طراحی و آنالیز سطح پاسخ

در این بخش کاربرد نرم‌افزار Design-Expert در روش سطح پاسخ را خواهیم آموخت. هدف از این طرح‌ها، بهینه‌سازی فرآیند می‌باشد. برای تمرین و آشنایی با نرم‌افزار بررسی یک مطالعه موردی، شرایط ملموسی را ایجاد می‌نماید. مطالعه آموزشی در این بخش، تولید یک ماده شیمیایی است که با دو پاسخ اصلی با حرف y نشان داده شده است. پاسخ اول، Y_1 ضریب تبدیل (درصد ماده اولیه که به محصول تبدیل شده است) و پاسخ دوم Y_2 میزان فعالیت می‌باشد. محقق برای مطالعه فرآیند، سه فاکتور را انتخاب نموده است (جدول 1).

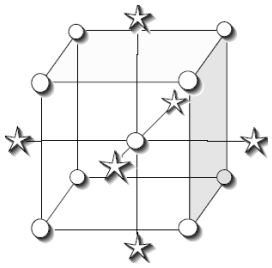
جدول 1- فاکتورهای مورد استفاده در مطالعه سطح پاسخ

فاکتور	واحد	سطح پایین (−1)	سطح بالا (+1)
زمان	دقیقه	40	50
دما	درجه سانتی گراد	80	90
کاتالیست	درصد	2	3

این فرایند شیمیایی با استفاده از یک طرح استاندارد روش پاسخ سطح، تحت عنوان طرح مرکب مرکزی (CCD)[1] مورد مطالعه قرار گرفت. این طرح برای برازش سطوح درجه دوم بسیار مناسب بوده و معمولاً برای بهینه‌سازی فرآیندها بسیار خوب عمل می‌کند.

در شکل، مدل این طرح با سه فاکتور و از نوع مرکب مرکزی (CCD) ترسیم شده است. این طرح شامل یک نقطه فاکتوریل مرکزی، به‌عنوان مرکز مکعب بوده و رأس مکعب بر اساس فاصله از مرکز (+1 و −1) کد شده‌اند. ستاره‌ها بیان‌گر نقاط محوری طرح می‌باشند. میزان فاصله ستاره‌ها از مرکز مکعب از مباحث مورد بحث آماریست‌ها[2] است. این فاصله تحت عنوان آلفا نام‌گذاری شده است. خواهید دید که نرم‌افزار DOE انتخاب‌های متفاوتی از آلفا را پیشنهاد خواهد داد.

[1] Central composite design
[2] Statisticians



طرح مرکب مرکزی برای سه فاکتور

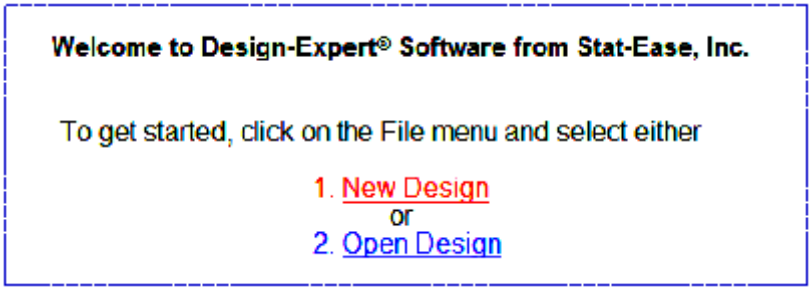
فرض کنید که این آزمایش طی دو روزه و در دو بلوک انجام شده است:

1- 12 آزمایش: شامل هشت نقطه فاکتوریل، بعلاوه 4 نقطه مرکزی

2- 8 آزمایش: شامل شش نقطه محوری (ستاره)، بعلاوه دو نقطه دیگر مرکزی

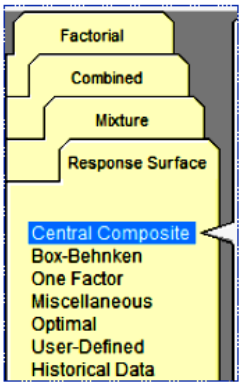
شروع کار با نرم‌افزار Design-Expert 8

روی آیکون نرم‌افزار Design-Expert کلیک کرده تا برنامه باز شود. سریع‌ترین راه برای شروع کار با نرم‌افزار کلیک کردن روی عنوان New Design در مرکز صفحه نمایش می‌باشد که در زیر نشان داده شده است. دو راه دیگر هم وجود دارد: کلیک کردن روی آیکون blank-sheet روی قسمت چپ نوار toolbar یا انتخاب مسیر file, New Design (یا کلید Alt مربوطه) از منوی اصلی بالای صفحه نمایش می‌باشد.



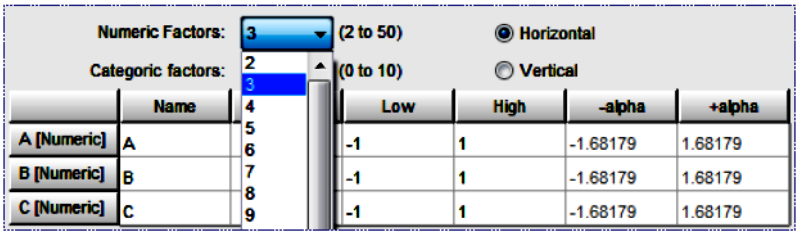
اولین صفحه ای که موقع باز شدن برنامه Design-Expert مشاهده می‌شود.

روی کار برگ Response Surface برای مشاهده انواع طرح‌های روش سطح پاسخ کلیک کنید.



شکل کاربرگ روش سطح پاسخ

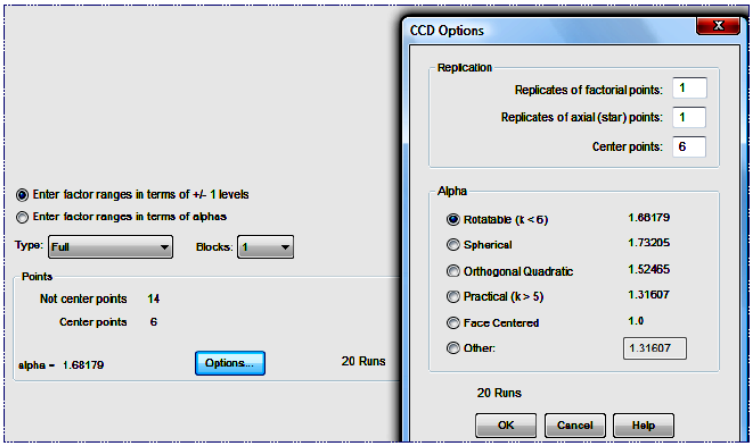
طرح مرکب مرکزی به صورت پیش‌فرض انتخاب مـی‌شـود. روی فلـش پـایین رو Numeric Factors کلیک کرده و عدد 3 را مطابق شکل زیر انتخاب کنید.



انتخاب سه فاکتور عددی

برای مشاهده سایر طرح‌های روش سطح پاسخ برای سـه فـاکتور، در بخـش چـپ روی Box-Behnken (17 آزمـایش) و طـرح‌هـای Miscellaneous کـه گزینـه‌هـای فاکتوریـل سـه سطحی (32 آزمایش شامل 5 نقطه مرکزی) کلیک کنید و تفاوت‌ها را مشاهده نماییـد. دوبـاره طرحCentral Composite را انتخاب نمایید.

قبل از وارد کردن فاکتورها و محدوده فاکتورها، رویOptions نزدیـک پـایین صـفحه CCD کلیک نمایید. توجه کنید که حالت پیش‌فرض روی طرحRotatable با نقاط محوری (سـتاره) کدشده با فاصله 1/68179 از مرکز، تنظیم شده است. انتخـاب ایـن میـزان فاصـله یـک عـدد مرسوم و قراردادی است.



پیش‌فرض گزینه‌های طرح CCD با تنظیم آلفا و طرح قابل چرخش است.

آلفا با به‌دست آوردن ریشه چهارم تعداد فاکتورها (در این مورد $3^{1/4}$ یا 1/31607) به‌دست می‌آید. برای پذیرفتن مقادیر قابل چرخش OK را فشار دهید. با استفاده از جدول اول آموزشی، جزئیات فاکتور شامل نام فاکتورها (Name (A, B, C، واحد فاکتورها Units و سطوح پایین Low و بالای High فاکتورها را تایپ کنید.

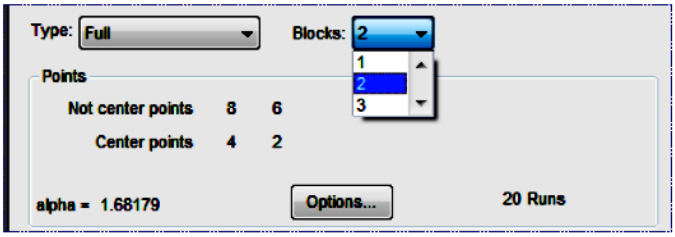
Numeric Factors: 3 (2 to 50) Horizontal
Categoric factors: 0 (0 to 10) Vertical

	Name	Units	Low	High	-alpha	+alpha
A [Numeric]	Time	min.	40	50	36.591	53.409
B [Numeric]	Temperature	deg C	80	90	76.591	93.409
C [Numeric]	Catalyst	%	2	3	2.3409	0.659104

فرم تکمیل شده فاکتور

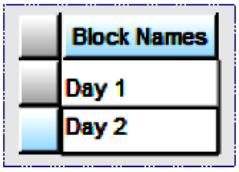
بدین ترتیب شما بخش مکعبی طرح CCD را تعیین نموده‌اید. به محض انتخاب، نرم‌افزار فاصله آلفا به صورت کدشده (مکان نقاط ستاره در طرح مرکب مرکزی) را محاسبه می‌نماید. با کلیک کردن روی گزینهentered factor ranges in term of alphas شما می‌توانید فاصله برای تک تک فاکتورها را کنترل نمایید.

حالا به پایین فرم طرح مرکب مرکزی بر مـی‌گـردیم. Type را بـه صـورت پـیش‌فـرض Full انتخاب می‌کنیم. گزینه بعدی small CCD است، زمانی این گزینه توصیه می‌شود که تعـداد آزمایشات باید تا حد مینیمم کاهش پیدا کند. برای این طرح دو بلوک لازم است، که مربوط به آزمایش در دو روز می‌باشد، بنابراین روی بخش Blocks کلیـک نمـوده و عـدد 2 را انتخـاب نمایید.



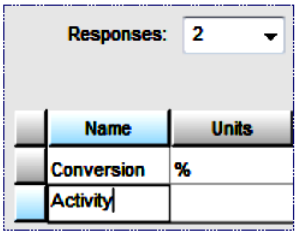
انتخاب تعداد بلوک‌ها

توجه کنید که نرم‌افزار نمایش می‌دهد که چگونه CCD در دو بلوک قرار می‌گیرد، برای مثال، 4 نقطه مرکزی در دو بلوک قرار خواهند گرفت. روی Continue کلید کنید تا به صـفحه دوم تنظیمات برای ایجاد طرح سطح پاسـخ برسـیم. در اینجـا گزینـه ای بـرای تعیـین نـام بلـوک Block Names داریم. همانطور که در زیر نشـان داده شـده اسـت، Day1 و Day2 را وارد کنید.



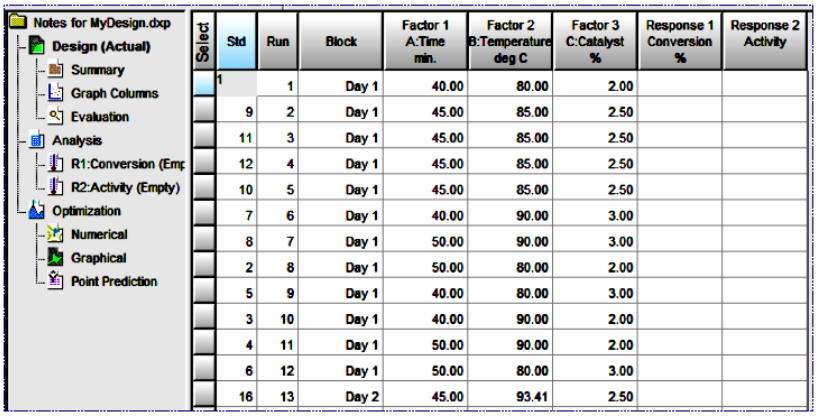
نام بلوک‌ها

برای وارد کردن پاسخ‌هـا Responses روی Continue کلیـک کنیـد. عـدد 2 را از لیسـت پایین رونده انتخاب کنید. حالا نام پاسخ‌ها Name و واحـد آنهـا Units را مثـل زیـر تعریـف کنید.



فرم کامل شده پاسخ‌ها

در هر زمان در مرحله ایجاد طرح می‌توانید از دکمه Back استفاده نموده و به صفحه قبلی برگشته و تغییرات لازم را اعمال نمایید. بدین ترتیب می‌توانید دوباره انتخاب‌های خود را بررسی نمایید. برای دیدن نقشه طرح روی Continue کلیک کنید (امکان دارد طرح شما بخاطر تصادفی بودن کمی‌متفاوت باشد).

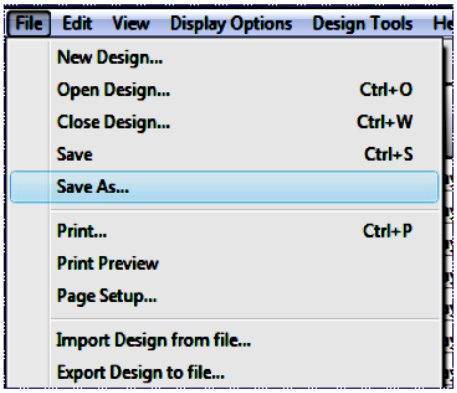


Select	Std	Run	Block	Factor 1 A:Time min.	Factor 2 B:Temperature deg C	Factor 3 C:Catalyst %	Response 1 Conversion %	Response 2 Activity
1	1	1	Day 1	40.00	80.00	2.00		
	9	2	Day 1	45.00	85.00	2.50		
	11	3	Day 1	45.00	85.00	2.50		
	12	4	Day 1	45.00	85.00	2.50		
	10	5	Day 1	45.00	85.00	2.50		
	7	6	Day 1	40.00	90.00	3.00		
	8	7	Day 1	50.00	90.00	3.00		
	2	8	Day 1	50.00	80.00	2.00		
	5	9	Day 1	40.00	80.00	3.00		
	3	10	Day 1	40.00	90.00	2.00		
	4	11	Day 1	50.00	90.00	2.00		
	6	12	Day 1	50.00	80.00	3.00		
	16	13	Day 2	45.00	93.41	2.50		

نقشه طرح (تنها بخشی از طرح نشان داده شده است، ترتیب آزمایشات طراحی شده برای شما بدلیل تصادفی بودن می‌تواند متفاوت باشد)

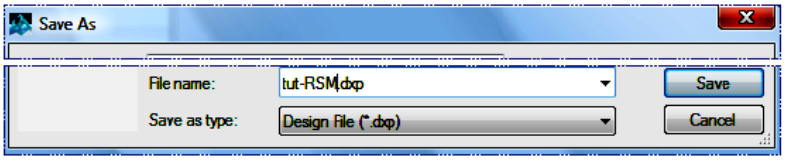
ذخیره کردن اطلاعات در فایل

برای احتیاط می‌توانید نقشه طرح را ذخیره نموده و بر اساس آن آزمایشات را طراحی نموده و اطلاعات آزمایش را جمع آوری نمایید. روی منوی File کلیک کرده و گزینه Save As را انتخاب کنید.



انتخاب گزینه Save As

حالا می‌توانید نام فایل را از طریق File name به فرم (.dxp) در پوشه اطلاعات نرم‌افزار (یا هر جای دیگری که می‌خواهید) ذخیره نمایید.

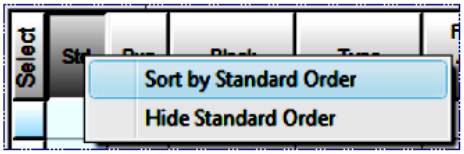


صفحه مربوط به ذخیره با استفاده از Save As

وارد کردن اطلاعات پاسخ

فرض کنید که محقق کارهای آزمایشی خود را کامل نموده است. واضح است که در این مرحله باید پاسخ‌ها را در Design-Expert وارد نماید. برای استفاده از اطلاعات از پیش ذخیره شده، روی منوی File کلیک کنید و Open Design را انتخاب کنید. فایل RSM.dxp از فهرست Data در پوشه نرم‌افزار Design-Expert را انتخاب نمایید. روی open کلیک نموده تا اطلاعات وارد نقشه طرح شود.

بعد از وارد نمودن اطلاعات، مکان نما را به بالای ستون Std منتقل نموده و روی آن کلیک راست نمایید تا منویی باز شود و Sort by Standard Order را انتخاب نمایید (از طریق منوی View نیز می‌توان تنظیم نمود).



مرتب کردن بر اساس استاندارد

حالا روی بالای ستون Select کلیک راست نموده و گزینه Point type را انتخاب نمایید.

Select	Std	Run	Block	Type	Factor 1 A:Time min.	Factor 2 B:Temperature deg C	Factor 3 C:Catalyst %	Response 1 Conversion %	Response 2 Activity
	1	1	Day 1	Factorial	40.00	80.00	2.00	74.0	53.2
	2	12	Day 1	Factorial	50.00	80.00	2.00	51.0	62.9
	3	7	Day 1	Factorial	40.00	90.00	2.00	88.0	53.4
	4	5	Day 1	Factorial	50.00	90.00	2.00	70.0	62.6
	5	11	Day 1	Factorial	40.00	80.00	3.00	71.0	57.3
	6	9	Day 1	Factorial	50.00	80.00	3.00	90.0	67.9
	7	2	Day 1	Factorial	40.00	90.00	3.00	66.0	59.8
	8	8	Day 1	Factorial	50.00	90.00	3.00	97.0	67.8
	9	10	Day 1	Center	45.00	85.00	2.50	81.0	59.2
	10	3	Day 1	Center	45.00	85.00	2.50	75.0	60.4
	11	6	Day 1	Center	45.00	85.00	2.50	76.0	59.1
	12	4	Day 1	Center	45.00	85.00	2.50	83.0	60.6
	13	14	Day 2	Axial	36.59	85.00	2.50	76.0	53.6
	14	13	Day 2	Axial	53.41	85.00	2.50	79.0	65.9
	15	20	Day 2	Axial	45.00	76.59	2.50	85.0	60.0
	16	18	Day 2	Axial	45.00	93.41	2.50	97.0	60.7
	17	16	Day 2	Axial	45.00	85.00	1.66	55.0	57.4
	18	17	Day 2	Axial	45.00	85.00	3.34	81.0	63.2
	19	19	Day 2	Center	45.00	85.00	2.50	80.0	60.8
	20	15	Day 2	Center	45.00	85.00	2.50	91.0	58.9

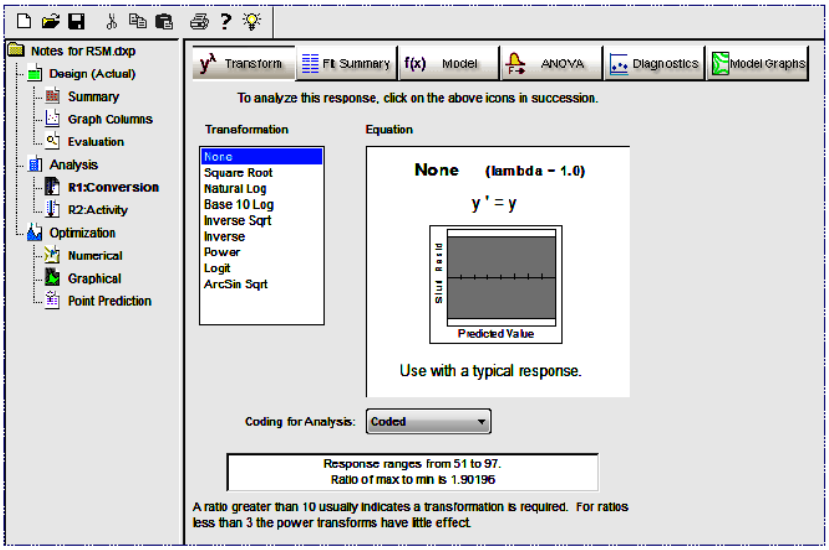
نمایش نوع نقطه

توجه کنید که در ستون جدید نقاط به صورت فاکتوریل Factorial، مرکزی Center (نقطه مرکزی) و غیره مشخص شده است. توجه کنید نقاط فاکتوریل تنها برای بلوک روز 1 مرتب شده است. در روز دوم هم نقاط محوری در آزمایشات قرار گرفته‌اند. نقاط مرکزی بین دو بلوک تقسیم شده است.

آنالیز نتایج

در این مرحله به صورت عددی آنالیز پاسخ را شروع می‌کنیم. در سمت چپ صفحه، زیر شاخه Analysis روی Convrsion که یکی از پاسخ‌ها است، کلیک نموده تا آنالیز آغاز شود. بدین

ترتیب یک سری دکمه قسمت بالای صفحه دیده می‌شود. دکمه‌ها از راست به چپ بـر اسـاس ترتیب انجام آنالیز، مرتب شده‌اند.



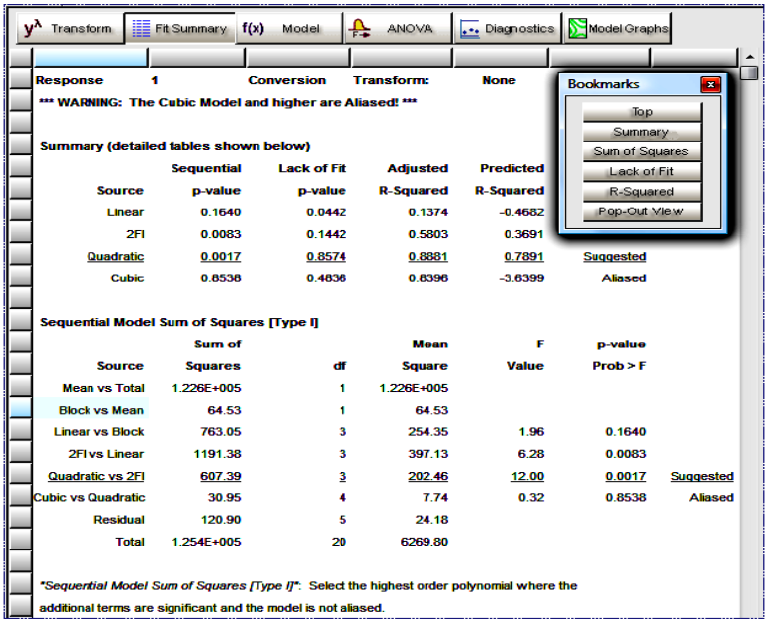
آغاز آنالیز پاسخ Conversion

نرم‌افـزار Design-Expert در گزینـه Transform دارای سـری کـاملی از تبـدیل داده‌هـا می‌باشد. روی Tip کلیک کنید تا جزئیات بیشتری در این زمینه مطالعه کنید. بـرای آنـالیز از حالت پیش‌فرض Transform که روی None تنظیم شده است، استفاده می‌کنیم.

سپس روی دکمه Fit Summary کلیک کنید. در این بخش نـرم‌افـزار اطلاعـاتی در زمینـه معادله پاسخ که می‌تواند به صـورت خطـی، دو فـاکتوره (2FI)، چنـد جملـه ای درجـه دوم و درجه سوم باشد، برازش نماید. در اولین خط ویژگی پاسخ آمده و بلافاصله بعـد از آن اخطـاری دیده می‌شود: مدل درجه سوم و بالاتر نامعتبر است. در طرح مرکب مرکزی تعداد کمـی نقطـه وجود دارد که با توجه به آنها نمی‌توان تمام عبارات مدل درجه سوم را تعیین نمود. ایـن طـرح تنها برای مدل درجه دوم (یا زیر مجموعه‌های آن) تنظیم شده است. در ادامه شما جدول‌هـای بسیار مفیدی را برای انتخاب مدل می‌بینید. برای مشـاهده نتـایج آنـالیز، مـی‌توانیـد از منـوی Tools که به صورت شناور روی صفحه قرار گرفته و یا نوار پیمایشی کنار صفحه برای حرکت به سمت پایین استفاده نمایید. جزئیات هر یک از جدول‌ها در زیر توضیح داده شده است.

جدول Sequential Model Sum of Squares نشان می‌دهد که چگونه عبارات پیچیده در مدل نهایی شرکت می‌کنند. سلسله مراتب مدل در زیر توضیح داده شده است :

- مدل خطی و بلوک: اهمیت افزودن عبارات خطی به میانگین و بلوک‌ها،
- مدل دو فاکتوره در برابر خطی: اهمیت افزودن عبارات اثر متقابل دو فاکتور به میانگین، بلوک و عبارات خطی در مدل،
- مدل درجه دوم در برابر دو فاکتور: اهمیت افزودن عبارات درجه دوم به میانگین، بلوک، خطی و اثرات دو فاکتور موجود در مدل،
- درجه سوم در برابر درجه دوم: اهمیت عبارات درجه سوم در میان سایر عبارات



Response 1 Conversion Transform: None

*** WARNING: The Cubic Model and higher are Aliased! ***

Summary (detailed tables shown below)

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	
Linear	0.1640	0.0442	0.1374	-0.4682	
2FI	0.0083	0.1442	0.5803	0.3691	
Quadratic	0.0017	0.8574	0.8881	0.7891	Suggested
Cubic	0.8538	0.4836	0.8396	-3.6399	Aliased

Sequential Model Sum of Squares [Type I]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Mean vs Total	1.226E+005	1	1.226E+005			
Block vs Mean	64.53	1	64.53			
Linear vs Block	763.05	3	254.35	1.96	0.1640	
2FI vs Linear	1191.38	3	397.13	6.28	0.0083	
Quadratic vs 2FI	607.39	3	202.46	12.00	0.0017	Suggested
Cubic vs Quadratic	30.95	4	7.74	0.32	0.8538	Aliased
Residual	120.90	5	24.18			
Total	1.254E+005	20	6269.80			

Sequential Model Sum of Squares [Type I]: Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

جدول Sequential Model Sum of Squares

برای هر کدام از منابع عبارات (خطی و غیره)، احتمال $\text{prob} > F$ مورد آزمون قرار می‌گیرد تا مشخص شود کدام یک کمتر از 0/05 (یا هر سطح معنی‌داری انتخاب شده) می‌باشد. Design-Expert نشان می‌دهد که مدل درجه دوم برازش بهتر داشته و با زیر خط دار

کردن آن، مشخص می‌شود. در این حالت این عبارات معنی‌دار بوده اما بالابردن درجه عبارات به درجه سوم، به میزان معنی‌داری برازش مدل را بهبود نمی‌دهد.) اگر هم معنی‌دار باشند، عبارات درجه سوم نامعتبر بوده بنابراین برای اهداف مدل‌سازی مناسب نمی‌باشند.(به سمت پایین حرکت کنید تا جدول بعدی که مربوط به عدم برازش درجات مختلف مدل می‌باشد را بررسی نمایید.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Linear	1845.37	11	167.76	6.38	0.0442	
2FI	653.99	8	81.75	3.11	0.1442	
Quadratic	46.60	5	9.32	0.35	0.8574	Suggested
Cubic	15.65	1	15.65	0.59	0.4836	Aliased
Pure Error	105.25	4	26.31			

*"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

جدول خلاصه: آزمون عدم برازش

جدول آزمون عدم برازش باقیمانده خطا را با خطای خالص حاصل از تکرار نقاط طرح مقایسه می‌نماید. اگر عدم برازش معنی‌دار باشد، که این امر توسط مقادیر کم احتمال ($Prob > F$) نشان داده شده است، در مورد استفاده از مدل برای پیش‌بینی پاسخ، دقت کنید. در این حالت، مدل خطی به طور کامل بدلیل کم بودن $Prob > F$ از 0/05 حذف می‌شود.

Fit Summary Report را با استفاده از حرکت نوار پیمایشی به سمت پایین ببینید. در بخش Model Summary Statistics انواع ضریب همبستگی دیده می‌شود.

Model Summary Statistics

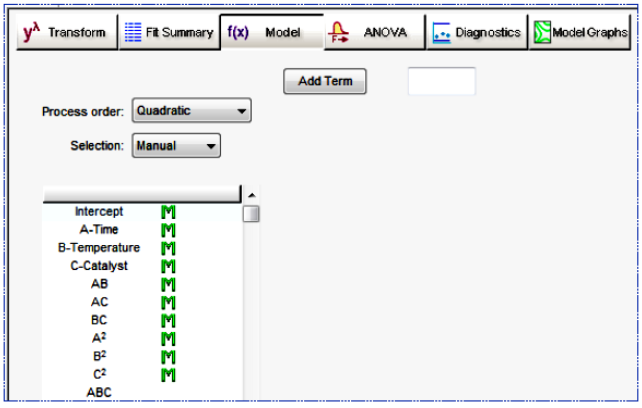
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	11.40	0.2812	0.1374	-0.4682	3984.14	
2FI	7.95	0.7202	0.5803	0.3691	1711.98	
Quadratic	4.11	0.9440	0.8881	0.7891	572.20	Suggested
Cubic	4.92	0.9554	0.8396	-3.6399	12591.11	Aliased

*"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

جدول Model Summary Statistics

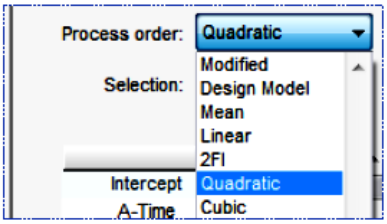
مدل درجه دوم بهترین مدل است زیرا کمترین میزان انحراف استاندارد Std.Dev.، مقادیر بالای R-Squared و مقدار کم PRESS دارد. برنامه به صورت اتوماتیک حداقل یک مدل را با زیر خط دار کردن پیشنهاد می‌دهد. همیشه با دیدن این جدول‌ها می‌توان پیشنهاد را تایید و تصدیق نمود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه دستورالعمل انتخاب مدل‌ها، به Tips مراجعه کنید.

نرمافزار به شما اجازه می‌دهد که یک مدل را با مطالعه دقیق آماری انتخاب کنید. روی دکمه Model کلیک کنید تا عبارات مدل را ببینید.



نتایج مدل

این برنامه به صورت پیش‌فرض مدل پیشنهادی در جدول خلاصه برازش را نشان می‌دهد. اگر بخواهید می‌توانید مدل جایگزینی را با استفاده از لیست پایین رونده در Process order انتخاب کنید. (این کار را می‌توانید در موارد نادری که بیش از یک مدل پیشنهاد شده، انجام دهید.)



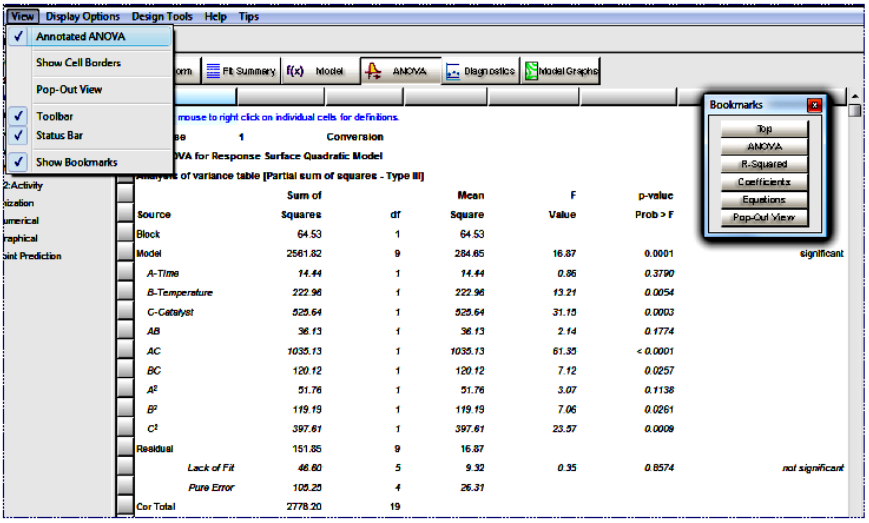
انتخاب‌های Process order

در این مرحله شما می‌توانید روی دکمه Add Term کلیک کنید تا عبارات با درجه بالاتر مثل درجه دوم را وارد معادله نمایید، بدین ترتیب قدرت مدل افزایش پیدا می‌کند. در مورد این مطالعه انتخاب را روی معادله درجه دوم نگه می‌داریم.

همچنین، شما به صورت دستی می‌توانید درجه مدل را با کلیک کردن و حذف اثرات غیر معنی‌دار کاهش دهید. برای مثال شما خواهید دید که در این حالت عبارات متعددی به صورت حاشیه‌ای مهم می‌باشند. همچنین، در این نرمافزار به صورت مدام و اتوماتیک، الگوریتم‌های Backward، Forward و Stepwise به عنوان جایگزین روش دستی معرفی شده‌اند.

روی لیست برای انتخاب این موارد کلیک کنید.

روی دکمه ANOVA کلیک کنید تا آنالیز واریانس مدل انتخاب شده بدست آید. جدول ANOVA به دو فرم قابل رویت می‌باشد. به صورت پیش‌فرض، متنی به عنوان توضیحات جزیی و راهنما برای آمارهای گزارش شده ایجاد می‌شود. برای فعال کردن را روشن یا خاموش کنید، از گزینه View عبارت Annotated ANOVA را انتخاب نمایید.



آمارهای مدل انتخاب شده: جدول ANOVA

در این حالت ANOVA مناسب بودن مدل درجه دوم ($Prob > F$ کمتر از 0/05) را تایید می‌نماید. همچنین، می‌توانید مقادیر احتمال هر یک از عبارات مدل را ببینید. شما

می‌توانید عبارات با مقادیر احتمال بیشتر از 0/1 را حذف نمایید. از اطلاعات آنالیز شده برای تصمیم‌گیری استفاده نمایید.

در مرحله بعد، Design-Expert جدول آماری ANOVA را با مقادیر متفاوتی از R-Squared قدرتمندتر می‌کند. این فاکتور در صورتی خوب است که به عدد یک نزدیک باشد.

Std. Dev.	4.11	R-Squared	0.9440
Mean	78.30	Adj R-Squared	0.8881
C.V. %	5.25	Pred R-Squared	0.7891
PRESS	572.20	Adeq Precision	16.294

ادامه جدول ANOVA

با نوار پیمایشی به سمت پایین حرکت کنید (یا از Bookmark استفاده کنید) تا جزئیات زیر روی ضرایب مدل دیده شود. اثر میانگین برای هر بلوک در این قسمت لیست شده است.

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	81.60	1	1.69	77.77	85.43	
Day 1	-1.92	1				
Day 2	1.92					
A-Time	1.03	1	1.11	-1.49	3.54	1.00
B-Temperature	4.04	1	1.11	1.53	6.55	1.00
C-Catalyst	6.20	1	1.11	3.69	8.72	1.00
AB	2.13	1	1.45	-1.16	5.41	1.00
AC	11.38	1	1.45	8.09	14.66	1.00
BC	-3.87	1	1.45	-7.16	-0.59	1.00
A^2	-1.90	1	1.08	-4.34	0.55	1.02
B^2	2.88	1	1.08	0.43	5.33	1.02
C^2	-5.25	1	1.08	-7.70	-2.81	1.02

ضرایب مدل درجه دوم

دوباره با استفاده از نوار پیمایشی به بخش بعدی حرکت کنید: می‌بینید که مدل‌های پیش‌بینی شده به صورت عبارتهای کدشده در برابر فاکتورهای واقعی در کنار هم نشان داده شده است. عبارتهای بلوک حذف شده‌اند. این عبارات را می‌توان برای بدست آوردن نتایج این آزمایشات دوباره ایجاد نمود، اما نمی‌توان از آنها برای مدل‌سازی پاسخ‌های بعدی استفاده نمود.

Final Equation in Terms of Coded Factors:

Conversion	=	
+81.60		
+1.03	*	A
+4.04	*	B
+6.20	*	C
+2.13	*	A * B
+11.38	*	A * C
-3.87	*	B * C
-1.90	*	A^2
+2.88	*	B^2
-5.25	*	C^2

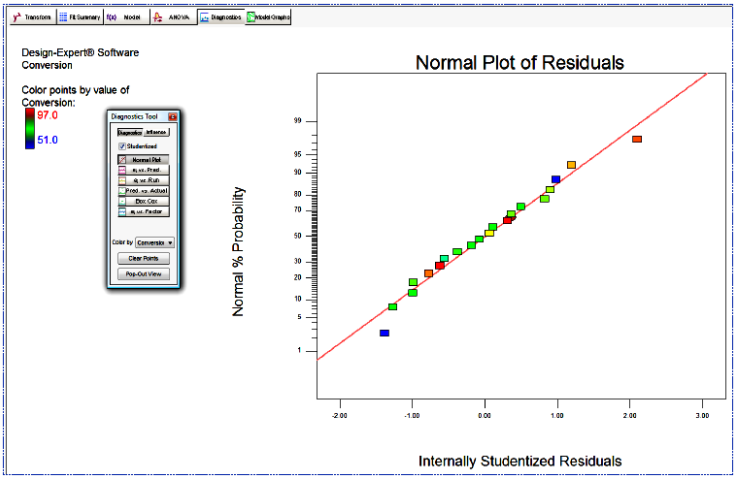
Final Equation in Terms of Actual Factors:

Conversion	=	
+1026.77403		
-11.56883	*	Time
-18.70551	*	Temperature
+44.50242	*	Catalyst
+0.085000	*	Time * Temperature
+4.55000	*	Time * Catalyst
-1.55000	*	Temperature * Catalyst
-0.075839	*	$Time^2$
+0.11508	*	$Temperature^2$
-21.01890	*	$Catalyst^2$

معادله نهایی: معادله‌های کدشده در برابر مقادیر واقعی

تشخیص خصوصیات آماری مدل

طریق دکمه Diagnostics جزئیات را می‌توان بهتر مشاهده نمود. به صورت پیش‌فرض مهمترین حالت Normal probability plot of residuals است که دیده می‌شود.



نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها (Normal probability plot of residuals)

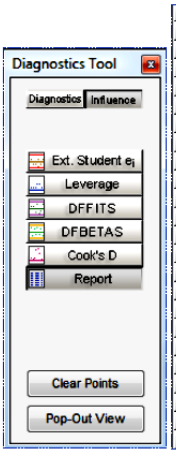
داده‌های جمع آوری شده باید تقریبا خطی باشد. الگوی غیرخطی (منحنی S شکل) بیانگر نرمال نبودن خطا می‌باشد که با transformation می‌توان آن را تصحیح نمود. در این داده‌ها نشانه ای از اشکال دیده نمی‌شود.

صفحه شناور Diagnostics Tool را روی صفحه مشاهده می‌کنید.

در ابتدا، توجه کنید گزینه studentized residuals انتخاب شده باشد در غیر اینصورت علامت انتخاب اولین گزینه روی صفحه ابزار شناور را غیرفعال کنید)که توصیه نمی‌شود(.

Studentized residuals اختلاف Leverage محل نقاط مختلف طرح را خنثی می‌کند. برای مثال نقاط مرکزی وزن کمی را در برازش مدل به عهده دارند، بنابراین میزان Leverage کمی‌از خود نشان می‌دهند. هر نقطه روی صفحه شناور بیانگر گراف تشخیصی متفاوتی می‌باشد. می‌توانید سایر گراف‌ها را با انتخاب کردن ببینید. ..... [3] . هیچ کدام از

گراف‌ها اخطاری مبنی بر وجود اشکال را نشان نمی‌دهد. حالا روی گزینه Influence روی صفحه شناور ابزار Diagnostic کلیک کنید. در اینجا شما گراف‌هایی را خواهید یافت که به صورت خارجی studentized residuals می‌باشند که به صورت outlier t بهتر شناخته می‌شود(و سایر گراف‌ها می‌توانند برای یافتن نقاط مهم در طرح مفید باشند. همچنین، از اینجا می‌توانید روی Reportکلیک کنید تا مشخصات آماری هر مورد را به صورت جداگانه مشاهده نمایید که هرکدام به صورت گرافیکی نشان داده شده است.)در نسخه‌های قبلی این نرمافزار Report پایین جدول ANOVA نمایش داده می‌شد.)



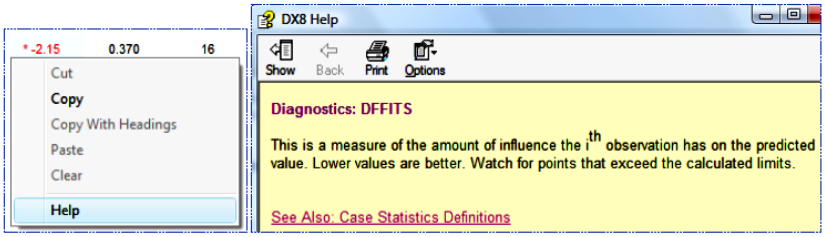
Diagnostics Case Statistics

Standard Order	Actual Value	Predicted Value	Residual	Leverage	Internally Studentized Residual	Externally Studentized Residual	Influence on Fitted Value DFFITS	Cook's Distance	Run Order
1	74.00	73.76	0.24	0.706	0.107	0.101	0.157	0.003	1
2	51.00	48.82	2.18	0.706	0.979	0.977	1.513	0.269	12
3	88.00	85.34	2.66	0.706	1.193	1.226	1.899	0.310	7
4	70.00	68.90	1.10	0.706	0.494	0.472	0.732	0.053	5
5	71.00	71.17	-0.17	0.706	-0.076	-0.071	-0.111	0.001	11
6	90.00	91.73	-1.73	0.706	-0.774	-0.756	-1.171	0.131	9
7	66.00	67.25	-1.25	0.706	-0.561	-0.536	-0.834	0.069	2
8	97.00	96.31	0.69	0.706	0.311	0.295	0.457	0.021	8
9	81.00	79.68	1.32	0.194	0.357	0.339	0.167	0.003	10
10	75.00	79.68	-4.68	0.194	-1.270	-1.322	-0.649	0.035	3
11	76.00	79.68	-3.68	0.194	-0.999	-0.999	-0.491	0.022	6
12	83.00	79.68	3.32	0.194	0.900	0.889	0.437	0.018	4
13	76.00	76.43	-0.43	0.679	-0.185	-0.175	-0.254	0.007	14
14	79.00	79.89	-0.89	0.679	-0.382	-0.363	-0.529	0.028	13
15	85.00	84.86	0.14	0.679	0.058	0.055	0.080	0.001	20
16	97.00	98.45	-1.45	0.679	-0.625	-0.603	-0.878	0.075	18
17	55.00	58.23	-3.23	0.679	-1.387	-1.474	*-2.15	0.370	16
18	81.00	79.09	1.91	0.679	0.820	0.803	1.169	0.129	17
19	80.00	83.52	-3.52	0.250	-0.990	-0.989	-0.571	0.030	19
20	91.00	83.52	7.48	0.250	2.102	2.778	1.604	0.134	15

Diagnostic Report

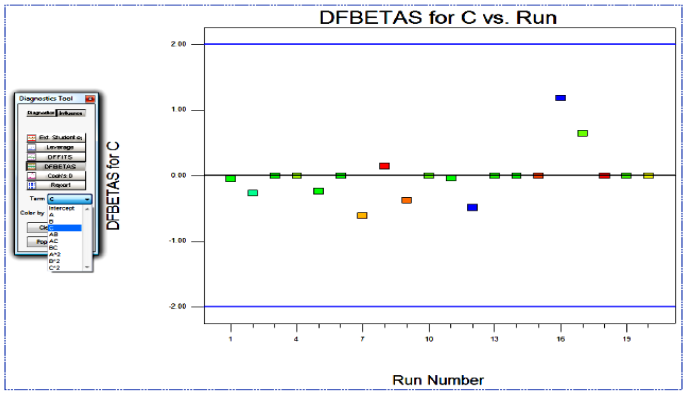
3برداشتن بقیه توضیحات از بخش های آموزشی قبلی

ملاحظه ای که زیر جدول به آن اشاره شـده اسـت)Predicted values include block corrections(نشان می‌دهد که هر گونه تغییر بلوک از 1 بـه 2 شـامل اهـداف Residual diagnostics می‌باشد.)اگر به یاد بیاورید تصحیح بلـوک در گـزارش ANOVA در معادلـه پیش‌بینی شده نشان داده نشده است.(همچنین توجه کنید که یکی از مقادیر DIFFITS بـا پرچم قرمز رنگ نشان داده شده است. این عدد آماری بیانگر مقادیر متفاوت بـرازش مـی‌باشـد. این عبارت آماری تغییرات هر یک از مقادیر پیش‌بینـی شـده ناشـی از حـذف پاسـخ را نشـان می‌دهد. برای دیدن اطلاعات بیشتر در زمینه DFFITS روی عدد همانطور که در زیـر نشـا ن داده شده است، کلیک راست نمایید.



بررسی متن حساس به HELP

قبـل از گذشـتن از بخـش diagnostics روی گزینـه DFBETAS کلیـک کنیـد کـه در توضیحات روی صفحه به آن اشاره شده است.

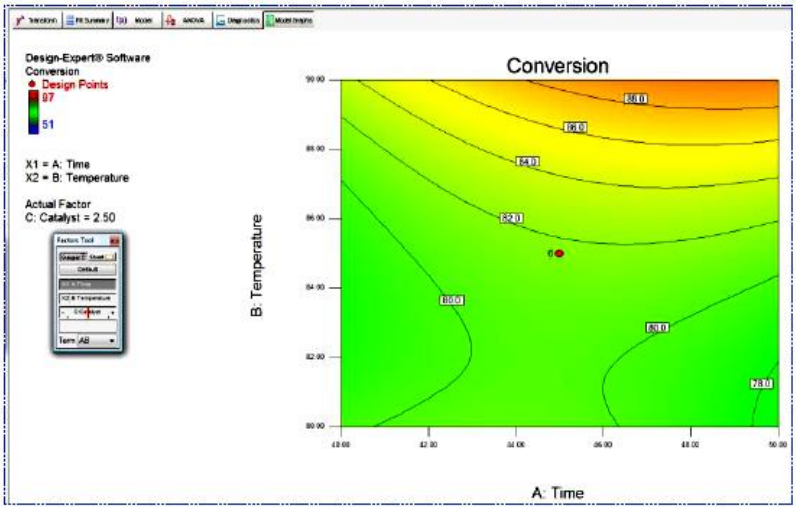


DFBETAS برای عبارت C

در این حالت شما می‌توانید تمام 10 عبارت مدل)شامل عرض از مبدا(را برای این مدل درجه دوم مورد ارزیابی قرار دهید.)نکته: خارج از بخش عبارات کلیک نموده، دوباره موس خود را روی بخش عبارات برده و به سادگی با چرخ موس لیست را به سمت بالا و پایین حرکت کنید.(در آزمایشی شبیه این آزمایش، که محقق کاتالیست را تغییر می‌دهد، گراف DFBETAS برای یکی از آزمایشات نشان می‌دهد که outlier کمتر از حد مینیمم است و در این صورت لازم است که واکنش دوباره آغاز شود. بنابراین، این diagnostics برای نشان دادن آزمایشاتی که اشتباه انجام شده است، بسیار مفید می‌باشد.

آزمون گراف‌های مدل

Residuals هیچ اشکال آماری از خود نشان نمی‌دهد، بنابراین می‌توانیم منحنی سطح پاسخ را ایجاد نماییم. روی دکمه Model Graphs کلیک کنید. گراف کنتور دو بعدی فاکتور A در برابر فاکتور B به صورت پیش‌فرض بتدریج از کم رنگ به صورت پررنگ تغییر می‌کند.

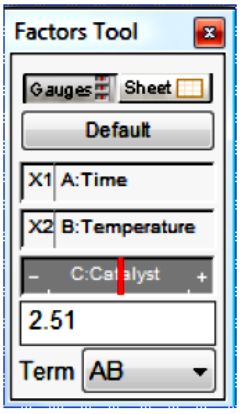


گراف کنتور سطح پاسخ

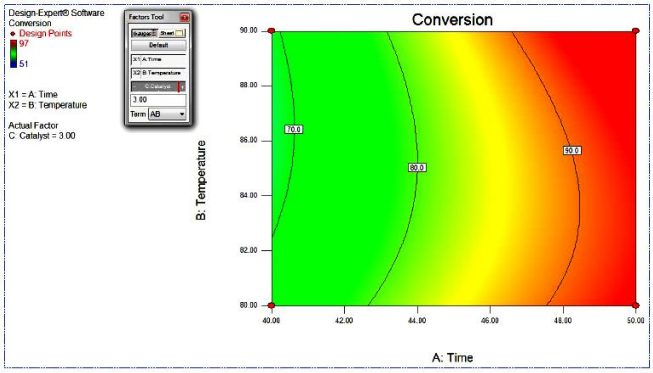
توجه کنید که Design-Expert هر نقطه واقعی درون فضای طرح را نشان می‌دهد. در این مورد شما گراف ضریب تبدیل حاصل از اثر زمان و دما با میزان متوسط کاتالیست را مشاهده

می‌نمایید. اینجا 6 نقطه مرکزی داریم که با نقطه در مرکز گراف کنتور نشان داده شـده اسـت. با تکرار نقاط مرکزی، شما توان تخمین بالایی در مرکز طرح آزمایشی خواهید داشت.

صفحه Factors Tool به صورت شناور به همراه گراف پیش‌فرض نمایش داده می‌شود. بـرای حرکت دادن این صفحه شناور به راحتی می‌توانید روی نوار آبی رنگ بالایی آن کلیک کـرده و به محلی که می‌خواهید حرکت دهید. این نوار ابزار کنترل می‌کنـد کـه چـه فاکتورهـایی روی گراف ترسیم شوند. گزینه Gauges نزدیک بالای ابزار شناور به صورت پیش‌فرض فعال است. هر کدام از فاکتورها که دارای عنوان محور است بیانگر این است که کدام دو فاکتور در کنارهم ترسیم شدهاند و خط قرمز رنگ متحرک به شما کمک می‌نماید تا فـاکتور ترسـیم نشـده روی گراف را کنترل نموده و مقادیر آن را تغییر دهید. تمام خطوط قرمز رنگ به صورت پیش‌فرض روی نقطه میانی هر فاکتور قرار می‌گیرند. شما می‌توانید سطوح هر فـاکتور را بـا حرکـت دادن خط قرمز رنگ فعال کنید یا روی نام فاکتور کلیک راسـت نمـوده و آن را فعـال کنیـد)بـدین ترتیب پررنگ شده(و سـپس مقـدار مـورد نظـر را در بخـش عـددی نزدیـک انتهـای صـفحه Factors Tool وارد نمایید. روی نوار ابزار C:Catalyst کلیک نموده تا مقدار آن را مشاهده نمایید. نگران جابجا شدن خط قرمز رنگ نباشید، در یک لحظه می‌توانید دوبـاره آن را تنظـیم نمایید.

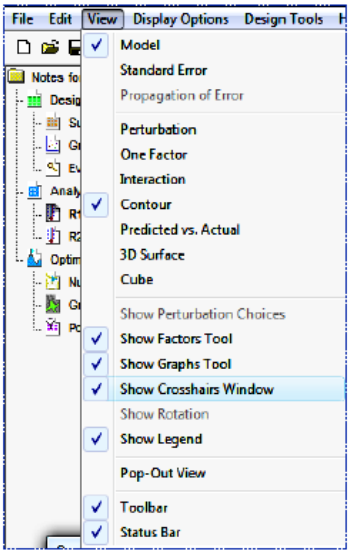


صفحه Factors Tool که نشان می‌دهد C پررنگ شده است. با کلیک چپ موس خط قرمز رنگ را به سمت راست حرکت دهید.



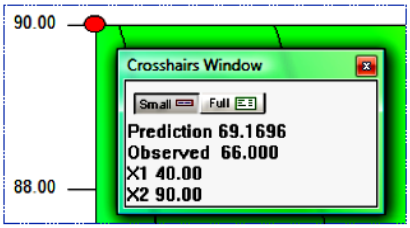
نوار قرمز رنگ فاکتور C که به سمت راست حرکت کرده و دارای مقادیر بالاتری می‌باشد.

با توجه به نقشه رنگی نشان داده شده در سمت چپ صفحه می‌بینید که هر چه به مقادیر بیشتر پاسخ نزدیک می‌شویم سطح پررنگ‌تر می‌شود، میزان ضریب تبدیل در محدوده 80 درصد زرد رنگ و بالاتر از 90 درصد قرمز رنگ نشان داده شده است. برای فعال سازی ابزار به صورت دستی برای قرائت کنتورهای مورد نظر از قسمت View گزینه Show Crosshairs Window را فعال کنید.



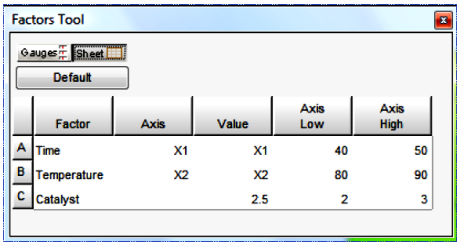
نمایش پنجره Crosshairs

حالا موس خود را روی گراف کنتور حرکت داده و توجه کنید که Design-Expert پاسخ پیش‌بینی شده مقادیر فاکتور ویژه در نقطه مورد نظر را ایجاد می‌نماید. اگر شما روی نقطه واقعی برای مثال نقطه‌ای در گوشه سمت چپ گراف روی صفحه بایستید، باز هم می‌توانید مقادیر مشاهده را ببینید (در این مورد مقدار 66).



پیش‌بینی مقادیر 40 و 90 که در آنها آزمایشات واقعی انجام شده است.

حالا روی دکمه Default روی نوار ابزار شناورFactors Tool برای برگرداندن فاکتور C به مقدار قبلی خود یعنی نقطه وسط کلیک کنید. سپس برای تغییر دادن جهت مشاهده به صورت صفحه‌ای روی دکمه Sheet کلیک کنید.



نوار ابزار Factors Tool با Sheet view

در ستون محورها و مقادیر شما می‌توانید تنظیم محورها یا مقادیر ویژه فاکتورها را تغییر دهید. با کلیک کردن روی دکمه Gauges دوباره به حالت پیش‌فرض برگردید.

در پایین Factor Tool یک لیست پایین رونده وجود دارد که می‌توانید با آن فاکتورهای مورد نظر برای ترسیم را انتخاب کنید. تنها عبارت‌هایی که در مدل وجود دارد در این لیست دیده می‌شود. اگر شما تنها یک فاکتور (مثل A) را انتخاب کنید گراف به صورت یک فاکتوره رسم می‌شود. از این نقطه نظر، اگر شما عبارات اثر متقابل (مثل AC) را انتخاب کنید، گراف

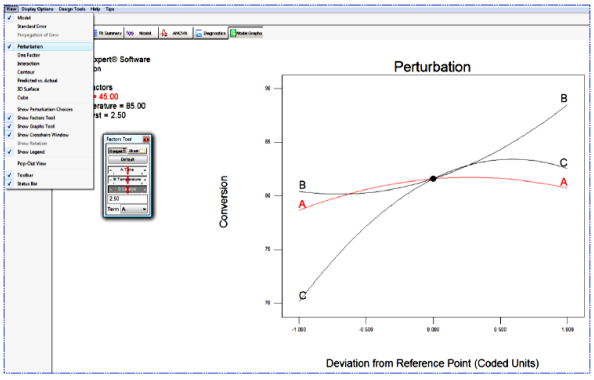
حاصل اثر متقابل دو تایی را رسم می‌کند. برای بازگشت به حالت گراف کنتور از منوی View

گزینه کنتور را انتخاب کنید و یا در نوار ابـزار شـناور Graph Tool روی Contour کلیـک کنید.

Perturbation Plot

ترسیم تمام فاکتورها روی یک گراف پاسخ امکان‌پذیر نیسـت؟ شـما بـا Perturbation plot می‌توانید این کار را انجام دهید بدین ترتیب نیمرخ[4] سطح پاسخ بدست می‌آید. مزایـای واقعـی این گراف زمان انتخاب محورها و ثابت‌ها در کنتور و ترسیم سه بعدی ملموس می‌باشد.

می‌توانید از طریق منوی View گزینه Perturbation را فعال نمایید و یا با کلید کردن روی Graph Tool آن را ترسیم نمایید. در طرح‌های سـطح پاسـخ، Perturbation plot نشـان می‌دهد که چگونه پاسخ با تغییر هر یک از فاکتورها نسبت به نقطه مرجع با ثابت نگـه داشـتن سایر فاکتورها تغییر می‌کند. معمـولا، نـرم‌افـزار Design-Expert ایـن نقطـه را بـه صـورت پیش‌فرض روی نقطه وسط فضای طرح (که با عدد صفر کدشده است)، تنظـیم مـی‌کنـد. روی دکمـــه پـــیش‌فـــرض روی ابـــزار شـــناور Graph Tool بـــرای دیـــدن Perturbation plot این نقطه کلیک کنید.



Perturbation plot با فاکتور A که با کلیک کردن پررنگ شده است.

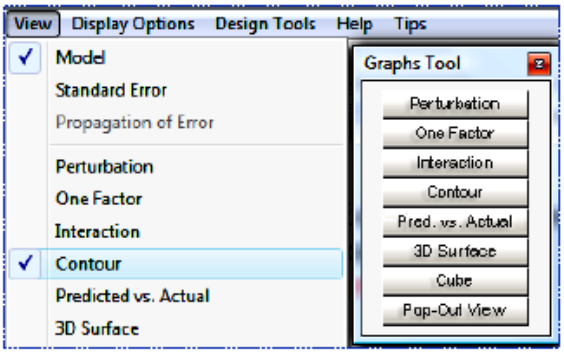
برای بهتر دیدن فاکتور A روی منحنی، کلیک کنید. نرم‌افزار این فاکتور را با رنگ دیگـری بـه صورت پررنگ نشان می‌دهد. علائم اختصاری نیز به صورت پررنگ دیده می‌شود. (جالب اسـت،

[4] silhouette

روی آن کلیک کنید تا تغییرات را ببینید(. در این حالت، در نقطه مرکزی، می‌بینید که فاکتور A)زمان(اثر نسبتا کوچکی را داشته و تغییر نسبت به نقطه مرجع را نشان می‌دهد. بنابراین، از آنجائیکه شما تنها می‌توانید کنتورهای دو فاکتوره را در یک زمان ترسیم کنید، به نظر می‌رسد که بخشی از A را انتخاب نموده و اثر متقابل B و C را رسم نمایید.

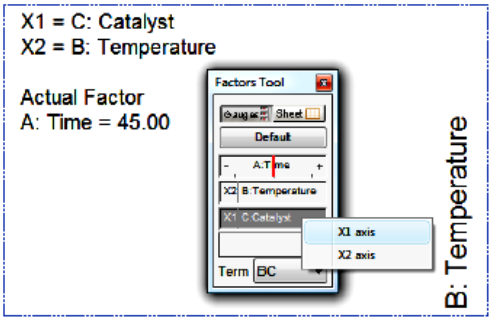
گراف کنتور: مشاهده دوباره

بیایید نگاهی به گراف کنتور B و C بیاندازیم. دوباره از طریق منوی View و انتخاب Contour یا با کلیک روی ابزار شناور Graphs Tool به گراف‌های کنتور باز می‌گردیم.



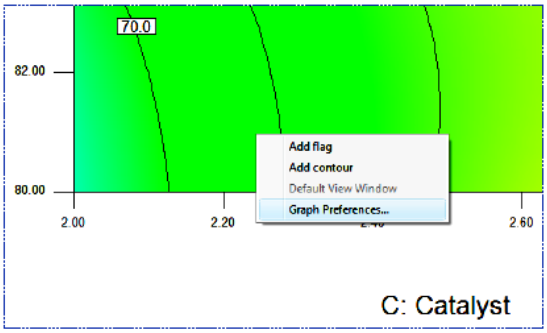
بازگشت به نمایش کنتور

روی نوار Catalyste در Factors Tool کلیک راست نمایید. سپس با کلیک چپ X1 axis را انتخاب نمایید.



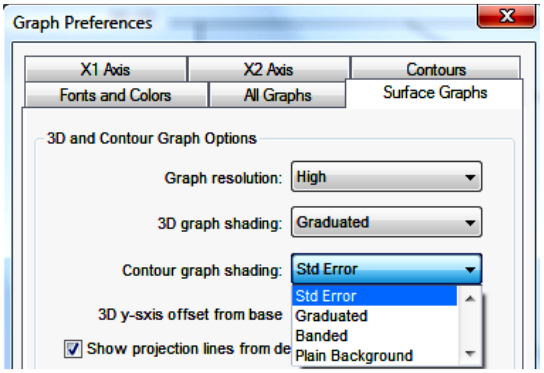
تبدیل فاکتور C به عنوان محور X1

حالا شما گراف ضریب تبدیل حاصل اثر کاتالیسیت در دماهای آزمایشی در وسط زمان به صورت ثابت می‌بینید. گراف‌های رنگی زیباست ولی اگر مجبور باشید که به صورت سیاه و سفید پرینت کنید، چه باید کرد؟ براحتی روی گراف کلیک راست نموده و Graph Preferences را انتخاب نمایید.



Graph Preferences

نزدیک بالای سمت راست Graph Preferences روی Surface Graphs کلیک کنید. سپس، Contour graph shading را به Std Error تغییر دهید.

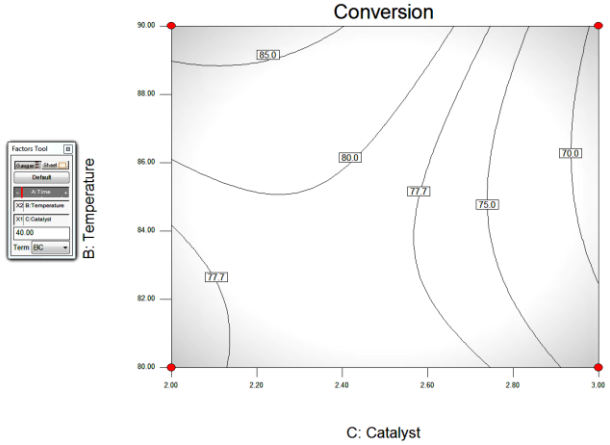


تغییر گراف سه بعدی و سایه گراف کنتور

روی OK کلیک نموده تا تغییرات را روی گراف مشاهده نمایید.

فاکتور A:time را روی ابزار شناور Factors Tool با کشیدن خط قرمز رنگ به سمت چپ تغییر دهید. نگاه کنید که چگونه روی شکل کنتور اثر می‌گذارد. همچنین توجه کنید که

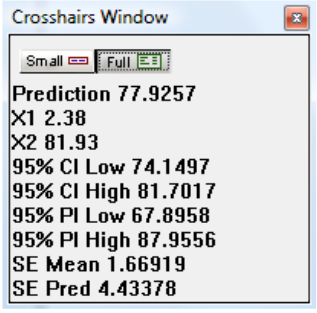
چگونه گراف با رسیدن به بالاترین مقدار فاکتور تیره‌تر می‌شود. بدین ترتیب، شما به نقاط بیرونی طرح نزدیک می‌شوید. دقت کنید که از این ناحیه خارج نشوید!



گراف کنتور با سایه خطای استاندارد (زمانی که فاکتور A روی پایین‌ترین سطح تنظیم شده است.)

خط قرمز رنگ را با فشردن Default به نقطه مرکزی خود برگردانید.

الان دیگر شکی ندارید که گراف کنتور این نرم‌افزار بسیار جذاب می‌باشد. برای مثال، موس خود را به هر جا که می‌خواهید حرکت دهید. توجه کنید که موس به (□) crosshair تبدیل شده و پیش‌بینی در محل X1-X2 در Crosshairs Window به صورت شناور ظاهر می‌شود. (اگر crosshairs را مشاهده نمی‌کنید از منوی View گزینه Show Crosshairs Window را انتخاب کنید.) برای دیدن جزئیات بیشتر آماری مثل PI، که برای پیش‌بینی فاصله بخصوص بسیار مفید است، روی دکمه Full کلیک نمایید.

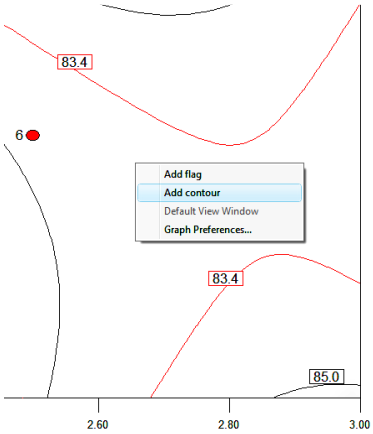


Crosshairs Window، که روی نمایش کامل اطلاعات آماری تنظیم شده است.

نگاه کنید که اعداد چگونه با حرکت کردن موس روی گراف تغییر می‌کنند. برای کاهش میزان اطلاعات دریافتی، روی دکمه **Small** کلیک کنید.

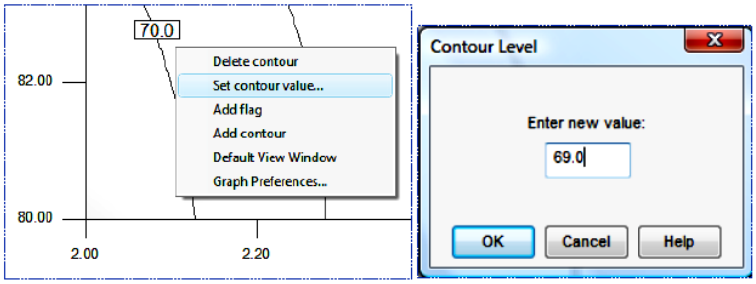
نرمافزار دامنه‌ای از سطوح پاسخ را به صورت پیش‌فرض نشان می‌دهد. برای پررنگ شدن هر یک از خطوط کنتور روی آن کلیک کنید. می‌توانید کنتور را با کشیدن آن به سمت یک سطح جدید حرکت دهید.)موس را روی کنتور قرار داده و دکمه چپ موس را نگه دارید و آن راحرکت دهید.(این کار را انجام دهید و از آن لذت ببرید.

همچنین می‌توانید با کلیک راست کردن یک خط کنتور جدید ایجاد کنید. یک جای خالی روی گراف پیدا کنید و امتحان کنید: کلیک راست نموده وAdd contour را انتخاب نمایید. سپس کنتور را به اطراف بکشید)به صورت پررنگ در می‌آید(. شما امکان دارد دو کنتور از یک کلیک برای مواردی که دارای پاسخ یکسان هستند بدست آورید، همانطور که در زیر نشان داده شده است.)این الگو بیانگر فرورفتگی سطحی و کم عمق می‌باشد که در زمان استفاده از نمای سه بعدی ظاهر می‌شود.(



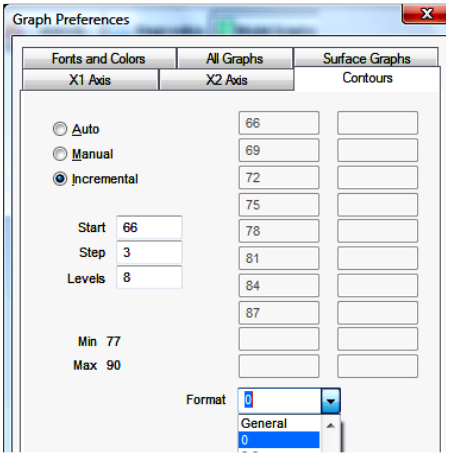
افزودن کنتور

برای بدست آوردن سطوح دقیق‌تر از کنتورها برای گزارش نهایی می‌توانید روی هر کنتور کلیک راست نموده و مقادیر دلخواه خود را وارد نمایید.



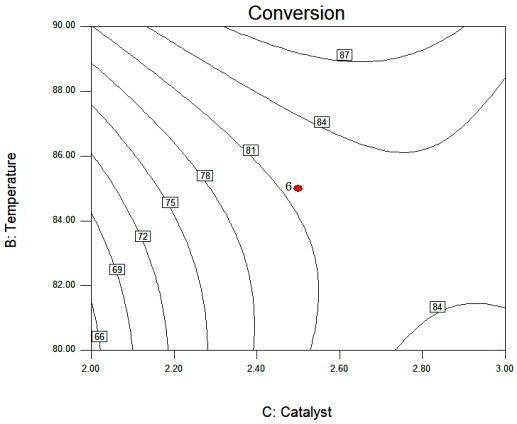
تنظیم مقادیر کنتور

روش دیگری را نیز پیشنهاد می‌کنیم: روی محل ترسیم گراف یا سطح مشخص شده گراف، کلیک راست نموده و Graph Preferences را انتخاب نمایید. سپس Contours را انتخاب نمایید. حالا گزینه Incremental را انتخاب نموده و در بخش Start عدد 66، در Step عدد 3 و Levels را 8 وارد کنید. همچنین در بخشFormat عدد صفر (0) را انتخاب کنید تا عدد به صورت کامل (بدون ممیز) نمایش داده شود. صفحه نمایش شما باید با شکل زیر تطبیق نماید.



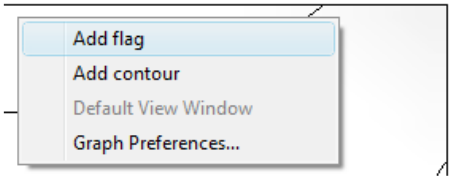
بخش تنظیم کنتور: گزینه Incremental

روی OK برای بدست آوردن گراف کنتور قابل رویت کلیک کنید.



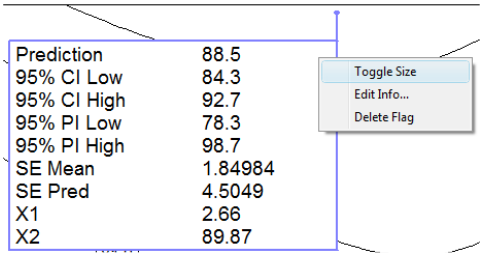
گراف کنتور با افزایش تعداد کنتورها

موس خود را به نقطه ای نزدیک بالای گراف جایی کـه پاسـخ مـاکزیمم اسـت، ببریـد. کلیـک راست نموده و Add flag را انتخاب کنید.



افزودن یک پرچم

پرچم مقادیر پاسخ را در این نقطه نشان می‌دهد. حالا روی پـرچم جدیـد ظـاهر شـده کلیـک کنید و Toggle size را انتخاب نمایید.



افزایش اندازه پرچم از طریق Toggle size

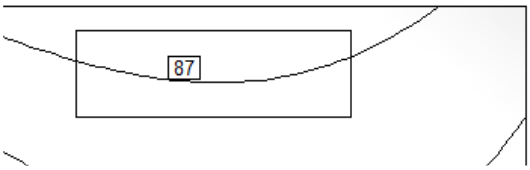
پرچم بزرگ شده فاصله اطمینان 95 درصدی)CI(از میانگین پیش‌بینی را نمایش مـی‌دهـد. همچنین، فاصله پیش‌بینی)PI(را نیز ایجاد می‌نماید. از این موارد برای مـدیریت انتظـارات و تایید هر یک از آزمایشات نزدیک نقطه مورد نظر استفاده می‌شـود. PI بیـانگر ایـن اسـت کـه چگونه متغیر طبیعی در فرایند، نمونه و آزمایش بعلاوه خطـای میـانگین (SE mean) باعـث اختلاف میان مقادیر واقعی و پیش بینی شده می‌شود. پرچم بزرگتر لیستی از نقاط متناسب را نشان می‌دهد.

آیا شما با TMI)اطلاعات بیش از حد(دچار مشکل شده اید؟ با راسـت کلیـک روی پـرچم و انتخاب Edit Info موارد کمتری برای نمایش نشان داده خواهد شد.

Edit Info که روی پرچم نشان داده شده است

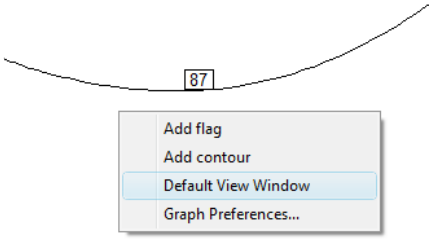
الان روی Cancel کلیک نموده و محتویات پرچم را بدون تغییرات تـرک کنیـد. اگـر پرینتـر دارید، می‌توانید براحتی از منوی file گزینه print را انتخاب نموده و گراف کنتـور را پرینـت کنید. حالا روی پرچم راست کلیک نموده و Delete Flag را انتخاب نمایید.

برای بزرگتر کردن سطح پاسخ در نقطه ماکزیمم، crosshairs را مکان یابی نموده و با پـایین نگه داشتن دکمه سمت چپ موس، روی منطقه مورد نظر خود بکشید.



بزرگ نمایی در منطقه مورد نظر با کشیدن یک خط اطراف منطقه

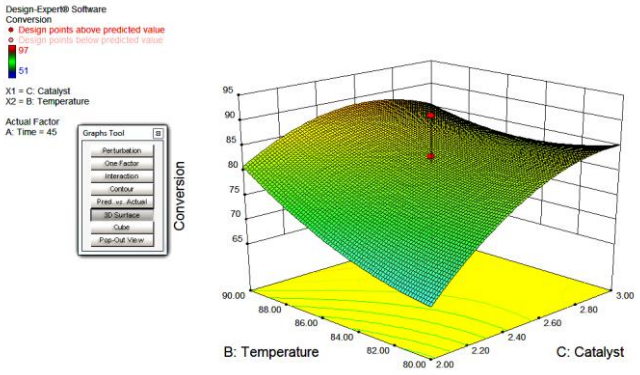
توجه کنید که چگونه تناسب گراف تغییر پیدا می‌نماید. واضح است الان لازم دارید که کنتورهای بیشتری با توجه به اطلاعاتی که از قبل آموخته اید، رسم نمایید. بنابراین، زمان بیشتری در این قسمت صرف نمی‌کنیم و با راست کلیک روی گراف، Default View Window را انتخاب می‌کنیم.



برگرداندن به منطقه پیش‌فرض (دامنه فاکتوریل در طرح CCD)

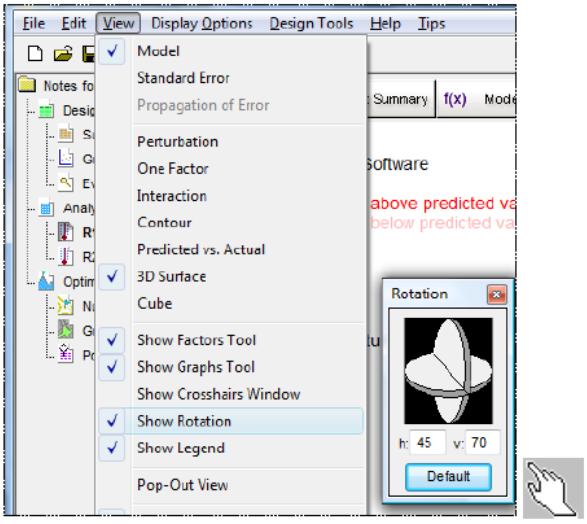
ترسیم سطح سه بعدی

حالا دقیقا می‌توانید حس کنید که چگونه پاسخ به عنوان عملکرد دو فاکتور انتخاب شده، تغییر می‌کند و برای نمایش از ابزار شناور Graphs Tool بخش 3D Surface را انتخاب کنید. سپس می‌توانید سطح پاسخ را سه بعدی مشاهده نمایید. اگر طرح مختصات نقاط واقعی را در بر بگیرد، در گراف نشان داده خواهد شد.



گراف سه بعدی سطح پاسخ

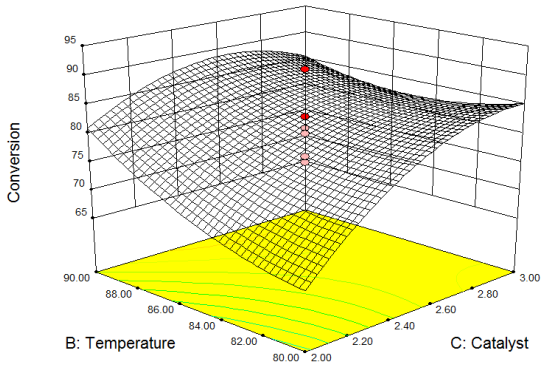
شما می‌توانید دو نقطه بالای سطح ببینید، اما طرح دارای بیشتر از دو نقطه مرکزی می‌باشد. این نقاط، برای تشخیص بهتر به صورت ملایم سایه دار شده و زیر سطح قرار گرفته‌اند. شما می‌توانید زیر سطح را با چرخاندن گراف از طریق نگه داشتن آنها و حرکت دادن موس ببینید. موس با قرار گرفتن روی گراف به شکل دست در می‌آید. سپس کلیک کرده و دکمه سمت چپ موس را نگه داشته و بکشید. امتحان کنید! راه دیگر برای انجام این کار منوی View و انتخاب گزینه Show Rotation برای ظاهر شدن ابزار مربوطه می‌باشد.



ابزار چرخش

موس را روی ابزار قرار دهید. سر موس به شکل دست در می‌آید. حالا از دست برای چرخاندن چرخ به صورت افقی و عمودی استفاده کنید.

زمان استفاده از ابزار Rotation با گرفتن گراف با موس، به تغییرات سطح سه بعدی دقت کنید. جالب است! وقتی گراف به صورت شفاف در می‌آید می‌توانید نقاط پنهان را نیز که زیر سطح است، مشاهده نمایید. توجه کنید که چطور نقاط زیر سطح کم رنگ‌تر نشان داده می‌شوند.

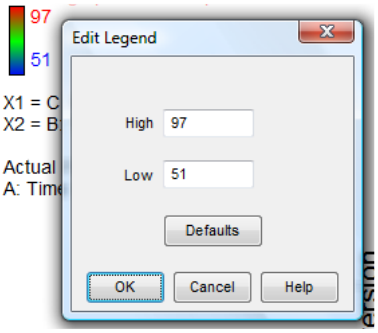


نمای شفاف سطح چرخیده و بهتر دیده شدن نقاط

بعد از چرخاندن نمودار می‌توانید آن را با دکمه Default به حالت پیش‌فرض برگردانید. بدین ترتیب گراف به حالت اولیه خود بر می‌گردد. همچنین، توجه کنیدکه می‌توانید محورهای افقی (“h”) و عمودی (“v”) را برای آن تعریف کنید.

بد نیست بدانید که نرم‌افزار گزینه‌های بسیاری را برای گراف سه بعدی از طریق graph preferences در اختیار قرار می‌دهد، این گزینه را می‌توان با راست کلیک روی گراف بدست آورد. برای مثال، اگر شما شیب رنگ را نمی‌پسندید، از طریق قسمت Surface Graphs گراف سه بعدی را به the wire frame view تغییر دهید، بدین ترتیب ظاهر شفافی بدست می‌آید که می‌تواند برای پرینت گراف به صورت سیاه وسفید مناسب باشد.

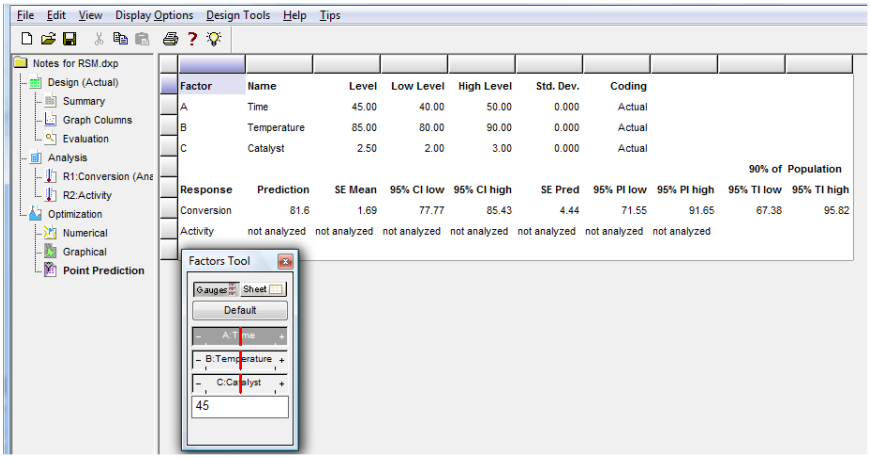
اگر می‌توانید رنگ‌ها را نمایش دهید و می‌خواهید توجه را به سطح بخصوصی جلب کنید، تغییر شیب رنگی را در نظر بگیرید. این کار را می‌توانید از طریق کلیک راست روی gradient و بالا آمدن Edit Legend انجام دهید.



ویرایش Legend dialog box برای تغییر شیب رنگ

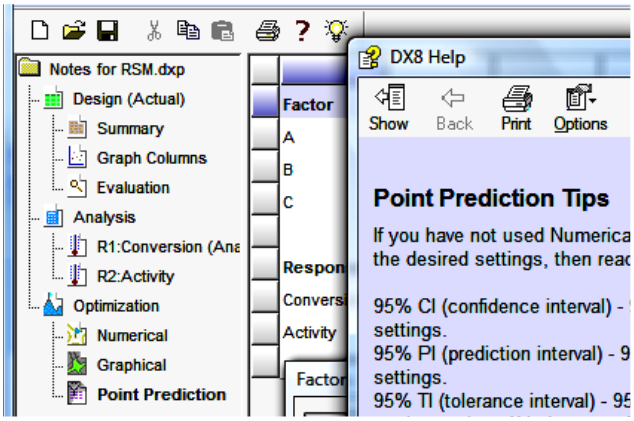
پیش بینی پاسخ

این بخش به شما اجازه می‌دهد که پاسخ‌های پیش بینی شده بـرای هـر سـری از فاکتورهـا را بدست آورید. برای این کار روی شاخه Point Prediction در زیرمجموعه Optimization (پایین‌ترین قسمت چپ صفحه) کلیک کنید.



پیش‌بینی نقطه

مقداری زمان صرف کنید تا نکات مربوط به صفحه را در زمینه اطلاعات آماری مطالعـه کنیـد. برای دسترسی به نکات آیکون لامپ روشن روی نوار ابزار را کلیک کنید.



نکات مربوط به صفحه در بخش Point Prediction

آنالیز داده‌ها برای پاسخ دوم

این مرحله نیز طولانی است. اطلاعات را برای پاسخ دوم، میزان فعالیت آنالیز نمایید. اطمینان حاصل کنید که چندجمله‌ای مناسبی را برای برازش داده‌ها بدست آورده اید، خطاها و گراف سطح پاسخ را امتحان کنید. راهنمایی: مدل صحیح یک مدل خطی می‌باشد.

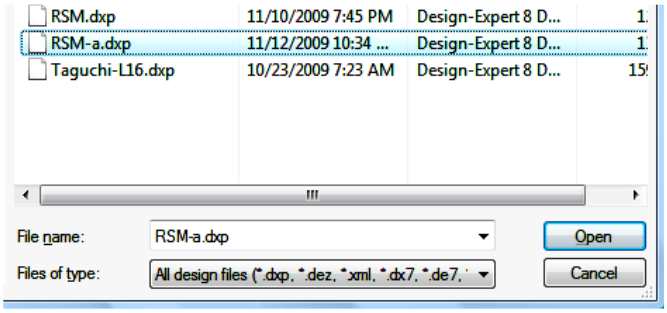
قبل از خارج شدن، از منوی File گزینه Save را انتخاب نمایید. بدین ترتیب، نرم‌افزار مدل شما را ذخیره خواهد نمود. برای خارج شدن از نرم‌افزار، از منوی File گزینه Exit را انتخاب نمایید. نرم‌افزار دوباره به شما اخطار می‌دهدکه آیا می‌خواهید تغییرات را ذخیره کنید. سپس از برنامه خارج می‌شوید.

بهینه‌سازی

برای ادامه آموزش از فایل آماده آنالیز تحت عنوانRSM-a.dxp که در بخش قبلی ذخیره کردید، استفاده کنید. برای باز کردن فایل مذکور از منوی فایل، گزینه Open Design را انتخاب نمایید یا از آیکون Open Design فایل حاوی اطلاعات را بارگذاری نمایید.

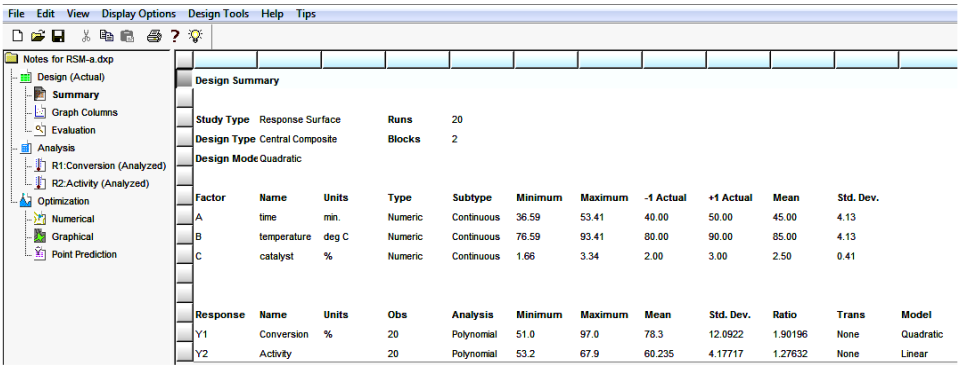
باز کردن Open Design

بدین ترتیب صفحه مربوط برای باز کردن فایل را مشاهده خواهید نمود.



باز کردن فایل مورد نظر

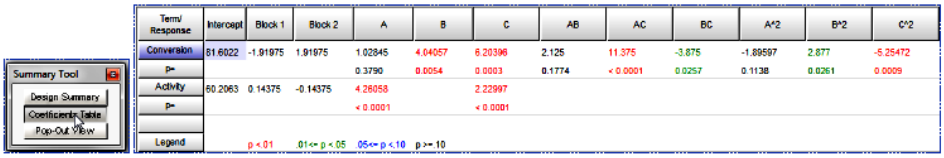
بعد از باز کردن فایل RSM-a.dxp برای دیدن مشخصات فایل در سمت چپ صفحه شاخه Summary را انتخاب کنید. در سمت راست مشخصات طرح آنالیز شده دیده می‌شود. می‌توانید ببینید که ضریب تبدیل با مدل درجه دوم و میزان فعالیت با مدل خطی مدل‌سازی شده‌اند.



خلاصه طرح

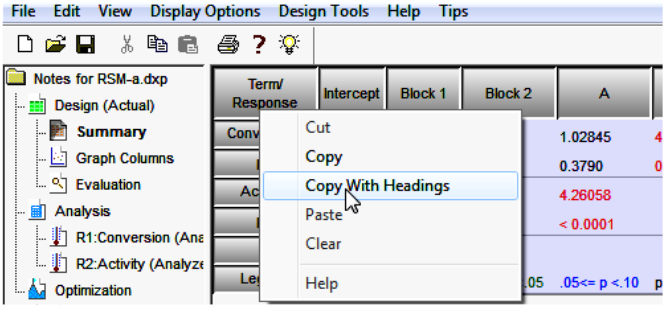
روی صفحه ابزار Summary Tool روی دکمه Coefficients Table کلیک کنید. این جدول مقایسه مناسبی از ضرایب را برای تمام پاسخ‌ها ایجاد می‌کند. این کار روی فاکتورهای کد شده انجام می‌گیرد. بنابراین، شما می‌توانید در مورد اثرات نسبی نتیجه‌گیری نمایید. برای مثال، توجه کنید که ضریب AC (11/375) در معادله درصد تبدیل بسیار بیشتر از ضریب فاکتور B (4/04057) می‌باشد. این امر نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه اثر متقابل AC

بیشتر از فاکتور B روی ضریب تبدیل اثر می‌گذارد. ضرایب در جدول با استفاده از رنگ‌ها با توجه به p-value کد شدها ند و در یک نظر می‌توان براحتی میزان معنی‌داری هر یک از عبارات را تعیین نمود. در مثال ما، از مدل درجه دوم کامل استفاده شده است. بنابراین، برخی عبارات کم اهمیت‌تر)که با رنگ مشکی نشان داده شده است(باقی می‌مانند، اگرچه در سطح 0/1 درصد معنی‌دار نمی‌باشند.



جدول ضرایب

برای کپی کردن این جدول جهت استفاده در گزارش، روی سرستون سمت چپ (Term/Response) کلیک چپ کنید تا جدول پررنگ شود، سپس کلیک راست نموده و عبارت Copy With Headings را انتخاب نمایید. حالا شما می‌توانید جدول را در محل مورد نظر در نرم‌افزار واژه پرداز یا صفحه گسترده بچسبانید.

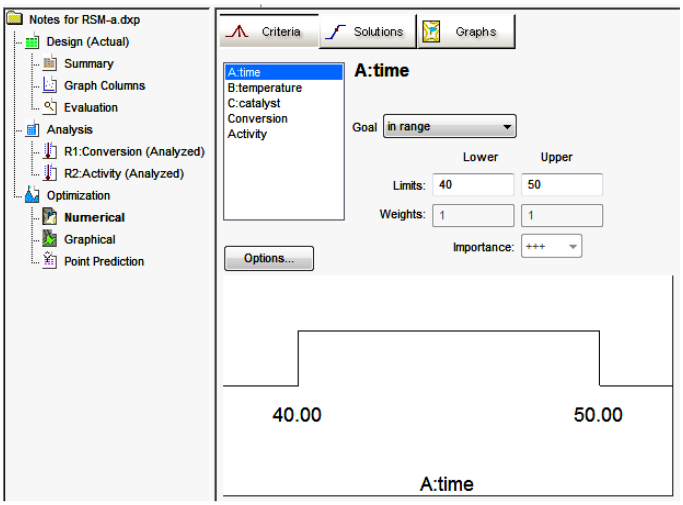


کپی کردن جدول ضرایب

بهینه‌سازی عددی

در این بخش نرم‌افزار می‌تواند بهینه‌سازی را در راستای ماکزیمم، مینیمم نمودن یا به میزان مشخصی رساندن یک پاسخ به تنهایی یا ترکیبی از دو یا بیشتر پاسخ انجام دهد.

در اینجا بهینه‌سازی روی چند پاسخ به صورت همزمان انجام می‌شود. در شاخه بهینه‌سازی در بخش چپ صفحه روی زیر شاخه Numerical برای شروع کلیک کنید.



تنظیم شرایط بهینه‌سازی عددی

تنظیم شرایط بهینه‌سازی

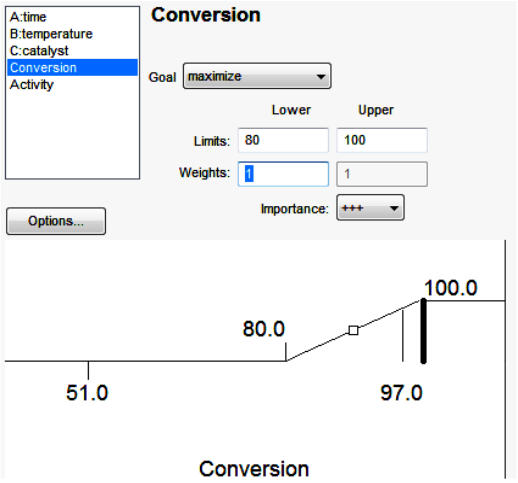
نرم‌افزار به شما این اجازه را می‌دهد که شرایط شامل فاکتورها و propagation of error (POE) را برای تمام متغیرها تنظیم نمایید (جلوتر به مطالعه POE خواهیم پرداخت.) در منطقه‌ای که این طرح آزمایشی تخمین بسیار دقیقی را ایجاد می‌کند، برنامه دامنه فاکتورها را با سطوح فاکتوریل (به میزان ±1 در مقادیر کد شده) تنظیم می‌نماید. پاسخ به صورت پیش‌فرض به مقادیر اکسترمم مشاهده، محدود می‌شود. در این حالت، شما باید تنظیماتی را روی فاکتورهای زمان، دما و کاتالیست به تنهایی انجام دهید، اما لازم خواهید داشت که تغییراتی را در شرایط پاسخ ایجاد نمایید.

حالا به سخت‌ترین قسمت بهینه‌سازی عددی، تنظیم پارامترهای بهینه‌سازی، می‌رسیم. برنامه از پنج احتمال به عنوان هدف برای ایجاد مطلوبیت دلخواه (di) به صورت ماکزیمم کردن، مینیمم کردن، عدد مشخص، در دامنه و برابر با (تنها مربوط به فاکتورها) استفاده می‌نماید.

برای هر پاسخ، میزان مطلوبیت بین صفر و یک تغییر می‌کند. برنامه هر یک از مطلوبیت‌ها را به یک عدد تبدیل نموده، آنها را با هم ترکیب نموده و سپس به دنبال بزرگترین عدد مطلوبیت

می‌گردد. عدد یک بیانگر بیشترین مطلوبیت می‌باشد. عدد صفر نشان می‌دهد که یک یا بیشتر از یک پاسخ خارج از میزان مطلوبیت می‌باشد. نرمافزار از روش بهینه‌سازی درینگر و سوئیچ[5] استفاده می‌نماید[6].

در مورد مطالعهآموزشی، فرض می‌کنیم که شما می‌خواهید ضریب تبدیل را افزایش دهید. روی Conversion کلیک کنید و Goal را روی maximize تنظیم نمایید. همانطور که در زیر نشان داده، Lower Limit را روی 80)کمترین مقدار قابل قبول(و Upper Limit را روی 100)بیشترین میزان از نظر تئوری(تنظیم نمایید.



تنظیم شرایط میزان ضریب تبدیل

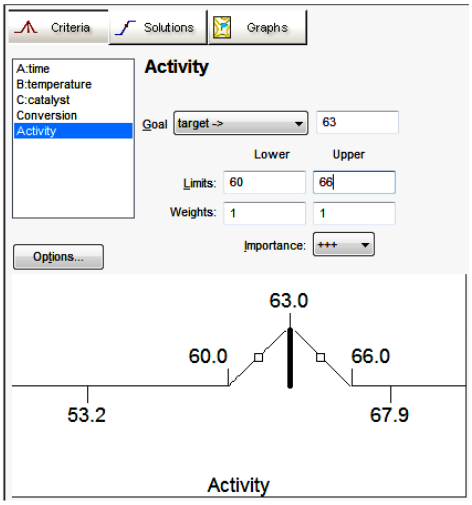
باید هر دو آستانه را تعریف کنید تا معادله مطلوبیت به صورت مناسب کار کند. به صورت پیش‌فرض، آستانه در دامنه پاسخ مشاهده شده تنظیم می‌شود، در این حالت 51 تا 97 می‌باشد. با افزودن بالاترین حد میزان مطلوبیت تا 100، ما هدف خود برای ماکزیمم کردن پاسخ را گسترده کردیم. در غیر اینصورت، امکان دارد توانایی بهینه‌سازی خود را کم کنیم.

حالا روی پاسخ دوم که Activity است، کلیک کنید. Goal را روی target قرار داده و عدد 63 تنظیم کنید. Lower Limits و Upper Limits را به ترتیب 60 و 66 وارد کنید. این

[5] Derringer and Suich

[6] Described by Myers, Montgomery and Anderson-Cook in *Response Surface Methodology*, 3rd edition, John Wiley and Sons, New York, 2009

محدودیت‌ها مطلوب‌ترین دامنه برای رسیدن به هدف یعنی 63 را تامین می‌کند اما مقـادیر در دامنه 60 و 66 برای ما قابل قبول می‌باشد. مقادیر خارج از این دامنه غیر قابل قبول می‌باشد.



تنظیم شرایط فعالیت

تنظیمات بالا معادلات مطلوبیت زیر را ایجاد می‌کند:

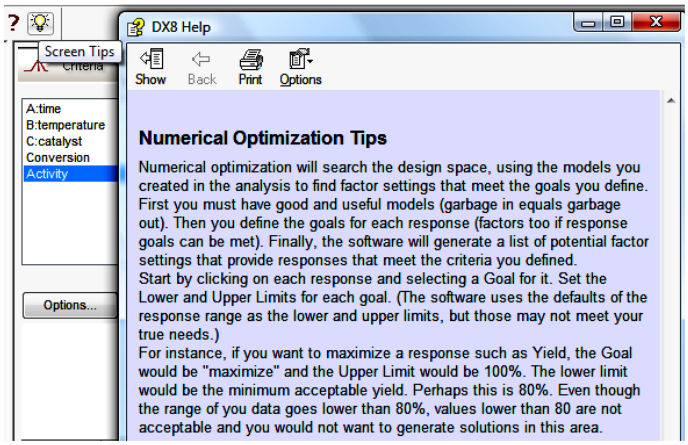
1- ضریب تبدیل:

- اگر کمتر از 80 درصد باشد، مطلوبیت مساوی صفر است.
- بین 80 تا 100 درصد باشد، مطلوبیت به سمت یک افزایش پیدا می‌کند.
- اگر بیشتر از 100 درصد باشد، مطلوبیت برابر یک است.

2- فعالیت:

- اگر کمتر از 60 باشد، مطلوبیت برابر صفر است.
- از 60 تا 63 باشد، مطلوبیت از صفر به یک می‌رسد.
- از 63 تا 66 باشد، مطلوبیت از یک به صفر می‌رسد.
- اگر بیشتر از 66 باشد، مطلوبیت برابر صفر است.

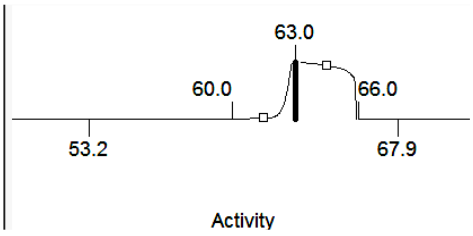
توجه کنید که شما می‌توانید از راهنما برای استفاده از نرم‌افزار Design-Expert به صـورت تخصصی با فشردن دکمه برای دیدن نکات بهینه‌سازی عددی استفاده نمایید.



صفحه راهنما

تغییر وزن‌های مطلوبیت یا اهمیت نسبی متغیرها

شما می‌توانید پارامترهای اضافه تحت عنوان weights برای هر پاسخ انتخاب کنید. وزن‌ها تاکید بیشتری را روی مرزهای بالایی یا پایینی یا مقادیر هدف اعمال می‌کند. با وزن یک، میزان مطلوبیت با مدل خطی از صفر تا یک تغییر می‌کند. وزن‌های بیشتر از یک (ماکزیمم وزن 10) تاکید بیشتر و وزن‌های کمتر از یک (مینیمم وزن 0/1) تاکید کمتری روی هدف اعمال می‌کنند. شما می‌توانید با کلیک کردن و کشیدن مربع روی خط مطلوبیت، بسرعت وزن‌ها را تغییر دهید. سعی کنید مربع سمت چپ پایین و سمت راست بالا را که در زیر نشان داده شده است، حرکت دهید.



تغییر وزن‌ها با گرفتن مربع‌ها توسط موس

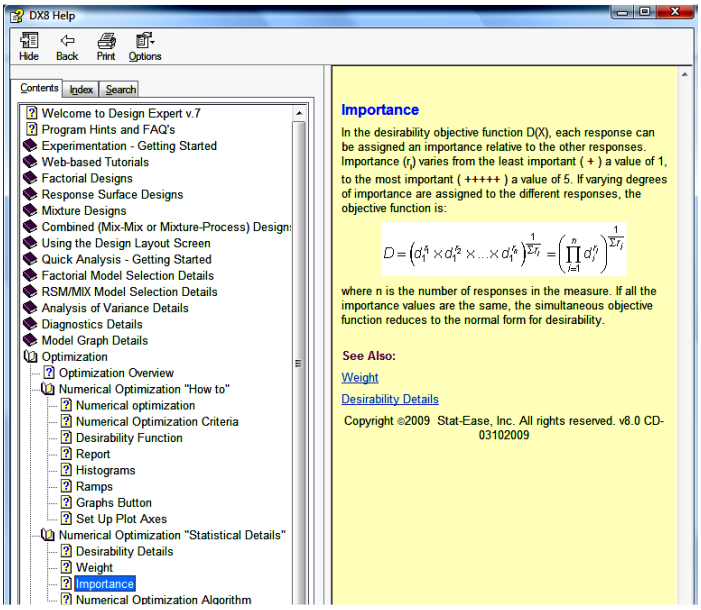
این شرایط بیانگر این امر است که مشتری شما می‌خواهد به هدف 63 برسد، اما اگر به این عدد نمی‌رسید بدلایل محدودیت های تجاری بوده و بهتر است تا حد امکان روی خطاها کار

کرده و به نزدیک‌ترین حالت ممکن به آن برسید. قبل از اینکه بـه آنـالیز ادامـه دهیـد، دوبـاره

سطوح بالا و پایین را وارد نموده و وزن آنها را روی یک تنظیم کنید. این امر باعث خطی شدن (□) شکل مطلوبیت می‌شود.

Importance ابزاری برای تغییر اولویت نسبی رسیدن به هدف برای تمام متغیرها یا برخی از آنها می‌باشد. اگر می‌خواهید روی یکی از فاکتورها بیشتر از بقیه تاکیـد کنیـد، Importance آن را روی مقادیر بالاتر تنظیم کنید. در نرم‌افزار 5 سطح اهمیـت بـین یـک مثبـت (+) تـا 5 مثبت (+++++) تعریف شده است. برای این بررسـی، بخـش Importance را روی +++ ، سطح متوسط تنظیم کنید. با قرار دادن تمام Importance ها روی میزان پیش‌فـرض همـه دارای درجه اهمیت یکسانی خواهند بود.

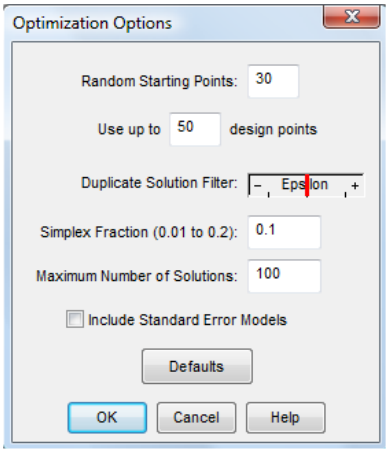
برای دیدن جزئیات آماری معادلات مطلوبیت، فرمول وزن‌ها و Importance، از منوی اصـلی Help، گزینه Topic Help را انتخاب نمایید. سپس روی Contents کلیک کنید. در شاخه Optimization بهینـه‌سـازی عـددی Statistical Details را انتخـاب نماییـد. سـپس می‌توانید Importance را در زیر مجموعه‌ها ببینید. با استفاده از ایـن بخـش مـی‌توانیـد بـه جزئیات بیشتری دسترسی پیدا کنید.



جزئیات شرایط بهینه‌سازی در زمینه Importance در بخش Help

بعد از دیدن Help، با فشردن X در گوشه سمت راست بالای صفحه از این قسمت خارج شوید. حالا روی دکمه Options برای کنترل بهینه‌سازی عددی کلیک کنید. برای مثال، شما می‌توانید تعداد دفعات)جستجو(در هر بهینه‌سازی را تغییر دهید. اگر شما ترکیب بسیار پیچیده‌ای از سطوح پاسخ داشته باشید، تعداد دفعاتی که به شما فرصت می‌دهد تا راه حل مناسب را پیدا کنید، افزایش می‌یابد. دو برابر کردن Solution Filter باعث می‌شود epsilon)اختلاف مینیمم(راه حل‌های یکسان ضرورتا حل شود. Simplex Fraction بیان می‌کند که چقدر مرحله اول نسبت به دامنه فاکتور بزرگ است. Simplex به شکل هندسی جستجو بستگی دارد. Simplex برای دو فاکتور، مثلث متساوی الاضلاع می‌باشد. با حرکت کردن از سه گوشه، نرمافزار مسیر شیبدار افزایشی را طی می‌کند. برای دیدن جزئیات در بخش Help عبارت numerical search algorithm را جستجو نمایید.

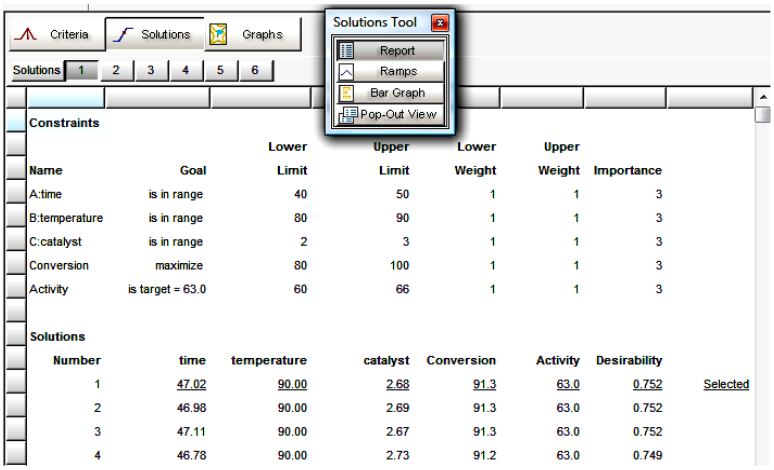
گزینه دیگر بهینه‌سازی، علاوه بر شروع از نقاط تصادفی، استفاده از تنظیمات نرمافزار نیز می‌باشد. تعداد نقاط اینگونه طرح‌ها به 50 تا محدود شده‌اند مگر اینکه شما این مقدار پیش‌فرض را تغییر دهید. تمام گزینه‌هایی را که در زیر نشان داده شده به صورت پیش‌فرض تنظیم کنید)توجه کنید در این صفحه حروف زیر خطداری را مشاهده می‌نمایید که برای پرش روی این گزینه‌ها می‌توانید از دکمه Alt استفاده نمایید(. برای بسته شدن گزینه‌های بهینه‌سازی روی OK کلیک کنید.



صفحه تنظیمات بهینه‌سازی

اجرای بهینه‌سازی

برای شروع بهینه‌سازی روی دکمه Solutions کلیک کنید.



Constraints

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:time	is in range	40	50	1	1	3
B:temperature	is in range	80	90	1	1	3
C:catalyst	is in range	2	3	1	1	3
Conversion	maximize	80	100	1	1	3
Activity	is target = 63.0	60	66	1	1	3

Solutions

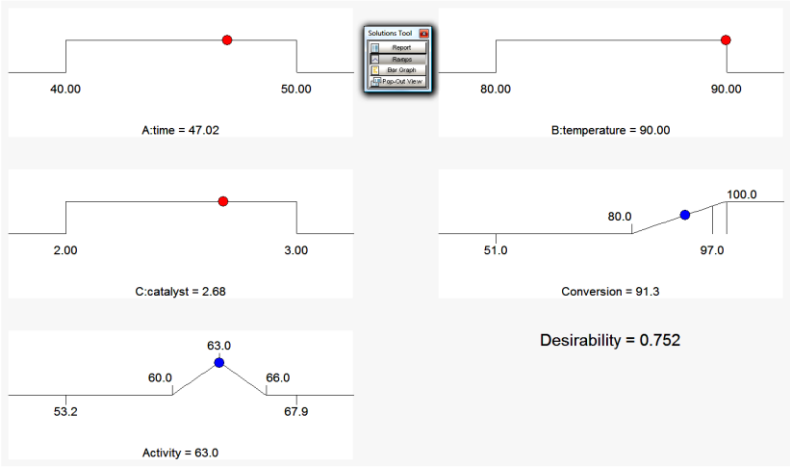
Number	time	temperature	catalyst	Conversion	Activity	Desirability	
1	47.02	90.00	2.68	91.3	63.0	0.752	Selected
2	46.98	90.00	2.69	91.3	63.0	0.752	
3	47.11	90.00	2.67	91.3	63.0	0.752	
4	46.78	90.00	2.73	91.2	63.0	0.749	

گزارش بهینه‌سازی در بخش Solutions (نتایج شما امکان دارد متفاوت باشد)

برنامه به صورت تصادفی یک سری شرایط را برای شروع جستجوی نتایج به دلخواه انتخاب می‌کند (نتایج شما امکان دارد متفاوت باشد). چند برابر شدن تعداد دفعات، نتایج متناقض بهینه‌سازی محلی چندتایی را بهبود داده و دارای میزان مطلوبیت بالاتری نسبت به سایرین خواهد بود. بعد از 39 دفعه بهینه‌سازی (30 مورد به صورت تصادفی، بعلاوه 9 نقطه طرح در منطقه فاکتوریل طرح مرکب مرکزی)، نرم‌افزار نتایج را به صورت جدول مرتب می‌کند. با توجه به استفاده از شرایط تصادفی، نتایج شما احتمالا با نتایج گزارش شده در بالا تاحدی متفاوت باشد.

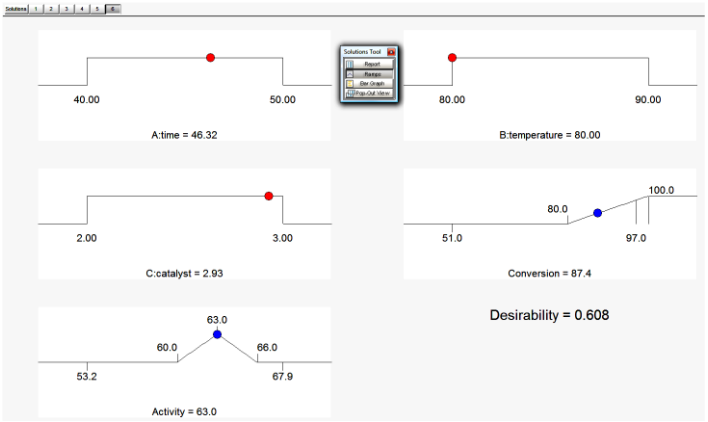
همانطور که جلوتر صحبت شد، اینها از فیلتری عبور می‌کنند. اگر می‌خواهید فیلتر را تنظیم نمایید، در گزینه Options میزان Duplicate Solutions Filter را تغییردهید. اگر روی نوار فیلتر به سمت راست حرکت کنید، تعداد نتایج قابل مشاهده کاهش پیدا می‌کند. در مقابل، با حرکت دادن نوار به سمت چپ تعداد نتایج قابل مشاهده افزایش پیدا می‌کند.

Solutions Tool سه مشاهده برای هر بهینه‌سازی در اختیار قرار می‌دهد)ابزار را بـه محـل مناسبی روی صفحه منتقل نمایید(. روی Solutions Tool کلیک نموده و گزینـه Ramps را ببینید.



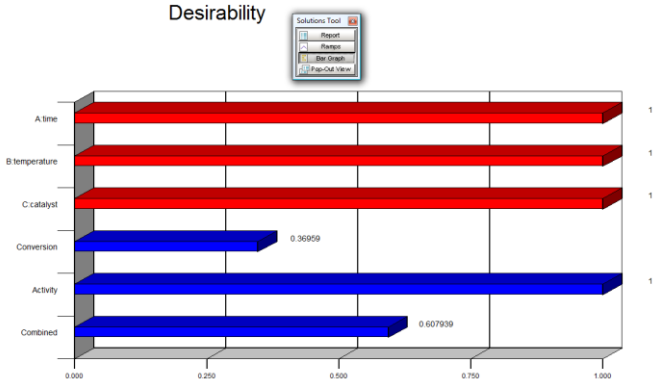
گزارش Ramps در بهینه‌سازی عددی

Ramp ترکیبی از گراف‌ها را برای شرح ساده‌تر نمایش می‌دهد. نقاط رنگـی روی هـر Ramp تنظیمات فاکتور یا پاسخ پیش‌بینی شده با توجه به راه حل را نشان مـی‌دهـد. موقعیـت نقـاط بیانگر میزان مطلوبیت آن فاکتور مـی‌باشـد. روی دکمـه راه حـل‌هـای متفـاوت (1، 2، 3 و ...) کلیک کنید تا نقاط را مشاهده نمایید. امکان دارد اختلاف‌های جزیی میان راه حل‌هـا مشـاهده نمایید. به هر حال، اگر از نزدیک دما را مورد بررسی قـرار دهیـد، شـما دو نقطـه بهینـه مجـزا مشاهده خواهید نمود، نقطه ای که نزدیک 90 درجه سانتیگراد است و بعدی کـه در محـدوده پایین لیست نزدیک 80 درجه سانتیگراد است (شما امکان دارد اختلاف جزیی در نتایج داشته باشید که بدلیل تنوع در دسترسی به نقاط تصادفی متفاوت در آغاز می باشد). برای مثال، روی آخرین راه حل روی صفحه کلیک کنید. آیا شبیه آنچه در زیر می‌بینید می‌باشد؟



دومین مورد بهینه شده در دمای پایین، اما میزان ضریب تبدیل کاهش یافته بنابراین مطلوب نمی‌باشد.

اگر در جستجو این نقطه بهینه محلی را ببینید، توجه کنید که میـزان تبـدیل کـاهش یافتـه، بنابراین مطلوبیت کمتری نسبت به دماهای پایین خواهد داشت. حالا نمای Bar Graph را از ابزار شناور Solutions Tool انتخاب نمایید.



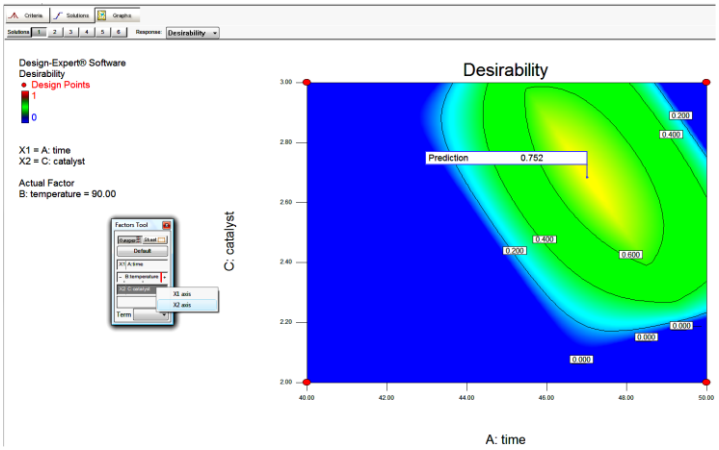
راه حل بهینه‌سازی چندگانه، مطلوبیت به صورت گراف نواری

گراف نواری شرایط بهینه متغیرها را نشان می‌دهد و مقادیر نزدیک یک خوب می‌باشد.

گراف‌های بهینه‌سازی

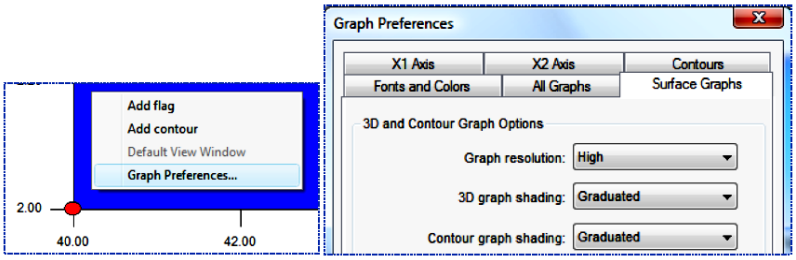
روی Graphs نزدیک بالای صفحه برای دیدن گراف کنتور مطلوبیت کلیک کنید. روی دکمـه Solutions راه حل 1 کلیک کنید. روی صفحه Factors Tool روی C:Catalyst کلیـک

راست نمایید و آن را X2 axis نمایید. سپس دما به عنوان فاکتور ثابت در دمای 90 درجه سانتیگراد خواهد شد.



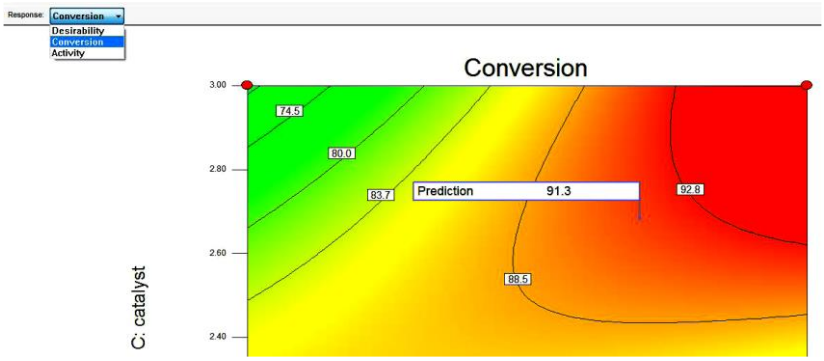
گراف مطلوبیت (بعد از تغییر دادن محور X2 برای نمایش فاکتور C)

تصویر بالا شیبی از رنگ‌ها از کم رنگ با مطلوبیت کم تا پررنگ با مطلوبیت بالا را نشان می‌دهد. اگر بخش اول این آموزش را تمام کنید، گراف تک رنگ خواهد شد. این کار براحتی با کلیک راست نمودن روی گراف و انتخاب Graph Preferences امکان پذیر خواهد بود.



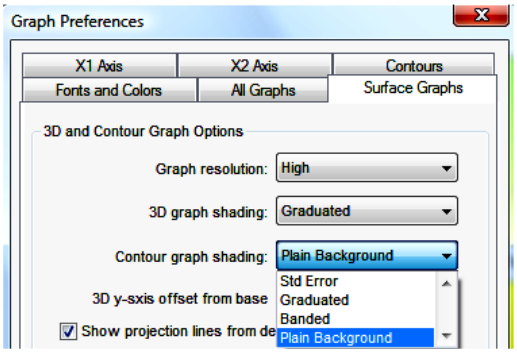
انتخاب Graph Preferences از طریق منوی کلیک راست – انتخاب شیب رنگی

روی کاربرگ Surface Graphs کلیک نموده و Contour graph shading را روی Graduated تنظیم نمایید. دکمه OK را کلیک کنید. نرم‌افزار نقطه بهینه را با پرچم نشان می‌دهد. برای دیدن پاسخ‌های مربوط به مطلوبیت، Response مورد نظر را از لیست پایین‌رونده انتخاب کنید. نگاهی به گراف Conversion بیاندازید.



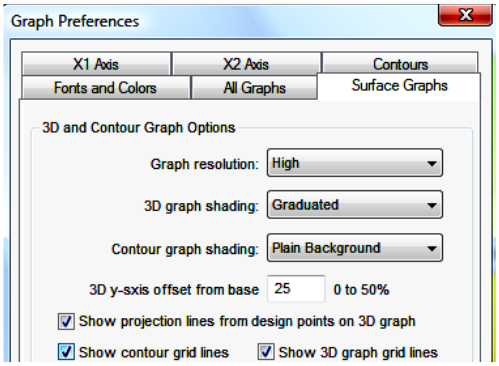
گراف کنتور ضریب تبدیل (با بخش بهینه که با پرچم مشخص شده است)

رنگ‌ها گراف را جذاب می‌کند، اما وقتی باید به صورت سیاه وسفید پرینت بگیرید، چه باید کرد؟ این کار را براحتی می‌توان با کلیک راست روی گراف و انتخاب Graph Preferences انجام داد. روی Surface Graphs کلیک نموده و Contour graph shading را روی Plain Background تنظیم نمایید.



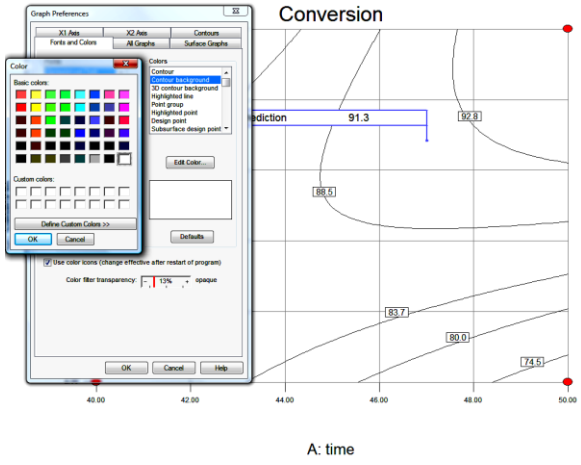
تنظیم Graph Preferences برای ایجاد پس‌زمینه ساده

وقتی در کاربرگ Surface Graphs قرار دارید، روی Show contour grid lines نیز کلیک کنید.



نشان دادن گزینه Show grid lines

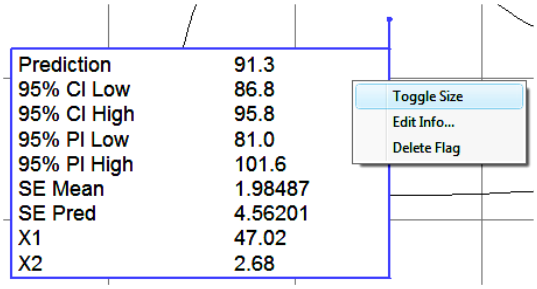
سرانجام، برای اینکه گراف را کاملا ساده کنید، روی کاربرگ Fonts & Colors در قسمت Colors گزینه Contour Background را انتخاب کنید، روی Edit Color کلیک کنید. رنگ سفید را انتخاب نموده و روی OK کلیک کنید. حالا روی OK در Graph Preferences کلیک کنید.



گراف تغییر یافته به زمینه سیاه و سفید با خطوط تراز

گزینه‌های زیادی برای انتخاب در این قسمت و سایر کار برگ‌های Graph preferences وجود دارد. به آنها نگاهی بیاندازید و با فشردن دکمه OK تغییرات ایجاد شده ری گراف کنتور را ملاحظه نمایید. خطوط تراز به یافتن محل بهینه کمک می‌کند، اما برای یافتن محل

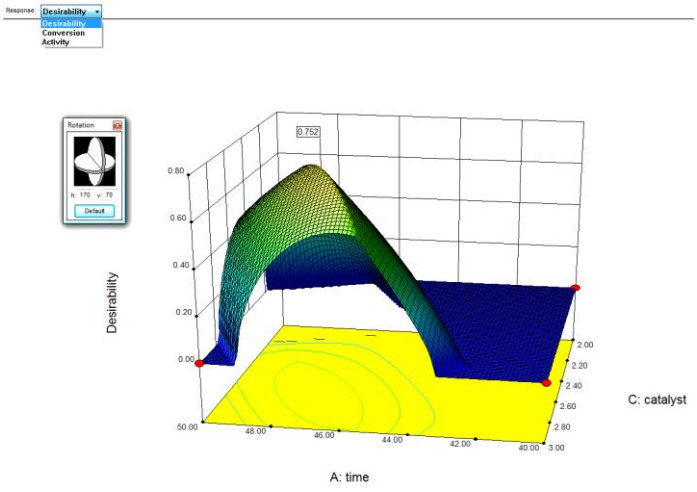
دقیق روی پرچم کلیک راست نموده و برای دیدن مختصات نقطه مورد نظر بعلاوه بسیاری از جزئیات پیش‌بینی شده بیشترToggle Size را انتخاب کنید.



پرچم به صورت Toggle Size برای مشاهده جزئیات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی ضریب تبدیل

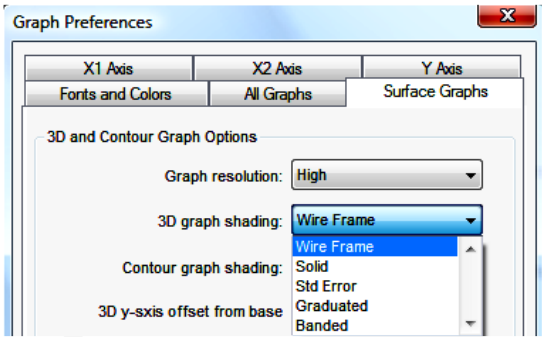
با برگشتن به Toggle Size، به پرچم کوچک برگردید. اگر دوست دارید، optimal activity response را هم ببینید.

برای دیدن سطح مطلوبیت در سه بعد، دوباره روی Response کلیک نموده و Desirability را انتخاب نمایید. سپس، روی نوار ابزار شناور Graphs Tool، روی 3D Surface کلیک کنید. سپس از منوی View گزینه Show Rotation را انتخاب کنید و کنترل افقی h را به 170تغییر دهید. روی کلید Tab یا روی گراف فشار دهید. چه منظره زیبایی!



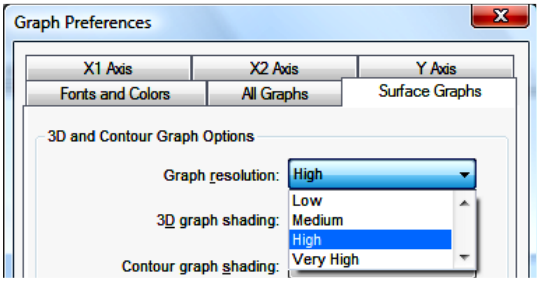
گراف سه بعدی مطلوبیت

حالا یک برآمدگی می‌بینید. این برآمدگی در سطوح بالای کاتالیست ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت فاکتور C اثر تشدید کنندگی روی پاسخ دارد. روی صفحه ابزار شناور Factors Tool، نوار قرمز رنگ را روی B:Temperature حرکت دهید. ببینید که مطلوبیت چگونه تحت تاثیر قرار می‌گیرد؟ اگر شما دارای پرینتر رنگی هستید، با استفاده از منوی File روی پرینت کلیک کنید. برای پرینت گرفتن به صورت سیاه و سفید، روی گراف کلیک راست نموده و Graph preferences را بازخوانی نمایید. کاربرگ Surface Graphs را انتخاب نموده و گزینه 3D graph shading را به Wire Frame تغییر دهید.



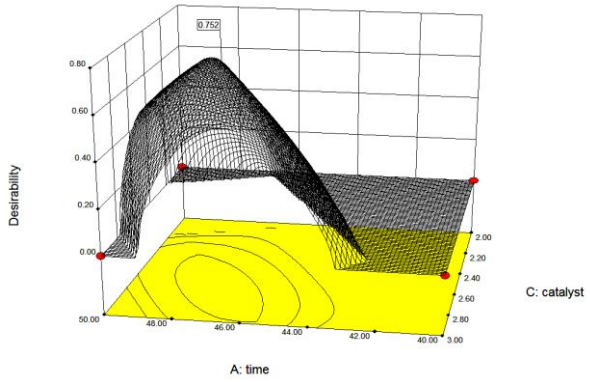
گراف سه بعدی را به wire frame (برای پرینت گرفتن سیاه و سفید) تغییر دهید.

قبل از خارج شدن از این بخش، توجه کنید که نرم‌افزار در Graph resolusion گزینه ای با دقت بالا دارد. در صورت تمایل می‌توانید امتحان کنید، چرخش گراف سه بعدی در صورت تنظیم روی این گزینه گاهی زمان بر و خسته کننده است. البته به سرعت کامپیوتر و قدرت کارت گرافیکی آن بستگی دارد.



دقت بالا به عنوان یک گزینه در دسترس

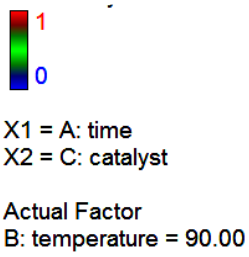
OK را کلیک کنید و ببینید چه رخ می‌دهد.)برای نمایش ساده گراف، در Graph Preferences روی کاربرگ Fonts & Colors کلیک نموده، در Colors گزینه 3D Contour Background را انتخاب نموده و روی Edit Color کلیک کنید. در بخش خطوط، رنگ سفید را انتخاب نموده و OK را کلیک کنید. حالا OK در Graph Preferences را نیز کلیک کنید.



نمایش گراف سه بعدی به صورت خطوط تراز

در اینجا، بهتر است که دوباره نمایش گراف‌ها را به حالت پیش‌فرض اولیه خود برگردانیم. برای این کار کلیک راست نموده و Graph Preferences را انتخاب کنید، سپس روی دکمه Default برای تنظیم Fonts and Colors (تنها بخش رنگ‌ها)، تمام Graphs و Surface Graphs کلیک کنید.

قبل از بهینه‌سازی تصویری، توضیحی در مورد انتخاب شیب رنگ که در تمام گراف‌ها وجود دارد و یک ویژگی مبهم و شاید سردرگم کننده است، می‌دهیم.



گزینه شیب سه رنگ

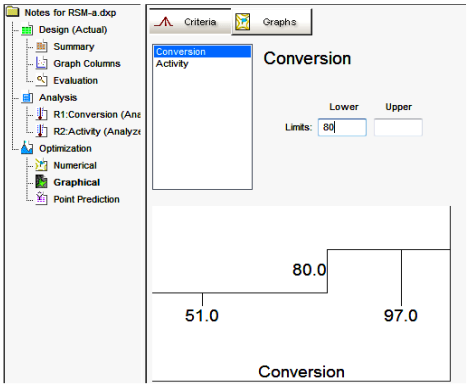
برای اطلاعات بیشتر، سایه تک رنگ دارای مقیاسی مثل رنگ خاکستری تنها بوده کـه تنهـا از سفید تا مشکی تغییر می‌کند یعنی در بخشی روشن‌تر و در بخش دیگر تیره‌تر می‌شـود. سـایه دو رنگ با استفاده از رنگ نقطه میانی که دارای بیشترین مقدار RGB در انتهای هر دو رنـگ است، ظاهر بهتری ایجاد می‌کند. با این وجود، برای داشتن دامنه کامل از رنگ‌ها، شـما بایـد از سه رنگ کاملا متفاوت برای نقطه مرکزی که سایه سه رنگی ایجـاد مـی‌کنـد، اسـتفاده کنیـد. رنگهای ویژه)سایه پایین، متوسط و بالا(را می‌توان از بخش Colors در کـاربرگ &Fonts Colors (به سمت پایین حرکت کنید تا بتوانید مشاهده کنید) انتخاب کنید.

بهینه‌سازی تصویری

زمانیکه از بهینـه‌سـازی عـددی اسـتفاده مـی‌کنیـد، منطقـه مطلـوبی را در دمـای 90 درجـه سانتیگراد خواهید یافت. برای دیدن پنجره عملیاتی بزرگتـر، روی شـاخه Graphical کلیـک کنید. نیازهای ضروری شبیه بهینه‌سازی عددی می‌باشد:

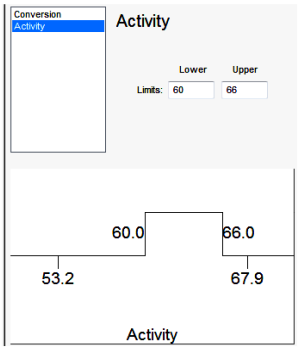
- ضریب تبدیل بیشتر از 80
- میزان فعالیت بین 60 تا 66

برای اولین پاسخ، ضریب تبدیل (اگر وارد نکـرده ایـد)، در Lower Limit عـدد 80 را تایـپ کنید. برای بهتر کار کردن بخش گرافیکی لازم نیست که حد بالا را وارد نمایید.



بهینه‌سازی تصویری: شرایط ضریب تبدیل

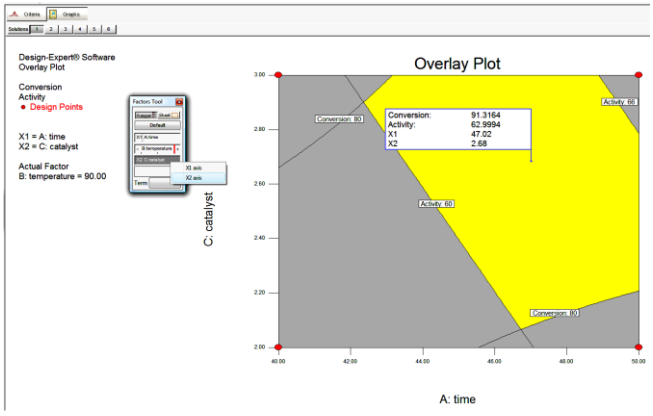
روی پاسخ فعالیت کلیک کنید. اگر تا به حال وارد نکرده اید، برای Lower Limit عدد 60 و Upper Limit عدد 66 را وارد کنید.



محدودیت‌های فعالیت

حالا روی دکمه Graphs برای روی هم افتادن گراف‌ها کلیک کنید. توجه کنید، مناطق نامطلوب که ویژگی‌های مورد نظر شما را ندارد، بدون سایه می‌باشند. اگر هنوز خطوط محوری را که از قبل اضافه کرده اید می بینید، روی گراف کلیک راست نموده، Graph Preferences را انتخاب نموده و به کاربرگ Surface Graphs بروید. علامت تیک کنار Show contour grid lines را بردارید تا درهم ریختگی گراف از بین برود.

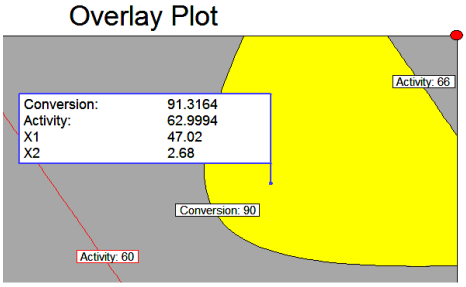
حالا در صفحه شناور Factors Tool روی C:Catalyst کلیک راست نمایید و آن را به عنوان محور X2 انتخاب کنید. سپس دما نیز به عنوان یک فاکتور ثابت روی دمای 90 درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد.



گراف رویهم قرار گرفته، توجه کنید که پرچم در نقطه بهینه قرار گرفته است.

این نمای گراف امکان دارد زیاد جذاب نباشد اما برای نشان دادن برقرار بودن همزمان شرایط و انتخاب شرایط کاربردی بسیار مفید می‌باشد. امکان دارد شما برای طراحی محصول لازم باشد از قوانین FDA یا هر استاندارد دیگری پیروی کنید. با استفاده از این گراف می‌توانید براحتی شرایط پاسخ بهینه را تعیین نمایید.

حالا پرسیده می‌شود که آیا می‌توان ضریب تبدیل را افزایش داد. چگونه می‌توان در پنجره عملیاتی عمل نمود؟ با کشیدن کنتور ضریب تبدیل در دامنه 80 تا 90 به پاسخ سوال خود خواهید رسید. سپس روی کنتور 60 مربوط به میزان فعالیت کلیک کنید تا براحتی آن را به صورت پررنگ‌تر ببینید.

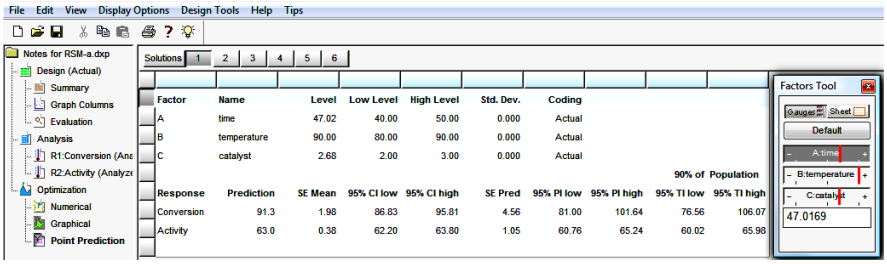


تغییر دادن ویژگی‌های ضریب تبدیل به حداقل 90

نکته: با تغییر دادن شرایط، پرچم بهینه دیگر دارای اعتبار نمی‌باشد. برای درست کردن محل پرچم لازم است دوباره به گزینه بهینه‌سازی عددی برگشته و شرایط پاسخ جدید را وارد کنیم. بنظر می‌رسد رسیدن به 90 درصد ضریب تبدیل دست یافتنی باشد. بهینه‌سازی تصویری برای دو فاکتور خیلی خوب کار می‌کند، اما با افزایش یافتن تعداد فاکتورها، بهینه‌سازی بتدریج از رضایت بخشی کمتری برخوردار خواهد شد. در این حالت راه حل را خیلی سریع‌تر با استفاده از شرایط بهینه‌سازی عددی بدست خواهید آورد. حالا به بهینه‌سازی عددی برگشته و خروجی مناسب با هدف مان ارائه خواهیم نمود.

پیش‌بینی پاسخ در نقطه بهینه

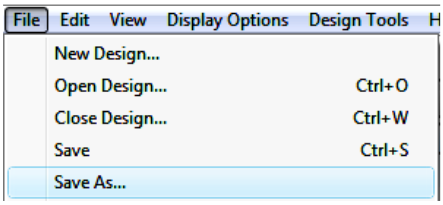
روی شاخه Point Prediction (سمت چپ صفحه) کلیک کنید. توجه کنید که به صورت پیش‌فرض روی اولین راه حل قرار دارد.



پیش‌بینی نقطه تنظیم شده روی راه حل اول

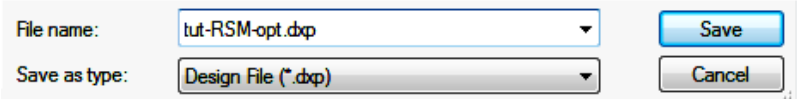
ذخیره کردن اطلاعات

الان شما زمان زیادی را صرف بهینه‌سازی این طرح نموده اید، بهتر است که کار خود را ذخیره نمایید. پس روی منوی فایل کلیک نموده و Save as را انتخاب کنید.



انتخاب Save as

حالا شما می‌توانید نام فایل را به صورت dxp. (ما **tut-RSM-opt** را پیشنهاد می‌کنیم) در پوشه data مربوط به نرم‌افزار Design-Expert (یا هر جای دیگری که می‌خواهید) ذخیره کنید.



نحوه ذخیره کردن فایل مورد نظر

شما به این فایل در بخش بعدی آموزش نیاز دارید.

پیشنهادهای نهایی

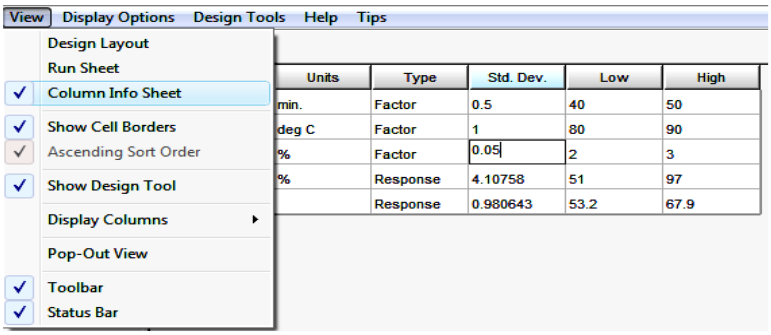
ما تصور می‌کنیم که بهینه‌سازی عددی بینش قدرتمندی را در ترکیب با آنالیز گرافیکی ایجاد می‌کند. بهینه‌سازی عددی زمانیکه شما بسیاری از فاکتورها را با بسیاری از پاسخ‌ها مورد

بررسی قرار می‌دهید، ضروری است. اگرچه بهینه‌سازی با کامپیوتر در غیاب اطلاعات در زمینه موضوع بخوبی کار نخواهد نمود. برای مثال، یک کاربر بی‌تجربه امکان دارد شرایط غیرقابل انجامی را تعریف نماید. نتایج میزان مطلوبیت در تمام موارد صفر خواهد شد. برای جلوگیری از وقوع این امر از دامنه وسیع و قابل قبول استفاده کنید. با بدست آوردن اطلاعات بیشتری در زمینه تغییر فاکتورهای موثر بر پاسخ، این دامنه را محدودتر کنید. اغلب، لازم است بیشتر از یک جواب قابل قبول برای یافتن بهترین سطح فاکتور در محدوده پاسخ‌های متعدد در یک زمان بدست بیاید.

افزودن Propagation of Error (POE) برای بهینه‌سازی

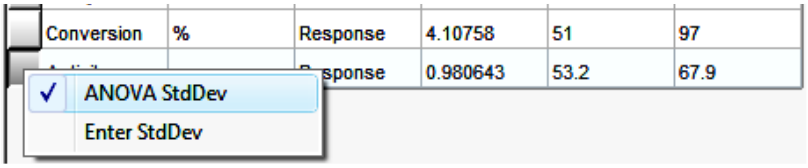
شما می‌توانید گراف Propagation of Error (POE) را ترسیم کنید. این گراف نشان می‌دهد چگونه خطا روی پاسخ تاثیر می‌گذارد. به دنبال شرایطی باشید که متغیرهای منتقل شده را مینیمم نماییم، بنابراین روندی با سرعت بیشتر برای تنظیم فاکتورها بدست می‌آید. در این قسمت نحوه ایجاد Propagation of Error (POE) از یک طرح آزمایشی توسط روش سطح پاسخ (RSM) نشان داده می‌شود.

فایل ذخیره شده از بخش قبل تحت عنوان tut-RSM-opt.dxp را فراخوانی نمایید. کار را با کلیک کردن روی شاخه Design روی بخش چپ صفحه با باز خوانی نقشه طرح آغاز کنید. سپس از منوی View قسمت Column Info Sheet را انتخاب نمایید. اطلاعات زیر را در ستون Std. Dev. به صورت زیر وارد کنید: زمان 0/5، دما 1/0 و کاتالیست 0/05 که در زیر نشان داده شده است.



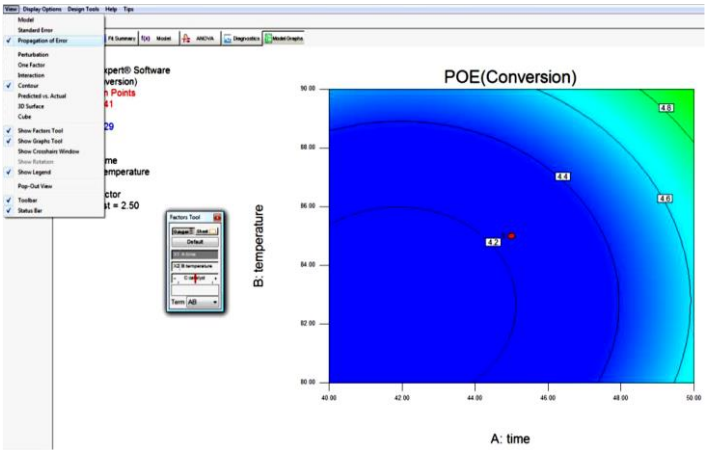
Column Info Sheet که با فاکتور انحراف استاندارد پر شده است

نکته: نرمافزار انحراف استاندارد پاسخ آنالیز شده را به صورت ضریب تبدیل)4/1000(وارد می‌کند. از آنجائیکه شما هیچ کدام از اطلاعات را تغییر نداده اید، براحتی می‌توانید روی دکمه آنالیز کلیک کنید، بدین ترتیب نرما فزار انتخاب‌های قبلی برای آنالیز را به یاد می‌آورد. برای اطلاعات بیشتر، روی دکمه سمت چپ نام پاسخ که اینجا Conversion است کلیک راست نموده و به شما اجازه می‌دهد که انحراف استاندارد متفاوتی را تعریف کنید.



نحوه وارد کردن انحراف استاندارد متفاوت برای پاسخ

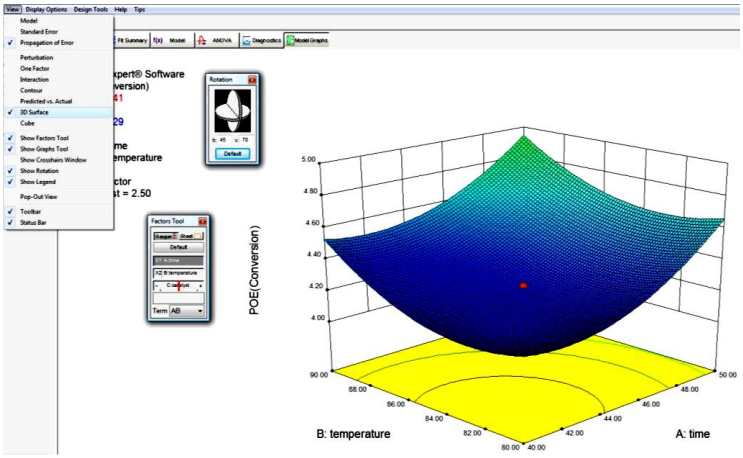
در شاخه Analysis روی زیر شاخه Conversion کلیک کنید. سپس به دکمه وسطی برای آنالیز به عقب برگردید و روی دکمه Model Graphs کلیک کنید. از منوی View گزینه Propagation of Error را انتخاب نمایید (این گزینه قبلا غیرفعال و طوسی رنگ بود زیرا انحراف استاندارد فاکتورها هنوز وارد نشده بود). اگر پس‌زمینه گراف به رنگ زرد باشد، با کلیک راست کردن روی گراف به حالت Graduated در گراف کنتور تبدیل کنید و سطح گراف را در Graph Preferences انتخاب کنید.



گراف کنتور برای POE

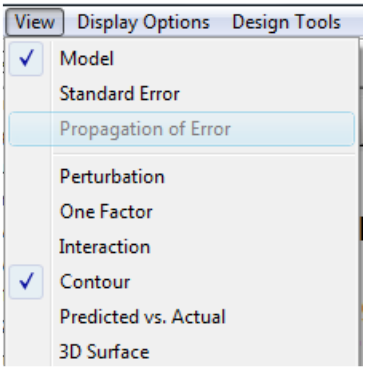
حالا از منوی View گزینه 3D Surface را انتخاب کنید یا به سادگی روی 3D Surface

روی نوار ابزار شناور کلیک کنید.



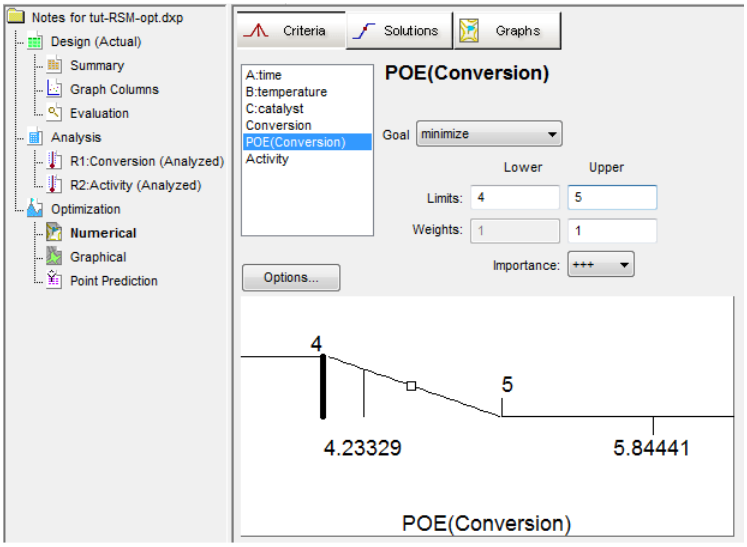
نمایش سطح سه بعدی از گراف POE

پایین بودن POE بهتر است زیرا خطای کمتری برای کنترل فاکتورها به پاسخ انتخاب شده منتقل می‌شود و این نتایج فرایند را تقویت می‌کنند. POE تنها برای معادله سطح پاسخ مثل ضریب تبدیل که غیر خطی است، استفاده می‌شود. زمانی که معادله سطح خطی باشد مثل فعالیت، خطا به صورت مساوی در منطقه منتقل می‌شود. بنابراین، نرم‌افزار POE را در مورد این فاکتور غیرفعال نشان می‌دهد.



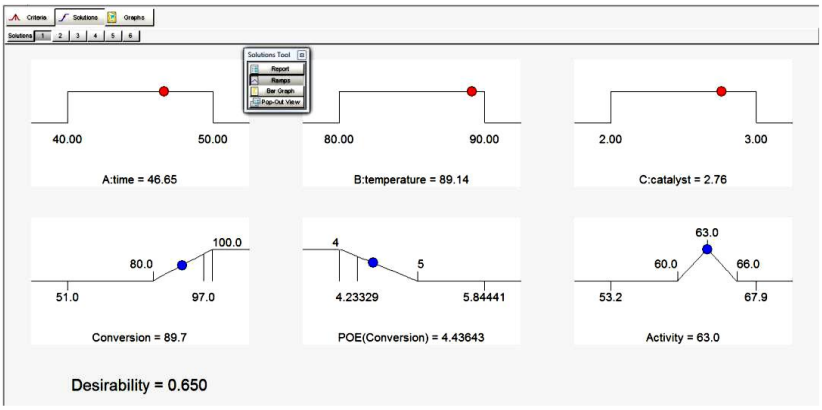
گزینه POE که برای مدل خطی نظیر پاسخ فعالیت غیرفعال می‌باشد.

حالا چون ضریب تبدیل POE تعریف شده، برمی‌گردیم و آن را به شرایط جهت بهینه‌سازی اضافه می‌کنیم. در شاخه Optimization روی زیر شاخه Numerical کلیک کنید. برای POE (Conversion) هدف Goal را به صورت minimize با Lower Limit روی 4 و Upper Limit روی 5 همانطور که در زیر می‌بینید، تنظیم کنید.



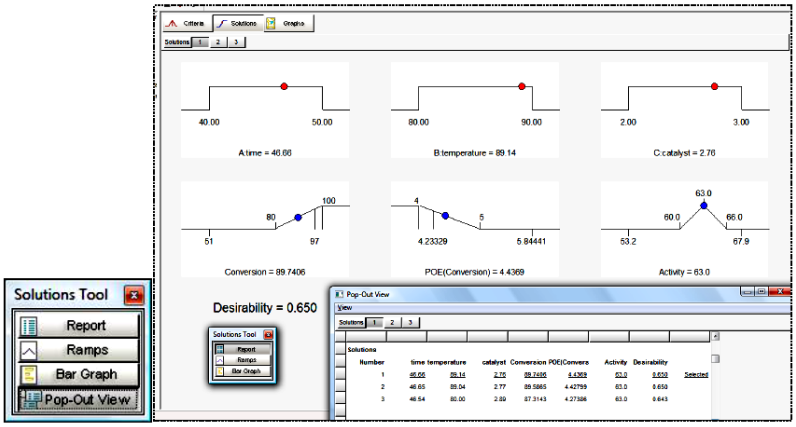
تنظیم Goal و محدودیت‌های POE (Conversion)

حالا روی دکمه Solutions در بخش بالای صفحه کلیک کنید تا راه حل جدید با شرایط جدید بدست آید. روی نوار ابزار شناور Solutions Tool روی Ramps کلیک کنید یا از View گزینه Ramp Function Graph را انتخاب نمایید. (نکته: با توجه به شروع تصادفی استفاده از نقاط، امکان دارد کمی‌تفاوت میان این تصاویر و نرم‌افزار خود ببینید) . روی راه حل‌های بعدی (2، 3، ...) کلیک کنید. نقاط قرمز رنگ را مشاهده نمایید. چه تغییراتی را می‌بینید؟



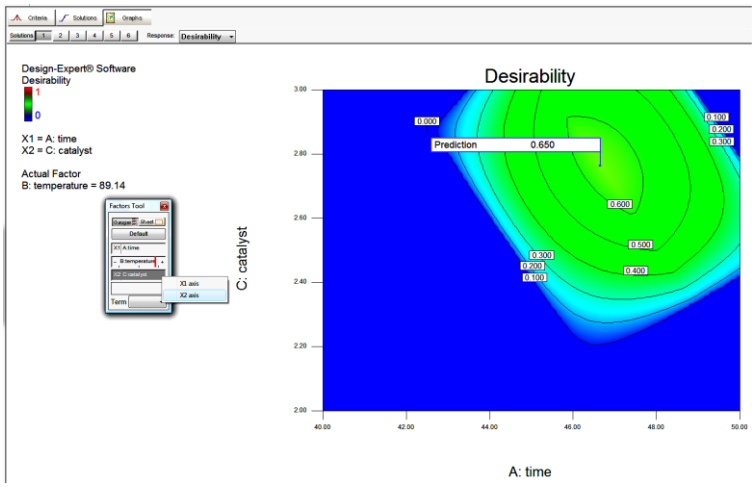
نمای Ramps برای بهینه‌سازی با POE (امکان دارد نتایج متفاوتی مشاهده نمایید)

به Solutions Tool برگشته و Pop-Out View را فشار دهید.



Pop out view گزارش را در کنار ramps نشان می‌دهد.

با فشردن دکمه X در گوشه سمت راست بالای صفحه از Pop out view خارج شـوید. روی دکمه Graphs در بخش بالای صفحه فشار دهید. برای ایجاد دیدن صفحه ای نظیـر مـا روی صفحه شناور Factors Tool روی C:catalyst کلیک راست نماییـد و آن را بـه X2 axis تغییر دهید.

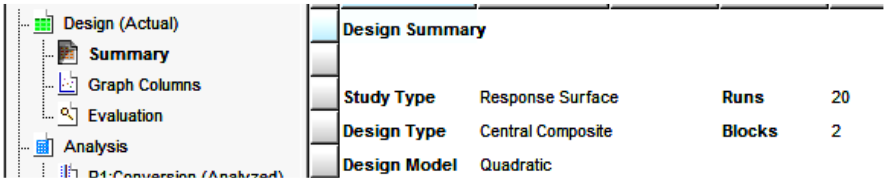


راه حل بهینه با افزودن شرایط POE

راه حل بهینه در بالا بیانگر فرمولاسیونی است که بهتر از سایرین ضریب تبدیل را ماکزیمم نموده و میزان 63 به عنوان هدف برای میزان فعالیت بدست می‌آید، این در حالی است که نقاط یافت شده با کمترین خطا برای پاسخ محاسبه می‌شود. بنابراین، این امر شرایط فرایند را بیان می‌کند که به میزان جزئی تنظیم متغیرهای فاکتور را تنظیم می‌کنند.

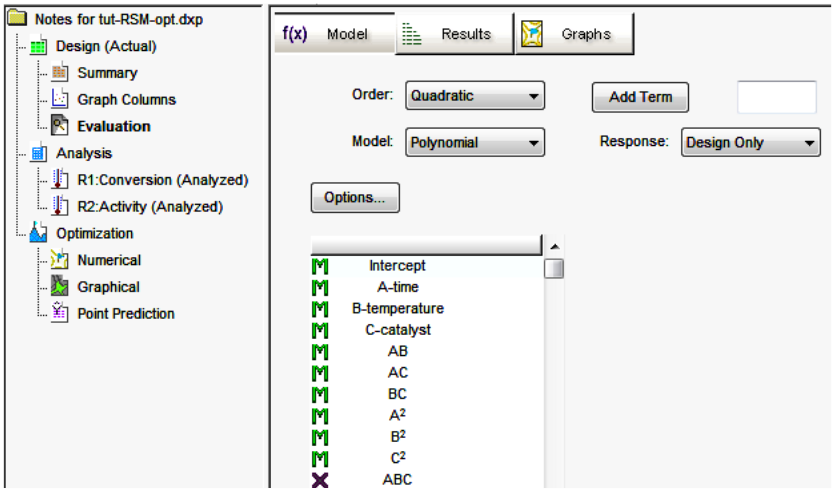
اعتبار سنجی طرح

این نرم‌افزار ابزار قدرتمندی را برای ارزیابی طرح‌های روش سطح پاسخدر اختیار قرار می‌دهد. ارزیابی طرح باید قبل از جمع آوری اطلاعات برای پاسخ انجام گیرد، اما می‌توان آن را بعد از این کار نیز انجام داد. برای مثال، امکان دارد شما متوجه شوید که تغییر دادن سطوح برخی فاکتورها برای انعکاس انحراف‌های معنی‌دار نقاط تنظیم شده و از پیش برنامه ریزی شده ضروری می‌باشد. یا امکان دارد شما برخی از آزمایشات را حداقل در مورد برخی پاسخ‌ها از دست بدهید. سپس لازم است شما دوباره طرح را برای دیدن آسیب‌ها مورد ارزیابی قرار دهید. برای پوشش دادن آنچه که انجام شده، در شاخه Design روی زیرشاخه Summary کلیک کنید.



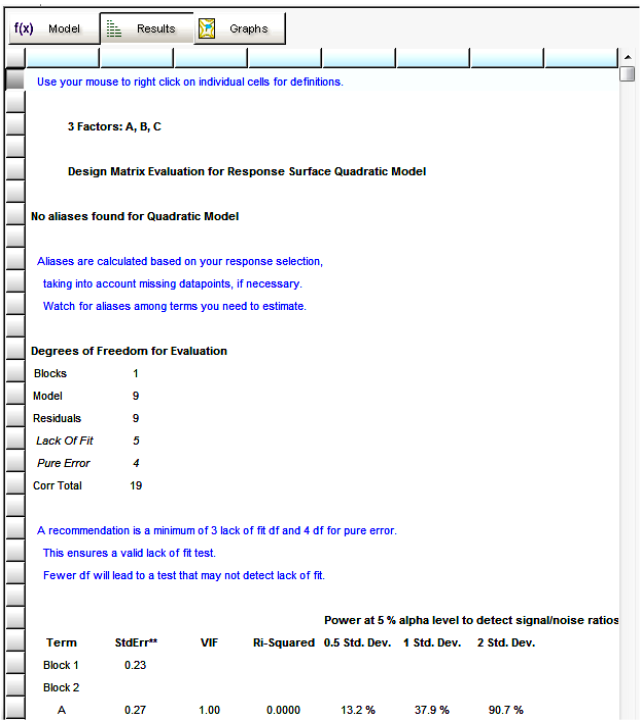
خلاصه طرح

خلاصه گزارش می‌کند که محقق طرح مرکب مرکزی (CCD) در دو بلوک را برنامه ریزی نموده و از یک مدل درجه دوم برای برازش استفاده نموده است. روی زیرشاخه Evaluation کلیک نموده و توجه کنید نرم‌افزار فرض می‌کند که شما می‌خواهید جزئیاتی در مورد درجه مدل طرح بدست آورید.



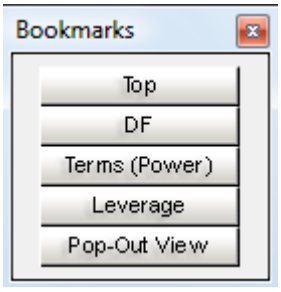
ارزیابی طرح – انتخاب مدل

روی دکمه Results برای گزارش اولیه که شرحی روی پیش‌فرض می‌دهد، کلیک کنید.



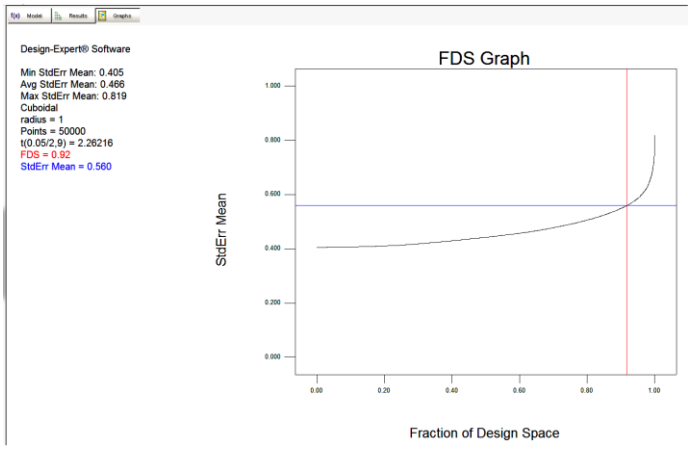
نتایج ارزیابی طرح

نتایج را پیمایش کنید یا از صفحه شناور Bookmarks استفاده کنید و توجه کنید که نتـایج خیلی خوب بنظر می‌رسد همان چیزی که از طرح استاندارد روش سطح پاسخانتظار می‌رود.



Bookmarks برای ارزیابی طرح

در ادامه روی دکمه Graphs در بالای صفحه کلیک کنید. به صورت پیش‌فرض روی گراف FDS است که خطای استاندارد را در برابر کسری از فضای طرح ترسیم می‌کند. روی گراف ترسیم شده کلیک کنید. نرم‌افزار خطوط محوری برای قرائت آسان را در اختیار قرار می‌دهد.

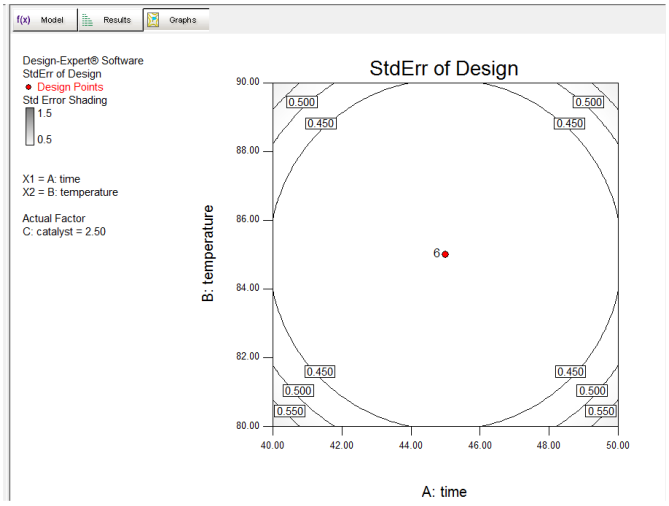


گراف FDS (کسری از فضای طرح) با کلیک روی خطوط محوری

بر اساس نمونه گیری وسیع منطقه آزمایشی (50000 نقطه به صورت پیش‌فرض همانطور که در فهرست آمده است)، محور Y روی گراف FDS ماکزیمم پیش‌بینی متغیر در هر کسری از فضای کل را تعیین مقدار می‌کند. برای مثال، همانطور که در علائم اختصاری در قسمت چپ صفحه آمده، 92 درصد طرح روش سطح پاسخ زیر واحدهای 0/560 از خطای استاندارد (SE) قرار می‌گیرد. با توجه به الگوریتم تصادفی نمونه گیری، FDS شما ممکن است تاحدی متفاوت باشد. زمانی که شما طرح‌های دیگر را مرور می‌کنید، موارد دارای منحنی FDS مسطح‌تر مطلوب می‌باشد. اگرچه باید به خاطر داشته باشید که این مورد تنها یکی از شرایط بسیاری است که باید در نظر بگیرید.

FDS توانایی پیش‌بینی را فراهم می‌سازد. برای دیدن شرایط قابل چرخش بودن طرح، از منوی View قسمت Contour را انتخاب کنید. نرم‌افزار گراف خطای استاندارد را ترسیم می‌کند، که نشان می‌دهد چطور واریانس پیش‌بینی در فضای طرح تغییر می‌کند. می‌توانید ببینید که طرح مرکب مرکزی (CCD) تخمین نسبتا دقیقی را روی فضای وسیعی در اطراف 6 نقطه مرکزی ایجاد می‌کند. همچنین، به مدور بودن کنتورها توجه کنید. این امر نشان

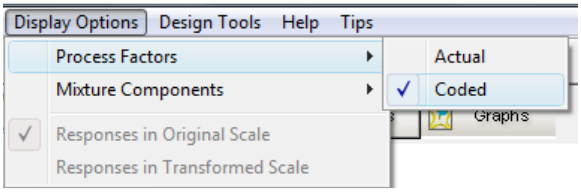
دهنده خصوصیت مطلوب قابلیت چرخش می‌باشد که به صورت مساوی توانایی پیش‌بینی دقیق در فاصله مساوی از مرکز طرح روش سطح پاسخرا دارد.) توجه کنید: برای گراف‌های خطای استاندارد، نرما فزار به صورت پیش‌فرض روی سیاه و سفید تنظیم شده است. سایه تدریجی که گراف کنتور پاسخ نرمال را رنگی ایجاد می‌کند، در زمان نمایش خطای استاندارد مناسب نمی‌باشد.



گراف کنتور خطای استاندارد

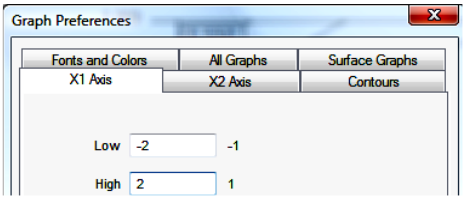
شما می‌توانید گراف خطای استاندارد را شبیه گراف‌های پاسخ دست کاری کنید. بیایید ببینیم چه اتفاقی رخ می‌دهد.

زمانی که شما خارج از منطقه طرح ارزیابی می‌کنید. از منوی Display Options قسمت Process Factors گزینه Coded را انتخاب کنید.



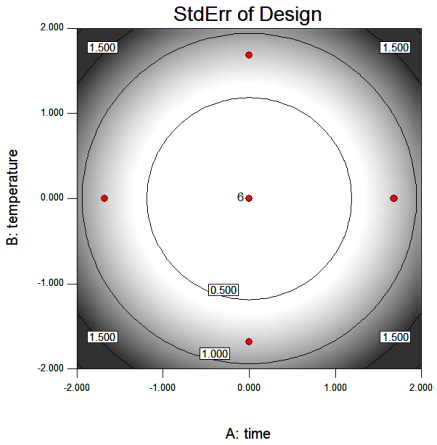
تغییر دادن کد کردن

حـالا روی گـراف کلیـک راسـت نمـوده و Graph Preferences را انتخـاب کنیـد. مقـادیر پیش‌فرض X1 Axis را در قسمت Low روی 2- و High روی 2 تغییر دهید.



تغییر مقادیر محور X1

در ادامه، روی کاربرگ X2 Axis کلیک کنید و مقدار Low روی 2- و High روی 2 تغییـر دهید. بعد از کامل کردن این تغییرات روی OK کلیک کنید.



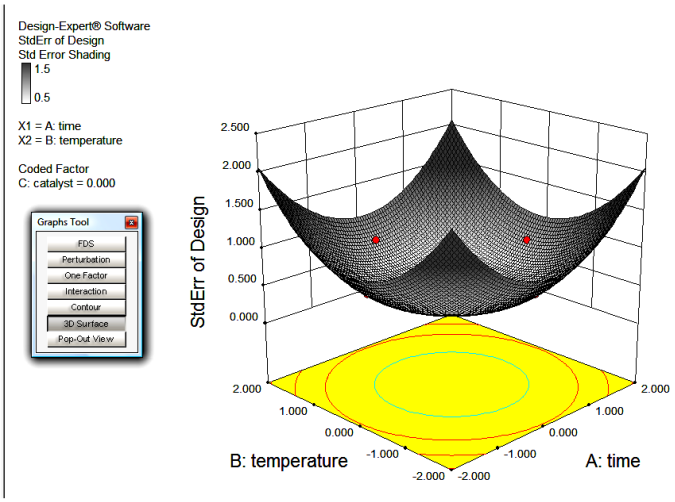
گراف کنتور خطای استاندارد با محورهای بزرگ شده، سطوح خارج طرح سایه دار شده است.

توجه کنید، گوشه‌های طرح سایه‌دار شده است. این مناطق به خوبیِ مناطق داخلی طرح قابـل پیش‌بینی نمی‌باشند. نرم‌افزار به عنوان اخطار در زمینه پیش‌بینی خارج از محدوده طـرح، ایـن قسمت را سایه دار می‌کند. همانطور که در کلید طرح نشان داده شده است، سایه‌دار شـدن در خارج محدوده مقدار ±1/5 انحراف استاندارد مـی‌باشـد. روی گـراف (مـدل) پاسـخ نیـز سـایه می‌بینید. تا زمانی که در محدوده فاکتوریل ویژه هستید، سایه نسبتا روشن اسـت، امـا اگـر بـا افزایش دامنه، تاریکی قابل ملاحظه‌ای را خواهید دید. برای پیش‌بینی در این قسـمت احتیـاط

کنید. به یاد داشته باشید که سایه تاریک‌تر بیانگر میزان بالاتر از خطـای اسـتاندارد مـی‌باشـد. حالا می‌بینید که تخمین در خارج فضای طرح، بخش فاکتوریل طرح مرکب مرکزی، خطرنـاک

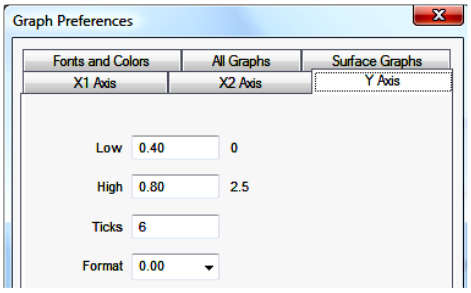
می‌باشد.

حالا روی صفحه شناور Graphs Tool روی 3D Surface کلیک کنید.



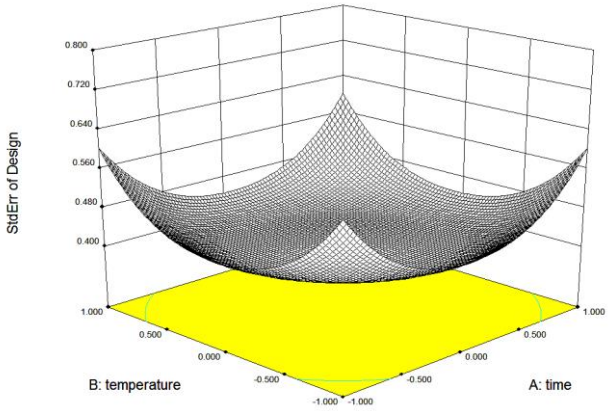
نمایش سه بعدی خطای استاندارد

این گراف، نمایش خوبی از فضای مربوط طرح را ندارد زیرا دامنه وسیعی از زمان و دما را نشان می‌دهد. با کلیک راست به Graph Preferences رفته و دکمـه Defaults را بـرای هـر دو محور X1 Axis و X2 Axis کلیک کنید. این امر باعث بازگشت بـه سـطوح کـد شـده ±1 می‌شود. همچنین، در کاربرگ Y Axis مقدار Low را به 0/40 و High را بـه 0/80 تغییـر دهید.



تنظیمات جدید محور Y

برای اعمال تغییرات روی OK کلیک کنید.



گراف سه بعدی خطای استاندارد

به کف مسطح در سطح کاسه مانند خطای استاندارد توجه کنید. این شکل برای یک طرح روش سطح پاسخبسیار مطلوب است.

در صورت داشتن هر گونه سوال و نیاز به گرفتن اطلاعات بیشتر می‌توانیدبه مدرس نرم افزار مراجعه نمایید.

تمرینات

در تمرینات زیر با توجه به مطالب گفته‌شده، طرح آزمایشی مورد نظر برای روش سطح پاسخ را انتخاب کرده و سپس با نرم افزارDesign Expert به حل آن بپردازید. پاسخ تمرینات در انتهای فصل آورده شده است.

تمرین1- در مطالعه‌ای ویژگی‌های عملکردی)FPs(عصاره‌های پاستوریزه شده *Aloe barbadensis* که غنی از ترکیبات دیوراه سلولی پلیمری زیست فعال می باشد، بررسی شده است. در این مطالعه اثر سه متغیر مستقل سن گیاه)4 ،3 و 5 سال(، درجه حرارت پاستوریزاسیون)75 ،65 و 85 درجه سانتیگراد(و زمان پاستوریزاسیون)25 ،15 و 35 دقیقه(روی تورم)Sw(، ظرفیت حفظ آب)WRC(، و ظرفیت جذب چربی (FAC) بررسی شد. آنالیز واریانس، متغیرهای معنی‌دار بر این سه ویژگی، شرایط بهینه برای به‌دست‌آوردن بیشترین مقدار FPs ، Sw، WRCو FAC و مدل مربوط به هر متغیر را به همراه بررسی قدرت پیش‌بینی آن، به دست آورید.

Observed (Y_1)		
Sw (mL g^{-1} AIR)	WRC (g H_2O g^{-1} AIR)	FAC (g oil g^{-1} AIR)
271.0	17.5	28.9
250.0	18.0	27.2
229.0	17.2	24.1
213.0	16.9	21.7
290.0	20.8	29.5
264.0	22.6	30.0
245.0	15.9	26.5
238.0	14.1	23.1
305.0	23.0	33.2
263.0	25.3	27.1
269.0	18.2	29.6
230.0	14.7	23.2
267.0	29.2	32.0
270.0	28.4	31.7
269.0	28.6	30.9
272.0	30.1	32.8
269.0	29.7	32.5

تمرین2- فرمولاسیون بهینه برای تولید نوعی محصول خوراکی سنتی از کاساوا با روش سطح پاسخ انجام شده است. اثر مقدار ترکیباتی مانند شکر (30- 10٪)، شیرکاکائو (35- 15٪) بر ویژگی‌های بافتی (قابلیت جویدن و سفتی) و کیفیت حسی (رنگ، تردی، طعم کاساوا و

پذیرش کلی(کیک به دست آمده مورد مطالعه قرار گرفت. مدل رگرسیون معنی‌درای که اثر درصدهای مختلف ترکیبات مورد استفاده را نشاند هد تعیین، و قدرت پیش‌بینی مدل را بررسی کنید)R^2 و معنی‌دار بودن ضرایب را نشان دهید(. شرایط بهینه فرمولاسیون نهایی را با نمودار نشان دهید.

Responses					
Hardness (N)	Chewiness (N)	Colour (panel)	Firmness (panel)	Cassava flavour (panel)	Overall acceptability (hedonic)
2.38	1.37	5.8	4.5	4.7	5.6
1.51	0.83	5.1	2.9	4.1	4.8
1.11	0.64	5.2	1.4	3.7	3.0
2.24	1.20	5.9	4.0	4.8	6.0
2.35	1.27	5.7	3.8	4.8	6.7
1.85	1.00	5.3	4.4	4.2	3.8
2.24	1.21	5.9	4.1	5.2	6.5
1.91	0.97	5.4	3.0	4.0	4.7
2.29	1.23	6.0	4.0	4.8	6.6
2.19	1.23	5.5	4.1	4.7	5.9
2.18	1.17	5.7	3.8	4.9	5.8
1.13	0.66	5.4	2.2	4.5	5.0
1.96	1.05	5.9	4.4	4.6	5.4
2.19	1.23	5.9	3.9	5.0	6.4

تمرین3- برای بهینه‌سازی ترکیبات محیط کشت جهت تولید میسل‌های پلی ساکاریدی از *Pholiotadinghuensis* Bi (PDP) از روش سطح پاسخ استفاده شده است. محیط کشت بهینه برای تولید PDP خالص را به دست آورید. متغیرهای مستقل عبارتند از گلوکز (X_1) با غلظت 25، 20، 15، آرد ذرت (X_2) (6، 4، 2)، پپتون (X_3) (4، 3، 2)، عصاره مخمر (X_4) با غلظت (4، 3، 2)، KH_2PO_4(X_5) (1/5، 1، 0/5)، $MgSO_4$(X_6) (2، 1/5، 1). مدل ترکیب محیط کشت، مدل بهینه‌شده، بررسی آماری و عدم برازش، و قابلیت پیش‌بینی مدل را بررسی‌کنید.

Response
PDP yield (mg/L)
167 ± 21
182 ± 17
285 ± 31
437 ± 23
197 ± 15
229 ± 13
282 ± 29
499 ± 38
301 ± 17
281 ± 26
279 ± 36
303 ± 27

تمرین4- در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی، کدورت، وزن مخصوص، پتانسیل زتا، کشش سطحی، اندازه ذرات، و پایداری فیزیکی امولسیونهای نوشابه روغن پرتقال- آب به

عنوان تابعی از غلظت فاز آبی و فاز روغنی پرداخته شد. برای این منظور پارامترهای مستقل به شرح زیر مشخص شدند.

Independents variable	Symbol	Code levels		
		−1	0	+1
Arabic gum:water	A	6:73.4	9:64.35	12:55.33
Tragacanth:water	B	0.1:73.4	0.2:64.35	0.3:55.33
Oil phase:water	C	18:73.4	24:64.35	30:55.33

نتایج فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده به شرح زیر می باشد:

Response variables									
Design points	Opacity (660 nm)	Specific gravity	Zeta potential (mV)	Surface tension (mN/m)	Particle size (μm)	Flow behaviour index	Consistency coefficient (mPa)	Appa. viscosity (0.1/s, mPa)	Creaming
1	0.51 ± 0.05	1.03 ± 0.00	−34.35 ± 0.64	45.90 ± 1.41	0.54 ± 0.02	0.93 ± 0.01	27.46 ± 0.94	32.26 ± 0.58	−
2	0.56 ± 0.22	1.04 ± 0.00	−38.15 ± 2.05	43.10 ± 1.13	0.48 ± 0.09	0.90 ± 0.03	131.22 ± 2.63	165.20 ± 0.27	−
3	0.78 ± 0.00	1.03 ± 0.00	−37.20 ± 0.00	46.20 ± 0.00	0.64 ± 0.00	0.85 ± 0.00	110.56 ± 1.18	156.17 ± 0.50	−
4	0.24 ± 0.02	1.05 ± 0.01	−39.60 ± 2.26	43.10 ± 1.41	0.56 ± 0.00	0.87 ± 0.00	166.29 ± 3.54	224.32 ± 1.24	−
5	1.00 ± 0.03	1.02 ± 0.00	−32.95 ± 0.07	47.20 ± 0.57	0.71 ± 0.03	0.87 ± 0.00	71.03 ± 0.72	95.82 ± 0.1	±
6	0.79 ± 0.19	1.04 ± 0.00	−35.10 ± 0.28	44.55 ± 0.92	0.69 ± 0.13	0.82 ± 0.02	439.86 ± 7.58	665.76 ± 0.32	−
7	1.22 ± 0.11	1.02 ± 0.00	−32.30 ± 0.42	47.20 ± 0.42	0.82 ± 0.13	0.79 ± 0.03	247.05 ± 4.72	400.67 ± 1.26	±
8	0.73 ± 0.21	1.04 ± 0.00	−39.80 ± 1.77	43.70 ± 0.57	0.74 ± 0.00	0.79 ± 0.00	551.54 ± 8.91	894.49 ± 0.80	−
9[a]	0.69 ± 0.13	1.03 ± 0.00	−37.60 ± 3.54	45.10 ± 0.78	0.52 ± 0.08	0.83 ± 0.01	224.48 ± 2.33	332.03 ± 1.57	−

مدل مربوط به فرمولاسیون و معنی‌داری ضرایب به دست آمده را بررسی نمایید.

تمرین5- در مطالعه‌ای، ماندگاری پیش‌خوراک‌های بر پایه فلفل توسط روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش بهینه‌سازی اجزا در فرمولاسیون مخلوط نوشیدنی فلفلی، مخلوط گوجه فرنگی و مخلوط سوپ چاکوتا توسط روش سطح پاسخ به دست آمد. متغیرهای ورودی در این مطالعه به شرح زیر می باشند:

محدوده آزمایشی و سطوح متغیرهای وابسته به شکل واقعی و کد شده برای مخلوط نوشیدنی ادویه‌ای

Variables (g)	Range of levels					
	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded
A Black-gram dhal flour	30.0	−1	35.0	0	40	+1
B Milk powder	15.0	−1	17.5	0	25.0	+1
C Salt	5.0	−1	6.5	0	8.0	+1
D Pepper	0.75	−1	1.38	0	2.0	+1

محدوده آزمایشی و سطوح متغیرهای وابسته به شکل واقعی و کد شده برای مخلوط گوجه‌فرنگی

Variables (g)	Range of levels					
	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded
A White pepper powder	3.0	−1	6.50	0	10.0	+1
B Asafoetida	2.0	−1	3.50	0	5.0	+1
C Chilli powder	2.0	−1	3.5	0	5.0	+1
D Salt	2.0	−1	3.5	0	5.0	+1
E Jaggery	2.0	−1	3.0	0	4.0	+1

محدوده آزمایشی و سطوح متغیرهای وابسته به شکل واقعی و کد شده برای مخلوط سوپ چاکوتا

Variables (g)	Range of levels					
	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded
A Finger millet (Ragi) flour	5.0	−1	10.0	0	15.0	+1
B Chakota powder	5.0	−1	7.5	0	10.0	+1
C Milk powder	1.60	−1	5.3	0	9.0	+1

پاسخ‌های به دست آمده برای هر پیش خوراک نیز به ترتیب عبارتند از:

Sensory score	Colour (μg/100 g as Lycopene)
7	2.86
5.5	2.5
6.8	2.91
7	2.67
7	3.39
7	2.36
7.8	2.88
7	2.99
7	3.43
6.5	3.27
5.6	3.74
6.5	3.18
6.6	2.83
5.5	2.94
7.5	2.45
5.6	3.12
5.6	2.48
7.2	2.59
8	2.83
6.1	2.47
7	2.68
7.3	2.88
7	3.26
6.3	3.06
6.5	2.74
7.5	2.92

Sensory score	Acidity (g/100 g)
7.67	0.36
7.40	0.37
7.20	0.41
7.30	0.33
7.73	0.36
7.33	0.37
7.27	0.37
6.85	0.44
7.38	0.39
7.46	0.41
7.45	0.39
7.91	0.44
7.32	0.37
7.41	0.34
8.0	0.39
7.28	0.36
6.83	0.36
6.94	0.36
7.30	0.36
7.62	0.35
7.31	0.37

مقدار بهینه فلفل در هر کدام از این مخلوط‌ها را به دست آورده و تأثیر متقابل فاکتورها بر ویژگی‌های کیفی به دست آمده را بررسی نمایید.

Sensory score	Chlorophyll content (mg/100 g)
8	177
7.5	104
8	175
8	177
7.5	156
7.8	180
7.5	222
8	177
6.5	144
7	101
8.2	177
8	220
7	215
7	230
7	215

تمرین6- در مطالعه‌ای مشابه کره کاکائو با استفاده از اینتراستریفیکاسیون آنزیمی توسط لیپاز تثبیت شده *Thermomyceslanugin osus* از چربی کوهان شتر و تری استئارین در CO_2 فوق بحرانی تهیه شد. جدول مقادیر واقعی و کد شده فاکتورهای ورودی و پاسخ هرکدام به شرح زیر است.

Exp. No.	Variable levels					TAG (%)		
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	POP	POS	SOS
1	17	50	4	10	0.5	24.98	41.18	33.84
2	17	50	4	10	0.5	26.38	40.83	32.78
3	24	40	5.5	5	1	21.28	41.4	37.32
4	24	50	2.5	15	0.25	26.83	37.23	35.94
5	10	40	5.5	5	0.25	17.68	38.68	43.63
6	3	50	4	10	0.5	20.62	41.27	38.11
7	17	30	4	10	0.5	24.4	40.41	35.19
8	17	50	4	10	0.5	25.55	43.28	31.16
9	24	40	2.5	15	1	19.72	44.53	35.75
10	10	60	5.5	5	1	27.38	38.56	34.05
11	10	60	5.5	15	0.25	17.26	38.7	44.03
12	24	60	5.5	5	0.25	36.7	37.58	25.71
13	17	50	4	10	0.125	25.99	39.39	34.62
14	24	40	2.5	5	0.25	25.15	36.32	38.53
15	10	40	5.5	15	1	24.56	43.64	31.79
16	31	50	4	10	0.5	24.56	40.46	34.97
17	17	50	4	0	0.5	30.72	38.67	30.6
18	17	50	4	10	0.5	27.8	39.34	32.87
19	17	50	4	10	0.5	25.99	40.34	33.67
20	24	60	5.5	15	1	32.41	37.26	30.32
21	24	40	5.5	15	0.5	19.4	43.74	36.85
22	10	50	4	10	2	34.08	42.35	23.56
23	17	70	4	10	0.5	27.64	37.08	35.27
24	17	50	7	10	0.5	29.09	39.93	30.98
25	17	50	4	20	0.5	28.88	42.85	28.27
26	17	50	1	10	0.5	28.68	38.16	33.16
27	10	40	2.5	15	0.25	21.05	40.42	38.52
28	10	60	2.5	5	0.25	37	38.88	24.11
29	17	50	4	10	0.5	27.65	40.74	31.59
30	10	40	2.5	5	1	21.88	42.26	35.85
31	24	60	2.5	5	1	29.26	37.85	32.88
32	10	60	2.5	15	1	22.61	37.04	40.34

مدل مربوط به هر پاسخ، معنی‌داری ضرایب و نمودار شرایط بهینه برای هر کدام را بیابید.

تمرین7- در مطالعه‌ای شرایط بهینه درجه حرارت و زمان برشته‌کردن برای آماده‌سازی نوشابه ذرت شبه قهوه بررسی شد. طرح آزمون و پاسخ‌های مورد بررسی به شرح زیر می باشد.

Experiment number	Temperature (°C, X_1)		Time (min, X_2)	
	Coded	Actual	Coded	Actual
1	1	220	1	40
2	1	220	−1	20
3	−1	180	1	40
4	−1	180	−1	20
5	0	200	0	30
6	0	200	0	30
7	2	240	0	30
8	−2	160	0	30
9	0	200	2	50
10	0	200	−2	10

Experiment number	Yield (g/g)	Free sugar (mg/100 mL)	Phenolic compounds (mg/100 mL)	DPPH radical scavenging activity (%)	Overall preference
1	0.2451	0.00	19.01	62.34	6.91
2	0.1266	3.71	15.47	69.50	4.41
3	0.0919	37.26	9.45	64.49	6.33
4	0.0888	50.68	9.13	46.08	2.91
5	0.1129	12.69	14.12	73.23	6.25
6	0.1107	11.51	13.94	78.26	6.41
7	0.3506	0.00	25.14	80.46	7.33
8	0.0896	71.26	8.37	44.44	2.75
9	0.1530	2.33	15.81	66.12	6.08
10	0.0956	68.08	11.40	43.58	2.58

با توجه به نتایج به دست آمده، مؤثرترین فاکتور در برشته‌کردن و کیفیت نهایی نوشابه تهیه‌شده را مشخص کنید و نمودار شرایط بهینه این دو فاکتور را رسم کرده و دما و زمان بهینه را مشخص نمایید.

برای پاسخ سؤالات 1 تا 7، به ترتیب به مقالات زیر رجوع شود:

1. V.M. Rodríguez-González, A. Femenia, R. Minjares-Fuentes, R.F. González-Laredo. 2012. Functional properties of pasteurized samples of Aloe barbadensis Miller:Optimization using response surface methodology. LWT - Food Science and Technology, 47: 225-232.

2. H.E. Gan, R. Karim, S.K.S. Muhammad, J.A. Bakar, D.M. Hashim, R.Abd. Rahman. 2007. Optimization of the basic formulation of a traditional baked cassava cake using response surface methodology. LWT 40: 611–618.

3. Dan Gan, Liping Ma, Changxing Jiang, Mingchun Wang, Xiaoxiong Zeng. 2012. Medium optimization and potential hepatoprotective effect of mycelial polysaccharides from Pholiota dinghuensis Bi against carbon tetrachloride-induced acute liver injury in mice. Food and Chemical Toxicology 50(8): 2681–2688

4. Elham Rezvani a, Gerhard Schleining a, Ali R. Taherian. 2012. Assessment of physical and mechanical properties of orange oil-in-water beverage emulsions using response surface methodology. LWT - Food Science and Technology 48: 82-88.

5. D.D. Wadikar, T.K. Majumdar, C. Nanjappa, K.S. Premavalli, A.S. Bawa. 2008. Development of shelf stable pepper based appetizers by response surface methodology (RSM). LWT 41:1400–1411.

6. Hajar Shekarchizadeh, Mahdi Kadivar. 2012. A study on parameters of potential cocoa butter analogue synthesis from camel hump by lipase-catalysed interesterification in supercritical CO2 using response surface methodology. Food Chemistry 135(1): 155–160.

7. Kwang-Sup Youn, Hun-Sik Chung. 2012. Optimization of the roasting temperature and time for preparation of coffee-like maize beverage using the response surface methodology. LWT - Food Science and Technology 46: 305-310.