়ের উপর প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে তা থেকে সে নিজেকে বিচ্ছিন্ন করতে পারে না। এ হিসেবে মানুষ তার ইন্দ্রিয় তাড়িত ও সঞ্জাত জ্ঞান আহরণ প্রক্রিয়াতে প্রকৃতিগতভাবেই প্রোগ্রামকৃত। কম্পিউটারের এ ধরনের ইন্দ্রিয় সম্পর্কিত জ্ঞান আহরণ প্রোগ্রাম নেই। তাই স্বয়ংশিক্ষণ প্রক্রিয়ায় কম্পিউটারের জন্য এখনও ব্যাপক প্রতিবন্ধকতা বিদ্যমান।

৬.১ চিত্রে দেখানো হয়েছে যে, জ্ঞান অধিকরণ প্রক্রিয়াটির হিরারখিকাল গঠন বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান। জ্ঞান অধিকরণের প্রথম স্তরটি মূলত প্রোগ্রামমাফিক ঘটে অর্থাৎ বিশেষ প্রোগ্রাম অনুযায়ী জ্ঞান-পদ্ধতির কার্যক্রম নির্ধারিত থাকে। কম্পিউটারের প্রোগ্রামগুলিকে এ জাতীয় জ্ঞানের আওতায় ধরা যেতে পারে। ইন্ডাস্ট্রিয়াল রবোটগুলির জ্ঞানও এই পর্যায়ের। রবোটের হাতের চালনা প্রক্রিয়া কোনো প্রোগ্রাম-ভিত্তিতে নির্ধারিত করার পর তা যথাযথ সেই প্রোগ্রামমাফিক পরিচালিত হবে অন্য কোনোভাবে নয়।



চিত্র ৬.১ : জ্ঞান অধিকরণ প্রক্রিয়া।

জ্ঞান অধিকরণের দ্বিতীয় স্তরটিকে মুখস্থবিদ্যার সাথে তুলনা করা যেতে পারে। সকল সম্ভাব্য অবস্থা জ্ঞান আকারে সংগৃহীত থাকে আর সেই সাথে প্রতিটি অবস্থাতে কি জাতীয় কার্যক্রম সম্পাদিত হবে সেটিকেও জ্ঞানের আওতায় রাখা হয়। এ স্তরে অনেকটা পাভলভের শিক্ষাপদ্ধতি অবলম্বন করা হয় অর্থাৎ নতুন কোনো অবস্থায় উপযুক্ত কার্যক্রম গৃহীত না হলে শাস্তির ব্যবস্থা থাকে অন্যথায় জ্ঞানের পরিবর্ধন ঘটে।

এই জ্ঞান অধিকরণ পদ্ধতির উন্নততর স্তরে স্ট্যাটিস্টিক্যাল শিক্ষা বিদ্যমান। এই পদ্ধতিতে বিপুলসংখ্যক ডাটার বিশ্লেষণ পরবর্তী অবস্থাকে বিভিন্ন ক্লাস ভিত্তিতে স্মৃতিতে সংরক্ষণ করা হয় এবং কোনো কার্যক্রমের বিশেষ কম্পোনেন্টগুলিই স্মৃতিতে ধারণ করা থাকে। জ্ঞান অধিকরণের চতুর্থ স্তরে শিক্ষকের (যার কোনো জ্ঞানকে সর্বসাধারণকরণের দক্ষতা বিদ্যমান) সাহায্যে উদাহরণের মাধ্যমে জ্ঞান আহরিত হয়। পঞ্চম তথা সর্বশেষ স্তরে পদ্ধতিটি শিক্ষক ব্যতিরেকে স্বয়ংক্রিয়ভাবেই জ্ঞান অধিকরণ করতে পারে। এই পর্যায়ে পদ্ধতি নিজেই বিভিন্ন নতুন অবস্থার হাইপোথিসিস ও নতুন ধারণার সৃষ্টি করতে পারে।

৬.২ মুখস্থবিদ্যা

শাশকা খেলার শিক্ষা : আইবিএম কোম্পানির ইঞ্জিনিয়ার এ, ম্যানুয়েল ১৯৫৬ সাল থেকে শুরু করে ১৯৬৭ সাল পর্যন্ত শাশকা খেলার বিভিন্ন ধরনের উন্নতমানের প্রোগ্রাম তৈরি করেন। শাশকা খেলাটিকে বাংলায় ছকগুটি খেলার অনুরূপ ধরা যেতে পারে। এই খেলাটি দাবার বোর্ডের ন্যায় ৮/৮ বোর্ডের উপর খেলা হয়। এই খেলায় গুটিগুলি কেবল সম্মুখে অগ্রসর হতে পারে আর কোনো গুটি প্রতিপক্ষের প্রথম সারি পর্যন্ত এগুতে পারলে তাকে "কুইন" নামে অভিহিত করা হয় এবং কুইন কোনাকুনিভাবে সম্মুখে বা পেছনে সমস্ত বোর্ড বরাবর চলতে পারে। একটি গুটিকে কুইনে রূপান্তরিত করতে হলে প্রায় ৮টি ধাপ পার হতে হয়।

উপরিউক্ত খেলার জন্য স্যামুয়েল প্রথম যে প্রোগ্রামটি লেখেন তা জ্ঞান অধিকরণ প্রক্রিয়ার দ্বিতীয় স্তরের অনুরূপ অর্থাৎ মুখস্থবিদ্যার ন্যায়। স্যামুয়েল প্রোগ্রামটির জন্য সর্বোত্তম বইগুলি থেকে প্রায় ১,৮০,০০০টি পজিশন শিক্ষার অন্তর্ভুক্ত করেন। যেহেতু তৎকালীন কম্পিউটারগুলিতে এর জন্য খুব বড় ধরনের স্মৃতির প্রয়োজন ছিল, স্যামুয়েল স্মৃতিভাণ্ডার পরিচালনার জন্য তিনটি প্রসিডিউর ব্যবহার করেন—

(১) যথার্থ সিদ্ধান্ত সন্ধানের দ্রুততার জন্য অবস্থাগুলিকে ক্রমায়িত করা হয় প্রথমত উভয় খেলোয়াড়ের গুটি ও কুইনের সংখ্যার ভিত্তিতে ; দ্বিতীয় খেলায় নিজস্ব অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে প্রোগ্রামটি ব্যবহারের ফ্রিকুয়েন্সির ভিত্তিতে।

(২) বোর্ডের সাদা ছকগুলিকে কালো ছক দ্বারা পরিবর্তন করার মাধ্যমে সিমেট্রিকাল অবস্থাগুলিকে একই সাথে বিচার করা হয়।

(৩) স্মৃতিভাণ্ডার পরিপূর্ণতা লাভের কাছাকাছি হলেই সবশেষে বিচার্য পজিশনগুলিকে স্মৃতিভাণ্ডার থেকে অপসারণের প্রসিডিউর কার্যকর হয়।

অনেকের মতে স্যামুয়েলের ধারণাটি আইবিএম এর ৭০০ ও ৭০০০ সিরিজের কম্পিউটারের গঠনের সাথে সম্পর্কযুক্ত। যেহেতু "শাশকা" খেলার গুটিগুলি কেবল কালো ঘরগুলিতেই অবস্থান বা চলাচল করতে পারে, স্যামুয়েল খেলার বোর্ডের ঘরগুলিকে ৬.২ চিত্রে দেখিয়েছেন।

9,18,27,36 এই চারটি বাড়তি নম্বরকৃত ছক "লিমিটর" বা "সীমাবদ্ধকর" হিসেবে কাজ করে এবং সমস্ত বোর্ডটি [১,৩৬] মাপের ভেক্টর আকারে একক কম্পিউটার শব্দ হিসেবে প্রস্তাবিত। খেলার নিয়মানুযায়ী চালগুলি (প্রতিপক্ষের গুটি মারা ব্যতিরেকে) নির্ধারণ করার জন্য প্রয়োজন কালো ঘরগুলির নম্বরের সাথে ৪ অথবা ৫ যোগ করা।

	1		2		3		4	
5		6		7		8		9
	10		11		12		13	
14		15		16		17		18
	19		20		21		22	
23		24		25		26		27
	28		29		30		31	
32		33		34		35		36

চিত্র ৬.২ : শাশকা খেলার বোর্ডের স্কিম।

প্রথমদিকে উদ্ভাবিত প্রোগ্রামটিকে স্যামুয়েল স্মৃতিভাণ্ডারে রক্ষিত পজিশন সম্বন্ধে তথ্য হারানোর হাত থেকে রক্ষা করার নিমিত্তে পরবর্তীতে প্রোগ্রামটিকে আরো কিছুটা উন্নত

করেন। স্যামুয়েল এক্ষেত্রে ভবিষ্যৎ পজিশনগুলির মূল্যায়নার্থে সার্চ-ট্রির অবতারণা করেন। এক্ষেত্রে গভীরতার সীমা তিনটি চালে আবদ্ধ থাকে। এ ব্যাপারে সর্বশেষ চালে গুটি মারা অথবা কালো গুটির উপর আক্রমণ অবস্থাকে ধরা হয় নি। স্যামুয়েল অবস্থার মূল্যমান নির্ধারণ করার জন্য নিম্নলিখিত পলিনমিয়াল ফাংশনটির অবতারণা করেন :

$$F = \Sigma P_i P_i$$

স্যামুয়েল ৩৮টি p_i প্যারামিটার এবং ৩৮টি ক্যারেক্টারিস্টিক বিচারের মধ্যে আনেন যাদের মধ্যে বাস্তবিক লাভ, কেন্দ্র নিয়ন্ত্রণ, চালিত গুটির সংখ্যা, মোবিলিটি, V – পজিশনের (তিনটি কালো গুটি দ্বারা বেষ্টিত মুক্ত স্থান) সংখ্যা, আক্রমণাবস্থার সংখ্যা, উভয় পক্ষের চালন ক্ষমতা ইত্যাদি উল্লেখযোগ্য। এভাবে স্যামুয়েলই প্রথম দাবা খেলার প্রোগ্রামে ব্যবহৃত আলফা-বিটা প্রসিডিউরের প্রোগ্রাম উদ্ভাবন করেন। এবারে তিনটি ভিন্ন ভিন্ন ক্ষেত্রে উল্লিখিত প্রোগ্রামের কার্যকারিতা লক্ষ্য করা যাক।

৬.৩ পুস্তক থেকে জ্ঞানের অধিকরণ

যেহেতু স্মৃতিভাণ্ডারে সকল পজিশনেরই তথ্য রক্ষিত থাকে, তাই খেলা চলাকালীন প্রোগ্রামটি মিনম্যাক্স প্রসিডিউরের সাহায্যে মূল্যায়ন ফাংশন F দ্বারা যে কোনো পজিশনের মূল্য নির্ধারণ করতে পারে। ফাংশন F অনুসারে স্মৃতিভাণ্ডারে রক্ষিত চালগুলির মধ্যে H সংখ্যক সর্বোত্তম চাল ও L সংখ্যক সর্বনিম্ন চাল প্রোগ্রামটি নির্ধারণ করে। যদি H ছোট ও L বড় হয় তবে পুস্তক প্রদত্ত রিকমেন্ডেশন ও নির্ধারিত মূল্যমানের মধ্যে সাদৃশ্য বা সমার্থতা পরিলক্ষিত হয়। কোরিলেশন কোয়েফিসিয়েন্ট $C = (L-H)/(L+H)$ পূর্ণ সমার্থতার ক্ষেত্রে মান "1" থেকে পুস্তকজ্ঞান ও প্রাপ্ত F ফাংশন অনুসারে মানের মধ্যে পূর্ণ সাদৃশ্যতার ক্ষেত্রে $C = -1$ মানে রূপান্তরিত হতে পারে। যদি $C \neq 1$ হয়, তবে $H > 0$ এর ক্ষেত্রে অবস্থার মান বর্ধিত এবং $H < 0$ এর ক্ষেত্রে অবস্থার মান অবনমিত হিসেবে বিচার করা হয়। প্রতিটি প্যারামিটার p_i এর জন্য C_i এর মান নিচের সূত্রানুযায়ী নির্ধারিত হয়।

$$C_i = \frac{L_i - H_i}{L_i + H_i}$$

এখানে H_i হচ্ছে p_i P_i অনুসারে $P_i < 0$ সহ সর্বোত্তম চালের পূর্বে অবস্থিত চালগুলির সংখ্যা ; L_i হচ্ছে p_i P_i অনুসারে $P_i < 0$ সহ সর্বোত্তম চালগুলির পরবর্তীতে অবস্থিত চালগুলির সংখ্যা। যদি C_i নেগেটিভ হয়, তবে পজিটিভ p_i গুলির মান কমাতে হবে। যদি C_i পজিটিভ হয়, তবে নেগেটিভ p_i গুলির মান বাড়াতে হবে। এভাবে পুস্তক অনুসারে শিক্ষার প্রোগ্রামটি সর্বাধিক অ্যাবসলিউট মানসহ কোয়েফিসিয়েন্ট C_k এর প্যারামিটার p_k কে $p_k = 1$ দ্বারা পরিবর্তিত করে এবং যদি $i \neq k$ হয়, তবে $p_i = 2^n$ যদি $n \leq \left|\frac{C_k}{C_i}\right| \leq n + 1$ হয়।

এর ফলে প্রোগ্রামটি ৩৮টি প্রদত্ত ক্যারেক্টারিস্টিকের মধ্যে কেবল ১৬টি বিবেচনা করে। প্রতিটি মুহূর্তে $2^2 p_i$ এর মান 0 হয়। C_i এর সর্বনিম্ন মানের ক্ষেত্রে প্রতিটি পার্টিতেই তার সহযোগী ক্যারেক্টারিস্টিককে শাস্তি পয়েন্ট প্রদান করা হয় এবং তিনটি শাস্তি পয়েন্ট লাভের পর ক্যারেক্টারিস্টিকটিকে বর্জন করে তার স্থানে অপেক্ষমান লাইনের সবচেয়ে দূরে অবস্থিত

ক্যারেক্টারিস্টিকটিকে গ্রহণ করা হয়। বিশটি পার্টির পর "পুস্তক থেকে জ্ঞান" লাভের প্রোগ্রামটি যথেষ্ট উচ্চমানের জ্ঞান লাভ করে।

যেহেতু আমরা খেলার ব্যাপারে এখানে আলোচনা করছি, তাই প্রোগ্রামটি যেন নিজেই নিজের বিরুদ্ধে খেলতে পারে এমনভাবে তৈরি করা হয়েছে। p_i এর বিভিন্ন মান ব্যবহার করে পদ্ধতিটি নিজেই জ্ঞান সংগ্রহ করতে পারে।

ধরা যাক, A ও B হচ্ছে প্রোগ্রামটির দুটি ভার্সান এবং তাদের মূল্যায়নকারী ফাংশন হচ্ছে F_a ও F_b। যদি A জয়লাভ করে তবে সহজেই প্যারামিটার F_b পরিবর্তিত হয় এবং যদি A পরাজিত হয় তবে শাস্তি পয়েন্ট লাভ করে। তিনটি শাস্তি পয়েন্ট লাভের পর F_a ও F_b এর মধ্যে মান বিনিময় হয়।

উপরিউক্ত ধারণা ও মিনম্যাক্স অপারেটরের ব্যবহারের সাহায্যে স্যামুয়েল তার প্রোগ্রামের চতুর্থ সংস্করণ তৈরি করেন।

৬.৪ শিক্ষার সর্বসাধারণকরণ

শিক্ষার সর্বসাধারণকরণকেই স্যামুয়েল নতুন ধরনের প্রোগ্রাম তৈরির সম্ভাবনা হিসেবে সংজ্ঞায়িত করেন। তাঁর পূর্ববর্তী প্রোগ্রামগুলি খেলা চলাকালীন স্বয়ংশিক্ষায় সক্ষম নয়— এ কথাটি তিনি মানতে রাজি ছিলেন না। আমরা কোনো খেলায় কৃত ভুলগুলি কেবল খেলার বেশ কিছুক্ষণ পর অনুধাবন করতে পারি এবং পরবর্তী খেলায় সেই ভুলের পুনরাবৃত্তি রোধ করার চেষ্টা করি। আলফা-বিটা প্রসিডিউরটিও মূল্যায়ন ফাংশন সংবলিত প্রোগ্রামের সাহায্যে খেলায় কোনো চালের অ্যাপোস্টেরিওর মান নির্ণয়ে সক্ষম। একবার কোনো নির্দিষ্ট পজিশনের মান নির্ণয়ের সময়ে এবং পরের বার কোনো বাস্তব খেলা চলাকালীন খেলার কয়েক চাল সম্পন্ন হবার পরের অবস্থা ৬.৩ চিত্রে প্রদর্শিত হয়েছে।

চিত্র ৬.৩: একটি পজিশনের মূল্যায়নের দুটি উদাহরণ (ক) আলফা-বিটা প্রসিডিউর ব্যবহারের দ্বারা সন্ধান প্রক্রিয়ায় কোনো অবস্থা বা পজিশনের মূল্যমান F(s) দ্বারা প্রকাশিত ; (খ) বাস্তব খেলায় একই অবস্থা ; পজিশন মূল্যমান F(s) দ্বারা প্রকাশিত।

যদি F দ্বারা আদর্শ মূল্যমান প্রকাশ করা হয় এবং সবকিছু পরিকল্পনা মাফিক ঘটে তবে $F(s) = \hat{F}(s)$ হওয়া উচিত। যদি $F(s)>\hat{F}(s)$ হয়, তবে মূল্যায়ন খুব বেশি অপটিমিস্টিক হিসেবে ধরা হয় এবং প্রতিপক্ষ আশার অতিরিক্ত ভালো খেলোয়াড় হিসেবে বিবেচিত হয়। "পুস্তক থেকে জ্ঞান অধিকরণ" প্রোগ্রাম নেগেটিভ মান কমিয়ে আনে এবং পজিটিভ মান বাড়িয়ে দেয়। পূর্বপ্রদত্ত প্রসিডিউরের ন্যায় পুনরায় কোয়েফিসিয়েন্ট নির্ণয় করা হয়, $C_i = (L_i - H_i)/(L_i + H_i)$, যেখানে H_i দ্বারা খেলার শুরু থেকে সেই অবস্থাগুলির সংখ্যা প্রকাশ করা হয় যে অবস্থাগুলিতে i–তম ক্যারেক্টারিস্টিকগুলির জন্য নিম্নলিখিত অসমতা বা ইনইকুয়ালিটি প্রয়োজন হয়, $p_i\ P_i<0$ এবং $F(s)>\hat{F}(s)$। যদি $F(s)<\hat{F}(s)$ হয় তবে মূল্যায়নের অ্যালগরিদম উপরিউক্তভাবেই বজায় থাকে ও শুধু সিমেট্রিক্যাল অবস্থাগুলি বিচার করা হয়।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, একই সাথে পক্ষ ও বিপক্ষ উভয়পক্ষের জন্য খেলতে পারে এমনভাবেই প্রোগ্রামটি তৈরি। এই সুবিধাটি বিশেষ করে খেলার মাঝামাঝি অবস্থায় বেশি কার্যকর হয়, কারণ তখন সম্ভাব্য পজিশনগুলির সংখ্যা খুব বড় হয়ে দাঁড়ায়।

প্রথমদিকে স্যামুয়েলের এই সর্বশেষ প্রোগ্রামটিকে অস্থিতিশীল হিসেবে বিবেচনা করা হয় কিন্তু যেহেতু প্রোগ্রামটিতে ইতোমধ্যেই প্রায় ১৮০০০০ সংখ্যক চাল সংগৃহীত হয়, যা নাকি পূর্ববর্তী প্রোগ্রামে সংযোজিত হয়েছিল তাই প্রোগ্রামটি একাধারে যথেষ্ট সময় যাবৎ নিজেই নিজের বিরুদ্ধে খেলতে পারে। এমনকি দেখা গেল যে, শাশকা খেলায় স্যামুয়েল নিজেই নিজের প্রোগ্রামের বিরুদ্ধে হারতে শুরু করেন।

পরবর্তীতে এই প্রোগ্রামটি খেলার পারদর্শিতায় অত্যন্ত উঁচু মান গ্রহণ করে ১৯৬২ সালে কানেক্টিকাট স্টেট চ্যাম্পিয়নের বিরুদ্ধে জয়লাভ করে ; আর ১৯৬৫ সালে বিশ্বচ্যাম্পিয়নের বিরুদ্ধে শাশকা খেলায় পরাজিত হলেও বিশ্বচ্যাম্পিয়নের জন্য যথেষ্ট প্রতিবন্ধকতা সৃষ্টি করে।

প্রোগ্রামটি ক্রমান্বয়েই উন্নততর ও দ্রুততরভাবে খেলতে শুরু করে কারণ সময়ের সাথে স্মৃতিভাণ্ডারে অবস্থা ও পজিশনগুলির সংখ্যা বাড়তে থাকে। শিক্ষার এই সাধারণকরণের মাধ্যমে কিছুটা রিস্কের উদ্ভব হয় যা স্যামুয়েল লক্ষ্য করেন—শিক্ষা প্রক্রিয়া প্রতিপক্ষের খেলার মানের উপর নির্ভরশীল। যদি প্রতিপক্ষ খারাপ খেলে তবে প্রোগ্রামে খারাপ প্যারামিটার সংযোজিত হয়। প্রকৃতপক্ষে 'মিনম্যাক্স' প্রসিডিউরটি ধরে নেয় যে, প্রতিপক্ষ তার সর্বোত্তম চালগুলি চালবে। যদি প্রতিপক্ষ খারাপ চাল দেয় তবে প্রোগ্রামটি এটি থেকে (ভুল) সিদ্ধান্ত নেয় যে, পজিশনের মূল্যমান কম এবং সে হিসেবে প্যারামিটার বদল করে। যেহেতু শিক্ষা প্রক্রিয়া প্রতিটি চালের সাথে এমনকি খেলাচলাকালীনও বজায় থাকে, কাজেই খেলার প্রায় ১৫টি চালের পর প্যারামিটার সমষ্টি সম্পূর্ণভাবে পরিবর্তিত হয়ে যেতে পারে। এক্ষেত্রে প্রোগ্রামটি খারাপভাবে খেলতে শুরু করে এবং যদি প্রতিপক্ষ হঠাৎ ভালোভাবে খেলতে শুরু করে তবে প্রতিপক্ষের জয়লাভ সহজ হয়ে পড়ে।

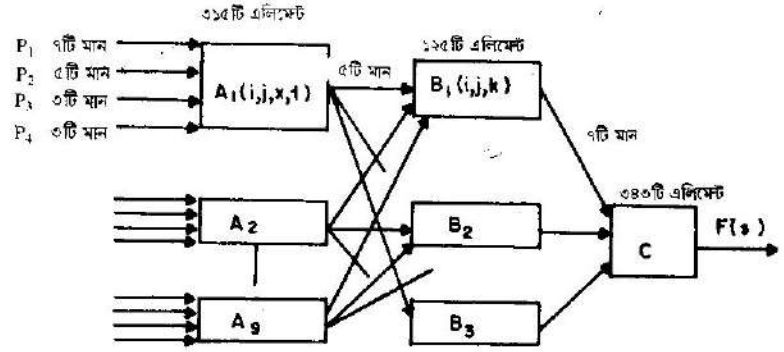
প্রোগ্রামের এই দুর্বলতা দূরীকরণের জন্য স্যামুয়েল প্রথমে আলফা–বিটা প্রসিডিউরের মধ্যে কিছু টেকনিক্যাল পরিবর্তন সাধন করে। সার্চ–ট্রির ডেপথ ও ব্রেডথ উভয় পদ্ধতিতে

অনবরত সন্ধান প্রক্রিয়া চালু করেন এবং খেলার প্রথম স্তরেই চালগুলির বিন্যাস করেন। কিন্তু তিনি সর্বাধিক মনোযোগ দেন অন্য একটি অধিকতর গুরুত্বপূর্ণ সমস্যা সমাধানের দিকে। এর জন্য নিম্নলিখিত ব্যাপারগুলি লক্ষণীয় :

—ফাংশন গঠনের প্রক্রিয়ায় মূল্যায়ন পদ্ধতিটি প্রতিটি ক্যারেক্টারিস্টিকের ক্ষেত্রেই সরলরৈখিক হওয়া উচিত এবং কিছু কিছু ক্যারেক্টারিস্টিককে বেশি শক্তিশালী হওয়া দরকার। এভাবে যদি P_i ও P_j কালো গুটিকে বেশি সুবিধা প্রদান করে তবে $P_i \times P_j$ বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন এলিমেন্টটিও সেই সুবিধা পাবে।

—সংজ্ঞানুসারে সাধারণ ফাংশনটি টেবিল আকারে প্রস্তাবিত হতে হবে। যেহেতু মোট ৩৮টি ক্যারেক্টারিস্টিককে বিচার করা হয়েছে তাই আইডিয়াল ক্ষেত্রে টেবিলে N এর ভিতর N^{38} এর প্রতিফলন থাকা উচিত।

—প্রয়োজনবোধে অসম রৈখিক পরিবর্তন ও বিশাল টেবিলের মধ্যে সমঝোতাপূর্ণ সম্পর্ক সৃষ্টি করা উচিত।



চিত্র ৬.৪ : তিনটি স্তরে হিরারখিকাল সিগনাটুর।

স্যামুয়েল টেবিল–সিগনাটুর তথা টেবিল–হিরারখিকাল ধারণাটিকে উপরে উল্লিখিত সাধারণ ফাংশনটির অ্যাপ্রোক্সিমেট হিসেবে ব্যবহার করেন। এতে ৩৮টি ক্যারেক্টারিস্টিককে কয়েকটি গ্রুপে টাইপ অনুযায়ী ভাগ করেন। কোনো কোনোটি একের অধিক গ্রুপের অন্তর্ভুক্ত হতে পারে। কোনো একটি গ্রুপে সেই জাতীয় ক্যারেক্টারিস্টিকগুলির কোনোটিই সাতটির বেশি মান গ্রহণ করতে পারে না। একই সাথে একই টাইপের অভ্যন্তরে বিভিন্ন মানের সমন্বিত কোয়েফিসিয়েন্ট নির্ধারিত হয়। ৬.৪ চিত্রে সিগনাটুর টেবিলের সাধারণ স্কিম দেখানো হয়েছে।

স্যামুয়েল পুনরায় ১,৮০,০০০টি এক্সপার্ট চাল অন্তর্ভুক্ত করেন এবং কোরিলেশন পদ্ধতির সাহায্যে প্যারামিটারগুলি গণনা করেন। এই পদ্ধতিতে ৮০,০০০ চালের পর অবস্থা স্থিতিশীল হয়ে আসে। প্রকৃতপক্ষে সবকিছু এমনভাবে ঘটে যেন প্রতিটি ম্যাট্রিক্স-এলিমেন্টই একমাত্র এলিমেন্ট হিসেবে বিবেচিত হয়। এই প্রোগ্রামে A টাইপের এলিমেন্ট ৩১৫ × ৯টি

এবং B টাইপের এলিমেন্ট ১২৫ × ৩টি এবং C টাইপের এলিমেন্ট ৩৪৩টি অর্থাৎ প্রথম প্রোগ্রামের ১৬টি এলিমেন্টের স্থলে মোট প্রায় ৩৫০০টি এলিমেন্ট বিদ্যমান।

যেহেতু বেশিরভাগ ক্যারেক্টারিস্টিকই কেবল খেলার বিশেষ বিশেষ ফেজে অংশগ্রহণ করে তাই সমস্ত খেলার চালগুলি ছয়টি ফেজে ভাগ করা হয় এর উপর ভিত্তি করে যে, কতটি গুটি চালে অংশগ্রহণ করেছে এবং তাদের চালের চালন ক্ষমতা বা সংখ্যার উপর। এই বিভক্তিকরণের ফলে গণনায় সময় যথেষ্ট কমে আসে। এখানে উল্লেখযোগ্য যে, গণনাকাল খুব বেশি বড় নয় কারণ মূল্যায়ন প্রক্রিয়া কেবল টেবিলের মধ্যে সন্ধান কাজেই ব্যবহার করা হয়। F(s) এর গণনা নিম্নলিখিত কোনো একভাবে সম্পর্কিত হয় :

$$F(s) \leftarrow C(B_1(A_1(p_1,p_2,p_3,p_4), A_2(0),\ldots,A_g(0)), B_2(0), B_3(0))$$

এই প্রোগ্রামটি "শাশকা" খেলায় বিশ্বচ্যাম্পিয়ন হবার মত যোগ্যতা অর্জন করে। আলফা-বিটা প্রসিডিউরটি ব্যবহার ছাড়াই প্রোগ্রামটি ৬৮% ক্ষেত্রে সঠিক চাল নির্বাচন করে (পলিনমিয়াল মূল্যায়ন পদ্ধতিতে সঠিকতা ৩২% এবং ঘটনাক্রমিক নির্বাচন পদ্ধতিতে সঠিকতা ১৬%)। আলফা-বিটা প্রসিডিউরটি ব্যবহারে সঠিকতার মান আরও উন্নত করা যায়। উপরন্তু এই পদ্ধতিতে খেলায় নিয়মানুবর্তিতা বাড়ে এবং সকল প্রকার খারাপ চালগুলি বর্জিত হয়।

এই প্রোগ্রামটির সবচেয়ে অসুবিধাজনক দিকগুলি হলো, যে প্রোগ্রামটিতে ক্যারেক্টারিস্টিক p_i গুলি থাকতে হবে অর্থাৎ প্রোগ্রামে তা স্বয়ংক্রিয়ভাবে উদ্ভূত হবার ব্যবস্থা নেই। এই স্ট্যাটিস্টিক্যাল শিক্ষা প্রক্রিয়া মানুষের জন্যও যথেষ্ট কার্যকর।

গবেষকরা উপরিউক্ত ধারায় গবেষণা অব্যাহত রাখেন এবং রবোটিক্সের জন্য STRIPS (Stanford Research Institure Planning System) (Fikes, Nilson, 1973) পদ্ধতিটি উদ্ভাবন করেন।

৬.৫ রবোটের জন্য কার্যকর শিক্ষা : STRIPS পদ্ধতি

কোনো পারিপার্শ্বিকতায় রবোটের মৌলিক অপারেশনগুলি (অপারেটর) প্রথমত তিনটি তালিকায় লিপিবদ্ধ করা যায় :

—প্রথম তালিকায় সেই শর্তগুলি লিপিবদ্ধ থাকে যার ফলে প্রতিটি অপারেশন কার্যকর হয়।

—দ্বিতীয় ও তৃতীয় তালিকায় সেই ফ্যাক্টগুলি নির্ধারিত করা হয় যেগুলি হয় পারিপার্শ্বিকতায় সম্পর্কযুক্ত হবে অথবা তা থেকে বাদ দেয়া হবে যদি রবোট প্রকৃতপক্ষেই কোনো অপারেশন ব্যবহারের জন্য বিবেচিত হয়। STRIPS পদ্ধতিতে প্রয়োজনীয় মডিফিকেশনগুলি প্রমাণ তত্ত্বের প্রসিডিউরের সাহায্যে রিজলিউশন পদ্ধতির ভিত্তিতে সম্পাদিত হয়।

অপারেটর 27 : রবোটের সাহায্যে ঘরের মধ্যে কোনো অবজেক্টকে স্থানান্তরিতকরণ :

তালিকা-(শর্ত) : রবোট মেঝের উপর। x ঘরটির z_1 নামক স্থানে রবোটের অবস্থান। O অবজেক্টটি z_1 স্থানে মেঝের উপর অবস্থিত। O অবজেক্টটি স্থানান্তরযোগ্য। z_1 ও z_2 স্থান দুটি x ঘরের মধ্যে বিদ্যমান।

তালিকা –: z_1 স্থানে রবোট। z_1 স্থানে অবজেক্ট O।

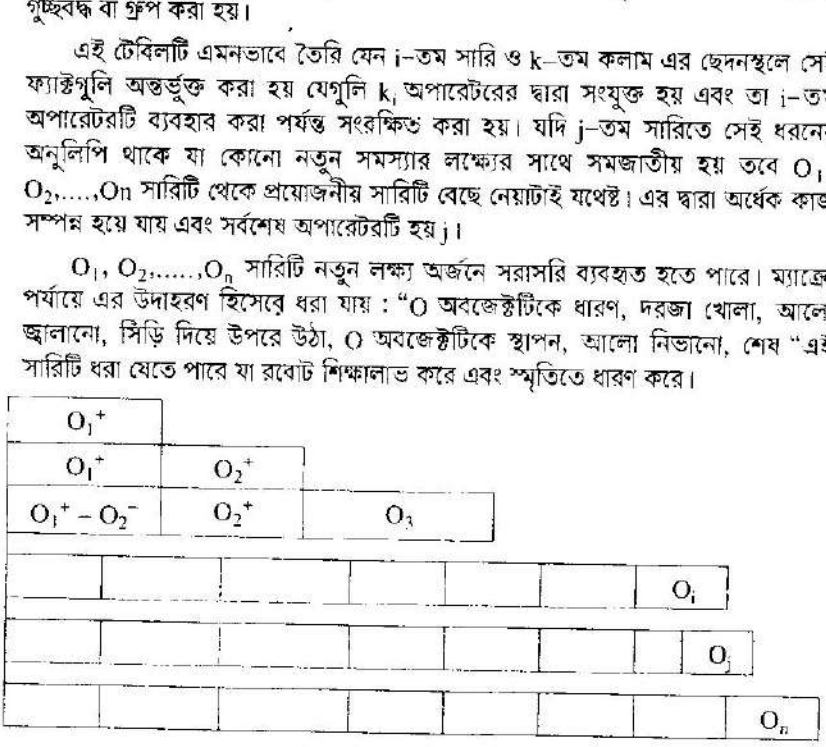
তালিকা + : z_2 স্থানে রবোট। z_2 স্থানে অবজেক্ট O।

চিত্র ৬.৫ : STRIPS পদ্ধতিতে মৌলিক অপারেশনের লিপিকরণ।

পদ্ধতিটি যেমনই সমস্যা সমাধানের সিদ্ধান্ত নেয় তেমনই শিক্ষাকার্যক্রম শুরু হয়। এর জন্য পদ্ধতিটি মৌলিক অপারেশনগুলির ধারাক্রমগুলির সাহায্যে অতিরিক্ত তথ্য সংগ্রহ করে। যদি কোনো প্ল্যানমাফিক n চালের পর লক্ষ্য সফলভাবে অর্জিত হয় তবে সেই প্লানটি অনুরূপ লক্ষ্যার্জনের আদর্শ প্লান হিসেবে STRIPS পদ্ধতিতে সংযোজিত হয়। এ জাতীয় অপারেটর O_1, O_2, ..., O_n গুলির ধারাক্রম ৬.৬ চিত্রের অনুরূপে টেবিলের সাহায্যে গুচ্ছবদ্ধ বা গ্রুপ করা হয়।

এই টেবিলটি এমনভাবে তৈরি যেন i–তম সারি ও k–তম কলাম এর ছেদনস্থলে সেই ফ্যাক্টগুলি অন্তর্ভুক্ত করা হয় যেগুলি k_i অপারেটরের দ্বারা সংযুক্ত হয় এবং তা i–তম অপারেটরটি ব্যবহার করা পর্যন্ত সংরক্ষিত করা হয়। যদি j–তম সারিতে সেই ধরনের অনুলিপি থাকে যা কোনো নতুন সমস্যার লক্ষ্যের সাথে সমজাতীয় হয় তবে O_1, O_2,....,On সারিটি থেকে প্রয়োজনীয় সারিটি বেছে নেয়াটাই যথেষ্ট। এর দ্বারা অর্ধেক কাজ সম্পন্ন হয়ে যায় এবং সর্বশেষ অপারেটরটি হয় j।

O_1, O_2,.....,O_n সারিটি নতুন লক্ষ্য অর্জনে সরাসরি ব্যবহৃত হতে পারে। ম্যাক্রো পর্যায়ে এর উদাহরণ হিসেবে ধরা যায় : "O অবজেক্টটিকে ধারণ, দরজা খোলা, আলো জ্বালানো, সিঁড়ি দিয়ে উপরে উঠা, O অবজেক্টটিকে স্থাপন, আলো নিভানো, শেষ "এই সারিটি ধরা যেতে পারে যা রবোট শিক্ষালাভ করে এবং স্মৃতিতে ধারণ করে।



চিত্র ৬.৬ : STRIPS পদ্ধতিতে অপারেটরগুলির ধারাক্রম।

উত্তেরমান পোকার খেলার জন্য অন্য একটি প্রোগ্রাম তৈরি করেন যা অ্যাপোস্টেরিওর জ্ঞানের সাহায্যে নিজস্ব অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে শিক্ষালাভ করে।

৬.৬ খেলার নিয়ম অধিকরণ

উত্তেরমান পোকার খেলায় দুই খেলোয়াড়ের বাজি ধরার প্রশ্নটি নিয়ে গবেষণা করেন। একজন খেলোয়াড় প্রতিপক্ষের কার্ড দেখতে চাইলে তাকে তার বাজিরদান দ্বিগুণ করতে হবে এবং বাজির দান চালিয়ে যেতে হবে অথবা খেলায় পরাজয় স্বীকার করতে হবে। কার্ড খোলার পর শক্তিশালী কার্ডসহ খেলোয়াড় খেলায় জয়লাভ করে এবং একই সাথে বিচার করা যায় আরো বেশি জেতার বা আরো বেশি হারার সম্ভাবনা ছিল কিনা। এই তথ্যগুলি প্রোগ্রামটি পরবর্তী খেলাগুলিতে ব্যবহার করবে। কার্ডের বন্টনগুলি এমন একটি অ্যালগরিদমের সাহায্যে বাস্তবায়ন করা হয় যেন প্রতিটি খেলোয়াড়েরই প্রতিপক্ষের অবস্থার উপর নির্ভর করা ব্যতিরেকেই খেলায় জেতার ম্যাক্সিমাম সম্ভাবনার আশা করতে পারে।

এই প্রোগ্রামের সাধারণ ধারণাটি হলো এরূপ :

খেলাকে ক্যারেক্টারিস্টিক ভেক্টর এবং প্রোডাকশন রুলের ভিত্তিতে সিদ্ধান্ত গ্রহণের পদ্ধতি দ্বারা লিপিবদ্ধ করা। পোকার খেলায় সরবরাহকৃত তথ্য অপূর্ণ থাকে যার ফলে কার্ডের মূল্যায়ন প্রয়োজন হয় এবং একই সাথে প্রয়োজন হয় প্রতিপক্ষের খেলার ধরনের মূল্যায়ন। এক্ষেত্রে অবস্থাগুলি "শাশকা" খেলার তুলনায় অনেক কম সুনির্দিষ্ট থাকে এবং সিগনাটুর-টেবিলের তুলনায় প্রোডাকশন রুলের সুবিধাজনক দিকটি তুলে ধরে। যেহেতু এই খেলায় প্রতিটি চালই হচ্ছে ইউনিক এবং খেলায় তা একবারই ব্যবহৃত হয় তাই মিনম্যাক্স প্রসিডিউরটি প্রকৃতপক্ষে খেলায় আত্মরক্ষার ভূমিকা পালন করতে পারে না।

খেলার লিপিকরণ ভেক্টরের (ডেসক্রিপটিভ ভেক্টর) সাধারণত ছয়টি কম্পোনেন্ট থাকে :

—কার্ডের প্রদত্ত কম্বিনেশনটির উপযোগিতা নির্ধারণকারী পয়েন্টের মান (VM) ;

—ব্যাংকে টাকার পরিমাণ (HP) ;

—প্রতিপক্ষ খেলোয়াড়ের পূর্ববর্তী বাজির পরিমাণ (DR) ;

—প্রতিপক্ষের খেলোয়াড় কর্তৃক গৃহীত কার্ডের সংখ্যা (CE) ;

—প্রতিপক্ষের খেলোয়াড় দ্বারা প্রতারণার (ব্লাফ) সম্ভাব্যতা (PB) ;

—প্রতিপক্ষের খেলোয়াড়ের খেলার ধরন : কম-বেশি কনজারভেটিভ (CA)।

R : (VM, HP, DR, CE, PM, CA)

এই প্রোগ্রামের সাহায্যে প্রদত্ত প্রতিপক্ষের সাথে খেলায় নিম্নলিখিত ক্যারেক্টারিস্টিকগুলি নির্ধারিত করা হয় : বাজির দান ও কার্ডের সুবিধাজনক দিকের মধ্যে অন্তঃসম্পর্ক বা পারস্পরিক নির্ভরশীলতা, পরিলক্ষিত ব্লাফের সংখ্যা, হার মেনে নেয়ার সিদ্ধান্তের সংখ্যা ইত্যাদি।

প্রোগ্রামে প্রোডাকশন রুলের ধরনটি হলো নিম্নরূপ :

—সিচুয়েশনের ক্যারেক্টারিস্টিক ভেক্টর ——→ বাজির দানের ঘোষণা।

—রুলগুলি সারিবদ্ধ থাকে এভাবে : i–তম রুলটি কেবল 1 থেকে (i–1)তম রুলগুলি কার্যকর হওয়ার পর ব্যবহৃত হবে।

—ধরা যাক নিম্নলিখিত রুলটি (শিক্ষক কর্তৃক প্রদত্ত) :

"খেলায় জেতার আশাব্যঞ্জকতা কার্ড-কম্বিনেশনসহ খেলোয়াড় চেষ্টা করবে বাজির দানের পরিমাণ ম্যাক্সিমামভাবে বাড়ানোর এবং এমন রিস্কে যাবে না যেন প্রতিপক্ষ খেলোয়াড় খেলায় পরাজয় স্বীকার করে। কিন্তু ব্যাংকে যদি টাকার পরিমাণ যথেষ্ট বেশি হয় তবে কার্ড শো করার আবেদন জানাবে।"

এই রুলটি প্রদত্ত প্রোগ্রামে নিম্নরূপে প্রস্তাবিত হয় :

R_1 : (SG^t, *, r *, PB, CA ⟶ Max

R_2 : (SG^t, Tat, r, *, *, *) ⟶ শো করা

R_1 কে R_2-এর পূর্বে বিবেচনা করা হবে।

(* চিহ্নটি দ্বারা বুঝানো হয় যে, এই প্যারামিটারটি তত গুরুত্বপূর্ণ নয়)।

Tat প্যারামিটারটি পূর্বাহ্নেই নির্ধারিত করা হয় যেমন ধরা যাক Tat = 100। r এর মান দ্বারা বুঝায় যে, প্রতিপক্ষ বাজির দান বাড়ানোর পদক্ষেপ নিয়েছে (r>0)। Max এর মান (প্রতিপক্ষ খেলা ছেড়ে দেবে না এই রিস্কে না যেয়ে বাজির দান বাড়ানোর ম্যাক্সিমাম মান) অন্য একটি রুল দ্বারা নির্ধারিত হয় এবং আংশিকভাবে PB ও CA এর মানের উপর নির্ভরশীল। অবশেষে উল্লেখ্য যে, এই রুলটি প্রোগ্রাম নিজেই পরিবর্তন এবং উন্নততর করতে পারে। শিক্ষকের সাহায্যে জ্ঞান অধিকরণ প্রক্রিয়া দ্বারা জ্ঞান আহরণ চালু থাকে ; ভালো বা উপযুক্ত রুলটি অগ্রাধিকার পায় এবং অন্য রুলগুলির ব্যবহারক্ষেত্র সীমিত হয়ে উঠে।

ধরে নেয়া যেতে পারে যে, নিম্নলিখিত তথ্যগুলি শিক্ষক কর্তৃক প্রতিটি চালের পরেই প্রদত্ত হয় ;

—উপযোগী প্যারামিটারগুলির চলতি ভেক্টর ;

—সঠিক সিদ্ধান্ত ;

—এই সিদ্ধান্ত নেয়ার কারণ।

এবারে তিনটি ভিন্ন ভিন্ন কেস লক্ষ্য করা যাক :

(১) প্রোগ্রামটি দ্বারা ভালো রুলগুলি মোতাবেক ভালো সিদ্ধান্ত গৃহীত হয় এবং কোনো কিছুই পরিবর্তিত হয় না।

(২) i–তম রুলটি ব্যবহৃত হয়েছে কারণ তার ডানে অবস্থিত কোনো রুলই ভালো নয় ; প্রোগ্রামটি (i–1)–তম স্থানে শিক্ষক কর্তৃক উল্লিখিত নিয়মটি স্থাপন করে।

(৩) ব্যবহৃত R_d রুলটির পূর্বে অথবা পরে অবস্থিত R_j রুলটি দ্বারা আরো ভালো সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায় : যেসব প্যারামিটার R_j ব্যবহারে বাধার সৃষ্টি করে সেই প্যারামিটারগুলি অটোম্যাটিকভাবেই অপসারিত হয়

উদাহরণ : নিম্নলিখিত রুলগুলি লক্ষ্য করা যাক :

$R_1 (a_1, *, C_2, *, *,*)$ ——→ বাজির দান 5 বাড়ানো।

$R_2 (a_1, b_1, *, *,*)$ ——→ (PB) এর মান 0.5 বাড়ানো (প্রতিপক্ষ কর্তৃক ব্লাফের সম্ভাবনা)।

$R_3 (a_2, *, c_1, *, e_1, *)$ ——→ বাজির দান 5 বাড়ানো।

$R_4 (a_1, *, *, *, *, *,)$ ——→ (PB) এর মান 0.5 বাড়ানো

এখানে নিম্নলিখিত সীমাবদ্ধতা বিদ্যমান :

$a_1 > 8$, $a_2 < 10$, $b_1 > 9$, $c_1 < 3$, $c_2 > 11$, $e_1 = 0$

এবং সিচুয়েশন ভেক্টর (9,4,5,7,0,5)।

(VM) এর মান a_1 ও a_2 এর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ ; (HP) ও DR) এর মান b_1, c_1 অথবা c_2 কোনোটিকেই প্রস্তাব করে না এবং কেবল R_4 রুলে ব্যবহারযোগ্য। কিন্তু এই মুহূর্তে শিক্ষক নির্বাচিত সিদ্ধান্তকে সমালোচনা করে বলে যে, যেহেতু (VM) বড় (7 এর বেশি) এবং একই সাথে (DR) তত বড় নয় (6 এর কম) তাই বাজির দান 5 বাড়ানো বাঞ্ছনীয়।

অতএব নতুন একটি রুল সংযোজিত হয় :

$R_p(a_3 , *, c_3, *, *, *,)$ ——→ বাজির দান 5 বাড়ানো যদি $a_3 > 7$ এবং $c_3 < 6$ হয়।

এবার প্রোগ্রামটি সেই রুলের সন্ধান করে, যার সাহায্যে উপরিউক্ত অ্যাকশন কার্যকর সম্ভব। এই রুলটি R_1 হতে পারে কিন্তু তা প্রযোজ্য নয় কারণ, c_2 এবং c_3 এর সীমাবদ্ধতা পারস্পরিকভাবে দ্বন্দ্বমূলক এবং একই সময়ে সন্তুষ্ট করা সম্ভব নয়। R_3 রুলটি এক্ষেত্রে বেশি প্রযোজ্য কারণ সিদ্ধান্ত একই ধরনের বিদ্যমান থাকে এবং সীমাবদ্ধতাগুলি সন্তুষ্ট করা সম্ভব। যেহেতু R_3 রুলটি ভ্রান্তিপূর্ণ R_4 এর পূর্বে অবস্থান করে তাই a_2 ও c_1 প্যারামিটারগুলিকে এমনভাবে পরিবর্তন করা দরকার যেন তা অবস্থার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হয়।

R_3 রুলটি অটোম্যাটিকভাবে নিম্নরূপে পরিবর্তিত হয় :

$R_3 (a_4, *, c_3, *, e_1, *)$ ——→ বাজির দান 5 বাড়ানো যদি $7 < a_4 < 10$ এবং $c_3 < 6$ হয়।

শিক্ষার এই প্রক্রিয়াটি ৬.৭ চিত্রে পুরাপুরি প্রস্তাবিত হয়েছে।

সিচুয়েশন-ভেক্টর ও ভালো সিদ্ধান্ত ইনপুটকরণ

রুল প্রক্রিয়াকরণ

যদি সিদ্ধান্ত ভালো

তবে শেষ

অথবা নতুন উপযোগী রুল R_p এর গঠন

ধরা যাক R_d ভুল সিদ্ধান্ত গ্রহণকারী রুল

যদি R_i রুলটির অস্তিত্ব বিদ্যমান যা

—ডানপার্শ্বে R_p রুলের ন্যায় সদস্য ধারণ করে।

—R_p অসমতাটির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ অসমতা দ্বারা নির্ধারিত হয়

তবে যদি R_i অবস্থান করে R_d এর পূর্বে :

তবে R_i R_p এর নির্ণয় সাধারণকরণ

অন্যথায় (R_i এর অবস্থান R_p এর পরে হয়) :

(R_d ও R_i এর মাঝে অবস্থিত সকল রুলের জন্য প্যারামিটারগুলির নির্ণয় সীমিতকরণ যেন চলতি ভেক্টরের সাথে তাদের সরাসরি যোগাযোগ না হয়)

শেষ – যদি

অন্যথায় R_d এর তাৎক্ষণিকভাবে নতুন রুল R_p এর সংযোজন

শেষ – যদি

শেষ – যদি

চিত্র ৬.৭ : পোকার খেলার রুলগুলি শিক্ষার প্রসিডিউর।

প্রস্তাবিত প্রসিডিউরটিতে দুটি বিপজ্জনক অবস্থা সৃষ্টির সম্ভাবনা আছে। প্রথমটি রুলগুলির মাত্রাতিরিক্ত সীমাবদ্ধতার সাথে সম্পর্কযুক্ত এবং শিক্ষকের মাত্রাতিরিক্ত নিয়মানুবর্তিতার সাথে উদ্ভূত হয়। রুলগুলির সংখ্যা সীমাহীনভাবে বৃদ্ধি পায় এবং প্রতিটি রুলই কেবল একবার ব্যবহৃত হতে পারে। এই অবস্থা থেকে উদ্ধার পাওয়ার জন্য রুলগুলির সংখ্যা কিছুটা ঐচ্ছিকভাবেই সীমাবদ্ধ করা হয় এবং সর্বশেষ রুলটি ভেক্টর (*,*,*,*,*,) এর সাথে ঘটনাক্রমিকভাবে সামঞ্জস্যপূর্ণ নির্বাচিত সিদ্ধান্তটি গ্রহণ করে। এটিই প্রকৃতপক্ষে সেই একমাত্র রুল যা থেকে সর্বপ্রকার শিক্ষা পদ্ধতি শুরু হয়।

দ্বিতীয় অবস্থাটি বাহুল্যের কারণে উদ্ভূত হয়। R_1 রুলটি তার পরবর্তী যে কোনো রুল R_2 কে অপ্রয়োজনীয় করে তোলে, R_1 অথবা R_2 রুলগুলি অনুযায়ী যে কোনো সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য R_2 এর প্যারামিটারগুলির পরিবর্তনক্ষেত্র R_1 রুলক্ষেত্রের অন্তর্ভুক্ত। ঠিক

একইভাবে R_1 রুলটি R_0 রুলটিকে মূল্যহীন করে তোলে যদি দেখা যায় যে, একই জাতীয় সিদ্ধান্ত গৃহীত হতো যদি R_0 রুলটি আদৌ অস্তিত্বশীল না থাকতো।

এ জাতীয় বাহুল্য পিরিওডিকভাবে পরীক্ষা করা হয় এবং তা দূর করা হয় (এই প্রক্রিয়াটি কোনো প্রতিযোগিতা সম্পূর্ণভাবে শেষ না হওয়ার আগেই প্রতিটি খেলার সাথে সাথেই সম্পন্ন করা হয় কারণ রুলগুলি খুব বেশি তাড়াতাড়ি পরিবর্তিত হতে পারে)।

উদাহরণ : নিম্নলিখিত রুলগুলি লক্ষ্য করা যাক :

$R_1 : (a_1, b_1, *, *, *, *, *,) \longrightarrow d_1$

$R_2 : (a_2, b_2, c_1, *, *, *, *, f_1,) \longrightarrow d_2$

$R_3 : (*, b_2, *, *, *, *, f_2,) \longrightarrow d_3$

$R_4 : (*, b_1, *, *, *, *) \longrightarrow d_4$

এই রুলগুলিতে নিম্নলিখিত সীমাবদ্ধতা বিদ্যমান :

$a_1>5$, $a_2>10$, $b_1>9$, $b_2<4$, $c_1<5$, $f_1>15$, $f_2<7$

R_1 রুলটি R_2 রুলকে অক্ষম করে তোলে কারণ $a_2>a_1$ এবং $b_2<b_1$। অনুরূপভাবে R_4 রুলটি R_3 রুলটিকে অক্ষম করে তোলে কারণ $b_2<b_1$ এবং f_2 মোটেই ব্যবহৃত হয় না। এ কারণে R_2 ও R_3 রুলগুলি অপ্রয়োজনীয় হয়ে উঠে।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, এরপর সবকিছু যথাস্থানে অবস্থান করে এবং পদ্ধতিটি শিক্ষক ব্যতিরেকেই জ্ঞান আহরণ করতে পারে। প্রতিবারই যখন কার্ড শো করা হয় এবং প্রোগ্রামটি খেলায় হেরে যায়, প্রোগ্রামটি সর্বশেষ রুলটিকে হার স্বীকার করার রুলে পরিবর্তন করে। অন্যদিকে যদি প্রোগ্রামটি জয়লাভ করে, তবে সর্বশেষ চালে বাজির দান বাড়ানো হয়।

এভাবে উত্তেরমান পোকার খেলার জন্য পাঁচটি ভিন্ন ভিন্ন প্রোগ্রাম তৈরি করেন। তাঁদের খেলার ধরন : (ক) ঘটনাক্রমিকভাবে, (খ) শিক্ষক ব্যবহার করে, (গ) স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতি ব্যবহার করে, (ঘ) কোনো ভালো খেলোয়াড় কর্তৃক প্রদত্ত রুল ব্যবহার করে, (ঙ) অবস্থা ভেক্টরের ক্যারেক্টারিস্টিক ব্যবহার ব্যতিরেকেই শিক্ষা ব্যবস্থা গ্রহণ করে পরিচালিত হয়।

প্রোগ্রামটির রুলগুলির সংখ্যা ৩০ এর বেশি হয় না এবং তা শিক্ষালাভের পর এক্সপার্টের খেলার প্রায় ৯৬% দক্ষতা অর্জন করে। প্রোগ্রামটি চলতি অবস্থার জন্য গৃহীত সিদ্ধান্ত ঘন ঘন পাল্টাতে পারে এবং কোনো ভুল ছাড়াই প্রতিপক্ষের খেলোয়াড়কে ব্লাফ দিয়ে দুর্বোধ্য অবস্থায় ফেলতে পারে।

প্রোগ্রামটি ২৫টি ভিন্ন ভিন্ন জাতীয় ঘটনাক্রমিক কার্ড-কম্বিনেশন দ্বারা মানুষ-খেলোয়াড়ের বিরুদ্ধে খেলায় পরীক্ষা করা হয়। এরপর স্থান পরিবর্তন করা হয়। দেখা যাচ্ছে যে, প্রোগ্রামটি সহজেই মধ্য শ্রেণীর খেলোয়াড়ের সাথে জয়লাভ করে এবং দক্ষ খেলোয়াড়দের সাথে সমকক্ষতা প্রদর্শন করে।

মন্তব্য : উওতেরমানের প্রোগ্রামটির দুটি দুর্বল দিক আছে। প্রথমত- স্যামুয়েলের প্রোগ্রামটির ন্যায় এখানে শিক্ষা-প্রক্রিয়া সংখ্যা-প্যারামিটারের সাহায্যে ঘটে। নীতি নির্ণয়কারী সিম্বলিক এলিমেন্টগুলি অ্যাপোস্টেরিওরভাবে প্রদত্ত হয়। দ্বিতীয়ত অপরিবর্তনীয় নিয়মধারা প্রোগ্রামের কার্যক্রম জটিল করে তোলে এবং অচিন্তনীয় পরিস্থিতির সৃষ্টি করতে পারে। সারিবদ্ধ নিয়মধারা প্রকৃতপক্ষে কোনো পরিবর্তন সাধিত হলে তা অনিয়ন্ত্রিত অবস্থার সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে প্রোডাকশন রুলগুলি তার সুবিধাজনক দিকগুলি হারিয়ে ফেলে।

অতএব জ্ঞান অধিকরণের বিশেষ দিকগুলো হলো নিম্নরূপ :

সর্বপ্রথম কোনো অবস্থার অর্থগুলি সুস্পষ্ট করে তুলতে হবে। এরপর প্রয়োজনে অবস্থা-নির্ধারক ক্যারেক্টারিস্টিকগুলির সম্পর্কে সিদ্ধান্ত গ্রহণ (সাধারণত কেবল একক ক্ষেত্রে প্রযোজ্য) করতে হবে। ঠিক এভাবেই মানুষ তার সিদ্ধান্ত গ্রহণ ও কার্যধারা নির্ধারণ করে- কোনো ব্যক্তিকে দু'বার ব্যাখ্যা করার প্রয়োজন হয় না যে আগুনে হাত দেয়া ঠিক নয়।

৬.৭ ক্যারেক্টারিস্টিকগুলি বিবেচনাকরণ

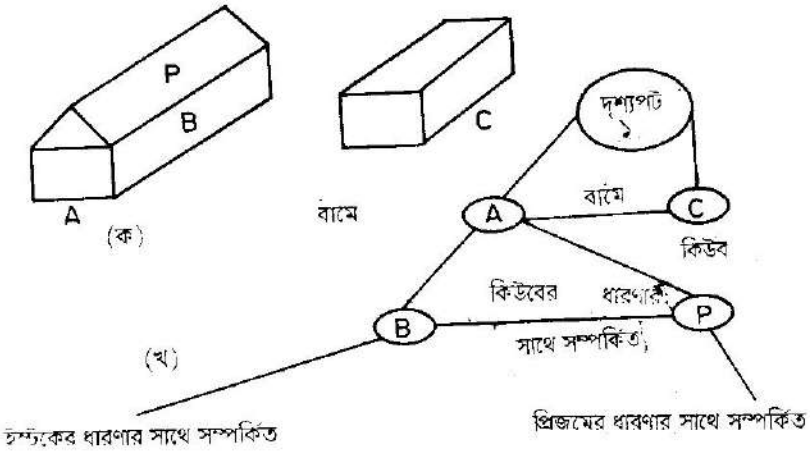
মানুষ শৈশবকাল থেকেই বিভিন্ন ধারণার অবতারণা করে এবং সাথে সাথে তার নামকরণও করে—যেমন মানুষ জানে খেলনা, গাছ, বাড়ি, মানুষ ইত্যাদি বলতে কি বুঝায়। এবারে দেখা যাক, কিভাবে আমরা একটি ধারণার সাথে বিভিন্ন উদাহরণের সংযোগ ঘটাতে পারি এবং কিভাবে এই ধারণার বৈশিষ্ট্যগুলিকে চিহ্নিত করা যায়।

১৯৭০ সালে উইনস্টন একটি প্রোগ্রামের সাহায্যে এই প্রশ্নগুলির আংশিক উত্তর দেয়ার চেষ্টা করেন। ১৯৭৯ সালে এস, ভের এর আরও উন্নত সংস্করণ তৈরি করেন। প্রোগ্রামটি নিচে প্রদত্ত হলো।

উইনস্টনের প্রোগ্রামটি সিনেমা ক্যামেরার সাহায্যে কিছু সাধারণ বস্তুর একটি দৃশ্যপটকে বিশ্লেষণ করেন, যেমন কিউব, ইস্টক, প্রিজম, পিরামিড। প্রথমে দৃশ্যপটটিকে একটি বুদ্ধিমাফিক প্রস্তাবনা বা ধারণা সৃষ্টির জন্য বিশ্লেষণ করা হয়। এক্ষেত্রে প্রতিটি বস্তুকে পৃথক পৃথকভাবে বিচার করা হয় এবং তাদের মধ্যে সম্পর্কগুলিকে গ্রাফের সাহায্যে স্মৃতিতে আবদ্ধ করা হয়। গ্রাফের শীর্ষবিন্দুগুলি একটি বস্তু দ্বারা প্রস্তাবিত হয়। এজন্য নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলি ব্যবহার করা হয় :

"উপরে", "পাশে", "ধারণকৃত", "বামে", "সম্মুখে" এবং "ধারণার-সাথে-সম্পর্কিত"।

৬.৮ (ক) চিত্রে প্রদত্ত দৃশ্যপটটি ৬.৮ (খ) চিত্রে গ্রাফের সাহায্যে প্রস্তাবিত হয়। কিছু উদাহরণ ও প্রতিউদাহরণের সাহায্যে এই পদ্ধতিটি শিক্ষক কর্তৃক কোনো দৃশ্যপটের ধারণাগুলিকে পৃথককরণ করতে পারে। এক্ষেত্রে আই, কিউ নির্ধারণের জন্য যে অ্যানালজি-টেস্ট ব্যবহার করা হয় তার সাথে যথেষ্ট মিল আছে। এজন্য প্রাথমিকভাবে প্রদত্ত উদাহরণগুলির ভিত্তিতে কোনো "রুল" বের করার প্রয়োজন হয়। টি,ইভান্স এই টেস্ট-সমস্যাগুলি সমাধানের জন্য ইউনিফিকেশন অ্যালগরিদমের ভিত্তিতে একটি প্রোগ্রাম তৈরি করেন।

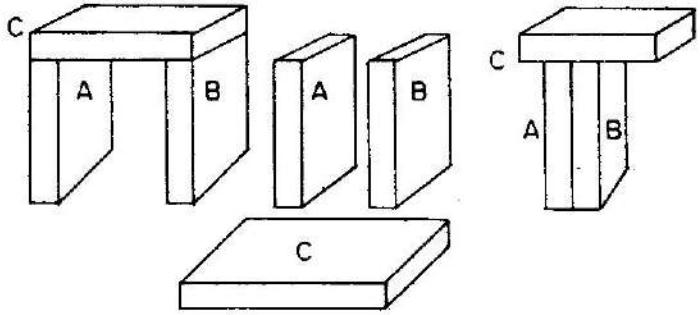


চিত্র ৬.৮ : দৃশ্যপটের প্রস্তাবনা ও বিশ্লেষণ।

উইনস্টনের পদ্ধতিতে কোনো টিপিক্যাল অবস্থা থেকে শুরু একটি দৃশ্যপটের সারিকে বিবেচনা করা হয়। এরপর অভিজ্ঞতার শর্তগুলিতে গুরুত্বপূর্ণ কোনো পরিবর্তন করা হয়। শিক্ষক পদ্ধতিতে এমন কিছু দৃশ্যপট সংযোজন করতে পারে, যা বিশেষ কোনো ধারণা সৃষ্টির উদাহরণ হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে। পদ্ধতিটি তখন উদাহরণ ও প্রতিউদাহরণের সাহায্যে স্বয়ংক্রিয়ভাবে শিক্ষালাভ করতে পারে।

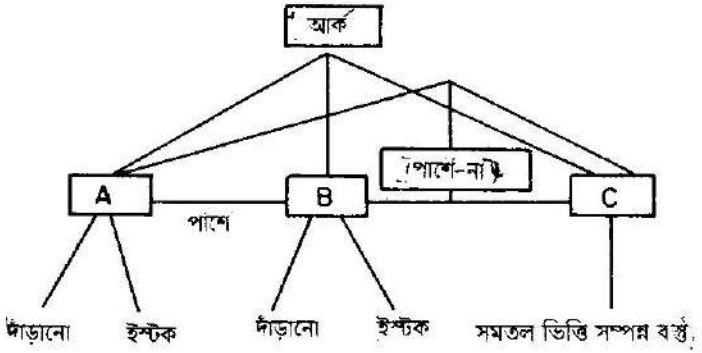
পদ্ধতিটি 'প্রায়-সদৃশ-উদাহরণ" ধারণাটি ব্যবহার করে, অর্থাৎ যদি কোনো অবস্থা অন্যান্য অবস্থাগুলি থেকে মাত্রাতিরিক্তভাবে ভিন্ন হয় তবে এর ব্যবহার সম্বন্ধে কম তথ্য দেয়া হয়। কিন্তু অবস্থা যদি অন্যান্য অবস্থাগুলির কাছাকাছি হয় তবে তাদের মধ্যে পার্থক্যগুলি চিহ্নিত করা হয় এবং সেই অবস্থাটির ধারণার মূল ও সহমূল (তত গুরুত্বপূর্ণ নয়) বৈশিষ্ট্যগুলি পদ্ধতিতে জ্ঞান হিসেবে সংরক্ষিত হয়।

এবারে ৬.৯(ক) চিত্রে প্রস্তাবিত দৃশ্যপটটির কথা বিবেচনা করা যেতে পারে। প্রদত্ত পদ্ধতিতে এই দৃশ্যপটটিকে দুটি ইস্টখণ্ডের পাশাপাশি খাড়াভাবে দাঁড়ানো এবং একটি ইস্টকখণ্ড তাদের উপর চিৎভাবে স্থাপিত (ধারণকৃত) হিসেবে ধরা হয়। যদি ৬.৯ (খ) চিত্রে প্রস্তাবিত দৃশ্যপটটিকে ৬.৯ (ক) চিত্রে প্রস্তাবিত ধারণার প্রতিউদাহরণ হিসেবে ধরা হয় তবে পদ্ধতিটি "স্থাপন" সম্পর্ককে প্রদত্ত ধারণার প্রয়োজনীয় শর্ত হিসেবে বিচার করবে। যদি ৬.৯ (গ) চিত্রে প্রস্তাবিত দৃশ্যপটটিকে অপর একটি প্রতি উদাহরণ হিসেবে ধরা হয় তবে প্রোগ্রামটির ভিতর এক্ষেত্রে "পাশে-নয়" এই সম্পর্কটি অন্তর্ভুক্ত করা যেতে পারে।



চিত্র ৬.৯ : আর্কের উদাহরণ ও প্রতিউদাহরণ।

অনুরূপভাবে যদি উদাহরণে চিৎভাবে রাখা ইস্টকখণ্ডের স্থলে প্রিজম ব্যবহার করা হয় তবে এই সাধারণকরণ করা যেতে পারে যে, "চিৎভাবে রাখা বস্তুটি যে কোনো ধরনের হতে পারে তবে তার একটি সমতল থাকতে হবে যা দুটি ইস্টকখণ্ড ধারণ করতে পারে।" ৬.১০ চিত্রের সাহায্যে "আর্ক" ধারণাটি প্রস্তাবিত হয়েছে।



চিত্র ৬.১০ : আর্কের ধারণা।

যদি কোনো ক্ষেত্রে চলতি দৃশ্যপট ও মডেলের মধ্যে সাদৃশ্য কয়েকভাবে নির্ধারণ করা সম্ভব হয় সেক্ষেত্রে অবজেক্ট ও সম্পর্কগুলির অগ্রাধিকার নির্ণয়কারী ফাংশনের মানের সাহায্যে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়।

উপরিউক্ত প্রোগ্রামটির গ্রহণযোগ্যতা ও সীমাবদ্ধতা দুটি ফ্যাক্টর দ্বারা নির্ধারিত হয়। প্রথমত কাজের পরিবেশের দীনতা। কেবল জোড়া-সম্পর্কধারী অবজেক্টগুলির মধ্যে পারস্পরিক নির্ভরশীলতা যথেষ্ট কম। প্রতিউদাহরণগুলি কিছুটা "নাইভ" বলা যেতে পারে এবং তাদের মধ্যে ভাল নির্বাচনের কোনো বিশেষ পদ্ধতি নেই। দ্বিতীয়ত- জ্ঞান অধিকরণের মাত্রাতিরিক্ত ইম্পিরিকাল বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান অর্থাৎ কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ পদক্ষেপের পর ফললাভ হবে এমন কোনো গ্যারান্টি নেই। সর্বোপরি কিভাবে একটি অবজেক্টের সঠিক ধারণা হাজার হাজার মডেলের মধ্য থেকে চিহ্নিত করা সম্ভব হবে তাও সঠিকভাবে নির্ধারিত নয়।

প্রকৃতপক্ষে এই পদ্ধতিটি কোনো কার্যকর সিদ্ধান্তে আসতে পারে না কারণ সে জন্য সব মডেলই একই জাতীয়। আসলে পদ্ধতিটির স্মৃতিতে কেবল সর্বশেষ মডেলটিই ধারণকৃত থাকে। যেসব উদাহরণের সাহায্যে তার উদ্ভব হয় সেগুলি ধারণ করা অবস্থায় থাকে না। কাজেই পূর্ববর্তী অবস্থাগুলিতে ফিরে যাওয়া সম্ভব হয় না। উদাহরণস্বরূপ, যখন "পাশে-না" এই সম্পর্কটি সংযোজিত হয় তখন নির্ধারণ করা সম্ভব হয় না যে, এই সম্পর্কটি পূর্ববর্তী উদাহরণগুলিতে প্রযোজ্য কিনা। কাজেই পরস্পর বিরোধিতা অপসারণের জন্য এমন ব্যবস্থা গ্রহণ করা দরকার যা মূল্য নির্ধারণকারী ফাংশনের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয় না।

গ্রন্থপঞ্জি

1. Dayis. R. and D.B. LENAT 1982. Knowledge Based systems in Artificial Intelligence. New York : McGraw-Hill.
2. Duda, R.O. and P.E. HART, 1983. Pattern Classification and scene analysis. New York : Willey.
3. Minsky, M.L., ed. 1968. Semantic Information Processing, Cambridge : MIT Press.
4. Minsky, M.L., 1975. "A Frame work for Representing Knowledge "In the Psychology of Computer Vision. ed. P.H. Winston. New York : McGraw Hill.
5. Dan W. Patterson, 1990. Introduction to Artificial Intelligence and expert systems. Prentice-Hall of India private Ltd. New Delhi.
6. Zadeh, L.A. 1983 "The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert systems." In Fuzzy sets and systems 1, 3.
7. Zimmerman, H.J. 1985. Fuzzy set Theory and Its Applications. Dordrecht : Kluwer Nijhoff.
8. Winston, P. H. 1977. Artificial Intelligence. New York : Addison-Wesley.
9. Marr, D. 1982. Vision. New York. Freeman.
10. Cohen, P.R. and E.A. Feigenbaum eds. 1982. The handbook of Artificial Intelligence, Vol. 3, Los Altos : Morgan kaufmann.
11. Ernst, G.W., and A. Newell, 1969. GPS. A case study in generality and problem solving. New York : Academic.

BANSDOC Library
Accession No. 18062