জীববিজ্ঞান পরীক্ষণ ডিজাইন

সত্যজিৎ কুমার ভদ্র

জীববিজ্ঞানে পরীক্ষণ ডিজাইন

ড. সত্যজিৎ কুমার ভদ্র
প্রফেসর
উদ্ভিদবিজ্ঞান বিভাগ
চট্টগ্রাম বিশ্ববিদ্যালয়, চট্টগ্রাম

BANSDOC Library
20937
25.6.09

বাংলা একাডেমী ঢাকা

জীববিজ্ঞানে পরীক্ষণ ডিজাইন
(জীবপরিসংখ্যানের পরীক্ষণ ডিজাইন সম্পর্কিত বর্ণনা)

প্রথম প্রকাশ
আষাঢ় ১৪১৩/জুন ২০০৬

বা/এ ৪৫১৩
(২০০৫–২০০৬ পাঠ্যপুস্তক : জীকৃচি ৩)

মুদ্রণ সংখ্যা ১২৫০

পাণ্ডুলিপি প্রণয়ন ও মুদ্রণ তত্ত্বাবধান
জীববিজ্ঞান, কৃষিবিজ্ঞান ও চিকিৎসাবিজ্ঞান উপবিভাগ

জীকৃচি ৩১৩

প্রকাশক
এ.এস.এম. এনায়েত করিম
পরিচালক
পাঠ্যপুস্তক বিভাগ
বাংলা একাডেমী ঢাকা ১০০০

মুদ্রণ
মোঃ সৈয়দুর রহমান
ব্যবস্থাপক
বাংলা একাডেমী প্রেস ঢাকা ১০০০

প্রচ্ছদ
আনওয়ার ফারুক

মূল্য
একশত দশ টাকা মাত্র

JIBOBIJNANEY PORIKHON DESIGN (Experimental designs in Biology) by Dr. Satyajit Kumar Bhadra. Published by A.S.M Enayet Karim, Director, Textbook Division, Bangla Academy, Dhaka 1000, Bangladesh. First Published : June 2006. Price : Taka 110.00 only.

ISBN 984-07-4522-0

ভূমিকা

আমাদের দেশে জীববিজ্ঞান বিষয়ে পঠন ও গবেষণার ব্যাপক সুযোগ রয়েছে। এর অন্তর্ভুক্ত বিভিন্ন বিষয় যেমন– উদ্ভিদবিজ্ঞান ও কৃষিবিজ্ঞানের অনেক গবেষণা কার্যক্রম মাঠ পর্যায়ে সম্পন্ন করতে হয় এবং তা সুষ্ঠুভাবে সম্পাদনের জন্য সঠিক পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বন করা একান্ত প্রয়োজন। শুধু গবেষণা কার্যক্রম সম্পাদনের জন্যই নয়, গবেষণালব্ধ ফলাফলের বিশ্লেষণ এবং তা থেকে সঠিক সিদ্ধান্তে উপনীত হতে হলেও উপযুক্ত পরীক্ষণ ডিজাইনভিত্তিক গবেষণা করার প্রয়োজন।

বিংশ শতাব্দির দ্বিতীয় দশক থেকেই জীববিজ্ঞানের অনেক গবেষণা কর্মকাণ্ডে পরিসংখ্যানের ব্যাপক ব্যবহৃত শুরু হয়েছে। এর প্রধান কারণ জিনতত্ত্বের ভিত্তি মেন্ডেলিয়ান সূত্রে সম্ভাবনা তত্ত্বের অপরিহার্যতা এবং পরিসংখ্যানবিদ্যার জনক R.A. Fisher–এর গবেষণা কাজে জীববিজ্ঞানের বিভিন্ন উপাত্তের ব্যবহার। পরবর্তীকালে ১৯৩০–এর দশক থেকে পরিসংখ্যানের ব্যবহার আরও বৃদ্ধি পায় এবং জীববিজ্ঞানী ও পরিসংখ্যানবিদদের পারস্পরিক সহযোগিতায় মাঠভিত্তিক গবেষণায় পরীক্ষণ ত্রুটির (experimental error) পরিমাপ এবং তা কমানোর পদ্ধতি উদ্ভাবনের সুযোগ ব্যাপকতর হয়। এভাবেই উদ্ভাবিত হয় বিভিন্ন ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন (Experimental design)।

ইতোমধ্যে অনেক ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন উদ্ভাবন করা হয়েছে, তবে এসব ডিজাইনের মধ্যে সাধারণত সম্পূর্ণ দৈবায়িত, দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক, ল্যাটিন বর্গ ও ফ্যাক্টরিয়াল ডিজাইনই বেশি ব্যবহার হয়। এছাড়া কিছু কিছু ক্ষেত্রে বিশেষ করে উদ্ভিদ সুপ্রজননের ক্ষেত্রে প্রোজেনি সারি নির্বাচন ও ল্যাটিস ডিজাইনও ব্যবহৃত হয়। কিন্তু আমাদের দেশে মাঠ পর্যায়ের গবেষণায় বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন ব্যবহার করা হয়। কিছু কিছু ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ দৈবায়িত, স্প্লিট প্লট ও ফ্যাক্টরিয়াল ডিজাইনের ব্যবহার দেখা যায়। অনেক ক্ষেত্রেই সাধারণ প্রায়োগিক জ্ঞানের সীমাবদ্ধতার কারণে অধিকতর নিখুঁত সিদ্ধান্তে উপনীত হতে অনেকেই ব্যর্থ হন। যাহোক, আমি নিজেই ছাত্রাবস্থায় এবং পরবর্তীকালে বিশ্ববিদ্যালয়ের শিক্ষক হিসেবে জীববিজ্ঞান ও কৃষিবিজ্ঞানে ব্যবহৃত উদাহরণ সম্বলিত বিভিন্ন পরীক্ষণ ডিজাইনের সমন্বয় করে বাংলা ভাষায় এ ধরনের গ্রন্থ রচনার প্রয়োজনীয়তা অনুভব করি।

বর্তমানে আমাদের দেশে ঢাকা, রাজশাহী, চট্টগ্রাম, কৃষি, জাতীয় বিশ্ববিদ্যালয় এবং বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয় কলেজে স্নাতক ও স্নাতকোত্তর পর্যায়ে উদ্ভিদ, প্রাণী, কৃষিতত্ত্ব,

কৌলিতত্ত্ব, উদ্ভিদ প্রজনন প্রভৃতি বিষয় সংশ্লিষ্ট গবেষণা সম্পর্কিত পাঠ্যসূচি অথবা জীবমিতির (Biometry) পাঠ্যসূচিতে পরীক্ষণ ডিজাইনের বিভিন্ন বিষয় অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। তাছাড়াও বিশেষ করে কৃষিবিজ্ঞানভিত্তিক বিভিন্ন গবেষণা প্রতিষ্ঠানেও পরীক্ষণ ডিজাইনভিত্তিক বিভিন্ন কোর্সের প্রশিক্ষণ বা কর্মশালার ব্যবস্থা করা হয়ে থাকে। এ পরিপ্রেক্ষিতে পরীক্ষণ ডিজাইনের বিভিন্ন তত্ত্বীয় ও প্রায়োগিক বিষয়ের সমন্বয় করে উদাহরণের সাহায্যে যথাসম্ভব সহজতর করে জীববিজ্ঞান ও কৃষিবিজ্ঞানের ছাত্রছাত্রী এবং গবেষকদের কাছে বোধগম্য হয় এমন ধরনের বাংলা গ্রন্থ প্রকাশের খুবই প্রয়োজন। এখানে উল্লেখ থাকে যে, ইংরেজি ভাষায় এ ধরনের বেশকিছু গ্রন্থ ইতোমধ্যে প্রকাশিত হয়েছে। উদাহরণস্বরূপ, আন্তর্জাতিক ধান গবেষণা কেন্দ্র হতে প্রকাশিত K.A. Gomez এবং A.A. Gomez রচিত "Statistical Procedure for Agricultural Research"-এর নাম উল্লেখ করা যায়।

উপরোক্ত বিষয়গুলো বিবেচনা করে আমার দীর্ঘ বত্রিশ বছরের গবেষণা ও পাঠদানের অভিজ্ঞতার আলোকে এই গ্রন্থ রচনার উদ্যোগ নিয়েছি। এক্ষেত্রে ছাত্রছাত্রীদের অনুপ্রেরণা এবং আমাদের দেশের ধান, পাট ও কৃষি গবেষণা প্রতিষ্ঠানে নিয়োজিত অনেক পরিচিত বিজ্ঞানীদের উৎসাহ এবং আমার সহকর্মীদের সহযোগিতা এ ধরনের একটি কঠিন কাজে সাহস যুগিয়েছে। আমি আশা করি, এই গ্রন্থটি জীববিজ্ঞানের ছাত্রছাত্রী ও গবেষকদের কাছে কিছুটা হলেও সমাদৃত হবে।

বাংলা ভাষায় বিজ্ঞানের গ্রন্থ রচনা করা বেশ কঠিন কাজ। এর প্রধান অন্তরায় বিভিন্ন বৈজ্ঞানিক শব্দের সঠিক পরিভাষা ব্যবহার করা। আমার মতে, বোধগম্য হওয়ার সুবিধার্থে অনেক ক্ষেত্রে যথাযথ বাংলা পরিভাষা ব্যবহার করার সুযোগ না থাকলে ইংরেজি শব্দ বাংলা উচ্চারণে ব্যবহার করা যেতে পারে। কেননা বাংলা ভাষায় অনেক বিদেশী শব্দ ব্যবহৃত হয়ে থাকে। বিজ্ঞানের পরিভাষাগত সমস্যা নিয়ে আমাদের দেশে অনেক লেখালেখি হয়। আমি পরিভাষা ব্যবহারের ক্ষেত্রে উদার নীতি অবলম্বন করাটাই সুবিধাজনক মনে করি। যেমন– 'Tissue'–কে বাংলায় 'কলা' বললে Tissue culture–এর বাংলা হবে কলা আবাদ– এ ক্ষেত্রে এই 'কলা' শব্দটি ফল হিসেবেও বিবেচিত হতে পারে। অতএব Tissue–কে 'টিস্যু' বলাই যুক্তিসঙ্গত। এই গ্রন্থের দু'জন বিশেষজ্ঞের পরামর্শতেও পরিভাষাগত মতপার্থক্য লক্ষণীয় ছিল। যেমন– একজন বিশেষজ্ঞ 'Degree of freedom' বলতে 'স্বাধীনতার মাত্রা' আবার অন্যজন শুধু 'মুক্তমাত্রা' ব্যবহারের পরামর্শ দিয়েছেন।

এ গ্রন্থে মোট চৌদ্দটি অধ্যায়ে বিভিন্ন পরীক্ষণ ডিজাইন যথা– পরীক্ষণ ডিজাইনের নীতিমালা, সম্পূর্ণ দৈবায়িত, দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক, ল্যাটিন বর্গ, স্প্লিট প্লট, উপাদানিক ও ল্যাটিস ডিজাইন এবং উপাত্তের রূপান্তর প্রভৃতি বিষয়কে উদাহরণসহ বিশদভাবে

জীববিজ্ঞানের আঙ্গিকে বর্ণনা করা হয়েছে। তদুপরি গবেষণার কাজে প্রয়োজনীয় মিসিং প্লট পদ্ধতি, প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ, সহভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ এবং ক্রস-ওভার ডিজাইন সম্পর্কেও বর্ণনা করা হয়েছে। পরিশেষে তথ্যপঞ্জি, সংশ্লিষ্ট পরিভাষা এবং পরিশিষ্টতে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণে ব্যবহার্য কিছু পরিসংখ্যানিক সারণি উপস্থাপিত হয়েছে। আমার বিশ্বাস, এ গ্রন্থে উল্লেখিত বিষয় জীব ও কৃষিবিজ্ঞানের গবেষক এবং ছাত্রছাত্রীদের কাছে বোধগম্য হবে।

প্রথম সংস্করণ হিসেবে এ গ্রন্থে কিছুটা হলেও ত্রুটি থাকা স্বাভাবিক। এ বিষয়ে সুধী পাঠকদের পরামর্শ একান্ত কাম্য। এ গ্রন্থ প্রণয়নের ক্ষেত্রে আমার এম.ফিল. ছাত্র দোলন ভট্টাচার্য এবং এম.এসসি ছাত্র মোশারফ হোসেনের সহযোগিতা খুবই স্মরণযোগ্য। বিশেষ করে মোশারফ হোসেন পাণ্ডুলিপিতে বিভিন্ন সময়ে লেখা, বঙ্গানুবাদ এবং পরিশোধনে যে সাহায্য করেছে তা ব্যতীত এই গ্রন্থটির পূর্ণাঙ্গ রূপদান সম্ভবপর ছিল না। রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়ের জেনেটিক্স ও ব্রিডিং বিভাগের প্রফেসর ড. ও.আই. জোয়ার্দার এবং প্রফেসর আবদুল খালেক আমাকে গ্রন্থটি প্রণয়নকালে যে পরামর্শ দিয়েছেন তার জন্য তাঁদের কাছে আমি কৃতজ্ঞ। ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের উদ্ভিদবিজ্ঞান বিভাগের প্রফেসর ড. রাখহরি সরকার আমাকে বেশকিছু তথ্য দিয়ে এই গ্রন্থ প্রণয়নে যে সহযোগিতা করেছেন তার জন্য আমি তাঁর কাছেও কৃতজ্ঞ। সবশেষে আমার স্ত্রী অধ্যাপিকা ড. শান্তি রাণী হালদার, আমার সন্তান শমীক এবং শার্মিষ্ঠা এ গ্রন্থ প্রণয়নকালে যে অনুপ্রেরণা যুগিয়েছে তা উল্লেখ না করলেই নয়। আমার শ্রম সার্থক হোক এই কামনা করছি।

সর্বোপরি, এই গ্রন্থটি প্রকাশের ব্যবস্থা নেওয়ার জন্য আমি বাংলা একাডেমীর প্রতি আন্তরিকভাবে কৃতজ্ঞতা প্রকাশ করছি।

চট্টগ্রাম বিশ্ববিদ্যালয়

ড. সত্যজিৎ কুমার ভদ্র

সূচিপত্র

প্রথম অধ্যায় : পরীক্ষণ ডিজাইনের নীতি এবং সংশ্লিষ্ট বিষয় ১-১০

১.১ ভূমিকা ১
১.২. পরীক্ষণ ডিজাইনের সংজ্ঞা ২
১.৩. যথার্থতা ২
১.৪. মাটির অসমসত্ত্বতা এবং সমতা পরীক্ষা ৩
১.৫. পরীক্ষণ ডিজাইনের ব্যবহার ও উপাত্ত বিশ্লেষণে ব্যবহৃত বিভিন্ন সংজ্ঞা ৩
১.৬. মাঠ পরীক্ষণের মূলনীতি ৪
১.৭. পরীক্ষণ কৌশল ৬

দ্বিতীয় অধ্যায় : ভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ ১১-২৬

২.১. ভূমিকা ১১
২.২. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের মূলনীতি ১২
২.৩. বিভিন্ন বর্গসমষ্টি ও মুক্তমাত্রা পৃথকীকরণ ২০
২.৪. যথার্থতা যাচাই ২২
২.৫. ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য ২৩
২.৬. বর্গসমষ্টি নির্ণয় পদ্ধতি ২৫

তৃতীয় অধ্যায় : সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন ২৭-৩৯

৩.১. ভূমিকা ২৭
৩.২. ট্রিটমেন্টকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা ২৭
৩.৩. আদর্শ ত্রুটি নির্ণয় ২৮
৩.৪. সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন ব্যবহারের সুবিধা-অসুবিধা ২৮
৩.৫. সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইনের ব্যবহার ২৯
৩.৬. উদাহরণ ২৯

চতুর্থ অধ্যায় : দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন ৪০-৫৩

৪.১. ভূমিকা ৪০
৪.২. ট্রিটমেন্টের দৈবায়ন ৪১
৪.৩. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ পদ্ধতি ৪১
৪.৪. আদর্শ ত্রুটি ও ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য ৪১
৪.৫. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের সুবিধা ৪২
৪.৬. উদাহরণ ৪২
৪.৭. সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন ও দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের মধ্যে পার্থক্য ৫২

পঞ্চম অধ্যায় : ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন ৫৪-৬৬

৫.১. ভূমিকা ৫৪
৫.২. ট্রিটমেন্টের দৈবায়ন ৫৫
৫.৩. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করে ছক তৈরি ৫৬
৫.৪. উদাহরণ ৫৭
৫.৫. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের সুবিধা ৬৬
৫.৬. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের অসুবিধা ৬৬
৫.৭. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ও ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের মধ্যে তুলনা ৬৬

ষষ্ঠ অধ্যায় : উপাদানিক পরীক্ষণ ৬৭-৮৮

৬.১. ভূমিকা ৬৭
৬.২. প্রধান ও আন্তঃক্রিয়া প্রভাব ৬৭
৬.৩. ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণে প্রাপ্তি ৭০
৬.৪. প্রধান ও আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব নির্ণয় পদ্ধতি ৭২
৬.৫. দুই স্তরাধিক ফ্যাক্টরিয়াল ডিজাইনে ব্যবহৃত বিশ্লেষণ পদ্ধতি ৭৩
৬.৬. ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের সুবিধা ও অসুবিধা ৭৫
৬.৭. ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের উদাহরণ ৭৬

সপ্তম অধ্যায় : স্প্লিট প্লট ডিজাইন ৮৯-১১৪

৭.১. ভূমিকা ৮৯
৭.২. স্প্লিট স্প্লিট প্লট ডিজাইন ৯৫
৭.৩. কনফাউন্ডেড ফ্যাক্টরিয়াল ডিজাইনের সাথে সম্পর্ক ৯৬
৭.৪. দৈবায়ন ৯৬
৭.৫. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ প্রণালী ৯৬
৭.৬. স্প্লিট স্প্লিট প্লট পরীক্ষণে আদর্শ ত্রুটি ৯৮
৭.৭. স্প্লিট প্লট ডিজাইনের উদাহরণ ৯৯

অষ্টম অধ্যায় : ল্যাটিস পরীক্ষণ ডিজাইন ১১৫-১৩৯

৮.১. ভূমিকা ১১৫
৮.২. বহুসংখ্যক জাত বা ট্রিটমেন্ট ব্যবহারের ক্ষেত্রে উদ্ভূত সমস্যার সাধারণ ধরন ১১৫
৮.৩. ল্যাটিস ডিজাইনের শ্রেণিবিভাগ ১২১
৮.৪. সাধারণ ল্যাটিস ১২১
৮.৫. ল্যাটিস পরীক্ষণ ডিজাইনের উদাহরণ ১২৪

নবম অধ্যায় : মিসিং প্লট পদ্ধতি ১৪০-১৫৪

৯.১. ভূমিকা ১৪০
৯.২. মিসিং প্লট বিশ্লেষণের বার্টলেট্স পদ্ধতি ১৪০
৯.৩. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের ক্ষেত্রে মিসিং প্লটের মান প্রতিস্থাপনের পদ্ধতি ১৪২
৯.৪. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের ক্ষেত্রে মিসিং প্লটের মান নির্ণয় ১৪৪

৯.৫. যখন একাধিক প্লটের উপাত্ত মিসিং হয় তখন বিশ্লেষণ পদ্ধতি ১৪৪
৯.৬. উদাহরণ ১৪৫

দশম অধ্যায় : প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ এবং কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইন ১৫৫-১৬০
১০.১. ভূমিকা ১৫৫
১০.২. প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ পদ্ধতি ১৫৫
১০.৩. কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইন ১৫৮

একাদশ অধ্যায় : সাধারণ চক্রীয় পরীক্ষণ ১৬১-১৬৬
১১.১. ভূমিকা ১৬১
১১.২. ফসলাবর্তনের ধরন ১৬১
১১.৩. ফসলাবর্তন পরীক্ষণের মূলনীতি ১৬২
১১.৪. পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ পদ্ধতি ১৬৩
১১.৫. সামষ্টিক বিশ্লেষণ ১৬৫
১১.৬. দীর্ঘকালীন পরীক্ষণে উপাত্তের বিশ্লেষণে সমস্যা ১৬৬

দ্বাদশ অধ্যায় : উপাত্তের রূপান্তরণ ১৬৭-১৭১
১২.১. ভূমিকা ১৬৭
১২.২. বর্গমূল রূপান্তরণ ১৬৭
১২.৩. আর্কসাইন রূপান্তরণ ১৬৮
১২.৪. লগারিদমিক রূপান্তরণ ১৬৮
১২.৫. উপাত্তের রূপান্তরণ উদাহরণ ১৬৮

ত্রয়োদশ অধ্যায় : সহভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ ১৭২-১৮৩
১৩.১. ভূমিকা ১৭২
১৩.২. সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ব্যবহার ১৭২
১৩.৩. সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণে প্রয়োজনীয় শর্তাদি ১৭৩
১৩.৪. বিশ্লেষণের পরিসংখ্যানিক পদ্ধতি ১৭৪

চর্তুদশ অধ্যায় : ক্রস-ওভার ডিজাইন ১৮৪-১৮৭
১৪.১. ভূমিকা ১৮৪
১৪.২. পরীক্ষণ ইউনিট ১৮৪
১৪.৩. রেসিডুয়াল প্রভাব এবং বিশ্রাম সময় ১৮৪
১৪.৪. পরীক্ষণ এবং বিশ্লেষণ পদ্ধতি ১৮৫
১৪.৫. ট্রিটমেন্টের প্রয়োগ ১৮৫
১৪.৬. ক্রস-ওভার পরীক্ষণ ডিজাইনে ল্যাটিন বর্গের ব্যবহার ১৮৭
১৪.৭. ক্রস-ওভার ডিজাইনের সুবিধা ও ব্যবহার ১৮৭
পরিশিষ্ট ১৮৮
তথ্যপঞ্জি ২১৮
পরিভাষা ২১৯

প্রথম অধ্যায়

পরীক্ষণ ডিজাইনের নীতি এবং সংশ্লিষ্ট বিষয়

Principles of Experimental Design and Related Matters

১.১. ভূমিকা

জীববিজ্ঞানীরা অনেক সময় মাঠ পর্যায়ে পরীক্ষণের সাথে জড়িত থাকেন। সীমিত সামর্থে সর্বোচ্চ ফলন লাভে তারা সর্বদা সচেষ্ট। আবার একজন কৃষি বা জীববিজ্ঞানের গবেষক বিভিন্ন উদ্ভিদ বা শস্যের জাত এবং চাষ পদ্ধতি সম্পর্কে সঠিক সিদ্ধান্ত গ্রহণ করতে সচেষ্ট থাকেন। এ উদ্দেশ্য সাধনের জন্য বহুসংখ্যক জাতের মধ্যে সবচেয়ে ভাল জাত কোনটি, কোন সার কি পরিমাণে ব্যবহার যথোপযুক্ত, বীজের মাত্রা কি হবে বা বপনের সঠিক সময় কোনটি, কতটুকু গভীর পর্যন্ত জমি চাষ করতে হবে কিংবা কখন কি পরিমাণে কতবার সেচ দিতে হবে ইত্যাদি বিষয় জানা প্রয়োজন। প্রাণিবিজ্ঞানের ক্ষেত্রেও অনেক সময় এ ধরনের গবেষণা কার্যক্রম করতে হয়। এসব বিষয় শুধু মাঠে ব্যবহারিক পরীক্ষণের মাধ্যমে জানা যায়। এর জন্য প্রয়োজন সঠিক পরীক্ষণ পরিকল্পনা। পরীক্ষণ পরিকল্পনা প্রণয়নে মনে রাখতে হবে যে, পরীক্ষণ ও ফলাফল নির্ণয়ে যেন কোনো ত্রুটি না থাকে। এক্ষেত্রে সাধারণত দুটি কারণে ভ্রান্ত ফলাফলের সম্ভাবনা থাকে।

(ক) মাঠ কর্মীর পরিসংখ্যানিক কৌশল ও উপাত্ত বিশ্লেষণের প্রয়োগ সম্পর্কিত যথার্থ জ্ঞানের অভাব।

(খ) সঠিক পরীক্ষণ ডিজাইন নির্বাচনের ব্যর্থতা।

এ দুটি কারণের যে কোনো একটির জন্য ভুল সিদ্ধান্তে উপনীত হতে বাধ্য। কেননা ভুল পরীক্ষণ ডিজাইন সরাসরি ভুল সিদ্ধান্তে উপনীত করে। আবার পরীক্ষণ ডিজাইন সঠিক হলেও উপাত্তের পারিসংখ্যানিক বিশ্লেষণের কোনো ধাপে ভুল হলে এবং যদি তা থেকে চূড়ান্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়, তাহলে তা থেকে নিঃসন্দেহে ভুল ব্যাখ্যা বেরিয়ে আসবে। ফলাফলের পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণে পরীক্ষণ ডিজাইনে মূল বৈশিষ্ট্যকে গুরুত্ব না দেওয়ার ফলে এরূপ হতে পারে।

পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণের পদ্ধতি সম্পর্কে আর.এ. ফিশার (R.A. Fisher) বলেন, "Statistical procedure and experimental design are only different aspects of the same whole and that whole is the logical requirements of the complete proceses of adding to natural knowledge by experimentation"

অধ্যাপক ফিশার-এর সবচেয়ে বড় অবদান হলো পরীক্ষণ কার্যক্রমে যৌক্তিক দিকসমূহের প্রতি বিশেষ নজর দেওয়া। গবেষক তাঁর গবেষণা কার্যক্রমের মূলনীতি, বিশেষ

কারণ থেকে সাধারণ কারণ প্রভৃতি বিষয়ের উপর ভিত্তি করে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করে থাকে। এক্ষেত্রে সচরাচর গাণিতিক পদ্ধতিকে বাদ দেওয়া হয়। কিন্তু অধ্যাপক ফিশার 'Statistical methods for research workers" নামক গ্রন্থের মাধ্যমে মাঠ পরীক্ষণে সম্পৃক্ত এবং পরিসংখ্যানবিদগণের মধ্যে সমন্বয় সাধন করেছেন। এরপর থেকে পরীক্ষণবিদগণ কৃষি ও জীববিজ্ঞান গবেষণায় পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ পদ্ধতির গুরুত্ব অনুধাবন করতে শুরু করেন। ফলে এক্ষেত্রে পরিসংখ্যানিক বিচার বিশ্লেষণের প্রয়োগ দ্রুত বৃদ্ধি পায়।

কোনো পরীক্ষণবিদের পক্ষে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ কৌশল ব্যতীত কাঙ্ক্ষিত বিষয়ে যথার্থ সিদ্ধান্ত গ্রহণ সম্ভব নয় এবং কোনো কোনো ক্ষেত্রে উপাত্ত থেকে পরবর্তী পর্যায়ে সঠিক তথ্য লাভ করাও দুঃসাধ্য হয়ে পড়ে। এর একমাত্র কারণ হলো পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণের বিষয়টি চিন্তা না করেই পরীক্ষণ ডিজাইন পরিকল্পনা করা।

উল্লেখিত আলোচনা থেকে স্পষ্ট প্রতীয়মান হয় যে, মাঠ পর্যায়ে কৃষি বা উদ্যানতাত্ত্বিক পরীক্ষণের পূর্বে জমির ভৌত-রাসায়নিক অবস্থাসহ যাবতীয় পরীক্ষণ উপাদানের বিষয় বিবেচনায় রেখে উপযুক্ত পরীক্ষণ পরিকল্পনা গ্রহণ করতে হবে যেন পরবর্তী পর্যায়ে সঠিক সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণে কোনো সমস্যার সৃষ্টি না হয়। আর এজন্যই কতগুলো নীতি অনুসরণ করে বিভিন্ন ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন তৈরি করা হয়েছে। এ নীতিগুলোকে পরীক্ষণ ডিজাইনের নীতিমালা হিসেবে অভিহিত করা হয়।

১.২. পরীক্ষণ ডিজাইনের সংজ্ঞা (Defination of experimental design)

মাঠ পর্যায়ে জীববিজ্ঞানের গবেষণা কার্যক্রমে মাটির উর্বরতা, অসমসত্ত্বতা এবং ট্রিটমেন্ট সম্পর্কে ধারণা থাকতে হয়। আর এ ধারণার উপর ভিত্তি করে সংশ্লিষ্ট স্থানে কার্যক্রম করার জন্য পরিসংখ্যানিক এবং জীববিজ্ঞান বিষয়ের আলোকে সঠিক নীতিমালার আওতায় উপযুক্ত ডিজাইনে পরীক্ষা করাকে পরীক্ষণ ডিজাইন বলে। অতএব এমনভাবে পরীক্ষা করতে হয় যে, প্রাপ্ত উপাত্তের পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণে কোনো তাত্ত্বিক বাধা না থাকে। আবার সংশ্লিষ্ট ট্রিটমেন্টগুলো ব্যবহারেও কোনো অসুবিধা না হয়। পরবর্তী আলোচনা থেকে বিষয়টি সুস্পষ্ট হতে পারে।

১.৩. যথার্থতা (Validity)

যথার্থ সিদ্ধান্ত গ্রহণের জন্য পরীক্ষণীয় উপাদান ব্যতীত পার্থক্য সৃষ্টকারী অন্য সব উপাদান বা চলককে (variables) নিয়ন্ত্রণ করতে হয়। উদাহরণস্বরূপ, যদি দুটি জাতের মধ্যে তুলনা করতে হয় তবে তাদেরকে একই অবস্থায় (circumstances) চাষ করতে হয়। এক্ষেত্রে জাত দুটি ভিন্ন এবং অন্যান্য সব প্রভাবক উভয় জাতের ক্ষেত্রে একই হতে হয়। নতুবা জাত দুটির ফলনের পার্থক্য শুধু জাতের কারণে হয়েছে, না অন্য প্রভাবক যেমন- মাটির উর্বরতার ভিন্নতা, ঋতুর ভিন্নতা, পরিচর্যার অসমতা, বীজমাত্রার ভিন্নতা কিংবা চাষের গভীরতার ভিন্নতার কারণে হয়েছে তা বোঝা যাবে না।

এখানে মনে রাখা প্রয়োজন যে, বিভিন্ন প্রভাবকের মধ্যে কিছু কিছু প্রভাবককে নিয়ন্ত্রণ করা যায়, আবার কিছু কিছু প্রভাবককে নিয়ন্ত্রণ করা যায় না অথবা অত্যন্ত সীমিত আকারে

নিয়ন্ত্রণ করা যায়। মাঠ পরীক্ষণের মাটির ভিন্নতা এবং ঋতুর ভিন্নতা দুটি গুরুত্বপূর্ণ প্রভাবক। কিন্তু এদেরকে মাঠ পর্যায়ে নিয়ন্ত্রণ করা যায় না। অবশ্য কিছু কিছু ক্ষেত্রে উপযুক্ত কৌশল প্রয়োগ এবং কিছু কিছু ক্ষেত্রে উপযুক্ত পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বন করে এসব পার্থক্য সৃষ্টিকারী উপাদানগুলোর প্রভাব নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

১.৪. মাটির অসমসত্বতা এবং সমতা পরীক্ষা (Soil heterogeneity and uniformity trial)

কৃষিতাত্ত্বিক পরীক্ষণ প্রধানত মাটিতেই ব্যবহার করা হয়ে থাকে এবং প্রকৃতিতে সমসত্ব উর্বরতা-বিশিষ্ট মাঠ পাওয়া প্রায় অসম্ভব। শুধু বিভিন্ন প্লটের মধ্যে উর্বরতার পার্থক্য থাকে না, এমনকি জমিতে দুটি ভিন্ন বিন্দুতেও উর্বরতার ভিন্নতা থাকতে পারে। এ কারণেই প্রকৃতিতে সম-উর্বরতা বিশিষ্ট পরীক্ষণ মাঠ পাওয়া সম্ভব হয় না, উর্বরতার এ ভিন্নতার কারণে দুটি জাতের মধ্যে বিভিন্ন উপাদানের প্রভাব নির্ণয় করা দুঃসাধ্য হয়ে পড়ে। তবে সমতা পরীক্ষণের (uniformity trials) মাধ্যমে উর্বরতার ভিন্নতা সম্পর্কে একটা ধারণা লাভ করা যায় এবং এর ভিত্তিতে উপযুক্ত পরীক্ষণ ডিজাইন নির্বাচন করা যায়।

সমতা পরীক্ষণের ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ মাঠকে সমআকারের অনেক খণ্ডে বিভক্ত করে একই ট্রিটমেন্ট প্রয়োগের মাধ্যমে একটি জাতের চাষ করা হয়। প্রতি খণ্ড জমির ফলনকে পৃথকভাবে সংগ্রহ করে উপাত্ত নেওয়া হয়। যেহেতু ব্যবহৃত সব ট্রিটমেন্ট সব প্লটে একই; অতএব ফলনে কোনো ভিন্নতা থাকার কথা নয়। কিন্তু বাস্তবে লক্ষ্য করা যায় যে, সব প্লটের ফলন এক নয়। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, মাটির উর্বরতা জমির সর্বত্র সমান ছিল না। যদি একটি উর্বরতা কন্ট্যুর ম্যাপ (fertility countour map) অঙ্কন করা হয়, তাহলে লক্ষ্য যায় যে, জমিখণ্ডগুলোর উর্বরতার যথেষ্ট পার্থক্য বিদ্যমান এবং এটি কোনো সুনির্দিষ্ট ছকে সীমাবদ্ধ নয়। অর্থাৎ জমিতে উর্বরতার ভিন্নতা সুষমভাবে বিন্যস্ত নয় বরং তা মাঠে বিক্ষিপ্তভাবে ছড়ানো থাকে। আরও একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় হলো অপেক্ষাকৃত ছোট আকৃতির প্লটগুলোর মধ্যে উর্বরতার মাত্রা প্রায় সমান থাকে।

সমতা পরীক্ষণে উপাত্ত বিশ্লেষণ থেকে বোঝা যায় যে, জাত, বীজমাত্রা, সারমাত্রা, বপন পদ্ধতি, সেচমাত্রা প্রভৃতি সমসত্ব প্রভাবক (factors) ছাড়াও বিভিন্ন প্রভাবক রয়েছে যা উর্বরতার বিভিন্নতা সৃষ্টি করে এবং গবেষকের নিয়ন্ত্রণের বাইরে থাকে। জানা ট্রিটমেন্টগুলো সমান হওয়া সত্ত্বেও অজানা প্রভাবকগুলোর কারণে ফলনের উল্লেখযোগ্য ভিন্নতা সৃষ্টি হতে পারে। নিয়ন্ত্রণ-বহির্ভূত এ অজানা প্রভাবককে পরীক্ষণ ত্রুটি (experimental error) নামে আখ্যায়িত করা হয়েছে।

১.৫. পরীক্ষণ ডিজাইনের ব্যবহার ও উপাত্ত বিশ্লেষণে ব্যবহৃত বিভিন্ন সংজ্ঞা

(ক) ট্রিটমেন্ট (Treatment) : পরীক্ষক মাঠে যে বিষয়গুলোর (objects) তুলনা করে মান (value) নির্ণয়ের চেষ্টা করেন তাকে ট্রিটমেন্ট বলে। যেমন- কৃষিতাত্ত্বিক ও উদ্যানতাত্ত্বিক গবেষণায় জাত, সার, চাষ পদ্ধতি, সেচ, কীটনাশক, জীবাণুনাশক, ছত্রাকনাশক, বীজ শোধক প্রভৃতি এবং প্রাণিতাত্ত্বিক গবেষণায় পুষ্টি দ্রব্যসহ অন্যান্য প্রভাবক প্রভৃতি।

(খ) **পরীক্ষণ বস্তু** (Experimental material) যে বস্তুর উপর পরীক্ষণ সম্পন্ন করা হয় তাকে পরীক্ষণ বস্তু বলা হয়। যেমন– একটি জমি, ময়দা (flour), হাসপাতালের রোগী, বিভিন্ন পশু, বীজ প্রভৃতি। পরীক্ষণ বস্তুকে যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র এককে বিভক্ত করা হয় তাকে পরীক্ষণ একক (experimental unit) বলে।

(গ) **পরীক্ষণ একক** (Experimental unit) : পরীক্ষণে ব্যবহৃত বিভিন্ন ট্রিটমেন্টকে এর একক বলা হয়। যেমন– ধানের একটি জাতে তিন ধরনের ভিন্ন ভিন্ন সার প্রয়োগ করে ফলনের উন্নয়নের জন্য একটি পরীক্ষণ সম্পন্ন করা হলো। এক্ষেত্রে প্রতিটি সার প্রয়োগে ব্যবহৃত উদ্ভিদ গোষ্ঠীকে একটি একক হিসেবে ধরা হয়। অর্থাৎ বিভিন্ন আঙ্গিকে এবং সমলিপন অনুযায়ী পরীক্ষণ একক ভিন্ন হয়। যেমন– একটি প্লট বা হাসপাতালের একজন রোগী বা একটি গরু পরীক্ষণ একক হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে।

১.৬. মাঠ পরীক্ষণের মূল্যনীতি

মাঠে গবেষণা কাজ সম্পাদনের জন্য বিভিন্ন পরীক্ষণ ডিজাইন অনুযায়ী পরীক্ষা করা হয় এবং এর জন্য কয়েকটি নীতি মেনে চলতে হয়। মাঠ পরীক্ষণের ক্ষেত্রে প্রধানত তিনটি মূলনীতি মেনে চলতে হয়। এগুলো সম্বন্ধে সংক্ষেপে বর্ণনা করা হলো।

১.৬.১. সমলিপন (Replication) : একই ট্রিটমেন্টের একাধিকবার প্রয়োগকে সমলিপন বা পুনরায়ন বলা হয়। আমরা জানি, মাটির উর্বরতা জমির সর্বত্র সমান থাকে না। ফলে একটি ট্রিটমেন্ট যদি একটি প্লটে প্রয়োগ করা হয় তাহলে ট্রিটমেন্টগুলোর মাঠের সার্বিক পরিবেশের সাথে সমন্বিত প্রভাব সম্পর্কে জানার সুযোগ থাকে না। অধিক উর্বর স্থানে ব্যবহৃত ট্রিটমেন্ট অনুর্বর স্থানে ব্যবহৃত ট্রিটমেন্ট অপেক্ষা অধিক সুবিধা পায়। ফলে ট্রিটমেন্টের সঠিক প্রভাব পর্যবেক্ষণের ভ্রান্ত ফলাফল দেয়।

উদাহরণের সাহায্যে উল্লেখিত বিষয়টি আরও ভালভাবে বোঝার চেষ্টা করা যাক। দুটি জাতের ভিন্নতা পরীক্ষা করার জন্য একটি জমিকে সমান দু'ভাগে ভাগ করে একটি প্লটে প্রথম জাত এবং অন্য প্লটে দ্বিতীয় জাতের বীজ বপন করা হলো। উভয় প্লটে প্রাপ্ত ফলনের ভিন্নতা জাত দুটির ভিন্নতার কারণে না হয়ে জমির উর্বরতার ভিন্নতার কারণেও হতে পারে। অথচ জমিটিকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র প্লটে ভাগ করে সমান সংখ্যক প্লটে দৈবায়িতভাবে উভয় জাতের বীজ বপন করা হলে দুটি জাতই জমির উর্বরতা দিয়ে মোটামুটি সমানভাবে প্রভাবিত হয়। এভাবে প্রাপ্ত গড় ফলনের পার্থক্য থেকে জাত দুটির ফলনের যথার্থ পার্থক্য হিসাব করা যায় যা উর্বরতার ভিন্নতার প্রভাব মুক্ত থাকে। ভাল পরীক্ষণ পরিকল্পনার প্রদানের গুরুত্বপূর্ণ দিক হলো পরীক্ষণ থেকে শুধু বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের তুলনামূলক ফলাফলই লাভ করা যায় না, ট্রিটমেন্টের পার্থক্যের যথার্থতাও যাচাই করা যায়। এজন্য ট্রিটমেন্টগুলোকে কয়েকবার প্রয়োগ করতে হয় যেন সমলিপনগুলোর ফলাফলের তুলনাকে আদর্শ হিসেবে ধরে ট্রিটমেন্টের পার্থক্যের যথার্থতা নির্ধারণ করা যায়।

১.৬.১.১. সমলিপনের সুবিধা : প্রথমত, মাঠ পরীক্ষণে অধিক নির্ভরযোগ্য (greater precision) ফলাফল লাভের সবচেয়ে কার্যকর পদ্ধতি হলো সমলিপন সংখ্যা বৃদ্ধি করা। এর

ফলে ত্রুটির পরিমাণ যথেষ্ট হ্রাস পায় ; অর্থাৎ ফলাফলের যথার্থতা বৃদ্ধি পায়। ফলাফলের গ্রহণযোগ্যতা বৃদ্ধি দুটি উপায়ে হতে পারে।

আমরা জানি,

$$\text{গড় আদর্শ ত্রুটি (standard error of mean)} = \frac{\text{আদর্শ বিচ্যুতি (SD)}}{\sqrt{\text{পর্যবেক্ষণ সংখ্যা (n)}}}$$

এক্ষেত্রে পর্যবেক্ষণ সংখ্যা (n) হলো সমলিপন সংখ্যা। সুতরাং এ থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় যে, সমলিপন সংখ্যা যতো বেশি হয় গড় আদর্শ ত্রুটি ততো কম হয়। এভাবেই ফলাফলের গ্রহণযোগ্যতা বৃদ্ধি পায়।

যেহেতু ক্ষুদ্রতর প্লট উর্বরতার দিক থেকে অধিক সমসত্ত্ব ; তাই পরীক্ষণ ক্ষেত্র ঠিক রেখে প্লটের আকার ছোট করার মাধ্যমে সমলিপন সংখ্যা বৃদ্ধি করা ভাল।

আবার বিভিন্ন মুক্তমাত্রায় 't' এর মানের হিসাব ফলাফলের যথার্থতা বৃদ্ধির অন্য একটি গুরুত্বপূর্ণ দিক। মুক্তমাত্রা যতো বৃদ্ধি পায় 't' এর মান ততো কম হয়। ফলে নিশ্চয়তা সময় (confidence interval) হ্রাস পায় যা ফলাফলের যথার্থতা বৃদ্ধি প্রমাণের জন্য যথেষ্ট।

দ্বিতীয়ত, সমলিপন ব্যবহারের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ দিক হলো এর মাধ্যমে তুলনার উদ্দেশ্যে পরীক্ষণ ত্রুটি পরিমাপ করা যায়। একই ট্রিটমেন্টের বিভিন্ন প্লটের মধ্যে ভিন্নতার জন্য পরীক্ষণ ত্রুটির উদ্ভব হয়। তাই যদি প্রতি ট্রিটমেন্টের জন্য একটি প্লট ব্যবহার করা হয়, তাহলে সেখান থেকে মাটির উর্বরতার ভিন্নতা পরিমাপ সম্ভব নয়-যা যথার্থতা পরীক্ষণে ত্রুটিপূর্ণ সিদ্ধান্ত প্রদান করে থাকে। ত্রুটি পরিমাপ ব্যতীত ট্রিটমেন্টের মধ্যে তুলনা করা সম্ভব নয়। আবার সমলিপন ব্যতীত ত্রুটি পরিমাপ করা সম্ভব নয়। সুতরাং পরীক্ষণের জন্য সমলিপন একান্ত প্রয়োজনীয়।

১.৬.২. দৈবায়ন (Randomization) : ট্রিটমেন্টের তুলনা করার জন্য তথা বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের প্রভাব নির্ণয়ের লক্ষ্যে পরিসংখ্যানিক পদ্ধতির মাধ্যমে সঠিক তথ্য লাভের জন্য ট্রিটমেন্টগুলোকে বিভিন্ন প্লটে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়। বিভিন্ন প্লটে দৈবায়িত পদ্ধতি (random process) অবলম্বনে বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের প্রয়োগকে ট্রিটমেন্টের দৈবায়ন বলা হয়। যখন বিভিন্ন ট্রিটমেন্টকে একই পারিপার্শ্বিক অবস্থা বা সমান পরিবেশীয় প্রভাবকের উপস্থিতিতে প্রয়োগ করা হয়, তখনই এদের মধ্যে তুলনা যথার্থ হয়। এক্ষেত্রে উপাদানসমূহ তাদের প্রভাব বিস্তারের সমান সুযোগ পায়। দৈবায়ন ব্যতীত নির্দিষ্টভাবে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগের মাধ্যমে এটি কখনো সম্ভব নয়।

যথার্থ ফলাফলের জন্য এককভাবে শুধু দৈবায়ন পদ্ধতিই যথেষ্ট নয়। কেননা একটি অসম উর্বর জমিকে দুটি প্লটে ভাগ করে দৈবায়িতভাবে যদি দুটি ভিন্ন জাতের বীজ বপন করা হয়, তাহলে যে কোনো একটি জাত অপেক্ষাকৃত অধিক উর্বর মাটিতে জন্মানোর সুযোগ পায়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে দৈবায়নের মাধ্যমে ফলাফলকে উর্বরতার প্রভাবমুক্ত করা যায় না। এজন্য জমিকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র প্রয়োজনীয় সংখ্যক প্লটে বিভক্ত করে দৈবায়িতভাবে দুটি ভিন্ন জাতের বীজকে সমান সংখ্যক প্লটে বপন করতে হয়, তাহলে উভয় জাতই সমান পরিবেশে

জন্মানোর সুযোগ পায়। অতএব একটি পরীক্ষণে যথার্থ ফলাফলের জন্য সমলিপনের পাশাপাশি দৈবায়ন পদ্ধতিতে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করা অবশ্যক।

'ক' এবং 'খ' দুটি জাতকে ১নং ছক অনুযায়ী কখ, কখ, কখ- - -ক্রমে কিংবা ২নং ছক অনুযায়ী কখ, খক, কখ, খক - - -ক্রমে বপন করা হয় এবং যদি জমিতে উর্বরতার ভিন্নতাসম্পন্ন প্লটে অনুক্রমে (১নং ছকে) কিংবা চক্র ক্রমে (২নং ছকে) থাকে তাহলে জাত দুটি সমান পরিবেশে থাকার সুযোগ পায় না।

ক	খ
ক	খ
ক	খ
ক	খ
ক	খ
ক	খ

১নং ছক

ক	খ
খ	ক
ক	খ
খ	ক
ক	খ
খ	ক

২নং ছক

ছক ১.১ : উর্বরতার ভিন্নতাসম্পন্ন জমি-প্লটের অনুক্রম (১নং ছক) ও চক্রক্রম (২নং ছক)

এরূপ পদ্ধতিগত (systemic) বিন্যাস বাদ দিয়ে দৈববিন্যাস (random arrangement) ব্যবহারে উপাদান প্রয়োগের মাধ্যমে যথার্থ ফলাফল লাভ সম্ভব।

১.৬.৩. স্থানিক নিয়ন্ত্রণ (Local control) : উপাদনসমূহের প্রকৃত ক্ষুদ্র পার্থক্য নির্ধারণে পরীক্ষণ ত্রুটি যতো কম হয় পরীক্ষণ ফলাফল ততো বাস্তবসম্মত হয়। এজন্য পরীক্ষণের ক্ষেত্রে এ ত্রুটিকে যতোটুকু সম্ভব কমানো প্রয়োজন। সন্নিহিত স্থানসমূহ দূরবর্তী স্থান অপেক্ষা অধিক সমসত্ত্ব (homogeneous)–এ নীতি প্রয়োগ করে পরীক্ষণ ত্রুটি যথাসাধ্য কমানো যায়। মাঠের উর্বরতাকে প্রধানত দুটি ভাগে ভাগ করা যায়। যেমন :

(ক) বৃহত্তর উর্বরতা ভিন্নতা–যার ক্রম উর্বরতা মাত্রার সাহায্যে চিহ্নিত করা যায়।

(খ) বিক্ষিপ্ত উর্বরতা ভিন্নতা–যা পর্যায়ক্রমিকভাবে বিন্যস্ত নয়।

যদি সম্পূর্ণ মাঠকে ব্লকে বিভক্ত করা হয়, তাহলে এগুলো নিজেদের সাপেক্ষে উর্বরতার দিক থেকে সমসত্ত্ব হয় এবং বৃহত্তর উর্বরতার ভিন্নতা কারণে ফলনের ভিন্নতা হিসাব করা যায়। এ ভিন্নতা বাদ দিয়ে শুধু সম্ভাব্য ত্রুটির (chance error) কারণে ফলন ভিন্নতা নির্ধারণ করা যায়। অপেক্ষাকৃত বেশি সমসত্ত্ব পরীক্ষণ একক মাঠকে এককে ভাগ করে ব্যবহারের মাধ্যমে পরীক্ষণ ত্রুটি কমানোকে স্থানিক নিয়ন্ত্রণ বলা হয়। পরীক্ষণ বস্তু যেমন– মাঠকে সমসত্ত্ব ক্ষুদ্র এককে অর্থাৎ – ব্লকে ভাগ করার মাধ্যমে স্থানিক নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

আবার ট্রিটমেন্টগুলোকে ব্লকেগুলোতে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগের মাধ্যমে বিক্ষিপ্ত উর্বরতার ভিন্নতার প্রভাব নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

১.৭. পরীক্ষণ কৌশল

পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বনের পূর্বে মাঠ পরীক্ষণের কিছু সাধারণ ধারণা থাকা প্রয়োজন। মাঠ পরীক্ষণের সংশ্লিষ্ট বিষয়গুলো সম্বন্ধে আলোচনা করা হলো।

১.৭.১. **অভিজ্ঞতা :** শস্য ব্যবস্থাপনায় (crop husbandry) বিভিন্ন রকম সমস্যার সমাধান খুঁজে বের করাই পর্যবেক্ষণের প্রধান উদ্দেশ্য বিধায় পরীক্ষকের শস্য, মাটি, সার অন্তর্বর্তীকালীন পরিচর্যা এবং ফসলের উপযুক্ত গ্রেডিং ও মূল্যায়ন সম্পর্কে ভাল ধারণা থাকা প্রয়োজন। এসব বিষয়ে পরীক্ষকের ভাল ধারণা ব্যতীত পরীক্ষাধীন বিভিন্ন বিষয়ে যথার্থ ফলাফল লাভ সম্ভব নয়।

১.৭.২. **সুস্পষ্ট উদ্দেশ্য :** পরবর্তী গুরুত্বপূর্ণ এবং প্রয়োজনীয় দিক হলো পরীক্ষণের লক্ষ্য ও উদ্দেশ্য সম্পর্কে সুস্পষ্ট ধারণা সম্বলিত পরীক্ষণ পরিকল্পনা প্রণয়ন। সুস্পষ্ট উদ্দেশ্য ব্যতীত কাঙ্ক্ষিত ও যথার্থ ফলাফল লাভের জন্য সঠিক পরিকল্পনা প্রণয়ন সম্ভব নয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, যদি কোনো গবেষক বা পরীক্ষক বলেন যে, তিনি কয়েকটি কীটনাশক পরীক্ষা করতে চান তাহলে পরীক্ষণের উদ্দেশ্য স্পষ্ট করে বলা হলো না। কেননা এ উক্তির মাধ্যমে তিনি দ্রুত সব কীটপতঙ্গকে মারার ক্ষমতা যাচাই করতে চান কি–না, একটি নির্দিষ্ট সময়ে অধিকাংশ কীটপতঙ্গকে মেরে ফেলতে কিংবা দমন করার দক্ষতা যাচাই করতে চান কি–না, কোনো বিশেষ কীটপতঙ্গ বা সব ধরনের কীটপতঙ্গের উপর কার্যকারিতা পরীক্ষা করতে চান কি–না, প্রভৃতি বিষয় সম্পর্কে সঠিক নির্দেশনা পাওয়া যায় না। এ ক্ষেত্রে উদ্দেশ্যের বিশদ বিবরণ ব্যতীত কাঙ্ক্ষিত তথ্যাবলি লাভের জন্য উপযুক্ত পরীক্ষণ পরিকল্পনা প্রণয়ন সম্ভব নয়।

একইভাবে সার পরীক্ষণের ক্ষেত্রে পরীক্ষকের জানা থাকতে হয় যে, সাধারণ জাতের উপর, না–কি উন্নত জাতের উপর সারের প্রভাব পরীক্ষা করা হবে, সেচ নির্ভর চাষে না–কি বৃষ্টিনির্ভর চাষের ক্ষেত্রে সারের প্রতিক্রিয়া পরীক্ষা করা হবে, তা আগে থেকেই নিশ্চিত করতে হবে–যেন পরবর্তী পর্যায়ে মাঠ পরীক্ষণে কোনো সমস্যা সৃষ্টি না হয়। অতএব পরীক্ষণের লক্ষ্য ও উদ্দেশ্য সম্পর্কে যাবতীয় তথ্যাবলি পরীক্ষণ পরিকল্পনার পূর্বেই সুস্পষ্টভাবে চিহ্নিত করতে হয়।

১.৭.৩. **পরীক্ষণের বিস্তৃত পরিধি** (Sufficent scope of experiment) : একটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি সম্পর্কে ধারণা লাভ করা যেতে পারে। যেমন– একটি পরীক্ষণে শস্যের একটি জাতের উপর নাইট্রোজেনের প্রভাব পরিমাপ করতে হবে। স্বভাবতই প্রশ্ন জাগে কোন বিশেষ ধরনের শস্যজাতের উপর এ প্রভাব যাচাই করা হবে? যদি একটিমাত্র শস্য জাতের উপর এ পরীক্ষা করা হয় তাহলে পরীক্ষণের পরিধি বা সুযোগ সীমিত হয়ে যায়। যদি বিভিন্ন জাতের শস্য বিভিন্ন বীজমাত্রার সমন্বয়ের উপর নাইট্রোজেনের প্রতিক্রিয়া বা প্রভাব পরীক্ষা করা হয় তাহলে পরীক্ষণের পরিধি বিস্তৃত হয়।

আগের দিনে সাধারণত পরীক্ষিত প্রভাবক ব্যতীত অন্য সব প্রভাবককে স্থির রেখে বিভিন্ন জাতের জন্য কয়েকবার এবং বিভিন্ন বীজমাত্রার জন্য কয়েকবার নাইট্রোজেন সারের প্রভাব পরীক্ষা করা হতো। কিন্তু বর্তমানে ফ্যাক্টোরিয়াল পরীক্ষণ পদ্ধতির মাধ্যমে একই সাথে যাবতীয় প্রভাবকের প্রতিক্রিয়া পরীক্ষা করা সম্ভব। এক্ষেত্রেও পরীক্ষণের সুস্পষ্ট লক্ষ্য ও উদ্দেশ্য নির্ধারণ করতে হয় যা ছাড়া পরীক্ষণের প্রয়োজনীয় পরিধি সম্পর্কে সঠিক সিদ্ধান্ত গ্রহণ সম্ভব নয়।

১.৭.৪. **পর্যবেক্ষণ প্লট** (Observation plot) : পরীক্ষণ স্থানে যদি কোনো ট্রিটমেন্টের উপযুক্ত পরিবেশ সম্পর্কে ধারণা না থাকে তাহলে পর্যবেক্ষণ প্লটে ট্রিটমেন্টগুলোর উপযুক্ততা

পরীক্ষা করতে হয় এবং তা মূল পরীক্ষণের পূর্বেই সম্পন্ন করতে হয়। কেননা শস্য জাতের মতো কিছু পরীক্ষণ উপাদান নতুন আবহাওয়ায় টিকে না-ও থাকতে পারে কিংবা উক্ত স্থানের কোনো জীবাণুর প্রতি উক্ত জাত সহনশীল হতে পারে। অর্থাৎ উক্ত জাতটি পরীক্ষণ অঞ্চলে সাধারণভাবে অভিযোজিত না-ও হতে পারে। এ কারণে সম্পূর্ণভাবে পরীক্ষণ পরিচালনার পূর্বে যে কোনো ট্রিটমেন্টের উপযুক্ততা বা অনুপযুক্ততা যাচাই করে নেয়া প্রয়োজন। ভিন্ন অঞ্চল থেকে সংগৃহীত জাতের ক্ষেত্রে এটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

আবার কোনো কোনো উপাদান ব্যবহারে কিছু প্রায়োগিক সমস্যা থাকতে পারে। এসব অসুবিধাও পর্যবেক্ষণ প্লটের মাধ্যমে যাচাই করে নেয়া প্রয়োজন। এখানে উল্লেখ্য যে, যদি কোনো ট্রিটমেন্টের উপযুক্ততা বা অনুপযুক্ততা কিংবা কোনো প্রয়োগ নীতি সম্পর্কে আগে থেকেই ধারণা না থাকে, তাহলে পর্যবেক্ষণ প্লট শুধু অপ্রয়োজনীয় নয়, অপচায়িতও হবে।

১.৭.৫. স্থানিক সমতা (Uniformity of site) : পরীক্ষণের ক্ষেত্রে আর একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হলো উপযুক্ত স্থান নির্বাচন। বেশিরভাগ ক্ষেত্রে গবেষককে তাঁর জন্য সহজলভ্য স্থানে পরীক্ষণ সম্পন্ন করতে হয়। খুব কম ক্ষেত্রেই তিনি ইচ্ছেমতো স্বাধীনভাবে পরীক্ষণ স্থান নির্বাচন করতে পারেন। নির্বাচিত স্থানের সর্বত্রই মাটির ভৌত ও রাসায়নিক গুণাগুণ এবং অন্যান্য অবস্থা যথাসম্ভব একই হওয়া বাঞ্ছনীয়। জমিতে জন্মানো ফসলের অবস্থা দেখে মাটির সাম্যতা বা ভিন্নতা সহজে উপলব্ধি করা যায়। সমতা পরীক্ষণের (uniformity trial) মাধ্যমে সহজেই উর্বরতার ভিন্নতা সম্পর্কে যথার্থ ধারণা লাভ করা যায়।

যদি খুব বেশি সন্দেহ না থাকে তবে মাটির সাম্যতা পরীক্ষা করা বিশেষ জরুরি নয়। কেননা এর ফলে পরীক্ষণ ব্যয় যেমন দ্বিগুণ হয় আবার পরীক্ষণের ফলাফল লাভেও অতিরিক্ত এক বছর সময় লেগে যায়। তবে পরীক্ষণের জন্য গৃহীত নতুন জমিতে চা, বৃক্ষ প্রভৃতি বহুবর্ষজীবী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে মাটির সাম্যতা পরীক্ষা করা উচিত।

মাঠের সাম্যতা মাটির বৃদ্ধির সাথে সাথে পরীক্ষণ দক্ষতা (experiment efficiency) বৃদ্ধি পায়, যদিও জমির উর্বরতা ভিন্নতার প্রভাব উপযুক্ত পরীক্ষণ ডিজাইনের মাধ্যমে দূর করা যায় তবুও এর মাধ্যমে তা সম্পূর্ণরূপে দূর করা সম্ভব নয়। মাটির সাম্যতা বৃদ্ধির সাথে সাথে পরীক্ষণ ত্রুটি কমে আসে-যার সাহায্যে পরীক্ষণীয় উপাদানের তুলনা করার নির্ভুলতা বৃদ্ধি পায়।

প্রসঙ্গত উল্লেখ্য যে, পরীক্ষণ মাঠের চারদিকে যদি কোনো বৃক্ষ থাকে তবে তার ছায়া এমনকি বিস্তৃত মূল পরীক্ষাধীন উদ্ভিদের উপর প্রভাব বিস্তার করে। এক্ষেত্রে ক্ষতিগ্রস্ত স্থানকে পরীক্ষণ কার্যক্রম থেকে বাদ দিতে হয়, যেন ট্রিটমেন্টের উপর ঐসব বৃক্ষের কোনো প্রভাব না পড়ে।

১.৭.৬. পরীক্ষণ ডিজাইন (Experimental Design) : ট্রিটমেন্টের বৈশিষ্ট্যের উপর পরীক্ষণ ডিজাইন নির্বাচন নির্ভরশীল। পরীক্ষণে লক্ষ্য ও উদ্দেশ্যের উপরও অবশ্য এটি নির্ভরশীল। পরীক্ষণ ডিজাইন নির্বাচনের আর একটি বিবেচ্য বিষয় হলো উৎসের সহজলভ্যতা (available resources)। জটিল ডিজাইনের (complex design) ক্ষেত্রে

গবেষককে দক্ষ হতে হয় এবং প্রয়োজনে প্রশিক্ষণ দিতে হয়। এগুলোর কোনো একটির অভাবে পরীক্ষণ কার্যক্রম বিঘ্নিত হতে পারে এবং উপাত্ত বিশ্লেষণ জটিল, এমনকি অসম্ভবপরও হয়ে যেতে পারে।

বিভিন্ন ধরনের ডিজাইন নির্বাচনের কিছু বিবেচ্য বিষয় নিচে উল্লেখ করা হলো :

(ক) ট্রিটমেন্ট-এর সংখ্যা যখন সীমিত ও সমসত্ত্ব তখন সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন (Complete Randomized Design, CRD) উপযুক্ত। যেমন- পট পরীক্ষণ, বেশি দামের হরমোন পরীক্ষণ, স্বল্প পরিমাণ বীজ পরীক্ষণ ইত্যাদি।

(খ) জমির উর্বরতা যখন একমুখী (unidirectional) অর্থাৎ উর্বরতা যখন একদিক থেকে অন্যদিকে কমে বা বেড়ে যায় তখন দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন (Randomized Complete Block Design, RCBD) অবলম্বন করা পরীক্ষণের জন্য যথার্থ।

(গ) জমির উর্বরতা যখন দ্বিমুখী হয় তখন দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন বাদ দিয়ে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন অবলম্বন করাই যুক্তিযুক্ত। এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ ৫ থেকে ৮ অথবা ৫ থেকে ১২ পর্যন্ত ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা যেতে পারে।

(ঘ) একই সময়ে যখন বিভিন্ন মাত্রার একাধিক ট্রিটমেন্ট পরীক্ষা করতে হয় তখন ফ্যাক্টোরিয়াল পরীক্ষণের মাধ্যমে অধিক ফলাফল লাভ করা যায়।

(ঙ) যদি কোনো ট্রিটমেন্টের জন্য বড় প্লট প্রয়োজন (যেমন- সেচ, চাষ গভীরতা, বপন সময় প্রভৃতি) এবং একই সাথে অন্য ট্রিটমেন্টের জন্য ছোট প্লটের (যেমন- বীজের মাত্রা হরমোন প্রয়োগ ইত্যাদি) প্রয়োজন হয় তখন স্প্লিট প্লট ডিজাইন অবলম্বন করতে হয়।

(চ) ট্রিটমেন্টের সংখ্যা যদি খুব বেশি হয় তাহলে অসম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন (Incomplete Block Design) ব্যবহার করতে হয়।

১.৭.৭. প্লটের আকার ও আকৃতি (Size and shape of plots) : সব ধরনের গবেষণার জন্য প্লটের নির্দিষ্ট কোনো আকার বা আকৃতি নির্ধারিত নেই। তবে পরীক্ষায় দেখা গেছে যে, প্লটের আকার যতো বৃদ্ধি পায় প্লটের ভিন্নতার সহগ (co-efficient of variation) ততো কম হয়। এজন্য প্লটের আকার বৃদ্ধি করা ভাল এবং তাও আবার একরে চল্লিশ ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত। যদি প্লটের আকার নির্দিষ্ট আকারের চেয়ে বড় হয় তবে প্লটের অভ্যন্তরীণ সমসত্ত্ব অবস্থা বিনষ্ট হয় যা বর্ধিত প্লটের সুবিধাকে ক্ষতিগ্রস্ত করে। যাহোক, যখন জমি ও অন্যান্য সুযোগ-সুবিধা সীমিত থাকে, তখন অধিক সমলিপনবিশিষ্ট ছোট আকারের প্লট ব্যবহৃত ট্রিটমেন্টের নির্ভুল তুলনার জন্য যথেষ্ট সহায়ক। বিভিন্ন ফসলের জন্য উপযুক্ত গড় প্লটের আকার নিচে উল্লেখ করা হলো—

(ক) শস্যের জন্য প্লটের আকার $\frac{১}{৪০}$ একর

(খ) ভুট্টার জন্য প্লটের আকার $\frac{১}{২০}$ একর

(গ) আখের জন্য প্লটের আকার $\frac{১}{৪০}$ থেকে $\frac{১}{২০}$ একর

(ঘ) শাকসবজির জন্য প্লটের আকার $\frac{১}{৮০}$ একর বা এর চেয়ে ছোট আকার হওয়া বাঞ্ছনীয়।

প্লটের আকৃতি বর্গাকার, আয়তাকার, সরু লম্বা স্ট্রিপ প্রভৃতি যে কোনো রূপ হতে পারে। প্লটের আকার ও আকৃতি এমনভাবে নির্ধারণ করা হয় যেন সার্বিক পরীক্ষণ স্থানকে কার্যকরভাবে ব্যবহার করা যায় এবং সার্বিকভাবে মাঠে প্লটের লে-আউট (field lay out) করা যায়।

১.৭.৮ সীমানা প্রভাব (Border effect) : জমির কেন্দ্রস্থলের উদ্ভিদের ফলন ও পরীক্ষাধীন অন্যান্য বৈশিষ্ট্য জমির সীমানা অঞ্চলে অবস্থিত উদ্ভিদের তুলনায় ভিন্ন হয়। পার্শ্ববর্তী প্লটে উদ্ভিদের বৃদ্ধি এদের পারস্পরিক বৃদ্ধিকে প্রভাবিত করে। কিন্তু সীমানা অঞ্চলের উদ্ভিদের তুলনায় অভ্যন্তরের উদ্ভিদসমূহ এ প্রভাব থেকে মুক্ত থাকে। সারের প্রভাব পরীক্ষণের ক্ষেত্রে সার প্রয়োগকৃত প্লট থেকে প্রয়োগবিহীন প্লটে সার চুইয়ে যেতে পারে এবং সীমানার নিকটবর্তী কিছু অঞ্চলে এ প্রভাব ফেলতে পারে। একইভাবে সন্নিহিত ঘাস, নিষ্কাশন নালা বা বপনমুক্ত জমি সীমান্তবর্তী উদ্ভিদের বৃদ্ধিতে প্রভাব বিস্তার করতে পারে।

উল্লিখিত প্রভাব থেকে ব্যবহৃত ট্রিটমেন্টের প্রভাবকে মুক্ত রাখার জন্য প্রতি প্লটের চারদিকে বেশ কিছু এলাকা পরীক্ষণ হিসাব থেকে বাদ দিতে হয়। কিন্তু এসব স্থানে একইভাবে ফসল চাষ করতে হয় এবং ফলনকে পৃথকভাবে সংগ্রহ করতে হয় যেন পরীক্ষণের উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত নির্দিষ্ট আকারের প্লটের ফসল বা উদ্ভিদের অন্যান্য বৈশিষ্ট্য যথার্থরূপে হিসাব করা যায়।

১.৭.৯. প্লটের বিন্যাস (Arrangement of plots) : মাঠ পরীক্ষণের প্রয়োজনীয় দিক হলো উপাত্ত বিশ্লেষণ থেকে যথার্থ ফলাফল লাভ করা। প্রতি ক্ষেত্রেই আমরা মাটির অসমসত্ত্বতা ও অন্যান্য অজ্ঞাত প্রভাবকের প্রভাব বাদ দিয়ে বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের মধ্যে প্রকৃত পার্থক্য জানতে চাই। তাছাড়া ট্রিটমেন্ট গড় এবং আদর্শ বিচ্যুতি প্রকৃত মানের খুব কাছাকাছি হওয়া প্রয়োজন যা একই ট্রিটমেন্টের জন্য অসংখ্য প্লট ব্যবহার করে লাভ করা যায়। এ কারণে একই উপাদানের জন্য প্লটসমূহ দৈবায়িতভাবে বিন্যস্ত করা এবং প্লটসমূহ যাতে উর্বরতার দিক থেকে মোটামুটি অভিন্ন থাকে তার জন্য তুলনীয় ট্রিটমেন্টগুলোর প্লটসমূহ খুব বেশি দূরে না রাখাই বাঞ্ছনীয়। প্লটসমূহ যথাসম্ভব সমসত্ত্ব হওয়া প্রয়োজন।

যথার্থ পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বন তথা প্লটের যথাযথ বিন্যাসের মাধ্যমে উল্লিখিত প্রয়োজনসমূহ পূরণ করা সম্ভব। এক্ষেত্রে উল্লেখ্য, বিভিন্ন ডিজাইন হলো পরীক্ষণের বিশেষ কোনো সমস্যা বা ত্রুটি সমাধানের জন্য প্লটসমূহের বিশেষ বিন্যাস।

১.৭.১০. সমলিপন সংখ্যা : বিশেষ সংখ্যক ট্রিটমেন্টের জন্য উপযুক্ত সমলিপন সংখ্যা নির্ধারণ করা খুব কঠিন। কারণ সমলিপন সংখ্যা পরীক্ষাধীন বিশেষ বৈশিষ্ট্যের জন্য বিভিন্ন প্লটের ভিন্নতার উপর নির্ভর করে। তবে যদি এরূপ কোনো তথ্য না থাকে তবে সমলিপন সংখ্যা এমন হতে হয় যেন মুক্তমাত্রা (degree of freedom) কমপক্ষে ১২ হয়। এর কারণ হলো ১২ মুক্তমাত্রার উপরে ৫% এবং ১% স্তরের ভেদাঙ্ক অনুপাতে (t ও F-এর মান) খুব বেশি পার্থক্য পরিলক্ষিত হয় না।

দ্বিতীয় অধ্যায়

ভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ

Analysis of Variance

২.১. ভূমিকা

কৃষি এবং জীববিজ্ঞান গবেষণায় প্রাপ্ত উপাত্তের মানসমূহের মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য দেখা যায়। বিভিন্ন রকমের জানা ও অজানা কারণে এ ভিন্নতার সৃষ্টি হয়। ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের উদ্দেশ্য হলো মোট ভেদাঙ্কের পরিমাপ করে কোন ধরনের প্রভাবকের কারণে কতটুকু ভেদাঙ্ক সৃষ্টি হয়েছে তা বিভক্ত করা। ফিশার-এর ভাষায় 'It is a tool by which the total variation may be split up into several; physically assignable components. অর্থাৎ Analysis of variance is an arithmetic process of partitioning the total sum of squares to corresponding degrees of freedom with appropriate sources of variance. অর্থাৎ ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ হলো কোনো উপাত্তের মধ্যে মোট ভেদাঙ্কের জানা উৎস ও অজানা উৎস (ত্রুটিজনিত) পরিমাপ করার সাধারণ পরিসংখ্যানিক পদ্ধতি। মনে করা যাক, ধানের ৫টি জাতে তিনটি ভিন্ন মাত্রায় ইউরিয়া সার প্রয়োগ করে ফলনের উপাত্ত সংগ্রহ করা হলো। এ উপাত্তকে বিশ্লেষণ করে যে সর্বমোট ভেদাঙ্ক পাওয়া যায়, তাকে পুনঃবিশ্লেষণের মাধ্যমে জাতজনিত কারণ ও ইউরিয়া সারজনিত কারণে সৃষ্ট ভেদাঙ্কের পরিমাপ করে সর্বমোট ভেদাঙ্ক থেকে বিয়োগ করে অজানা কারণজনিত (ত্রুটিজনিত) ভেদাঙ্ক পাওয়াটাই ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ। অর্থাৎ সর্বমোট ভেদাঙ্ককে ভাগ করে (ক) জাতজনিত, (খ) ইউরিয়া সারজনিত এবং (গ) ত্রুটিজনিত কারণে উদ্ভূত ভেদাঙ্কের পরিমাপ করা হলে তাকে ভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ বলা হয়।

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের মাধ্যমে শুধু বিভিন্ন উৎসের কারণে সৃষ্ট ভিন্নতার (ভেদাঙ্কের) হিসাবই করা হয় না, এর ব্যবহার করে পার্থক্যের যথার্থতা যাচাইও (test of significance) করা হয়। ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করতে পরীক্ষণীয় বিষয় ও উদ্দেশ্যভিত্তিক কিছু নিয়মনীতি মেনে চলতে হয়।

এসব মূলনীতি আলোচনার পূর্বে নিম্নলিখিত বিষয় সম্পর্কে অবগত হওয়া প্রয়োজন।

(ক) বর্গসমষ্টি (Sum of squares) : পরিলক্ষিত মানসমূহের (variates) তাদের গড়মাত্রা থেকে বিচ্যুতির বর্গকে বর্গসমষ্টি বলে।

যদি n সংখ্যক জাতের প্রাপ্ত ফলন যথাক্রমে $X_1, X_2, X_3 \ldots\ldots X_n$ হয় এবং জাতগুলোর ফলনের গড় $\bar{X}$ হয়, তাহলে,

$$\text{বর্গসমষ্টি} = \Sigma(x-\bar{X})^2$$

যদি $\bar{x} = 0$ মনে করা হয়, তাহলে শূন্য থেকে পরিলক্ষিত মানসমূহের বিচ্যুতি এদের নিজ নিজ মানের সমান।

অতএব, সংক্ষিপ্ত পদ্ধতিতে আমরা পাই,

$$\text{বর্গসমষ্টি} = (x_1^2 + x_2^2 + \ldots\ldots + x_n^2) - \frac{(\Sigma x)^2}{n}$$

(খ) মুক্তমাত্রা (Degrees of freedom) : সংশ্লিষ্ট নমুনার জন্য পর্যবেক্ষণ সংখ্যা থেকে ১ (এক) কম হলো মুক্তমাত্রা। যদি সর্বমোট পর্যবেক্ষণ সংখ্যা n হয় তাহলে সর্বমোট মুক্তমাত্রা (n-1), যদি t সংখ্যক ট্রিটমেন্ট নিয়ে পরীক্ষা করা হয়, তাহলে ট্রিটমেন্ট-এর মুক্তমাত্রা হবে (t-1)।

(গ) ভেদাঙ্ক (Variance/Mean sum of squares) : বর্গসমষ্টিকে মুক্তমাত্রা দিয়ে ভাগ করে ভেদাঙ্ক পাওয়া যায়।

$$\text{ভেদাঙ্ক} = \frac{\text{বর্গসমষ্টি}}{\text{মুক্তমাত্রা}}$$

২.২. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের মূলনীতি (Basic principles of analysis of variance)

২.২.১. একই ধরনের শুধু একদল এককভিত্তিক বিশ্লেষণ : এক্ষেত্রে সব পরীক্ষণ বস্তু (individuals) এবং পরীক্ষণ পরিবেশ একই রাখা হয় অর্থাৎ ভিন্নতার জানা কারণগুলো (যেমন– জাত, সার, বপন সময় ইত্যাদি) সমানভাবে প্রয়োগ করা হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে পরিলক্ষিত ভিন্নতা শুধু ত্রুটিজনিত কারণেই হয়ে থাকে।

মনি করি, একই দলের n সংখ্যক পরীক্ষা উপাদানকে সংক্ষেপে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হলো :

দল	উপাত্ত	গড়
১	$X_1, X_2, X_3 \ldots\ldots X_i \ldots\ldots X_n$	$\bar{X}=\mu$

যদি সার্বিক গড় μ এবং ত্রুটিজনিত ভিন্নতা e হয় তাহলে যে কোনো পর্যবেক্ষিত মানের দুটি অংশ থাকবে—

(ক) একটি সার্বিকৃত গড় (an overall mean)

(খ) অনিয়ন্ত্রিত ত্রুটি (chance error)

সংক্ষিপ্তভাবে বলা যায়,

$$x_i = \mu + ei$$

$$v = \frac{\Sigma(x_i)^2}{n\text{-}1}$$

এখানে, $i = 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots\ldots n$

$x_i = \bar{x}_i - \bar{x}$

v = একক ভেদাঙ্ক (single variance)

যেহেতু, ভেদাঙ্কের অন্য কোনো উৎস এখানে নেই, এজন্য এই ভেদাঙ্ককে পুনঃবিশ্লেষণ করা সম্ভব নয়।

(ক) $\Sigma (x_i)^3$ হলো সাধারণ গড় থেকে উপাত্তের বিচ্যুতির বর্গ। একে সাধারণভাবে বর্গসমষ্টি বলা হয়।

(খ) $n - 1$ হলো ত্রুটির মুক্তমাত্রা

$$\therefore \text{ভেদাঙ্ক (গড় বর্গ = MS)} = \frac{\text{বর্গসমষ্টি}}{\text{মুক্তমাত্রা}}$$

মানগুলোকে নিম্নলিখিত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক (ছক ২.১) এর মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়।

ছক : ২.১ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

উৎস (source)	মুক্তমাত্রা (degrees of freedom)	গড় বর্গ/ভেদাঙ্ক (mean square M.S.)
ত্রুটি	(n-1)	V_E

২.২.২. একাধিক দল ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ পদ্ধতি

যদি n সংখ্যক নমুনাবিশিষ্ট একটি উপাত্তের ভেদাঙ্ক V এবং ভেদাঙ্কের গড় $V(\dot{x})$ হয় তাহলে, $v = n V(\bar{x})$

বিভিন্ন নমুনার গড় মান থেকে পপুলেশনের ভেদাঙ্ক হিসাব করার জন্য এ সমীকরণ ব্যবহার করা হয়।

মনে করি, n সংখ্যক জাতের k সংখ্যক দল রয়েছে এবং তাদেরকে নিম্নলিখিত প্রতীকের সাহায্যে প্রকাশ করা হলো :

দলসমূহ	জাত	মোট	গড়
১	$x_1, x_2 \ldots\ldots x_{1j} \ldots\ldots x_n$	R_1	$\bar{x}_1$
২	$x_{21}, x_{22} \ldots\ldots x_{2j} \ldots\ldots x_{2n}$	R_2	$\bar{x}_2$
i	$x_{i1}, x_{i2} \ldots\ldots x_{ij} \ldots\ldots x_{in}$	R_i	$\bar{x}_i$
k	$x_{k1}, x_{k2}, \ldots\ldots x_{kj} \ldots\ldots x_{kn}$	R_k	$\bar{x}_k$

এখানে ভিন্নতার (ভেদাঙ্ক) দুটি উৎস রয়েছে। প্রথমটি বিভিন্ন দলের কারণে এবং দ্বিতীয়টি একই দলের বিভিন্ন জাতের কারণে। দ্বিতীয়টিকে ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক বলা হয়।

যদি সার্বিক গড় μ, দলের মান $\propto$ এবং ত্রুটির মান e হয়, তাহলে যে কোনো মান তিনটি অংশের সমষ্টি হবে, (১) একটি সার্বিক গড়, (২) দলের জন্য বিচ্যুতি এবং (৩) অনিয়ন্ত্রিত ত্রুটি।

অর্থাৎ, $x_{ij} = \mu + \propto i. + e_{ij}$

এখানে x_{ij} হলো i-তম দলে j-তম মান। এখন নিম্নলিখিত উপায়ে বিভিন্ন উৎসের কারণে সৃষ্ট ভেদাঙ্ক হিসাব করা যায়।

প্রত্যেক দলের জন্য ভেদাঙ্ক যথাক্রমে $V_1, V_2 \ldots\ldots V_K$ প্রভৃতি হিসাব করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, i-তম দলের ক্ষেত্রে,

$$ভেদাঙ্ক, v_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} (xij)^2}{n-1} = \frac{\sum_{j=1}^{n} (xij-\bar{x}i)^2}{n-1}$$

যেহেতু প্রত্যেকটি ভেদাঙ্কই পপুলেশন ভেদাঙ্কের উপর পক্ষপাতহীনভাবে (unbiased) হিসাবকৃত তাই একক হিসেবের জন্য k সংখ্যক ভেদাঙ্কের গড় নিয়ে পাই

$$V_w = \frac{V_1 + V_2 + V_3 \text{ ....} V_k}{k}$$

$$= \frac{\Sigma(x_{ij})^2 + \Sigma\,(x_{2j})^2 + \text{ ....} \Sigma\,(x_{kj})^2}{k\,(n-1)}$$

এ হিসেবে দলের গড় (lot means) বিচ্যুতির বর্গসমষ্টির যোগফল ও দলের মুক্তমাত্রার ভাগফল প্রকাশ করে। এর সাহায্যে দলের অভ্যন্তরীণ ভেদাঙ্কের কম্পোনেন্ট পরিমাপ করা হয়।

দলের গড়ের কম্পোনেন্ট হিসাব করার জন্য nv ($\bar{x}$) এর মান নির্ণয় করা হয়;

$$nV\,(\bar{x}) = \frac{n^k \Sigma\,(\bar{x}i - \mu)^2}{k-1}$$

এখানে μ হলো সার্বিক গড় বা সব দলের মান। যদি দলের সব ভ্যারিয়েট্সকে দৈবায়িতভাবে উপস্থাপন করা হয়, তাহলে V_w এবং nv (x) পপুলেশন ভেদাঙ্কের প্রতি পক্ষপাতহীন থাকে। এ ভেদাঙ্কগুলো, k (n-1) মুক্তমাত্রার ভিত্তিতে লটের অভ্যন্তরীণ (within lots) ভেদাঙ্ক এবং (k-1) মুক্তমাত্রার ভিত্তিতে লটগুলোর মধ্যে (between lots) ভেদাঙ্ক প্রকাশ করে—

অতএব, সংশ্লিষ্ট বর্গসমষ্টি হলো—

$$\Sigma\,(x_1j) + \Sigma\,(x_2j) + \text{ ....} \Sigma\,(x^nkj)$$

এবং

$$n\Sigma\,(\bar{x}i - \mu)^2$$

এ বর্গসমষ্টি নিম্নলিখিত সূত্রের সাহায্যে অনুমিত গড়ের সাহায্যেও নির্ণয় করা যায় :

$$\Sigma x^2 = \Sigma d^2 - \frac{(\Sigma d)^2}{N}$$

এখানে, N হলো পর্যবেক্ষণ সংখ্যা। এক্ষেত্রে তা n, k বা nk হতে পারে। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে অনুমিত গড় শূন্য (0) ধরা হয়। তখন সূত্রটি নিম্নরূপ ধারণ করে—

$$\Sigma x^2 = \Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{N}$$

$\frac{\Sigma(x)^2}{N}$ রাশিটি অনুমিত গড় থেকে প্রাপ্ত অন্য মানের বিচ্যুতির বর্গসমষ্টিকে শোধন (correction) করে বলে একে শোধক মান বলা হয়।

শোধক মান (Correction factor, C.F.), $\frac{(\Sigma x)^2}{N} = \frac{(\text{সর্বমোট মান})^2}{\text{পর্যবেক্ষণ সংখ্যা}}$

নিম্নলিখিত উপায়ে বিভিন্ন বর্গসমষ্টি হিসাব করা হয়ে থাকে।

(ক) i-তম দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি (within lots)

$$= \sum_{J=1}^{n} (xij - \bar{x}i)^2$$

$$= x^2jl + x^2_{i2} + \ldots\ldots\ldots\ldots + x^2in) - \frac{Ri^2}{n}$$

∴ k সংখ্যক দলের বর্গসমষ্টি = k সংখ্যক লটের এরূপ বর্গসমষ্টির যোগফল।

(খ) দলগুলোর মধ্যে বর্গসমষ্টি (between lots)

$$= n \sum_{1=1}^{k} (\bar{x}i - \mu)^2$$

$$= n\{ (\bar{x}_1^2 + \bar{x}_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \bar{x}k^2) - \frac{(\Sigma\bar{x})^2}{k} \}$$

$$= \frac{1}{n}(R_1^2 + R_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + R^2k) - \text{শোধক মান}$$

এখানে, $R_1, R_2 \ldots\ldots R_K$ হলো লটসমষ্টি এবং

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{nk জাতের সমষ্টি})^2}{nk}$$

আবার মোট বর্গসমষ্টি থেকে দলগুলোর মধ্যে (within lots) বর্গসমষ্টি বিয়োগ করে দলের অভ্যন্তরীণ (within lots) বর্গসমষ্টি পাওয়া যায়।

অতএব, মোট বর্গসমষ্টি = $x_{11}^2 + x_{22}^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + x_{kn}^2$) – শোধক মান।

দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি – দলের মধ্যে বর্গসমষ্টি।

এখন উদাহরণের সাহায্যে বিভিন্ন ধরনের বর্গসমষ্টি এবং ভেদাঙ্ক নির্ণয়ের সার্বিক পদ্ধতি ব্যাখ্যা করা হলো।

উদাহরণ : নিম্নলিখিত উপাত্ত (ছক : ২.৩) থেকে বিভিন্ন ধরনের বর্গসমষ্টি এবং ভেদাঙ্ক উপাদান নির্ণয় কর।

ছক : ২.৩

দল	চলক					মোট	গড়
1	7	8	8	9	8	40	8
2	11	12	13	10	9	55	11
3	6	7	12	11	4	40	8

যদি ১ম, ২য় ও ৩য় দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি যথাক্রমে Σx_1^2 এবং Σx_2^2 এবং Σx_3^2 হয়, তাহলে আমরা পাই,

$$\Sigma x_1^2 = \Sigma x_1^2 - \frac{(\Sigma x_1)^2}{n}$$

$$\therefore \Sigma x_1^2 = (7^2 + 8^2 + 8^2 + 9^2 + 8^2) - \frac{(40)^2}{5}$$

$$= 322 - 320$$

$$= 2$$

$$\Sigma x_2^2 = 11^2 + 12^2 + 13^2 + 10^2 + 9^2 - \frac{(55)^2}{5}$$

$$= 615 - 605$$

$$= 10$$

$$\Sigma x_3^2 = 6^2 + 7^2 + 12^2 + 11^2 + 4^2 - \frac{(40)^2}{5}$$

$$= 366 - 320$$

$$= 46$$

দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি $= \Sigma x_1^2 + \Sigma x_2^2 + \Sigma x_3^2$

$$= 2 + 10 + 46$$

$$= 58$$

$$\therefore \text{আন্তদল ভেদাঙ্ক} = \frac{\text{বর্গসমষ্টি}}{\text{মুক্তমাত্রা}} = \frac{58}{12} = 4.83$$

বিভিন্ন দলের মধ্যে সৃষ্ট বর্গসমষ্টি $= \frac{1}{n}(R_1^2 + R_2^2 + R_3^2)$ -- শোধক মান

$$= \frac{1}{5}(40^2 + 55^2 + 40^2) - \frac{(135)^2}{15}$$

$$= \frac{6225}{5} - \frac{18225}{15}$$

$$= 1245 - 1215$$

$$= 30$$

$$\text{অতএব, দলজনিত ভেদাঙ্ক} = \frac{\text{বর্গসমষ্টি}}{\text{মুক্তমাত্রা}}$$

$$= \frac{30}{2}$$

$$= 15$$

আবার মোট বর্গসমষ্টি = $7^2 + 8^2 + 8^2 + 9^2 + \ldots\ldots\ldots + 4^2 - \frac{(135)^2}{15}$

$= 1303 - \frac{18225}{15}$

$= 1303 - 1215$

$= 88$

দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি – দলগুলোর মধ্যে বর্গসমষ্টি

$= 88 - 30$

$= 58$

সুতরাং দেখা যায় যে, উভয় পদ্ধতিতে হিসাবকৃত দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টির মান একই।

২.২.৩. দু'দিকে শ্রেণিবিন্যস্ত উপাত্তের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

এক্ষেত্রে একসারি ট্রিটমেন্টের সরলভাবে সমলিপন করা হয়। মনে করি, k সংখ্যক দলের n সংখ্যক ইনডিভিজ্যুয়াল (Individual) এর উপর n সংখ্যক ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করে প্রাপ্ত উপাত্তকে নিম্নোক্ত ছক ২.৪ এ লিপিবদ্ধ করা হলো—

ছক ২.৪

লট	ট্রিটমেন্ট			মোট	গড়
	1	2.....	n		
1	x_{1i}	x_{12}.....	x_{1n}	R_1	R_1
2	x_{21}	x_{22}.....	x_{2n}	R_2	R_2
|	|	|	|	|	|
k	xk_1	xk_2	Xkn	Rk	Rk
মোট	T_1	T_2	T_n	সর্বমোট	
গড়	T_1	T_2	T_n		

এখানে তিনটি ভিন্নতার উৎস বর্তমান। প্রথমত, দলের গড়ের ভিন্নতার কারণে, দ্বিতীয়ত, ট্রিটমেন্ট গড়ের ভিন্নতার কারণে এবং তৃতীয়ত, রেসিডুয়্যাল অক্রমিক (random) ভিন্নতা।

যদি μ সার্বিক গড়, লটের কারণে কম্পোনেন্ট ∞, ট্রিটমেন্টের জন্য কম্পোনেন্ট ψ এবং ত্রুটির জন্য E হয়, তাহলে যে কোনো পরিলক্ষিত মানের চারটি অংশ আছে যথা- (১) একটি সার্বিক গড়, (২) লটের কারণে বিচ্যুতি, (৩) ট্রিটমেন্টের জন্য বিচ্যুতি, (৪) ত্রুটির জন্য বিচ্যুতি (chance error)।

বীজগাণিতিক প্রতীকের সাহায্যে একে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায়–

$$X_{ij} = \mu + \infty_i + \gamma_j + E_{ij}$$

নিম্নলিখিত উপায়ে বিভিন্ন উৎসের কারণে সৃষ্ট ভিন্নতা হিসাব করা হয় :

(১) এখানে পর্যবেক্ষণ সংখ্যা = nk

$$\therefore \text{ সাধারণ গড়, } \mu = \frac{\Sigma x}{nk} = \frac{\text{সর্বমোট মান}}{nk}$$

(২) লট গড়ের কারণে সৃষ্ট ভিন্নতাকে nvR হিসেবে প্রকাশ করলে আমরা পাই—

$$nvR = \frac{n\Sigma (Ri - \mu)^2}{K-1}$$

এখানে, μ হলো সাধারণ গড় এবং R_i হলো i-তম দলের গড়। যদি দলের এককগুলো দৈবায়িত হয়, তাহলে হিসাবকৃত পপুলেশন ভেদাঙ্কের প্রতি পক্ষপাতহীন থাকে। এ ভিন্নতা k-1 মুক্তমাত্রার ভিত্তিতে হিসাব করা হয় এবং বর্গসমষ্টি হলো $n\Sigma (R_i-\mu)^2$।

সংক্ষিপ্ত পদ্ধতিতে নিম্নলিখিত উপায়ে বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা হয়—

$$n\Sigma (Ri-\mu)^2 = \frac{1}{n}(R_1^2 + R_2^2 \ldots\ldots\ldots\ldots + R_k^2 - \frac{(\text{সর্বমোট মান})^2}{nk}$$

(৩) ট্রিটমেন্ট গড়ের কারণে সৃষ্ট ভিন্নতার পরিমাপ

$$KVT = \frac{K\Sigma (Tj-\mu)}{n-1}$$

এখানে μ হলো সাধারণ গড়। Tj হলো j-তম ট্রিটমেন্ট-এর গড়। এটিও পপুলেশন ভেদাঙ্কের প্রতি পক্ষপাতহীন এবং (n-1) মুক্তমাত্রার ভিত্তিতে হিসাব করা হয়।

সংশ্লিষ্ট বর্গসমষ্টি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে হিসাব করার হয়—

$$K\Sigma (Tj - \mu)^2 = \frac{1}{k}(T_1^2 + T_2^2 \ldots\ldots + T_n^2) - \frac{(\text{সর্বমোট মান})^2}{nk}$$

(৪) দৈবায়ন ভিন্নতা বা ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক কম্পোনেন্ট V_E হয়।

$$V_E = \frac{\Sigma(xij-Ri - Tj + \mu)^2}{(k-1)(n-1)}$$

এ ভিন্নতা (k-1) (n-1) যুক্তমাত্রায় হিসাব করা হয়।

সংশ্লিষ্ট বর্গসমষ্টি হলো :

$$\Sigma(xij - Ri - Tj + \mu)^2$$

এটি মোট বর্গসমষ্টি $\Sigma(xij - \mu)^2$ থেকে লট বর্গসমষ্টি ও ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি বিয়োগ করেও পাওয়া যায়। বিষয়টি বোঝার জন্য নিচে একটি উদাহরণ দেওয়া হলো।

উদাহরণ : প্রদত্ত উপাত্ত (ছক ২.৫) থেকে বিভিন্ন উৎসজনিত ভেদাঙ্ক পরিমাপ কর।

ছক ২.৫

দল	ট্রিটমেন্ট					মোট	গড়
	১	২	৩	৪	৫		
১	7	8	8	9	8	40	8
২	11	12	13	10	9	55	11
৩	6	7	12	11	4	40	10
মোট	24	27	33	30	21	135	
গড়	8	9	11	10	7		μ=9

(১) এখানে সাধারণ গড় = $\frac{135}{15} = 9$

(২) দলের কারণে ভেদাঙ্ক,

$$nV_R = \frac{n\Sigma (\bar{R}i - \mu)^2}{k-1}$$

এখানে সংশ্লিষ্ট মান বসিয়ে, $nVR = \frac{(5\times [(8-9)^2 + (11-9)^2 + (8 - 9)^2]}{3-1}$

$$= \frac{5\times (1+4+1)}{2}$$

$$= \frac{30}{2} = 15$$

আবার, ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি এবং মুক্তমাত্রা থেকেও হিসাব করা যায়।

$$\text{বর্গসমষ্টি} = \frac{1}{5}(40^2 + 55^2 + 40^2) - \frac{(135)^2}{15}$$

$$= \frac{6225}{5} - \frac{18225}{15}$$

$$= 1245 - 1215$$

$$= 30$$

মুক্তমাত্রা = K - 1 = 3-1 = 2

$$\therefore nVR = \frac{\text{বর্গসমটি}}{\text{মুক্তমাত্রা}}$$

$$= \frac{30}{2} = 15$$

(৩) ট্রিটমেন্টজনিত ভেদাঙ্ক,

$$kV\bar{T} = \frac{k\Sigma (\bar{T}j - \mu)^2}{n-1}$$

$$= \frac{3 \times [(8-9)^2 + (9-9)^2 + (11-9)^2 + (10-9)^2 + (7-9)^2]}{5-1}$$

$$= \frac{3 \times (1 + 0 + 4 + 1 + 4)}{4}$$

$$= \frac{3 \times 10}{4} = 7.5$$

আবার, বর্গসমষ্টি ও মুক্তমাত্রা থেকে হিসাব করে পাই,

$$\text{বর্গসমষ্টি} = \frac{1}{3}(24^2 + 27^2 + 33^2 + 30^2 + 21)^2 - \frac{(135)^2}{15}$$

$$= \frac{3735}{3} - \frac{18225}{15}$$

$$= 1245 - 1215$$

$$= 30$$

মুক্তমাত্রা = n - 1 = 3 -1 = 2

$$\therefore kVT = \frac{30}{2} = 15$$

(৪) ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক

$$V_E = \frac{\Sigma(xij - Ri - Tj + \mu)^2}{(n-1)(k-1)}$$

$$= \frac{(7 - 8 - 8 + 9)^2 + (8-8-9+9)^2 \ldots\ldots (4-8-7+9)^2}{(5-1)(3-1)}$$

$$= 3.5$$

আবার,

$$\text{মোট বর্গসমষ্টি} = (7^2 + 8^2 + \ldots\ldots\ldots + 4^2) - \frac{135^2}{15}$$

$$= 1303 - 1215$$

$$= 88$$

ত্রুটিজনিত সমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি – লট বর্গসমষ্টি – ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি

$$= 88 - 30 - 30$$

$$= 28$$

মুক্তমাত্রা = (k-1) (n-1) = (3-1) (5-1) = 8

অতএব ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক $(V_E) = \frac{28}{8} = 3.5$

২.৩. বিভিন্ন বর্গসমষ্টি ও মুক্তমাত্রা পৃথকীকরণ

xij একটি পর্যবেক্ষিত মান হলে আমরা পাই,

$$(x_{ij} - \mu) = (x_{ij} - \bar{R}_i) + (\bar{R}_i - \mu)$$

এখানে μ হলো সাধারণ গড় এবং R প্রথম দলের গড়। সমীকরণটির উভয় পক্ষকে বর্গ করে আমরা পাই

$$(x_{ij} - \mu)^2 = (x_{ij} - \bar{R}_1)^2 + (\bar{R}_1 - \mu)^2 + 2(x_{ij} - \bar{R})(\bar{R}_1 - \mu)$$

প্রথম দলের উপর সমকলন করে পাই,

$$\Sigma^n_1 (x_{ij} - \mu)^2 = {}^n\Sigma_1 (x_{ij} - \bar{R}_{ij})^2 + \Sigma^n_1(\bar{R}_1 - \mu)^2 + 2(\bar{R} - \mu)\Sigma(\Sigma^n_1 \times 1j - \bar{R}_1)$$

যেহেতু, $\Sigma(x_{1j} - \bar{R}_1) = 0$ এবং ১ম লটের জন্য $(R_1 - \mu)$ ধ্রুবক। সুতরাং $\Sigma^n_1 (x_{1j} - \mu)^2 = \Sigma^n_1(x_{1j} - \bar{R}_1)^2 + n(R_1 - \mu)^2$।

অন্যান্য দলের ক্ষেত্রেও অনুরূপ হিসাব পাওয়া যায়। এখন সম্পূর্ণ পরীক্ষণের উপর সমাকলন করে পাই

$$\Sigma^{nk}_1 (x_{1j} - \mu)^2 = \Sigma^v_{i=1}\Sigma^n_{j=1} (xij - \bar{R}i)^2 i^n = 1 \sum^k (\bar{R}i - \mu)^2$$

এখানে ডানপক্ষের প্রথম অংশ হলো দলের অভ্যন্তরীণ (within) গড় মান থেকে বিচ্যুতির বর্গসমষ্টি এবং ২য় অংশ হলো দলগুলোর মধ্যে (between) গড় মান থেকে বিচ্যুতির বর্গসমষ্টি।

অন্যদিকে সমীকরণটির বামপক্ষ মোট বর্গসমষ্টি প্রকাশ করে। অতএবলেখা যায়—

মোট বর্গসমষ্টি = দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি + দলগুলোর বর্গসমষ্টি। এটি একটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ সম্পর্ক। আবার,

বীজগাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মোট বর্গসমষ্টিকে দলজনিত বর্গসমষ্টি। ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি ও ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টিতে বিভক্ত করা যায়।

অর্থাৎ, মোট বর্গসমষ্টি = দলজনিত বর্গসমষ্টি + ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি + ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি।

একইভাবে, মোট মুক্তমাত্রাকেও (nk-1) বিভক্ত করা যায়,

$$(nk-1) \text{ মুক্তমাত্রা} = (k-1) + (n-1) + (k-1)(n-1)$$

দল ট্রিটমেন্ট ত্রুটি

অর্থাৎ, মোট মুক্তমাত্রা = লটের মুক্তমাত্রা + ট্রিটমেন্টের মুক্তমাত্রা + ত্রুটির মুক্তমাত্রা।

সম্পূর্ণ ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণকে নিম্নলিখিত ছকের (ছক ২.৬) সাহায্যে প্রকাশ করা যায়—

ছক ২.৬

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গসমষ্টি
লট	k -1	$n\Sigma(R-\mu)^2$	nVR
ট্রিটমেন্ট	n -1	$k\Sigma (T-\mu)^2$	KVT
ত্রুটি	(n-1) (k-1)	$\Sigma(x-R-\bar{T}+\mu)^2$	V_E
মোট	nk-1	$\Sigma(x-\mu)^2$	

অতএব, বিশ্লেষণ করা ফলাফলকে ছক আকারে (ছক ২.৭) নিম্নোক্তভাবে সাজানো হলো–

ছক ২.৭

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা	বর্গসমষ্টি	গড়বর্গ (ভেদাঙ্ক)
লট	2	30	15.0
ট্রিটমেন্ট	4	30	7.5
ত্রুটি	8	28	3.5
মোট	14	88	

২.৪. যথার্থতা যাচাই (Test of significance)

এ পরীক্ষার উদ্দেশ্য হলো ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে যে পার্থক্য বিদ্যমান তা কি যথার্থ না শুধু ত্রুটিজনিত কারণে তা যাচাই করা। এ যাচাই নাল অনুকল্পের (null hypothesis) উপর ভিত্তি করেই করা হয়।

প্রথমেই ধরা হয় যে, ফলন বা অন্য যে কোনো পর্যবেক্ষণী বৈশিষ্ট্যের উপর ট্রিটমেন্টের প্রভাব সমান অর্থাৎ ট্রিটমেন্টের প্রভাবকে চিহ্নিত করা হয়।

তাহলে, নালতত্ত্ব অনুসারে, $Y_1 = Y_2 = Y_3 \ldots\ldots\ldots\ldots Y_n$

সম্ভাব্য ত্রুটি সীমার (chance error) মধ্যে নালতত্ত্ব গৃহীত কিংবা প্রত্যাখ্যাত হবার যোগ্যতা প্রমাণ করা হয়।

ট্রিটমেন্টজনিত এবং ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্কের অনুপাতকে 'F' প্রতীক দিয়ে প্রকাশ করা হয়। পছন্দনীয় সম্ভাবনা স্তরে প্রত্যাশিত 'F'–এর মানের (F-এর টেবিল মান) সাথে নির্ণয়কৃত 'F'–এর মানের তুলনা করে এর যথার্থতা যাচাই করা হয়। এ ধরনের পরীক্ষাকে F–পরীক্ষা (F-test) বলা হয়।

n_1 এবং n_2 মুক্তমাত্রায় যদি ট্রিটমেন্ট ভেদাঙ্ক ও ত্রুটি ভেদাঙ্ক যথাক্রমে V_T এবং V_E হয় তাহলে,

$$F = \frac{V_T}{V_E}$$

হিসাবকৃত 'F'–এর মানকে N_1 (F টেবিলের উপর আড়াআড়ি লাইনে দেওয়া হয়) এবং n_2 (F টেবিলের লম্ব লাইনে এর মান) মুক্তমাত্রায় সাধারণত .01 (1%) এবং .05 (5%) সম্ভাবনা স্তরে 'F'-এর টেবিল মানের সাথে তুলনা করা যায়। যদি ট্রিটমেন্ট ও ত্রুটি মুক্তমাত্রায় 1% বা 5% স্তরে F-এর টেবিল মানের চেয়ে হিসাবকৃত 'F' মানের কম হয়, তাহলে নালতত্ত্ব গৃহীত হয় অর্থাৎ ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে যথার্থ পার্থক্য নাই বা ট্রিটমেন্টগুলোর প্রভাবের পার্থক্য শূন্য (0) বলে প্রমাণিত হয়।

অন্যদিকে 'F'–এর হিসাবকৃত মান টেবিলের 'F' মানের সমান বা বড় হলে তবে নালতত্ত্ব ভ্রান্ত প্রমাণিত হয়। অর্থাৎ ট্রিটমেন্টগুলোর প্রভাবের মধ্যে যথার্থ পার্থক্য বিদ্যমান বলে প্রমাণিত হয়। এখানে উল্লেখ্য যে, 1% স্তরে তাৎপর্য প্রমাণিত হলে তাকে অতি তাৎপর্য (highly significant) এবং 5% স্তরে হলে তাৎপর্য বলা হয়ে থাকে।

পূর্বে উল্লেখিত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক থেকে পাওয়া যায়–

ট্রিটমেন্টজনিত ভেদাঙ্ক (V_T) = 7.5

ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক (V_E) = 3.5

$$\therefore F = \frac{V_T}{V_E} = \frac{7.5}{3.5} = 2.143$$

এখানে, ট্রিটমেন্ট–এর মুক্তমাত্রা (V_1) = 4

ত্রুটির মুক্তমাত্রা (V_2) = 8

5% যথার্থতা স্তরে (level of significance) 4 এবং 8 মুক্তমাত্রায় 'F'–এর টেবিলে দেওয়া তাত্ত্বিক মান = 3.84। হিসাবকৃত 'F'–এর মান (2.143) টেবিল মান অপেক্ষা কম। পর্যবেক্ষিত F–মান 5% স্তরে যথার্থ নয়। অর্থাৎ ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে কোনো তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই। অন্যভাবে বলা যায়, যেহেতু হিসাবকৃত F-এর মান 5% স্তরে ট্রিটমেন্ট ও ত্রুটি মুক্তমাত্রায় (4 এবং 8) F–এর টেবিল মান (3.48) অপেক্ষা ছোট ; অতএব প্রাপ্ত 'F'–এর মান যথার্থ নয়। অর্থাৎ ফলনে প্রাপ্ত পার্থক্যসমূহ পরীক্ষণ ত্রুটির কারণে সৃষ্ট, ট্রিটমেন্টের প্রভাবে নয়।

২.৫. ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (Least significant difference, LSD)

F-test এ যদি নালতত্ত্ব ভ্রান্ত প্রমাণিত হয়, তাহলে পরবর্তী পর্যায়ে ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে কোন কোন উপাদান গড়ের পার্থক্য যথার্থ তা নির্ণয় করা হয়। এ উদ্দেশ্যে প্রথমে ট্রিটমেন্ট গড়গুলোর পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি (standard error) নির্ণয় করা হয়। এটি ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক থেকে হিসাব করা যায়।

ট্রিটমেন্ট গড়ের আদর্শ ত্রুটি (standard error of mean)

$$= \sqrt{V_E\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)}$$

এখানে V_E = ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক। r_1 এবং r_2 হলো যথাক্রমে ট্রিটমেন্ট গড় দুটির জন্য পর্যবেক্ষণ সংখ্যা।

যদি উভয় গড়ের ক্ষেত্রে পর্যবেক্ষণ সংখ্যা সমান হয়। তাহলে, ট্রিটমেন্ট গড়ের আদর্শ

$$\text{ত্রুটি} = \sqrt{\frac{2V_E}{r}} \quad [\because r_1 = r_2 = r]$$

এরপরে দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের পাথর্কের যথার্থতা নির্ণয় করার জন্য t-পরীক্ষা (t-test) করা হয়।

$$t = \frac{\text{গড় পার্থক্য}}{\text{গড় পার্থক্যে আদর্শ ত্রুটি}} \quad \text{(ত্রুটি মুক্তমাত্রায়)}$$

যখন বহুসংখ্যক ট্রিটমেন্ট গড় নিয়ে পরীক্ষা করা হয় তখন প্রতি দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের সাথে তুলনা করার জন্য প্রত্যেক ক্ষেত্রে t-এর মান নির্ণয় করা হয় অত্যন্ত জটিল বিষয়। এক্ষেত্রে কাঙ্ক্ষিত সম্ভাবনা স্তরে পার্থক্যের একটি আদর্শ মান হিসাব করা হয়। একে ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (least significant difference) বা আদর্শ পার্থক্য (critical difference) বলে। এ মানের সাথে যে কোনো ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্যের সাথে খুব সহজেই তুলনা করা যায়। যদি ট্রিটমেন্ট দুটির গড়ের মধ্যে পার্থক্য আদর্শ পার্থক্যের সমান বা ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যের বেশি হয়, তাহলে সেই ট্রিটমেন্ট দুটির মধ্যে যথার্থ পার্থক্য বিদ্যমান বলে প্রতীয়মান হয়, আর যদি দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্য আদর্শ পার্থক্য অপেক্ষা কম হয় তাহলে বোঝা যায় যে, ট্রিটমেন্ট দুটির মধ্যে যথার্থ পার্থক্য নেই।

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি × t (ত্রুটি মুক্তমাত্রায়)

$$= \sqrt{\frac{2VE}{r}}$$

E-এর মুক্তমাত্রা = মুক্তমাত্রা

উপাদান গড়ের তুলনার জন্য LSD পার্থক্য = $\sqrt{\frac{2VE}{r}} \times t$

ট্রিটমেন্টগুলোর সমলিপন সংখ্যা যখন একই হয় তখনই শুধু LSD যথার্থতা নির্ণয় করা ঠিক হয়ে থাকে। LSD-র সাহায্যে একসাথে দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করা যুক্তিসঙ্গত। একসাথে একাধিক ট্রিটমেন্ট গড়ের সম্ভাব্য সব যুগলের মধ্যে তুলনা করতে এ পদ্ধতি যুক্তিসঙ্গত নয়। সেক্ষেত্রে টুকে'র w-পরীক্ষা (Tukey's w-test) বা নিউম্যান কিউল্‌স-এর পর্যায়ক্রমিক পরিসর পরীক্ষা (Newman Kewls Sequential Range Test) বা ডানকানের মাল্‌টিপল পরিসর t- পরীক্ষা (Duncan's Multiple Range t-test) অবলম্বন করা শ্রেয়। এ পদ্ধতিগুলো বেশ জটিল বিধায় সাধারণত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণে ট্রিটমেন্ট ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ হলে পরবর্তীতে LSD মান নির্ণয় করে প্রতিবার মাত্র দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করা হয়। এখানে টুকে'র w- পরীক্ষা পদ্ধতি সম্পর্কে বলা হলো এবং ৪র্থ অধ্যায়ে (১) উদাহরণে এ পদ্ধতি অবলম্বনে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে পার্থক্য বোঝানো হলো।

টুকে'র w- পরীক্ষা পদ্ধতিতে সমস্ত ট্রিটমেন্ট গড়কে উর্ধ্বক্রম অনুসারে অর্থাৎ X_1, X_2 ..... সাজানো হয় এবং স্টুডেনাইজড পরিসর পরিসংখ্যান (Studentized Range Statistics) নিম্নোক্ত সূত্র অনুযায়ী পরিমাপ করা হয়—

$$qt,\ p = \frac{(\bar{x}t - \bar{x}_1)\sqrt{r}}{s}$$

এখানে, S^2 = ত্রুটির গড় বর্গ

r = সমলিপন সংখ্যা

p = ত্রুটির স্বাধীনতার মুক্তমাত্রা

qt. p-এর মান Biometrika Tables এর ১নং ভল্যুমের ২৯নং টেবিলে রয়েছে।

সম্ভাব্য সব ট্রিটমেন্ট যুগলের মধ্যে তুলনা করতে 'w' এর মান নির্ণয় করা হয়।

$$w = q(\alpha)\, t, p \times \frac{s}{\sqrt{r}}$$

যদি বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের জন্য সমলিপন সংখ্যা ভিন্ন হয় তবে,

$$w = q(\alpha)\, t, p \times s\left[\frac{1}{2}\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

এখানে $q(\alpha)\, t, p$ হলো α স্তরে p মুক্তমাত্রায় q-এর মান। 'w' কে সততার তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যও (honestly significant difference) বলা হয়।

২.৬. বর্গসমষ্টি নির্ণয় পদ্ধতি (Computation of sum of squares)

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের মূলনীতি অধ্যয়নের পর বর্গসমষ্টি নির্ণয় সম্পর্কে জানা দরকার। বিভিন্ন ক্ষেত্রে বর্গসমষ্টি নির্ণয় করার পদ্ধতি নিচে আলোচনা করা হলো।

(১) N সংখ্যক জাত ব্যবহার করলে,

যদি $X_1, X_2, X_3 \ldots\ldots\ldots X_n$; N সংখ্যক জাত হয় তাহলে,

$$\text{শোধক মান (correction factor, C.F.)} = \frac{(\text{সর্বমোট যোগফল})^2}{N}$$

এখানে সর্বমোট যোগফল $= (X_1 + X_2 + X_3 + \ldots\ldots\ldots + X_n)$

$$\text{মোট বর্গসমষ্টি} = \left(X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \ldots\ldots\ldots + X_n^2\right) - \text{শোধক মান}$$

(২) r-সংখ্যক জাতবিশিষ্ট n সংখ্যক দলের ক্ষেত্রে যদি $T_1, T_2, T_3 \ldots\ldots T_n$ দল সমষ্টি (group total) হয় ; তাহলে—

$$\text{সর্বমোট যোগফল} = T_1 + T_2 + T_3 + \ldots\ldots\ldots + T_n$$

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{সর্বমোট যোগফল})^2}{r^n}$$

$$\text{n সংখ্যক দলের জন্য বর্গসমষ্টি} = \frac{1}{n}\left(T_1^2 + T_2^2 + \ldots\ldots\ldots T_n^2\right) - \text{শোধক মান}$$

(৩) সমান সংখ্যক জাত নয় এরূপ n সংখ্যক দলের ক্ষেত্রে যদি $T_1, T_2, T_3 \ldots\ldots T_n$ দলবিশিষ্ট হয় এবং জাতসংখ্যা যথাক্রমে $r_1, r_2, r_3 \ldots\ldots\ldots r_n$ হয় ; তাহলে—

$$\text{সর্বমোট যোগফল} = T_1 + T_2 + T_3 + \ldots\ldots\ldots + T_n$$

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{সর্বমোট যোগফল})^2}{N}$$

এখানে, $N = r_1 + r_2 + r_3 \ldots\ldots r_n$

$$\therefore \text{বর্গসমষ্টি} = \left(\frac{T_1^2}{r_1} + \frac{T_2^2}{r_2} + \frac{T_3^2}{r_3} \ldots\ldots\ldots \frac{T_n^2}{r_n}\right)^2 - \text{শোধক মান}$$

(৪) প্রতি দলে r সংখ্যক জাতবিশিষ্ট শুধু দুটি দলের ক্ষেত্রে বর্গসমষ্টি

$$= \frac{1}{r}(T_1^2 + T_2)^2 - \frac{(T_1 + T_2)^2}{2r}$$

$$= \frac{(T_1 - T_2)^2}{2r}$$

(৫) ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয়

মোট বর্গসমষ্টি থেকে ভিন্নতার বিভিন্ন উৎসের জন্য প্রাপ্ত বর্গসমষ্টি বিয়োগ করে ত্রুটি বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা হয়।

তৃতীয় অধ্যায়

সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন

Complete Randomized Design

৩.১. ভূমিকা

জীববিজ্ঞান ও কৃষিবিজ্ঞানের ক্ষেত্রে বহুল ব্যবহৃত অতি সাধারণ পরীক্ষণ ডিজাইন হলো সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন। এক্ষেত্রে প্রত্যেক ট্রিটমেন্ট এবং সমলিপনের সংখ্যার ভিত্তিতে পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে বিভিন্ন পরীক্ষণ এককে অর্থাৎ প্লটে বিভক্ত করা হয়। পরে সম্পূর্ণ দৈবায়িতভাবে ট্রিটমেন্টগুলোকে পরীক্ষণ এককসমূহে অর্থাৎ প্লটে প্রয়োগ করা হয়। মাঠ পরীক্ষণের ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ জমিকে প্রয়োজনীয় সংখ্যক সমান প্লটে ভাগ করে ট্রিটমেন্টগুলোকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়।

উদাহরণস্বরূপ যদি ক, খ, গ, ঘ ও ঙ পাঁচটি ট্রিটমেন্ট চারটি সমলিপনে প্রয়োগ করা হয়, তাহলে প্লট সংখ্যা হয় ২০ এবং প্রত্যেকটি ট্রিটমেন্টকে সম্পূর্ণ দৈবায়িতভাবে নির্বাচিত চারটি প্লটে প্রয়োগ করা হয়। এক্ষেত্রে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক হবে নিম্নরূপ :

ছক ৩.১

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)
ট্রিটমেন্ট	4		
ত্রুটি	15		
মোট	19		

এখানে মোট পরীক্ষণ সংখ্যা ২০।

সুতরাং মোট মুক্তমাত্রা হবে এক কম অর্থাৎ 19 এবং ট্রিটমেন্ট সংখ্যা 5 বলে ট্রিটমেন্টের মুক্তমাত্রা হবে 5-1 = 4

অবশিষ্ট 19 - 4 হলো ত্রুটির জন্য মুক্তমাত্রা।

৩.২. ট্রিটমেন্টকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা (Application of Treatments randomly)

যদি পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে ২০টি এককে ভাগ করা হয় তাহলে ১ থেকে ২০ পর্যন্ত দৈবায়ন সংখ্যা দৈবায়ন টেবিল থেকে বিবেচনায় এনে দৈবায়ন সংখ্যা নির্ধারণ করা হয়। মনে করি, দৈবায়ন সংখ্যাক্রম ৪, ১৮, ২, ১৪, ৩, ৭, ১৩, ১, ৬, ১০, ১৭, ২০, ৮, ১৫, ১১, ৫, ১৯, ১২, ১৬,

১৯। এ ক্রমিক অনযায়ী প্লটগুলোকে ক্রমান্বয়ে সংখ্যায়িত করে ৪, ১৮, ২ ও ১৪নং প্লটে 'ক' ট্রিটমেন্ট, ৩, ৭, ১৩ ও ১নং প্লটে 'খ' ট্রিটমেন্ট, ৬, ১০, ১৭ ও ২০নং প্লটে 'গ' ট্রিটমেন্ট, ৮, ১৫, ১১ ও ৫নং প্লটে 'ঘ' এবং ৯, ১২, ১৬ ও ১৯নং প্লটে 'ঙ' ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করা হয়।

৩.৩. **আদর্শ ত্রুটি নির্ণয়** (Computation of Standard error)

দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের আদর্শ ত্রুটি নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা হয়—

আদর্শ ত্রুটি পার্থক্য (Standard error of difference)

$$= \sqrt{\text{ত্রুটি গড় বর্গ VE} \frac{1}{\text{১ম ট্রিটমেন্টের সমলিপন সংখ্যা } (r_1)} + \frac{1}{\text{২য় ট্রিটমেন্টের সমলিপন সংখ্যা } (r_2)}}$$

যদি উভয় ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে সমলিপন সংখা একই হয় ; তাহলে—

$$\text{আদর্শ ত্রুটি পাথর্ক্য} = \sqrt{\frac{\text{ত্রুটি গড় বর্গ} \times 2}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}}$$

আবার, ট্রিটমেন্টসমূহের গড়ের পার্থক্য বিশ্লেষণে t–পরীক্ষার ত্রুটির জন্য যে মুক্তমাত্রা (এক্ষেত্রে 15) ব্যবহার করতে হয়।

৩.৪. **সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন ব্যবহারের সুবিধা ও অসুবিধা** (Merits and demerits of using Completely Randomized Design)

৩.৪.১. **সুবিধা :** এ পরীক্ষণ ডিজাইনে যে কোনো সংখ্যক ট্রিটমেন্ট বা সমলিপন ব্যবহার করা যায়। তাছাড়া–

(ক) বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের জন্য বিভিন্ন সংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করা যায় যা অপেক্ষাকৃত দামী ট্রিটমেন্ট ব্যবহারের জন্য অত্যন্ত প্রয়োজনীয়।

(খ) উপাত্তের পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ খুবই সহজ। এমনকি সমলিপন সংখ্যা বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে ভিন্ন হলেও সহজে উপাত্ত বিশ্লেষণ করা যায়।

(গ) কোনো প্লটের ফলাফল বাদ গেলেও উপাত্ত বিশ্লেষণে কোনো জটিলতা সৃষ্টি হয় না।

(ঘ) ফলাফল বাদ যাওয়া প্লটের কারণে তথ্যের যে হ্রাস হয় তা অন্য যে কোনো ডিজাইন অপেক্ষা অনেক কম।

(ঙ) পরীক্ষণক্ষেত্রের পুরো অংশই ব্যবহৃত হয় বলে অল্পমাত্রায় দুষ্প্রাপ্য এবং সমসত্ত্ব পরীক্ষণ উপাদানের জন্য এ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন অত্যন্ত উপযোগী।

(চ) নির্দিষ্ট সংখ্যক ট্রিটমেন্ট ও সমলিপনের জন্য অন্য যে কোনো ডিজাইন অপেক্ষা ত্রুটির মুক্তমাত্রা বেশি হয়। ত্রুটি মুক্তমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে পরীক্ষণের তাৎপর্যতাও বৃদ্ধি পায়।

৩.৪.২. **অসুবিধা :** এ ধরনের ডিজাইনের মাধ্যমে ফলাফলের যথার্থতা (accuracy) লাভের ব্যাপারে অনেকে সন্দিহান। দৈবায়নের উপর কোনো সীমাবদ্ধতা বা শর্ত না থাকার দরুন প্রতিটি ট্রিটমেন্ট একই পরিবেশ লাভ করে কি–না সে বিষয়ে নিশ্চিত হওয়া যায় না। ফলে, পরীক্ষণ এককসমূহের জন্যও যে ভিন্নতা সৃষ্টি হয় তা পরীক্ষণ ত্রুটির অন্তর্ভুক্ত হয়ে যায়।

৩.৫. সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইনের ব্যবহার (Uses of Completely Randomized Design, CRD) : এ পরীক্ষণ ডিজাইন নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যথোপযুক্ত :

(ক) যখন পরীক্ষণক্ষেত্র পরিমাণগতভাবে সীমিত ও সমসত্ত্ব হয়।

(খ) যখন কোনো পরীক্ষণ একক নষ্ট হওয়া বা সাড়া (respond) না দেয়ার সম্ভাবনা থাকে।

(গ) ছোট ছোট আকারের পরীক্ষণের ক্ষেত্রে যেখানে অন্য কোনো ডিজাইন অবলম্বনে ত্রুটি মুক্তমাত্রার হ্রাস পরীক্ষণের যথার্থতা বৃদ্ধির জন্য গুরুত্বপূর্ণ নয়।

(ঘ) গবেষণাগারে পরীক্ষণ করলে অর্থাৎ যেখানে পরীক্ষণক্ষেত্র হিসেবে মাটি, দ্রবণ প্রভৃতিকে ভালভাবে মেশানোর পর বিভিন্ন এককে বিভক্ত করে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করা হয় সেক্ষেত্রে এ ডিজাইন ব্যাপকভাবে ব্যবহার করা হয়। মাঠে পরীক্ষণের ক্ষেত্রে খুব একটা ব্যবহৃত হয় না। এক্ষেত্রে সাধারণত দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন অবলম্বন করা হয় যার মাধ্যমে পরীক্ষণের যথার্থতা তুলনামূলকভাবে বেশি পাওয়া যায়।

৩.৬. উদাহরণ : নিচে উল্লেখিত উদাহরণগুলো থেকে বিষয়টি আরও পরিষ্কার হতে পারে।

উদাহরণ ১ : সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন অবলম্বনে গমের পাঁচটি জাতে প্রাপ্ত ফলাফল ডিজাইনসহ নিচে উল্লেখ করা হলো। উপাত্ত বিশ্লেষণপূর্বক জাত পাঁচটির পার্থক্যের যথার্থতা যাচাই কর এবং তোমার মতামত দাও।

ছক ৩.২ : পরীক্ষণ ডিজাইন ও প্রাপ্ত ফলন (কেজি/প্লট)

ঙ$_8$	খ$_{10}$	গ$_{18}$	ঙ$_{11}$
ক$_8$	ঙ$_9$	ঘ$_{12}$	ক$_8$
ঘ$_{10}$	খ$_{12}$	ক$_6$	গ$_{17}$
গ$_{13}$	ঙ$_8$	খ$_{13}$	খ$_{15}$
গ$_{16}$	ক$_{10}$	খ$_9$	ঘ$_{11}$

সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন অবলম্বনে গমের পাঁচটি জাতের প্রাপ্ত ফলাফলকে বিশ্লেষণের সুবিধার্থে নিম্নরূপে সাজানো হলো—

জাত	ফলন (কেজি/প্লট)				মোট	গড়
ক	8	8	6	10	32	8
খ	10	12	13	9	44	11
গ	18	17	13	16	64	16
ঘ	12	10	15	11	48	12
ঙ	8	11	9	8	36	9

সর্বমোট = 224

বিশ্লেষণের ধাপ

১ম ধাপ : শোধক মান (Correction factor) নির্ণয়—

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{মোট ফলন})^2}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}$$

$$\therefore \text{শোধক মান} = \frac{(8 + 8 + 6 + 10 + 10 + \ldots\ldots + 11 + 9 + 8)^2}{5 \times 4}$$

$$= \frac{(224)^2}{20}$$

$$= 2508.8$$

২য় ধাপ : সর্বমোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়—

সর্বমোট বর্গসমষ্টি = $\sum$ (প্রতি প্লটের ফলন)^2 – শোধক মান

$$= 8^2 + 8^2 + 6^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + 9^2 + 8^2 - 2508.8$$

$$= 2716 - 2508.8$$

$$= 207.2$$

৩য় ধাপ

$$\text{জাতজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum (\text{প্রতি জাতের মোট ফলন})^2}{\text{প্রতি জাতের জন্য পর্যবেক্ষিত}} - \text{শোধকমান}$$

$$= \frac{32^2 + 44^2 + 64^2 + 48^2 + 36^2}{4} - 2508.8$$

$$= \frac{10656}{4} - 2508.8$$

$$= 2664 - 2508.8$$

$$= 155.2$$

৪র্থ ধাপ

ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি – জাত বর্গসমষ্টি

$$= 207.2 - 155.2$$

$$= 52.0$$

৫ম ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি

ছক ৩.৪

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (n-1)	বর্গসমষ্টি SS	গড় বর্গ = বর্গ সমষ্টি / মুক্তমাত্রা	F=ভেদাঙ্কের অনুপাত	F এর তত্ত্বীয় মান	
					5% স্তর	1% স্তর
জাত	4	155.2	38.80	11.18	3.06	8.25
ত্রুটি	15	52.0	3.47			
মোট	19	207.2				

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক থেকে দেখা যায় যে, জাত-এর তুলনার জন্য F-এর হিসাবকৃত মান (11.18) 1% স্তরে F -এর তত্ত্বীয় মান (8.25) অপেক্ষা বড়। অতএব, জাতজনিত ভেদাঙ্ক অতি তাৎপর্যপূর্ণ। এখন t- পরীক্ষা করে উৎকৃষ্ট জাত এবং এককভাবে যথার্থ তাৎপর্যপূর্ণ পৃথক জাতগুলো নির্ণয় করা যায়–

এক্ষেত্রে, গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি = $\sqrt{\frac{2 \times \text{ত্রুটি গড় বর্গ}}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 3.47}{4}}$$

$$= \sqrt{1.735}$$

$$= 1.317$$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি × t (৫% ত্রুটি মুক্তমাত্রায়)

$\therefore$ LSD = 1.317 × 2.131

= 2.8 কেজি

জাতসমূহকে গড় ফলনের নিম্নে ক্রমানুসারে সাজিয়ে পাই,

জাত	গ	ঘ	খ	ঙ	ক
গড় ফলন (কেজি/প্লট)	16	12	11	9	8

যে জাতগুলোর নিজেদের ফলনের পার্থক্য ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যের তুলনায় কম সে জাতগুলোর পার্থক্য যথার্থ নয় এবং সেগুলোর নিচে রেখা টেনে চিহ্নিত করা হয়েছে। এ উপস্থাপনা থেকে দেখা যায় যে, ঘ এবং খ, খ এবং ঙ, ঙ এবং ক এর পার্থক্য যথার্থ নয় এবং গ-এর সাথে বাকী চারটি জাতের তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

তবে একই সাথে ৫টি ট্রিটমেন্টের গড় মানের মধ্যে সম্ভাব্য সব যুগলের (combination) তুলনা করতে ২নং অধ্যায়ে আলোচিত টুকে'র w পরীক্ষা করা শ্রেয়।

এক্ষেত্রে ৫% স্তরে 5টি ট্রিটমেন্ট এবং 15 ক্রটির মুক্তমাত্রায় q-এর মান 4.37 অর্থাৎ q (0.05) 5,15 = 4.37

অতএব, $w = 4.37 \sqrt{\frac{3.47}{4}}$

উল্লেখ্য, $w = Q \sqrt{\frac{MSE}{r}}$

এখানে, w = 4.07 কেজি।

উদাহরণ ২ : সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন অবলম্বন করে ধানের একটি উন্নত জাতে বিভিন্ন ধরনের সার প্রয়োগ করে ফলনের যে উপাত্ত পাওয়া গেল তা নিম্নোক্ত ছকে দেওয়া হলো। উপাত্তগুলো বিশ্লেষণের মাধ্যমে নিম্নোক্ত প্রশ্নাবলীর উত্তর দাও।

বিভিন্ন ধরনের সারের মাত্রা এবং প্রাপ্ত ফলনের উপাত্ত :

(ক) সারাবিহীন (control =) নিয়ন্ত্রণ উপাদান

(খ) 500 কেজি /হেক্টর খামারজাত সার

(গ) 30 কেজি/হেক্টর P_2O_5 (সুপার ফসফেট হিসেবে) + 500 কেজি/হেক্টর খামারজাত সার।

(ঘ) খ উপাদানে ব্যবহৃত সারের নাইট্রোজেন সমমাত্রায় অ্যামোনিয়াম সালফেট হিসেবে নাইট্রোজেন সার + সুপার ফসফেট হিসেবে ৩০ কেজি /হেক্টর P_2O_5।

ছক ৩.৫ : পরিকল্পিত ডিজাইন এবং ফলন (কেজি/প্লট)

ঘ	ক	ঙ	গ	খ
21.0	15.5	21.5	18.0	18.0
ঙ	খ	গ	ক	ঘ
23.0	16.5	21.0	12.5	22.5
খ	ঙ	ক	খ	ঘ
17.5	23.5	16.0	17.0	23.0
ক	ঙ	গ	ঘ	গ
14.0	24.0	19.5	24.5	20.5

প্রশ্নাবলী : (১) সার প্রয়োগে কি আদৌ লাভজনক হয়েছে?

(২) জৈব এবং অজৈব নাইট্রোজেন সারের মধ্যে কোনটি লাভজনক?

(৩) P_2O_5 যোগ করাতে কি নাইট্রোজেনের প্রভাব বৃদ্ধি পেয়েছে?

(৪) ট্রিটমেন্ট সমন্বয়ের কি সুবিধা রয়েছে।

পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ

এখানে প্রশ্নমতে, ট্রিটমেন্ট সংখ্যা (t) = 5
সমলিপন সংখ্যা (r) = ৪

ছক ৩.৬

ট্রিটমেন্ট	সমলিপন (r_1 r_2 r_3 r_4)	মোট ফলন (কেজি)	গড় ফলন (কেজি)
ক	15.5 + 12.5 + 16.0 + 14.0	58.0	14.50
খ	18.0 + 16.5 + 17.5 + 17.0	69.0	17.25
গ	18.0 + 21.0 + 19.5 + 20.5	79.0	19.75
ঘ	21.0 + 22.5 + 23.0 + 24.5	91.0	22.75
ঙ	21.5 + 23.0 + 23.5 + 24.0	92.0	23.00
মোট		389.0	

$$\text{শোধক মান (Correction factor)} = \frac{(\text{সর্বমোট ফলন})^2}{\text{উপাদান সংখ্যা (t)} \times \text{সমলিপন সংখ্যা (r)}}$$

$$\therefore \text{শোধক মান} = \frac{(389)^2}{5 \times 4} = \frac{151321}{20} = 7566.05$$

$$\therefore \text{সর্বমোট বর্গসমষ্টি} = \frac{15.5^2 + 12.5^2 + 16^2 + 14^2 + \ldots\ldots + 24^2}{20} - \text{শোধক মান}$$

$$= 7801.50 - 7566.05$$

$$= 235.45$$

$$\text{ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি} = \Sigma\frac{(\text{প্রতি ট্রিটমেন্টের মোট ফলন})^2}{\text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{58^2}{4} + \frac{69^2}{4} + \frac{79^2}{4} + \frac{91^2}{4} + \frac{92^2}{4} - 7566.05$$

$$= \frac{58^2 + 69^2 + 79^2 + 91^2 + 92^2}{4} - 7566.05$$

$$= \frac{31111}{4} - 7566.05$$

$$= 7777.75 - 7566.05$$

$$= 211.70$$

ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি = সর্বমোট বর্গসমষ্টি – ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি

= 235.45 - 211.70

= 23.75

ছক ৩.৭ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা	বর্গসমষ্টি	গড় বর্গসমষ্টি	F এর মান
ট্রিটমেন্ট	4	211.70	52.925	ট্রিটমেন্ট গড় বর্গ / ত্রুটি গড় বর্গ
ত্রুটি	15	23.75	1.583	$= \frac{52.925}{1.583}$
মোট	19	235.45		= 15.00

4 এবং 15 মুক্তমাত্রায় 5% সম্ভাবনা স্তরে F-এর তত্ত্বীয় মান 3.06 এবং 1% সম্ভাবনা স্তরে 4.89। টেবিলে দেওয়া F-এর এই মান অপেক্ষা আমাদের হিসাবকৃত F-এর মান (15.00) অনেক বেশি। অতএব উপাদানজনিত ভেদাঙ্ক অতি তাৎপর্যপূর্ণ। অর্থাৎ সার প্রয়োগের তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব রয়েছে। এরপর উদাহরণের প্রশ্নগুলোর উত্তর নির্ণয় করা হলো।

১নং প্রশ্নের উত্তর

সার প্রয়োগে আদৌ কোনো লাভ হয়েছে কি–না?

উত্তর

ট্রিটমেন্ট	মোট ফলন
ক (Control)	58.0
খ + গ + ঘ + ঙ	331.0

এখানে,

ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি $= \frac{(58)^2}{4} + \frac{(331)^2}{16}$ - শোধক মান (CF)

$= \frac{3364}{4} + \frac{109561}{16} - 7566.05$

= 841.00 + 6847.56 - 7566.05

= 122.51

যেহেতু, মুক্তমাত্রা = 1, ∴ গড় বর্গসমষ্টি = 122.51

∴ এক্ষেত্রে $F = \frac{122.51}{1.583} = 77.53$

5% সম্ভাবনা মাত্রা, 1 এবং 15 মুক্তমাত্রায় F-এর তত্ত্বীয় মান =4.54

যেহেতু হিসাবকৃত F-এর মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বড়, অতএব উভয়ের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য বিদ্যমান। অর্থাৎ ক (control) ট্রিটমেন্ট খ, গ, ঘ এবং ঙ ট্রিটমেন্ট থেকে যথেষ্ট পৃথক। অতএব, সার প্রয়োগ লাভজনক হয়েছে।

২নং প্রশ্নের উত্তর

জৈব এবং অজৈব নাইট্রোজেন-এর কোনটি অধিকতর লাভজনক

উপাদান	মোট ফলন (কেজি)
খ + গ (জৈব)	69 + 79 = 148
ঘ + ঙ (অজৈব)	91 + 92 = 183

$$\text{উপাদানজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{(148)^2}{8} + \frac{(183)^2}{8} - \frac{(331)^2}{16}$$

$$= \frac{21904 + 33489}{8} - \frac{109561}{16}$$

$$= 6924.125 - 6847.5625$$

$$= 76.563$$

যেহেতু দুটি বিষয়ের তুলনার ক্ষেত্রে স্বাধীনতা মাত্রা = 1

$\therefore$ গড় বর্গসমষ্টি (MS) = 76.563

$$\therefore F = \frac{76.563}{1.583} = 48.37$$

5% সম্ভাবনা স্তরে 1 এবং 15 স্বাধীনতা মাত্রায় F-এর তাত্ত্বিক মান 4.54।

যেহেতু F-এর হিসাবকৃত মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বেশি, অতএব অজৈব নাইট্রোজেন প্রয়োগ অধিক লাভজনক।

৩নং প্রশ্নের উত্তর

P_2O_5 প্রয়োগে নাইট্রোজেনের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পেয়েছে কি-না?

এ প্রশ্নের উত্তরের জন্য বিশ্লেষণের সুবিধার্থে উপাত্তকে নিম্নোক্ত ২ × ২ ছকে সাজানো হলো—

	P_2O_2 ব্যতীত	P_2O_5 সহ	মোট
খামারজাত সার	খ 69.0	গ 79.0	148 (খ + গ)
অ্যামোনিয়াম সালফেট	ঘ 91.0	ঙ 92.0	183 (ঘ + ঙ)
মোট	খ + ঘ = 160.0	গ + ঙ = 171.0	331.0 (খ+ঘ+ঘ+ঙ)

এ তুলনার জন্য মোট বর্গসমষ্টি $= \frac{ক^2 + গ^2 + ঘ^2 + ঙ^2}{4} - \frac{(331)^2}{16}$

$= \frac{69^2 + 76^2 + 91^2 + 92^2}{4} - \frac{(331)^2}{16}$

$= 89.19$

ক + গ এবং ঘ + ঙ–এর জন্য বর্গসমষ্টি $= \frac{(148)^2}{8} + \frac{(183)^2}{8} - \frac{(331)^2}{16} = 76.563$

ক + ঘ এবং গ + ঙ–এর জন্য বর্গসমষ্টি $= \frac{(160)^2}{8} + \frac{(171)^2}{8} - \frac{(331)^2}{16} = 7.563$

P_2O_5 এবং নাইট্রোজেনের আন্তঃক্রিয়ার জন্য অবশিষ্ট বর্গসমষ্টি

$= 89.19 - [76.563 + 7.563]$

$= 5.064$

যেহেতু মুক্তমাত্রা 1, ∴ গড় বর্গসমষ্টি = 5.064

$\therefore F = \frac{5.064}{1.583}$

$= 3.20$

5% সম্ভাবনা মাত্রায় (1,15) মুক্ত মাত্রায় F–এর তত্ত্বীয় মান = 4.54

যেহেতু, F-এর হিসাবকৃত মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা ছোট, অতএব, P_2O_5 যোগ করার ফলে নাইট্রোজেনের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায়নি।

৪নং প্রশ্নের উত্তর

ট্রিটমেন্ট সমন্বয়ে কোনো সুবিধা আছে কি–না?

ছক – ৩.৯ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F (হিসাবকৃত)	F (তত্ত্বীয়) 5% সম্ভাবনা মাত্রা
ট্রিটমেন্ট	4	211.70	52.925	33.43	3.04
পরীক্ষণ ত্রুটি	15	23.75	1.583		
মোট	19	235.45			

যেহেতু, F-এর হিসাবকৃত মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বেশি, অতএব, ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য বিদ্যমান।

$$\text{গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি} = \sqrt{\frac{2 \times \text{ত্রুটির জন্য গড় বর্গ}}{\text{সমলিপন সংখ্যা (r)}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1.583}{4}}$$

$$= \sqrt{0.7915}$$

$$= 0.89$$

$$t = \frac{\text{ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য}}{\text{গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি}}$$

$\therefore$ ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = $t \times$ গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি

$\therefore$ 5% সম্ভাবনা মাত্রায় এবং 15 মুক্তমাত্রায় (ত্রুটির জন্য মুক্তমাত্রা)

t-এর তত্ত্বীয় মান = 2.131

অতএব, ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য = 2.131×0.89

$= 1.89659$

= 1.90 কেজি (প্রায়)

ট্রিটমেন্টসমূহের মধ্যে পার্থক্য এ মানের সমান বা এর থেকে বেশি হলে সেই ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য আছে বলে ধরে নেওয়া হয়। এভাবে তুলনা করে বার চিত্রের মাধ্যমেও ফলাফল লিপিবদ্ধ করা যায়।

ট্রিটমেন্ট –	ঙ	ঘ	গ	খ	ক
গড় ফলন – (কেজি/প্লট)	23.0	22.75	19.75	17.25	14.5

যেসব ট্রিটমেন্টের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই সেগুলোকে রেখা "—" দিয়ে চিহ্নিত করা হয়েছে।

উদাহরণ ৩ : সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন অবলম্বনে 'ক', 'খ', 'গ', 'ঘ' এবং 'ঙ' এই পাঁচটি গমের জাতের ফলনের মধ্যে তুলনা করা হলো। বীজের স্বল্পতার কারণে 'খ' জাতের জন্য তিনটি ও 'গ' জাতের দুটি এবং 'ঙ' জাতের জন্য তিনটি প্লট ব্যবহার করা হলো। অন্য জাতগুলোর জন্য ৪টি করে প্লট ব্যবহার করা হলো। প্লট প্রতি প্রাপ্ত ফলনের উপাত্ত নিম্নে ছকে (ছক ৩.১০) দেয়া হলো। উপাত্তের বিশ্লেষণ করে মতামত দিতে হবে।

ছক ৩.১০

জাত	সমলিপন				ফলন (কেজি/ প্লট)	মোট সমলিপন সংখ্যা	গড়
ক	8	8	6	10	32	4	8.0
খ	10	9	8	–	27	3	9.0
গ	8	10	–	–	18	2	9.0
ঘ	7	10	9	8	34	4	8.5
ঙ	12	8	10	–	30	3	10.0
					141	16	

উপাত্তের বিশ্লেষণ

১ম ধাপ : বিভিন্ন উৎসজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় :

(ক) শোধক মান (CF) = $\frac{(141)^2}{16}$ = 1242.5625

(খ) সর্বমোট বর্গসমষ্টি = $(8^2 + 8^2 + 6^2 \ldots\ldots\ldots 8^2 + 10^2)$- CF

= 32.4375

(গ) জাতজনিত বর্গসমষ্টি = $\frac{32^2}{4} + \frac{27^2}{3} + \frac{18^2}{2} + \frac{34^2}{4} + \frac{30^2}{3}$) - CF

= 7.4375

(ঘ) ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি = সর্বমোট বর্গসমষ্টি - জাতজনিত বর্গসমষ্টি

= 32.4375 - 7.4375

= 25

২য় ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি

নির্ণয়কৃত বর্গসমষ্টি, মুক্তমাত্রা ইত্যাদি ব্যবহার করে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি করা হলো।

ছক ৩.১১ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভেদাঙ্কের উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F' এর মান	F-এর তাত্ত্বিক মান	
					5% স্তরে	1% স্তরে
জাত	4	7.4375	1.8594	0.82	3.36	5.41
ত্রুটি	11	25.0000	2.2727			
মোট =	15	32.4375				

যেহেতু জাতজনিত ভেদাঙ্কের সংশ্লিষ্ট F-এর নির্ণয়কৃত মান (0.82) টেবিলে দেওয়া তত্ত্বীয় মানের চেয়ে ছোট। অতএব, জাতগুলোর মধ্যে কোনো তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই। পরবর্তীকালে আর t পরীক্ষা করার প্রয়োজন নেই। তবে পদ্ধতি জানার জন্য বিভিন্ন জাতের গড় মানের তুলনা করার পদ্ধতি উপস্থাপন করা হলো।

৩য় ধাপ : জাতগুলোর গড় মানের তুলনা করতে গড় মানের পার্থক্যের পরিমিত ত্রুটি (S.E.) নির্ণয় করা হলো। যেহেতু বিভিন্ন জাতের জন্য বিভিন্ন সংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করা হয়েছে ; অতএব, বিভিন্ন জাতের মধ্যে তুলনা করতে S.E. পরিমাণের সাধারণ সূত্র নিম্নরূপ–

$$SE = \sqrt{V_E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)}$$

এখানে r_1 হলো ট্রিটমেন্ট-১-এর জন্য ব্যবহৃত সমলিপন সংখ্যা এবং r_2 হলো ট্রিটমেন্ট–২–এর জন্য ব্যবহৃত সমলিপন সংখ্যা।

উদাহরণস্বরূপ 'ক' ও 'ঙ' জাতের মধ্যে তুলনা করতে

$$SE = \sqrt{2.2727 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{3}\right)}$$

$$= 1.151$$

এখন ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) বা C.D.

$$= 1.151 \times t \text{ at } 5\% \text{ (ত্রুটির 11 DF এ)}$$

$$= 1.151 \times 2.201$$

$$= 2.533$$

'ক' ও 'ঙ' এর গড় মানের মধ্যে পার্থক্য 8 -10 = -2

যার পরম মান 2–এটি LSD এর মান থেকে ছোট। অতএব 'ক' ও 'ঙ' জাতের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই। কিন্তু 'ক' ও 'ঘ' এর মধ্যে তুলনা করতে

$SE = \sqrt{2.2727 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right)}$ ব্যবহার করতে হবে।

চতুর্থ অধ্যায়

দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন

Randomized Complete Block Design

৪.১. ভূমিকা

দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনকে দৈবায়িত ব্লক ডিজাইনও (Randomized Block Design) বলা হয়। এ ডিজাইন অনুযায়ী সম্পূর্ণ পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে কয়েকটি সমসত্ত্ব গ্রুপে বিভক্ত করা হয় এবং এর প্রত্যেকটি সমসত্ত্ব গ্রুপকে আবার বেশকিছু সংখ্যক পরীক্ষণ এককে বিভক্ত করা হয়, যেন সবদিক থেকে এরা সমান হয়। এ পরীক্ষণ এককগুলোতে দৈবায়িতভাবে পরীক্ষণ ট্রিটমেন্টগুলো প্রয়োগ করা হয়। মাঠ পরীক্ষণের ক্ষেত্রে যদি দেখা যায় যে, জমির উর্বরতার ক্রম একদিকে বিন্যস্ত, তাহলে সম্পূর্ণ মাঠকে উর্বরতার ক্রমদিকের বিপরীতে কয়েকটি সমান ব্লকে বিভক্ত করা হয়- যাতে প্রতিটি ব্লকের মধ্যে মোটামুটি একই ধরনের উর্বরতা থাকে। আবার প্রতিটি ব্লককে বিভিন্ন প্লটে বিভক্ত করা হয়, যেন প্রতি ব্লকে সব ট্রিটমেন্টের সমলিপন সম্ভব হয়।

এ ধরনের পরীক্ষণে ব্লক সংখ্যা নির্ধারিত সমলিপন সংখ্যার এবং প্লট সংখ্যা পরীক্ষণীয় ট্রিটমেন্ট সংখ্যার সমান করা হয়। প্রতি ব্লকে অসমসত্ত্বতা (heterogeneity) যেন যথাসম্ভব ন্যূনতম থাকে এবং ব্লকসমূহের মধ্যে যেন যথাসম্ভব বেশি অসমসত্ত্বতা থাকে সেদিকে বিশেষ নজর দেওয়া প্রয়োজন। এর ফলে প্রতিটি ট্রিটমেন্ট বিভিন্ন ব্লকে পরিবেশীয় প্রভাবকগুলো সমভাবে প্রভাবিত হয় বলে ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে সঠিক তুলনা করা সম্ভব।

ব্লকের আকার বর্গাকার কিংবা আয়তাকার করা হয়, যা দিয়ে ব্লকক্ষেত্রগুলো যথাসম্ভব ঘন সন্নিবেশিত থাকে। এর ফলে ব্লকের অভ্যন্তরীণ মাটির উর্বরতা অসমসত্ত্বতা সর্বনিম্ন পর্যায়ে থাকে। ব্লকের আপেক্ষিক অবস্থান যে কোনো রূপ হতে পারে।

এগুলো একটি অন্যটির সাথে লাগানো থাকতে পারে। আবার খালি জমি দিয়ে পৃথকীকৃতও থাকতে পারে। যাহোক, উভয় ক্ষেত্রেই ব্লকের অভ্যন্তরীণ পরিবেশ সর্বত্র যথাসম্ভব একইরকম অর্থাৎ সমতা (uniform) হয়। একইভাবে পরীক্ষণের সময়ে প্রতিটি ব্লকের প্লটসমূহের উপর একই পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়। পদ্ধতি কিংবা অন্যান্য অবস্থা পরিবর্তনের ফলে ফলাফল পরিবর্তিত হয়, যা ব্লকগুলোর মধ্যে করা গেলেও প্রতিটি ব্লকের মধ্যে সমতা বজায় রাখা হয়। যদি ফসল সংগ্রহের জন্য বহুদিন সময় লাগে তাহলে প্রতিটি সমলিপন থেকে পর্যায়ক্রমে ফসল সংগ্রহ করা হয়।

আবার, অন্য ধরনের পরীক্ষণের ক্ষেত্রে অবস্থান, সময়, পরীক্ষণ এককের ধরন প্রভৃতির উপর ভিত্তি করে ভিন্নতার উৎস দিয়েও সমলিপন সনাক্ত করা হয়। উদাহরণস্বরূপ

বলা যায়, যদি গাভী নিয়ে এধরনের কোনো গবেষণা করা হয়, তবে এর বয়স, ওজন, দোহন সংখ্যা (lactation number) ইত্যাদির ভিত্তিতে বিভিন্ন দলে বিভক্ত করা হয়। দোহন সংখ্যা ব্যতীত যদি অন্য সব অসমসত্ত্বতা বা ভিন্নতার উৎস সবক্ষেত্রে একই হয়, তাহলে শুধু দোহন সংখ্যার ভিত্তিতে তাদের বিভিন্ন দলে বিভক্ত করা যাবে। একটি দলের গাভীর দোহন সময় একবার, অন্যদলের দু'বার, এভাবে বিভিন্ন গ্রুপ ভাগ করা যাবে। এখানে দোহন সংখ্যা হলো সমগুণন (replicates) এবং গাভী হলো পরীক্ষণ ক্ষেত্র।

৪.২. ট্রিটমেন্টের দৈবায়ন (Randomizalion of Treatments)

পূর্বে বর্ণিত নিয়মানুযায়ী দৈবায়ন সংখ্যা ব্যবহার করে প্রতি ব্লকের পরীক্ষণ একক (প্লট) গুলোতে দৈবায়িতভাবে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করা হয় এবং প্রতিটি ট্রিটমেন্টের জন্য কয়েকটি সমলিপন ব্যবহার করা হয়।

৪.৩. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ পদ্ধতি (System of Analysis of Variance)

মনে করি, একটি কৃষিতাত্ত্বিক গবেষণায় n সংখ্যক ট্রিটমেন্ট-এর r সংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করা হয়েছে। এক্ষেত্রে তিনটি স্বাধীন তুলনার জন্য মুক্তমাত্রা তিনটি অংশে বিভক্ত হবে। যথা :

(১) ব্লকের মধ্যে, (২) ট্রিটমেন্টের মধ্যে এবং (৩) অজ্ঞাত কারণে সৃষ্ট ভেদাঙ্ক যাকে ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক বলা হয়। এ ধরনের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছকের নমুনা নিচে দেওয়া হলো—

ছক ৪.১

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)
ব্লক	r-1		V_B
ট্রিটমেন্ট	n-1		V_T
ত্রুটি	(n-1)(r-1)		V_E
মোট	nr-1		

এখানে যেহেতু মোট পর্যবেক্ষণ সংখ্যা nr, সুতরাং মোট মুক্তমাত্রা হবে nr-1। একইভাবে ব্লক এবং ট্রিটমেন্ট সংখ্যা যথাক্রমে r এবং n-এর জন্য তাদের মুক্তমাত্রা যথাক্রমে r-1 এবং n-1 হবে। নিচে উদাহরণের মাধ্যমে বিষয়টি স্পষ্ট করা হলো।

৪.৪. আদর্শ ত্রুটি এবং ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (Standdard Error and Least Significant Difference)

n সংখ্যক সমলিপনে ট্রিটমেন্ট গড়গুলোর পার্থক্যের আদর্শত্রুটি নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে হিসাব করা হয়।

পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি (SE) = $\sqrt{\frac{2V_E}{r}}$ [এখানে V_E হলো ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক]

5% যথার্থতা স্তরে ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD)

= SE × t 5% (ত্রুটি মুক্তমাত্রায়)

৪.৫. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের সুবিধা (Merits of RCBD)

(ক) যখন পরীক্ষণ ক্ষেত্র অসমসত্ত্ব হয় তখন ব্লকের মধ্যে প্লট নির্বাচনের মাধ্যমে ত্রুটি ভেদাঙ্ক কমানো যায়। কেননা এ ডিজাইনে এমনভাবে ব্লক করা হয় যেন প্রতিটি ব্লকের অভ্যন্তরে প্লটগুলো প্রায় সমসত্ত্ব থাকে। ফলে ব্লকগুলোর মধ্যে (between blocks) ভিন্নতা বৃদ্ধি পায়।

(খ) এ ডিজাইন অবলম্বনে যে কোনো সংখ্যক ট্রিটমেন্ট বা সমলিপন ব্যবহার করা যায়। তবে ট্রিটমেন্ট সংখ্যা সাধারণত ২০-এর বেশি হলে ত্রুটি নিয়ন্ত্রণের ক্ষমতা (efficiency of controlling experimental error) হ্রাস পায়। যদি কিছু ট্রিটমেন্টের জন্য অতিরিক্ত সমলিপন প্রয়োজন হয়, তাহলে প্রতি ব্লকে সেই ট্রিটমেন্টকে দুটি এককে প্রয়োগ করা যায়। এর ফলে সেই ট্রিটমেন্টগুলোর সমলিপন দ্বিগুণ হয়ে যায়।

(গ) পরীক্ষণের কোনো অংশ যদি প্রাকৃতিক দুর্যোগ বা কৃষিতত্ত্বিক কোনো কারণে (যেমন- কীটপতঙ্গ, বন্যা, জলাবদ্ধতা প্রভৃতি) নষ্ট হয়ে যায়, তাহলে পুরো পরীক্ষণ বাদ না দিয়ে আক্রান্ত ব্লকগুলো (১ বা ২টি) বাদ দিয়ে কোনোরকম জটিলতা ছাড়াই পরীক্ষণ উপাত্ত বিশ্লেষণ করা যায়। যদি পৃথক ব্লকের কিছু পরীক্ষণ এককের উপাত্ত বাদ যায়, তাহলে ইয়েট্স (Yates) এর মিসিং প্লট পদ্ধতি (missing plot technique) অবলম্বনে সম্পূর্ণ উপাত্ত বিশ্লেষণ করা যায়। যদিও অনেক একক উপাত্ত বাদ গেলে তাদের হিসাব করা যায়, তবুও এক্ষেত্রে সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন তুলনামূলকভাবে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অপেক্ষা ভাল ফল প্রদান করে।

(ঘ) যদিও সমলিপন সংখ্যা কমানোর ফলে আদর্শ ত্রুটি বৃদ্ধি পায়, তবু এ ডিজাইন অবলম্বন করে কিছুটা ফলাফল লাভ করা যায়।

(ঙ) এ ডিজাইন অবলম্বনে পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে বিভিন্ন দলে বা ব্লকে বিভক্ত করার ফলে সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন অপেক্ষা তুলনামূলক ভাল সিদ্ধান্ত দেওয়া যায়।

(চ) যদি কিছু ট্রিটমেন্টের ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক অন্য কিছু ট্রিটমেন্টের চেয়ে বেশি হয়, তাহলে ট্রিটমেন্ট গড়ের বিশেষ সমন্বয় পরীক্ষার জন্য পক্ষপাতহীন ত্রুটি লাভ করা যায়।

(ছ) এ ধরনের ডিজাইন অবলম্বনে সমলিপন মানগুলো পক্ষপাতহীনভাবে ট্রিটমেন্টগুলোর পার্থক্য নির্দেশ করে।

৪.৬. **উদাহরণ ১ :** ধানের ৬টি জাতের মধ্যে তুলনা করার জন্য সম্পূর্ণ দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে তাদের পাঁচটি ব্লকে জন্মিয়ে নিম্নলিখিত ফলাফল পাওয়া গেল। উপাত্তের সঠিক পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণপূর্বক তোমার মতামত ব্যক্ত কর।

ছক ৪.২ : মাঠ ডিজাইন ও প্রাপ্ত ফলনের (কেজি/প্লট) উপাত্ত

ব্লক – ১

ঘ 17	গ 12
চ 70	খ 9
ক 20	ঙ 28

ব্লক –২

খ 12	গ 15
ঙ 26	ক 26
ঘ 10	চ 62

ব্লক –৩

ঙ 23	ক 30
গ 16	ঘ 20
চ 56	খ 10

ব্লক – ৪

ক 28	চ 64
খ 9	ঘ 23
ঙ 35	গ 14

ব্লক – ৫

চ 75	গ 14
ঘ 20	খ 7
ঙ 30	ক 23

পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ

১ম ধাপ : প্রদত্ত উপাত্তকে জাত ও ব্লকভিত্তিতে নিম্নোক্ত ছকে লিপিবদ্ধ করা হলো–

ছক ৪.৩

জাত	ফলন (কেজি/প্লট)					মোট ফলন (কেজি)	গড় ফলন (কেজি)
	১	২	৩	৪	৫		
ক	20	26	30	28	23	127	25.4
খ	9	12	10	9	7	47	9.4
গ	12	15	16	14	14	71	14.2
ঘ	17	10	20	23	20	90	18.0
ঙ	28	26	23	35	30	142	28.2
চ	70	62	56	64	75	327	
মোট উপাত্ত	156	151	155	173	169	সর্বমোট=804	সাধারণ গড় = 26.8

২য় ধাপ : শোধক মান নির্ণয়–

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{সর্বমোট ফলন})^2}{\text{ব্লকের সংখ্যা} \times \text{জাতের সংখ্যা}}$$

$$\therefore \text{শোধক মান} = \frac{(804)^2}{5\times6}$$

$$= \frac{646416}{30} = 21547.2$$

৩য় ধাপ : সর্বমোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

সর্বমোট বর্গসমষ্টি = $\sum$ (প্রতি প্লটে ফলন)^2 – শোধক মান

$\therefore$ সর্বমোট বর্গসমষ্টি = $20^2 + 26^2 + \ldots\ldots + 64^2 + 75^2 - 21547.2$

$= 32194 - 21547.2$

$= 10646.8$

৪র্থ ধাপ : ব্লক বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

$$\text{ব্লক বর্গসমষ্টি} = \frac{(\text{প্রতি ব্লকের সর্বমোট ফলন})^২}{\text{জাত সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$\therefore \text{ব্লক বর্গসমষ্টি} = \frac{156^2 + 151^2 + 155^2 + 173^2 + 169^2}{6} - 21547.2$$

$$= \frac{129562}{6} - 21547.2$$

$$= 21608.67 - 21547.20$$

$$= 61.47$$

৫ম ধাপ : জাতজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

$$\text{জাতজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum (\text{প্রতিটি জাতের মোট ফলন})^২}{\text{ব্লক সংখ্যা}}$$

$$= \frac{(127)^2 + (47)^2 + (41)^2 + (90)^2 + (142)^2 + (327)^2}{5} - 21547.2$$

$$= \frac{158572}{5} - 21547.2$$

$$= 10167.2$$

ষষ্ঠ ধাপ : ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি = সর্বমোট বর্গসমষ্টি – (ব্লক বর্গসমষ্টি + জাত বর্গসমষ্টি)

$$= 1064.8 - (61.47 + 10167.2)$$

$$= 10646.8 - 10228.67$$

$$= 418.13$$

৭ম ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক (ছক ৪.৩) তৈরি–

ছক ৪.৪

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি SS	গড় বর্গ MS	F-এর নির্ণয়কৃত মান	F-এর তাত্ত্বীয় মান	
					5% স্তরে	1% স্তরে
ব্লক	4	61.47	15.37			
জাত	5	10167.2	2033.44	97.24	2.71	4.10
ত্রুটি	20	418.13	20.91			
মোট	29	10646.8				

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক থেকে স্পষ্ট প্রতীয়মান হয় যে, 'F" হিসাবকৃত মান 5% এবং 1% স্তরের তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা অনেক বেশি। অতএব, জাতজনিত ভেদাঙ্ক খুবই তাৎপর্যপূর্ণ। সুতরাং জাতগুলোর গড়মানের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য t পরীক্ষা করা হলো। এর জন্য–

৮ম ধাপ : ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) নির্ণয় (একে CD ও বলা হয়)–

$$\text{আদর্শ ত্রুটি (SE)} = \sqrt{\frac{২ \times \text{ত্রুটিজনিত গড় বর্গ}}{\text{ব্লক বা সমলিপন সংখ্যা}}}$$

$$\therefore \text{আদর্শ ত্রুটি (SE)} = \sqrt{\frac{2 \times 20.9}{5}}$$

$$= \sqrt{\frac{41.82}{5}}$$

$$= \sqrt{8.364}$$

$$= 2.89$$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = আদর্শ ত্রুটি × ত্রুটি (মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে t এর মান)

এক্ষেত্রে, ত্রুটির জন্য মুক্তমাত্রা = ২০

$$\therefore \text{L.S.D} = 2.89 \times 2.086$$

$$= 6.028$$

$$= 6.03 \text{ কেজি}$$

উপসংহার : জাতগুলোকে প্লট প্রতি গড় ফলনের মানের নিম্নক্রমানুসারে সাজিয়ে জাতগুলোর পরস্পরের পার্থক্য ও ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যের সাথে তুলনা করা হলো।

জাত :	চ,	ঙ,	ক,	ঘ,	গ,	খ
গড় ফলন :	65.4,	28.4,	25.4,	18.0,	14.2,	9.4

যেসব জাতের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই তাদের নিচে রেখা টেনে চিহ্নিত করা হয়েছে। এ থেকে দেখা যায় যে, 'চ' জাতটি সবচেয়ে ভাল।

সাধারণ LSD-এর মাধ্যমে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করার সীমাবদ্ধতা ২নং অধ্যায়ে আলোচনা করা হয়েছে। সম্ভাব্য সব ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করার জন্য টুকে'র w- পরীক্ষা করা হলো।

এ উদাহরণে ব্যবহৃত 6টি গমের জাতের ফলনের গড়মান উর্ধ্বক্রমানুসারে সাজানো হলো–

খ	গ	ঘ	ক	ঙ	চ
9.4	14.2	18.0	25.4	28.4	65.4

এখানে $w = q(\alpha)\, t, P \times \frac{s}{r}$ কেননা প্রত্যেকটি ট্রিটমেন্ট-এর জন্য সমান সংখ্যক (4) সমলিপন ব্যবহার করা হয়েছে। S = ক্রটিজনিত MS-এর বর্গমূল। এখানে $S = \sqrt{20.91} = 4.57$, $\alpha = 0.01$, 1% স্তরে তুলনা করার সিদ্ধান্ত নেওয়া হলো কেননা ট্রিটমেন্ট ভেদাঙ্ক 1% তাৎপর্যপূর্ণ।

অতএব, q(0.05) 6, = 20 = 5.51

Biometrika টেবিলের ১নং ভলুম ২৯নং টেবিল থেকে নেওয়া হয়েছে।

অতএব, $w = 5.51 \times \frac{4.57}{4} = 6.30$

এখন ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে এই w মান দিয়ে তুলনা করে ফলাফলকে রেখার মাধ্যমে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে—

খ	গ	ঘ	ক	ঙ	চ
9.4	14.2	18.0	25.4	28.4	65.4

উদাহরণ ২ : দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বন করে ধানের একটি উন্নত জাতের সার প্রয়োগে নিম্নরূপ ফলাফল পাওয়া গেল। উপাত্ত বিশ্লেষণপূর্বক সার প্রয়োগের যথার্থতা যাচাই কর।

উপাদান : ক = সারবিহীন (control), খ = 5000 কেজি/হেক্টর খামারজাত সার

গ = খ + 30 কেজি/হে: P_2O_5, ঘ=খ এর সমমাত্রার $(NH_4)_2SO_4$

ঙ = ঘ + 30 কেজি/হে: P_2O_5

ছক ৪.৫ : মাঠ ডিজাইন ও প্রাপ্ত ফলনের (কেজি/প্লট) উপাত্ত

ঘ 21.0	ক 15.5	ঙ 21.5	গ 18.0	খ 18.0
ঙ 23.0	খ 16.5	গ 21.0	ক 12.5	ঘ 22.5
গ 19.5	ঙ 23.5	ক 16.0	খ 17.0	ঘ 23.0
ক 14.0	ঙ 24.0	খ 17.5	ঘ 24.5	গ 20.5

১ম ধাপ : বিশ্লেষণের সুবিধার্থে প্রাপ্ত ফলাফলকে নিম্নলিখিতভাবে সাজানো হলো—

ছক ৪.৫

উপাদান	সমলিপন (ব্লক)				মোট ফলন (কেজি)	গড় ফলন (কেজি)
	$স_১$	$স_২$	$স_৩$	$স_৪$		
ক	15.5	12.5	16.0	14.0	58.0	14.50
খ	18.0	16.5	17.0	17.5	69.0	17.25
গ	18.0	21.0	19.5	20.5	79.0	19.75
ঘ	21.0	22.5	23.0	24.5	91.0	22.75
ঙ	21.5	23.0	23.5	24.0	92.0	23.00
মোট	94.0	95.5	99.0	100.5	সর্বমোট =389.0	

২য় ধাপ : শোধক মান নির্ণয়—

$$\text{শোধকমান} = \frac{(\text{মোট ফলন})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}$$

$$= \frac{(389)^2}{5 \times 4} = 7566.05$$

৩য় ধাপ : বর্গসমষ্টি নির্ণয়—

$$\text{সর্বমোট বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum(\text{সর্বমোট ফলন})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{(15.5)^2 + (12.5)2 + (16)^2 + (14)^2 + (18)^2 + (16.5)^2 + (17)^2 + (17.5)^2 + (18)2 + (21)^2 + (19.5)^2 + (20.5)^2 + (21)^2 + (22.5)^2 + (23)^2 + (24)2 + (21.5)^2 + (23.5)^2 + (23)^2 + (24)^2)}{5 \times 4} - 7566.05$$

$$= 7801.50 - 7566.05$$

$$= 235.45$$

$$\text{সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum(\text{প্রতি সমলিপনে মোট ফলন})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{94^2 + 95.5^2 + 99^2 + 100.5^2}{5} - 7566.05$$

$$= 5.45$$

ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি = $\frac{\sum(\text{প্রতি ট্রিটমেন্টের মোট ফলন})^২}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}$ – শোধক মান

$$= \frac{58^2 + 69^2 + 79^2 + 91^2 + 92^2}{4} - 7566.05$$

$$= 7777.75 - 7566.05$$

$$= 211.70$$

ত্রুটি বর্গসমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি – (ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি + সমলিপন বর্গসমষ্টি)

$$= 235.45 - (5.45 + 211.70)$$

$$= 18.30$$

ঊর্ধ্ব ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি–

ছক ৪.৭ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড়বর্গ (MS)	$F = \frac{\text{ট্রিটমেন্ট গড় বর্গ}}{\text{ত্রুটি গড় বর্গ}}$	'F' এর তত্ত্বীয় মান (4,12)মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে
সমলিপন	3	5.45	1.817		
ট্রিটমেন্ট	4	211.70	52.925	34.7	3.26
ত্রুটি	12	18.30	1.525		
মোট	19	235.45			

যেহেতু ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে F-এর হিসাবকৃত মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বেশি। অতএব ট্রিটমেন্টজনিত ভেদাঙ্ক অতি তাৎপর্যপূর্ণ। ফলে ট্রিটমেন্টগুলোর গড় মানের মধ্যে 't' – পরীক্ষার মাধ্যমে তুলনা করার প্রয়োজন।

জাতগুলোর গড় মানের পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য। পরীক্ষা করা হলো–

গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি (SE) = $\sqrt{\frac{২ \times \text{গড় ত্রুটি বর্গসমষ্টি}}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1.525}{4}}$$

$$= \sqrt{0.7625}$$

$$= 0.871$$

$$l = \frac{\text{ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য}}{\text{গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি}}$$

∴ ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = t × গড় পার্থক্যে আদর্শ ত্রুটি

5% সম্ভাবনা মাত্রায় এবং 12 মুক্তমাত্রায় 't' এর তত্ত্বীয় মান = 2.179

∴ ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = 2.179 × 0.871

= 1.897

= 1.90 কেজি

কোনো দুটি উপাদানের গড় মানের মধ্যে পার্থক্য LSD মানের সমান বা এর থেকে বড় হলে ঐ উপাদানসমূহের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য আছে বলে ধরে নেওয়া হয়।

ট্রিটমেন্ট	ঙ	ঘ	গ	খ	ক
	23.0	22.75	19.75	17.25	14.5

যেসব ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই তাদেরকে রেখা দিয়ে চিহ্নিত করা হয়েছে। অতএব দেখা যায় যে, বিভিন্ন সার প্রয়োগে ফলন তাৎপর্যপূর্ণভাবে বেড়েছে তবে 'ঙ' এবং 'ঘ' এর মধ্যে কোনো তাৎপর্যপূর্ণ পাথর্ক্য নেই। তবে সব ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে সম্ভাব্য সব যুগলের তুলনা করতে টুকে'র w পরীক্ষা করা ভালো।

উদাহরণ ৩ : একটি ধানের জাতে চার ধরনের বিভিন্ন পরিমাণ নাইট্রোজেন সার ($এন_0$, $এন_১$, $এন_২$ এবং $এন_৩$) প্রয়োগ করা হলো। এ পরীক্ষায় চারটি রেপ্লিকেশন/সমলিপন ($স_১$, $স_২$, $স_৩$ এবং $স_৪$) ছিল। মাঠ পরিকল্পনা এবং প্লট প্রতি ফলন (কেজি) নিম্নরূপ :

ছক ৪.৮

$স_১$	$স_২$	$স_৩$	$স_৪$
$এন_২$ 14	$এন_১$ 8	$এন_৩$ 14	$এন_0$ 4
$এন_১$ 10	$এন_0$ 4	$এন_২$ 16	$এন_৩$ 16
$এন_0$ 6	$এন_৩$ 14	$এন_১$ 10	$এন_২$ 18
$এন_৩$ 10	$এন_২$ 12	$এন_0$ 6	$এন_১$ ১২

এক্ষেত্রে কোন ধরনের পরীক্ষা পরিকল্পনা অনুসরণ করা হয়েছে? ভেরিয়্যান্স বিশ্লেষণ দেখাও, $এন_৩$ এবং $এন_২$ এর মধ্যে বিদ্যমান পার্থক্য কি তাৎপর্যপূর্ণ?

সমাধান : প্রশ্নে উল্লেখিত পরিকল্পনা থেকে এটা সুস্পষ্ট যে, পরীক্ষাটি দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন (RCBD) অনুসরণ করা হয়েছে। এখানে 4টি ব্লক ব্যবহার করা হয়েছে এবং প্রতি ব্লকেই নাইট্রোজেনের চারটি মাত্রা $এন_0$, $এন_১$, $এন_২$ এবং $এন_৩$ দৈবায়িতভাবে ব্যবহার করা হয়েছে। অতএব সম্পূর্ণ দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে এ পরীক্ষণ করা হয়েছে। বিশ্লেষণের সুবিধার্থে উপাত্তকে নিম্নলিখিত ছক আকারে সাজানো হলো—

ছক ৪.৯

সমলিপনে নাইট্রোজেনের মাত্রা	স১	স২	স৩	স৪	মোট
এন০	6	4	6	4	20
এন১	10	8	10	12	40
এন২	14	12	16	18	60
এন৩	10	14	14	16	54
মোট	40	38	46	50	GT=174

$$\text{শোধক মান (CF)} = \frac{\text{সর্বমোট যোগফল (GT)}^2}{\text{মোট পর্যবেক্ষিত সংখ্যা (n)}}$$

$$= \frac{(174)^2}{16}$$

$$= 1892.25$$

এখানে সর্বমোট যোগফল (GT) = 174

মোট পর্যবেক্ষণ সংখ্যা (n) = 16

সর্বমোট বর্গের যোগফল (Total sum of squares = TSS) নির্ণয় :

সর্বমোট বর্গের যোগফল (TSS) = $\sum x^2 - CF$

$$= (6^2 + 4^2 + 10^2 + 4^2 + 6^2 + 8^2 + 10^2 + 12^2 + 14^2 + 12^2 + 16^2 + 18^2 + 10^2 + 14^2 + 14^2 + 16^2) - 1892.25$$

$$= 2180 - 1892.25$$

$$= 287.75$$

সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি (Replication Sum of Squares=RSS)

$$= \frac{40^2 + 38^2 + 46^2 + 50^2}{\text{সারের মাত্রার সংখ্যা}} - CF$$

$$= \frac{1600 + 1444 + 2116 + 2500}{4} - CF$$

$$= 1915 - 1892.25$$

$$= 22.75$$

নাইট্রোজেন সারের মাত্রার পার্থক্যজনিত বর্গসমষ্টি (FSS)

$$= \frac{(\sum \text{এন}_0)^2 + (\sum \text{এন}_1)^2 + (\sum \text{এন}_2)^2 + (\sum \text{এন}_3)^2}{\text{সমলিপন সংখ্যা}} - CF$$

$$= \frac{20^2 + 40^2 + 60^2 + 54^2}{4} - 1892.25$$

$$= \frac{400 + 1600 + 3600 + 2916}{4} - 1892.25$$

$= \frac{8516}{4} - 1892.25$

$= 2129 - 1892.25$

$= 236.75$

ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (Enror sum of square = ESS)

$= TSS - RSS - FSS$

$= 287.75 - 22.75 - 236.75$

$= 287.75 - 259.5$

$= 28.25$

ছক ৪.১০ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভেদাঙ্কের উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড়বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F এর মান = $\frac{VMSS}{EMSS}$	F-এর তত্ত্বীয় মান 1% মাত্রা
সমলিপন	4-1=3	22.75	7.58	$\frac{7.58}{3.14} = 2.41$	
নাইট্রোজেন সারের মাত্রা	4-1 = 3	236.75	78.92	$\frac{78.92}{3.19} = 25.13$	3.49
ত্রুটি	15-(3+3)=9	28.25	3.14		
মোট	16-1=15	287.75			

মন্তব্য : 3, 9 মুক্তমাত্রায় 1% লেভেলে 'F'-এর টেবিল দেওয়া তত্ত্বীয় মান 6.99, কিন্তু আমাদের হিসাবকৃত মান 25.13। সেহেতু হিসাবকৃত মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা অনেক বড় সেহেতু নাল অনুকল্প বাতিলযোগ্য অর্থাৎ বিভিন্ন মাত্রার নাইট্রোজেন সারজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ।

সেহেতু ভিন্ন মাত্রায় সারজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ। তাই ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) নির্ণয়ের মাধ্যমে বিভিন্ন মাত্রার নাইট্রোজেন সারের প্রভাবের যে পার্থক্য তা নিরূপণ করতে হবে।

আমরা জানি, LSD = SE × t at 1% লেভেল

এখানে, $SE = \sqrt{\frac{2EMSS}{r}}$

$= \sqrt{\frac{2 \times 3.14}{4}}$

$= \sqrt{\frac{6.28}{4}}$

$$= \sqrt{1.57}$$
$$= 1.25$$
$$\therefore LSD = 1.25 \times 3.25$$
$$= 4.06$$

এখন,

$এন_0$ এর জন্য ফলনের গড় মান, $এন_0 = \frac{20}{4} = 5$

$এন_১$ এর জন্য ফলনের গড় মান, $এন_১ = \frac{40}{4} = 10$

$এন_২$ এর জন্য ফলনের গড় মান, $এন_২ = \frac{60}{4} = 15$

$এন_৩$ এর জন্য ফলনের গড় মান, $এন_৩ = \frac{54}{4} = 13.5$

ফলনের গড় মানগুলোকে নিম্নক্রমানুসারে সাজালে পাই,

$এন_২ = 15$
$এন_৩ = 13.5$
$এন_১ = 10$
$এন_0 = 5$

এখন, $এন_২$ ও $এন_৩$-এর মধ্যে পার্থক্য = 15-13.5 = 1.5 <4.06 এটি তাৎপর্যপূর্ণ নয়।

উপসংহার : $এন_৩$ এবং $এন_২$ পরিমাণে নাইট্রোজেন সার প্রয়োগে ফলনের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই। তবে $এন_২$ পরিমাণে নাইট্রোজেন সার ব্যবহার জাতটির জন্য সর্বোৎকৃষ্ট।

৪.৭. সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন এবং দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের মধ্যে তুলনা (Comparison between Complele Randomized Design and Randomized Block Design) :

নিম্নলিখিত বিষয়ে সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন এবং দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের মধ্যে পার্থক্য রয়েছে ; যেমন—

(১) সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইনের ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ পরীক্ষণ ক্ষেত্রে ট্রিটমেন্টগুলোকে সম্পূর্ণ দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়, অন্যদিকে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনে অসমসত্ত্ব পরীক্ষণ ক্ষেত্রে স্থানিক নিয়ন্ত্রণ নীতি প্রয়োগ করা হয় এবং পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে সমসত্ত্ব ব্লকে বিভক্ত করে পরীক্ষণ ট্রিটমেন্টকে প্রতি ব্লকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়।

(২) পরীক্ষণক্ষেত্র সমসত্ত্ব হলে সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইন অবলম্বন করা হয়, আর পরীক্ষণক্ষেত্র অসমসত্ত্ব হলে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন গ্রহণ করা হয়।

(৩) দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের সব পরীক্ষণ ট্রিটমেন্টের সমলিপন সংখ্যা সমান কিন্তু সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইনে বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের জন্য সমলিপন সংখ্যা ভিন্ন হতে পারে।

(৪) দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের কোনো পরীক্ষণ এককের উপাত্ত বাদ গেলে সেই ব্লকের সব উপাত্ত বাদ দেওয়া হয় অথবা ইয়েট্স (Yates) –এর বাতিল প্লট পদ্ধতি অবলম্বনে উপাত্ত বিশ্লেষণ করা হয়--যা বেশ জটিল। অন্যদিকে সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইনের ক্ষেত্রে কোনো পরীক্ষণ এককের উপাত্ত বাদ গেলেও কোনো রকম জটিলতা ছাড়াই (শুধু সমলিপন সংখ্যা কমে যায়) সাধারণভাবে উপাত্ত বিশ্লেষণ করা যায়।

(৫) জমি ছাড়া অন্য যে কোনো পরীক্ষণ ক্ষেত্রের জন্য সম্পূর্ণ দৈবায়িত ডিজাইনের যে কোনো সংখ্যক ট্রিটমেন প্রয়োগ করা যায় কিন্তু দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনে পরীক্ষণ ট্রিটমেন্ট যথেষ্ট বেশি হলে ব্লকগুলোর মধ্যে পার্থক্য খুব বেড়ে যায় ; ফলে ত্রুটি নিয়ন্ত্রণের দক্ষতা হ্রাস পায়।

পঞ্চম অধ্যায়

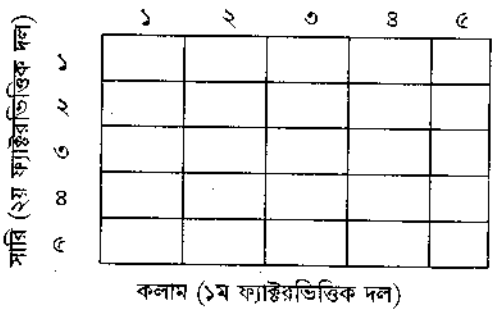
ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন

Latin Square Design

৫.১. ভূমিকা

যদি পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে যে কোনো একটি মাত্র ফ্যাক্টরের উপর ভিত্তি করে সমসত্ত্ব দলে বিভক্ত করা যায়, তাহলে সেক্ষেত্রে দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন অবলম্বন শ্রেয় এবং সেক্ষেত্রে প্রতি দলে (ব্লক) প্রত্যেকটি ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা বাধ্যতামূলক। উদাহরণস্বরূপ, মাঠ পরীক্ষণের ক্ষেত্রে যদি জমির উর্বরতাক্রম একমুখী হয় তাহলে মাঠকে সমসত্ত্ব ব্লকে বিভক্ত করা হয় এবং প্রতিটি ব্লকে সবগুলো ট্রিটমেন্ট সমানভাবে ব্যবহার করা হয়। কিন্তু যদি পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে আবার আরও একটি ফ্যাক্টরের উপর ভিত্তি করে অন্যভাবে সমসত্ত্ব দলে বিভক্ত করা যায়, তাহলে সেক্ষেত্রে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন ব্যবহার করা উত্তম। এখানে প্রতিটি পরীক্ষণ একক প্রথম ফ্যাক্টরভিত্তিক দলে এবং দ্বিতীয় ফ্যাক্টরভিত্তিক দলের অন্তর্ভুক্ত হওয়া বাধ্যতামূলক। যেমন, পরীক্ষণ মাঠের উর্বরতাক্রম যদি দ্বিমুখী হয় ($\nearrow$) তাহলে জমিকে দু'ভাবে সমসত্ত্ব ব্লকে বিভক্ত করতে হয়। একদিকের ব্লকসমূহকে সাধারণত সারি এবং অন্যদিকের ব্লকসমূহকে কলাম নামে আখ্যায়িত করতে হয় (চিত্র ৫.১)।

চিত্র ৫.১



এ ডিজাইনের প্রতি সারি এবং কলামে প্রত্যেক ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা প্রয়োজন। ফলে সারির গড় ভিন্নতা এবং কলামের গড় ভিন্নতা পরিমাপ করা যায় এবং পরিমাপের সূক্ষ্মতা (precision) বৃদ্ধির মাধ্যমে ত্রুটি কমানো যায়। যে পরীক্ষণ ডিজাইনের মাধ্যমে একই সাথে দ্বিমুখী ভিন্নতা নিয়ন্ত্রণ করা যায়, যে ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইনকে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন বলে।

ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনে পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে এমনভাবে প্লটে বিভক্ত করা হয় (সারি ও কলামে) ট্রিটমেন্টের সমান সংখ্যক প্লট থাকে, অর্থাৎ সারির সংখ্যা, কলামের সংখ্যা এবং ট্রিটমেন্ট সংখ্যা পরস্পর সমান হয়। অতপর ট্রিটমেন্টগুলোকে এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যেন প্রতিটি ট্রিটমেন্ট প্রতি সারি ও কলামে শুধু একবার করে ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে প্রতিটি ট্রিটমেন্ট সমলিপন সংখ্যাও উপাদান সংখ্যার সমান হয়। এভাবে যদি n সংখ্যক ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা হয়, তাহলে প্রতি বর্গে n সংখ্যক সারি ও n সংখ্যক কলাম থাকে। অতএব প্রতিক্ষেত্রে প্লট সংখ্যা হবে n^2, প্রতি একক প্লটের আকার বর্গাকার থেকে সরু ফালির মতো যে কোনো রূপ হতে পারে। এভাবে পুরো ল্যাটিন বর্গটি বর্গাকার কিংবা আয়তাকার হতে পারে। এখানে বর্গ (ল্যাটিন বর্গ) শব্দটি পরীক্ষণ ক্ষেত্রের বর্গাকার বোঝাতে ব্যবহৃত হয়নি। বরং সারি ও কলাম সংখ্যা (মোট প্লট সংখ্যা n^2) সমান বোঝাতে ব্যবহার করা হয়েছে। এ ডিজাইন অবলম্বনে সাধারণত ৫ থেকে ৮ বা সর্বোচ্চ ১২টি ট্রিটমেন্ট প্রয়োগে যথার্থ ফলাফল লাভ করা যায়।

৫.২. ট্রিটমেন্টের দৈবায়ন (Randomization of the treatment)

এ ডিজাইনের প্রয়োজনীয় শর্ত হলো প্রতিটি ট্রিটমেন্টকে প্রতিটি সারি ও প্রতিটি কলামে শুধু একবার করে ব্যবহার করা যায়। এ ধরনের সমলিপন লাভের সহজ উপায় হচ্ছে একটি সংক্ষিপ্ত ল্যাটিন বর্গ বা আদর্শ ল্যাটিন বর্গ ব্যবহার করা। সেখানে ১ম সারি এবং ১ম কলামকে বর্ণমালা ক্রমে বিন্যস্ত করা এবং পরবর্তী পর্যায়ে দৈবায়ন সংখ্যার সাহায্যে পুনর্বিন্যস্ত করা।

১ম ধাপে : সংক্ষিপ্ত ল্যাটিন বর্গ বা আদর্শ ল্যাটিন বর্গ :

১	ক	খ	গ	ঘ	ঙ
২	খ	গ	ঘ	ঙ	ক
৩	গ	ঘ	ঙ	ক	খ
৪	ঘ	ঙ	ক	খ	গ
৫	ঙ	ক	খ	গ	ঘ

২য় ধাপ

সারির দৈবায়ন :

দৈবায়ন সংখ্যা → ৩, ৫, ১, ৪, ২

এভাবে সারিকে সাজিয়ে আমরা পাই

১	২	৩	৪	৫
গ	ঘ	ঙ	ক	খ
ঙ	ক	খ	গ	ঘ
ক	খ	গ	ঘ	ঙ
ঘ	ঙ	ক	খ	গ
খ	গ	ঘ	ঙ	ক

৩য় ধাপ

সারির দৈবায়ন :

দৈবায়ন সংখ্যা → ৪, ১, ৫, ৩, ২

এভাবে সারিকে সাজিয়ে

আমরা পাই

ক	গ	খ	ঙ	ঘ
গ	ঙ	ঘ	খ	ক
ঘ	ক	ঙ	গ	খ
খ	ঘ	গ	ক	ঙ
ঙ	খ	ক	ঘ	গ

৪র্থ ধাপ

ট্রিটমেন্ট-এর দৈবায়ন :

দৈবায়ন সংখ্যা → ২, ৫, ১, ৩, ৪

এভাবে ট্রিটমেন্টগুলোকে সাজিয়ে পাই →খ, ঙ, ক, গ, ঘ, ক, খ, গ, ঘ, ঙ কে খ, ঙ, ক, গ, ঘ ক্রমে প্রতিস্থাপিত করা হয়।

খ	ক	ঙ	ঘ	গ
ক	ঘ	গ	ঙ	খ
গ	খ	ঘ	ক	ঙ
ঙ	গ	ক	খ	ঘ
ঘ	ঙ	খ	গ	ক

এভাবে সত্যিকার দৈবায়নক্রম প্রতিটি সারি ও কলামে প্রতিটি ট্রিটমেন্টকে কেবল একবার ব্যবহার করতে হয়। এরপরে ক কে ক-এর নির্দিষ্ট স্থানে এবং একইভাবে খ, গ, ঘ, ঙ-কে নির্দিষ্ট স্থানে ব্যবহার করা হয়।

৫.৩. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করে ছক তৈরি

যদি ট্রিটমেন্ট সংখ্যা n হয় তাহলে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক নিম্নরূপ হবে :

ছক ৫.১

ভিন্নতার উৎস (S.V.)	মুক্তমাত্রা (D.F.)	বর্গসমষ্টি (S.S.)	গড়বর্গ (M.S.)
সারি	n-1		
কলাম	n-1		
ট্রিটমেন্ট	n-1	SST	V_T
ত্রুটি	(n-1) (n-2)	SSE	V_E
মোট	n^2-1	TSS	

ট্রিটমেন্ট গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি = $\sqrt{\frac{2VE}{n}}$

এখানে, V_E হলো ত্রুটি ভেদাঙ্ক।

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD)

= পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি x ত্রুটিমুক্তমাত্রায় t-এর মান (5% স্তরে)

৫.৪. **উদাহারণ ১ :** 5 × 5 ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন অবলম্বনে গমের একটি উন্নত জাতে ক, খ, গ, ঘ, এবং ঙ – এই পাঁচটি মাত্রায় ইউরিয়া সার প্রয়োগ করা হলো। এখানে উল্লেখ থাকে 'ক' কন্ট্রোল অর্থাৎ সারবিহীন অবস্থাকে নির্দেশ করছে। প্রাপ্ত ফলাফল ডিজাইনসহ নিচে উল্লেখ করা হলো। উপাত্ত বিশ্লেষণপূর্বক বিভিন্ন মাত্রায় এ সার প্রয়োগের ফলে ফলনের উপর কোনো প্রভাব ফেলেছে কি–না উল্লেখ কর।

ছক ৫.২ : পরীক্ষণ ডিজাইন ও প্রাপ্ত ফলন (কেজি/প্লট)

খ 15	ক 8	ঙ 17	ঘ 20	গ 17
ক 9	ঘ 21	গ 19	ঙ 16	ঘ 13
গ 18	খ 12	ঘ 23	ক 8	ঙ 17
ঙ 18	গ 16	ক 10	খ 15	ঘ 23
ঘ 22	ঙ 15	খ 13	গ 18	ক 10

উপাত্তের বিশ্লেষণ

১ম ধাপ : শোধক মান নির্ণয়–

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{সর্বমোট ফলনের উপাত্তের যোগফল})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}$$

$$\therefore \text{ শোধক মান} = \frac{(15 + 8 + 17 + 20 + \ldots\ldots\ldots\ldots + 18 + 10)^2}{5 \times 5}$$

$$= \frac{393}{25}$$

$$= 6177.96$$

২য় ধাপ : সর্বমোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

মোট বর্গসমষ্টি = $\sum$ প্রতি প্লটের ফলন^২ – শোধক মান

$$\therefore \text{ মোট বর্গসমষ্টি} = 15^2 + 8^2 + 17^2 + 20^2 + \ldots\ldots\ldots + 18^2 + 10^2 - 6177.96$$

$$= 6661 - 6177.96$$

$$= 483.04$$

৩য় ধাপ : ট্রিটমেন্টের বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

এখানে প্রাপ্ত ফলাফলকে নিম্নলিখিত ছকে (ছক – ৫.৩) সাজানো হলো–

ছক ৫.৩

ট্রিটমেন্ট	ফলন/প্লট					মোট	গড়
ক	8	9	8	10	10	45	9
খ	15	13	12	15	13	68	13.6
গ	17	19	18	16	18	88	17.6
ঘ	20	21	23	23	22	109	21.8
ঙ	17	16	17	18	15	83	16.6
						393	

$$\text{ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum (\text{প্রতি ট্রিটমেন্ট-এর মোট ফলন})^২}{\text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$\therefore \text{ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি} = \frac{45^2 + 68^2 + 88^2 + 109^2 + 83^2}{5} - 6177.96$$

$$= \frac{33163}{5} - 6177.96$$

$$= 6632.6 - 6177.96$$

$$= 454.64$$

৪র্থ ধাপ : সারি ও কলামের জন্য বর্গসমষ্টি নির্ণয়—

বিশ্লেষণের সুবিধার্থে উপাত্তকে আবার নিম্নরূপ ছকে সাজিনো হলো—

ছক ৫.৪

সারি/কলাম					মোট
15	8	17	20	17	77
9	21	19	16	13	78
18	12	23	8	17	78
18	16	10	15	23	82
22	15	13	18	10	78
মোট 82	72	82	77	80	সর্বমোট =393

$$\text{সারিজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum(\text{প্রতি সারিতে মোট ফলন})^২}{\text{কলাম সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$\therefore \text{সারিজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{(77)^2 + (78)^2 + (78)^2 + (82)^2 + (78)^2}{5} - 6177.96$$

$$= \frac{30905}{5} - 6177.96$$

$$= 6181 - 6177.96$$
$$= 3.04$$

$$\text{কলামজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{(\Sigma\text{প্রতি কলামে মোট ফলন})^2}{\text{সারি সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$\text{কলামজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{82^2 + 72^2 + 82^2 + 77^2 + 80^2}{5} - 6177.96$$

$$= \frac{30961}{5} - 6177.96$$
$$= 6192.2 - 6177.96$$
$$= 14.24$$

৫ম ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি—

ছক ৫.৫ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F-এর মান	তত্ত্বীয় F-এর মান (5% স্তরে)
সারের ভিন্নমাত্রা	4	454.64	113.66	122.61	3.26
সারি	4	3.04			
কলাম	4	14.24			
ত্রুটি	12	11.12	0.927		
মোট	24	483.04			

মন্তব্য : এখানে সারের ভিন্নমাত্রাজনিত F-এর মান টেবিলে দেওয়া তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বড়। অতএব সারের ভিন্নমাত্রাজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ। অর্থাৎ সার প্রয়োগের তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব রয়েছে।

৬ষ্ঠ ধাপ : ভিন্নমাত্রায় সার প্রয়োগের ফলে প্রাপ্ত ফলাফলের মধ্যে পার্থক্য ও তাৎপর্যতা নির্ণয়—

ভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ থেকে এটা সুস্পষ্ট হয়েছে যে, ভিন্ন মাত্রায় সার প্রয়োগের ফলে উদ্ভূত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ। অতএব এখানে দেখতে হবে কোন মাত্রায় সার বেশি কার্যকরি হয়েছে এবং কোন মাত্রায় কম কার্যকরি হয়েছে। আর সেজন্য তখন। পরীক্ষা করতে হয়। নিচে পদ্ধতি বর্ণনা করা হলো। ট্রিটমেন্টগুলোর নিজেদের মধ্যে একের সাথে অপর মাত্রা গড়

$$\text{পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি} = \sqrt{\frac{২ \times \text{গড় ত্রুটি বর্গসমষ্টি}}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 0.927}{5}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.854}{5}}$$

$$= \sqrt{0.3708}$$

$$= 0.61$$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (L.S.D.) = গড় পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি × t (5% মুক্ত মাত্রায়)

∴ L.S.D. = 0.61 × 2.179 [যেহেতু 12 মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে t এর মান 2.179]

= ১.৩৩ কেজি

বিভিন্ন মাত্রায় সার প্রয়োগের ফলে প্রাপ্ত গড় ফলনকে মানের নিম্ন ক্রমানুসারে সাজিনো হলো–

ট্রিটমেন্ট →	ঘ	গ	ঙ	খ	ক
গড় ফলন (কেজি/প্লট)	21.8	17.6	16.6	13.6	9.0

এ উপস্থাপনা থেকে দেখা যায় যে, গ এবং ঙ ট্রিটমেন্টের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই। অন্য ট্রিটমেন্টগুলো একে অপরের সাথে পার্থক্য তাৎপর্যপূর্ণ। 'ঘ' ট্রিটমেন্ট সবচেয়ে ভালো। সার প্রয়োগে ফলন বৃদ্ধি পেয়েছে।

উদাহরণ–২ : ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন অবলম্বন করে ধানের একটি উন্নতজাতে পাঁচটি বিভিন্নমাত্রায় সুপার ফসফেট এবং ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট হিসেবে P_2O_5 প্রয়োগ করা হলো। বিভিন্ন সারের মাত্রা অনুযায়ী প্রাপ্ত ফলন (কেজি/হে.) নিচের সারণিতে উল্লেখ করা হলো। উপাত্তের পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণপূর্বক নিচে উল্লেখিত প্রশ্নাবলীর উত্তর দাও।

উপাদান ক = সারবিহীন (কন্ট্রোল)

খ = 33.6 কেজি/হে. P_2O_5 (সুপার ফসফেট)

গ = 50.6 কেজি/হে. P_2O_5 (সুপার ফসফেট)

ঘ = 33.6 কেজি/হে. P_2O_5 (ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট)

ঙ = 50.4 কেজি/হে. P_2O_5 (ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট)

পরীক্ষণ ডিজাইন ও প্রাপ্ত ফলন : (কেজি/প্লট)

ছক ৫.৬

ক 15.8	ঙ 25.0	ঘ 22.5	খ 20.5	গ 21.5
ঘ 21.0	গ 20.2	খ 18.2	ঙ 26.0	ক 16.5
গ 19.0	খ 19.8	ক 14.2	ঘ 24.5	ঙ 27.5
ঙ 20.0	ঘ 23.0	গ 21.8	ক 15.5	খ 19.5
খ 20.0	ক 16.0	ঙ 28.5	গ 22.5	ঘ 25.5

প্রশ্নাবলী

(১) P_2O_2 প্রয়োগে আদৌ কোনো লাভ হয়েছে কি?

(২) পরীক্ষানুসারে কোন মাত্রার P_2O_5 কে তুমি ভাল মনে কর?

(৩) কতমাত্রা এবং কোন ধরনের P_2O_5 উৎসকে তুমি শ্রেয়তর মনে কর?

(৪) উৎস পরিবর্তনের ফলে P_2O_5-এর প্রভাব পরিবর্তনশীল কি?

বিশ্লেষণ

১ম ধাপ : শোধক মান নির্ণয়–

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{উপাত্তের সর্বমোট যোগফল})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা} \times \text{সমলিপনের সংখ্যা}}$$

$$\therefore \text{শোধক মান} = \frac{(15.8 + 25.0 + 22.5 + \ldots\ldots\ldots + 22.5 + 25.5)^2}{5 \times 5}$$

$$= \frac{(524.5)^2}{25}$$

$$= \frac{275100.25}{25}$$

$$= 11004.01$$

২য় ধাপ : মোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

মোট বর্গসমষ্টি = Σ(প্রতি প্লটের ফলন)^২ – শোধক মান

$\therefore$ মোট বর্গসমষ্টি = $(15.8)^2+(25.0)^2 + (22.5)^2 + \ldots\ldots+(22.5)^2 + (25.5)^2 -$ 11004.01

$$= 11352.59 - 11004.01$$

$$= 348.58$$

৩য় ধাপ : ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

প্রতি জাতভিত্তিক উপাত্তকে নিম্নলিখিত ছক - ৫.৭ লিপিবদ্ধ করা হলো -

ছক ৫.৭

ট্রিটমেন্ট (জাত)	ফলন (কেজি/প্লট)					প্রতি জাতের মোট ফলন
ক	15.8	16.0	14.2	15.5	16.5	78
খ	20.0	19.8	18.2	20.5	19.5	98
গ	19.0	20.2	21.8	22.5	21.5	105
ঘ	21.0	23.0	22.5	24.5	25.5	116.5
ঙ	20.0	25.0	28.5	26.0	27.5	127

ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি $= \frac{\Sigma \text{ (প্রতি জাতের মোট ফলন)}^2}{\text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$

$\therefore$ ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি $= \frac{(78)^2 + (98)^2 + (105)^2 + (116.5)^2 + (127)^2}{5} -$

11104.01

$= \frac{56414.25}{5} - 11004.01$

$= 11282.85 - 11004.01$

$= 278.84$

৪র্থ ধাপ : কলাম ও সারি বর্গসমষ্টি নির্ণয়—

এর জন্য সারি ও কলামভিত্তিক উপাত্তকে নিম্নোক্ত ছকে সাজানো হলো—

ছক ৫.৮ : ফলন (কেজি/প্লট)

সারি/ কলাম	১ম কলাম	২য় কলাম	৩য় কলাম	৪র্থ কলাম	৫ম কলাম	মোট
১ম সারি	15.8	25.0	22.5	20.5	21.5	105.3
২য় সারি	21.0	20.2	18.2	26.0	16.5	101.9
৩য় সারি	19.0	15.8	14.2	24.5	27.5	105.0
৪র্থ সারি	20.0	23.0	21.8	15.5	19.5	99.8
৫ম সারি	20.0	16.0	28.5	22.5	25.5	112.5
মোট	95.8	104.0	105.2	109.0	110.5	524.5

কলাম বর্গসমষ্টি নির্ণয়

কলাম বর্গসমষ্টি $= \frac{\Sigma(\text{প্রতি কলামে মোট ফলন})^2}{\text{সমলিপন সংখ্যা বা সারি সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$

$\therefore$ কলাম বর্গসমষ্টি $= \frac{(95.8)^2+(104.0)^2+(105.2)^2+(109.0)^2+(110.5)^2}{5}$

11004.01

$= \frac{55151.93}{5} - 11004.01$

$= 11030.385 - 11004.01$

$= 26.376$

সারি বর্গসমষ্টি নির্ণয় :

$$\text{সারি বর্গসমষ্টি} = \frac{\sum(\text{প্রতি সারিতে মোট ফলন})^2}{\text{সমলিপন সংখ্যা বা কলাম সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$\therefore \text{সারি বর্গসমষ্টি} = \frac{(105.3)^2 + (101.9)^2 + (105.0)^2 + (99.8)^2 + (112.5)^2}{5} - 1104.01$$

$$= \frac{55112.99}{5} - 1104.01$$

$$= 11022.598 - 11004.01$$

$$= 18.588$$

৫ম ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি

ছক ৫.৯ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	(F)নির্ণয়কৃত	F (তত্ত্বীয়) ৫% স্তরে
ট্রিটমেন্ট	4	278.800	69.7	33.704	3.26
কলাম	4	26.376			
সারি	4	18.588			
ত্রুটি	12	24.816	2.068		
মোট	24	348.580			

এখানে ট্রিটমেন্ট উদ্ভূত ভেদাঙ্কের জন্য (4, 12 মুক্তমাত্রায়) 5% সম্ভাবনা মাত্রায় F–এর হিসাবকৃত মান তত্ত্বীয়মান অপেক্ষা অনেক বড়।

অতএব, ট্রিটমেন্টসমূহের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য বিদ্যমান।

৬ষ্ঠ ধাপ : প্রশ্নের উত্তর

১নং প্রশ্নের উত্তর–

এক্ষেত্রে ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি নিম্নরূপ

[ক], [খ + গ + ঘ + ঙ] = দুটি ভাগ

$$\therefore \text{ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি} = \frac{(78)^2}{5} + \frac{(98 + 105 + 116.5 + 127)^2}{20} - 11004.01$$

$$= 1216.8 + 9968.1125 - 11004.01$$

$$= 180.9025$$

যেহেতু মুক্তমাত্রা (2-1) = 1

∴ গড় ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি = 180.9025

অতএব, $F = \frac{180.9025}{2.068} = 87.477$

5% সম্ভাবনামাত্রায় 1, 12 স্বাধীনতামাত্রায় F-এর মান = 4.75। যা থেকে F-এর হিসাবকৃত মান (87.477) অনেক বেশি।

অতএব P_2O_5 প্রয়োগ করা লাভজনক হয়েছে।

২নং প্রশ্নের উত্তর—

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক থেকে দেখা যায় যে গড় ত্রুটি বর্গসমষ্টি = 2.068

∴ আদর্শ গড় ত্রুটি = $\sqrt{\frac{2 \times 2.068}{5}} = 0.908$

∴ ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = $0.908 \times t_{0.05}$

$= 0.908 \times 2.179$

$= 1.978532$

$= 1.98$ কেজি (প্রায়)

যেসব ট্রিটমেন্ট মধ্যে পার্থক্য 1.98 কেজি-এর বেশি। সেসব ট্রিটমেন্টের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

বার চিত্র :

ট্রিটমেন্ট (জাত) →	ক	খ	গ	ঘ	ঙ
গড়ফলন কেজি/হে:) →	15.6	19.6	21.0	23.3	25.4

যেসব ট্রিটমেন্টের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই তাদের নিচে একই রেখা দিয়ে দাগ দেয়া হয়েছে। এ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, 'ঙ' ট্রিটমেন্ট মাত্রা অর্থাৎ 50.4 কেজি P_2O_5 (ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট হিসেবে) /হেক্টর অন্যান্য ট্রিটমেন্ট অপেক্ষা ফলনের উপর অধিক ধনাত্মক প্রভাব ফেলেছে।

অতএব, 50.4 কেজি/হেক্টর P_2O_5 (ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট হিসাবে) সারের মাত্রাই শ্রেয়তর।

৩নং প্রশ্নের উত্তর--

এজন্য আরও বিশ্লেষণের প্রয়োজন। প্রথমে নিম্নোক্ত ছক তৈরি করা হলো।

ছক ৫.১০ : ২ × ২ ছক

P_2O_5-এর পরিমাণ →	33.6 কেজি/হে.	50.4 কেজি/হে.	মোট
P_2O_5-এর উৎস সুপার ফসফেট ↓	খ 98.0	গ 105.0	খ + গ 203.0
ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট	ঘ 116.5	ঙ 127.0	ঘ + ঙ 243.5
মোট	খ + ঘ 214.5	গ + ঙ 232.0	খ+গ+ঘ+ঙ 446.5

শোধক মান $= \frac{(203 + 243.5)^2}{20}$

$= 9968.1125$

বর্গ সমষ্টি $= \frac{(98)^2}{5} + \frac{(105)^2}{5} + \frac{(116.5)^2}{5} + \frac{(127)^2}{5} - 9968.1125$

$= 1920.8 + 2205 + 2714.45 + 3225.8 - 9968.1125$

$= 10066.05 - 9968.1125$

$= 97.9375$

(খ + ঘ) এবং (গ + ঙ)-এর জন্য বর্গসমষ্টি $= \frac{(214.5)^2}{10} + \frac{(232)^2}{10} - 9968.1125$

$= 4601.025 + 5382.4 - 9968.1125$

$= 9983.425 - 9968.1125$

$= 15.3125$

(খ + গ) এবং (ঘ + ঙ)-এর জন্য বর্গসমষ্টি $= \frac{(203)^2}{10} + \frac{(243.5)^2}{10} - 9968.1125$

$= 4120.9 + 5929.225 - 9968.1125$

$= 82.0125$

অবশিষ্ট বর্গসমষ্টি $= 97.9375 - (15.3125 + 82.0125)$

$= 0.6125$

যেহেতু মুক্তমাত্রা 1

অতএব গড় বর্গসমষ্টি $= 0.6125$

$\therefore F = \frac{0.6125}{2.07} = 0.2958 = 0.296$ (appx)

(1, 12) মুক্তমাত্রায় F-এর তত্ত্বীয় মান $= 4.75$

যেহেতু F-এর নির্ণয়কৃতমান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা ছোট।

অতএব, P_2O_5–এর উৎস পরিবর্তনের সাথে P_2O_5–এর প্রভাব পরিবর্তনশীল নয়।

৫.৫. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের সুবিধা

(১) ক্রটির পরিমাপ থেকে দ্বিমুখী উর্বরতা ভিন্নতার প্রভাব দূর করা যায়।

(২) আদর্শ ক্রটিকে ফলনের ২% থেকে ১% –এর চেয়ে কমিয়ে দেয়ার জন্য এ ধরনের ডিজাইন সর্বোচ্চ সূক্ষ্মতা (precision) দিয়ে থাকে।

(৩) উচ্চ গুণাগুণসম্পন্ন স্বল্প সংখ্যক জাতের তুলনার জন্য বিশেষ করে বিভিন্ন স্থানে মাটি এবং আবহাওয়ার সাথে তাদের সম্পর্ক নির্ণয়ের ক্ষেত্রে এ ধরনের ডিজাইন খুবই উপযোগী।

(৪) ইয়েটস (Yate's) এর 'বাতিল প্লট কৌশল' অবলম্বন করে নষ্ট হওয়া বা বাদ পড়া এককসমূহের উপাত্ত ছাড়াও সঠিকভাবে পরিসংখ্যানিক হিসাব সম্ভব হয়।

৫.৬. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের অসুবিধা

(১) ট্রিটমেন্টের সমসংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করতে হয়।

(২) ৫–এর চেয়ে কম বা ১২–এর চেয়ে বেশি সংখ্যক পরীক্ষণ ট্রিটমেন্ট–এর ক্ষেত্রে এ ধরনের ডিজাইন ফলপ্রসূ নয়।

(৩) অনেকগুলো প্লটের ফলাফল পাওয়া না গেলে প্রাপ্ত উপাত্তে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ জটিল হয়ে পড়ে।

৫.৭. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ও ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের মধ্যে তুলনা

যদিও মাটির অসমসত্বতা নিয়ন্ত্রণের জন্য দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনকে (RCBD) উন্নত করে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন তৈরি করা হয়েছে; তবুও ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন অপেক্ষা দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের কিছু উন্নত বৈশিষ্ট্য রয়েছে; যেমন–

(ক) দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন অধিক সংখ্যক ট্রিটমেন্টের জন্য উপযোগী অথচ ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন শুধু ৫ থেকে ১২টি ট্রিটমেন্টের জন্য উপযুক্ত।

(খ) দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন সমলিপন সংখ্যায় কোনো বিধিনিষেধ নেই কিন্তু ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন সমলিপন সংখ্যা অবশ্যই ট্রিটমেন্ট সংখ্যার সমান।

(গ) যদি একটি বা দুটি পরীক্ষণ এককের উপাত্ত পাওয়া না যায়, তাহলে কোনো রকম জটিলতা ছাড়াই দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের ক্ষেত্রে সহজেই পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ সম্ভব। অন্যদিকে এ অবস্থায় ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের ক্ষেত্রে উপাত্ত বিশ্লেষণ বেশ জটিল হয়ে পড়ে।

(ঘ) জমির দ্বিমুখী উর্বরতার ক্ষেত্রে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন অবলম্বনই বেশি ফলপ্রসূ। তাছাড়া প্রাণী সংক্রান্ত গবেষণায়ও এ ডিজাইন খুবই কার্যকরি।

ষষ্ঠ অধ্যায়

ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণ
Factorial Experiment

৬.১. ভূমিকা

ইতোপূর্বে যেসব পরীক্ষণ ডিজাইন সম্পর্কে আলোচনা করা হয়েছে সেসব ক্ষেত্রে শুধু একক ট্রিটমেন্টের প্রভাবের মধ্যে সরাসরি তুলনা করা হয়েছে। কোনো কোনো ক্ষেত্রে একের অধিক ট্রিটমেন্ট সম্বলিত কোনো পরীক্ষণ থাকলেও অন্য ট্রিটমেন্টের প্রভাবকে নিয়ন্ত্রণে রেখে একক ট্রিটমেন্টের প্রভাবের মধ্যেই তুলনা করা হয়েছে। অর্থাৎ কোনো সময় একাধিক ট্রিটমেন্টের প্রভাবের আন্তঃক্রিয়া বিবেচনা করা হয়নি। এ ধরনের পরীক্ষণকে সাধারণ বা ক্লাসিক্যাল বা 'একক চলক' পরীক্ষণ বলা হয়। কিন্তু অনেক সময় বিশেষ করে কৃষিতাত্ত্বিক ও শারীরতাত্ত্বিক গবেষণায় গবেষকগণ একসাথে একাধিক ট্রিটমেন্টের সরাসরি প্রভাব ও তাদের আন্তঃক্রিয়া-উদ্ভূত প্রভাব সম্পর্কে জানতে বেশি আগ্রহী হন। একজন গবেষক একটি শস্য জাতের ফলনের উপর ভিন্ন বপন দূরত্ব এবং ভিন্ন সার প্রয়োগের আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব সম্পর্কে জানতে আগ্রাহী হয়ে গবেষণা পরিচালনা করতে চাইলে সেক্ষেত্রে আন্তঃক্রিয়া বিষয়ক বিশেষ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন উদ্ভাবন করা হয়েছে এবং এ ধরনের পরীক্ষণকে ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণ (Factorial Experiment) বলে।

ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের ক্ষেত্রে একাধিক ট্রিটমেন্টকে বিভিন্ন সন্নিবেশনে (combination) একক পরীক্ষণ সম্পাদন করা হয়।

উদাহরণস্বরূপ, যদি নাইট্রোজেনের দুই মাত্রায় n_0(নিম্নমাত্রা) এবং n_1 (উচ্চমাত্রা) এবং ফসফেটের দুই মাত্রায় p_0 (নিম্নমাত্রা) ও p_1 (উচ্চমাত্রা) ব্যবহার করে কোনো উপাদানিক পরীক্ষণ করা হয় ; তবে এ পরীক্ষণে n এবং p ফ্যাক্টরের সব ধরনের সন্নিবেশন যথা- n_0p_0, n_0p_1, n_1p_0, n_1p_1 ব্যবহার করে পরীক্ষণ করতে হয়।

৬.২. প্রধান ও আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব (Main and interaction effects)

ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের গুরুত্ব ও বিশ্লেষণ বুঝতে কিছু বিষয় জেনে নেওয়া প্রয়োজন।

মনে করি, বজরার দুটি জাত (V_0=দেশীয়, V_1 = সংকর) দু'ধরনের বপন দূরত্ব (S_0 = ৩০ সেমি., S_1 = 40 সেমি.) ব্যবহার করে একটি পরীক্ষণ করে নিচের উপাত্ত (ছক ৬.১) পাওয়া গেল ।

ছক ৬.১ : বজরার ফলন (কেজি/হেক্টর)

বপন দূরত্ব	জাত		গড়
	V_0	V_1	
S_0	780	1480	1130
S_1	1260	2540	1900
গড় ফলন	1020	2010	1515

এক্ষেত্রে নিম্নোক্ত বিষয়গুলো সুস্পষ্ট

৬.২.১. সাধারণ প্রভাব (General effect) : (যখন আন্তঃক্রিয়াকে গ্রাহ্য করা হয়) দ্বিতীয় ট্রিটমেন্টের একই মাত্রায় প্রথম ট্রিট্রমেন্ট দুটি মাত্রায় ফলনের পার্থক্য। একে প্রথম ট্রিট্রমেন্টের সাধারণ প্রভাব বলা হয়।

(১) ফলনের উপর জাতের সাধারণ প্রভাব (দেশী জাতের তুলনায় সঙ্কর জাতের) : ৩০ সেমি. দূরত্বের ক্ষেত্রে V_1 জাতের সাধারণ প্রভাব হলো (1480-780) বা 700 কেজি/হেক্টর।

(২) ৪০ সেমি. দূরত্বের ক্ষেত্রে V_1 জাতের (স্থানীয় জাতের উপর সঙ্কর জাতের) সাধারণ প্রভাব হলো (2540-1260) বা 1280 কেজি/হেক্টর।

(৩) স্থানীয় জাত V_0 এর ক্ষেত্রে ৩০ সেমি. দূরত্বের উপর ৪৫ দূরত্বের (S_1–এর) প্রভাব = (1260-780) বা 480 কেজি/হেক্টর।

(৪) সঙ্কর জাতের (V_1) ক্ষেত্রে ৩০ সেমি. দূরত্বের উপর ৪০ সেমি. দূরত্বের (S_1 প্রভাব = (2540 - 1480) বা 1060 কেজি/হেক্টর

এভাবে দেখা যায় যে, জাতের জন্য 700 কেজি/হেক্টর এবং 1280 কেজি/হেক্টর এ দুটি সাধারণ প্রভাব এবং দূরত্বের জন্য 480 কেজি/হেক্টর এবং 1060 কেজি/হেক্টর এই দুটি সাধারণ প্রভাব রয়েছে।

৬.২.২. প্রধান প্রভাব (Main effects) : যখন আন্তঃক্রিয়া অগ্রাহ্য করা হয় তখন সাধারণ প্রভাবের গড়কেই প্রধান প্রভাব হিসেবে ধরা হয়। এ মানের সাহায্যে অন্য সব ফ্যাক্টরের স্তরের উপর একটি ফ্যাক্টরের গড় প্রভাব বোঝানো হয়।

প্রধান প্রভাব–১ :

জাতের ফলনের উপর যে কোনো দূরত্বের প্রভাব = $\frac{700+1280}{2}$ বা 990 কেজি/হেক্টর।

প্রধান প্রভাব–২ :

জাত নির্বিচারে ফলনের উপর দূরত্বের প্রভাব = $\frac{480+1060}{2}$ বা 770 কেজি/হেক্টর।

৬.২.৩. আন্তঃক্রিয়া (Interaction) : ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণে আন্তঃক্রিয়া নামক একটি নতুন এবং অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বিষয়ের ধারণা পাওয়া যায়। একটি ফ্যাক্টর অন্য একটি ফ্যাক্টরের ফলাফলের উপর কতটুকু প্রভাব ফেলে তার ভিত্তিতে আন্তঃক্রিয়ার হিসাব করা

হয়। এ দৃষ্টিতে আন্তঃক্রিয়াকে ডিফারেন্সিয়্যাল প্রতিক্রিয়া হিসেবে চিহ্নিত করাই সমীচীন। পূর্বে উল্লেখিত উদাহরণে জাতের সাধারণ প্রভাব 700 কেজি/হেক্টর এবং 1280 কেজি/হেক্টর। যদি ফলনের উপর জাতের প্রভাব অন্য ফ্যাক্টর (দূরত্ব) থেকে স্বাধীন হতো (দূরত্বের প্রভাব না থাকত তাহলে জাত দুটি সাধারণ প্রভাব একই হতো। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এ প্রভাব দুটির পার্থক্য তৃতীয় একটি ফ্যাক্টরের প্রভাব নির্দেশ করে। এ তৃতীয় ফ্যাক্টরটি হলো দুটি ফ্যাক্টরের পরস্পর নির্ভরশীলতা যা আন্তঃক্রিয়া নামে অভিহিত।

সাধারণ প্রভাবের গড় পার্থক্য দিয়ে আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব হিসাব করা হয়। প্রদত্ত উদাহরণে জাত এবং দূরত্বের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব হলো (1280-700)/2 =) 290 কেজি/হেক্টর। দূরত্বের সাধারণ প্রভাব থেকেও দেখা যায় যে, আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব (1060-480)/2 =) 270 কেজি/হেক্টর।

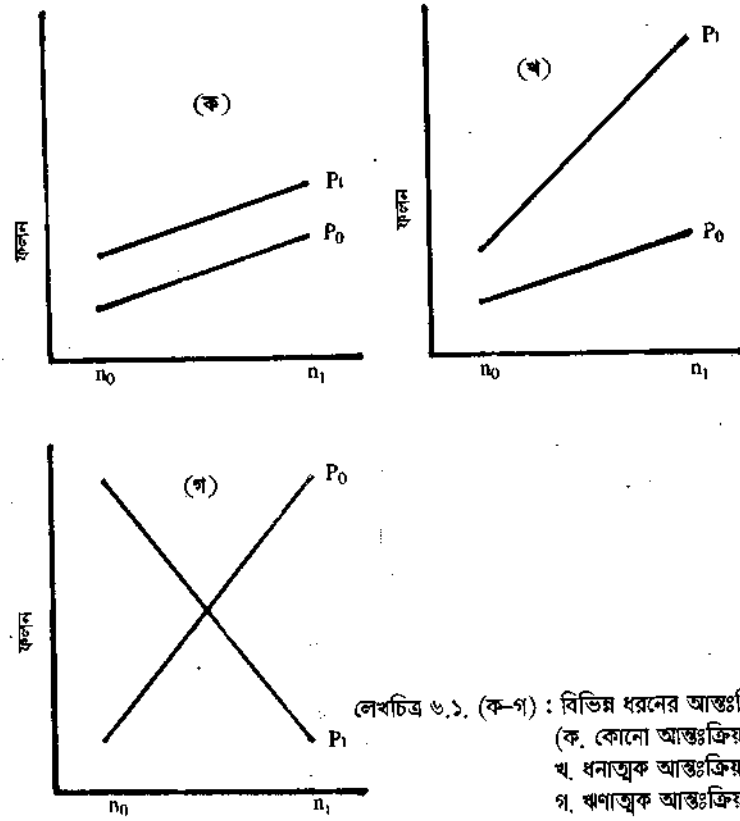
অন্যভাবে আন্তঃক্রিয়ার ধারণা ব্যাখ্যা করা যায়। ধরা যাক, একটি ধানের জাতের ফলন পরীক্ষণে প্রতি হেক্টর জমিতে ২৫০ কেজি চুন প্রয়োগে ১০০ কেজি/হেক্টর ফলন বৃদ্ধি পায় এবং ৩০ কেজি/হেক্টর নাইট্রোজেন প্রয়োগ করা হলে ৪০ কেজি/হেক্টর ফলন বৃদ্ধি পায়। আবার ২৫০ কেজি/হেক্টর চুন এবং ৩০ কেজি/হেক্টর নাইট্রোজেন একসাথে প্রয়োগ করার ফলে ফলনের উপর তাদের একক এবং সম্মিলিত প্রভাবের ফলেই ১৬০ কেজি/হেক্টর ফলন বৃদ্ধি পেয়েছে।

চুন এবং নাইট্রোজেনের একক প্রভাব = (১০০ + ৪০) বা ১৪০ কেজি/হেক্টর ফলন। অতএব, অতিরিক্ত (১৬০-১৪০) বা ২০ কেজি/হেক্টর ফলন হলো ফ্যাক্টর দুটির আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব। এভাবে ফলনের উপর তিনটি স্বাধীন প্রভাবের বিষয় উল্লেখ করা যায়। দুটি ফ্যাক্টরের সরাসরি প্রভাব এবং অন্য ফ্যাক্টরটি হলো এদের আন্তঃক্রিয়া।

ফ্যাক্টোরিয়াল পরীক্ষণে এ আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব নিরূপণ একটি বিশেষ দিক। লেখচিত্র ৬.১ (ক), ৬.১ (খ) এবং ৬.১ (গ) এর সাহায্যে আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব দেখানো হলো।

লেখচিত্র ৬.১ (ক) এ ফলনের উপর নাইট্রোজেন এবং ফসফরাসের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাবের অনুপস্থিতি দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে দেখা যায় যে, ফসফরাসের মাত্রা P_0 বা P_1 যাই হোক না কেন, নাইট্রোজেনের পরিমাণ বৃদ্ধির সাথে সাথে ফলন বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ ফসফরাসের মাত্রা P_0 থেকে P_1 এ পরিবর্তন করা হলে তা নাইট্রোজেনের প্রভাবের কোনো পরিবর্তন ঘটায় না।

কিন্তু লেখচিত্র ৬.১ (খ) এ দেখা যায়, ফসফরাসের মাত্রা P_0 থেকে P_1 এ পরিবর্তনের করা হলে ফলনের উপর ফসফরাসের পরিমাণ প্রভাব পরিবর্তিত হয়ে যায়। যেহেতু এ পরিবর্তনের ফলে ফলন বৃদ্ধি পায় সেজন্য এ ধরনের আন্তঃক্রিয়া ধনাত্মক।



লেখচিত্র ৬.১. (ক–গ) : বিভিন্ন ধরনের আন্তঃক্রিয়া (ক. কোনো আন্তঃক্রিয়া নেই, খ. ধনাত্মক আন্তঃক্রিয়া, গ. ঋণাত্মক আন্তঃক্রিয়া)

লেখচিত্র ৬.১. (ক–গ) : বিভিন্ন ধরনের আন্তঃক্রিয়া, (ক. কোনো আন্তঃক্রিয়া নেই, খ. ধনাত্মক আন্তঃক্রিয়া, গ. ঋণাত্মক আন্তঃক্রিয়া)

আবার লেখচিত্র ৬.১ (গ) এ দেখা যায় যে, ফসফরাস মাত্রা P_0 থেকে P_1 এ বৃদ্ধি করলে নাইট্রোজেন মাত্রার প্রভাবে ফলন হ্রাস পায়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে ফলনের উপর নাইট্রোজেন ও ফসফরাসের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব ঋণাত্মক।

৬.৩. ফ্যাক্টোরিয়াল পরীক্ষণে প্রাপ্তি (Gains in Factorial Experiment)

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে, পৃথকভাবে কোনো ফ্যাক্টর এবং এদের তুলনা সম্পর্কে অন্য যে কোনো একক পরীক্ষণ অপেক্ষা ফ্যাক্টোরিয়াল পরীক্ষণে একই সাথে অনেক বেশি তথ্য

লাভ করা যায় এবং এ ধরনের পরীক্ষণে একসাথে অনেক ফ্যাক্টরের পরীক্ষণ করা যায়। নিচে সংক্ষিপ্ত আলোচনা থেকে তা আরো ভালোভাবে বোঝা যায়।

ধরা যাক, একজন গবেষক গমের একটি সঙ্কর জাতের ফলনের উপর বিভিন্ন বীজ দূরত্ব এবং বীজমাত্রার প্রভাব পরীক্ষা করতে চান। তিনি বিভিন্ন বীজমাত্রার প্রভাব পরীক্ষণের জন্য একটি এবং বিভিন্ন দূরত্বের প্রভাব পরীক্ষণের জন্য অন্য একটি অর্থাৎ দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে পৃথক দুটি পরীক্ষণ পরিকল্পনা গ্রহণ করতে পারেন। যদি তিনি চারটি সমলিপনে তিনটি বীজমাত্রা এবং পাঁচটি সমলিপনে তিনটি বীজদূরত্ব নিয়ে পরীক্ষা করতে চান, তাহলে তাঁর সর্বমোট $(4 \times 3 + 5 \times 3 =)$ 27টি প্লটের প্রয়োজন হবে। এ দুটি পৃথক পরীক্ষণ থেকে শুধু বীজমাত্রা ও বীজদূরত্বে প্রধান প্রভাব জানা যাবে। উভয় পরীক্ষণের ক্ষেত্রে অপেক্ষাকৃত কম মুক্তমাত্রায় ত্রুটি উপাদান হিসাব করা হয় যা নিম্নোক্ত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক (ছক ৬.২) থেকে বোঝা যায়।

ছক ৬.২ : বীজ দূরত্ব ও বীজমাত্রাকে আলাদাভাবে ধরে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক

বীজদূরত্ব পরীক্ষণ

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা
সমলিপন	৪
বীজ দূরত্ব	২
ত্রুটি	৮
মোট	১৪

বীজমাত্রা পরীক্ষণ

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা
সমলিপন	৩
বীজমাত্রা	২
ত্রুটি	৬
মোট	১১

যদি সেই গবেষক ৩ × ৩ উপাদান পরীক্ষণের (৩ বীজমাত্রা × ৩ বীজদূরত্ব) সাহায্যে নয়টি কম্বিনেশনে তিনটি সমলিপন ব্যবহারের ২৭টি প্লট ব্যবহার করতেন, তাহলে তিনি পূর্বোক্ত পরীক্ষায় ৪টি বীজমাত্রার প্লট এবং ৫টি বীজদূরত্বের প্লট প্রাপ্ত ফলন গড় অপেক্ষা এ পরীক্ষণে প্রতিটি বীজমাত্রা এবং প্রতিটি বীজদূরত্বের জন্য ৭টি প্লটের ফলন গড় হিসাব অনেক বেশি সুবিধাজনক।

আবার ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণ পদ্ধতির মাধ্যমে বীজমাত্রা এবং বীজদূরত্বের সমন্বিত প্রভাব বা আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব সম্পর্কে জানা যায় যা সেই দুই পৃথক পরীক্ষণের মাধ্যমে জানা মোটেও সম্ভব নয়। এক্ষেত্রে প্রাপ্ত ত্রুটি মুক্তমাত্রা ১৬ যা সেই পরীক্ষণ দুটি প্রত্যেকটির ত্রুটি মুক্তমাত্রার দ্বিগুণের সমান বা দ্বিগুণ অপেক্ষা বেশি (ছক – ৬.৩)।

এভাবে প্লট সংখ্যা বৃদ্ধি না করে উপাদানিক পরীক্ষণ পদ্ধতির মাধ্যমে গমের ফলনের উপর বীজমাত্রা ও বীজদূরত্বের প্রভাব এবং তাদের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব অনেক বেশি সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায়।

ছক ৬.৩ : উপাদানিক পরীক্ষণে ত্রুটি মুক্তমাত্রায় হিসাব

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা
সমলিপন	২
বীজমাত্রা	২
বীজদূরত্ব	২
বীজমাত্রা × বীজদূরত্ব	৪
ত্রুটি	১৬
মোট	২৬

৬.৪. প্রধান ও আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব নির্ণয় পদ্ধতি (Method of estimating main and interaction effects) :

মনে করি, তিনটি পুষ্টি (N, P, K) সমন্বিত সার এবং এদের বিভিন্ন কম্বিনেশনে আন্তঃক্রিয়া যথা- NP, PK, NK, NPK আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব এবং N, P ও K এর প্রধান প্রভাব পরিমাপ করতে হবে। নিচের সূত্র ব্যবহার করে এগুলো নির্ণয় করা যায়।

$$N = \frac{1}{4}[\{(npk) - (pk)\} + \{np) - (p)\} + \{(np)-(p)\} + \{(nk-k)-(k)\} + \{(n)-(1)\}]$$

$$= \frac{1}{4}[\{(n) + (np) + (nk) + (npk)\} - \{(1) + (p) + (k) + (pk)\}]$$

$$= \frac{1}{4}(n-1)(p+k)(k+1)$$

একইভাবে—

$$p = \frac{1}{4}(p-1)(n+1)(k+1)$$

$$K = \frac{1}{4}(k-1)(n+1)(p+1)$$

পরবর্তীতে প্রথম স্তরের আন্তঃক্রিয়া নিম্নোক্ত সূত্র ব্যবহার করে পরিমাপ করা হয়।

$$NP = \frac{1}{4}(n-1)(p-1)(k+1)$$

$$PK = \frac{1}{4}(p-1)(k-1)(n+1)$$

$$NK = \frac{1}{4}(n-1)(K-1)(p+1)$$

এরপর দ্বিতীয় স্তরের আন্তঃক্রিয়া পরিমাপের জন্য নিম্নোক্ত সূত্র ব্যবহার করা হয়।

$$NPK = \frac{1}{4}(n-1)(p-1)(k-1)$$

অতএব তিনটি প্রধান এবং বিভিন্ন আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব নিম্নরূপ—

$$N = (n-1)(p+1)(k+1)$$

$P = (p - 1)(n + 1)(k + 1)$
$K = (k - 1)(n + 1)(p + 1)$
$NP = (n - 1)(p - 1)(k + 1)$
$PK = (p - 1)(k - 1)(n + 1)$
$NK = (n - 1)(k - 1)(p + 1)$
$NPK = (n - 1)(p - 1)(k - 1)$

এভাবে বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের প্রধান ও আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব পরিমাপ করতে হয়।

পরবর্তীকালে ইয়েটস্ (Yates) সহজতর এক পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। এ পদ্ধতিতে প্রথমে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট ও সেগুলোর সমন্বয় নিম্নোক্তভাবে সাজিয়ে নেয়া হয় এবং এগুলোকে ছকের (ছক – ৬.৪) প্রথম কলামে সাজানো হয়।

(i) n p np k nk pk npk

এরপর ছকের দ্বিতীয় কলামে (column) সংশ্লিষ্ট উপাত্ত সাজানো হয়, পরবর্তীতে উপাত্তকে তিনটি পর্যায়ে বিশ্লেষণ করা হয়।

প্রথম পর্যায়ে সমস্ত উপাত্ত ছকে দেওয়া সূত্র অনুযায়ী চারটি দলে ভাগ করা হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ে ছকের তৃতীয় কলামে দেওয়া সূত্র অনুযায়ী পুনরায় চারটি দলে উপাত্ত তৈরি করা হয়। তৃতীয় ধাপে ছকের চতুর্থ কলামে দেওয়া সূত্র অনুযায়ী বিশ্লেষণ করে সাজানো হয়। এর থেকেই পঞ্চম কলামে দেওয়া বিভিন্ন প্রভাব পাওয়া যাবে।

ছক ৬.৪

উপাদান	ধাপ-১	ধাপ-২	ধাপ -৩
1	n+1	np+p+n+1	npk+pk+k+np+p+n+1
n	np+1	npk+pk+nk+k	npk-pk+nk-k+np-p+n-1
p	nk+k	np-p+n-1	npk+pk-nk-k+np+p-n-1
np	np+pk	npk-pk+nk-k	npk-pk-nk+k+np-p-n-1
k	n-1	np+p-n-1	npk+pk+nk+k-np-p-n-1
nk	np-p	npk+pk-nk-k	npk-pk+nk-k-np+p-n+1
pk	nk-k	np-p-n+1	npk+pk-nk-k-np-p+n+1
npk	npk-pk	npk-pk-nk+k	npk-pk-nk+k-np+p+n-1

৬.৫. দুই স্তরাধিক ফ্যাক্টরিয়াল ডিজাইনে ব্যবহৃত বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Analytical technique in case of more than two levels factorial designs)

ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণে আমরা প্রতিটি ট্রিটমেন্টের দুই বা তার অধিক যে কোনো স্তর ব্যবহার করতে পারি। দুই-এর অধিক স্তরবিশিষ্ট পরীক্ষণে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট প্রধান ও তাদের আন্তঃক্রিয়া প্রভাব পরিমাণ করার পদ্ধতি নিচে বর্ণনা করা হলো।

মনে করি, P এবং Q দুটি ট্রিটমেন্টের যথাক্রমে m এবং n স্তর ব্যবহার করে একটি পরীক্ষণ করা হলো।

এখন,

P এর স্তর ⟶ p_1, p_2, p_3 ..... pm

Q এর স্তর ⟶ q_1, q_2, q_3 .... q_n

অতএব, ট্রিটমেন্টগুলোর সর্বমোট কম্বিনেশন হবে mn। যদি সমলিপনের সংখ্যা n হয়, তবে ছক ৬.৫ আকারে উপাদান, উপাদান কম্বিনেশন এবং সমলিপনভিত্তিক উপাত্ত সাজানো যাবে। তারপর নিচে উল্লেখিত পদ্ধতি অবলম্বনে উপাত্তের বিশ্লেষণ করা যাবে।

ছক ৬.৫

P/Q	q_1	q_2	q_3	... q_n	মোট
p_1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	... x_{1n}	R_1
p_2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	... x_{2n}	R_2
p_3	px_{31}	x_{32}	x_{33}	... x_{3n}	R_3
p_m	px_{m1}	x_{m2}	x_{m3}	... x_{mn}	R_m
মোট	C_1	C_2	C_3	... C_n	GT

৬.৫.১. বিভিন্ন উৎসজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয়

(ক) শোধক মান (CF) = $\frac{(G.T.)^2}{r_{mn}}$; এখানে $N = r_{mn}$

(খ) মোট বর্গসমষ্টি = $\left(x_{11}^2 + x_{12}^2 + \ldots + \frac{x^2 mn}{r} \right) - CF$ (2,11)

(গ) P ট্রিটমেন্ট বর্গসমষ্টি = $\left(\frac{R_1^2 + R_2^2 + \ldots\ldots\ldots R^2 m}{r_n} \right) - CF$

(ঘ) Q ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি $\left(\frac{C^2 1 + C^2 2 + \ldots\ldots + C^2 n}{r_m} \right) - CF$

(ঙ) P ও Q এর আন্তঃক্রিয়াজনিত

= বর্গসমষ্টি [সর্বমোট বর্গসমষ্টি] — [P জনিত বর্গসমষ্টি] – [Q জনিত বর্গসমষ্টি]

ছক ৬.৬. : ভেদাঙ্কের উৎস ও সংশ্লিষ্ট মুক্তমাত্রা দেখানো হলো—

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)
P	m-1
Q	n-1
PQ আন্তঃক্রিয়া	(m-1) (n-1)
মোট	mn-1

৬.৫.২. আদর্শ ত্রুটি (S.E.) ও সর্বনিম্ন তাৎপর্যপূর্বস্তার পার্থক্য (LSD) নির্ণয় : F পরীক্ষায় যদি দেখা যায় যে, ট্রিটমেন্টগুলোর প্রধান প্রভাব ও আন্তঃক্রিয়ার গড় বর্গসমষ্টি তাৎপর্যপূর্ণ হয়, তবে বিভিন্নভাবে ট্রিটমেন্টের গড় মানের মধ্যে তুলনা করতে হবে। নিচে বিষয়টি বিস্তারিত বর্ণনা করা হলো।

(ক) P ট্রিটমেন্টের প্রধান প্রভাব তুলনা করতে $SE = \sqrt{\frac{2VE}{nr}}$;

এখানে p–এর স্তর m হওয়াতে p-এর প্রত্যেকটি স্তরের গড় মান বের করতে এর সমষ্টিকে nr দিয়ে ভাগ করা হয়। এখানে উল্লেখ্য যে, সমলিপন সংখ্যা r হলেও এর সাথে n সম্পৃক্ত, n জনিত এ সমলিপনকে গুপ্ত সমলিপন (hidden replication) বলা হয়।

(খ) একইভাবে Q–এর প্রধান প্রভাব তুলনা করতে, $SE = \sqrt{\frac{2VE}{mr}}$

(গ) বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট কম্বিনেশনের প্রভাব তুলনা করতে, $SE = \sqrt{\frac{2VE}{r}}$

এখানে প্রতিটি গড় শুধু r সংখ্যক উপাত্তের উপর ভিত্তি করে হিসাব করা হয়েছে।

(ঘ) পরবর্তীতে ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) নির্ণয় করা হয়।

LSD= SE × ত্রুটিজনিত মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে t এর মান।

৬.৬. ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের সুবিধা ও অসুবিধা

৬.৬.১. সুবিধা : ফ্যাক্টোরিয়্যাল পরীক্ষণের প্রধান সুবিধা পূর্বে উল্লেখিত উদাহরণের মাধ্যমে আলোচনা করা হয়েছে। মূলত এ ধরনের পরীক্ষণের সুবিধাগুলো নিম্নরূপ—

(ক) পরীক্ষণ উপাদানের যথোপযুক্ত ব্যবহার।

(খ) বিভিন্ন ফ্যাক্টরের উপস্থিতিতে ফ্যাক্টরগুলোর প্রভাব হিসাব করা হয় বলে প্রাপ্ত ফলাফল অতি সরলিকৃত।

(গ) ফ্যাক্টরগুলার আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব জানা যায়—যা অন্য কোনো একক পরীক্ষণের মাধ্যমে জানা সম্ভব নয়।

(ঘ) সমলিপন এবং ত্রুটির মুক্তমাত্রা বেশি হয় বলে অপেক্ষাকৃত অধিক সূক্ষ্মতার ভিত্তিতে ফলাফল তুলনা করা যায়।

৬.৬.২. অসুবিধা : ফ্যাক্টোরিয়্যাল পরীক্ষণের অনেক সুবিধা থাকলেও এ পদ্ধতির যে একেবারে অসুবিধা নেই তা নয়। পরীক্ষণ উপাদান বৃদ্ধির সাথে সাথে তাদের সমন্বয় সংখ্যা বা আন্তঃক্রিয়ার সংখ্যাও বৃদ্ধি পায় যা পরীক্ষণ পরিচালনা ও উপাত্ত বিশ্লেষণে যথেষ্ট জটিলতা

সৃষ্টি করে। তাছাড়া বেশি পরীক্ষণ উপাদানের ক্ষেত্রে প্লটের সমসত্ত্বতা রক্ষা করাও বেশ কঠিন হয়ে পড়ে। আবার পরীক্ষক যদি সব ফ্যাক্টরের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব জানার প্রয়োজনীয়তা মনে করেন তাহলেও সম্পূর্ণ ফ্যাক্টোরিয়্যাল পরীক্ষণ সম্পন্ন করতে হয় যা ট্রিটমেন্ট, সময় এবং শ্রমের অপচয় ছাড়া আর কিছু নয়।

৬.৭. ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের উদাহরণ (১)

দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে ধানের একটি উন্নত জাতে নিম্নলিখিত ট্রিটমেন্ট সমন্বয় ব্যবহার করে যে ফলাফল পাওয়া গেল তা নিচে (ছক – ৬.৭) উল্লেখ করা হলো। উপাত্ত বিশ্লেষণপূর্বক আন্তঃক্রিয়ার আলোকে তোমার মতামত ব্যক্ত কর।

১. N_0 = O এবং N_1 = 60 কেজি/হেক্টর N. সার (অ্যামোনিয়াম সালফেট হিসেবে)

২. P_0 = O এবং P_1 = 40 কেজি/হেক্টর P_2O_5 (সুপার ফসফেট হিসেবে)

৩. K_0 = O এবং K_1 = 30 কেজি/হেক্টর K_2O (পটাশিয়াম সালফেট হিসেবে)

ছক ৬.৭ : ডিজাইন পরিকল্পনা ও ফলন (কেজি/প্লট)

I	$N_1P_0K_0$ 14.0	$N_0P_1K_0$ 16.4	$N_1P_1K_1$ 20.1	$N_0P_0K_0$ 15.5	$N_0P_1K_1$ 17.2	$N_1P_0K_1$ 17.5	$N_0P_0K_1$ 16.0	$N_1P_1K_0$ 18.0
II	$N_0P_0K_1$ 14.0	$N_0P_1K_1$ 13.5	$N_1P_1K_1$ 16.2	$N_0P_1K_0$ 14.5	$N_1P_1K_0$ 14.5	$N_1P_0K_0$ 15.0	$N_0P_0K_0$ 13.0	$N_1P_0K_1$ 18.6
III	$N_0P_0K_0$ 10.5	$N_1P_0K_0$ 12.0	$N_1P_1K_1$ 14.0	$N_0P_0K_1$ 11.2	$N_1P_0K_1$ 13.5	$N_0P_1K_0$ 11.0	$N_1P_1K_0$ 14.5	$N_0P_1K_1$ 10.5
IV	$N_1P_0K_0$ 16.5	$N_0P_0K_0$ 14.0	$N_1P_0K_1$ 13.5	$N_0P_1K_1$ 12.0	$N_1P_1K_0$ 14.5	$N_0P_0K_1$ 15.8	$N_1P_1K_1$ 12.5	$N_0P_1K_1$ 15.0

১ম ধাপ : মোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

সর্বমোট বগসমষ্টি

$$= (14)^2 + (16.4)^2 + (20.1)^2 + (15.5)^2 + (17.2)^2 + (17.5)^2 + (16)^2 + (18)^2 + (14)^2 + (13.5)^2 + (16.2)^2 + (14.5)^2 + (14.5)^2 + (15)^2 + (13)^2 + (18.6)^2 + (10.5)^2 + (12)^2 + (14)^2 + (11.2)^2 + (13.5)^2 + (11)^2 + (14.5)^2 + (10.5)^2 + (16.5)^2 + (14)^2 + (13.5)^2 + (12)^2 + (14.5)^2 + (15.8)^2 + (12.5)^2 + (15)^2$$

= 6927.54 - শোধক মান (C.F.)

$$\text{শোধক মান (CF)} = \frac{(\text{মোট ফলন})^2}{\text{উপাত্তের মোট সংখ্যা}}$$

$$= \frac{\{(14) + (16.4) + (20.1) + \ldots\ldots + (12.5) + (15)\}^2}{32}$$

$$= \frac{(465)^2}{32}$$
$$= 6757.03$$

∴ সর্বমোট বর্গসমষ্টি = 6927.54 - 6757.03
= 170.51

২য় ধাপ : সমলিপন বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

$$\text{সমলিপন বর্গসমষ্টি} = \frac{\Sigma(\text{প্রতি সমলিপনে মোট ফলন})^2}{\text{প্রতি সমলিপনে উপাত্তের সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{(14 + 16.4 + 20.1+15.5+17.2+17.5+16 +18)^2 + (14+13.5 + 16.2 + 14.5 + 14.5 + 15+13+18.6)^2 + (10.5 + 12+14+11.2 + 13.5+11+14.5+10.5)^2 + (16.5 +14+13.5 +12 + 14.5 + 15.8 + 12.5 + 15)^2}{8}$$

$$\text{শোধক মান} = \frac{(134.7)^2+(119.3)^2 + (97.2)^2 + (113.8)^2}{8} - 6757.0312$$

$$= \frac{54774.86}{8} - 6757.0312$$
$$= 6846.86 - 6757.03$$
$$= 89.83$$

৩য় ধাপ : বিভিন্ন সারের এককভাবে এবং সমন্বিতভাবে বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

ছক ৬.৮ : (Yates এর 2^3 পদ্ধতি অনুসরণে)

$N_0P_0K_0$ 0	15.5+13.0 +10.5+14. 0=53=x_1	$x_1+x_2=y_1$= 110.5	$y_1+y_2=z_1$= 228.9	A z_1+z_2 =465.0	বর্গসমষ্টি $=\frac{(A)}{r}$ এখানে, r=সমলিপন সংখ্যা n=প্রধান প্রভাবক সংখ্যা
$N_1P_0K_0$= N	14+15+12 +16.5=57. 5=x_2	$x_3+x_4=y_2$= 118.4	$y_3+y_4=z_2$= 236.1	z_3+z_4= 24.8	$\frac{(24.8)^2}{4\times2^3}$ = 19.215
$N_0p_1K_0$= P	16.4+14.5 +11+15=5 9.9= x_3	$x_5+x_6=y_3$= 120.1	$y_5+y_6=z_3$= 9.1	z_5+z_6=3.8	$\frac{(3.8)^2}{32}$ = 0.45

$N_1P_1K_0$= NP	18+14.5+14.5+14.5=61.5=x_4	x_7. x_8=y_4=116.0	y_7+y_8=z_4=15.7	z_7+z_8=3.6	$\frac{(3.6)^2}{32}$ = 0.40
$N_0P_0K_1$= K	16+14+11.2+15.8=57=x_5	x_2-x_1=y_5=4.5	y_2-y_1 =Z_5=7.9	Z_2+-z_1=7.2	$\frac{(7.2)^2}{32}$ = 1.62
$N_1P_0K_1$= NK	17.5+18.6+13.5+13.5=63.1=x_6	x_4-x_3 =y_6=4.6	y_4-y_3=Z_6=4.1	z_4+-z_3=6.6	$\frac{(6.6)^2}{32}$ = 1.36
$N_0P_1K_1$= PK	17.2+13.5+10.5+12=53.2=X_7	x_6-x_5=y_6=6.1	y_6-y_5=Z_7=0.7	z_6-z_5= -12.0	$\frac{(-12.0)^2}{32}$ = 4.9
$N_1P_1K_1$= NPK	20.1+16.2+14+12.5=62.8=x_8	x_8-x_7= y_8=9.6	y_8- y_7=z_8=3.5	z_8-z_7=3.4	$\frac{(3.4)^2}{32}$ = 0.36

৪র্থ ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি

ছক ৬.৯ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS) = বর্গসমষ্টি / মুক্তমাত্রা	F-এর নির্ণয়কৃত মান = গড় বর্গ / গড় ত্রুটি বর্গসমষ্টি
সমলিপন	3	89.8	29.94	
নাইট্রোজেন (N)	1	19.21	19.21	7.65
ফসফরাস (p)	1	0.45	0.45	0.18
N×P	1	0.40	0.40	0.16
পটাশিয়াম (K)	1	1.62	1.62	0.65
N×K	1	1.36	1.36	0.54
P×K	1	4.50	4.50	1.71
N×P×K	1	0.36	0.36	0.14
ত্রুটি	21	52.78	2.51	
মোট	31	170.51		

সিদ্ধান্ত : (1.21) মুক্তমাত্রার ৫% স্তরে F-এর তত্ত্বীয় মান 4.32 এখন দেখা যায় যে, শুধু নাইট্রোজেনের ক্ষেত্রে F-এর নির্ণয়কৃত মান তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বেশি। অতএব, ফলনের উপর শুধু নাইট্রোজেন সার প্রয়োগের তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব রয়েছে। কিন্তু ফসফরাস,

পটাশিয়াম, ফসফরাস ও পটাশিয়াম সমন্বয় এবং নাইট্রোজেন-ফসফরাস-পটাশিয়াম সন্নিবেশনের জন্য ফলনের উপর কোনো তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব নেই।

৫ম ধাপ : গড় এবং ফলাফল ভিন্নতার হিসাব—

গড় ফলাফল (Mean responses) = $\frac{A}{r2^{n-1}}$

ফলাফল ভিন্নতা (I) উপস্থিতিতে = $\frac{A+A\times B}{r2^{n-1}}$

(II) অনুপস্থিতিতে = $\frac{A-A\times B}{r2^{n-1}}$

ছক ৬.১০

	N		P		K		গড় ফলাফল (Mean responses)
	P	A	P	A	P	A	
N	-	-	1.775	1.325	1.96	1.137	1.55
P	0.4625	0.0125	-	-	0.65	-0.175	0.2375
K	0.860	0.0375	1.20	0.030	-	-	0.45

এখানে, P=উপস্থিতিতে, A= অনুপস্থিতিতে

গড় ফলাফলের আদর্শ ত্রুটি = $\sqrt{\frac{se^2}{r2^{n-3}}} = \sqrt{\frac{2.51}{8}} = 0.56$

ফলাফল ভিন্নতার আদর্শ ত্রুটি = $\sqrt{\frac{se^2}{r2^{n-3}}} = \sqrt{\frac{2.51}{4}} = 0.79$

উদাহরণ (২) : ৬.৭.২ গমের একটি উন্নত জাতের ফলনের উপর নাইট্রোজেনের চারটি ভিন্ন মাত্রা (n_0, n_1, n_2, n_3) এবং তিনটি ভিন্ন বপন সময় (s_1, s_2, s_3) এর বিভিন্ন কম্বিনেশনের প্রভাব জানতে পরীক্ষণ করে প্রাপ্ত প্লটভিত্তিক উপাত্ত নিচে প্রদত্ত হলো।

উল্লিখিত উপাত্ত বিশ্লেষণ করে মতামত দিতে হবে। এখানে নাইট্রোজেন সার হিসেবে এমোনিয়াম সালফেট ব্যবহার হয়েছে এবং N_0 অর্থ কন্ট্রোল (control) অর্থাৎ সারবিহীন।

ব্লক - ১

	n_0	n_1	n_2	n_3
s_1	8.3	9.3	11.3	10.5
s_2	5.7	4.7	5.3	6.5
s_3	5.0	7.0	3.3	2.7

মোট = 79.6

ব্লক - ২

	n_0	n_1	n_2	n_3
s1	10.3	9.0	11.5	15.7
s_2	4.5	5.3	5.5	8.3
s_3	4.7	8.3	3.3	4.3

মোট = 90.7

ব্লক – ৩

	n_0	n_1	n_2	n_3
s_1	8.0	9.5	11.3	10.5
s_2	8.3	8.0	8.0	8.0
s_3	1.5	2.5	2.5	1.3

মোট = 79.4

ব্লক – ৪

	n_0	n_1	n_2	n_3
s_1	8.0	11.7	11.7	11.7
s_2	8.5	9.3	8.7	9.0
s_3	3.0	3.5	1.0	2.5

মোট = 88.3

ব্লক – ৫

	n_0	n_1	n_2	n_3
s_1	6.0	11.3	14.7	10.3
s_2	5.3	5.3	8.5	6.3
s_3	3.7	6.7	6.3	4.0

মোট = 88.4

ব্লক – ৬

	n_0	n_1	n_2	n_3
s_1	8.5	10.7	15.0	15.0
s_2	4.3	6.7	11.3	8.5
s_3	4.5	4.5	8.0	7.7

মোট = 104.7

ধাপ ১. উপাত্তের বিশ্লেষণ : এখানে মোট N (4) × S (3) = ১২টি সমন্বয় আছে। প্রথমে উপাত্তকে এই ১২টি সমন্বয়ে এবং ৬টি সমলিপনভিত্তিক সাজানো হলো (ছক ৬.১১)।

ছক ৬.১১

ট্রিটমেন্ট কম্বিনেশন	ব্লক (সমলিপন) ১	২	৩	৪	৫	৬	মোট	গড়
s_1n_0	8.3	10.3	8.0	8.0	8.0	8.5	49.1	8.2
s_1n_1	9.3	9.0	9.5	11.7	11.3	10.7	61.5	10.3
s_1n_2	11.3	11.5	11.3	11.7	14.7	15.0	76.5	12.6
s_1n_3	10.5	15.7	10.5	11.7	10.3	15.0	73.7	12.3
s_2n_0	5.7	4.5	8.3	8.5	5.3	4.3	36.6	6.1
s_2n_1	4.7	5.3	8.0	9.3	5.3	6.7	39.3	6.6
s_2n_2	5.3	5.5	8.0	8.7	8.5	11.3	47.3	7.9
s_2n_3	6.5	8.3	8.0	9.0	6.3	8.5	46.6	7.8
s_3n_0	5.0	4.7	1.5	3.0	3.7	4.5	22.4	3.7
s_3n_1	7.0	8.3	2.5	3.5	6.7	4.5	32.5	5.4
s_3n_2	3.3	3.3	2.5	1.0	6.3	8.0	24.4	4.1
s_3n_3	2.7	4.3	1.3	2.5	4.0	7.7	22.5	3.8
মোট	79.6	90.7	79.4	88.6	88.4	104.7	G.T.= 531.4	

(ক) শোধক মান $(CF) = \frac{(GT)^2}{snr} = \frac{(531.4)^2}{72}$

$= 3922.03$

(খ) সর্বমোট বর্গসমষ্টি $(ToSS) = (8.3^2 + 10.3^2 + \ldots\ldots + 7.7^2) - CF$

$= 842.29$

(গ) ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি (BSS) $= \left(\frac{79.6^2 + \ldots + 104.7^2}{12}\right) - CF$

$= 35.77$

(ঘ) ট্রিটমেন্ট কম্বিনেশনজনিত (ট্রিটমেন্টজনিত)

বর্গসমষ্টি (TSS) $= \left(\frac{49.1 + \ldots\ldots + 22.5^2}{6}\right) - CF$

$= 624.22$

(ঙ) ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (ESS) = (ToSS) - (BSS + TSS)

$= 842.29 - (35.77 + 624.22)$

$= 182.30$

(চ) ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি (ছক -- ৬.১২)

ছক ৬.১২

ভেদাঙ্কের উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F	F-এর তাত্ত্বিক মান 5%	1%
ব্লক	5	35.77	7.15			
উপাদান	11	624.22	56.74	17.14	1.92	2.50
ত্রুটি	55	182.30	3.31			
মোট	71	842.29				

যেহেতু F-এর নির্ণয়কৃত মান টেবিলে দেওয়া (11, 55 D.F) এর ১% স্তরের মান থেকেও বড়। অতএব নাইট্রোজেন সার ও বপন সময় এর ১২টি ভিন্ন সমন্বয়জনিত ভেদাঙ্ক অতি তাৎপর্যপূর্ণ। সে কারণে এ ১২টি সমন্বয়ের গড় মানের একে অপরের সাথে তুলনা করতে LSD নির্ণয় করা হলো।

LSD (5%) $= \sqrt{\frac{2 \times 3.31}{6}} \times$ 55 DF এর জন্য 5% স্তরে t এর মান

$= 2.10$ কেজি/প্লট

এখন ট্রিটমেন্টসমূহের (১২টি) গড় নিম্নক্রমানুসারে সাজানো হলো এবং বার লাইনের সাহায্যে LSD এর উপর ভিত্তি করে : বিভিন্ন দলভুক্ত করা হলো।

s_1n_2	s_1n_3	s_1n_1	s_1n_0	s_2n_2	s_2n_3	s_2n_1	s_2n_0	s_2n_0	s_3n_2	s_2n_3	s_3n_0
12.6	12.3	10.3	8.0	7.9	7.8	6.6	6.1	5.4	4.1	3.8	3.7

এ বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় যে, প্রথম বপনে (s_1) নাইট্রোজেন সারের N_2 মাত্রার ফলনের উপর প্রভাব সবচেয়ে বেশি এবং একই বপন সময়ে N_3 মাত্রায় নাইট্রোজেন সারের প্রভাব থেকে তা ভিন্ন। আবার s_2 বপন স্তরে নাইট্রোজেন সারের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতির মধ্যে কোনো তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নাই। আবার বপন সময় s_1 থেকে s_2 এবং s_3 পরিবর্তনের সাথে ফলনও ক্রমান্বয়ে কমতে থাকে। কিন্তু উপরোক্ত বিশ্লেষণ থেকে S এবং N এর মধ্যকার আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব সম্পর্কে সুস্পষ্ট ধারণা পাওয়া সম্ভব হয়নি। তবে পূর্বের বিশ্লেষণে যেহেতু S এবং N এর ১২টি ভিন্ন সমন্বয় এর প্রভাবজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ।

অতএব ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণভিত্তিক সার্বিক বিশ্লেষণ করা হলো। আর এর জন্য প্রথমে বপন সময় (S) এবং নাইট্রোজেন (N) মাত্রাভিত্তিক ২ × ২ ছকে (ছক ৬.১৩) উপাত্তকে সাজানো হলো।

ছক ৬.১৩

বপন সময়	নাইট্রোজেন সারের মাত্রা				মোট
	n_0	n_1	n_2	n_3	
s_1	49.1	61.5	75.5	73.7	259.8
s_2	36.6	39.3	47.3	46.6	169.8
s_3	22.4	32.5	24.4	22.5	101.8
মোট	108.1	133.3	147.2	142.8	531.4

এ ছক থেকে এটা সুস্পষ্ট যে, ফলনের উপর নাইট্রোজেনের প্রথম মাত্রার (n_1) প্রভাব রয়েছে এবং এর দ্বিতীয় মাত্রা (n_2) ফলনের আরও বৃদ্ধি ঘটিয়েছে। তবে এর তৃতীয় মাত্রা (n_3) ফলনকে n_2 মাত্রার তুলনায় কমিয়েছে। এক্ষেত্রে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ ছাড়া নাইট্রোজেন সারের বিভিন্ন মাত্রায় প্রাপ্ত ফলাফলের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করা সম্ভব নয়। বপন সময় ভিন্নতাজনিত পার্থক্য সম্পর্কেও ধারণা জানতেও বিশ্লেষণ প্রয়োজন। আবার ফ্যাক্টোরিয়াল বিশ্লেষণ ছাড়া S এবং N-এর মধ্যে আন্তঃক্রিয়া আছে কি-না তা জানা সম্ভব নয়। প্রকৃতপক্ষে আমরা বিস্তারিতভাবে নিম্নোক্ত প্রশ্নসমূহের উত্তর জানতে চাই।

(ক) বপনের সময় ভিন্নতাজনিত প্রাপ্ত গড় ফলনের মধ্যে পার্থক্য তাৎপর্যপূর্ণ কি-না?

(খ) নাইট্রোজেন সারের ভিন্ন মাত্রা থেকে উদ্ভূত ভিন্ন ফলনের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য আছে কি-না?

(গ) বপনের সময় (S) এবং নাইট্রোজেন সারের মাত্রা (N) এর মধ্যে উদ্ভূত আন্তঃক্রিয়া তাৎপর্যপূর্ণ কি-না?

এসব প্রশ্নের উত্তর পেতে পূর্বে নির্ণয়কৃত ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টির এবং মুক্তমাত্রার নিম্নোক্ত আঙ্গিকে বিভাজন করতে হবে।

(ক) বপনের সময় ভিন্নতাজনিত (s_1, s_2, s_3) গড় পার্থক্য বা বপন সময়জনিত প্রধান প্রভাব।

(খ) নাইট্রোজেন সারের ভিন্নমাত্রা (n_0, n_1, n_2, n_3) জনিত গড় পার্থক্য বা নাইট্রোজেনের প্রধান প্রভাব।

(গ) বপন সময় এবং নাইট্রোজেন সারের মাত্রা এর মধ্যে আন্তঃক্রিয়া।

এসব ভিন্ন বিষয় সংক্রান্ত বর্গসমষ্টি নিম্নোক্তভাবে পরিমাপ করা হলো।

(ক) শোধক মান (CF) = $\frac{(531.4)^2}{72} = 3922.03$

(খ) সর্বমোট বর্গসমষ্টি (ToSS) = $\frac{(49.1^2 + ... + 22.5^2)}{6}$ - CF

= 624.22, এ মান পূর্বে নির্ণয় করা ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টির সমান। প্রকৃতপক্ষে এ মানকেই এখন বিভাজন করা যাবে।

(গ) বপন সময় (S) জনিত বর্গসমষ্টি (S - SS)

$$= \frac{(259.8^2 + 169.8^2 + 101.8^2)}{24} - C.F.$$

= 523

(ঘ) নাইট্রোজেন সার (N) জনিত বর্গসমষ্টি (N - SS)

$$= \left(\frac{104.1^2 + ... + 142.8^2}{18}\right) - CF$$

= 50.98

(ঙ) S × N আন্তঃক্রিয়াজনিত বর্গসমষ্টি

= (To SS) - (S-SS) - (N-SS)

= 624.22 - 523.44 - 50.98

= 49.80

নির্ণয়কৃত মানগুলো ব্যবহার করে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক (ছক ৬.১৪) তৈরি করা হলো।

ছক ৬.১৪

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)
বপন সময়ে (S)	2	523.44
নাইট্রোজেন সার (N)	3	50.98
S × N আন্তঃক্রিয়া	6	49.80
ট্রিটমেন্ট	11	624.22

এখন S ও N এর প্রধান প্রভাবজনিত ভেদাঙ্ক এবং S × N আন্তঃক্রিয়াজনিত ভেদাঙ্ককে পূর্বে পরিমাণ করে ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক–এর সাথে তুলনা করে F পরীক্ষা করতে হবে। ছক ৬.১৫–এ ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের পূর্ণ বিষয়টি উপস্থাপন করা হলো।

ছক ৬.১৫ : সম্পূর্ণ ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গ সমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F	তত্ত্বীয় মান	
					5%	1%
সমলিপন (R)	5	35.77	7.15			
বপন সময় (S)	2	523.44	261.72	79.01**	3.15	4.98
নাইট্রোজেন সারের মাত্রা (N)	3	50.98	16.99	5.31**	2.76	4.13
আন্তঃক্রিয়া (S × N)	6	49.80	8.30	2.50*	2.25	3.12
ত্রুটি	55	182.30	3.31			
মোট	11	842.29				

* 5% স্তরে তাৎপর্যপূর্ণ ; ** 1% স্তরে তাৎপর্যপূর্ণ

লক্ষ্য করা যায় যে, বপন সময় (S) এবং নাইট্রোজেন সারের মাত্রার প্রভাব অতি তাৎপর্যপূর্ণ। আবার এদের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাবও ৫% স্তরে তাৎপর্যপূর্ণ। আন্তঃক্রিয়া তাৎপর্যপূর্ণ বিধায় প্রতীয়মান হয় যে, নাইট্রোজেন সারের মাত্রা ভিন্নতার সাথে বপন ভিন্নতাজনিত প্রভাব ভিন্নতর হয়। যাহোক, পরবর্তীকালে LSD নির্ণয় করে বপনের প্রভাবের পার্থক্য, নাইট্রোজেন সারের মাত্রায় ভিন্নতার পার্থক্য এবং আন্তঃক্রিয়াভিত্তিক বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের প্রভাবের পার্থক্য তুলনা করা হলো।

(ক) বপন সময়ের ভিন্নতাজনিত ফলনের গড় পার্থক্য তুলনার জন্য

$$LSD = \sqrt{\frac{2 \times 3.31}{24}} \times 55 \text{ DF –এ ৫\% স্তরে t এর মান}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 3.31}{24}} \times 2.00$$

= 1.051 কেজি/প্লট

(খ) নাইট্রোজেন সারের ভিন্ন মাত্রাজনিত ফলনের গড় পার্থক্য তুলনার জন্য

$$LSD = \sqrt{\frac{2 \times 3.31}{18}} \times 2.00$$

= 1.213 কেজি/প্লট

(গ) আন্তঃক্রিয়া সম্পর্কিত উপাদান (১২টি) সমূহের প্রভাবের গড় তুলনা করবে

$$LSD = \sqrt{\frac{2 \times 3.31}{6}} \times 1.00 = 2.10 \text{ কেজি/প্লট}$$

এরপর ফলাফলের সংক্ষিপ্ত বিবরণ ছক আকারে উপস্থাপন করতে হবে। যেহেতু প্রধান প্রভাবসমূহ ও আন্তঃক্রিয়া তাৎপর্যপূর্ণ ; প্রধান প্রভাবসমূহের তুলনা করতে এর সংশ্লিষ্ট

LSD এবং যে কোনো কম্বিনেশন উপাদানের গড় প্রভাবের তুলনা করতে তৃতীয় LSD ব্যবহার করতে হবে। ফলাফল সংক্ষিপ্ত আকারে ৬.১৬ নং ছকে দেওয়া হলো।

ছক ৬.১৬ : সংক্ষিপ্তভাবে ফলাফল উপস্থাপন

বপন সময়	নাইট্রোজেন সারের মাত্রা				গড়
	n_0	n_1	n_2	n_3	
s_1	8.2	10.2	12.6	12.2	10.80
s_2	6.1	6.5	7.9	7.8	7.08
s_3	3.7	5.4	4.1	3.8	4.25
গড়	6.00	7.37	8.20	7.94	

(ক) ভিন্ন বপন সময়জনিত (s_1, s_2, s_3) ফলনের গড় তুলনা করতে LSD = 1.051

(খ) ভিন্ন মাত্রায় সারজনিত (n_0, n_1, n_2, n_3) ফলনের গড় পার্থক্য তুলনা করতে LSD = 1.213

(গ) ছকের অভ্যন্তরে ১২টি ট্রিটমেন্টের গড় প্রভাব তুলনা করতে LSD=2.10

উদাহরণ (৩) : দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে গমের একটি উন্নত জাতের ৮ রকমের বিভিন্ন সার সমন্বয় প্রয়োগ করে প্রাপ্ত ফলাফল (কেজি/প্লট) নিচে দেওয়া হলো। সঠিক পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণপূর্বক বিভিন্ন আন্তঃক্রিয়ার আলোকে মতামত দাও।

ছক ৬.১৭ : ডিজাইন পরিকল্পনা ও ফলন (কেজি/প্লট)

ব্লক -১	NPK	C	K	NP	P	N	NK	PK
	49	47	45	63	44	62	57	50
ব্লক -২	P	NK	K	NP	C	NPK	PK	N
	56	50	55	52	51	59	49	60
ব্লক -৩	P	NPK	NK	C	N	K	PK	NP
	63	56	57	55	70	55	53	59

এখানে, N= নাইট্রোজেন সার, P = ফসফরাস সার, K = পটাশ সার, C = সারবিহীন।

বিশ্লেষণ

প্রথম ধাপ : বর্গসমষ্টি নির্ণয়

বর্গসমষ্টি নির্ণয়ের জন্য প্রদত্ত উপাত্তকে ছকে (ছক : ৬.১৮) সাজিয়ে নেওয়া হলো।

ছক ৬.১৮

ব্লক	ট্রিট্রমেন্ট সমন্বয়								মোট
	C	N	P	NP	K	NK	PK	NPK	
১	47	62	44	63	45	57	50	49	417
২	51	60	56	52	55	50	49	59	432
৩	55	70	63	59	55	57	53	56	468
মোট	153	192	163	174	155	164	152	164	1317

(১) শোধক মান = $\frac{(\text{সর্বমোট ফলনের উপাত্তের যোগফল})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা} \times \text{ব্লক সংখ্যা}}$

$\therefore$ শোধক মান = $\frac{(1317)^2}{8\times3}$

$= \frac{1734489}{24}$

$= 72270.37$

(২) সর্বমোট বর্গ সমষ্টি = Σ (প্রতি প্লটের ফলন)^২ - শোধক মান

$\therefore$ সর্বমোট বর্গসমষ্টি = $(47^2 + 51^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + 53^2 + 56^2)$ -72270.37-

73175 - 72270.375

= 904.625

(৩) ট্রিট্রমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma(\text{প্রতি ট্রিটমেন্ট এর মোট ফলন})^২}{\text{ব্লক সংখ্যা}}$ - শোধক মান

$= \frac{153^2 + 192^2 + 163^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + 164^2}{3}$ - 72270.37

$= \frac{218039}{3}$ - 72270.37

= 72679.66 - 72270.37

= 409.29

(৪) ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় :

ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma(\text{প্রতি ব্লকে মোট ফলন})^২}{\text{ট্রিটমেন্ট সংখ্যা}}$ - শোধক মান

$= \frac{417^2 + 432^2 + 468^2}{8}$ - 72270.375

$= \frac{579537}{8}$ - 72270.375

= 72442.125 - 72270.375

= 171.75

২য় ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি :

ছক ৬.১৯ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	ভেদাঙ্ক অনুপাত F নির্ণয়কৃত	F 5% স্তরে তত্ত্বীয় মান
ব্লক	2	171.75	85.87		
ট্রিটমেন্ট	7	409.29	58.47	2.53	2.77
ত্রুটি	14	323.58	23.1		
মোট	23	904.62			

এ বিশ্লেষণে ট্রিটমেন্টসমূহের সমষ্টিগত প্রভাব হিসাব করা হয়েছে। ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ থেকে লক্ষ্য করা যায় যে, সমষ্টিগতভাবে ট্রিটমেন্টগুলোর গড় ফলনের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ কোনো পার্থক্য নেই। এখন বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের (সারের) একক এবং আন্তঃক্রিয়াজনিত প্রভাব নির্ণয় করতে হবে। ইয়েটস (Yates)-এর পদ্ধতি অবলম্বনে এসব বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট ও তাদের আন্তঃক্রিয়া পরিমাপ করা হলো।

৩য় ধাপ : ইয়েটস পদ্ধতিতে প্রধান প্রভাব এবং আন্তঃক্রিয়ার বর্গসমষ্টি নির্ণয় :

ছক ৬.২০

ট্রিটমেন্ট সমন্বয়	মোট ফলন	ব্লক				বর্গসমষ্টি
		১	২	৩	প্রভাব	
c	153	345	682	1317	মান সর্বমোট (G.T.)	$\frac{(1317)^2}{24} = 72270.375$
n	192	337	635	71	N	$\frac{71^2}{24} = 210.42$
p	163	319	50	-11	P	$\frac{(-11)^2}{24} = 5.042$
np	174	316	21	-25	NP	$\frac{(-25)^2}{24} = 26.042$
k	155	39	-8	-47	K	$\frac{(-47)^2}{24} = 92.042$
nk	164	11	-3	-29	NK	$\frac{(-29)^2}{24} = 35.042$
pk	152	9	-28	5	PK	$\frac{(5)^2}{24} = 1.042$
npk	164	12	3	31	NPK	$\frac{(31)^2}{24} = 40.042$

৪র্থ ধাপ : এ ধাপে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট ও তাদের আন্তঃক্রিয়াজনিত বর্গসমষ্টি ব্যবহার করে বিস্তারিত এক ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি করা হয়।

ছক ৬.২১ : বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট ও তাদের আন্তঃক্রিয়া বিশ্লেষণপূর্বক ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা	বর্গসমষ্টি	গড় বর্গ সমষ্টি	ভেদাঙ্কে অনুপাত F (নির্ণয়কৃত)	F 5% স্তরে তত্ত্বীয় মান	F 1% স্তরে তত্ত্বীয় মান
ব্লক	2	171.75	85.87	3.71	3.74	
N	1	210.04	210.04	9.09**	4.60	8.86
P	1	5.04	5.04	0.22		
K	1	92.04	92.04	3.98		
NP	1	26.04	26.04	1.13		
NK	1	35.04	35.04	1.52		
PK	1	1.04	1.04	0.04		
NPK	1	40.04	40.04	1.73		
ত্রুটি	14	323.58	23.11			
মোট	23	904.62				

** 1% স্তরে তাৎপর্যপূর্ণ

উল্লিখিত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক থেকে লক্ষ্য যায় যে, শুধু প্রধান প্রভাবক N-এর প্রভাব তাৎপর্যপূর্ণ। অন্যান্য প্রধান প্রভাবক এবং আন্তঃক্রিয়ার প্রভাব তাৎপর্যপূর্ণ নয়।

সপ্তম অধ্যায়

স্প্লিট প্লট ডিজাইন
Split Plot Design

৭.১. ভূমিকা

ফ্যাক্টোরিয়াল পরীক্ষণে প্রতিটি ব্লককে ট্রিটমেন্টের সমসংখ্যক প্লটে ভাগ করার পর প্লটগুলোতে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করে বিভিন্ন ফ্যাক্টর ও তাদের সমন্বয়ের প্রধান প্রভাব একই পরীক্ষণের মাধ্যমে যাচাই করা হয়। এ ধরনের কিছু কিছু পরীক্ষণের ক্ষেত্রে কিছু ফ্যাক্টর, যেমন– বপন সময় ; অন্য কিছু ফ্যাক্টর, যেমন- সারের মাত্রা, জাত ইত্যাদি অপেক্ষা অধিক পার্থক্য সৃষ্টি করে। আবার সেচ, চাষের গভীরতা প্রভৃতি ধরনের ফ্যাক্টর ছোট পরীক্ষণ এককে সঠিকভাবে ব্যবহার করা অসুবিধাজনক হলেও কিছু কিছু ফ্যাক্টরকে ছোট পরীক্ষণ এককে সহজেই প্রয়োগ করা যায়। এসব ক্ষেত্রে ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের মাধ্যমে অধিক পার্থক্য সৃষ্টিকারী ফ্যাক্টরগুলোর পার্থক্যের যথার্থতা যাচাই করা গেলেও অপেক্ষাকৃত কম পার্থক্য সৃষ্টিকারী ফ্যাক্টরগুলোর পার্থক্যের যথার্থতা সঠিকভাবে যাচাই করা যায় না। এ কারণে এমন ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন প্রণয়ন করা প্রয়োজন যার মাধ্যমে ক্ষুদ্র পার্থক্য সৃষ্টিকারী ফ্যাক্টরগুলোর পাথর্ক্য নির্ণয়ে সূক্ষ্মতা (precision) বৃদ্ধি পায় এবং ক্ষুদ্র পরীক্ষণ এককে প্রয়োগ করা যায় না এমন ফ্যাক্টরগুলোও যেন বড় পরীক্ষণ এককে প্রয়োগ করা যায়।

আমরা জানি যে, জমির ঘন সন্নিবিষ্ট ব্লকগুলোর সন্নিহিত (contiguous) প্লটগুলোতে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগের মাধ্যমে তুলনার সূক্ষ্মতা বৃদ্ধি পায়। ক্ষুদ্র পার্থক্য সৃষ্টিকারী ফ্যাক্টরগুলোর প্রভাবের তুলনার সূক্ষ্মতা বৃদ্ধির জন্য এ নীতি প্রয়োগ করা যায়। এ ক্ষেত্রে ফ্যাক্টরিয়াল পরীক্ষণের মতো বিভিন্ন ফ্যাক্টরের মাত্রাগুলোকে সম্পূর্ণ জমিতে বিক্ষিপ্তভাবে প্রয়োগ না করে প্রথম ফ্যাক্টরেকে ব্যবহৃত সব মাত্রাগুলো বড় প্লটের পাশাপাশি দ্বিতীয় ফ্যাক্টরের সবগুলো মাত্রা হিসেবে ব্যবহার করা যায়। এখানে প্রথম ফ্যাক্টর বলতে সেসব ফ্যাক্টরকে বোঝানো হয়েছে যাদের জন্য বড় পরীক্ষণ একক প্রয়োজন এবং এরা অধিক পার্থক্য সৃষ্টিকারী ফ্যাক্টর, অন্যদিকে দ্বিতীয় ফ্যাক্টর বলতে সেসব ফ্যাক্টরকে বোঝানো হয়েছে যাদেরকে ক্ষুদ্র পরীক্ষণ এককে প্রয়োগ করা যায় এবং ধরে নেয়া হয় যে, এরা ক্ষুদ্র পার্থক্য সৃষ্টিকারী।

এ উদ্দেশ্যে জমিকে প্রথম ফ্যাক্টরের মাত্রা সংখ্যার সমান করে প্রথমে প্রধান প্লটে ভাগ করা হয় এবং পরে দ্বিতীয় ফ্যাক্টরের মাত্রা সংখ্যার সমান করে প্রধান প্লটগুলোকে উপপ্লটে বিভক্ত করা হয়। প্রথম ফ্যাক্টরের মাত্রাগুলোকে দৈবায়িতভাবে প্রতিটি প্রধান প্লটের মধ্যকার উপপ্লটে প্রয়োগ করা হয় এবং নিম্নোক্ত ছক অনুযায়ী উপাত্ত বিশ্লেষণ করা হয়।

ছক ৭.১ : স্প্লিট প্লট ডিজাইনের ক্ষেত্রে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নির্ণয়কৃত মান
<u>সমস্ত প্লটভিত্তিক বিশ্লেষণ</u>				
সমলিপন	r-1	r(SS)	rMS	
প্রধান প্লট ট্রিটমেন্ট 'ক'	a-1	A(SS)	A(MS)	
ত্রুটি (a)	(a-1) (r-1)	Ea (SS)	Ea	
<u>উপপ্লট বিশ্লেষণ</u>				
উপট্রিটমেন্ট 'খ'	b-1	b(SS)	b(MS)	
উপট্রিটমেন্ট × প্রধান ট্রিটমেন্টের আন্তঃক্রিয়া	(a-1) (b-1)	AB(SS)	AB (MS)	
ত্রুটি (b)	a(b-1) (r-1)	Eb(SS)	Eb	
মোট	abr-1			

প্রধান ও উপপ্লট ট্রিটমেন্টের তুলনা করতে যথাক্রমে ত্রুটি (a) এবং ত্রুটি (b) ব্যবহার করা হয়। প্রধান প্লট ট্রিটমেন্ট MS-কে ত্রুটির (a) MS-এর সাথে তুলনা করে 'F'-এর মান নির্ণয় এবং তা টেবিলে দেওয়া a-1, (a-1) (r-1) মুক্তমাত্রায় ৫% স্তরে তত্ত্বীয় 'F'- মানের তুলনায় বড় হলে প্রধান প্লট ট্রিটমেন্টগুলোর গড় মানের মধ্যে তুলনা করতে হয়।

একইভাবে উপপ্লট ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রেও সংশ্লিষ্ট E(b) ব্যবহার করে দেখতে হয় যে, উপপ্লট ট্রিটমেন্ট তাৎপর্যপূর্ণ কি-না। যদি তাৎপর্যপূর্ণ হয় তবে এদের গড় মানের মধ্যে তুলনা করতে হয়।

গড় মানের মধ্যে তুলনা করতে নিম্নোক্ত উপায়ে পরিমিত ত্রুটি নির্ণয় করতে হয়।

১. প্রধান প্লট ট্রিটমেন্টে (ক)-এর গড়মান তুলনা করতে, যথা

$$[(a_1)-(a_0)] : \sqrt{\frac{2Ea}{rb}}$$

২. উপপ্লট ট্রিটমেন্ট (খ) এর গড়মানের তুলনা করতে, যেমন-

$$[(b_1)-(b_0)] : \sqrt{\frac{2Eb}{ra}}$$

৩. 'ক'-এর একটি নির্দিষ্ট স্তরে 'খ' এর দুটি উপট্রিটমেন্টের মধ্যে তুলনা করতে যেমন-

$$[(a_1b_1)-(a_1b_0)] : \sqrt{\frac{2Eb}{r}}$$

৪. 'খ'-এর একটি নির্দিষ্ট স্তরে 'ক'-এর দুটি গড় মানের মধ্যে তুলনা করতে যেমন-

$[(a_1b_1)-(a_0b_1)]$ অথবা $[(a_1b_1)-(a_0b_2)] : \sqrt{\frac{2[(b-1)\ Eb] + Ea}{rb}}$

মনে করি, I_1 এবং I_2 পানি সেচের দুটি মাত্রাকে প্রধান প্লটে এবং S_1, S_2, S_3 ও S_4 এ চারটি ভিন্ন পদ্ধতিতে সার প্রয়োগ করা হলো— যা উপপ্লট ট্রিটমেন্ট হিসেবে ব্যবহার করে গমের ফলনের উপর এদের প্রভাব বিশ্লেষণ করতে হবে। এই চারটি উপ-প্লট ট্রিটমেন্ট প্রতিটি প্রধান প্লটে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করতে হবে। আবার প্রধান প্লট ট্রিটমেন্ট দুটিকে প্রতিটি সমলিপনে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করতে হবে।

মনে করি, ৪টি সমলিপন ব্যবহার করে পরীক্ষণটি করা হলো এবং নিচের ডিজাইন হলো—

সমলিপন – ১

I_1	S_1	S_2	S_3	S_4
I_2	S_1	S_2	S_3	S_4

সমলিপন – ২

S_4	S_2	S_1	S_3	I_2
S_3	S_1	S_4	S_2	I_1

সমলিপন – ৩

I_2	S_4	S_3	S_1	S_2
I_1	S_1	S_3	S_4	S_4

সমলিপন – ৪

S_2	S_1	S_3	S_4	I_1
S_3	S_1	S_2	S_4	I_2

উপাত্ত সংগ্রহের পর সেগুলোকে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ (ছক ৭.১) অনুযায়ী ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করতে হবে।

৭.১.১. উদাহরণ : মনে করি আলোচিত পরীক্ষণে নিম্নোক্ত উপাত্ত (ফলন : কেজি/প্লট) পাওয়া গেল। উপাত্ত বিশ্লেষণ করে সিদ্ধান্ত দিতে হবে :

সমলিপন – ১

I_1	S_1	S_3	S_2	S_4	
	2.30	3.30	3.02	3.22	
I_2	S_1	S_4	S_2	S_3	
	2.83	2.08	2.98	2.57	

সমলিপন – ২

S_4	S_2	S_1	S_3	I_2
2.95	3.15	2.94	2.90	
S_3	S_1	S_4	S_2	I_1
2.10	2.52	3.07	2.45	

সমলিপন – ৩

I_2	S_4	S_3	S_1	S_2
	2.26	3.10	2.22	2.10
I_1	S_1	S_3	S_2	S_4
	1.93	2.42	3.23	2.72

সমলিপন – ৪

S_2	S_1	S_3	S_4	I_1
3.22	3.32	2.95	2.90	
S_3	S_1	S_2	S_4	I_2
3.20	2.37	3.40	2.83	

(ক) পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ : এক্ষেত্রে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের জন্য সর্বমোট ভেদাঙ্ক নিম্নলিখিত ভাগে ভাগ করতে হবে–

(ক) সমলিপনজনিত ভেদাঙ্ক

(খ) প্রধান প্লট ট্রিটমেন্টজনিত (পানি সেচের মাত্রা) ভেদাঙ্ক

(গ) উপপ্লট ট্রিটমেন্টজনিত (সালফার প্রয়োগের পদ্ধতি) ভেদাঙ্ক

(ঘ) প্রধান ও উপপ্লট ট্রিটমেন্ট আন্তঃক্রিয়াজনিত ভেদাংশক

অতএব, দুটি স্তর যথা– (ক) সাবপ্লট ট্রিটমেন্ট (খ) উপপ্লট ট্রিটমেন্টগুলোকে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ করা যেতে পারে।

প্রথমে সর্বমোট বর্গসমষ্টি (Total SS) নির্ণয় করা হলো।

সর্বমোট বর্গসমষ্টি (SST) = প্রতিটি উপাত্তের বর্গফলের সমষ্টি – শোধক মান (CF)

$$= (2.30)^2 + \ldots\ldots\ldots + (2.83)^2 - \frac{(2.30 + \ldots + 2.83)^2}{\text{সর্বমোট উপাত্ত সংখ্যা}}$$

$$= 254.05 - \frac{(89.10)^2}{32}$$

$$= 254.05 - 248.09$$

$$= 5.96$$

এখন এই বর্গসমষ্টিকে বিভিন্ন উৎসজনিত অংশে বিভক্ত করতে হবে এবং সেজন্য প্রধান প্লট এবং উপপ্লট স্তরে বিশ্লেষণ করা হলো–

ছক ৭.২ : প্রধান প্লট ট্রিটমেন্টভিত্তিক ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ট্রিটমেন্ট	সমলিপন ১	সমলিপন ২	সমলিপন ৩	সমলিপন ৪	যোগফল
I_1	11.84	10.14	10.85	12.39	45.22
I_2	10.46	11.94	9.68	11.81	43.88
যোগফল	22.30	22.08	20.53	24.19	89.10

উল্লেখ্য, ছকের প্রতিটি মান একটি উপপ্লট ট্রিটমেন্ট স্তরে একটি প্রধান প্লটভিত্তিক যোগফল। যেমন, I_1R_1= 2.30+3.30+3.02+3.22

=11.84

এখন, সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি (SSR)

$$= \frac{(22.30)^2+(22.08)^2 + (20.53)^2 + (24.19)^2}{8} - CF$$

$$= 248.93 - 248.08$$

$$= 0.84$$

এক্ষেত্রে যেহেতু প্রতিটি সমলিপনের যোগফল ৪টি মানের উপর নির্ভরশীল অতএব, ৪ দিয়ে ভাগ করা হয়েছে।

$$\text{প্রধান ট্রিটমেন্টজনিত (I) বর্গসমষ্টি (SSI)} = \frac{(45.22)^2 + (43.88)^2}{16^*} - CF$$
$$= 248.14 - 248.09$$
$$= 0.05$$

আবার, যেহেতু প্রতিটি যোগফল ১৬টি মানের সমষ্টি, এজন্য ১৬ দিয়ে ভাগ করা হয়েছে।

ছক ৭.২–এ উপস্থাপিত ৪টি মান ব্যবহার করে প্রাপ্ত বর্গসমষ্টি

$$= \frac{(1184)^2 + (10.14)^2 + \ldots\ldots + (11.80)^2}{4^*} - CF$$

$$= 249.79 - 248.09$$

$$= 1.70$$

এবং প্রতিটি মান যেমন ১১.৪৮ ; ৪টি একক মানের যোগফল বলে ৪ দিয়ে ভাগ করা হয়েছে।

এখন প্রধান প্লট ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি = 1.70 - 0.84 - 0.05
= 0.8

এ মানগুলো ব্যবহার করে প্রধান প্লটের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ছক ৭.৩

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণকৃত 'F'-এর মান	'F'-এর টেবিলে দেওয়া তত্ত্বীয় মান (5% স্তরে)
সমলিপন	3	0.84			
প্রধান প্লট ট্রিটমেন্ট (I)	1	0.05	0.05	0.18	10.13
ত্রুটি (a)	3 × 1=3	0.81	0.27		
মোট=	8-1=7	1.70			

যেহেতু নির্ণয়কৃত 'F'–এর মান তত্ত্বীয় টেবিলের মান থেকে ছোট ; অতএব, ভিন্নমাত্রার পানি সেচ কোনো তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব সৃষ্টি করেনি।

(খ) উপপ্লটভিত্তিক বিশ্লেষণ : প্রধান প্লটভিত্তিক বিশ্লেষণ থেকে আমরা দেখতে পেয়েছি সর্বমোট বর্গসমষ্টি 5.70-এর মধ্যে 1.70 প্রধান প্লটজনিত এবং অবশিষ্ট অংশ 5.96 - 1.70=4.26 উপপ্লটের বিভিন্ন উৎসজনিত কারণে সৃষ্ট। এখন উপপ্লটভিত্তিক বিশ্লেষণ করে 4.26-কে বিভিন্ন অংশে ভাগ করতে হবে।

উপপ্লটভিত্তিক বিশ্লেষণের জন্য উপাত্তকে নিম্নোক্ত ছকে সাজিয়ে নেওয়া হলো। উল্লেখ্য যে, এক্ষেত্রে বিভিন্ন I এবং S এর সমন্বয়ভিত্তিক উপাত্ত নেওয়া হয়েছে।

ছক ৭.৪ : উপাত্ত টেবিলের যোগফল

		S_1	S_2	S_3	S_4	মোট
প্রধান প্লট ট্রিটমেন্ট	l_1	10.07	11.92	10.77	12.46	45.22
	l_2	10.35	11.63	11.77	10.12	43.88
মোট		20.43	23.55	22.54	22.58	89.10

উল্লেখ্য, 10.07 হলো I_1S_1 এর চারটি সমলিপনের মানের যোগফল।

এখন, এ ছকের মানগুলো ব্যবহার করে বিভিন্ন উৎসভিত্তিক বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা হলো।

উপপ্লটজনিত বর্গসমষ্টি (SS_S)

$$= \frac{(20.43)^2 + (23.55)^2 + ... (22.58)^2}{8} - CF$$

$$= 248.14 - 248.09$$

$$= 0.05$$

* যেহেতু এ প্রতিটি মান আটটি মানের যোগফল। অতএব, ৮ দিয়ে ভাগ করা হয়েছে।

এখন, I × S আন্তঃক্রিয়াজনিত বর্গসমষ্টি ($SS1_S$)

$$= \frac{(10.07)^2 + ... (10.12)^2}{4} - CF\text{-}SS_S\text{-}SS_D$$

$$=249.57 - 248.09\text{-}0.65\text{-}0.05$$

$$= 0.78$$

এখন, 4.26 এর মধ্যে 0.65 + 0.78 = 1.43 পরিমাণ বর্গসমষ্টিকে জানা উৎসজনিত ভাগে ভাগ করা গেল। আর বাকি 4.26-1.43=2.83 অংশটুকু না জানা উৎসজনিত এবং এটিই হলো উপপ্লটের ত্রুটি অর্থাৎ Eroor (b)। উপপ্লট ট্রিটমেন্টভিত্তিক ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক নিম্নরূপ :

ছক ৭.৫ : উপপ্লটভিত্তিক ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F-এর মান	টেবিলে দেওয়া 'F'-এর তত্ত্বীয় মান 5% স্তরে
উপপ্লট ট্রিটমেন্ট (S)	3	0.65	0.22	1.38	3.16
উপপ্লট × প্রধান প্লট (1 × S)	3 × 1=3	0.78	0.26	1.63	3.16
ত্রুটি (b)	18	2.83	0.16		
মোট =	24	4.26			

যেহেতু উপপ্লট ট্রিটমেন্ট (S) এর নির্ণয়কৃত 'F'-এর মান সংশ্লিষ্ট তত্ত্বীয় মান থেকে ছোট ; অতএব, সালফার সার প্রয়োগের বিভিন্ন পদ্ধতিজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ নয়। যেহেতু প্রধান প্লট ও উপপ্লট ট্রিটমেন্টের তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব নেই, কাজেই পরবর্তী কোনো বিশ্লেষণের প্রয়োজন নেই।

এক্ষেত্রে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণে সম্পূর্ণ ফলাফলকে ছকে (ছক ৭.৬) দেখানো হলো।

ছক ৭.৬ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের সম্পূর্ণ ফলাফল

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F-এর মান	৫% স্তরে 'F'এর তত্ত্বীয় মান
প্রধান প্লট ট্রিটমেন্টভিত্তিক বিশ্লেষণ					
সমলিপন	3	0.84	0.28		
প্রধান ট্রিটমেন্ট (I)	1	0.05	0.05	0.18	10.13
ত্রুটি (a)	3	0.81	0.27		
উপপ্লটভিত্তিক বিশ্লেষণ					
উপপ্লট ট্রিটমেন্ট (S)	3	0.65	0.22	1.38	1.38
আন্তঃক্রিয়া (I×S)	3	0.78	0.26	1.63	1.63
ত্রুটি (b)	18	2.83	0.16		
মোট	31				

লক্ষণীয় যে, উপপ্লটের ত্রুটি প্রধান প্লটের ত্রুটি থেকে ছোট। অর্থাৎ উপপ্লটের ট্রিটমেন্টগুলোর মধ্যে প্রধান প্লটের ট্রিটমেন্টের তুলনায় বেশি সূক্ষ্মতার সাথে তুলনা করা যায়।

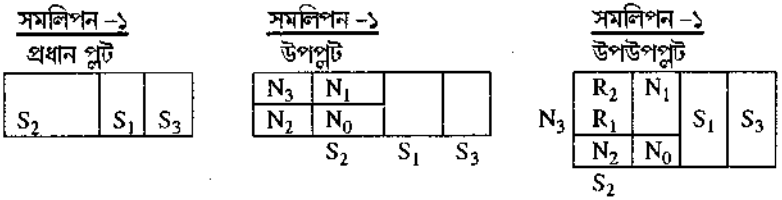
৭.২. স্প্লিট স্প্লিট প্লট ডিজাইন (Split Split Plot Design)

অনেক সময় তৃতীয় কোনো ফ্যাক্টরের প্রভাবও যাচাই করতে হয়। এক্ষেত্রে প্রতি উপপ্লটকে তৃতীয় ফ্যাক্টরের মাত্রা সংখ্যার ভিত্তিতে পুনরায় বিভক্ত করে তাতে তৃতীয় ফ্যাক্টরের মাত্রাগুলো দৈবায়িতভাবে প্রয়োগের মাধ্যমে যথার্থভাবে সূক্ষ্মতা বৃদ্ধি করা যায়।

একটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি ভালভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। মনে করি, বীজ বপনের তিনটি সময় (S_1, S_2, S_3), নাইট্রোজেন সারের চারটি ভিন্নমাত্রা (N_0, N_1, N_2, N_3) এবং দুটি বীজমাত্রা (R_1, R_2)।

এই ফ্যাক্টরগুলোর প্রভাব যথার্থভাবে যাচাই করতে হয়। এক্ষেত্রে প্রতিটি ব্লককে ৩টি প্রধান প্লটে বিভক্ত করে S_1, S_2 এবং S_3 বীজবপন সময় দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করতে হয়। N_0, N_1, N_2 এবং N_3 এই চারটি সারমাত্রা দৈবায়িতভাবে প্রয়োগের জন্য প্রতিটি প্রধান প্লটকে চারটি উপপ্লটে বিভক্ত করতে হয় এবং প্রতিটি উপপ্লটকে আবার দুটি উপপ্লটে বিভক্ত করে তাতে R_1 এবং R_2 বীজমাত্রা দুটি দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়।

সমলিপন – ১ এর জন্য সম্পূর্ণ পরিকল্পনাটির বিভিন্ন ধাপ নিচে উল্লেখ করা হলো :



এখানে সমলিপন–১ এর S_2 প্রধান প্লটকে উপপ্লটে এবং S_2 N_3 উপপ্লটকে উপ–উপপ্লটে বিভক্ত করে দেখানো হয়েছে।

মূলত একইভাবে সব প্রধান প্লটকে উপপ্লটে এবং সব উপপ্লটকে উপ–উপপ্লটে বিভক্ত করা হয়। অনুরূপভাবে, সবগুলো সমলিপনে এভাবে উপ–উপপ্লটে বিভক্ত করা হয়। এরূপ ডিজাইনকে স্প্লিট স্প্লিট প্লট ডিজাইন বলা হয়।

৭.৩. কনফাউন্ডেড ফ্যাক্টরিয়াল ডিজাইনের সাথে সম্পর্ক (Relation with confounded factorial design)

শুধু আন্তঃক্রিয়ার ক্ষেত্রে কনফাউন্ড (confound) হয় এরূপ কনফাউন্ডেড ডিজাইনের সাথে কখনো কখনো স্প্লিট প্লট ডিজাইনকে তুলনা করা হয়—যেখানে কিছু প্রধান প্রভাব কনফাউন্ডেড হয়।

যদি উপপ্লটকে পরীক্ষণ একক মনে করা হয়, তাহলে এর স্বপক্ষে প্রধান ফ্যাক্টরের প্রয়োগকৃত প্লটকে ব্লক হিসেবে চিহ্নিত করা যায়। প্রধান ফ্যাক্টরের বিভিন্ন মাত্রার পার্থক্য S_1, S_2 এবং S_3 ব্লকের পার্থকের সাথে কনফাউন্ডেড হয়ে যায়। এর অর্থ দাঁড়ায়– প্রধান ফ্যাক্টর S হলো কনফাউন্ডেড।

৭.৪. দৈবায়ন

প্রধান ফ্যাক্টরগুলোকে প্রধান ব্লকে অন্যান্য পরীক্ষণের মতো দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়। অতপর প্রত্যেক প্রধান প্লটের অভ্যন্তরে উপপ্লটগুলোতে দৈবায়িতভাবে উপপ্লট–ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করা হয়। পরে উপ–উপপ্লটের উপাদানগুলোকেও দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়। এভাবে প্রত্যেক প্রধান প্লট এবং প্রত্যেক উপপ্লটের ক্ষেত্রে পৃথকভাবে ট্রিটমেন্টসমূহের দৈবায়ন সম্পন্ন করা হয়।

৭.৫. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ প্রণালী

মনে করি, প্রধান প্লট ট্রিটমেন্টের ∞ সংখ্যক মাত্রা, খ উপপ্লট ট্রিটমেন্টের β সংখ্যক মাত্রা y সংখ্যক মাত্রার গ উপ–উপপ্লট ট্রিটমেন্ট রয়েছে। r সংখ্যক সমলিপনের ক্ষেত্রে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ভিত্তিতে মুক্তমাত্রা নিম্নলিখিত ছক ৭.৭ (আলোচিত উদাহরণের ক্ষেত্রে) অনুযায়ী বিভক্ত করতে হয়।

ছক ৭.৭

উপছক – ১	
ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা
সমলিপন	r-1
ক	$\propto-1$
ত্রুটি (a)	$(\propto-1)$ (r-1)
মোট	$r\propto-1$
খ	β-1
কখ	$(\propto-1)$ $(\beta-1)$
ত্রুটি (b)	$\propto(\beta-1)$ (r-1)
মোট	$r\propto\beta$-1
গ	$\gamma-1$
কগ	$(\propto-1)$ $(\gamma-1)$
খগ	$(\beta-1)$ $(\gamma-1)$
কখগ	$(\propto-1)$ $(\beta-1)$ $(\gamma-1)$
ত্রুটি (c)	$\propto\beta$ $(\gamma-1)$ (r-1)
মোট	$r\propto\beta\gamma$-1

উপছক – ২	
ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা
সমলিপন	2
S	2
ত্রুটি (a)	4
মোট	8
N	3
NS	6
ত্রুটি (b)	18
মোট	35
R	1
RS	2
RN	3
RNS	6
ত্রুটি (c)	24
মোট	71

এখানে বিশ্লেষণকে তিনটি ধাপে দেখানো হয়েছে। প্রথম ধাপে, বিভিন্ন মুক্তমাত্রার সমষ্টি হলো মোট মুক্তমাত্রা ($r\propto-1$)। দ্বিতীয় ধাপে, মোট মুক্তমাত্রা ($r\propto B-1$) হলো প্রথম ও দ্বিতীয় এই উভয় ধাপের বিভিন্ন মুক্তমাত্রার সমষ্টি। অনুরূপভাবে, তৃতীয় ধাপে, মোট মুক্তমাত্রা ($r\propto\beta\gamma-1$) হলো তিনটি ধাপের মুক্তমাত্রার সমষ্টি।

বিভিন্ন মুক্তমাত্রা নির্ণয়ের পদ্ধতি নিচে উল্লেখ করা হলো :

(১) 'ক' 'খ' বা 'গ'–এর মুক্তমাত্রা = মাত্রা সংখ্যা – 1

(২) 'কখ'–এর মুক্তমাত্রা = (ক–এর মুক্তমাত্রা) × (খ–এর মুক্তমাত্রা)

(৩) 'খগ'–এর মুক্তমাত্রা = (খ–এর মুক্তমাত্রা) × (গ–এর মুক্তমাত্রা)

(৪) 'গক'–এর মুক্তমাত্রা = (গ–এর মুক্তমাত্রা) × (ক–এর মুক্তমাত্রা)

(৫) 'কখগ'–এর মুক্তমাত্রা = (ক–এর মুক্তমাত্রা) × (খ–এর মুক্তমাত্রা) × (গ–এর মুক্তমাত্রা)

(৬) ত্রুটি (a) মুক্তমাত্রা = (ক–এর মুক্তমাত্রা) × (সমলিপন মুক্তমাত্রা)

(৭) ত্রুটি (b) মুক্তমাত্রা = (খ–এর মুক্তমাত্রা + 'কখ'–এর মুক্তমাত্রা) × সমলিপন মুক্তমাত্রা

(৮) ত্রুটি (c) মুক্তমাত্রা = (গ-এর মুক্তমাত্রা + 'কগ'-এর মুক্তমাত্রা + 'খগ'-এর মুক্তমাত্রা + 'কখগ'-এর মুক্তমাত্রা) × সমলিপন মুক্তমাত্রা

২নং ছকে পূর্বে উল্লেখিত উদাহরণের বিভিন্ন উৎসের জন্য মুক্তমাত্রা দেখানো হয়েছে।

৭.৬. স্প্লিট স্প্লিট প্লট পরীক্ষণে আদর্শ ত্রুটি

খণ্ড খণ্ড প্লটের ভিত্তিতে যদি ত্রুটি a, ত্রুটি b এবং ত্রুটি c এর গড় যথাক্রমে E_a, E_b এবং E_c হয় তাহলে ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্যের জন্য আদর্শ ত্রুটি ছক ৭.৮ অনুযায়ী হবে।

ছক ৭.৮

	তুলনীয় ট্রিটমেন্ট	আদর্শ ত্রুটি
১	দুটি 'ক' ট্রিটমেন্টের গড় পার্থক্য যেমন : (ai - aj)	$\sqrt{\frac{2E_a}{r\beta\gamma}}$
২	দুটি 'খ' ট্রিটমেন্টের গড় পার্থক্য যেমন : (bi-bj)	$\sqrt{\frac{2E_b}{r\alpha\gamma}}$
৩	দুটি 'খ' ট্রিটমেন্টের গড় পার্থক্য যেমন : (ci-cj)	$\sqrt{\frac{2E_c}{r\alpha\beta}}$
৪	'ক'-এর সমান মাত্রায় (A=ai) দুটি 'খ' ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্য যেমন : (aibj-aibk)	$\sqrt{\frac{2E_b}{r\gamma}}$
৫	'খ'-এর সমান মাত্রায় (b=bk) দুটি 'ক' ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্য যেমন- (aibk-ajbk)	$\sqrt{\frac{2[(\beta-1)E_b+E_a]}{r\beta\gamma}}$
৬	পার্থক্য (aicj-aick)	$\sqrt{\frac{2E_c}{r\beta}}$
৭	পার্থক্য (bicj - bick	$\sqrt{\frac{2E_c}{r\alpha}}$
৮	পার্থক্য (aick - ajck)	$\sqrt{\frac{2[(\gamma-1)E_c+E_a]}{r\beta\gamma}}$
৯	পার্থক্য (bick - bjck)	$\frac{2[(\gamma-1)E_c+E_b]}{r\alpha\gamma}$

ছকে বর্ণিত ট্রিটমেন্টসমূহের তুলনার ক্ষেত্রে ৫, ৮ এবং ৯নং ক্ষেত্রে আদর্শ ত্রুটির সাথে ট্রিটমেন্ট গড় পার্থক্যের অনুপাত t-পরীক্ষায় প্রয়োজ্য নয়। প্রকৃতপক্ষে, বিজ্ঞানী কক্রান ও কক্স (Cochran and Cox) ৫% স্তরে t-এর মান নির্ণয়ের জন্য ৫নং পার্থক্যের জন্য নিম্নলিখিত সূত্রের উল্লেখ করেন যা সাধারণ f-পরীক্ষার কাছাকাছি।

$$t = \frac{(\beta - 1)\, E_b t_b + E_a t_a}{(\beta - 1)\, E_b + E_a}$$

এখানে, $t_a = E_a$ মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে t-এর মান,

$t_b = E_b$ মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে t-এর মান।

অনুরূপভাবে, ৮ এবং ৯নং তুলনার ক্ষেত্রেও t-এর মান নির্ণয় করা যায়।

৭.৭. স্প্লিট প্লট ডিজাইনের উদাহরণ (১)

স্প্লিট প্লট ডিজাইন অবলম্বনে ধানের একটি উন্নত জাতে খামারজাত সার, নাইট্রোজেন ও ফসফরাস সার প্রয়োগ করে প্রাপ্ত ফলাফল ছক ৭.৯-এ উল্লেখ করা হলো। উপাত্ত বিশ্লেষণপূর্বক তোমার মতামত ব্যক্ত কর।

ট্রিটমেন্ট (সার)

(ক) প্রধান প্লট ট্রিটমেন্ট (খামারজাত সার)

$F_0 = 0$

$F_1 = 2500$ কেজি/প্লট খামারজাত সার

$F_2 = 5000$ কেজি/প্লট খামারজাত সার

$F_3 = 7500$ কেজি/প্লট খামারজাত সার

(খ) উপপ্লট ট্রিটমেন্ট (নাইট্রোজেন ও ফসফরাস সারের সমন্বয় মাত্রা)

$N_1 = 30$ কেজি/প্লট $(NH_4)_2 SO_4$ হিসেবে

$N_2 = 60$ কেজি/প্লট $(NH_4)_2 SO_4$ হিসেবে

$P_1 = 30$ কেজি/প্লট P_2O_5 সুপার ফসফেট হিসেবে

$P_2 = 60$ কেজি/প্লট P_2O_5 সুপার ফসফেট হিসেবে।

ছক ৭.৯ : ফলন (কেজি/প্লট)

	F_1 N_2P_1 15.5	F_2 N_1P_2 18.6	F_0 N_1P_1 8.8	F_3 N_1P_1 20.5
সমলিপন - ১	N_1P_2 14.7	N_2P_1 16.5	N_2P_2 12.4	N_1P_2 16.4
	N_2P_2 18.6	N_1P_1 14.2	N_1P_2 11.5	N_2P_2 20.0
	N_1P_1 16.0	N_2P_2 20.1	N_2P_1 12.0	N_2P_1 19.5

	F_2 N_1P_1 8.5	F_1 N_1P_2 10.5	F_3 N_1P_2 12.5	F_0 N_2P_2 8.0
সমলিপন - ২	N_2P_1 10.2	N_1P_1 8.0	N_2P_1 13.8	N_2P_1 12.0
	N_1P_2 9.5	N_2P_1 12.5	N_2P_2 14.0	N_1P_2 11.8
	N_2P_2 11.0	N_2P_2 13.0	N_1P_1 12.0	N_1P_1 10.0
	F_0 N_1P_2 13.0	F_2 N_1P_1 14.0	F_3 N_2P_1 13.5	F_1 N_1P_2 12.5

ছক ৭.১০ : ফলন (কেজি/প্লট)

প্রধান ট্রিটমেন্ট	উপট্রিটমেন্ট	সমলিপন - ১			সমলিপন - ২			সমলিপন - ৩			মোট		
		N_1	N_2	N_1+N_2	N_1	N_2	N_1+N_2	N_1	N_2	N_1+N_2	N_1	N_2	N_1+N_2
F_0	P_1	8.8	12.0	20.8	10.0	12.0	22.0	12.0	14.5	26.5	30.8	38.5	69.3
	P_2	11.5	12.4	23.9	11.8	8.0	19.8	13.0	16.0	29.0	36.3	36.4	72.7
	মোট	20.3	24.4	44.7	21.8	20.0	41.8	25.0	30.5	55.5	67.1	74.9	142.0
F_1	P_1	16.0	15.5	31.5	8.0	12.5	20.5	12.0	13.0	25.0	36.0	51.0	87.0
	P_2	14.7	18.6	33.3	10.5	13.0	23.5	12.5	14.0	26.5	37.7	45.6	83.3
	মোট	30.7	34.1	64.8	18.5	25.5	44.0	24.5	27.0	51.5	73.7	96.6	170.3
F_2	P_1	14.2	16.5	30.7	8.5	10.2	18.7	14.0	15.0	29.0	36.7	41.7	78.4
	P_2	18.6	20.1	38.7	9.5	11.0	20.5	12.0	14.5	26.5	40.1	45.6	85.7
	মোট	32.8	36.6	69.4	18.0	21.2	39.2	26.0	29.5	55.5	76.8	87.3	164.1
F_3	P_1	20.5	19.5	40.0	12.0	13.8	25.8	8.5	13.5	22.0	41.0	46.8	87.8
	P_2	16.4	20.0	36.4	12.5	14.0	26.5	12.5	10.8	23.3	41.4	44.8	86.2
	মোট	36.9	39.5	76.4	24.5	27.8	52.3	21.0	24.3	45.3	82.4	91.6	174.0

সমলিপন – ৩				
	N_2P_1 14.5	N_2P_1 15.0	N_1P_2 12.5	N_1P_2 13.0
	N_2P_2 16.0	N_2P_2 14.5	N_2P_2 10.8	N_1P_2 14.0
	N_1P_1 12.0	N_1P_2 12.0	N_1P_1 8.5	N_1P_1 12.0

১ম ধাপ : বিশ্লেষণের সুবিধার্থে প্রদত্ত উপাত্তকে ছক ৭.১০–এ লিপিবদ্ধ করা হলো।

২য় ধাপ : শোধক মান (CF) নির্ণয়–

$$\text{শোধক মান (CF)} = \frac{(\text{সর্বমোট ফলনের উপাত্তের যোগফল})^2}{\text{প্রধান উপাদান সংখ্যা} \times \text{নাইট্রোজেন মাত্রা সংখ্যা} \times \text{ফসফরাস মাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}$$

$$= \frac{(15.5 + 18.6 + \ldots\ldots\ldots\ldots + 8.5 + 12.0)^2}{4 \times 2 \times 2 \times 3}$$

$$= \frac{(640.4)^2}{48}$$

$$= \frac{410112.16}{48}$$

$$= 8544.0$$

সর্বমোট বর্গসমষ্টি $= \Sigma(\text{প্রতি প্লটের ফলন})^2 - \text{শোধক মান (CF)}$

$$= (15.5)^2 + (18.6)^2 + \ldots\ldots\ldots + (8.5)^2 + (12)^2 - 8544.0$$

$$= 9027.18 - 8544.0$$

$$= 483.18$$

৩য় ধাপ : খামারজাত সারজনিত বর্গসমষ্টি। সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি, ব্লক বর্গসমষ্টি ও ব্লক ত্রুটি বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

ছক ৭.১১

	সমলিপন – ১	সমলিপন – ২	সমলিপন – ৩	মোট
F_0	44.7	41.8	55.5	142.00
F_1	64.8	44.0	51.5	160.30
F_2	69.4	39.2	55.5	164.10
F_3	76.4	52.3	45.3	174.00
মোট	255.3	177.3	207.8	640.40

$$\text{সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি} = \frac{\Sigma(\text{প্রতি সমলিপনে মোট ফলন})^2}{\text{খামারজাত সারমাত্রা সংখ্যা} \times \text{নাইট্রোজেন মাত্রা সংখ্যা} \times \text{ফসফরাস মাত্রা সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{(255.3)^2 + (177.3)^2 + (207.8)^2}{4 \times 2 \times 2} - 8544.0$$

$$= \frac{139794.22}{16} - 8544.0$$

$$= 8737.14 - 8544.0$$

$$= 193.14$$

খামারজাত সার বর্গসমষ্টি

$$= \frac{\Sigma(\text{প্রতি খামারজাত সার মাত্রায় মোট ফলন})^২}{\text{নাইট্রোজেন মাত্রাসংখ্যা} \times \text{ফসফরাস মাত্রা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান।}$$

$$= \frac{(142.0)^2 + (160.30)^2 + (164.1)^2 + (174.0)^2}{2 \times 2 \times 3} - 8544.0$$

$$= \frac{103064.9}{12} - 8544.0$$

$$= 8588.74 - 8544.0$$

$$= 44.74$$

$$\text{ব্লক বর্গসমষ্টি} = \frac{\Sigma(\text{প্রতি ব্লকে মোট ফলন})^২}{\text{নাইট্রোজেন মাত্রা সংখ্যা} \times \text{ফসফরাস মাত্রা সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{(44.7)^2 + (41.8)^2 + \ldots\ldots + (45.3)^2}{2 \times 2} - 8544.0$$

$$= \frac{35670.46}{4} - 8544.0$$

$$= 8917.615 - 8544.0$$

$$= 373.615$$

ব্লক ত্রুটি বর্গসমষ্টি = ব্লক বর্গসমষ্টি – সমলিপন বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার বর্গসমষ্টি

∴ ব্লক ত্রুটি বর্গসমষ্টি = 373.615 - 193.139 - 44.74 = 135.74

৪র্থ ধাপ : নাইট্রোজেন ও এর সাথে খামারজাত সারের আন্তঃক্রিয়াজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় :

ছক ৭.১২

	N_1	N_2	মোট
F_0	67.1	74.9	142.0
F_1	73.7	86.6	160.3
F_2	76.8	87.3	164.1
F_3	82.4	91.6	174.0
মোট	300.0	340.4	640.4

নাইট্রোজেনজনিত বর্গসমষ্টি

$$= \frac{\Sigma(\text{প্রতি নাইট্রোজেন মাত্রায় মোট ফলন})^২}{\text{খামার জাত সারমাত্রা সংখ্যা} \times \text{ফসফরাস মাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$

$$= \frac{(300.0)^2 + (340.4)^2}{4 \times 2 \times 3} - 8544.0$$

$$= \frac{205872.16}{24} - 8544.0$$

$$= 8578.01 - 8544.0$$

$$= 34.01$$

খামার জাত সার × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি

$$= \left\{ \frac{\Sigma(\text{প্রতি খামারজাত ও নাইট্রোজেন মাত্রায় ফলন})^২}{\text{ফসফরাস সার মাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}} - \text{শোধক মান} \right\}$$

– খামারজাত সার বর্গসমষ্টি–নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি

$$= \left\{ \frac{(67,1)^2 + \ldots\ldots + (91.6)^2}{2 \times 3} - 8544.0 \right\} - 44.74 - 34.0$$

$$= \frac{51743.52}{6} - 8544 - 78.74$$

$$= 8623.92 - 8544 - 78.74$$

$$= 79.92 - 78.74$$

$$= 1.18$$

৫ম ধাপ : ফসফরাস এর সাথে নাইট্রোজেনের আন্তঃক্রিয়াজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয়।

ছক ৭.১৩

	P_1	P_2	মোট
N_1	144.5	155.5	300.0
N_2	168.0	172.4	340.4
মোট	312.5	327.9	640.4

ফসফরাস সারজনিত বর্গসমষ্টি

$$= \frac{\{(\text{প্রতি ফসফরাস মাত্রায় মোট ফলন})^২}{\text{খামারজাত সার মাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা} \times \text{নাইট্রোজেন মাত্রা}} - \text{শোধকমান}$$

$$= \frac{(312.5)^2 + (327.9)^2}{4 \times 3 \times 2} - 8544.0$$

$$= \frac{205174.66}{24} - 8544.0$$
$$= 85489.94 - 8544$$
$$= 4.94$$

নাইট্রোজেন × ফসফরাস এর বর্গসমষ্টি

$$= \left\{\frac{\sum(\text{প্রতি নাইট্রোজেন ও ফসফরাস মাত্রায় মোট ফলন})^2}{\text{খামারজাত সার মাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}\right\} - \text{শোধক মান}$$
$$- \text{নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি} - \text{ফসফরাস বর্গসমষ্টি}$$

$$= \left\{\frac{(144.5)^2 + (155.5)^2 + (168.0)^2 + (172.4)^2}{4 \times 3}\right\} - 34.0 - 4.94$$
$$= \left\{\frac{103006.26}{12}\right\} - 8544.0) - 38.94$$
$$= (8583.855 - 8544.0) - 38.94$$
$$= 39.855 - 38.94$$
$$= 0.915$$

৬ষ্ঠ ধাপ : খামারজাত সার × ফসফরাস সার বর্গসমষ্টি নির্ণয়—

ছক ৭.১৪

	P_1	P_2	মোট
F_0	69.3	72.7	142.0
F_1	77.0	83.3	160.3
F_2	78.4	85.7	164.1
F_3	87.8	86.2	174.0
মোট	312.5	327.9	640.4

খামারজাত সার × ফসফরাস বর্গসমষ্টি

$$= \left\{\frac{\sum(\text{প্রতি খামার জাত সার ও ফসফরাস এর মোট ফলন})^2}{\text{নাইট্রোজেন মাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}\right\} - \text{শোধক মান}$$
$$- \text{খামারজাত সার বর্গ সমষ্টি} - \text{ফসফরাস বর্গ সমষ্টি}$$

$$= \left\{\frac{(69.3)^2 + (72.7)^2 + \ldots\ldots + (86.2)^2}{2 \times 3} - 8544.0\right\} - 44.74 - 4.94$$

$$= \left(\frac{51586}{6} - 8544.0\right) - 44.74 - 4.94$$

= 53.67 - 44.74 - 4.94

= 3.986

৭ম ধাপ : খামারজাত সার × ফসফরাস × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি নির্ণয়–

ছক ৭.১৫

	N_1P_1	N_1P_2	N_2P_1	N_2P_2	মোট
F_0	30.8	36.3	38.5	36.4	142.0
F_1	36.0	37.7	41.0	45.6	160.3
F_2	36.7	40.1	41.7	45.6	164.1
F_3	41.0	41.4	46.8	44.8	174.0
মোট	144.5	155.5	168.0	172.4	640.4

খামারজাত সার × ফসফরাস × নাইট্রোজেন সার বর্গসমষ্টি

$$= \left\{\frac{(\Sigma\text{প্রতি খামারজাত সার ও নাইট্রোজেন এবং ফসফরাস মাত্রায় মোট ফলন})^2}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}\right\} - \text{শোধক মান}$$

– খামার জাত সার বর্গসমষ্টি – নাইট্রোজেন সার বর্গসমষ্টি – ফসফরাস সার বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার × ফসফরাস বর্গসমষ্টি – ফসফরাস × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি

$$= \left\{\frac{(30.8)^2 + (36.3)^2 + \ldots\ldots + (44.8)^2}{3} - 8544\right\} - 44.74 - 34.01 - 4.94 - 1.18 - 3.986 - 0.915$$

$$= \left(\frac{25916.58}{3} - 8544\right) - 89.771$$

= (8638.86 - 8544) - 89.771

= 94.86 - 89.771 = 5.09

ক্রটিজনিত বর্গসমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি – ব্লক ক্রটি বর্গসমষ্টি – সমলিপন বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার বর্গসমষ্টি – নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি – ফসফরাস বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার × ফসফরাস বর্গসমষ্টি – ফসফরাস × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি – খামারজাত সার × নাইট্রোরজেন × ফসফরাস বর্গসমষ্টি।

= 483.18 - 135.74 - 193.14 - 44.74 - 34.01 - 4.94 - 1.18 - 3.986 - 0.915 - 5.09

= 59.44

৮ম ধাপ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি

ছক ৭.১৬ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা	বর্গসমষ্টি	গড় বর্গ	F (নির্ণয়কৃত)	F 5% (তত্ত্বীয়)
সমলিপন	2	193.135	96.57		
খামারজাত সার	3	44.74	14.91	0.66	4.76
ব্লক ত্রুটি (Ea)	6	135.74	22.62		
নাইট্রোজেন	1	34.01	34.01	13.71*	4.26
ফসফরাস	1	4.94	4.94	1.99	4.26
খামারজাত সার × নাইট্রোজেন	3	1.18	0.39	0.16	3.01
খামারজাত সার × ফসফরাস	3	3.986	1.33	0.54	3.01
নাইট্রোজেন × ফসফরাস	1	0.915	0.915	0.37	4.26
খামারজাত সার × নাইট্রোজেন × ফসফরাস	3	5.09	1.70	0.69	3.01
পরীক্ষণ ত্রুটি (Eb)	24	59.44	2.48		
মোট	47	483.18			

উল্লিখিত ছকে, ফলনের উপর শুধু নাইট্রোজেন প্রয়োগের তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব রয়েছে ; কেননা খামারজাত সার, ফসফরাস বা প্রয়োগকৃত অন্যান্য সন্নিবেশের কোনো তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব নেই।

নবম ধাপ : নাইট্রোজেন সারের তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য থাকায় তাদের বিভিন্ন মাত্রার গড় প্রভাবের তুলনা করার জন্য পরবর্তীতে 't' পরীক্ষা করা হলো—

$$\text{আদর্শ ত্রুটি (SE)} = \sqrt{\frac{\text{২× গড় ত্রুটি বর্গ (নাইট্রোজেনের জন্য)}}{\text{প্রধান ট্রিটমেন্ট সংখ্যা (খামার জাত সার) × সমলিপন সংখ্যা}}}$$

$$\therefore \text{আদর্শ ত্রুটি (SE)} = \sqrt{\frac{2 \times 2.477}{4 \times 3}}$$

$$= \sqrt{\frac{2.477}{6}} = \sqrt{0.413} = 0.64$$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) = আদর্শ ত্রুটি × t 5% (24 মুক্তমাত্রায়)

$$= 0.64 \times 2.064 = 1.32$$

ছক ৭.১৭ : ফলন (কেজি/প্লট)

		সমলিপন – ১			সমলিপন – ২			সমলিপন – ৩			মোট		
		R_1	R_2	R_1+R_2	R_1	R_2	R_1+R_2	R_1	R_2	R_1+R_2	R_1	R_2	R_1+R_2
S_1	N_0	8.3	10.3	18.6	8.0	8.0	16.0	6.0	8.5	14.5	22.3	26.8	49.1
	N_1	9.3	9.0	18.3	9.5	11.7	21.2	11.3	10.7	22.0	30.1	31.4	61.5
	N_2	11.3	11.5	22.8	11.3	11.7	23.0	14.7	15.0	29.7	37.3	38.2	75.5
	N_3	10.5	15.7	26.2	10.5	11.7	22.2	10.3	15.0	25.3	31.3	42.4	73.7
	মোট	39.4	46.5	85.9	39.3	43.1	82.4	42.3	49.2	91.5	121.0	138.8	259.8
S_2	N_0	5.7	4.5	10.2	8.3	8.5	16.8	5.3	4.3	9.6	19.3	17.3	36.6
	N_1	4.7	5.3	10.0	8.0	9.3	17.3	5.3	6.7	12.0	18.0	21.3	39.3
	N_2	5.3	5.5	10.8	8.0	8.7	16.7	8.5	11.3	19.8	21.8	25.5	47.3
	N_3	6.5	8.3	14.8	8.0	9.0	17.0	6.3	8.5	14.8	20.8	25.8	46.6
	মোট	22.2	23.6	45.8	32.3	35.5	67.8	25.4	30.8	56.2	79.9	89.9	169.8
S_3	N_0	5.0	4.7	9.7	1.5	3.0	4.5	3.7	4.5	8.2	10.2	12.2	22.4
	N_1	7.0	8.3	15.3	2.5	3.5	6.0	6.7	4.5	11.2	16.2	16.3	32.5
	N_2	3.3	3.3	6.6	2.5	1.0	3.5	6.3	8.0	14.3	12.1	12.3	24.4
	N_3	2.7	3.3	7.0	1.3	2.5	3.8	4.0	7.7	11.7	8.0	14.5	22.5
	মোট	18.0	20.6	38.6	7.8	10.0	17.8	20.7	24.7	45.4	46.5	55.3	101.8
	সর্বমোট	79.6	90.7	170.3	79.4	88.6	168.0	88.4	104.7	193.1	247.4	284.0	531.4

১ম নাইট্রোজেন মাত্রা N_1 এর গড় = 12.5 এবং ২য় নাইট্রোজেন মাত্রা N_2 এর গড় = 14.18
$\therefore N_2 - N_1 = 14.18 - 12.4 = 1.68$
এ পার্থক্য ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য অপেক্ষা বেশি। অতএব 30 কেজি/হে. নাইট্রোজেন মাত্রা অপেক্ষা 60 কেজি/হে. নাইট্রোজেন মাত্রা প্রয়োগ অধিক ফলপ্রসূ।

উদাহরণ (২) : স্প্লিট প্লট ডিজাইন অবলম্বনে গমের একটি উন্নত জাতে বিভিন্ন উপাদান প্রয়োগ করে প্রাপ্ত ফলাফল ছক ৭.১৭-এ উল্লেখ করা হলো। প্রদত্ত উপাত্ত বিশ্লেষণপূর্বক বিভিন্ন প্রভাবক ও তাদের সমন্বিত আন্তঃক্রিয়া প্রভাবের যথার্থতা যাচাই কর।

প্রধান প্লটে ব্যবহৃত ট্রিটমেন্ট : বীজ বপনের প্রথম সময় = S_1
বীজ বপনের দ্বিতীয় সময় = S_2
বীজ বপনের তৃতীয় সময় = S_3

উপপ্লট ট্রিটমেন্ট : N_0 = নাইট্রোজেন সারবিহীন (কন্ট্রোল)
N_1 = ১৫ কেজি. নাইট্রোজেন সার/একর
N_2 = 30 কেজি, নাইট্রোজেন সার/একর
N_3 = 45 কেজি নাইট্রোজেন সার/একর

উপউপপ্লট ট্রিটমেন্ট : R_1 = 25 কেজি, বীজ/একর
R_2 = 38 কেজি, বীজ/একর

বিশ্লেষণ

১ম ধাপ : সর্বমোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়—

সর্বমোট বর্গসমষ্টি নির্ণয়ের জন্য প্রদত্ত উপাত্তকে নিম্নরূপে (ছক ৭.১৮) সাজিয়ে লেখা হলো :

ছক ৭.১৮ : $R_1 \cdot R_2$ [ফলন (কেজি/প্লট)]

	সমলিপন -১				সমলিপন -২				সমলিপন -৩			
	N_0	N_1	N_2	N_3	N_0	N_1	N_2	N_3	N_0	N_1	N_2	N_3
S_1	18.6	18.3	22.8	26.2	16.0	21.2	23.0	22.2	14.5	22.0	29.7	25.3
S_2	10.2	10.0	10.8	14.8	16.8	17.3	16.7	17.0	9.6	12.0	19.8	14.8
S_3	9.7	15.3	6.6	7.0	4.5	6.0	3.5	3.8	8.2	11.2	14.3	11.7

$$\text{শোধক মান} = \frac{(\text{সর্বমোট ফলনের উপাত্তের যোগফল})^2}{\text{সর্বমোট ফলনের একক সংখ্যা } (3\times3\times4\times2)}$$

$$= \frac{(8.3 + 10.3 + 8.0 + \ldots\ldots\ldots 4.0 + 7.7)^2}{72}$$

$$= \frac{(531.4)^2}{72}$$

$$= \frac{282385.96}{72}$$
$$= 3922.03$$

সর্বমোট বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma \text{ ফলন}^২}{\text{প্রতি ফলনে প্লট সংখ্যা}}$ -- শোধক মান

$$\therefore \text{ মোট বর্গসমষ্টি } = \frac{(18.6)^2 + (18.3)^2 + \ldots\ldots + (14.3)^2 + (11.7)^2}{2} - 3922.03$$
$$= \frac{9404.96}{2} - 3922.03$$
$$= 4702.48 - 3922.03$$
$$= 780.45$$

২য় ধাপ : নিম্নলিখিতভাবে বীজবপন সময় সম্পর্কিত ছক তৈরি করতে হবে।

ছক ৭.১৯

সমলিপন	বীজ-বপন সময়			মোট
	S_1	S_2	S_3	
১	85.7	45.8	38.6	170.3
২	82.4	67.8	17.8	168.0
৩	91.5	56.2	45.4	193.1
মোট	259.8	169.8	101.8	531.4

১. মোট বর্গসমষ্টি ২

$$= \frac{\text{প্রতি বপন সময় অনুযায়ী ফলনের যোগফল}}{\text{ফলন প্রতি প্লট সংখ্যা}} - \text{শোধক মান}$$
$$= \frac{(85.9)^2 + (45.8)^2 + \ldots\ldots + (56.2)^2 + (45.4)^2}{8} - 3922.03$$
$$= \frac{36261.7}{8} - 3922.03$$
$$= 4532.7125 - 3922.03$$
$$= 610.68$$

২. সমলিপন বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma \text{ (প্রতি সমলিপনে মোট ফলন)}^২}{\text{প্রতি সমলিপনে প্লট সংখ্যা}}$ -- শোধক মান

$$= \frac{(170.3)^2 + (168)^2 + (193.1)^2}{24} - 3922.03$$
$$= \frac{94513.7}{24} - 3922.03$$
$$= 3938.07 - 3922.03$$
$$= 16.04$$

৩. বপন সময় বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma \text{ (প্রতি বপন সময়ের মোট ফলন)}^2}{\text{প্রতি বপন সময়ে প্লট সংখ্যা}}$ – শোধক মান

$= \frac{259.8^2 + 169.8^2 + 101.8^2}{24} - 3922.03$

$= \frac{106691.32}{24} - 3922.03$

$= 4445.472 - 3922.03$

$= 523.44$

৪. ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (ক) = মোট বর্গসমষ্টি$_২$ – সমলিপন বর্গসমষ্টি – বপন সময় বর্গসমষ্টি

$= 610.68 - 16.04 - 523.44$

$= 610.68 - 539.48$

$= 71.20$

৩য় ধাপ : নাইট্রোজেন সার ও বীজের মাত্রাভিত্তিক বর্গসমষ্টি নির্ণয় :

ছক ৭.২০ : সব সমলিপনে $R_1 + R_2 + R_3$ [ফলন (কেজি/প্লট)]

বীজ বপন সময়	নাইট্রোজেন সারের মাত্রা				মোট
	N_0	N_1	N_2	N_3	
S_1	49.1	61.5	75.5	73.7	259.8
S_2	36.6	39.3	47.3	46.6	169.8
S_3	22.4	32.5	24.4	22.5	101.8
মোট	108.1	133.3	147.2	142.8	531.4

১. মোট বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma(\text{ফলন})^2}{\text{ফলন প্রতি প্লট সংখ্যা}}$ – শোধক মান

$= \frac{49.1^2 + 61.5^2 + \ldots + (24.4)^2 + (22.5)^2}{6} - 3922.01$

$= \frac{27277.52}{6} - 3922.03$

$= 4546.253 - 3922.03$

$= 624.22$

২. নাইট্রোজেন সার বর্গসমষ্টি = $\frac{\Sigma \text{ (প্রতি মাত্রা নাইট্রোজেন এ মোট ফলন)}^2}{\text{ফলন প্রতি প্লট সংখ্যা}}$ – শোধক মান

$= \frac{(108.1)^2 + (133.3)^2 + (147.2)^2 + (142.8)^2}{18} - 3922.03$

$= \frac{71514.18}{18} - 3922.03$

$= 3973.01 - 3922.03$

$= 50.98$

৩. নাইট্রোজেন ও বপন সময় বর্গসমষ্টি = মোট বর্গসমষ্টি৩ – নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি – বপন সময় বর্গসমষ্টি।

$= 624.22 - 50.98 - 523.44$

$= 49.8$

৪. ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (খ) = মোট বর্গসমষ্টি১ – মোট বর্গসমষ্টি২ – নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি – নাইট্রোজেন ও বপন সময় বর্গসমষ্টি।

$= 780.45 - 610.68 - 50.98 - 49.8$

$= 68.99$

৪র্থ ধাপ

ছক ৭.২১ : সব সমলিপনের জন্য $R_2 - R_1$

বীজ বপন	নাইট্রোজেন সার মাত্রা				মোট
সময়	N_0	N_1	N_2	N_3	
S_1	4.5	1.3	0.9	11.1	17.8
S_2	-2.0	3.3	3.7	5.0	10.0
S_3	2.0	0.1	0.2	6.5	8.8
মোট	4.5	4.7	4.8	22.6	36.6

১. এক্ষেত্রে শোধক মান = $\frac{(36.6)^2}{72} = \frac{1339.56}{72} = 18.61$

২. সারের মাত্রা বর্গসমষ্টি = উল্লিখিত শোধক মান

$= 18.61$

৩. (মোট বর্গসমষ্টি)$_4$ = $\frac{(4.5)^2 + (-2.0)^2 + \ldots\ldots\ldots + (6.5)^2}{6} - 18.61$

$= \frac{245.84}{6} - 18.61$

$= 40.97 - 18.61$

$= 22.36$

৪. বীজমাত্রা × বপন সময় বর্গসমষ্টি = $\frac{(17.8)^2 + (10)^2 + (8.8)^2}{24} - 18.61$

$= \frac{494.28}{24} - 18.61$

$= 20.595 - 18.61$

$= 1.985$

BANSDOC Library
Accession No. 20937

৫. বীজমাত্রা × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি

$$= \frac{(4.5)^2 + (4.7)^2 + (4.8)^2 + (22.6)^2}{18} - 18.61$$

$$= \frac{576.14}{18} - 18.61$$

$$= 13.397$$

৬. বীজ মাত্রা × নাইট্রোজেন × বপন সময় বর্গসমষ্টি

= (মোট বর্গসমষ্টি)$_4$ – বীজমাত্রা × বপন সময়) বর্গসমষ্টি – বীজমাত্রা × নাইট্রোজেন বর্গসমষ্টি

= 22.36 - 1.98 - 13.40

= 6.98

৫ম ধাপ : পূর্ণাঙ্গ ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি :

ছক ৭.২২ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা	বর্গসমষ্টি	গড় বর্গ	F (নির্ণয়কৃত)	F 5% (তত্ত্বীয়)
সমলিপন	2	16.04	8.02		
বপন সময়	2	523.44	261.72	14.70*	6.94
ত্রুটি (ক)	4	71.20	17.80		
মোট	8	610.68			
নাইট্রোজেন মাত্রা	3	50.98	16.99	4.44	3.16
নাইট্রোজেন × বপন সময়	6	49.80	8.30	2.17	2.66
ত্রুটি (খ)	18	68.99	3.83		
মোট	35	780.45			
বীজমাত্রা	1	18.61	18.61	21.39*	4.26
বীজমাত্রা × বপন সময়	2	1.98	0.99	1.14*	3.40
বীজ মাত্রা × নাইট্রোজেন	3	13.40	4.47	5.14*	3.01
বীজমাত্রা × নাইট্রোজেন × সময়	6	6.98	1.16	1.33	2.51
ত্রুটি (গ)	24	20.87	0.87		
মোট	71	842.29			

উল্লিখিত ছকে লক্ষ্য করা যায়, বপন সময়, নাইট্রোজেন সারমাত্রা এবং বীজমাত্রার প্রধান প্রভাব যথেষ্ট তাৎপর্যপূর্ণ। বীজমাত্রা ও নাইট্রোজেন সারের আন্তঃক্রিয়ার প্রভাবও তাৎপর্যপূর্ণ।

৬ষ্ঠ ধাপ : ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নির্ণয় :

(১) বপন সময়ের জন্য গড় ফলনের পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি

$$= \sqrt{\frac{২ \times \text{ত্রুটি (ক)}}{\text{বীজমাত্রা সংখ্যা} \times \text{সারমাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}}$$

$$= \sqrt{\frac{২ \times ১৭.৮০}{২ \times ৪ \times ৩}}$$

$$= \sqrt{\frac{17.80}{12}}$$

$$= \sqrt{1.483}$$

$$= 1.217$$

$$= 1.22$$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য = আদর্শ ত্রুটি xt 5% (ত্রুটি মুক্তমাত্রা)

$$= 1.217 \times 1.776$$

$$= 3.39$$

(২) নাট্রোজেন সারমাত্রার জন্য গড় ফলনের পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি

$$= \sqrt{\frac{২ \times \text{ত্রুটি (খ)}}{\text{বীজমাত্রা সংখ্যা} \times \text{বপন সময় সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 3.83}{2 \times 3 \times 3}}$$

$$= \sqrt{0.426}$$

$$= 0.65$$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য = আদর্শ ত্রুটি x t 5% (ত্রুটিমুক্ত মাত্রায়)

$$= 0.65 \times 2.101$$

$$= 1.37$$

(৩) বীজ মাত্রার জন্য গড় ফলনের পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি

$$= \sqrt{\frac{২ \times \text{ত্রুটি (গ)}}{\text{বপন সময় সংখ্যা} \times \text{সারমাত্রা সংখ্যা} \times \text{সমলিপন সংখ্যা}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 0.87}{3 \times 4 \times 3}}$$

$= \sqrt{0.049}$

$= 0.22$

ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য = আদর্শ ত্রুটি × t5% (ত্রুটিমুক্ত মাত্রায়)

$= 0.22 \times 2.064$

$= 0.45$

ফলাফলের সারাংশ

ছক ৭.২৩ : গড় ফলন (কেজি/প্লট)

ট্রিটমেন্ট	বপন সময়			নাইট্রোজেন মাত্রা				বীজ মাত্রা	
উপাদান গড়	S_1	S_2	S_3	N_0	N_1	N_2	N_3	R_1	R_2
গড়	10.83	7.07	4.24	6.01	7.41	8.18	7.93	6.87	7.89
পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি	1.22			0.65				0.22	
ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য	3.39			1.37				0.45	

মতামত : এখানে বপনের প্রথম সময় (S_1) ২য় ও ৩য় বপন সময় (S_2 ও S_3) অপেক্ষা উৎকৃষ্ট।

অতএব, এক্ষেত্রে নাইট্রোজেনের উপস্থিতি ফলাফলে তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব ফেলে। নাইট্রোজেন মাত্রা তিনটি (N_1, N_2 এবং N_3) এর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ কোনো পার্থক্য নেই। দ্বিতীয় বীজমাত্রা (R_2) প্রথম বীজমাত্রা (R_1) অপেক্ষা শ্রেয়।

অষ্টম অধ্যায়

ল্যাটিস পরীক্ষণ ডিজাইন

Lattice Experimental Design

৮.১. ভূমিকা

এ পর্যন্ত যেসব ডিজাইন সম্পর্কে আলোচনা করা হয়েছে তাতে অল্প সংখ্যক ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করে তার মধ্যে তুলনা করা বা বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের আন্তঃক্রিয়া সম্পর্কে জানা যায়। কিন্তু অনেক সময় অনেকগুলো জাত (variety), লাইন (line) বা স্ট্রেইন (strain) এর মধ্যে তুলনা করতে হয় এবং এদের মধ্যে আন্তঃক্রিয়া জানার প্রয়োজন হয়। এসব ক্ষেত্রে পূর্বে আলোচিত পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বন করা যুক্তিসঙ্গত নয়। মনে করি, একজন উদ্ভিদ প্রজননবিদ কোনো একটি শস্য উদ্ভিদের ১০০টি জাতের মধ্যে তুলনা করে তা থেকে কিছু উৎকৃষ্ট জাত নির্বাচন করবেন। সেক্ষেত্রে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন বা ফ্যাক্টোরিয়াল ডিজাইন অবলম্বন করা পরিসংখ্যানিক নিয়ম অনুযায়ী সম্ভব নয়। এর জন্য স্থানীয় নিয়ন্ত্রণ পদ্ধতির উন্নয়ন করে ল্যাটিস নামের বেশকিছু পরীক্ষণ ডিজাইন উদ্ভাবন করা হয়েছে যার সাহায্যে এ ধরনের কাজ করা সম্ভব।

৮.২. বহু সংখ্যক জাত বা ট্রিটমেন্টের ব্যবহারের ক্ষেত্রে উদ্ভূত সমস্যার সাধারণ ধরন

(General nature of the problems in an experiment involing a large number of varieties or treatments)

আমরা জানি যে, যদি ব্যবহৃত জাত বা ট্রিটমেন্ট সংখ্যা অনেক বেশি হয় তবে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন ব্যবহার করতে গেলে খুব বড় ব্লক তৈরি করতে হয়। এতে ব্লকের মধ্যে অসমসত্ত্বতা বৃদ্ধি পাবে যা বিশ্লেষণের ক্ষেত্রে গৃহীত হবে না। আবার ল্যাটিন বর্গের ক্ষেত্রে ১২ এর অধিক ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা যায় না। তাহলে কিভাবে এ সমস্যার সমাধান করা যায়? মনে করি, গমের ২৫টি জাতের মধ্যে ফলনের তুলনা করতে হবে। এখন ২৫টি জাতকে একই ব্লকের মধ্যে স্থাপন না করে ৫টি উপব্লকের মধ্যে (প্রতি উপব্লকে ৫টি করে সমসত্ত্ব প্লট) ৫টি উপগ্রুপে ভাগ করা হলো। এবার প্রতিটি উপগ্রুপকে একেকটি উপব্লকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হলো। এর ফলে ধরে নেয়া যায়, নিচে উল্লেখিত বিন্যাস (ছক ৮.১) গঠিত হলো।

ছক ৮.১ : কল্পিত ডিজাইন পরিকল্পনা

উপব্লক					
(৩)	১৪	১১	১৩	১৫	১২
(১)	৩	১	৫	২	৪
(৫)	২২	২৪	২১	২৩	২৫
(২)	৭	৬	১০	৯	৮
(৪)	২০	১৬	১৯	১৮	১৩

দেখা যাক, এ ধরনের বিন্যাস থেকে কি তুলনা করা যেতে পারে। লক্ষণীয় যে, (ক) সবগুলো উপব্লক মিলে একটি সমলিপন তৈরি করেছে। (খ) যে কোনো একটি প্লটের ফলন অনেকগুলো ট্রিটমেন্টের উপর নির্ভরশীল, যথা- (১) একটি প্লটে স্থাপিত জাতের ধরন, (২) যে প্লটে এ জাতকে স্থাপন করা হয়েছে তার প্রভাব (প্লটটি অন্য উপব্লকের প্লট হতে বেশি বা কম উর্বর হতে পারে) এবং (৩) ব্লকের অভ্যন্তরীণ অনিয়ন্ত্রণযোগ্য প্রভাবকের প্রভাব অর্থাৎ ব্লকের অভ্যন্তরের পরীক্ষণ ত্রুটি। অধিকন্তু এসব প্রভাবের সংযোজিত প্রভাবের ফলে আমরা দেখতে পাই যে,

৮.২.১. একই উপব্লকের ২টি জাতের ফলনের মধ্যে যে পার্থক্য হয় তার মধ্যে জাত দুটির মধ্যে সত্যিকারের পার্থক্যের সাথে আন্তঃব্লকের বিভিন্ন প্রভাবকের প্রভাব থেকে যায় এবং উপব্লকের কোনো প্রভাব থাকে না। কেননা একই উপব্লকের মধ্যে প্লট দুটি অবস্থিত।

৮.২.২. ভিন্ন ব্লকে স্থাপিত দুটি জাতের যে পার্থক্য পরিলক্ষিত হয় এর মধ্যে উপরে উল্লেখিত দুটি বিষয় ছাড়াও তৃতীয় আরেকটি বিষয়ের প্রভাব যথা- ভিন্ন উপব্লকের অসমসত্ত্বতা পার্থক্যের প্রভাব সংযুক্ত হয়। উদাহরণস্বরূপ ছক ৮.১ এ উল্লেখিত ১১ এবং ১৪নং জাতের মধ্যে পরিলক্ষিত পার্থক্য শুধুমাত্র (ক) আইটেমে উল্লেখিত দুটি বিষয় থাকে আবার ১নং এবং ৬নং জাতের মধ্যে পরিলক্ষিত ফলনের পার্থক্যের মধ্যে জাত দুটির মধ্যে প্রকৃত পার্থক্য, উপব্লকের পার্থক্যের প্রভাব এবং ভিন্ন উপব্লকের মধ্যে অসমসত্ত্বতার প্রভাব বিদ্যমান। অর্থাৎ একই উপব্লকের মধ্যে ব্যবহার করা জাতের ফলনের মধ্যে পার্থক্য যতটা সূক্ষ্মতার সাথে তুলনা করা যায় ভিন্ন উপব্লকে ব্যবহৃত দুটি জাতের মধ্যে ততটা সূক্ষ্মতার সাথে তুলনা করা সম্ভব হয় না। ফলে বিভিন্ন জাতের মধ্যে একই সূক্ষ্মতার আলোকে তুলনা করা সম্ভব নয়। এ সমস্যা থেকে উত্তরণের জন্য ভারসাম্য প্রণয়নের প্রয়োজন এবং ইতোমধ্যে এর সমাধানের পদ্ধতিও উদ্ভাবন করা হয়েছে। এ কারণের জন্য প্রতিটি জাতের জন্য একাধিক সমলিপন ব্যবহারের ব্যবস্থা করা হয় যাতে প্রতিটি সমলিপনে বিভিন্ন জাত এমনভাবে ব্যবহার করা যায় যেন এদেরকে বিভিন্ন ব্লকে ও উপব্লকে স্থাপন করা যায়।

তুলনার ক্ষেত্রে এই যে ভারসাম্যহীনতা নিরসন করা খুবই প্রয়োজন। তবে এমন যদি করা যায় যে, প্রতিটি জাত অন্য প্রত্যেক জাতের জন্য একবার করে হলেও যদি একই উপব্লকে স্থাপন করা যায়, তবে তুলনার বিষয়টি বেশ তাৎপর্যপূর্ণ হয়। আর এটি করতে গেলে ২৫টি জাত ব্যবহার করার ক্ষেত্রে বিভিন্নভাবে উপদল করে ৬টি সমলিপন ব্যবহারের প্রয়োজন হয়। এ ধরনের একটি পরিকল্পিত ডিজাইন ছক ৮.২-এ দেওয়া হলো। আর এ ধরনের ডিজাইনকে ভারসাম্য ল্যাটিস পরিকল্পনা (Balanced lattice plan) বলা হয়।

ছক ৮.২ : ৫ × ৫ ভারসাম্য ল্যাটিস পরিকল্পনা
(ব্যাকেটে উল্লেখিত সংখ্যা উপব্লক সংখ্যা নির্দেশ করছে)

সমলিপন – ১

(১)	১	২	৩	৪	৫
(২)	৬	৭	৮	৯	১০
(৩)	১১	১২	১৩	১৪	১৫
(৪)	১৬	১৭	১৮	১৯	২০
(৫)	২১	২২	২৩	২৪	২৫

সমলিপন – ২

(৬)	১	৬	১১	১৬	২১
(৭)	২	৭	১২	১৭	২২
(৮)	৩	৮	১৩	১৮	২৩
(৯)	৪	৯	১৪	১৯	২৪
(১০)	৫	১০	১৫	২০	২৫

সমলিপন – ৩

(১১)	১	৭	১৩	১৯	২৫
(১২)	২১	২	৮	১৪	২০
(১৩)	১৬	২২	৩	৯	১৫
(১৪)	১১	১৭	২৩	৪	১০
(১৫)	৬	১২	১৮	২৪	৫

সমলিপন – ৪

(১৬)	১	১২	২৩	৯	২০
(১৭)	১৬	২	১৩	২৪	১০
(১৮)	৬	১৭	৩	১৪	২৫
(১৯)	২১	৭	১৮	৪	১৫
(২০)	১১	২২	৮	১৯	৫

সমলিপন – ৫

(২১)	১	১৭	৮	২৪	১৫
(২২)	১২	২	১৮	৯	২৫
(২৩)	২১	১২	৩	১৯	১০
(২৪)	৬	২২	১৩	৪	২০
(২৫)	১৬	৭	২৩	১৪	৫

সমলিপন – ৬

(২৬)	১	২২	১৮	১৪	১০
(২৭)	৬	২	২৩	১৯	১৫
(২৮)	১১	৭	৩	২৪	২০
(২৯)	১৬	১২	৮	৪	২৫
(৩০)	২১	১৭	১৩	৯	৫

এতে দেখা যায় যে, প্রতিটি জাত অন্য যে কোনো জাতের সাথে একবার করে একই উপব্লকে স্থান পেয়েছে। যেমন-

১নং জাত ২, ৩, ৪ ও ৫নং জাতের সাথে সমলিপন – ১ এর ১নং উপব্লকে ;

৬, ১১, ১৬ ও ২১ নং জাতের সাথে সমলিপন–২ এর ৬নং উপব্লকে ;

৭, ১৩, ১৯ এবং ২৫নং জাতের সাথে সমলিপন–৩ এর ১১নং উপব্লকে ;

১২, ২৩, ৯ এবং ২০নং জাতের সাথে সমলিপন–৪ এর ১৬নং উপব্লকের ;

১৭, ৮, ২৪ এবং ১৫নং জাতের সাথে সমলিপন–৫ এর ২১নং উপব্লকে এবং

২২, ১৮, ১৪ এবং ১০নং জাতের সাথে সমলিপন–৬ এর ২৬নং উপব্লকে স্থান পেয়েছে। অন্যান্য সব জাতও একইভাবে প্রত্যেকের সাথে একবার করে একই উপব্লকে স্থান পেয়েছে। এ ধরনের ডিজাইনকে ভারাসাম্য ডিজাইন বলে।

সম্পূর্ণ ভারসাম্যতার জন্য সমলিপন সংখ্যা কত হবে তা জাতের সংখ্যা, ব্লক প্রতি জাতের সংখ্যা (ব্লক আকার) এবং উপব্লক সংখ্যার উপর নির্ভরশীল।

নিম্নোক্ত ছকে (ছক ৮.৩) দেখা যায় যে, জাতের সংখ্যা পূর্ণ বর্গ এবং ব্লক আকার হলো তার বর্গমূল সংখ্যা।

এক্ষেত্রে উপব্লক আকার ও উপব্লক সংখ্যা একই তবে অতি সাধারণ ক্ষেত্রে উপব্লক আকার ও উপব্লক সংখ্যা একই হওয়া প্রয়োজনীয় নয়।

উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, ৬৪টি জাতের ক্ষেত্রে ৪টি প্লটবিশিষ্ট ১৬টি উপব্লক নেওয়া যায়। প্রথমে উল্লেখিত অর্থাৎ যেখানে উপব্লক সংখ্যা হলো জাত সংখ্যার বর্গমূল এই ধরনের ডিজাইনকে ল্যাটিস ডিজাইন (Lattice design) বলে। অতি সাধারণভাবে এ ধরনের ডিজাইনকে অসম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন ও বলা হয় (Incomplete Block Design)।

ল্যাটিস ডিজাইনে ব্যবহারের জন্য ফসলের জাত ব্লকের আকার ও সংখ্যা এবং উপব্লকের আকার ও সংখ্যা বিষয়ক হিসাব সম্পর্কিত ধারণা নিচের ছক থেকে পাওয়া সম্ভব।

ছক ৮.৩ : ল্যাটিস ডিজাইনে জাত সংখ্যা, উপব্লকের আকার ও সংখ্যা এবং ভারসাম্যতার জন্য সমলিপন সংখ্যার সম্পর্ক

জাতের সংখ্যা (K^2)	9	16	25	49	64	81	121
ব্লকের আকার (K)	3	4	5	7	8	9	11
ব্লক সংখ্যা (K)	3	4	5	7	8	9	11
ভারসাম্যতার জন্য সমলিপন সংখ্যা r=K+1	4	5	6	8	9	10	12
সম্পূর্ণ নিরীক্ষণে মোট প্লট সংখ্যা = $K^2.r$	36	80	150	392	576	810	1452

প্রদত্ত ছক (ছক ৮.৩) থেকে এটা প্রতীয়মান হয় যে, ট্রিটমেন্ট সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে সম্পূর্ণ ভারসাম্যতার জন্য প্রয়োজনীয় মোট প্লট সংখ্যাও বৃদ্ধি পায়। কোনো কোনো ক্ষেত্রে বৃহদাকারের পরীক্ষার জন্য জমির স্বল্পতা হেতু সম্পূর্ণ ভারসাম্যতা পাওয়া সম্ভব হয় না। এসব ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ ভারসাম্যতার জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যক সমলিপন অপেক্ষা কম সংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করা হয়।

অসম্পূর্ণ ক্ষুদ্রতর ব্লক ফলাফল তৈরির জন্য প্রতি সমলিপনে ট্রিটমেন্টের গ্রুপিং ভিন্নতা আংশিক ভারসাম্য ডিজাইন গুরুত্বপূর্ণ।

উদাহরণস্বরূপ বলা যায় পূর্বে উল্লেখিত ৫ × ৫ ভারসাম্য ল্যাটিস ডিজাইনে শুধু প্রথম দুটি সমলিপন এক ধরনের আংশিক ভারাসাম্য ল্যাটিস ডিজাইন সৃষ্টি করে। এ ধরনের ডিজাইনকে সাধারণ বা ডাবল ল্যাটিস ডিজাইন বলে। আবার প্রথম তিনটি সমলিপন নিয়ে যে আংশিক ভারসাম্য ল্যাটিস ডিজাইন হয় তাকে ট্রিপল ল্যাটিস ডিজাইন বলে। অদ্রূপ প্রথম চারটি সমলিপন অন্য এক ধরনের আংশিক ভারসাম্য ডিজাইন সৃষ্টি করে যাকে কোয়াড্রুপল ল্যাটিস ডিজাইন বলে। এ ধরনের বিভিন্ন ডিজাইনের ক্ষেত্রে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ পরবর্তী পর্যায়ে আলোচনা করা হবে।

৮.২.৩. জাতজনিত বা উপাদান গড় সামঞ্জস্যকরণের প্রয়োজনীয়তা (Need for adjustments to treatment or varietal means) : পরীক্ষণের আর একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হলো, অধিক সংখ্যক ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে ফলনের গাণিতিক গড় সাধারণত ট্রিটমেন্ট গড়ের প্রকৃত মান প্রকাশ করে না। একটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি ভালভাবে বোঝা যাবে। পূর্বে উল্লেখিত ৫ × ৫ ল্যাটিস ডিজাইন পরিকল্পনায় ২৫টি জাতের ছয়টি সমলিপন ব্যবহার করা হয়েছে। এতে জাত-১ এর প্রতি সমলিপনের একটি করে মোট ছয়টি প্লটের গড় ফলন সেই জাতের প্রকৃত ফলন ক্ষমতা প্রকাশ করে না। কারণ ১, ৬, ১১, ১৬, ২১, ২৬ ব্লক যদি অপেক্ষাকৃত উর্বর ব্লক হয় (এ ব্লকগুলোতে জাত-১ প্রয়োগ করা হয়েছে) তাহলে জাত-১ এর ফলন দক্ষতা সম্পর্কে প্রকৃত ক্ষমতার চেয়ে বেশি ধারণা লাভ হয়।

অন্যদিকে এ ছয়টি ব্লক যদি উর্বরতার দিক থেকে দুর্বল হয়, তাহলে প্রাপ্ত গড় ফলন জাতটির প্রকৃত ফলন ক্ষমতা অপেক্ষা কম হয়। অর্থাৎ প্রতি সমলিপনে অনেক উপব্লকসম্পন্ন পরীক্ষণের ক্ষেত্রে প্রকৃত ফলন গড় পাওয়া যায় না। এজন্য এক্ষেত্রে বিশেষ করে যখন উল্লেখযোগ্য ব্লক পার্থক্য বিদ্যমান তখন গড় মানের সমন্বয় করা প্রয়োজন। অন্যদিকে যদি ব্লক পার্থক্য নগণ্য হয় বা ত্রুটি পার্থক্যের চেয়ে বেশি না হয়, তাহলে ব্লক পার্থক্যের জন্য ট্রিটমেন্ট গড়ের কোনো ধরনের সমন্বয় (adjustment) করার প্রয়োজন হয় না। এক্ষেত্রে প্রাপ্ত সাধারণ গড় মানই প্রকৃত ট্রিটমেন্ট গড় হিসেবে বিবেচিত।

ইয়েটস (Yates) যথেষ্ট ব্লক পার্থক্যবিশিষ্ট পরীক্ষণের ক্ষেত্রে উপাদান গড়ের সামঞ্জস্য করার উপযুক্ত পদ্ধতি উদ্ভাবন করেছেন।

৮.২.৪. অন্তঃ ও আন্তঃব্লক প্রভাব (Intra-block and inter-block effects) : ট্রিটমেন্টের ফলাফলের উপর দু'ধরনের ভিন্নতার প্রভাব পরিলক্ষিত হয়। যেমন– ব্লকের অভ্যন্তরীণ ভিন্নতার উৎস যাকে অন্তঃব্লক ভিন্নতা বলা হয় এবং প্রতিটি সমলিপনের ব্লকগুলোর পারস্পরিক ভিন্নতা (প্রধানত উর্বরতার ভিন্নতা) যাকে আন্তঃব্লক ভিন্নতা বলা হয়। এসব ভিন্নতার কারণে পরীক্ষণীয় দুটি জাত যথা– জাত–১ এবং জাত–২ (সমলিপন–১ এর উপব্লক–২ এ প্রয়োগকৃত) এর তুলনার ক্ষেত্রে শুধু আন্তঃব্লক প্রভাব থাকে এবং আন্তঃব্লকজনিত ভিন্নতা থেকে মুক্ত থাকে। কিন্তু এ জাত দুটি সম্পর্কে অন্য সমলিপন থেকেও তথ্য লাভ করা যায় যদিও সে ক্ষেত্রে প্রাপ্ত তথ্যসমূহ ব্লক প্রভাবের সাথে সমন্বিত (confounded) থাকে। কারণ জাত দুটি ভিন্ন ব্লকে অবস্থিত। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, দ্বিতীয় সমলিপনের 6 এবং 7 নং ব্লকের উপব্লকগুলোর মোট ফলাফলের পার্থক্য হলো ব্লক ভিন্নতা যাতে ব্লক প্রভাব সমন্বিত থাকে বলে সুস্পষ্টতা (expliecity) থাকে না।

ভিন্ন ব্লকে অবস্থিত দুটি জাতের ভিন্নতার যথার্থ তথ্য লাভের জন্য ইয়েটস এক কার্যকর পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। এ পদ্ধতিকে অন্তঃব্লক তথ্যের পুনরুদ্ধার বলা হয়। এ পদ্ধতি উদ্ভাবনের পরেই ল্যাটিস ডিজাইন সম্পর্কে গবেষকদের আগ্রহ এবং এ পদ্ধতির গুরুত্ব অনেক বেড়ে যায়। যাহোক, এ পদ্ধতি ব্লক প্রভাব সম্পর্কিত বেশ কিছু বিষয়ের উপর নির্ভরশীল। এ উদ্দেশ্যে ধরে নেয়া যায় যে, ব্লক প্রভাবের গড় শূন্য (mean zero) এবং ভেদাঙ্ক σ^2_b এর মধ্যে থাকে।

ব্লক ভিন্নতার জন্য ত্রুটিমুক্ত মাত্রা ১২ থেকে ১৪ এর কম না হলে সাধারণত আন্তঃব্লক তথ্যাবলি পুনরুদ্ধার করার প্রয়োজন নেই। ত্রুটিমুক্তমাত্রা কম হলে হিসাবের ক্ষেত্রে ত্রুটির পরিমাণ বেশি হয়। কিন্তু ত্রুটিমুক্তমাত্রা ১২ থেকে ১৪ এর বেশি হলে আন্তঃব্লক তথ্যাবলি পুনরুদ্ধার করা একটি অতিরিক্ত কাজ।

এক সময় আন্তঃ ও অন্তঃব্লক তথ্য উৎস দুটিকে একসাথে পুনরুদ্ধার করা হয় যা থেকে ট্রিটমেন্ট সম্পর্কে একটি যৌথ হিসাব পাওয়া যায়। এ পদ্ধতির গাণিতিক সূত্রাবলি জটিল বিধায় তা পরবর্তী পর্যায়ে উদাহরণের মাধ্যমে আলোচনা করা হবে।

৮.২.৫. ল্যাটিস ডিজাইনের সমস্যা : ল্যাটিস ডিজাইন অনেকগুলো ট্রিটমেন্টের বা প্রকরণ নিয়ে পরীক্ষার ক্ষেত্রেও কিছু বিশেষ সমস্যা দেখা যায়। সংক্ষেপে সমস্যাগুলো ও তার সমাধান নিচে উল্লেখ করা হলো :

(১) ব্লকের আকার ছোট হওয়ার সাথে ট্রিটমেন্টগুলোর তুলনার ফলাফলে যথার্থতা বৃদ্ধি পায়।

(২) একই ব্লকে অবস্থিত ট্রিটমেন্টের তুলনার যথার্থতা ভিন্ন ব্লকে অবস্থিত ট্রিটমেন্ট তুলনার চেয়ে বেশি।

(৩) প্রতিটি উপাদান যেন পরস্পরের সাথে একই ব্লকে পড়ে সে হিসেবে সমলিপন সংখ্যা নিরূপণ করে সম্পূর্ণ ভারসাম্যতা আনা যায়।

(৪) সম্পূর্ণ ভারসাম্যতার জন্য প্রয়োজনীয় সমলিপন সংখ্যা অপেক্ষা পরীক্ষাধীন সমলিপন সংখ্যা কম হলে আংশিক ভারসাম্যতা অর্জিত হয়।

(৫) ট্রিটমেন্ট গড় হিসাবের ক্ষেত্রে সাধারণত ভাল ফলাফল প্রদান করে না। ব্লকের প্রভাব গুরুত্বপূর্ণ বলে ট্রিটমেন্ট গড়ের সমন্বয় প্রয়োজন। অন্যথায় সাধারণ গড়মান উপযুক্ত হিসেবে কাজ করে।

(৬) পরীক্ষণ সময়ে ট্রিটমেন্টের তুলনার ক্ষেত্রে দুধরনের তথ্য পর্যবেক্ষণ করা হয়। একটি হলো আন্তঃব্লক প্রভাব এবং অন্যটি অন্তঃব্লক প্রভাব। ব্লক ভিন্নতা হিসাবের ক্ষেত্রে মুক্তমাত্রা ১২ থেকে ১৪ করে আন্তঃব্লক প্রভাব পুনরুদ্ধার করা যায়।

(৭) সত্যিকার ফলাফল লাভের জন্য বিশেষ উপায়ে আন্তঃ ও অন্তঃব্লক প্রভাবকে একসাথে হিসাব করা হয়।

(৮) উপাত্তের পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ বেশ জটিল।

৮.৩. ল্যাটিস ডিজাইনের শ্রেণিবিভাগ

ল্যাটিস ডিজাইন বিভিন্ন ধরনের হয়ে থাকে। তবে জীববিজ্ঞান ও কৃষিতাত্ত্বিক গবেষণায় প্রধানত সাধারণ ল্যাটিস (simple lattice), দ্বি-ল্যাটিস (double lattice), ত্রি-ল্যাটিস (triple lattice), কোয়াড্রুপুল ল্যাটিস (quadrupule lattice) এবং ল্যাটিস বর্গ সম্বন্ধেই পরীক্ষকদের কৌতূহল বেশি। তাছাড়াও অন্যান্য ল্যাটিস ডিজাইন হলো আয়ত ল্যাটিস। ল্যাটিনাইজড ল্যাটিস, ল্যাটিস ঘন এবং অন্যান্য উচ্চমাত্রিক ল্যাটিস প্রভৃতি। প্রায় সব ধরনের ডিজাইনের ক্ষেত্রে সমস্যার প্রকৃতি মোটামুটি একইরকম যা পূর্বে আলোচনা করা হয়েছে। এখন কিছু প্রয়োজনীয় ডিজাইনের বর্ণনা, ডিজাইন করার পদ্ধতি এবং ফলাফল বিশ্লেষণের পদ্ধতি আলোচনা করা হলো।

৮.৪. সাধারণ ল্যাটিস

এ ধরনের ল্যাটিস ডিজাইনকে কখনো কখনো বর্গ ল্যাটিস (square lattice) বা দ্বি-ল্যাটিস (double lattice) বলা হয়। তবে একে ল্যাটিস বর্গ ডিজাইন মনে করার কোনো সন্দেহ নেই। কারণ ল্যাটিস বর্গ সম্পূর্ণ ভিন্ন ডিজাইন। যাহোক, এ ধরনের ডিজাইন ট্রিটমেন্ট বা জাতের

সংখ্যা একটি সম্পূর্ণ বর্গ সংখ্যা। এজন্য এক্ষেত্রে সাধারণত 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 121 প্রভৃতি সংখ্যক ট্রিটমেন্ট নেওয়া হয়। এ ধরনের ডিজাইনে দুটি মাত্র সমলিপন ব্যবহার করা হয় এবং এটি একটি আংশিক ভারসাম্য ডিজাইন। ২৫টি জাত ব্যবহারভিত্তিক এ ধরনের পরীক্ষণের গঠন ডিজাইন ইত্যাদি নিম্নলিখিত উদাহরণের সাহায্যে বর্ণনা করা হলো :

(১) প্রথমে জাতগুলোতে দৈবায়িতভাবে 1 থেকে 25 পর্যন্ত সংখ্যায়িত করা হয়। ট্রিটমেন্ট প্রভাবের ফলাফলে যেন অজানা উৎসের প্রভাব পক্ষপাতহীন হয় সেজন্য এ ব্যবস্থা নেওয়া হয়।

(২) জাতগুলো (ট্রিটমেন্ট) নিম্নোক্ত ছকের (ছক ৮.৪) মতো বর্গাকারে প্রয়োগ করা হয়।

ছক ৮.৪

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

(৩) সারি হিসেবে জাতগুলোকে দলবদ্ধ করা হয়। এর ফলে (1, 2, 3, 4, 5), (6, 7, 8, 9, 10), (11, 12, 13, 14, 15), (16, 17, 18, 19, 20) এবং (21, 22, 23, 24, 25) এ পাঁচটি দল পাওয়া যায়। প্রতিটি দলকে একটি ব্লকের উপব্লকে প্রয়োগ করলে ১টি সমলিপন সম্পূর্ণ হয়। এভাবে সারিভিত্তিক দল গঠনকে x গ্রুপিং বা A– গ্রুপিং বলা হয়।

(৪) আবার জাতগুলোকে (ট্রিটমেন্ট) কলামভিত্তিক দল তৈরি করা হয়। এক্ষেত্রে (1, 6, 11, 16, 21), (2, 7, 12, 17, 22), (3, 8, 13, 18, 23), (4, 9, 14, 19, 14) এবং (5, 10, 15, 20, 25) এই দলগুলো পাওয়া যায়। কলামভিত্তিক এ ধরনের দল গঠনকে y – গ্রুপিং বা B– গ্রুপিং বলা হয়।

এই x এবং y গ্রুপিং–এর ফলে একই দলভুক্ত জাতগুলো পুনরায় একই ব্লকে পড়ার সম্ভাবনা থাকে না। এ উভয় গ্রুপিংকে নিম্নলিখিত ছকে (৮.৫) উপস্থাপন করা যায়।

ছক ৮.৫

সমলিপন – ১ (x – গ্রুপিং)

(১)	1	2	3	4	5
(২)	6	7	8	9	10
(৩)	11	12	13	14	15
(৪)	16	17	18	19	20
(৫)	21	22	23	24	25

সমলিপন – ২ (y- গ্রুপিং)

(৬)	1	6	11	16	21
(৭)	2	7	12	17	22
(৮)	3	8	13	18	23
(৯)	4	9	14	19	24
(১০)	5	10	15	20	25

৮.৪.১. **ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ :** সংগৃহীত উপাত্তের যথার্থ বিশ্লেষণ এবং সঠিকভাবে পরীক্ষণ ত্রুটি নির্ধারণের জন্য সঠিকভাবে দৈবায়ন পদ্ধতি অনুসরণ করা প্রয়োজন। প্রথমত, x এবং y গ্রুপিং-এ কোনো ধরনের পক্ষপাতিত্ব না থাকার জন্য জাতগুলোকে সম্পূর্ণ দৈবায়িতভাবে 1 থেকে 25 পর্যন্ত সংখায়িত করা হয়। উপব্লকে ট্রিটমেন্ট এবং সমলিপনে উপব্লকের অবস্থান নিম্নোক্ত উপায়ে নির্ধারণ করা হয়।

(১) প্রত্যেক সমলিপনে ট্রিটমেন্ট দলকে বিভিন্ন উপব্লকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়। প্রতি সমলিপনের ক্ষেত্রে আলাদাভাবে এ দৈবায়ন সম্পন্ন করতে হয়।

(২) প্রতি উপব্লকে প্রত্যেক দলের ট্রিটমেন্টসমূহকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয় এবং প্রতি সমলিপনে এ দৈবায়ন আলাদাভাবে করা হয়।

(৩) অবশেষে সমলিপন প্রয়োগের ক্ষেত্রেও মাঠে x এবং y গ্রুপিংকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয়।

এ পদ্ধতিতে ট্রিটমেন্ট ও সমলিপন প্রয়োগের ফলে পরীক্ষণ ফলাফলের উপর যে কোনো অজানা উৎসের প্রভাব হ্রাস পায়। সম্পূর্ণ দৈবায়নের ফলে প্রাপ্ত ডিজাইন পরিকল্পনার (ছক : ৮.৬) নিচে উল্লেখ করা হলো।

ছক ৮.৬

সমলিপন – ১ (x-গ্রুপিং)

(৫)	25	24	21	23	22
(৪)	20	29	18	17	16
(১)	5	4	1	3	2
(৩)	13	14	15	12	11
(২)	6	9	7	10	8

সমলিপন – ২ (y – গ্রুপিং)

(৬)	16	6	1	21	11
(৯)	19	4	9	14	24
(৭)	7	2	17	22	12
(১০)	5	20	25	10	15
(৮)	23	3	8	18	13

প্রত্যেক সমলিপনে ব্লকগুলোকে কনটিগিউয়াস (contiguous) ব্লক হিসেবে স্থাপন করতে হবে। এ ধরনের বিন্যাস আন্তঃব্লক তথ্যাবলির জন্য ব্লক ভিন্নতার হিসাবের যথার্থতা বৃদ্ধি করে। আবার কিছু শর্তসাপেক্ষে এ ধরনের বিন্যাস (lay out) সম্পূর্ণ পরীক্ষণ ফলাফলকে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন (RCBD) হিসেবে পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ করার যোগ্য করে।

৮.৪.২. **মূল সাধারণ ল্যাটিস ডিজাইনের পুনঃ প্রয়োগ** (Repeatition of basic simple lattice design) : পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে সাধারণ ল্যাটিন ডিজাইনে কমপক্ষে দুটি সমলিপন প্রয়োজন। একটি হলো উপাদানের x– গ্রুপিং এবং অন্যটি y- গ্রুপিং-এর জন্য। যদি সমলিপন সংখ্যা ২-এর অধিক হয় তাহলে, তা ২-এর গুণিতক সংখ্যক হবে যে x এবং

y গ্রুপিং সমসংখ্যক বার থাকে। এক্ষেত্রে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ এবং সমলিপন বিন্যাস পূর্বের মতোই হবে।

৮.৪.৩. **পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ :** সাধারণ ল্যাটিস ডিজাইন একটি আংশিক ভারসাম্য ডিজাইন (Partial balanced design) এবং দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন (Randomized complete block design) এর মতো এ ধরনের পরীক্ষণে প্রাপ্ত উপাত্তের পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ করা যায় না। এ ধরনের উপাত্ত বিশ্লেষণে তিনটি বিষয় থাকে—

(১) মোট ভিন্নতাকে বিভিন্ন ভিন্নতা উৎসের ভিত্তিতে পৃথক করা এবং পরে তা ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছকে উপস্থাপন করা।

(২) ট্রিটমেন্ট গড়কে ব্লক প্রভাবমুক্ত রাখার জন্যে সামঞ্জস্য করা হয় কারণ আমরা পূর্বেই জেনেছি যে, সাধারণ ট্রিটমেন্ট গড় প্রকৃতপক্ষে ট্রিটমেন্ট গড় নয় বিশেষ করে যখন ব্লক প্রভাব গুরুত্বপূর্ণ।

(৩) একই ব্লকে বা ভিন্ন ব্লকে অবস্থিত দুটি ট্রিটমেন্টের পার্থক্যের যথার্থতা নিরূপণের উপযুক্ত পদ্ধতি বাছাই করা।

৮.৫. ল্যাটিস পরীক্ষণ ডিজাইনের উদাহরণ

একবার পুনরাবৃত্ত সাধারণ ল্যাটিস ডিজাইন অবলম্বনে সম্পাদিত পরীক্ষণের বিশ্লেষণ পদ্ধতি : ল্যাটিস পরীক্ষণ ডিজাইনের ক্ষেত্রে প্রাপ্ত উপাত্তের বিশ্লেষণ বোঝার জন্য সয়াবিনের ৮১টি জাতের ফলনের তুলনা করতে একবার পুনরাবৃত্ত সাধারণ ল্যাটিস ডিজাইন অবলম্বনে সম্পাদিত একটি পরীক্ষার প্রাপ্ত উপাত্ত দেওয়া হলো (ছক ৮.৭)। এক্ষেত্রে প্রতি প্লটে প্রাপ্ত ফলনের উপাত্ত (কেজি./প্লট) দেওয়া হয়েছে। একবার পুনরাবৃত্ত বিধায় এক্ষেত্রে সমলিপন সংখ্যা ২ এবং এ ধরনের ল্যাটিসকে দ্বি-ল্যাটিস বলে।

যাহোক, ছক ৮.৭ এ পরীক্ষণের মাঠ বিন্যাস দেখানো হয়েছে। এখন ৮১টি জাতের মধ্যে তুলনা করতে প্রাপ্ত উপাত্তের বিশ্লেষণ পদ্ধতি নিচে বর্ণিত হলো।

৮.৫.১. : বিশ্লেষণ পদ্ধতি

ধাপ ১ : প্রত্যেক গ্রুপে (x এবং y গ্রুপে) ব্লকগুলোকে এবং প্রতি ব্লকের মধ্যে জাতগুলোকে সুনির্দিষ্টভাবে সাজানো হলো (ছক ৮.৮)।

ধাপ ২ : উভয় সমলিপন থেকে প্রতিটি জাতের ফলনের উপাত্ত নিয়ে যোগ করে ছক ৮.৯-তে সাজানো হলো।

যেমন ১নং জাতের জন্য 2.95 = 1.00 + 1.95 (সমলিপন ১ + সমলিপন ২)

ছক ৮.৭ : ৯ × ৯ দ্বি-ল্যাটিস ডিজাইনের বিন্যাস

সমলিপন - ১ (X – গ্রুপিং এ সরিষার ফলন কেজি./প্লট)

(৩)	27 (2.10)	20 (0.80)	22 ((1.25)	26 (2.05)	25 (1.25)	, 21 (1.37)	23 (2.27)	24 (1.57)	19 (1.10)
(৮)	67 (2.50)	64 (1.25)	72 (1.65)	71 (1.15)	65 (2.28)	68 (2.27)	70 (3.30)	66 (3.80)	69 (3.20)
(৭)	57 (1.33)	63 (2.90)	59 (0.16)	56 (2.20)	60 (0.14)	55 (1.68)	62 (2.03)	61 (1.10)	58 (1.85)
(১)	4 (0.90)	9 (4.00)	3 (2.90)	7 (3.03)	6 (1.90)	1 (1.00)	5 (1.60)	2 (1.50)	8 (2.40)
(৬)	54 (2.59)	53 (1.28)	50 (1.30)	51 (1.30)	49 (0.88)	47 (2.45)	52 (2.95)	48 (0.93)	46 (1.60)
(৯)	80 (1.72)	78 (2.86)	74 (1.33)	81 (1.50)	73 (1.45)	77 (1.32)	76 (1.95)	79 (1.40)	75 (1.60)
(২)	10 (1.65)	13 (2.60)	17 (2.00)	11 (0.25)	12 (1.55)	18 (2.40)	14 (2.13)	16 (1.60)	15 (3.85)
(৪)	34 (2.00)	35 (2.40)	36 (2.00)	29 (2.40)	28 (2.00)	30 (0.20)	31 (1.30)	33 (2.80)	32 (2.20)
(৫)	40 (1.57)	38 (1.80)	41 (2.05)	37 (1.47)	39 (1.80)	44 (1.40)	43 (2.05)	42 (2.50)	45 (1.95)

ছক ৮.৭ এর অবশিষ্ট অংশ

সমলিপন – ২ (y- গ্রুপিং)

ব্লক									
(১৪)	23 (2.49)	14 (2.22)	50 ((2.53)	41 (2.83)	77 (1.72)	5 (1.52)	68 (1.67)	59 (1.78)	32 (2.30)
(১২)	21 (0.83)	30 (1.02)	75 (1.60)	39 (0.75)	48 (1.50)	3 (2.16)	12 (1.24)	66 (1.14)	57 (0.71)
(১৫)	60 (0.15)	15 (2.84)	51 (3.30)	6 (1.24)	24 (2.03)	69 (2.30)	33 (1.40)	78 (2.50)	42 (1.95)
(১৮)	81 (0.99)	63 (1.94)	45 (1.82)	54 (1.83)	36 (1.58)	9 (1.96)	18 (1.76)	72 (1.48)	27 (2.17)
(১১)	74 (0.95)	56 (2.51)	38 (2.46)	47 (2.14)	29 (1.88)	2 (1.90)	11 (2.12)	65 (1.59)	20 (0.65)
(১৭)	80 (2.15)	53 (1.44)	62 (1.62)	8 (2.40)	17 (2.28)	35 (1.72)	71 (0.91)	44 (2.11)	26 (2.93)
(১০)		64 (1.41)	46 (2.45)	37 (1.89)	10 (2.19)	55 (2.09)	19 (1.59)	73 (1.06)	28 (1.23)
(১৬)	7 (2.20)	34 (2.47)	52 (2.45)	25 (0.72)	70 (1.98)	43 (2.29)	61 (2.05)	16 (3.67)	79 (1.79)
(১৩)	22 (2.33)	67 (3.17)	13 (4.79)	49 (3.80)	4 (1.92)	31 (2.81)	40 (2.96)	58 (3.53)	76 (2.71)

ছক ৮.৮ : সমলিপন - ১ (X - গ্রুপিং)

সরিষার জাত এবং ফলন										ব্লকের যোগফল
ব্লক (১)	1 (1.00)	2 (1.50)	3 (2.90)	4 (0.90)	5 (1.60)	6 (1.90)	7 (3.03)	8 (2.40)	9 (4.00)	19.23 (B_1)
(২)	10 (1.65)	11 (0.25)	12 (1.55)	13 (2.60)	14 (2.13)	15 (3.85)	16 (1.60)	17 (2.00)	18 (2.40)	18.03 (B_2)
(৩)	19 (1.10)	20 (0.80)	21 (1.37)	22 (1.25)	23 (2.27)	24 (1.57)	25 (1.25)	26 (2.05)	27 (2.10)	13.76 (B_3)
(৪)	28 (2.00)	29 (2.40)	30 (0.20)	31 (1.30)	32 (2.20)	33 (2.80)	34 (2.00)	35 (2.40)	36 (2.00)	17.30 (B_4)
(৫)	37 (1.47)	38 (1.80)	39 (1.80)	40 (1.57)	41 (2.05)	42 (2.50)	43 (2.05)	44 (1.40)	45 (1.95)	16.59 (B_5)
(৬)	46 (1.60)	47 (2.45)	48 (0.93)	49 (0.88)	50 (1.30)	51 (1.30)	53 (2.95)	53 (1.28)	54 (2.59)	15.28 (B_6)
(৭)	55 (1.68)	56 (2.20)	57 (1.33)	58 (1.85)	59 (0.16)	60 (0.14)	61 (1.10)	62 (2.03)	63 (2.90)	13.39.(B_7)
(৮)	64 (1.25)	65 (2.28)	66 (3.80)	67 (2.50)	68 (2.27)	69 (3.20)	70 (3.30)	71 (1.15)	72 (1.65)	21.40.(B_8)
(৯)	73 (1.45)	74 (1.33)	75 (1.60)	76 (1.95)	77 (1.32)	78 2.86)	79 (1.40)	80 (1.72)	81 (1.50)	15.13 (B_9)
									মোট =	150.11 (G_1)

ছক ৮.৮ : সমলিপন – ২ (y - গ্রুপিং)

	সরিষার জাত এবং ফলন									ব্লকের যোগফল
ব্লক (১০)	1 (1.95)	10 (2.19)	19 (1.59)	28 (1.23)	37 (1.89)	46 (2.45)	55 (2.09)	64 (1.41)	73 (1.06)	15.86 (B_{10})
(১১)	2 (1.90)	11 (2.12)	20 (0.65)	29 (1.88)	38 (2.46)	47 (2.14)	56 (2.51)	65 (1.59)	74 (0.95)	16.20 (B_{11})
(১২)	3 (2.16)	12 (1.24)	21 (0.83)	30 (1.02)	39 (0.75)	48 (1.50)	57 (0.71)	66 (1.14)	75 (1.60)	10.95 (B_{12})
(১৩)	4 (1.92)	13 (4.79)	22 (2.33)	31 (2.81)	40 (2.96)	49 (3.80)	58 (3.53)	67 (3.17)	76 (2.71)	28.02 (B_{13})
(১৪)	5 (1.52)	14 (2.22)	23 (2.49)	32 (2.30)	41 (2.83)	50 (2.53)	59 (1.78)	68 (1.67)	77 (1.72)	19.06 (B_{14})
(১৫)	6 (1.24)	15 (2.84)	24 (2.03)	33 (1.40)	42 (1.95)	51 (3.30)	60 (0.15)	69 (2.30)	78 (2.50)	17.71 (B_{15})
(১৬)	7 (2.20)	16 (3.67)	25 (0.72)	34 (2.47)	43 (2.29)	52 (2.45)	61 (2.05)	70 (1.98)	79 (1.79)	19.62.(B_{16})
(১৭)	8 (2.40)	17 (2.28)	26 (2.93)	35 (1.72)	44 (2.11)	53 (1.44)	62 (1.62)	71 (0.91)	80 (2.15)	17.56.(B_{17})
(১৮)	9 (1.96)	18 (1.76)	27 (2.17)	36 (1.58)	45 (1.82)	54 (1.83)	63 (1.94)	72 (1.48)	81 (0.99)	15.53 (B_{18})
									মোট =	160.51 (G_2)

ছক ৮.৯ : দুই সমলিপনে প্রতি জাতের অসামঞ্জস্যকৃত যোগফল

1 (2.95)	2 (3.40)	3 (5.06)	4 (2.82)	5 (3.12)	6 (3.14)	7 (5.23)	8 (4.80)	9 (5.96)	-- 0.17
10 (3.84)	11 (2.37)	12 (2.79)	13 (7.39)	14 (4.35)	15 (6.69)	16 (5.27)	17 (4.28)	18 (4.16)	-- 0.44
19 (2.69)	20 (1.45)	21 (2.40)	22 (3.58)	23 (4.76)	24 (3.60)	25 (1.97)	26 (4.28)	27 (4.27)	0.17
28 (3.23)	29 (4.28)	30 (1.22)	31 (4.11)	32 (4.50)	33 (4.20)	34 (4.47)	35 (4.12)	36 (3.58)	--- 0.08
37 (3.36)	38 (4.26)	39 (2.55)	40 (4.53)	41 (4.88)	42 (4.45)	43 (4.34)	44 (3.51)	45 (3.77)	0.22
46 (4.05)	47 (4.59)	48 (2.43)	49 (4.68)	50 (3.83)	51 (4.60)	52 (5.40)	53 (2.72)	54 (4.42)	0.54
55 (8.77)	56 (4.71)	57 (2.04)	58 (5.38)	59 (1.94)	60 (0.29)	61 (3.15)	62 (3.65)	63 (4.48)	0.26
64 (2.66)	65 (3.87)	66 (4.94)	67 (5.67)	68 (3.94)	69 (5.50)	70 (5.28)	71 (2.06)	72 (3.13)	-- 0.5
73 (2.51)	74 (2.28)	75 (3.20)	76 (4.66)	77 (3.04)	78 (5.36)	79 (3.19)	80 (3.87)	81 (2.49)	0.03
-- 0.23	-- 0.10	0.40	-- 1.15	-- 0.33	0.21	-- 0.08	-- 0.10	0.49	

ধাপ ৩ : ব্লক সমষ্টি নির্ণয়–

(ক) প্রতিটি ব্লকের মধ্যে প্রাপ্ত উপাত্ত যোগ করে প্রতিটি ব্লকের সমষ্টি নির্ণয় করা হলো যেমন–

১নং ব্লকের সমষ্টি $B_1 = 1.00 + 1.50 + 2.90 + 0.90 + 1.60 + 1.90 + 3.03 + 2.40 + 4.00 = 19.23$

(খ) প্রতি সমলিপনের মধ্যের ব্লকসমূহের উপাত্তের যোগফল করে সমলিপন সমষ্টি (G_1) নির্ণয় করা হলো।

যেমন, ১নং সমলিপনের জন্য

$$G_1 = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + \ldots\ldots\ldots\ldots B_9$$
$$= 19.23 + \ldots\ldots\ldots 15.13 = 150.11$$

২নং সমলিপনের জন্য

$$G_2 = B_{10} + B_{11} + B_{12} + \ldots\ldots\ldots B_{18}$$
$$= 15.86 + \ldots\ldots\ldots 15.33 = 160.51$$

(গ) সর্বমোট যোগফল (GT) নির্ণয়–

G_1 এবং G_2 এর মান যোগ করে উপাত্তের সর্বমোট যোগফল নির্ণয় করা হলো।

$GT = G_1 + G_2 = 150.11 + 160.51 = 310.62$

ধাপ ৪ : এরপর সর্বমোট বর্গসমষ্টি (SSQ_T), সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি (SSQ_R) এবং অসামঞ্জস্য (unadjusted) ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি [SSQ_t (unadj)] পূর্ববর্তী অধ্যায়সমূহে উল্লেখিত সাধারণ নিয়মে নির্ণয় করা হলো।

(ক) শোধক মান (C.F.) নির্ণয় :

$$CF = \frac{(\text{সর্বমোট যোগফল})^2}{\text{সর্বমোট উপাত্তের সংখ্যা}} = \frac{(GT)^2}{2K^2}$$

$$= \frac{(310.62)^2}{2(81)}$$

$$= 595.59$$

এক্ষেত্রে, K^2 = জাত বা ট্রিটমেন্ট সংখ্যা

(খ) সর্বমোট বর্গসমষ্টি (SSQ_T) নির্ণয়ের জন্য $81 \times 2 = 162$ উপাত্তের প্রতিটি বর্গ করে তাদের যোগফল করে সেই যোগফল থেকে শোধক মান (C.F.) বাদ দেওয়া হলো।

$\therefore SSQ_T = [(1.00)^2 + \ldots\ldots + (1.50)^2] + [(1.95)^2 + \ldots + (0.99)^2] - CF$

$= 694.68 - 595.59 = 99.09$

(গ) সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি (SSQ_R) নির্ণয় :

$$SSQ_R = \frac{G_1^2 + G_2^2}{K^2} - C.F.$$

$$= \frac{(150.11)^2 + (160.51)^2}{81} - 595.59$$

$$= 596.25 - 595.59$$

$$= 0.66$$

(ঘ) অসমন্বিত (Unadjusted) ট্রিটমেন্টজনিত (এক্ষেত্রে জাত) বর্গসমষ্টি

$$(SSQ_t\ (unadi) = \frac{(2.95)^2 + (3.40)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots + (2.49)^2}{2} - CF$$

$$= 657.59 - 595.59 = 62.00$$

ধাপ ১ এবং ৪ থেকে সর্বমোট বর্গসমষ্টি সর্বমোট (ব্যবধান), সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি এবং অসামঞ্জস্যজাতজনিত বর্গসমষ্টি পাওয়া গেছে। কিন্তু ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি করতে ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি এবং ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা প্রয়োজন। এক্ষেত্রে ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় করার জন্য একে ট্রিটমেন্টজনিত প্রভাবের কারণে সামঞ্জস্য করতে হবে। আর সামঞ্জস্য করা ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা হলে সাধারণ নিয়মে ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা যায়। ট্রিটমেন্টজনিত প্রভাব মুক্ত করে ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি পরিমাপ করার পদ্ধতি নিচে বর্ণনা করা হলো।

প্রথমে ১নং ব্লককে ধরা হলো। এক্ষেত্রে ব্লক বর্গসমষ্টি $B_1 = 19.23$, যার মধ্যে শুধু ব্লকের প্রভাবই নেই আরও রয়ে গেছে ১ থেকে ৯ম জাতের পার্থক্যজনিত অবদান।

এখন যদি এর মধ্যে থেকে ১ম থেকে ৯ম জাতের প্রভাব মুক্ত করা যায় তাহলে ট্রিটমেন্ট অর্থাৎ জাতের প্রভাব মুক্ত ব্লক প্রভাব পরিমাপ করা যাবে। তার জন্য সমলিপন-২ (y গ্রুপ) এর একই জাতবিশিষ্ট কলামের (column) যোগফলকে ব্যবহার করতে হবে। এ যোগফলে জাতজনিত প্রভাবমুক্ত ব্লক প্রভাব রয়েছে। কেননা এক্ষেত্রে ৯টি জাত ৯টি ভিন্ন ব্লক থেকে এসেছে। যদি এখন B_1 যোগফল থেকে এ কলাম যোগফল বিয়োগ করা হয় তবে জাতের প্রভাবমুক্ত ব্লক প্রভাব পাওয়া যাবে। এ ধরনের ব্লক যোগফলকে ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয়ে ব্যবহার করা হয়। ব্লক বর্গসমষ্টির এ অংশকে উপাদান b (component . b) বলে। নিচে ধাপ - ৫ এ সামঞ্জস্যর ব্লক বর্গসমষ্টি ($SSQ_B adj$) নির্ণয় করা হলো।

ধাপ ৫ : সামঞ্জস্যকৃত ব্লক বর্গসমষ্টি (SSQ_B adj) নির্ণয় :

(ক) সমলিপন – ১ (x-গ্রুপ)–এর প্রতিটি ব্লকের জন্য সামঞ্জস্যকৃত করা ব্লক সমষ্টি (C) নির্ণয় করা হলো (ছক ৮.১০)।

এর জন্য সমলিপন –১ এর প্রতিটি ব্লক সমষ্টি মান থেকে সমলিপন – ২ (y গ্রুপ)–এর যথাক্রমিক কলাম (যার মধ্যে উক্ত জাত রয়েছে) সমষ্টি মান বিয়োগ করে সামঞ্জস্যকৃত ব্লক সমষ্টি নির্ণয় করা হয়।

বিষয়টি ছক – ৮.১০–এ দেখানো হলো।

ছক ৮.১০ : সমলিপন ১ এর ব্লকগুলোর জন্য C-এর মান নির্ণয়

ব্লক	সমলিপন – ২ (কলাম সমষ্টি) x	সমলিপন - ১ (ব্লক সমষ্টি) y	C- এর মান (x-y)
(১)	17.25	19.23	-1.98 (C_2)
(২)	23.11	18.03	+ 5.08 (C_2)
(৩)	15.74	13.76	+1.98 (C_3)
(৪)	16.41	17.30	-0.89 (C_4)
(৫)	19.06	16.59	+ 2.47 (C_5)
(৬)	21.44	15.28	+ 6.16 (C_6)
(৭)	16.38	13.39	+2.99 (C_7)
(৮)	15.65	21.40	- 5.75 (C_8)
(৯)	15.47	15.13	+ 0.34 (C_9)
যোগফল	160.51	150.11	+10.40

(খ) একই পদ্ধতিতে সমলিপন ২–এর প্রতিটি ব্লকে যোগফল সামঞ্জস্য করার জন্য সমলিপন ১–এর কলামের যোগফল থেকে বিয়োগ করা হলো (ছক ৮.১১)

ছক ৮.১১ : সমলিপন –২ এর প্রতিটি ব্লকের C–এর মান নির্ণয়

ব্লক	সমলিপন – ১ (কলাম সমষ্টি) x	সমলিপন – ২ (ব্লক সমষ্টি) y	C- এর মান (x-y)
(১০)	13.20	15.86	- 2.66
(১১)	15.01	16.20	- 1.99
(১২)	15.48	10.95	+ 4.53
(১৩)	14.80	28.02	- 13.22
(১৪)	15.30	19.06	- 3.76
(১৫)	20.12	17.71	+2.41
(১৬)	18.68	19.62	- 0.94
(১৭)	16.43	17.56	- 1.13
(১৮)	21.09	15.53	+ 5.56
যোগফল	150.11	160.51	- 10.40

(গ) প্রতিটি সমলিপনের জন্য C–এর মানের যোগফল নির্ণয় : সমলিপন ১–এর জন্য এই মাপ $R_1 = 10.40$

সমলিপন ১–এর জন্য এ মাপ $R_1 = 10.40$

সমলিপন ২ ,, ,, ,, ,, $R_2 = -10.40$

এখানে উল্লেখ্য যে সবসময় $R_1 + R_2 = 0$ হবে।

(ঘ) ব্লকজনিত বর্গসমষ্টির সামঞ্জস্যকৃত মান

[SSQ_B (adj)] নির্ণয় :

$$SSQ_B \text{ adj} = \frac{\Sigma C^2}{Kr\,(r-1)} - \frac{\Sigma R^2}{K^2(r-1)}$$

এখানে,

r= সমলিপনের সংখ্যা

k = প্রতি ব্লকে ট্রিটমেন্টের সংখ্যা

$$\therefore SSQ_B \text{ (adj)} = \frac{C^2{}_1 + \ldots\ldots\ldots\ldots C^2{}_{18}}{(9)\,(2)\,(1)} - \frac{R_1{}^2 + R_2{}^2}{(81)\,(2)\,(1)}$$

$$= \frac{(-1.98)^2 + \ldots\ldots (5.56)^2}{18} - \frac{(10.40)^2 + (-10.40)^2}{162}$$

$$= 20.97 - 1.34 = 19.63$$

ধাপ ৬ : এ ধাপে ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (SSQ_E) নির্ণয় করা হয়।

$SSQ_E = SSQ_T - SSQ_t$ (Unadj)

$-- SSQ_B$ (adj) — SSQ_R

$= 99.09 - 62.00 - 19.63 - 0.66$

$= 16.80$

এখানে ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি প্রকৃতপক্ষে অনিয়ন্ত্রিত বহিঃপ্রভাবকের ফল। এটা অন্তঃব্লক ত্রুটি ভেদাঙ্ক।

ধাপ ৭ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক (ANOVA Table) তৈরি করা হলো (ছক ৮.১২)।

ছক ৮.১২ : ভেদাঙ্কবশ্লেষণের ছকের গঠন

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)
সমলিপন	r-1	SSQ_R	
ট্রিটমেন্ট (এক্ষেত্রে জাত – unadj)	k^2-1	SSQ_t(unadj)	
সমলিপন অন্তর্ভুক্ত ব্লক (adj)	r(k-1)	SSQ_B(adj)	$\frac{SSQ_B(adj)}{r(k-1)}$ =Eb
আন্তঃব্লক ত্রুটি	(k-1) (rk-k-1)	SSQ_E	$\frac{SSQ_E}{(k-1)(rk-k-1)}$ =Ec
মোট	rk^2-1	SSQ_T	

ছক ৮.১৩ : উদাহরণের উপাত্তভিত্তিক ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)
সমলিপন	1	0.66	
জাত (Unadj)	80	62.00	
সমলিপন অন্তর্ভুক্ত ব্লক (adj)	16	19.63	1.23
আন্তঃব্লক ত্রুটি	64	16.80	0.26
মোট	161	99.09	

৮.৫.২. তাৎপর্যতা নির্ণয়ের পরীক্ষণ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছকে দেখা যায় যে, ভেদাঙ্কের চারটি উৎস রয়েছে।

সমলিপনজনিত ভেদাঙ্ক প্রকৃতপক্ষে যে জমিতে সমলিপন ২টি করা হয়েছে তাদের মধ্যে উর্বরতার পার্থক্য থেকে এসেছে। আবার প্রতিটি সমলিপনের অন্তর্ভুক্ত ব্লকগুলোর মধ্যে ব্যবধান দিয়েছে ব্লক বর্গসমষ্টি (adj) এবং অন্তঃব্লক বর্গসমষ্টি উৎপত্তি হয়েছে অনিয়ন্ত্রিত বিভিন্ন প্রভাবক থেকে।

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছকে যে জাতজনিত বর্গসমষ্টি দেখানো হয়েছে তা কিন্তু সামঞ্জস্য করা হয়নি। পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে জাতগুলোর গড়ের মধ্যে ব্লকের প্রভাব মিশে আছে,

অর্থাৎ ব্লক প্রভাবমুক্ত নয়। ফলে এদের মধ্যে তুলনা করতে জাতজনিত বর্গসমষ্টিরও সামঞ্জস্য করে নেওয়া প্রয়োজন। নবম ধাপে এর পদ্ধতি বর্ণনা করা হলো।

ধাপ ৮ : (ক) প্রতিটি C মানকে μ দিয়ে গুণ করে প্রতিটি ব্লকের জন্য সংশোধক মান নির্ণয় করা হলো।

এখানে,

$$\mu = \frac{Eb - Ec}{k(r-1)\,Eb} = \frac{1.23 - 0.26}{9(1)\,1.23}$$

$$= 0.087$$

অতএব সমলিপন ১–এর জন্য এ মানগুলো নিম্নরূপ

$\mu c_1 = -0.17$, $\mu c_2 = +0.44$, $\mu c_3 = +0.17$

$\mu c_4 = -0.08$, $\mu c_5 = +0.22$, $\mu c_6 = +0.54$

$\mu c_7 = +0.26$, $\mu c_8 = -0.50$, $\mu c_9 = +0.03$.

সমলিপন –২–এর জন্য

$\mu c_{10} = -0.23$, $\mu c_{11} = -0.10$, $\mu c_{12} = 0.40$

$\mu c_{13} = -1.15$, $\mu c_{14} = -0.33$, $\mu c_{15} = +0.21$

$\mu c_{16} = -0.08$, $\mu c_{17} = -0.10$, $\mu c_{18} = 0.49$

(খ) এখন সমলিপন ১–এর μc_1 মানগুলোকে ছক ৮.৯–এর শেষ কলামের মানগুলোর পাশে এবং সমলিপন ২–এর μc মানগুলোকে ছক ৮.৯–এর শেষ সারির সাথে সাজাতে হবে। এখন ছকে প্রত্যেক জাত সমষ্টির ব্লক প্রভাবমুক্ত করে সামঞ্জস্য করা হলো।

উদাহরণ : ১নং জাতটি সমলিপন ১–এর ব্লক ১–এ এবং সমলিপন ২–এর ব্লক ১০–এ বিদ্যমান।

সেজন্য ১নং জাতের যোগফলকে সামঞ্জস্য করতে μc_1 ও μc_{10} যোগফলকে ১নং জাতের মূল যোগফলের সাথে যোগ করতে হবে।

অতএব জাত ১–এর সামঞ্জস্য করা যোগফল = 2.95 - 01.7--0.23 = 2.55.

(গ) এমন সামঞ্জস্যকৃত জাতের যোগফলগুলোকে এবং এদের গড়মান ব্যবহার করে একটি (ছক ৮.১৪) তৈরি করা হলো।

ছক ৮.১৪ : বিভিন্ন জাত যোগফল (adj) ও জাত গড়

১ 2.55 (1.275)	২ 3.13 (1.565)	৩ 5.29 (2.645)	৪ 1.50 (0.750)	৫ 2.62 (1.310)	৬ 3.18 (1.590)	৭ 4.98 (2.490)	৮ 4.53 (2.265)	৯ 6.28 (3.140)
১০ 4.05 (2.025)	১১ 2.71 (1.355)	১২ 3.63 (1.815)	১৩ 6.68 (3.340)	১৪ 4.46 (2.230)	১৫ 7.34 (3.670)	১৬ 5.63 (2.815)	১৭ 4.62 (2.310)	১৮ 5.08 (2.540)
১৯ 2.63 (1.315)	২০ 1.52 (0.760)	২১ 2.77 (1.385)	২২ 2.60 (1.300)	২৩ 4.60 (2.300)	২৪ 3.98 (1.990)	২৫ 2.06 (1.030)	২৬ 5.05 (2.525)	২৭ 4.93 (2.463)
২৮ 2.92 (1.460)	২৯ 4.10 (2.050)	৩০ 1.54 (0.770)	৩১ 2.88 (1.420)	৩২ 4.09 (2.045)	৩৩ 4.33 (2.165)	৩৪ 4.31 (2.155)	৩৫ 3.94 (1.970)	৩৬ 3.99 (1.995)
৩৭ 3.34 (11.67 0)	৩৮ 4.38 (2.190)	৩৯ 3.17 (1.585)	৪০ 3.60 (1.800)	৪১ 4.77 (2.385)	৪২ 4.88 (2.440)	৪৩ 4.48 (12.24 0)	৪৪ 3.63 (1.815)	৪৫ 4.48 (2.240)
৪৬ 4.36 (2.180)	৪৭ 5.03 (2.515)	৪৮ 3.37 (1.685)	৪৯ 4.07 (2.035)	৫০ 4.04 (2.020)	৫১ 5.35 (2.675)	৫২ 5.86 (2.930)	৫৩ 3.16 (1.580)	৫৪ 5.45 (2.725)
৫৫ 3.80 (1.900)	৫৬ 4.87 (2.435)	৫৭ 2.70 (1.350)	৫৮ 4.49 (2.245)	৫৯ 1.87 (0.935)	৬০ 0.76 (0.380)	৬১ 3.33 (1.665)	৬২ 3.81 (1.905)	৬৩ 5.59 (2.795)
৬৪ 1.93 (0.965)	৬৫ 3.27 (1.635)	৬৬ 4.84 (2.420)	৬৭ 4.02 (2.010)	৬৮ 3.11 (1.555)	৬৯ 5.21 (2.605)	৭০ 4.70 (2.350)	৭১ 1.46 (0.730)	৭২ 3.12 (1.560)
৭৩ 2.31 (1.155)	৭৪ 2.21 (1.105)	৭৫ 3.63 (1.815)	৭৬ 3.54 (1.770)	৭৭ 2.74 (1.370)	৭৮ 5.60 (2.800)	৭৯ 3.14 (1.570)	৮০ 3.80 (1.900)	৮১ 3.01 (1.505)

(বাংলা অক্ষরে জাতের ক্রমিক নম্বর ; মাঝের ইংরেজি ডিজিটে প্রতিটি জাতের সামঞ্জস্যকৃত যোগফল এবং নিচে ব্রাকেটে প্রতিটি জাতের ফলনের গড় দেওয়া হলো।)

৮.৫.৩। গড়মাপের পার্থক্যের তাৎপর্যতা নির্ণয়ের জন্য পরিমিত ত্রুটি নির্ণয় : এক্ষেত্রে মনে রাখা প্রয়োজন যে, একই ব্লকে অবস্থিত দুটি জাতের মধ্যে তুলনা করতে যে পরিমিত

ত্রুটি হবে, ভিন্ন ব্লকে অবস্থিত দুটি জাতের মধ্যে তুলনা করতে অন্য আদর্শ ত্রুটি হবে। সেজন্য বিষয়টি নিচে বিস্তারিত বর্ণনা করা হলো।

ধাপ ৯ : একই ব্লকে অবস্থিত দুটি জাতের গড়ের তুলনা করতে আদর্শ ত্রুটি

$$(SE_S) = \sqrt{\frac{2Ec}{r}[\ 1 + (r-1)\ \mu\ ]}$$

Ec = অন্তঃব্লক ত্রুটিজনিত গড় বর্গসমষ্টি

r = সমলিপনের সংখ্যা

μ = নবম ধাপের (ক)তে নির্ণয় করা μ এর মান

উদাহরণের জন্য—

$$(SE_S) = \sqrt{\frac{2 \times 0.26}{2}[\ 1 + 0.87]}$$

$$= 0.535$$

ভিন্ন ব্লকে অবস্থিত দুটি জাতের গড়ের তুলনা করতে আদর্শ ত্রুটি

$$(SE_D) = \sqrt{\frac{2Ec}{r}[\ 1 + r\mu\ ]}$$

উদাহরণের জন্য-

$$SE_D \sqrt{2 \times 0.26\ (\ 1 + 2 \times 0.87)}$$

এখানে উল্লেখ্য যে, পরীক্ষণের ক্ষেত্রে বিভিন্ন সময় অনেক ট্রিটমেন্ট হিসেবে জাত ব্যবহার করা হলেও সেগুলো সংক্ষিপ্তকরণের জন্য গড় আদর্শ ত্রুটি (average standard error) নির্ণয় করে সমস্ত জাত বা ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করা হয়। এ ধরনের গড় আদর্শ ত্রুটি (SE_M) নিম্নরূপে নির্ণয় করা হয়।

$$SE_M = \sqrt{\frac{2Ec}{r}\left[1 + \frac{rk\mu}{k+1}\right]}$$

$$= \sqrt{\frac{2\times0.26}{2}\left[1 + \frac{2 \times 9 \times 0.087}{9+1}\right]}$$

$$= 0.552$$

তবে গড় পরিমিত ত্রুটি ব্যবহার করে যে কোনো দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে পার্থক্য বিশ্লেষণ করলে কিছু অসুবিধা হয়। নিচে এ অসুবিধার বিষয়টি আলোচনা করা হলো।

(ক) একই ব্লকের অন্তর্ভুক্ত সামান্য পরিমাণে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যবিশিষ্ট দুটি ট্রিটমেন্টের এ পার্থক্য ধরা না-ও পড়তে পারে। কেননা SE_S-এর তুলনায় SE_M বড়, অপরদিকে ভিন্ন ব্লকে অন্তর্ভুক্ত ট্রিটমেন্টের গড় তুলনা করতে বিপরীত বিষয় লক্ষণীয়। কেননা SE_D সবসময়ই SE_M এর তুলনায় বড়।

ধাপ ১০ : ব্লক প্রভাবের জন্য সামঞ্জস্য করে ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি (SSQ_t adj) নির্ণয়—

প্রথমে সমলিপন অন্তর্ভুক্ত অসামঞ্জস্য

সমলিপন ১-এর জন্য

$$SSQ_B\ (Unadj) = \frac{B_1^2 + B_2^2 + \ldots\ldots\ldots B_9^2}{k} - \frac{G^2_1}{K^2}$$

[এখানে k = 9 অর্থাৎ প্রত্যেক ব্লকে জাতের সংখ্যা]

$$= \frac{(19.23)^2 + \ldots\ldots + (15.3)^2}{9} - \frac{(150.11)^2}{81}$$

$$= 6.08$$

সমলিপন ২-এর জন্য

$$SSQ_B\ (Unadj) = \frac{B_{10}^2 + B_{11}^2 + \ldots\ldots\ldots B_{18}^2}{9} - \frac{G^2}{K^2}$$

$$= \frac{(15.86)^2 + \ldots\ldots\ldots + (15.53)^2}{9} - \frac{160.51}{81}$$

$$= 18.64$$

অতএব মোট SSQ_B (Unadj) = 6.08 + 18.64 = 24.72

এরপর শোধক মান নির্ণয় করে অসামঞ্জসিত উপাদান বর্গসমষ্টি থেকে বিয়োগ করতে হবে।

$$Q = k\,(r\text{-}1)\,\mu\left\{\frac{r}{(r\text{-}1)\,(1+k\mu)}\,SSQ_B\ (Unadj) - SSQ_B\ (adj)\right\}$$

$$= 9\,(2\text{-}1)\,(0.087)\left\{\frac{2}{2\text{-}1\,(1)+(9)\,(0.87)}\right] \times (24.72) - 19.63\right\}$$

$= 6.34$

এখানে r = সমলিপন সংখ্যা

(খ) পরে অসামঞ্জস্য ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি (SSQ_t unadj) থেকে Q বাদ দিয়ে SSQ_t adj নির্ণয় করা হয়।

$SSQ_t\,(adj) = SSQ_t\,(unadj) - Q$

$= 62.00 - 6.34 = 55.66$

ধাপ ১১ : সামঞ্জস্য করা ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্যের তাৎপর্যপূর্ণতা পরীক্ষার জন্য নিম্নোক্ত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক (ছক ৮.১৫) তৈরি করা হলো।

ছক ৮.১৫

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	Fএর নির্ণয়কৃত মান	F-এর তত্ত্বীয় মান 5% স্তরে	1% স্তরে
ট্রিটমেন্ট	K^2-1= 80	SSQ (adj) =55.66	0.696	2.65	1.53	2.02
অন্তঃব্লক ত্রুটি	(k-1) (rk-k-1)=64	SSQ_E = 16.80	0.263			

যেহেতু নির্ণয়কৃত 'F'-এর মান টেবিলে দেওয়া 1% স্তরে 'F'-এর তত্ত্বীয় মান (80, 64 DF এর জন্য) 2.03 থেকে বড়। অতএব ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে অতি তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য বিদ্যমান।

এখানে লক্ষণীয় যে, ব্লকের প্রভাব মুক্ত করার পর F পরীক্ষার সূক্ষ্মতা বেশ বৃদ্ধি পেয়েছে। যেহেতু ব্লকের প্রভাব যা Eb এর মান থেকে ধরা হয় এবং Eb-এর মান অন্তঃব্লক ত্রুটি Ec এর চেয়ে বড়, সে কারণে ট্রিটমেন্টের সামঞ্জস্যকৃত গড় মানের তুলনা যুক্তিসঙ্গত।

নবম অধ্যায়

মিসিং প্লট পদ্ধতি

Missing Plot Technique

৯.১. ভূমিকা

অনেক সময় মাঠে সাবধানে ও সতর্কতার সাথে পরীক্ষা করলেও সমস্ত পরীক্ষণ প্লট থেকে নির্ভরযোগ্যতার সাথে উপাত্ত পাওয়া সম্ভব হয়ে উঠে না। যেমন- বিভিন্ন দুর্যোগের কারণে যথা কীটপতঙ্গের আক্রমণ বা জলাবদ্ধতা ও বন্যার জন্য কোনো কোনো পরীক্ষণ প্লটের সঠিক উপাত্ত পাওয়া না-ও যেতে পারে। এ ধরনের ক্ষতিগ্রস্ত প্লটের উপাত্ত ব্যবহার করে উপাত্তের বিশ্লেষণ করা ঠিক নয়। আবার সমস্ত পরীক্ষণকে বাদ দিয়ে নতুন করে পরীক্ষা করাও সময় ও ব্যয়সাপেক্ষ। এ কারণে পরিসংখ্যানিকভাবে এ ধরনের প্লটের উপাত্ত নির্ধারণ করে বিশ্লেষণ করার পদ্ধতি উদ্ভাবন করা হয়েছে এবং একে মিসিং প্লট পদ্ধতি (Missing Plot Technique) বলা হয়। যাহোক, সংগৃহীত উপাত্ত যখন অসম্পূর্ণ তখন এ সমস্যাকে নিম্নলিখিত উপায়ে বিশ্লেষণ করার চিন্তা করা যায়।

(ক) কোনো ব্লকে কোনো প্লট ক্ষতিগ্রস্ত হলে সেই ব্লকগুলোকে একেবারে বাদ দিয়ে অন্যান্য ব্লকগুলোর উপাত্ত নিয়ে বিশ্লেষণ করা। অবশ্য এ পদ্ধতিতে মুক্তমাত্রা কমে যায় বলে অনেক সময় এ ধরনের বিশ্লেষণ সঠিক হয় না।

(খ) যে প্লটটি ক্ষতিগ্রস্ত তার জন্য অন্যান্য প্লটের উপাত্তের ভিত্তিতে তত্ত্বীয় মান নির্ণয় করে পরবর্তীকালে উপাত্তের বিশ্লেষণ করা হয়– এ পদ্ধতিকেই মিসিং প্লট পদ্ধতি বলা হয়। জীব ও কৃষিবিজ্ঞান গবেষণার অনেক ক্ষেত্রেই এ পদ্ধতির মাধ্যমে বিশ্লেষণ করা হয়ে থাকে।

৯.২. মিসিং প্লট বিশ্লেষণের বার্টলেটস পদ্ধতি (Bartlets technique for missing plots)

এ পদ্ধতিতে প্লটের ফলনের মান Y এর জন্য কল্পিত X চলক ধরা হয়। ক্ষতিগ্রস্ত প্লট ব্যতীত অন্যান্য প্রতি প্লটের জন্য এর মান '0' ধরা হয়। আর ক্ষতিগ্রস্ত প্লটের জন্য এর মান –1 ধরা হয়। ক্ষতিগ্রস্ত প্লটের ফলনের উপাত্ত '0' ধরা হয়। ছক– ৯.১-এ X এবং Y এর মান দেওয়া হলো (X-এর মান Y-এর মানের নিচে ব্র্যাকেটে দেওয়া হলো)।

৯.২.১. বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Analytical technique) : বিশ্লেষণের জন্য প্রথমে সহবিস্তৃতি (Covariance) বিশ্লেষণ করতে হয়। এর জন্য Y কে নির্ভরশীল এবং X-কে স্বাধীন চলক হিসেবে ব্যবহার করে সহবিস্তৃতির বিশ্লেষণ করতে হয়। যদি একটি প্লট বাদ থাকে, তবে ত্রুটিজনিত মুক্তমাত্রা ১ কমে যাবে।

ছক ৯.১ : দৈবায়িত ব্লক ডিজাইনে X এবং Y-এর মান

ট্রিটমেন্ট	ব্লক				মোট
	I	II	III	IV	
T_1	14	11	10	15	50
	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
T_2	17	19	0	20	56
	(0)	(0)	(–1)	(0)	(–1)
T_3	15	18	17	16	66
	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
মোট	46	48	27	51	172
	(0)	(0)	(–1)	(0)	(–1)

৯.২.২. **ট্রিটমেন্ট গড়ের সমন্বয় সাধন** (Adjustment of treatment means) : ট্রিটমেন্টগুলোর গড়মানগুলো লিনিয়ার নির্ভরাঙ্ক সূত্র অনুকরণে সমন্বয় (adjust) করা হয়। এর জন্য নিচে উল্লেখিত সমীকরণ অনুযায়ী সামঞ্জস্যমান পরিমাপ করা যায়।

$$\bar{Y}i = \bar{Y}i - b\,(\bar{X}i - X)$$

$$b = \frac{rB + nT - G}{(r-1)\,(n-1)}$$

৯.২.৩. **মিসিং প্লটসহ ট্রিটমেন্টের গড় :** মিসিং প্লটসহ ট্রিটমেন্টের সমন্বিত গড়

এখানে, r = ব্লকের সংখ্যা

n = ট্রিটমেন্টের সংখ্যা

B = সমস্ত ব্লকের (মিসিং প্লটসহ) ফলনের সমষ্টি

T = ট্রিটমেন্টের ফলনের সমষ্টি

G = সর্বমোট যোগফল

$$= \frac{1}{r}\left[T + \frac{rB + nT - G}{(r-1)\,(n-1)}\right]$$

এটি ট্রিটমেন্টের সাধারণ গড় হবে যদি মিসিং প্লটের মান হয়, $\frac{rB + nT - G}{(r-1)\,(n-1)}$

ট্রিটমেন্টের অসমন্বিত গড় = $\frac{T}{r-1}$

৯.২.৪. **তুলনার জন্য আদর্শ ত্রুটি নির্ণয় :** যেসব ট্রিটমেন্টের মধ্যে কোনো মিসিং প্লট নেই সেসব ক্ষেত্রে তুলনা করতে আদর্শ ত্রুটি (SE) = $\sqrt{\frac{2V/E}{r}}$

এখানে, V/E হলো সামঞ্জস্য করার পর ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক।

আবার যদি তুলনার ক্ষেত্রে কোনো একটি মিসিং প্লট অন্তর্ভুক্ত হয়, সেক্ষেত্রে পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি, (SE)

$$= \sqrt{\frac{2V\acute{E}}{r}\left[2 + \frac{n}{(r-1)(n-1)}\right]}$$

আদর্শ ত্রুটি নির্ণয়ের পর নূন্যতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) বের করে ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করা হয়।

৯.৩. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের ক্ষেত্রে মিসিং প্লটের মান প্রতিস্থাপনের পদ্ধতি (Method for substituting for the missing value in RBD)

পূর্বে আলোচিত পদ্ধতি ছাড়াও ইয়েট্স (Yates) প্রদত্ত মিসিং প্লট পদ্ধতি অবলম্বনে এ ধরনের সমস্যার সমাধান করা যেতে পারে। এ পদ্ধতিকে নিম্নোক্ত উপায়ে মিসিং প্লটের মান নির্ণয় করে উপাত্ত সম্পূর্ণ করে বিশ্লেষণ করা হয়।

৯.৩.১. মিসিং প্লটের মান নির্ণয় : মিসিং প্লটের মান (X) নিম্নোক্ত সমীকরণ অবলম্বনে নির্ণয় করা হয়।

$$X = \frac{rB + nT - G}{(r-1)(n-1)}$$

এখানে, r = ব্লকের সংখ্যা

n = ট্রিটমেন্টের সংখ্যা

B = মিসিং প্লটযুক্ত ব্লকের উপাত্তের যোগফল

T = মিসিং প্লটযুক্ত ট্রিটমেন্টের উপাত্তের যোগফল

G = যেসব উপাত্ত আছে তার যোগফল

পূর্বে দেওয়া উপাত্তের (ছক ৯.১) ক্ষেত্রে মিসিং প্লটের মান,

$$X = \frac{4 \times 27 + 3 \times 56 - 172}{(4-1)(3-1)}$$

$$= 17.33$$

৯.৩.২. ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টির সামঞ্জস্যকরণ : ট্রিটমেন্ট নিচে উল্লেখিত সমীকরণ অবলম্বনে প্রাপ্তফলজনিত বর্গসমষ্টির থেকে বিয়োগ করে সামঞ্জস্য করা হয়।

$$\frac{(B+nT-G)^2}{n(n-1)(r-1)^2}$$

প্রদত্ত উপাত্তের ক্ষেত্রে-এর মান

$$= \frac{(27 + 3 \times 56 - 172)^2}{3 \times 2 \times (4-1)^2}$$

$$= 9.80$$

৯.৩.৩. **ট্রিটমেন্ট গড়ের সামঞ্জস্যকরণ :** ট্রিটমেন্ট গড়ের সামঞ্জস্য মান

$$= \frac{1}{r} [T + x]$$

এখানে,

X = মিসিং প্লটের নির্ণয়কৃত মান

প্রদত্ত উপাত্তের ক্ষেত্রে ট্রিটমেন্টের সামঞ্জস্য গড়

$$= \frac{1}{4} [56 + 17.34]$$

$$= 18.33$$

৯.৩.৪. **ত্রুটিজনিত মুক্তমাত্রা হ্রাসকরণ :** এখানে সর্বমোট ত্রুটির জন্য মুক্তমাত্রা প্রতিটি মিসিং প্লটের জন্য ১ করে কমানো হয়।

৯.৩.৫. **তাৎপর্যতা নির্ণয়ের পরীক্ষা :** পরিসংখ্যানিকভাবে ট্রিটমেন্ট ভেদাঙ্কে ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্কের সাথে তুলনা করে পরীক্ষা করা হয়। প্রদত্ত উদাহরণের জন্য নিচের ছক ৯.২-এ ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের কাঠামো দেওয়া হলো।

ছক ৯.২

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নির্ণয়কৃত মান	F-এর তত্ত্বীয় মান	
					5% স্তরে	1% স্তরে
ব্লক	3					
ট্রিটমেন্ট	2					
ত্রুটি	5					
মোট	10					

৯.৩.৬. **আদর্শ ত্রুটি নির্ণয়**

(ক) যেসব ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে মিসিং উপাত্ত নেই এমন সব ট্রিটমেন্ট গড়ের তুলনা করতে পার্থক্যের –

$$\text{আদর্শ ত্রুটি (SE)} = \sqrt{\frac{2V_E}{r}}$$

(খ) যখন ক ও খ ট্রিটমেন্ট মধ্যে খ কোনো একটি ব্লকে মিসিং থাকে সেক্ষেত্রে ক ও খ-এর তুলনা করতে–

$$\text{আদর্শ ত্রুটি (SE)} = \sqrt{V_E \left(\frac{1}{r} - r\text{-}\frac{1}{2} + \frac{1}{r+1}\right)}$$

৯.৪. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের ক্ষেত্রে মিসিং প্লটের মান নির্ণয় : নিচে এ সম্পর্কে বর্ণনা করা হলো।

৯.৪.১. ল্যাটিন বর্গ পরীক্ষণের ক্ষেত্রে মিসিং প্লটের মান

$$(X) = \frac{n\ (T + C + R) - 2G}{(n-1)\ (n-2)}$$

এখানে,

n = ট্রিটমেন্টের সংখ্যা

T = মিসিং প্লট সম্বলিত ট্রিটমেন্টের যোগফল

C= মিসিং প্লট সম্বলিত কলামের প্রাপ্ত উপাত্তের সমষ্টি

G = প্রাপ্ত মোট উপাত্তের সমষ্টি

এভাবে মিসিং প্লটের মান নির্ণয় করে উপাত্ত সম্পন্ন করা হয় এবং তার বিশ্লেষণ করা হয়।

৯.৪.২. ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টির সমন্বয়করণ : এক্ষেত্রে ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টির সমন্বয়ের জন্য নিচে উল্লেখিত সমীকরণে প্রাপ্ত ফল বিয়োগ করা হয়।

$$\frac{\{(n - 1)\ T + R + C - G\}^2}{(n-1)^2\ (n-2)^2}$$

৯.৪.৩. ট্রিটমেন্ট গড়ের সমন্বয়করণ : দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের ক্ষেত্রে যে পদ্ধতি দেখানো হয়েছে, একই পদ্ধতিতে এক্ষেত্রেও গড়ের সামঞ্জস্য করা হয়।

৯.৪.৪. ত্রুটিজনিত মুক্ত মাত্রা হ্রাসকরণ : এখানে প্রতিটি মিসিং প্লটের জন্য সর্বমোট এবং ত্রুটিজনিত মুক্তমাত্রা হতে ১ বিয়োগ করা হয়।

৯.৪.৫. পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি পরিমাপ : এক্ষেত্রে যদি এমন দুটি ট্রিটমেন্টের মধ্যে তুলনা করা হয় যে, যার একটিতে উপাত্ত মিসিং রয়েছে, সেক্ষেত্রে নিচের সমীকরণ অবলম্বনে, আদর্শ ত্রুটি নির্ণয় করা হয়। আর যদি তুলনাকারী ট্রিটমেন্টের মধ্যে কোনোটিরই মিসিং মান না থাকে, সেক্ষেত্রে সাধারণ নিয়মেই তুলনা করা হয়।

$$SE = \sqrt{\frac{V_E}{n-1} + \frac{1}{n-2/3}}$$

৯.৫. যখন একাধিক প্লটের উপাত্ত মিসিং হয় তখন বিশ্লেষণ পদ্ধতি

যদি ক, খ, গ ..... এভাবে কয়েকটি ইউনিটের উপাত্ত না থাকে, তখন প্রথমে 'ক' ব্যতীত অন্যান্য ইউনিটের মান দিয়ে বিষয়টি বুঝে পরীক্ষণ ডিজাইন অনুযায়ী নির্ধারিত পদ্ধতিতে 'ক'-এর মান পরিমাপ করা হয়। এরপর 'খ'-এর মান, 'গ'-এর মান ইত্যাদি পরিমাপ করা হয়। পরবর্তীকালে আবার এ ধরনের প্রক্রিয়া সম্পন্ন করে বিভিন্ন মান নির্ণয় করা হয় এবং এ প্রক্রিয়া চক্রাকারে পুনরাবৃত্ত করা হয়, যতক্ষণ না 'ক', 'খ', 'গ'-এর মান মোটামুটি পরবর্তী চক্রে পূর্বে নির্ধারিত মানের কাছাকাছি হয়। আর ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের জন্য

প্রতিটি মিসিং প্লটের জন্য সর্বমোট ও ব্লকটিজনিত মুক্তমাত্রা ১ করে কমানো হয়। তবে মিসিং প্লটের সংখ্যা বেশি হলে পরীক্ষণ পুনরায় করাই বাঞ্ছনীয়।

৯.৬. উদাহরণ

৯.৬.১. দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইনের ক্ষেত্রে মিসিং প্লট পদ্ধতি : দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে ধানের ৫টি জাতের ফলনের তুলনা করতে একটি পরীক্ষণ করা হলো। প্রাকৃতিক দুর্যোগের কারণে দুটি প্লটের ক্ষতি হওয়াতে সেই প্লট দুটির উপাত্ত নেওয়া সম্ভব হয়নি। প্রাপ্ত উপাত্ত ছক ৯.৩-এ উপস্থাপিত হলো। এ পরিপ্রেক্ষিতে মিসিং প্লট পদ্ধতি অবলম্বনে মিসিং প্লটের উপাত্ত নির্ণয় করে 'ক' ও 'খ', 'ক' ও 'ঘ' এবং 'খ' ও 'ঘ'-এর মধ্যে তুলনা কর।

ছক ৯.৩

ব্লক	ট্রিটমেন্ট				
I	ঘ	ক	ঙ	গ	খ
	21.0	[*]	21.5	18.0	18.0
II	ঙ	খ	গ	ক	ঘ
	23.0	16.5	[*]	12.5	22.5
III	গ	ঙ	ক	খ	ঘ
	19.5	23.5	16.0	17.0	23.0
IV	ক	ঙ	খ	ঘ	গ
	14.0	24.0	17.5	24.5	20.5

* মিসিং প্লট

ধাপ ১ : প্রথমে ১নং সমলিপনে 'ক' জাতের ফলন (মিসিং বিধায়) অন্য ৩টি সমলিপনে প্রাপ্ত এ জাতের ফলনের গড় $= \frac{12.5 + 16.0 + 14.0}{3} = 14.17$ ধরা হলো।

এরপর ২য় সমলিপন 'গ' জাতের মিসিং মান (x) নিচে প্রদত্ত সমীকরণ অনুযায়ী নির্ণয় করা হলো।

$$x = \frac{r\bar{B} + t\bar{T} - \bar{G}}{(r-1)(t-1)}$$

এক্ষেত্রে $\bar{B}$ = ২য় সমলিপনে প্রাপ্ত অন্য চারটি জাতের ফলনের সমষ্টি = 23.0 + 16.5+ 12.5 + 22.5 = 74.5

r = সমলিপনের সংখ্যা = 4

$\bar{T}$ = অন্যান্য সমলিপনে প্রাপ্ত 'গ' জাতের ফলনের উপাত্তের সমষ্টি
= 18.0 + 19.5 + 20.5
= 58

t = ট্রিটমেন্ট সংখ্যা = 5

$\bar{G}$ = মিসিং প্লট ব্যতীত অন্যান্য প্লটের উপাত্তের সমষ্টি = 366.67

অতএব,

$$X = \frac{(4 \times 74.5) + (5 \times 58) - 366.67}{(4-1)(5-1)}$$

$$= \frac{211.33}{12}$$

$$= 18.44$$

'গ' জাতের জন্য সমলিপন – ২–তে 18.44 ধরে একইভাবে প্রথম সমলিপনে 'ক' জাতের মিসিং প্লটের জন্য মান নির্ণয় করা হলো।

$$\text{এর মান} = \frac{r\bar{B} + t\bar{T} - \bar{G}}{(r-1)(t-1)}$$

$$= \frac{(4 \times 78.5) + (5 \times 42.5) - 371.14}{(4-1)(5-1)}$$

$$= \frac{526.50-370.94}{12}$$

$$= 12.96$$

পুনরায় প্রথম সমলিপনে 'ক' জাতের মান 12.96 ব্যবহার করে ২য় সমলিপনে 'গ' জাতের মিসিং মান নির্ধারণ করা হলো।

$$\text{এবং এ মান} = \frac{(4 \times 74.5) + (5 \times 58) - 365.45}{12}$$

$$= \frac{588 - 365.46}{12}$$

$$s = 18.55$$

পুনরায় 'গ' জাতের মিসিং মান 18.55 ধরে প্রথমে সমলিপণে 'ক' জাতের মিসিং মান নিম্নরূপ নির্ণয় করা হলো।

$$= \frac{526.50 - 371.05}{12}$$

$$= 12.95$$

একইভাবে প্রথম সমলিপনে 'ক' জাতের মিসিং মান 12.95 ধরে দ্বিতীয় সমলিপনে 'গ' জাতের মিসিং মান পুনঃ নির্ধারণ করা হলো।

$$\text{এ মান} = \frac{588.00 - 365.45}{12}$$

$$= 18.55$$

পুনঃপুন এ মান নির্ধারণের পদ্ধতিকে আইটেরেশন (Iteration) বলা হয়।

যেহেতু 'ক' এবং 'গ' জাতের নির্ণীত মান যথাক্রমে 12.95 এবং 18.55, এক ধাপ পূর্বে নির্ধারিত যথাক্রমিক মান 12.96 এবং 18.55 এর কাছাকাছি। অতএব, আর এ মান পুনঃ নির্ণয়ের প্রয়োজন নেই।

এখন ছকে এ মান বসিয়ে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে বিশ্লেষণ করতে হবে। ছক ৯.৪–এ উপাত্ত সাজানো হলো।

ছক ৯.৪

ব্লক	ট্রিটমেন্ট					ব্লক যোগফল
	ঘ	ক	ঙ	গ	খ	
I	21.00	12.95	21.50	18.00	18.00	91.45
	ঙ	খ	গ	ক	ঘ	
II	23.00	16.50	18.55	12.50	22.50	93.05
	গ	ঙ	ক	খ	ঘ	
III	19.50	23.50	16.00	17.00	23.00	99.00
IV	ক	ঙ	খ	ঘ	গ	
	14.00	24.00	17.50	24.50	20.50	100.50
					সর্বমোট যোগফল	(GT) =384.00

বিশ্লেষণের সুবিধার্থে উপাত্তকে ব্লক ও ট্রিটমেন্টভিত্তিক ছক ৯.৫-এ সাজানো হলো—

ছক ৯.৫

ব্লক	ট্রিটমেন্ট					ব্লক যোগফল
	ক	খ	গ	ঘ	ঙ	
I	12.95	18.00	18.00	21.00	21.50	91.45
II	12.50	16.50	18.55	22.50	23.00	93.05
III	16.00	17.00	19.50	23.00	23.50	99.00
IV	14.00	17.50	20.50	24.50	24.00	100.50
জাতের সমষ্টিমান	55.45	69.00	76.55	91.00	93.00	সর্বমোট যোগফল (G.T) =384.00

শোধক মান (CF) **নির্ণয় :**

$$CF = \frac{(G.T.)^2}{rt} = \frac{(384)^2}{4 \times 5} = 7372.80$$

ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি $= \frac{91.45^2 + 93.05^2 + \ldots\ldots 100.5^2}{5} - 7372.80$

$= 7384.531 - 7372.80$

$= 11.731$

সর্বমোট বর্গসমষ্টি $= \{(12.95)^2 + (18.0)^2 + \ldots\ldots + (24.0)^2\} - 7372.80$

$= 7632.055 - 7372.80$

$= 259.255$

ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি $= \frac{\{(55.45)^2 + (69)^2 + \ldots\ldots (93)^2\}}{4} - 7372.80$

$= 7610.1512 - 7372.80$

$= 237.3512$

ছক ৯.৬ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নির্ণয়কৃত মান	F-এর তত্ত্বীয় মান	
					5% স্তরে	1% স্তরে
ব্লক	3	11.731	3.91			
ট্রিটমেন্ট	4	237.35	59.34	59.34	3.48	5.99
ত্রুটি	10	10.12	1.01			
মোট	17	259.22				

যেহেতু ট্রিটমেন্ট 'F'-এর নির্ণয়কৃত মান 59.34 টেবিলে দেওয়া 4, 10 মুক্তমাত্রায় 5% স্তরের তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা বড়। অতএব, ট্রিটমেন্টজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ। সে কারণে বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের গড় মানের মধ্যে t- পরীক্ষার মাধ্যমে তুলনা করতে হবে।

এ ক্ষেত্রে গড়ের আদর্শ ত্রুটির মান (S.E.) নির্ণয় করার পদ্ধতি নিম্নরূপ :

(ক) দুইটি ট্রিটমেন্টই যদি মিসিং প্লট অন্তর্ভুক্ত হয়, যেমন- 'ক' এবং 'গ' গড় মানের মধ্যে তুলনা করতে

$$SE = \sqrt{V_E\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)}$$

এখানে r_1 এবং r_2 হলো 'ক' এবং 'গ'-এর জন্য ইফেকটিভ (effective) সমলিপন সংখ্যা আর,

V_E = ত্রুটিজনিত গড় বর্গ।

'ক'-এর জন্য ইফেকটিভ সমলিপন সংখ্যা $= O + \frac{1}{2} + 1 + 1 = 2.5$

গ-এর জন্য ইফেকটিভ সমলিপন সংখ্যা $= \frac{1}{2} + 0 + 1 + 1 = 2.5$

অতএব $SE = \sqrt{1.017\left(\frac{1}{2.5} + \frac{1}{2.5}\right)}$

$= 0.90$

আর 10 মুক্তমাত্রা 5% স্তরে t এর মান ২.২২৪।

সুতরাং ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (L.S.D.)

$= 0.90 \times 2.228$

$= 2.00$

'ক' এবং 'গ'-এর গড় হলো যথাক্রমে 13.86 এবং 19.141। যেহেতু এ গড় মানদ্বয়ের মধ্যে পার্থক্য LSD-এর থেকে বড় ; অতএব তাদের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

(খ) এখন একটি মিসিং ট্রিটমেন্টবিশিষ্ট ও অন্যান্য মিসিং নয় এমন ট্রিটমেন্টের মধ্যে তুলনা করতে প্রথমে SE–এর মান নিম্নোক্ত সূত্র অনুযায়ী নির্ণয় করা হলো।

$$SE = \sqrt{\frac{V_E}{r}\left[2 + \frac{t}{(r-1)(t-1)}\right]}$$

$$= \sqrt{\frac{1.017}{4}\left[2 + \frac{5}{3 \times 4}\right]}$$

$$= \sqrt{0.6138}$$

$$= 0.78$$

অতএব LSD = 0.78 × 2.228

= 1.7378

এখন 'ক' ও 'ঘ'–এর গড়মান তুলনা করতে এ LSD–এর মান ব্যবহার করতে হবে।

'ক'–এর গড় = 13.86

'ঘ'–এর গড় = 22.7

সেহেতু এ গড় মানদ্বয়ের মধ্যে পার্থক্য LSD মান–এর চেয়ে বেশি অতএব 'ক' ও 'ঘ' এর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

(গ) মিসিং উপাত্ত নেই এমন দুটি ট্রিটমেন্ট যেমন– 'খ' ও 'ঘ' –এর মধ্যে তুলনা করতে সাধারণ নিয়মে LSD–এর মান নির্ণয় করা হলো।

$$LSD = \sqrt{\frac{2V_E}{r}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1.017}{4}}$$

$$= 0.71$$

LSD = 0.71 × 2.228

= 1.58

এখন 'খ' ও 'ঘ'–এর গড়মান যথাক্রমে 17.25 এবং 22.72

যেহেতু এ গড়মানদ্বয়ের মধ্যে পার্থক্য LSD মানের চেয়ে বড় অতএব 'খ' ও 'ঘ'–এর তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

৯.৬.২. ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের ক্ষেত্রে মিসিং প্লট পদ্ধতি : 'ক', 'খ', 'গ', 'ঘ' ও 'ঙ' এ পাঁচটি ধানের জাতের ফলনের মধ্যে তুলনা করতে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইন অবলম্বনে পরীক্ষণ

করা হলো। কিন্তু কোনো কারণে এর ২৫টি প্লটের মধ্যে ২টি প্লট ক্ষতিগ্রস্ত হওয়ায় এর উপাত্ত পাওয়া যায়নি (ছক ৯.৭)

এখন মিসিং প্লট পদ্ধতি অনুযায়ী বিশ্লেষণপূর্বক জাতগুলোর গড় ফলনের মধ্যে তুলনা করে তোমার সিদ্ধান্ত দাও :

ছক ৯.৭

ক	ঙ	ঘ	খ	গ
*	25.0	22.5	20.5	21.5
ঘ	গ	খ	ঙ	ক
21.0	*	18.2	26.0	16.5
গ	খ	ক	ঘ	ঙ
19.0	19.8	14.2	24.5	27.5
ঙ	ঘ	গ	ক	খ
20.0	23.0	21.8	15.5	19.5
খ	ক	ঙ	গ	ঘ
20.0	16.0	28.5	22.5	25.5

বিশ্লেষণ পদ্ধতি

ধাপ ১ : মনে করি প্রথম সারিতে 'ক' জাতের ফলন অন্য ৪টি সমলিপনে প্রাপ্ত 'ক' জাতের গড় ফলন $(a_1) = \frac{16.5 + 14.2 + 15.5 + 16.0}{4}$

$= 15.55$

অতএব ২য় সারিতে 'গ'-এর মান (x)

$$= \frac{\{ t (\bar{R} + \bar{C} + \bar{T}) - 2\bar{G} \}}{(t-1)(t-2)} = C_1$$

এখানে, $\bar{R}$ = এ সারিতে মিসিং মান ব্যতীত অন্যান্য মানের যোগফল = 81.7

$\bar{G}$ = মিসিং মান ২টি ব্যতীত অন্য ২৩টি মানের মোট যোগফল = 504.05

$\bar{C}$ = মিসিং মান ব্যতীত এ কলামের মানের যোগফল = 83.8

$\bar{T}$ = মিসিং মান ব্যতীত ট্রিটমেন্টের অন্যান্য ৪টি মানের যোগফল = 84.8

t = ট্রিটমেন্টের সংখ্যা = 5

$$x = \frac{\{5 (81.7 + 83.8 + 84.8) - 2 \times 504.05 \}}{4 \times 3}$$

$$= \frac{5 [250.3] - 1008.1}{12}$$

$$= \frac{1251.5 - 1008.1}{12}$$

$$= \frac{243.4}{12}$$

$$= 20.28$$

$$= C_1$$

এখন 20.28 কে ২য় সারিতে 'গ'-এর মান ধরে প্রথম সারিতে 'ক'-এর মান (a_2) নির্ণয় করা হলো।

$$a_2 = \frac{t[\acute{R} + \acute{C} + \acute{T}] - 2\acute{G}}{12}$$

$$= \frac{\{5(89.5 + 80.0 + 62.2) - 1017.6\}}{12}$$

$$= 11.74$$

আবার প্রথম সারিতে 'ক'-এর মান 11.74 ধরে ২য় সারিতে 'গ'-এর মান (C_2) নির্ণয় করা হলো।

$$C_2 = \frac{\{5(81.7 + 83.8 + 84.8) - 1018.4\}}{12}$$

$$= 20.89$$

পুনরায় ২য় সারিতে 'গ'-এর মান 20.89 ধরে প্রথম সারিতে 'ক'-এর মান (a_3) নির্ণয় করা হলো।।

$$a_3 = \frac{5(89.5 + 80.0 + 62.2) - 1018.8}{12}$$

$$= 11.64$$

প্রথম সারিতে 'ক'-এর মান 11.64 ধরে ২য় সারিতে 'গ'-এর মান (C_3) পুন: নির্ণয় করা হলো।

$C_3 = 20.9$; একইভাবে 'ক'-এর মান পুনঃ বের হলে হবে $a_4 = 116$

যেহেতু 'গ'-এর এ মান (20.9) পূর্বের ধাপে নির্ণয় মান (20.89) এর কাছাকাছি এবং 'ক'-এর মানও পূর্বের ধাপে নির্ণয়কৃত মান (11.64)-এর কাছাকাছি। অতএব এ মানই উৎকৃষ্ট হিসেবে ধরে পরবর্তী বিশ্লেষণ করা হবে। সেজন্য মিসিং প্লটে সঠিক মান বসিয়ে বিশ্লেষণের জন্য সাজানো হলো (ছক ৯.৮)।

ছক ৯.৮

সারি / কলাম	I	II	III	IV	V	সারির যোগফল
I	ক	ঙ	ঘ	খ	গ	100.6
	11.6	25.0	22.5	20.0	21.5	
II	ঘ	গ	খ	ঙ	ক	
	21.0	20.9	18.2	26.0	16.5	102.6
III	গ	খ	ক	ঘ	ঙ	
	19.0	19.8	14.2	24.5	27.5	105.0
IV	ঙ	ঘ	গ	ক	খ	
	20.0	23.0	21.8	15.5	19.5	99.8
V	খ	ক	ঙ	গ	ঘ	
	20.0	16.0	28.5	22.5	22.5	112.5
কলামের যোগফল	91.6	104.7	105.2	108.5	110	সর্বমোট মান (GT) = 520.5

শোধক মান $= \frac{(GT)^2}{t^2 \cdot} = \frac{(520.5)^2}{5^2} = 10836.81$

সর্বমোট বর্গসমষ্টি $= (11.6^2 + 25.0^2 + \ldots\ldots\ldots 25.5^2) - 10836.81$

$= 429.27$

সারিজনিত বর্গসমষ্টি $= \frac{(100.6)^2 + (102.6)^2 + \ldots\ldots (112.5)^2}{5} - 1083.81$

$= 16.84$

কলামজনিত বর্গসমষ্টি $= \frac{(91.6)^2 + (104.7)^2 + \ldots\ldots (110.5)^2}{5} - 10836.81$

$= 43.63$

ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি $= \frac{(73.8)^2 + (98)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots (127)^2}{5} - 10836.81$

$= 348.03$

অতএব, ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি = 429.27 - (16.84 + 43.63 + 348.03)

= 20.97

এখন এসব মান ব্যবহার করে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ ছক তৈরি করা যায়।

ছক ৯.৯ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নিণয়কৃত মান	F-এর তত্ত্বীয় মান	
					5% স্তরে	1% স্তরে
সারি	4	16.84	4.21			
কলাম	4	43.63	10.90			
উপাদান	4	348.03	87.00	41.43	3.48	5.99
ত্রুটি	12 - 2=10	20.97	2.097			
মোট	24 - 2=22	429.47				

লক্ষ্য করা যায় যে, 4, 10 মুক্তমাত্রায় 1% স্তরে 'F'-এর তত্ত্বীয় মান 5.99। যেহেতু ট্রিটমেন্টের জন্য হিসাবকৃত মান (41.43) 1% স্তরে তত্ত্বীয় মান অপেক্ষা অনেক বড়।

অতএব, ট্রিটমেন্টজনিত ভেদাঙ্ক খুবই তাৎপর্যপূর্ণ। অতএব পরবর্তী ধাপে ট্রিটমেন্টগুলোর গড় মানের তুলনা করতে t- পরীক্ষা করা হলো।

t- পরীক্ষা

মিসিং প্লট অন্তর্ভুক্ত দুটি ট্রিটমেন্ট যথা : 'ক' ও 'গ'-এর গড় মানের তুলনা করতে

$$SE = \sqrt{V_E\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)}$$

এখানে r_1 = 'ক'–এর জন্য সমলিপন সংখ্যা

r_2 = 'গ'–এর জন্য সমলিপন সংখ্যা

$$r_1 = 0 + \frac{2}{3} + 1 + 1 + \frac{2}{3} = 3.33$$

$$r_2 = \frac{2}{3} + 0 + \frac{2}{3} + 1 + 1 = 3.33$$

$$SE = \sqrt{2.097\left(\frac{1}{3.33} + \frac{1}{3.33}\right)}$$

$$= \sqrt{1.2594}$$

$$= 1.122$$

LSD = SE × মুক্তমাত্রা 10 এর 5% স্তরে 't' এর মান

$$= 1.122 \pm 2.228$$

$$= 2.499$$

'ক' ও 'গ'–এর গড় মান যথাক্রমে 14.72 এবং 21.14–এর পার্থক্য L.S.D. (2.49) এর চেয়ে বেশি অতএব, 'ক' ও 'গ'–এর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

এখন মিসিং প্লট অন্তর্ভুক্ত ট্রিটমেন্ট এবং আর একটি সাধারণ ট্রিটমেন্টের গড় মানের মধ্যে তুলনা করা। উদাহরণস্বরূপ, 'ক' ও 'ঘ' এর মধ্যে তুলনা করতে

$$SE = \sqrt{V_E\left[\frac{2}{t} + \frac{1}{(t-1)(t-2)}\right]}$$

$$= \sqrt{2.097\left[\frac{2}{5} + \frac{1}{4 \times 3}\right]}$$

$$= \sqrt{2.097\left(\frac{2}{5} + \frac{1}{12}\right)}$$

$$= \sqrt{1.01355}$$

$$= 1.006$$

$$LSD = 2.076 \times 1.006$$

$$= 2.088$$

'ক' ও 'ঘ' ট্রিটমেন্টের গড় মান যথাক্রমে 14.72 এবং 23.2।

যেহেতু 'ক' ও 'ঘ',–এর গড় মানের পার্থক্য LSD মানের থেকে বেশি অতএব এদের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

তুলনার ক্ষেত্রে ট্রিটমেন্টের মধ্যে কোনোটিই মিসিং প্লট অন্তর্ভুক্ত নয় (যেমন 'খ' ও 'গ') এমন ক্ষেত্রে,

$$SE = \sqrt{\frac{2VE}{r}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 2.097}{5}}$$

$$= \sqrt{0.8388}$$

$$= 0.91$$

অতএব, $LSD = 0.91 \times 2.228$

$= 2.03$

'খ' ও 'ঘ'–এর গড় মান যথাক্রমে 19.60 ও 23.3। যেহেতু এদের পার্থক্য LSD–এর চেয়ে বড় অতএব 'খ' ও 'ঘ'–এর মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

দশম অধ্যায়

প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ এবং কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইন

Progeny Row Trial and Compact Family Block Design

১০.১. ভূমিকা

পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ পদ্ধতি উদ্ভাবনের পূর্ব পর্যন্ত উদ্ভিদ প্রজননবিদগণ তাঁদের নিজস্ব বুদ্ধিমত্তা ও দৃষ্টির ভিত্তিতেই শস্য উদ্ভিদের জাত, সঙ্কর ইত্যাদি নির্বাচন করতেন। কিন্তু পরিসংখ্যানিক পদ্ধতি আবিষ্কারের সাথে সাথেই এসব ধারণা পাল্টে যায়। আমরা জানি যে, জোহানসন (১৯০৩)-এর বিশুদ্ধ সারি নির্বাচন (Pure line selection) পদ্ধতি উদ্ভাবনের আগে সর্বক্ষেত্রে মাস নির্বাচন (mass selection) পদ্ধতিতে নির্বাচন করা হতো। কিন্তু এর পর থেকে স্ব-পরাগায়িত উদ্ভিদের ক্ষেত্রে বিশুদ্ধ সারি নির্বাচন পদ্ধতি উদ্ভিদ প্রজনন গবেষণায় সন্তান-সন্ততি পরীক্ষার মাধ্যমে কোনো উদ্ভিদের কৌলিক ক্ষমতা সম্বন্ধে জানতে কাজে লাগে। এখানে উল্লেখ্য যে, কোনো উদ্ভিদের নির্বাচন যদি শুধু সেই উদ্ভিদের বাহ্যিক বৈশিষ্ট্যের উপর ভিত্তি করে করা হয়, তবে সে ক্ষেত্রে নির্বাচন সঠিক না হবার সম্ভাবনা থাকে। কেননা এ ক্ষেত্রে পরিবেশীয় প্রভাবের ফলে উদ্ভূত পার্থক্য জানার উপায় থাকে না। সে কারণে এদের সন্তান-সন্ততির কৌলিক মান সম্বন্ধে ধারণা নিয়ে নির্বাচন করাটা বেশি যুক্তিসঙ্গত। আর তা করতে হলে বিভিন্ন উদ্ভিদ বা সঙ্করের সন্তান-সন্ততির কৌলিক মানের তুলনা করা প্রয়োজন। কিন্তু এসব ক্ষেত্রে দৈবায়ন ও সমলিপনের নীতিমালাভিত্তিক পরীক্ষণ করা কঠিন। কেননা প্রতিটি নির্বাচিত উদ্ভিদ বা সঙ্করে বীজের সংখ্যা সাধারণত কম হয়, ফলে সমলিপন ব্যবহার করা অসম্ভব হয়ে পড়ে। তদুপরি একই উদ্ভিদ বা সঙ্করের বিভিন্ন সন্তান-সন্ততির মধ্যে কৌলিক পার্থক্য থাকায় এ ধরনের কৌলিক ভেদাঙ্ক ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্কের মধ্যে মিশে যায়। এসব বিবেচনা করে উদ্ভিদ প্রজননবিদগণ অধিক বিজ্ঞানসম্মত পদ্ধতি উদ্ভাবন করেছেন যাতে নির্বাচনের জন্য সন্তান-সন্ততির গুণাগুণকে গুরুত্ব দেওয়া হয়। এ পদ্ধতিকে প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ (progeny row trial) বলা হয়। এর জন্য নির্বাচিত উদ্ভিদ থেকে বীজগুলোকে আলাদা রেখে ভিন্ন সারিতে বপন করা হয়। আর বিভিন্ন সারিতে ভিন্ন সন্তান- সন্ততির গড় মানের উপর ভিত্তি করে উদ্ভিদ নির্বাচন করা হয়। এর ফলে সামান্য কিছু পরিবেশীয় প্রভাব ছাড়া নির্বাচন বেশ যুক্তিসঙ্গত হয়।

১০.২. প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ পদ্ধতি (Method of Progeny Row Trial)

এখন সন্তান-সন্ততির গড় মান সঠিকভাবে পেতে হলে বিভিন্ন সন্তান-সন্ততিকে প্রতিটি সমলিপনে ব্যবহার করতে হবে এবং সমলিপনের সংখ্যাও বাড়াতে হবে। তবে এসব ক্ষেত্রে বীজের সীমাবদ্ধতার কারণে প্রয়োজনীয় সমলিপনের সংখ্যা করতে প্লটের আকার ছোট

করতে হয়। যাহোক, সন্তান-সন্ততির গড় মানের ভিত্তিতে কতকগুলো প্রজনক উদ্ভিদের কোনো বিশেষ বৈশিষ্ট্য যেমন ফলনের তুলনা করতে যে সমলিপন ব্যবহার করে পরীক্ষা করা হয় তাকে প্রোজেনি সারি পরীক্ষণ বলা হয়। এ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইনের বৈশিষ্ট্য হলো প্রতিটি প্লটে একটি করে সারিতে উদ্ভিদ বপন করা হয় এবং একটি সারিতে শুধু নির্বাচিত কোনো বিশেষ উদ্ভিদের বীজই বপন করা হয়। আর এ পরীক্ষণ সাধারণ দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অনুসারে করা হয় যাতে প্রতিটি প্লটে একটি করে বংশধর এবং বিভিন্ন বংশধরকে দৈবায়িতভাবে বপন করা হয়। এক্ষেত্রে প্লটের আকার খুব ছোট হয়, যেমন- তুলার ক্ষেত্রে, ৫ × ২ এবং এক প্লটে ৫ থেকে ১০টি করে উদ্ভিদ লাগানো হয়। আর সমলিপনের সংখ্যাও ৫ থেকে ১০ করা হয়। পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে লক্ষ্য করা যায় যে, প্লটের আকার ছোট হলেও ৮ থেকে ১৩টি সমলিপন ব্যবহার করলে যে ফলনের মত বৈশিষ্ট্যের ক্ষেত্রে গড় মান পাওয়া যায় তার আদর্শ ত্রুটি (S.E.) 10% বা তারও কম হয়। আবার ফলের আয়তন বা বীজের আয়তনের মতো বৈশিষ্ট্যের ক্ষেত্রে এ মান ১ থেকে ২% হয়।

১০.২.১. গার্ড সারি (Guard Row) : এ ধরনের পরীক্ষণে সব সময়ই গার্ড সারি ব্যবহার করা হয়। ব্লকের পাশে ব্যবহৃত প্রোজেনির মিলিত বীজ বপন করে গার্ড সারি করা হয়। এর ফলে পার্শ্বপ্রতিক্রিয়ামুক্ত উপাত্ত পাওয়া যায়। ডিজাইন ১০.১ এ P_1, P_2, P_3, P_4 এবং P_5 এ পাঁচটি প্রোজেনি মাধ্যমে ডিজাইনের ১টি ব্লক দেখানো হলো। প্রতিটি ব্লকের চারপাশ দিয়ে গার্ড সারি (x) লাগানো হয়েছে।

ডিজাইন ১০.১ : গার্ড সারি ব্যবহার

গার্ড সারি	P_4	P_2	P_1	P_5	P_3	গার্ড সারি
x	x	x	x	x	x	x
x	o	o	o	o	o	x
x	o	o	o	o	o	x
x	o	o	o	o	o	x
x	o	o	o	o	o	x
x	x	x	x	x	x	x

১০.২.২. পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ : মনে করি, p সংখ্যক নির্বাচিত উদ্ভিদের প্রোজেনিকে r সংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করে প্রতি প্লটে k সংখ্যক উদ্ভিদ বপন করা হলো। যেহেতু পরীক্ষণ ডিজাইনের মূল ভিত্তি ডিজাইন দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন ; অতএব, বিশ্লেষণ পদ্ধতিও এই ডিজাইনভিত্তিক। নিচে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক (১০.১) দেওয়া হলো।

ছক ১০.১ : প্রোজেনি সারি পরীক্ষণের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ভিন্নতার উৎস		SS	MS
ব্লক	r-1		
প্রোজেনি	p-1		
ত্রুটি (প্লট ত্রুটি)	(r-1) (p-1)		
সমন্বিত উদ্ভিদ ত্রুটি	pr $\sum i = 1$ ki - 1		

যেহেতু একটি প্লটে k সংখ্যক উদ্ভিদ আছে, সেই প্লটের মধ্যে উদ্ভিদের জন্য মুক্তমাত্রা = $(k_i - 1)$। r ব্লকে এ ধরনের মোট প্লটের সংখ্যা = pr। অতএব উদ্ভিদের মধ্যে মুক্তমাত্রা সব প্লটের সমন্বিত অবস্থায় হবে

$$\sum_{i=1}^{pr}(ki - 1)$$

একইভাবে বিভিন্ন প্রোজেনির জন্য ভেদাঙ্ক আলাদাভাবে পরিমাপ করা হয় ও পরে সমন্বয় করা হয়।

১০.২.৩. বংশবৃদ্ধি ও কৃষকদের মধ্যে বিতরণের জন্য প্রোজেনি নির্বাচন (Selection of progeny for multiplication and distribution among farmers) : বিভিন্ন প্রোজেনি গড়মানের পার্থক্যের তাৎপর্যপূর্ণতার উপর ভিত্তি করে প্রোজেনি নির্বাচন করা হয়। বিশ্লেষণের পর 'F' পরীক্ষণের মাধ্যমে যদি দেখা যায় যে, প্রোজেনিজনিত ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ; তাহলে বিভিন্ন প্রোজেনির গড় ঊর্ধ্ব বা নিম্নক্রমানুসারে সাজানো হয়। এরপর 't' পরীক্ষার মাধ্যমে তুলনা করে ভাল প্রোজেনি নির্বাচন করা হয় ও তার পরবর্তীতে ব্যবহারের জন্য ব্যবস্থা নেওয়া হয়।

১০.২.৪. উদাহরণ : তুলার মালভি – ১ স্ট্রেইনের প্রজনক জনুতে নির্বাচিত ১০টি ভিন্ন উদ্ভিদের বংশধরকে প্রোজেনি সারি পরীক্ষার মাধ্যমে তুলনা করা হয়। ব্যবহৃত প্রতিটি প্লটে ৫টি করে উদ্ভিদ এবং প্রতিটি প্রোজেনির জন্য ১০টি করে সমলিপন ব্যবহার করা হয়। ফলে ১০টি ব্লক এবং প্রতি ব্লকে ১০টি করে প্লট ব্যবহৃত হয়। সারি থেকে সারির দূরত্ব ৬০ সেমি. এবং সারির মধ্যে উদ্ভিদ থেকে উদ্ভিদের দূরত্ব ৩০ সেমি. ব্যবহৃত হয়।

প্রান্তীয় প্রভাব নিরসনের জন্য প্রতি ব্লকের পাশে মালভি – ১ স্ট্রেইনের সমন্বিত বীজের ২টি করে সারি প্রতি ব্লকের পাশ দিয়ে লাগানো হয় (ডিজাইন ১০.২)। প্রাপ্ত উপাত্ত বিশ্লেষণ করে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক (ছক ১০.২) তৈরি করা হলো।

ডিজাইন – ১০.২

F	E	H	B	C	A	J	D	G	K
F	D	A	J	H	C	B	K	E	G
E	J	H	B	C	A	D	F	K	G
B	G	E	A	H	C	K	F	D	J
F	E	B	H	K	A	D	C	G	J
J	D	K	B	C	A	H	F	E	G
C	D	J	F	A	H	B	K	E	G
D	H	K	J	G	A	B	F	C	E
F	K	G	A	H	B	C	E	J	D
E	C	B	A	D	H	F	K	J	G

ছক ১০.২-এ প্রোজেনি সারি পরীক্ষণের মাধ্যমে প্রাপ্ত ফলনের উপাত্তের বিশ্লেষণের পর প্রাপ্ত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের গঠন দেখানো হলো :

ছক ১০.২

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গ সমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F নির্ণয়কৃত মান	সারণিকৃত F-এর তত্ত্বীয় মান	
					5%	1%
ব্লক	9					
প্রোজেনি	9					
ত্রুটি	81					

১০.৩. কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইন (Compact Family Block Design)
প্রোজেনি সারি পরীক্ষণের ক্ষেত্রে জানা গেছে, যেসব প্রোজেনি অর্থাৎ বংশধর একই ফ্যামিলিভুক্ত। কিন্তু অনেক সময় ভিন্ন ফ্যামিলি, স্টেইন বা সঙ্কর (cross) বিভিন্ন ফ্যামিলি সংশ্লিষ্ট তুলনার ক্ষেত্রে নিচে উল্লেখিত বিভিন্ন তুলনার প্রয়োজন হয়।

ক. ভিন্ন ফ্যামিলি বা সঙ্কর (cross) এর মধ্যে তুলনা ;

খ. একই ফ্যামিলির অন্তর্ভুক্ত প্রোজেনির (বংশধর) মধ্যে তুলনা ;

গ. ভিন্ন পরিবার থেকে উৎপন্ন বংশধরের মধ্যে তুলনা।

ভিন্ন ফ্যামিলি থেকে উৎপন্ন প্রোজেনির মধ্যে তুলনা করার জন্য এক বিশেষ ধরনের ডিজাইন উদ্ভাবন করা হয়েছে। সেক্ষেত্রে ফ্যামিলিগুলোকে প্রধান প্লটে (main plots) দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হয় এবং একই ফ্যামিলির প্রোজেনিদের পাশাপাশি সেই ফ্যামিলির মধ্যে দৈবায়িতভাবে জন্মানো হয়। অতএব এক্ষেত্রে স্প্লিট প্লট ডিজাইনের মান পরীক্ষণ ক্ষেত্রকে প্রধান প্লট এবং উপপ্লটে (sub plot) ভাগ করা হয়। তবে স্প্লিট প্লট ডিজাইন থেকে এর পার্থক্য এই যে, বিভিন্ন প্রধান প্লটের জন্য উপপ্লট ট্রিটমেন্ট ভিন্নতর। কিন্তু স্প্লিট প্লট ডিজাইনের ক্ষেত্রে প্রধান প্লটের জন্য একই স্প্লিট প্লট ডিজাইনের ক্ষেত্রে প্রধান প্লটের জন্য একই সাবপ্লট ট্রিটমেন্ট ব্যবহৃত হয়। উদ্ভিদ সুপ্রজনন গবেষণায় কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইনের গুরুত্ব অপরিসীম। বিশেষ করে শস্য উদ্ভিদের কৌলিক উন্নয়নের জন্য যে সঙ্করায়ন করা হয় তাতে বিভিন্ন জাত উদ্ভূত সঙ্কর থেকে প্রাপ্ত বংশধরদের তুলনা করে সর্বোৎকৃষ্ট বংশধর নির্বাচন করার জন্য এ ডিজাইন ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

১০.৩.১. পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ (Statistical analysis) : মনে করি f সংখ্যক ফ্যামিলি এবং প্রতি ফ্যামিলিতে p সংখ্যক প্রোজেনি ও r সংখ্যক সমলিপন ব্যবহার করে একটি পরীক্ষণ করা হলো। সেক্ষেত্রে কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ডিজাইন অনুসারে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক নিম্নরূপ (ছক ১০.৩)

ছক ১০.৩ : কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইনের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্ন ফ্যামিলির মধ্যে			একই ফ্যামিলির বিভিন্ন প্রোজেনির মধ্যে		
ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	গড় বর্গ (MS)	ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	আন্ত ফ্যামিলি গড় বর্গ (MS) F_1 F_2 F_3 .....
সমলিপন ফ্যামিলি ত্রুটি	r-1 f-1 (r-1) (f-1)		ব্লক প্রোজেনির ত্রুটি	r-1 p-1 (r-1) (r-1)	

এ ডিজাইন অনুসারে উপাত্তকে দুটি স্তরে বিশ্লেষণ করা হয়। প্রথমে প্রধান প্লটের উপাত্ত বিশ্লেষণ করা হয় এবং সেক্ষেত্রে বিভিন্ন ফ্যামিলি যথা- F_1, F_2, F_3 ..... কে ট্রিটমেন্ট ধরে দৈবায়িত ব্লক ডিজাইনের মতো বিশ্লেষণ করা হয়। পরবর্তীকালে ভিন্ন প্রোজেনিদের উপপ্লট উপাত্ত আলাদাভাবে বিশ্লেষণ করা হয়। ফলে বিভিন্ন ফ্যামিলির মধ্যে পার্থক্য (between family differences) এবং প্রতি ফ্যামিলির প্রোজেনির মধ্যে পার্থক্য সম্পর্কে জানা সম্ভব। যদি বিভিন্ন ফ্যামিলির মধ্যে পার্থক্য তাৎপর্যপূর্ণ হয়, তবে ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) নির্ণয় করে তার ভিত্তিতে কাঙ্ক্ষিত ফ্যামিলি নির্বাচন করা হয়।

নির্বাচিত ফ্যামিলি বা ফ্যামিলিসমূহে গড়মান ভিত্তিতে নিম্নক্রমানুসারে সাজানো হয়।

পরবর্তীকালে বিভিন্ন ফ্যামিলির মধ্যকার ত্রুটি ভেদাঙ্কের (within family error variance) সমসত্ত্বতা (homogeneity) পরীক্ষা করা হয়। সমসত্ত্বতা পরীক্ষণের জন্য বারটলেটস-এর পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। যদি সমসত্ত্বতা প্রমাণিত হয় তবে বিভিন্ন ফ্যামিলি অন্তর্ভুক্ত ভেদাঙ্ক একত্রীভূত (pool) করা হয় এবং একত্রীভূত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক (ছক ১০.৪) নিম্নরূপ।

ছক ১০.৪ : একত্রীভূত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর মান
ব্লক ফ্যামিলিসমূহ ত্রুটি (a)	r-1 f-1 (r-1) (f-1)			E(a)
প্রধান প্লট	rf-1			
ফ্যামিলি অন্তর্ভুক্ত প্রোজেনি ত্রুটি (b)	f (p-1) (f (p-1) (r-1)			E(b)
মোট	fpr-1			

F পরীক্ষা করে যদি দুই স্তরেই ভেদাত্মক তাৎপর্যপূর্ণ হয়, তবে ভিন্ন ফ্যামিলি গড় এবং ফ্যামিলি অন্তর্ভুক্ত বংশধরের গড়ের জন্য আদর্শ ত্রুটি (SE) নির্ণয় করে তুলনা করা হয়।

(ক) দুটি ভিন্ন ফ্যামিলি গড়ের পার্থক্যের আদর্শ ত্রুটি (SE) = $\sqrt{\frac{2 \times E(a)}{pr}}$

(খ) ভিন্ন ফ্যামিলি অন্তর্ভুক্ত দুটি প্রোজেনির গড়ের আদর্শ ত্রুটি (SE)

$$= \sqrt{\frac{2}{r}\left\{\frac{Ea + (p-1)\,Eb}{p}\right\}}$$

১০.৩.২. কমপ্যাক্ট ফ্যামিলি ব্লক ডিজাইনের সুবিধা

১. যদি প্রধান প্লটভিত্তিক বিশ্লেষণে লক্ষ্য করা যায় যে কিছু ফ্যামিলি অন্যদের তুলনায় বিশেষ কোনো বৈশিষ্ট্যের জন্য মন্দ, তবে পরবর্তী ধাপের বিশ্লেষণে এ ধরনের ফ্যামিলি বাদ দিয়ে বিশ্লেষণ করা যায়। এতে বিশ্লেষণ সহজতর হয় এবং সময়ও বেঁচে যায়।

২. এ ডিজাইন অনুসারে পরীক্ষণ করলে ফ্যামিলি অন্তর্ভুক্ত পরিবেশীয় ভিন্নতা কমানো সম্ভব।

৩. উদ্ভিদ সুপ্রজনন গবেষণায় ব্যবহৃত এই ডিজাইন উৎকৃষ্ট বংশধর নির্বাচনের জন্য খুবই কার্যকর।

৪. এই ডিজাইনে ডামি প্লট (dummy plots) ব্যবহার করার সুযোগ থাকে বলে যেসব প্রোজেনির কম বীজ থাকে তাঁদের ক্ষেত্রে ডামি প্লট ব্যবহারের মাধ্যমে পরীক্ষণ করার সুযোগ দেয়।

একাদশ অধ্যায়

সাধারণ চক্রীয় পরীক্ষণ

Simple Rotational Experiments

১১.১. ভূমিকা

চক্রীয় পরীক্ষণ হলো এক ধরনের দীর্ঘমেয়াদি পরীক্ষণ পদ্ধতি যার মাধ্যমে বড় ধরনের কৃষিতাত্ত্বিক তথ্য লাভ করা যায়। একে পর্যায়ক্রমিক পরীক্ষণও বলা যেতে পারে। যেমন- বৎসরে বিভিন্ন ঋতুতে একটি জায়গায় পর্যায়ক্রমে বিভিন্ন শস্য উৎপাদন করে অর্থাৎ ফসলাবর্তন (Crop rotation) করে কোনো শস্য পর্যায়ক্রম অধিকতর লাভজনক জানতে হলে এ ধরনের পরীক্ষণ পদ্ধতি অবলম্বন করতে হবে। এ ধরনের পরীক্ষণের ক্ষেত্রে শুধু ট্রিটমেন্টের প্রভাবকেই জানতে ইচ্ছুক নই এর সাথে এসব ট্রিটমেন্টের পর্যায়ক্রমিক ব্যবহার ও স্থান কি প্রভাব ফেলতে পারে তা জানতে অধিক আগ্রহী। একটি বিশেষ স্থানে কোন ধরনের শস্য পর্যায়ক্রম সবচেয়ে বেশি লাভজনক হবে তা শুধু এ চক্রীয় পরীক্ষণের মাধ্যমেই জানা সম্ভব। তদুপরি বিভিন্ন চাষ পদ্ধতির মধ্যে তুলনা করার সুযোগও এখানে রয়েছে। তবে পর্যায়ক্রমিক পরীক্ষণের ক্ষেত্রে নিচে উল্লেখিত দু'ধরনের সমস্যা দেখা যায়।

(ক) বিভিন্ন শস্য পর্যায়ক্রম যথা- একটি দু'বছর মেয়াদি পর্যায়ক্রম (যেমন- ভুট্টা ও জই অনির্দিষ্টকালের জন্য পুনঃপুনঃ ব্যবহার করা) এবং একটি তিন বছর মেয়াদি শস্য পর্যায়ক্রমের (ধরা যাক, ভুট্টা-ভুট্টা-জই অনির্দিষ্টকালের জন্য পুনঃপুনঃ চাষ করা) মধ্যে তুলনা করা।

(খ) একটি বিশেষ শস্য পর্যায়ক্রমে বিভিন্ন কৃষি পদ্ধতির তুলনা করা।

যাহোক, এসব বিষয় বিবেচনা করে পর্যায়ক্রম পরীক্ষণ পদ্ধতি উদ্ভাবন ও তার পরিবর্ধন করা হয়েছে। বর্তমানে কৃষি ও জীববিজ্ঞানের বিভিন্ন দীর্ঘমেয়াদি পরীক্ষণে এসব নীতিমালাকে অনুসরণ করে সঠিক সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া সম্ভব হচ্ছে।

১১.২. ফসলাবর্তনের ধরন (Nature of crop rotation)

ফসলাবর্তনে পর্যায়ক্রমে বিভিন্ন ধরনের ট্রিটমেন্ট নির্দিষ্ট কয়েক বছর পরপর ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ ৩ ধাপের পর্যায়ক্রমে (ক) তুলা-জোয়ার-জোয়ার বা (খ) তুলা-জোয়ার-বরবটি বা (গ) তুলা-বরবটি-বরবটি হতে পারে। প্রথমক্ষেত্রে পরপর দু'বার তুলার পর জোয়ার ; দ্বিতীয়ক্ষেত্রে জোয়ার-তুলার পর আবার তুলা এবং তৃতীয়ক্ষেত্রে পরপর দু'বার বরবটির পর তুলা পুনঃ বপন করা হয়। পর্যায়ক্রমিকভাবে অবস্থিত ধাপসমূহকে নিম্নোক্ত দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যেতে পারে।

(ক) প্রথম শ্রেণীতে পর্যায়ক্রমে সব ধাপ এক বছরের মধ্যে শেষ করা যায়। উদাহরণস্বরূপ ভুট্টা–গম বা পাট–ধান।

(খ) দ্বিতীয় শ্রেণী যার বিভিন্ন ধাপ এক বছরে শেষ করা যায় না। যেমন, তুলা–জোয়ার–জোয়ার অথবা তুলা–জোয়ার–বরবটি । এক্ষেত্রে প্রতিটি পর্যায়ক্রমের তিনটি ধাপ আছে এবং এগুলো এক বছরে সম্পন্ন করা যায় না।

১১.৩. ফসলাবর্তন পরীক্ষণের মূলনীতি (Basic principles of crop rotational experiments)

মনে রাখা প্রয়োজন যে, শুধু যে কয়বছর পরীক্ষণ করা হয় সে সময়ের উপাত্তই পাওয়া যায়। কিন্তু অভিজ্ঞতা থেকে জানা যায় যে, শস্যের ফলনের ক্ষেত্রে এক বছর থেকে আর এক বছরের পার্থক্যজনিত ভেদাঙ্ক একই বছরের মধ্যে ব্যবহৃত বিভিন্ন প্লটজনিত ভেদাঙ্ক থেকে প্রায় সবসময়ই বড় হয়। ফলে বিভিন্ন পর্যায়ক্রম বা কৃষিপদ্ধতির প্রতিবছরে একবার করে ব্যবহার করা যায়। মনে করি নিম্নোক্ত শস্য পর্যায়ক্রমের মধ্যে প্রধান শস্য হিসেবে তুলার ফলন সবচেয়ে বেশি পাওয়া যাবে।

R_1 (পর্যাক্রম ১) ⟶ তুলা (C) - বরবটি (L) অথবা CLCL

R_2 (পর্যায়ক্রম ২) ⟶ তুলা (C) - জোয়ার (J) বরবটি (L) CJLCJL

প্রতিধাপে প্রতিটি শস্যের জন্য একটি করে প্লট ব্যবহার করার বিষয়টি মনে রেখে প্রতিবছর প্রতি সমলিপনে আমাদের ৬টি প্লট ব্যবহার করতে হবে যার মধ্যে C (নিয়ন্ত্রিত) C (R_1), L(R_1), C(R_2), J(R_2) L (R_2)কে ৬টি ভিন্ন প্লটে দৈবায়িতভাবে ব্যবহার করা যাবে এবং প্রতি সমলিপনে নতুন করে দৈবায়ন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রতি বছর প্লটের যে পর্যায়ক্রম হবে তা ছক ১১.১–এ উপস্থাপন করা হলো।

ছক ১১.১

বছর	প্লট					
	১	২	৩	৪	৫	৬
প্রথম	L	C	L	C	J	C
দ্বিতীয়	C	C	C	L	L	J
তৃতীয়	L	C	J	C	C	L
চতুর্থ	C	C	L	L	J	C
পঞ্চম	L	C	C	C	L	J
ষষ্ঠ	C	C	J	L	C	L

এখানে লক্ষণীয় যে, ১নং এবং ৪নং প্লট প্রথম পর্যায়ক্রমের (R_1) জন্য ৩, ৫ ও ৬ নং প্লট ২য় পর্যায়ক্রমের (R_2) জন্য এবং এটা এমনভাবে বিন্যস্ত যে, প্রতিবছর বিভিন্ন সময়ে পর্যায়ক্রমে অনুসারে রোপণ করা হয়েছে। ২নং প্লটে প্রতি বছরই তুলা জন্মানো হয়েছে এবং এটিই নিয়ন্ত্রণ (control) হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

সবচেয়ে তাৎপর্যপূর্ণ বিষয় এই যে, প্রতি পর্যায়ক্রমেই একটি প্লটে প্রধান শস্য তুলা (C) আছে। এ সম্বলিত আরও একটি প্লট সেই বছর, তার আগের বছর, তার আগের বছর এভাবে থাকবে। যাহোক পর্যায়ক্রমিক পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বনের জন্য নিচে উল্লেখিত বিষয়গুলোকে গুরুত্ব দিতে হবে।

(ক) প্রতি পর্যায়ক্রমের প্রতি ধাপের জন্য একটি প্লট রাখতে হবে।

(খ) প্রতি সমলিপনে ট্রিটমেন্টগুলোকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করতে হবে।

(গ) প্রতি সমলিপনে নতুন করে (fresh) দৈবায়ন করতে হবে।

(ঘ) পরবর্তী বছরগুলোতে নতুন করে দৈবায়ন করা যাবে না।

১১.৪. পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Method of statistical analysis)

(ক) শস্য পর্যায়ক্রমের সব ধাপ একই বছরের মধ্যে সম্পন্ন হয় ; ধরে নেয়া হলে নিচে উল্লেখিত ৬টি পর্যায়ক্রম বিশ্লেষণ করতে হবে।

$R_1 \rightarrow$ পতিত (Fallow) — গম

$R_2 \rightarrow$ আগাম ধান — গম

$R_3 \rightarrow$ ভুট্টা -- গম

$R_4 \rightarrow$ গোখাদ্য জোয়ার — গম

$R_5 \rightarrow$ সবুজ সারের জন্য ধঞ্চে — গম

$R_6 \rightarrow$ আগাম মুগ — গম

পরীক্ষণটি দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অনুযায়ী করা হবে। এখানে প্রতি ব্লককে ৬টি প্লটে ভাগ করা হবে যার মধ্যে ৬টি পর্যায়ক্রমকে দৈবায়িতভাবে প্রয়োগ করা হবে।

পরীক্ষণটি কয়েক বছর ধরে করা হবে। অতএব প্রতি বছরের প্রাপ্ত উপাত্তকে দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন অনুকরণে বিশ্লেষণ করতে হবে।

যদি ব্লকের সংখ্যা ৫ হয় তবে প্রতিবছরের উপাত্তের জন্য ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছকের নমুনা নিচে দেওয়া হলো (ছক ১১.২)।

ছক ১১.২

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-নির্ণয়কৃত মান
ব্লক	4	SS(B)		
পর্যায়ক্রম	5	SS(R)	VR	$\frac{VR}{VE}$
ত্রুটি	20	SS(E)	VE	
মোট	29			

যদি ৩ বছরের উপাত্ত পাওয়া যায় তবে এ ধরনের তিনটি ছক তৈরি করতে হবে এবং পর্যায়ক্রমজনিত ভেদাঙ্কের (VR) তাৎপর্যপূর্ণতার পরীক্ষা করতে হবে। এরপর তিন

বছরের উপাত্তকে একসাথে সমন্বিত (pool) করার জন্য তিন বছরের প্রাপ্ত ৩টি ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্কের (VE_1, VE_2, VE_3) সমরূপতা (homogneity) যাচাইয়ের জন্য বার্টলেটস পদ্ধতি অবলম্বনে এ পরীক্ষণ করতে হবে। যদি ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্কের সমরূপতা প্রতীয়মান হয় তবে তিন উপাত্তকে সমন্বিত (pool) করা হবে।

বছরজনিত এবং আন্তঃক্রিয়াজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় করার জন্য বিশ্লেষণ কাঠামো দেখানোর জন্য নিম্নোক্ত ছক ১১.৩ তৈরি করা হলো :

ছক ১১.৩

পর্যায়ক্রম (Rotation)	বছর		
	Y_1	Y_2	Y_3
R_1			
R_2			
R_3			
মোট			

এ ছকের প্রতিটি মান ৫টি ব্লকের সংশ্লিষ্ট মানের যোগফল। পরবর্তীতে উপাদানিক ডিজাইন অবলম্বনে পর্যায়ক্রম পর্যায়ক্রম। (R) বছর জনিত(Y) এবং পর্যয়াক্রম–বছর (RY) বর্গসমষ্টি পরিমাপ করা হবে।

ছক ১১.৪–এ তিন বছরের উপাত্তের ভেদাঙ্কের সমষ্টিগত বিশ্লেষণের কাঠামো উপস্থাপন করা হলো।

ছক ১১.৪ : তিন বছরের উপাত্ত যোগ করে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নির্ণয়কৃত মান
ব্লক (B)	12			
বছর (Y)	2			
পর্যায়ক্রম (R)	5			
Y × R	10			
ত্রুটি	60			
মোট	89			

এরপর পর্যায়ক্রমজনিত ভেদাঙ্ক যদি তাৎপর্যপূর্ণ হয়, তবে গড় এবং ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যের (LSD) মান পরিমাপ করে সবচেয়ে ভাল পর্যায়ক্রম (rotation) নির্ধারণ করতে হবে।

(খ) যখন পর্যায়ক্রমের বিভিন্ন ধাপ এক বছরের মধ্যে সম্পন্ন হয় :

মনে কর, দ্বি-বাৎসরিক এবং ত্রি-বাৎসরিক পর্যায়ক্রম সম্বলিত পরীক্ষণ করা হবে। পর্যায়ক্রমগুলো নিচে লিপিবদ্ধ করা হলো।

পর্যায়ক্রম	ধাপ
১. কনট্রোল (তুলা)	১
২. $R_1 \longrightarrow$ (তুলা-জোয়ার)	২
৩. $R_2 \longrightarrow$ (তুলা-বরবটি)	২
৪. $R_3 \longrightarrow$ (তুলা-জোয়ার-জোয়ার)	৩
৫. $R_4 \longrightarrow$ (তুলা-জোয়ার-বরবটি)	৩

যেহেতু চারটি ভিন্ন পর্যায়ক্রমে মোট ধাপ (2 + 2 + 3+ 3 =10) ১০,

অতএব, প্রতিটি সমলিপনে কনট্রোলসহ প্রয়োজনীয় প্লটের সংখ্যা = ১০ + ১ = ১১।

ছক ১১.৫-এ বিভিন্ন প্লটে নিয়মানুসারে (দৈবায়ন করে) সাজানো হলো।

ছক ১১.৫

বছর	প্লট										
	১	২	৩	৪	৫	৬	৭	৮	৯	১০	১১
১	C	C	J	C	L	C	J	J	C	J	L
২	C	J	C	L	C	J	J	C	J	L	C
৩	C	C	J	C	L	J	C	J	L	C	J
৪	C	J	C	L	C	C	J	J	C	J	L
৫	C	C	J	C	L	J	J	C	J	L	C
৬	C	J	C	L	C	J	C	J	L	C	J

১১.৫. সামষ্টিক বিশ্লেষণ (Pooled analysis)

যখন অনেক বছরের (যেমন, ১৫ থেকে ২০ বছর) উপাত্ত পাওয়া যায় তখন এর সামষ্টিক বিশ্লেষণ করে ভবিষ্যতে শস্য পর্যায়ক্রম (crop rotation) সম্পর্কে একটা সিদ্ধান্ত দেওয়া যায়-যা কৃষকদের জন্য খুবই গুরুত্বপূর্ণ। এ ধরনের পরীক্ষণে ধরে নেওয়া হয় যে, যে যে বছরের উপাত্ত ব্যবহার করা হয় তা আগামী বছরগুলোর জন্য দৈবায়িত নমুনা (random sample) হিসেবে কাজ করবে। তবে ভেদাঙ্কের সামষ্টিক বিশ্লেষণের আগে অবশ্যই ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্কে সমরূপ হলেই এ বিশ্লেষণ করা যাবে।

১১.৬. দীর্ঘকালীন পরীক্ষণে উপাত্তের বিশ্লেষণে সমস্যা (Problems of analysing data in long term experiments)

(ক) প্রতি প্লটে প্রাপ্ত ফলনের বিশ্লেষণে একটি সমস্যা হলো বিভিন্ন বছরের উপাত্তে প্রাপ্ত ত্রুটির মধ্যে সহ-সম্বন্ধ (correlation) থাকতে পারে যা উপাত্তের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ক্ষেত্রে গ্রহণযোগ্য নয়।

(খ) কয়েক বছরের সামষ্টিক উপাত্তের (pooled data) ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ শুধু তখনই কার্যকর হয়, যখন ট্রিটমেন্টের কোনো অবশেষীয় (residual) প্রভাব থাকে না। বাস্তবে এ ধরনের উপাত্ত পাওয়া খুবই কঠিন।

(গ) এ ধরনের পরীক্ষণে প্রাপ্ত উপাত্তের বিশ্লেষণের ক্ষেত্রে আর একটি সমস্যা হলো ফলনের পর্যায়ক্রম নির্ধারণ করা। কোনো কোনো দিক থেকে বিচার করলে দেখা যায় যে, দীর্ঘকালীন পরীক্ষণের ক্ষেত্রে উপাত্তের ধারা বিভিন্ন ধরনের যেমন, অর্থগোনাল পলিনমিয়ালস (orthogonal polynomials), কোয়াড্রেটিক (quadratic), কিউবিক (cubic) হতে পারে। অল্প সময়কালীন পরীক্ষণের ক্ষেত্রে অবশ্যই উপাত্তের লিনিয়ার (linear) ধারা দেখা যায়। যাহোক উপাত্তের সঠিক ধারা জানার সমস্যাও এ ধরনের বিশ্লেষণের অন্তরায়।

দ্বাদশ অধ্যায়

উপাত্তের রূপান্তরণ

Transformation of Data

১২.১. ভূমিকা

ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের জন্য দুটি বিশ্লেষণ শর্ত হলো—

(ক) পরীক্ষণের ত্রুটি স্বাধীন ও নরমাল বিন্যাস (normal distribution) থাকবে এবং এর গড়মান শূন্য (0) ও ভেদাঙ্ক পপুলেশান ভেদাঙ্কের (0^2) সমান হবে।

(খ) প্রাপ্ত উপাত্ত পরিবেশীয় প্রভাব, উপাদানের প্রভাব এবং ত্রুটির সমন্বিত যোগফলের সমান এবং এসব প্রভাব নরমালভাবে বিন্যস্ত থাকবে, যার গড় মান শূন্য (0) ও ধ্রুবক ভেদাঙ্ক হবে।

কিন্তু অনেক সময় দেখা যায়, প্রাপ্ত উপাত্ত নরমালভাবে বিন্যস্ত নয়। ফলে এ ধরনের উপাত্তের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করা পরিসংখ্যানিকভাবে যুক্তিসংগত নয়। এমতাবস্থায় এ ধরনের উপাত্ত রূপান্তর করে নরমাল বিন্যাসের সাথে মিলিয়ে নেওয়ার পদ্ধতি উদ্ভাবন করা হয়েছে। উপাত্তের এ রূপান্তর করাকে রূপান্তরণ (thransformation) বলা হয়।

উপাত্তের রূপান্তরণের পর ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করে প্রাপ্ত ফলাফল তুলনা করা হয়। অতএব ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের শর্ত মেনে চলতে অনেক ক্ষেত্রে উপাত্তের রূপান্তরণ খুবই তাৎপর্যপূর্ণ।

উপাত্তের প্রকৃতিভেদে রূপান্তরণ পদ্ধতি ভিন্ন হয়। প্রধানত বর্গমূল (square root), আর্কসাইন (arcsine) এবং লগারিদমিক (logarithmic) এই তিন পদ্ধতিতে উপাত্তের রূপান্তরণ করা হয়। নিচে বিষয়টির বিস্তারিত আলোচনা করা হলো।

১২.২. বর্গমূল রূপান্তরণ (Square root transformation)

সাধারণত গণনামূলক উপাত্ত (যেমন- রোগে আক্রান্ত উদ্ভিদের সংখ্যা, কীটের সংখ্যা, একটি প্লটে আগাছার সংখ্যা) এমনভাবে বিন্যস্ত থাকে যে, এর ভেদাঙ্ক গড় মানের সমানুপাতিক এবং এটি এডিটিভ (additive) স্কেলে মেলে না। এসব উপাত্ত নরমালভাবে বিন্যাস হয় না, ফলে ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের জন্য উপাত্তের রূপান্তরণ প্রয়োজন হয়। এ ধরনের উপাত্তের ক্ষেত্রে বর্গমূল ($\sqrt{x}$) রূপান্তরণ পদ্ধতি কার্যকর। এ পদ্ধতিতে প্রাপ্ত উপাত্তের বিভিন্ন সংখ্যাগুলোর বর্গমূল মান ($\sqrt{x}$) নেওয়া হয় এবং এক্ষেত্রে বর্গমূল মানগুলো নরমাল বিন্যাসের সাথে মিলে যায়। তবে কোনো সংখ্যার মান খুব ছোট হলে ($\sqrt{x}$) -এর পরিবর্তে $\sqrt{x + \frac{1}{2}}$ এর মান নেওয়া হয়।

১২.৩. আর্কসাইন রূপান্তরণ (Arcrsine transformation)

আনুপাতিক বা শতকরা হিসেবে সংগৃহীত উপাত্ত সাধারণত বাইনোমিয়াল বিন্যাসের (binomial distribution) সাথে মেলে। ফলে বিশ্লেষণের শর্তপূরণ করে না। এ ধরনের উপাত্তের নরমাল বিন্যাসের সাথে মিল করতে আর্কসাইন রূপান্তরণ পদ্ধতি সঠিক বলে প্রমাণিত হয়েছে। এ ধরনের রূপান্তরণ করতে নিচে উল্লেখিত সমীকরণ ব্যবহার করা হয়।

$$\text{Sine } \phi = \sqrt{\rho}$$

$$\phi = \text{sine}^{-1} \sqrt{\rho}$$

এখানে ρ হলো উপাত্তের বিভিন্ন মান। এখানে উল্লেখ্য যে, উপাত্তের সব মান যদি ২০ থেকে ৭০ % এর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে তবে এ ধরনের রূপান্তরণ অবশ্যই করতে হবে। কিন্তু উপাত্তের বিস্তৃতি যদি ২০%-এর কম এবং ৭০%-এর বেশি উপরে পর্যন্ত বর্ধিত হয়; তবে সে ক্ষেত্রে নরমাল বিন্যাস কার্যকর হয় বিধায় রূপান্তরের প্রয়োজন হয় না। এ রূপান্তরের জন্য ফিশার এবং ইয়েটস বিভিন্ন শতকরা মানের জন্য ϕ-এর মান নির্ণয় করে টেবিল আকারে সাজিয়েছেন যা ব্যবহার করে সহজেই রূপান্তর করা সম্ভব।

১২.৪. লগারিদমিক রূপান্তরণ (Logarithomic transformation)

এ ধরনের রূপান্তরণ (ক) এর মতো গণনামূলক উপাত্তের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। তবে উপাত্তের মানের বিস্তৃতি অনেক বেশি হতে হবে। যদি উপাত্তের মধ্যে কিছু মান খুব ছোট (যেমন - ১,২ ইত্যাদি) এবং কিছু মান খুব বড় (যেমন- ১০০০, ১০,০০০ ইত্যাদি) হয়, তবে এ ধরনের উপাত্তকে নরমাল বিন্যাসে আনতে লগারিদম স্কেলে রূপান্তরণ ছাড়া সম্ভব নয়। উদাহরণস্বরূপ, বেগুনের ফল ছিদ্রকারী কীট নিয়ন্ত্রণ করার জন্য কীটনাশক ব্যবহার করে পরীক্ষণ করে এমন উপাত্ত পাওয়া গেল, যার একদিকে '১' ও অপরদিকে '১০,০০০' মান পাওয়া গেল, এ ধরনের উপাত্তের ক্ষেত্রে দেখা যাবে যে, গড় মানের পরিবর্তনের সাথে পরিমিত বিচ্যুতির মান সরাসরি পরিবর্তিত হয়। এক্ষেত্রে বিভিন্ন মান (x) কে লগ স্কেলে (log x) রূপান্তর করলে রূপান্তরিত উপাত্ত নরমাল বিন্যাসের সাথে মিলে যাবে ও সে অবস্থায় ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করা সম্ভব হবে।

১২.৫. উপাত্তের রূপান্তরণের উদাহরণ

মুগডালের *Cercospora* leaf spot নিয়ন্ত্রণে ছত্রাকনাশক ব্যবহার করে একটি পরীক্ষা করা হয়। ছত্রাকনাশক বিভিন্ন মাত্রা এবং প্লটভিত্তিক প্রাপ্ত ছত্রাক নিয়ন্ত্রণ উপাত্ত (%) নিচে দেওয়া হলো। উপাত্তের বিশ্লেষণ করে ছত্রাকনাশক বিভিন্ন মাত্রার প্রভাব তুলনা কর।

ছত্রাকনাশক বিভিন্ন মাত্রা (ট্রিটমেন্ট)

T_0 = (কোনো ছত্রাকবারক ব্যবহার করা হয়নি) নিয়ন্ত্রণ

T_1 = বোরদো মিশ্রণ 0.5%

T_2 = বোরদো মিশ্রণ 1%

T_3 = বোরদো মিশ্রণ 2%

T_4 = ফ্লিট – ৪০৬ 0.4%

পরীক্ষণ ডিজাইন = দৈবায়িত ব্লক ডিজাইন

সমলিপন = 4

ছক ১২.১ : প্লটভিত্তিক প্রাপ্ত উপাত্ত (%)

সমলিপন-১	T_2	T_4	T_0	T_3	T_1
	14.5	10.5	20.5	13.5	12.5
	(22.38)	(18.91)	(26.92)	(21.56)	(20.70)
	T_1	T_0	T_4	T_2	T_3
সমলিপন-২	8.5	18.0	7.5	9.0	11.0
	(16.95)	(25.10)	(15.89)	(14.46)	(19.37)
	T_4	T_0	T_3	T_1	T_2
সমলিপন-৩	11.0	22.5	10.0	15.0	12.0
	(19.37)	(28.32)	(18.43)	(22.79)	(20.27)
	T_0	T_4	T_1	T_3	T_2
সমলিপন-৪	10.5	7.0	9.0	6.5	8.5
	(18.91)	(15.34)	(18.46)	(14.77)	(16.95)

এক্ষেত্রে উপাত্ত % এ হওয়ায় এবং উপাত্তের পরিধি (range) 6.5% থেকে 22.5%-এর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকায় এ উপাত্তের ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করতে আর্কসাইন পরিবর্তনের প্রয়োজন। সে কারণে একে এ ধরনের পরিবর্তন করে তার মান প্রতিটি অপরিবর্তিত মানের নিচে ব্র্যাকেটে দেয়া হলো।

বিশ্লেষণ

ধাপ ১ : বিশ্লেষণের সুবিধার্থে রূপান্তরিত উপাত্ত সমলিপন ও ট্রিটমেন্ট অনুযায়ী নিচের ছকে সাজানো হলো—

ছক ১২.২

সমলিপন	ট্রিটমেন্ট					সমলিপনের যোগফল
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	
R_1	26.92	20.70	22.38	21.56	18.91	110.47
R_2	25.10	16.95	17.46	19.37	15.89	94.77
R_3	28.32	22.79	20.27	18.43	19.37	109.18
R_4	18.91	17.46	16.95	14.77	15.34	83.43
ট্রিটমেন্টের যোগফল	99.25	77.90	77.06	74.13	69.51	সর্বমোট মান ((G.T.) = 397.85)

ধাপ ২ : শোধক মান (CF) নির্ণয় :

$$\text{শোধকমান (CF)} = \frac{(GT)^2}{20} = \frac{(397.85)^2}{20} = 7914.23$$

ধাপ ৩ : সমলিপনজনিত বর্গসমষ্টি (RSS) নির্নয় :

$$RSS = \frac{(110.47)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + (83.43)^2}{5} - CF$$

$$= 8013.16 - 7914.23 = 98.93$$

ধাপ ৪ : ট্রিটমেন্টজনিত বর্গসমষ্টি (TSS) নির্ণয় :

$$TSS = \frac{(77.90)^2 + (77.06)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + (69.51)^2}{4} - CF$$

$$= 8046.03 - 7914.23$$

$$= 131.80$$

ধাপ ৫ : সর্বমোট বর্গসমষ্টি (Total SS) নির্ণয় :

$$\text{Total SS} = (20.70)^2 + (22.38)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + (18.91)^2 - CF$$

$$= 8176.66 - 7914.23$$

$$= 262.43$$

ধাপ ৬ : ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (ESS) নির্ণয় :

$$ESS = \text{Total SS} - (RSS + TSS)$$

$$= 262.43 - (98.93 + 131.80)$$

$$= 262.43 - 230.73$$

$$= 31.70$$

ধাপ ৭ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি :

ছক ১২.৩ : ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নির্ণয়কৃতমান	F-এর সারণিকৃত তত্ত্বীয় মান	
					5%	1%
সমলিপন	4-1=3	98.93	32.77			
ট্রিটমেন্ট	5-1=4	131.80	32.95	12.48	3.26	5.41
ত্রুটি	12	31.70	2.64			
মোট	19	262.43				

যেহেতু নির্ণয়কৃত F-এর মান 1% তত্ত্বীয় মান থেকেও বড়। অতএব ট্রিটমেন্টজনিত ভেদাঙ্ক অতীব তাৎপর্যপূর্ণ। অতএব ট্রিটমেন্টগুলোর গড় মানের মধ্যে তুলনা করা হলো।

ধাপ ৮ : এখন ৫টি ট্রিটমেন্টের গড়ের তুলনা করতে LSD–এর মান নির্ণয় :
LSD = SE × 12 মুক্তমাত্রায় (ত্রুটির জন্য মুক্তমাত্রা) 5% স্তরে t–এর মান

এখানে, $SE = \sqrt{\frac{2 \times 2.64}{4}} = 1.15$

$$\therefore LSD = 1.15 \times 2.179$$
$$= 2.50$$

ধাপ ৯ : ট্রিটমেন্টগুলোর গড় মানের মধ্যে পারস্পরিক তুলনা করে গড় মানগুলোকে তাদের মানের ঊর্ধ্বক্রমানুসারে নিচে সাজানো হলো :

T_4	T_3	T_2	T_1	T_0 (নিয়ন্ত্রণ)
18.38	18.53	19.26	19.47	24.81

এখানে লক্ষ্য করা যায় যে, একমাত্র T_0 থেকে অন্যসব ট্রিটমেন্টের গড়ের পার্থক্য LSD মান থেকে বড়। অতএব নিয়ন্ত্রণ T_0 তাৎপর্যপূর্ণভাবে অন্যগুলোর থেকে ভিন্ন। তবে T_1 থেকে T_4–এর মধ্যে কোনোটিরই তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই। বার (bar) চিত্রের মাধ্যমে এ ফলাফল নিচে সাজানো হলো। এ থেকে প্রতীয়মান হয় যে, ছত্রাকবারক ব্যবহারে ছত্রাকের উপস্থিতি কমে ; তবে ব্যবহৃত বিভিন্ন মাত্রার প্রভাবের মধ্যে কোনো তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নেই।

T_0 $\overline{T_1 \; T_2 \; T_3 \; T_4}$

ত্রয়োদশ অধ্যায়

সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

Analysis of Covariance

১৩.১. ভূমিকা

মাঠ পর্যবেক্ষণের প্রথম এবং প্রধান শর্ত হলো ব্যবহৃত মাঠের মধ্যে সর্বত্র উর্বরতার সমসত্ত্বতা থাকতে হবে। অর্থাৎ মাঠের কোনো স্থান থেকে অন্য কোনো স্থানের মধ্যে উর্বরতার পার্থক্য থাকবে না। এমতাবস্থায় ট্রিটমেন্টের মধ্যে তুলনা করা যেতে পারে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন তৈরি করা অসম্ভব। ফলে বিভিন্ন ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন তৈরি করা হয়েছে যাতে দৈবায়ন, সমলিপন, স্থানিক নিয়ন্ত্রণের (যেমন– ব্লক, সারি, কলাম ইত্যাদি করে) মাধ্যমে ত্রুটির মাত্রা কমানো হয় এবং অধিকতর বিশ্বস্ততা ও দক্ষতার সাথে ট্রিটমেন্টের তুলনা করে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায়। তবে অসমসত্ত্বতার ধরন ও ব্যাপ্তির কারণে উদ্ভূত ত্রুটির মাত্রা এতে কমানো সম্ভব হলেও যেসব বৈশিষ্ট্যের তুলনা করা হয় তাদের উপর অন্যান্য বৈশিষ্ট্যের প্রভাবজনিত ত্রুটি নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব নয়।

এ ধরনের প্রভাব সৃষ্টিকারী অন্যান্য বৈশিষ্ট্যের প্রভাবের কারণে উদ্ভূত ত্রুটি নিয়ন্ত্রণের জন্য সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের প্রয়োজন হয়। যেমন– কোনো শস্য উদ্ভিদের ফলনের অন্য এক উপাদান যথা– বীজের সংখ্যা দিয়েও প্রভাবিত হয়। এখন এ শস্য উদ্ভিদের চারটি জাতের ফলনের মধ্যে তুলনা করতে হলে এর উপর বীজের সংখ্যার প্রভাব মুক্ত অবস্থায় তুলনা করাই ভাল। আর এর জন্যে প্রয়োজন সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করা। এক্ষেত্রে অন্য প্রভাবকারী বৈশিষ্ট্যের পর্যবেক্ষিত মান নিরূপণ করা হয় আর তাকে সহপর্যবেক্ষণ (ancillary observation) বলা হয়। সহপর্যবেক্ষণের মান প্লট হতে প্লটে দৈবায়িতভাবে পার্থক্য হয়ে থাকে বলে পরীক্ষণ ত্রুটির মাত্রা বাড়িয়ে ফেলে।

এ ধরনের সহপর্যবেক্ষণ মান পরিসংখ্যানিক বিশ্লেষণে–

(ক) ট্রিটমেন্ট প্রয়োগের মধ্যে পার্থক্যের উপর এদের প্রভাব এবং

(খ) পরীক্ষণ ত্রুটিতে এসব বৈশিষ্ট্যের অবদান পরিমাপ করতে ব্যবহার করা হয়।

এর ফলে অধিকতর সূক্ষ্মতার সাথে ট্রিটমেন্টের গড়ের মধ্যে তুলনা করা যায়। এভাবে ত্রুটি নিয়ন্ত্রণকে ত্রুটির পরিসংখ্যানিক নিয়ন্ত্রণ (statistical control of error) বলে। সহপর্যবেক্ষণ চলককে (ancillary variate) কনকমিটেন্ট চলকও (concomitant variate) বলা হয়।

১৩.২. সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ব্যবহার (Uses of analysis of covariance)

(ক) দৈবায়িত পরীক্ষণে তুলনার সূক্ষ্মতা বৃদ্ধি করাই হলো সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের প্রধান ব্যবহার। প্রত্যেকটা প্রধান চলক (Y)-এর জন্য একটি সংশ্লিষ্ট সহচলক (X)–এর উপাত্ত

নেবার প্রয়োজন। এটা ধরে নেওয়া হয় যে, Y–চলকের উপর X চলকের প্রভাব রয়েছে এবং বিশ্লেষণের Y–এর উপর থেকে X চলকের ভিন্নতার প্রভাব মুক্ত করা হয় যা প্রকৃতপক্ষে ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক থেকে বাদ পড়ে যায়।

সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণে X এবং Y চলক ভিন্নতর স্কেলে পরিমাণ করা যায়। X যে Y চলকের কারণিক প্রভাব হতে হবে তার প্রয়োজন নেই। এটা পরিবেশীয় কোনো প্রভাবক হতে পারে যা Y চলকের উপর প্রভাব ফেলতে পারে। যাহোক, সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের মাধ্যমে প্রধান চলকের উপর থেকে অন্য কনকমিটেন্ট চলকের প্রভাব মুক্ত করে ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক হ্রাসের মাধ্যমে অধিকতর সূক্ষ্মতর সাথে ট্রিটমেন্টের মধ্যে তুলনা করা যেতে পারে।

(খ) সমস্যাসৃষ্টিকারী চলকের (disturbing variate) প্রভাবমুক্ত করার জন্যও সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ করা হয়। গবেষণার ক্ষেত্রে যদি দৈবায়িতভাবে পরীক্ষণ সম্ভব না হয় তবে অনেকগুলো দলের (যারা কিছু বৈশিষ্ট্যে ভিন্নতা প্রদর্শন করে) পর্যবেক্ষণ করা যায়। যেমন শহরের ও গ্রামের স্কুলের ছাত্রদের উচ্চতা, অফিসে কার্যরত ব্যক্তি ও কায়িক পরিশ্রম করে এমন ব্যক্তির দেহের ওজনের পার্থক্য তুলনা করা হলো। এখানে, আমরা চাইবো যে, বৈশিষ্ট্য ও সংবেদনশীলতা (Y) এর মধ্যে কোনো সম্পর্ক আছে কি–না। যেখানে সম্ভব আমরা সমস্যা সৃষ্টিকারী চলকের জন্য দল মেলাতে (match) পারি, যেমন দৈবায়িত পরীক্ষণে ব্লকিং করা হয়। যেসব চলকের ক্ষেত্রে মেলানো সম্ভব হয় না তার জন্য সহভেদাঙ্ক সামঞ্জস্যকরণ করা যেতে পারে।

(গ) সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ট্রিটমেন্টের প্রভাবের প্রকৃতি সম্পর্কেও জানা যায়। সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণে চলক (X)–এর পার্থক্যের জন্য সহভেদাঙ্ক সামঞ্জস্যকরণের পর Y–এর পার্থক্যের জন্য সহভেদাঙ্ক সামঞ্জস্যকরণের পর Y-এর উপর থেকে প্রভাব মুক্ত হয়। ফলে Y–এর উপর ট্রিটমেন্টের প্রভাব, যা তাৎপর্যপূর্ণ প্রমাণিত হয়, শুধু সহকারী চলকের উপর যে ভিন্নতা সৃষ্টি হয় তারই প্রতিফলন।

(ঘ) কোনো উপাত্তের মধ্যে যদি কিছু মিসিং থাকে তবে সেক্ষেত্রে সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। ১৯৩৭ বার্টলেট প্রস্তাব করেন যে, মিসিং প্লটের ক্ষেত্রে সহভেদাঙ্ক পদ্ধতির মাধ্যমে উপাত্তের সঠিক বিশ্লেষণ করা সম্ভব।

(ঙ) বহুল শ্রেণিকরণে নির্ভরাঙ্কের সাথে মেলাতে (fitting) সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

১৩.৩. সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণে প্রয়োজনীয় শর্তাদি (Assumptions required for valid use of the analysis of covariance)

সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের জন্য কতগুলো শর্ত আছে। এগুলো পূরণ করলেই এ ধরনের বিশ্লেষণ করা যায়। শর্তগুলো নিচে উল্লেখ করা হলো। এখানে উল্লেখ্য যে, ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের শর্তের সাথে এর মিল আছে।

(ক) মডেল অনুযায়ী ট্রিটমেন্ট, ব্লক এবং নির্ভরাঙ্ক প্রভাব অবশ্যই এডিটিভ (additive) হতে হবে।

(খ) রেডিডুয়াল (E_{ij}) অবশ্যই পরিমিতভাবে (normally) এবং স্বাধীনভাবে বিন্যস্ত হতে হবে এবং তার গড় শূন্য ও একই ভেদাঙ্ক হবে।

১৩.৪. বিশ্লেষণের পরিসংখ্যানিক পদ্ধতি (Statistical method of analysis)
সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের বিভিন্ন ধাপ নিচে বর্ণনা করা হলো—

ধাপ ১ : বর্গসমষ্টি ও উৎপাদের সমষ্টি গণনা (Computation of sum of squares and total sum of products)
প্রথমে বিভিন্ন উৎসজনিত যেমন বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের মধ্যে ব্লকজনিত বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা হয়। তবে উৎসের মাত্রা পরীক্ষণ ডিজাইনের উপর নির্ভর করবে। নিচে দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন অবলম্বনে পরীক্ষণের ক্ষেত্রে প্রাপ্ত এ ধরনের বিশ্লেষণের প্রাপ্ত সারসংক্ষেপ নিচে (ছক ১৩.১) দেখানো হলো।

ছক ১৩.১ : সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	X-চলকের জন্য বর্গসমষ্টি = ΣX^2	X ও Y চলকের গুণফলের বর্গসমষ্টি = ΣXY	Y চলকের জন্য বর্গসমষ্টি = ΣY^2	Y চলকের জন্য গড় বর্গ	F
ব্লক ট্রিটমেন্ট ত্রুটি	b t e	B_X Tx Ex	Bp Tp Ep	By Ty Ey	V_T V_E	$\frac{V_T}{V_E}$
যোগফল	b+t+e					
T+E	t+e	Tx + Ex =Gx	Tp+Ep = Gp	Ty+Ey = Gy		

পৃথকভাবে X এবং Y চলকের বর্গসমষ্টি নির্ণয় করা হয় সাধারণ নিয়মে যা পূর্ববর্তী অধ্যায়সমূহে বর্ণনা করা হয়েছে। তবে X এবং Y চলকের গুণফল সমষ্টি (sum of the products of x, y) নির্ণয়ের পদ্ধতি নিচে বর্ণনা করা হলো।

(ক) শোধক মান (CF) নির্ণয় :

$$CF = \frac{(GT)_X \times (GT)_Y}{N}$$

এক্ষেত্রে $(GT)_X$ এবং $(GT)_Y$ হলো যথাক্রমে X চলকের X চলকের সমষ্টিমান এবং Y চলকের সমষ্টি মান।

(খ) X, Y চলকের গুণফলের সমষ্টি মান (Total SP)

$$= (X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + \ldots\ldots\ldots X_n X_n) - CF$$

(গ) একইভাবে ব্লকজনিত, ট্রিটমেন্টজনিত চলকদ্বয়ের গুণফল মান নির্ণয় করা হয়।

ধাপ ২ : ত্রুটির লাইনে নির্ভরণাঙ্কের তাৎপর্যপূর্ণতা নির্ণয় (Test of significance in the error line)

কনকমিটেন্ট চলক (x)–এর উপর প্রধান চলকের (x)–এর নির্ভরাঙ্ক অবশ্যই তাৎপর্যপূর্ণ হতে হবে যাতে সামঞ্জস্যকরণ (adjustment) কার্যকর হয়। নির্ভরাঙ্কের তাৎপর্যপূর্ণতা F পরীক্ষার মাধ্যমে করা হয়। পদ্ধতি নিচে বর্ণনা করা হলো।

(১) নির্ভরণাঙ্কজনিত বর্গসমষ্টি, $SS(b) = \frac{(\Sigma xy)^2}{\Sigma x^2}$

$$= \frac{(EP)^2}{Ex}$$

(২) Y চলকের জন্য সামঞ্জস্য করা বর্গসমষ্টি $= \Sigma y^2 - \frac{(\Sigma xy)^2}{\Sigma x^2}$

∴ সামঞ্জস্যকৃত বর্গসমষ্টি $(EY') = Ey - \frac{(Ep)^2}{Ex}$

ছক ১৩.২

ভিন্নতার উৎস	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	F (নির্ণয়কৃত)
নির্ভরণাঙ্ক	1	SS(b)	SS(b)	$\frac{SS(b)}{VE'}$
ত্রুটি	e-1	Ey'	VE'	

এখানে নির্ণয় করে প্রাপ্ত 'F'-এর মানের জন্য $V_1 = 1$ এবং $V_2 = e-1$

যদি F-এর এ মান তাৎপর্যপূর্ণ হয়, তবে এটা সুস্পষ্ট যে ট্রিটমেন্টের গড়ের জন্য যে সামঞ্জস্য (adjustment) করা হয়েছে তা ফলপ্রসূ হয়েছে।

ধাপ ৩ : বর্গসমষ্টি সমন্বিতকরণ (Adjustment of the sum of squares)

এখানে T + E এবং E এর জন্য বর্গসমষ্টির সামঞ্জস্যমান বের করা হয় এবং পরে বিয়োগ করে ট্রিটমেন্টের জন্য সামঞ্জস্য বর্গসমষ্টির মান নির্ণয় করা হয়। ফলে T + E এবং E–এর জন্য ১ মুক্তমাত্রা কমে যায়। তবে ট্রিটমেন্টের মুক্তমাত্রা ঠিকই থেকে যায়। নিচের ছকে সামঞ্জস্যকৃত বর্গসমষ্টি এবং ট্রিটমেন্টের পার্থক্যে তাৎপর্যতা নির্ণয়ের বিষয়টি দেখানো হলো।

ছক ১৩.৩ : সমন্বিত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	সামঞ্জস্য করা মান (SS)	গড় বর্গ (MS)	F-এর নির্ণয়কৃত মান	F-এর সারণিকৃত তাত্ত্বিক মান
ট্রিটমেন্ট	t	$Gy' - Ey'$	VT'		
ত্রুটি	e-1	$Ey - \frac{(Ep)^2}{Ex} = Ey'$	VE'		
T+E	t+e-1	$Gy - \frac{(GP)^2}{Gx} = Gy'$			

যে কোনো বিষয়ের বর্গসমষ্টি সামঞ্জস্য করতে নিচের সূত্র ব্যবহার করা হয়।

$$\text{সামঞ্জস্য বর্গসমষ্টি } (y) = \Sigma y^2 - \frac{(\Sigma xy)^2}{\Sigma x^2}$$

$$= SS\ (y) - \frac{[S.P.\ (x\ y)]^2}{s.s.\ (x)}$$

ধাপ ৪ : ট্রিটমেন্টের গড়ের সামঞ্জস্যকরণ

যদি 'F' পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা যায় যে, ট্রিটমেন্টের গড়ের মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য আছে তবে সামঞ্জস্য করা ট্রিটমেন্টের গড়ের মধ্যে তুলনা করতে হবে।

যদি ith ট্রিটমেন্টের অসামঞ্জস্য গড়ের মান Y_i এবং সামঞ্জস্য করা মান $\bar{Y}_i$ হয়।

তবে $\bar{Y}_i = Y_i - b\ (x_i - \bar{x})$

এখানে (i) b হলো ক্রটির লাইনে নির্ভরাঙ্ক

$$b = \frac{\Sigma xy}{\Sigma x^2} = \frac{Ep}{Ex}$$

(ii) x_i হল x-- সিরিজের ith ট্রিটমেন্টের গড়

(iii) $\bar{x}$ হল x সিরিজের সাধারণ গড় মান

ধাপ ৫ : 't' পরীক্ষা

(ক) আমরা জানি যে সামঞ্জস্য করা গড় মানের সূত্র নিম্নরূপ :

$$\bar{y}_i = \bar{y}_i - b\ (\bar{x}_i - x)$$

এর ভেদাঙ্ক = $V\ (\bar{y}_i) + (\bar{x}_1 - \bar{x})^2\ V\ (b)$

এখানে, $V\ (\bar{y}_i)$ হলো ট্রিটমেন্ট গড়ের রেসিডুয়াল (residual) ভেদাঙ্ক এবং V (b) হলো নির্ভরণাঙ্ক সহগের (b) ভেদাঙ্ক।

এখন, $V\ (\bar{y}_i) = \frac{V\bar{E}}{r}$ এবং $V(b) = \frac{V\bar{E}}{Ex}$

এখানে $V_{\bar{E}}$ হলো সামঞ্জস্য করা ক্রটিজনিত ভেদাঙ্ক।

∴ একটি একক ট্রিটমেন্ট গড়ের ভেদাঙ্ক

$$= V_{\bar{E}} \left\{ \frac{1}{r} + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x})^2}{Ex} \right\}$$

∴ একক ট্রিটমেন্ট গড়ের পরিমিত ক্রটি

$$= \sqrt{V_{\bar{E}} \left\{ \frac{1}{r} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{Ex} \right\}}$$

(খ) দুটি সামঞ্জস্য ট্রিটমেন্ট গড়ের পরিমিত ক্রটি

যদি $\bar{y}_i$ এবং $\bar{y}_j$ ith এবং jth ট্রিটমেন্টের সামঞ্জস্য গড় মান হয় তবে

$$\bar{Yi} - \bar{Yj} = (Yi - Yj) - b\,(\bar{xi} - \bar{xj})$$

$$\text{অতএব S.E. } (\bar{Yi} - Yj) = \sqrt{V\bar{E}\left\{\frac{2}{r} + \frac{(\bar{xi} - xj)^2}{Ex}\right\}}$$

(গ) গড় ভেদাঙ্ক এবং ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য

বেশিরভাগ ক্ষেত্রে গড় ভেদাঙ্ক ব্যবহার করেই উপাদানের মধ্যে তুলনা করা হয়ে থাকে। আর এ গড় ভেদাঙ্ক,

$$\bar{V} = \frac{2V\bar{E}}{r}\left\{1 + \frac{1}{n-1} \times \frac{Tx}{Ex}\right\}$$

$\therefore$ (SE) Diff $= \sqrt{\bar{V}}$

এখানে n হলো তুলনা করা হবে এমন ট্রিটমেন্টের সংখ্যা, r হলো সমলিপনের সংখ্যা ; এবং Tx ও Ex হলো যথাক্রমে ট্রিটমেন্ট এবং ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি।

এখন থেকে আমরা সচরাচর ব্যবহৃত নিয়মেই LSD নির্ণয় করতে পারি।

১৩.৫. LSD $= \sqrt{\bar{V}} \times t$ (5% স্তরে সামঞ্জস্য করা ত্রুটির মুক্তমাত্রায় t–এর মান)

১৩.৪.১. সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের উদাহরণ : একটি পরীক্ষায় ইঁদুরের চার (৪) ধরনের ভিন্ন মাত্রায় খাবার দিয়ে ওজনের যে বৃদ্ধি হলো তা নিচের ছকে (১৩.৪) দেওয়া হলো। উক্ত ছকে X দিয়ে খাবারের পরিমাণ এবং Y দিয়ে ওজনের বৃদ্ধি বোঝানো হয়েছে। ক, খ, গ এবং ঘ দিয়ে দল (সমলিপন) বোঝানো হয়েছে। উপাত্তের বিশ্লেষণ করে দেখ যে ভিন্ন চার মাত্রার খাবার ইঁদুরের দেহের ওজনের বৃদ্ধিতে তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব রেখেছে কি–না। আরও দেখ যে দেহের ওজনের বৃদ্ধি খাবারের পরিমাণ দিয়ে প্রভাবিত হয়েছে কি–না?

ছক – ১৩.৪

দল							
ক		খ		গ		ঘ	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
96	98	109	64	179	71	127	72
108	102	125	86	132	84	100	54
94	102	85	51	163	71	151	109
128	108	82	72	143	62	116	93

বিশ্লেষণ

ধাপ ১ : বর্গসমষ্টি এবং গুণফলসমষ্টি নির্ণয় [Calculation of sum of squares (SS) and sum of products (SP)]

SS এবং SP নির্ণয়ের সুবিধার্থে ছক ১৩.৫ তৈরি করা হলো—

ছক ১৩.৫

দল								সর্বমোট মান	
ক		খ		গ		ঘ			
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
96	98	109	64	179	71	127	72		
108	102	125	86	132	84	100	54		
94	102	85	51	163	71	151	109		
128	108	82	72	143	62	116	93	(GT) x	(GT) y
426	410	401	273	617	288	494	328	1938	1299

(ক) X চলকের জন্য বর্গসমষ্টি (SS) নির্ণয়

(i) শোধক মান $(CF)_X = \frac{(1938)^2}{16}$

$= 234740.25$

(ii) সর্বমোট বর্গসমষ্টি $TSSx = (96^2 + 108^2 + ... 116^2) - 234740.25$

$= 11683.75$

(iii) দলগুলোর মধ্যে $SS = \frac{1}{4}(426^2 + ... 494^2) - 234740.25$

$= 7010.25$

(iv) দলের অভ্যন্তরে SS = (TSS) - (দলগুলোর মধ্যে SS)

$= 11683.75 - 7010.25$

$= 4673.50$

(খ) Y চলকের জন্য বর্গসমষ্টি (SS) নির্ণয়

(i) শোধক মান $(CF)y = \frac{1299^2}{16} = 105462.56$

(ii) সর্বমোট বর্গসমষ্টি $TSS = (98^2 + 102^2 + ... 93^2) - 105462.51$

$= 5502.437$

(iii) দলগুলোর মধ্যে বর্গসমষ্টি (SS between groups)

$= \frac{1}{4}(410^2 + ... 328^2) - 105462.5$

$= 2826.687$

(iv) দলের অভ্যন্তরীণ বর্গসমষ্টি (SS within groups)

= 5502.437 - 2826.687

= 2675.750

(গ) 'X' এবং 'Y' চলকের গুণফল সমষ্টি (SP for XY)

(i) (CF) $xy = \frac{1938 \times 1299}{16} = 157341.37$

(ii) সর্বমোট গুণফল (Total S.P.)

= (96 × 98 + ... 116 × 93) - 157341.37

= 486.625

(iii) দলগুলোর মধ্যে SP (SP between groups)

$= \frac{1}{4}[(426 \times 410) + ... + (494 \times 328)] - 157341.37$

= - 1376.125

(iv) দলের অভ্যন্তরে SP (SP within groups)

= 486.625 - (-1376.125)

= 1862.750

ছক ১৩.৬ : ভেদাঙ্ক এবং সহভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	Σx^2 SS (x)	Σxy SP xy	Σy^2 SS(y)	MS (y)	F নির্ণয়কৃত	সারণিকৃত তত্ত্বীয় মান (5% স্তরে)
দলের মধ্যে	3	7010.25	-1376.125	2826.687	924.229	4.226	3.49
দলের অভ্যন্তরে	12	4673.50	1862.750	2675.750	222.979		
মোট	15	11683.75	486.625	5502.437			

এখানে নির্ণয়কৃত F-এর মান টেবিলে দেয়া 5% স্তরে 3, 12 স্বাধীনতা মুক্তমাত্রায় F-এর মান (3.49) এর চেয়ে বড় । এর অর্থ, ভিন্ন খাবারের ভিন্ন মাত্রা ইঁদুরের দেহের ওজন বৃদ্ধিতে তাৎপর্যপূর্ণ ভূমিকা রেখেছে।

এটা এমন হতে পারে যে, ইঁদুরের দেহের ওজন বৃদ্ধি বিভিন্ন ইঁদুরে ভিন্ন মাত্রায় খাবার দেবার জন্য এবং আসলে ভিন্ন মাত্রার খাবারের প্রকৃত পার্থক্যের জন্য নয়। সেজন্য সত্যিকার ভিন্ন র‍্যাশানের পার্থক্য জানতে (র‍্যাশান এর পরিমাণের প্রভাবমুক্ত অবস্থায়)

আরও বিশ্লেষণ প্রয়োজন। তার জন্য প্রথমে নির্ভরণাঙ্ক বের করে তার তাৎপর্যপূর্ণতা পরীক্ষা করার দরকার।

ধাপ ২ : নির্ভরণাঙ্কের তাৎপযপূর্ণতা নির্ণয়ের পরীক্ষা (Test of significance of the regression coefficient)

নির্ণয়কৃত SS, SP ইত্যাদির সামঞ্জস্য করা (adjustment) প্রয়োজন কি–না তার জন্য নির্ভরণাঙ্কের তাৎপর্যপূর্ণতা পরীক্ষা করা দরকার। যদি তাৎপর্যপূর্ণ হয় তবেই মনে করতে হবে যে, খাবারের পরিমাণের প্রভাবমুক্ত অবস্থায় র‍্যাশানের মধ্যে প্রকৃত পার্থক্য ছিল কি–না তা নির্ণয় করতে উপাত্তের সামঞ্জস্য করতে হবে। যাহোক, নির্ভরণাঙ্কের তাৎপর্যপূর্ণতা নির্ণয় করা হলো।

(ক) নির্ভরণাঙ্কজনিত $SS\ (b) = \frac{\sum xy^2}{\sum x^2} = \frac{(Ep)}{Ex}$

$$= \frac{(1862.750)2}{4673.500}$$

$$= 742.449$$

(খ) Y-এর জন্য সামঞ্জস্য করা SS

অর্থাৎ রেসিডুয়াল SS = SS (y) SS (b)

$$= 2675.750 - 742.449$$

$$= 1933.301$$

ছক ১৩.৭ : y–এর জন্য ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	Fএর নির্ণয়কৃত মান	F সারণিকৃত 5 % স্তরে তত্ত্বীয় মান
নির্ভরণাঙ্ক	1	742.449	722.449	4.224	4.84
রেসিডুয়াল	11	1933.801	175.765		

যেহেতু নির্ণয়কৃত F-এর মান তত্ত্বীয় মান থেকে ছোট নির্ভরণাঙ্কের ভেদাঙ্ক তাৎপর্যপূর্ণ নয়। ফলে উপাত্তের সামঞ্জস্যকরণের প্রয়োজন নেই। তবে জানার জন্য পদ্ধতিটি বর্ণনা করা হলো।

ধাপ ৩ : সমন্বিত বর্গসমষ্টি পরিমাপ করা এবং হ্রাসকৃত ভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ (Adjusted SS and analysis of reduced variance)

নিচের সমীকরণ ব্যবহার করে সমন্বিত বর্গসমষ্টি (adjusted SS) পরিমাপ করা হয়।

সমন্বিত বর্গসমষ্টি $= \sum y^2 - \frac{\sum xy}{\sum x^2}$

ছক ১৩.৮ : হ্রাসকৃত ভেদাঙ্কের বিশ্লেষণ ছক

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	yএর জন্য সামঞ্জস্যকৃত বর্গসমষ্টি (ssy adj)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত F–এর মান	সারণিকৃত F–এর মান 5% স্তরে
দলগুলোর মধ্যে	3	5482.169-1933.301=3548.368	1182.956	6.731	3.59
দলের অভ্যন্তরে	11	$2675.750 - \frac{(862.750)^2}{4673.500} = 1933.301$	175.755 (VE)		
মোট	14	$5502.437- \frac{(486.625)^2}{5482.169} = 5482.169$			

যেহেতু নির্ণয় করা 'F'–এর মান সারণিকৃত 3, 11 মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে 'F'–এর তাত্ত্বিক মান থেকে বড় অতএব ব্যবহৃত ৪টি র‍্যাশানের জন্য ইঁদুরের দেহের ওজনের অতি তাৎপর্যপূর্ণ বৃদ্ধি হয়েছে। এটাই হলো প্রকৃত পার্থক্য।

ধাপ ৪ : ট্রিটমেন্টের গড়ের সামঞ্জস্যকরণ ($Y\acute{i}$) (Adjustment of treatment means)
এখন বিভিন্ন র‍্যাশানের কারণে ইঁদুরের দেহের ওজনের বৃদ্ধির মধ্যে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্যের জন্য পরীক্ষা করতে নিম্নোক্ত সূত্রের সাহায্যে ট্রিটমেন্ট গড়ের সামঞ্জস্য করা হয়।

$$Y\acute{i} = Yi - b\,(x_i - x)$$

এখানে b হলো ক্রটির লাইনে নির্ভরণাঙ্ক

$$b = \frac{\Sigma xy}{\Sigma x^2} = \frac{Ep}{Ex} = \frac{1862.75}{4673.50} = 0.399$$

এবং $x = \frac{1938}{16} = 121.125$

ছক ১৩.৯ : গড়ের সামঞ্জস্যকরণ

রেশান	$x_1 = \frac{\Sigma xi}{4}$	$xi - x$	$b(x_i - x)$	অসামঞ্জস্য গড় $\bar{Y}i$	সামঞ্জস্য ... গড় $\bar{Y}i$ $\bar{Y}i - b\,(x\bar{i} - \bar{x})$
ক	106.50	-14.625	-5.835	102.50	108.335
খ	100.25	-20.275	-8.329	68.25	76.579
গ	154.25	33.125	13.217	72.00	58.783
ঘ	123.50	2.375	0.948	82.00	81.052

ধাপ ৫ : সামঞ্জস্যকৃত গড় মানের তুলনার জন্য তাৎপর্যপূর্ণতা পরীক্ষা (Test of significance for comparing adjusted means)

SE of $(\bar{Y}i - \bar{Y}j)$

$$= \sqrt{VE\left[\frac{2}{r} + \frac{(Xi - xj)^2}{Ex}\right]}$$

(i) উদাহরণস্বরূপ,

$$SE\ (ক–ঘ) = \sqrt{175.755\left[\frac{2}{4} + \frac{(106.5 - 123.5)^2}{4673.50}\right]}$$

$$= 19.035$$

$$\therefore = \frac{ক–ঘ}{SE\ (ক–ঘ)} = \frac{108.335 - 81.052}{19.036}$$

$$= 1.433\ (\text{তাৎপর্যপূর্ণ নয়})$$

(ii) একইভাবে,

$$SE\ (ক–ঘ) = 20.9108$$

$$\text{এবং } t = \frac{108.335 - 58.783}{20.9108}$$

$$= 2.370^{*}$$

* অর্থাৎ ক ও গ-এর গড় মানের মধ্যে 5% স্তরে তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য রয়েছে।

একইভাবে বিভিন্ন ট্রিটমেন্টের গড়ের মধ্যে তুলনা করে সিদ্ধান্ত দেয়া যায়।

ধাপ ৬ : গড় ভেদাঙ্ক এবং ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য নির্ণয় (Calculation of the average variance and the least significant difference-LSD)

যেহেতু বিভিন্ন র‍্যাশান যুগলের জন্য খাবারের পরিমাণের গড়ের পার্থক্যজনিত বর্গের পরিসর $(\bar{x}i–\bar{x}j)$, x চলকের ত্রুটিজনিত বর্গসমষ্টি (Ex) এর তুলনায় বড় নয়, অতএব আমরা ট্রিটমেন্টের তুলনা করতে গড় ভেদাঙ্ক ($\bar{v}$) ন্যূনতম তাৎপর্যপূর্ণ পার্থক্য (LSD) পরিমাপ করতে পারি।

$$v = \frac{2VE}{r}\left[1 + \frac{1}{n-1} \times \frac{Tx}{Ex}\right]$$

$$= \frac{2 \times 175.755}{4}\left[1 + \frac{1}{4-1} \times \frac{7010.250}{4673.500}\right]$$

$$= 131.81625$$

LSD = $\sqrt{V}$× সামঞ্জসকৃত স্বাধীনতার মুক্তমাত্রায় 5% স্তরে t-এর মান

= 11.48 × 2.20

= 25.267

ধাপ ৭ : বার চিত্রের মাধ্যমে ফলাফল উপস্থাপন (Representation of the results by bar diagram)

র‍্যাশান	ক	খ	ঘ	গ
সামঞ্জস্যকৃত ওজনের গড় বৃদ্ধি	108.335	81.052	76.579	58.783

ধাপ ৮ : উপসংহার

উপরোক্ত বিশ্লেষণ থেকে বলা যায়, যে চারটি ভিন্ন র‍্যাশান ইঁদুরের দেহের ওজনের ভিন্নতর বৃদ্ধি করেছে। 'ক' তাৎপর্যপূর্ণভাবে সবচেয়ে ভাল এবং 'খ', 'গ', ও 'ঘ'-এর প্রভাব একে অপরের চেয়ে তাৎপর্যপূর্ণভাবে ভিন্নতর নয়।

চতুর্দশ অধ্যায়

ক্রস-ওভার ডিজাইন

Cross-over Design

১৪.১. ভূমিকা

ক্রস-ওভার ডিজাইন পূর্বে আলোচিত বিভিন্ন ধরনের ধারাবাহিক ডিজাইনের মতো নয়। এখানে উল্লেখ থাকে যে, পূর্বে আলোচিত ডিজাইনগুলো যথা- দৈবায়িত সম্পূর্ণ ব্লক ডিজাইন, ও ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনকে ধারাবাহিক (continuous) ডিজাইনও বলা হয়। কেননা এ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইনের ক্ষেত্রে কোনো পরীক্ষণ ইউনিটে যে ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করা হয় তা পরীক্ষণের সমগ্র সময় স্থির রাখা হয়। অর্থাৎ পরীক্ষণ সময় একটি ইউনিটে একই ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা হয়। কিন্তু ক্রস-ওভার ডিজাইনের ক্ষেত্রে পরীক্ষণ ইউনিটে কোনো একটি ট্রিটমেন্ট পরীক্ষণের সমগ্র সময়ের মধ্যে স্বল্প সময়ের জন্য ব্যবহার করে পরে তাকে পরিবর্তন করে অন্য ট্রিটমেন্ট দেওয়া হয়। আর পরীক্ষণের সমগ্র সময়কে এ ধরনের বিভাজন করা নির্ভর করে ট্রিটমেন্টের সংখ্যার উপর। ক্রয়-ওভার ডিজাইনে যেহেতু একটি পরীক্ষণ ইউনিটে পরীক্ষণের সমগ্র সময়ের মধ্যে কোনো সময় এক ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ করে আবার পরিবর্তন করে অন্য ট্রিটমেন্ট দেওয়া হয়- সে কারণে এ ধরনের ডিজাইনকে ক্রস-ওভার (cross-over) বা সুইচ-ওভার (switch-over) ডিজাইন বলা হয়।

১৪.২. পরীক্ষণ ইউনিট (Experimental Units)

ক্রস-ওভার পরীক্ষণ ডিজাইনের ক্ষেত্রে পরীক্ষণের সমগ্র সময়কে কতগুলো স্বল্প উপাদানিক ইউনিটে (fractional durations) ভাগ করা হয় এবং এতে বিভিন্ন ট্রিটমেন্ট ব্যবহার করা হয়, বিধায় এসব স্বল্পকালীন ইউনিটকেই পরীক্ষণ ইউনিট হিসেবে বিবেচনা করা হয় এবং যে ইউনিটের মধ্যে সেগুলো ব্যাপ্ত থাকে তাকে সেই ট্রিটমেন্টসমূহের সমলিপন বলা হয়। এখানে উল্লেখ্য যে, ধারাবাহিক পরীক্ষণ ডিজাইনের ক্ষেত্রে যেহেতু একই ট্রিটমেন্ট একটা বিশেষ পরীক্ষণ ইউনিটে ব্যবহৃত হয়- সে কারণে একই ইউনিট সেই পরীক্ষণে পরীক্ষণ ইউনিট হিসেবে বিবেচিত হয়।

১৪.৩. রেসিডুয়াল প্রভাব এবং বিশ্রাম সময় (Residual effect and rest period)

কোনো ট্রিটমেন্ট প্রয়োগ বন্ধ করার পরও সেই ট্রিটমেন্টের যে প্রভাব চলতে থাকে তাকে রেসিডুয়াল প্রভাব প্রভাব বা ক্যারি-ওভার প্রভাব (carry over effect) বলে। রেসিডুয়াল প্রভাবের কারণে কোনো ট্রিটমেন্টের প্রভাব পরিমাপ করতে পূর্বে ব্যবহৃত অন্য ট্রিটমেন্টের প্রভাব থেকে যায়।

অতএব পরবর্তীকালে কোনো ট্রিটমেন্ট ব্যবহারের আগেই পূর্বে ব্যবহৃত ট্রিটমেন্টের রেসিডুয়াল প্রভাবের বিষয়টি জেনে তা নিয়ন্ত্রণে আনা প্রয়োজন। এর জন্য সাধারণত পূর্বে ব্যবহৃত ট্রিটমেন্টের একই পরীক্ষণ ইউনিটে অন্য ট্রিটমেন্ট ব্যবহারের আগে সেই ইউনিটকে কিছু সময়ের জন্য বিশ্রাম দেয়া হয়। অর্থাৎ এসময় (বিশ্রামকাল) কোনো উপাত্ত সংগ্রহ বা বিবেচনা করা হয় না। তাই রেসিডুয়াল প্রভাব হলো ঠিক মাঠ পরীক্ষণের ক্ষেত্রে প্রাপ্ত সীমানা প্রভাব (border effect) এর মতো।

১৪.৪. পরীক্ষণ এবং বিশ্লেষণ পদ্ধতি (The technique of conducting experiment and analysis)

যখন পরীক্ষণের সমগ্র সময়ের বিভিন্ন বিভাজনকালকে (fractional period) ট্রিটমেন্টের প্রত্যাশিত প্রভাবের উপর ভিত্তি করে গ্রেড (grade) করা যায়, যেমন ভাল সময়ে (better period) ইত্যাদি। তখন এধরনের ডিজাইন অবলম্বনে পরীক্ষা করা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। যাহোক, বিভিন্ন বিভাজন সময়কে বিভিন্ন গ্রেড যেমন 'গ্রেড-১' 'গ্রেড-২' ইত্যাদি নাম দেওয়া যেতে পারে।

উদাহরণস্বরূপ, দুগ্ধ খামারের গরুর প্রাপ্ত দুধের পরিমাণ এবং মানের উপর দু'ধরনের খাবার রেশনের প্রভাবের তুলনা করতে এ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইন অবলম্বন করা হয়। যেহেতু দুধ দেবার ক্ষমতা বিভিন্ন গরুর মধ্যে ভিন্নতর সে কারণে প্রতিটি গরুর সমগ্র দুধ দেয়ার সময়কে দু'ভাগে ভাগ করে প্রথম অর্ধেক সময়ে এক ধরনের রেশনে খাবার দিয়ে এবং অন্য অর্ধেক সময়ে অন্য আর এক ধরনের রেশনে খাবার দিয়ে পরীক্ষা করা যায়।

এক্ষেত্রে দুধ প্রদানের প্রথম অর্ধ সময়কে 'ভাল সময়' এবং দ্বিতীয়ার্ধকে মন্দ সময় বলে গণ্য করা যেতে পারে। কেননা প্রথমদিকে একটি গরু যে পরিমাণ দুধ দেয় পরবর্তী সময়ে তা দেয় না। এ উদাহরণে প্রতিটি গরুকে একটি সমলিপন হিসেবে বিবেচনা করতে হয় এবং দুধ দেবার সময়ে বিভাজিত প্রতিটি উপকালকে পরীক্ষণ ইউনিট হিসেবে গণ্য করা হয়।

এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, সমলিপনের সংখ্যা সবসময়ই ট্রিটমেন্ট সংখ্যার গুণিতক হয়। যেমন- দুটি ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে সমলিপন সংখ্যা ৪, ৬,. ৮, ১০ ইত্যাদি বা তিনটি ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে সমলিপন সংখ্যা হয় ৩, ৬, ৯, ১২ ইত্যাদি।

দুটি ট্রিটমেন্টের ক্ষেত্রে অবশ্য লক্ষ্য রাখতে হয় যে, প্রতিটি ট্রিটমেন্ট যেন 'ভাল সময়' ও 'মন্দ সময়' এ স্থান পায়।

১৪.৫. ট্রিট্রমেন্টের প্রয়োগ (Application of treatments)

মনে করি 'ক' এবং 'খ' দুটি ট্রিটমেন্ট এদের দুটি পর্যায়ক্রম যথা 'কখ' এবং 'খক' নেওয়া হলো। সমলিপনে অর্ধেক ক্ষেত্রে 'কখ' এবং বাকি অর্ধেক ক্ষেত্রে 'খক' ব্যবহার করা হলো। 'কখ' পর্যায়ক্রমের অর্থ হলো প্রথমে অর্থাৎ ভাল সময়ে 'ক' এবং মন্দ সময়ে 'খ'-এর ব্যবহার। একইভাবে 'খক' অর্থ পুরো উল্টা। আর সমলিপনের নির্বাচন অর্থাৎ এক্ষেত্রে গরুর নির্বাচন করতে হবে সম্পূর্ণ দৈবায়িতভাবে।

দশটি গরু নিয়ে অর্থাৎ দশটি সমলিপন ব্যবহার করে একটি পরীক্ষা করলে তার পরিকল্পনা নিম্নরূপ (ছক ১৪.১) হবে।

ছক ১৪.১

সারি	কলাম (সমলিপনের ক্ষেত্রে)										মোট
	১	২	৩	৪	৫	৬	৭	৮	৯	১০	
ভাল সময়ে	ক		ক		ক		ক		ক		R_1
মন্দ সময়ে	খ		খ		খ		খ		খ		R_2
	C_1		C_2		C_3		.....		C_9, C_{10}		সর্বমোট (G.T.)

এখানে লক্ষ্য যায়, ট্রিটমেন্ট প্রয়োগের 'কখ' পর্যায়ক্রম প্রয়োগের ৫টি দৈবায়িতভাবে নির্ধারিত সমলিপনে দেখানো হয়েছে। বাকি ৫টি সমলিপনে 'খক' পর্যায়ক্রমে ট্রিট্রমেন্ট প্রয়োগ করা হবে শূন্য স্থানে।

১৪.৫.১. ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের গঠন (Structure of analysis of variance) : বিভিন্ন উৎসজনিত ভেদাঙ্ক পরিমাপ করার পর ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছক তৈরি করা হয় এবং এ ছকের নমুনা (১৪.২নং ছক) দেখানো হলো।

ছক ১৪.২ : উল্লেখিত উদাহরণের জন্য ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণ

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)	বর্গসমষ্টি (SS)	গড় বর্গ (MS)	নির্ণয়কৃত 'F' এর মান
কলাম	9	SSC	VC	
সারি	1	SSR	VR	
ট্রিটমেন্ট	1	SST	VT	$\frac{V_T}{V_E}$
ত্রুটি	1	SSE	VE	
মোট	19			

দেখা যায় যে, উপাত্তের বিশ্লেষণ অধিকাংশ ক্ষেত্রে ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের মতো। যদি নির্ণয় করা 'F'-এর মান তাৎপর্যপূর্ণ হয়, তবে পরবর্তীকালে আদর্শ ত্রুটি (SE) পরিমাপ করে ট্রিটমেন্ট গড়ের মধ্যে তুলনা করা হয়।

এক্ষেত্রে দুটি ট্রিটমেন্ট গড়ের পার্থক্যকের পরিমিত ত্রুটি (SE)

$$= \sqrt{\frac{২ \times \text{ত্রুটিজনিত ভেদাঙ্ক}}{\text{সমলিপন সংখ্যা}}}$$

SE নির্ণয়ের পর ট্রিটমেন্টসমূহের গড় মানগুলোর মধ্যে পার্থক্য যাচাইয়ের জন্য 't' পরীক্ষাভিত্তিক LSD (অর্থাৎ CD) নির্ণয় করা হয়।

LSD = SE × ত্রুটির জন্য DF এ ৫% স্তরে 't' এর মান

১৪.৬. ক্রস-ওভার পরীক্ষণ ডিজাইনে ল্যাটিন বর্গের ব্যবহার (Use of latin squares in cross over design)

যদি জানা যায় যে, 'ভাল' এবং 'মন্দ' সময়ের পার্থক্য এক সমলিপন থেকে অন্য সমলিপনে ভিন্নতর হবে, তাহলে সমলিপনগুলোকে (আমাদের আলোচিত উদাহরণে গরু) এমনভাবে সাজানো হয় যে, এ পার্থক্য সমলিপন-১ থেকে সমলিপন-১০ এ ক্রমান্বয়ে সাজানো হয়।

এক্ষেত্রে ২ × ২ ল্যাটিন বর্গ ব্যবহার করে সবচেয়ে উপযুক্ত ক্রস-ওভার ডিজাইন তৈরি করা যায়। ফলে বর্গের পার্থক্যজনিত ভেদাঙ্ক থেকে ক্রটিজনিত ভেদাঙ্ক বাদ পড়ে যায় ও ক্রটিজনিত ভেদাঙ্ক কমে যায়। সে কারণে উপাদানজনিত ভেদাঙ্ক আরও সূক্ষ্মতার সাথে যাচাই করা সম্ভব। প্রজনন দোহন সংখ্যা এবং অন্য যে কোনো বৈশিষ্ট্যে গরুগুলোর মধ্যে পার্থক্য থাকলেও এ ধরনের ল্যাটিন বর্গ ব্যবহার করা যায়। সেক্ষেত্রে ব্যবহৃত গরুগুলোর একই বৈশিষ্ট্য থাকতে হবে এবং ভিন্ন বর্গের মধ্যে ব্যবহৃত গরুর পার্থক্য দৈবায়ন ঠিক ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের পদ্ধতিতে করতে হবে।

এক্ষেত্রে পূর্বে উল্লেখিত উদাহরণে প্রাপ্ত ভেদাঙ্ক বিশ্লেষণের ছকের গঠন ১৪.৩ এর মত।

ছক ১৪.৩

ভিন্নতার উৎস (SV)	মুক্তমাত্রা (DF)
বর্গ	4
বর্গের মধ্যে কলাম	5
বর্গের মধ্যে সারি	5
ট্রিটমেন্ট	1
ক্রটি	4
মোট	19

১৪.৭. ক্রস-ওভার ডিজাইনের সুবিধা ও ব্যবহার

(ক) এ ডিজাইন অবলম্বনে একটি ট্রিটমেন্টের স্বল্পকালীন ব্যবহারের প্রভাব সম্পর্কে জানা যায়।

(খ) এ ধরনের ডিজাইন অবলম্বনে সময়জনিত পার্থক্যকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

(গ) যখন কোনো ট্রিটমেন্টের প্রভাব সময়ের সাথে পার্থক্য হয় এবং পরীক্ষণের সমগ্র সময়ে বিভাজন করে গ্রেডিং করা হয় তখন এ ডিজাইন অবলম্বন করা খুবই যুক্তিসঙ্গত।

(ঘ) এ ধরনের পরীক্ষণ ডিজাইনে যে কোনো সংখ্যায় উপাদান ব্যবহার করা যায়, তবে সমলিপনের সংখ্যা ট্রিটমেন্টের সংখ্যার গুণিতক হতে হবে।

(ঙ) এ ডিজাইন প্রায় ল্যাটিন বর্গ ডিজাইনের মতো এবং উপাদানের সংখ্যা যখন বেশ কম তখন এর অনেক সুবিধা।

(চ) বিভিন্ন জীববিজ্ঞান গবেষণায় বিশেষ করে দুগ্ধ খামারে এ ধরনের ডিজাইন ব্যবহৃত হয়। আবার মনস্তাত্ত্বিক এবং বিপণন গবেষণায়ও এ ধরনের ডিজাইন ব্যবহৃত হয়।

পরিশিষ্ট

সারণি : ১ পরিসাংখ্যিক t টেবিল

df	Prohability (p)								
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.150	2.650	3.012	4.221
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922

(contd.)

df	Prohability (p)								
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.076	2.518	2.831	3.819
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.080	2.508	2.819	3.792
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	1.390	2.660	3.460
120	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∝	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.575	3.291
		P<0.05**			P<0.01**				

The table gives the probability of observing the highest "t" value by chance at particular degrees of freedom. The probability of observing value of "t" greater than 2.95 at 15 degrees of freedom is 0.01 or1%

সারণি ২ : ভেরিয়েন্স অনুপাত (F) টেবিল

Denominat	Numerator DF (n_1)									
or DF. (n_2)	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.05	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
	0.01	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022
2	0.05	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
	0.01	98.50	99.00	99.17	9.259	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
3	0.05	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
	0.01	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35
4	0.05	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
	0.01	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
5	0.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	1.82	6.77
	0.01	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
6	0.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
	0.01	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
7	0.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
	0.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
8	0.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
	0.01	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
9	0.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
	0.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
10	0.05	4.96	4.01	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
	0.01	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94

(contd.)

Denominator or DF. (n_2)	P	Numerator DF (n_1)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	0.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
	0.01	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63
12	0.05	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
	0.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39
13	0.05	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
	0.01	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19
14	0.05	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
	0.01	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03
15	0.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
	0.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89
16	0.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
	0.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78
17	0.05	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
	0.01	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68
18	0.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
	0.01	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60
19	0.05	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
	0.01	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52
20	0.05	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
	0.01	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46
21	0.05	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
	0.01	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40
22	0.05	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
	0.01	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35

(contd.)

Denominat	Numerator DF (n_1)									
or DF. (n_2)	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	0.05	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
	0.01	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30
24	0.05	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
	0.01	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26
25	0.05	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
	0.01	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22
26	0.05	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
	0.01	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18
27	0.05	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
	0.01	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15
28	0.05	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
	0.01	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12
29	0.05	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
	0.01	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09
30	0.50	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
	0.01	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07
40	0.05	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
	0.01	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89
60	0.05	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
	0.01	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72
120	0.05	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
	0.01	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56
∝	0.05	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88
	0.01	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41

P<0.05,* P<0.01,**

n_1 must always correspond with the greater mean square, n_2 must always correspond with the error mean square.

DF (n_1)	DF (n_1)										
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	P
1	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	0.050
	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366	0.010
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	0.050
	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50	0.010
3	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.532	0.050
	27.23	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22	6.13	0.010
4	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	15.69	5.66	5.63	0.050
	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46	0.010
5	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	0.050
	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.33	9.29	9.20	9.11	9.02	0.010
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	0.050
	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	9.88	0.010
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	0.050
	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65	0.010
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	0.050
	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86	0.010
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	0.050
	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31	0.010
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	0.050
	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91	0.010
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	0.050
	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60	0.010
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	0.050
	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36	0.010
13	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	0.050
	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17	0.010

(contd.)

DF	DF (n_1)										
(n_1)	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∝	P
14	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	0.05
	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	2.27	3.18	3.09	3.00	0.01
15	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	0.05
	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87	0.01
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	0.05
	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75	0.01
17	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	0.05
	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65	0.01
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	0.05
	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57	0.01
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	0.05
	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49	0.01
20	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	0.05
	3.37	3.23	3.09	2.94	2.2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42	0.01
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	0.05
	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36	0.01
22	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	1.05
	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31	0.01
23	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	0.05
	3.21	5.07	2.93	2.78	2.70	2.62	1.54	2.45	2.35	2.26	0.01
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	0.05
	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.54	2.49	2.40	2.31	2.21	0.01

(contd.)

DF	DF (n_1)										
(n_2)	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∝	P
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	0.05
	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17	0.01
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69	0.05
	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13	0.01
27	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67	0.05
	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10	0.01
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	0.05
	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06	0.01
29	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64	0.05
	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03	1.01
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62	0.05
	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01	0.01
40	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51	0.05
	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80	0.01
60	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39	0.05
	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60	0.01
120	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25	0.05
	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.66	1.76	1.66	1.53	1.38	0.01
∝	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00	0.05
	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00	0.01

সারণি ৩ : স্টুডেন্টাইজড, $q \frac{(x_n - x_1)}{sv}$-এ পরিসংখ্যানিক শতকরা মান

Percentage points of the studentized, $q = (x_n - x_1)/sv$ Upper 1% points

n / v	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	90.03	135.0	164.3	185.6	202.2	215.8	227.2	237.0	245.6
2	14.04	19.02	22.29	24.72	26.63	28.20	29.53	30.68	31.69
3	8.26	10.62	12.17	13.33	14.24	15.00	15.64	16.20	16.69
4	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.55	11.93	12.27
5	5.70	6.98	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24
6	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10
7	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37
8	4.75	5.64	6.20	6.62	6.96	7.24	7.47	7.68	7.86
9	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.33	7.49
10	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21
11	4.39	5.15	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99
12	4.32	5.05	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81
13	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67
14	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54
15	4.17	4.84	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44
16	4.13	4.79	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35
17	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27
18	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.08	6.20
19	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14
20	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09
24	3.96	4.55	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92
30	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.54	5.65	5.76
40	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.26	5.39	5.50	5.60
60	3.76	4.28	4.59	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45
120	3.70	4.20	4.50	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.30
∞	3.64	4.12	4.40	4.60	4.76	4.88	4.99	5.08	5.16

r v	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	253.2	260.0	266.2	271.8	277.0	281.8	286.3	290.4	294.3	298.0
2	32.59	33.40	34.13	34.81	35.43	36.00	36.53	37.03	37.50	37.95
3	17.13	17.53	17.89	18.22	18.52	18.81	19.07	19.32	19.55	19.77
4	12.57	12.84	13.09	13.32	13.53	13.73	13.91	14.08	14.24	14.40
5	10.48	10.70	10.89	11.08	11.24	11.40	11.55	11.68	11.81	11.93
6	9.30	9.48	9.65	9.81	9.95	10.08	10.21	10.32	10.43	10.54
7	8.55	8.71	8.86	9.00	9.12	9.24	9.35	9.46	9.55	9.65
8	8.03	8.18	8.31	8.44	8.55	8.66	8.76	8.85	8.94	9.03
9	7.65	7.78	7.91	8.03	8.13	8.23	8.33	8.41	8.49	8.57
10	7.36	7.49	7.60	7.71	7.81	7.91	7.99	8.08	8.15	8.23
11	7.13	7.25	7.36	7.46	7.56	7.65	7.73	7.81	7.88	7.95
12	6.94	7.06	7.17	7.26	7.36	7.44	7.52	7.59	7.66	7.73
13	6.79	6.90	7.01	7.10	7.19	7.27	7.35	7.42	7.48	7.55
14	6.66	6.77	6.87	6.96	7.05	7.13	7.20	7.27	7.33	7.39
15	6.55	6.66	6.76	6.84	6.93	7.00	7.07	7.14	7.20	7.26
16	6.46	6.56	6.66	6.74	6.82	6.90	6.97	7.03	7.09	7.15
17	6.38	6.48	6.57	6.66	6.73	6.81	6.87	6.94	7.00	7.05
18	6.31	6.41	6.50	6.58	6.65	6.73	6.79	6.85	6.91	6.97
19	6.25	6.34	6.43	6.51	6.58	6.65	6.72	6.78	6.84	6.89
20	6.19	6.28	6.37	6.45	6.52	6.59	6.65	6.71	6.77	6.82
24	6.02	6.11	6.19	6.26	6.33	6.39	6.45	6.51	6.56	6.61
30	5.85	5.93	6.01	6.08	6.14	6.20	6.26	6.31	6.36	6.41
40	5.69	5.76	5.83	5.90	5.96	6.02	6.07	6.12	6.16	6.21
60	5.53	5.60	5.67	5.73	5.78	5.84	5.89	5.93	5.97	6.01
120	5.37	5.44	5.50	5.56	5.61	5.66	5.71	5.75	5.79	5.83
∞	5.23	5.29	5.35	5.40	5.45	5.49	5.54	5.57	5.61	5.65

Upper 5% points

n / v	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17.97	26.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.40	47.36	49.07
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.15
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65
120	2.80	3.36	3.68	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56
∝	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47

n v	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	50.59	51.96	53.20	54.33	55.36	56.32	57.22	58.04	58.83	59.56
2	14.39	14.75	15.08	15.38	15.65	15.91	16.14	16.37	16.57	16.77
3	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52	10.69	10.84	10.98	11.11	11.24
4	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66	8.79	8.91	9.03	9.13	9.23
5	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21
6	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59
7	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.10	7.17
8	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87
9	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64
10	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11	6.19	6.27	6.34	6.40	6.47
11	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98	6.06	6.13	6.20	6.27	6.33
12	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88	5.95	6.02	6.09	6.15	6.21
13	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	5.99	6.05	6.11
14	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71	5.79	5.85	5.91	5.97	6.03
15	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65	5.72	5.78	5.85	5.90	5.96
16	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.73	5.79	5.84	5.90
17	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54	5.61	5.67	5.73	5.79	5.84
18	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79
19	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75
20	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71
24	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.49	5.55	5.59
30	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.47
40	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36
60	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.15	5.20	5.24
120	4.64	4.71	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.04	5.09	5.13
∞	4.55	4.62	4.68	4.74	4.80	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01

n : size of sample from which range obtained. v : degrees of freedom of independent.

সারণি ৪ : আর্কসিন পরিসংখ্যানিক শতকরা রূপান্তর

The Arcsin $\sqrt{\text{percentage}}$ transformation.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0	0.57	0.81	0.99	1.15	1.28	1.40	1.52	1.62	1.72
0.1	1.81	1.90	1.99	2.07	2.14	2.22	2.29	2.36	2.43	2.50
0.2	2.56	2.63	2.69	2.75	2.81	2.87	2.92	2.98	3.03	3.09
03	3.14	3.19	3.24	3.29	3.34	3.39	3.44	3.49	3.53	3.58
0.4	3.63	3.67	3.72	3.76	3.80	3.85	3.89	3.93	3.97	4.01
0.5	4.05	4.09	4.13	4.17	4.21	4.25	4.29	4.33	4.37	4.40
0.6	4.44	4.48	4.52	4.55	4.59	4.62	4.66	4.69	4.73	4.76
0.7	4.80	4.83	4.87	4.90	4.93	4.97	5.00	5.03	5.07	5.10
0.8	5.13	5.16	5.20	5.23	5.26	5.29	5.32	5.35	5.38	5.41
0.9	5.44	5.47	5.50	5.53	5.56	5.59	5.62	5.65	5.68	5.71
1.	5.74	6.02	6.29	6.55	6.80	7.04	7.27	7.49	7.71	7.92
2	8.13	8.33	8.53	8.72	8.91	9.10	9.28	9.46	9.63	9.81
3	9.98	10.14	10.31	10.47	10.63	10.78	10.94	11.09	11.24	11.39
4.	11.54	11.68	11.83	11.97	12.11	12.25	12.39	12.52	12.66	12.79

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	12.92	13.05	13.18	13.31	13.44	13.56	13.69	13.81	13.94	14.06
6	14.18	14.30	14.42	14.54	14.65	14.77	14,89	15.00	15.12	15.23
7	15.34	15.45	15.56	15.68	15.79	15.89	16.00	16.11	16.22	16.32
8	16.43	16.54	16.64	16.74	16.85	16.95	17.05	17.16	17.26	17.36
9	17.46	17.56	17.66	17.76	17.85	17.95	18.05	18.15	18.24	18.34
10	18.44	18.53	18.63	18.72	18.81	18.91	19.00	19.09	19.19	19.28
11	19.37	19.46	19.55	19.64	19.73	19.82	19.91	20.00	20.09	20.18
12	20.27	20.36	20.44	20.53	20.62	20.70	20.79	20.88	20.96	21.05
13	21.13	21.22	21.30	21.39	21.47	21.56	21.64	21.72	21.81	21.89
14	21.97	22.06	22.14	22.22	22.30	22.38	22.46	22.55	22.63	22.71
15	22.79	22.87	22.95	23.03	23.11	23.19	23.26	23.34	23.42	23.50
16	23.58	23.66	23.73	23.81	23.89	23.97	24.04	24.12	24.20	24.27
17	24.35	24.43	24.50	24.58	24.65	24.73	24.80	24.88	24.95	25.03
18	25.10	25.18	25.25	25.33	25.40	25.48	25.55	25.62	25.70	25.77
19	25.84	25.92	25.99	26.06	26.13	26.21	26.28	26.35	26.42	26.49

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	26.56	26.64	26.71	26.78	26.85	26.92	26.99	27.06	27.13	27.20
21	27.28	27.35	27.42	27.49	27.56	27.63	27.69	27.76	27.83	27.90
22	27.97	28.04	28.11	28.18	28.25	28.32	28.38	28.45	28.52	28.59
23	28.66	28.73	28.79	28.86	28.93	29.00	29.06	29.13	29.20	29.27
24	29.33	29.40	29.47	29.53	29.60	29.67	29.73	29.80	29.87	29.93
25	30.00	30.07	30.13	30.20	30.26	30.33	30.40	30.46	30.53	30.59
26	30.66	30.72	30.79	30.85	30.92	30.98	31.05	31.11	31.18	31.24
27	31.31	31.37	31.44	31.50	31.56	31.63	31.69	31.76	31.82	31.88
28	31.95	32.01	32.08	32.14	32.20	32.27	32.33	32.39	32.46	32.52
29	32.58	32.65	32.71	32.77	32.83	32.90	32.96	33.02	33.09	33.15
30	33.21	33.27	33.34	33.40	33.46	33.52	33.58	33.65	33.71	33.77
31	33.83	33.89	33.96	34.02	34.08	34.14	34.20	34.27	34.33	34.39
32	34.45	34.51	34.57	34.63	34.70	34.76	34.82	34.88	34.94	35.00
33	35.06	35.12	35.18	35.24	35.30	35.37	35.43	35.49	35.55	35.61
34	35.67	35.73	35.79	35.85	35.91	35.97	36.03	36.09	36.15	36.21

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	36.27	36.33	36.39	36.45	36.51	36.57	36.63	36.69	36.75	36.81
36	36.87	36.93	36.99	37.05	37.11	37.17	37.23	37.29	37.35	37.41
37	37.47	37.52	37.58	37.64	37.70	37.76	37.82	37.88	37.94	38.00
38	38.06	38.12	38.17	38.23	38.29	38.35	38.41	38.47	38.53	38.59
39	38.65	38.70	38.76	38.82	38.88	38.94	39.00	39.06	39.11	39.17
40	39.23	39.29	39.35	39.41	39.47	39.52	39.58	39.64	39.70	39.76
41	39.82	39.87	39.93	39.99	40.05	40.11	40.16	40.22	40.28	40.34
42	40.40	40.46	40.51	40.57	40.63	40.69	40.74	40.80	40.86	40.92
43	40.98	41.03	41.09	41.15	41.21	41.27	41.32	41.38	41.44	41.50
44	41.55	41.61	41.67	41.73	41.78	41.84	41.90	41.96	42.02	42.07
45	42.13	42.19	42.25	42.30	42.36	42.42	42.48	42.53	42.59	42.65
46	42.71	42.76	42.82	42.88	42.94	42.99	43.05	43.11	43.17	43.22
47	43.28	43.34	43.39	43.45	43.51	43.57	43.62	43.68	43.74	43.80
48	43.85	43.91	43.97	44.03	44.08	44.14	44.20	44.25	44.31	44.37
49	44.43	44.48	44.54	44.60	44.66	44.71	44.77	44.83	44.89	44.94

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	45.00	45.06	45.11	45.17	45.23	45.29	45.34	45.40	45.46	45.52
51	45.57	45.63	45.69	45.75	45.80	45.86	45.92	45.97	46.03	46.09
52	46.15	46.20	46.26	46.32	46.38	46.43	46.49	46.55	46.61	46.66
53	46.72	46.78	46.83	46.89	46.95	47.01	47.06	47.12	47.18	47.24
54	47.29	47.35	47.41	47.47	47.52	47.58	47.64	47.70	47.75	47.81
55	47.87	47.93	47.98	48.04	48.10	48.16	48.22	48.27	48.33	48.39
56	48.45	48.50	48.56	48.62	48.68	48.73	48.79	48.85	48.91	48.97
57	49.02	49.08	49.14	49.20	49.26	49.31	49.37	49.43	49.49	49.54
58	49.60	49.66	49.72	49.78	49.84	49.89	49.95	50.01	50.07	50.13
59	50.18	50.24	50.30	50.36	50.42	50.48	50.53	50.59	50.65	50.71
60	50.77	50.83	50.89	50.94	51.00	51.06	51.12	51.18	51.24	51.30
61	51.35	51.41	51.47	51.53	51.59	51.65	51.71	51.77	51.83	51.88
62	51.94	52.00	52.06	52.12	52.18	52.24	52.30	52.36	52.42	52.48
63	52.53	52.59	52.65	52.71	52.77	52.83	52.89	52.95	53.01	53.07
64	53.13	53.19	53.25	53.31	53.37	53.43	53.49	53.55	53.61	53.67

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
65	53.73	53.79	53.85	53.91	53.97	54.03	54.09	54.15	54.21	54.27
66	54.33	54.39	54.45	54.51	54.57	54.63	54.70	54.76	54.82	54.88
67	54.94	55.00	55.06	55.12	55.18	55.24	55.30	55.37	55.43	55.49
68	55.55	55.61	55.67	55.73	55.78	55.86	55.92	55.98	56.04	56.11
69	56.17	56.23	56.29	56.35	56.42	56.48	56.54	56.60	56.66	56.73
70	56.79	56.85	56.91	56.98	57.04	57.10	57.17	57.23	57.29	57.35
71	57.42	57.48	57.54	57.61	57.67	57.73	57.80	57.86	57.92	57.99
72	58.05	58.12	58.18	58.24	58.31	58.37	58.44	58.50	58.56	58.63
73	58.69	58.76	58.82	58.89	58.95	59.02	59.08	59.15	59.21	59.28
74	59.34	59.41	59.47	59.54	59.60	59.67	59.74	59.80	59.87	59.93
75	60.00	60.07	60.13	60.20	60.27	60.33	60.40	60.47	60.53	60.60
76	60.67	60.73	60.80	60.87	60.94	61.00	61.07	61.14	61.21	61.27
77	61.34	61.41	61.48	61.55	61.62	61.68	61.75	61.82	61.89	61.96
78	62.03	62.10	62.17	62.24	62.31	62.37	62.44	62.51	62.58	62.65
79	62.72	62.80	62.87	62.94	63.01	63.08	63.15	63.22	63.29	63.36

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
80	63.44	63.51	63.58	63.65	63.72	63.79	63.87	64.94	64.01	64.08
81	64.16	64.23	64.30	64.38	64.45	64.52	64.60	64.67	64.75	64.82
82	64.90	64.97	65.05	65.12	65.20	65.27	65.35	65.42	65.50	65.57
83	65.65	65.73	65.80	65.88	65.96	66.03	66.11	66.19	66.27	66.34
84	66.42	66.50	66.58	66.66	66.74	66.81	66.89	66.97	67.05	67.13
85	67.21	67.29	67.37	67.45	67.54	67.62	67.70	67.78	67.86	67.94
86	68.03	68.11	68.19	68.28	68.36	68.44	68.53	68.61	68.70	68.78
67	68.87	68.95	69.04	69.12	69.21	69.30	69.38	69.47	69.56	69.64
88	69.73	69.82	69.91	70.00	70.09	70.18	70.27	70.36	70.45	70.54
89	70.63	70.72	70.81	70.91	71.00	71.09	71.19	71.28	71.37	71.47
90	71.56	71.66	71.76	71.85	71.95	72.05	72.15	72.24	72.34	72.44
91	72.54	72.64	72.74	72.84	72.95	73.05	73.15	73.26	73.36	73.46
92	73.57	73.68	73.78	73.89	74.00	74.11	74.21	74.32	74.44	25.55
93	74.66	74.77	74.88	75.00	75.11	75.23	75.35	75.46	75.58	75.70
94	75.32	75.94	76.06	76.19	76.31	76.44	76.56	76.69	76.82	76.95

(contd.)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
95	77.08	77.21	77.34	77.48	77.61	77.75+	77.89	78.03	78.17	78.32
96	78.46	78.61	78.76	78.91	79.06	79.22	79.37	79.53	79.69	79.86
97	80.02	80.19	80.37	80.54	80.72	80.90	81.09	81.28	81.47	81.67
98	81.87	82.08	82.29	82.51	82.73	82.96	83.20	83.45	83.71	83.98
99.0	84.26	84.29	84.32	84.35	84.38	84.41	84.44	84.47	84.50	84.53
99.1	84.56	84.59	84.62	84.65	84.68	84.71	84.74	84.77	84.80	84.84
99.2	84.87	84.90	84.93	84.97	85.00	85.03	85.07	85.10	85.13	85.17
99.3	85.20	85.24	85.27	85.31	85.34	85.38	85.41	85.45	85.48	85.52
99.4	85.56	85.60	85.63	85.67	85.71	85.75	85.79	85.83	85.87	85.91
99.5	85.95	85.99	86.03	86.07	86.11	86.15	86.20	86.24	86.28	86.33
99.6	86.37	86.42	86.47	86.51	86.56	86.61	86.66	86.71	86.76	86.81
99.7	86.86	86.91	86.97	87.02	87.08	87.13	87.19	87.25	87.31	87.37
99.8	87.44	87.50	87.57	87.64	87.71	87.78	87.86	87.93	88.01	88.10
99.9	88.19	88.28	88.38	88.48	88.60	88.72	88.85	89.01	89.19	89.43

(Transformation of binomial percentages, in the margins, to angles of equal information in degrees. The + or - sings following angles ending in 5 are for guidance in rounding to one decimal).

সারণি ৫ : বর্গমূলে রূপান্তরে পরিসংখ্যানিক টেবিল (Square root transformation)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
1.00	1.00	3.16	2.00	1.41	4.47	3.00	1.73	5.48
1.02	1.01	3.19	2.02	1.42	4.49	3.02	1.74	5.50
1.04	1.02	3.22	2.04	1.43	4.52	3.04	1.74	5.51
1.06	1.03	3.26	2.06	1.44	4.54	3.06	1.75	5.53
1.08	1.04	3.29	2.08	1.44	4.56	3.08	1.76	5.55
1.10	1.05	3.32	2.10	1.45	4.58	3.10	1.76	5.57
1.12	1.06	3.35	2.12	1.46	4.60	3.12	1.77	5.59
1.14	1.07	3.38	2.14	1.46	4.63	3.14	1.77	5.60
1.16	1.08	3.41	2.16	1.47	4.65	3.16	1.78	5.62
1.18	1.09	3.44	2.18	1.48	4.67	3.18	1.78	5.64
1.20	1.10	3.46	2.20	1.48	4.69	3.20	1.79	5.66
1.22	1.10	3.49	2.22	1.49	4.71	3.22	1.79	5.67
1.24	1.11	3.52	2.24	1.50	4.73	3.24	1.80	5.69
1.26	1.12	3.55	2.26	1.50	4.75	3.26	1.81	5.71
1.28	1.13	3.58	2.28	1.51	4.77	3.28	1.81	5.73

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
1.30	1.14	3.61
1.32	1.15	3.63
1.34	1.16	3.66
1.36	1.17	3.69
1.38	1.17	3.71
1.40	1.18	3.74
1.42	1.19	3.77
1.44	1.20	3.79
1.46	1.21	3.82
1.48	1.22	3.85
1.50	1.22	3.87
1.52	1.23	3.90
1.54	1.24	3.92
1.56	1.25	3.95
1.58	1.26	3.97

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
2.30	1.52	4.80
2.32	1.52	4.82
2.24	1.53	4.84
2.36	1.54	4.86
2.38	1.54	4.88
2.40	1.55	4.90
2.42	1.56	4.92
2.44	1.56	4.94
2.46	1.57	4.96
2.48	1.57	4.98
2.50	1.58	5.00
2.52	1.59	5.02
2.54	1.59	5.04
2.56	1.60	5.06
2.58	1.61	5.08

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
3.30	1.82	5.74
3.32	1.82	5.76
3.34	1.83	5.78
3.36	1.83	5.80
3.38	1.84	5.81
3.40	1.84	5.83
3.42	1.85	5.85
3.44	1.85	5.87
3.46	1.86	5.88
3.48	1.87	5.90
3.50	1.87	5.92
3.52	1.88	5.93
3.54	1.88	5.95
3.56	1.89	5.97
3.58	1.89	5.98

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
1.60	1.26	4.00	2.60	1.61	5.10	3.60	1.90	6.00
1.62	1.27	4.02	2.62	1.62	5.12	3.62	1.90	6.02
1.64	1.28	4.05	2.64	1.62	5.14	3.64	1.91	6.03
1.66	1.29	4.07	2.66	1.63	5.16	3.66	1.91	6.05
1.68	1.30	4.10	2.68	1.64	5.18	3.68	1.92	6.07
1.70	1.30	4.12	2.70	1.64	5.20	3.70	1.92	6.08
1.72	1.31	4.15	2.72	1.65	5.22	3.72	1.93	6.10
1.74	1.32	4.17	2.74	1.66	5.23	3.74	1.93	6.12
1.76	1.33	4.20	2.76	1.66	5.25	3.76	1.94	6.13
1.78	1.33	4.22	2.78	1.67	5.27	3.78	1.94	6.15
1.80	1.34	4.24	2.80	1.67	5.29	3.80	1.95	6.16
1.82	1.35	4.27	2.82	1.68	5.31	3.82	1.95	6.18
1.84	1.36	4.29	2.84	1.69	5.33	3.84	1.96	6.20
1.86	1.36	4.31	2.86	1.69	5.35	3.86	1.96	6.21
1.88	1.37	4.34	2.88	1.70	5.37	3.88	1.97	6.23

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
1.90	1.38	4.36
1.92	1.39	4.38
1.94	1.39	4.40
1.96	1.40	4.43
1.98	1.41	4.45
4.00	2.00	6.32
4.02	2.00	6.34
4.04	2.01	6.36
4.06	2.01	6.37
4.08	2.02	6.39
4.10	2.02	6.40
4.12	2.03	6.42
4.14	2.03	6.43
4.16	2.04	6.45
4.18	2.04	6.47

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
2.90	1.70	5.39
2.92	1.71	5.40
2.94	1.71	5.42
2.96	1.72	5.44
2.98	1.73	5.46
5.00	2.24	7.07
5.02	2.24	7.09
5.04	2.24	7.10
5.06	2.25	7.11
5.08	2.25	7.13
5.10	2.26	7.14
5.12	2.26	7.16
5.14	2.27	7.17
5.16	2.27	7.18
5.18	2.28	7.20

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
3.90	1.97	6.25
3.92	1.98	6.26
3.94	1.98	6.28
3.96	1.99	6.29
3.98	1.99	6.31
6.00	2.45	7.75
6.02	2.45	7.76
6.04	2.46	7.77
6.06	2.46	7.78
6.08	2.47	7.80
6.10	2.47	7.81
6.12	2.47	7.82
6.14	2.48	7.84
6.16	2.48	7.85
6.18	2.49	7.86

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
4.20	2.05	6.48
4.22	2.05	6.50
4.24	2.06	6.51
4.26	2.06	6.53
4.28	2.07	6.54
4.30	2.07	6.56
4.32	2.08	6.57
4.34	2.08	6.59
4.36	2.09	6.60
4.38	2.09	6.62
4.40	2.10	6.63
4.42	2.10	6.65
4.44	2.11	6.66
4.46	2.11	6.68
4.48	2.12	6.79

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
5.20	2.28	7.21
5.22	2.28	7.22
5.24	2.29	7.24
5.26	2.29	7.25
5.28	2.30	7.27
5.30	2.30	7.28
5.32	2.31	7.29
5.34	2.31	7.31
5.36	2.32	7.32
5.38	2.32	7.33
5.40	2.32	7.35
5.42	2.33	7.36
5.44	2.33	7.38
5.46	2.34	7.39
5.84	2.34	7.40

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
6.20	2.49	7.87
6.22	2.49	7.89
6.24	2.50	7.90
6.26	2.50	7.91
6.28	2.51	7.92
6.30	2.51	7.94
6.32	2.51	7.95
6.34	2.52	7.96
6.36	2.52	7.97
6.38	2.53	7.99
6.40	2.53	8.00
6.42	2.53	8.01
6.44	2.54	8.02
6.46	2.54	8.04
6.48	2.55	8.05

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
4.50	2.12	6.71	5.50	2.35	7.42	6.50	2.55	8.06
4.52	2.13	6.72	5.52	2.35	7.43	6.52	2.55	8.07
4.54	2.13	6.74	5.54	2.35	7.44	6.54	2.56	8.09
4.56	2.14	6.75	5.56	2.36	7.46	6.56	2.56	8.10
4.58	2.14	6.77	5.58	2.36	7.47	6.58	2.57	8.11
4.60	2.14	6.78	5.60	2.37	7.48	6.60	2.57	8.12
4.62	2.15	6.80	5.62	2.37	7.50	6.62	2.57	8.14
4.64	2.15	6.81	5.64	2.37	7.51	6.64	2.58	8.15
4.66	2.16	6.83	5.66	2.38	7.52	6.66	2.58	8.16
4.68	2.16	6.84	5.68	2.38	7.54	6.68	2.58	8.17
4.70	2.17	6.86	5.70	2.39	7.55	6.70	2.59	8.19
4.72	2.17	6.87	5.72	2.39	7.56	6.72	2.59	8.20
4.74	2.18	6.88	5.74	2.40	7.58	6.74	2.60	8.21
4.76	2.18	6.90	5.76	2.40	7.59	6.76	2.60	8.22
4.78	2.19	6.91	5.78	2.40	7.60	6.78	2.60	8.23

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
4.80	2.19	6.93
4.82	2.20	6.94
4.84	2.20	6.96
4.86	2.20	6.97
4.88	2.21	6.99
4.90	2.21	6.00
4.92	2.22	6.01
4.94	2.22	6.03
4.96	2.23	6.04
4.98	2.23	6.06
7.00	2.65	8.37
7.02	2.65	8.38
7.04	2.65	8.39
7.06	2.66	8.40
7.08	2.66	8.41

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
5.80	2.41	7.62
5.82	2.41	7.63
5.84	2.42	7.64
5.86	2.42	7.66
5.88	2.42	7.67
5.90	2.43	7.68
5.92	2.43	7.69
5.94	2.44	7.71
5.96	2.44	7.72
5.98	2.45	7.73
8.00	2.83	8.94
8.02	2.83	8.96
8.04	2.84	8.97
8.06	2.84	8.98
8.08	2.84	8.99

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
6.80	2.61	8.25
6.82	2.61	8.26
6.84	2.62	8.27
6.86	2.62	8.28
6.88	2.62	8.29
6.90	2.63	8.31
6.92	2.63	8.32
6.94	2.63	8.33
6.96	2.64	8.34
6.98	2.64	8.35
9.00	3.00	9.49
9.02	3.00	9.50
9.04	3.01	9.51
9.06	3.01	9.52
9.08	3.01	9.53

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
7.10	2.66	8.43
7.12	2.67	8.44
7.14	2.67	8.45
7.16	2.68	8.46
7.18	2.68	8.47
7.20	2.68	8.49
7.22	2.69	8.50
7.24	2.69	8.51
7.26	2.69	8.52
7.28	2.70	8.53
7.30	2.70	8.54
7.32	2.71	8.56
7.34	2.71	8.57
7.36	2.71	8.58
7.38	2.72	8.59

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
8.10	2.85	9.00
8.12	2.85	9.01
8.14	2.85	9.02
8.16	2.86	9.03
8.18	2.86	9.04
8.20	2.86	9.06
8.22	2.87	9.07
8.24	2.87	9.08
8.26	2.87	9.09
8.28	2.88	9.10
8.30	2.88	9.11
8.32	2.88	9.12
8.34	2.89	9.13
8.36	2.89	9.14
8.38	2.89	9.15

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
9.10	3.02	9.54
9.12	3.02	9.55
9.14	3.02	9.56
9.16	3.03	9.57
9.18	3.03	9.58
9.20	3.03	9.59
9.22	3.04	9.60
9.24	3.04	9.61
9.26	3.04	9.62
9.28	3.05	9.63
9.30	3.05	9.64
9.32	3.05	9.65
9.34	3.06	9.66
9.36	3.06	9.67
9.38	3.06	9.68

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
7.40	2.72	8.60
7.42	2.72	8.61
7.44	2.73	8.63
7.46	2.73	8.64
7.48	2.73	8.65
7.50	2.74	8.66
7.52	2.74	8.67
7.54	2.75	8.68
7.56	2.75	8.69
7.58	2.75	8.71
7.60	2.76	8.72
7.62	2.76	8.73
7.64	2.76	8.74
7.66	2.77	8.75
7.68	2.77	8.76

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
8.40	2.90	9.17
8.42	2.90	9.18
8.44	2.91	9.19
8.48	2.91	9.20
8.48	2.91	9.21
8.50	2.92	9.22
8.52	2.92	9.23
8.54	2.92	8.24
8.56	2.93	9.25
8.58	2.93	9.26
8.60	2.93	9.27
8.62	2.94	9.28
8.64	2.94	9.30
8.66	2.94	9.31
8.68	2.95	9.32

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
9.40	3.07	9.70
9.42	3.07	9.71
9.44	3.07	9.72
9.46	3.08	9.73
9.48	3.08	9.74
9.50	3.08	9.75
9.52	3.09	9.76
9.54	3.09	9.77
9.56	3.09	9.78
9.58	3.10	9.79
9.60	3.10	9.80
9.62	3.10	9.81
9.64	3.10	9.82
9.66	3.11	9.83
9.68	3.11	9.84

(contd.)

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
7.70	2.77	8.77
7.72	2.78	8.79
7.74	2.78	8.80
7.76	2.79	8.81
7.78	2.79	8.82
7.80	2.79	8.83
7.82	2.80	8.84
7.84	2.80	8.85
7.86	2.80	8.87
7.88	2.81	8.88
7.90	2.81	8.89
7.92	2.81	8.90
7.94	2.82	8.91
7.96	2.82	8.92
7.98	2.82	8.93

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
8.70	2.95	9.33
8.72	2.95	9.34
8.74	2.96	9.35
8.76	2.96	9.36
8.78	2.96	9.37
8.80	2.97	9.38
8.82	2.97	3.39
8.84	2.97	9.40
8.86	2.98	9.41
8.88	2.98	9.42
8.90	2.98	9.43
8.92	2.99	9.44
8.94	2.99	9.46
8.96	2.99	9.47
8.98	3.00	9.48

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10}$
9.70	3.11	9.85
9.72	3.12	9.86
9.74	3.12	9.87
9.76	3.12	9.88
9.78	3.13	9.89
9.80	3.13	9.90
9.82	3.13	9.91
9.84	3.14	9.92
9.86	3.14	9.93
9.88	3.14	9.94
9.90	3.15	9.95
9.92	3.15	9.96
9.94	3.15	9.97
9.96	3.16	9.98
9.98	3.16	9.99