بهينه‌سازي مصرف آب و توليد پساب در فرآيندهاي پتروشيمي

محمدحسن پنجه‌شاهي ـ شادي ميهن دوست
دانشکده فني ـ دانشگاه تهران

چکيده

امروزه کاهش پساب بعنوان يکي از بزرگترين مسائلي که در صنايع فرايندي با آن مواجه هستيم، مطرح مي‌شود و از آنجائيکه آب يکي از توليدکننده‌هاي مهم پساب در فرايندهاست، توانايي احياء پساب براي مصرف مجدد آب و کاهش مصرف آب تازه، گام مهمي است که بسوي کاهش کلي پساب برداشته مي‌شود.

اين مقاله به بررسي کمينه‌سازي مصرف آب و توليد پساب در صنايع فرايندي پتروشيمي پرداخته است. دو روش طراحي، روش مرسوم کاهش آب و روشي نوين با نام تکنولوژي پينچ آبي، براي اين منظور توضيح داده شده‌اند. سپس به منظور سهولت انجام محاسبات، نرم افزاري طراحي گرديد. و دو واحد صنعتي، **CA** *و* **PVC** *، نيز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در واحد* **CA** *، با استفاده از مصرف آب تازه مورد نياز واحد ۲۶/۶% و ميزان پساب توليدي ۷۵% کاهش يافتند. در مورد دوم، واحد* **PVC** *، احياء و مصرف مجدد پسابها سبب شد تا ۱۴۳۵ ميليون ريال در سال در مصرف آب تازه مورد مصرف واحد صرفه‌جويي ايجاد شود و ميزان پساب توليدي نيز تا ۲۰% کاهش يابد. زمان بازگشت سرمايه براي اجراي اين طرح نيز حدود ۸ الي ۸/۵ ماه مي‌باشد.*

مقدمه

در گذشته آب را منبعي نامحدود و كم هزينه مي‌دانستند اما در حال حاضر، با افزايش آگاهي عمومي در مورد خطراتي كه به دليل مصرف بيش از حد آب، محيط زيست را تهديد مي‌كند و افزايش قيمت آب مورد مصرف فرايندهاي صنعتي، همچنين بدليل اعمال استانداردهاي محيط زيستي در مورد غلظت مجاز آلاينده‌ها در جريانهاي خروجي قابل تخليه به محيط پيرامون كه طبيعتاً باعث افزايش هزينه‌هاي تصفيه نيز مي‌گردد، لزوم كاهش مصرف آب ودر نتيجه كاهش توليد فاضلاب بطور جدي احساس مي‌شود.

در بيشتر صنايع فرايندي شيميايي كه مصرف كننده آب به مقدار زياد هستند، پساب نيز در حجم وسيعي توليد مي‌شود. و اين مسئله فقط به اين دليل است كه در طراحي اين صنايع، جايي براي مصرف مجدد آب وجود ندارد. با افزايش فشارهاي خارجي براي كاهش مصرف آب، توجه صاحبان صنايع به اين مسئله جلب شد كه مصرف مجدد آب از جهاتي مي‌تواند حتي از نظر اقتصادي مقرون به صرفه باشد و حتي در مواردي كيفيت محصول واحد را بالا ببرد و همچنين گاهي تصفيه جزئي و مصرف مجدد پساب يك واحد آسانتر و اقتصادي‌تر از حالتي است كه پساب براي تخليه به محيط زيست با رعايت استانداردهاي زيست محيطي تصفيه گردد.

يكي از بهترين مثالهاي موجود براي نشان دادن اين مسئله، واحد PVC پتروشيمي بندرامام است. در اين واحد با دو جريان آب، جريان آب آب‌بندي[1] و جريان سرريز مخازن FA-406AB روبرو هستيم. هر دو اين جريانها وارد شبكه فاضلاب مي‌شوند، در صورتيكه هر دو جريان قابليت مصرف مجدد را، بعد از انجام يك تصفيه جزئي دارند و از آنجايي كه حجم اين آبها نيز قابل ملاحظه مي‌باشد، بررسي اين مورد بنظر منطقي مي‌رسيد كه اين مسئله به تفصيل در بخشهاي بعدي مقاله شرح داده شده است.

از ديگر شيوه‌هاي نوين كاهش مصرف آب و بهينه سازي سيستم‌هاي مصرف كننده آب و تصفيه پساب تكنولوژي پينچ‌آبي[2] است. اين تكنولوژي به مهندسين شيمي، عمران و محيط زيست اجازه مي‌دهد تا پروسه‌هاي مصرف كننده آب را قبل از طراحي و كار و بعداز آن مورد بررسي قرار دهند تا مصرف آب تازه و توليد پساب به حداقل برسد. همچنين اين تكنولوژي قابليت آناليز سيستم وتعيين موارد زير را دارد :

- حداقل دبي آب مصرفي
- حداقل دبي پساب توليدي
- راه حلهاي مناسب جهت سنتز شبكه‌هاي مصرف كننده آب و سيستم‌هاي تصفيه پساب جهت نيل به اهداف ذكر شده

براي نشان دادن قابليت اين روش نيز واحد CA پتروشيمي بندر امام بعنوان مورد مطالعاتي[3] در نظر گرفته شد. بعد از انجام بهينه‌سازي روي واحد با كمك اين روش مشاهده شد كه در مصرف آب و توليد پساب واحد تغييرات قابل توجهي بوجود آمد كه اين مسئله نيز به تفصيل در

1- Sealing water

2- Water pinch technology

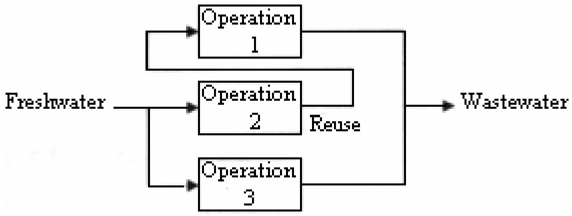
3- Case study

ادامه آورده شده است. به منظور آگاهي بيشتر با اين تكنولوژي، بخش بعد به معرفي آن مي‌پردازد.

آشنايي با تكنولوژي پينچ‌آبي

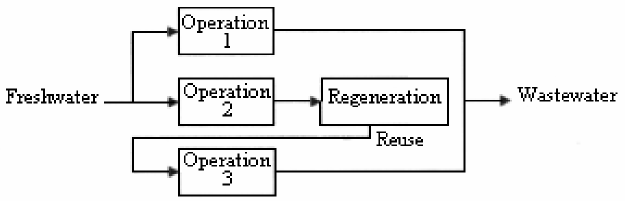
بطور كلي چهار روش عمومي و كلي براي كاهش مصرف آب و توليد پساب وجود دارد.

- مصرف مجدد آب[٤] : يكي از راههاي كاهش مصرف آب، استفاده مجدد از پساب خروجي از يك پروسه، بعنوان ورودي به پروسه‌هاي ديگر، مي‌باشد. در صورتيكه نوع و مقدار آلاينده در جريان خروجي از پروسه اول، به فرايند بعدي صدمه نزند. در هنگام مصرف مجدد آب بايد به اين نكته توجه داشت كه آب نبايد به همان پروسه‌اي كه از آن خارج شده، مجدداً وارد شود. شكل (۱) شماي كلي اين روش را نشان مي‌دهد.



شكل ۱ـ كاهش مصرف آب بعلت مصرف مجدد آن در فرآيندها

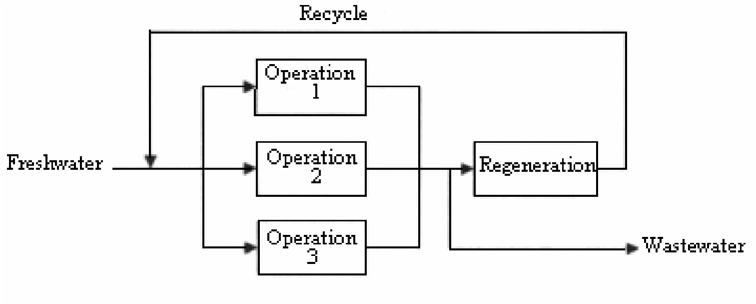
- احياء پساب و مصرف مجدد آن[٥] : از ديگر روشهاي كاهش مصرف آب در فرآيندهاي شيميايي، اين مورد است كه در اين حالت، پساب مي‌تواند بوسيله تصفيه جزئي يا كامل به منظور جداسازي آلاينده‌هايي كه مانع از مصرف مجدد آب مي‌شوند، احياء شده، سپس در ديگر پروسه‌هاي مصرف كننده آب مجدداً مورد استفاده قرار گيرد. احياء مي‌تواند شامل هر پروسه‌اي كه آلاينده‌ها را جدا مي‌كند، از قبيل فيلتراسيون، تعديل كننده pH، جذب كربني و تصفيه بيولوژيكي باشد شماي كلي اين روش نيز در شكل (۲) آمده است.



شكل ۲ـ كاهش مصرف آب بعلت استفاده مجدد از پسابهاي احياء شده

4- Water Re-Use
5- Regeneration Reuse

- احياء پساب و بازچرخاني آن[6] : يكي ديگر از روشهاي كاهش مصرف آب در فرآيندهاي شيميايي، احياء پساب‌هاي توليدي به منظور جداسازي آلاينده‌ها و برگرداندن آنها به سيستم مي‌باشد. در اين حالت، آب احياءشده، مي‌تواند در دستگاهها و فرايندهايي كه قبلاً در آنها استفاده شده بود، نيز وارد شود. بايد توجه داشت كه فقط لازم نيست بازچرخاني آب دور يك عمليات خاص باشد، بلكه دور كل سيستم هم امكان‌پذير است. نكته‌اي كه بايد حتماً به آن توجه كرد، تشخيص بين مصرف مجدد آب احياء شده و بازچرخاني آب احياء شده است، بعلت اينكه كاربرد اين دو با هم تفاوت دارد. چگونگي بازچرخاني آب احياءشده در شكل (۳) نشان داده شده است.



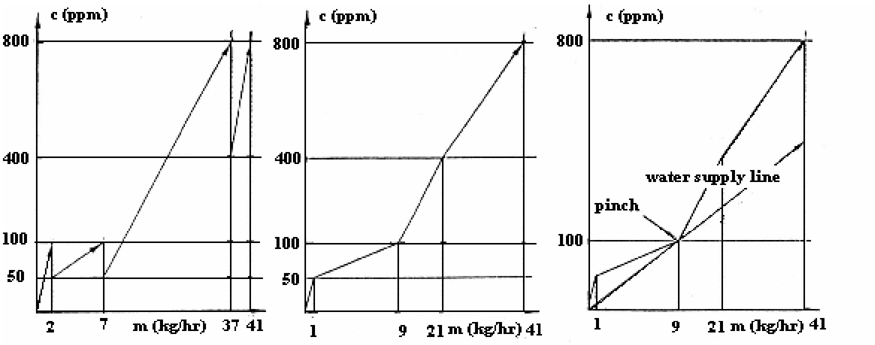
شكل ۳ـ كاهش مصرف آب بعلت بازچرخاني آب احياء شده

- تغيير فرايند[7] : با استفاده از اين روش، تقاضاي ذاتي فرايند براي استفاده از آب كاهش خواهد يافت. ساده‌ترين مثال براي اين روش، استفاده از كولرهاي هوايي بجاي برجهاي خنك كننده مرطوب مي‌باشد.

آناليز پينچ آبي، تكنيكي سيستماتيك جهت آناليز شبكه‌هاي آبي و كاهش هزينه‌هاي آب براي پروسه‌هاي مختلف مصرف كننده آن است. اين روش از الگوريتم پيشرفته‌اي براي بهينه‌سازي بهترين حالت مصرف مجدد آب، احياء و تصفيه پساب استفاده مي‌كند. در اين تكنولوژي، واحد مصرف كننده آب بصورت منبعي آلوده در نظر گرفته شده كه براي رفع آلودگي، از آب استفاده مي‌كند. آلاينده‌ها شامل ذرات فيزيكي نظير ذرات جامد معلق يا موادشيميايي، COD، BOD، بعلاوه خواصي از قبيل pH، قابليت رسانش[8] و ... مي‌باشند كه باعث محدوديت استفاده مجدد آب در واحدهاي ديگر مصرف‌كننده آب، مي‌شوند. ساده‌ترين روش آناليز يك سيستم صنعتي مصرف كننده آب، شبيه سازي آن با يك واحد عملياتي انتقال جرمي است، بصورتيكه جهت انتقال آلاينده از پروسه غني از آن به آب باشد. اولين بار اين مسئله بطور ابتدايي توسط ال ـ هلواجي در سال ۱۹۸۹ باتوجه به قوانين تكنولوژي پينچ حرارتي بررسي شد. سپس در سال

6- Regeneration Recycle
7- Process changes
8- Conductivity

١٩٩٤، اسميت و وانگ بطور جدي‌تري به اين مسئله پرداختند. اين افراد روشي براي حداكثر استفاده مجدد از جريانهاي آبي ، بر پايه ترسيم پروفيلهاي حدي آب (LWP) و منحني‌هاي مركب (CCC) براي هر پروسه ، ارائه دادند. سپس با ترسيم خط تأمين آب (WSL) در مقابل اين منحني‌ها ، نقطه پينچ بدست آمده و حداكثر ميزان دبي مصرف مجدد، بدست مي‌آيد. نمونه‌اي از اين منحني‌ها در شكل (٤) نشان داده شده است.



(a) Limiting water profiles

(b) Limiting composite curve

(c) Matching the water supply lines defines the minimum water flowrate

شكل (٤)

در سالهاي بعد اين روش گسترش بيشتري پيدا كرد و براي موارد متعددي بكار گرفته شد. از ديگر قابليتهاي تكنولوژي پينچ آبي، امكان احياء پسابها و استفاده مجدد آنها و احياء و بازچرخاني جريان نيز مي‌باشد. همچنين اين تكنولوژي در حالتي كه چندين آلاينده نيز وجود داشته باشد، بخوبي پاسخگوي حل مسائل است و اساس حل مسائل در همه اين حالات رسم منحني‌هاي مذكور ميباشد. بعد از بدست آوردن حداقل دبي مصرفي، طراحي شبكه، مسئله‌اي است كه بايد بررسي شود. اين روش قابليت رسم چنين شبكه‌هايي را نيز فراهم مي‌كند. به منظور بدست آوردن طرح نهايي يك شبكه طراحي شده، ابتدا از طريق نمودار ميله‌اي، يك دياگرام اوليه‌اي بدست مي‌آيد. سپس با ساده‌سازي آن، طرح بهينه رسم مي‌شود. براي رسيدن به اين طرح، رسم منحني‌هاي مذكور ضروري است. نكته بعدي در مورد اين تكنولوژي بررسي سيستم‌هاي تصفيه پساب است. يكي از متداول‌ترين سيستم‌هاي تصفيه پسابهاي صنعتي، سيستم تصفيه توزيع يافته است كه براي پسابهايي كه از فرايندهاي مختلف بوجود آمده‌اند و نياز به تكنولوژيهاي متفاوت تصفيه‌اي دارند، بكار مي‌رود. اين روش مي‌تواند بسيار مؤثر و اقتصادي‌تر از حالتي باشد كه جريانهاي مختلف پساب ابتدا با هم مخلوط شده و سپس در يك سيستم تصفيه مركزي، عمل تصفيه روي يك جريان انجام گيرد. مشكل تصفيه مركزي در اينست كه، تركيب دو جريان پساب كه نياز به تكنولوژيهاي تصفيه مختلفي دارند هميشه باعث مي‌شود تا هزينه بيشتر از حالتي باشد

که براي هر جرياني يك سيستم تصفيه بكار رود. با كمك اين تكنولوژي، مي‌توان سيستم تصفيه توزيع يافته را نيز طراحي كرد كه براي بررسي اين موارد نيز رسم منحني‌هاي ضروري است.

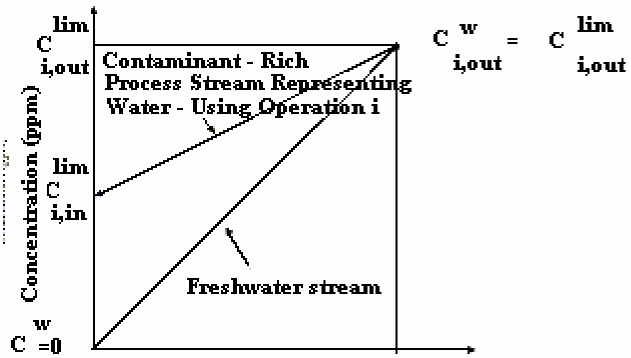
پس مشاهده مي‌شود كه در اين روش، رسم منحني‌ها، از ضروريات است و بزرگترين عيب اين روش نيز حل حسائل از طريق رسم نمودار مي‌باشد. زيرا از اين طريق، وقت فراواني صرف شده و در عين حال، امكان خطا نيز در كارهاي گرافيكي زياد است. جهت سرعت بخشيدن به انجام محاسبات و كاهش خطاي حاصله از رسم نمودارها با ايده گرفتن از روش آبشاري در تكنولوژي پينچ حرارتي، اقدام به نوشتن برنامه‌اي كامپيوتري شد كه در بخش بعد به معرفي آن، چگونگي بدست آوردن معادلات و حل مسائل از اين طريق پرداخته مي‌شود.

معرفي برنامه

همانطور كه ذكر شد، منحني‌هاي WSL ، LWP و CCC نيازمند صرف وقت و دقت زيادي است. براي بر طرف كردن اين مشكل، سعي شد تا حدالامكان نمودارها به زبان رياضي برگردانده شوند و بدين ترتيب امكان تبديل معادلات به الگوريتم‌هاي رايانه‌اي نيز بوجود آمد.

اهداف كلي اين برنامه عبارتند از : محاسبه دبي حداقل، بدست آوردن نقطه پينچ، محاسبه امكان استفاده از احياء در حالت وجود يا عدم وجود سيستم بازچرخاني، محاسبه دبي حداقل در صورتيكه چندين آلاينده در جريانها موجود باشد كه در اين صورت يكي از آلاينده‌ها بعنوان آلاينده مرجع يا كليدي در نظر گرفته مي‌شود، محاسبه غلظت خروجي آلاينده در جريانها و همچنين مقايسه سيستم‌هاي تصفيه پساب در حالتي كه يك و يا چندين پروسه تصفيه وجود داشته باشد. همچنين برنامه بصورتي طراحي شده تا بعد از محاسبه ميزان حداقل دبي در صورت عدم وجود سيستم احياء، اين مقدار را بتوان با سيستمي كه امكان استفاده از سيستم احياء را دارد، مقايسه كرد.

اولين بخش از برنامه نوشته شده مربوط به بدست آوردن حداقل دبي آب موردنياز براي يك فرآيند صنعتي است. شكل (۵) ارتباط كلي بين LWP و WSL را براي پروسه I نشان ميدهد.



شكل (۵)

مشاهده میشود که بین دبي آب و شیب خط ارتباط معکوسي وجود دارد و مي‌توان رابطه زیر را براساس این ارتباط نوشت:

$$f_i\,(te/hr)=\frac{\Delta m_{i,tot}\,(kg/hr)}{\Delta C_i\,(ppm)}*10^3=\frac{1}{slope}*10^3 \qquad (۱)$$

با كمك این رابطه و باتوجه به روش آبشاري مي‌توان در هر اینتروال تشكیل شده بعلت تركیب جریانها، میزان جرم انتقال یافته را محاسبه كرد و باتوجه به آن دبي براي جداسازي این جرم را بدست آورد. روابط زیر اساس محاسبات را نشان میدهد.

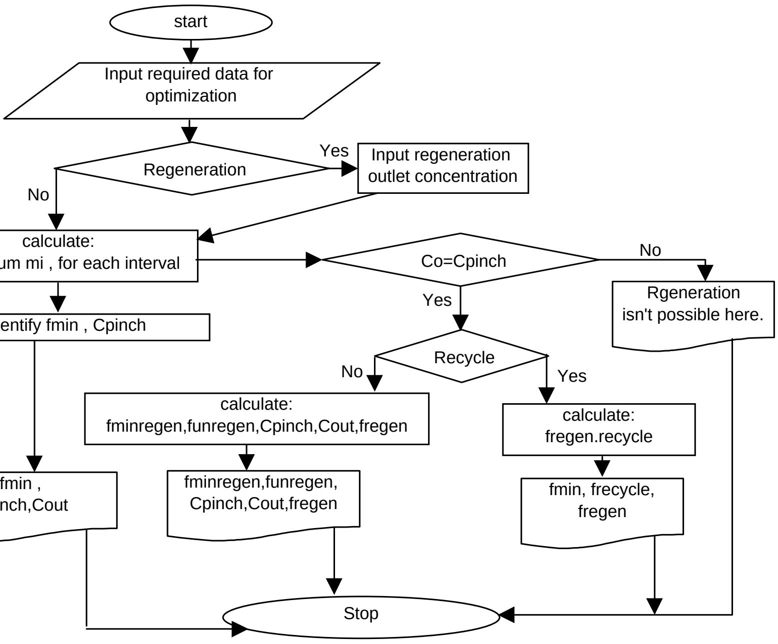
$$m_{i,k}\,(kg/hr)=\frac{(\sum_i f_i^{lim})(te/hr)(C^*_{k+1}-C^*_k)(ppm)}{10^3} \qquad (۲)$$

$$\Delta m_k=\sum_k m_{i,k} \qquad (۳)$$

$$f_k\,(te/hr)=\frac{\Delta m_k\,(kg/hr)}{C^*_k\,(ppm)}*10^3 \qquad (٤)$$

خطي كه بر پائین‌ترین نقطه منحني CCC مماس شود، حداقل دبي موردنیاز را نشان مي‌دهد. پس حداكثر دبي در بین اعداد محاسبه شده، حداقل دبي موردنیاز خواهد بود.

باتوجه به این روبط مي‌توان فلوچارتي براي حل مسئله از طریق كامپیوتر را تهیه كرد كه در شكل (٦) این مورد نشان داده شده است.



شكل ٦ـ فلوچارت برنامه در صورت وجود آلاینده تك

براي اطمينان از معادلات بدست آمده و صحت برنامه، مثالي كه توسط اسميت و وانگ حل شده بود، مورد بررسي قرار گرفت.

جدول ۱ـ داده‌هاي حدي فرايندي براي مثال (۱)

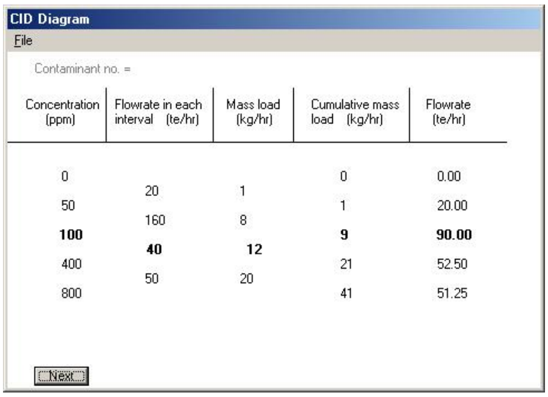
پروسه	$\Delta m_{i,tot}$ (kg/hr)	C_{in}^{lim} (ppm)	C_{out}^{lim} (ppm)	F_i^{lim} (te/hr)
۱	۲	۰	۱۰۰	۲۰
۲	۵	۵۰	۱۰۰	۱۰۰
۳	۳۰	۵۰	۸۰۰	٤۰

داده‌هاي فرآيندي در جدول ۱ آمده است. جدول ۲، حل مسئله را باتوجه به معادلات مطرح شده نشان ميدهد.

جدول ۲ـ داده‌هاي فرايندي مثال مورد نظر

Concentration	Flow rate	Mass Load	Cumulative	Flow rate
0			0	0
	F1=20	1		
50			1	20
	F1+f2+f3=160	8		
100			9	**90**
	F3=40	15		
400			24	60
	F3+f4=50	20		
800			44	55

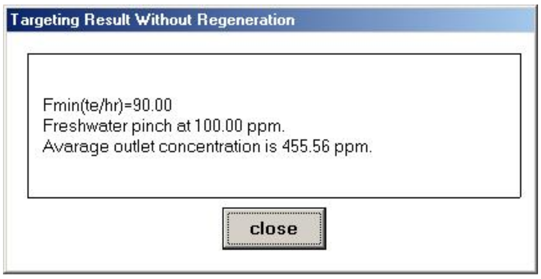
در شكل (۷) و (۸) و حل اين مسئله با كمك برنامه نشان داده شده است.



Contaminant no. =

Concentration (ppm)	Flowrate in each interval (te/hr)	Mass load (kg/hr)	Cumulative mass load (kg/hr)	Flowrate (te/hr)
0			0	0.00
	20	1		
50			1	20.00
	160	8		
100			**9**	**90.00**
	40	**12**		
400			21	52.50
	50	20		
800			41	51.25

شكل ۷ـ جدول (۲) تهيه شده توسط برنامه براي مثال مورد نظر



```
Fmin(te/hr)=90.00
Freshwater pinch at 100.00 ppm.
Avarage outlet concentration is 455.56 ppm.
```

شکل ۸ـ صفحه خروجي برنامه براي مثال مورد نظر

مقايسه اين نتايج با اعداد موجود در مقاله نشان دهنده صحت روش است. از طرفي از مزاياي اين روش سرعت بالاي آن مي‌باشد.

در حالتيكه مصرف مجدد آب بعد از احياء آن امكان‌پذير باشد، رابطه زير اساس كار را نشان مي‌دهد:

$$\Delta m_{pinch} = f_{min} * C_{pinch} + f_{min}(C_{pinch} - C_0) \qquad (5)$$

و اگر بازچرخاني آن نيز مجاز باشد، با استفاده از معادله زير مي‌توان دبي موردنياز را بدست آورد.

$$f_{regen} = \frac{\Delta m_{pinch} - \Delta m_{regen}}{C_{pinch} - C_0} = \frac{\Delta m_{pinch} - (f_{min} C_{pinch} / 10^3)}{C_{pinch} - C_0} * 10^3 \qquad (٦)$$

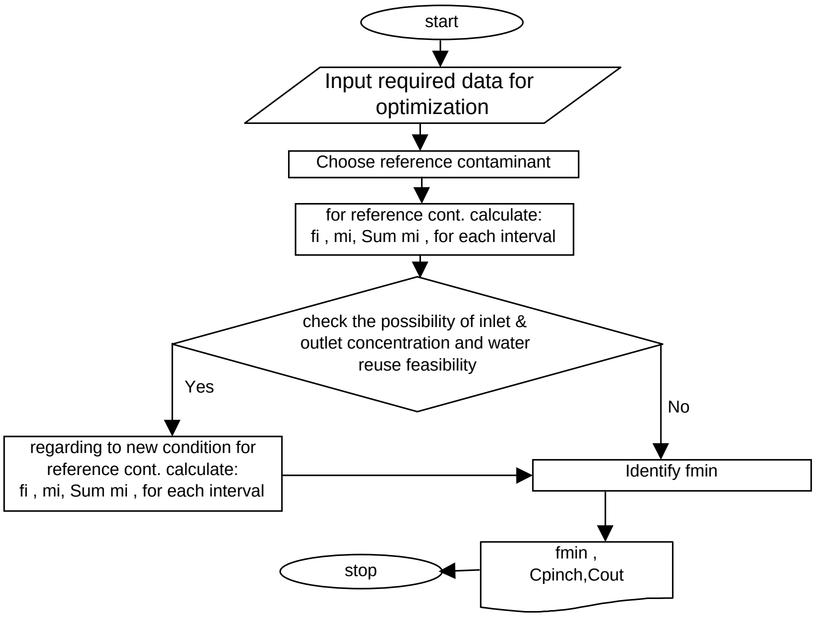
كليه اين روابط از تجزيه و تحليل منحني‌هاي مورد بحث بدست آمده‌اند. در فلوچارت برنامه اين موارد نشان داده شده‌اند.

از ديگر توانايي‌هاي برنامه حل مسئله در صورت وجود چندين آلاينده در جريان است. اساس حل مسائل در اين حالت، محاسبه نسبت آلاينده‌هاست. در اين مسائل فرض مي‌شود كه انتقال جرم آلاينده j در فرآيند I متناسب با انتقال جرم هر آلاينده ديگر در اين فرآيند است.

(۷) نسبت انتقال[9] $= \frac{m_{i,A}}{m_{i,B}} = \frac{C_{i,A,out} - C_{i,A,in}}{C_{i,B,out} - C_{i,B,in}}$

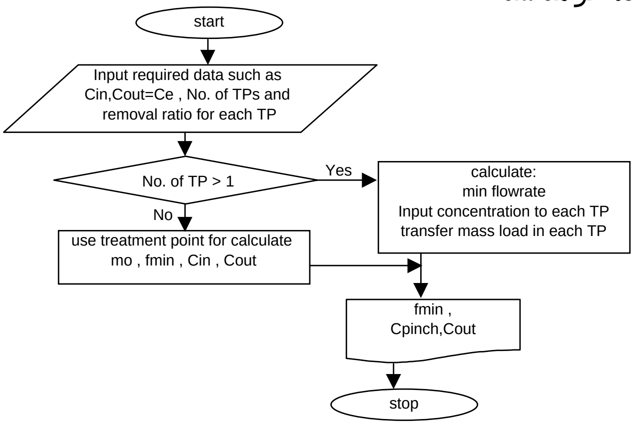
فلوچارت اين محاسبات نيز در شكل (۹) نشان داده شده است. شكل(۱۰) نيز فلوچارت برنامه در صورت وجود چندين پروسه تصفيه رانشان ميدهد.

9- Transfer Ratio

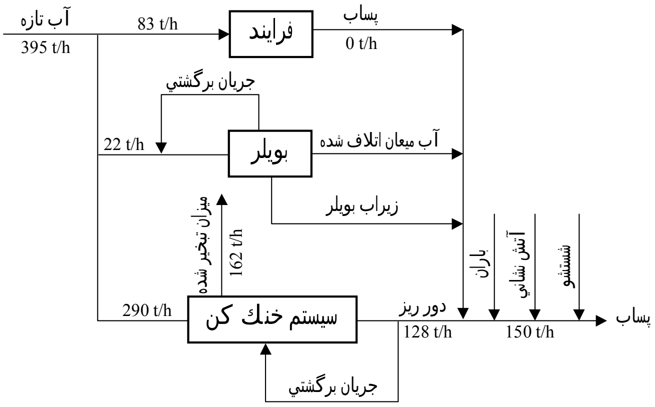


شكل ۹ـ فلوچارت برنامه در صورت وجود آلاينده چند جزئي

با اجراي برنامه براي مثالهاي متعدد، اين نتيجه بدست آمد كه برنامه با دقت خوبي در كليه اين موارد جوابگوست. در بخش بعد با بررسي واحد كلرآلكالي پتروشيمي بندر امام، پتانسيل كاهش دبي آب مصرفي اين واحد مورد بررسي قرار مي‌گيرد و سپس با كمك اين برنامه، چگونگي بهبود واحد توصيح داده خواهد شد



شكل ۱۰ ـ فلوچارت برنامه در صورت وجود چندين پروسه تصفيه



شکل ۱۱ـ شمایي از مصرف آب و تولید پساب واحد

در شکل (۱۱) نقشه کلي آب واحد نشان داده شده است. در این واحد چهار فرایند مصرف‌کننده آب وجود دارد، که به مصارف شرکت در پروسه، محلول‌سازي و سرمایش و گرمایش مي‌رسند. همچنین این چهار جریان شامل جریانات اتلافي نیز هستند. پس پتانسیل کمتري جهت استفاده مجدد وجود دارد. آلاینده مورد بحث نیز، کل یونهاي موجود در آب، مي‌باشد. در نتیجه سیستم از نوع تك آلاینده مي‌باشد. جدول (۳) داده‌هاي فرایندي را بصورت تفکیك شده نشان مي‌دهد.

جدول۳ـ داده‌هاي فرآیندي

پروسه	C_{in}^{lim} (ppm)	C_{out}^{lim} (ppm)	$F_{in,i}^{lim}$ (te/hr)	$F_{out,i}^{lim}$ (te/hr)
اژکتور	۵	-	۳۳	۰
تجزیه کننده	۵	-	۵۰	۰
سیستم بخار	۳	۱۰	۲۲	۲۲
سیستم خنك کن(۱)	۱۰۰	۲۰۰	۱۲۸	۱۲۸
سیستم خنك کن(۲)	۱۰۰		۱۶۲	

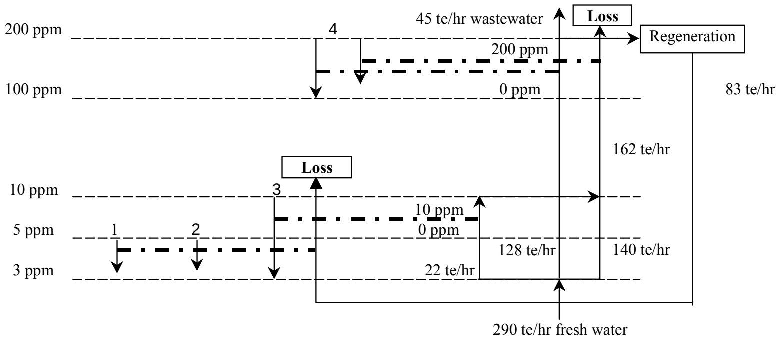
باتوجه به این جدول محاسبات بدون در نظر گرفتن آبهاي هدر رفته انجام مي‌شود با انجام این محاسبات توسط برنامه غلظت نقطه پینچ ۲۰۰ ππμ و حداقل دبي نیز ٦٤/٧٥ τε/η بدست مي‌آید. با در نظر گرفتن آبهاي هدر رفته و باتوجه به اینکه در چنین مواردي دبي آب موردنیاز از طریق روابط زیر بدست مي‌آید، میزان دبي آب موردنیاز ۲۹۰τε/η خواهد بود.

$$f_T = \max\{f_{min}, f_i\} \qquad (٤)$$

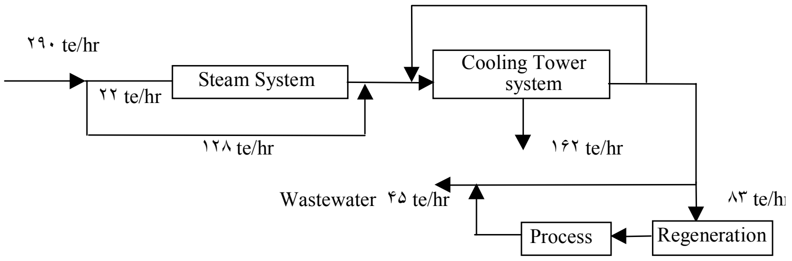
$$f_{req_2} = f_{min} + \Sigma f_{loss} - \Sigma f_{gain}$$

نمودار میله‌اي براي این واحد در شکل (۱۲) و دیاگرام جعبه‌اي در شکل (۱۳) براي واحد مورد نظر رسم شده‌اند.

با بررسي این نتایج مشاهده مي‌شود که میزان آب تازه ورودي به واحد نسبت به ورودي اولیه ٢٦/٦% و پساب تولیدي نیز ۷۵% کاهش یافته است.



شکل ۱۲- نمودار میله‌اي واحد CA بعد از بهینه‌سازي



شکل ۱۳- طرح نهایي براي واحد CA

بهینه‌سازي واحد PVC بدون استفاده از روش پینچ آبي

همانطور که در مقدمه نیز ذکر شد، در واحد PVC، دو جریان آب آب‌بندي با دبي $6/5\ m^3/hr$ و آب سرریز از مخازن FA-406 A/B با دبي حدود ۶۰-۴۰ m^3/hr هدر مي‌روند. با توجه به حجم زیاد این دو جریان و اینکه هر دو جریان آلودگي بسیار کمي دارند و از جنس آب بدون املاح

هستند، بازيافت آنها منطقي بنظر مي‌رسد. در روش پينچ آبي، معمولاً جريانهاي آلوده‌اي كه داراي آلودگي مشابهي هستند، با هم تركيب شده و منحني CCC ساخته ميشود و بعلت متفاوت بودن دبي جريانها و محدوده غلظتهاي مجاز در هر جريان، اين منحني داراي شكستگي خواهد بود كه با رسم WSL، با كمترين شيب، نقطه پينچ بدست مي‌آيد. در واحد PVC رسم چنين منحني‌هايي امكان‌پذير نيست. آلاينده موجود و مهم در جريان اول (آب آب‌بندي)، VCM و در جريان دوم PVC است. به اين علت براي بازيافت اين دو جريان، از ابزارهايي نظير احياء، بازچرخاني و مصرف مجدد استفاده شد تا از هدر رفتن آنها جلوگيري بعمل آيد.

در واحد PVC آب DM مصارف متعددي دارد، به تبع آن آب آب‌بندي بازيافت شده نيز مي‌تواند به طرق مختلفي مورد استفاده قرار گيرد.

ساده ترين راه مصرف آبهاي بازيافتي بكارگيري مجدد آن در شبكه آب آب‌بندي مي‌باشد. براي نيل به اين هدف لازم است تا آبها در مخزني جمع‌آوري شده و ازآنجا توسط پمپ به سيستم آب‌بندي تزريق شوند. براي مصرف آبهاي جمع‌آوري شده مي‌توان به موارد زير اشاره نمود:

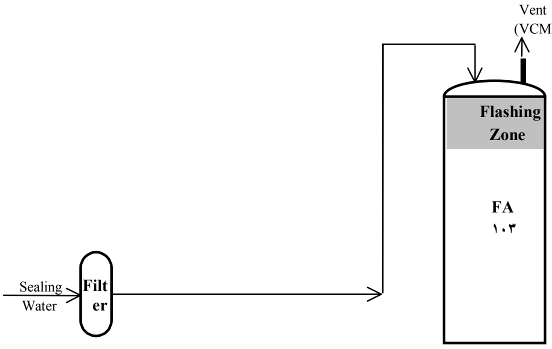
۱. از آنجايي كه امكان وجود VCM و PVC در آبهاي آب‌بندي مي‌باشد، مي‌توان آبهاي مذكور را در تجهيزاتي كه آب آب‌بندي وارد فرايند آنها مي‌شود، بكار برد. كه براي اين كار نياز به وجود شبكه لوله كشي مجزا براي تجهيزات فوق‌الذكر مي‌باشد.
۲. يكي از مصارف آب DM بكارگيري آن بعنوان آب شستشو در راكتورهاست. با توجه به نوع آلودگي آبهاي جمع‌آوري شده ميتوان از آنها براي منظور ذكر شده استفاده كرد.
۳. در صورت اطمينان از كيفيت آبهاي جمع‌آوري شده و عدم آلودگي آنها به موادي از قبيل PVC و VCM ميتوان جريان حاصله را بعنوان جريان جبراني وارد مخزن اصلي آب DM واحد PVC نمود.

بعد از بررسي‌هاي متعدد، مشخص شد كه ميزان VCM در آب بسيار كم بوده و امكان دارد كه مقدار بسيار كمي PVC نيز در اين جريان موجود باشد. از آنجائي كه حلاليت VCM در آب بسيار ناچيز و نقطه جوش آن °C ۱۳/۹- مي‌باشد،با استفاده از روشهاي ساده گاززدايي مي‌توان VCM را از آب خارج نمود. با استفاده از نرم‌افزار Hysys مشخص شد كه VCM درفشار اتمسفريك و دماهاي پائين (صفر درجه) در آب حل‌پذير نبوده و آب عاري از آن است. با توجه به اينكه شرايط آب و هوايي مجتمع پتروشيمي بندرامام به گونه‌ايست كه دماي هوا هيچگاه به صفر نخواهد رسيد و با در نظر گرفتن اين مهم كه هرچه دماي آب بالاتر رود حلاليت گاز VCM در آن كمتر مي‌شود، بنابراين از لحاظ عملياتي هيچگاه آب در چنين شرايطي حاوي VCM نمي‌باشد و با فلش كردن[10] براحتي مي‌توان آن را از آب جدا كرد. ديگر آلاينده موجود در اين جريان ذرات جامد PVC است كه در شرايط حاد نيز مقدار آن از ۱% وزني تجاوز نمي‌كند كه براي جداسازي اين ذرات نيز بهترين روش فيلتراسيون مي‌باشد زيرا بكارگيري فيلتر داراي هزينه اوليه و عملياتي نسبتاً كم مي‌باشد. از ديگر مزاياي نسبي فيلتر مي‌توان به عملكرد مناسب آن در مقابل نوسانات دبي جريان و در صد آلاينده موجود در جريان اشاره نمود. پس ساده‌ترين راه جلوگيري از هدر

---

[10] 10- Flash

رفتن اين آبها، جمع‌آوري آنها، سپس انجام عمل فيلتراسيون و فلش كردن و استفاده مجدد از آنها در شبكه آب واحد مي‌باشد. با دقت در ساختار مخزن اصلي آب بدون املاح در واحد PVC، ديده مي‌شود كه اين مخزن حدود ۱۱متر ارتفاع دارد و ارتفاع آب در آن معمولاً در حدود ۹۰% ارتفاع آن مي‌باشد بنابراين حدود ۱ متر فضاي خالي بالاي اين مخزن وجود دارد. از طرفي بعلت اينكه مقدار VCM موجود در آب بسيار كم است، بنابراين اگر اين مقدار وارد محيط شود مشكلي ايجاد نمي‌كند. در بالاي مخزن نيز يك مجرا براي تخليه و خروج گازبه محيط در نظر گرفته شده است. بنابراين مي‌توان از فضاي آزاد بالاي مخزن بعنوان فلاش درام استفاده نمود. بدين ترتيب فرايند حذف آلاينده‌ها از آبهاي نشت‌بندي جمع آوري شده تنها شامل يك فيلتر خواهد شد و آب بعد از عمل فيلتراسيون وارد مخزن اصلي مي‌شود. به مجرد ورود آب به مخزن، VCM وارد فاز گاز شده و به محيط وارد مي‌شود. آب نيز به داخل مخزن سرازير مي‌شود. بعد از انجام محاسبات، سطح فيلتر طراحي شده m^2 ۳/٤٥٦ و جنس آن پلي‌استر در نظر گرفته شد. شمايي از اين مراحل در شكل (١٤) نشان داده شده است



شكل ١٤ـ شمايي از طرح پيشنهادي براي بازيافت آب آب‌بندي

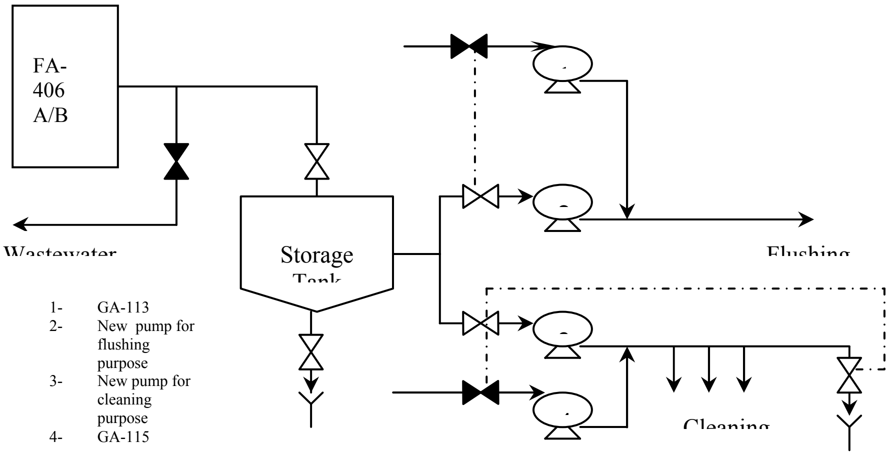
با اجراي اين طرح ۳۷۱/۵ ميليون ريال در سال در هزينه آب بدون املاح مورد نياز واحد صرفه‌جويي مي‌شود كه البته براي رسيدن به اين ميزان صرفه‌جويي در سال بايد ٢٦٤/٤ ميليون ريال سرمايه‌گذاري شود كه اين مقدار نيز ظرف مدت ۸/۵ ماه جايگزين مي‌شود. همچنين ۵/۵% كاهش در توليد پساب نيز مشاهده مي‌شود.

مورد بعدي در واحد PVC، بازيافت آب سرريز از مخازن FA-406 است. اين جريان با دبي m3/hr ٦٠-٤٠ به سيستم تصفيه پساب واحد هدايت مي‌شود. در صورتيكه تنها شامل ۳% پودر PVC است. جريان مذكور، فاز آبي واكنش پليمريزاسيون است كه تركيبي از آب بدون املاح و مواد شيميايي ديگر اعم از: كلوسل، متوسل، آنتي‌اكسيدان[11] هيدروكسيد كلسيم ($Ca(OH)_2$) و ...

11- Antioxidant

مي‌باشد. به دليل وجود همين ناخالصي‌ها نمي‌توان اين آب را در همه نقاطي كه آب بدون املاح مورد نياز است بكار برد و در نقاطي مي‌توان از آن استفاده نمود كه تداخلي(از لحاظ نوع آلاينده) با جريان مذكور نداشته و يا با آن همخواني تركيبي داشته باشد. چون اين آب از فرايند جدا شده است، پس به راحتي مي‌توان آب مذكور را در نقاطي كه آب بدون املاح به جريان‌هاي فرايندي اضافه مي‌شود بكار برد. با بررسي واحد PVC ، مشاهده شدكه آبDM براي جلوگيري از رسوب PVC در لوله‌ها، برجها و مبدلها بكار مي‌رود. جريان آب فلاشينگ مصرفي در حالت نرمال حدوداً $۰/۰۵\ m^3/hr$ (طبق طراحي) درنظرگرفته شده است. اما كارشناسان واحد PVC اظهار مي‌كنند كه با اين مقدار آب فلاشينگ همواره مشكلاتي نظير رسوب PVC در لوله‌ها، مبدل، برج و بسته شدن مسيرها را داشته‌اند. بنابراين دبي آب فلاشينگ مصرفي تا اندازه‌اي كه مانع بروز مشكلات مذكور شود افزايش داده شده است. از طرف ديگر، واحد PVC، جهت بازيافت پودر PVC پراكنده شده در محيط، نياز به شستشوي مداوم دارد كه طبق طراحي براي انجام اين امر بايد از آب صنعتي استفاده شود. اما در حال حاضر بيشتر از آب آتش‌نشاني براي شستشوي سايت استفاده مي‌شود. اين كار باعث كاهش فشار خط آب آتش‌نشاني شده كه در زمان بروز خطراتي مانند آتش‌سوزي براي هر يك از واحدهاي مجتمع، خطرناك مي‌باشد. به همين دليل واحد PVC همواره در جهت كاهش مصرف آب آتش‌نشاني تحت فشار قرار دارد. از طرف ديگر آبي كه جهت شستشوي سايت بكار مي‌رود، لازم نيست كه كيفيت بالايي داشته باشد. چون اين آب بعد از ورود به فاضلاب واحد PVC به بخش تصفيه پساب هدايت مي‌شود تا ذرات PVC از آنها جدا شود و سپس از واحد خارج مي‌شود. بنابراين يكي ديگر از موارد مصرفي كه مي‌توان براي آبهاي سرريز مخازن FA-406 در نظر گرفت، بكار بردن آنها جهت شستشو و ساير استفاده‌هاي سايتي مي‌باشد.

با توجه به اين موارد، احياء اين جريان سرريز و استفاده مجدد از آن منطقي و موثر بنظر مي‌رسد. طبق اندازه‌گيريهاي انجام شده بر روي اين جريان سرريز مشاهده شد كه ميزان PVC در اين آب بندرت از ۰/۱ % فراتر مي‌رود. پس باتوجه به دبي حجمي زياد اين جريان و PVC كم آن، بهترين روش جداسازي، استفاده از ته‌نشيني است. در نتيجه با جمع‌آوري آبها درون يك مخزن ته‌نشيني و سپس لوله‌كشي‌هاي جداگانه براي استفاده در دو منظور ذكر شده امكان مصرف مجدد از اين آب فراهم شد. انجام اين طرح سالانه ۱۰۶۳ ميليون ريال صرفه‌جويي بدنبال خواهد داشت و ميزان سرمايه‌گذاري اوليه ٦٩٧/٢ ميليون ريال مي‌باشد كه ظرف ۸ ماه اين سرمايه باز خواهد گشت و با اجراي اين طرح ١٤/٥% كاهش در توليد پساب مشاهده خواهد شد. شمايي از طرح پيشنهادي براي اين مورد در شكل (۱۵) آورده شده است.



شکل ۱۵- شمايي از طرح پيشنهادي

بحث و نتيجه‌گيري

باتوجه به محدوديت‌هاي موجود در زمينه منابع آبي و مقررات زيست محيطي و ظرفيت اکوسيستم براي پذيرش پسابهاي حاصله از فرآيندها، لزوم بازنگري به فرآيندهاي موجود و حتي بررسي بيشتر قبل از طراحي فرآيندها به روشني احساس مي‌شود.

بطور کلي براي کاهش مصرف آب از دو شيوه مي‌توان استفاده کرد، روش اول، در واقع استفاده از شيوه‌هاي معمول و موجود مانند استفاده مجدد ، احياء پساب و مصرف مجدد آن و... مي‌باشد که در اين روش با بررسي جريانهاي هدررو، امکان استفاده مجدد از آنها بررسي مي‌شود. روش دوم که تکنيکي جديد است، تکنولوژي پينچ آبي است. در هنگام بهينه‌سازي يك فرآيند بايد توجه داشت که در چه مواردي مي‌توان از کدام روش استفاده کرد. براي استفاده از روش پينچ آبي، بايد به اين نکته توجه داشت که در اين روش، معمولاً جريانهاي آلوده‌اي که داراي آلودگي مشابهي هستند، با هم ترکيب شده و قوانين بر روي آنها پياده مي‌شود و در صورتيکه آلودگي‌هاي موجود در جريانها يکسان نباشد امکان استفاده از اين روش وجود ندارد.

بررسي و مطالعه بر روي واحدهاي PVC و CA نشان ميدهد که در اين دو فرآيند، استعداد خوبي براي کاهش ظرفيت آب مصرفي وجود دارد. در واحد CA ، بعد از بررسي و پيدا کردن پتانسيل‌هاي کاهش دبي آب مصرفي در واحد، باتوجه به اينکه آلودگي موجود در جريانها يکسان بود، از روش پينچ آبي استفاده شد با انجام اين کار مشاهده شد که روش پينچ آبي در صورتيکه درست و بجا مورد استفاده قرار گيرد، روشي موثر با کارايي بسيار خوب است.

بررسي واحد PVC نيز نشان داد، بعلت اينکه آلودگي موجود در ۲ جريان هدررو اين واحد يکسان نبود. امکان استفاده از روش پينچ آبي موجود نبوده و براي بهينه‌سازي اين واحد، بايد از روشهاي معمولي کاهش مصرف آب استفاده کرد.

با انجام يكسري بهينه‌سازي مناسب بر روي اين دو واحد، مشاهده شد كه در واحد CA، مصرف آب تازه ۲۶/۶% و پساب توليدي ۷۵% كاهش يافت. همچنين در واحد PVC با جلوگيري از هدر رفتن ۲ جريان پساب در مجموع ۱۴۳۵ ميليون ريال در سال در هزينه آب بدون املاح مصرفي واحد صرفه‌جويي شد كه براي رسيدن به اين ميزان صرفه‌جويي بايد ۹۶۲ ميليون ريال سرمايه‌گذاري شود و اين ميزان سرمايه نيز ظرف مدت ۸/۵ ماه برخواهد گشت. باتوجه به اينكه زمان برگشت سرمايه كوتاه و تأثير اين سرمايه‌گذاري نيز بسيار چشمگير مي‌باشد، اجراي اين دو طرح بسيار منطقي و معقول بنظر مي‌رسيد.

علائم و اختصارات

$C_{i,in}^{lim}$	غلظت حدي ورودي‌آلاينده ، (ppm)
$C_{i,out}^{lim}$	غلظت حدي خروجي آلاينده ، (ppm)
$C_{i,in}^{\omega}$	غلظت ورودي آلاينده در جريان آب، (ppm)
$C_{i,out}^{\omega}$	غلظت خروجي آلاينده در جريان آب ، (ppm)
C_k^*	غلظت آلاينده در مرز k ، (ppm)
C_{pinch}^*	غلظت آلاينده در مرز پينچ، (ppm)
C_{regen}	غلظت ورودي به پروسه احياء، (ppm)
C_e	غلظت حدي زيست محيطي (ppm)
C_0	غلظت خروجي از پروسه احياء (ppm)
f_i^{lim}	دبي حدي (te/hr)
f_{min}	حداقل دبي‌آب تازه (te/hr)
f_{regen}	دبي آب احياء شده (te/hr)
$\Delta m_{i,tot}$	كل بار جرمي منتقل شونده از فرايند i ام، (kg/hr)
Δm_k	كل بار جرمي منتقل شونده در زير مرز k ، (kg/hr)
Δm_{pinch}	بار جرمي منتقل شونده در زير مرز پينچ، (kg/hr)
Δm_{regen}	بار جرمي آلاينده انتقال يافته قبل از پروسه احياء (kg/hr)
m_0^i	مقدار عددي نقطه حدي تصفيه در بخش منفي محور xها، (kg/hr)
r^i	نسبت جداسازي آلاينده براي پروسه تصفيه i، (بدون بعد)
COD	اكسيژن خواهي شيميايي (Chemical Oxygen Demand)
BOD	اكسيژن خواهي بيوشيميايي (Biochemical Oxygen Demand)
LWP	پروفيل حدي آب، (Limiting water profile)
WSL	خط تأمين كننده آب، (Water supply line)
LCC	منحني حدي مركب، (Limiting Composite Curve)
FWP	پينچ آب تازه، (Fresh Water Pinch)
CCC	منحني مركب غلظت، (Concentration Composite Curve)

TP	پروسه تصفیه، (Treatment Process)
CID	جدول غلظتی - بخشی (Concentration Interval Diagram)
PVC	پلی وینیل کلراید، (Poly vinyl chloride)
CA	کلرآلکالی، (Chloro Alkali)

منابع

1- Smith, R. and Wang, Y.P.;"Wastewater minimization", Chem.Eng.Sci. , 7;981-1006;1994

2- Smith ,R. and Wang ,Y.P. and Petela ,E ;"Water ,water everywhere", The chemical Engineer, No.565;21-24 ;1994

3- Smith ,R. and Wang ,Y.P. ;"wastewater minimization with flow rate constraints" ,IchemE ,73 ;889-904 ;1995

4- Doyle ,S.J. and Smith ,R. ;"Targeting water reuse with multiple contaminants" ,IchemE , 75;181-189 ;1997

5- Kuo, W.C.J. and Smith, R.;"Effluent treatment system Design", Chem.Eng.Sci. ,23 ;4273-4290 ,1997

6- Mann ,J.G. and Liu, Y.A. ;"Industrial water reuse and wastewater minimization" ,McGraw-Hill ;first edition ;1999

۷- میهن‌دوست، شادی، ؛بهینه سازی مصرف آب و تولید پساب در فرایندهای پتروشیمی؛ ،پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، پاییز ۱۳۸۰