



بررسی سناریوهای مختلف جهت افزایش ظرفیت واحدهای نم زدایی گاز طبیعی

مهدی نیک نام شاهرک، اکبر شاهسوند*، علی گرمودی اصیل
گروه مهندسی شیمی - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

با توجه به افزایش روز افزون مصرف گاز طبیعی کشور (بویژه در زمستان)، در این مقاله سناریوهای مختلفی جهت افزایش ظرفیت یکی از واحدهای نم زدایی پالایشگاه خانگیران مورد بررسی قرار گرفتند. در چهار سناریوی پیشنهادی، ابتدا صرفاً با تغییر سیکل زمانی برج های نم زدایی واحد مورد نظر میزان افزایش ظرفیت سرمایه، گرمایش و جداسازی مورد نیاز در سناریوهای 1 و 2 با استفاده از نرم افزارهای مختلف محاسبه شدند. سپس ضمن استفاده از یک بستر جذب اضافه، تغییرات لازم در سیستم های سرمایه، گرمایش و جداسازی در سناریوهای 3 و 4 مجدداً محاسبه گردیدند. در انتها مشخص گردید، چنانچه تنها افزایش ظرفیت واحد نم زدایی جمالی نیا تا سقف 1.8MMSCMD مدنظر باشد، سناریوی نخست مناسبتر است. همچنین، اگر بالا بردن توان تولید تا سقف 2.5MMSCMD مورد نظر باشد، آنگاه می بایست ضمن دو برابر نمودن ظرفیت های گرمایش، سرمایه و جداسازی سیستم، نسبت به افزودن یک بستر جاذب اضافی نیز اقدام شود.

کلمات کلیدی: بستر جذب، واحد نم زدایی، کلایکنبرگ، منحنی رخنه، افزایش ظرفیت



Investigating various scenarios for increasing the capacity of natural gas dehumidification units

M. Niknam – A. Shahsavand* – A. Garmroodi Asil

Department of chemical engineering – Faculty of Engineering – Ferdowsi university of Mashhad

Abstract:

Due to increasing demand of natural gas consumption (especially in winter), four different scenarios were considered in this article to investigate the capacity increase of one of the Khngiran gas refinery dehydration units. In the four recommended scenarios, first various cycle times were considered and the required increase in cooling, heating and separation capacities were computed using different software's for scenarios of 1 & 2. Afterwards, while adding an extra adsorption bed, the required changes in cooling, heating and separation capacities of scenarios 3 & 4 were calculated again. The computation results indicate that the first scenario is more appropriate to increase the Jamalnia dehydration unit capacity up to 1.8 MMSCMD. On the other hand, the unit capacity can be increased to 2.5 MMSCMD by adding an extra adsorption bed and doubling the existing cooling, heating and separation capacities.

Key words: Adsorption bed, dehumidification unit, Klinkenberg, Breakthrough curve, capacity increase

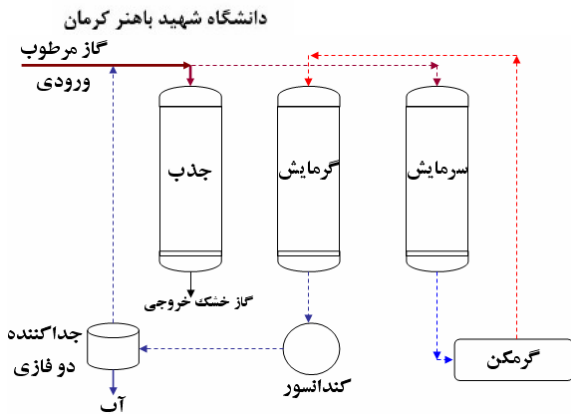
حدود 7 پوند آب به ازای یک میلیون فوت مکعب (در شرایط استاندارد) گاز طبیعی باشد. این مقدار حدود 140 قسمت در میلیون (مولی) بخار آب در گاز طبیعی بوده و نقطه شبنمی معادل 38- درجه فارنهایت (38/8- درجه سانتی گراد) در فشار یک اتمسفر ایجاد می نماید [3]. در مورد گاز خانگی (نم زدایی جمالی نیا)، با توجه به اینکه فشار گاز تزریقی به خط لوله حدود 45 بار می باشد، دمای نقطه شبنم (آب) گاز طبیعی در فشار مذکور می بایست حدود صفر درجه سانتی گراد می باشد که با توجه به اینکه، عملیات جذب سطحی در واحد نم زدایی جمالی نیا به گونه ای انجام می گیرد که نقطه شبنم گاز طبیعی تزریق شده به خط لوله به مراتب کمتر از مقدار فوق می باشد، لذا معمولاً کنترل نقطه شبنم آب از اهمیت چندانی در این واحد برخوردار نیست.

همان گونه که در بالا نیز اشاره گردید، از جمله ترکیبات دیگری که قبل از تزریق گاز به خط لوله و توزیع آن

1. مقدمه:

اغلب گازهای طبیعی استخراج شده از منابع زیر زمینی، اشباع از آب و هیدروکربن های نسبتاً سنگین می باشند. گاز استحصالی از مخازن، دارای مقادیر قابل توجهی از ناخالصی های مختلف می باشد که لزوماً پیش از استفاده در مصارف صنعتی و خانگی باید در طی چندین مرحله مورد فرآوری قرار گیرد. یکی از مهم ترین این ناخالصی ها، آب موجود در گاز می باشد که می تواند موجب مشکلات متعددی از جمله یخ زدگی و گرفتگی در شیرهای کنترل و رگلاتورهای فشار، تشدید خوردگی در حضور گازهای اسیدی نظیر H_2S و CO_2 ، تولید هیدرات، کاهش شدید ارزش حرارتی گاز و آسیب دیدن کمپرسورهای مسیر گاز در اثر ایجاد لخته های آب گردد [1,2].

مقدار مجاز آب همراه گاز طبیعی، با توجه به شرایط عملیاتی بسیار متنوع می باشد اما در اغلب موارد می بایست



شکل 1: واحد نم زدایی جمالی نیای پالایشگاه سرخس

همان طور که در شکل نیز می توان مشاهده نمود به دلیل استفاده از گاز داغ برای احیاء بستر، فرایند احیاء از نوع فرایند حرارتی (TSA) می باشد. ظرفیت کنونی این واحد معادل 900 هزار استاندارد متر مکعب در روز (900MSCMD) گاز می باشد که این مقدار طبق اهداف تعیین شده از سوی پالایشگاه باید تا میزان 2.5MMSCMD افزایش یابد. برای افزایش ظرفیت مذکور، چهار سناریو پیشنهاد گردید که از این میان در سناریوهای اول و دوم تنها با تغییر در سیکل زمانی فعلی بسترهای جذب و در سناریوهای سوم و چهارم علاوه بر راهکار مذکور با افزودن یک بستر جذب اضافی به بررسی این موضوع پرداخته شد که مفصلاً در بخش های بعدی نتایج آن ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است در واحد مذکور، ارتفاع هر یک از برج ها 8 متر، قطر برابر 1/5 متر، مدت زمان سیکل هر بستر معادل 75 دقیقه، جهت جریان گاز از بالا به پایین و دمای استاندارد شبنم گاز خروجی در فشار 45 بار برابر 10- درجه سانتیگراد می باشد.

2. مدل سازی و شبیه سازی:

جهت پیاده سازی هر یک از سناریوها، شناخت کامل مسئله، مدل سازی و شبیه سازی مناسب (مطابق با داده های واقعی) فرایند امری اجتناب ناپذیر است. بدین منظور ابتدا برای پیش بینی رفتار دینامیکی فعلی بسترهای جذب از مدل نسبتاً ساده کلانکنبرگ¹ و سپس از نرم افزار ASPEN ADSIM استفاده گردید. که در ادامه مزایا، معایب و نتایج هر یک در پیشبینی صحیح رفتار دینامیکی فعلی واحد بیان خواهد گردید.

برای مصرف کنندگان، باید از جریان گاز جدا شود، هیدروکربن های سنگین موجود در جریان گاز می باشد. داشتن ارزش حرارتی بالا و به تبع آن افزایش دمای احتراق و همچنین ارزش اقتصادی قابل توجه هیدروکربن های سنگین، از دلایل عمده اهمیت جداسازی این اجزاء از جریان گاز طبیعی می باشد. گاز طبیعی ترکیب گسترده ای از مواد مختلف از متان تا زنجیره های طولیل هیدروکربنی می باشد که هر یک از این اجزاء نقطه شبنم مخصوص به خود را دارا بوده و این دما تابع غلظت و فشار بخار هر یک از آن ها است [4]. نقطه شبنم هیدروکربن ها بستگی به ارزش حرارتی در نظر گرفته شده برای گاز طبیعی مورد نظر دارد. برای مثال چنانچه گاز طبیعی بیشتر حاوی متان باشد (مانند گاز خانگی) ارزش حرارتی آن بسیار پایین باشد) آنگاه می بایست از جداسازی بیش از حد هیدروکربن های نیمه سنگین مانند پنتان و هگزان ممانعت به عمل آورد.

بدیهی است در این صورت نقطه شبنم هیدروکربن های سنگین تر (مانند C_6^+) نسبت به گاز مشابهی که دارای اتان، پروپان و بوتان بیشتری است (مثل گاز عسلویه)، بسیار بالاتر می باشد. با توجه به موارد فوق، مقدار نقطه شبنم هیدروکربن برای گاز خانگی در حدود 10- درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است. روش های متعددی برای تنظیم نقطه شبنم آب و هیدروکربن گاز طبیعی وجود دارد که از آن جمله می توان به فرایندهایی نظیر جذب توسط حلال، جذب سطحی، فرایندهای غشایی و جداکننده مافوق صوت اشاره نمود. شایان ذکر است که در حال حاضر روش های غشایی و مافوق صوت در تنظیم نقطه شبنم آب و هیدروکربن کاربرد چندانی در صنعت ندارند و بیشتر برای دبی های کمتر مورد استفاده قرار می گیرند [5].

فرایند مورد استفاده در واحد نم زدایی پالایشگاه از نوع جذب سطحی می باشد که متشکل از سه برج با سیکل زمانی معین برای جذب و دفع می باشد. شکل (1) نمای شماتیک از واحد نم زدایی جمالی نیای پالایشگاه را نشان می دهد.

¹ klinkenberg



همچنین پارامترهای ξ و τ به ترتیب نشانگر مکان و زمان بدون بعد می باشند و به صورت زیر تعریف می گردند.

$$\xi = \frac{kKZ}{u} \left(\frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} \right) \quad (4)$$

(5)

$$\tau = k \left(t - \frac{Z}{u} \right)$$

با توجه به آنالیز گاز ورودی به واحد نم زدایی جمالی نیا و همچنین محاسبه هر یک از پارامترهای مورد نیاز برای حل معادله (1)، نحوه تغییرات غلظت هر یک از اجزاء سیال، در طول بستر جذب به روش کلانکنبرگ به صورت نشان داده شده در شکل (2) حاصل گردید.

با توجه به نتایج حاصله در شکل 2، توزیعات بدست آمده در برخی مواقع کاملاً منطبق با نتایج تجربی می باشند. برای مثال، توزیعات حاصله برای غلظت های خروجی گازهایی مانند اتان، آب و دی اکسید کربن بسیار مناسب می باشد. اما نتایج پیش بینی شده در خصوص هگزان و پنتان کاملاً غیر واقعی می باشند. بدیهی است که بخش عمده ای از خطای محاسبات، مربوط به خطی فرض نمودن منحنی تعادل می باشد. که برای اجزاء مذکور غیر قابل قبول است. توزیعات به دست آمده برای گازهایی مانند پروپان و بوتان نیز اگرچه توجیه پذیر هستند اما اندکی با نتایج تجربی متفاوت می باشند. در مورد متان نیز با توجه به اینکه بیش از 95 درصد گاز ورودی را تشکیل می دهد لذا انتظار نمی رود که حتی در زمان های بسیار کم (حدود 100 ثانیه) نیز گاز خروجی عاری از متان باشد.



2-1. روش کلانکنبرگ:

نحوه به دست آوردن مدل ریاضی تغییرات غلظت و دمای سیال و یا جاذب در بسترهای جذب ثابت بطور کامل در اغلب مراجع توضیح داده شده است [6,7] که این دو مدل را به ترتیب در معادلات (1) و (2) می توان مشاهده نمود.

$$-E_z \varepsilon \frac{\partial^2 C_b}{\partial Z^2} + \frac{\partial(u_s C_b)}{\partial Z} + \varepsilon \frac{\partial C_b}{\partial t} + (1 - \varepsilon) \rho_p \frac{d\bar{q}}{dt} = 0 \quad (1)$$

(2)

$$(\varepsilon C_{Pg} \rho_g + \rho_b C_{Ps}) \frac{\partial T}{\partial t} + u_s C_{Pg} \frac{\partial T}{\partial z} = Q_{goc} - \frac{h(T - T_w)}{L}$$

از حل همزمان معادلات بقای جرم (1) و انرژی (2)

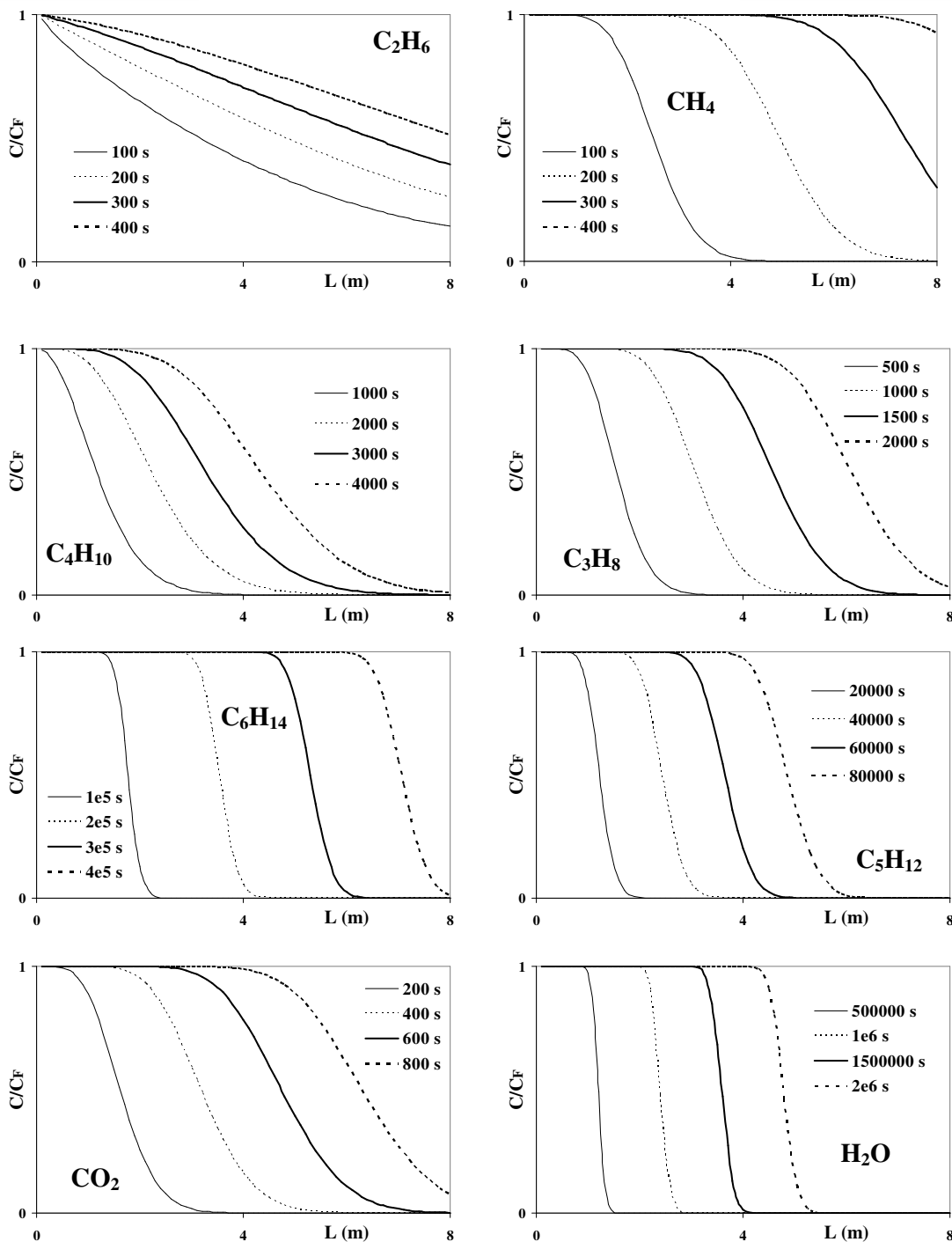
حاکم بر سیستم، به همراه شرایط مرزی و اولیه مناسب، می توان تغییرات دمایی و غلظتی در بستر را پیش بینی نمود. معادلات بیان شده برای بررسی تغییرات غلظت و دما در بستر را می توان در اکثر اوقات هم برای فرایند جذب و هم دفع بکار برد [8]. اما به هر حال با توجه به شرایط مسئله، ممکن است ترم های موجود در معادلات اندکی با یکدیگر متفاوت باشند و بتوان هر کدام از معادلات بیان شده را ساده سازی نمود. هر چند حل تحلیلی همزمان دو معادله فوق امکان پذیر می باشد اما معمولاً به علت پیچیده شدن مسئله از فرضیات ساده کننده ای برای رسیدن به جواب نهایی استفاده می شود.

روش های تحلیلی مختلفی برای حل معادلات حاکم بر بستر جذب توسط محققان بیان شده است که هر یک حاوی فرضیات ساده کننده ای در سیستم می باشد. از جمله مهمترین این روش ها می توان به روش کلانکنبرگ، روسن ۲ و روش توماس ۳ اشاره نمود که اولین روش نسبت به سایر روش ها بیشتر مورد استفاده بوده است [6,7]. کلانکنبرگ با فرض عدم تاثیر ضریب پراکندگی محوری، ثابت بودن سرعت سیال در بستر، بستر ایزوترمال (حذف معادله 2) و بکارگیری مدل نیروی محرکه انتقال جرم خطی $^4 (q = KC)$ ، معادله حاکم بر سیستم را برای دستیابی به تغییرات غلظت سیال در بستر حل نمود و جواب آن را بصورت ذیل ارائه نمود [7].

(3)

$$\frac{C}{C_F} \approx \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}(\sqrt{\tau} - \sqrt{\xi}) + \frac{1}{8\sqrt{\tau}} + \frac{1}{8\sqrt{\xi}} \right]$$

² Rosen³ Thomas⁴ Linear Driving Force (LDF)



شکل 2: نحوه تغییرات غلظت اجزاء سیال در طول بستر به روش کلانکنبرگ

در بستر را پیش بینی نماید لذا استفاده از این روش برای سایر موارد از جمله بررسی سناریوهای مختلف برای افزایش ظرفیت واحد نم زدایی کارآمد نبوده و به نتایج آن نمی توان اطمینان

بنابراین همان گونه که قبلا نیز ذکر گردید با توجه به اینکه مهمترین جزء مد نظر در این واحد هگزان می باشد، و از طرفی روش کلانکنبرگ نتوانست به درستی رفتار این جزء



ترین آن‌ها (از حیث اقبال عمومی متخصصین و کاربردهای عملی) می‌توان به نرم افزارهای HYSYS و Aspen اشاره نمود. نرم افزار Aspen Adsim جزو معدود نرم افزارهایی است که قادر به شبیه سازی بسترهای جذب سطحی بوده و می‌تواند تمامی معادلات فوق را به صورت همزمان حل نماید.

در این قسمت با استفاده از نرم افزار Aspen Adsim نسبت به شبیه سازی واحد نم زدایی جمالی نیا اقدام گردیده است. بدیهی است که با توجه به جامعیت بیشتر نرم افزار مذکور، انتظار می‌رود که نتایج بهتری نسبت به مدل ساده کلایکنبرگ ایجاد نماید. لازم به ذکر است با توجه به اینکه نرم افزار قادر به قبول انواع مختلفی از ایزوترم‌های موجود می‌باشد، تمامی ایزوترم‌های موجود برای اجزاء سیال با معادله جذب لانگمویر انطباق داده شد و ثوابت اول و دوم معادله به نرم افزار مطابق آنچه در جدول (1) نشان داده شده است، وارد گردید. ایزوترم مذکور در نرم افزار، به شکل زیر تعریف شده است [9].

$$Q_i = \frac{IP_i IP_{2i} P_i}{1 + IP_{2i} P_i} \quad (6)$$

در رابطه فوق، پارامتر Q_i نشانگر مقدار جذب تعادلی (بر حسب $kmol/kg adsorbent$) بوده، IP_1 مبین ثابت اول ایزوترم (بر حسب $kmol/kg adsorbent$) و IP_2 نشانگر ثابت دوم ایزوترم با واحد معکوس bar می‌باشد. همچنین پارامتر P نشانگر فشار جزئی تعادلی و اندیس i نشان دهنده جزء مورد نظر می‌باشد.

نمود. لذا در بخش بعد از نرم افزار ASPEN ADSIM برای پیش بینی رفتار تغییرات غلظت سیال در بستر استفاده می‌گردد.

2-2. نرم افزار ASPEN ADSIM:

همان طور که در بخش قبل بیان گردید، روش‌های ساده برای شبیه سازی عملکرد دینامیکی برج‌های نم زدایی معمولاً دارای سه فرض ساده کننده عدم تاثیر پراکندگی محوری، سرعت ثابت سیال در بستر و جذب همدمای باشند. استفاده از فرضیات ساده کننده فوق باعث می‌شود مدل بدست آمده جامع نبوده و در برخی موارد جواب‌های بدست آمده از این مدل از حالت واقعی فاصله زیادی داشته باشند. به همین جهت بهتر است بدون در نظر گرفتن فرضیات فوق (یا حداقل بخشی از آنها) نسبت به استفاده از مدل‌های کلی تر اقدام نمود. بدیهی است که همواره می‌توان از روش‌های ساده به عنوان حدس اولیه برای روش‌های کلی استفاده کرد.

در روش‌های کلی، معادلات خاصی برای پراکندگی محوری در نظر گرفته می‌شوند. همچنین با انجام موازنه انرژی حول بستر و در نظر گرفتن انتقال حرارت با محیط، توزیع دما در بستر قابل محاسبه است. برای بدست آوردن سرعت نقطه ای داخل بستر نیز باید معادله ممنتوم مربوطه را همزمان حل نمود.

امروزه با توجه به پیشرفت روزافزون علوم مربوط به کامپیوتر، نرم افزارهای متنوعی برای مدل سازی فرآیندهای مختلف صنایع نفت و گاز به بازار عرضه گردیده اند که از موفق

جدول 1: ضرائب اول و دوم برای ایزوترم لانگمویر در دماهای مختلف

Component	303 K		293 K		283 K	
	IP1	IP2	IP1	IP2	IP1	IP2
C ₂ H ₆	0.0005	0.03171	0.005163	0.04199	0.004328	0.08326
C ₃ H ₈	0.00055	0.1735	0.00055	0.2612	0.00056	0.35174
C ₄ H ₁₀	0.001	0.7189	0.00174	1.941	0.00187	2.3549
C ₅ H ₁₂	0.00155	13.87	0.0155	21.26	0.00155	37.5
C ₆ H ₁₄	0.1117	63.81	0.1112	69	0.1115	103.9

های بعدی جهت مطالعه افزایش ظرفیت، میزان جذب آب مورد توجه فرار نمی‌گیرد. در مورد گاز CO₂ نیز، ضمن مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی به کمک نرم افزار و رابطه کلایکنبرگ، مشاهده گردید که مدت زمان پیش بینی شده

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، در طی بررسی‌های انجام شده معلوم گردید که جذب آب در بستر به هیچ وجه مشکلی نداشته و تقریباً 90 درصد بستر جاذب پس از اتمام زمان سیکل دست نخورده باقی مانده است. به همین جهت در بررسی



دانشگاه شهید باهنر کرمان
که می دانیم مقدار بسیار اندکی از متان در بستر نیز جذب می گردد.

از آنجایی که تغییرات غلظت هگزان و سنگین تر، در طول بستر به شکل خطوط تقریباً عمودی است؛ لذا می توان این نتیجه را گرفت که از تمامی فضای بستر (ظرفیت جذب بستر) برای جذب این مواد استفاده می شود که این نوع نمودارها از بهترین نوع منحنی های رخنه بشمار می آیند. بطور خلاصه می توان چنین نتیجه گرفت که در حال حاضر، تنها مواد هگزان و سنگین تر و مقدار اندکی از اجزای پنتان و بوتان از مخلوط گاز ورودی جذب بستر می شوند و از جذب سایر مواد می توان کاملاً صرف نظر نمود. به همین جهت، مشکل اصلی واحد در بحث کنترل نقطه شبنم هیدروکربن را می توان مربوط به جذب هگزان و مواد سنگین تر از آن دانست. بنابراین به هر نحوی اگر بتوان میزان جذب هگزان را افزایش داد، می توان ظرفیت واحد را نیز بیشتر نمود. این موضوع به تفصیل در بخش بعد و با در نظر گرفتن سناریو های مختلف، توضیح داده خواهد شد. با توجه به اینکه نتایج حاصل از شبیه سازی از تطابق بسیار یالایی با نتایج واقعی واحد (جدول 2) برخوردار می باشد لذا برای بررسی اثر انواع سناریوها بر ظرفیت واحد از نرم افزار Aspen Adsims استفاده می گردد و همچنین از این پس مطابق مطالب فوق الذکر، تنها نمودار رخنه هگزان و سنگین تر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

3. سناریوهای مختلف جهت افزایش ظرفیت واحد نمزدایی

قبل از بررسی سناریوهای جدید برای افزایش ظرفیت واحد مذکور، در ابتدا با توجه به شرایط فعلی واحد و تنها با اندکی تغییرات مانند، معکوس نمودن جهت جریان، کاهش دما و افزایش فشار گاز ورودی، به امکان سنجی افزایش ظرفیت واحد اقدام می گردد. طبق نتایج حاصله، مشخص شد که معکوس نمودن جهت جریان تاثیر چندانی بر افزایش ظرفیت واحد ندارد. از طرفی با توجه به محدودیت کاهش دما از حیث تشکیل هیدرات⁶، ظرفیت واحد در اثر کاهش دمای گاز ورودی از 33 درجه به 15 درجه سلسیوس را تنها می توان از 0.9MMSCMD (شرایط فعلی) به 1.075MMSCMD افزایش داد.

⁶ دمای تشکیل هیدرات در شرایط فعلی واحد برابر 11 درجه سانتیگراد می باشد که برای اطمینان بیشتر میزان 15 درجه سانتیگراد در محاسبات ملاک قرار گرفت.

توسط نرم افزار Aspen Adsims جهت جذب آن در بستر جاذب (حدود 75 دقیقه)، به مراتب بیشتر از مقدار محاسبه شده توسط مدل کلاینکنبرگ (حدود 14 دقیقه) می باشد. با توجه به پایین بودن غلظت دی اکسید کربن در گاز شیرین ورودی (حدود 0/8 درصد) و مهم نبودن مقدار آن در گاز خروجی از واحد نم زدایی، چگونگی جذب این گاز نیز (مشابه بخار آب) در بررسی های آتی نیز مورد توجه نمی باشد. بنابراین در جدول (1)، ثوابت مربوط به سایر مواد به غیر از آب و دی اکسید کربن آورده شده است. بعد از وارد نمودن تمامی پارامترهای مورد نیاز به نرم افزار و شبیه سازی واحد فعلی نم زدایی جمالی نیا، تغییرات غلظت اجزاء سیال مطابق آنچه در شکل (3) و جدول (2) نشان داده شده است به دست آمد. بدیهی است مقادیر بوتان و پنتان ذکر شده در جدول 2، برابر مجموع دو حالت ایزو و نرمال این مواد هستند. همچنین در تمامی نمودارهای شکل 3، زمان بر حسب ثانیه و طول بستر بر حسب متر می باشد.

جدول 2: مقایسه آنالیز گاز خروجی حاصل از شبیه

سازی با داده های واقعی

نوع ماده	درصد مولی گاز خروجی	
	نتایج واقعی	نتایج شبیه سازی
متان	95/782	97/940
اتان	1/162	1/160
پروپان	0/292	0/314
بوتان	0/300	0/324
پنتان	0/169	0/195
هگزان و سنگین تر	0/073	0/075

همان گونه که در این نمودارها می توان مشاهده نمود، بیشترین میزان جذب در شرایط فعلی واحد، مربوط به هگزان با جذب بیش از 90 درصد می باشد. چنانچه ملاحظه می گردد، در مورد گاز هگزان، خروج منحنی رخنه⁵ از بستر در زمان 75 دقیقه اتفاق می افتد. در مورد نحوه تغییرات کسر مولی متان در طول بستر ذکر این نکته ضروری است که به علت جذب برخی مواد موجود در گاز مثل هگزان، میزان کسر مولی این گاز (متان) در طول بستر افزایش یافته است؛ هر چند

⁵ Breakthrough Curve

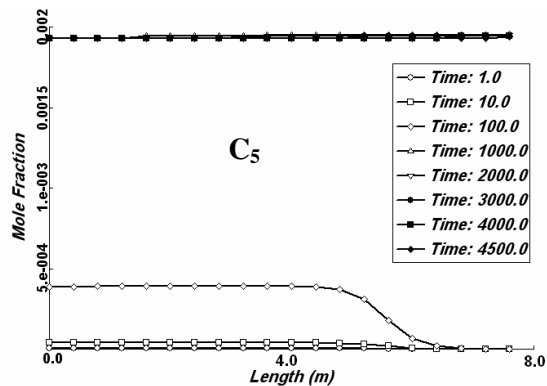
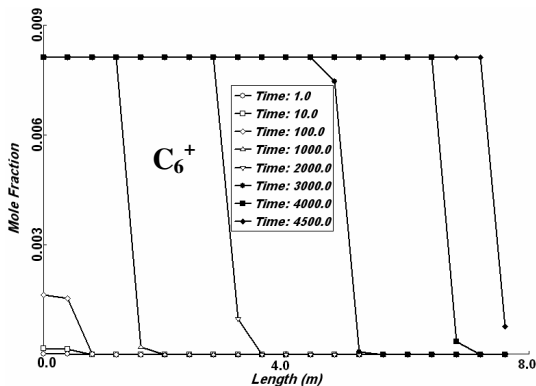
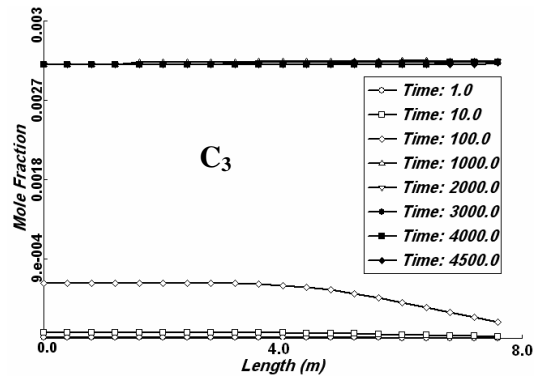
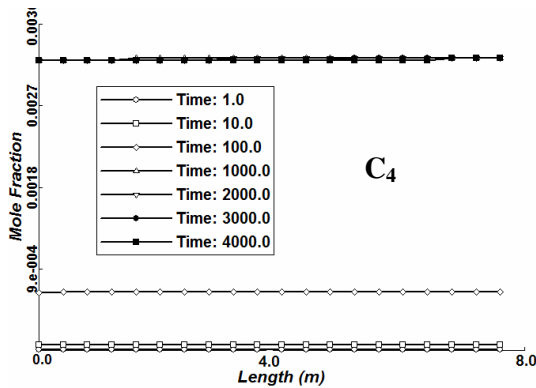
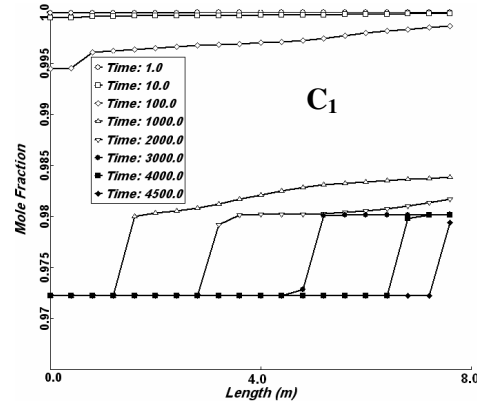
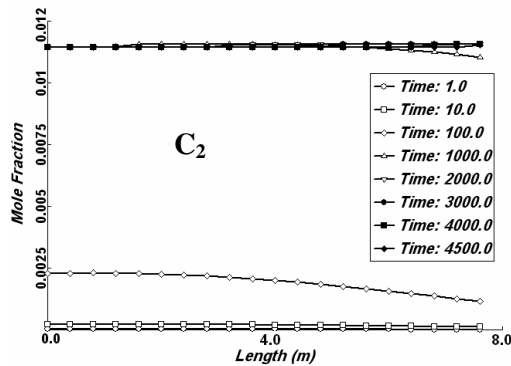


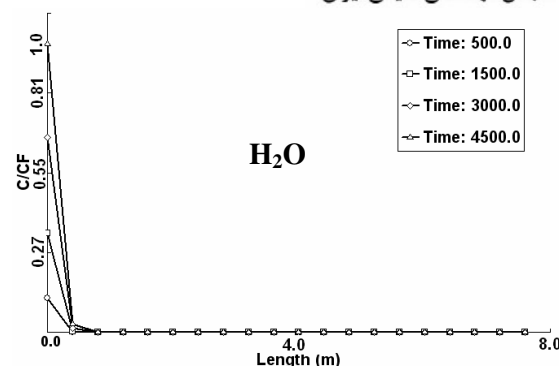
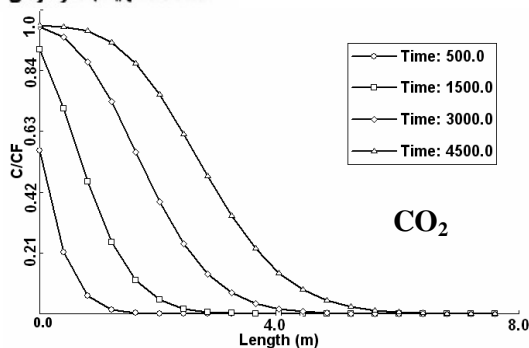
دانشگاه شهید باهنر کرمان

پالایشگاه شهید هاشمی نژاد، هیچ یک از موارد فوق دارای کاربرد عملی جهت افزایش ظرفیت بستر جاذب نمی باشد. به همین جهت، تنها راهکار باقیمانده برای نیل به افزایش ظرفیت تا 2/5 میلیون متر مکعب (استاندارد) در روز، انجام تغییر در سیکل رطوبت زدایی می باشد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

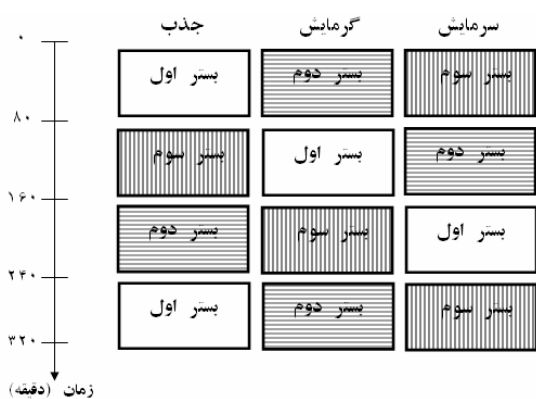
انجمن مهندسی شیمی ایران

همچنین طبق بررسی های به عمل آمده، هر چند با افزایش میزان فشار گاز ورودی به واحد نم زدایی جمالی نیا می توان میزان جذب را تا حدودی افزایش داد اما به دلیل هزینه بالای وسایل مورد نیاز مانند کمپرسور، استفاده از چنین راهکاری مقرون به صرفه نمی باشد. نهایتاً می توان چنین نتیجه گرفت که با توجه به امکانات فعلی موجود در





شکل 3: نحوه تغییرات غلظت اجزاء سیال در طول بستر به کمک نرم افزار ASPEN ADSIM



شکل 4: سیکل زمانی بسترهای جذب و دفع فعلی واحد نم زدایی جمالی نیا

1-3 سناریوی اول:

در این سناریو، با در نظر گرفتن سیکل زمانی 80 دقیقه برای واحد نم زدایی می توان انتظار داشت که هر برج جذب قادر به دریافت $900MSCMD$ گاز شیرین باشد. تفاوت اصلی این سناریو با وضعیت موجود آن است که در هر زمان به جای یک برج، دو برج هم بصورت جذب عمل نموده و برج سوم در این مدت در مراحل گرمایش و سرمایش جهت دفع اجزاء جذب نموده قبلی قرار دارد.

بدیهی است که با این تغییر، ظرفیت گاز ورودی به واحد نم زدایی به یکباره دو برابر می شود، یعنی به $1.8MMSCMD$ افزایش می یابد. برای نیل به این هدف، مطابق شکل 5 می بایست هر برج تنها در مدت 40 دقیقه تحت گرمایش قرار گرفته و سپس در همین مدت تحت گرمایش قرار گیرد.

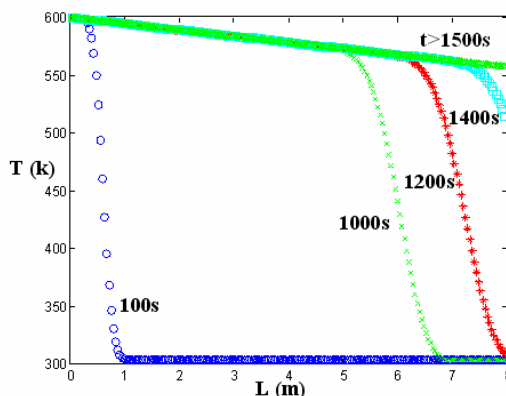
در این بخش در ابتدا سناریوهای لازم برای افزایش ظرفیت واحد نم زدایی، بدون افزودن بستر اضافی مد نظر قرار گرفته و سپس، سناریوهای مشابه با در نظر گرفتن یک بستر جذب اضافی به واحد نم زدایی مورد توجه قرار می گیرند. در ادامه نیز ضمن شبیه سازی تمامی سناریوهای ارائه شده در این بخش با نرم افزار Aspen Adsime، نتایج شبیه سازی های انجام شده در هر مورد به تفصیل ارائه می گردند. همچنین در انتها نسبت به بررسی فنی و اقتصادی تمامی تجهیزات اضافی مورد نیاز (بدون در نظر گرفتن هزینه های پاپینگ) برای اجرای سناریوهای مورد نظر و ارائه راهکارهای پیشنهادی (با توجه به محدودیت های عملیاتی موجود در پالایشگاه) پرداخته خواهد شد.

همان طور که قبلا اشاره گردید، واحد نم زدایی جمالی نیا شامل سه بستر جذب کاملا یکسان می باشد که مطابق سیکل زمانی نشان داده شده در شکل 4، در هر لحظه یک بستر در حالت جذب بوده و دو بستر دیگر همزمان در حالت دفع (گرمایش یا سرمایش) می باشند. بدیهی است که این نوع سیکل زمانی جزء ساده ترین سیکل ها بوده و اگر چه بهره برداری آن به سهولت امکان پذیر است اما لزوماً از حیث ظرفیت بهره برداری بهینه نخواهد بود. به همین جهت سیکل های زمانی دیگری با استفاده از بستر های موجود در واحد نم زدایی پیشنهاد می گردند

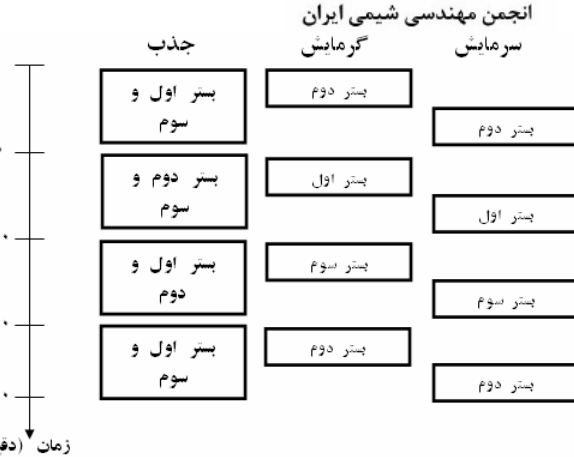
دانشگاه شهید باهنر کرمان

سرعت ظاهری گاز مشابه وضعیت فعلی کماکان برابر 22.6 ft/min خواهد بود که کاملاً در محدوده مجاز ($12 - 45 \text{ ft/min}$) قرار دارد.

اما تفاوت اصلی این سناریو با سیکل فعلی واحد نم زدایی، تغییر در مدت زمان مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش بستر می باشد. از آنجایی که بطور هم زمان (در طی مدت 80 دقیقه) دو بستر در حال جذب می باشند، لذا بستر سوم باید در مدت 40 دقیقه تحت گرمایش قرار گرفته و سپس در همین زمان سرد گردد. بدیهی است با توجه به کاهش مدت زمان گرمایش و سرمایش، الزامات دبی های مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش افزایش می یابند. از آنجایی که دمای گاز گرم کننده طبق اطلاعات بدست آمده از سوی پالایشگاه، حدود 320 تا 330 درجه سانتیگراد می باشد، لذا می بایست ابتدا نسبت به تعیین زمان ترانزیت (گذرا) برای گرم شدن بستر اقدام گردد. مطابق معادله (2) به راحتی می توان تغییرات دمایی بستر جذب در حین فرایند گرمایش را بدست آورد. شکل 6 (الف) نشانگر تغییرات توزیع دما در طول بستر جذب در حین فرایند گرمایش در شرایط فعلی می باشد.

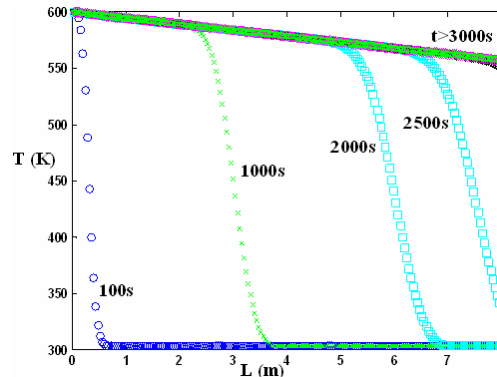


(ب)



شکل 5: سیکل زمانی پیشنهادی برای بسترهای جذب و دفع در سناریوی اول

از آنجایی که زمان مورد نیاز برای بسترهای جذب در این سناریو، تغییری با سیکل جذب فعلی واحد نم زدایی ندارد، لذا تغییرات غلظت مواد جذب شونده در طول بسترهای مذکور، دقیقاً مشابه همان تغییراتی است که در بخش های قبل (شکل 3) ارائه گردید. همچنین با توجه به ثابت بودن دبی گاز ورودی به هر بستر جاذب، علیرغم دو برابر شدن ظرفیت کلی واحد نم زدایی، مطابق محاسبات انجام شده،



(الف)

شکل 6: تغییرات توزیع دمای بستر جاذب در حین گرمایش نسبت به زمان،

(الف): ظرفیت فعلی، (ب): سناریوی اول

بطوریکه ملاحظه می گردد (شکل 6 (الف))، پس از گذشت حدود 50 دقیقه بعد از شروع عملیات گرمایش، دمای تمامی بستر به حداکثر ممکن افزایش می یابد. بدیهی است از آنجایی که در طی عملیات سرد سازی هیچ گونه جذب و یا دفع قابل توجهی در بستر صورت نمی پذیرد و این عملیات صرفاً یک عملیات حرارتی به منظور سرد سازی بستر قبل از

با توجه به اطلاعات موجود در خصوص وضعیت فعلی واحد نم زدایی جمالی نیا، دبی گاز احیاء ورودی به بستر برابر 0.09 kgmol/s (معادل 20 درصد کل دبی گاز ورودی به واحد نم زدایی جمالی نیا) در نظر گرفته شده و دمای اولیه بستر برابر 30°C فرض گردیده است.

با عنایت به محاسبات انجام گرفته فوق، می توان نتیجه گرفت که با استفاده از سناریوی اول و بدون در نظر گرفتن هرگونه بستر جاذب اضافی می توان صرفاً با دو برابر نمودن دبی گاز ورودی به مراحل گرمایش و سرمایش، ظرفیت واحد نم زدایی را به سهولت تا 2 برابر مقدار فعلی آن افزایش داد.

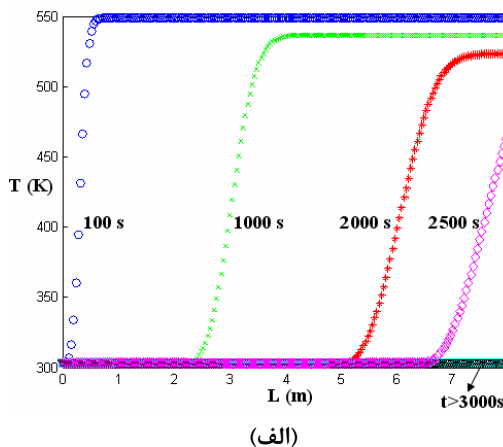
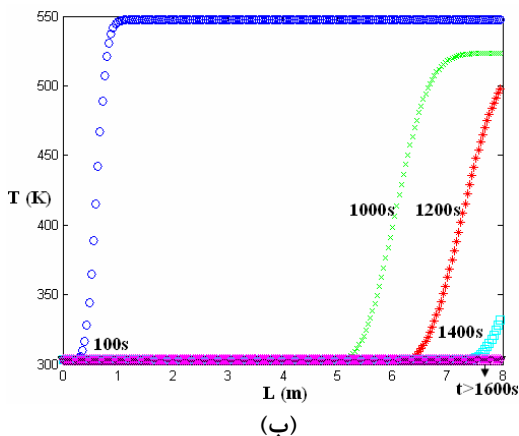
بدیهی است که برای دو برابر نمودن دبی گاز ورودی به مراحل مذکور، نیاز به تهیه تجهیزات جانبی می باشد که در بخش بعد نسبت به بررسی مشخصات فنی - اقتصادی آنها جهت مقایسه با سناریو های دیگر و انتخاب روش بهینه اقدام خواهد شد.

لازم به توضیح است که، با توجه به اینکه میزان دبی گاز ورودی به بستر های جذب به دو برابر افزایش یافته است، لذا عملاً تغییری در میزان درصد گاز مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش روی نمی دهد بلکه تنها مقدار آن افزایش می یابد. بنابراین در این حالت نیز مانند شرایط فعلی واحد نم زدایی، تنها 20 درصد از کل جریان گاز ورودی برای گرمایش و سرمایش بستر مورد استفاده واقع خواهد شد.

ورود به سیکل جذب می باشد، لذا تنها تغییرات دمایی در طی عملیات مذکور نیز مد نظر می باشد.

با توجه به اینکه مدت زمان مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش بستر در سناریوی اول به حدود 40 دقیقه (نصف زمان فعلی) کاهش یافته است بنابراین دبی گاز احیاء نیز بایستی به دو برابر مقدار فعلی افزایش یابد که این امر خود مستلزم افزایش توان هیتر موجود به دو برابر مقدار فعلی می باشد.

شکل 6 (ب) نحوه تغییرات دمایی در طول بستر برای سناریوی اول در حین فرایند گرمایش را نشان می دهد. همچنین شکل های 7 (الف) و 7 (ب) نشانگر تغییرات توزیع دما در مرحله سرد سازی (cooling) برای شرایط عملیاتی فعلی (180MSCMD) و وضعیت در نظر گرفته شده در سناریوی اول (360MSCMD) می باشند. به طوریکه ملاحظه می گردد، در شرایط فعلی، پس از گذشت حدود 50 دقیقه، دمای تمامی بستر به حدود 30°C کاهش می یابد. این زمان برای هنگامی که دبی گاز ورودی دو برابر ظرفیت فعلی باشد، به حدود 25 دقیقه کاهش می یابد که کمتر از 40 دقیقه در نظر گرفته شده در سناریوی نخست می باشد.



شکل 7: تغییرات توزیع دمای بستر جاذب در حین سرمایش نسبت به زمان، (الف): ظرفیت فعلی، (ب): سناریوی اول

که افزایش دبی گاز ورودی تا مقدار 2.5MSCMD می باشد، تحقق نیافته است.

برای نیل به این هدف می بایست هر برج جذب حداقل قادر به دریافت 1.25MSCMD گاز شیرین

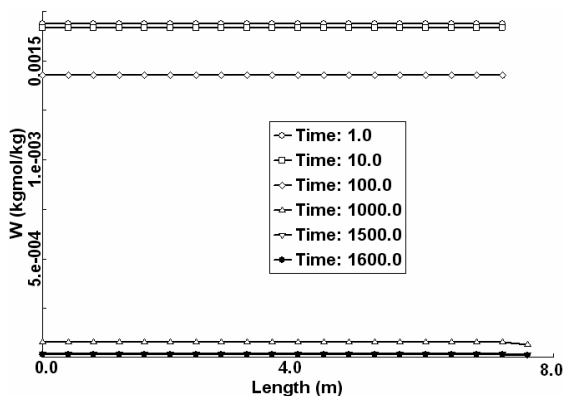
3-2. سناریوی دوم:

در سناریوی قبل اگر چه مقدار دبی گاز ورودی به دو برابر میزان فعلی آن افزایش یافت، ولی هنوز به هدف اصلی



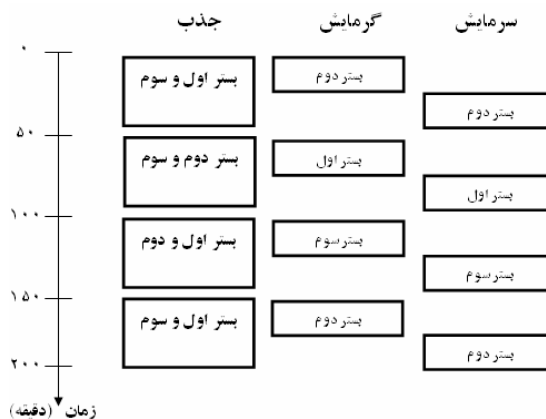
شکل 9: تغییرات کسر مولی هگزان در مخلوط گازی در طول بستر جذب (دبی گاز ورودی 1.25MSCMD)

با توجه به شکل 9، می توان از دو بستر جذب هر یک به ظرفیت 1.25MSCMD، بطور همزمان در طی مدت 50 دقیقه استفاده نمود. بدیهی است که بستر سوم می بایست در مدت 25 دقیقه ابتدا برای گرمایش و سپس در همین مدت تحت سرمایش قرار گیرد. در این حالت نیز سرعت ظاهری گاز برابر 31.4 ft/min خواهد بود که در محدوده مجاز ($12 - 45 \text{ ft/min}$) قرار دارد. بعد از انجام شبیه سازی این سناریو و تحلیل نتایج بدست آمده، چنانچه در شکل 10 مشاهده می شود، مشخص گردید برای آن که بتوان در ظرف مدت 25 دقیقه، بستر را کاملا احیاء نمود، می بایست تمام دبی گاز ورودی به بستر جذب فعلی را برای فرآیند گرمایش مورد استفاده قرار داد. به عبارت دیگر از کل دبی گاز ورودی به بسترهای جذب (2.5MSCMD) باید حدود 36 درصد آن (0.9MSCMD) را برای گرمایش استفاده شود که این امر مستلزم 4 برابر نمودن توان هیتر فعلی واحد نیز است. شکل های 11 (الف) و 11 (ب) به ترتیب نشانگر چگونگی تغییرات دمای بستر جاذب در طی فرآیندهای گرمایش و سرمایش در حین انجام سناریوی دوم می باشد.



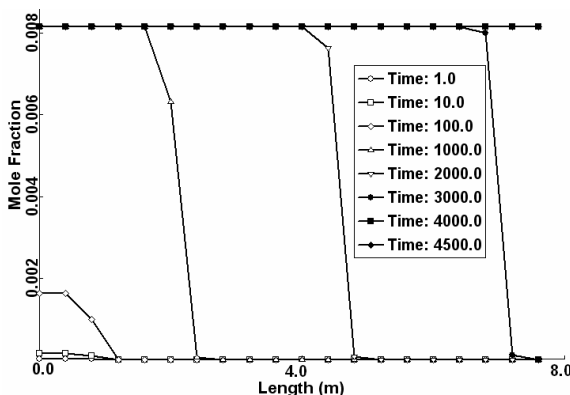
شکل 10: تغییرات غلظت هگزان در فاز جاذب در طول بستر گرمایش (دبی گاز گرمایش: 900MSCMD)

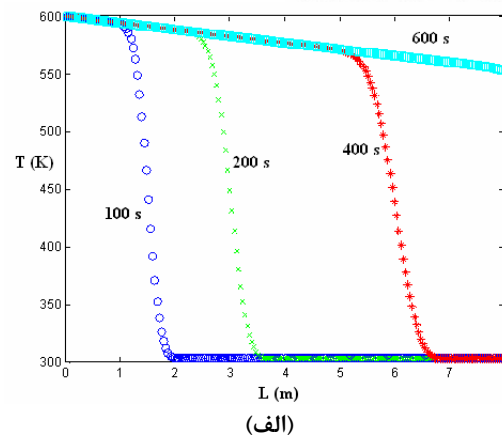
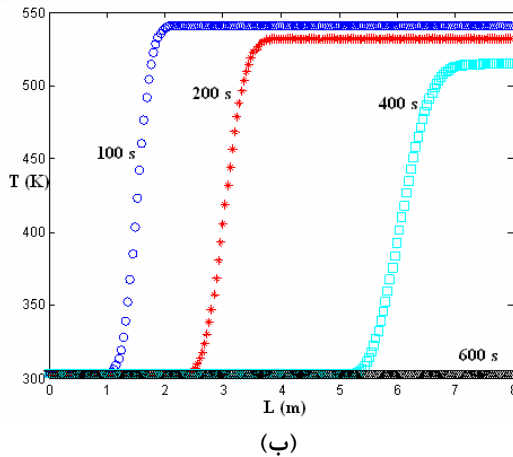
ورودی باشد که این امر را می توان به دو صورت انجام داد. اول با کاهش دمای گاز ورودی تا 5 درجه سلسیوس که طبق مباحث گذشته با توجه به دمای تشکیل هیدرات این کار عملاً غیر ممکن است و دوم با کاهش زمان سیکل جذب به حدود 50 دقیقه (سناریوی دوم)، که نمایی از این سناریو را می توان در شکل 8 مشاهده نمود.



شکل 8: سیکل زمانی پیشنهادی برای بسترهای جذب و دفع در سناریوی دوم

در این حالت نیز مشابه سناریوی اول، هیچ گونه بستر جذب اضافی به واحد نم زدایی افزوده نمی شود بلکه تنها با تغییر در مدت زمان سیکل های جذب و دفع، توانایی واحد نم زدایی افزایش می یابد. همان گونه که در شکل 9 مشاهده می شود، با افزایش دبی گاز ورودی به بستر جذب تا مقدار 1.25MSCMD، بستر مذکور تنها بعد از گذشت مدت زمان 50 دقیقه اشباع می گردد.





شکل 11: تغییرات توزیع دما در حین گرمایش (الف) و سرمایش (ب) در حین انجام سناریوی دوم

شکل 12: سیکل زمانی پیشنهادی برای بسترهای جذب و دفع در سناریوی سوم

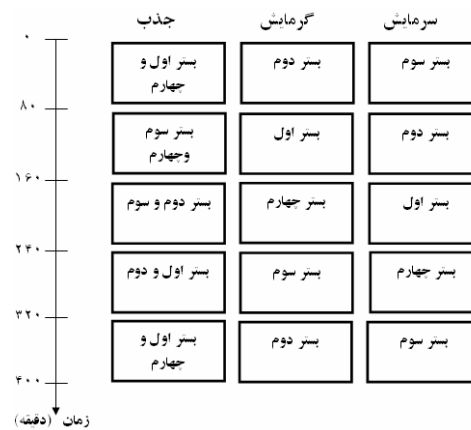
با توجه به اینکه در این سناریو، از یک بستر جذب اضافی استفاده می شود لذا به طور همزمان دو بستر در عملیات جذب قرار داشته و دو بستر دیگر، یکی در عملیات گرمایش و دیگری در سرمایش مورد استفاده می باشند. مدت زمان مورد نیاز برای بسترهای جذب 80 دقیقه است، لذا نهایت افزایش ظرفیت واحد نم زدایی با استفاده از این سناریو، معادل با آنچه در مورد سناریوی اول نیز بیان گردید، یعنی 1.8MMSCMD می باشد.

به علت افزودن یک بستر جذب اضافی، مدت زمان های مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش بستر نیز تغییری ننموده و برابر همان 80 دقیقه در نظر گرفته می شوند. بدیهی است در این سناریو، به علت آنکه هیچ گونه تفاوتی در مدت زمان های سیکل جذب و دفع فعلی واحد نم زدایی ایجاد نمی شود، لذا نیاز به افزایش ظرفیت هیتر فعلی واحد نیست و تنها با افزودن یک بستر اضافی جذب، مشابه با بستر جذب موجود، می توان ظرفیت واحد را افزایش داد. واضح است که در چنین حالتی تغییرات غلظت هگزان در طول بستر جذب در زمان های مختلف، دقیقاً مشابه شکل 3 می باشد. بعد از انجام شبیه سازی این سناریو، تغییرات غلظت هگزان در طول بستر گرمایش، نیز مطابق شکل 13 حاصل گردید.

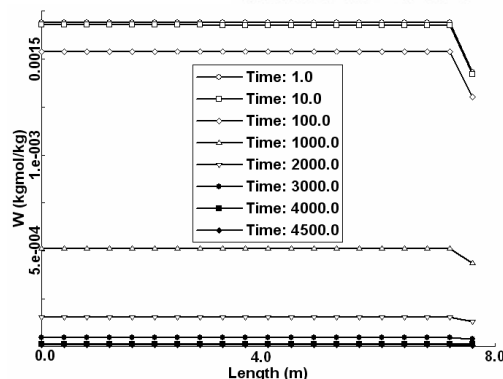
همان گونه که در قسمت قبل اشاره گردید، چنان چه بدون افزودن بستر جاذب اضافی، بخواهیم ظرفیت گاز ورودی به واحد نم زدایی را تا 2.5MMSCMD افزایش دهیم، آنگاه می بایست افزایش ظرفیت زیادی را در تجهیزات گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز واحد نم زدایی به وجود آوریم. به منظور پرهیز از این امر، می توان با افزودن یک بستر جذب اضافی به واحد، نسبت به انجام سناریوهای زیر اقدام نمود.

3-3. سناریوی سوم:

مطابق شکل 12، در این سناریو می توان با حفظ سیکل زمانی فعلی (80 دقیقه)، نسبت به افزایش ظرفیت واحد نم زدایی تا 1.8MMSCMD اقدام نمود، بدون آنکه هیچ گونه افزایش ظرفیتی در توان سرمایشی و گرمایشی واحد نم زدایی ایجاد گردد.



(2.5MMSCMD) افزایش نمی یابد. به همین جهت، لزوماً برای رسیدن به ظرفیت مطلوب مورد نظر پالایشگاه، باید علاوه بر افزودن بستر چهارم، تغییراتی نیز در سیکل های زمانی برج های جذب و دفع ایجاد گردد. با توجه به شکل 14، در این سناریو بطور همزمان دو بستر در طی مدت زمان 50 دقیقه در عملیات جذب قرار گرفته و دو بستر باقی مانده نیز در مدت زمان مشابه (50 دقیقه) تحت عملیات گرمایش و سرمایش قرار خواهند گرفت.



شکل 13: تغییرات غلظت هگزان در فاز جاذب در طول بستر گرمایش (دبی گاز گرمایش : 180MSCMD)



شکل 14: سیکل زمانی پیشنهادی برای بسترهای جذب و دفع در سناریوی چهارم

شکل 9 نشانگر تغییرات غلظت هگزان در طول بستر جذب و در زمان های مختلف می باشد. مطابق نتایج شبیه سازی ارائه شده در شکل 15، برای اینکه بتوان در مدت زمان 50 دقیقه بستر جذب را مجدداً احیاء نمود، می بایست حدود 35 درصد از دبی کل گاز ورودی به بسترهای دوگانه جذب (325MSCMD) را برای گرمایش بستر مورد استفاده قرار داد. بدیهی است در این سناریو، علاوه بر افزودن یک بستر جذب اضافی، بایستی ظرفیت هیتر فعلی واحد نم زدایی را به حدود 1/8 برابر ظرفیت موجود افزایش داد. بنابراین علاوه بر هزینه افزودن بستر جدید، باید هزینه افزایش ظرفیت هیتر نیز مد نظر قرار گیرد. چنانچه در شکل های 16 (الف) و 16 (ب) مشاهده می گردد، دمای مراحل سرمایش و گرمایش با ظرفیت 325MSCMD تنها پس از گذشت 25 دقیقه به حالت پایا در می آید که به مراتب کمتر از 50 دقیقه مورد نیاز است.

همان گونه که در شکل بالا مشاهده می گردد، با گذشت حدود 80 دقیقه از گرمایش بستر، بستر جاذب کاملاً بازیابی شده و می تواند در عملیات جذب مورد استفاده قرار گیرد. چگونگی تغییرات توزیع دما در زمان های مختلف برای مراحل گرمایش و سرمایش در شکل های 6 (الف) و 7 (الف) ارائه گردیده اند.

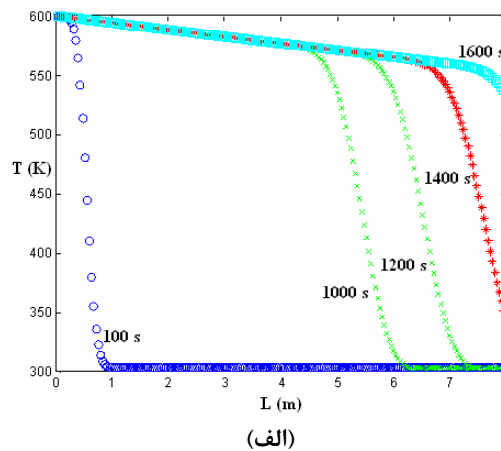
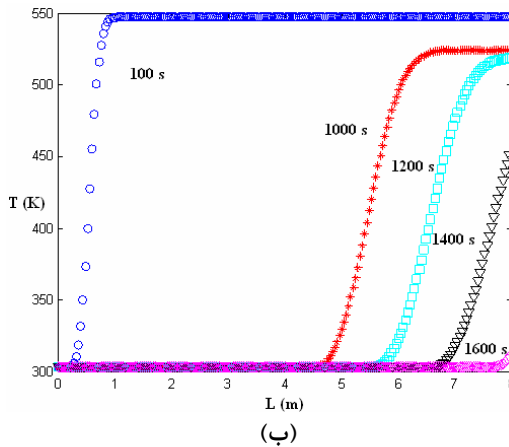
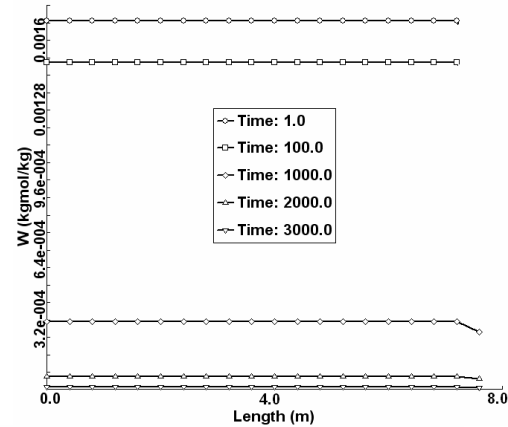
3-4. سناریوی چهارم:

با توجه به اینکه با اجرای سناریوی سوم نمی توان به هدف مورد نظر یعنی افزایش ظرفیت گاز ورودی تا 2.5MMSCMD دست یافت، بنابراین لازم است هم زمان با افزودن برج اضافی، نسبت به کاهش زمان سیکل واحد نم زدایی از 80 دقیقه به 50 دقیقه اقدام گردد.

مطابق شکل 14، در هر لحظه، دو بستر از مجموع چهار بستر در وضعیت جذب قرار داشته و بسترهای باقی مانده به ترتیب در وضعیت های گرمایش و سرمایش قرار دارند. بدیهی است با توجه به کاهش زمان گرمایش و سرمایش بسترها از 80 به 50 دقیقه، توان مورد نیاز برای سرد کردن و یا گرم نمودن گاز چرخشی در سیکل افزایش می یابد. این سناریو از لحاظ تعداد بسترهای جذب مورد استفاده در عملیات های جذب و دفع مشابه سناریوی سوم بوده و از نظر مدت زمان سیکل های جذب و دفع، مشابه سناریوی دوم می باشد.

همان طور که در سناریوی سوم بیان شد، در صورتی که یک بستر جذب به بسترهای فعلی واحد نم زدایی اضافه گردد ولی تغییری در سیکل زمانی بسترهای جاذب ایجاد نشود، ظرفیت واحد تنها دو برابر گردیده و تا مقدار مورد نظر

شکل 15: تغییرات غلظت هگزان در فاز جاذب در طول
بستر گرمایش (دبی گاز گرمایش: 325MSCMD)



شکل 16: تغییرات توزیع دما در حین گرمایش (الف) و سرمایش (ب) در هنگام انجام سناریوی چهارم

2. سناریوی دوم: چهار گرمکن + چهار کندانسور + چهار جداکننده دو فاز
 3. سناریوی سوم: یک بستر جاذب
 4. سناریوی چهارم: یک بستر جاذب + یک گرمکن + یک کندانسور + یک جداکننده دو فاز
- هزینه تجهیزات مذکور مطابق بررسی های فنی و اقتصادی صورت گرفته، در جدول 4 ارائه شده است. به علت طولانی بودن محاسبات اقتصادی از ذکر جزئیات مربوطه صرفنظر گردیده و تنها هزینه های نهایی برای هر یک از سناریوها بیان گردیده است. با عنایت به تمامی موارد ذکر شده فوق، مشاهده می گردد که تنها با صرف حدود 5 میلیارد ریال و انجام تغییرات بسیار مختصر اما کاملاً مبتکرانه می توان ظرفیت واحد نم زدایی جمالی نیا را به دو برابر ظرفیت فعلی آن افزایش داد. ضمناً با توجه به آنکه معمولاً هر پالایشگاه دارای ظرفیتهای بالقوه اضافی گرمایش و سرمایش می باشد لذا می توان انتظار داشت که حتی بدون هزینه نمودن هر گونه مخارج اضافی و

بدیهی است با توجه به مطالب بیان شده در این بخش، می توان سناریوی دیگری نیز در نظر گرفت که از ترکیب سناریوهای چهارگانه فوق تشکیل می شود. در صورت استفاده از این سناریوهای جدید (مانند استفاده همزمان از سه بستر برای حالت جذب)، می توان ظرفیت گاز ورودی به بستر را به مراتب بیش از 2.5MSCMD نیز افزایش داد.

4. بحث و نتیجه گیری

پس از انجام شبیه سازی کلیه سناریوهای چهارگانه فوق و ارائه نمودارها و نتایج مربوطه، به طور خلاصه می توان تغییرات مورد نیاز در هر سناریو را در مقایسه با وضعیت فعلی واحد نم زدایی جمالی نیا مطابق جدول 3 بیان نمود. با عنایت به شکل 1 و لیست تجهیزات اضافی مورد نیاز در جدول 3، تجهیزات مورد نیاز برای هر یک از سناریوهای چهارگانه فوق الذکر به شرح ذیل می باشد.

1. سناریوی اول: یک گرمکن + یک کندانسور + یک جداکننده دو فاز



وضعیت قبل، می بایست ضمن تقریبا دو برابر نمودن ظرفیت های گرمایش، سرمایش و جداسازی سیستم نسبت به افزودن یک بستر جاذب چهارم نیز اقدام شود.

تنها با استفاده بهینه از امکانات موجود در پالایشگاه و واحدهای وابسته به آن بتوان به سهولت و با بکارگیری سناریوی نخست میزان ظرفیت واحد نم زدایی جمالی نیا را از 0.9MMSCMD به 1.8MMSCMD افزایش داد.

5. تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، تشکر خود را نسبت به همکاری صمیمانه مسئولان محترم پالایشگاه، خانگیران، بالاخص آقایان مهندس حسنی، مدیر عامل، مهندس محجوبی و مهندس کسرای رئیس و کارشناس ارشد پژوهش پالایشگاه، و مهندس فیروزبخت همکار صنعتی طرح ابراز می دارند.

بنابراین نهایتا اینکه چنانچه در نظر باشد ظرفیت واحد نم زدایی جمالی نیا به دو برابر مقدار فعلی افزایش یابد آنگاه بهتر است که با استفاده از سناریوی نخست و با صرف حدود 5 میلیارد ریال، ضمن انجام تغییرات بسیار مختصر اما بدیع به این هدف دست یافت. اما از سوی دیگر چنانچه هدف از افزایش ظرفیت، بالا بردن توان تولید تا 2.5MMSCMD باشد آنگاه بر خلاف

جدول 3: تغییرات مورد نیاز در هر سناریو در مقایسه با وضعیت فعلی واحد نم زدایی

سناریو	تعداد بستر	دبی گاز جذب (MSCMD)	مدت زمان جذب (دقیقه)	مدت زمان گرمایش (دقیقه)	دبی گاز گرمایش (MSCMD)	تجهیزات اضافی مورد نیاز (علاوه بر ظرفیت موجود)
فعلی	3	900	80	80	180	-----
1	3	1800	80	40	360	ظرفیت هیتر و کولر: یک برابر
2	3	2500	50	25	900	ظرفیت هیتر و کولر: چهار برابر
3	4	1800	80	80	180	تنها یک بستر اضافه می شود
4	4	2500	50	50	325	ظرفیت هیتر و کولر: تقریبا یک برابر و یک بستر اضافه می شود

جدول 4: هزینه های تقریبی مورد نیاز برای اجرایی نمودن هر سناریو

سناریو	تجهیزات اضافی مورد نیاز	ظرفیت واحد نم زدایی بعد از انجام سناریو (MMSCMD)	هزینه ^۷ (هزار دلار)
1	ظرفیت هیتر، کولر و جداکننده: یک برابر	1/8	513
2	ظرفیت هیتر و کولر و جداکننده: چهار برابر	2/5	2000
3	تنها یک بستر اضافه می شود	1/8	870
4	ظرفیت هیتر، کولر و جداکننده: تقریبا یک برابر و یک بستر اضافه می شود	2/5	1383

6. مراجع:

⁷ شاخص قیمت مهندسی شیمی CEPCI در سال 2009 برابر 596/8 می باشد [10].



- [7] Chi Tien., "Adsorption calculation and modeling", Butterworth-Heinemann series in chemical engineering, (1994)
- [8] M. B. Neto., A. E. B. Torres., D. C. S. Azevedo., C. L. Cavalcante., "A Theoretical and Experimental Study of Charge and Discharge Cycles in a Storage Vessel for Adsorbed Natural Gas". Adsorption 11, (2005), 147-157.
- [9] Aspen Adsim instruction manual, 2004.
- [10] Chemical engineering journal, September 2009. (www.Che.Com)
- [1] http://www.cheresources.com/questions/plant_basics-344.html
- [2] Priya Rajesh, "Moisture measurement in natural gas", Chemical Engineering World, 72, 2006.
- [3] A. Kohl and R. Nielsen, "Gas purification", Gulf Publishing Company, Fifth edition, 1997.
- [4] "Hydrocarbon Dew point Technology", Michell Instruments Ltd , 1999
- [5] A.Finn, T.Tomlinson, "A case for dehydration", Hydrocarbon engineering , vol. 12, no12, 2007.
- [6] D.M Ruthven , " Principles of Adsorption and Adsorption Processes", John Wiley and Sons, 1984