

## تعیین محل مناسب سنسور کنترل کننده دما به کمک شبیه سازی برای رفع مشکل ناپایداری برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک

سعید خواجه مندلی ، فرجام جاوید ، سعید علامه نژاد

واحد تحقیق و توسعه شرکت پتروشیمی اراک

E-mail : research@arpc-ir.net , khajehmandali@noavar.com

### چکیده

تغییر خوراک و متعاقب آن شرایط کارکرد کوره های واحد الفین پتروشیمی اراک تغییراتی را در عملکرد تجهیزات دیگر این واحد به وجود آورده است. شرایط جدید سبب بروز مشکلات فرایندی و ناپایداری عملیاتی در برج دی بوتانایزر شده است. این مقاله مشکل ناپایداری دی بوتانایزر واحد الفین را مورد بررسی قرار می دهد. مطالعات انجام شده نشان می دهد که عامل موثر در ناپایداری این برج ناکارآمدی سیستم کنترلی به علت استقرار سنسور کنترل کننده دما در محل نامناسب می باشد و لازم است سنسور دما جابجا شده و در محل مناسب نصب شود. بدین منظور ابتدا شبیه سازی در حالت پایای دی بوتانایزر با سه نرم افزار HYSYS, PRO/II و CHEMCAD در شرایط طراحی و فعلی انجام گرفت. سپس طبق اصول آنالیز حساسیت، محل مناسب سنسور کنترل کننده دما در شرایط کارکرد مطابق طراحی و فعلی تعیین گردید. نتایج نشان می دهد که برای رفع ناپایداری عملیاتی برج در شرایط فعلی، تغییر محل سنسور کنترل دما از سینی ۱۱ در حالت طراحی به سینی ۵ الزامی است.

**واژه های کلیدی : کنترل ؛ آنالیز حساسیت ؛ شبیه سازی ؛ محل سنسور دما ؛ دی بوتانایزر**

### مقدمه

در راستای عیب یابی تجهیزات و رفع موانع تولید، پروژه تحقیقاتی "شبیه سازی و بهینه سازی برج دی بوتانایزر واحد الفین و ارائه راهکار برای حل مشکلات جداسازی نامناسب و ناپایداری آن" در دستور کار واحد تحقیق و توسعه پتروشیمی اراک قرار گرفت. نتایج این پروژه جهت اجرا به اداره مهندسی فرایند، بهره برداری و تعمیرات واحد الفین ارجاع داده شد. در مقاله حاضر، نتایج شبیه سازی دی بوتانایزر و استفاده از آن برای تعیین محل مناسب سنسور کنترل کننده دما ارائه می شود. لازم به ذکر است که سایر دستاوردهای پروژه فوق در قالب دو مقاله دیگر به هشتمین کنگره ملی مهندسی شیمی ارسال شده است.

بر اساس آمارهای موجود ۹۰٪ فرایندهای جداسازی در صنعت، به روش تقطیر انجام می شود [۱]. عملکرد مطلوب برج های تقطیر بستگی به طراحی و کارکرد مناسب تجهیزات مکانیکی و سیستم کنترلی آنها دارد. اگرچه استفاده از نرم افزارهای قدرتمند طراحی و شبیه سازی در مهندسی شیمی و کنترل، امکان طراحی دقیق اجزای مکانیکی و کنترلی را فراهم نموده است ولی تغییرات و مشکلات ناخواسته در کارکرد بخش های بالادستی، موجب بروز معضلاتی در عملکرد صحیح برج های تقطیر می شود. در اینگونه موارد عیب یابی و رفع مشکل (Troubleshooting) توسط انجام تستهای میدانی (Field Testing)، جمع آوری داده های عملیاتی و استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی با تکیه بر تجربیات عملی مهندسان شیمی انجام می گیرد [۲].

### مشخصات برج دی بوتانایزر

برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک وظیفه جداسازی ترکیبات چهار کربنه از مواد سنگین تر را به عهده دارد. محصول بالاسری برج برش چهار کربنه غنی از ۱ و ۳ بوتادین می باشد که به عنوان خوراک به واحد لاستیک پلی بوتادین (BD/PBR) ارسال می گردد. بنزین پیرولیز خام که شامل ترکیبات  $C_5$  و سنگین تر ( $C_5^+$ ) می باشد محصول خروجی پایین برج بوده و خوراک واحد هیدروژناسیون بنزین پیرولیز (PGH) محسوب می شود. جدول ۱ مشخصات خوراک، محصولات و شرایط عملیاتی دی بوتانایزر در حالت طراحی را نشان می دهد. مشخصات مهم مکانیکی برج نیز در جدول ۲ آمده است [۳].

### جدول ۱- مشخصات خوراک، محصولات و شرایط

#### عملیاتی دی بوتانایزر در حالت طراحی

Stream			
Condition	Feed	Distillate	Bottom
Vapor Fraction	0.24	0.0	0.0
Temperature(°C)	59.0	41.1	112.5
Pressure (KPa)	480	450	500
Mass Flow Rates (Kg/hr)			
Component	Feed	Distillate	Bottom
M-Acetylene	8.8	8.8	0.0
Propadiene	0.1	0.1	0.0
VinylAcetylene	170.8	158.5	12.3
1,3-Butadiene	3528.9	3527.9	1.0
1-Butene	2513.6	2513.2	0.4
n-Butane	254.8	254.6	0.2
$C_5^+$	4068.0	12.9	4055.1
TOTAL(Kg/hr)	10545	6476	4069

### جدول ۲- مهم ترین مشخصات مکانیکی دی بوتانایزر

No. OF TRAY	40
TOWER DIAMETER (cm)	91.5
TRAY SPACING (cm)	61.0
FEED TRAY LOCATIONS	21 , 25
TRAY TYPE	Valve
TEMP. SENSOR LOCATION	Tray No. 11

### ناپایداری عملیاتی دی بوتانایزر و پیامدهای آن

ناپایداری برج های تقطیر در اثر عملکرد نامناسب تجهیزات مکانیکی مانند جوش آور، چگالنده و... یا ناکارآمدی سیستم کنترل ایجاد می شود. این مساله مستقیماً روی خلوص محصول، ظرفیت کارکرد برج، سهولت عملیات و هزینه های تولید تاثیر دارد. ناپایداری عملیاتی اغلب روی نحوه عملکرد واحدهای پایین دستی تاثیر منفی داشته و در مواردحاد موجب بروز حوادث و توقف تولید می شود [۴].

تغییرات انجام شده در شرایط عملیاتی تجهیزات بالادستی برای بهینه کردن عملکرد آنها، باعث ایجاد تغییر در شرایط خوراک ورودی برج دی بوتانایزر شده است. علاوه بر این برای احتراز از پدیده های هیدرولیکی نامطلوب مانند طغیان، شرایط کارکرد برج در حالت واقعی نسبت به طراحی تغییراتی داشته که در نهایت منجر به ناپایداری عملیاتی شده است. اپراتورهای واحد الفین خصوصیات ظاهری ناپایداری را به شرح ذیل گزارش داده اند:

الف - ارتفاع مایع ته برج و مخزن جریان برگشتی (Reflux Drum) دچار تغییرات شدید و لحظه ای می باشد و کاهش دامنه تغییرات کنترل آنها به سختی امکان پذیر است.

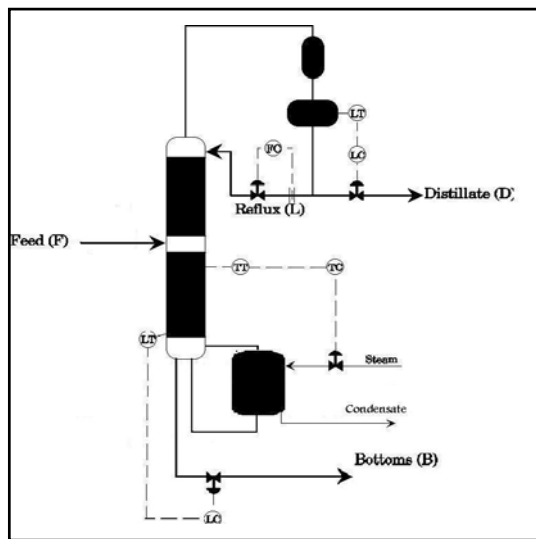
ب - افت فشار برج ( $\Delta P$ ) به طور ناگهانی و به شدت دچار نوسان می شود.

ج - میزان مصرف بخار در جوش آور تغییرات شدیدی دارد.  
د - دبی محصولات خروجی برج در محدوده وسیعی دچار نوسان است که به شدت بر نحوه عملکرد واحدهای پایین دستی اثر منفی دارد.

علاوه بر این موارد ذیل نیز دلالت بر وجود ناپایداری عملیاتی دارد:

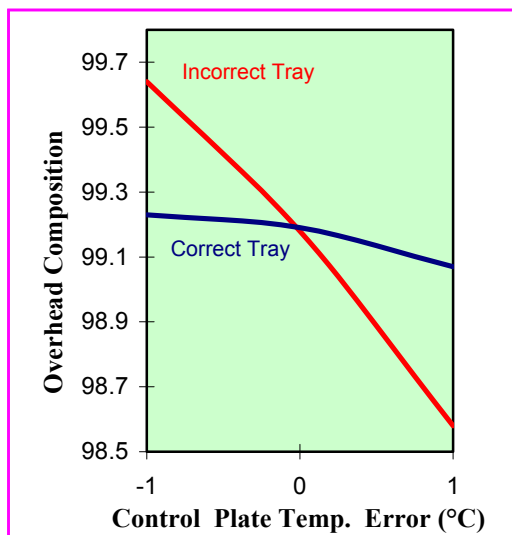
الف ( مولفین نمونه های متعددی از محصولات خروجی برج را آنالیز آزمایشگاهی نمودند که نتایج حاصل، تغییرات شدید خلوص آنها را نشان داد.

ب ( اندازه گیری دمای نقاط مختلف برج، نشان دهنده تغییرات شدید و غیر طبیعی پروفیل دمای برج می باشد.



شکل ۱- شمای کنترلی دی بوتانایزر

خلوص محصولات بالا سری و پایین برج از مهم ترین متغیرهای کنترل شونده دربرجهای تقطیر محسوب می شود. متداول ترین روش کنترل این متغیرها، تنظیم دمای یکی از سینی های برج می باشد. این سینی حساس ترین سینی نسبت به تغییرات برج بوده و دمای آن کنترل کننده مقدار بخار ورودی به جوش آور می باشد. شکل های ۲ و ۳ نمودار اثر انتخاب مناسب یا نامناسب سینی کنترل کننده دما برخلوص محصولات بالاسری و پایین یک برج را نشان می دهند[۴].



شکل ۲ - نمودار اثر انتخاب محل سینی کنترل کننده دما بر محصول بالاسری

ناپایداری عملیاتی دی بوتانایزر باعث نوسان مقدار  $C_5^+$  در محصول بالاسری برج می شود. این امر منجر به افزایش مصرف حلال و گرفتگی شدید (Fouling) در مبدل های حرارتی واحد پایین دستی BD/PBR شده، دوره کارکرد واحد را کاهش می دهد.

علاوه بر این،  $C_4$  موجود در محصول پایین برج که به واحد PGH فرستاده می شود، مشکلات عملیاتی عدیده ای مانند افزایش بار راکتور هیدروژناسیون و ازدیاد مصرف هیدروژن را به وجود می آورد.

زیان مستقیم ناشی از اتلاف ۲۲ تن در روز برش  $C_4$  به هنگام کارکرد ناپایدار برج برابر ۳۵۰,۰۰۰ دلار در سال می باشد.

### مشخصات سیستم کنترل برج

به طور کلی در طراحی برج های تقطیر، ابتدا مشخصات برج و تجهیزات جانبی آن (تعداد و نوع سینی ها، قطر برج، فاصله بین سینی ها، ریبولر، کندانسور و ...) تعیین شده، پس از آن نوبت به طراحی سیستم کنترلی می رسد.

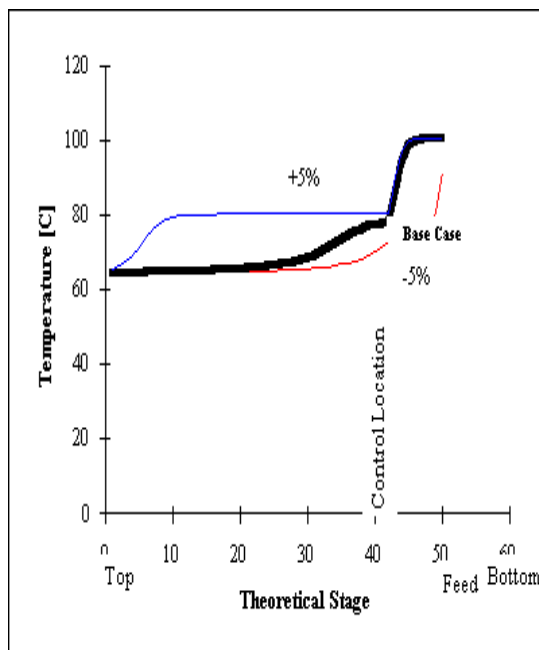
در طراحی سیستم کنترلی، ابتدا یک شمای کنترلی (Control Scheme) برای برج انتخاب و در آن ارتباط میان جریان های کنترل کننده (Manipulated Streams) با متغیرهای کنترل شونده (Controlled Variables) مشخص می شود. سپس محل نصب سنسور کنترل کننده دما (Temperature Sensor Location) تعیین و تنظیم پارامترهای کنترلرها (Tuning of Controllers) انجام می گردد[۴,۵].

شکل ۱ شمای کنترلی دی بوتانایزر را نشان می دهد. در این شمای کنترلی، جریان برگشتی بوسیله یک کنترل کننده جریان (FC) و ارتفاع مایع در ته برج و ظرف تجمع جریان برگشتی (Reflux Drum) به وسیله کنترل کننده سطح (LC) با تغییر دبی محصولات بالا و پایین برج کنترل می شود. سنسور کنترل کننده دمای برج نیز روی سینی ۱۱ نصب شده است[۳].

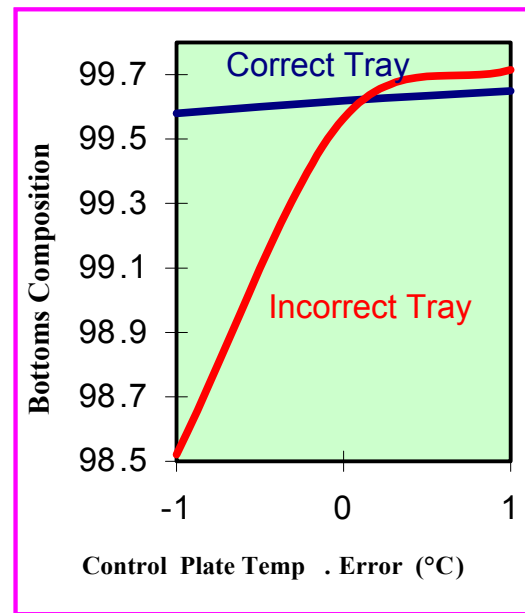
پایه (Base Case) رسم می شود. سپس ضمن ثابت نگه داشتن جریان برگشتی (Reflux Rate)، با اعمال تغییرات +5 و -5 درصدی در بار حرارتی جوش آور، شبیه سازی مجدداً انجام می گردد. نمودارهای پروفیل دما در این دو حالت و حالت پایه به منظور تعیین محل بهینه سنسور کنترل دما مورد استفاده قرار می گیرد.

مطابق اصول آنالیز حساسیت، مناسب ترین محل برای نصب سنسور کنترل کننده دما سینی ای است که نسبت به تغییرات مثبت و منفی بار حرارتی جوش آور، بیشترین تغییرات را به صورت متقارن از خود نشان می دهد.

در شکل ۴ نمونه ای از نمودار پروفیل های دما برای یک برج جداسازی نشان داده شده است. این شکل بیانگر آن است که سینی های ۱ تا ۲۵ نسبت به کاهش بار حرارتی جوش آور و سینی های ۴۲ تا ۵۰ نسبت به افزایش آن حساس نبوده، لذا نمی توانند کاندید مناسبی برای محل نصب سنسور دما باشند. برای سیستم فوق الذکر سینی ۳۵ دارای این خصوصیات می باشد [۱].



شکل ۴ - نمودار پروفیل های دما برای انجام آنالیز حساسیت در یک برج جداسازی



شکل ۳ - نمودار اثر انتخاب محل سینی کنترل کننده دما بر محصول پایینی

سایر مشکلات عملیاتی ناشی از ضعف سیستم کنترلی و محل نامناسب سنسور دما در مراجع بررسی شده است [۵-۷]. با توجه به تغییرات عمده در خوراک و شرایط عملیاتی دی بوتانایزر نسبت به طراحی، بهبود نسبی عملکرد برج در هنگام تعویض حالت کنترل دما از اتوماتیک به دستی و نیز مقدار بسیار کم  $C_5^+$  موجود در محصول بالاسری، انتخاب مجدد محل مناسب سینی کنترل کننده دما الزامی است.

### تئوری آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت روشی است که در آن با استفاده از شبیه سازی برج در حالت پایا (Steady State Simulation)، بهترین محل سنسور کنترل کننده دما تعیین می شود. این روش در انواع مختلف برج های جداسازی نظیر برج های سینی دار و آکنده، تقطیر استخراجی، تقطیر آزنوتروپی، برج های جذب و دفع و ... بکار می رود. اصول و روش های آنالیز حساسیت به تفصیل در مراجع ذکر شده است [۱,۴,۸].

برای انجام آنالیز حساسیت در مورد برج های تقطیری که از شمای کنترلی همانند دی بوتانایزر استفاده می کنند، ابتدا برج در حالت پایا شبیه سازی شده، پروفیل دمای آن به عنوان حالت

### شبیه سازی برج در حالت پایا

همانگونه که ذکر شد اولین مرحله آنالیز حساسیت، شبیه سازی برج در حالت پایا می باشد. بدین منظور ابتدا با استفاده از داده های طراحی و نمودار فرایندی واحد (PFD)، دی بوتانایزر با استفاده از سه نرم افزار 2.4.1 HYSYS، 3.33 PRO/II و 5.0 CHEMCAD شبیه سازی شد. نتایج حاصل از این سه نرم افزار یکسان بوده و با دقت بالایی رفتار برج را در حالت طراحی پیش بینی می نماید.

برای شبیه سازی دی بوتانایزر در حالت فعلی نیاز به مجموعه کاملی از داده های عملیاتی بود. بنابراین ضمن ثبت شرایط کارکرد برج در طول ۹ ماه، نمونه های متعددی از خوراک و محصولات آن با دستگاه "GC/MS-Varian2200" آنالیز گردید. در جدول ۳ برخی از مشخصات مهم عملیاتی برج در حالت طراحی و فعلی آورده شده است.

### جدول ۴ - مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های عملی برای محصول بالاسری برج

	Sim.	Act.	%Error
Temp. (°C)	33.5	33.5	0.00
Press (Kpa)	370	370	0.00
Flow (Kg/hr)	5704	5647	(+) 1.1
Component	Wt.%	Wt.%	Wt.%
M-Acetylene	0.02	0.02	0.00
i-Butene	25.50	25.56	(-) 0.2
13-Butadiene	55.20	55.16	(+) 0.0
1-Butene	10.56	10.57	(-) 0.94
i-Butane	0.29	0.29	0.00
n-Butane	2.25	2.24	(+)0.4
Cis2-Butene	2.29	2.27	(+)0.8
tr2-Butene	3.65	3.64	(+)0.27
i-Pentane	0.04	0.04	0.00
n-Pentane	0.00	0.00	0.00
Tr2-Pentene	0.00	0.00	0.00
Cis2-Pentene	0.00	0.00	0.00
3M-1-butene	0.19	0.18	(+)5.2
13-CC5==	0.01	0.01	0.00
Cyclo C5=	0.00	0.00	0.00

### جدول ۵- مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های عملی برای محصول پایین برج

	Sim.	Act.	%Error
Temp. (°C)	66.67	66.00	(+) 1.0
Press (KPa)	400	400	0.0
Flow (Kg/hr)	4224	4281	(-) 1.3
Component	Wt.%	Wt.%	Wt.%
M-Acetylene	0.00	0.00	0.00
i-Butene	3.17	3.39	(-) 6.4
13-Butadiene	13.21	13.82	(-) 4.4
1-Butene	1.55	1.64	(-) 5.4
i-Butane	0.01	0.01	0.00
n-Butane	0.91	0.94	(-) 3.1
cis2-Butene	2.55	2.57	(-) 0.7
tr2-Butene	2.59	2.62	(-) 1.1
i-Pentane	7.47	7.37	(+) 1.3
n-Pentane	11.61	11.45	(+) 1.4
Tr2-Pentene	8.58	8.46	(+) 1.4
cis2-Pentene	1.13	1.11	(+) 1.8
3M-1-butene	3.22	3.19	(+) 0.9
13-CC5==	20.55	20.28	(+) 1.3
CycloC5=	1.17	1.15	(+) 1.7
CycloC5	2.84	2.81	(+) 1.0
n-Hexane	1.46	1.44	(+) 1.3
Benzene	9.57	9.44	(+) 1.4
1-Pentene	1.90	1.87	(+) 1.6
Mcyclopentan	0.80	0.79	(+) 1.2
3M1C5=	2.54	2.50	(+) 1.6
Toluene	3.18	3.14	(+) 1.2

### جدول ۳- مقایسه شرایط فعلی و طراحی دی بوتانایزر

Condition	Design	Actual
Feed Temperature (°C)	59	48
Top Temperature (°C)	41.1	34
Bottom Temperature (°C)	113	66
Top Pressure (Kpa)	460	370
Bottom Pressure (KPa)	500	400
C4 in Feed (%Wt.)	61.5	67.5
C5 <sup>+</sup> in Feed (%Wt.)	38.5	32.5
C4 in Bottom (%Wt.)	0.34	25.0
C5 <sup>+</sup> in Distillate (%Wt.)	0.20	Nil - 3.2

در جداول ۴ و ۵ نتایج حاصل از شبیه سازی در حالت فعلی با داده های عملی برای محصولات بالاسری و پائین برج مقایسه شده است. این نتایج نشان می دهد که شبیه سازها با دقت بالایی عملکرد دی بوتانایزر را پیش بینی می نماید.

## تعیین محل بهینه سنسور کنترل دما در دی بوتانایزر الف : حالت طراحی

برای انجام آنالیز حساسیت در دی بوتانایزر، بعد از شبیه سازی برج در حالت پایا با سه نرم افزار فوق الذکر، ابتدا پروفیل دمای آن به عنوان حالت پایه (Base Case) رسم گردید. سپس ضمن ثابت نگه داشتن مقدار جریان برگشتی (Reflux Rate)، تغییرات +5 و -5 درصدی در بار حرارتی جوش آور (Reboiler Duty) اعمال شد و شبیه سازی مجدداً برای دو حالت فوق انجام گرفت. شکل 5، نمودارهای پروفیل دما در سه حالت مذکور را نشان می دهد.

مطابق این شکل، سینی های 1 تا 5 و 17 تا 39 به ترتیب نسبت به افزایش و کاهش بار حرارتی جوش آور حساسیت لازم را دارا نمی باشند. بنا بر این انتخاب هر کدام از این سینی ها به عنوان محل نصب سنسور کنترل کننده دما باعث بروز اختلال در کنترل برج و ایجاد ناپایداری می گردد. بیشترین تغییرات دما به صورت متقارن در سینی 11 مشاهده می شود.

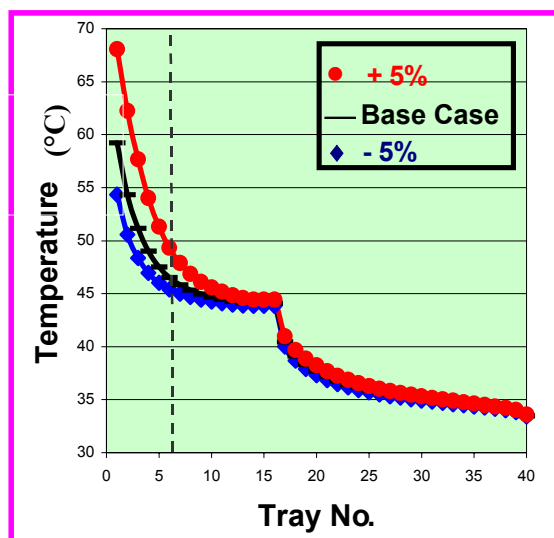
سنسور کنترل دما در این محل توسط طراح، تاییدی بر صحت انجام این روش است.

## ب : حالت فعلی

برای انجام آنالیز حساسیت در حالت فعلی، ابتدا دی بوتانایزر با استفاده از داده های عملیاتی کارکرد واحد الفین در طول 9 ماه با سه نرم افزار شبیه سازی شده، پروفیل دمای حالت پایه رسم گردید. مطابقت دماهای قرائت شده از برخی نقاط برج بادماهای متناظر در پروفیل مذکور، دقت بالای نرم افزارها را در پیش بینی عملکرد برج نشان داد.

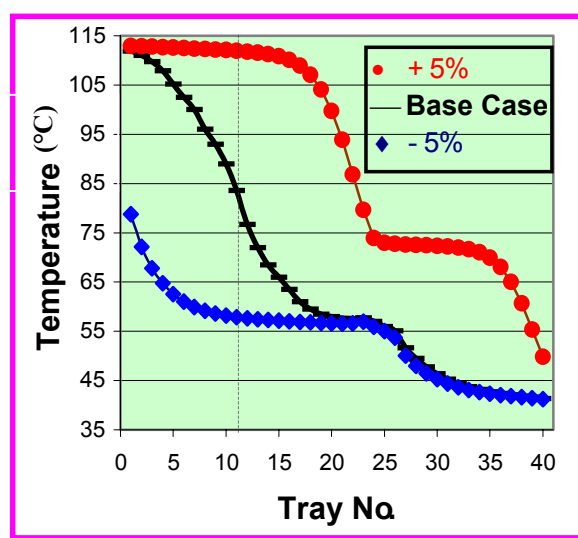
شبیه سازی مجدد برج ضمن ثابت نگه داشتن مقدار جریان برگشتی و با اعمال تغییرات +5 و -5 درصدی در بار حرارتی جوش آور انجام گرفت. نمودارهای پروفیل دمای سه حالت مذکور در شکل 6 نشان داده شده است.

نمودار ذیل بیانگر آن است که در شرایط فعلی سینی 11 حساسیت لازم را نسبت به تغییرات بار حرارتی جوش آور دارا نبوده و محل مناسبی برای نصب سنسور دما نیست.



شکل 6 - نتایج آنالیز حساسیت در شرایط فعلی

استقرار سنسور کنترل کننده دما بر روی این سینی موجب صدور فرمان های نادرست و نابهنگام به جوش آور و نوسانات دبی بخار (Steam) در آن می شود که عملکرد نامطلوب ریویلر و متعاقب آن، ناپایداری برج را در پی دارد.



شکل 5 - نتایج آنالیز حساسیت در شرایط طراحی

جهت اطمینان بیشتر تغییرات +2/5 و -2/5 درصدی نیز در بار حرارتی جوش آور اعمال شد و پس از شبیه سازی مجدد و رسم نمودارهای پروفیل دما، باز هم بیشترین تغییرات دما به صورت متقارن در سینی 11 مشاهده گردید. بنابراین مناسب ترین محل برای نصب سنسور دما این سینی می باشد. استقرار

بر اساس اصول آنالیز حساسیت، استقرار سنسور کنترل کننده دما بر روی سینی های نزدیک به خوراک، خروجی ریویلر و ورودی جریان برگشتی باعث بروز مشکلات کنترلی در برج می گردد [۴,۸]. بنابراین اگر چه سینی های ۱ تا ۴ نسبت به تغییرات بار حرارتی جوش آور حساسیت زیادی دارند ولی نمی توانند کاندید مناسبی برای نصب سنسور دما باشند.

بر مبنای شکل ۶ و با توجه به مطالب اخیر، سینی ۵ مناسب ترین محل برای نصب سنسور کنترل کننده دماست. شایان ذکر است که انجام آنالیز حساسیت با اعمال تغییرات  $-۲/۵$  و  $+۲/۵$  درصدی در بار حرارتی جوش آور نیز نتیجه فوق را تایید نمود.

### نتیجه گیری

۱) نوسانات شدید خلوص محصولات دی بوتانایزر در حال حاضر ناشی از ناپایداری عملیاتی برج می باشد.

۲) بهبود نسبی عملکرد دی بوتانایزر در هنگام تعویض حالت کنترل دما از اتوماتیک به دستی، نشان دهنده ناکارآمدی سیستم کنترلی به دلیل استقرار سنسور کنترل کننده دما در محل نامناسب است.

۳) برای تعیین محل مناسب سنسور کنترل کننده دما، آنالیز حساسیت با استفاده از شبیه سازی پایای برج انجام گردید.

۴) نتایج شبیه سازی دی بوتانایزر در حالت طراحی و فعلی به ترتیب منطبق بر اطلاعات نمودار فرآیندی و داده های عملی می باشد و شبیه سازها با دقت بسیار بالایی رفتار برج را پیش بینی می نماید.

۵) نتایج آنالیز حساسیت در شرایط طراحی نشان می دهد که بهترین محل برای نصب سنسور کنترل کننده دما سینی ۱۱ می باشد. انتخاب این سینی توسط طراح بیانگر صحت انجام آنالیز است.

۶) در شرایط کنونی، حساسیت سینی ۱۱ نسبت به تغییرات در حد مطلوب نمی باشد و سنسور دما فرمان های نادرستی برای کنترل مقدار بخار ورودی جوش آور صادر می کند که علت اصلی ناپایداری عملیاتی است.

۷) انجام آنالیز حساسیت نشان دهنده آن است که در شرایط فعلی، سینی ۵ مناسب ترین محل برای نصب سنسور کنترل کننده دما می باشد.

۸) تغییر محل سنسور دما از سینی ۱۱ به سینی ۵ موجب رفع ناپایداری عملیاتی دی بوتانایزر خواهد شد.

### تقدیر و تشکر

تهیه کنندگان این مقاله از همکاری صمیمانه همکاران شاغل در مهندسی فرایند و بهره برداری واحد الفین پتروشیمی اراک تشکر و قدردانی می نمایند.

### مراجع:

1. Nalven G.F.(ed.), "Practical Engineering Perspectives: Distillation and Other Industrial Separations", American Institute of Chemical Engineers, New York, 1997.
2. Kister H.Z., "Can We Believe the Simulation Results?" Chemical Eng. Progress, Vol.98, No.10, p.52, 2002.
3. TPL's PFD and P&ID of Olefins Plant, Arak Petrochemical Company, 1988.
4. Kister H.Z., "Distillation Operation", McGraw-Hill Inc., New York, 1990.
5. Kister H.Z., "What Causes Malfunctions in Refinery Towers – Part1", Hydrocarbon Asia, July/Aug., p.44, 2002.
6. Kister H.Z., "What Causes Malfunctions in Refinery Towers – Part2", Hydrocarbon Asia, Sep., p.48, 2002.
7. Wauquier J. P. (ed.), "Petroleum Refining Series: Separation Processes", Vol.2, Technip ed., Paris, 2000.
8. Trevedi Y., "Controlling Distillation with Most Sensitive Tray", Chemical Eng., Jan., p.141, 1993.