- كار با Minitab
- محاسبات در Minitab
- انجام كار هاي آماري در Minitab
- نمودارهاي كنترل
- قابليت فرآيند
- آناليز واريانس
- طراحي آزمايشات
- رگرسيون
- قابليت اطمينان
- كار با نمودارها

- كاربرد طراحي آزمايش
- آزمايشهاي عاملي
- طراحي عاملي 3^k و 3^2
- خطاي استاندارد اثرها
- طراحي عاملي براي ۳ فاكتور
- طراحي آزمايشات

كاربردهاي طراحي آزمايش

تكنيكهاي طراحي آزمايشات در جهان مهندسي براي توسعه وبهبود فر آيندهاي توليدي كاربرد بسيار زيادي دارند. اين تكنيكهاي دامنه بسيار گسترده اي از فر آيندها را شامل مي شوند. بيشتر فر آيندها مي توانند بصورت متغير هاي قابل كنترل تعريف شوند بطور مثال مي توانيم فشار ، دما ودرصد ماده تركيبي و ... را نام ببريم. با استفاده از طراحي آزمايشات مهندسان مي توانند مجموعهاي از متغيرهاي موثر بر فر آيند را تعريف كنند كه بيشترين تاثير را در فر آيند دارند وبابهبود آنها بيشترين راندمان را نصيب فر آيند نمائيد. طراحي آزمايشات مي تواند نتايج زير را در پي داشته باشد :

۱-بهبود نتيجه فرآيند

۲- كاهش تغيير پذيري در فرآيند

۳- كاهش زمان طراحي وتوسعه

۴- كاهش هزينه هاي عملياتي

روشهاي طراحي آزمايشات در فعاليتهاي طراحي مهندسي زماني كه كار بر روي محصولات جديدي انجام مي شود ويا كاربر روي بهبود محصول فعلي انجام مي شود ، مي تواند نقش بسزايي داشته باشند. بعضي از كاربردهاي طراحي آزمايشات را مي توان بصورت زير نام برد:

۱- ارزيبي ومقايسه مشخصات طراحي

۲- ارزيابي مواد مختلف

۳-انتخاب پارامترهاي طراحي بطوريكه محصول مورد نظر در شرايط گوناگوني كار نمايد.(طراحي بصورت نيرومند انجام شود)

۴-تعيين پارامترهاي كليدي طراحي بطوريكه راندمان محصول را افزايش دهد . از طراحي آزمايشات در طراحي حاي مهندسي فرآيند كه نتايج آن مي توانـــد درتوليد اجرا شود استفاه نمائيد. همچنين مي توانيد براي محصولاتي كه قابليت وامكان بهترشدن را دارند از اين روش استفاده نمائيد. در ضمن مي توانيد از طراحي آزمايشات براي بهبود طراحي ، توسعه وتوليد در زمان كمتر استفاده كنيد.

معمولا در اولين مرحله طراحي آزمايشات با يك سيستم پيچيده سر وكار داريد (مانند يك فرآيند توليد) كه در آن تعداد زيادي متغيرهاي قاب ل كنترل وجود دارد كه اغلب بايد يك آزمايش غربالي براي تعيين متغير هايي كه بيشترين اهميت را دارند انجام شود . (معمولا در فر آيند ها ، متغيرهاي زيادي ديده مـــي شوند كه بديهي است همه آنها را نمي توان در طراحي آزمايشات دخالت داد بنابر اين بايد فقط متغير هايي را در نظر گرفت كه بيشترين اهميت را داشتـــه باشند. معمولا اين كار يكي از بخشهاي بسيار مهم در طراحي آمايشات است چرا كه در صورت عدم دقت در اين مرحله ممكن است متغير هاي اصلي نيـــز از آزمايشات پديد مي آورد.)

بعد از اين آزمايشات متغير هاي بحراني كه نيازمند تغييرات براي بهبود هستند ، مشخص مي شوند وسرانجام نيز هدف آزمايشگر براي بهينه سازي راندمان فرآيند است كه از طريق تعيين سطح متغير هاي بحراني تعيين مي گردد هر آزمايش با فعاليتهاي زير ارتباط مستقيم دارد:

۱- حدس : فرض اصلي كه انگيزه اصلي براي آزمايش است .

۲-آزمايش : تست عملكرد دربررسي حدسيات

۳- آناليز: آناليز آماري داده هاي بدست آمده از آزمايش

۴- نتيجه گيري : كه درباره حدسيات اصلي از آزمايشات بدست مي آيد ومنجر به اصلاح حدسيات مي شود.ويك آزمايش جديد را پديد مي آورد.

استفاده از روشهاي آماري يكي از ضروريات آزمايشات خوب مي باشد . آزمايشات طراحي شده كارائي واقتصادي بودن در فرآيند آزمايشات را در نظر مـــي گيردو از روشهاي آماري در سنجش نتايج داده ها در بررسي بي طرفانه ونتيجه گيري استفاده مي شود. دراين مقدمه اصول اوليه طراحي آزمايشات را مورد بررسي قرار مي دهيم .

طراحي آزمايش هاي عاملي بعنوان ابزاري كار آمد براي انواع مشكلات بكار مي رود. معمولا در يك آزمايش عاملي ، آزمايشها(اجراها) براي تركيب تمام سطوح فاكتورها انجام مي شود. براي مثال در يك فر آيند شيميايي اگر دوفاكتور بصورت زمان واكنش و دماي واكنش وجود داشته باشد و اگر دوسطح براي زمان (يك ساعت و ۱/۵ ساعت) ودوسطح براي دما (۱۲۵ فارنهايت و ۱۵۰ فارنهايت) مهم باشند ، آزمايش عاملي بايد شامل اجراهاي مختلف در هـــــر چهار تركيب ممكن از زمان واكنش ودماي واكنش باشد .

كاربردهاي طراحي آزمايش

طراحي آزمايشهاي يكي از ابزارهاي بسيار مهم براي مهندسين علاقمند به مساله بهبود عملكرد فرآيند توليد مي باشد . همچنين اين تكنيكها كاربرد

بسيار گسترده اي در پيشرفت و بهبود فر آيند هاي طراحي يك محصول جديد دارد. اكنون با تعدادي مثال اهميت طراحي آزمايشها را ذكر مي نمائيم.

فرآيند مشخصات آزمايش

يك تيم از مهندسان ارشد در حال بررسي و تجزيه وتحليل بر روي فرآيند جزئيات لحيم كاري الكترونيك بر روي فيبر مدار چاپي مي باشند. تيم مهندسي مي خواهد بر روي يك ماشين لحيم ويژه كار كند كه تعداد نقاط معيوب را كاهش دهد. (ماشين لحيمي كه بر روي فيبر مدار چاپي حركت ميكند و با اتصال ميان ماشين لحيم وسطح فيبر مدار چاپي ، لحيم را كه به صورت مايع مانند مي باشد بر روي سطح فيبر چاپي حركت مي دهد) اين ماشين لحيم مي توانـــد تمام قطعات الكترونيكي ومكانيكي و جريان ارتباطي بين قطعات را صورت دهد و با توجه به اينكه لحيم كاري قطعات معيوب نياز به دوباره كاري دارد واين امـر باعث افزايش هزينه ها ميگردد، همچنين در بعضي از موارد اين سطوح فيبر مدار چاپي ديگر قابل بازيابي نيستند اين امر نيز باعث افزايش مجدد هزينه هـــا ميگردد دراين فرآيند چندين متغير موثر بر فرآيند موجود مي باشند و تمامي اين متغير هاي از ارزش يكساني برخوردار مي باشند . در ابتدا يك ليست از متغير ها تهيه مي نمائيم . متغير هاي بسيار مهم را كانديد مي نمائيم اين متغير هاي كانديد شده بوسيله تركيب كردن اطلاعات درباره فر آيند از همـــــه اعضاي تيم بدست آمده است .در اين مثال ، مهندسين با تشكيل وهدايت يك جلسه طوفان فكري (ذهني) ودعوت از تمامي پرسنل توليد و سهيم كردن پرسنل و پررنگ كردن نقش پرسنل با استفاده از ايده هاي مختلف در ارتباط پرسنل و با تجهيزات لحيم كاري را مشخص مي نمايند. اين تيم تعيين مي كنـد كه متغير هاي قابل كنترل بر ماشين عبارتند از :

۱-درجه حرارت لحيم كاري

۲- درجه حرارت گرم كردن

۳- سرعت ذوب لحيم

۴- نوع وشيوه ذوب

۵-درجه وي|ه ذوب

۶-عمق جريان لحيم

۷-زاويه جريان لحيم

باوجود اينكه اين فاكتور هاي ذكر شده قابل كنترل مي باشند ولي چندين عامل نيز وجود دارند كه نمي توان به راحتي آنها را كنترل نمود. فاكتورهاي غيـــر قابل كنترل عبارتند از :

۱- ضخامت ذوب لحيم در روي فيبر مدار چاپي

۲- نوع اجزايي كه در فيبر مدار چاپي مورد استفاده قرار مي گيرند.

۳-جانمايي اجزاء بر روي فيبر مدار چاپي

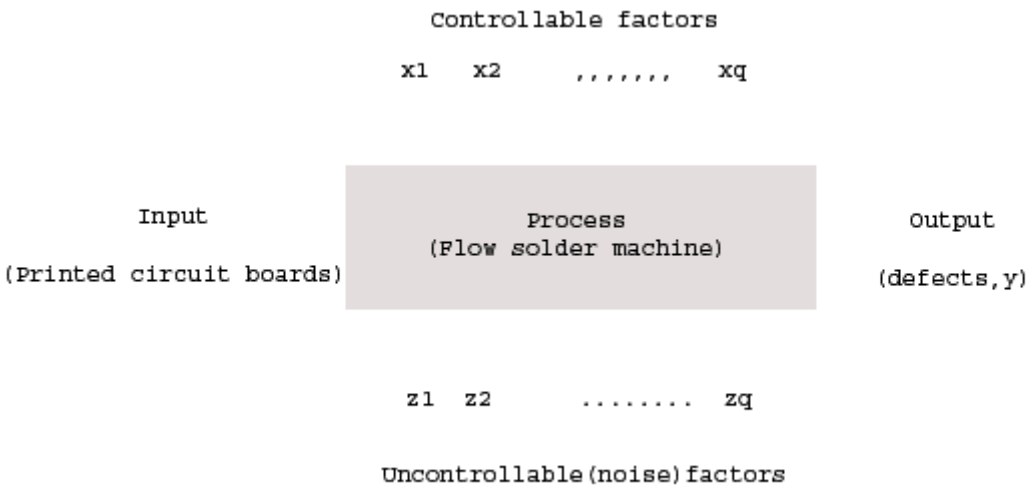
۴- اپراتور

۵-فاکتورهاي محيطي

۶-نرخ توليد

گاهي اوقات ما فاکتورهاي غير قابل کنترل را فاکتورهاي پارازيت مي ناميم . يك نمايش گرافيکي از اين فرآيند در شکل (۷-۱) آمده است با در نظر گرفتن اين شرايط مهندسي براي طراحي اين ماشين لحيم تعيين مي گردد. او علاقمند است که بداند ، چه عاملهايي اعم از قابل کنترل وغير قابل کنترل در بوجود آمدنعيوب در فيبر مدار چاپي تاثير مي گذارد . براي تعيين ومشخص نمودن اين فاکتورها او مي تواند از طراحي آزمايشها استفاده نمايد. به اين ترتيب که با استفاده از طراحي آزمايشها مي تواند در مورد اهمست ونوع تاثيرات عوامل بر ترتيب که با استفاده از طراحي آزمايشها مي تواند در مورد اهميت ونوع تاثيرات عوامل بر محصول يك پيش بيني داشته باشد. گاهي اوقات به اين نوع از آزمايشها ، آزمايشهاي غربالي نيز مي گويند. اين اطلاعات وداده هاي بدست آمده از مطالعه اين مشخصات يا آزمايشهاي غربالي مي تواند در تعيين متغيرهاي بحراني فرآيند موثر واقع شود ، مضافا بر اينکه مي تواند در تعديل وتنظيم اين فاکتورها به منظور کاهش تعداد عيوب موثر باشد.

تعيين نمودن متغيرها موثر فرآيند ، مي بايستي با دقت زياد کنترل پذير باشد تا اين عمليات کنترل از ايجاد سطوح معيوب در فرآيند ونامنظم نمودن عملکرد فرآيند جلوگيري نمايد.



شكل ۷-۱ نماي گرافيكي فرآيند تحت بررسي

طراحي محصول

ما مي توانيم از طراحي آزمايشها در ارتقاء وبهبود جديد استفاده نمائيم .

براي مثال يك گروه مهندسين را فرض نمائيدكه در حال طراحي يك درب لولايي مانند براي يك اتومبيل مي باشند.مشخصات محصول وتاثيرات آن بر محصول مي بايستي چك شوند بطور مثال توانايي نگهداري هنگام قفل كردن كه از تاب خوردن ولق زدن درب جلوگيري نمايد . مكانيزيمي كه اين محصول را چـــــك وبازرسي مي نمايد مركب از (شامل) يك ورق قابل ارتجاع ويك علطك مي باشد . هنگامي كهدرب باز مي گردد وغلطك شروع به حركت مي نمايد بـــا تشكيل يك قوس ، ورق فنري به هم فشرده مي شود تا در ب بسته شود ، فنر مي بايستي با فشار كنار زده شده وقفل گردد، اين اثرات ، چك وبازرسي را ايجاب مي نمايد .

اعضاء تيم مهندسي تصور مي كنند كه اثرات بررسي تابعي از عوامل زير مي باشد:

۱- مسافتي كه غلطك طي مي نمايد

۲- ارتفاع وبلندي فنر محور تا پايه

۳-فاصله افقي محور فنر

۴-ارتفاع آزاد تقويتي فنر

۵-ارتفاع فنر اصلي

مهندسان مي توانند يك نمونه دست ساز از اين لولا را كه مكانيزم وعملكرد آن لولا داراي تمامي فاكتورهاي مورد نياز است وهمچنين در محدوده مشخـــص شده قرار گيرد را بسازند.

درباراول سطحهائي كه اين پنج فاكتور يا عامل را در بر داشته باشد را مشخص وتعيين مي نمائيم . يك آزمايش مي تواند بر طبق تركيب سطوح عوامـــــــل مختلف طراحي پياده سازي گردد نمونه دست ساز مي تواند با اين تركيبها تست وطراحي گردد. اين نكته نيازبه اين مطلب دارد كه مي بايستي اطلاعات كاملي در مورد اثرات زياد عوامل بر روي محصول در نظر گرفته شود.

يك آزمايش بهينه سازي

درهنگام تعيين مشخصه هاي يك آزمايش ، ما علاقمند هستيم كه بدانيم چه فاكتورها و عواملي بر روي پاسخ دهي موثر مي باشد.

قدم بعدي تعيين نمودن مناطق ونقاط در فاكتورها به صورت منطقي وعقلاني مي باشد كه مشخص نمودن اين مرحله مي تواند مارا به سوي پاسخ بهينه ومقدار مطلوب برساند.

براي مثال اگر پاسخ ما هزينه باشد ما مي بايستي راههائي را دنبال نمائيم كه كاهش هزينه را براي ما در بر خواهد داشت . به عنوان مثال فر آيند شيميايي را در نظر بگيريد كه تحت تاثير دوعامل درجه حرارت عملياتي وزمان واكنش مي باشد.

به صورت معمولي عمليات فرآيند توليد ماداراي ١٥٥ درجه فارنهايت و ٧،١ ساعت زمان واكنش مي باشد اگر عمليات فرآيند را حدود ٧٥ درصد فرآيند معمولي فرض كنيم در شكل (٧-٢) نمايي از فضاي بين زمان ودرجه حرارت را مشاهده مي نمائيد. در اين نمايش گرافيكي ما نقاط داراي ارتباطي را داريم كه بصورت خطوط مشخص شده اند . اين منحني ها شامل مناطقي مي باشند. كه ما آن را در محيط هاي ٦٠، ٧٠، ٨٠ ، ٩٠ ومناطق ٩٥ درصد مشخص نموده ايم . براي تعيين نمودن فاكتورها با آزمايشهاي عاملي شروع مي نمائيم . بدين صورت كه با تغييرات زمان و در جه حرارت كه دوعامل موثر بر عمليات مي باشند شروع به ايجاد تغييرات مي كنيم. اين آزمايشها را در دو سطح هر كدام ١٠ درجه فارنهايت ونيم ساعت بالاتر وپايين تر از شرايط معمولي ورايج آزمايش آغاز مي نماييم.

شكل ٧-٢ نمايش گرافيكي اززمان و دماي واكنش

اين دوعامل ، در آزمايشهاي فاكتور يل با آزمايشي عملي (١٤٥ درجه فارنهايت و ٢،١ ساعت ، ١٤٥ درجه فارنهايت ٢،٢ ساعت ، ١٦٥ درجه فارنهايت و٢،١ ساعت ، ١٦٥ درجه فارنهايت و ٢،٢ ساعت) مي توان به اين نتيجه رسيد ونشان داد كه مي بايستي درجه حرارت را افزايش وزمان واكنش را كاهش بدهيم ، به هر حال تجزيه وتحليل اين اطلاعات مي تواند در جهت بهبود يا به تكامل رسيدن آن كمك نمايد مثالهاي ذكر شده در بالا سه نمونه از كاربرد روش طراحي آزمايشها در مهندسي را شامل مي شود. كاربرد آزمايشهاي سراحي بسيار زياد مي باشد تعدادي از قابليتهاي اين روش را كه ما مي توانيم در حل مسادل ومشكلات استفاده نمائيم عبارتند از :

١- مشكل گشايي وكشف نقص ها وعيبهاي فرآيند

٢-پيشرفت فرآيند ها وبهينه سازي آنها

۳-ارزيابي نمودن مواد وآلترناتيوهاي مختلف

۴-قابليت اطمينان وتست عمر

۵-تستهاي اجرايي

۶-پيكر بندي وموقعيت طراحي محصول

۷-تعيين تولرانس اجزاء وقسمتها

متدهاي طراحي آزمايشها ، اين امكان را مي دهند كه مشكلات وموانع در طي فرآيند سيكل توليد از ميان برداشته شوند. اين عاملهاي بالقوه مي توانند هزينه هاي محصول را كاهش دهند.

ابتداي صفحه

آزمايشهاي عاملي

وقتي چند فاكتور در يك آزمايش وجود داشته باشند، بايد از يك آزمايش عاملي استفاده شود . توجه داشته باشيد كه فاكتورهاي آزمايشها از هم متفاوت مي باشند. يك آزمايش عاملي بدين معناست كه در يك تكرار كامل همه تركيبهاي ممكن از سطوح فاكتورها انجام شوند.

بنابر اين اگر دوفاكتور A و B با aسطح از فاكتور A و bسطح از فاكتور Bوجود داشته باشند هر آزمون شامل همه abتركيب فاكتورها خواهد بود. تاثير يك فاكتور بصورت تغييرات در پاسخ توليد شده وتغيير در سطح فاكتورها مشخص مي شود. مطلب بالا اثر اصلي ناميده مي شود. براي مثال داده هاي جد.ل طراحي آزمايشات بدون اثر متقابل (شكل ۷-۳) را بررسي نمائيد. اين يك آزمايش عاملي با دوفاكتور Aو Bاست كه هر كدام شامل دوسطح مي باشد.

شكل ۷-۳ يك مثال از طراحي آزمايشات بدون اثر متقابل

اثر اصلي فاكتور A تفاوت ميانگين پاسخ ها در سطح بالاي Aوميانگين پاسخ در سطح پايين Aمي باشد.

$$A = \frac{30+40}{2} - \frac{10+20}{2} = 20$$

تغييرات فاكتور Aاز سطح پايين به سطح بالا باعث افزايش ۲۰ واحد مي شود . بصورت مشابه اثر اصلي فاكتور Bبصورت زير محاسبه مي گردد.

$$B = \frac{20+40}{2} - \frac{10+30}{2} = 10$$

دربعضي از آزمايشها تفاوت در پاسخ سطوح يك فاكتور يكسان با تغيير سطوح ديگر نمي باشد وقتي اين اتفاق مي افتد كه يك اثر متقابل بين فاكتورها وجود داشته باشد.

براي مثال داده هاي جد.ل طراحي آزمايشات باثار متقابل (شكل ٤-٧)در سطح پايين فاكتورهاي A و B را بررسي كنيد.

شكل ٤-٧ يك مثال از طراحي آزمايشات با اثر متقابل

بنابر اين اثر Aوابسته بهسطح انتخابي فاكتور B دارد كه آ» نشان دهند اثر متقابل بين Aو B است وقتي كه يك اثر متقابل بزرگ باشد مطابقت پاسخ با اثر اصلي خيلي كوچك به نظر مي رسد براي مثال با استفاده از اطلاعات جدول ٤-٧ ما اثر اصلي Aرا بصورت زير محاسبه مي كنيم.

$$A = \frac{30+0}{2} - \frac{10+20}{2} = 0$$

ماوسوسه مي شويم كه فاكتور Aرا بصورت فاكتوري بدون تاثير در نظر بگيريم . البته اگر ما فاكتور Aرا در سطح مختلف فاكتور Bرا در نظر بگيريم ، خواهيـــم ديد كه اين حرف صحيح نمي باشد . موضوع اين است كه فاكتور Aوابسته به سطوح فاكتور Bمي باشد بنابراين شناخت اثر متقابل AB مهمتر از شناخـت اثرات اصلي است . يك اثر متقابل مهم مي تواند به عنوان مالكي براي اثرات اصلي عمل نمايد. بنابراين وقتي كه اثر متقابل ارائه شد اثرات اصلـــــــــــي فاكتورهاي درگير در آزمايشهاي عاملي ممكن است به تنهائي قابل تصميم گيري نباشند. در ادامه اثر متقابل در آزمايشهاي عاملي در دوجدول ٧-٣ و ٧-٤ محاسبه مي شود.وقتي كه دو فاكتور دوسطح دارند اثر متقابل ABتفاوت ميانگين قطر است بطور مثال ما براي دو جدول ٧-٣ و ٧-٤ خواهيم داشت :

$$AB = \frac{20+30}{2} - \frac{10+40}{2} = 0$$

$$AB = \frac{20+30}{2} - \frac{10+0}{2} = 20$$

اثر متقابل مي تواند بصورت گرافيكي نيز مشخص مي شود شكل سمت چپ ٧-٥ يك گراف از داده هاي جدول ٧-٣ در مقابل Aوسطوح B مي باشد توجه داشته باشيد كه

B low و B high تقريبا باهم موازي هستند واين نشان دهنده اين موضوع است كه بين اين دوفاكتور اثر متقابل مهمي ديده نمي شود .شكـل سمت راست ٧-٥ يك گراف از جدول ٧-٤ مي باشد كه در آن B low و B high باهم موازي نيستند معلوم است كه بين فاكتورهاي A , B اثر متقابـل وجود دارد.

شكل ٧-٥

قسمت راست اين شكل حالت اثر متقابل را نشان مي دهد و قسمت چپ حالت عدم وجود اثر متقابل را نشان ميدهد.

طراحي عامل ٢k

طرحهاي عاملي اغلب در آزمايشهائي استفاده مي شوندكه با چندين فاكتور درگير هستند و مطاله اثر فاكتورهاي پاسخ سيستم لازم مي باشد . معمولا چندين مورد خاص از طرحهاي عاملي در موارد زيادي بكار مي روند ودرموارد عملي از ساير طرحها قابل توجه تر هستند .بيشترين اهميت موارد خاص فاكتورهاي kكه هر كدام فقط دوسطح دارند اين سطوح ممكن است كمي ، مانند مقادير دما ، فشار يا زمان ويا بصورت كيفي باشند مانند دوماشين دو اپراتور ويا سطح بالا وپايين . يك آزمون كامل از يك طرح خواستار k ٢=٢...*٢*٢*٢ مشاهده است وآن طرح عاملي k ٢ ناميده مي شود . طرح ٢k وقتي مفيد است كه تعداد زيادي فاكتورهاي شبيه به هم مورد بررسي قرار مي گيرند. طرح ٢k كمترين تعداد اجراي سيستم كه براي Kفاكتور مي تواند وجود داشته باشد را بدست مي آورد وكاملا مورد بررسي قرار مي دهد. البته لازم به ذكر است كه به علت در نظر گرفتن فقط دو سطح ممكن است ما دچار خطا شويم و در واقع با اين كار ما فرض خطي بودن تغييرات متغير مورد بررسي را قبول كرده ايم .

طرحهاي عاملي ٢

ساده ترين نوع طرحهاي k ٢ طرح عاملي ٢ است كه در آن دوفاكتور A ,B وجود دارند كه هر كدام داراي دوسطح مي باشند ما معمولا اين سطوح را بصورت سطح پايين وبالاي فاكتور در نظر مي گيريم طرح ٢ در شكل ٦-٧ نشان داده شده است .

شكل ٦-٧

نمائي گرافيكي از يك آزمايش ٢

درطرح ۲ سطوح پايين وبالاي فاكتورهاي B ,Aبا علامت – و + نشان داده مي شوند . به اين علامت گذاري معمولا نوتاسيون هندسي گفته مي شود. معمولا يك تركيب از رفتارها بصورت مجموعه اي از حروف كوچك نشان داده مي شود. اگريك حرف كوچك حضور داشته باشد. يعني فاكتور مورد نظر با سطح پايين خود در تركيب شركت كرده است . براي مثال تركيب رفتار a نشان دهنده اين است كه فاكتور Aبا سطح بالاي خود و B با سطح پايين خود شركت كرده اند . تركيب رفتار ، اگر هر دوفاكتور با سطح پايين خود شركت كنند بصورت (۱) نشان داده مي شود واگر هر دو با سطح بالاي خود شركت كنند بصورت ab نمايش داده مي شوند .اين نوتاسيون همچنين براي طرحهاي ۲k نيز بكار مي رود.مثلا اگر در يك تركيب رفتاري آزمايش A و Cبا سطح بالاي خود و , D B با سطح پايين خود شركت كنند حاصل بصورت acنمايش داده مي شود.

اجازه دهيد تا (۱) a, b, و ab را براي كل حالات با nمشاهده نيز تعميم دهيم.حال به بررسي نحوه تخمين تاثير اين فاكتورها مي پردازيم . تخمين اثر اصلي A تفاضل ميانگين مشاهدات سمت راست مربع (جائي كه A در سطح بالاي خود قرار دارد) با ميانگين مشاهدات سمت چپ (جائي كه A در سطح پايين قرار دارد) بدست مي آيد.

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-} = \frac{a+ab}{2n} - \frac{b+(1)}{2n} = \frac{1}{2n}[a+ab-b-(1)]$$

مطابق مطلب بيان شده در قسمت بالا اثر اصلي Bتفاضل ميانگين سطح بالاي فاكتور B(قسمت بالاي مربع) وميانگين سطح پايين B (سمت پايين مربع) بدست مي آيد.

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-} = \frac{b+ab}{2n} - \frac{a+(1)}{2n} = \frac{1}{2n}[a+ab-a-(1)]$$

در پايين نيز اثر متقابل AB بصورت تفاضل ميانگين قطرهاي مربع بدست مي آيد.

$$AB = \frac{ab+(1)}{2n} - \frac{a+b}{2n} = \frac{1}{2n}[ab+(1)-a-b]$$

مقادير داخل براكت در سه فرمول بالا كنتراست ناميده مي شود .بطور مثال خواهيم داشت :

$$Contrast_A = a + ab - b - (1)$$

دراين معادلات ضرائب كنتراست ما هميشه يا ١ + است ويا ١- .

يك جدول از علائم مثبت ومنفي بصورت جدول ٧-٧ مي تواند براي تعيين علامت هر تركيب رفتار براي يك كنتراست مشخصي بكار رود. ستون بالاي جدول ٧-٧ اثر اصلي A , B واثر متقابل AB و I را نشان مي دهد. توجه داشته باشيد كه علامت ستون AB نتيجه علامت ستونهاي A,B است نحوه ايجاد جدول به نحوي است كه اگر فاكتور ستون مورد نظر در سطر مورد نظر وجود داشته باشد علامت + ودر غير اين صورت نيز علامت – در نظر گرفته مي شود. بطور مثال مي توانيم در مورد كنتراست AB بنويسيم :

$$Contrast_{AB} = [(1)] + [-a] + [-b] + [ab] = ab + (1) - a - b$$

شكل ٧-٧

٢ ^{2} علائم مربوط به يك طرح

يك مطالعه ازاثرات دوفاكتور A,Bبر روي نيروي مور د نياز براي جدا نمودن يك جزء وصل شده به يك مدار در جدول ٧-٨ آمده است و مقدار A Contrast و B Contrast و AB Contrast را محاسبه نماييد.

شكل ٧-٨

يك نمودار از طرح ٢

$$C_A = (-1)(265) + (-1)(650) + (-1)(1165) + (+1)(1475) = 695$$

$$C_B = (-1)(265) + (-1)(650) + (+1)(1165) + (+1)(1475) = 1725$$

$$C_{AB} = (+1)(265) + (-1)(650) + (-1)(1165) + (+1)(1475) = -75$$

مجموع مربعات براي هرستون از فرمول زير محاسبه مي گردد.

$$SS_A = SS_{C_A} = \frac{(C_A)^2}{[4(5)]} = \frac{(695)^2}{20} = 24141.25$$

$$SS_B = SS_{C_B} = \frac{(C_B)^2}{[4(5)]} = \frac{(1725)^2}{20} = 148781.25$$

$$SS_{AB} = SS_{C_{AB}} = \frac{(C_{AB})^2}{[4(5)]} = \frac{(-75)^2}{20} = 281.25$$

درضمن واريانس ۲۰ مشاهده تقريبا برابر است با $S_y^2 \approx 12390.72$ همچنين مجموع مربعات بصورت زير محاسبه مي شود.

$$SS_{Total} = 19S_y^2 \approx 19(12390.72) = 235423.68$$

$$SS_{Error} = SS_{Total} - (SS_A + SS_B + SS_{AB}) = 235423.68 - 173203.75 = 62219.93$$

که اين مقدار در محاسبات ANOVA نير ديده ميشود.

شكل ۷-۹جدول مربوط به محاسبات ANOVA

خطاي استاندارد اثر

در يك طرح 2^k با د تكرار تعداد كل ـزمايشات برابر با $N=n2^k$ يك تخمين از اثر بصورت تفاوت در ميانگين و هر ميانگين از نصف اندازه گيرييها محاسبه مـي شود بنا براين واريانس يك اثر بصورت زير محاسبه مي شود:

$$V(Effect)=\frac{\delta^2}{N/2}+\frac{\delta^2}{N/2}=\frac{2\delta^2}{N/2}=\frac{\delta^2}{n2^{k-2}}$$

از طريق فرمول فوق يك تخمين از اثرات استاندارد يك اثر بدست مي‌آيد حال بايد δ^2 را با $\hat{\delta}^2$ جايگزين نمائيم

اگر n تكرار و هر كدام شامل 2^k اجرا باشد و اگر $y_{i1}, y_{i2}, \ldots\ldots\ldots y_{in}$ مقدار مشاهده شده در i امين اجرا باشد خواهيم داشت:

$$\hat{\delta}_i^2=\frac{\sum_{j=1}^{n}(y_{ij}-\bar{y}_{i.})^2}{(n-1)}$$

i=1. 2 , ... 2^k

كه مقدار بدست آمده يك تخمين از واريانس i امين اجرا است .

تخمين واريانس 2^k طرح ميتواند ميانگين همه تخمينهاي واريانس ها باشد.

$$\hat{\delta}_i^2=\sum_{i=1}^{2^k}\frac{\hat{\delta}_i^2}{2^k}$$

كه در آن $\hat{\delta}^2{}_i$ و $\hat{\delta}^2$ بترتيب داراي n-1 و(n-1) 2^k درجه آزاد است.

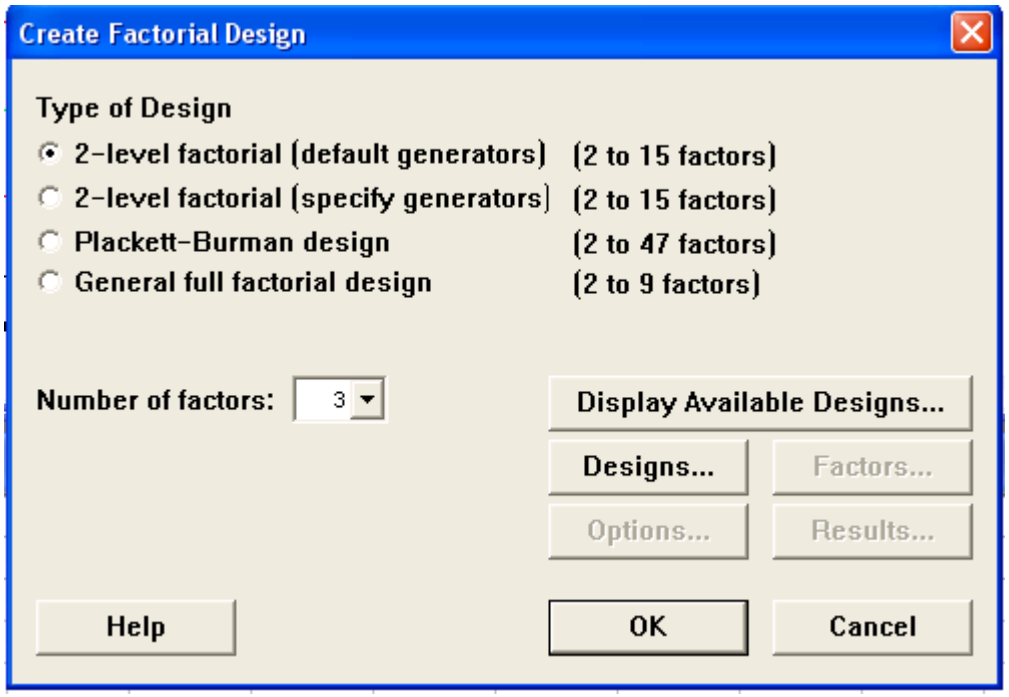
ابتداي صفحه

طراحي آزمايشات با استفاده از Minitab

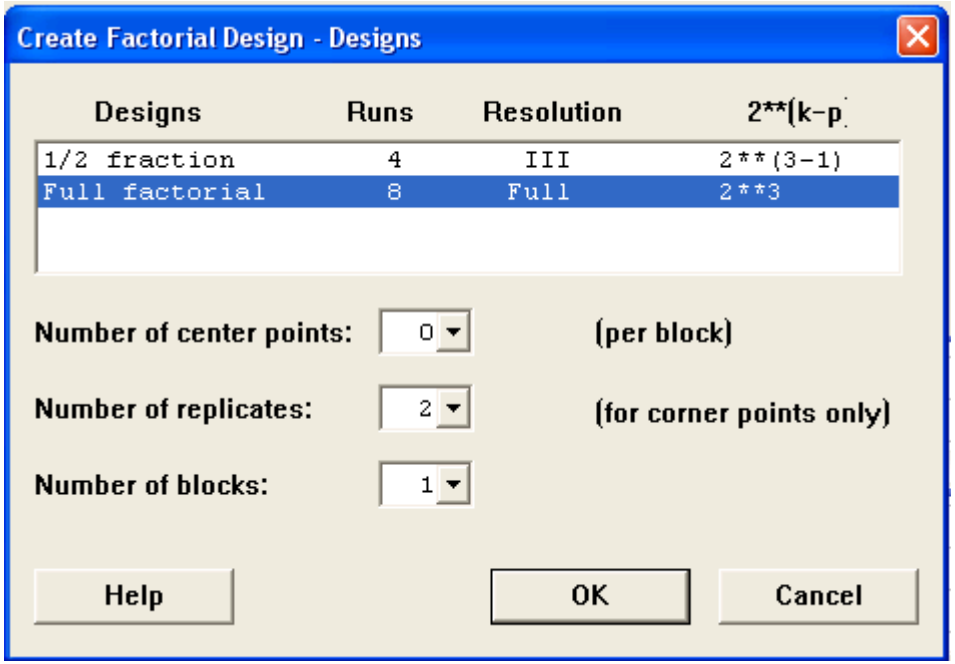
براي طراحي آزمايشات عاملي بصورت زير عمل نمائيد :

Stat ----------> DOE ---------->Create Factorial Design

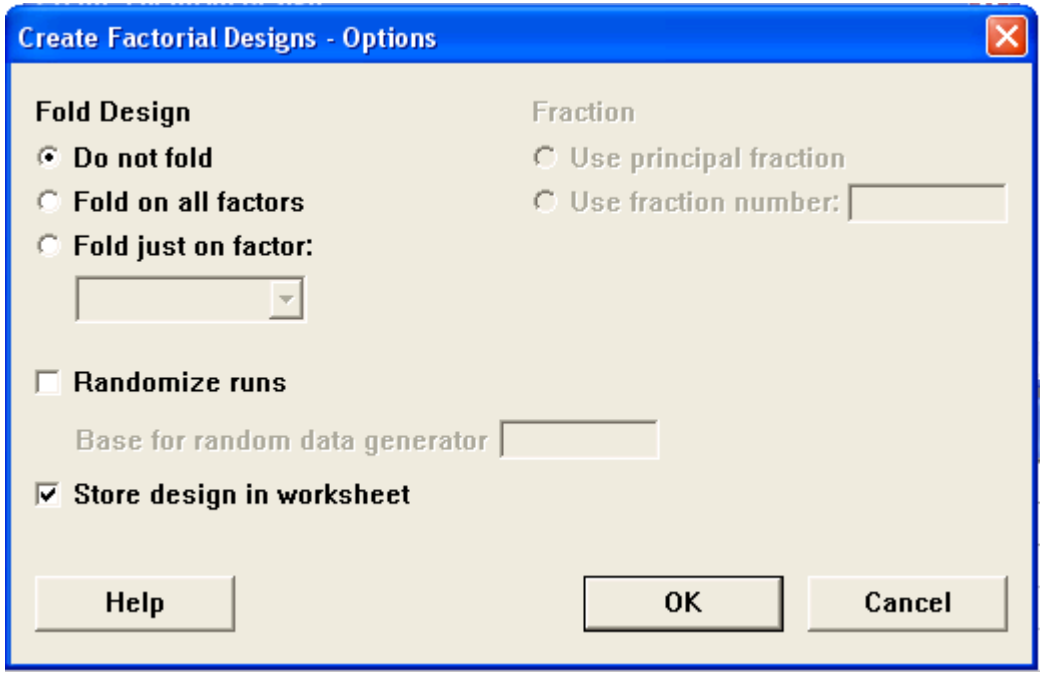
سپس 3 <---- Number of Factors را انجام داده



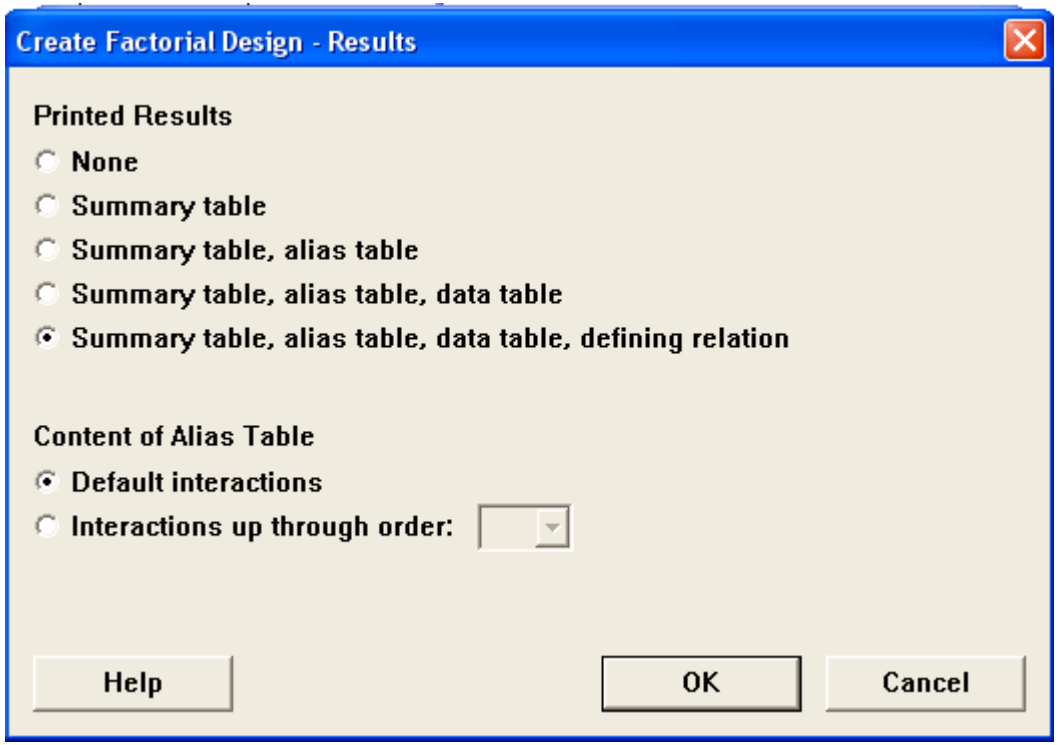
وبر روي دكمه Design كليك نمائيد و Number of Replicates تغيير دهيد.



بر روي دكمه ok كليك نمائيد ، بر روي دكمه Option كليك كرده و Randomize Runs را غير فعال نمائيد



برروي دكمه Results كليك نمائيد و گزينه Summary Table و Alias Table و Data Table و Defining Relation را انتخاب كنيد ، سپس دوباره برروي دكمه ok كليك نمائيد ، خروجي نرم افزار بصورت زير است


Create Factorial Design - Results
Printed Results
None
Summary table
Summary table, alias table
Summary table, alias table, data table
Summary table, alias table, data table, defining relation
Content of Alias Table
Default interactions
Interactions up through order:
Help
OK
Cancel

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	
1	1	1	1	1	-1	-1	-1	
2	2	2	1	1	1	-1	-1	
3	3	3	1	1	-1	1	-1	
4	4	4	1	1	1	1	-1	
5	5	5	1	1	-1	-1	1	
6	6	6	1	1	1	-1	1	
7	7	7	1	1	-1	1	1	
8	8	8	1	1	1	1	1	
9	9	9	1	1	-1	-1	-1	
10	10	10	1	1	1	-1	-1	
11	11	11	1	1	-1	1	-1	
12	12	12	1	1	1	1	-1	
13	13	13	1	1	-1	-1	1	
14	14	14	1	1	1	-1	1	
15	15	15	1	1	-1	1	1	
16	16	16	1	1	1	1	1	

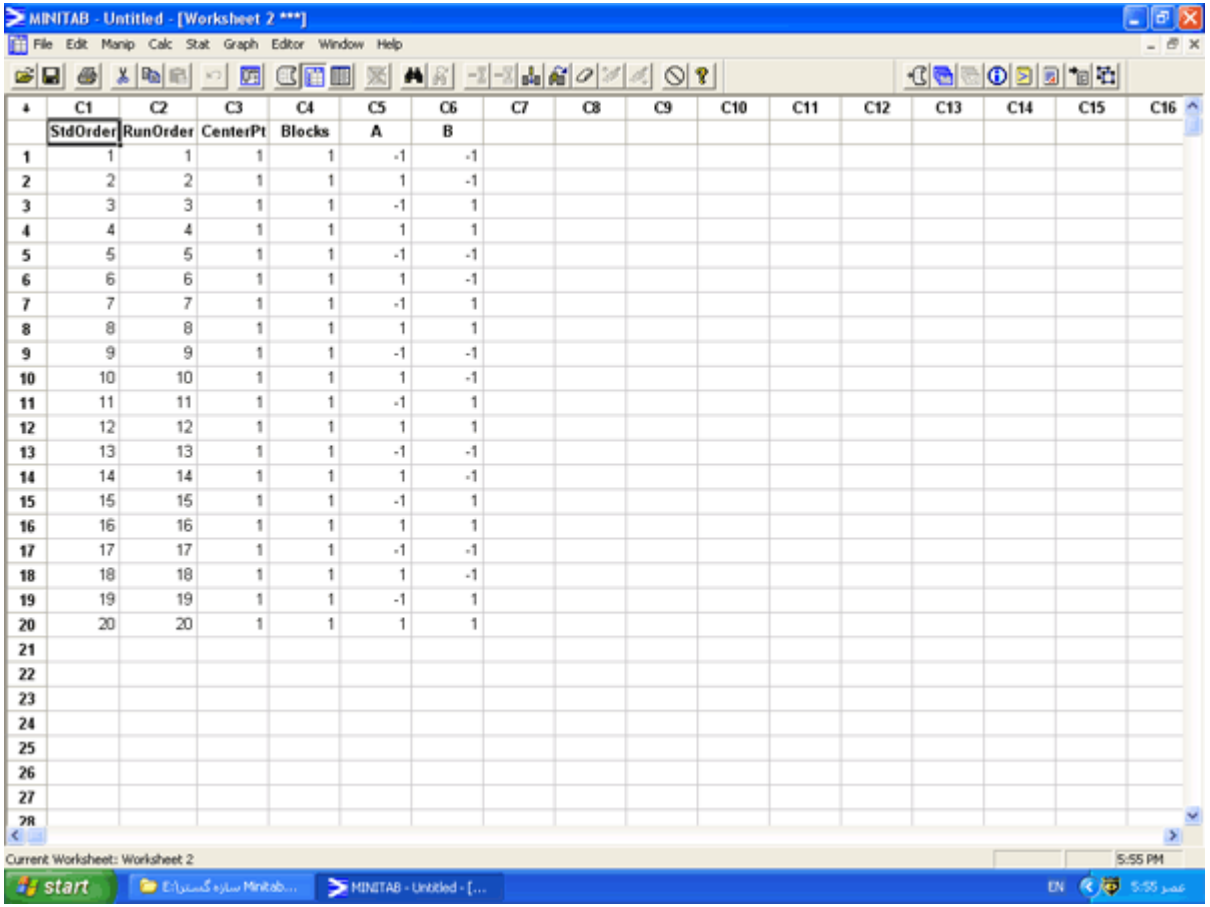
مثال : در يك مطالعه موردي تاثير دو فاكتور (B,A) بر نيروي مورد نياز براي برش يك جزء كه به يك برد الكترونيكي متصل است ،آزمايش شده است براي هر سطح از عامل A و 5 B مشاهده انجام شده است كه به صورت جدول زير مي باشد . وجود تفاوت در سطحهاي مختلف آزمايش را بررسي نمائيد:

	A	B	AB	۱	۲	۳	۴	۵	مجموع مشاهدات
(۱)	۱-	۱-	۱+	۱۲۵	۵۰	۴۰	۰	۵۰	۲۶۵
a	۱+	۱-	۱-	۱۷۵	۱۵۰	۵۰	۱۰۰	۱۷۵	۶۵۰
b	۱-	۱+	۱-	۱۵۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۴۰	۳۲۵	۱۱۶۵
ab	۱+	۱+	۱+	۲۵۰	۲۷۵	۲۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۱۴۷۵

حل:

Stat---------->DOE ----------> Create Factorial Design

برروي دكمه Design كليك كرده و Number Of replicates را ٥ نمائيد.برروي دكمه option كليك نمائيد Randomize Runs را غير فعال نمائيد بر روي دكمه ok كليك كنيد سپس بر روي دكمه Result كليك نموده و Summary Table و Alias Table و Data Table و Defining Relation را انتخاب نمائيد ،دو بار بر روي دگمه ok كليك كنيد نماي خروجي نرم افزار را ببينيد

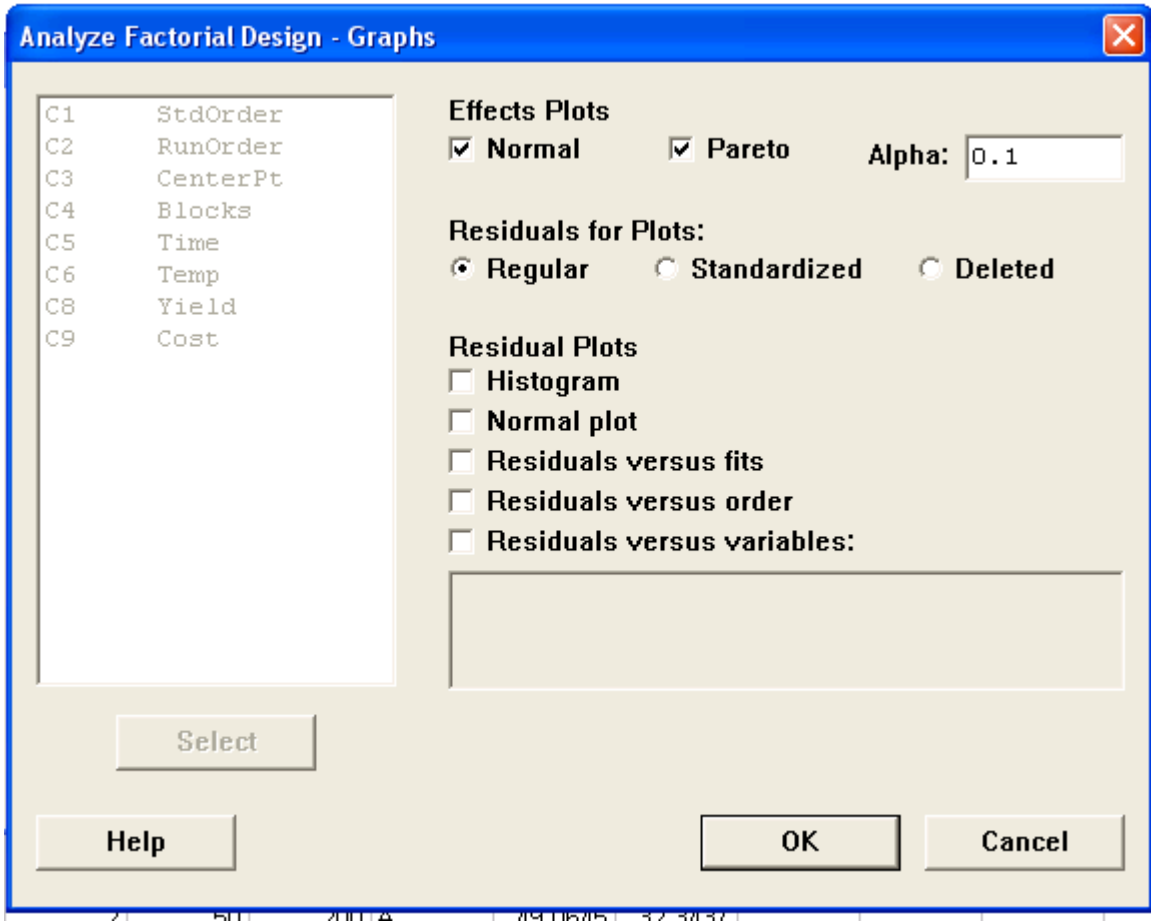


	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B										
1	1	1	1	1	-1	-1										
2	2	2	1	1	1	-1										
3	3	3	1	1	-1	1										
4	4	4	1	1	1	1										
5	5	5	1	1	-1	-1										
6	6	6	1	1	1	-1										
7	7	7	1	1	-1	1										
8	8	8	1	1	1	1										
9	9	9	1	1	-1	-1										
10	10	10	1	1	1	-1										
11	11	11	1	1	-1	1										
12	12	12	1	1	1	1										
13	13	13	1	1	-1	-1										
14	14	14	1	1	1	-1										
15	15	15	1	1	-1	1										
16	16	16	1	1	1	1										
17	17	17	1	1	-1	-1										
18	18	18	1	1	1	-1										
19	19	19	1	1	-1	1										
20	20	20	1	1	1	1										
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																

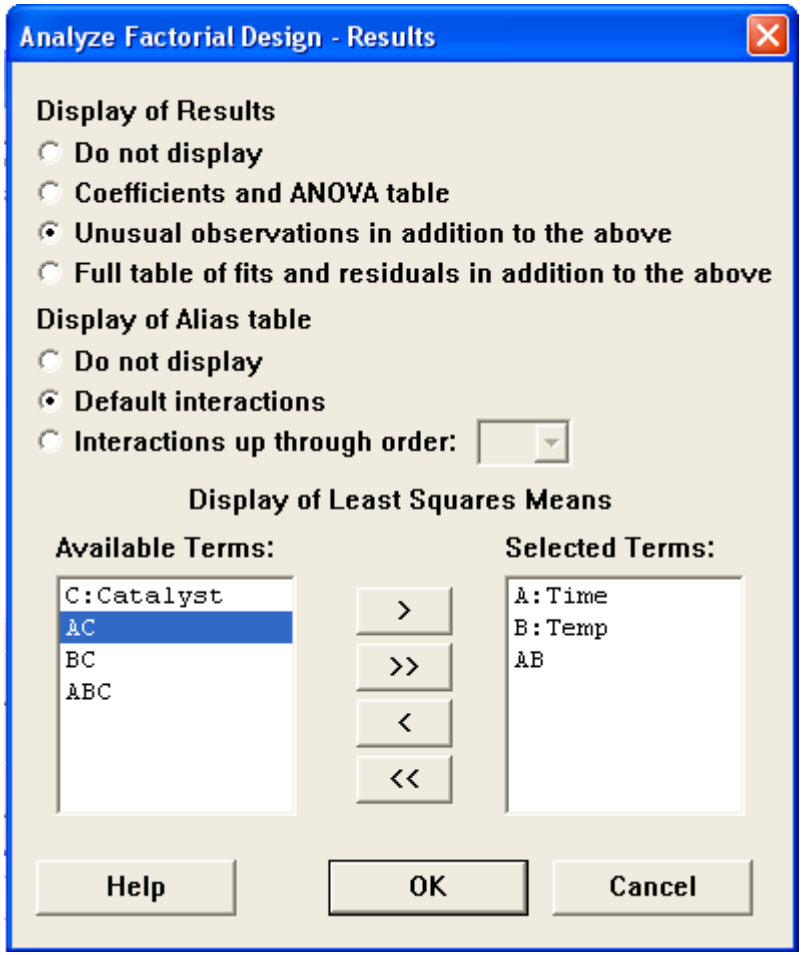
لازم به ذكر است كه Randomize runs بعلت ساده سازي در حل و ورود اطلاعات ،غير فعال شده ودر حالت واقعي بايد بصورت فعال باقي بماند.حالا مقدار هاي پاسخ را در ستوني كنار فاكتور هاي Aو B وارد نمائيد اكنون ميتوانيد دادههاي فوق را آناليز نمائيد ،براي آناليز داده هاي فوق بصورت زير عمل نمائيد:

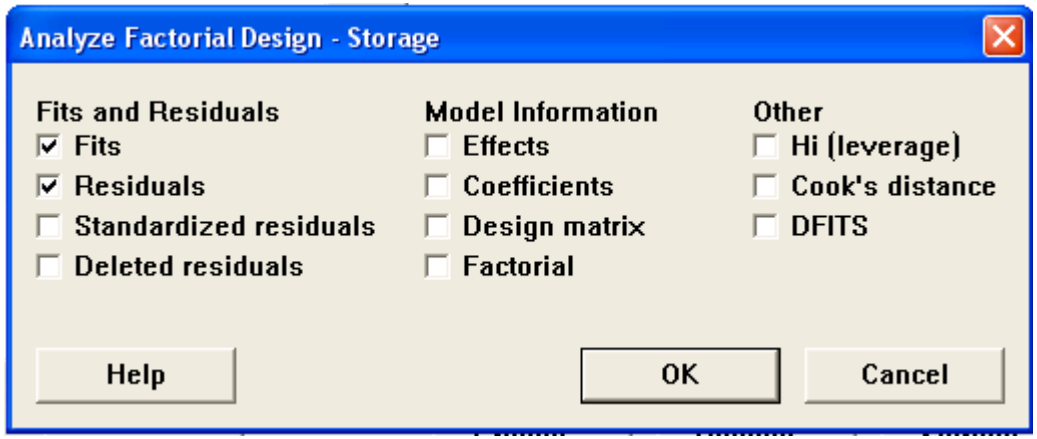
Stat ---------->DOE----------> Analysis Factorial Design

در قسمت Response ستون Obsevation را وارد نمائيد حال برروي دكمه Graphs كليك نموده و گزينه Normal و Pareto را انتخاب نمائيد و بر روي دكمه OK كليك كنيد ، حال برروي دكمه ريالتسعمفس كليك كرده

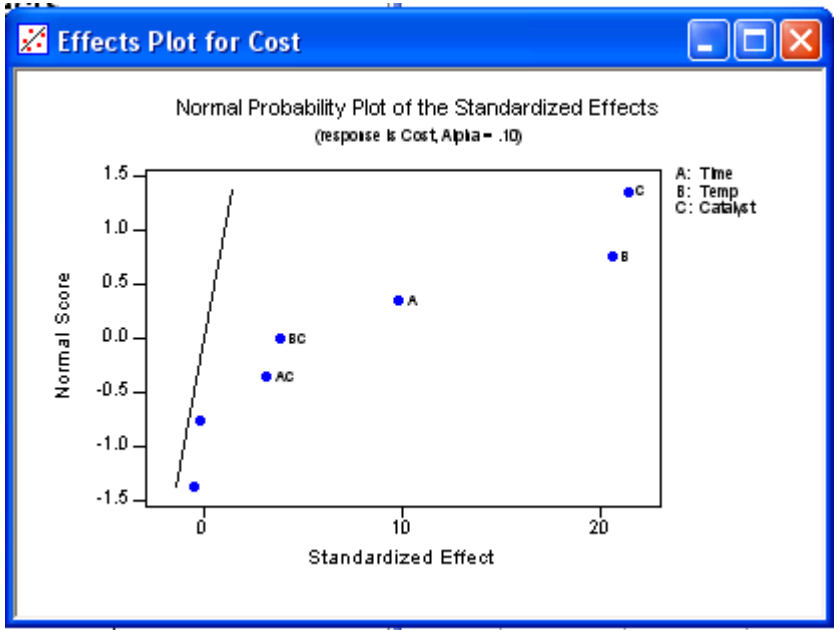


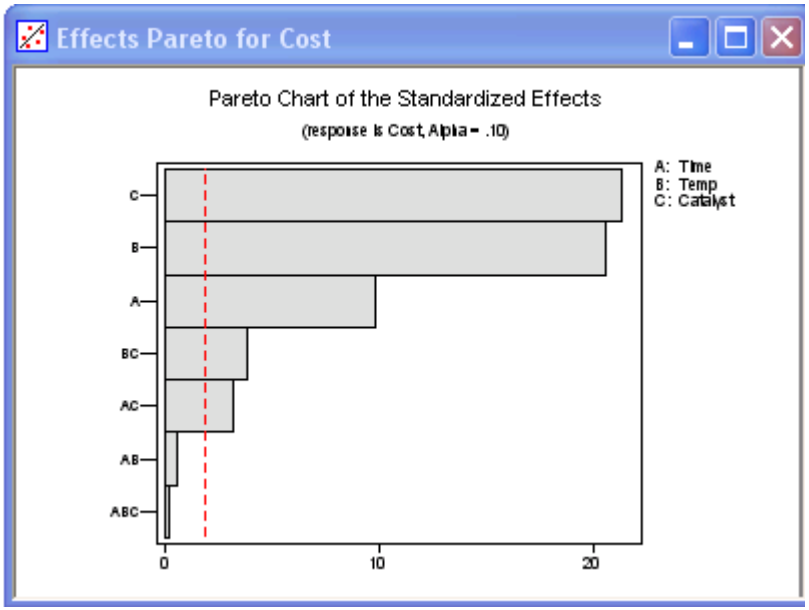
گزينه Default interaction را انتخاب نمائيد سپس بر روي دكمه>>كليك كرده تا همه حالتهاي ممكن عاملها به قسمت Selected Terms انتقال يابد ،بر روي دكمه OK كليك نمائيد ،بر روي دكمه Storange كليك كرده Residuals و Fits را انتخاب نمائيد.

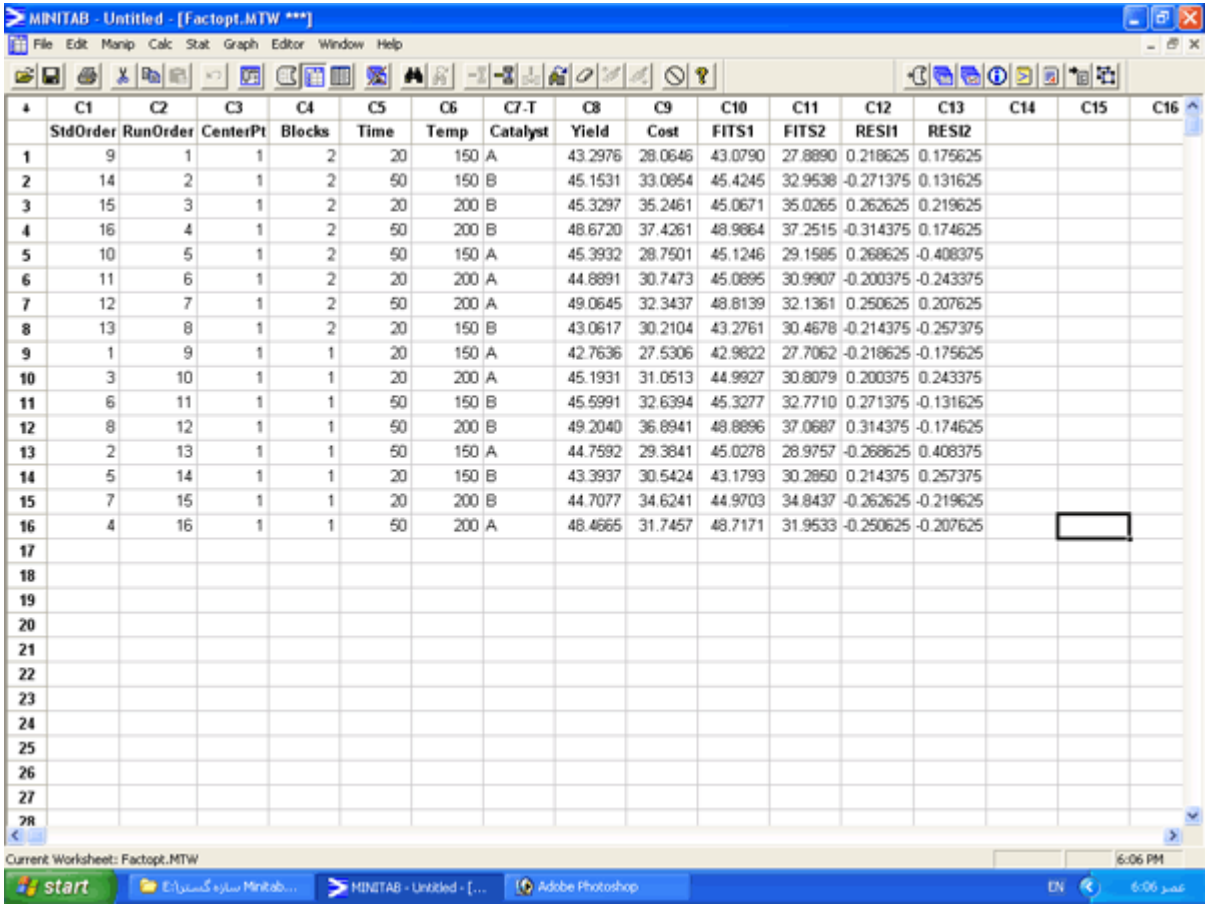

Analyze Factorial Design - Results
Display of Results
Do not display
Coefficients and ANOVA table
Unusual observations in addition to the above
Full table of fits and residuals in addition to the above
Display of Alias table
Do not display
Default interactions
Interactions up through order:
Display of Least Squares Means
Available Terms:
C:Catalyst
AC
BC
ABC
>
>>
<
<<
Selected Terms:
A:Time
B:Temp
AB
Help
OK
Cancel



دوبار برروي OK كليك نمائيد ، خروجي نرم افزار بصورت زير خواهد بود




Effects Pareto for Cost
Pareto Chart of the Standardized Effects
(response is Cost, Alpha = .10)
A: Time
B: Temp
C: Catalyst
C
B
A
BC
AC
AB
ABC
0
10
20

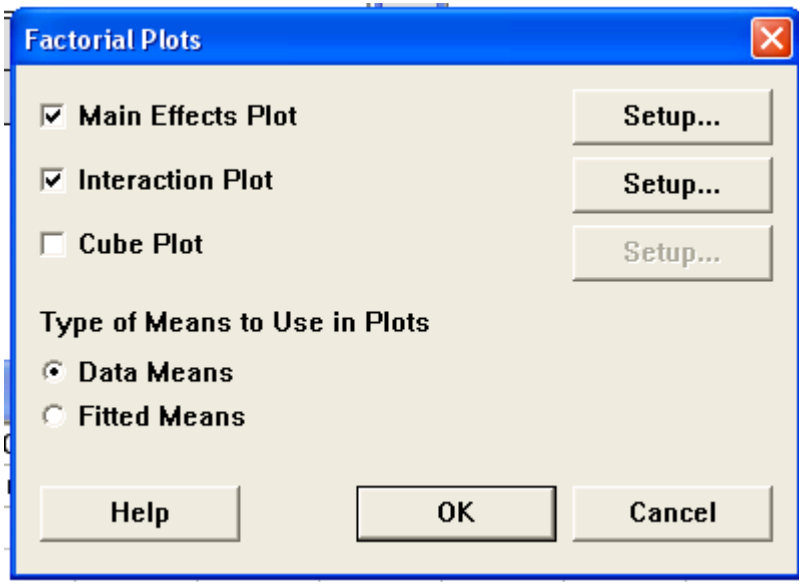


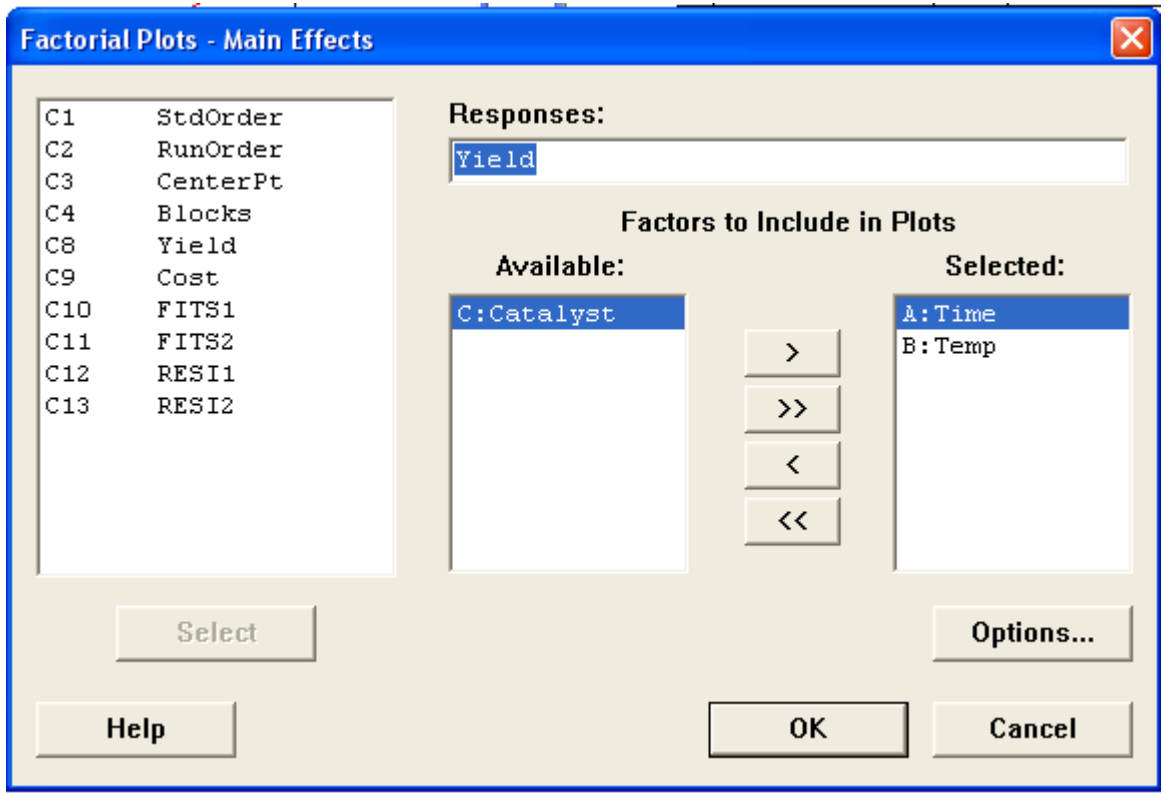
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Time	Temp	Catalyst	Yield	Cost	FITS1	FITS2	RESI1	RESI2			
1	9	1	1	2	20	150	A	43.2976	28.0646	43.0790	27.8890	0.218625	0.175625			
2	14	2	1	2	50	150	B	45.1531	33.0854	45.4245	32.9538	-0.271375	0.131625			
3	15	3	1	2	20	200	B	45.3297	35.2461	45.0671	35.0265	0.262625	0.219625			
4	16	4	1	2	50	200	B	48.6720	37.4261	48.9864	37.2515	-0.314375	0.174625			
5	10	5	1	2	50	150	A	45.3932	28.7501	45.1246	29.1585	0.268625	-0.408375			
6	11	6	1	2	20	200	A	44.8891	30.7473	45.0895	30.9907	-0.200375	-0.243375			
7	12	7	1	2	50	200	A	49.0645	32.3437	48.8139	32.1361	0.250625	0.207625			
8	13	8	1	2	20	150	B	43.0617	30.2104	43.2761	30.4678	-0.214375	-0.257375			
9	1	9	1	1	20	150	A	42.7636	27.5306	42.9822	27.7062	-0.218625	-0.175625			
10	3	10	1	1	20	200	A	45.1931	31.0513	44.9927	30.8079	0.200375	0.243375			
11	6	11	1	1	50	150	B	45.5991	32.6394	45.3277	32.7710	0.271375	-0.131625			
12	8	12	1	1	50	200	B	49.2040	36.8941	48.8896	37.0687	0.314375	-0.174625			
13	2	13	1	1	50	150	A	44.7592	29.3841	45.0278	28.9757	-0.268625	0.408375			
14	5	14	1	1	20	150	B	43.3937	30.5424	43.1793	30.2850	0.214375	0.257375			
15	7	15	1	1	20	200	B	44.7077	34.6241	44.9703	34.8437	-0.262625	-0.219625			
16	4	16	1	1	50	200	A	48.4665	31.7457	48.7171	31.9533	-0.250625	-0.207625			
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																

حال براي ديدن اثر متقابل عاملها و اثر مستقل آنها بر روي متغير پاسخ بصورت زير عمل نمائيد :

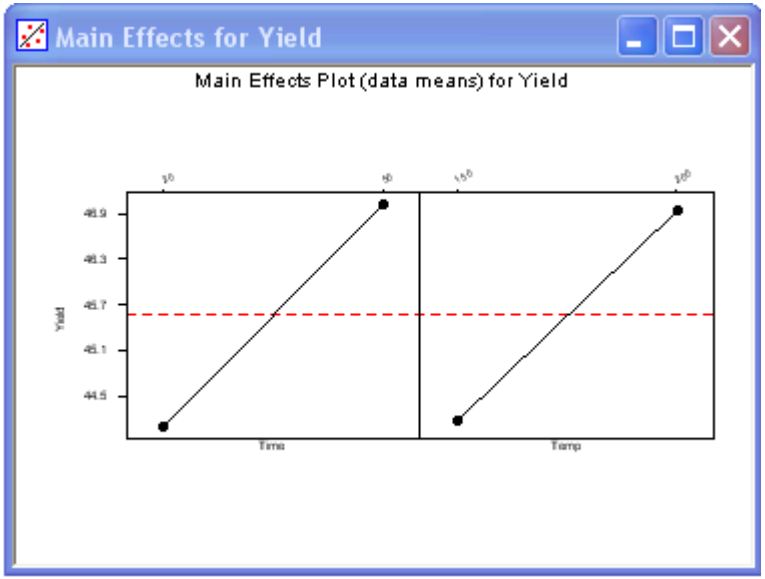
Stat -------->DOE---------->Factorial plots

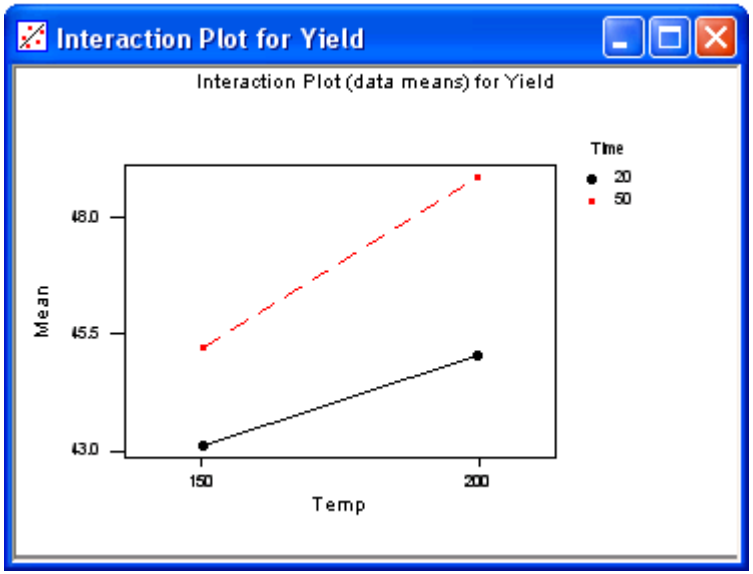
Main effects و Interaction را انتخاب نمائيد ،سپس بر روي دكمه Setup هر كدام كليك كرده و در قسمت Response ستون Observation را وارد كنيد سپس تمام فاكتور ها را در قسمت Available به قسمت Selected انتقال دهيد.


Factorial Plots
Main Effects Plot
Setup...
Interaction Plot
Setup...
Cube Plot
Setup...
Type of Means to Use in Plots
Data Means
Fitted Means
Help
OK
Cancel



دوبار بر روي دكمه OK كليك نمائي خروجي نرم افزار به شكل زير است


Main Effects for Yield
Main Effects Plot (data means) for Yield
Yield
Time
Temp


Interaction Plot for Yield
Interaction Plot (data means) for Yield
Time
20
50
Mean
48.0
45.5
43.0
150
200
Temp