

## طراحی و Sizing مربوط به Gravity-type oil-water separators بر اساس استاندارد API 421

شاهین کرمی مهر<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> مدیر عملیات تولید شرکت هما پاسارگاد انرژی کیش

Shahinkarami49@yahoo.com

### چکیده:

پساب نفتی یا روغنی در بسیاری از صنایع نظیر واحد های نمک زدایی، پتروشیمی ها، صنایع غذایی، چرم سازی و صنایع فولاد تولید می گردند اساس کار این تجهیزات بر پایه قانون استوک و اختلاف دانسیته در ذرات جامد و مایع بنا شده دانست. به همین دلیل راندمان نسبتاً بالایی در حذف ذرات روغنی خواهد داشت. روش تصفیه پساب های روغنی به این صورت است که ابتدا فاضلاب وارد دستگاه شده و برای مدت زمان مشخص در مخزن اختصاص داده شده قرار می گیرد. فاضلاب پس از گذشت زمان به مرور با توجه به وزن ذرات، به بالا و پایین حرکت خواهند کرد. به طوری که ذرات سنگین در کف مخزن ته نشین شده و ذرات سبک روی سطح قرار گرفته و جمع آوری می گردند [1]. نظریه جداسازی نفت و آب بر اساس نرخ افزایش قطرات نفت (سرعت عمودی) و رابطه آن با نرخ بارگذاری سطحی جداکننده است [2]. در این مقاله به طراحی و بهینه سازی Gravity-type oil-water separators بر مبنای API 421 پرداخته می شود.

کلمات کلیدی: پساب، نمک زدایی، پتروشیمی، قانون استوک

### ۱. مقدمه:

یک جریان فاضلاب پالایشگاه ممکن است حاوی نفت در سه شکل عمده باشد: آزاد، امولسیون شده و محلول. برخی از ویژگی های مربوطه به هر یک از این موارد به اختصار مورد بحث قرار می گیرد:

۱. Free oil به شکل گلبول های نفت گسسته با اندازه مناسب است به طوری که گلبول ها در اثر نیرو شناوری بالا رفته و یک لایه نفتی در بالای آب تشکیل می دهند. تحت شرایط جریان غیرفعال، Free oil را می توان با استفاده از gravity separation حذف کرد. این حذف تابعی از زمان سکونت، تفاوت در وزن مخصوص، دما و پایداری امولسیون می باشد. برخی از جامدات نفتی درشت دارای خاصیت specific gravity بیشتر از ۱.۰ هستند و در انتهای یک جداکننده ته نشین می شوند. بیشتر نفت و مواد جامد ریز مرتبط با آن در پالایشگاه فاضلاب دارای وزن مخصوص کمتر از ۱.۰ بوده و به سطح آب خواهد رسید.

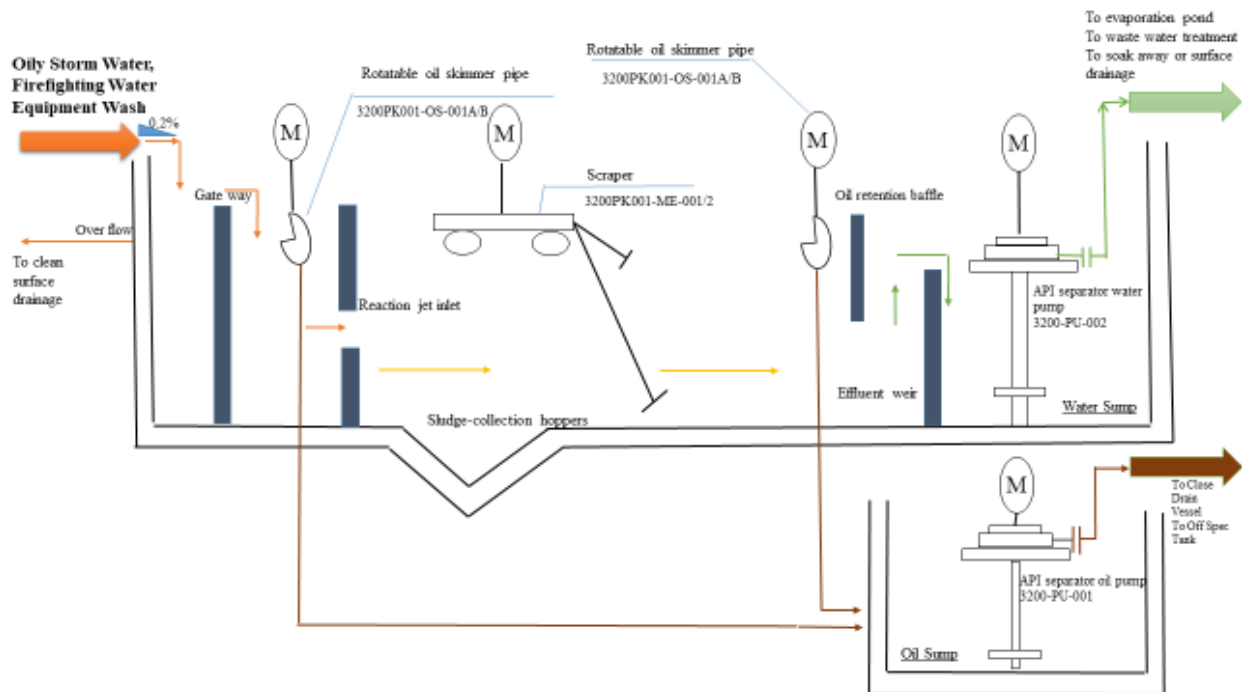
۲. Emulsified oil به شکل قطرات نفت بسیار کوچک یا گلبول‌های با قطر کمتر از ۲۰ میکرون (بیشتر در محدوده ۱-۱۰ میکرون) است. این گلبول‌ها یک سیستم تعلیق پایدار در آب در نتیجه غلبه نیروهای بین مولکولی بر نیروهای شناور، را تشکیل می‌دهند. حضور ذرات نیز به تشکیل امولسیون کمک می‌کنند. فاز نفت جدا شده بدون در نظر گرفتن مدت زمانی که یک امولسیون نفت-آب واقعی در حالت سکون باقی می‌ماند، تشکیل نمی‌شود. نفت امولسیون شده ممکن است با افزودن شیمیایی و ادغام حذف شود، اما نه فقط با جداسازی گرانشی.

۳. Dissolved oil یک کسر نفتی است که یک محلول مولکولی با آب را تشکیل می‌دهد. نفت حل شده را نمی‌توان جداسازی گرانشی حذف کرد. تصفیه فاضلاب (به عنوان مثال، تصفیه بیولوژیکی) در صورتیکه حذف نفت ضروری باشد، مورد نیاز می‌باشد. روش اندازه‌گیری غلظت نفت می‌تواند بر کارایی ظاهری حذف تأثیر بگذارد. Conventional oil-water separators تنها Free oil را حذف می‌کنند و Stable emulsions and dissolved oil نیاز به تصفیه اضافی دارد. اساساً، جداکننده نفت و آب یک محفظه طراحی برای فراهم کردن شرایط جریان به اندازه کافی ساکن است به طوری که گلبول‌های نفت آزاد به سطح آب بالا می‌روند و در یک فاز نفت جداگانه به هم پیوسته تا با وسایل مکانیکی حذف شوند. نظریه جداسازی نفت و آب بر اساس نرخ افزایش قطرات نفت (سرعت عمودی) و رابطه آن با نرخ بارگذاری سطحی جداکننده است. نرخ افزایش، سرعتی است که ذرات نفت در نتیجه اختلاف چگالی نفت و فاز آبی فاضلاب به سمت سطح جداکننده حرکت می‌کنند. نرخ بارگذاری سطحی، نسبت نرخ جریان به جداکننده به مساحت سطح جداکننده است. [2].

## ۲. بخش جداسازی

### ۱.۲ کلی

کانال جداسازی یک حوضه عبور جریان ساده است که هیچ مانعی برای جریان ایجاد نمی‌کند به طوری که تلاطم به حداقل می‌رسد. جداکننده‌های با کانال‌های بلند گاهی اوقات به دو قسمت اصلی و ثانویه تقسیم می‌شوند تا حرکت لجن‌کش‌ها و اسکیم‌های نفت را کاهش دهند. کانال جداسازی شامل لوازم زیر است: دروازه‌ها، دستگاه‌های Velocity-head diffusion (بافل‌های شکاف عمودی یا ورودی‌های جت واکنش)، دستگاه‌های انتقال نفت و لجن، اسکیم‌های نفت و بافل‌های نگهدارنده، و تجهیزات جمع‌آوری نفت و لجن. شکل زیر نمونه‌ای از یک واحد API Separator را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمونه ای از واحد API Separator

## ۲.۲. دروازه ها

جریان ورودی از Forebay به کانال های جداکننده از طریق Shutoff gateways که تا حد امکان عریض ساخته شده اند، جریان می یابد. برای افزایش عمر طولانی و اجتناب از تعویض پرهزینه، Gateway ها باید از مواد مناسب مقاوم در برابر خوردگی و فرسایش باشند.

## ۳.۲ Velocity-Head Diffusion Devices

### ۱.۳.۲ عمومی

بلافاصله در پایین دست دروازه های ورودی، دستگاه های Velocity-head diffusion، مانند جت های واکنش یا بافی های شکاف عمودی قرار دارند. عملکرد این دستگاه ها کاهش تلاطم جریان و توزیع یکسان جریان در سطح مقطع کانال است.

### ۲.۳.۲ ورودی Reaction-Jet

Reaction-Jet یک دستگاه انتشار جایگزین است. مطالعه هیدرولیکی ورودی های جداکننده توسط دانشمندان API در دانشگاه ویسکانسین [3] انجام شد که دریافتند جداکننده ای که با ورودی های جت واکنش ارائه می شود، پسابی با محتوای نفت کمتری نسبت به جداکننده های مجهز به بافل های عمودی تولید می کند.

یک جت واکنش شامل یک Tube یا Orifice و یک Dished target baffle است. سطح مقعر بافل هدف رو به Orifice یا لوله است. جریان آب از دهانه یا لوله توسط بافل معکوس می شود به طوری که به دیواره ورودی جداکننده برخورد می کند. به این ترتیب هد سرعت پراکنده می شود و جریان به طور موثر در سطح مقطع کانال توزیع شده و یکنواخت می شود.

### ۳.۳.۲. دستگاه های متحرک نفت و لجن

بسته به حجم و ویژگی های جامدات و نفت، ممکن است تجهیزات مکانیکی برای انتقال مواد به نقطه جمع آوری ارائه شود. هدف دستگاه های نفت و لجن انتقال لجن جدا شده و نفت های سطحی به یک نقطه جمع آوری برای امکان حذف آسان این مواد است.

### ۴.۳.۲. اسکیمرهای نفت

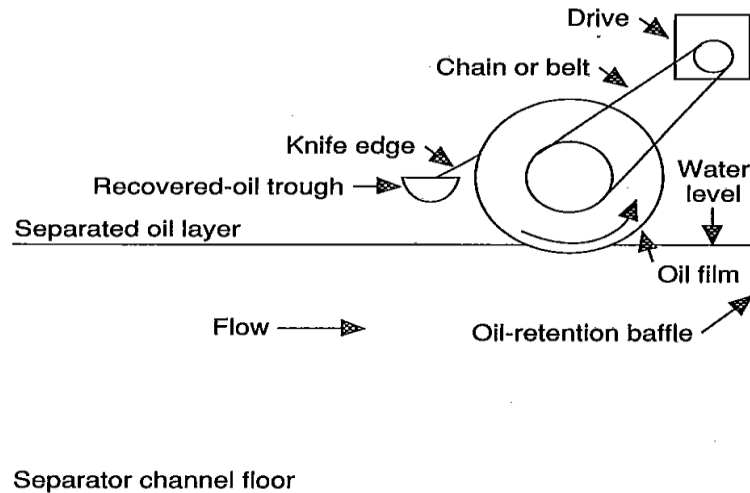
در انتهای کانال اصلی یا قسمت جداسازی باید یک Oil-skimming تهیه شود. روش انتخاب شده برای حذف نفت از جداکننده نفت-آب و عملکرد صحیح سیستم برای عملکرد موثر جداکننده بسیار مهم است. انواع مختلفی از Oil-skimming استفاده می شود: اسکیمر لوله شکاف دار قابل چرخش، اسکیمر درام دوار و اسکیمر شناور. رایج ترین آنها کفگیر لوله شکاف دار است. اسکیمر لوله شکافدار قابل چرخش قدیمی ترین و رایج ترین نوع در استفاده عمومی است. از آنجایی که دستگاه به صورت تجاری در دسترس است، اطلاعات اضافی را می توان از سازندگان دریافت کرد. با چرخاندن لوله می توان سطح اسکیمینگ مناسب را تنظیم کرد. اسکیمر باید قابلیت چرخش به عقب و جلو در محدوده ۱۸۰ درجه را داشته باشد تا نفت جدا شده ای که بین کفگیر و بافل نگهدارنده نفت جمع می شود قابل بازیابی باشد. تا زمانی که درام با لایه نفت تماس داشته باشد غوطه ور شدن حیاتی نیست. از مزایای این واحد این است که نفت بازیافتی حاوی آب نسبتاً کمی است و عملکرد آن به صورت اتوماتیک می باشد. چندین نوع اسکیمر شناور نیز موجود است.

### ۵.۳.۲. Recovered-Oil Sump

نفت بدون چربی بازیافت شده به یک مخزن جریان می یابد که از آن به یک وسیله دیگر پمپ می شود تا آب را با انواع فرآیندهای شیمیایی یا فیزیکی حذف کند. طراحی مخزن بر اساس حجم تخمینی نفت جمع آوری شده در یک دوره زمانی معین و بر اساس فرکانس مورد نظر کارکرد پمپ انتقال است. عملکرد پمپ انتقال باید توسط کلیدهای سطح بالا و پایین کنترل شود. آلارم های سطح بالا و پایین نیز به ترتیب برای محافظت در برابر سرریز و کاویتاسیون پمپ پیشنهاد می شوند.

### ۶.۳.۲. بافل نگهداری نفت

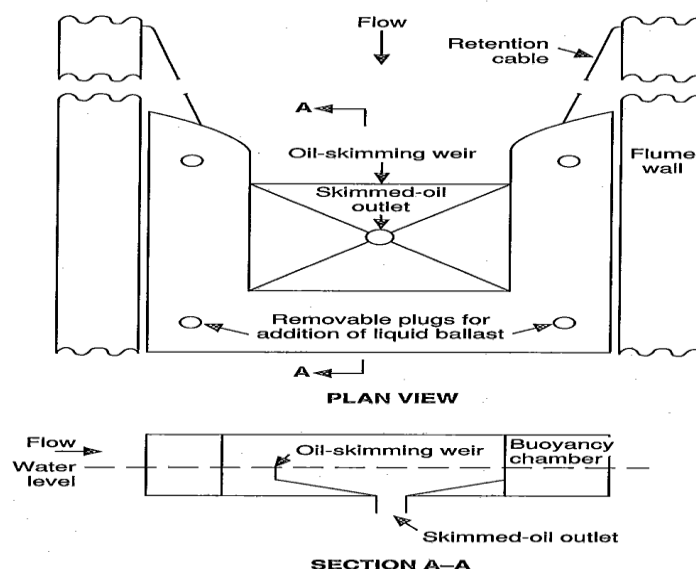
یک بافل نگهدارنده نفت نباید بیش از ۱۲ اینچ در پایین دست اسکیمینگ تهیه شود. این بافل که معمولاً از فولاد کربنی یا بتن ساخته شده است با حداکثر غوطه ور شدن ۵۵ درصد عمق آب نصب می شود. افزایش عمق بافل می تواند منجر به کاهش جداسازی نفت و مواد جامد شود. بافل ممکن است به صورت عمودی نصب شود، یا ممکن است تا ۱۵ درجه از عمود در جهت پایین دست متمایل شود. بافل باید به سمت بالای کانال گسترش یابد.



شکل ۱. Rotary-Drum Oil Skimmer

#### ۷.۳.۲. جمع‌آوری و حذف لجن

لجن را می‌توان به روش‌های مختلفی از جداکننده جدا کرد، از جمله گرانش یا جریان متحرک به مخزن یک Pump و پمپاژ مستقیم یا سیفون از قیف‌ها. در برخی از تاسیسات که مواد جامد قابل ته‌نشینی حداقل هستند، زمانی که لجن کافی برای حذف کانال از سرویس جمع‌شده باشد، لجن را می‌توان به صورت دستی حذف کرد. لجن ممکن است در قیف‌ها یا فرورفتگی‌های پایین V که در کف جداکننده قرار دارند جمع‌آوری شود. قیف‌های جمع‌آوری لجن در انتهای ورودی بخش کانال اصلی، هرم‌های معکوس هستند که اضلاع آنها حداقل ۴۵ درجه به سمت خروجی در راس شیب دارند. دو مکانیسم اصلی برای حذف لجن از این قیف‌ها وجود دارد. هر قیف ممکن است توسط نیروی گرانش به داخل یک لوله تخلیه لجن تخلیه شود که از زیر ردیف قیف‌ها تا یک پمپ لجن امتداد می‌یابد، همچنین، هر قیف خروجی با یک دوشاخه مجهز شده است که می‌تواند به صورت دستی یا با پدال پا یا توسط یک ساقه پیچ بلند شود. به جای سیستم زیرکش، لجن ممکن است توسط یک لوله سیفون، با استفاده از فشار هیدرواستاتیک از قیف خارج شود. در این مورد، ممکن است خروجی در پایین قیف وجود نداشته باشد. ممکن است به جای قیف‌ها از یک گودال V-bottom جمع‌آوری لجن استفاده شود. فرورفتگی در کانال در عرض کل کانال در سمت پایین دست بافل شکاف عمودی یا دیوار واکنش جت ساخته شده است. دو طرف ماله باید حداقل ۴۵ درجه شیب داشته باشد.



شکل ۲. Horseshoe-Type Floating Skimmer

### ۸.۳.۲. دیواره برون ریز

دیواره سرریز خروجی یا خروجی بیش از ۲ فوت پایین دست بافل نگهداری نفت قرار دارد. از کف کانال تا ارتفاعی برابر با عمق معمولی آب منهای عمق جریان عادی بر روی تاج (لبه بالایی) سرریز امتداد می‌یابد. یک صفحه سرریز فولادی با تاج تیز یا شیاردار به سطح پایین دست دیواره سرریز در امتداد بالای آن متصل می‌شود. پس‌اب از روی سرریز به کانال یا فلوم جریان می‌یابد و به واحدهای تصفیه فاضلاب بعدی یا به فاضلاب خروجی منتقل می‌شود. [3].

### ۳. طراحی و بهینه سازی Gravity-type oil-water separators بر مبنای API ۴۲۱:

فرض می‌شود که داده‌های زیر جهت طراحی داده‌ارایه شود:

جدول ۱: داده‌های مربوط به پس‌اب ورودی جهت طراحی

|      |                       |                        |
|------|-----------------------|------------------------|
| ردیف | Item No.              | 3200PK001-SU-002       |
| 1    | Service               | Oily Separator         |
| 2    | Inlet Water Flow-rate | 1459 m <sup>3</sup> /h |
| 3    | Water S.G             | 1                      |
| 4    | Oil S.G               | 0.85                   |
| 5    | Design Temperature    | 16 °C                  |

|    |                          |                |
|----|--------------------------|----------------|
| 6  | Water Viscosity @16 °C   | 1.15 C.P       |
| 7  | Inlet Oil Content        | 200 ~ 1000 ppm |
| 8  | Outlet Oil Content       | 100 ~ 200 ppm  |
| 9  | Opt. Pressure            | Atm            |
| 10 | Opt. Temperature         | Amb            |
| 11 | Material of Construction | Concrete       |

۱.۳. محاسبه ابعاد کانال

در مرحله اول بایستی سرعت صعود ( $V_t$ ) و سرعت افقی ( $V_H$ ) را مطابق زیر بدست آورد [4,5]:

$$V_t = 0.0241 \frac{S_w - S_o}{\mu} \quad (1)$$

$$V_t = 0.0241 \frac{1 - 0.85}{0.0115} = 0.314 \frac{ft}{min} = 0.15 \frac{cm}{s}$$

بر اساس این استاندارد، سرعت افقی ۱۵ برابر سرعت صعود می باشد که بایستی کمتر از عدد ۳ باشد.

$$V_H = 15V_t \geq 3 \quad (2)$$

$$V_H = 15 * 0.314 = 4.7 \geq 3 \frac{ft}{min}$$

$$\Rightarrow V_H = 3 \frac{ft}{min} = 1.52 \frac{cm}{s}$$

مساحت کل این Separator برابر است با:

$$A_C = \frac{Q_m}{V_H} = \frac{858.7 \frac{ft}{min}}{3 \frac{ft}{min}} = 286.2 ft^2 \quad (3)$$

تعداد کانال ها، طول، عرض و ارتفاع هر کانال مطابق زیر بدست می آید.

$$N = \frac{A_C}{160} = 1.79 \cong 2 \quad (4)$$

$$d = \frac{A_C}{B * N} \quad (5)$$

Assumed: B=10 (عددی ثابت می باشد)

$$d = \frac{286.2}{10 * 2} = 14.3$$

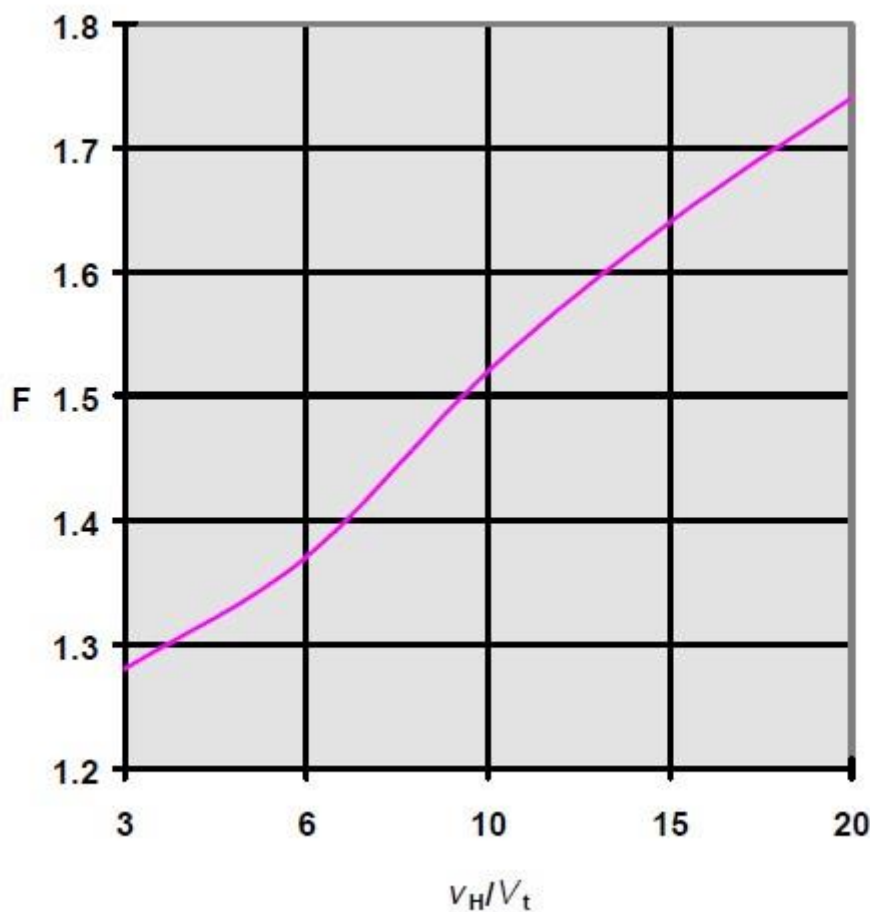
But:  $\frac{d}{B} = \frac{14.3}{10}$  (depth must be: 3-8 ft and  $\frac{d}{B} = 0.3 - 0.5$ )

Assumed: B=20ft(6.096m)  $d = \frac{286.2}{20*2} = 7.15\text{ft} = 2.17\text{m}$

$\frac{d}{B} = 0.358$  is acceptable dimension

F = Turbulence and short-circuiting factor (dimensionless)

که از نمودار زیر بدست می آید:



شکل ۵. مقدار پیشنهادی F برای مقادیر متفاوت  $\frac{v_H}{v_t}$

$$L = F \frac{V_H}{V_t} * d = 1.47 \frac{3}{0.314} * 7.15 = 100.41 ft = 30.61 m \quad (6)$$

$$\frac{L}{B} = 5.02 \geq 5 \text{ is acceptable dimension}$$

بنابراین عرض و ارتفاع و طول کانال برابر است با:

$$d = 7.15 \text{ ft}, \sim 2.18 \text{ m}$$

$$B = 20 \text{ ft}, \sim 6.1 \text{ m}$$

$$L = 102.42 \text{ ft}, \sim 31.2 \text{ m}$$

۲.۳. حجم و مساحت قسمت جداسازی اولیه:

فرض می شود که سرعت ۱۵ ft/min و زمان ماند ۹۰ ثانیه باشد:

$$v = Q_m * \text{detention time} = 858.735 * 1.5 = 1288.1 ft^3 \quad (7)$$

$$A_c = \frac{Q_m}{V_H} = \frac{858.7 \frac{ft}{min}}{15 \frac{ft}{min}} = 57.249 ft^2$$

۴. نتیجه گیری:

این مقاله به طراحی و Sizing مربوط به Gravity-type oil-water separator هایی پرداخته که صرفاً بر مبنای تفاوت در Specific gravity بمنظور جداسازی گلوبول های نفت از جریان Wastewater stream می باشد. مطالعات آتی می تواند بمنظور بهینه سازی Sizing و مقدار Oil Content خروجی واحد و نیز دخیل کردن اثرات دما در نظر گرفته شود.

۵. قدردانی:

بدینوسیله از کمک و حمایت مالی شرکت هما پاسارگاد انرژی کیش در انجام این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## ۶. منابع:

- [1] “Tilted-Plate Separator Effortlessly M i e s Water,” Chemical Engineering, 1969, Volume 76, Number 2, pp. 102-104.
- [2] E. C. Shaw and W. L. Caughman, Jr., The Parallel Plate Interceptor, NLGZ Spokesman, 1970, Volume 33, Number 11.
- [3] “Reaction Jet Inlets” (summary report on project sponsored by MI), University of Wisconsin, Madison, 1962.
- [4] S. J. Thomson, “Report of Investigation on Gravity- Type Oil-Water Separators,” Proceedings of the 28th Zndustrial Waste Conference, Purdue University, 1973, pp.
- [5] J. J. Brunsmann, J. Cornelissen, and H. Eilers, “Improved Oil Separation in Gravity Separators,” Journal of the Water Pollution Control Federation, 1962, Volume 34, Number 1, pp. 44-55.