

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان برنامه و بودجه کشور

# راهنمای طراحی سیستم‌های گذردهی رسوب

نشریه شماره ۸۵۲

|                                     |                                                  |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| سازمان بنادر و دریانوردی            | معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی               |
| معاونت مهندسی و توسعه امور زیربنایی | امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران       |
| <a href="http://pmo.ir">pmo.ir</a>  | <a href="http://nezamfanni.ir">nezamfanni.ir</a> |

۱۴۰۱





## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
  - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
  - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
  - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: nezamfanni@mporg.ir

web: nezamfanni.ir





## تهیه و کنترل « راهنمای طراحی سیستم های گذردهی رسوب » [نشریه شماره ۸۵۲]

### اعضای گروه تهیه کننده:

|                     |                                 |                                 |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ناصر حاجی زاده ذاکر | دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران | دکترای مهندسی عمران (سواحل)     |
| شیرین فرخانی        | دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران | فوق لیسانس مهندسی عمران (سواحل) |

### اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان بنادر و دریانوردی):

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| محمدرضا اله یار | معاون مهندسی و توسعه امور زیربنایی |
| حمید خلیلی      | مدیر کل مهندسی سواحل و بنادر       |
| محمدحسین نعمتی  | رئیس اداره مهندسی سواحل            |
| عباس عینعلی     | کارشناس اداره مهندسی سواحل         |

### اعضای گروه نظارت و تایید (کمیته فنی کارگروه تخصصی ضوابط و معیارهای فنی و اجرایی سازه های ساحلی و دریایی - سازمان بنادر و دریانوردی)

|                    |                                 |                                   |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| بهزاد الوند        | سازمان بنادر و دریانوردی        | کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت ساخت  |
| غلامرضا سنایی      | مهندسان مشاور خاک بافت          | کارشناسی ارشد سازه و مهندسی سواحل |
| محمد شاکری نیا     | سازمان بنادر و دریانوردی        | کارشناسی ارشد سازه های دریایی     |
| حسن صفری           | مهندسان مشاور تهران برکلی       | کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی  |
| ابوالفضل علی عسگری | مهندسان مشاور سازه پردازی ایران | کارشناسی ارشد ژئوتکنیک            |
| محمد هادی معینی    | مهندسان مشاور پویا طرح پارس     | دکتری مهندسی سواحل                |
| هاشم مرادی         | مهندسان مشاور بهین طرح آپادانا  | کارشناسی ارشد سازه و مهندسی سواحل |
| سحر مختاری         | سازمان بنادر و دریانوردی        | دکترای محیط زیست                  |

### اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

|                    |                                                           |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| علیرضا توتونچی     | معاون امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران        |
| فرزانه آقارمضانعلی | رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران    |
| حمیدرضا خاشعی      | کارشناس گروه امور نظام فنی و اجرایی، مشاوران و پیمانکاران |
| محمدامیر طبابخا    | کارشناس امور راه و ترابری و مدیریت عمران شهری و روستایی   |

## باسمه تعالی

### پیشگفتار

کشور ایران با قرار داشتن در مجاورت دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان دارای ظرفیت اساسی برای بهره برداری های بنادر و دریانوردی، شهری، معدنی، صنعت، کشاورزی، گردشگری و دفاعی از ساحل و دریا می باشد. بسیاری از بهره برداری های فوق الذکر همراه با ساخت سازه های ساحلی از قبیل موج شکن ها و جتی ها می باشد. اندر کنش این نوع سازه ها با ساحل موجب اخلال در روند طبیعی انتقال رسوب در این مناطق می شود. این مسئله از یک طرف منجر به ایجاد مشکلات محیط زیستی از قبیل انباشت رسوبات در بالادست و فرسایش ساحل در پایین دست سازه گشته و از طرف دیگر موجب مشکلات بهره برداری از قبیل انباشت رسوب در دهانه و کانال های ورودی بنادر و همچنین آسیب به سازه ها در مناطق فرسایش یافته می شود. یکی از روش های مطرح در زمینه کنترل، کاهش و رفع اثرات مضر و مشکلات فوق الذکر، روش گذردهی رسوب ( Sand Bypassing ) می باشد.

با توجه به مطالب فوق، سازمان بنادر و دریانوردی در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی و اجرایی سازه های ساحلی و دریایی، تهیه نشریه « راهنمای طراحی سیستم های گذردهی رسوب » را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرار داد که پس از بررسی، براساس ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه های توسعه، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و منتشر گردید.

باوجود تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این نشریه از کارشناسان محترم درخواست می شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن نشریه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین وسیله امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران از تلاش ها و جدیت کارشناسان و متخصصان محترم همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می نماید.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

فروردین ۱۴۰۱



## فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u>                                                            |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------|
| ۱           | مقدمه                                                                   |
| ۳           | فصل اول- معرفی سیستم‌های گذردهی رسوب                                    |
| ۵           | ۱-۱- مقدمه                                                              |
| ۵           | ۱-۲- تعریف گذردهی رسوب                                                  |
| ۶           | ۱-۳- مزایای سیستم گذردهی رسوب                                           |
| ۷           | ۱-۴- انواع سیستم‌های گذردهی رسوب                                        |
| ۸           | ۱-۵- اجزاء سیستم‌های گذردهی رسوب                                        |
| ۱۵          | فصل دوم- آشنایی با سیستم‌های گذردهی رسوب                                |
| ۱۷          | ۲-۱- مقدمه                                                              |
| ۱۷          | ۲-۲- سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                                    |
| ۲۵          | ۲-۳- سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                                     |
| ۳۲          | ۲-۴- سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا                                   |
| ۳۵          | ۲-۵- سیستم گذردهی رسوب بندر اوشن ساید                                   |
| ۳۷          | ۲-۶- جمع بندی                                                           |
| ۳۹          | فصل سوم- دستور العمل طراحی سیستم‌های گذردهی رسوب                        |
| ۴۱          | ۳-۱- مقدمه                                                              |
| ۴۱          | ۳-۲- راهنمای برنامه ریزی و طراحی هیدرولیکی سیستم‌های جت پمپ گذردهی رسوب |
| ۴۲          | ۳-۲-۱- معرفی سیستم‌های جت پمپ گذردهی رسوب                               |
| ۴۷          | ۳-۲-۱-۱- تشریح سیستم‌های جت پمپ گذردهی                                  |
| ۵۴          | ۳-۲-۲- طراحی اولیه سیستم                                                |
| ۸۲          | ۳-۲-۳- طراحی نهایی سیستم جت پمپ                                         |
| ۱۲۰         | ۳-۳- راهنمای طراحی سیستم سیال-ساز برای گذردهی رسوب                      |

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۰ | ۱-۳-۳- مراحل سیال-سازی رسوبات بمنظور دستیابی به ترانشه                      |
| ۱۲۱ | ۲-۳-۳- کاربرد سیال-سازها در سیستم‌های گذردهی رسوب                           |
| ۱۲۲ | ۳-۳-۳- اجزاء سیستم سیال-ساز                                                 |
| ۱۲۳ | ۴-۳-۳- شناسایی منطقه مورد نظر                                               |
| ۱۲۴ | ۵-۳-۳- طراحی لوله سیال-ساز                                                  |
| ۱۲۳ | فصل چهارم- بررسی و ارائه مبانی ارزیابی‌های محیط زیستی سیستم‌های گذردهی رسوب |
| ۱۳۵ | ۱-۴- مقدمه                                                                  |
| ۱۳۵ | ۲-۴- مراحل انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی                           |
| ۱۳۷ | ۳-۴- اثرات محیط زیستی سیستم‌های گذردهی رسوب و راهکارهای کاهش آن‌ها          |
| ۱۳۷ | ۱-۳-۴- اثرات بر کیفیت آب                                                    |
| ۱۳۸ | ۲-۳-۴- اثرات بر مشخصات ناحیه ساحلی                                          |
| ۱۳۹ | ۳-۳-۴- اثرات بر کیفیت هوا                                                   |
| ۱۴۰ | ۴-۳-۴- تولید صدا و ارتعاش                                                   |
| ۱۴۰ | ۵-۳-۴- اثرات بر اکولوژی دریا و ساحل                                         |
| ۱۴۱ | ۶-۳-۴- اثرات زیبایی شناختی                                                  |
| ۱۴۲ | ۷-۳-۴- اثرات بر مسائل اجتماعی- فرهنگی                                       |
| ۱۴۲ | ۸-۳-۴- اثرات بر مسائل اقتصادی- فنی                                          |
| ۱۴۳ | ۴-۴- برنامه‌های مدیریت محیط زیست و پایش                                     |
| ۱۴۵ | ۵-۴- استانداردهای محیط زیستی                                                |
| ۱۴۵ | ۱-۵-۴- استانداردهای کیفیت آب                                                |
| ۱۵۱ | ۲-۵-۴- استانداردهای کیفیت هوا                                               |
| ۱۵۳ | ۳-۵-۴- استانداردهای آلودگی صوتی                                             |
| ۱۵۴ | ۴-۵-۴- استانداردهای پارامتر بو                                              |
| ۱۵۶ | پیوست ۱- سایر روابط مورد نیاز در محاسبات طراحی                              |

|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| ۱۶۱ | پیوست ۲- گرافهای طراحی جت پمپها و نحوه استخراج آنها            |
| ۱۷۹ | پیوست ۳- الگوی مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی و روشهای آن    |
| ۱۸۵ | پیوست ۴- مشخصات سیستم گذردهی رسوب طراحی شده برای بندر امیرآباد |
| ۱۹۱ | منابع و مراجع                                                  |





## فهرست اشکال

| صفحه | عنوان                                                                                            |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۵    | شکل ۱-۱- شماتیک سیستم گذردهی رسوب                                                                |
| ۶    | شکل ۲-۱- بخش‌های سه گانه سیستم گذردهی رسوب                                                       |
| ۹    | شکل ۳-۱- شماتیک مجموعه جت پمپ و سیال ساز                                                         |
| ۹    | شکل ۴-۱- شمایی از نحوه عملکرد سیستم‌های سیال ساز و جت پمپ در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید     |
| ۱۰   | شکل ۵-۱- لوله‌های فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان بکار رفته در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید   |
| ۱۱   | شکل ۶-۱- تجهیزات آشغالگیر در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                                     |
| ۱۲   | شکل ۷-۱- نحوه تخلیه مخلوط آب و رسوب                                                              |
| ۱۷   | شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                                        |
| ۱۸   | شکل ۲-۲- ورودی رودخانه توئید و موقعیت قرارگیری پلتفرم شمع و عرشه سیستم گذردهی رسوب               |
| ۱۸   | شکل ۳-۲- فرسایش شدید در سواحل شهر گلدکست پس از احداث جتی در دهانه رودخانه                        |
| ۱۹   | شکل ۴-۲- موقعیت لوله‌های انتقال و نقاط تخلیه رسوبات سیستم گذردهی رسوب                            |
| ۲۰   | شکل ۵-۲- تغییرات خط ساحل در محدوده سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                               |
| ۲۲   | شکل ۶-۲- نمایی از داخل ساختمان پمپاژ سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                             |
| ۲۲   | شکل ۷-۲- نمایی از پمپ‌های اسلاری مورد استفاده در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                 |
| ۲۶   | شکل ۸-۲- موقعیت جغرافیایی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                                         |
| ۲۶   | شکل ۹-۲- ورودی رودخانه نرنگ و موقعیت سکو برداشت رسوبات سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ            |
| ۲۷   | شکل ۱۰-۲- شماتیکی از موقعیت جت پمپ‌ها در سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                          |
| ۲۷   | شکل ۱۱-۲- موقعیت قرارگیری اجزاء مختلف سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                             |
| ۲۸   | شکل ۱۲-۲- تغییرات خط ساحل و توپوگرافی حوضچه پس از راه اندازی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ      |
| ۳۰   | شکل ۱۳-۲- نمایی از تجهیزات برداشت رسوبات در سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                       |
| ۳۰   | شکل ۱۴-۲- نمایی از روی عرشه پلتفرم شمع و عرشه                                                    |
| ۳۲   | شکل ۱۵-۲- موقعیت جغرافیایی بندر ان جیکورا                                                        |
| ۳۳   | شکل ۱۶-۲- بندر ان جیکورا                                                                         |
| ۳۴   | شکل ۱۷-۲- پلتفرم شمع و عرشه سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا                                     |
| ۳۴   | شکل ۱۸-۲- نمایی از پهلوی پلتفرم شمع و عرشه سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا                      |
| ۳۴   | شکل ۱۹-۲- موقعیت قرارگیری اجزا مختلف سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا                            |
| ۳۵   | شکل ۲۰-۲- انسداد دهانه جت پمپ توسط قلوه سنگ‌ها و محافظ تعبیه شده برای ممانعت از ورود قلوه سنگ‌ها |
| ۳۶   | شکل ۲۱-۲- شماتیکی از موقعیت قرارگیری اجزا مختلف سیستم گذردهی رسوب بندر اوشن ساید                 |
| ۴۲   | شکل ۱-۳- نمایی از ساحل مکزیک نشان دهنده تجمع رسوب در بالادست، فرسایش پایین دست ساحل              |

|    |                                                                                              |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۳ | شکل ۲-۳- نمایش از بندر سانیا لاک، نشان دهنده نشست رسوب در بالا دست بندر و فرسایش پایین دست   |
| ۴۸ | شکل ۳-۳- اصول عملکرد جت پمپ                                                                  |
| ۴۹ | شکل ۴-۳- موقعیت پارامترهای جت پمپ                                                            |
| ۵۰ | شکل ۵-۳- نمای جانبی یک سیستم جت پمپ ساده                                                     |
| ۵۰ | شکل ۶-۳- پلان یک سیستم جت پمپ گذردهی ساده                                                    |
| ۵۰ | شکل ۷-۳- نمای جانبی یک جت پمپ                                                                |
| ۵۲ | شکل ۸-۳- حفاری گودال با جت پمپ مستقر بر روی بستر                                             |
| ۵۲ | شکل ۹-۳- حفاری گودال با استفاده از جت پمپ مدفون در زیر بستر                                  |
| ۵۶ | شکل ۱۰-۳- جت پمپ‌های ثابت در مود قطع انتقال رسوبات                                           |
| ۵۷ | شکل ۱۱-۳- نگهداری از حوضه‌های آبخیزی با جت پمپ‌های متحرک                                     |
| ۵۸ | شکل ۱۲-۳- کانال ناوبری مجهز به جتی                                                           |
| ۵۸ | شکل ۱۳-۳- موج شکن دور از ساحل و جتی‌ها                                                       |
| ۵۹ | شکل ۱۴-۳- موج شکن متصل به ساحل و جتی‌ها                                                      |
| ۵۹ | شکل ۱۵-۳- سیستم‌های متشکل از جتی و بند                                                       |
| ۶۱ | شکل ۱۶-۳- ابعاد پیشنهادی برای طراحی گودال‌ها                                                 |
| ۶۲ | شکل ۱۷-۳- ابعاد پیشنهادی برای موقعیت جت پمپ در مجاورت سازه                                   |
| ۶۲ | شکل ۱۸-۳- انواع حرکات جت پمپ متحرک                                                           |
| ۶۳ | شکل ۱۹-۳- جهت گیری جت پمپ متحرک                                                              |
| ۶۴ | شکل ۲۰-۳- تخمین اولیه فاصله پمپ‌های اسلاری به صورت تابعی از اندازه رسوبات                    |
| ۶۵ | شکل ۲۱-۳- نمونه قرار گیری سه پمپ اسلاری در امتداد لوله تخلیه برای پمپاژ ماسه                 |
| ۷۲ | شکل ۲۲-۳- نمونه سیستم جت پمپ چند گانه                                                        |
| ۷۳ | شکل ۲۳-۳- بک فلاشینگ در جت پمپ                                                               |
| ۷۴ | شکل ۲۴-۳- دو جت پمپ با یک خط لوله تخلیه مشترک                                                |
| ۷۴ | شکل ۲۵-۳- دو جت پمپ با خط لوله تخلیه مجزا                                                    |
| ۷۶ | شکل ۲۶-۳- طول‌های ممکن برای خط لوله تخلیه جت پمپ در مقابل EXC1 برای اندازه‌های مختلف لوله‌ها |
| ۷۹ | شکل ۲۷-۳- طرح کلی سیستم                                                                      |
| ۸۰ | شکل ۲۸-۳- پلان جزئیات طرح                                                                    |
| ۸۰ | شکل ۲۹-۳- نمای جانبی سیستم تامین آب جت پمپ                                                   |
| ۸۱ | شکل ۳۰-۳- نمای جانبی سیستم تخلیه جت پمپ                                                      |
| ۸۱ | شکل ۳۱-۳- نمای جانبی خطوط لوله تخلیه به صورت مدفون                                           |
| ۸۴ | شکل ۳۲-۳- سرعت نشست ذرات کوارتز                                                              |
| ۸۵ | شکل ۳۳-۳- FL بر حسب d50 برای رابطه Durand                                                    |

|     |                                                                                              |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۹۳  | شکل ۳-۳۴- دیاگرام مودی                                                                       |
| ۱۰۷ | شکل ۳-۳۵- نسبت کارایی پمپ در پمپاژ مخلوط آب و رسوب به کارایی در پمپاژ آب در مقابل اندازه ذره |
| ۱۱۰ | شکل ۳-۳۶- نمونه منحنی‌های خط لوله تخلیه جت پمپ برای لوله 6 in                                |
| ۱۱۲ | شکل ۳-۳۷- منحنی‌های نمونه لوله تخلیه جت پمپ برای لوله 6 in قرار گرفته بر گراف ۳              |
| ۱۱۳ | شکل ۳-۳۸- منحنی‌های نمونه برای جت پمپ با لوله تخلیه 8in                                      |
| ۱۱۶ | شکل ۳-۳۹- اتصال سه لوله                                                                      |
| ۱۱۶ | شکل ۳-۴۰- سیستم جت پمپ چند گانه                                                              |
| ۱۲۱ | شکل ۳-۴۱- مراحل عملکرد سیستم سیال-ساز                                                        |
| ۱۲۲ | شکل ۳-۴۲- سیستم سیال-ساز به همراه یک پمپ اسلاری ثابت                                         |
| ۱۲۵ | شکل ۳-۴۳- شماتیک لوله سیال-ساز                                                               |
| ۱۲۸ | شکل ۳-۴۴- پلات شرایط تامین کننده فاکتور نرخ جریان مورد نیاز برای دامنه با ابعاد مورد نظر     |
| ۱۳۶ | شکل ۴-۱- مراحل انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی                                        |



## فهرست جداول

| صفحه | عنوان                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۷    | جدول ۱-۱- نمونه سیستم‌های گذردهی رسوب ثابت و متحرک در استرالیا و امریکا                 |
| ۱۹   | جدول ۱-۲- مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب توئید در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ |
| ۲۳   | جدول ۲-۲- ظرفیت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                                         |
| ۲۳   | جدول ۳-۲- مشخصات جتی سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                                    |
| ۲۴   | جدول ۴-۲- مشخصات پمپ‌های سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                                |
| ۲۴   | جدول ۵-۲- مشخصات لوله‌های سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                               |
| ۲۵   | جدول ۶-۲- هیدرودینامیک امواج در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                    |
| ۲۵   | جدول ۷-۲- دمای آب در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                               |
| ۲۵   | جدول ۸-۲- مشخصات رسوبات در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید                         |
| ۲۷   | جدول ۹-۲- مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب نرنگ در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۶  |
| ۳۱   | جدول ۱۰-۲- حجم رسوبات انتقالی توسط سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                       |
| ۳۱   | جدول ۱۱-۲- مشخصات جتی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                                    |
| ۳۲   | جدول ۱۲-۲- مشخصات رسوبات در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                         |
| ۳۲   | جدول ۱۳-۲- مشخصات پمپ‌های سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ                                |
| ۳۳   | جدول ۱۴-۲- مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب ان جیکورا                    |
| ۳۷   | جدول ۱۵-۲- مشخصات سیستم‌های منتخب گذردهی رسوب                                           |
| ۳۸   | جدول ۱۶-۲- مشخصات محل اجرای سیستم‌های منتخب گذردهی رسوب                                 |
| ۷۱   | جدول ۱-۳- ظرفیت جت پمپ‌های مرکزی pekor                                                  |
| ۸۲   | جدول ۲-۳- نمونه طول معادل برای اتصالات لوله‌ها                                          |
| ۸۷   | جدول ۳-۳- مقادیر QSUC در جت پمپ‌های pekor                                               |
| ۸۹   | جدول ۴-۳- مقادیر متناظر نسبت جریان (M) و نسبت سطح (R)                                   |
| ۹۷   | جدول ۵-۳- مقادیر AMIX برای جت پمپ‌های pekor                                             |
| ۹۷   | جدول ۶-۳- مقادیر ضریب B بر حسب پارامتر نسبت سطح                                         |
| ۱۱۰  | جدول ۷-۳- مثال HDIS مورد نیاز                                                           |
| ۱۱۳  | جدول ۸-۳- نمونه نقاط عملکرد ممکن برای لوله تخلیه ۶ in                                   |
| ۱۱۴  | جدول ۹-۳- نمونه نقاط عملکرد ممکن برای لوله تخلیه ۸ in                                   |
| ۱۲۵  | جدول ۱۰-۳- محدوده زاویه شیب طبیعی ( $\phi$ ) رسوبات مختلف                               |
| ۱۴۶  | جدول ۱-۴- استانداردهای کیفیت آب برای آب‌های ساحلی                                       |
| ۱۴۷  | جدول ۲-۴- استانداردهای کیفیت آب برای آبسنگ‌های مرجانی                                   |

- ۱۴۸ جدول ۳-۴- استاندارد کیفیت آب برای حفاظت محیط زیست (اکوسیستم‌های آبی)
- ۱۴۹ جدول ۴-۴- غلظت روی کل (میلی گرم بر لیتر) برای مقادیر سختی کل بین ۱۰ تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر
- ۱۴۹ جدول ۵-۴- غلظت مس محلول (میلی گرم بر لیتر)
- ۱۵۰ جدول ۶-۴- استاندارد کیفیت آب برای کاربری تفریحی
- ۱۵۰ جدول ۷-۴- سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت آب در کشورهای هند، اندونزی، ژاپن، مالزی، فیلیپین و تایلند
- ۱۵۱ جدول ۸-۴- استانداردهای هوای پاک برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ مصوب ۱۳۸۸/۵/۱۱
- ۱۵۲ جدول ۹-۴- حداکثر تعداد مجاز تکرار شوندگی هر آلاینده در یک سال
- ۱۵۲ جدول ۱۰-۴- سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت هوا در چین، اندونزی، هنگ کنگ، ژاپن، مالزی، فیلیپین، کره
- ۱۵۳ جدول ۱۱-۴- حد مجاز آلودگی صوتی موضوع ماده ۲ آیین نامه اجرایی جلوگیری از آلودگی صوتی
- ۱۵۳ جدول ۱۲-۴- حدود مجاز آلودگی صوتی در خودروهای تولید داخل
- ۱۵۴ جدول ۱۳-۴- سطوح مجاز شاخص‌های صدا در کشورهای اندونزی، ژاپن، فیلیپین، کره و سریلانکا
- ۱۵۴ جدول ۱۴-۴- سطح مجاز شاخص‌های پارامتر بو

## مقدمه

در چند دهه اخیر توسعه‌های گسترده‌ای در سواحل جنوب و شمال کشور در جهت بهره برداری‌های بنادر و دریانوردی، شهری، معدن، صنعت، کشاورزی، گردشگری و دفاعی انجام پذیرفته است. بسیاری از این بهره برداری‌ها همراه با ساخت سازه‌های ساحلی از قبیل موج شکن‌ها و جتی‌ها بوده است. اندر کنش این نوع سازه‌ها با ساحل موجب اختلال در روند طبیعی انتقال رسوب در این مناطق شده است. این مسئله از یک طرف منجر به ایجاد مشکلات محیط زیستی از قبیل انباشت رسوبات در بالادست و فرسایش ساحل در پایین دست سازه گشته و از طرف دیگر موجب ایجاد مشکلات بهره‌برداری از قبیل انباشت و ایجاد پشته رسوبی در دهانه بنادر، اینلت‌ها و کانال‌های ورودی بنادر و همچنین ایجاد آسیب به سازه‌ها در مناطق فرسایش یافته شده است.

یکی از روش‌های مطرح در زمینه کنترل و کاهش اثرات مضر ناشی از اندرکنش سازه‌های ساحلی و دینامیک رسوب، روش گذردهی رسوب می‌باشد. سیستم گذردهی رسوب می‌تواند یک راهکار موثر برای رفع مشکلات رسوب گذاری در دهانه بنادر و فرسایش در پایین دست آن‌ها باشد.

در فصل اول این راهنما سیستم‌های گذردهی رسوب و عملکرد آن‌ها معرفی شده اند، اطلاعات و مشخصات مربوط به نمونه‌های جهانی موفق این سیستم‌ها در فصل دوم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ترجمه دو راهنمای طراحی سیستم‌های گذردهی رسوب و سیال ساز با عناوین

- A Guide To The Planning And Hydraulic Design Of Jet Pump Remedial Sand Bypassing Systems

- Fluidizer System Design for channel Maintenance and Sand bypassing

در فصل سوم این راهنما ارائه شده‌اند. مبانی و اصول ارزیابی آثار محیط زیستی این سیستم‌ها در فازهای ساخت و بهره برداری در فصل چهارم مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند.





# فصل ۱

---

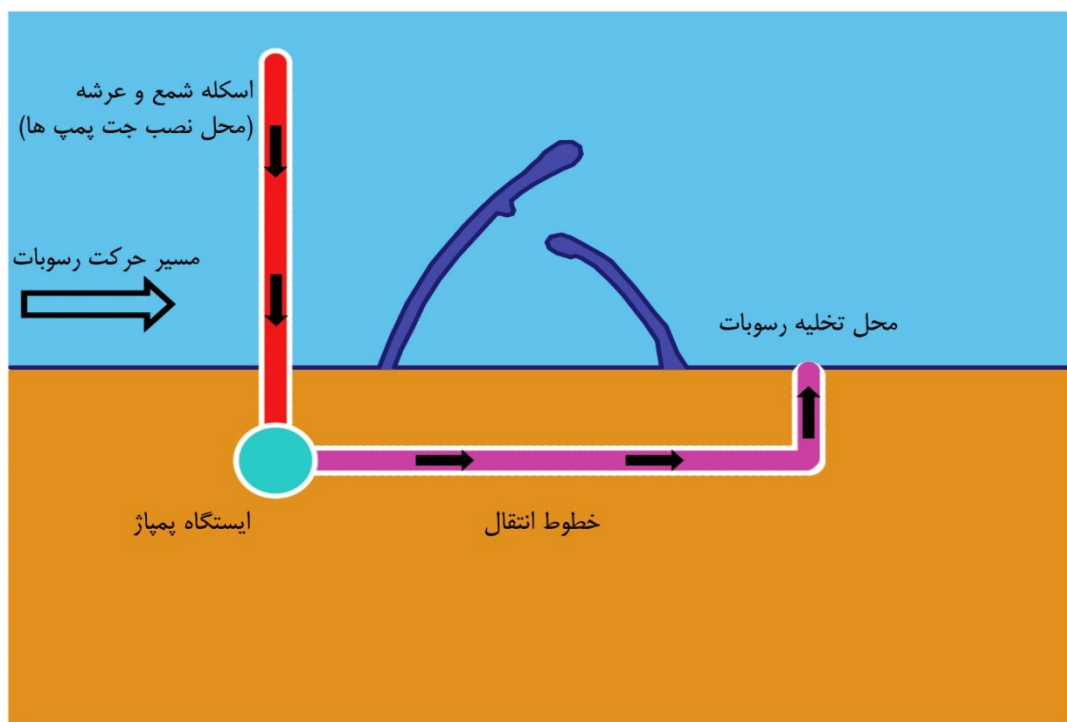
---

## معرفی سیستم‌های گذردهی رسوب



## ۱-۱- مقدمه

ساخت سازه‌های ساحلی موجب اخلاخل در روند طبیعی انتقال رسوبات ساحلی می‌شود. انباشت رسوبات در بالادست، فرسایش پایین دست و ایجاد پشته رسوبی در دهانه موج شکن‌ها و یا ورودی کانال‌ها از جمله مشکلات ناشی شده از اخلاخل در روند طبیعی انتقال رسوبات می‌باشند. استفاده از روش‌های سخت از جمله ساخت گروین‌ها و یا لایروبی‌های دوره‌ای با مشکلات جنبی اساسی اجرایی، اقتصادی و یا محیط زیستی همراه می‌باشد. روش گذردهی رسوب یکی از روش‌های مفید برای مقابله و کاهش اثرات مضر ناشی از ساخت سازه‌های ساحلی می‌باشد. در این روش رسوباتی که در بالادست سازه تجمع می‌یابند، به پایین دست سازه منتقل می‌شوند و بدین صورت روند حرکت رسوبات به پایین دست ادامه می‌یابد و از انباشت رسوبات در بالادست و دهانه موج شکن و کانال ناوبری و فرسایش در پایین دست جلوگیری می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- شماتیک سیستم گذردهی رسوب

## ۲-۱- تعریف گذردهی رسوب

روش گذردهی رسوب یک گزینه موثر برای کنترل پشته‌های رسوبی در دهانه بنادر و مشکلات ناشی از تغییرات مورفولوژی سواحل ناشی از ساخت سازه‌های ساحلی است که به عنوان "جابجایی مصنوعی رسوبات از عرض سازه‌های ساحلی و با هدف جلوگیری از افزایش توده رسوبات در بالادست، کنترل فرسایش در پایین دست و حفظ کانال‌های

ناوبری" تعریف می‌گردد. تمامی سیستم‌های گذردهی رسوب بر اساس سه اصل (۱) برداشت، (۲) انتقال و (۳) تخلیه رسوبات عمل می‌کنند [۱] (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- بخش‌های سه گانه سیستم گذردهی رسوب

### ۳-۱- مزایای سیستم گذردهی رسوب

سازه‌های ساحلی مانند جتی‌ها و موج شکن‌ها موجب اختلال در روند معمول انتقال رسوب ساحلی می‌شوند و می‌توانند موجب بروز مشکلات زیر شوند :

- فرسایش در سواحل پایین دست سازه و آسیب به بهره برداری از این سواحل
- انباشت رسوب و تغییرات خط ساحلی در بالا دست سازه
- انباشت رسوب و تشکیل پشته‌های رسوبی در دهانه بنادر و اینلت‌ها و ایجاد اختلال در کشتیرانی و بهره‌برداری مناسب از بنادر

برای رفع هر یک از مشکلات فوق گزینه‌های لایروبی، تغذیه مصنوعی ساحل و استفاده از سازه‌هایی از قبیل گروین‌ها و دیوارهای ساحلی مورد استفاده گسترده قرار گرفته‌اند. روش گذردهی رسوب می‌تواند به تنهایی تمامی مشکلات فوق الذکر را برطرف نماید. بنابراین این روش دارای مزایای زیر می‌باشد:

- حفاظت پیوسته از سواحل پایین دست در مقابل فرسایش
- پایداری ورودی‌ها و عدم نیاز به لایروبی‌های مکرر

• ثبات مورفولوژی سواحل بالادست

مجموعه مزایای فوق و همچنین کارکرد مناسب پروژه های گذردهی رسوب اجرا شده در کشورهای مختلف باعث شده است که این روش مورد توجه جهانی قرار گرفته و تعداد این نوع طرح در کشورهای مختلف در حال افزایش باشد.

#### ۱-۴- انواع سیستم های گذردهی رسوب

سیستم های گذردهی رسوب به دو گروه سیستم های متحرک (آبی و خشک) و سیستم های ثابت تقسیم می شوند. سیستم های متحرک شامل دستگاه هایی هستند که قادر به حرکت و تغییر مکان برای دسترسی به مناطق مختلف برای گذردهی رسوب هستند. اگر دستگاه های لایروبی شناور برای جمع آوری رسوبات استفاده شوند، سیستم از نوع متحرک-آبی به حساب می آید. چنانچه جت پمپ ها بر روی تریلرها مستقر باشند، سیستم متحرک و خشک نام می گیرد. سیستم های ثابت به سیستم هایی گفته می شود که تجهیزات در یک نقطه مشخص قرار گرفته و به صورت متمرکز عملیات گذردهی رسوب را انجام می دهند. سیستم های گذردهی رسوب ثابت و متحرک به منظور رفع مشکلات موجود در نواحی ساحلی در نقاط مختلف آمریکا و استرالیا به کار گرفته شده اند که نمونه هایی از آن ها در (جدول ۱-۱) ذکر شده اند [۱].

جدول ۱-۱- نمونه سیستم های گذردهی رسوب ثابت و متحرک در استرالیا و آمریکا

| نام سیستم              | محل سیستم | زمان آغاز به کار | تعداد سال های فعالیت | نوع سیستم  | حجم گذردهی (متر مکعب در سال) |
|------------------------|-----------|------------------|----------------------|------------|------------------------------|
| ۱ ورودی رودخانه نرنگ   | استرالیا  | ۱۹۸۶             | ۱۸                   | ثابت       | ۵۰۰۰۰۰                       |
| ۲ ورودی رودخانه توفید  | استرالیا  | ۲۰۰۱             | ۳                    | ثابت       | ۵۰۰۰۰۰                       |
| ۳ دریاچه ورت جنوبی     | آمریکا    | ۱۹۳۷             | ۶۷                   | ثابت       | ۵۳۵۰۰                        |
| ۴ بندر اوشن ساید       | آمریکا    | ۱۹۸۹-۱۹۹۶        | ۷                    | ثابت       | ۱۴۰۰۰                        |
| ۵ ورودی رودخانه ایندین | آمریکا    | ۱۹۹۰             | ۱۴                   | متحرک      | ۹۱۰۰۰                        |
| ۶ دریاچه ورت           | آمریکا    | ۱۹۵۸             | ۴۶                   | ثابت       | ۶۱۰۰۰                        |
| ۷ ورودی سواحل کارولینا | آمریکا    | ۱۹۶۵             | ۳۹                   | متحرک      | ۱۲۲۰۰۰                       |
| ۸ ورودی ایست           | آمریکا    | ۱۹۳۰             | ۷۴                   | متحرک      | -                            |
| ۹ ورودی هیلزبورو       | آمریکا    | ۱۹۵۲             | ۵۲                   | متحرک      | ۵۰۰۰۰                        |
| ۱۰ ورودی ژوپیتر        | آمریکا    | ۱۹۲۹             | ۷۵                   | متحرک      | ۶۰۰۰۰۰                       |
| ۱۱ ورودی رودخانه لیتل  | آمریکا    | ۱۹۸۳             | ۲۱                   | متحرک      | -                            |
| ۱۲ ورودی ماسونبورو     | آمریکا    | ۱۹۵۹             | ۴۵                   | متحرک      | ۲۱۵۰۰۰                       |
| ۱۳ ورودی پونس لئون     | آمریکا    | ۱۹۶۹             | ۳۵                   | متحرک      | ۵۳۵۰۰۰                       |
| ۱۴ سانتا باربارا       | آمریکا    | ۱۹۲۷             | ۷۷                   | متحرک      | ۲۵۰۰۰۰                       |
| ۱۵ ورودی رودی          | آمریکا    | ۱۹۷۲             | ۳۲                   | نیمه متحرک | ۳۰۰۰۰۰                       |
| ۱۶ سانتا کروز          | آمریکا    | ۱۹۶۲             | ۴۲                   | متحرک      | ۷۰۰۰۰                        |
| ۱۷ وئتورا مارینا       | آمریکا    | ۱۹۷۲             | ۳۲                   | متحرک      | ۶۰۰۰۰۰                       |

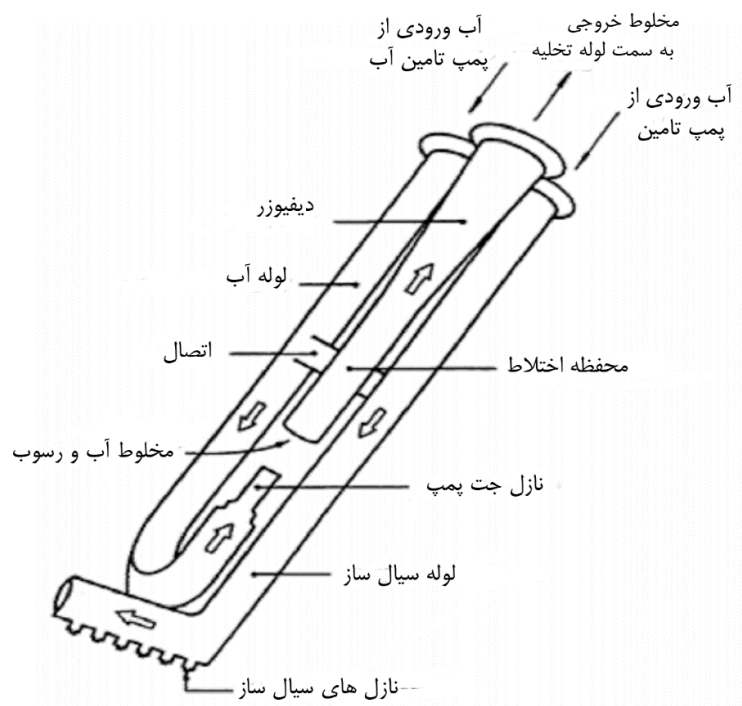
|    |                   |        |           |    |       |        |
|----|-------------------|--------|-----------|----|-------|--------|
| ۱۸ | بندر سانایاک      | آمریکا | ۱۹۵۸      | ۴۶ | ثابت  | -      |
| ۱۹ | ورودی سواحل مکزیک | آمریکا | ۱۹۷۸-۱۹۷۱ | ۷  | متحرک | ۳۰۰۰۰  |
| ۲۰ | ورودی سباستین     | آمریکا | ۱۹۶۲      | ۴۲ | متحرک | ۱۹۰۰۰۰ |

## ۱-۵- اجزاء سیستم‌های گذردهی رسوب

چنانچه در بخش پیشین ذکر شد، سیستم‌های گذردهی رسوب به طور کلی به دو نوع متحرک و ثابت قابل تقسیم می‌باشند. در این راهنما سیستم‌های گذردهی رسوب ثابت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در ادامه به سه بخش عمده سیستم‌های گذردهی رسوب ثابت شامل بخش‌های برداشت، انتقال و تخلیه رسوبات پرداخته خواهد شد (شکل ۱-۲). لازم به ذکر است که در ادامه سیستم‌های گذردهی رسوب ثابت به اختصار سیستم گذردهی رسوب نامیده می‌شوند.

### ۱-۵-۱- بخش برداشت

برداشت رسوبات نخستین فاز عملکرد هر سیستم گذردهی رسوب می‌باشد. به منظور فراهم کردن امکان برداشت رسوبات و انتقال آن‌ها، ضروری است تا رسوبات هنگام انتقال در امتداد ساحل و قبل از رسیدن به سازه‌های ساحلی به دام بیفتند. پس از تجمع رسوبات، عمل برداشت و جمع‌آوری رسوبات با استفاده از تعدادی جت‌پمپ صورت می‌گیرد. جت‌پمپ‌ها معمولاً بر روی یک پلتفرم شمع و عرشه نصب و مستقر می‌شوند و به قسمت‌های متحرک برای جمع‌آوری رسوبات از بستر نیازی ندارند و این نوع سیستم‌ها برای رسوبات ماسه‌ای غیر چسبنده مناسب هستند. به منظور شکل‌گیری تله رسوبی در محدوده جت‌پمپ‌ها، همواره یک سیستم سیال ساز در کنار جت‌پمپ‌ها فعالیت می‌کند. برداشت رسوبات بدین ترتیب است که آب با فشار زیاد از طریق یک پمپ پرفشار به سمت جت‌پمپ‌ها و سیستم سیال ساز که در بستر دریا قرار دارند پمپ می‌شود. عملکرد سیستم سیال ساز بدین صورت است که زمانی که آب به یک محیط رسوبی (به ویژه محیط ماسه‌ای) تزریق می‌گردد، سبب می‌شود که دانه‌های رسوب دچار لیفتینگ شده و از هم جدا شوند. بنابراین مخلوط ماسه و آب رفتاری مشابه مایعات خواهد داشت. در این سیستم‌ها آب به داخل لوله‌های سوراخ‌داری که زیر رسوب مدفون هستند پمپ می‌شود. تعداد و نحوه تراکم سوراخ‌های قرار گرفته بر بدنه این لوله‌ها به گونه‌ای است که با خروج آب از آن‌ها، رسوبات بستر مجاور آن‌ها معلق می‌شوند. این نوع سیستم برای ذرات تا قطر متوسط ۵/۰ میلی‌متر مناسب هستند. زمانی که رسوبات بستر به حالت سیال در آمده‌اند، عملکرد جت‌پمپ‌ها موجب شکل‌گیری مکش در محیط و برداشت مخلوط آب و رسوبات می‌شود (شکل ۱-۳). بدین ترتیب عملکرد همزمان جت‌پمپ‌ها و سیال ساز علاوه بر ایجاد گودال‌هایی مخروطی شکل در اطراف منطقه پمپاژ که همانند تله رسوبی عمل می‌کنند، موجب برداشت رسوبات به دام افتاده می‌شود [۱-۳]. (شکل ۱-۴) نحوه عملکرد این نوع سیستم‌ها در پروژه گذردهی رسوب رودخانه توتید را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- شماتیک مجموعه جت پمپ و سیال ساز [۴]



شکل ۱-۴- شمایی از نحوه عملکرد همزمان سیستم های سیال ساز و جت پمپ در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱]



### ۱-۵-۲- بخش انتقال

بطور کلی خطوط انتقال سیستم‌های گذردهی رسوب به دو گروه لوله‌های حامل آب و لوله‌های حامل مخلوط آب و رسوب تقسیم می‌شوند و لازم است جنس لوله‌های مورد استفاده بر اساس این تقسیم بندی تعیین گردد. می‌توان از لوله‌های فولادی و یا لوله‌های پلی اتیلن معمولی برای انتقال آب استفاده کرد، اما برای انتقال مخلوط آب و رسوب لازم است از لوله‌های پلی اتیلن ضد سایش و یا لوله‌های فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان استفاده شود. در صورتی که لوله‌های مقاوم در برابر سایش مورد استفاده قرار نگیرند، لوله مصرفی در زمان کوتاهی ضخامت خود را از دست می‌دهد. لازم به ذکر است که انتخاب جنس لوله مصرفی در یک پروژه خاص تابع فاکتورهای متعددی همچون در دسترس بودن لوله‌ها می‌باشد. همچنین در یک پروژه ممکن است تمامی لوله‌ها از یک جنس و یا به صورت ترکیبی از مواد مختلف ساخته شوند [۱].

تاکنون در سیستم‌های مطرح گذردهی رسوب همچون پروژه‌های رودخانه توفید و نرنگ از لوله‌های فولادی معمولی و لوله‌های فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان استفاده شده است [۶ و ۵] (شکل ۱-۵)، اما با توجه به پیشرفت‌های حاصل شده در سالیان اخیر استفاده از لوله‌های پلی اتیلن سنگین ضد سایش در خطوط انتقال مخلوط آب و رسوب توصیه می‌گردد. این لوله‌ها سبک و انعطاف پذیر هستند. قطعات پلی اتیلن سنگین با استفاده از دستگاه‌های حرارتی قابل حمل گرم شده و در انتهای لوله‌ها فشرده می‌شوند و مفاصلی محکم به وجود می‌آورند. با توجه به سرعت و غلظت مخلوط عبوری، به طور میانگین لوله‌هایی از جنس پلی اتیلن سنگین، ۳-۵ برابر در برابر سایش مقاوم‌تر از لوله‌های فولادی هستند. انعطاف پذیری این لوله‌ها این اجازه را می‌دهد تا به شعاعی معادل ۲۵ برابر قطر لوله خم شوند. هم چنین این انعطاف پذیری موجب می‌شود که نیاز کمتری به اتصالات گران قیمت وجود داشته باشد. این مسئله به نوبه خود باعث افزایش بهره‌وری هیدرولیکی نیز می‌شود.



شکل ۱-۵- لوله‌های فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان بکار رفته در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توفید



پلی اتیلن بر خلاف فولاد دچار ظاهر زنگ زده و یا ساییدگی نمی شود. از این رو از منظر زیبایی شناسی در بسیاری از سایت ها قابل قبول است. با این حال لوله های پلی اتیلن فاقد سختی ساختاری برای مقاومت در برابر بارهای خارجی، خم شدن و گشتاور هستند. بنابراین نباید به عنوان خطوط مکش در یک سیستم گذردهی رسوب به کار روند، زیرا ممکن است در معرض چرخش و جابه جایی دچار خمیدگی شوند. این مسئله که پلی اتیلن سنگین سبک تر از آب است باعث می شود نصب و کنترل آن راحت تر باشد. با این وجود زمانی که زیر آب نصب می شوند نیازمند یک لنگرگاه و اتصال مناسب خواهند بود تا به سمت بالا شناور نشوند. علیرغم فوایدی که برای استفاده از لوله های پلی اتیلن سنگین می توان نام برد، نیاز به تمهیدات ویژه ای است تا بتوان به بهترین شکل آن ها را به کار برد.

لوله های مورد استفاده ممکن است به حالت های شناور، مدفون و یا بر روی خشکی نصب و مستقر گردند. نکته حائز اهمیت آن است که عمق قرار گیری لوله هایی که از دریا می گذرند، در عمقی پایین تر از عمق آبخور کشتی ها باشد. بسیاری از پروژه های گذردهی رسوب از خطوط لوله مدفون برای انتقال رسوبات و تخلیه آن ها به پایین دست ساحل استفاده می کنند. این خطوط لوله تداخلی با تجهیزات ناوبری ندارند و هیچ تاثیری بر چشم انداز منطقه نخواهند گذاشت. لازم به ذکر است که یک مشکل مطرح در مورد جای گذاری لوله ها، سیال سازی بستر اطراف لوله ها می باشد که با عمق پوشش مناسب این مسئله قابل جلوگیری است.

در صورتی که مسافت انتقال مخلوط آب و رسوب طولانی باشد، می توان از یک یا چند پمپ تقویتی برای تامین انرژی لازم در طول مسیر انتقال استفاده کرد. بطور مثال در سیستم گذردهی رسوب بندر انجیکورا آفریقای جنوبی از ۳ پمپ تقویتی استفاده شده است. هم چنین لازم است در ابتدای خطوط انتقال از یک سیستم آشغال گیر بمنظور حصول اطمینان از عدم گرفتگی خطوط لوله استفاده کرد (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱- تجهیزات آشغالگیر در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید

### ۱-۵-۳- بخش تخلیه

انتخاب نقطه تخلیه مناسب در پایین دست سازه‌های ساحلی یکی از مهم‌ترین نکات برای دست یابی به یک سیستم موفق گذردهی رسوب به حساب می‌آید. پس از مرحله انتقال مخلوط آب و رسوب، در مناطقی که دچار فرسایش شده‌اند بسته به نیاز در یک یا چند نقطه تخلیه رسوبات انجام می‌شود. ملاحظات درباره محل تخلیه رسوبات منتقل شده تابع مکانیزم انتقال رسوب و مورفودینامیک منطقه می‌باشد. بطور مثال اگر رسوبات در سرف زون تخلیه شوند، جریانات و امواج منطقه آن‌ها را در امتداد ساحل پایین دست توزیع می‌کنند (شکل ۷-۱). ضروری است که محل تخلیه رسوبات در فاصله کافی از محل برداشت قرار داشته باشد تا رسوبات مجدداً به محل اولیه باز نگردند [۸ و ۷].



شکل ۷-۱- نحوه تخلیه مخلوط آب و رسوب

به طور کلی و بر اساس تجربیات جهانی موفق در این زمینه، تجهیزات مورد نیاز سیستم‌های گذردهی رسوب عبارتند از [۹-۱۱]:

- پمپ کم فشار: تامین آب عاری از رسوب برای کل سیستم
- پمپ پر فشار: تامین انرژی مورد نیاز جت‌پمپ‌ها و سیال سازها
- سیال ساز: سیال سازی رسوبات بستر و در دسترس قرار دادن آن‌ها برای جت‌پمپ‌ها
- جت‌پمپ: مکش رسوبات بستر
- پمپ اسلاری: پمپاژ مخلوط آب و رسوب به سواحل فرسایش یافته
- پمپ تقویتی: تامین انرژی لازم برای انتقال جریان خروجی پمپ اسلاری به محل تخلیه رسوبات

- ساختمان کنترل: کنترل عملکرد سیستم
- ساختمان پمپاژ: محل استقرار پمپها
- سیستم تامین انرژی (متصل به برق شبکه یا مولد برق خورشیدی)
- پلتفرم استقرار تجهیزات جت پمپها و سیال سازها
- آشنال گیر برای جلوگیری از ورود اجسام و مواد زائد به پمپ اسلاری و خط انتقال
- حوضچه تخلیه رسوب قبل از پمپ اسلاری
- لوله های انتقال آب و لوله های انتقال اسلاری



## فصل ۲

---

---

# آشنایی با سیستم‌های گذردهی رسوب



## ۲-۱- مقدمه

آشنایی با تجربیات جهانی در زمینه ساخت و بهره برداری از سیستم‌های گذردهی رسوب اثرات مفیدی در شناسایی پارامترهای اساسی در عملکرد مطلوب این سیستم‌ها و بهینه نمودن طراحی سیستم‌های جدید دارد. به همین منظور در این فصل سیستم‌های گذردهی رسوب مطرح رودخانه‌های توئید و نرنگ واقع در سواحل شرقی کشور استرالیا، سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا در آفریقای جنوبی و سیستم گذردهی رسوب بندر اوشن ساید در آمریکا از ابعاد مختلف و همراه با جزییات لازم معرفی و مشخصات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۲- سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید

سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید، واقع در سواحل کوئینزلند استرالیا، از بزرگ‌ترین و موفق‌ترین نمونه‌های جهانی سیستم‌های گذردهی رسوب به شمار می‌رود که در سال ۲۰۰۱ شروع به کار نموده است (شکل ۲-۱ و شکل ۲-۲). پیش از به کارگیری سیستم گذردهی رسوب، احداث جتی بر روی دهانه رودخانه توئید موجب فرسایش شدید در سواحل پایین دست و رسوب گذاری در بالادست و داخل دهانه رودخانه شده بود (شکل ۲-۳). به منظور بهبود شرایط ناوبری در دهانه رودخانه توئید و کاهش میزان فرسایش در سواحل تفریحی شهر گلد کوست این سیستم احداث گردید [۶۹].



شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۲]





شکل ۲-۲- ورودی رودخانه توئید و موقعیت قرارگیری پلتفرم شمع و عرشه سیستم گذردهی رسوب [۱]



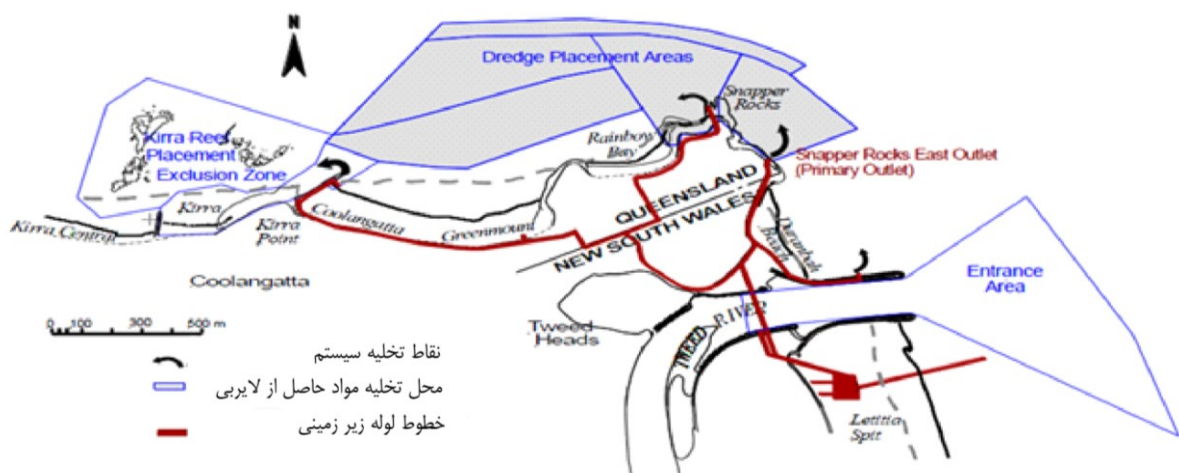
شکل ۳-۲- فرسایش شدید در سواحل شهر گلدکست پس از احداث جتی در دهانه رودخانه توئید

سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید بصورت میانگین  $۵۰۰$  هزار مترمکعب رسوب در سال منتقل می‌نماید اما بیشینه حجم منتقل شده توسط سیستم  $۷۸۰$  هزار مترمکعب در سال بوده است. میزان رسوبات گذردهی شده توسط این سیستم از سال  $۲۰۰۱$  تا  $۲۰۱۸$  در (جدول ۱-۲) نشان داده شده است. پس از برداشت رسوبات توسط جت‌پمپ‌ها، مخلوط آب و رسوب توسط لوله‌های فولادی با پوشش پلی اورتان منتقل و در  $۴$  نقطه در پایین دست سیستم تخلیه می‌شوند (شکل ۴-۲).



جدول ۱-۲- مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ [۱۳]

| سال                              | ۲۰۰۱   | ۲۰۰۲   | ۲۰۰۳   | ۲۰۰۴   | ۲۰۰۵   | ۲۰۰۶   | ۲۰۰۷   | ۲۰۰۸   | ۲۰۰۹   |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| میزان رسوب گذردهی شده (متر مکعب) | ۵۷۵۸۶۹ | ۷۲۱۳۶۴ | ۷۸۷۰۲۶ | ۴۹۶۳۶۷ | ۷۲۴۹۳۱ | ۵۵۲۲۸۴ | ۵۶۲۲۴۷ | ۵۸۵۸۰۹ | ۴۰۹۲۳۲ |
| سال                              | ۲۰۱۰   | ۲۰۱۱   | ۲۰۱۲   | ۲۰۱۳   | ۲۰۱۴   | ۲۰۱۵   | ۲۰۱۶   | ۲۰۱۷   | ۲۰۱۸   |
| میزان رسوب گذردهی شده (متر مکعب) | ۳۹۵۶۰۹ | ۵۱۸۱۶۹ | ۴۳۶۰۹۲ | ۳۱۹۸۸۳ | ۴۶۵۵۰۱ | ۵۵۲۶۸۲ | ۴۶۱۵۶۴ | ۴۰۵۵۲۴ | ۳۶۱۲۴۷ |



شکل ۲-۴- موقعیت لوله‌های انتقال و نقاط تخلیه رسوبات سیستم گذردهی رسوب [۲]

سیستم دارای شبکه مانیتورینگ مجهز به دوربین‌های نصب شده در بخش‌های مختلف جمع‌آوری، انتقال و تخلیه رسوبات می‌باشد. همچنین علی‌رغم این‌که آثار منفی برای پروژه به نظر نمی‌رسد، یک برنامه پایش جامع در نظر گرفته شده است که شامل موارد مختلفی از جمله پایش روند تغییرات خط ساحلی، مشخصات امواج، جزر و مد و گیاهان و جانوران محلی می‌باشد. همانطور که در (شکل ۲-۵) مشاهده می‌شود، عملکرد سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید در طول سالیان اخیر موفق بوده است و موجب احیا کامل سواحل فرسایشی شهر گلدکوست شده است.



شکل ۲-۵- تغییرات خط ساحل در محدوده سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید

طراحی سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید بر اساس سه معیار زیر صورت گرفته است:

۱. دستیابی به سیستم گذردهی رسوب با کارایی و بازده مناسب
۲. حداقل نمودن هزینه‌های اجرا و بهره برداری از طرح
۳. حداقل نمودن نیاز به تعمیرات و نگهداری از سیستم

سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید دارای طراحی موفقی بوده و تا کنون با مشکل خاصی مواجه نبوده است. سیستم به کار رفته برای جمع آوری رسوبات، کلید عملکرد موفق این سیستم بوده است. سیستم شامل یک جتی با طول ۴۵۰ متر می‌باشد که در جهت عمود بر ساحل (در فاصله ۲۵۰ متری از هد موج شکن جنوبی) ساخته شده است. در اثر عملکرد ۱۰ جت پمپ مستغرق مستقر بر جتی، یک تله رسوبی در زیر جتی ایجاد شده است. به واسطه فعالیت جت پمپ‌ها این تله رسوبی به صورت دائم حفظ و نگهداری شده و امکان به دام افتادن رسوباتی که در امتداد ساحل انتقال می‌یابند را فراهم می‌آورد. سیستم به گونه ای طراحی شده است که تا چهار جت پمپ قادر به کار کردن به صورت هم زمان می‌باشند. جت پمپ‌ها با استفاده از آبی که توسط پمپ کم فشار از رودخانه توئید برداشت شده و به پمپ پر فشار پمپاژ می‌شود، کار می‌کنند. به کارگیری آب تمیز و عاری از رسوب در این مرحله به کاهش سایش تجهیزات پمپاژ سیستم کمک خواهد کرد. استفاده از صفحات محافظ در بخش مکش پمپ کم فشار مانع از ورود رسوبات و زباله‌های احتمالی به داخل پمپ می‌شود. آب برداشت شده توسط پمپ کم فشار از طریق لوله پلی اتیلنی مستقر در زیر زمین به پمپ تامین پر فشار (واقع در ساختمان کنترل) که آب پر فشار مورد نیاز جت پمپ‌ها را تامین می‌نماید، پمپاژ می‌شود.

سیستم کنترل به صورت اتوماتیک و چرخشی، ترکیبی از جت‌پمپ‌ها را برای نگهداری از تله رسوبی و بهینه نمودن نرخ انتقال رسوب سیستم، در مجموعه به کار می‌گیرد.

مخلوط آب و رسوب برداشت شده توسط جت‌پمپ‌ها در یک فلوم شیب‌دار تخلیه شده و از این طریق به صورت گرانشی به گودالی واقع در ساحل تخلیه می‌گردد. غلظت مخلوط خروجی از هر جت‌پمپ به صورت مرتب کنترل می‌گردد تا زمانی که میزان رسوبات موجود در مخلوط از حدی کمتر شد، جت‌پمپ مورد نظر از مدار خارج شده و جت‌پمپ دیگری شروع به کار نماید. از سویی دیگر در گودال موجود در ساحل نیز غلظت مخلوط آب و رسوب تخلیه شده از فلوم برگشتی کنترل شده و غلظت مخلوط تا حد مطلوب تنظیم می‌گردد (با در نظر گرفتن نقطه تخلیه انتخابی). در این بخش صفحات آشغالگیری نیز تعبیه شده است که اجسام درشتی نظیر سنگ‌ها، پوسته‌ها و زباله‌هایی که توسط جت‌پمپ‌ها برداشت شده‌اند را از مخلوط آب و رسوب جدا نماید و مانع از ورود آن‌ها به پمپ اسلاری گردد. مواد جمع آوری شده توسط آشغالگیر در مخزن جداگانه‌ای جمع آوری می‌شوند.

سپس سیستم انتقال رسوب شامل پمپ اسلاری، مخلوط آب و رسوب را از گودال برداشت نموده و آن را از طریق لوله انتقال فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان که به صورت مدفون در ورودی رودخانه قرار گرفته است، تا ۴ نقطه تخلیه مورد نظر منتقل می‌نماید (شکل ۲-۶ و شکل ۲-۷). لازم به ذکر است به دلیل محافظت از لوله‌ها در برابر امواج و جریانات، عدم تداخل با فعالیت‌های بندر و جلوگیری از بروز سوانح برای شناورهای منطقه، لوله‌های انتقال به صورت مدفون کار گذاری شده‌اند. سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که در هر زمان تنها در یک نقطه عمل تخلیه را انجام دهد. نقطه تخلیه مورد نظر با باز و بسته کردن شیر های کنترل که در محل اتصال شاخه‌های لوله‌های انتقال اسلاری قرار گرفته‌اند، تعیین می‌شود. مخلوط آب و رسوب با توجه به این که کدام یک از نقاط تخلیه انتخاب شوند، توسط یکی از دو پمپ اسلاری یا هر دو پمپ اسلاری (به صورت سری) پمپاژ می‌شود. برای خروجی‌های نزدیک‌تر، هر کدام از پمپ‌ها به تنهایی قابل استفاده هستند. برای نقاط تخلیه دورتر از هر دو پمپ اسلاری استفاده می‌شود. یک منبع تامین برق با فرکانس متغیر برای سیستم در نظر گرفته شده است که معمولاً به موتور پمپ اول متصل می‌شود. سرعت متغیر برای تغییر فشار تخلیه به منظور کنترل سرعت جریان در لوله‌ها (نگهداری سرعت در محدوده ایمن) و کنترل حداکثر چگالی مخلوط آب و رسوب در لوله‌ها (جلوگیری از انسداد لوله‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳ و ۱۱ و ۱۰].



شکل ۲-۶- نمایی از داخل ساختمان پمپاژ سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید



شکل ۲-۷- نمایی از پمپ‌های اسلاری مورد استفاده در سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید

با استفاده از جت‌پمپ‌ها برای برداشت و انتقال رسوبات از تله رسوبی، دیگر نیازی به دستگاه‌ها و تجهیزات عمده‌ای بر روی جتی نخواهد بود. در نتیجه ریسک آسیب زیست محیطی کاهش می‌یابد. بنابراین نقش جتی ساخته شده برای جمع‌آوری رسوبات را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- ایجاد دسترسی به محدوده تله رسوبی
- ایجاد پلتفرم مناسب برای نصب تجهیزات مربوط به جت‌پمپ‌ها و لوله‌ها
- کاهش آسیب به تجهیزات به واسطه قرار گیری در محیط حفاظت شده بر روی پلتفرم

- ایجاد موقعیت برای نگهداری و تعمیرات جت پمپ‌ها (نکته حائز اهمیت آن است که پلتفرم سیستم توان تحمل وزن جرثقیل را در زمان نیاز به تعمیر و گرفتگی تجهیزات داشته باشد).
- تمام تجهیزات اصلی سیستم به جز پمپ کم فشار تامین آب، در ساختمان کنترل سیستم که محیطی حفاظت شده می‌باشد، نگهداری می‌شوند. هم‌چنین تمامی تجهیزات الکتریکی، وسایل مربوط به تعمیرات سیستم، اتاق فرمان سیستم و محل استقرار پرسنل در این ساختمان قرار گرفته‌اند. عملکرد تمامی اجزای سیستم به صورت کامپیوتری از این محل کنترل می‌شود. هم‌چنین سیستم فعالیت تمام بخش‌ها شامل تعداد ساعات پمپاژ و مقادیر رسوب تخلیه شده را نیز ثبت می‌نماید. به دلیل اتوماتیک بودن سیستم، تعداد پرسنل نگهدار پروژه ۳ تا ۴ نفر می‌باشند. سیستم تنها در شب‌ها فعال است تا کمترین اثرات را بر روی کاربران منطقه داشته باشد. هم‌چنین در طول شب هزینه کمتر مصرف برق، انجام عملیات را به صرفه تر می‌نماید. مشخصات فنی این سیستم در (جدول ۲-۲) تا (جدول ۲-۸) ارائه شده است.
- لازم به ذکر است مدیریت سیستم ارتباط گسترده‌ای با بخش‌های مختلف جامعه اثر پذیر از فعالیت سیستم دارد و به منظور آموزش و توسعه دانش اقدام به برگزاری تورهای بازدید از سایت برای دانش آموزان، دانشجویان و سایر علاقمندان به آشنایی با سیستم می‌نماید.

جدول ۲-۲- ظرفیت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

|                              |                      |                 |
|------------------------------|----------------------|-----------------|
| ظرفیت پیک انتقال رسوب سیستم  | ۶۲۵ متر مکعب بر ساعت | ۱۰۰۰ تن بر ساعت |
| ظرفیت اسمی انتقال رسوب سیستم | ۵۰۰ متر مکعب بر ساعت | ۸۰۰ تن بر ساعت  |
| ظرفیت میانگین سالانه سیستم   | ۵۰۰۰۰۰ متر مکعب      | ۸۰۰۰۰۰ تن       |

جدول ۲-۳- مشخصات جتی سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

|                                                  |                                          |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| طول                                              | ۴۵۰ متر                                  |
| فاصله از موج شکن جنوبی رودخانه توئید             | ۲۵۰ متر                                  |
| تراز عرشه (در طول ۴۵۰-۱۶۸ متر جتی)               | ۸+ متر نسبت به میانگین تراز سطح آب دریا  |
| عمق شمع (در طول ۴۵۰-۳۶۰ متر جتی)                 | ۲۳- متر نسبت به میانگین تراز سطح آب دریا |
| عمق شمع (در طول ۳۵۰-۱۸۰ متر جتی)                 | ۲۰- متر نسبت به میانگین تراز سطح آب دریا |
| فاصله شمع‌ها                                     | ۱۰ متر                                   |
| عمق جت پمپ (در طول ۴۵۰-۳۶۰ متر جتی)              | ۱۵- متر نسبت به میانگین تراز سطح آب دریا |
| عمق جت پمپ (در طول ۳۵۰-۲۸۰ متر جتی)              | ۱۴- متر نسبت به میانگین تراز سطح آب دریا |
| عمق جت پمپ (در طول ۲۷۰-۱۸۰ متر جتی)              | ۱۲- متر نسبت به میانگین تراز سطح آب دریا |
| فاصله جت پمپ‌ها                                  | ۳۰ متر                                   |
| تعداد جت پمپ‌ها                                  | ۱۰                                       |
| بیشترین تعداد جت پمپ‌هایی که هم زمان کار می‌کنند | ۴                                        |
| شیب لوله برگشتی مخلوط آب و رسوب (فلوم)           | ۲/۵٪                                     |

|          |        |
|----------|--------|
| جنس سازه | فولادی |
| جنس عرشه | بتنی   |

جدول ۴-۲- مشخصات پمپ‌های سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

| پمپ                                 | توان          | جریان             | هد      | نوع                                 | محل قرار گیری                |
|-------------------------------------|---------------|-------------------|---------|-------------------------------------|------------------------------|
| پمپ کم فشار<br>(1 off plus a spare) | ۱۲۵ کیلو وات  | ۶۵۵ لیتر بر ثانیه | ۱۴ متر  | پمپ گریز از مرکز مستغرق<br>KSB Ajax | رودخانه توئید                |
|                                     | ۱۴۶ کیلو وات  |                   |         |                                     |                              |
| پمپ پر فشار<br>(1 off)              | ۱۱۰۰ کیلو وات | ۵۴۰ لیتر بر ثانیه | ۱۲۴ متر | پمپ گریز از مرکز<br>Weir Uniglide   | ساختمان کنترل- سطح زمین      |
| پمپ پر فشار<br>(1 off spare)        | ۱۱۰۰ کیلو وات | ۵۴۰ لیتر بر ثانیه | ۱۲۴ متر | پمپ گریز از مرکز<br>KSB Ajax        | ساختمان کنترل- سطح زمین      |
| پمپ Flume dilution<br>(1 off)       | ۲۰ کیلو وات   | ۱۱۱ لیتر بر ثانیه | ۱۳ متر  | پمپ گریز از مرکز<br>KSB Ajax        | ساختمان کنترل- سطح زمین      |
|                                     | ۳۰ کیلو وات   |                   |         |                                     |                              |
| پمپ های اسلاری<br>(2 off)           | ۴۷۳ کیلو وات  | ۳۹۵ لیتر بر ثانیه | ۶۳ متر  | پمپ گریز از مرکز<br>KSB Ajax        | ساختمان کنترل- تراز پایین تر |
|                                     | ۶۳۰ کیلو وات  |                   |         |                                     |                              |

جدول ۵-۲- مشخصات لوله‌های سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

| از                  | به                                     | طول            | قطر         | محتویات         | جنس                                            |
|---------------------|----------------------------------------|----------------|-------------|-----------------|------------------------------------------------|
| پمپ کم فشار         | ساختمان کنترل                          | ۴۴۰ متر        | ۴۵۰ میلیمتر | آب دریا         | پلی اتیلن                                      |
| پمپ پر فشار         | جت پمپ‌ها                              | حداکثر ۴۵۰ متر | ۶۰۰ میلیمتر | آب دریا         | فولاد                                          |
| flume dilution pump | فلوم در طول ۳۹۰ متر جتی                | ۳۹۰ متر        | ۲۵۰ میلیمتر | آب دریا         | فولاد                                          |
| فلوم                | در طول ۴۵۰ متر جتی-<br>طول ۳۹۰ متر جتی | ۶۰ متر         | ۲۵۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان           |
| فلوم                | در طول ۴۲۰ متر جتی-<br>طول ۳۹۰ متر جتی | ۳۰ متر         | ۲۵۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان           |
| فلوم                | در طول ۳۹۰ متر جتی                     | ۳۹۰ متر        | ۶۰۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان           |
| ساختمان کنترل       | نقطه تخلیه ۱                           | ۱۲۱۰ متر       | ۴۰۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان           |
| ساختمان کنترل       | نقطه تخلیه ۲                           | ۱۲۶۰ متر       | ۴۰۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان-پلی اتیلن |
| ساختمان کنترل       | نقطه تخلیه ۳                           | ۲۱۰۸ متر       | ۴۰۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان           |
| ساختمان کنترل       | نقطه تخلیه ۴                           | ۲۶۳۵ متر       | ۴۰۰ میلیمتر | مخلوط آب و رسوب | لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان-پلی اتیلن |

جدول ۲-۶- هیدرودینامیک امواج در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| میانگین ارتفاع موج مشخصه                                             | ۱/۳ متر   |
| بیشترین ارتفاع امواج                                                 | ۱۳/۱ متر  |
| ارتفاع بیش از ۹۰٪ از طیف امواج مشخصه در بازه ۰/۶ تا ۲/۴ متر می‌باشد. |           |
| میانگین پرپود پیک امواج                                              | ۹/۳ ثانیه |
| پرپود پیک بیش از ۹۰٪ از طیف امواج در بازه ۵ تا ۱۳ ثانیه می‌باشد.     |           |

جدول ۲-۷- دمای آب در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

|              |                   |
|--------------|-------------------|
| دمای حداکثر  | ۲۶ درجه سانتیگراد |
| دمای میانگین | ۱۹ درجه سانتیگراد |
| دمای حداقل   | ۱۵ درجه سانتیگراد |

جدول ۲-۸- مشخصات رسوبات در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه توئید [۱۳]

|     |              |
|-----|--------------|
| D90 | ۵۸۰ میکرومتر |
| D50 | ۲۷۰ میکرومتر |
| D10 | ۱۵۰ میکرومتر |

## ۲-۳- سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ

سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ، واقع در سواحل کوئینزلند استرالیا، در سال ۱۹۸۶ با هدف برطرف نمودن مشکل تجمع رسوب در سمت جنوب و فرسایش شدید ساحل در سمت شمال دو جتی احداث شده در دهانه رودخانه نرنگ ساخته شده است (شکل ۲-۸ و شکل ۲-۹). این سیستم از نوع ثابت بوده و از ۱۰ جت پمپ که در فاصله ۳۰ متری از همدیگر بر روی یک جتی به طول ۵۰۰ متر واقع شده‌اند تشکیل شده است (شکل ۲-۱۰). سیستم به گونه ای طراحی شده است که ۴ جت پمپ می‌توانند به صورت هم‌زمان عمل نمایند. سیستم توسط یک کامپیوتر مرکزی کنترل می‌شود بنابراین قادر به کار کردن بدون نیاز به یک ناظر ثابت می‌باشد. مخلوط آب و رسوب توسط لوله‌های فولادی با پوشش پلی اورتان به سه نقطه تخلیه مستقل که در فاصله حدود ۱۰۰۰ متری در پایین دست قرار دارند، منتقل می‌شود (شکل ۲-۱۱). نقاط تخلیه در منطقه‌ای توسعه نیافته و کم جمعیت می‌باشند، بنابراین اثر مستقیمی بر کاربران ساحل ندارند [۲].



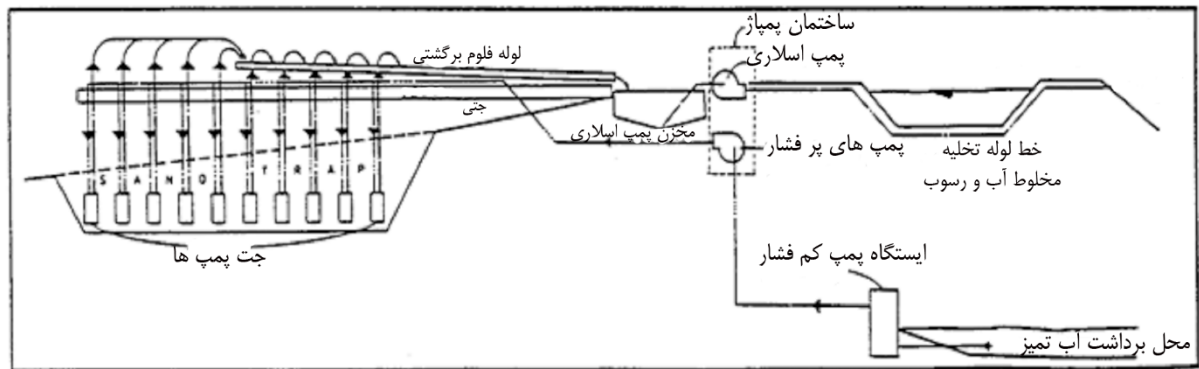


شکل ۲-۸- موقعیت جغرافیایی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ

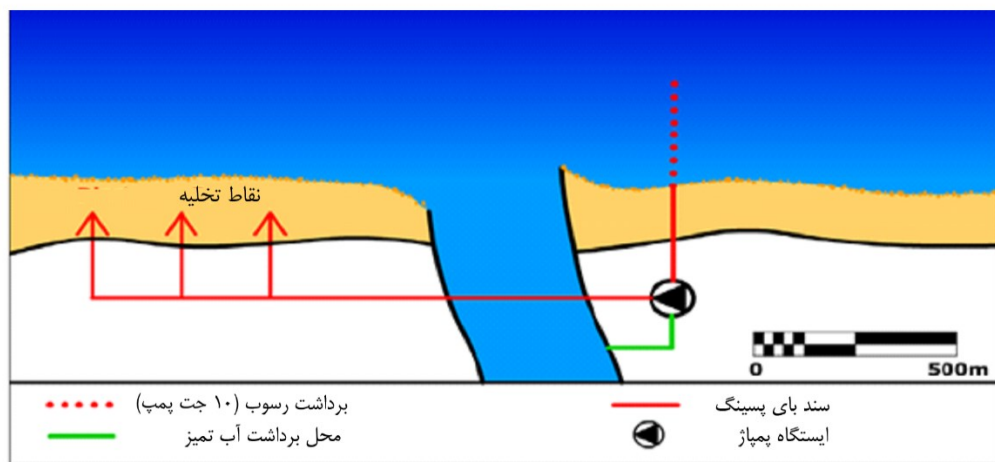


شکل ۲-۹- ورودی رودخانه نرنگ و موقعیت سکو برداشت رسوبات سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ





شکل ۲-۱۰- شماتیکی از موقعیت جت پمپ‌ها در سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ [۲]



شکل ۲-۱۱- موقعیت قرارگیری اجزاء مختلف سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ [۱]

نرخ کل انتقال رسوب در منطقه حدود ۶۵۵ هزار مترمکعب در سال می‌باشد که از این مقدار ۵۷۵ هزار مترمکعب رسوب به سمت شمال و ۸۰ هزار مترمکعب رسوب به سمت جنوب منتقل می‌شود. به صورت میانگین ۵۰۰ هزار مترمکعب رسوب در سال توسط سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ منتقل می‌شود. ظرفیت سیستم اجازه می‌دهد ماهانه حجم پیک ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب از رسوبات در محل با ماکزیمم حجم پنج روزه ۱۰۰۰۰۰ متر مکعب پمپاژ شود. در شرایط نرمال سیستم به صورت هفتگی ۱۰۰۰۰ متر مکعب رسوب را در مدت ۳۰ ساعت منتقل می‌نماید. مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۶ در (جدول ۲-۹) نشان داده شده است [۲ و ۵].

جدول ۲-۹- مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۶ [۲]

| سال                              | ۱۹۸۵   | ۱۹۸۶   | ۱۹۸۷   | ۱۹۸۸   | ۱۹۸۹   | ۱۹۹۰   |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| میزان رسوب گذردهی شده (متر مکعب) | ۱۳۸۲۳۶ | ۵۴۴۰۰۲ | ۴۶۴۴۳۵ | ۳۹۲۸۲۱ | ۳۷۸۷۵۶ | ۴۴۰۲۸۷ |
| سال                              | ۱۹۹۱   | ۱۹۹۲   | ۱۹۹۳   | ۱۹۹۴   | ۱۹۹۵   | ۱۹۹۶   |
| میزان رسوب گذردهی شده (متر مکعب) | ۳۷۶۸۴۱ | ۲۸۶۹۷۴ | ۵۶۹۰۱۳ | ۵۷۰۲۹۳ | ۴۰۸۹۱۷ | ۵۶۳۸۳۱ |

سیستم در تمام طول سال در شب‌ها و در روزهای پایان هفته (به منظور کاهش هزینه‌های مرتبط با مصرف برق) کار می‌کند. برنامه پایش سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ به منظور ارزیابی عملکرد پروژه و آثار کلی آن صورت می‌گیرد. این برنامه شامل بررسی‌های هیدروگرافی، عکسبرداری‌های هوایی، ثبت نرخ رسوبات گذردهی شده، مشاهدات بصری وضعیت ساحل، ثبت الگوی امواج و تراز سطح آب می‌باشد. (شکل ۲-۱۲) به خوبی نشان می‌دهد که سیستم گذردهی رسوب در کنترل تغییرات خط ساحل در پایین دست دهانه رودخانه نرنگ موفق بوده است.



شکل ۲-۱۲- تغییرات خط ساحل و توپوگرافی داخل حوضچه پس از راه اندازی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ

سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ شامل پمپ تامین آب، سیستم جت‌پمپ‌ها، فلوم انتقال مخلوط آب و رسوب، پمپ انتقال مخلوط آب و رسوب (پمپ اسلاری) و خطوط لوله می‌باشد. چنانچه پیش تر ذکر شد ۱۰ جت‌پمپ در فواصل تقریبی ۳۰ متری در طول جتی قرار گرفته‌اند (شکل ۲-۱۳ و شکل ۲-۱۴). جت‌پمپ‌های به کار رفته در سیستم دارای طراحی ویژه برای برداشت رسوبات هستند و در شرایط کاملاً مدفون دچار انسداد نمی‌شوند. هر جت‌پمپ مجهز به سیال سازی است که تا بستر امتداد یافته و رسوبات را سیال می‌نماید تا با غلظت مناسب توسط جت‌پمپ‌ها قابل برداشت باشند. زمانی که رسوبات از ناحیه‌ای در اطراف جت‌پمپ برداشت می‌شوند، رسوبات اطراف به ناحیه حفر شده ریزش می‌کنند و این فرآیند تکرار می‌شود. به این ترتیب تله ایجاد شده تا زمانی که دیواره‌های آن به حالت پایدار برسند، توسعه خواهد یافت. جت‌پمپ‌ها از طریق جت آب پر سرعتی که در آن‌ها به سمت بالا حرکت می‌کند، رسوبات را

از بستر دریا مکش می‌کنند. به دلیل سرعت بالای مورد نیاز جت آب، ضروری است که آب تامین شده برای جت پمپ‌ها عاری از رسوب باشد. دو پمپ کم فشار تامین آب، آب را از مصب رودخانه برداشت نموده و آن را به سمت دو پمپ پر فشار که در ساختمان پمپاژ واقع شده‌اند، پمپاژ می‌نمایند. سپس آب با فشار زیاد از پمپ‌های پر فشار واقع در ساختمان پمپاژ و از طریق خط لوله به سمت جت پمپ‌ها پمپاژ می‌شود. آب تامین شده هم‌چنین می‌تواند به سیال سازهای متصل به جت پمپ‌ها نیز تزریق گردد تا در اثر عملکرد این بخش میزان رسوبات قابل برداشت برای سیستم افزایش یابد.

سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که در یک زمان با عملکرد هر ۴ یا ۷ عدد از ۱۰ جت پمپ نصب شده در طول جتی، تله رسوبی با طول ۳۰۰ متر کاملاً پوشش داده شود. در شرایط نرمال یک پمپ کم فشار و یک پمپ پر فشار تامین آب، آب مورد نیاز ۴ جت پمپ را برای انتقال حجم متوسط رسوبات تامین می‌نمایند. در زمان انتقال حجم پیک رسوبات، پمپ‌های کم فشار و پر فشار دوم و سه جت پمپ باقیمانده از ۷ جت پمپ نیز عمل می‌کنند. هر ۷ جت پمپ از ۱۰ جت پمپ که قادر به پوشش منطقه مورد نظر باشند، قابل استفاده خواهند بود. مخلوط آب و رسوب برداشت شده توسط هر یک از جت پمپ‌ها از طریق لوله‌های قائم به سمت بالا هدایت شده و در فلوم شیب دار تخلیه می‌شود. مخلوط آب و رسوب ۵ جت پمپ انتهایی (سمت دریا) توسط لوله‌های افقی مجزایی تا ابتدای فلوم انتقال یافته و سپس در آن تخلیه می‌شوند. ۵ جت پمپ ابتدایی (سمت ساحل) مستقیماً در فلوم تخلیه می‌شوند. با تخلیه جداگانه هر کدام از جت پمپ‌ها به داخل فلوم، عملکرد جت پمپ تحت تاثیر فشار تخلیه سایر جت پمپ‌ها قرار نمی‌گیرد. به این ترتیب هر کدام از جت پمپ‌ها به خوبی برای عملکرد یکسان بالانس می‌شوند.

فلوم به کار رفته در سیستم، مجزایی است که برای انتقال جریان‌ها با سرعت‌ها و غلظت‌های گوناگون تعبیه شده و دچار انسداد نمی‌شود. انتخاب قطر بهینه و شیب لوله فلوم بسیار حائز اهمیت است. طول فلوم ۳۷۰ متر، شیب آن ۲/۵ درصد و پوشش داخلی آن ۶/۴ میلیمتر پلی اورتان می‌باشد. مخلوط آب و رسوب تخلیه شده در فلوم با نیروی گرانش به سمت یک گودال مخروطی شکل هدایت می‌گردد. در مرحله بعد پمپ اسلاری مخلوط آب و رسوب را از این گودال برداشت می‌کند. لازم به ذکر است غلظت مخلوط آب و رسوب در این گودال کنترل شده و تا حد مطلوب تنظیم می‌گردد. لوله فولادی با پوشش داخلی پلی اورتان، مخلوط آب و رسوب پمپاژ شده توسط پمپ اسلاری را از زیر ورودی رودخانه به نقطه تخلیه منتقل می‌کند.





شکل ۲-۱۳- نمایی از تجهیزات برداشت رسوبات در سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ شامل پلتفرم شمع و عرشه و جت پمپ‌ها با وظیفه به دام اندازی رسوب، مکش و انتقال مخلوط آب و رسوب



شکل ۲-۱۴- نمایی از روی عرشه پلتفرم شمع و عرشه (جهت تصویر از طرف دریا به طرف خشکی). در این شکل مسیر انتقال مخلوط آب و رسوب از جت پمپ‌ها به لوله انتقال به خشکی به خوبی دیده می‌شود

عملکرد سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ توسط یک سیستم کامپیوتری به طور مرتب کنترل و پایش می‌شود. سه پرسنل به مدت ۴۰ ساعت در هفته (از ۷:۳۰ صبح-۴ بعد از ظهر) در سایت سیستم حضور دارند. این افراد در طول روز عملیات نگهداری، تعمیرات مورد نیاز سیستم و تنظیم خروجی‌ها را انجام می‌دهند. هم‌چنین پیش از ترک سایت سیستم، میزان رسوبات موجود در گودال‌های جت‌پمپ‌ها را کنترل می‌کنند و با استفاده از سیستم کامپیوتری ترتیب عملکرد جت‌پمپ‌ها در طول شب را تعیین و تنظیم می‌نمایند. به دلیل بالاتر بودن هزینه مصرف برق در طول روز در استرالیا، سیستم در طول شب فعالیت می‌کند. این مسئله با توجه به امکان کنترل سیستم با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری و به صورت خودکار، ممکن می‌باشد.

طراحی اولیه با این هدف بوده است که سیستم بتواند در تمامی شرایط آب و هوایی عمل نماید. اما در عمل در شرایط طوفانی به دلیل گرفتگی جت‌پمپ‌ها توسط قلوه سنگ‌ها و زباله‌های ساحلی، عملکرد سیستم دچار اختلال شده بود. راه حل‌های گوناگونی به منظور برطرف نمودن این مشکل به کار گرفته شد که موفق‌ترین آن‌ها استفاده از جت‌پمپ‌هایی با محفظه اختلاط با بازشوی بزرگ‌تر بوده است. چنین جت‌پمپی قادر بوده است اکثر مواد درشت دانه و زباله‌ها را از خود عبور دهد [۱۵ و ۱۶]. مشخصات فنی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ در (جدول ۲-۱۰) تا (جدول ۲-۱۳) نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۰- حجم رسوبات انتقالی توسط سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ [۲]

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| حجم میانگین سالانه | ۵۰۰۰۰۰ متر مکعب |
| حجم حداکثر ماهانه  | ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب |
| حجم پیک در ۵ روز   | ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب  |

جدول ۲-۱۱- مشخصات جتی سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ [۲]

|                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| جنس سازه                           | فولادی                             |
| طول جتی                            | ۵۰۰ متر                            |
| تراز عرشه                          | ۶ متر بالا تر از متوسط تراز سطح آب |
| عمق شمع‌های جتی در پایین تراز عرشه | ۲۵ متر                             |
| عمق جت‌پمپ‌ها در پایین تراز عرشه   | ۱۷ متر                             |

جدول ۱۲-۲- مشخصات رسوبات در سایت سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ [۲]

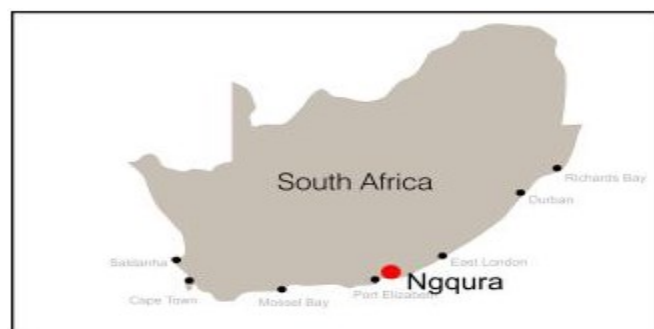
|                  |               |
|------------------|---------------|
| وزن مخصوص رسوبات | ۲/۶۷          |
| D10              | ۰/۱۷ میلی‌متر |
| D50              | ۰/۲۳ میلی‌متر |
| D90              | ۰/۴۵ میلی‌متر |

جدول ۱۳-۲- مشخصات پمپ‌های سیستم گذردهی رسوب رودخانه نرنگ [۲]

|                 |                                                        |
|-----------------|--------------------------------------------------------|
| پمپ‌های کم فشار | ۲ پمپ با توان ۱۵۰ کیلو وات (۲۰۰ اسب بخار)              |
| پمپ‌های پر فشار | ۲ پمپ گریز از مرکز با توان ۵۶۰ کیلو وات (۷۵۰ اسب بخار) |
| پمپ اسلاری      | ۱ پمپ گریز از مرکز با توان ۷۱۰ کیلو وات (۹۵۰ اسب بخار) |

## ۲-۴- سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا<sup>۱</sup>

بندر ان جیکورا در آفریقای جنوبی قرار دارد و کاربری عمده این بندر، ناوبری و کشتیرانی می‌باشد (شکل ۲-۱۵). به واسطه حضور دو موج شکن در این منطقه، که با هدف ایجاد یک بندر حفاظت شده از آثار امواج برای تامین شرایط ایمن برای پهلو گرفتن کشتی‌ها ساخته شدند، اختلالاتی در حرکت طبیعی رسوبات در امتداد ساحل به وجود آمده است (شکل ۲-۱۶). از این رو سیستم گذردهی رسوب با هدف انتقال رسوبات به دام افتاده در بالادست بندر به پایین دست آن احداث شده است.



شکل ۲-۱۵- موقعیت جغرافیایی بندر ان جیکورا [۱۴]



شکل ۲-۱۶- بندر ان جیکورا [۱۴]

سیستم گذردهی رسوب به کار رفته در این بندر از نوع ثابت می‌باشد. سیستم شامل ۶ جت پمپ است که بر روی یک جتی با طول ۲۲۵ متر (واقع در فاصله ۱۵۰ متری از موج شکن غربی) مستقر شده‌اند (شکل ۲-۱۷). فواصل جت پمپ‌ها از یکدیگر حدود ۲۷ تا ۳۶ متر می‌باشد (شکل ۲-۱۸). سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا برای انتقال حجم ۱۵۰۰۰۰ الی ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب رسوب در سال و برای انتقال ذرات با حداکثر قطر ۱۵۰ میلیمتر طراحی شده است. لازم به ذکر است سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که ظرفیت کافی برای گذردهی نمودن تا ۳۲۰۰۰۰ متر مکعب بر سال رسوب را دارا می‌باشد. این مقدار برابر با حد بالای تخمین زده شده برای نرخ انتقال رسوبات به موازات ساحل در این منطقه می‌باشد. همچنین سیستم ظرفیت کافی برای گذردهی نمودن ۱۶۰۰۰ متر مکعب رسوب در مدت ۵ روز برای زمان طوفان را دارا می‌باشد. سیستم ۸۰ در صد مواقع با نرخ ۲۰۰ متر مکعب بر ساعت انتقال رسوب کار می‌کند. مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط این سیستم از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ در (جدول ۲-۱۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که سه پمپ تقویتی نیز در این سیستم به کار رفته است (شکل ۲-۱۹). این سیستم نیز همانند سیستم رودخانه نرنگ با مشکل گرفتگی تجهیزات جت پمپ‌ها توسط قلوه سنگ‌ها و زباله‌ها مواجه شده است. از این رو صفحات محافظی بر روی دهانه مکش جت پمپ‌ها تعبیه شده تا مانع از ورود موارد نامبرده به سیستم شوند (شکل ۲-۲۰) [۱۴].

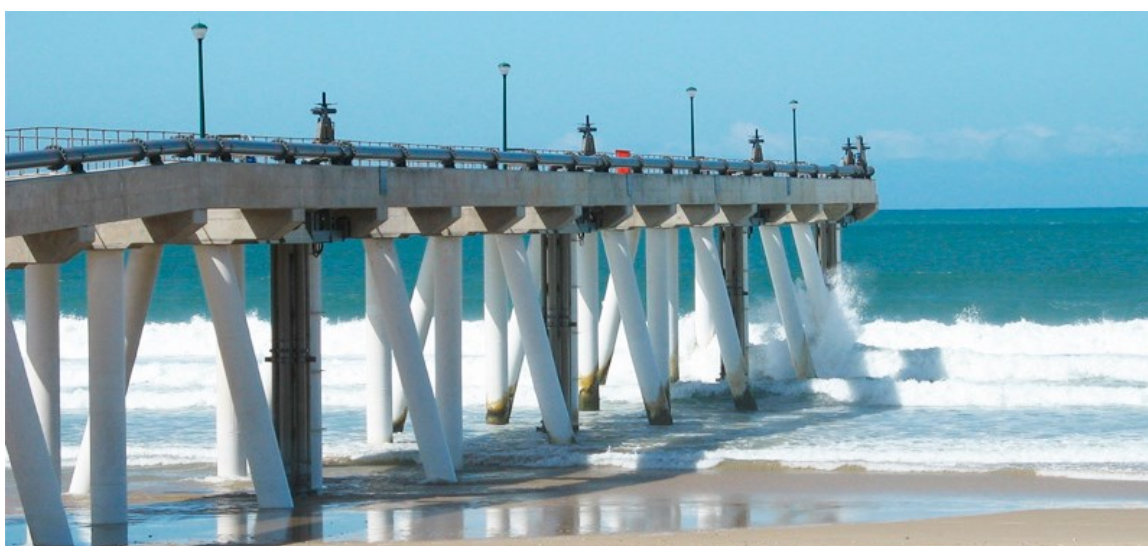
جدول ۲-۱۴- مقادیر رسوبات گذردهی شده توسط سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ [۱۴]

| سال                              | ۲۰۰۷   | ۲۰۰۸   | ۲۰۰۹   | ۲۰۱۰   | ۲۰۱۱  |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| میزان رسوب گذردهی شده (متر مکعب) | ۲۹۸۹۶  | ۱۲۳۱۰۶ | ۸۰۶۷۱  | ۹۳۸۳۱  | ۶۵۱۹۴ |
| سال                              | ۲۰۱۲   | ۲۰۱۳   | ۲۰۱۴   | ۲۰۱۵   | ۲۰۱۶  |
| میزان رسوب گذردهی شده (متر مکعب) | ۱۳۷۵۴۰ | ۲۰۵۹۵۱ | ۲۲۷۰۳۹ | ۲۸۷۹۷۷ | ۶۵۸۹۴ |

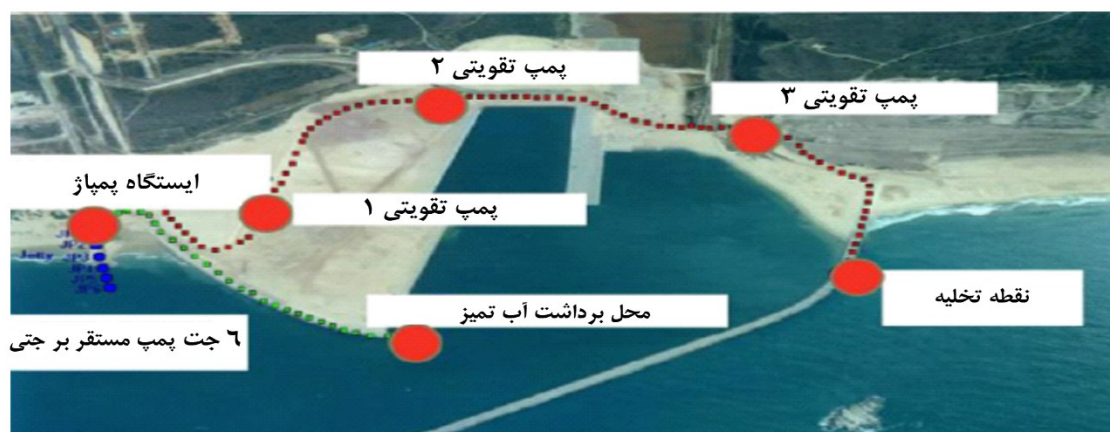




شکل ۲-۱۷- پلتفرم شمع و عرشه سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا [۱۴]



شکل ۲-۱۸- نمایی از پهلوی پلتفرم شمع و عرشه سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا [۱۴]



شکل ۲-۱۹- موقعیت قرارگیری اجزا مختلف سیستم گذردهی رسوب بندر ان جیکورا [۱۴]



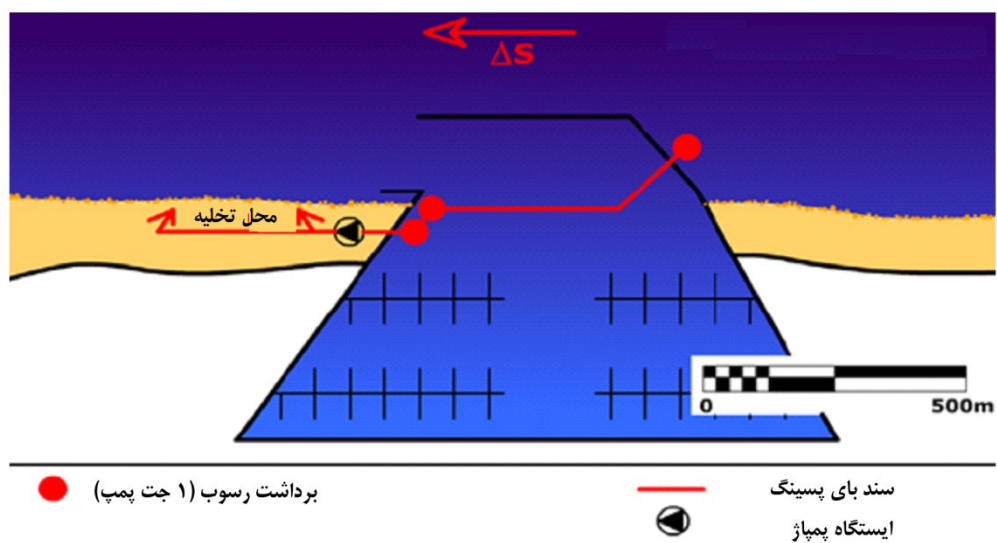


شکل ۲-۲- انسداد دهانه جت پمپ توسط قلوه سنگ‌ها (شکل سمت چپ) و محافظ تعبیه شده برای ممانعت از ورود قلوه سنگ‌ها به جت پمپ (شکل سمت راست) [۱۴]

## ۲-۵- سیستم گذردهی رسوب بندر اوشن ساید<sup>۱</sup>

با احداث سازه‌های دریایی بندر اوشن ساید در کالیفرنیا، فرسایش پایین دست بندر و تجمع رسوب در بالادست و دهانه ورودی بندر به وقوع پیوسته است. به منظور فراهم نمودن امکان انتقال رسوبات به پایین دست بندر و بهبود شرایط کشتیرانی در ورودی آن، سیستم گذردهی رسوب برای این بندر طی دو فاز احداث شده است. فاز اول بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰ و فاز دوم بین سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۶ اجرا گردید. یک جت پمپ با ظرفیت پمپاژ ۲۵۰ متر مکعب بر ساعت در سمت موج شکن شمالی و دو جت پمپ دیگر نیز با ظرفیت ۱۷۵ متر مکعب بر ساعت در کانال ناوبری عملیات پمپاژ را انجام می‌دهند (شکل ۲-۲۱). رسوبات برداشت شده در طول حدود ۳۳۰۰ متر منتقل می‌شوند. در فاز دوم یک سیستم سیال ساز با طول ۵۰ متر نیز به سیستم اضافه گردید.

در فاز اول این پروژه ۱۴۰۰۰ و در فاز دوم ۸۰۰۰۰ متر مکعب رسوب در سال منتقل شده است. در نهایت از سیستم انتظار می‌رود ۱۹۰۰۰۰ متر مکعب رسوب در سال را از ورودی و ۱۱۵۰۰۰ متر مکعب رسوب در سال را از مقطع شمالی بندر منتقل نماید. هم‌چنین این سیستم برای کار کردن ۵ روز در هفته و ۱۰ ساعت در روز طراحی شده است. در فصل تابستان جت پمپ‌های ورودی و در فصل زمستان جت پمپ‌های بخش جتی شمالی فعال می‌شوند. به منظور نظارت بر اثرات زیست محیطی سیستم نیز برنامه‌های پایشی برای مطالعه وضعیت گیاهان و آبزیان موجود در منطقه در نظر گرفته شده است [۱۲ و ۱۳].



شکل ۲-۲۱- شماتیکی از موقعیت قرارگیری اجزا مختلف سیستم گذردهی رسوب بندر اوشن ساید [۱]

## ۲-۶- جمع بندی

بمنظور جمع بندی مطالب ارائه شده در این فصل، تمامی مشخصات سیستم‌های منتخب گذردهی رسوب جهانی و مشخصات محل اجرای آن‌ها در (جدول ۲-۱۵) و (جدول ۲-۱۶) ارائه شده است.

جدول ۲-۱۵- مشخصات سیستم‌های منتخب گذردهی رسوب

| مشخصات سیستم گذردهی رسوب | رودخانه توئید                                                               | رودخانه نرنگ                                                                                | بندر ان جیکورا                  | بندر اوشن ساید             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| نوع سیستم                | ثابت                                                                        | ثابت                                                                                        | ثابت                            | ثابت                       |
| نرخ متوسط گذردهی رسوب    | ۵۰۰۰۰۰ متر مکعب در سال                                                      | ۵۰۰۰۰۰ مترمکعب در سال                                                                       | ۲۰۰۰۰۰ مترمکعب در سال           | ۳۰۵۰۰۰ متر مکعب در سال     |
| پلتفرم                   | جتی - ۴۵۰ متر                                                               | جتی - ۵۰۰ متر                                                                               | جتی - ۲۲۵ متر                   | موج شکن شمالی و دهانه بندر |
| تعداد جت پمپ‌ها          | ۱۰ (۴ جت پمپ هم زمان کار می کنند)                                           | ۱۰ (در شرایط عادی ۴ جت پمپ و در شرایط پیک انتقال رسوب ۷ جت پمپ به صورت هم زمان کار می کنند) | ۶                               | ۳                          |
| جنس لوله ها              | فولاد، پلی اتیلن، پلی اورتان                                                | فولاد، پلی اورتان                                                                           | فولاد، پلی اتیلن                | پلی اتیلن                  |
| فواصل تخلیه              | ۲۰۰۰ متر                                                                    | ۱۰۰۰ متر                                                                                    | ۳۴۰۰ متر                        | ۳۳۰۰ متر                   |
| پمپ‌ها                   | پمپ گریز از مرکز کم فشار، ۱۲۵ کیلووات                                       | پمپ کم فشار با دو توربین ۱۵۰ کیلووات                                                        | پمپ‌های با ظرفیت ۴۰۰ تن بر ساعت | پمپ تامین ۷۵۰ اسب بخار     |
|                          | پمپ گریز از مرکز پر فشار، ۱۱۰۰ کیلو وات                                     | پمپ گریز از مرکز اسلاری، ۷۱۰ کیلو وات                                                       |                                 |                            |
|                          | Flume dilution pump<br>۲۰ کیلو وات<br>پمپ گریز از مرکز اسلاری، ۴۷۳ کیلو وات | دو پمپ سانتریفیوژ، ۵۶۰ کیلو وات                                                             | ۳ پمپ تقویتی                    | پمپ تقویتی ۱۰۵۰ اسب بخار   |

جدول ۲-۱۶- مشخصات محل اجرای سیستم های منتخب گذردهی رسوب

| مشخصات منطقه             | رودخانه توئید          | رودخانه نرنگ           | بندر ان جی کورا        | بندر اوشن ساید         |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| رسوبات غالب منطقه        | ماسه                   | ماسه                   | ماسه                   | ماسه                   |
| قطر متوسط رسوبات         | ۰,۲۷ میلیمتر           | ۰,۲۷ میلیمتر           | ۰,۲ میلیمتر            | ۰,۲۱ میلیمتر           |
| نرخ انتقال رسوب          | ۵۰۰۰۰۰ متر مکعب در سال | ۶۵۵۰۰۰ متر مکعب در سال | ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب در سال | ۹۱۷۰۰۰ متر مکعب در سال |
| ارتفاع متوسط امواج مشخصه | ۱,۳ متر                | ۱ متر                  | ۱,۲ متر                | ۱,۲ متر                |
| بیشینه ارتفاع امواج      | ۱۳,۱ متر               | ۱۰ متر                 | ۹ متر                  | ۷,۳ متر                |
| پریود امواج              | ۵-۱۳ ثانیه             | ۳-۱۵ ثانیه             | ۴-۱۸ ثانیه             | ۷-۱۱ ثانیه             |
| دامنه جزر و مدی          | ۱,۳ متر                | ۱,۳ متر                | ۱,۲ متر                | ۱,۵ متر                |

## فصل ۳

---

---

دستور العمل طراحی سیستم های

گذردهی رسوب



## ۳-۱- مقدمه

در این فصل ترجمه های دو دستورالعمل:

- A Guide to the Planning and Hydraulic Design of Jet Pump Remedial Sand Bypassing Systems  
راهنمای برنامه ریزی و طراحی هیدرولیکی سیستم های جت پمپ گذردهی رسوب

و

- Fluidizer System Design for channel Maintenance and Sand bypassing  
طراحی سیستم سیال- ساز برای نگهداری کانال و گذردهی رسوب

ارائه شده اند. این دو دستورالعمل به صورت همراه با جزییات، راهنمایی‌های تخصصی برای برنامه ریزی و طراحی بخش های مختلف سیستم های گذردهی رسوب را ارائه می دهند.

## ۳-۲- راهنمای برنامه ریزی و طراحی هیدرولیکی سیستم‌های جت پمپ گذردهی رسوب

جت پمپ‌ها از مهم‌ترین تجهیزات مورد استفاده جهت برداشت رسوبات هستند که در اکثر سیستم‌های گذردهی رسوب در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. جت پمپ‌ها سالیانی طولانی به عنوان ساکن‌های تقویت کننده بر روی لایروبی‌های هیدرولیکی نصب و استفاده می‌شدند. اما استفاده از آن‌ها در سیستم‌های گذردهی رسوب به عنوان یک تکنولوژی جدید، توسط مجموعه OCE<sup>۱</sup> حمایت گردید. برنامه‌های مطالعاتی مربوط به این سیستم توسط آزمایشگاه هیدرولیک ارتش آمریکا تحت عنوان WES<sup>۲</sup> اجرا گردیده است [۱۶ و ۱۵]. این بخش شامل دستورالعمل‌ها و پیشنهادات برای طراحی و نحوه عملکرد یک سیستم جت پمپ گذردهی<sup>۳</sup> می‌باشد. بخش اول این دستورالعمل به ارزیابی سایت و تعریف پارامترهایی که بر اساس آن‌ها سیستم گذردهی رسوب طراحی می‌شود، اختصاص دارد. خصوصیات سیستم‌های جت پمپ گذردهی و موقعیت و پیکر بندی سیستم نیز در این بخش ارائه شده‌اند. قسمت دوم دستورالعمل در رابطه با آماده سازی طرح اولیه سیستم می‌باشد. در این بخش روش‌هایی برای انتخاب اولیه بخش‌هایی از یک سیستم جت پمپ بر پایه نیازها و ویژگی‌های سایت ارائه شده‌اند. روش‌های طراحی خاص و محاسبات در قسمت سوم ارائه شده‌اند.

---

1- Office Chief of Engineers

2- Engineer Waterways Experiment Station

3- jet pump bypassing

### ۳-۲-۱- معرفی سیستم‌های جت پمپ گذردهی رسوب

#### الف- بررسی نیاز به سیستم‌های گذردهی رسوب

در گام نخست برای به کارگیری و طراحی سیستم‌های گذردهی رسوب، لازم است از ضرورت به کارگیری این سیستم‌ها در منطقه مورد مطالعه برای اصلاح شرایط موجود، اطمینان حاصل گردد. به این منظور اجرای سه مرحله زیر در مطالعات اولیه، ضروری به نظر می‌رسد:

الف) بازدید میدانی از منطقه: در گام اول بازدید از منطقه و مشاهده شرایط موجود، از موثرترین روش‌های شناخت منطقه به حساب می‌آید. با این بازدید می‌توان شاهد رسوب‌گذاری و فرسایش ایجاد شده به دلیل وجود موانع بر سر راه انتقال رسوب بود. همچنین به طور عینی می‌توان کم عمق شدگی کانال و شکست امواج در نزدیکی دهانه را مشاهده نمود.

ب) بررسی و مطالعه شرایط پیشین منطقه: بررسی تصاویر، جداول و نقشه‌های بدست آمده از مطالعات پیشین صورت گرفته در منطقه به صورت کامل، می‌تواند وضعیت سایت را برای طراح مشخص نماید. تجمع رسوب و یا فرسایش توسط این تصاویر و نقشه‌ها قابل مشاهده و تشخیص است (شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲).



شکل ۳-۱- نمایی از ساحل مکزیک، فلوریدا، نشان دهنده تجمع رسوب در بالادست، فرسایش پایین دست ساحل و کم عمق شدگی کانال





شکل ۳-۲- نمایی از بندر سانیلک، میشیگان، نشان دهنده نشست رسوب در بالا دست بندر و فرسایش پایین دست

ج) بررسی اظهارات مردم بومی منطقه: گفت و گو با ساکنان محلی که شاهد تغییرات سایت مورد نظر برای دوره‌ای طولانی بوده‌اند، نقش به سزایی در شناخت منطقه و تصمیم گیری خواهد داشت. اطلاعاتی نظیر وضعیت ساحل در زمان وقوع طوفان‌های شدید و پس از آن، مدت زمان لازم برای احیای ساحل پس از وقوع طوفان، وسعت و حوزه تاثیر امواج موجود در منطقه و مناطق تحت تاثیر امواج از این طریق قابل شناسایی خواهند بود. لازم به ذکر است داده‌های مربوط به سرعت باد منطقه، ارتفاع امواج و تراز سطح آب باید به صورت دقیق مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند، زیرا تعیین مقادیر دقیق این پارامترها از طریق مشاهدات مردم امکان پذیر نمی‌باشد.

#### ب- شناسایی منطقه و تعیین مشکلات موجود

طراحی و کاربرد سیستم‌های گذردهی رسوب نیازمند مطالعات کامل فرآیندهای ساحلی در سایت مورد نظر می‌باشد. نتیجه این مطالعات در انتخاب مشخصات این سیستم موثر خواهد بود. در صورت نیاز به یک برنامه جمع‌آوری داده، با توجه به طبیعت دوره‌ای بسیاری از فرآیندهای ساحلی، جمع‌آوری اطلاعات حداقل برای یک سال لازم خواهد بود. دوره‌های بیشتر از یک سال معمولاً نتایج کامل‌تری را ارائه خواهند داد.

برخی از مواردی که لازم است برای طراحی سیستم‌های جت پمپ گذردهی بررسی شوند عبارتند از:

الف) نرخ انتقال رسوب: نرخ و جهت انتقال رسوب منطقه مورد مطالعه باید به صورت تابعی از زمان تعیین شود. به ویژه در مواقع وقوع طوفان که ممکن است حجم بالایی از رسوبات جابه‌جا شوند.

ب) مسیر حرکت رسوبات و الگوی رسوب گذاری منطقه: تعیین مسیر حرکت و الگوی رسوب گذاری نیز به اندازه تعیین جهت و نرخ انتقال رسوب حائز اهمیت می‌باشد (به ویژه در نزدیکی و مجاورت سازه‌ها). زیرا سیستم‌های جت پمپ گذردهی معمولاً در مجاورت سازه‌ها احداث می‌شوند تا بتوان از رسوبات تجمع یافته در مجاورت آن‌ها بهره برد. هم‌چنین سازه‌ها به طرز پیچیده و غیر قابل پیش‌بینی بر الگوهای رسوب گذاری منطقه موثر هستند که تنها با آنالیز داده‌های میدانی طولانی مدت می‌توان به چگونگی این اثرگذاری و الگوی رسوب گذاری در مجاورت آن‌ها پی برد.

ج) مشخصات امواج: امواج دارای اثر مستقیم بر روی سیستم‌های جت پمپ گذردهی هستند. مشخصات امواج محدودیت‌هایی در زمینه موقعیت قرارگیری جت پمپ‌ها، محل احداث و مشخصات پمپ خانه ایجاد می‌نماید و هم‌چنین عامل اصلی انتقال رسوب و تغییرات در تراز سطح آب به حساب می‌آید. توزیع فرکانس ارتفاع امواج مشخصه در منطقه، جهت امواج و پیروید امواج از اطلاعات مهم مورد نیاز در مورد موج‌ها هستند. برای تعیین آثار غیر مستقیم، ممکن است مطالعات دقیق تر در مورد اقلیم موج لازم باشد.

د) مشخصات رسوب: تعیین مشخصات رسوباتی که باید گذردهی شوند برای طراحی سیستم ضروری می‌باشد. مشخصاتی که در این زمینه باید تعیین شوند شامل موارد زیر می‌باشند: (البته محدود به این موارد نیستند)

- توزیع اندازه و دانه بندی رسوب
- تخلخل در محل رسوبات
- وزن مخصوص رسوبات
- حضور یا عدم حضور مصالح چسبنده و مواد سیمانی
- حضور یا عدم حضور مصالح درشت دانه نظیر قلوه سنگ‌ها و یا زباله‌ها
- پروفیل‌های قائم در مناطقی که قرار است جت پمپ‌ها کار گذاشته شوند که ترجیحاً از طریق نمونه‌های مغزی بدست آمده‌اند.

ه) نوسانات تراز سطح آب: بزرگی و فرکانس نوسانات سطح آب که به سبب بروز جزر و مد، امواج و ... به وجود می‌آیند، باید تعیین شوند.

و) مورفولوژی: داده‌های عمق سنجی در نواحی نزدیک ساحل و در نزدیکی محدوده سیستم گذردهی رسوب باید بررسی شود. سیکل‌های مورفولوژی سالانه و الگوی طولانی مدت آن‌ها نیز باید بررسی و شناخته شوند. هم‌چنین باید پیش‌بینی‌هایی برای الگوهای مورفولوژیکی آینده صورت گیرد.

ز) جریانات: الگوی جریانات دارای اثر مستقیم بر نحوه قرار گیری و توسعه جت پمپ‌ها می‌باشد. هم‌چنین جریانات به لحاظ پتانسیل انتقال رسوب به محل قرار گیری جت پمپ‌ها و یا عبور دادن آن‌ها از این منطقه، دارای اثرات غیرمستقیم نیز بر این سیستم‌ها می‌باشند. بنابراین بزرگ‌ترین جریانات مورد انتظار، موقعیت و جهتشان باید شناسایی شود.

سایر اطلاعاتی که برای طراحی اولیه سیستم‌های جت پمپ لازم هستند الزاماً از مطالعات مربوط به فرآیندهای ساحلی به دست نمی‌آیند که به نمونه‌هایی از آن‌ها در ادامه اشاره شده است.

الف) طرح بندی سایت سیستم گذردهی رسوب شامل پلان و نمای جانبی سازه‌ها، مشخصات توپوگرافی، مسائل حقوقی راه‌ها، موقعیت امکانات در دسترس سایت و ... .

ب) شرایط فیزیکی منطقه‌ای که مصالح انتقال یافته باید به آنجا پمپاژ شوند و شناسایی مسیرهای ممکن برای خطوط لوله‌ها

ج) مشخصات طراحی سازه‌های واقع در نزدیکی سیستم گذردهی رسوب (پارامترها و معیارهای طراحی، اندازه واحد آرمورها و ... )

### ج- شناسایی سازه‌های موجود در منطقه طرح

سازه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه برای اجرای سیستم‌های گذردهی رسوب، به عنوان عواملی تاثیر گذار در نحوه طراحی سیستم باید مد نظر قرار گرفته شوند. این سازه‌ها می‌توانند نقش مهمی در عملکرد سیستم داشته باشند و هر سیستم گذردهی رسوب باید از مزایای سازه‌های موجود در اطرافش حداکثر استفاده را نماید. برخی از اثرات بالقوه سازه‌ها در ادامه ذکر شده‌اند.

- هدایت جریان و انتقال رسوبات
- عامل رسوب گذاری و نشست رسوبات در محل از پیش تعیین شده
- ایجاد دسترسی به محوطه پروژه
- تامین پلتفرم برای سیستم گذردهی رسوب
- محافظت از سیستم گذردهی رسوب در برابر امواج

### د- شرایط لازم برای امکان استفاده از جت پمپ ها در سیستم‌های گذردهی رسوب

نیاز قطعی به سیستم گذردهی رسوب در منطقه به همراه وجود برخی شرایط می تواند استفاده از جت پمپ‌ها را به عنوان یک گزینه مناسب در منطقه مطرح سازد. با توجه به این که این نوع سیستم بر خلاف سیستم‌های شناور، از سمت ساحل توسعه می‌یابد، ویژگی‌های لازم جهت به کارگیری آن در ادامه ذکر شده‌اند.

الف) نیاز به گذردهی رسوب پیوسته: این نیاز قطعا بیانگر این مسئله است که جت پمپ گذردهی گزینه‌ای مناسب برای منطقه است. سیستم‌های جت پمپ نسبت به لایروبی‌های هیدرولیکی با سرعت پمپاژ نسبتا کمتری کار می‌کنند. استفاده از سیستم جت پمپ‌ها این امکان را می‌دهد تا نرخ گذردهی رسوب با نرخ انتقال رسوب در منطقه تنظیم و هماهنگ شود.

ب) انتقال رسوب در نزدیکی ساحل و یا سازه‌های موجود در سایت: جابه‌جایی رسوب در نزدیکی ساحل و سازه‌های موجود در منطقه، برداشت رسوبات توسط جت پمپ‌ها را تسهیل می‌نماید. در اکثر سایت‌ها حداقل یک نقطه با شرایط مذکور وجود دارد.

ج) نرخ انتقال رسوب متعادل: هرچه نرخ تغییرات انتقال رسوب منطقه در سیکل سالانه کمتر باشد، سیستم جت‌پمپ گذردهی مناسب‌تر خواهد بود.

د) وجود ناحیه تجمع رسوب در سایت مورد نظر: در صورتی که در سایت مورد نظر یک ناحیه حفاظت شده برای تجمع رسوب وجود داشته باشد (مانند فضای پشت یک موج شکن یا یک جتی)، به عنوان یک امتیاز بزرگ برای به کار بردن جت‌پمپ‌ها به حساب خواهد آمد. یک منطقه در دسترس برای تجمع رسوبات، نظیر ناحیه پشت جتی می‌تواند در طراحی سیستم کمک کننده باشد (بسته به سایر فاکتورهای موجود).

لازم به ذکر است وجود تمامی شرایط فوق به صورت هم‌زمان برای امکان استفاده از سیستم جت‌پمپ گذردهی رسوب ضروری نمی‌باشد اما چنانچه در یک سایت تمامی موارد فوق برقرار باشد، جت‌پمپ گذردهی رسوب به عنوان نخستین گزینه برای حل مشکل آن مطرح خواهد شد. مگر آن که شرایطی خاص سبب رد این گزینه شود.

#### ه- شرایط نامناسب برای استفاده از جت‌پمپ‌ها در سیستم‌های گذردهی رسوب

برخی از شرایط موجود در سایت امکان استفاده از سیستم جت‌پمپ گذردهی رسوب را از بین می‌برند. برخی از این موارد عبارتند از:

الف) وجود مصالح و رسوبات چسبنده و مواد سیمانی: در مناطق با رسوبات حاوی رس‌های چسبنده و ماسه‌های سیمانی، با توجه به مشخصات جت‌پمپ‌ها، کاربرد این سیستم مناسب نمی‌باشد. حتی لایه نازکی از این رسوبات نیز ممکن است مشکل ساز باشد.

ب) انتقال و تجمع رسوب در یک ناحیه گسترده: اگر انتقالات و رسوب‌گذاری در یک منطقه وسیع و یا مناطق غیر قطعی و نامشخص رخ بدهد، طراحی یک سیستم جت‌پمپ گذردهی کارآمد، بسیار دشوار خواهد بود (بر عکس موارد الف و ب در بخش قبل).

ج) عدم وجود محل مناسب برای برداشت آب تمیز: برای عملیات گذردهی رسوب با استفاده از جت‌پمپ‌ها نیاز است تا بتوان آب تمیز برداشت کرد و به سیستم تزریق نمود.

ملاحظات دیگری نیز نظیر مالکیت، مسائل زیبایی شناختی و نگرش افراد بومی منطقه درباره به کارگیری سیستم ممکن است بر امکان پذیری اجرای سیستم‌های گذردهی رسوب تاثیر گذار باشند. چنین مواردی نیز باید بررسی و مطالعه گردند.

## ۳-۲-۱- تشریح سیستم‌های جت پمپ گذردهی

## الف- انواع جت پمپ‌ها

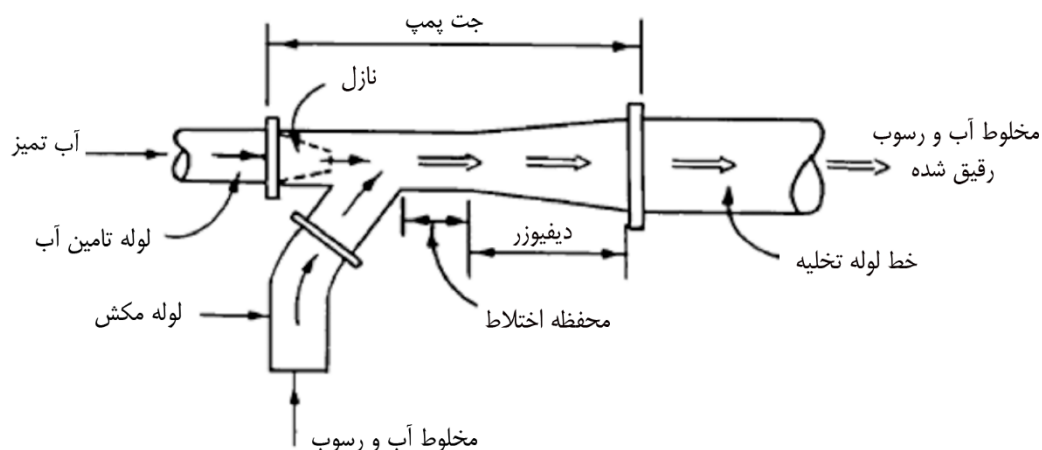
جت پمپ‌ها به دو گروه جت پمپ‌های مرکزی و جت پمپ‌های جانبی تقسیم بندی می‌شوند. جت پمپ‌های مرکزی<sup>۱</sup>: به جت پمپ‌هایی اطلاق می‌شود که نازل آن‌ها در امتداد محور مرکزی بدنه پمپ قرار گرفته است.

جت پمپ‌های جانبی<sup>۲</sup>: دارای یک نازل (و یا بیشتر) در پیرامون بدنه اصلی جت پمپ هستند. جت پمپ‌های مرکزی نخستین مولفه سیستم‌های جت پمپ گذردهی رسوب هستند که از این لحاظ که هیچ گونه قطعه متحرکی ندارند و تنها با نیروی جت آب کار می‌کنند، با سایر پمپ‌ها متفاوت می‌باشند. این جت پمپ‌ها به صورت کاملاً مستغرق کار می‌کنند، به گونه‌ای که انتهای آن‌ها با یک مکش در رسوبات مدفون شده و عمل پمپاژ را انجام می‌دهند. اساس عملکرد جت پمپ‌ها، مبادله مومنتوم در داخل جت پمپ می‌باشد.

## ب- نحوه کار جت پمپ‌ها

آب تمیز<sup>۳</sup> که معمولاً با یک پمپ گریز از مرکز<sup>۴</sup> (سانتریفیوژ) تامین می‌شود، به صورت یک جت متلاطم از طریق یک نازل<sup>۵</sup> وارد جت پمپ می‌شود. اختلاط جت آب و مخلوط آب- ماسه<sup>۶</sup> که توسط مجرای مکش<sup>۷</sup> به داخل کشیده شده است، در محفظه اختلاط<sup>۸</sup> صورت می‌گیرد. این اختلاط باعث انتقال مومنتوم از جت آب به مخلوط آب و رسوب می‌شود. به صورت هم زمان مخلوط آب و رسوب توسط جت آب رقیق می‌شود. مخلوط آب و رسوب رقیق شده سپس به بخش دیفیوزر<sup>۹</sup> جت پمپ وارد می‌شود که سبب می‌گردد مخلوط آب و رسوب بیشتری به داخل مجرای مکش در یک فرآیند پیوسته کشیده شود. در دیفیوزر، افزایش تدریجی حجم محفظه باعث می‌شود مقداری از انرژی جریان از حالت سرعت به فشار تبدیل شود. مخلوط رقیق شده پس از خروج از دیفیوزر، در لوله تخلیه<sup>۱۰</sup> حرکت کرده و معمولاً به سمت پمپ‌های رایجی که تقویت کننده تخلیه هستند (پمپ اسلاری)، وارد می‌شود (شکل ۳-۳).

- 
- 1- Center drive jet pump
  - 2- Peripheral drive or side drive
  - 3- Clear Water
  - 4- centrifugal pump
  - 5- Nozzle
  - 6- Sand-Water Mixture
  - 7- Suction Tube
  - 8- Mixing Chamber
  - 9- Diffuser
  - 10- Discharge Pipeline



شکل ۳-۳- اصول عملکرد جت پمپ

### ج- پارامترهای بدون بعد جت پمپ‌ها

عملکرد جت پمپ‌های مرکزی با سه پارامتر بدون بعد قابل تفسیر و بررسی می‌باشد.

الف) نسبت هد<sup>۱</sup>  $N$

ب) نسبت جریان<sup>۲</sup>  $M$

ج) نسبت سطح<sup>۳</sup>  $R$

نسبت هد با استفاده از (رابطه ۱-۳) قابل محاسبه است.

(رابطه ۱-۳)

$$N = \frac{H_{DIS} - H_{SUC}}{H_{SUP} - H_{DIS}}$$

$H_{DIS}$ : هد انرژی کل در خط لوله تخلیه جت پمپ

$H_{SUC}$ : هد انرژی کل در لوله مکش جت پمپ

$H_{SUP}$ : هد انرژی کل در خط لوله تامین آب جت پمپ

نسبت جریان با استفاده از (رابطه ۲-۳) قابل محاسبه است.

(رابطه ۲-۳)

$$M = \frac{Q_{SUC}}{Q_{SUP}}$$

$Q_{SUC}$ : دبی ورودی به مکش جت پمپ

1- Head ratio

2- Flow ratio

3- Area ratio

QSUP: دبی در نازل جت پمپ

نسبت سطح از (رابطه ۳-۳) بدست می آید.

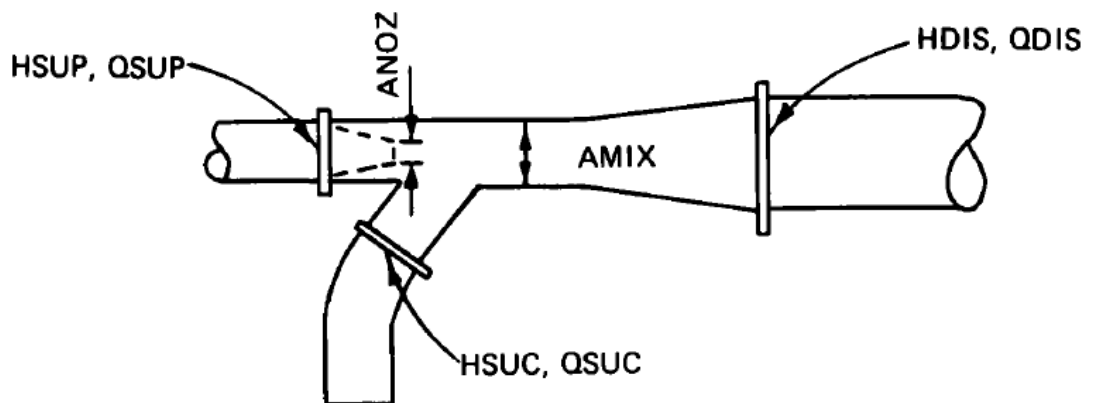
(رابطه ۳-۳)

$$R = \frac{ANOZ}{AMIX}$$

ANOZ: مساحت بازشو در راس نازل جت پمپ

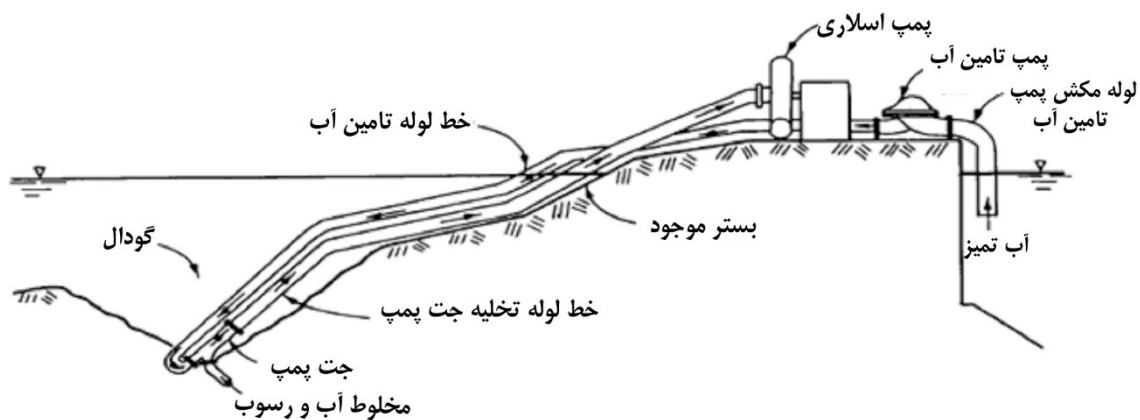
AMIX: مساحت داخلی محفظه اختلاط جت پمپ

موقعیت پارامترهای به کار رفته در روابط فوق، در (شکل ۴-۳) نشان داده شده است.

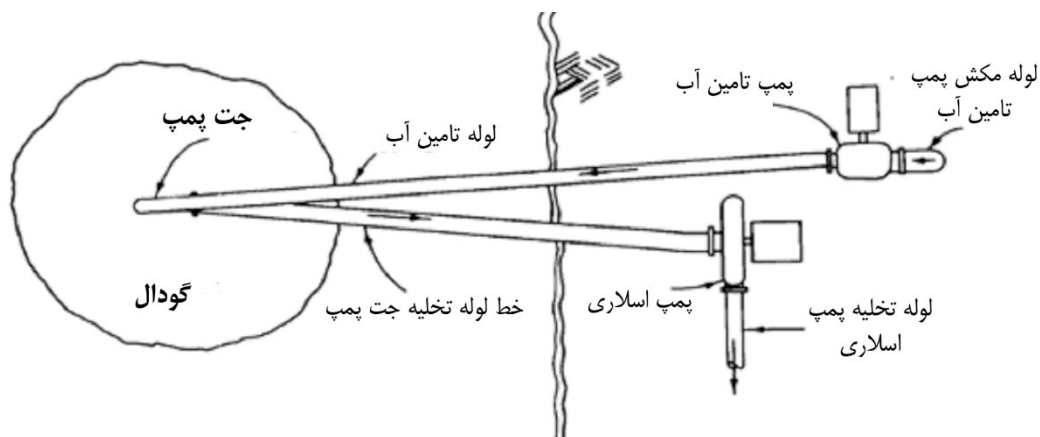


شکل ۴-۳- موقعیت پارامترهای جت پمپ

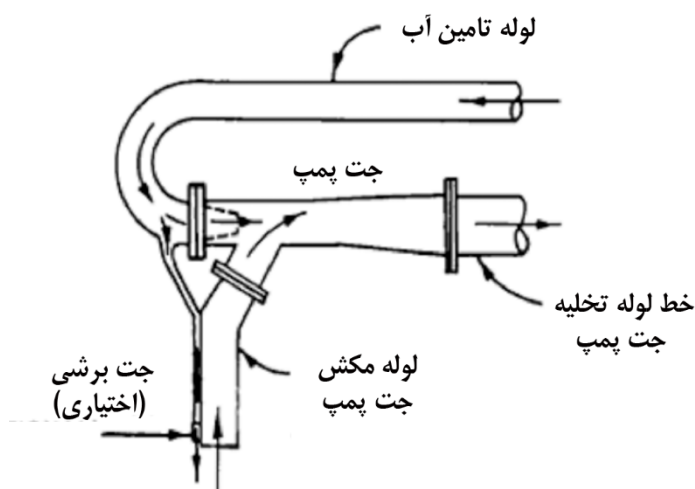
بسیاری از محققین مطالعات زیادی برای بررسی ارتباط بین پارامترهای N و M و R در وضعیت‌های مختلف جت پمپ‌هایی که آب را پمپاژ می‌کنند، انجام دادند [۱۷-۱۹]. محققان زیادی نیز در زمینه پمپاژ جامدات توسط جت پمپ‌ها مطالعاتی انجام داده‌اند [۲۰-۲۲]. داده‌های تجربی بدست آمده از برنامه تحقیقاتی WES<sup>۱</sup> برای تعریف روابط مربوط به یک جت پمپ که آب تمیز و ماسه متوسط را پمپ می‌کند استفاده شده‌اند. روابط برای پمپاژ ماسه در بخش‌های بعدی ارائه شده‌اند. (شکل ۵-۳) تا (شکل ۷-۳) مولفه‌های یک سیستم ساده جت پمپ گذردهی را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۵- نمای جانبی یک سیستم جت پمپ ساده



شکل ۳-۶- پلان یک سیستم جت پمپ گذردهی ساده



شکل ۳-۷- نمای جانبی یک جت پمپ

حالت‌های پیچیده‌تر نیز بعضاً ممکن است مورد استفاده قرار گیرد اما اصول کار مشابه تصاویر فوق خواهد بود.



#### د- اجزای سیستم جت پمپ گذردهی

اجزای یک سیستم جت پمپ گذردهی در (شکل ۳-۵) تا (شکل ۳-۷) نشان داده شده‌اند که کاربرد هر یک از آن‌ها در ادامه آمده است.

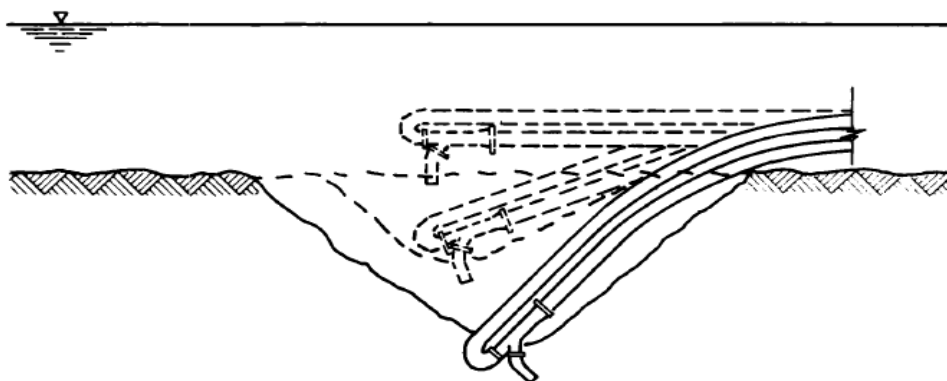
الف) پمپ تامین<sup>۱</sup>: این پمپ آب تمیز را برای جت آب مورد نیاز جت پمپ، تامین می‌کند. همچنین این پمپ در برخی موارد آب مورد نیاز پمپ‌های اسلاری و جت‌های برشی<sup>۲</sup> را نیز تامین می‌نماید. خط لوله مکش پمپ تامین باید در یک منطقه نسبتاً آزاد و فاقد کم عمق شدگی و رسوبات زیاد و یا زباله قرار بگیرد. این پمپ معمولاً یک پمپ گریز از مرکز عادی است.

ب) خط لوله تامین آب<sup>۳</sup>: این خط لوله آب تمیز را از پمپ تامین به سمت جت پمپ حمل می‌کند. همچنین در برخی موارد آب مورد نیاز جت‌های برشی<sup>۴</sup> را نیز منتقل می‌کند. این لوله‌ها ممکن است از لوله‌های انعطاف ناپذیر و یا مجراهای انعطاف پذیر و یا ترکیبی از هر دو ساخته شوند.

ج) جت پمپ: مخلوط آب و رسوب را برداشت کرده و هد لازم برای حرکت آن به سمت لوله تخلیه جت پمپ و پمپ اسلاری را تامین می‌کند. جت‌های برشی به مدفون شدن لوله مکش جت پمپ و حفاری رسوبات تحکیم یافته کمک می‌نمایند.

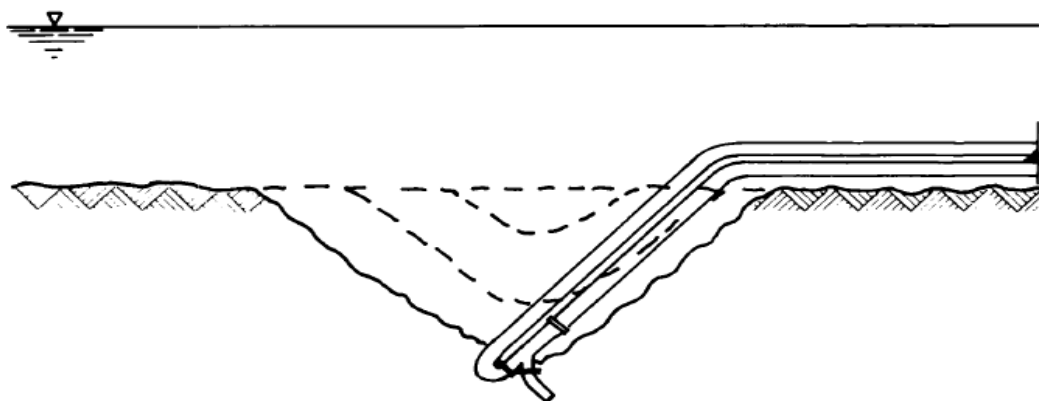
د) گودال<sup>۵</sup>: گودال‌ها یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم‌های جت پمپ گذردهی هستند. گودال‌ها در کف دریاچه یا دریا شکل می‌گیرند و با عملکرد جت پمپ در تراز پایین‌تر از تراز کف نواحی مجاور خود، حفظ و نگهداری می‌شوند. گودال نقش یک تله را برای رسوباتی که باید گذردهی شوند ایفا می‌کند. اندازه و شکل آن‌ها تابع عوامل مختلفی نظیر عمق قرارگیری جت پمپ، مشخصات رسوب منطقه و نرخ حفاری جت پمپ نسبت به نرخ ورود رسوبات انتقالی و شیب دیواره‌های آن‌ها می‌باشد. اگر لوله‌های تامین و تخلیه جت پمپ انعطاف پذیر باشند، جت پمپ با قرار گرفتن بر روی بستر به راحتی قادر به حفر گودال خواهد بود (با برداشت رسوبات و حرکت به سمت پایین). این فرآیند در (شکل ۳-۸) نشان داده شده است.

- 
- 1- Supply pump
  - 2- Cutting jets
  - 3- Supply pipeline
  - 4- Cutting jets
  - 5- Crater



شکل ۸-۳ - حفاری گودال با جت پمپ مستقر بر روی بستر

جت پمپ‌هایی که در زیر بستر دفن شده و لوله‌های تامین و تخلیه آن‌ها انعطاف ناپذیر هستند، گودال را در بالای خود و با حذف رسوب از بخش تحتانی حفر می‌کنند (شکل ۹-۳).



شکل ۹-۳ - حفاری گودال با استفاده از جت پمپ مدفون در زیر بستر

ه) لوله تخلیه جت پمپ<sup>۱</sup>: این لوله‌ها مخلوط آب و رسوب خروجی از جت پمپ را به پمپ اسلاری انتقال می‌دهند و می‌توانند الگو و ساختاری مشابه با لوله‌های تامین کننده داشته باشند.

و) پمپ اسلاری: انرژی لازم برای انتقال جریان خروجی از جت پمپ به محل مورد نظر برای تخلیه را تامین می‌کند. ممکن است به تعدادی پمپ تقویت کننده در طول لوله تخلیه نیاز باشد (بسته به فاصله‌ای که رسوب باید تا آنجا حمل شود).

ز) لوله تخلیه پمپ اسلاری: این لوله‌ها که معمولاً ساختار صلب دارند، مخلوط تخلیه شده از پمپ تقویتی (اسلاری) را تا محل تخلیه حمل می‌کنند.

#### ه- مشخصات سیستم‌های جت پمپ گذردهی

یکی از ویژگی‌های سیستم‌های جت پمپ گذردهی امکان ایجاد گروهی از تغییرات در سیستم‌های ساده جهت تطابق با شرایط موجود می‌باشد. برخی از این موارد عبارتند از :

الف) قابلیت حرکت تجهیزات ساحلی:

- ثابت : بخش‌های ساحلی سیستم نظیر پمپ تامین آب و پمپ اسلاری به صورت ثابت در ساحل و یا روی یک سازه نظیر جتی مستقر می‌شوند.

- قابل جابه جایی: تجهیزات ساحلی بر روی پلتفرم‌های دارای قابلیت جابه جایی نظیر کامیون یا تریلرهایی قرار می‌گیرند و از محل قرار گیری این پلتفرم‌ها، عملیات مربوطه را انجام می‌دهند. این تجهیزات می‌توانند در موقعیت‌های مختلف در یک سایت و یا سایت‌های مختلف مورد استفاده قرار بگیرند.

ب) قابلیت حرکت جت پمپ‌ها :

- جت پمپ‌های ثابت: جت پمپ به صورت ثابت در یک تراز مشخص در زیر بستر نصب می‌شود. در چنین شرایطی جت پمپ نسبت به جریانات و امواج مصون است. این امکان وجود دارد که چندین جت پمپ نصب شوند و گودال‌هایی را در منطقه مورد نظر ایجاد کنند.

- جت پمپ‌های متحرک: جت پمپ مجهز به شناور و لوله‌های انعطاف پذیر است که این امکان را می‌دهد تا از روی گودال‌ها بلند شده، مسافتی جابه جا شده و در نقطه دیگری قرار بگیرد. این نوع از سیستم در مناطقی مناسب است که در برابر امواج شدید محافظت شده باشند.

ج) انعطاف پذیری لوله‌های جت پمپ :

- لوله‌های صلب: لوله‌های تامین و تخلیه جت پمپ از فولاد و یا مواد انعطاف ناپذیر دیگری ساخته می‌شود. این لوله‌ها معمولاً در جت پمپ‌های ثابت استفاده می‌شوند و در واقع عاملی هستند که جت پمپ در جای خود ثابت حفظ می‌شود.

- لوله‌های انعطاف پذیر: در برخی سیستم‌ها از لوله‌های انعطاف پذیر از جنس لاستیک (شلنگ) استفاده می‌شود. این لوله‌ها در سیستم جت پمپ‌های متحرک استفاده می‌شوند تا این امکان وجود داشته باشد که مکان جت پمپ تغییر کند. در این شرایط لوله‌ها به شناورهای مجهز خواهند شد تا از دفن شدن و فرو رفتن آن‌ها به بستر جلوگیری شود.

- سیستم‌های ترکیبی: به صورت ترکیبی از بخش‌های صلب و انعطاف پذیر می‌باشند. طول‌هایی از لوله‌های صلب توسط لوله‌های انعطاف پذیر به هم متصل می‌شوند و خط لوله‌های تامین و تخلیه را ایجاد می‌کنند. در این حالت هزینه کمتری نسبت به سیستم کاملاً انعطاف پذیر نیاز خواهد بود. این لوله‌ها به همراه شناورهای در جت پمپ‌های متحرک، در مناطقی که امواج ملایم هستند، قابل استفاده می‌باشد. بدون شناور، این لوله‌ها با جت پمپ‌های ثابت استفاده می‌شوند.

د) تعداد جت پمپ‌هایی که به صورت هم زمان کار می‌کنند :

• سیستم‌های منفرد : سیستم‌هایی که تنها یک جت‌پمپ در آن‌ها کار می‌کند. طراحی این سیستم‌ها و عملکردشان بسیار ساده خواهد بود. ممکن است تعدادی جت‌پمپ در یک سایت نصب شوند ولی به صورت تکی در زمان‌های مختلف کار کنند. پیچیدگی خطوط لوله و دریچه‌ها با افزایش تعداد جت‌پمپ‌ها زیاد می‌شود. معمولاً سیستم منفرد نسبت به سیستم‌های چند گانه ارجحیت دارد.

• سیستم‌های چندگانه : سیستم‌هایی که در آن‌ها تعداد دو (یا بیشتر) جت‌پمپ در سیستم هم‌زمان کار می‌کنند. این گونه سیستم زمانی استفاده می‌شود که نیاز پروژه گذردهی رسوب با یک جت‌پمپ برطرف نمی‌شود. اگر استفاده از سیستم‌های چند گانه لازم است، باید تعداد جت‌پمپ‌هایی که هم‌زمان کار می‌کنند به حداقل رسانده شود.

### ۳-۲-۲- طراحی اولیه سیستم

هدف این بخش راهنمایی طراحان در زمینه چگونگی وضعیت و نحوه قرار گیری (پیکر بندی) سیستم گذردهی رسوب می‌باشد. در واقع طراح باید جاگذاری‌های مختلفی را در حین طراحی برای سیستم در نظر بگیرد و در نهایت با بررسی تمامی گزینه‌های موجود و بررسی فاکتورهایی نظیر مسائل اقتصادی، طراحی نهایی را انتخاب نماید. دو نکته در این قسمت از راهنما باید مد نظر قرار گیرد.

الف) در این بخش از راهنما مجموعه‌ای از عناوین در مورد طرح اولیه سیستم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این عناوین به ترتیب بیان نشده‌اند. در واقع ترتیب خاصی نمی‌توان برای آن‌ها در نظر گرفت. بسیاری از این موضوعات با چند موضوع دیگر در ارتباط هستند. طراح باید به درک مفاهیم ارائه شده برسد به جای آن که بخواهد مراحل را گام به گام دنبال نماید.

ب) موفقیت طرح اولیه منوط به رسیدن به نرخ گذردهی رسوب مورد نیاز در محل مورد نظر می‌باشد که این موضوع نیز تابع مطالعات مناسب در زمینه فرآیندهای ساحلی می‌باشد. اساس طراحی سیستم گذردهی رسوب، مطالعه فرآیندهای ساحلی است. طراحی یک سیستم جت‌پمپ گذردهی بدون در دست داشتن اطلاعات جزئی و دقیق درباره آیت‌هایی نظیر بردار انتقال رسوبات به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود.

هدف اصلی طراحی اولیه سیستم، رسیدن به یک تخمین اولیه از سیستم گذردهی رسوب است که نتایج بدست آمده در فرآیندهای دقیق طراحی بهبود یافته و تدقیق خواهند شد. هدف ثانویه طراحی اولیه سیستم، شناسایی مناطق دارای مشکل در سایت است که ممکن است مستقل از فرآیندهای ساحلی و یا عملکرد سیستم پمپاژ باشد. در این بخش راهنماهای مربوط به طراحی اولیه ارائه شده‌اند. این دستورالعمل‌ها تابع مود و نوع عملیات، موقعیت، زمان عملیات، ظرفیت، اندازه المان‌های مختلف و مشخصات سیستم هستند. باید یاد آوری شود که دستورالعمل‌ها تنها راهنماهای اولیه هستند و پس از انجام محاسبات دقیق تر، ممکن است تغییراتی لازم باشد. هر چند که معمولاً استفاده از این دستورالعمل‌ها باید به یک انتخاب منطقی برای اجزای سیستم منجر شود.

**الف- هدف سیستم گذردهی رسوب**

دو هدف اصلی در طراحی هر سیستم گذردهی رسوب وجود دارد:

الف) کاهش کم عمق شدگی کانال نوابری در اثر نشست رسوبات

ب) برطرف ساختن تغییرات ساحلی غیر مطلوب که در اثر توقف انتقال طبیعی رسوبات ایجاد شده‌اند

هدفی که قرار است سیستم گذردهی رسوب آن را تامین نماید باید تعیین شود تا بتوان شرایط مورد نیاز جهت رسیدن به هدف را فراهم نمود. به عنوان مثال سیستم گذردهی رسوب که با هدف حفاظت از کانال نوابری طراحی می‌شود، به گونه‌ای نصب و احداث می‌شود تا با عملیات خود رسوباتی که باعث کم عمق شدگی کانال نوابری می‌شوند را گذردهی نماید. از سوی دیگر سیستمی که هدف آن تامین دوره‌ای رسوب (تغذیه) ساحل پایین دست می‌باشد، نحوه نصب و عملکرد متفاوتی خواهد داشت. طراح باید در طراحی یک سیستم دومنظوره (سیستمی که مشکل کم عمق شدگی کانال‌ها و فرسایش پایین دست ساحل را به طور هم زمان برطرف کند) احتیاط نماید. علیرغم این‌که مشکلات کم عمق شدگی کانال‌های نوابری و تغییرات خط ساحلی در یک محل ممکن است در ارتباط با یکدیگر باشند، حل هر دو مشکل به صورت هم زمان به دلایل زیر دشوار می‌باشد.

الف) ارتباط و اندرکنش‌های بین دو مشکل اغلب اوقات پیچیده‌تر از آنچه به نظر می‌رسد، می‌باشد.

ب) حالت بهینه برای حل یکی از مشکلات با استفاده از سیستم گذردهی رسوب، با حالت بهینه برای مشکل دیگر متفاوت است. در نهایت طراحی یک سیستم دو منظوره این چینی، معمولاً یک سیستم گذردهی رسوب خواهد بود که قادر نیست هیچ یک از دو مشکل را به خوبی برطرف نماید.

راه حل مناسب این است که سیستم تنها برای حل یکی از مشکلات مذکور طراحی شود و در نهایت در انتهای فرآیند طراحی بررسی شود که اثر سیستم طراحی شده بر مشکل دیگر چگونه بوده است. در بسیاری مواقع مشخص می‌شود که سیستم طراحی شده برای حل یک مشکل، آثار مثبتی بر حل مشکل دیگر نیز داشته است. با بازبینی طراحی ممکن است اصلاحاتی صورت گیرد که بر روی مشکل دیگر نیز آثار مثبت داشته باشد، بدون این‌که بر کیفیت حل مشکل اولیه تاثیر منفی داشته باشد.

**ب- طریقه عملکرد سیستم جت پمپ گذردهی**

یک سیستم جت پمپ گذردهی دو حالت ممکن برای انجام عملیات دارد:

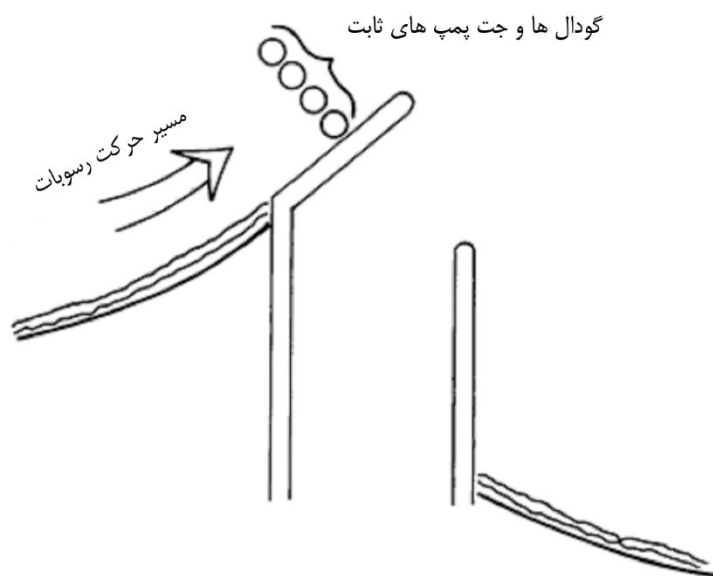
الف) برداشت رسوبات از محل نشست و تجمع آن‌ها

ب) ممانعت از انتقال رسوبات در حال حرکت موازی ساحل و برداشت آن‌ها در حین حرکت

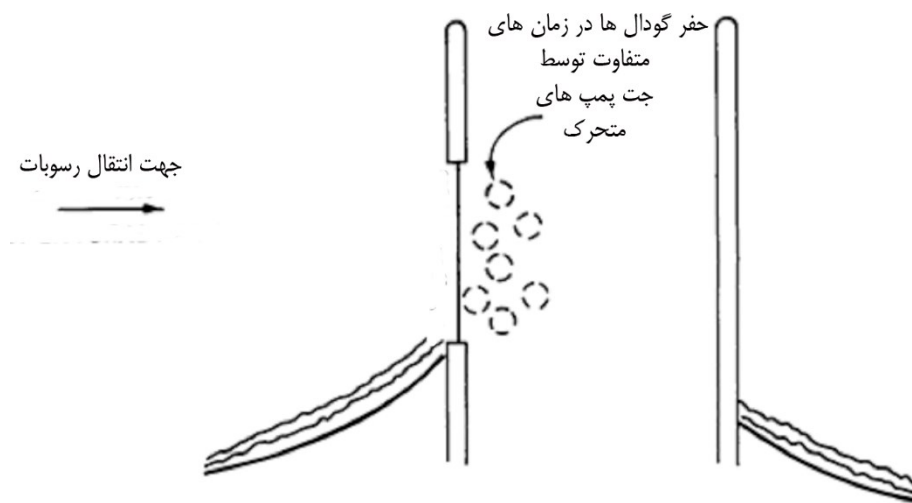
در طراحی اولیه سیستم، یکی از دو حالت فوق باید به عنوان مود اولیه عملیات انتخاب شود و طراحی بر اساس آن صورت گیرد. معمولاً حالت (الف) نسبت به حالت (ب) ترجیح داده می‌شود. سیستمی که برای حالت الف طراحی می‌شود ظرفیت کوچک‌تری داشته و هزینه کمتری خواهد داشت. در این حالت منطقه تجمع رسوب به عنوان یک تله در مسیر

انتقال رسوبات با سرعت بالا عمل می‌کند، که اجازه می‌دهد رسوبات تجمع یافته، و بعداً زمان‌هایی که سرعت انتقال کمتر است، عملیات گذردهی صورت گیرد. این مسئله به نوبه خود یک برنامه عملیاتی منظم برای سیستم را تأمین خواهد کرد. اما سیستمی که برای قطع انتقال رسوب طراحی می‌شود، باید هر زمانی که انتقال و حرکت رسوب وجود دارد، کار کند (شب و روز). در (شکل ۳-۱۰)، نمونه‌ای از نحوه قرارگیری سیستم با مود قطع انتقال رسوبات در حال حرکت<sup>۱</sup>، که محل قرارگیری جت‌پمپ‌ها بر روی مسیر انتقال رسوبات می‌باشد، نشان داده شده است. سیستم با مود قطع انتقال رسوبات در حال حرکت دارای اثرات منفی نیز می‌باشد. به عنوان نمونه اگر سیستم به صورت موثر در قطع جریان رسوب در یک نقطه عمل نماید، ممکن است باعث فرسایش سریع و آنی در پایین دست نقطه شود و مشکلات جدی در پایداری سازه‌های مجاور در اثر این فرسایش ایجاد شود.

از سویی دیگر یک حوضه آبریز حافظت شده در سایت می‌تواند برای جت‌پمپ‌های متحرک که گودال‌هایی در موقعیت‌های مختلف به عنوان یک تله رسوبی ایجاد می‌کنند، مناسب باشد. (شکل ۳-۱۱) این نوع از سیستم را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، دو نمونه نشان داده شده نباید به عنوان راهنمای قطعی در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال دلیلی وجود ندارد جت‌پمپ‌های متحرک در مود قطع انتقال رسوب استفاده نشوند و یا در حوضه‌های آبریز از جت‌پمپ‌های ثابت استفاده نشود. به طور کلی انتخاب نهایی مود سیستم، با توجه به نیازها و محدودیت‌های هر سایت صورت می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰ - جت‌پمپ‌های ثابت در مود قطع انتقال رسوبات



شکل ۳-۱۱- نگهداری از حوضه‌های آبرگیری با جت پمپ‌های متحرک

### ج- اندرکنش با سازه‌های موجود در منطقه

تعداد ناحیه‌هایی که برای جاگذاری و قرارگیری جت پمپ‌های سیستم گذردهی رسوب امکان پذیر می‌باشند، تابع هدف سیستم، نتایج مطالعات فرآیند های ساحلی و نحوه قرارگیری دیگر سازه‌های موجود در سایت می‌باشد. به طور کلی انتخاب اولیه موقعیت جت پمپ‌ها بر اساس ملاحظات مربوط به چند فاکتور صورت می‌گیرد که به برخی از آنها در ادامه اشاره شده است.

(الف) بردارهای انتقال رسوبات ساحلی

(ب) مسیرهای انتقال و حرکت رسوبات و الگوهای رسوب گذاری

(ج) مود عملیات

(د) سازه‌های موجود در منطقه (نزدیکی به تجهیزات ساحلی)

سه مورد اول در بخش‌های قبلی بررسی شده‌اند. در ادامه، به موقعیت‌های پیشنهادی برای استقرار سیستم با توجه به سازه‌های موجود در سایت پرداخته شده است. برخی از انواع سازه‌ها که ممکن است در سایت‌ها وجود داشته باشند و مستقیماً بر سیستم گذردهی رسوب تاثیر گذار باشند، عبارتند از:

(الف) جتی‌ها

(ب) موج شکن‌های دور از ساحل<sup>۱</sup>

(ج) موج شکن‌های متصل به ساحل<sup>۲</sup>

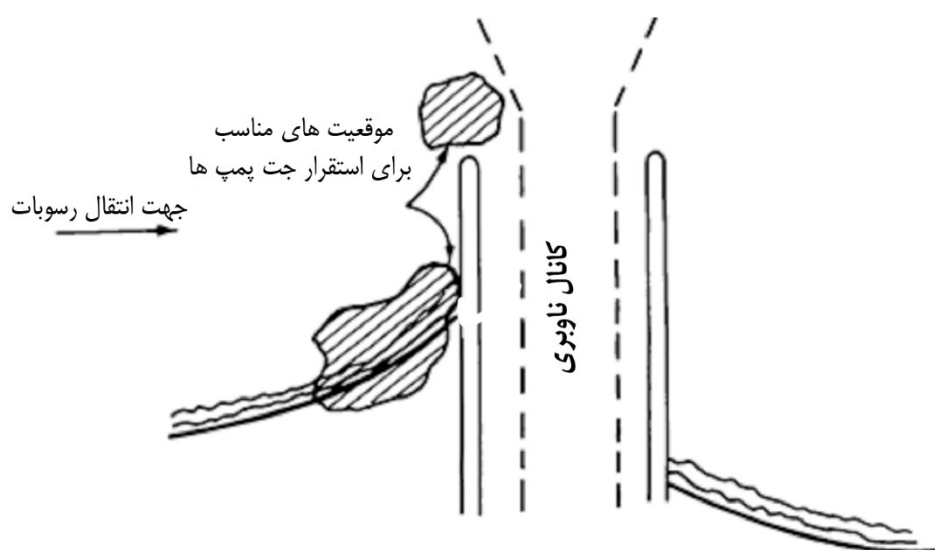
(د) بندها<sup>۳</sup>

1- Offshore breakwater

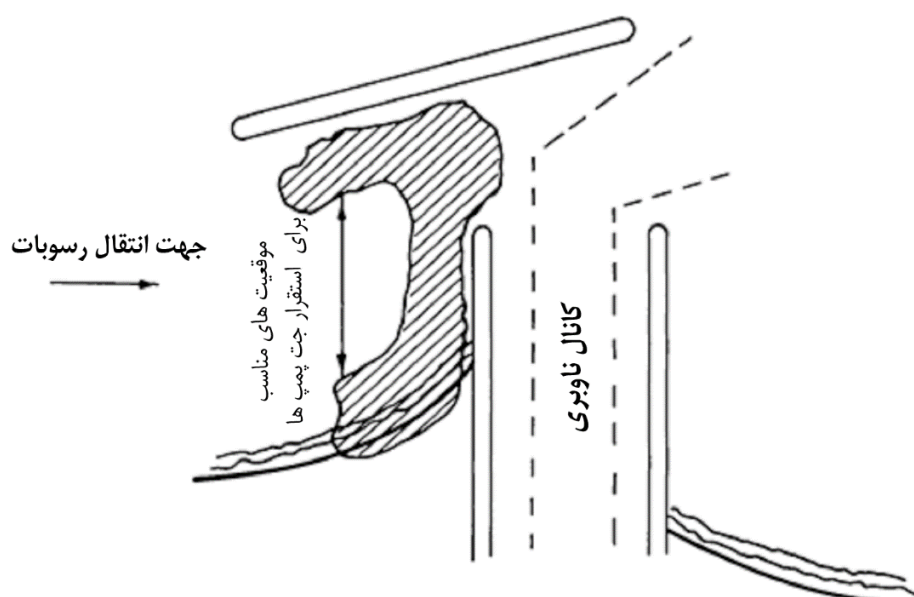
2- Shore-connected breakwater

3- Weir section

(شکل ۳-۱۲) تا (شکل ۳-۱۵) برخی موقعیت‌های ممکن برای این سازه‌ها و موقعیت‌های پیشنهادی مناسب برای قرار گیری جت‌پمپ‌ها را نشان داده‌اند. ناحیه‌های هاشور خورده در این شکل‌ها نواحی هستند که می‌توان جت‌پمپ‌ها را در آن‌ها قرار داد. این نواحی به هیچ عنوان قطعی نیستند. فرضیه (شکل ۳-۱۲) تا (شکل ۳-۱۵) وجود یک جهت غالب انتقال رسوب می‌باشد. در بسیاری از سایت‌های مستعد برای اجرای سیستم گذردهی رسوب، انتقال رسوب تقریباً در دو جهت برابر است. در این شرایط لازم است تا از جت‌پمپ‌ها در دو سمت سایت استفاده کنیم تا بتوان رسوباتی که از هر دو جهت به منطقه وارد می‌شوند را گذردهی نمود.

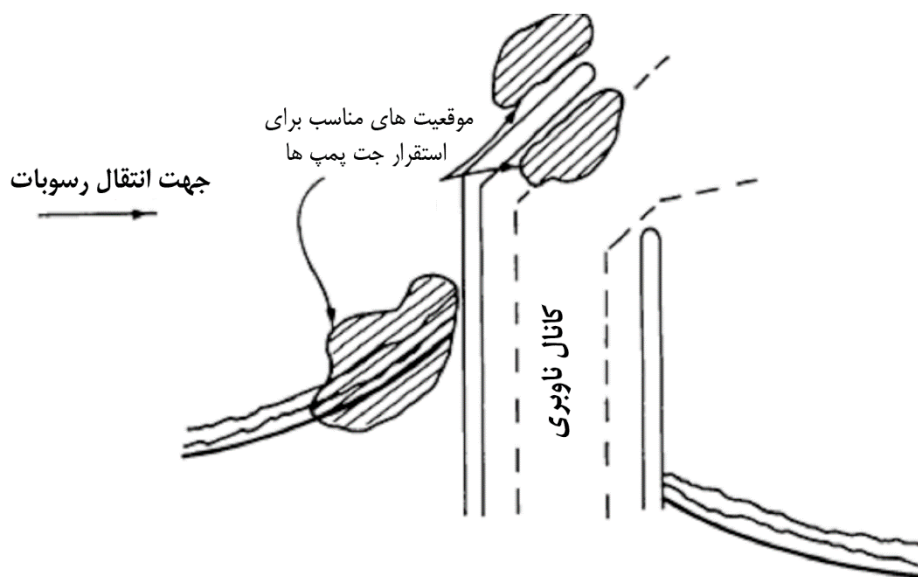


شکل ۳-۱۲- کانال ناوبری مجهز به جتی

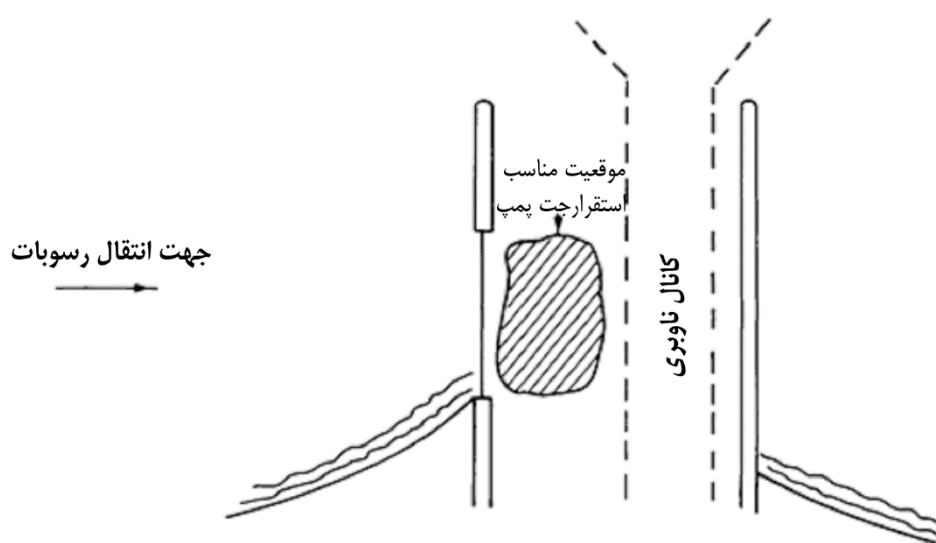


شکل ۳-۱۳- موج شکن دور از ساحل و جتی‌ها





شکل ۳-۱۴- موج شکن متصل به ساحل و جتی‌ها



شکل ۳-۱۵- سیستم‌های متشکل از جتی و بند

#### د- موقعیت تجهیزات ساحلی

در طراحی اولیه باید موقعیت‌های پیشنهادی برای تجهیزات ساحلی سیستم گذردهی رسوب تعیین گردند. باید توجه داشت انتخاب موقعیت استقرار تجهیزات ساحلی یک سیستم با محل جت‌پمپ‌ها در ارتباط است. بنابراین برای اطمینان از یک رویکرد صحیح باید ملاحظات این بخش با موارد ذکر شده در بخش بعدی درباره محل قرارگیری جت‌پمپ‌ها تواما در نظر گرفته شوند.

از یک سو تجهیزات ساحلی باید تا حد امکان نزدیک به جت‌پمپ‌ها باشند. از سویی دیگر جت‌پمپ‌ها نمی‌توانند در محلی که در نزدیکی آن موقعیت مناسبی برای تجهیزات ساحلی وجود ندارد، قرار بگیرند. فاکتورهایی که باید در انتخاب

محل مناسب برای استقرار تجهیزات ساحلی مد نظر قرار بگیرند، در ادامه ذکر شده‌اند. هر چند که این موارد ممکن است تا حدی از محلی به محل دیگر تغییر نمایند.

الف) نزدیکی به موقعیت جت‌پمپ‌ها: فاصله در امتداد مسیر خط لوله از تجهیزات ساحلی تا دورترین جت‌پمپ باید کمتر از حدود ۲۱۰-۱۸۰ متر باشد. مقدار این محدودیت قطعی نیست.

ب) موقعیت پمپ تامین آب: پمپ تامین آب باید تا جای ممکن (هم در جهت افقی و هم در جهت قائم) در نزدیکی یک موقعیت مناسب که بتواند از آن جا آب تمیز را توسط لوله های مکش تامین آب برداشت نماید، قرار بگیرد. این موقعیت باید همواره فاقد کم عمق شدگی<sup>۱</sup> قابل ملاحظه باشد. اگر محل مورد نظر در معرض کم عمق شدگی قرار داشته باشد، باید برای تغییر الگوی آن از روش‌هایی نظیر تغییرات سازه‌ای استفاده نمود. در مرحله طراحی اولیه، پمپ تامین آب باید در محلی قرار بگیرد که (رابطه ۳-۴) برآورده شود.

(رابطه ۳-۴)

$$ELSUP + 0.03(LSUPSA) \leq 4.5$$

ELSUP: ارتفاع محور مرکزی پمپ تامین آب از متوسط ترازهای پایین سطح آب<sup>۲</sup>، متر

LSUPSA: طول تقریبی خط لوله مکش پمپ تامین آب، متر

اگر این رابطه برقرار نشود، باید موقعیتی انتخاب گردد که در نزدیک‌ترین محل ممکن به سیستم قرار داشته باشد. ممکن است با توجه به محاسبات بخش سوم، تغییراتی در پیکربندی سیستم لازم باشد.

ج) دسترسی: ترجیحا محلی که برای تجهیزات ساحلی در نظر گرفته می‌شود باید توسط وسایل نقلیه قابل دسترسی باشد. این مسئله در هنگام احداث سازه بسیار حائز اهمیت بوده و برای راحتی عملکرد سیستم نیز اهمیت دارد. دسترسی توسط سایر وسایل مانند قایق هم امکان پذیر است اما کمتر مقبول واقع می‌شود.

د) در معرض بودن: تجهیزات ساحلی باید در جایی قرار بگیرند که تا حد ممکن از قرار گیری در معرض امواج، در امان باشند. هرچه سیستم بیشتر در معرض عوامل موثر خارجی باشد، هزینه‌های احداث بیشتر خواهد بود.

ه) تامین انرژی و سوخت: در هنگام انتخاب موقعیت قرار گیری تجهیزات ساحلی باید به امکان سوخت رسانی و یا اتصال به منبع تامین نیرو و انرژی توجه کرد. هر چند که این فاکتور، یک فاکتور کنترل کننده محسوب نمی‌شود.

#### ه- موقعیت جت‌پمپ‌های تکی (منفرد)

در طراحی اولیه سیستم‌های دارای جت‌پمپ، ابتدا شرایط با در نظر گرفتن به کارگیری یک جت‌پمپ بررسی می‌شود. هدف اصلی از به کار بردن جت‌پمپ‌های تکی در طراحی اولیه، برآورد مقدار تقریبی موارد زیر است.

الف) تعداد کل جت‌پمپ‌های مورد نیاز سیستم

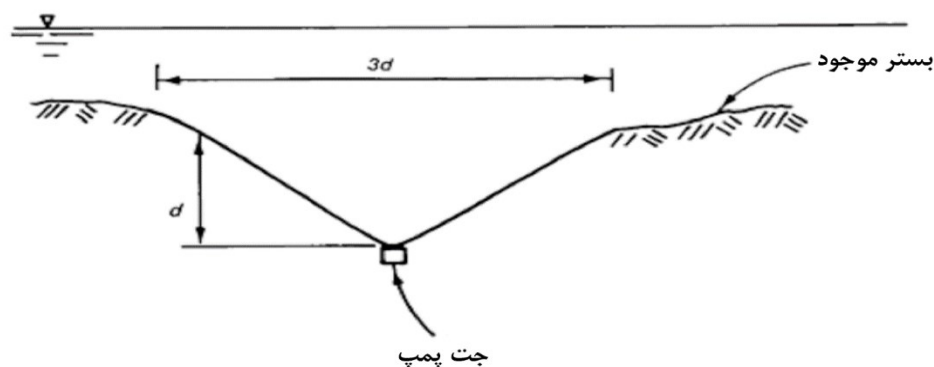
1- Shoaling

2- mean low water

(ب) طول لوله‌های تامین و تخلیه جت پمپ

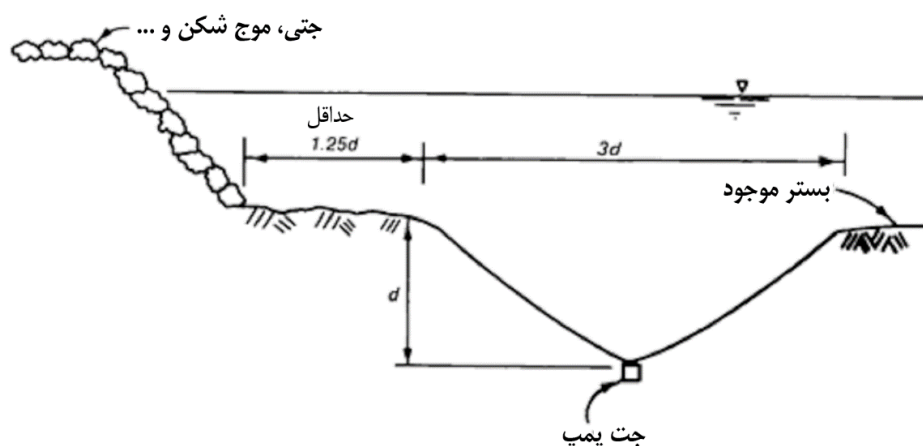
(ج) اندازه، موقعیت و تعداد گودال‌ها

موارد الف و ج به یکدیگر وابسته هستند. واضح است که تعداد گودال‌ها در سیستم به تعداد جت پمپ‌های سیستم مرتبط است. هم‌چنین تعداد جت پمپ‌ها هم تابع اندازه گودال‌ها می‌باشد. مثلاً در سیستم‌هایی که جت پمپ‌های ثابت برای برداشت رسوبات از گودال‌ها استفاده می‌شوند، هر چه گودال‌ها بزرگ‌تر باشند، جت پمپ‌های کمتری نیاز خواهد بود. برای طراحی اولیه گودال‌ها، گودال‌های مخروطی شکل با ابعاد (شکل ۳-۱۶) قابل فرض هستند.



شکل ۳-۱۶- ابعاد پیشنهادی برای طراحی گودال‌ها

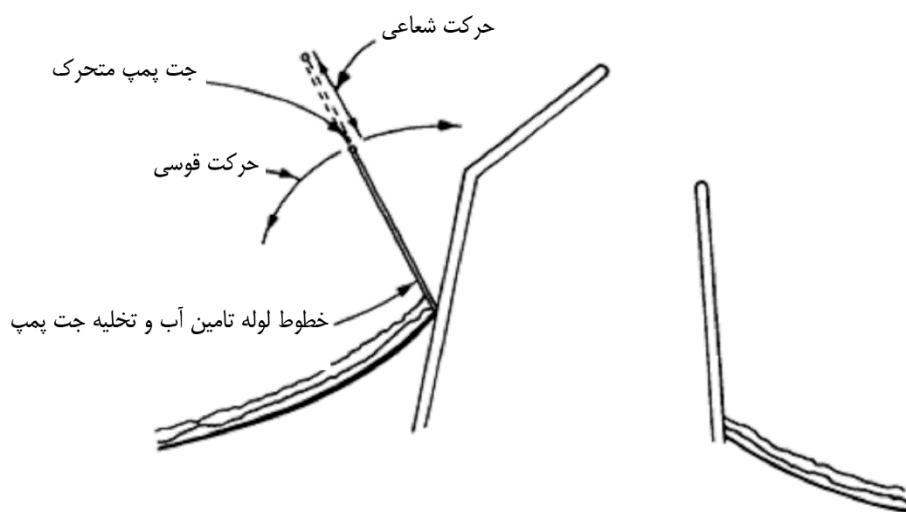
عمق قرار گیری جت پمپ در زیر بستر موجود ( $d$ ) با فاکتورهای مختلفی محدود می‌شود. حداکثر مقدار عملی برای عمق قرار گیری جت پمپ ۷/۵ متر است اما به لحاظ تئوری محدودیتی وجود ندارد. وجود لایه‌های سخت و چسبنده، مقدار  $d$  را محدود می‌کنند (موقعیت شروع لایه‌های سخت یا چسبنده، بر مقدار  $d$  تاثیر گذار است). اگر چنین لایه‌ای در ۱/۵-۲ متر پایین‌تر از بستر وجود داشته باشد، کاربرد جت پمپ‌ها در این محل با مشکل مواجه خواهد شد. هم‌چنین نزدیکی یک جت پمپ به سازه‌های سنگی مانند جتی‌ها یا موج شکن‌ها، یک محدودیت غیر مستقیم بر مقدار  $d$  در آن محل اعمال می‌کند. در چنین شرایطی، قرار دادن جت پمپ در نزدیکی سازه، منجر به فرسایش فونداسیون سازه مجاور خواهد شد. بر عکس اگر جت پمپ در فاصله خیلی زیادی هم قرار بگیرد، مقدار قابل توجهی از رسوبات انتقالی ممکن است از کنار سیستم عبور کنند و در مجاورت سازه تجمع یابند. (شکل ۳-۱۷) ابعاد پیشنهادی برای موقعیت ابتدایی جت پمپ در مجاورت سازه‌ها را نشان می‌دهد. گروهی از چنین جت پمپ‌هایی تهدید بزرگ‌تری برای پایداری سازه مجاور محسوب می‌شوند. آثاری که گروهی از جت پمپ‌ها ممکن است بر پایداری سازه‌های مجاور داشته باشند، باید به صورت موردی، جداگانه بررسی شود.



شکل ۳-۱۷- ابعاد پیشنهادی برای موقعیت جت پمپ در مجاورت سازه

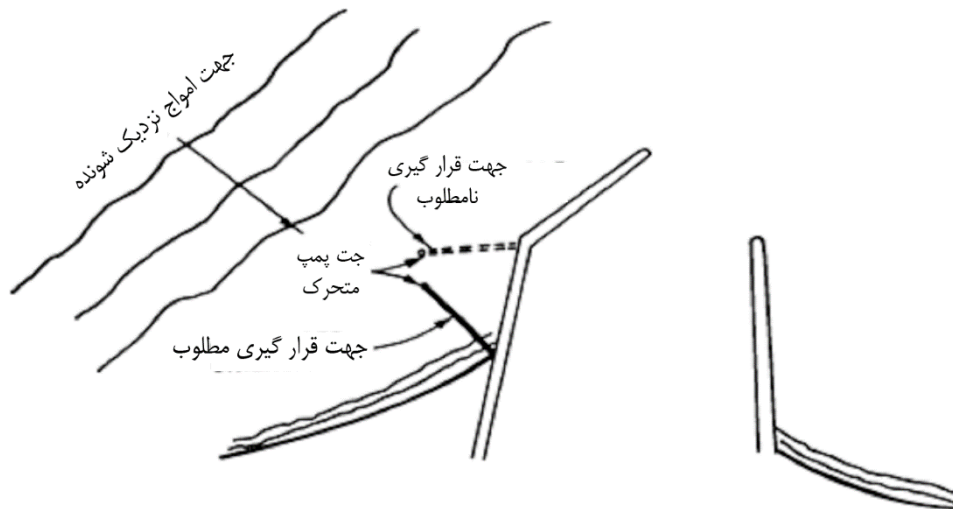
برای جت پمپ‌های متحرک، عبارت موقعیت، محدوده‌ای را تعیین می‌کند که هر جت پمپ در آن باید کار کند. موارد زیر برای طراحی جت پمپ‌های متحرک باید در نظر گرفته شود.

الف) جت پمپ‌های متحرک در امتداد یک قوس نسبت به حرکت به سمت جلو و عقب در طول یک شعاع، راحت‌تر حرکت می‌کنند (شکل ۳-۱۸). نوع دوم حرکت معمولاً شامل طویل کردن یا کوتاه کردن لوله‌های تامین و تخلیه است.



شکل ۳-۱۸- انواع حرکات جت پمپ متحرک

ب) لوله‌های تامین و تخلیه باید به گونه‌ای در آب قرار بگیرند که تا حد ممکن عمود بر امواج نزدیک شوند باشند (شکل ۳-۱۹).



شکل ۳-۱۹- جهت گیری جفت پمپ متحرک

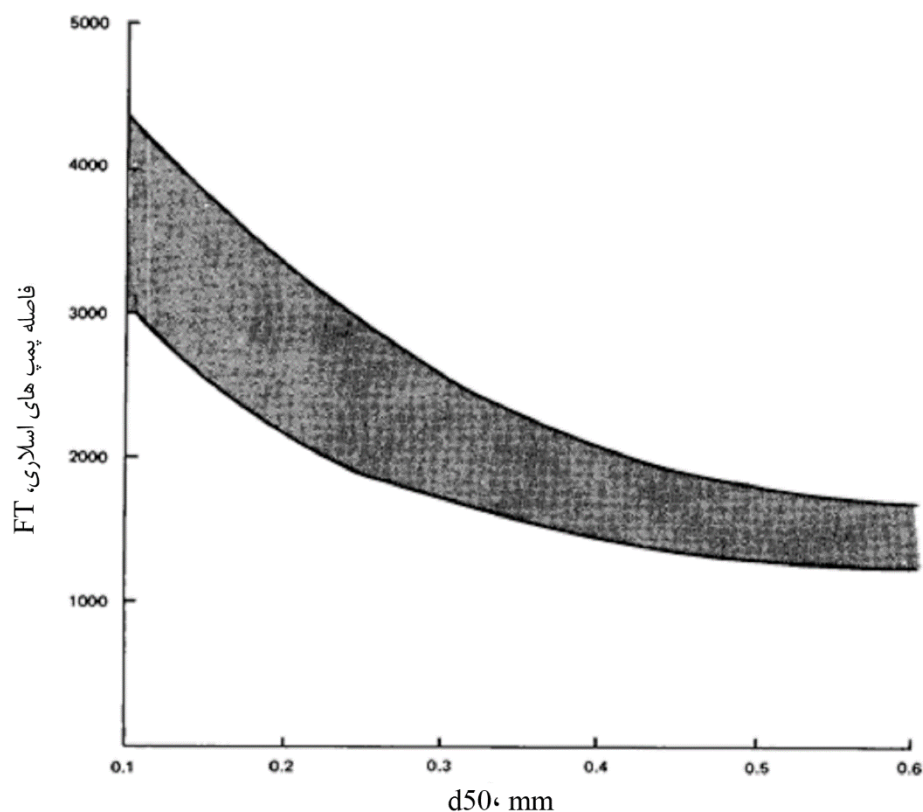
ج) بیشترین مقدار طول لوله تامین و تخلیه در آب باید کمتر از ۱۲۰ متر باشد. این یک محدودیت عملی است. با توجه به مشکلاتی که در کنترل لوله‌های بلند شناور وجود دارد، لوله‌های کوتاه تر بهتر خواهند بود.

#### و- منطقه تخلیه رسوبات حاصل از گذردهی رسوب

در طراحی اولیه سیستم باید محل (یا محل‌های) تقریبی برای پمپاژ مصالح برداشت شده توسط سیستم تعیین گردد. هدف از انتخاب چنین موقعیتی در این مرحله، ایجاد امکان تعیین طول خط لوله تخلیه و تعداد پمپ‌های تقویتی (اسلاری) لازم می‌باشد. محل تخلیه تا حدود زیادی با توجه به اطلاعات جمع آوری شده در زمینه فرآیندهای ساحلی، هدف احداث سیستم گذردهی رسوب و نیازها و محدودیت‌های موجود در سایت قابل تعیین است. نقاط تخلیه نباید بیش از حد نیاز از سایت سیستم گذردهی رسوب دور باشند. همچنین نباید آن قدر به محل نزدیک باشند که مواد تخلیه شده مجدداً با فرآیندهای ساحلی به محل قبلی خود بازگردند. به علاوه نقاط تخلیه نباید در ناحیه‌ای باشند که جابه جایی و انتقال رسوبات کم است و یا اصلاً وجود ندارد. زیرا در این حالت رسوبات دچار رکود شده و هیچ گونه جابه جایی نخواهند داشت.

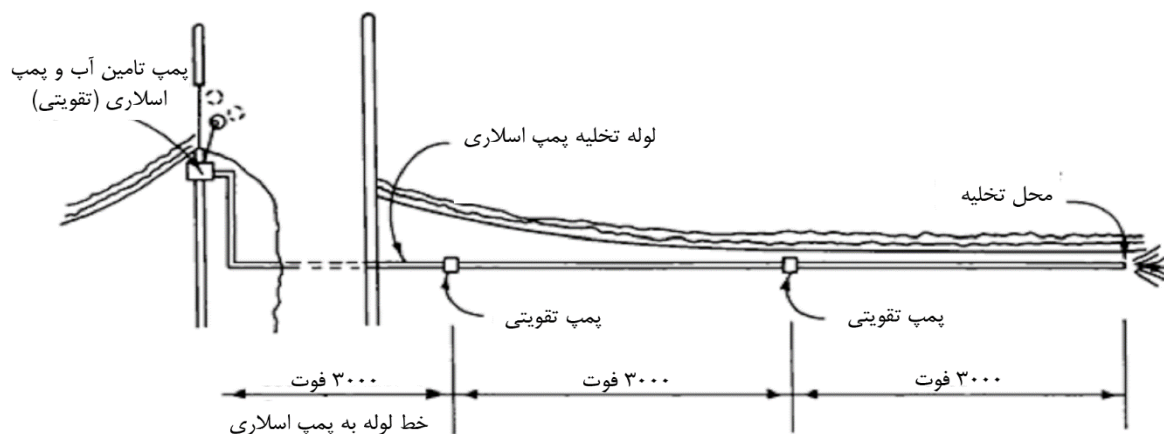
#### ز- برآورد تعداد پمپ‌های اسلاری مورد نیاز

بدست آوردن آمار تقریبی تعداد پمپ‌های اسلاری مورد نیاز، با مساوی فرض کردن فاصله بین پمپ‌های اسلاری در امتداد لوله تخلیه امکان پذیر است. این فاصله اولیه ممکن است در مراحل بعدی بر اساس محاسبات بخش سوم تغییر نماید. (شکل ۳-۲۰) محدوده مقادیر پیشنهادی برای تخمین فاصله بین پمپ‌های اسلاری را به صورت تابعی از قطر متوسط ( $d_{50}$ ) ذراتی که باید گذردهی شوند، نشان می‌دهد. طراح باید برای اندازه رسوب مورد نظر مقداری را از این شکل انتخاب کند که در ناحیه هاشور خورده قرار بگیرد و بعداً از این مقدار در طراحی استفاده نماید.



شکل ۳-۲- تخمین اولیه فاصله پمپ‌های اسلاری به صورت تابعی از اندازه رسوبات

به عنوان مثال اگر رسوباتی که قرار است گذردهی شوند دارای  $d_{50}=0.2 \text{ mm}$  باشند، بر اساس طرح فیزیکی سایت، ممکن است طراح فاصله اولیه پمپ‌های اسلاری را ۳۰۰۰ فوت (۹۰۰ متر) انتخاب نماید. اگر کل طول لوله تخلیه ۹۰۰۰ فوت (۲۷۰۰ متر) باشد، در طراحی اولیه سیستم ۳ پمپ اسلاری وجود خواهد داشت. اولین پمپ اسلاری در نزدیک‌ترین فاصله ممکن به جت پمپ قرار خواهد داشت (معمولاً در موقعیت یکسان با موقعیت پمپ تامین). دومی در فاصله ۹۰۰ متر از نقطه اول بر روی لوله تخلیه قرار دارد و سومی در فاصله ۱۸۰۰ متر از نقطه اول بر روی لوله قرار می‌گیرد (شکل ۳-۲۱).



شکل ۳-۲۱- نمونه قرار گیری سه پمپ اسلاری در امتداد لوله تخلیه به طول ۹۰۰۰ فوت برای پمپاژ ماسه با قطر متوسط ۰٫۲ میلیمتر

### ح- زمان عملکرد موثر<sup>۱</sup> سیستم گذردهی رسوب

به طور کلی برنامه‌های زمانی که می‌توانند برای عملیات سیستم گذردهی رسوب در نظر گرفته شوند عبارتند از:

(الف) برنامه روزانه: عملیات به صورت دوره‌های منظم روزانه، ۶-۵ روز در هفته انجام گیرد.

(ب) برنامه متناوب: عملیات تنها در زمان‌های خاصی که گذردهی رسوب لازم است انجام می‌شود. این بدین معناست که سیستم ممکن است در دوره‌ای اصلاً کار نکند و در دوره‌ای ۲۴ ساعته کار کند.

هر یک از دو برنامه فوق می‌توانند در کل سال یا فقط به صورت فصلی یا به صورت ترکیبی استفاده شوند. یعنی ممکن است تصمیم گرفته شود که سیستم در دوره‌ای از سال که حجم رسوبات انتقالی زیاد است روزانه کار کند و در بقیه زمان‌ها به صورت دوره‌ای کار کند.

زمان کل عملیات<sup>۲</sup> سیستم‌های گذردهی رسوب عبارت است از تعداد ساعاتی در هر سال که پرسنل حضور دارند و سیستم می‌تواند کار کند. تعیین برنامه زمانی عملیات تابع فاکتورهای مختلفی نظیر نیروی انسانی در دسترس، محدودیت‌های محلی در عملکرد سیستم، رسوبات در دسترس برای گذردهی رسوب و فاکتورهایی که مختص به هر سایت هستند (نظیر طول دوره یخبندان در طول سال)، می‌باشد.

مفهوم زمان موثر عملیات سیستم گذردهی رسوب به عنوان مفهومی به غیر از کل زمان عملیات سیستم تعریف می‌شود. تخمین این زمان برای محاسبه ظرفیت مورد نیاز سیستم ضروری است. زمان موثر عملیات عبارت است از تعداد ساعاتی در هر سال که سیستم گذردهی رسوب رسوبات را عملاً پمپاژ می‌کند. مدت زمان موثر عملیات با روشی که در ادامه ذکر شده است قابل تخمین می‌باشد. تعداد روزهای کاری در سال به صورت تخمینی، ضرب در تعداد ساعاتی کاری هر روز، کل ساعات عملیات در سال را بدست می‌دهد. با توجه به شرایط عملی و امکان وجود وقفه‌هایی در کار، این زمان باید اصلاح شود. فاکتورهای اصلاحی که در ادامه آمده‌اند، در تعیین زمان موثر کمک خواهند کرد.

- توقف در انجام عملیات به واسطه خرابی سیستم و تعمیرات مورد نیاز، از علل وقفه در کارکرد یکنواخت سیستم‌های گذردهی رسوب می‌باشد. ضرایب تصحیح برای وقفه‌های ایجاد شده در عملیات به دلیل تعمیر سیستم و تعویض تجهیزات، قابل اعمال بر روی هر دو گروه عملیات روزانه و ادواری هستند (اما مقدار آن‌ها برای حالت دوم باید کمتر نظر گرفته شود). عملیات متناوب باید به گونه‌ای باشد که سطح بالاتر نگهداری‌های پیشگیرانه انجام شود و فرکانس تعمیرات کاهش یابد. در پروژه تحقیقاتی WES مشاهده شد که با کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصدی زمان کل عملیات، یک زمان موثر منطقی برای میانگین‌های بلند مدت روزانه بدست خواهد آمد. لازم به ذکر است سیستم در ابتدای عمر مفید خود کمتر دچار مشکلات شده و با گذشت زمان، احتمال افزایش اختلالات وجود خواهد داشت.

1- Effective Operating Time

2- Total operating time

- یکی از رایج‌ترین علل ایجاد وقفه در عملیات سیستم‌های گذردهی رسوب، مسدود شدن دهانه مکش جت پمپ می‌باشد. در سایت‌هایی که مقدار قلوه سنگ‌ها، قطعات پوسته‌ها، گیاهان دریایی و زباله‌های شناور در سطح آب زیاد است، باید ضریب کاهشی بزرگ‌تری برای انسداد مکش‌ها در نظر گرفته شود. معمولاً جت پمپ‌های ثابت نسبت به انسداد توسط عوامل متحرک حساس‌تر هستند (نظیر جلبک‌های دریایی، زباله‌های روی آب و ...). در حالی که جت پمپ‌های متحرک بیشتر تحت تاثیر عوامل در محل هستند (به عنوان مثال قلوه سنگ‌ها). بروز انسداد ناشی از عوامل در محل و عوامل متحرک ممکن است انتقال و جابه جایی‌های مکرر جت پمپ‌های متحرک را ضروری سازد. جت پمپ‌های متحرک ضریب تصحیح بزرگ‌تری نسبت به جت پمپ‌های ثابت نیاز دارند. فاکتورهای اصلاحی که برای انسداد جت پمپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند در حدود ۵٪ برای جت پمپ‌های ثابت، ۱۰٪ برای جت پمپ‌های متحرک و ۲۰٪ برای جت پمپ‌هایی که در نواحی با قلوه سنگ‌ها و پوسته‌ها و یا زباله‌ها هستند، می‌باشد.

- یکی دیگر از علل ایجاد وقفه در عملکرد سیستم‌های گذردهی رسوب، کمبود موقت رسوبات است که مجموعه جت پمپ‌های ثابت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در تئوری، یک سیستم گذردهی رسوب که به صورت مناسب طراحی شده است، رسوبات مورد نیاز برای پمپاژ را در محل عملیات برای کل زمان عملیات در دسترس دارد. با این حال ممکن است شرایطی ایجاد شود که الگوهای انتقال و نشست رسوبات و نرخ آن‌ها به اندازه‌ای تغییر کند که سیستم با کمبود رسوب مواجه شود. هیچ روش قطعی برای تخمین این اثر وجود ندارد، اما فاکتور ۵٪ می‌تواند در نواحی با عدم قطعیت در انتقال رسوب و میزان رسوب‌گذاری اعمال شود.

- تغییر مکان تجهیزات جت پمپ‌های متحرک به دلایلی نظیر انسداد مکش آن‌ها نیز یکی از عوامل ایجاد وقفه در انجام عملیات گذردهی رسوب به حساب می‌آید. میزان این وقفه‌ها تابع متغیرهایی نظیر سرعت پمپاژ، عمق گودال‌ها و سرعت ورود رسوبات می‌باشد. زمانی که سرعت جریان ورودی کم و عمق گودال هم کم باشد، جابه جایی مکرر جت پمپ ممکن است ضروری باشد. این شرایط بسیار متغیر است اما فاکتور ۱۰٪ ممکن است به عنوان شرایط متوسط در اولین حدس به تجهیزات متحرک اعمال شود. پیش بینی حرکت زیاد جت پمپ ممکن است این فاکتور را به ۲۰-۱۵٪ افزایش دهد.

با تخمین مقادیر فاکتورهای اصلاحی فوق الذکر، زمان موثر عملیات، EOT (ساعت در سال) برای سیستم گذردهی رسوب با (رابطه ۳-۵) قابل محاسبه خواهد بود.

(رابطه ۳-۵)

$$EOT = (NOD * HD)[1.00 - (RR + PB + ALM + RMP)]$$

NOD: تعداد روزهای عملیات در سال

HD: تعداد ساعات کاری در یک روز عملیات

RR: فاکتور تصحیح برای تعمیر سیستم و تعویض قطعات ÷ ۱۰۰

PB: فاکتور تصحیح برای انسداد جت پمپ ÷ ۱۰۰



ALM: فاکتور تصحیح عدم وجود رسوبات  $\div 100$

RMP: فاکتور تصحیح جابه‌جایی مجموعه جت‌پمپ‌های متحرک  $\div 100$

کاربرد مناسب فاکتورهایی که در این بخش بحث شد، باید منجر به یک تخمین واقع بینانه از زمان عملکرد موثر برای سیستم گذردهی رسوب شود. مطالعات صورت گرفته نشان داده‌اند که زمان موثر عملیات می‌تواند کوچکتر از ۵۰٪ (و یا کمتر) از کل زمان عملیات باشد. اگر زمان موثر عملیات نسبتاً کم باشد، باید به یاد داشته باشیم که بسیاری از سیستم‌های لایروبی نیز چنین مشخصه مشابهی را دارند. اکثر لایروب‌ها مدت زمان زیادی را صرف انتقال رسوب و تخلیه آن‌ها در سایت مورد نظر می‌کنند. اگر محل و سایت لایروبی در معرض امواج شدیدی باشد، لایروب‌های شناور برای مدت طولانی عملیات خود را متوقف می‌کنند که در نتیجه زمان موثر کارکردشان کاهش خواهد یافت.

#### ط- ظرفیت سیستم گذردهی رسوب

رابطه کوتاه مدت بین نرخ انتقال رسوب در ساحل، ظرفیت سیستم گذردهی رسوب و حجم ذخیره در دسترس در سایت با (رابطه ۳-۶) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۶)

$$Q_L(\Delta t) - \text{STORE}_{\Delta t} = \text{EXC}(\text{EOT}_{\Delta t})$$

$Q_L$ : میانگین نرخ انتقال رسوب به منطقه ذخیره در بازه زمانی  $\Delta t$ ، متر مکعب بر ساعت

$\Delta t$ : بازه زمانی در فصل گذردهی، ساعت (این بازه زمانی باید تا جای ممکن کوتاه و در سازگاری با داده‌های موجود

باشد)

$\text{STORE}_{\Delta t}$ : حجم ذخیره در دسترس در بازه زمانی  $\Delta t$ ، متر مکعب

EXC: ظرفیت مورد نیاز سیستم گذردهی رسوب، متر مکعب بر ساعت

$\text{EOT}_{\Delta t}$ : زمان موثر عملیات سیستم در بازه زمانی  $\Delta t$ ، ساعت

$\text{STORE}_{\Delta t}$  یک مقدار ثابت و مشخص ندارد اما تابع فاکتورهایی مانند شرایط منطقه ذخیره سازی در آغاز بازه زمانی  $\Delta t$  می‌باشد. ذخیره و تجمع رسوبات ساحلی به یک فرم یا شکل‌های گوناگون در همه موانع ساحلی اتفاق می‌افتد. اغلب اوقات این ذخیره رسوب فراوان و یا بخشی از آن است که عملیات گذردهی رسوب را ضروری می‌سازد. ارزیابی ذخیره سازی برای هدف گذردهی رسوب به این دلیل که تنها بخشی از کل ذخیره رسوبات در سایت ممکن است برای انتقال با سیستم گذردهی رسوب در دسترس باشد، دچار پیچیدگی می‌شود. رسوبات ذخیره شده‌ای که توسط سیستم قابل دسترسی نباشند، نباید در آنالیز سیستم لحاظ شوند. هم‌چنین به دلیل تغییرات نرخ انتقال رسوب در طول سال، سیستم ممکن است به طور موقت همه رسوبات را از ناحیه ذخیره برداشت کند.

برای اهداف طراحی اولیه، مناطقی که به طور بالقوه در دسترس سیستم گذردهی رسوب هستند باید به عنوان مناطق ذخیره سازی تعیین و شناخته شوند. به عنوان یک قاعده تقریبی تمامی مناطقی که پایین‌تر از میانگین تراز بالای سطح آب<sup>۱</sup> هستند و در موقعیتی هستند که طول کل خط لوله تخلیه جت پمپ از آن‌ها از ۲۱۰-۱۸۰ متر تجاوز نمی‌کند، می‌توانند به طور بالقوه در دسترس سیستم‌های جت پمپ گذردهی در نظر گرفته شوند. مقادیر ۲۱۰-۱۸۰ متر برای تخمین اولیه ارائه شده‌اند و به عنوان یک مقدار قطعی و نهایی نیستند. برای جت پمپ‌های متحرک، این مقادیر با توجه به محدودیت‌های عملی مربوط به اجرای خطوط لوله شناور در مسافت‌های طولانی تعیین می‌شود. بنابراین ممکن است مقادیر کمتری برای این جت پمپ‌ها در نظر گرفته شود، مگر آن که اقدامات ویژه ای صورت گیرد. در جت پمپ‌های ثابت که مشکل مولفه‌های شناور وجود ندارد، دامنه سیستم تابعی از هیدرولیک و ملاحظات تامین نیرو می‌باشد. در بسیاری از موارد چنانچه طول خط تخلیه بیش از حد طولانی شود، انرژی و نیروی مورد نیاز به سرعت بالا می‌رود. به منظور تعیین ظرفیت ذخیره سازی، مطالعات پیشین صورت گرفته در منطقه همراه با برآوردهای مربوط به فرآیندهای ساحلی و بررسی بردارهای انتقال رسوب باید تحلیل شده و موارد زیر تعیین گردند.

الف) آیا رسوبات انتقال یافته وارد مناطق مورد نظر می‌شوند؟

ب) الگوهای نشست چگونه هستند و این الگوها با زمان چگونه تغییر می‌کنند؟

با انجام این آنالیزها، مقادیر قابل قبول برای ظرفیت ذخیره (مقدار رسوباتی که در یک زمان قابل نگهداری است) بدست خواهد آمد.

$Q_L$  که در (رابطه ۳-۶) استفاده شد، ورودی خالص متوسط رسوبات از تمام جهات می‌باشد. به عبارت دیگر بیانگر نرخ میانگین رسوبات ساحلی که به سمت منطقه ذخیره حرکت می‌کنند و به مدت  $\Delta t$  در آنجا باقی می‌مانند، می‌باشد. بیشترین مقدار  $Q_L$ ، میانگین نرخ ناخالص انتقال رسوب از تمام جهات به داخل محدوده ذخیره (نه خارج از آن) در مدت  $\Delta t$  می‌باشد. استفاده از این مقدار با این فرض است که ناحیه ذخیره سازی همه رسوبات و مصالح ساحلی را که به سمت آن حرکت می‌کنند، به دام می‌اندازد. در برخی موارد تمام رسوباتی که به سمت محل ذخیره سازی حرکت می‌کنند در آنجا به دام نیفتاده و بخشی از رسوبات از ناحیه عبور می‌کنند. این اتفاق ممکن است در دوره‌های با فعالیت شدید امواج و یا جریان‌های قوی رخ دهد. بخشی از رسوبات که از ناحیه عبور کنند، برای گذردهی رسوب در دسترس نخواهد بود. در نتیجه ذخیره کمتر و ظرفیت تولید پایین‌تری برای سیستم مطرح می‌شود.

عملکرد سیستم گذردهی رسوب نیز در ناحیه ذخیره‌سازی بر روی مقدار انتخابی برای  $Q_L$  تاثیر گذار خواهد بود. معمولاً قابلیت به دام اندازی رسوبات در ناحیه ذخیره سازی به دلیل گودال‌های تشکیل شده توسط جت پمپ‌های سیستم، افزایش خواهد یافت. میزان این افزایش بسته به متغیرهایی مانند تعداد، اندازه، موقعیت و شرایط گودال‌ها متفاوت خواهد بود.

1- Mean high water

- در بخش قبلی روش محاسبه EOT (زمان عملکرد موثر در سال)، تعیین گردید. روش مشابه برای تعیین  $EOT_{\Delta t}$  در یک بازه زمانی مشخص قابل استفاده است.

زمانی که  $Q_L$ ،  $STORE_{\Delta t}$  و  $EOT_{\Delta t}$  مشخص شوند، (رابطه ۳-۶) را می‌توان به صورت مرتب شده‌ای برای تعیین مقادیر مختلف EXC (ظرفیت تولید سیستم) استفاده کرد.  
(رابطه ۳-۷)

$$EXC = \frac{Q_L (\Delta t) - STORE_{\Delta t}}{EOT_{\Delta t}}$$

(رابطه ۳-۷) را می‌توان در بسیاری از طرح‌های ممکن برای رسیدن به یک مقدار نهایی برای EXC به کار برد. رویکرد زیر تنها به عنوان یک نمونه ارائه شده است.

الف) برای  $\Delta t$  مربوط به بازه زمانی مشخصی در سال، یک مقدار و یا بازه ای از مقادیر برای  $Q_L$  که از مطالعات فرآیندهای ساحلی (با در نظر داشتن نکات مربوط به تعیین  $Q_L$ ) به دست آمده است، تعیین می‌شود.

ب)  $EOT_{\Delta t}$  با استفاده از (رابطه ۳-۵) و رعایت ملاحظات مربوط به آن، محاسبه می‌شود. ممکن است چندین مقدار ممکن باشد.

ج) ظرفیت منطقه ذخیره‌سازی با توجه به نکات ارائه شده، تعیین می‌شود. اگر ظرفیت ذخیره‌سازی در طول سال تغییر کند، تاثیر آن باید مد نظر قرار بگیرد زیرا محاسبه برای زمان خاصی از سال صورت می‌گیرد.

د) تخمین‌های منطقی در مورد شرایط محدوده ذخیره‌سازی در ابتدای گام زمانی  $\Delta t$  در نظر گرفته می‌شود. مرزهای این محدوده عبارتند از حالت کاملاً پر و یا حالت کاملاً خالی منطقه ذخیره‌سازی. با این وجود، شرایط واقعی احتمالاً بین شرایط این دو مرز خواهد بود.

ه) محدوده مقادیر  $STORE_{\Delta t}$  بر اساس محدوده شرایط اولیه تعیین شده در بند (د)، محاسبه می‌شود. برای هر شرایط مشخص اولیه داریم:

(رابطه ۳-۸)

$$STORE_{\Delta t} = STCAP - STIN$$

STCAP: ظرفیت ذخیره ناحیه ذخیره‌سازی، متر مکعب

STIN: شرایط اولیه منطقه ذخیره‌سازی (حجم مواد موجود در منطقه در آغاز گام زمانی  $\Delta t$ )، متر مکعب

و) ترکیب‌های منطقی  $Q_L$ ،  $EOT_{\Delta t}$  و  $STORE_{\Delta t}$  تعیین شده‌اند. علیرغم این که ممکن است محدوده‌ای از مقادیر برای هر کدام از متغیرها تعیین شده باشد، لزوماً به این معنی نیست که هر مقدار در محدوده تعیین شده برای یک متغیر خاص، می‌تواند در ترکیب با تمام مقادیر دو متغیر دیگر رخ دهد. ممکن است برخی از ترکیبات این سه متغیر بیشتر از سایرین رخ دهد.

ز) (رابطه ۷-۳)، با استفاده از ترکیبات تعیین شده در بند و) حل می‌گردد. مقادیر EXC به این ترتیب محاسبه شده و ثبت می‌شوند.

ح) گام‌های (الف) تا (ز) برای بازه‌های زمانی دیگری در سال تکرار می‌شوند. نتیجه مراحل مذکور، تعدادی مقادیر ممکن برای EXC خواهد بود. از بین آن‌ها یک مقدار یا مجموعه‌ای از مقادیر برای برآورد اندازه مولفه‌های سیستم انتخاب می‌شود. معیارها برای انتخاب مقدار و یا مقادیر EXC باید توسط طراح تعیین گردد. یکی از مواردی که ممکن است در زمینه هزینه‌های احداث سیستم مشکل ساز باشد، استفاده از بزرگ‌ترین مقدار برای EXC است. روش دیگری که می‌توان به کار برد عبارتست از رسم گراف فرکانس وقوع مقادیر گوناگون EXC. بر اساس این گراف مقدار یا مقداری از EXC مطابق با فرکانس وقوعشان (تکرار) انتخاب می‌گردند.

مجددا تاکید می‌شود که روال مطرح شده تنها به عنوان یک مثال مطرح شده است. مهم‌ترین جنبه این بخش از راهنما، شناخت مفاهیم اساسی زمان موثر عملیات، ذخیره سازی و چگونگی اندرکنش‌های آن‌ها با نرخ انتقال رسوب (موازی ساحل) است که تعیین کننده ظرفیت طراحی سیستم می‌باشد.

#### ی- ملاحظات مربوط به سیستم‌های گذردهی رسوب با مود برداشت رسوبات در حال انتقال

گاهی اوقات ممکن است طراح دریابد که ظرفیت ذخیره سازی موجود در سایت کم است و یا اصلا وجود ندارد. در این شرایط گذردهی رسوب باید با متوقف کردن رسوباتی که در حال حرکت هستند انجام شود. در این شرایط مفهوم ذخیره‌سازی در تعیین مقدار طراحی EXC استفاده نمی‌شود و (رابطه ۶-۳) به صورت ساده شده (رابطه ۹-۳) در خواهد آمد.

(رابطه ۹-۳)

$$Q_L(\Delta t) = EXC (EOT_{\Delta t})$$

$Q_L$  به کار رفته در (رابطه ۹-۳) مفهوم متفاوتی با مقدار به کار رفته در (رابطه ۶-۳) دارد. در این حالت هیچ گونه مواد و مصالح رسوبی در مجاورت سیستم باقی نمی‌ماند. تمامی رسوبات توسط جت‌پمپ‌ها جمع آوری می‌شوند و یا از سیستم عبور می‌کنند. بنابراین  $Q_L$  در اینجا نرخ رسیدن رسوبات ساحلی به سیستم در مدت  $\Delta t$  می‌باشد. ضروری است که مقادیر  $Q_L$  برای گام‌های زمانی  $\Delta t$  (که تا جای ممکن کوچک هستند) تعیین شوند. ایده‌آل‌ترین حالت، داشتن تخمین نرخ ساعتی  $Q_L$  می‌باشد. مفهوم اصلی در این بخش آن است که ظرفیت سیستم گذردهی رسوب برای سیستم‌هایی که رسوب گیری در حالت متحرک را انجام می‌دهند، به طور مستقیم تابع نرخ انتقال رسوبات می‌باشد.

#### ک- توزیع ظرفیت سیستم گذردهی رسوب

تعداد جت‌پمپ‌هایی که لازم است هم‌زمان در سیستم کار کنند، باید در طراحی اولیه سیستم تعیین شود. به این منظور فاکتورهای نظیر مود عملیات سیستم، بردارهای انتقال رسوب و ظرفیت مورد نیاز سیستم باید مد نظر قرار گیرند. هم چنین سائز جت‌پمپ‌های مورد استفاده در سیستم نیز تاثیر گذار می‌باشد. مطالعات WES در زمینه سیستم‌های

جت‌پمپ گذردهی نشان داده است که دو سایز از جت‌پمپ‌های مرکزی Pekor دارای ظرفیت پمپاژی هستند که با نیازهای گذردهی رسوب در بسیاری از شرایط همخوانی دارند. این سایزها عبارتند از ۴\*۴\*۶ و ۶\*۶\*۸ که اعداد به ترتیب نشان دهنده قطر اسمی داخلی قسمت‌های مکش، محفظه اختلاط و تخلیه می‌باشند. برای هر کدام از جت‌پمپ‌های مذکور، مقدار تقریبی ظرفیت پمپاژ که برای استفاده در این راهنما توصیه شده است، در (جدول ۱-۳) آمده است. مقادیر ارائه شده در جدول فقط به عنوان راهنما هستند و هیچ گونه تضمینی را ارائه نمی‌دهند. ظرفیت حقیقی جت‌پمپ‌ها به شرایط سایت مورد نظر بستگی دارد.

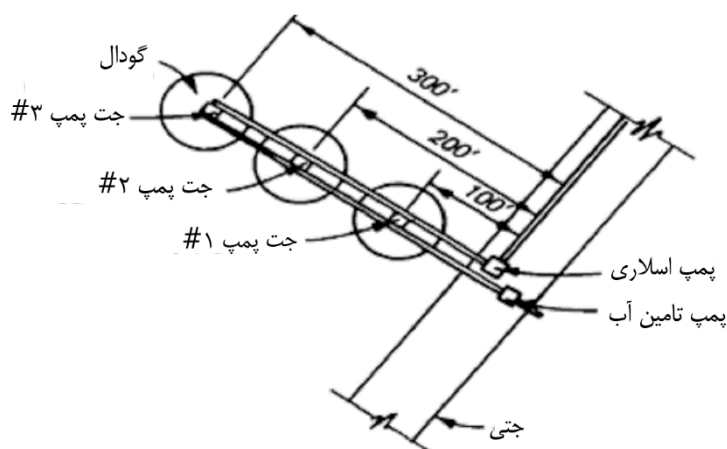
جدول ۱-۳- ظرفیت جت‌پمپ‌های مرکزی pekor

| جت‌پمپ | ظرفیت پمپاژ، (متر مکعب بر ساعت) |
|--------|---------------------------------|
| ۴*۴*۶  | تا ۷۶ متر مکعب بر ساعت          |
| ۶*۶*۸  | تا ۱۵۳ متر مکعب بر ساعت         |

چگونگی تعیین نهایی سایز جت‌پمپ بر اساس شرایط سایت، در بخش سوم بررسی خواهد شد. با این حال مقادیر موجود در (جدول ۱-۳) به طراح اجازه خواهد داد تا در این مرحله از طراحی به یک شناخت نسبی از گزینه‌های در دسترس در مورد تعداد جت‌پمپ‌هایی که می‌توانند هم زمان عمل کنند، برسد.

به عنوان مثال اگر مقدار ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت برای EXC در نظر گرفته شده باشد، طراح ممکن است تصمیم بگیرد که یک جت‌پمپ ۶\*۶\*۸ با ظرفیت ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت کار کند و یا این که دو جت‌پمپ ۴\*۴\*۶ به صورت هم زمان و هر کدام به میزان ۵۰ متر مکعب بر ساعت کار کنند. بسته به شرایط موجود در سایت، ممکن است طراح تعداد سه و یا بیشتر جت‌پمپ ۴\*۴\*۶ را در یک زمان به کار ببرد. باید به خاطر داشت سیستمی بهتر است که در آن تا جای ممکن، کمترین تعداد جت‌پمپ به صورت هم زمان کار کنند. بدین معنا که چنانچه ممکن است عملیات با تعداد کمی جت‌پمپ انجام شود، از تعداد بیشتر استفاده نشود. زمانی که تعداد جت‌پمپ‌هایی که هم زمان کار می‌کنند تعیین شود، ظرفیت مورد نیاز یک جت‌پمپ EXC1 قابل تخمین خواهد بود. این مرحله چنانچه به صورت دقیق انجام شود، یک مرحله پیچیده شامل یک سری از محاسبات تکراری برای یک شبکه خطوط لوله خواهد بود.

یکی از خصوصیات سیستم جت‌پمپ چندگانه این است که در صورتی که همه متغیرهای دیگر جت‌پمپ‌ها یکسان باشند، ظرفیت هر جت‌پمپ نسبت به سایر جت‌پمپ‌ها، با طول لوله تخلیه آن جت‌پمپ به صورت معکوس تغییر می‌کند. به عنوان مثال در (شکل ۳-۲۲)، جت‌پمپ ۱ ظرفیت بیشتری از جت‌پمپ ۲ و جت‌پمپ ۲ ظرفیت بیشتری از جت‌پمپ ۳ دارد.



شکل ۲۲-۳- نمونه سیستم جت پمپ چند گانه

EXC1 از (رابطه ۱۰-۳) قابل تخمین است.

(رابطه ۱۰-۳)

$$EXC1 = \frac{EXC}{NUM}$$

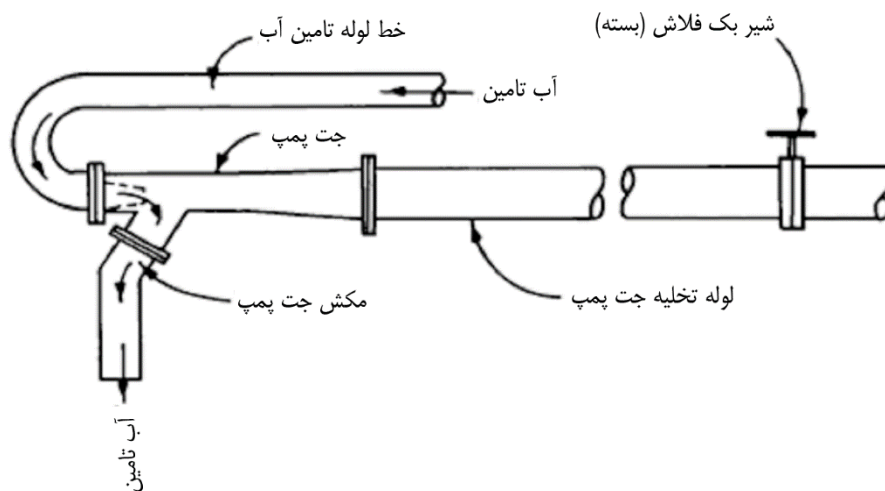
NUM: تعداد جت پمپ‌هایی که هم زمان کار می‌کنند

با این حال طراح باید به یاد داشته باشد که در یک سیستم چندگانه با لوله‌های تخلیه با طول‌های مختلف، استحصال این مقدار دقیق از هر جت پمپ بسیار دشوار خواهد بود. هم چنین ممکن است برای یک جت پمپ، به سبب بردارهای محلی انتقال رسوبات، در نظر گرفتن ظرفیتی بیشتر از EXC1 محاسبه شده در بالا، ضروری باشد. نکته کلی این است که EXC1 نباید تنها برای موقعیت یک سیستم جت پمپ چندگانه محاسبه شود، بلکه شرایط محلی هر جت پمپ نیز باید در نظر گرفته شود. در بخش سوم این راهنما به طراح نشان داده می‌شود که چگونه مقدار انتخاب شده در این مرحله برای رسیدن به طراحی یک سیستم چندگانه کامل استفاده می‌شود.

#### ل- بک فلاشینگ<sup>۱</sup>

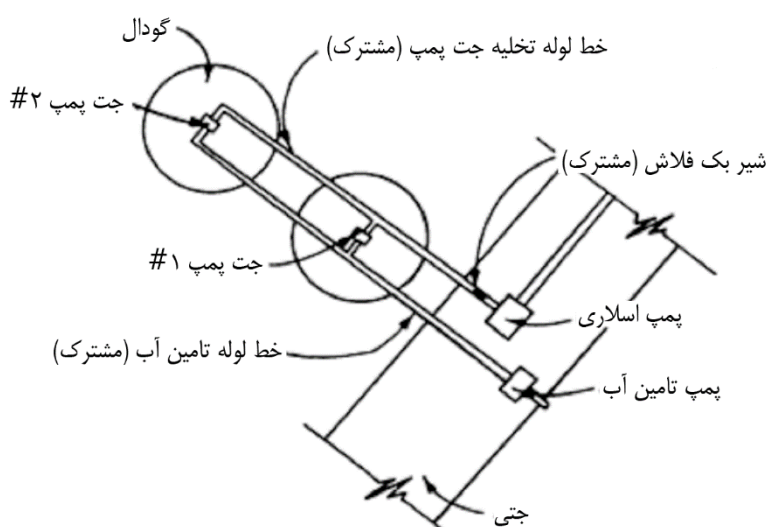
بک فلاشینگ یک روش عملیاتی مخصوص جت پمپ‌ها است که باید در فاز اولیه طراحی مورد بررسی قرار بگیرد. زیرا بر طراحی و انتخاب لوله‌های تخلیه در سیستم‌های با بیش از یک جت پمپ تاثیر گذار است. برای جت پمپ با نرخ جریان تامین مشخص QSUP، اگر ماندگاری جریان در لوله تخلیه جت پمپ افزایش یابد، سرعت مکش جریان QSUC، کاهش خواهد یافت. اگر ماندگاری جریان در لوله تخلیه به اندازه کافی زیاد شود، QSUC صفر خواهد شد. چنانچه با بستن شیر لوله خروجی جت پمپ یک ماندگاری بی نهایت در سیستم ایجاد شود، آب تامین جت پمپ از طرف مکش جت پمپ به بیرون جریان خواهد یافت (شکل ۳-۲۳). این ویژگی جت پمپ در پاکسازی مکش‌های مسدود شده به واسطه پوسته‌ها،

زباله‌ها و .... مفید خواهد بود. این روش بک فلاشینگ نام دارد و شیری (دریچه) که در لوله تخلیه جت‌پمپ به این منظور تعبیه شده است، شیر بک فلاش نام دارد.

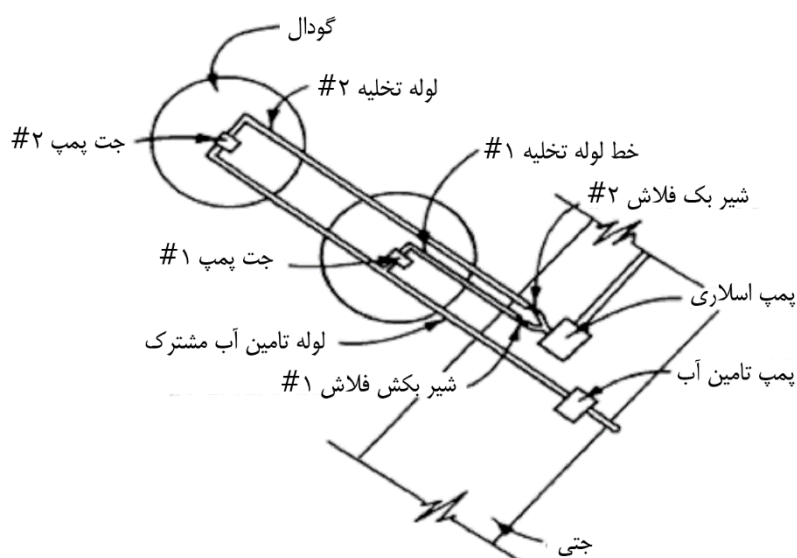


شکل ۳-۲۳- بک فلاشینگ در جت پمپ

تاثیر وجود بک فلاشینگ بر روی طراحی لوله تخلیه در (شکل ۳-۲۴) و (شکل ۳-۲۵) نشان داده شده است. هر کدام از شکل‌ها سیستمی را نشان می‌دهند که ۲ جت‌پمپ در آن‌ها هم‌زمان کار می‌کنند. در (شکل ۳-۲۴) جت‌پمپ‌ها یک لوله تخلیه مشترک دارند در حالی که در (شکل ۳-۲۵)، جت‌پمپ‌ها لوله‌های جداگانه دارند که تنها قبل از پمپ اسلاری به هم وصل می‌شوند. لوله تخلیه (شکل ۳-۲۴)، یک شیر بک فلاش دارد در حالی که در (شکل ۳-۲۵) هر لوله یک شیر مجزا دارد. در سیستم (شکل ۳-۲۴) بسته شدن شیر بک فلاش باعث بک فلاشینگ در هر دو جت‌پمپ می‌شود، حتی اگر تنها یکی از مکش‌ها مسدود شده باشد. در این حالت ممکن است تمایل خروج جریان از طریق مکش مسدود نشده بیشتر باشد زیرا مقاومت هیدرولیکی کمتری دارد. در سیستم (شکل ۳-۲۵)، در هر جت‌پمپ بک فلاشینگ می‌تواند به صورت مستقل رخ دهد. با این حال در این سیستم لوله‌های تخلیه بیشتر و شیرهای بک فلاش بیشتری لازم است و نصب سیستم مشکل‌تر خواهد بود.



شکل ۳-۲۴- دو جت پمپ با یک خط لوله تخلیه مشترک



شکل ۳-۲۵- دو جت پمپ با خط لوله تخلیه مجزا

قابلیت بک فلاشینگ برای همه جت پمپ‌های متحرک ضروری است. زیرا مکش آن‌ها اغلب به هنگام حفاری گودال‌های جدید دچار انسداد می‌شود. از سویی دیگر جت پمپ‌های ثابت در معرض انسداد توسط اجزایی هستند که به داخل گودال‌های آن‌ها می‌افتد. بک فلاشینگ این مواد را از مکش جت پمپ پاک می‌کند، اما ممکن است آن‌ها را از گودال‌ها پاک نکند. اگر آن‌ها در گودال‌ها باقی بمانند، ممکن است در نهایت مجدداً وارد مکش جت پمپ شوند. معمولاً ضروری است صفحاتی در اطراف مکش جت پمپ‌های ثابت تعبیه شود تا مانع از ورود مواد درشت به داخل جت پمپ شوند.

#### م- اندازه لوله‌های سیستم گذردهی رسوب

در طراحی اولیه سیستم باید برآورد اولیه برای سایز و جنس لوله‌های زیر مد نظر قرار گیرد.



الف) لوله تامین آب جت پمپ<sup>۱</sup>

ب) لوله مکش پمپ تامین<sup>۲</sup>

ج) لوله تخلیه جت پمپ<sup>۳</sup>

د) لوله تخلیه پمپ اسلاری<sup>۴</sup>

برای هر یک از خطوط لوله فوق، باید گزینه‌های متعددی در این مرحله در نظر گرفته شود. این گزینه‌ها باید از طریق محاسبات روش طراحی در بخش سوم به صورت موازی بررسی شوند. سپس آثار نسبی هر کدام مشخص خواهد شد و مناسب‌ترین ترکیب‌های اندازه و جنس مواد انتخاب خواهند شد. دستور العمل کلی زیر می‌تواند در انتخاب اولیه اندازه لوله‌های سیستم‌های با جت پمپ واحد به کار رود. برای انواع دیگر لوله‌ها، سائزهای اسمی که در ادامه ذکر شده اند، ممکن است قابل قبول نباشد. ابعاد داده شده تنها برای تخمین اولیه اندازه لوله‌های سیستم با یک جت پمپ هستند و ممکن است در طراحی نهایی تغییر نمایند.

الف) خط لوله تامین آب جت پمپ

۱. جت پمپ ۴\*۴\*۴ : ۱۵، متر برای لوله‌های با طول حداکثر ۱۵۰ متر، ۲، متر برای لوله‌های طویل تر

۲. جت پمپ ۸\*۶\*۶ : ۲، متر برای لوله‌های با طول حداکثر ۱۵۰ متر، ۲۵، متر برای لوله‌های طویل تر

ب) خط لوله مکش پمپ تامین

لوله حداقل یک سائز بزرگ‌تر از لوله تامین جت پمپ باشد.

ج) خط لوله تخلیه جت پمپ

۱. بهترین رویکرد در این مرحله از طراحی، انتخاب سائز لوله تخلیه جت پمپ به گونه‌ای است که در وسط محدوده ممکن برای طراحی قرار گیرد. روش مورد استفاده عبارت است از انتخاب اندازه لوله بر اساس مقدار محاسبه شده برای EXC1 و سپس تنظیم طول لوله تخلیه جت پمپ به گونه‌ای که ترکیب EXC1، سائز لوله و طول لوله در محدوده تعیین شده قرار بگیرد. طراح ممکن است بعداً بر اساس محاسبات دقیق در بخش سوم، مجبور به تجدید نظر درباره طراحی اولیه خود شود.

۲. طراح باید با استفاده از مقدار EXC1 بدست آمده از بخش قبلی وارد (شکل ۳-۲۶) شود، به صورت عمودی در نمودار حرکت کند تا با اولین خط مربوط به یک سائز لوله مشخص برخورد نماید که بعداً اولین حدس برای سائز لوله تخلیه جت پمپ می‌شود. سپس مرکز تقریبی محدوده طول‌های ممکن خط لوله برای EXC1 و آن سائز لوله، از محور عمودی قابل تعیین خواهد بود. اگر مقدار بدست آمده از (شکل ۳-۲۶) بزرگ‌تر از ۷۰۰ فوت (۲۱۰ متر) شود، طراح

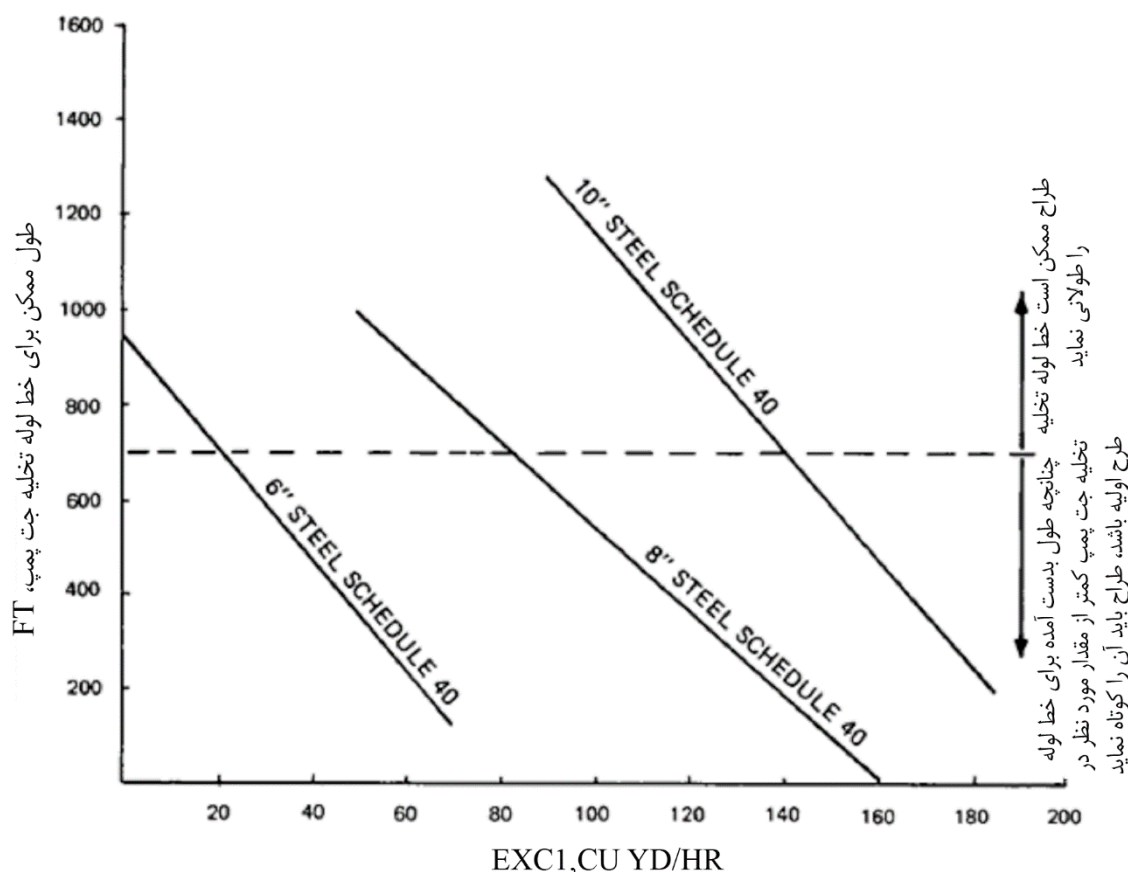
1- Jet pump supply

2- Supply pump suction

3- Jet pump discharge

4- Booster pump discharge

ممکن است در صورت ضرورت طول لوله را به مقدار جدید افزایش دهد. اگر مقدار بدست آمده از (شکل ۳-۲۶)، کمتر از مقدار استفاده شده تا اینجا باشد، طراح باید طول خط لوله تخلیه را به مقدار جدید کاهش دهد. اگر طول لوله تخلیه قابل کاهش به مقدار جدید نباشد، طراح ممکن است در (شکل ۳-۲۶) به سمت بالا حرکت کند تا به خط مربوط به لوله با سایز بزرگ‌تر بعدی برسد. این اندازه به عنوان اولین فرض در محاسبات بعدی استفاده خواهد شد.



شکل ۳-۲۶- طول‌های ممکن برای خط لوله تخلیه جت پمپ در مقابل EXC1 برای اندازه‌های مختلف لوله‌ها

طراح باید تا جای ممکن در برابر بزرگ کردن سایز و یا طول لوله‌ها مقاومت کند زیرا در غیر این صورت هزینه ساخت و عملیات سیستم بسیار بالا خواهد رفت. همچنین طراح نباید لوله 6 in (۰,۱۵ متر) را با یک جت پمپ ۶\*۶\*۸ یا یک لوله 10 in (۰,۲۵ متر) را با یک جت پمپ ۴\*۴\*۶ استفاده نماید. اگر طول لوله تخلیه تغییر کند، طراح باید همه جنبه‌های طراحی اولیه را بازبینی کند تا ببیند که آیا تغییرات دیگری باید انجام گیرد یا نه. به عنوان مثال اگر منطقه تحت تاثیر جت پمپ‌ها تغییر کند، باید ظرفیت جدیدی برای سیستم محاسبه گردد.

(د) خط لوله تخلیه پمپ اسلاری

لوله با اندازه مشابه با لوله تخلیه جت‌پمپ یا احتمالاً لوله یک سایز بزرگ‌تر (در صورتی که جریان در لوله تخلیه جت‌پمپ در سایز لوله مذکور، نزدیک به ماکزیمم است) انتخاب می‌شود.

برای سیستم‌های جت‌پمپ چندگانه که از خطوط لوله تامین و تخلیه مشترک برای تمام جت‌پمپ‌هایی که به صورت هم‌زمان عمل می‌کنند، استفاده می‌کنند، اندازه لوله‌های موارد الف و ج باید به گونه‌ای انتخاب شوند که سطح داخلی آن‌ها به میزان لازم بزرگ‌تر از سایزهای نشان داده شده در بالا، برای سیستم‌های تکی باشد. به عنوان مثال اگر یک لوله تامین آب 6 in (۱۵،۰ متر) برای یک سیستم جت‌پمپ منفرد انتخاب شود، ممکن است یک لوله 8 in (۲،۰ متر) برای یک سیستم دارای دو جت‌پمپ با همان طول لوله مناسب باشد (سطح داخلی لوله 8 in کمتر از دو برابر یک لوله 6 in است). دستورالعمل‌های داده شده در بالا در موارد ب و د در سیستم‌های چند گانه جت‌پمپ‌ها نیز، اعمال می‌شوند.

#### ن- جنس لوله‌های سیستم گذردهی رسوب

انتخاب اولیه جنس لوله‌های سیستم گذردهی رسوب در این مرحله از طراحی انجام می‌گیرد. بنابراین تمام مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها در بخش سوم شناخته شده خواهند بود. با وجود این که مواد مختلف مشخصات هیدرولیکی مختلف دارند، نوع جنس لوله در طراحی اولیه سبب تغییرات در طول لوله نخواهد شد. برخی از گزینه‌هایی که ممکن است در نظر گرفته شوند و در تست‌های WES به طور رضایت بخشی اجرا شده اند، عبارتند از:

الف) خط لوله تامین جت‌پمپ:

۱. فولاد - برای جت‌پمپ‌های ثابت
  ۲. شلنگ‌های لاستیکی انعطاف پذیر- برای جت‌پمپ‌های متحرک
  ۳. پلی اتیلن با چگالی بالا<sup>۱</sup> برای جت‌پمپ‌های ثابت که لوله نباید بار اضافه مانند وزن جت‌پمپ‌ها را تحمل نمایند.
- ب) خط لوله مکش پمپ تامین آب:

۱. فولادی
۲. پلی اتیلن با چگالی بالا
- ج) لوله‌های تخلیه جت‌پمپ : مشابه لوله‌های تامین آب جت‌پمپ
- د) لوله تخلیه اسلاری:

۱. فولادی
۲. پلی اتیلن با چگالی بالا

#### س- سایر ملاحظات

دو مورد دیگر که باید پیش از طراحی هیدرولیکی سیستم گذردهی رسوب مد نظر قرار گیرند عبارتند از الف) آب بک‌فلاشینگ پمپ اسلاری<sup>۱</sup> و ب) جت‌های برشی<sup>۲</sup> موجود در جت‌پمپ‌ها

1- High density polyethylene

آب بک فلاشینگ، آب تمیز (فاقد جامدات) است که به طور پیوسته برای محفظه آب بندی پمپ اسلاری تامین می‌شود تا از ورود ذرات جامد ممانعت شود. آب شست و شو باید فشاری بزرگ‌تر از فشار تخلیه پمپ اسلاری داشته باشد. در صورتی که فشار پمپ تامین آب به اندازه کافی بزرگ‌تر از فشار در پمپ اسلاری باشد، ممکن است این پمپ قادر به تامین آب بک فلاشینگ نیز باشد. در این صورت آب بک فلاشینگ نیز باید در تعیین ظرفیت پمپ تامین آب لحاظ گردد.

جت‌های برشی نیز اغلب در کنار مکش جت‌پمپ‌ها به منظور کمک به حفر و مکش رسوبات تحکیم یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند. جت‌پمپ‌های متحرک با توجه به گستره شرایطی که با آن مواجه خواهند شد، حتما باید مجهز به این بخش باشند. استفاده از جت برشی در جت‌پمپ‌های ثابت با توجه به نوع و اندازه رسوباتی که وارد گودال جت‌پمپ می‌شوند، اختیاری می‌باشد. برای عملیات در ماسه‌های ریزدانه که تمایل به تراکم سریع دارند، استفاده از جت برشی ممکن است ضروری باشد. در حالی که ممکن است ماسه‌های درشت دانه‌تر به راحتی و بدون نیاز به جت برشی قابل مکش باشند. بنابراین استفاده و یا عدم استفاده از جت‌های برشی در جت‌پمپ‌های ثابت، براساس نتایج حاصل از مطالعات فرآیندهای ساحلی تعیین می‌گردد. آب مورد نیاز جت‌های برشی نیز توسط پمپ تامین آب، تامین می‌شود.

#### ع- طرح‌های مقدماتی سیستم

مرحله نهایی طراحی اولیه سیستم، ارائه یک طرح اولیه در هر دو نمای پلان و ارتفاعی (جانبی) می‌باشد. طرح‌های اولیه باید حداقل اطلاعات زیر را نشان دهند.

الف) بخش‌های اصلی سیستم (جت‌پمپ‌ها، پمپ تامین و پمپ اسلاری و سازه‌ها).

۱. موقعیت

۲. تراز

ب) خطوط لوله

۱. مسیر

۲. طول

۳. اندازه

۴. جنس

ج) شیرها و اتصالات لوله (خم‌ها، کاهنده‌ها و ....)

۱. موقعیت

۲. اندازه

۳. نوع

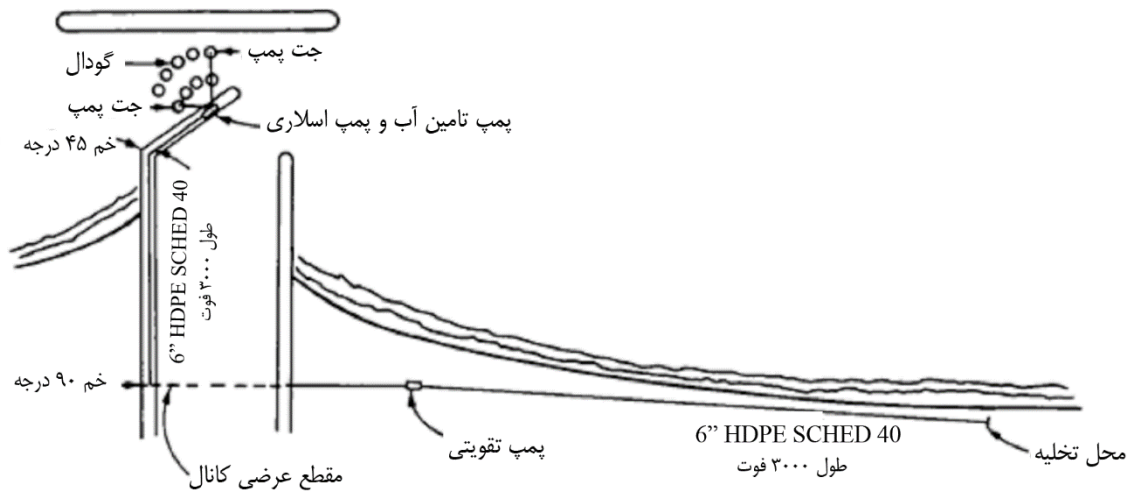
(د) گودال‌ها

۱. موقعیت

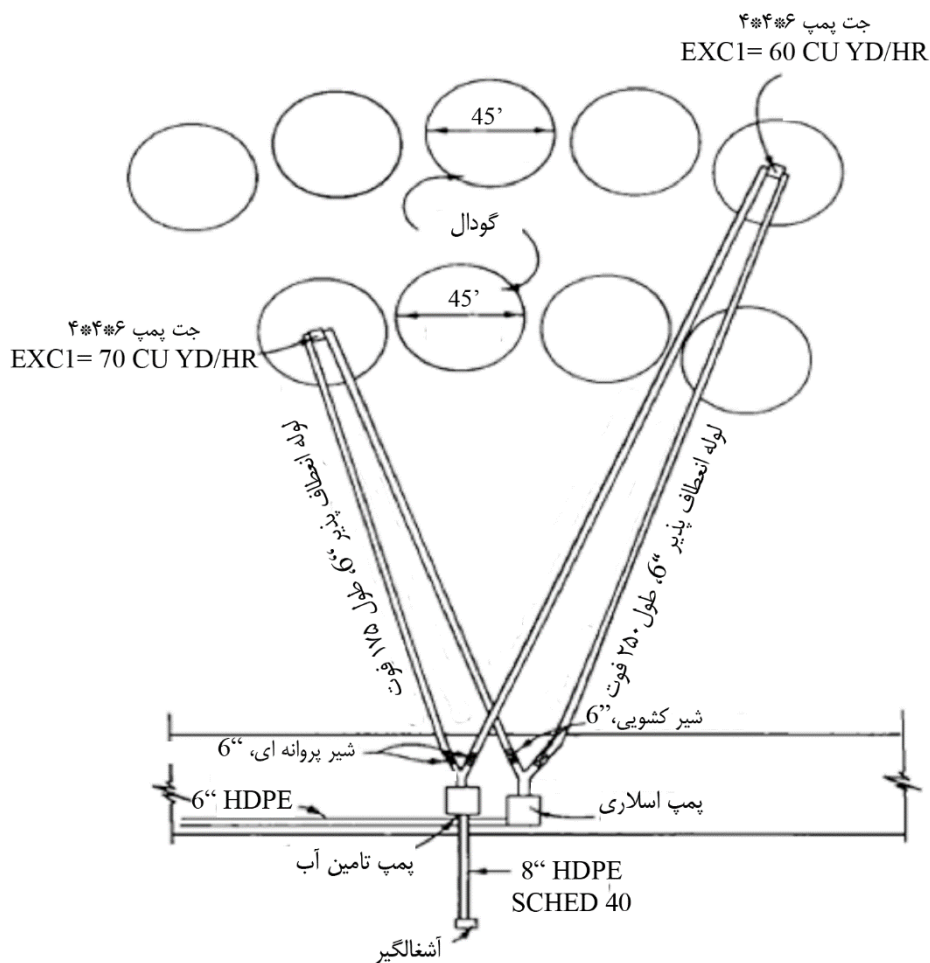
۲. ابعاد

ه- سرعت حفاری جت پمپ‌ها

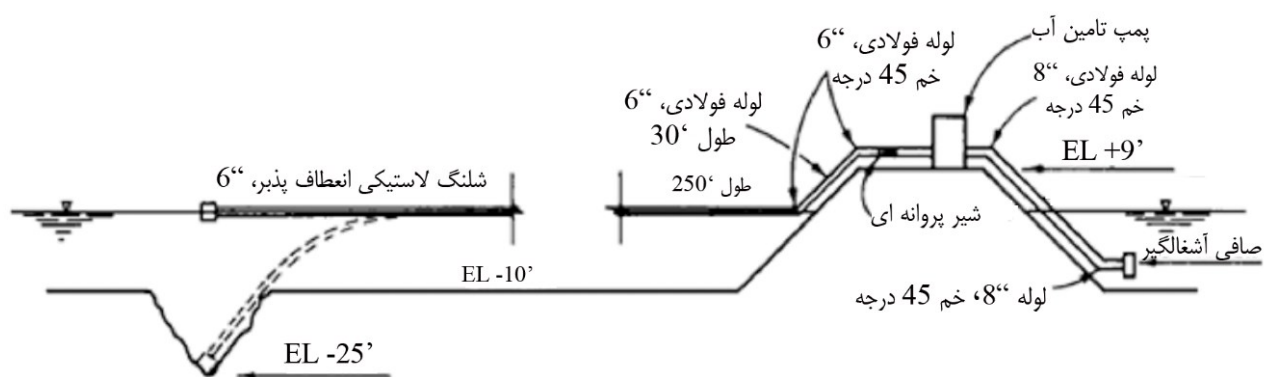
نمونه‌هایی از نقشه‌ها و طرح‌های اولیه برای یک سیستم گذردهی رسوب با دو جت پمپ متحرک که یکی از آن‌ها در یک زمان عمل می‌کند، در (شکل ۳-۲۷) تا (شکل ۳-۳۱) نشان داده‌اند.



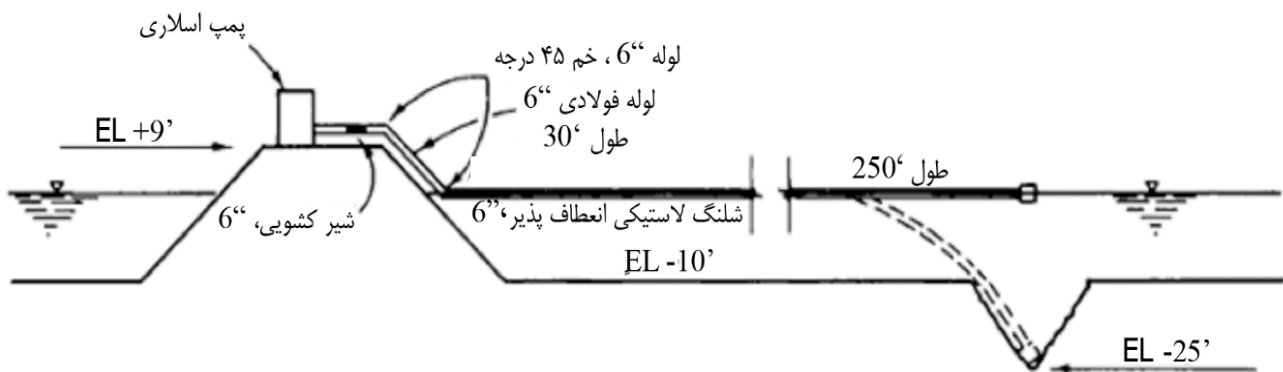
شکل ۳-۲۷- طرح کلی سیستم



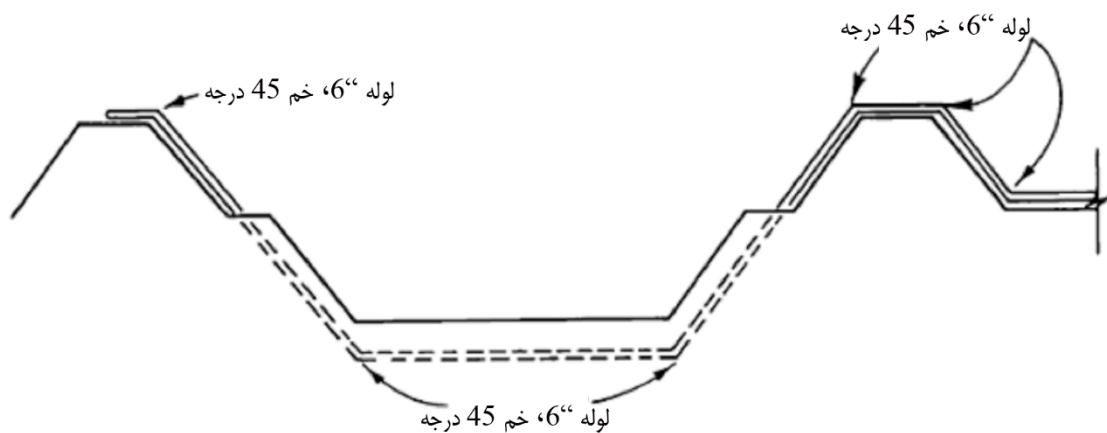
شکل ۳-۲۸- پلان جزئیات طرح



شکل ۳-۲۹- نمای جانبی سیستم تامین آب جت پمپ



شکل ۳-۳- نمای جانبی سیستم تخلیه جت پمپ



شکل ۳-۳-۱- نمای جانبی خطوط لوله تخلیه به صورت مدفون

### ف- طول‌های معادل

یک روش مناسب برای محاسبه اتلاف انرژی‌های ایجاد شده توسط خم‌ها، شیرها یا دیگر اتصالات در یک خط لوله، جایگزینی این اتصالات در محاسبات با طول لوله مستقیم معادلی است که به همان میزان اتلاف انرژی را ایجاد می‌کند. این طول‌های معادل لوله مستقیم، به طول واقعی لوله‌ها اضافه خواهد شد. سپس یک فاکتور اتلاف انرژی به کل طول لوله معادل (طول واقعی به علاوه طول‌های معادل اتصالات) اعمال خواهد شد که کل اتلاف انرژی سیستم را در یک محاسبه بدست خواهد داد. جداولی که طول‌های معادل لوله فولادی و یا لوله چدنی را برای انواع و اندازه‌های مختلف اتصالات نشان می‌دهند، در بسیاری از کتب هیدرولیکی وجود دارند. برای اتصالات و موادی که در این جدول‌ها موجود نیستند، پیوست ۱ مقادیری را پیشنهاد داده است. (جدول ۳-۲) یک مثال از محاسبه طول معادل خط لوله مکش پمپ تامین را که در (شکل ۳-۲۸) و (شکل ۳-۲۹) نشان داده شده‌اند را نمایش می‌دهد.

جدول ۳-۲- نمونه طول معادل برای اتصالات لوله‌ها

| نوع اتصال    | تعداد اتصالات | طول معادل برای هر اتصال (متر) | طول کل |
|--------------|---------------|-------------------------------|--------|
| شیر صافی     | ۱             | ۱۱                            | ۱۱     |
| خم ۴۵ درجه   | ۲             | ۲,۳                           | ۴,۶    |
| لوله مستقیم  | -             | -                             | ۲۲,۸   |
| طول معادل کل |               | ۳۸,۴ متر                      |        |

### ۳-۲-۳- طراحی نهایی سیستم جت پمپ

در این بخش دو روش مختلف برای طراحی سیستم‌های جت پمپ تشریح شده‌اند. این روش‌ها به صورت گام به گام ارائه شده‌اند. در برخی مراحل لازم است که قضاوت مهندسی صورت گیرد که توضیحاتی در این زمینه برای راهنمایی طراح گنجانده شده است. دانش و اطلاعات مورد نیاز برای انجام محاسبات و تصمیم‌گیری‌های هر مرحله نیز مشخص شده‌اند. نخستین روش شامل تعدادی از گام‌های دارای محاسبات معین و دقیق می‌باشد. این روش شامل یک حلقه تکراری برای تعیین مقادیر پارامترهای عملکرد جت پمپ است. بخش‌هایی از این روش می‌تواند با یک ماشین حساب قابل برنامه‌ریزی و یا برنامه کامپیوتری انجام شود. روش دوم از گراف‌های عملکرد جت پمپ‌ها به همراه منحنی‌های هد تخلیه، ایجاد شده توسط طراح برای رسیدن به مقادیر پارامترهای عملکرد استفاده می‌کند. هم‌چنین محدودیت‌های مربوط به کاویتاسیون جت پمپ‌ها در گراف‌ها اعمال شده‌اند و مقادیر کارایی نیز نشان داده شده‌اند.

یک سیستم پایه گذردهی رسوب برای پمپاژ ماسه، شامل یک پمپ گریز از مرکز<sup>۱</sup> برای تامین آب، جت پمپ، پمپ اسلاری، خطوط لوله، شیرها و اتصالات است. هر کدام از روش‌های طراحی که استفاده شوند، اطلاعات زیر را بدست خواهند داد.

الف) مقادیر پارامترهای عملکرد برای :

۱. جت پمپ

۲. پمپ تامین آب

۳. پمپ اسلاری

ب) نرخ جریان و سرعت‌ها در تمامی نقاط سیستم

ج) مقادیر اتلاف انرژی در تمام لوله‌ها

د) درصد مواد جامد پمپ شده در نقطه عملکرد طراحی شده

ه) روش‌های انتخاب: ۱. پمپ تامین آب ۲. پمپ اسلاری

روش‌های ارائه شده برای سیستم با یک جت پمپ و یک پمپ اسلاری می‌باشند. روش‌های طراحی برای سیستم‌های شامل چندین جت پمپ و یا چندین پمپ اسلاری به جز در برخی ملاحظات هیدرولیکی مشابه روش‌های مذکور هستند،



که این موارد در این بخش بررسی خواهند شد. محاسبات طراحی با استفاده از طراحی‌های اولیه و طرح‌های ارائه شده برای سیستم گذردهی رسوب در بخش دوم، صورت می‌گیرند. اگر محاسبات طراحی نشان دهد که یک المان از سیستم ناکافی است و یا عملکرد آن ناکارآمد است، یک انتخاب مناسب‌تر باید در طراحی وارد گردد و اصلاحات مربوطه انجام گیرد.

در هر دو روش طراحی که در این بخش ارائه شده‌اند، طراحی سیستم کل، تابعی از نقطه عملکرد طراحی جت‌پمپ می‌باشد. ملاحظه اصلی در انتخاب نقطه عملکرد جت‌پمپ، کارایی و بازده جت‌پمپ در آن نقطه است. به دلیل این که سایر مشخصات جت‌پمپ در نقطه مورد نظر (نظیر سرعت حفاری، طول پمپاژ و ...) مستقیماً از ملاحظات پروژه که در بخش دوم بحث شده‌اند نتیجه می‌شود، چنین رویکردی معمولاً یک سیستم با طراحی مناسب را نتیجه می‌دهد. با این حال طراح باید به خاطر داشته باشد که کارایی سیستم (انجام گذردهی رسوب با سرعت مورد نیاز و حداقل مقدار انرژی کل مورد نیاز)، مسئله‌ای حائز اهمیت می‌باشد. کارایی جت‌پمپ فاکتور اصلی کارایی کل سیستم است، اما مشخصات عملکرد پمپ‌های تامین و پمپ‌های اسلاری نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. بنابراین طراح باید طرح‌های مختلفی را در نظر بگیرد و آن‌ها را به لحاظ انرژی مصرفی پیش بینی شده برای هر یک، با یکدیگر مقایسه نماید.

### الف- روش طراحی تکراری<sup>۱</sup>

در این بخش به روش طراحی تکراری پرداخته شده است که شامل تعدادی مراحل محاسباتی به صورت گام به گام می‌باشد. در ابتدای هر مرحله، اطلاعات مورد نیاز برای انجام محاسبات مشخص شده‌اند. روابط ضروری در هر گام ارائه شده و یا به آن‌ها ارجاع داده شده است. برخی از گام‌ها برای کنترل هستند و ممکن است نشان دهند که طراحی و محاسبات مجدد برای برخی از مولفه‌ها ضروری می‌باشد. این مراحل به طور خاص شناسایی می‌شوند.

#### گام ۱

هدف:

تعیین حداقل سرعت در خط لوله تخلیه که سرعت بحرانی نیز نامیده می‌شود. این سرعت برای نگهداری جامدات در حالت معلق برای تمام لوله‌های حامل جریان جامدات لازم است. همچنین تعیین سرعت نشست ذرات رسوبی که باید گذردهی شوند از دیگر اهداف این مرحله می‌باشد. این محاسبه باید برای هر سایز از لوله که برای انتقال رسوب در سیستم استفاده می‌شود، انجام گیرد.

اطلاعات مورد نیاز:

الف) قطر داخلی لوله، (D)، متر

ب) قطر متوسط رسوباتی که باید گذردهی شوند،  $d_{50}$ ، میلی‌متر

(ج) وزن مخصوص رسوبات، (SGSOL)، (برای ماسه : SGSOL=2.65)

روش:

سرعت نشست ذره رسوب (W) با قطر متوسط  $d_{50}$  اولین پارامتر مربوط به رسوب است که تعیین می‌شود. W از منحنی‌های (شکل ۳-۳۲) قابل استحصال است. این شکل نشانگر پلات‌هایی است که توسط داده‌های تجربی و یا با استفاده از روابط ارائه شده توسط محققان مختلف برای نشست ذرات کوارتز در آب  $F = 68^\circ$  ترسیم شده‌اند.

برای  $d_{50} < 0.6 \text{ mm}$  مرکز پلات‌ها قابل استفاده است.

برای  $d_{50} > 0.6 \text{ mm}$  پلات‌ها به سرعت واگرا می‌شوند که بیانگر این موضوع است که متغیرهایی مانند شکل ذرات اهمیت بیشتری می‌یابند. برای ذرات با این اندازه پیشنهاد می‌شود که از پلات ۹ استفاده گردد. باید توجه شود که در (شکل ۳-۳۲)،  $d_{50}$  بر حسب میلیمتر و W بر حسب میلیمتر بر ثانیه بیان شده است.

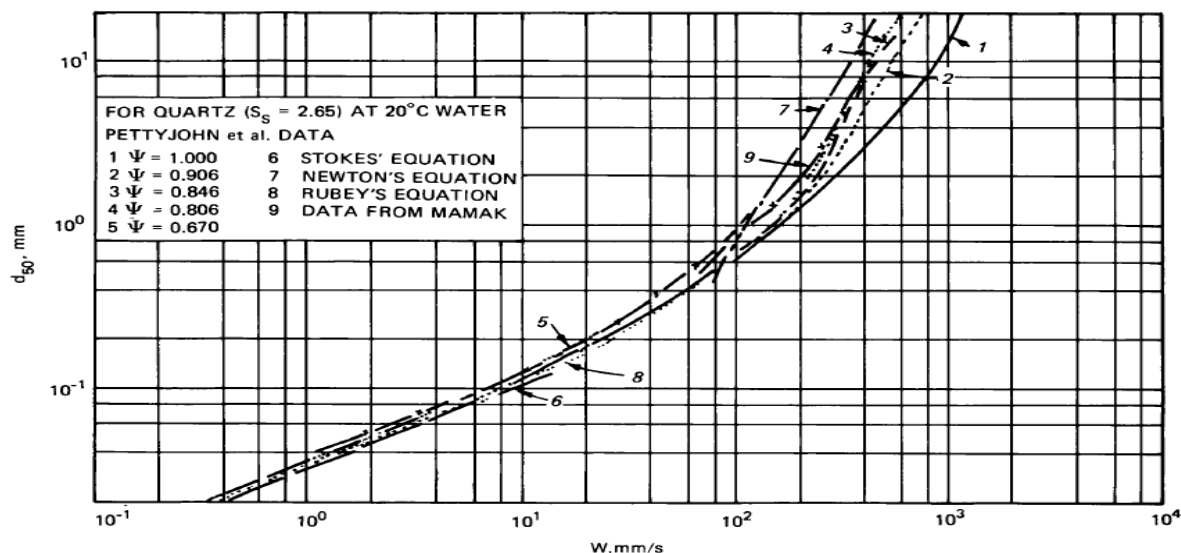
رابطه تجربی Durand برای تعیین حداقل سرعت در لوله تخلیه (VCRIT) پیشنهاد شده است [۲۳].

(رابطه ۳-۱۱)

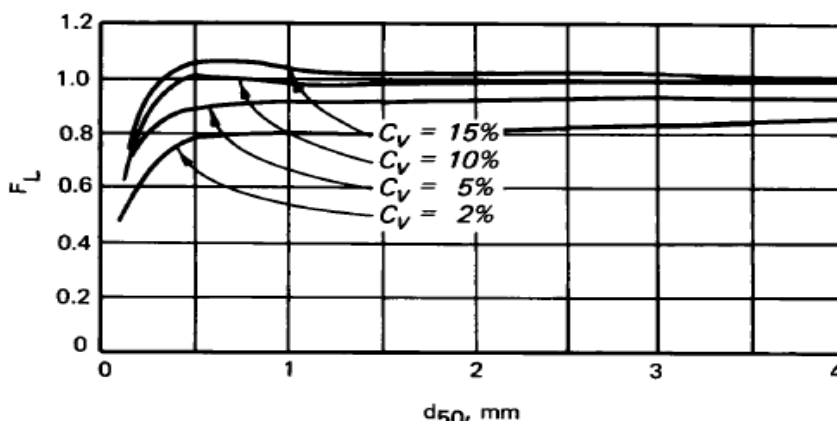
$$VCRIT = F_L * \sqrt{[2gD(SGSOL - 1)]}$$

$F_L$  یک ضریب تناسب است که از (شکل ۳-۳۳) قابل تعیین می‌باشد. مقدار  $C_v$  در (شکل ۳-۳۳)، مقدار غلظت

حجمی مورد انتظار مواد جامد در لوله تخلیه است. در این مرحله از محاسبات پیشنهاد می‌شود که از منحنی  $C_v=15\%$  به عنوان یک مقدار محافظه کارانه استفاده شود.



شکل ۳-۳۲ - سرعت نشست ذرات کوارتز [۲۴]



شکل ۳-۳-۳ FL بر حسب  $d_{50}$  برای رابطه Durand

(From Hydraulics of Sediment Transport by Graf (1971). ©1971 by McGraw-Hill Inc. Used with permission of McGraw-Hill Book Company)

## گام ۲

هدف:

تعیین حداقل دبی مورد نیاز ( $QSUP_{min}$ ) در خط لوله تخلیه سیستم برای اطمینان از انتقال جامدات به صورت معلق.

اطلاعات مورد نیاز:

الف)  $V_{CRIT}$  از گام ۱، متر بر ثانیه

ب) بیشینه سطح داخلی لوله تخلیه (ADIS)، متر مربع، باید مساحت داخلی بزرگ‌ترین لوله دربخش انتقال رسوب سیستم باشد).

اساس:

نرخ جریانی که در این مرحله محاسبه می‌شود، حداقل نرخ جریان آب تمیزی است که باید برای نازل جت پمپ تامین شود. چنین حداقل سرعت جریانی کمک خواهد کرد که اطمینان حاصل شود رسوبات در خط لوله تخلیه حتی اگر ورودی جت پمپ کاملاً مسدود شود، به صورت معلق حمل می‌شوند.

روش:

(رابطه ۳-۱۲) جهت رسیدن به  $QSUP_{min}$  ارائه شده است.

(رابطه ۳-۱۲)

$$QSUP_{min} = (ADIS)(V_{CRIT})$$

## گام ۳

هدف:

تعیین جریان مکش جت پمپ برای دستیابی به سرعت مورد نیاز گذردهی رسوب در سایت پروژه

اطلاعات مورد نیاز:

الف) نرخ گذردهی هر کدام از جت‌پمپ‌ها، EXC1، متر مکعب بر ساعت

ب) تخلخل در محل رسوباتی که باید گذردهی شوند،  $n$

ج) وزن مخصوص رسوبات، SGSOL

اساس:

مخلوطی که وارد مکش جت‌پمپ می‌شود، جریان مکش نام دارد و میزان دبی ورودی QSUC نامیده می‌شود. بخشی از این مخلوط مایع است و بخش دیگری از آن ذرات جامد هستند. با تعیین وزن مخصوص در محل رسوبات سایت و تعیین فرضیاتی برای وزن مخصوص مخلوط ورودی، مقدار QSUC قابل محاسبه خواهد بود.

روش:

جریان مورد نیاز مکش جت‌پمپ (QSUC) بر حسب متر مکعب بر ثانیه از (رابطه ۳-۱۳) قابل محاسبه است.  
(رابطه ۳-۱۳)

$$QSUC = EXC1(0.00027) \left( \frac{SGIN - SGWAT}{SGSUC - SGWAT} \right)$$

SGIN: وزن مخصوص در محل رسوبات  $= SGSOL(1 - n) + n(SGWAT)$

SGWAT: وزن مخصوص آب محیط

SGSUC: وزن مخصوص متوسط فرض شده برای مخلوطی که وارد مکش جت‌پمپ می‌شود.

در آزمایشات WES، مقدار SGSUC بین ۱/۴ تا ۱/۸۵، بسته به شرایط پمپاژ تغییر می‌کند. توصیه می‌شود که در تخمین‌های اولیه از  $SGSUC=1.7$  برای برآورد اولیه استفاده شود.

## گام ۴

هدف:

تعیین سائز جت‌پمپ برای استفاده در محاسبات بعدی

اطلاعات مورد نیاز:

مقدار QSUC، متر مکعب بر ثانیه، از گام ۳

اساس:

دو سائز از جت‌پمپ‌های مرکزی pekora ۶\*۶\*۸ و ۴\*۴\*۶ ظرفیت پمپاژی دارند که مطابق با نیازهای بسیاری از پروژه‌های گذردهی رسوب هستند. شاخص عملکرد بدون بعد مشابه برای هر کدام از آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، اما سرعت جریان در جت‌پمپ بزرگ‌تر، بیشتر است. بنابراین لازم است که بدانیم کدام جت‌پمپ برای گام‌های بعدی این روش نظر گرفته شود.

روش:

مقدار QSUC را با مقادیر داده شده در (جدول ۳-۳) مقایسه کنید.

جدول ۳-۳- مقادیر QSUC در جت پمپ های pekor

| جت پمپ       | QSUC (مترمکعب بر ثانیه) | QSUC (گالن بر دقیقه) |
|--------------|-------------------------|----------------------|
| ۴*۴*۶        | ۰,۰۱۲ تا ۰,۰۳           | ۲۰۰-۵۰۰              |
| حالت انتقالی | ۰,۰۳ تا ۰,۰۴۵           | ۵۰۰-۷۰۰              |
| ۶*۶*۸        | ۰,۰۴۵ تا ۰,۰۹۵          | ۷۰۰-۱۵۰۰             |

مطابق با محدوده QSUC، جت پمپ مناسب انتخاب می‌گردد. برای مقادیر QSUC در محدوده انتقال، هر کدام از جت پمپ‌ها ممکن است بسته به دیگر شرایط سیستم، بیشتر قابل اجرا باشد. پیشنهاد می‌شود که هر دو گزینه بررسی شوند.

اگر QSUC به دست آمده از گام ۳ کمتر از ۰,۰۱۲ متر مکعب بر ثانیه (۲۰۰ gpm) باشد، طراح باید توجه کند که آیا چنین ظرفیت کوچکی صحیح بدست آمده است؟ و اگر این طور است، دلیل آن چیست. به دلیل این که QSUC تابع مستقیم EXC1 است (رابطه ۳-۱۳) و مقدار EXC1 (ظرفیت هر جت پمپ) برای EXC مشخص تنها تابع NUM (تعداد جت پمپ‌هایی که به صورت هم زمان عمل می‌کنند) می‌باشد (رابطه ۳-۱۰)، کم بودن مقدار QSUC می‌تواند به دلیل زیاد بودن مقدار NUM و یا کوچک بودن EXC باشد. طراح باید به طرح‌های اولیه برگردد تا این احتمالات را کنترل نماید. اگر چنین موردی نیست، طراح باید وضعیت را مجدداً ارزیابی کند که آیا مشکل رسوب گذاری منطقه به قدری زیاد است که نیاز به یک سیستم گذردهی رسوب را تضمین کند؟

اگر QSUC بزرگ‌تر از ۰,۰۹۵ متر مکعب بر ثانیه (۱۵۰۰ gpm) شود، طراح باید مقادیر EXC، NUM و EXC1 را کنترل نماید. اگر مقدار انتخاب شده برای EXC منطقی به نظر می‌رسد، تنها گزینه باقی مانده افزایش NUM (تعداد جت پمپ‌هایی که هم زمان کار می‌کنند) خواهد بود. به عنوان یک راهنمایی کلی اگر اضافه کردن بیش از یک جت پمپ اضافی به NUM لازم است تا QSUC کمتر از ۰,۰۹۵ متر مکعب بر ثانیه (۱۵۰۰ gpm) شود، طراح باید طرح کلی سیستم را بازنگری نماید. اگر باز هم مقدار بدست آمده این گونه شد، احتمال دارد مشکل موجود در منطقه فراتر از محدوده قابل حل توسط جت پمپ‌ها باشد. در بسیاری از موارد سیستم‌های جت پمپ عملی نیستند. نتیجه این گام شاید فقط این مسئله را بیان کند.

## گام ۵

هدف:

تعیین نسبت جریان M، نسبت هد N و نسبت سطح R جت پمپ

اطلاعات مورد نیاز:

الف)  $QSUP_{min}$ ، متر مکعب بر ثانیه، از گام ۲

ب)  $QSUC$ ، متر مکعب بر ثانیه، از گام ۳

ج) منحنی‌های عملکرد بدون بعد جت پمپ (گراف ۱)

اساس:

همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد، رفتار جت پمپ‌ها هنگام پمپاژ ماده‌ای معین، با سه نسبت بدون بعد زیر قابل تفسیر است.

نسبت هد<sup>۱</sup>

$$N = \frac{H_{DIS} - H_{SUC}}{H_{SUP} - H_{DIS}}$$

نسبت جریان<sup>۲</sup>

$$M = \frac{QSUC}{QSUP}$$

نسبت سطح<sup>۳</sup>

$$R = \frac{ANOZ}{AMIX}$$

در بخشی از برنامه تحقیقاتی WES با عنوان “Educator Systems for sandtrap Bypassing” ارتباط بین این نسبت‌ها برای جت پمپ‌های مرکزی pekor تحت شرایط پمپاژ ماسه‌های متوسط ( $d_{50}=0.5\text{mm}$ ) تعریف شده‌اند. این ارتباطات به صورت گرافیکی در (گراف ۱) نشان داده شده‌اند. از پلات‌های نشان داده شده در (گراف ۱) می‌توان دریافت که اگر دو نسبت انتخاب شده باشند، نسبت سوم به صورت منحصر به فرد تعریف می‌شود. از آنجایی که اثرات اندازه‌های مختلف دانه‌ها روی روابط  $M$  در مقابل  $N$  اندازه گیری نشده‌اند، توصیه می‌شود که پلات‌های (گراف ۱) برای ماسه‌های ساحل طبیعی ( $d_{50}=0.1-1\text{ mm}$ ) استفاده شوند. اطلاعات دقیق تر برای سواحل دارای ماسه‌های خاص و یا اطلاعات برای رسوبات ریزتر و یا درشت دانه‌تر باید با تست های پمپاژ بدست بیایند.

بازده عملکرد جت پمپ<sup>۴</sup> ( $E$ ) در هر نقطه از (رابطه ۳-۱۴) بدست می‌آید.

(رابطه ۳-۱۴)

$$E = M * N$$

هدف فرآیند طراحی رسیدن به بیشینه بازده عملیات است و این مسئله یک ملاحظه در انجام این گام است.

روش:

1-Head Ratio

2-Flow Ratio

3-Area Ratio

4-Operating efficiency

نسبت جریان بهینه ( $M_{OP}$ ) از محاسبات قبلی نرخ جریان آب مورد نیاز و نرخ جریان مورد نیاز مکش جت پمپ قابل استحصال است.

(رابطه ۳-۱۵)

$$M_{OP} = \frac{QSUC}{QSUP_{min}}$$

در گراف ۱ از  $M_{OP}$  وارد نمودار شده، به صورت عمودی به سمت منحنی عملکرد بدون بعد جت پمپ که بیشترین مقدار ممکن نسبت هد  $N_{MAX}$  را بدهد حرکت نمایید. نسبت سطح  $R$ ، هماهنگ با این منحنی را ثبت کنید.  $E$  (بازده عملیات جت پمپ) را با استفاده از (رابطه ۳-۱۶) مشخص کنید.

(رابطه ۳-۱۶)

$$E = M_{OP} * N_{MAX}$$

اگر  $E$  تقریباً برابر  $0.2^\circ$  و یا بزرگ‌تر شود، نسبت‌های عملکرد جت پمپ مناسب انتخاب شده‌اند. اگر  $E$  بین  $0.14^\circ$  و  $0.2^\circ$  بدست آمد، طراح باید انتخاب کند که آیا از مقادیر  $M$  و  $N$  که محاسبه شده‌اند استفاده کند و یا برای مقادیر بالاتر  $E$  تلاش کند. اگر  $E$  کمتر از  $0.14^\circ$  شد، باید مقدار  $M_{OP}$  بدست آمده با مقادیر  $M$  متناسب با مقدار  $R$  مربوطه، در (جدول ۳-۴) مقایسه شود.

اگر  $M_{OP}$  بزرگ‌تر از مقدار  $M$  موجود در جدول است، مقدار  $QSUP_{min}$  باید افزایش یابد و نسبت‌های عملکرد مجدداً محاسبه شوند. اگر  $M_{OP}$  کمتر از مقادیر  $M$  جدول است،  $QSUC$  برای محاسبه مجدد نسبت‌های عملکرد باید افزایش یابد. زمانی که نسبت‌های جدید محاسبه شدند، از آن‌ها برای محاسبه مجدد  $E$  استفاده شود. این فرآیند تا زمانی ادامه داده می‌شود که مقدار قابل قبول برای  $E$  بدست بیاید.

جدول ۳-۴- مقادیر متناظر نسبت جریان ( $M$ ) و نسبت سطح ( $R$ )

| R     | M     |
|-------|-------|
| ۰,۰۹۶ | ۱,۰۶۳ |
| ۰,۱۳۸ | ۰,۷۴۵ |
| ۰,۱۷۵ | ۰,۶۱۴ |
| ۰,۲۰۲ | ۰,۵۳۷ |
| ۰,۲۴۶ | ۰,۴۶۳ |
| ۰,۳۱۱ | ۰,۲۰۵ |

## گام ۶

هدف:

جریان خروجی از جت پمپ،  $QDIS$

اطلاعات مورد نیاز:

جریان مکش جت پمپ QSUC، متر مکعب بر ثانیه، جریان تامین جت پمپ، QSUP، متر مکعب بر ثانیه، که در تعیین نهایی M در گام ۵ استفاده شد.

اساس:

در تعیین نقطه عملکرد طراحی سیستم، نرخ جریان در قسمت‌های مختلف سیستم تخلیه باید محاسبه شود. پارامترهای مورد نیاز محاسبات در این گام، نرخ جریان مخلوط ورودی به جت پمپ از طریق لوله مکش (QSUC) و نسبت جریان بدون بعد (M) می‌باشد. این مقادیر باید هر گونه اصلاحات انجام شده در گام ۵ را منعکس نمایند.

روش:

دبی جریان تخلیه شده از جت پمپ QDIS از (رابطه ۳-۱۷) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۱۷)

$$QDIS = QSUC + QSUP$$

## گام ۷

هدف:

محاسبه حداکثر غلظت حجمی مورد انتظار جامدات در خط لوله تخلیه جت پمپ، CVMAX

اطلاعات مورد نیاز:

الف) نسبت جریان جت پمپ، M، از گام ۵

ب) وزن مخصوص جامدات رسوبی، SGSOL

ج) وزن مخصوص در محل رسوباتی که باید گذردهی شوند، SGIN، از گام ۳

د) دبی جت پمپ، QDIS، متر مکعب بر ثانیه، از گام ۶

ه) تخلخل در محل رسوباتی که باید گذردهی شوند، n

ز) وزن مخصوص آب محیط، SGWAT

اساس:

محاسبات افت هد باید بر اساس شرایط بیشترین غلظت مخلوط آب و رسوب که به صورتی منطقی انتظار می رود رخ دهد، انجام گیرد. برنامه تحقیقاتی WES روابطی را بیان نمود که با استفاده از آن‌ها می‌توان حداکثر وزن مخصوص مخلوط ورودی به داخل جت پمپ را تخمین زد. این روابط در محاسبات زیر استفاده شده‌اند.

روش:

CVMAX از (رابطه ۳-۱۸) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۱۸)

$$CVMAX = \left( \frac{M}{1 + M} \right) \left( \frac{SGSUCM - SGWAT}{SGSOL - SGWAT} \right)$$



SGSUCM: بیشترین وزن مخصوص مفروض مخلوط آب و رسوب که وارد مکش جت پمپ می‌شود. آزمایشات WES، (رابطه ۳-۱۹)، (رابطه ۳-۲۰) و (رابطه ۳-۲۱) را بین SGSUCM و SGIN بیان نمودند. برای جت پمپ‌های ثابت بدون کمک‌های برشی<sup>۱</sup>:

(رابطه ۳-۱۹)

$$SGSUCM = SGIN$$

برای جت پمپ‌های ثابت با کمک‌های برشی:

(رابطه ۳-۲۰)

$$SGSUCM = 0.85 (SGIN) + 0.15$$

برای جت پمپ‌های شناور که اغلب به کمک‌های برشی نیاز دارند:

(رابطه ۳-۲۱)

$$SGSUCM = 0.8 (SGIN) + 0.2$$

توجه: غلظت جامدات که در این مرحله تعیین می‌شود، تنها باید در محاسبات بعدی تلفات انرژی و الزامات پمپ اسلاری استفاده شود. بر اساس این مقادیر نباید به گام‌های قبلی بازگشت زیرا سیستم گذردهی رسوب به صورت پیوسته این غلظت بالا را نخواهد داشت.

بیشترین وزن مخصوص مورد انتظار برای مخلوط آب و رسوب در لوله تخلیه جت پمپ، SGDISJ از (رابطه ۳-۲۲) محاسبه می‌شود.

(رابطه ۳-۲۲)

$$SGDISJ = CVMAX (SGSOL) + (1 - CVMAX)SGWAT$$

بیشترین نرخ برداشت رسوبات با یک جت پمپ (EXCMAX)، متر مکعب بر ساعت، با استفاده از (رابطه ۳-۲۳) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۲۳)

$$EXCMAX = \frac{3600 (CVMAX)}{1 - n} (QDIS)$$

EXCMAX که از (رابطه ۳-۲۳) بدست می‌آید، باید از مقدار EXC1 که در گام ۳ استفاده شد، تجاوز کند. اگر چنین نشود، در گام‌های ۳ تا ۷ اشتباهی رخ داده است. محاسبات این گام‌ها باید مجدداً کنترل شوند.

## گام ۸

هدف:

محاسبه هد مورد نیاز تخلیه جت پمپ، HDIS

اطلاعات مورد نیاز:

- الف) مشخصات خط لوله تخلیه جت پمپ شامل قطر داخلی و طول (D & LDISJ) هر دو برحسب متر با اصلاحات برای احتساب شیرها، اتصالات و خم‌ها
- ب) مشخصات هیدرولیکی لوله تخلیه جت پمپ
- ج) نرخ جریان کلی که با جت پمپ رسانده می‌شود، QDIS، متر مکعب بر ثانیه، از گام ۶
- د) سرعت نشست ذره با قطر  $d_{50}$ ، w، متر بر ثانیه (به گام ۱ مراجعه شود)
- ه) بیشترین غلظت رسوبات در لوله تخلیه جت پمپ، CVMAX
- ز) وزن مخصوص رسوبات، SGSOL
- ح) ارتفاع محور مرکزی پمپ اسلاری (ZBOO) نسبت به تراز سطح آب مبنا، متر
- ط) بیشترین وزن مخصوص مخلوط آب و رسوب در لوله تخلیه جت پمپ، SGDISJ، از گام ۷
- ی) بیشترین عمق آب مورد انتظار بر روی جت پمپ در زمان عملیات، DEPMAX، متر
- ک) فشار طراحی یا هد خلا در فلنج مکش پمپ اسلاری، PHSUCB، متر آب
- توصیه‌هایی درباره انتخاب مقدار PHSUCB در این گام ارائه شده است.

اساس:

هد تخلیه جت پمپ نشان دهنده انرژی کل خروجی از جت پمپ است که شامل انرژی مورد نیاز برای غلبه بر تلفات اصطکاکی در لوله تخلیه، انرژی هد سرعت، انرژی مورد نیاز برای بالا بردن مخلوط تا تراز پمپ اسلاری و فشار یا خلا در پمپ اسلاری می‌باشد. تلفات اصطکاکی در لوله‌های حامل سیالات و جامدات در دو گام محاسبه می‌شود. ابتدا تلفات مربوط به جریان سیال به تنهایی محاسبه می‌گردد. سپس این تلفات برای به حساب آوردن حضور جامدات، اصلاح می‌شوند. طول معادل خطوط لوله باید در محاسبات استفاده شود.

#### • اتلاف انرژی سیالات

فرمول داری وایسباخ اغلب برای محاسبه نرخ افت هد جریان سیال در واحد طول لوله  $(\frac{\Delta h}{\Delta L})_w$ ، استفاده می‌شود (رابطه ۳-۲۴).

(رابطه ۳-۲۴)

$$\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_w = \frac{f}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

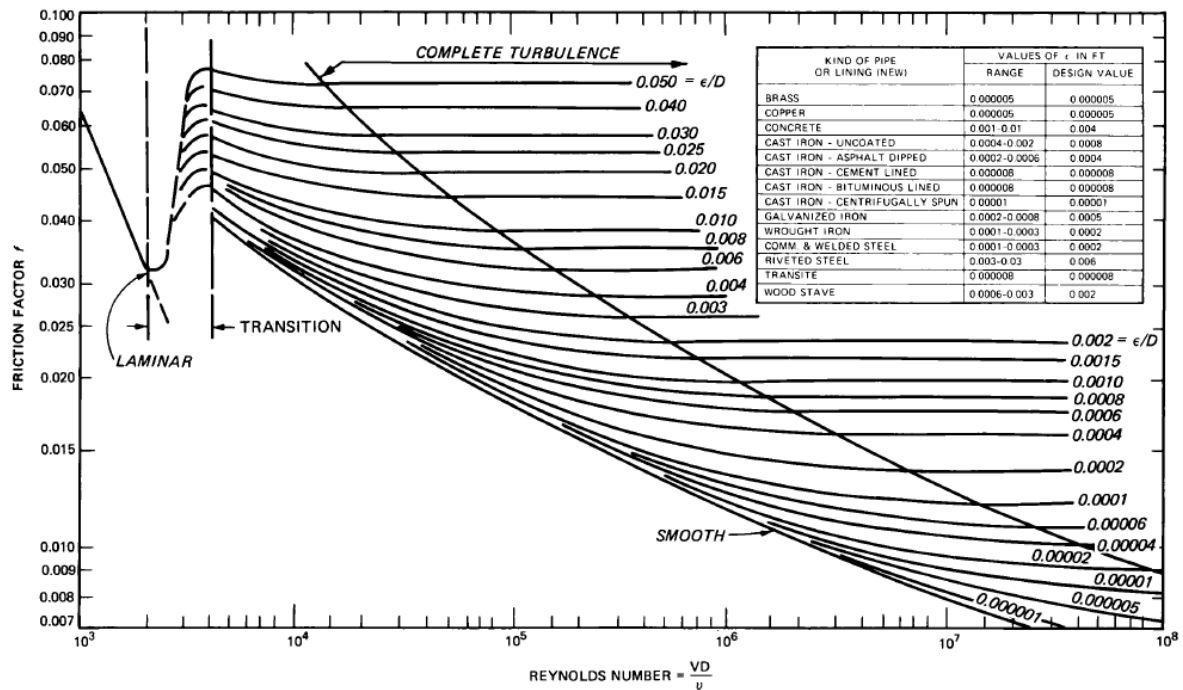
f: فاکتور بدون بعد اصطکاک، تابع زبری نسبی لوله و عدد رینولدز

D: قطر داخلی لوله، متر

V: سرعت جریان در لوله، متر بر ثانیه

g: شتاب گرانش، متر بر مجذور ثانیه

فاکتور اصطکاک  $f$  را از دیاگرام مودی (شکل ۳-۳۴) می‌توان بدست آورد.  $f$  هم‌چنین از روش تکراری Colebrook-white قابل محاسبه است [۲۵]. این روش در پیوست ۱ توضیح داده شده است. روابط دیگری نظیر فرمول هیزن ویلیامز هم برای محاسبه نرخ افت هد سیال قابل استفاده هستند. فرمول مناسب باید توسط طراح، با توجه اطلاعات هیدرولیکی که از مشخصات لوله در دسترس است، انتخاب شود.



شکل ۳-۳۴- دیاگرام مودی [۲۶]

#### • اتلاف انرژی مخلوط آب و رسوب

پیش از انجام اصلاحات بر روی افت هد سیال تنها به منظور محاسبه افت هد در حضور جامدات، باید رژیم جریان موجود در لوله تخلیه تعیین شود. سیستم لوله‌کشی به گونه‌ای طراحی شده است که مخلوط آب و رسوب را در حالت بدون نشست حمل کند، بنابراین تنها کنترلی که باید صورت گیرد این است که آیا مخلوط همگن است و یا غیر همگن. مخلوط ناهمگن دارای گرادیان عمودی غلظت در لوله است. بدین معنا که مواد جامد بیشتری در قسمت پایین لوله، نسبت به بالای آن حمل می‌شود. در مخلوط همگن، سرعت‌های داخل لوله به اندازه‌ای هستند که جامدات به صورت یکنواخت در مقطع عرضی لوله توزیع شوند. نرخ افت هد در جریان‌های همگن بیشتر است. بنابراین به صرفه است که اندازه لوله تخلیه سیستم را به گونه‌ای در نظر بگیریم که جریان غیر همگن ایجاد شود. سرعت انتقالی بین جریان همگن و ناهمگن (VHOM)، با (رابطه ۳-۲۵) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۲۵)

$$VHOM = \sqrt[3]{1800 gwD}$$

D قطر داخلی لوله است و W سرعت نشست ذرات رسوبات است.

هم‌اکنون مقدار افت هد مخلوط آب و رسوب در واحد طول لوله  $\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_m$  قابل محاسبه است.  
برای شرایطی که:

$$V \geq V_{HOM}$$

رژیم همگن

(رابطه ۳-۲۶)

$$\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_m = \left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_w [C_V * (SGSOL-1) + 1]$$

زیروندهای  $m$  و  $w$  اشاره به مخلوط و آب دارند.  
 $C_V$  غلظت حجمی جامدات در مخلوط است.

برای شرایطی که :

$$V_{CRIT} < V < V_{HOM}$$

رژیم غیر همگن

(رابطه ۳-۲۷)

$$\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_m = \left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_w \left\{ \frac{C_V}{V^3} * [1100 (SGSOL - 1) WgD] + 1 \right\}$$

(رابطه ۳-۲۵) و (رابطه ۳-۲۷) مربوط به Newitt et al [۲۷] و (رابطه ۳-۲۶) مربوط به Graf & Acaroglu [۲۴] می‌باشند.

روش:

برای استفاده از روش مذکور برای خط لوله تخلیه جت‌پمپ،  $V_{DIS}$  را جایگزین  $V$  نمایید.  $V_{DIS}$  سرعت در لوله تخلیه جت‌پمپ است (متر بر ثانیه).

(رابطه ۳-۲۸)

$$V_{DIS} = \frac{Q_{DIS}}{A_{DIS}}$$

$A_{DIS}$  سطح مقطع لوله تخلیه جت‌پمپ است (متر مربع).

هم‌چنین برای تعیین افت هد واحد مخلوط از (رابطه ۳-۲۶) یا (رابطه ۳-۲۷)، قطر داخلی لوله تخلیه جت‌پمپ (متر) را برای  $D$  و  $C_{VMAX}$  از گام ۷ را برای  $C_V$  جایگزین کنید. سپس افت هد کلی در لوله تخلیه جت‌پمپ،  $H_{MJ}$  بر حسب متر آب، با (رابطه ۳-۲۹) محاسبه می‌شود.

(رابطه ۳-۲۹)

$$H_{MJ} = \frac{\Delta h}{\Delta L_m} L_{DISJ}$$

در حالی که  $L_{DISJ}$  طول معادل کل لوله تخلیه جت‌پمپ است (متر).

در این مرحله باید به انتخاب PHSUCB (فشار طراحی تخمینی و خلا در فلنج مکش پمپ اسلاری) توجه نمود. انتخاب PHSUCB برای شرایط خلا، منجر به نیاز به HDIS کمتری از جت پمپ خواهد شد که به طور قابل توجهی نیاز جت پمپ به آب تأمین را کاهش می‌دهد. با این حال چنین انتخابی، زمانی که مکش جت پمپ بسته شود و یا اگر سیستم نصب شده مشخصات هیدرولیکی متفاوتی با طراحی داشته باشد، احتمال وقوع کاویتاسیون و چکش آبی را در پمپ اسلاری افزایش می‌دهد. خلا ممکن است باعث شود هوا از طریق مفاصل لوله‌ها و یا دیگر بازشوها به داخل سیستم کشیده شود، که این امر سبب افت کارایی پمپ اسلاری می‌شود و مشکلات کاویتاسیون و چکش آبی را افزایش می‌دهد. می‌توان برای انتخاب PHSUCB یک فشار ملایم نظیر ۳+ متر را برای طراحی اولیه در نظر گرفت و سپس مجدداً طراحی را برای جریان‌ات محتمل مختلف کنترل نمود. هد مورد نیاز تخلیه جت پمپ HDIS بر حسب متر آب از (رابطه ۳-۳۰) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۳۰)

$$HDIS = HMJ + \frac{VDIS^2}{2g} + DEPMAX (SGDISJ - SGWAT) + SGDISJ(ZBOO) + PHSCUB$$

#### گام ۹

هدف:

محاسبه هد مکش جت پمپ

اطلاعات مورد نیاز :

الف) جریان مکش جت پمپ، QSUC، متر مکعب بر ثانیه، همان طور که در گام ۶ استفاده شد.

ب) طول لوله مکش جت پمپ، LSUC، متر

ج) مساحت داخلی مکش جت پمپ، ASUC، متر مربع

اساس:

هد مکش جت پمپ نشانگر کل انرژی موجود در مکش جت پمپ است. این مقدار عبارتست از هد ناشی از سرعت

مکش سیال منهای افت هد مخلوط آب و رسوب زمانی که وارد لوله مکش می‌شود و در آن جریان می‌یابد، است.

روش:

هد مکش جت پمپ، HSUC بر حسب متر آب، از (رابطه ۳-۳۱) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۳۱)

$$HSUC = \frac{VSUC^2}{2g} - [2(LSUC) + 4 \left( \frac{VSUC^2}{2g} \right)]$$

در حالی که

$$VSUC = \frac{QSUC}{ASUC}$$

عبارت داخل کروشه در (رابطه ۳-۳۱)، از مشاهدات آزمایشگاهی به عنوان تخمینی از افت هد کل مخلوط در لوله مکش حاصل شده است. مقدار  $LSUC = 0.6 \text{ m}$  برای هدف طراحی کنونی توصیه شده است.

### گام ۱۰

هدف:

محاسبه هد تامین مورد نیاز جت پمپ، HSUP

اطلاعات مورد نیاز:

الف) نسبت هد جت پمپ، N (به گام ۵ مراجعه شود)

ب) هد مورد نیاز تخلیه جت پمپ، HDIS، متر آب، (به گام ۸ مراجعه شود)

ج) هد مکش جت پمپ، HSUC، متر آب، (به گام ۹ مراجعه شود)

اساس:

نسبت هد جت پمپ (بدون بعد) N، تابعی از هد تامین جت پمپ، هد تخلیه جت پمپ و هد مکش جت پمپ می‌باشد. بنابراین تعریف هر سه از این پارامترها به صورت مشخص و منحصر به فرد، پارامتر چهارم را تعیین می‌کند.

روش:

هد تامین مورد نیاز جت پمپ، HSUP، متر آب، از (رابطه ۳-۳۲) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۳۲)

$$HSUP = \frac{HDIS - HSUC}{N} + HDIS$$

### گام ۱۱

هدف:

محاسبه QSUP از نقطه نظر هیدرولیک نازل، برای تعیین این که آیا مقدار  $QSUP_{min}$  محاسبه شده در گام ۲ واقع بینانه است یا خیر.

اطلاعات مورد نیاز:

الف) هد تامین جت پمپ، HSUP، متر آب

ب) نسبت سطح، R، (از گام ۵)

ج) هد مکش جت پمپ، HSUC، متر آب، (از گام ۹)

اساس:

این گام، گام بسته شدن روش محاسبه تکراری است که هدف آن تعیین پارامترهای عملکرد جت پمپ است. جت پمپ به وسیله آب تامین ورودی از طریق نازل کار می‌کند. بنابراین رفتار آن در سمت تامین می‌تواند با یک معادله

اساسی برای نازل مشخص شود. زمانی که نتیجه محاسبات از معادله مربوط به نازل تقریباً برابر و مشابه مقدار بدست آمده از گام‌های ۱ تا ۱۰ باشد، آن‌گاه مقادیر پارامترهای عملکرد که در گام ۱ تا ۱۰ تعیین شد، معتبر خواهند بود.

روش:

محاسبه QSUP (متر مکعب بر ثانیه)، با استفاده از (رابطه ۳-۳۳) که به صورت محافظه کارانه و بر اساس نتایج تست‌های آزمایشگاهی جت‌پمپ‌ها حاصل شده است، صورت می‌گیرد.

(رابطه ۳-۳۳)

$$QSUP = B(ANOZ)\sqrt{(HSUP - HSUC)}$$

ANOZ از (رابطه ۳-۳۴) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۳۴)

$$ANOZ=R*AMIX$$

(جدول ۳-۵) مقادیر AMIX برای جت‌پمپ‌های Pekor، ۴\*۴\*۶ و ۶\*۶\*۸ را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵- مقادیر AMIX برای جت‌پمپ‌های pekor

| AMIX (متر مربع) | جت پمپ |
|-----------------|--------|
| ۰,۰۰۸           | ۴*۴*۶  |
| ۰,۰۱۸           | ۶*۶*۸  |

B ضریبی است که با مقدار R تغییر می‌کند. (جدول ۳-۶) مقادیر B را مطابق با مقادیر R نشان می‌دهد.

جدول ۳-۶- مقادیر ضریب B بر حسب پارامتر نسبت سطح

| R     | B (m <sup>1/2</sup> /s) |
|-------|-------------------------|
| ۰,۰۹۶ | ۰,۰۰۰۱۲۳                |
| ۰,۱۳۸ | ۰,۰۰۰۱۷۶                |
| ۰,۱۷۵ | ۰,۰۰۰۲۲۴                |
| ۰,۲۰۲ | ۰,۰۰۰۲۵۸                |
| ۰,۲۴۶ | ۰,۰۰۰۳۱۴                |
| ۰,۳۱۱ | ۰,۰۰۰۳۹۷                |

این مقدار QSUP با مقدار QSUP استفاده شده در تعیین نهایی M در گام ۵ مقایسه شود. اگر مقدار آن‌ها تقریباً ۵٪ یکدیگر نباشد، روش محاسبات تکراری، باید مجدداً انجام شود. مقدار QSUP گام ۵ با مقدار QSUP بدست آمده در این گام جایگزین می‌شود. به گام ۵ بازگشته و دوباره تا اینجا عملیات تکرار می‌شود. ممکن است چندین دور تکرار بین گام‌های ۵ تا ۱۱ لازم باشد تا زمانی که دو مقدار QSUP هم‌خوانی داشته باشند. پس از اولین تکرار، مقدار QSUP که در این مرحله محاسبه شد، دیگر با مقدار اصلی QSUP در گام ۵ مقایسه نمی‌شود، بلکه با مقدار QSUP محاسبه شده در تکرار قبلی مقایسه می‌شود.

- توجه: اگر هر زمانی مقدار QSUP محاسبه شده در این مرحله کمتر از QSUP بدست آمده از مرحله ۵ شود، تکرار باید به صورت متفاوت انجام شود. در این حالت هر یک از دو پارامتر سرعت حفاری (EXC) و یا قطر لوله تخلیه جت پمپ می‌توانند کاهش پیدا کنند. مورد اول باعث کاهش QSUC و مورد دوم باعث کاهش QSUP خواهد شد. در هر دو مورد طراح باید به طرح اولیه سیستم بازگردد.

## گام ۱۲

هدف:

کنترل امکان وقوع کاویتاسیون در جت پمپ

اطلاعات مورد نیاز:

الف) هد تامین جت پمپ، HSUP، متر آب، (به گام ۱۰ مراجعه شود)

ب) هد مکش جت پمپ، HSUC، متر آب، (به گام ۹ مراجعه شود)

ج) سرعت مکش جت پمپ، VSUC، متر بر ثانیه، (به گام ۹ مراجعه شود)

د) نسبت سطح جت پمپ، R، (به گام ۵ مراجعه شود)

ه) نسبت جریان جت پمپ، M، (به گام ۵ مراجعه شود)

و) حداقل عمق مورد انتظار آب بر روی جت پمپ در حین عملیات، DEPMIN، متر

ز) فشار اتمسفر، ATOMS، متر آب

ح) فشار بخار آب، VAP، متر آب

ط) نرخ جریان تامین جت پمپ، QSUP، متر مکعب بر ثانیه، (که نهایتاً در فرآیند گام‌های ۲ تا ۱۱ روش تکراری

تعیین گردید)

ی) مساحت بازشو در راس نازل جت پمپ، ANOZ، متر مربع، (به گام ۱۱ مراجعه شود)

اساس:

پیش بینی دقیق کاویتاسیون در جت پمپ pekora، مخصوصاً زمانی که جامدات را پمپ می‌کند، به صورت آزمایشگاهی در این مرحله تعیین نشده است. به همین دلیل توصیه شده است که طراح نقاط عملکرد جت پمپ را همان طور که در گام‌های ۵ تا ۱۱ تعیین گردید، در برابر معیارهای کاویتاسیون که از [Silvester and Mueller ۲۸] و [Wakefield ۲۹] برداشت شده، کنترل نماید. اگر چه این معیارها به صورت مستقیم برای جت پمپ‌های Pekor ارائه نشده‌اند، اما در بیان این که آیا نقطه انتخاب شده در محدوده خطر امکان وقوع کاویتاسیون قرار دارد یا نه، کمک کننده خواهد بود.

روش:

معیار Silvester & Mueller به صورت (رابطه ۳-۳۵) می باشد.



(رابطه ۳-۳۵)

$$\frac{HSUP + DEPMIN}{ATOMS - VAP + HSUC - \left(\frac{VSUC^2}{2g}\right) + DEPMIN} \leq \left[\frac{0.95(1-R)}{M * R}\right]^2$$

در صورتی که این نامساوی برقرار باشد، کاویتاسیون رخ نخواهد داد. معیارهای موجود در مطالعات Wakefield شامل استفاده از یک گراف می‌باشد [۲۹]. برای هدف این راهنما، گراف حذف شده و (رابطه ۳-۳۶) استفاده شده است.

(رابطه ۳-۳۶)

$$\frac{\left(HSUC - \frac{VSUC^2}{2g} + DEPMIN + ATOMS\right) 2g}{VNOZ^2} > 0.046 - 0.126X + 1.44X^2 + 4.44X^3 - 9.18X^4$$

$$X = VSUC/VNOZ$$

VNOZ: سرعت جت آب در راس نازل، متر بر ثانیه

مجدداً اگر این نامساوی برقرار شود، کاویتاسیون رخ نخواهد داد.

VNOZ از (رابطه ۳-۳۷) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۳۷)

$$VNOZ = \frac{QSUP}{ANOZ}$$

اگر وقوع کاویتاسیون با هر یک از این دو معیار نشان داده شود، طراح دو گزینه پیش رو دارد:

الف) کاهش QSUC

ب) انتخاب جت پمپ بزرگ‌تر

از (رابطه ۳-۱۰) و (رابطه ۳-۱۳) در می‌یابیم که QSUC مستقیماً تابع EXC1 است و EXC1 فقط به EXC و NUM

بستگی دارد. بنابراین انتخاب گزینه (الف) به معنی بازگشت به طرح اولیه سیستم است تا بررسی شود که چه پارامتری را می‌توان تغییر داد تا EXC1 کم شود و در نتیجه QSUC کاهش یابد. انتخاب روش (ب) تنها زمانی ممکن است که QSUC در ناحیه انتقالی تعریف شده در جدول گام ۴ قرار بگیرد. اگر روش (ب) انتخاب شود، طراح باید به طرح اولیه سیستم بازگردد تا مشخص نماید که آیا تغییر در اندازه لوله‌ها ضروری است یا خیر.

### گام ۱۳

هدف:

محاسبه تمام اتلاف انرژی‌های مورد انتظار در خط لوله تخلیه پمپ اسلاری اطلاعات مورد نیاز:

الف) مشخصات خط لوله تخلیه پمپ اسلاری شامل قطر داخلی و طول معادل (هر دو بر حسب متر) با احتساب طول معادل برای شیرها، اتصالات و خم‌های موجود

ب) مشخصات هیدرولیکی لوله تخلیه پمپ اسلاری

ج) نرخ جریان کلی که توسط جت‌پمپ به پمپ اسلاری رسانده می‌شود، QDIS، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۶ مراجعه شود)

د) سرعت نشست ذرات رسوب با قطر متوسط  $d_{50}$ ، W، (به گام ۱ مراجعه شود)

ه) بیشینه غلظت جامدات در خط لوله تخلیه جت‌پمپ، CVMAX، (به گام ۷ مراجعه شود)

و) وزن مخصوص رسوبات، SGSOL

اساس:

متدولوژی محاسبه تلفات ناشی از اصطکاک در لوله‌هایی که مخلوط آب و ماسه حمل می‌کنند در گام ۸ ارائه شد و در اینجا تکرار نمی‌شود.

روش:

سرعت در خط لوله تخلیه پمپ اسلاری (VDISB)، متر بر ثانیه، باید بر اساس کل خروجی جت‌پمپ به علاوه مقدار آب فلاشینگ وارد شده به پمپ اسلاری محاسبه شود.

(رابطه ۳-۳۸)

$$VDISB = \frac{QDIS + QFL}{ADISB}$$

QFL: دبی حجمی آب فلاشینگ به داخل پمپ اسلاری، متر مکعب بر ثانیه

ADISB: سطح داخلی لوله تخلیه پمپ اسلاری، متر مربع

مقادیر پیشنهادی QFL از یک پمپ به پمپ دیگر متفاوت است. اما QFL معمولاً بین ۰,۰۰۶۳ تا ۰,۰۰۹۵ متر مکعب بر ثانیه فرض می‌شود. بیشترین غلظت حجمی مورد انتظار جامدات در خط لوله تخلیه پمپ اسلاری، CVMAXB از رابطه (رابطه ۳-۳۹) بدست می‌آید.

(رابطه ۳-۳۹)

$$CVMAXB = CVMAX \left( \frac{QDIS}{QDIS + QFL} \right)$$

با استفاده از روابط گام ۸ و با جایگزینی VDISB برای V، قطر داخلی لوله تخلیه پمپ اسلاری برای D و CVMAXB برای  $C_v$ ، افت هد در واحد طول خط لوله  $\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_m$ ، قابل محاسبه خواهد بود. افت هد کل در خط لوله تخلیه پمپ اسلاری (HMB)، بر حسب متر آب با (رابطه ۳-۴۰) محاسبه می‌شود.

(رابطه ۳-۴۰)

$$HMB = \left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_m * LDISB$$

LDISB: طول کل معادل خط لوله تخلیه پمپ اسلاری، متر

### گام ۱۴

هدف:

محاسبه مشخصات عملکردی پمپ اسلاری. این مشخصات شامل هد دینامیکی کل پمپ اسلاری (TDHB)، نرخ جریان پمپ اسلاری (QDISB) و وزن مخصوص خروجی پمپ اسلاری (SGDISB) می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز:

الف) افت هد اصطکاکی کل در خط لوله تخلیه پمپ اسلاری، HMB، متر آب، (به گام ۱۳ مراجعه شود)

ب) فشار طراحی تخمینی یا خلا در فلنج مکش پمپ اسلاری، PHSUCB، متر آب، (به گام ۸ مراجعه شود)

ج) ارتفاع انتهای لوله تخلیه پمپ اسلاری نسبت به سطح آب مبنا، ZDIS، متر

د) ارتفاع محور مرکزی پمپ اسلاری نسبت به سطح آب، ZBOO، متر

ه) بیشینه غلظت جامدات در خط لوله تخلیه اسلاری، CVMAXB، (به گام ۱۳ مراجعه شود)

و) نرخ جریان خروجی جت پمپ، QDIS، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۶ مراجعه شود)

ز) جریان آب فلاشینگ به پمپ اسلاری، QFL، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۳ مراجعه شود)

ح) وزن مخصوص جامدات رسوبی، SGSOL

روش:

هد دینامیکی کل مورد نیاز از پمپ اسلاری (TDHB) شامل اتلاف هد کل در خط لوله تخلیه پمپ اسلاری (HMB)

بر حسب متر آب، فشار طراحی یا خلا در فلنج مکش پمپ اسلاری (HSUCB) بر حسب متر آب و اختلاف ارتفاع بین محور مرکزی پمپ و انتهای لوله تخلیه در محل تخلیه بر حسب متر می‌باشد.

TDHB بر حسب متر آب از (رابطه ۳-۴۱) محاسبه می‌شود.

(رابطه ۳-۴۱)

$$TDHB = HMB - PHSUCB + (ZDIS - ZBoo)$$

- توجه: ترم‌های انرژی جنبشی (سرعت) در این محاسبات گنجانده نشده‌اند. چرا که تنها سهم آن‌ها در TDHB اختلاف ناچیز بین هد سرعت در مکش پمپ و تخلیه پمپ است.

در این مرحله طراح باید اطلاعات ارائه شده توسط تولید کنندگان پمپ‌ها را بررسی کند و گروهی از پمپ‌های اسلاری را با توجه به نرخ جریان آب فلاشینگ که در مراحل پیشین تخمین زده شده است، انتخاب نماید. در صورت

امکان باید یک مقدار دقیق QFL برای استفاده‌های بعدی انتخاب شود. دبی جریان تخلیه شده از پمپ اسلاری (QDISB) ، متر مکعب بر ثانیه، از (رابطه ۳-۴۲) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۴۲)

$$QDISB = QDIS + QFL$$

بیشینه وزن مخصوص مخلوط آب و رسوب تخلیه شده از پمپ اسلاری (SGDISB) از (رابطه ۳-۴۳) بدست می آید.

(رابطه ۳-۴۳)

$$SGDISB = CVMAXB(SGSOL) + (1 - CVMAXB)$$

## گام ۱۵

هدف:

محاسبه نرخ تولید جریان آب تمیز مورد نیاز توسط پمپ تامین آب

اطلاعات مورد نیاز:

الف) نرخ جریان آب تامین جت پمپ، QSUP، متر مکعب بر ثانیه، ( به گام ۵ مراجعه شود)

ب) نرخ جریان آب فلاشینگ مورد نیاز پمپ اسلاری، QFL، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۳ مراجعه شود)

اساس :

نرخ تولید جریان آب تمیز توسط پمپ تامین با توجه به نیازهای آبی جت پمپ تعیین می شود. اگر جت‌های برشی<sup>۱</sup> در جت پمپ استفاده شوند، آب مورد نیاز آن‌ها (QJET) نیز به حجم آب مورد نیاز اضافه خواهد شد. در برخی موارد ممکن است که آب فلاشینگ برای پمپ اسلاری نیز توسط پمپ تامین آب تمیز تهیه شود. در این شرایط نرخ این جریان هم باید به نرخ جریان برداشت شده توسط پمپ تامین آب تمیز اضافه شود. با این وجود قبل از نهایی کردن طرح با استفاده از چنین سیستم آبرسانی، بهتر است با تولیدکننده پمپ اسلاری در مورد نیازهای خاص هماهنگی لازم صورت گیرد.

روش:

مقدار QJET به صورت دقیق تعیین نشده است، اما (رابطه ۳-۴۴) یک تخمین واقع بینانه از این پارامتر را بدست می دهد.

(رابطه ۳-۴۴)

$$QJET = 0.2(QSUC)$$

دبی کل مورد نیاز از پمپ تامین (QSUP) از (رابطه ۳-۴۵) محاسبه می شود.

(رابطه ۳-۴۵)

$$QSUP = QSUC + QJET + QFL$$

- توجه: QJET و QFL تنها زمانی در این عبارت گنجانده می‌شوند که آب مورد نیاز آن‌ها باید توسط پمپ تامین، تهیه گردد. امکان سنجی نهایی تامین QFL توسط پمپ تامین، زمانی که هد تخلیه پمپ تامین محاسبه و با هد تخلیه پمپ اسلاری مقایسه گردد، امکان پذیر خواهد بود.

## گام ۱۶

هدف:

محاسبه هد دینامیکی کل مورد نیاز پمپ تامین آب تمیز

اطلاعات مورد نیاز:

الف) سطح داخلی لوله مکش پمپ تامین (ASUPS)، سطح داخلی لوله تامین آب جت پمپ (ASUPD)، متر مربع

ب) قطر داخلی لوله مکش پمپ تامین آب و لوله تخلیه پمپ تامین آب، متر

ج) طول‌های معادل لوله مکش پمپ تامین آب (LSUPS) و لوله تامین آب جت پمپ (LSUPD)، متر

د) مشخصات هیدرولیکی لوله‌های مکش و تخلیه پمپ تامین آب

ه) نرخ تولید جریان آب تمیز مورد نیاز توسط پمپ تامین، QSUP، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۵ مراجعه شود)

و) ارتفاع پمپ تامین آب در بالای سطح آب مبنا، ZSUP، متر

ز) هد تامین جت پمپ، HSUP، متر آب، (به گام ۱۰ مراجعه شود)

ح) نرخ جریان آب تامین جت پمپ، QSUP، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۱ مراجعه شود)

ط) نرخ جریان آب مورد نیاز جت‌های برشی کمکی، QJET، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۵ مراجعه شود)

ی) آب شست و شوی مورد نیاز، QFL، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۳ مراجعه شود)

اساس:

هد دینامیکی کل پمپ تامین آب تمیز که به اختصار هد کل نیز نامیده می‌شود، نشان دهنده انرژی که توسط پمپ تامین آب به سیال منتقل می‌گردد، می‌باشد. این انرژی می‌تواند فرم تغییر تراز، سرعت یا تغییر فشار سیال پمپاژ شده را بگیرد. بر اساس تعریف، مجموع این تغییرات برحسب متر آب، هد دینامیکی کل پمپ خواهد بود. برای یک پمپ گریز از مرکز که آب را برای یک جت پمپ مستغرق تامین می‌کند، تغییر ارتفاع آب عبوری از طریق پمپ گریز از مرکز صفر است. تغییر در سرعت ممکن است با هد سرعت در لوله تخلیه پمپ گریز از مرکز تقریب زده شود.

تغییر فشار به علت دو عامل ممکن است رخ دهد:

الف) تامین هد مورد نیاز جت پمپ (HSUP)

ب) تلفات کلی ناشی از اصطکاک در لوله مکش و لوله‌های تخلیه پمپ گریز از مرکز

روش:

استفاده از روشی که در گام ۸ برای محاسبه نرخ افت هد در واحد طول لوله برای جریان سیال ارائه شد (فرمول دارسی وایسباخ)، در این گام نیز پیشنهاد می‌گردد. این روش باید به صورت جداگانه برای لوله مکش پمپ گریز از مرکز و لوله تخلیه آن استفاده شود. سرعت در لوله مکش (VSUPS) (متر بر ثانیه)، از (رابطه ۳-۴۶) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۴۶)

$$VSUPS = \frac{QSUP + QJET + QFL}{ASUPS}$$

سرعت در خط لوله تامین جت پمپ (VSUPD)، (متر بر ثانیه)، از (رابطه ۳-۴۷) بدست می‌آید.

(رابطه ۳-۴۷)

$$VSUPD = \frac{QSUP + QJET}{ASUPD}$$

مشابه گام ۱۵، QJET و QFL تنها در صورتی که توسط پمپ تامین برآورده شوند، در محاسبات گنجانده می‌شوند. QFL در محاسبه VSUPD وارد نمی‌شود، زیرا معمولاً مدت کوتاهی پس از ترک پمپ تامین آب، از خط لوله تخلیه حذف می‌شود. با استفاده از مقادیر مناسب سرعت، قطر داخلی و مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها، نرخ افت هد در واحد طول باید برای لوله مکش پمپ تامین آب  $(\frac{\Delta h}{\Delta L})_{WSS}$  و خط لوله تامین آب جت پمپ  $(\frac{\Delta h}{\Delta L})_{WSD}$  محاسبه شوند. سپس افت هد کلی در خط لوله مکش پمپ تامین آب (HWSS)، مترآب، با استفاده از (رابطه ۳-۴۸) حساب می‌شود.

(رابطه ۳-۴۸)

$$HWSS = (\frac{\Delta h}{\Delta L})_{WSS} * LSUPS$$

یک نکته مهم که باید در رابطه با LSUPS در نظر گرفته شود، تخصیص افت ناشی از ورود آب به لوله مکش می‌باشد. افت هد کلی در خط لوله تامین جت پمپ (HWSD) بر حسب متر آب با استفاده از (رابطه ۳-۴۹) قابل محاسبه است.

(رابطه ۳-۴۹)

$$HWSD = (\frac{\Delta h}{\Delta L})_{WSD} * LSUPD$$

هد دینامیکی کل مورد نیاز پمپ تامین (TDHS)، بر حسب متر آب، با استفاده از (رابطه ۳-۵۰) بدست می‌آید.

(رابطه ۳-۵۰)

$$TDHS = HSUP + HWSS + HWSD$$

## گام ۱۷

هدف:

محاسبه هد مکش مثبت خالص موجود در فلنج مکش پمپ تامین، NPSHA

اطلاعات مورد نیاز:

الف) افت هد در خط لوله مکش پمپ تامین، HWSS، متر آب، (به گام ۱۶ مراجعه شود)

(ب) فشار اتمسفر، ATOMS، متر آب

(ج) فشار بخار آب، VAP، متر آب

(د) بیشترین تراز مورد انتظار برای محور مرکزی مکش پمپ تامین در بالای سطح آزاد آب، ZSUPM، متر

(ه) سرعت در خط لوله مکش پمپ تامین، VSUPS، متر بر ثانیه، (به گام ۱۶ مراجعه شود)

اساس:

هد مکش مثبت خالص موجود نشان دهنده فشار مطلق مایع در فلنج مکش پمپ تامین در بالای فشار بخار خود می‌باشد. انواع مختلف پمپ‌های گریز از مرکز، در نقطه عملکرد مشخص، برای جلوگیری از وقوع کاویتاسیون نیازمند مقادیر مختلف NPSHA هستند. این مقدار مورد نیاز NPSHR را نشان می‌دهد. NPSHR برای یک پمپ مشخص، با تغییر نقطه عملکرد تغییر می‌کند.

روش:

ZSUPM تراز محور مرکزی مکش پمپ تامین آب در بالای پایین‌ترین تراز سطح آب در هنگام عملیات پمپاژ می‌باشد.

NPSHA<sup>۱</sup> بر حسب متر آب، از (رابطه ۳-۵۱) قابل محاسبه می‌باشد.

(رابطه ۳-۵۱)

$$NPSHA = ATOMS - VAP - HWSS - ZSUPM - \frac{VSUPS^2}{2g}$$

## گام ۱۸

هدف:

انتخاب پمپ تامین آب برای سیستم جت‌پمپ

اطلاعات مورد نیاز:

(الف) هد دینامیکی کل مورد نیاز پمپ تامین آب، TDHS، متر آب، (به گام ۱۶ مراجعه شود)

(ب) جریان کل مورد نیاز پمپ تامین آب، QSUPT، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۵ مراجعه شود)

(ج) هد مکش مثبت خالص موجود در فلنج مکش پمپ تامین آب، NPSHA، متر آب، (به گام ۱۷ مراجعه شود)

روش:

نقطه عملکرد مورد نیاز پمپ تامین آب در طی محاسبات پارامترهای TDHS، QSUPT و NPSHA تعیین شده است. منحنی‌های عملکرد پمپ‌های مختلف از تولیدکنندگان متعدد باید مورد بررسی قرار گیرند تا در نهایت یک پمپ که می‌تواند نقطه عملکرد مطلوب را با حداقل توان مورد نیاز تولید کند و هد مکش مثبت خالص مورد نیاز (NPSHR) در نقطه عملکرد کمتر یا مساوی NPSHA داشته باشد، از میان آن‌ها تعیین گردد. انتخاب پمپ‌های سانتریفیوژ شامل

1-Net positive suction head available

انتخاب قطر پروانه مشخص برای پمپ نیز می‌باشد. موتور الکتریکی مورد استفاده برای کارکرد پمپ باید به صورت پیوسته قادر به تامین انرژی مورد نیاز برای راه اندازی پمپ مورد نظر با اندازه پروانه مشخص باشد. موقعیت قرار گیری پمپ باید به گونه‌ای باشد که امکان دسترسی به آن به هنگام تعمیر و یا تعویض پروانه وجود داشته باشد. مواد مقاوم در برابر خوردگی باید برای استفاده در محیط‌های با آب شور استفاده شوند.

## گام ۱۹

هدف:

انتخاب پمپ اسلاری برای رساندن مخلوط آب و رسوب به سایت تخلیه  
اطلاعات مورد نیاز :

(الف) هد دینامیکی کل مورد نیاز پمپ اسلاری، TDHB، متر آب، (به گام ۱۴ مراجعه شود)

(ب) نرخ جریان کل در پمپ اسلاری، QDISB، متر مکعب بر ثانیه، (به گام ۱۴ مراجعه شود)

(ج) وزن مخصوص مخلوط در پمپ اسلاری، SGDISB، (به گام ۱۴ مراجعه شود)

(د) اندازه متوسط ذرات رسوب d50، میلیمتر

(ه) بیشینه غلظت جامدات در لوله تخلیه پمپ اسلاری، CVMAXB، (به گام ۱۳ مراجعه شود)

اساس:

اصطلاح پمپ اسلاری، برای توصیف پمپی که وظیفه تامین انرژی مورد نیاز برای رساندن مخلوط آب و رسوب بای-پس شده به محل تخلیه را دارد، به کار می‌رود. در واقع پمپ انتخاب شده یک پمپ گریز از مرکز است که به طور خاص با فاصله‌های داخلی بزرگ و قطعات سخت تقویت شده برای کنترل و هدایت جامدات طراحی شده است. انتخاب این پمپ مشابه انتخاب پمپ تامین آب تمیز در گام ۱۸ است با این تفاوت که وجود جامدات در پمپ دارای آثاری نظیر کاهش کارایی پمپ می‌باشد، در حالی که انرژی مورد نیاز برای انتقال جریان مشخص در یک فشار تخلیه معین افزایش می‌یابد. منحنی‌های عملکرد پمپ‌ها معمولاً برای پمپاژ آب تمیز داده می‌شوند. بنابراین اطلاعات بدست آمده از آن‌ها باید برای در نظر گرفتن آثار جامدات، اصلاح شود.

روش:

گام اول تبدیل هد دینامیکی کل پمپ اسلاری (TDHB) از متر آب، به متر مخلوط آب و رسوب، (TDHBM) است. این تبدیل با استفاده از (رابطه ۳-۵۲) انجام می‌شود.

(رابطه ۳-۵۲)

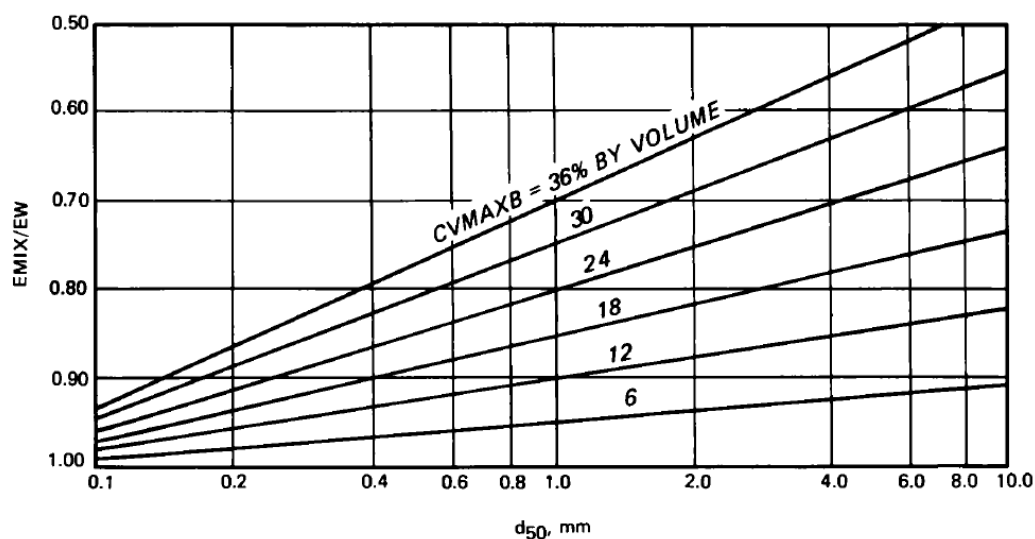
$$TDHBM = \frac{TDHB}{SGDISB}$$



سپس نسبت کارایی سیستم زمانی که مخلوط آب و رسوب پمپاژ می‌شود (EMIX)، به کارایی در زمانی که آب پمپاژ می‌شود (EW)، با ورود به (شکل ۳-۳۵) با استفاده از اندازه  $d_{50}$  ذرات و بر اساس CVMAXB تعیین می‌شود. سپس هد دینامیکی کل برای این کاهش کارایی با (رابطه ۳-۵۳) تصحیح می‌شود.

(رابطه ۳-۵۳)

$$TDHBME = \frac{TDHBM}{\frac{EMIX}{EW}}$$



شکل ۳-۳۵- نسبت کارایی پمپ در پمپاژ مخلوط آب و رسوب به کارایی در پمپاژ آب در مقابل اندازه ذره [۳۰]

در نهایت با استفاده از مقادیر بدست آمده برای هد دینامیکی کل مورد نیاز (با اعمال اصلاحات مربوط به کاهش کارایی و در نظرگیری حضور جامدات برای پمپاژ مخلوط آب و رسوب) (TDHBME) و مقدار کل جریان مورد نیاز خروجی از پمپ اسلاری (QDISB)، انتخاب پمپ مناسب با بررسی منحنی عملکرد انواع پمپ‌های تولید شده توسط شرکت‌های مختلف صورت می‌گیرد. اسب بخار مورد نیاز پمپ که در منحنی‌های سازندگان نشان داده شده است، بیانگر نیروی مورد نیاز پمپاژ آب (BHPW) است که باید برای پمپاژ مخلوط آب و رسوب اصلاح شود. با فرض این که پمپ در نزدیکی نقطه پیک کارایی خود عمل می‌کند، اسب بخار مورد نیاز برای پمپاژ مخلوط آب و رسوب BHPM از (رابطه ۳-۵۴) بدست می‌آید.

(رابطه ۳-۵۴)

$$BHPM = BHPW(SGDISB)$$

ب- روش طراحی گرافیکی<sup>۱</sup>

برخی مراحل روش طراحی گرافیکی با بخشی از روش طراحی تکراری مطابقت دارد. این گام‌ها در این بخش تکرار نشده‌اند و تنها به آن‌ها ارجاع داده شده است. بنابراین آشنایی با روش تکراری پیش نیاز استفاده از این روش است. در پیوست ۲ چگونگی استخراج این روش طراحی و ارتباط آن با روش تکراری بررسی شده است.

### گام ۱-۳

گام‌های ۱ تا ۳ همان گونه که در روش تکراری گفته شد، اجرا می‌شوند.

### گام ۴

هدف:

تولید گروهی از منحنی‌ها که هد تخلیه مورد نیاز جت پمپ (HDIS) را برای مقدار مشخص جریان مکش جت پمپ (QSUC) و جریان تامین آب (QSUP) نشان می‌دهند.

اطلاعات مورد نیاز:

(الف) حداقل نرخ جریان آب تامین جت پمپ،  $QSUP_{min}$ ، (به گام ۲ مراجعه شود)

(ب) جریان مکش مورد نیاز جت پمپ، QSUC، (به گام ۳ مراجعه شود)

(ج) مشخصات خط لوله تخلیه جت پمپ شامل طول و اصلاحات برای شیرها، اتصالات و خم‌ها (سایزهای مختلفی ممکن است در اینجا در نظر گرفته شوند)

(د) مشخصات هیدرولیکی لوله تخلیه جت پمپ

(ه) سرعت نشست رسوبات با قطر  $d_{50}$ ،  $w$ ، (به گام ۱ مراجعه شود)

(و) وزن مخصوص جامدات، SGSOL

(ز) ارتفاع فلنج مکش پمپ اسلاری نسبت به سطح آب، ZBOO

(ح) فشار طراحی تخمینی و یا خلا در فلنج مکش پمپ اسلاری، HSUCB، (به گام ۸ روش طراحی تکراری مراجعه شود)

(ط) بیشینه وزن مخصوص فرض شده برای مخلوط مکش، SGSUC، (به گام ۷ در روش طراحی تکراری مراجعه شود)

اساس:

هد تخلیه مورد نیاز جت پمپ تابعی از نرخ جریان تخلیه، غلظت جامدات، مشخصات خط لوله و شرایط در مکش پمپ اسلاری است. با فرض مقادیر مختلف برای برخی یا تمام این پارامترها، هد تخلیه مورد نیاز برای شرایط مختلف تخلیه قابل محاسبه است. انجام این کار به صورت سیستماتیک منجر به تولید مقادیری می‌شود که برای تولید مجموعه منحنی‌های هدهای تخلیه مورد نیاز قابل استفاده است.

روش:

اگر چندین قطر و جنس برای خط لوله تخلیه جت پمپ در نظر گرفته شده است، اندازه و نوعی لوله را برای آغاز محاسبات انتخاب کنید. سپس یک مقدار آغازین برای جریان تامین جت پمپ (QSUP) کوچکتر مساوی  $QSUP_{min}$  انتخاب کنید. همچنین یک مقدار اولیه برای جریان مکش جت پمپ (QSUC) انتخاب کنید که چندصد گالون بر دقیقه کمتر از مقدار QSUC در گام ۳ باشد. از این مقادیر اولیه برای محاسبه روابط زیر استفاده کنید.

(رابطه ۳-۵۵)

$$QDIS = QSUP + QSUC$$

(تکرار ۲۸)

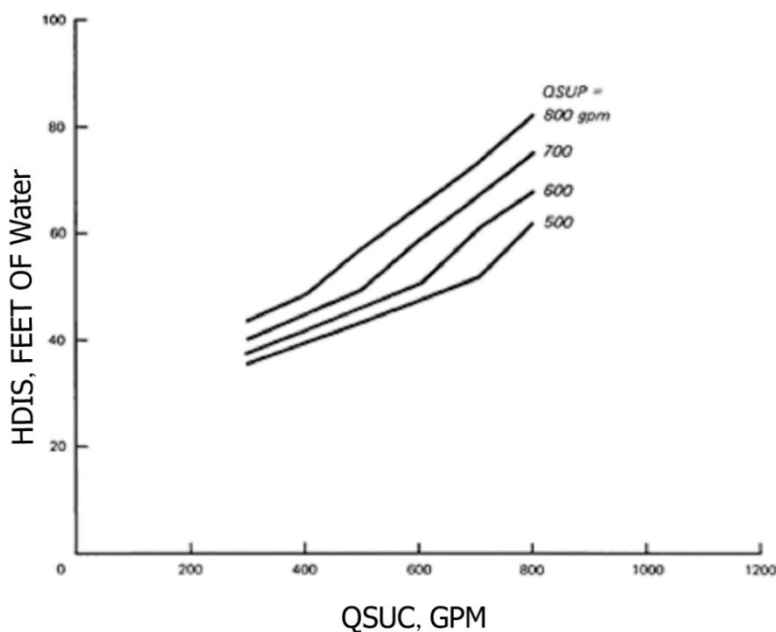
$$VDIS = \frac{QDIS}{ADIS}$$

(رابطه ۳-۵۶)

$$CVMAX = \left( \frac{QSUC \text{ SGSUC} - SGWAT}{QDIS \text{ SGSOL} - SGWAT} \right)$$

این مقادیر محاسبه شده را در گام ۸ روش طراحی تکراری برای محاسبه گرادیان اتلاف انرژی در لوله‌های حامل مخلوط آب و ماسه استفاده کنید. نتیجه یک مقدار برای  $\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_m$  خواهد بود. با باقی گام ۸ روش طراحی تکراری ادامه دهید تا به هد تخلیه مورد نیاز برای جت پمپ (HDIS) برسید. این مقدار را با مقادیر QSUP و QSUC مربوطه ثبت کنید. بدون تغییر در مقدار QSUP، مقدار QSUC را حدود ۱۰۰ gpm یا کمتر، افزایش دهید و فرآیند بالا را تکرار کنید. این فرآیند تا زمانی که QSUC چند صد گالون در دقیقه بزرگ‌تر از مقدار گام ۳ شود، ادامه می‌یابد. مقادیر HDIS، QSUP و QSUC مربوط به هر مرحله را ثبت نمایید.

سپس مقدار QSUP را حدود ۱۰۰ gpm یا کمتر اضافه نموده و فرآیند محاسبه را مجدداً با مقدار QSUC که در ابتدا استفاده شده بود، شروع نمایید. این فرآیند را تا جایی تکرار می‌کنیم که QSUP چند صد گالون بر دقیقه بزرگ‌تر از  $QSUP_{min}$  شود. نتیجه مجموعه‌ای از مقادیر HDIS مورد نیاز مطابق با مقادیر مشخص از QSUP و QSUC برای نوع و اندازه مشخص از لوله تخلیه خواهد بود. این اطلاعات را می‌توان به صورت جدول ثبت نمود. (جدول ۳-۷)، نتایج فرضی مجموعه‌ای از چنین محاسباتی را برای سیستم با طرح مشابه ولی با دو اندازه مختلف سائز لوله تخلیه نشان می‌دهد. گام آخر در این مرحله، استفاده از مقادیر موجود در جدول برای ایجاد مجموعه منحنی‌هایی از QSUC در مقابل HDIS است. (شکل ۳-۳۶) مجموعه‌ای از چنین منحنی‌هایی را که بر اساس اطلاعات مربوط به لوله تخلیه  $\epsilon_{in}$  که در (جدول ۳-۷) ارائه شده‌اند، نشان داده است. هر منحنی یک ردیف از (جدول ۳-۷) را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۶- نمونه منحنی‌های خط لوله تخلیه جت پمپ برای لوله 6 in

برای سازگاری با مقیاس منحنی‌های عملکرد جت پمپ که در گام بعدی بحث خواهد شد، این منحنی‌ها باید با استفاده از محورهایی با مقیاس‌های زیر رسم شوند. منحنی‌ها باید در یک رسانه شفاف مانند کاغذهای شفاف رسم شوند و یا در نهایت به آنها منتقل گردند تا بتوانند در مرحله بعد روی هم گذاری (هم پوشانی) شوند.

افقی (QSUC): 1in = 200 gpm

عمودی (HDIS): 1in = 20 feet of water

جدول ۳-۷- مثال: HDIS مورد نیاز

| QSUP (gpm)                                                                                                                                     | QSUC (gpm) |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                                | ۳۰۰        | ۴۰۰  | ۵۰۰* | ۶۰۰  | ۷۰۰  | ۸۰۰  |
| لوله تخلیه 6 in                                                                                                                                |            |      |      |      |      |      |
| ۵۰۰                                                                                                                                            | ۳۵,۶       | ۳۹,۳ | ۴۳,۱ | ۴۷,۱ | ۵۱,۴ | ۶۲,۱ |
| ۶۰۰ (QSUP <sub>min</sub> )                                                                                                                     | ۳۷,۴       | ۴۱,۶ | ۴۵,۹ | ۵۰,۴ | ۶۰,۴ | ۶۸,۳ |
| ۷۰۰                                                                                                                                            | ۴۰,۰       | ۴۴,۶ | ۴۹,۳ | ۵۸,۸ | ۶۶,۵ | ۷۴,۹ |
| ۸۰۰                                                                                                                                            | ۴۳,۳       | ۴۸,۲ | ۵۷,۱ | ۶۴,۸ | ۷۳,۰ | ۸۱,۹ |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>جریان ناهمگن ←</span> <span>→ جریان همگن</span> </div> |            |      |      |      |      |      |
| لوله تخلیه 8 in                                                                                                                                |            |      |      |      |      |      |
| ۱۱۰۰                                                                                                                                           | ۲۹,۰       | ۳۱,۰ | ۳۳,۰ | ۳۴,۹ | ۳۶,۸ | ۳۸,۷ |
| ۱۲۰۰ (QSUP <sub>min</sub> )                                                                                                                    | ۲۹,۹       | ۳۲,۰ | ۳۴,۰ | ۳۶,۰ | ۳۸,۰ | ۴۰,۱ |
| ۱۳۰۰                                                                                                                                           | ۳۱,۰       | ۳۳,۱ | ۳۵,۳ | ۳۷,۳ | ۳۹,۵ | ۴۱,۶ |
| ۱۴۰۰                                                                                                                                           | ۳۲,۳       | ۳۴,۵ | ۳۶,۶ | ۳۸,۸ | ۴۱,۰ | ۴۳,۳ |

• QSUC از گام ۳

## گام ۵

هدف:

مرتبط کردن و تطابق منحنی‌های HDIS مورد نیاز بدست آمده از گام ۴، با منحنی‌های عملکرد حقیقی جت پمپ. اطلاعات مورد نیاز:

منحنی‌های گام ۴، رسم شده بر کاغذهای شفاف

اساس:

اطلاعاتی که در گام ۴ محاسبه شد، تنها بر اساس شرایط لوله تخلیه جت پمپ می‌باشد. فیزیک عملکرد جت پمپ به گونه‌ای است که مقادیر سه پارامتر عملکرد دیگر آن (QSUC, QDIS, HSUC) نیز تا بخشی تابع مشخصات خط لوله تخلیه است. بنابراین هدف از این گام تطابق آنچه که لوله تخلیه سیستم نیاز دارد با آنچه که یک جت پمپ خاص قادر به تولید آن در چنین شرایطی می‌باشد، است. نتیجه این گام تعدادی نقطه عملکرد محتمل (ممکن) برای جت پمپ خواهد بود.

روش:

(گراف ۲) تا (گراف ۱۳) منحنی‌های عملکرد جت پمپ‌های واقعی که مخلوط آب و رسوب را پمپاژ می‌کنند، نشان

می‌دهند.

(گراف ۲) تا (گراف ۷) برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ به کار می‌روند، در حالی که (گراف ۸) تا (گراف ۱۳) مربوط به

جت پمپ ۶\*۶\*۸ هستند.

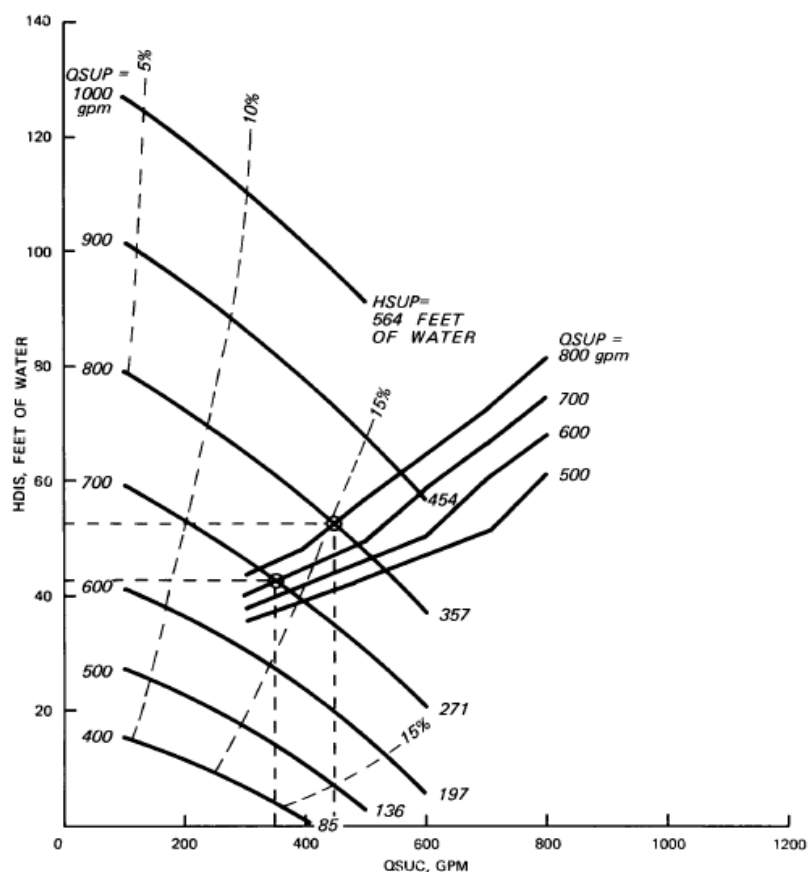
تجربه نشان داده است که مشخصات این دو سایز جت پمپ با نیازهای اغلب سیستم‌های گذردهی رسوب هم‌خوانی دارد. هر گراف منحنی‌های QSUC در مقابل HDIS را برای مقادیر مشخص QSUP نشان می‌دهد (هر یک از گراف‌ها مجموعه کامل از منحنی‌ها برای یک سایز از نازل در یک جت پمپ مشخص را نشان می‌دهند). منحنی‌ها تحت هیچ شرایطی نباید توسعه یابند زیرا مرزها بر اساس محدودیت‌هایی که شامل کاویتاسیون هم می‌شود، تعیین شده‌اند و عمل کردن در خارج از این محدوده‌ها باعث تضعیف و خرابی سیستم به دلیل وقوع کاویتاسیون می‌شود. هم‌چنین (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) تنها زمانی که مخلوط آب و ماسه پمپاژ می‌شوند، به کار می‌رود. این گراف‌ها برای پمپاژ آب یا موادی غیر از ماسه معتبر نیستند. علاوه بر مقدار QSUP برای هر منحنی، مقدار طراحی پیشنهادی HSUP هم نشان داده شده است. هم‌چنین خطوط با مقادیر بازده (کارایی) برابر برای کمک به طراح در انتخاب کارآمدترین طرح نشان داده شده‌اند.

تکنیک این گام قرار دادن منحنی‌های مرحله ۴ بر روی منحنی‌های (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) است. تقاطع یک منحنی از گام ۴ که مقدار QSUP مشخص دارد با منحنی روی گراف که همان مقدار QSUP را دارد، یک نقطه عملکرد بالقوه را از لحاظ HDIS, HSUP, QSUC و QSUP برای سیستم جت پمپ می‌دهد. (شکل ۳-۳۷) منحنی‌های نمونه از

(شکل ۳-۳۶) قرار گرفته بر (گراف ۳) را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که دو نقطه عملکرد بالقوه توسط تقاطعات منحنی‌ها شناسایی شده است. این نقاط عملکرد به شرح زیر هستند:

a.  $QSUP = 700$  gpm  
 $HSUP = 271$  feet of water  
 $QSUC = 350$  gpm  
 $HDIS = 42.5$  feet of water  
 Efficiency = 14%

b.  $QSUP = 800$  gpm  
 $HSUP = 357$  feet of water  
 $QSUC = 450$  gpm  
 $HDIS = 52.5$  feet of water  
 Efficiency = 15%



شکل ۳-۳۷- منحنی‌های نمونه لوله تخلیه جت پمپ برای لوله 6 in قرار گرفته بر گراف ۳

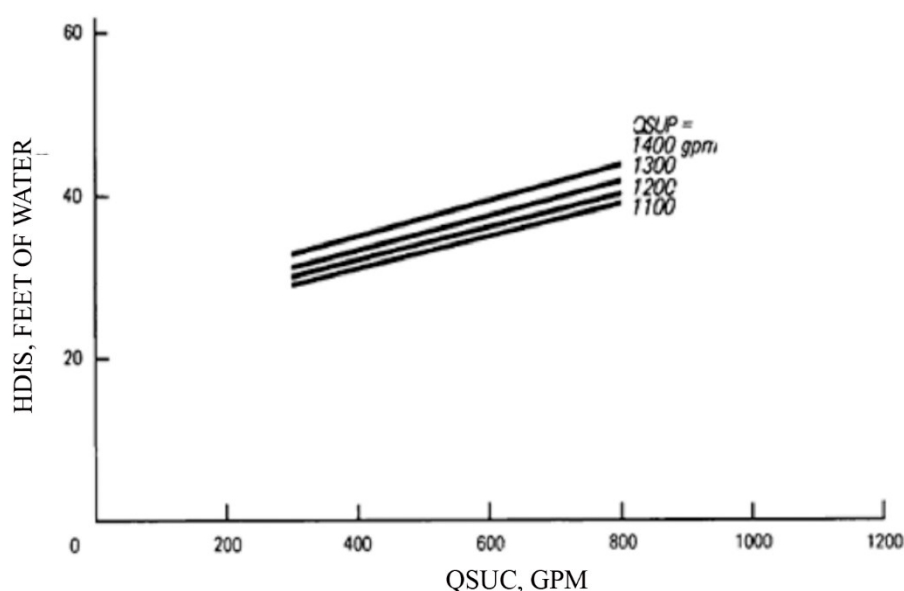
بر هم نهی منحنی‌های گام ۴ بر روی سایر گراف‌ها، نقاط عملکرد بیشتری را تولید می‌کند. در برخی موارد، تعدادی کم و یا هیچ کدام از منحنی‌های (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) با منحنی‌های گام ۴ برخورد خواهند داشت. این شرایط بیانگر آن است که نازل با این اندازه در این جت پمپ مشخص، برای نیازهای عملیاتی سیستم گذردهی رسوب، نامناسب است. در موارد دیگر تقاطع‌ها ممکن است در نزدیکی مرزهای منحنی‌های نشان داده شده در گراف‌ها قرار گیرند. با وجود این

که نقاط عملکردی که به این ترتیب تعریف شده اند معتبر هستند، طراح باید پیش از استفاده از چنین نقاط عملکردی در طراحی سیستم واقعی گذردهی رسوب، از این که پیش بینی‌های او برای نیازهای عملکرد سیستم صحیح هستند اطمینان حاصل کند. یک اختلاف کوچک از مقادیر پیش بینی شده ممکن است باعث کاویتاسیون در جت پمپ شود. اطلاعات برای نقاط عملکرد که با این روش بدست آمده اند را می‌توان به صورت یک جدول خلاصه نمود. (جدول ۸-۳) نتایج بر هم نهی منحنی‌های نمونه (شکل ۳-۳۶) بر روی (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۳- نمونه نقاط عملکرد ممکن برای لوله تخلیه ۶ in

| کارایی (%) | HDIS (ft) | QSUC (gpm) | HSUP (ft) | QSUP (gpm) | سایز نازل (in) | جت پمپ |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|----------------|--------|
| ۱۳         | ۴۲٫۵      | ۴۲۰        | ۳۹۱       | ۶۰۰        | ۱٫۲۵           | ۴*۴*۶  |
| ۱۴         | ۴۲٫۵      | ۳۵۰        | ۲۷۱       | ۷۰۰        | ۱٫۵            | ۴*۴*۶  |
| ۱۵         | ۵۲٫۵      | ۴۵۰        | ۳۵۷       | ۸۰۰        | ۱٫۵            | ۴*۴*۶  |
| -          | -         | -          | -         | -          | -              | ۶*۶*۸  |

اعداد (جدول ۸-۳) نشان می‌دهند که گزینه‌های طراحی سیستم نمونه با لوله تخلیه ۶ in در تعداد محدود و در کارایی ضعیف هستند. هیچ کدام از نقطه‌های عملکرد ممکن در (جدول ۸-۳)، QSUC با مقدار 500 gpm را که در (جدول ۷-۳) اشاره شد و مقدار طراحی فرض شده از گام ۳ بود را نشان نمی‌دهند. (شکل ۳-۳۸) منحنی‌های QSUC در مقابل HDIS از (جدول ۷-۳) را برای لوله تخلیه 8in برای سیستم مشابه سیستم نمونه نشان می‌دهد. (جدول ۹-۳) نتایج بر هم نهی این منحنی‌های نمونه بر منحنی‌های (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۸- منحنی‌های نمونه برای جت پمپ با لوله تخلیه 8in

جدول ۹-۳- نمونه نقاط عملکرد ممکن برای لوله تخلیه ۸ in

| کارایی (%) | HDIS (ft) | QSUC (gpm) | HSUP (ft) | QSUP (gpm) | سایز نازل (in) | جت پمپ |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|----------------|--------|
| ۲۵         | ۳۴.۵      | ۵۸۰        | ۱۸۰       | ۱۱۰۰       | ۲.۰۰           | ۴*۴*۶  |
| ۲۷         | ۳۰.۵      | ۳۲۰        | ۸۶        | ۱۲۰۰       | ۲.۲۵           | ۴*۴*۶  |
| ۲۴         | ۳۳        | ۳۷۵        | ۱۰۱       | ۱۳۰۰       | ۲.۲۵           | ۴*۴*۶  |
| ۲۳         | ۳۵        | ۴۲۰        | ۱۱۸       | ۱۴۰۰       | ۲.۲۵           | ۴*۴*۶  |
| ۱۲         | ۳۷        | ۶۶۰        | ۲۹۹       | ۱۲۰۰       | ۱.۸۸           | ۶*۶*۸  |
| ۱۲         | ۴۲        | ۸۰۰        | ۳۵۴       | ۱۳۰۰       | ۱.۸۸           | ۶*۶*۸  |
| ۱۲         | ۳۶.۵      | ۵۰۰        | ۲۰۷       | ۱۴۰۰       | ۲.۲۵           | ۶*۶*۸  |

## گام ۶

هدف:

انتخاب نقطه عملکرد طراحی جت پمپ

اطلاعات مورد نیاز :

الف) نقاط عملکرد بالقوه بدست آمده در گام ۵

ب) بیشینه وزن مخصوص فرض شده برای مخلوط مکش شده، SGSUCM، مطابق آن چه در گام ۷ روش طراحی تکراری گفته شد.

اساس:

تعدادی نقاط عملکرد بالقوه برای جت پمپ در گام ۵ تعیین شدند. در این گام یکی از این نقاط باید انتخاب شود و در محاسبات بعدی استفاده گردد. اگر محاسبات گام‌های بعدی نشان دادند که نقطه انتخابی امکان پذیر نمی‌باشد، سپس یک نقطه دیگر بر اساس گام ۵ می‌تواند انتخاب شود.

روش:

گام اول بررسی مقادیر QSUC تمام نقاط عملکرد بالقوه است. نقطه‌هایی که مقدار QSUC آن‌ها نزدیک به مقدار گام ۳ است، باید برای بررسی‌های بیشتر مد نظر قرار گیرند. گام بعدی این است که سایر نقاط عملکرد را بررسی کنیم که آیا محاسبات اضافه با مقادیر مختلف QSUP، نقاط عملکرد دیگری که QSUC نزدیک به گام ۳ دارند، تولید می‌کنند. برای مثال در نمونه‌ای که بیان شد، مقدار QSUC از گام ۳، 500 gpm بدست آمد. سپس با توجه به (جدول ۹-۳)، سایر امکانات برای محاسبات اضافه عبارتند از:

- a. 4\*4\*6 jet pump
  1. 2.00 in nozzle, QSUP = 1000 gpm
  2. 2.25 in nozzle, QSUP = 1600 gpm

- b. 6\*6\*8 jet pump

کارایی‌های نشان داده شده کم هستند، در نتیجه محاسبات اضافی احتمالاً ارزشمند نخواهند بود.



به این منظور طراح باید به گام ۴ بازگردد و محاسبات اضافی نشان داده شده در این بررسی را انجام دهد. نقاط حاصل با نقاطی که در ابتدا به آن‌ها اشاره شد، گروهی از نقاط عملکرد بالقوه طراحی را تشکیل می‌دهند. اگر نقاط عملکرد بالقوه طراحی شناسایی شده در این مرحله کارایی کمی داشته باشند یا اگر نقاط با کارایی قابل قبول در نزدیکی مرزهای منحنی‌های عملکرد جت‌پمپ قرار گیرند، ممکن است لازم باشد طراح قبل از ادامه کار، تمام جنبه‌های طرح سیستم را بازبینی کند. در این مرحله مهم است تا تنها با آنچه که یک طراحی امکان پذیر به نظر می‌رسد، محاسبات ادامه داده شود. چنانچه گام ۵ به خوبی انجام شود، طیف ممکن برای یک طراحی خاص را نشان خواهد داد. اگر نقاط عملکرد در این محدوده ناکارآمد یا ناقص باشند، ممکن است طرح پایه سیستم اشکالاتی داشته باشد. زمانی که نقطه طراحی انتخاب شود، مقادیر طراحی QSUC، HSUP، QSDIS و HDIS به صورت اتوماتیک تعیین شده‌اند. مقادیر QDIS و CVMAX که در محاسبات بعدی لازم هستند، از روابط ۵۵ و ۵۶ قابل تعیین هستند. باقی محاسبات در روش طراحی گرافیکی، می‌تواند با گام‌های ۱۳ تا ۱۹ روش تکراری انجام شود. در واقع گام‌های ۴ و ۵ و ۶ روش گرافیکی جایگزین گام‌های ۵ تا ۱۲ روش تکراری شده‌اند.

ج) ملاحظات اضافی برای جت‌پمپ‌های چند گانه و پمپ‌های اسلاری چندگانه

- جت‌پمپ‌های چندگانه

مراحل ذکر شده برای هر دو روش طراحی تکراری و گرافیکی را می‌توان برای سیستم‌هایی که بیش از یک جت‌پمپ در یک زمان در آن‌ها کار می‌کند نیز به کار برد، به شرط آن که الزامات هیدرولیکی در نظر گرفته شوند. این الزامات از دو اصل اساسی مربوط به جریان خط لوله در اتصالات حاصل می‌شود.

الف) در محل اتصال لوله‌ها به یکدیگر، هد کل در تمام شاخه‌های اتصال باید برابر باشد (شکل ۳-۳۹).

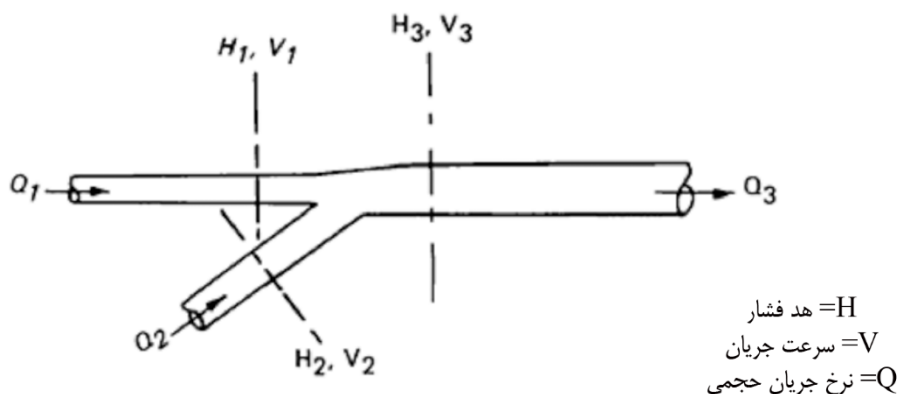
(رابطه ۳-۵۷)

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} = H_3 + \frac{V_3^2}{2g}$$

ب) جریان کل خروجی از اتصال باید برابر جریان کل ورودی به اتصال باشد (شکل ۳-۳۹).

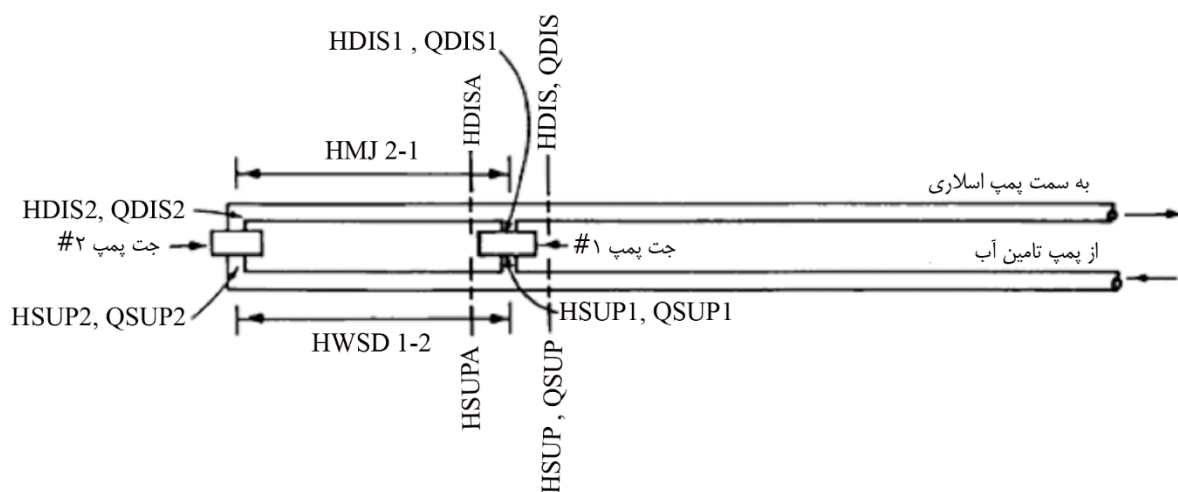
(رابطه ۳-۵۸)

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$



شکل ۳-۳۹- اتصال سه لوله

(شکل ۳-۴۰) این دو قانون را بر روی یک سیستم با دو جت پمپ بدون کمک برشی که به صورت هم زمان عمل می‌کنند نشان داده است.



شکل ۳-۴۰- سیستم جت پمپ چندگانه

الزامات هیدرولیکی که در لوله‌های تامین و لوله‌های تخلیه چنین سیستمی باید برآورد شوند، در ادامه ذکر شده‌اند.  
 الف) لوله‌های تامین

$$HSUP = HSUP\ 1 = HSUPA$$

$$HSUP2 = HSUPA - HWSD_{1-2}$$

$$QSUP = QSUP1 + QSUP2$$

به ترتیب هدهای کل در موقعیت‌های زیر هستند.

۱. در خط لوله تامین بلافاصله قبل از اتصال جت پمپ #۱
۲. در جت پمپ #۱ (در سمت تامین)
۳. در خط لوله تامین بلافاصله بعد از اتصال جت پمپ #۱
۴. در جت پمپ #۲ (در سمت تامین)

HWSD<sub>1-2</sub> افت هد در خط لوله تامین بین جت پمپ‌های #۱ و #۲ است.

QSUP, QSUP1 و QSUPA نرخ جریان‌های حجمی (دبی) در موقعیت‌های مشابه گفته شده برای هدها هستند.

(ب) خط لوله تخلیه

$$H_{DIS} = H_{DIS1} = H_{DISA}$$

$$H_{DIS2} = H_{DISA} + H_{MJ2-1}$$

$$Q_{DIS} = Q_{DIS1} + Q_{DIS2}$$

H<sub>DIS1</sub>, H<sub>DISA</sub> و H<sub>DIS2</sub> به ترتیب هدهای کل در موقعیت‌های زیر هستند.

۱. در خط لوله تخلیه بلافاصله بعد از اتصال جت پمپ #۱

۲. در جت پمپ #۱ (در سمت تخلیه)

۳. در خط لوله تخلیه بلافاصله قبل از اتصال جت پمپ #۱

۴. در جت پمپ #۲ (در سمت تخلیه)

H<sub>MJ2-1</sub> افت هد در خط لوله تخلیه بین اتصالات جت پمپ‌های #۱ و #۲ است.

Q<sub>DIS1</sub>, Q<sub>DIS2</sub> و Q<sub>DIS</sub> نرخ جریان‌های حجمی در موقعیت‌های مشابه گفته شده برای هدهای کل هستند.

نتیجه نهایی این الزامات، افزایش پیچیدگی محاسبات روش تکراری برای تعیین پارامترهای عملکرد جت پمپ خواهد

بود. اگر تعدادی از متغیرها در صورت امکان ثابت فرض شوند، تعداد تکرارها می‌تواند کاهش یابد. برخی روش‌های ممکن

برای دستیابی به این هدف عبارتند از :

(الف) استفاده از سایز مشابه برای همه جت پمپ‌ها

(ب) استفاده از سایز مشابه نازل برای همه جت پمپ‌ها

(ج) قرار دادن جت پمپ‌ها در فواصل برابر

(د) انتخاب اندازه لوله‌ها به گونه‌ای که سرعت جریان مشابه در تمام شاخه‌های اتصال حاصل شود.

ه (تعداد تکرارها با انتخاب مقادیری از EXC1 برای هر جت پمپ به گونه‌ای که با افزایش فاصله تا پمپ اسلاری

مقدار آن کاهش یابد، قابل کاهش است. به عنوان مثال در (شکل ۳-۴۰)، جت پمپ #۲ باید مقدار EXC1 کمتری از

جت پمپ #۱ داشته باشد.

• پمپ‌های اسلاری چندگانه

زمانی که تعدادی پمپ اسلاری در فواصل معینی در طول لوله تخلیه قرار می‌گیرند، ملاحظات اضافه‌ای نیاز دارند که

برای یک پمپ اسلاری لازم نیست.

- مانیتورینگ، کنترل و ترتیب دهی در عملکرد پمپ‌های اسلاری به منظور جلوگیری از وقوع کاویتاسیون و

چکش آبی، حائز اهمیت می‌باشد (هر دو پدیده می‌توانند یک پمپ گران قیمت را نابود کنند). طراحی برای یک هد فشار

مثبت، PHSUCB در مکش هر پمپ اسلاری مانع وقوع چنین مشکلاتی شده، هم‌چنین به بیرون نگه داشتن هوا از سیستم تخلیه کمک خواهد کرد.

- پمپ‌های اسلاری باید با فواصلی بر طول لوله تخلیه قرار بگیرند که نقطه عملکردشان تقریباً یکسان باشد.
- برای هر پمپ اسلاری باید آب فلاشینگ تمیز با فشاری بزرگ‌تر از فشار تخلیه پمپ اسلاری فراهم شود.
- بعد از طراحی هیدرولیکی اولیه، کل سیستم گذردهی رسوب باید برای اثرات ناشی از وقوع پدیده‌های احتمالی مختلف نظیر بسته شدن مکش یک جت‌پمپ یا توقف غیر منتظره یک پمپ اسلاری آنالیز شود.
- دو مورد اصلاحات در روش طراحی هیدرولیکی برای امکان استفاده از پمپ‌های اسلاری چندگانه باید انجام شوند.

۱. جریان کل در لوله تخلیه در هر پمپ اسلاری به دلیل اضافه شدن آب فلاشینگ افزایش خواهد یافت. این مسئله باید برای تعیین نرخ جریان‌ها، سرعت‌ها و غلظت‌های جامدات در هر پمپ اسلاری مد نظر قرار گرفته شود.
  ۲. هد دینامیکی کل مورد نیاز پمپ اسلاری به شرایطی متفاوت با آنچه که در (رابطه ۳-۴۱) روش طراحی تکراری به آن‌ها اشاره شد، بستگی خواهد داشت. به عنوان مثال اگر پمپ‌های اسلاری اول و دوم در خط لوله ۱ و ۲ نامگذاری شوند، (رابطه ۳-۴۱) به صورت (رابطه ۳-۵۹) درخواهد آمد.
- (رابطه ۳-۵۹)

$$TDHB1 = HMB_{1-2} - PHSUCB_1 + (ZBOO_2 - ZBOO_1) + PHSUCB_2$$

#### د- جمع بندی

این راهنما برای استفاده مهندس و یا گروه مهندسان با دانش پایه در زمینه فرآیندهای ساحلی و دانش ابتدایی درباره سیستم‌های پمپ گریز از مرکز طراحی شده است. با استفاده از این راهنما، فرد یا گروه طراح قادر به انجام موارد زیر خواهد بود.

الف) امکان سنجی کلی برای استفاده از سیستم جت‌پمپ گذردهی رسوب برای حل مشکلات رسوبی موجود در منطقه

ب) ارائه طرح (های) اولیه برای سیستم جت‌پمپ گذردهی رسوب

ج) طراحی هیدرولیکی پایه برای سیستم جت‌پمپ گذردهی رسوب

مجموعه فاکتورهای مربوط به موارد الف و ب در این راهنما بررسی شده‌اند. دستورالعمل‌های دقیق برای طرح اولیه نظیر تعیین زمان عملکرد موثر سیستم و ظرفیت سیستم ارائه شده‌اند. نمونه‌هایی از نقشه‌های شماتیک جهت ارائه نتایج طرح اولیه نیز ارائه شده‌اند. هم‌چنین دو روش گام به گام طراحی جهت اجرای مورد ج، برای طراح ارائه شده است. روش اول که روش طراحی تکراری نام دارد، شامل محاسبات تعیین نقطه عملکرد به روش تکراری برای بخش جت‌پمپ سیستم است. سپس مشخصات هیدرولیکی کل سیستم محاسبه شده‌اند. نقطه عملکرد جت‌پمپ نتایج حاصل از طرح

اولیه را نشان می‌دهد و بر مبنای داشتن مولفه حداقل جریان کل در سیستم و دستیابی به یک راندمان بالا برای جت پمپ تعیین می‌شود. روش دوم از مجموعه‌ای از گراف‌ها به جای بخش تکراری روش اول، استفاده می‌کند. استفاده از این گراف‌ها، تعدادی نقطه عملکرد بالقوه برای بخش جت پمپ سیستم را می‌دهد. یک یا تعدادی از این نقاط توسط طراح انتخاب می‌شوند و در محاسبات بعدی استفاده می‌گردند.

اطلاعات حاصل از به کارگیری این دستورالعمل به همراه محاسبات معمول مربوط به طراحی، به طراح این امکان را می‌دهد تا هزینه مربوط به سیستم جت پمپ گذردهی را برآورد نموده و با هزینه ناشی از به کارگیری سایر راهکارها مقایسه نماید.

### ۳-۳- راهنمای طراحی سیستم سیال-ساز برای گذردهی رسوب

سیال-سازی<sup>۱</sup> فرآیندی است که در آن یک سیال در محیطی دانه‌ای (معمولاً ماسه‌ای) تزریق می‌شود و سبب بلند شدگی<sup>۲</sup> و جداشدگی ذرات می‌گردد. از سیال-سازی رسوبات در دهانه ورودی‌های جزر و مدی و دهانه بنادر به منظور نگهداری از کانال‌های ناوبری و سیستم‌های گذردهی رسوب استفاده می‌شود. هدف اولیه طراحی سیستم سیال-ساز<sup>۳</sup> ایجاد یک ترانشه با طول و سطح مقطع مشخص می‌باشد. برای دست یابی به ترانشه مورد نظر، سیال-سازی باید به طور کامل (تا زمانی که محدوده اطراف کل طول لوله سیال<sup>۴</sup> شود) انجام شود. سیال-سازها برای پایدارسازی و نگهداری از کانال‌ها نیز کاربرد دارند. اگر لوله به اندازه کافی در ناحیه عمیق جاگذاری شود و یا تعداد لوله‌های بیشتری به صورت موازی کار گذاشته شوند، ابعاد ترانشه بزرگ‌تر شده و ابعاد مورد نیاز یک کانال را تامین می‌کند. دو بخش اصلی در طراحی این سیستم‌ها عبارتند از (۱) طراحی هیدرولیکی سیستم با هدف دستیابی به سیال سازی کامل (۲) طراحی هندسی سیستم برای دستیابی به ترانشه با هندسه مطلوب. نتایج حاصل از تحقیقات و آزمایشات صورت گرفته در این زمینه در چند دهه اخیر، معیارهایی برای موارد نامبرده تعیین نموده است که در این بخش به این موارد پرداخته شده است [۳۱].

#### ۳-۳-۱- مراحل سیال-سازی رسوبات بمنظور دستیابی به ترانشه

برای کاربرد سیال سازها در سیستم‌های گذردهی رسوب، آب به داخل لوله‌های سوراخ داری که در زیر ماسه مدفون هستند پمپ می‌شود. در ابتدا که آب به داخل لوله پمپ می‌شود، با سرعت کمی از سوراخ‌ها خارج می‌شود که سبب تغییرات خاصی در بستر رسوبی نمی‌گردد (شکل ۳-۴۱-الف). با افزایش تدریجی سرعت جریان، توده‌های رسوبات به سمت بالا حرکت می‌کنند (شکل ۳-۴۱-ب). سیال-سازی زمانی شروع می‌شود که آب از ضعیف‌ترین مسیر خود را به سطح بستر رسوبی برساند. در این مرحله، تمام محدوده اطراف لوله به صورت سیال در نخواهد آمد اما با افزایش سرعت جریان، سیال-سازی کامل رخ خواهد داد (شکل ۳-۴۱-ج).

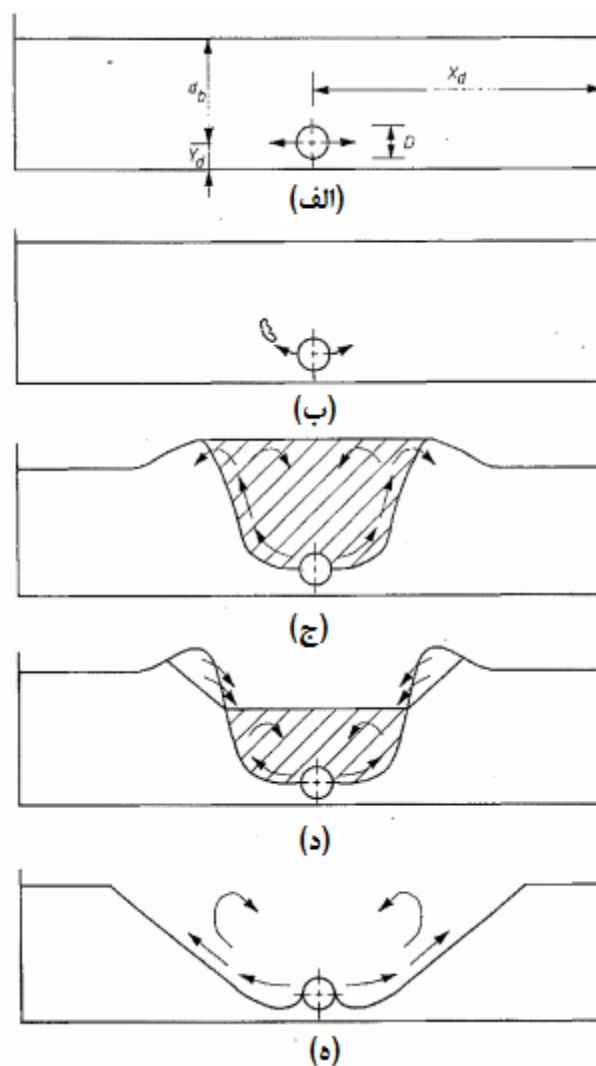
زمانی که رسوبات ناحیه فوقانی لوله حالت سیال بیابند، ترکیب آب و رسوب به راحتی توسط پمپاژ و یا به صورت گرانشی قابل جمع آوری خواهد بود. پس از جمع آوری مخلوط آب و رسوب، منطقه تعریض شده و ترانشه شکل می‌گیرد. دیواره‌های اطراف ترانشه نیز شیب به سمت داخل پیدا می‌کنند (شکل ۳-۴۱-د) و این فرآیند تا زمانی که تعادل و پایداری در مقطع عرضی ترانشه برقرار شود، ادامه پیدا می‌کند (شکل ۳-۴۱-ه) [۳۲].

1- Fluidization

2- Lifting

3- Fluidizer

4- Fluidize

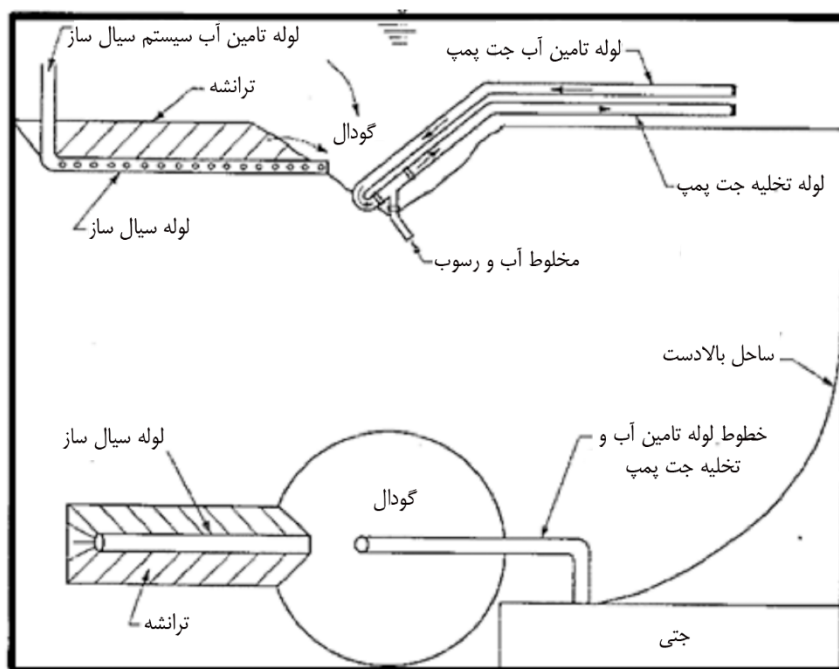


شکل ۳-۴۱- مراحل عملکرد سیستم سیال-ساز

### ۳-۳-۲- کاربرد سیال-سازها در سیستم‌های گذردهی رسوب

رسوبات ساحلی ممکن است توسط هر دو گروه موانع طبیعی و یا انسان ساخت موجود در سواحل به دام بیفتند و تجمع یابند. ورودی بنادر و کانال‌های دسترسی به آن‌ها نیز در معرض این پدیده قرار دارند. کم عمق شدگی کانال‌های ناوبری در اثر نشست رسوبات و فرسایش سواحل پایین‌دست از جمله مشکلات ناشی از اختلال سازه‌های ساحلی در روند طبیعی انتقال رسوب می‌باشند. سیستم‌های گذردهی رسوب به منظور کاهش این اثرات منفی به کار گرفته می‌شوند. مهم‌ترین کاربرد لوله‌های سیال-ساز در سیستم‌های گذردهی رسوب، ایجاد رسوبات سیال شده قابل پمپاژ می‌باشد. مقدار رسوبی که سیستم گذردهی رسوب می‌تواند جابه‌جا کند، با توجه به مقدار رسوبی که در دسترس سیستم قرار می‌گیرد تعیین می‌شود. معمولاً جت‌پمپ‌ها یا پمپ‌های شناور یک گودال در بستر رسوبی ایجاد می‌کنند که مجدداً توسط رسوبات در حال انتقال پر می‌شوند. یک لوله سیال-ساز به همراه یک پمپ اسلاری ثابت قادر است یک ترانشه با طول

۳۰ تا ۱۲۰ متر ایجاد کند که رسوبات را به دام بیندازد و رسوبات مورد نیاز سیستم گذردهی رسوب را تامین نماید (شکل ۳-۴۲).



شکل ۳-۴۲- سیستم سیال-ساز به همراه یک پمپ اسلاری ثابت  
(ناحیه هاشور خورده منطقه سیال-سازی ۱ شده است)

### ۳-۳-۳- اجزاء سیستم سیال-ساز

مولفه‌های اساسی مورد نیاز در سیستم‌های سیال-ساز عبارتند از [۳۳]:

- یک عدد (یا بیشتر) لوله سیال-ساز که دارای شیب مناسب به سمت گودال ایجاد شده توسط جت پمپ باشد
- لوله‌های تامین آب برای هر لوله سیال-ساز که آب تمیز را حمل کنند
- پمپ‌های تامین آب تمیز برای لوله‌های سیال-ساز
- تجهیزات مورد نیاز برای اطمینان از این که آب تمیز به لوله‌های سیال-ساز پمپ شود (برای ممانعت از گرفتگی

سوراخ‌ها)

- پمپ تامین آب برای جت پمپ‌ها
- لوله تامین آب برای جت پمپ‌ها
- خطوط لوله تخلیه از جت پمپ‌ها
- پمپ اسلاری
- خط لوله تخلیه پمپ اسلاری برای رساندن مخلوط آب و رسوب به نقطه تخلیه



به منظور تشکیل ترانشه لازم است مخلوط آب و رسوب ایجاد شده توسط سیستم سیال ساز از ناحیه سیال شده تخلیه گردد. این امر با دو روش زیر قابل استحصال است.

- پمپاژ ترکیب آب و رسوب از ترانشه و انتقال آن به پایین دست
- استفاده از نیروی گرانشی برای تخلیه مخلوط آب و رسوب به خارج از ترانشه

### ۳-۳-۴- شناسایی منطقه مورد نظر

به منظور طراحی سیال-ساز برای نگهداری از کانال‌های ناوبری و یا سیستم‌های گذردهی رسوب، شناخت فرآیندهای ساحلی در منطقه مورد نظر ضروری به نظر می‌رسد. حداقل به اطلاعات یک سال به منظور بررسی فرآیندهای ساحلی در فصول مختلف نیاز است و دسترسی به اطلاعات مربوط به ۳ سال مطلوب به نظر می‌رسد [۳۴ و ۳۵]. فرآیندهای ساحلی حائز اهمیت در طراحی سیستم سیال-سازها عبارتند از :

۱. انتقال رسوب ساحلی : تعیین جهت و نرخ انتقال رسوب برای تخمین نرخ پرشدگی ترانشه ضروری می‌باشد. این مسئله فرکانس عملکرد سیستم و مقدار رسوب در دسترس برای سیستم را تعیین می‌نماید.

۲. مشخصات رسوب منطقه : پارامترهایی که در مورد مشخصات رسوب باید تعیین گردند عبارتند از :

- توزیع اندازه دانه‌ها
- وزن مخصوص
- نفوذ پذیری
- حضور و یا عدم حضور مصالح چسبنده در رسوبات
- حضور یا عدم حضور مصالح درشت دانه در رسوبات
- حضور یا عدم حضور زباله‌های ساحلی

با توجه به این‌که در منطقه سیال شده<sup>۱</sup> ماسه‌ها از منطقه تخلیه می‌شوند و محدوده با رسوبات دیگری پر می‌شود، ضروری است بر روی رسوباتی که امکان انتقال و مجدد پر کردن ترانشه را دارند نیز مطالعاتی صورت گیرد. زیرا در مرحله بعد این رسوبات سیال می‌شوند. در صورتی که در گذشته در منطقه لایروبی صورت گرفته باشد، رسوباتی که مجدداً در منطقه نشست کرده‌اند می‌توانند معرف رسوبات انتقال یافته باشند. نمونه‌های رسوبی منطقه باید توسط تست‌های ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار گیرند تا توزیع اندازه، شکل و نفوذ پذیری رسوبات تعیین گردد و بر اساس آن‌ها بتوان ضریب نفوذ پذیری (هدایت هیدرولیکی) ( $K$ ) را محاسبه نمود. فرآیند تخمین ضریب  $K$  در مراجع مختلفی نظیر [۳۶] ارائه شده است.

۳. مورفولوژی: داده‌های عمق سنجی منطقه مورد نظر باید تهیه گردد. همچنین بررسی نمونه‌های مغزه برای ارزیابی وضعیت رسوبات در عمق و تعیین حضور یا عدم حضور رسوبات ریز دانه در محدوده عملیات لازم می‌باشد.

۴. امواج، جریانات و جزر و مد: شناخت این پارامترها در منطقه برای جاگذاری مناسب سیستم لازم است.

۵. شناخت سازه‌های موجود در منطقه ( نظیر جتی، دیوار ساحلی و ....) و مشخصات توپوگرافی

۶. تعیین تمام مناطق محتمل برای تخلیه رسوبات انتقال یافته و مسیرهای خطوط لوله

### ۳-۳-۵- طراحی لوله سیال-ساز

#### الف- موقعیت لوله سیال-ساز

هدف از سیال-سازی در مناطق ساحلی ایجاد یک ترانشه است. اندازه، طول، مقطع عرضی و موقعیت ترانشه نخستین پارامترهای طراحی هستند (شکل ۳-۴۳).

• طراح باید طول مورد نیاز ترانشه (L) را تعیین نماید که این طول برای سیستم‌های گذردهی رسوب برابر با پهنه ساحلی<sup>۱</sup> (منطقه ای که تحت اثر موج است) می‌باشد.

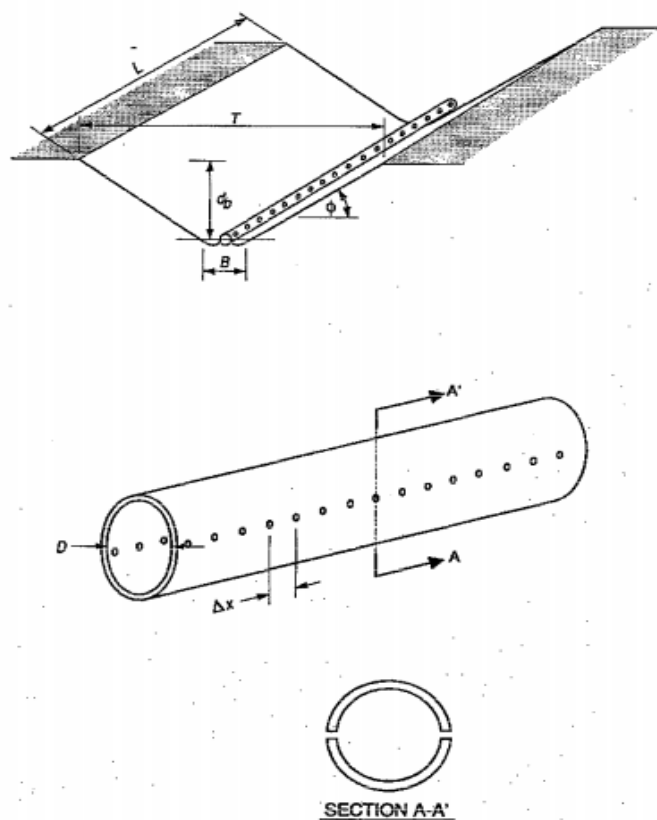
اگر لوله در عمق  $d_b$  مدفون شود (و یا در یک ناحیه از قبل لایروبی شده با عمق  $d_b$  قرار بگیرد)، عرض بالای ترانشه (T) با دانستن زاویه شیب طبیعی<sup>۲</sup> رسوب قابل تخمین است. در (جدول ۳-۱) مقادیر زاویه شیب طبیعی ( $\phi$ ) رسوبات مختلف نشان داده شده است.

(رابطه ۳-۶۰)

$$T = \frac{2 d_b}{\tan \phi}$$

1- Littoral zone

2- Angle of repose



شکل ۳-۴۳- شماتیک لوله سیال-ساز

جدول ۳-۱۰- محدوده زاویه شیب طبیعی ( $\phi$ ) رسوبات مختلف

| $\phi$ (درجه) |        | نوع خاک               |
|---------------|--------|-----------------------|
| غیر متراکم    | متراکم |                       |
| ۳۲-۳۶         | ۳۵-۴۵  | ماسه گوشه دار         |
| ۲۸-۳۲         | ۳۲-۳۸  | ماسه ساحلی (گرد گوشه) |
| ۳۴-۳۸         | ۳۸-۴۲  | شن                    |
| ۲۵-۳۵         | ۳۰-۳۶  | ماسه سیلت دار         |
| ۲۵-۳۵         | ۳۰-۳۵  | سیلت، غیر آلی         |

- عرض پایین ترانشه (B)، شامل قطر لوله (D)، به علاوه عرض ایجاد شده توسط سیال-ساز در مجاورت سوراخ‌های لوله می‌باشد. مقدار دقیق عرض فوقانی ترانشه از (رابطه ۳-۶۱) قابل محاسبه است:  
(رابطه ۳-۶۱)

$$T = B + \frac{2d_b}{\tan\phi}$$

با توجه به این‌که عرض ایجاد شده در مجاورت سوراخ‌های لوله سیال-ساز نسبت به عرض فوقانی ترانشه بسیار کوچک‌تر است، چنانچه عمق قرار گیری لوله بزرگ‌تر از چند متر باشد، صرف نظر کردن از B در (رابطه ۳-۶۱)، یک مقدار محافظه کارانه برای عرض فوقانی را ارائه می‌دهد.

- برای آن که رسوب بتواند در امتداد ترانشه حرکت کند، شیب لوله باید تعیین گردد. در سیستم‌های گذردهی رسوب، ترانشه باید شیبی در حدود ۲-۵٪ در صد به سمت دهانه پمپ حفر کننده داشته باشد. متعاقباً شیب قرار گیری لوله سیال-ساز نیز باید همین مقدار باشد.

- موقعیت لوله باید به نحوی انتخاب شود که تراز انتهای آن که به سمت دریا قرار می‌گیرد، پایین‌تر باشد. شیب ۲-۵٪ درصد پیشنهاد می‌گردد.

پس از آن که طراح ابعاد مطلوب ترانشه را تعیین نماید، پارامترهای مربوط به جریان و طراحی لوله انتخاب می‌گردند. این انتخاب‌ها به گونه‌ای صورت می‌گیرد که در نهایت به اندازه مورد نظر برای ترانشه دست پیدا کنیم.

#### ب- جهت قرارگیری سوراخ‌های لوله سیال-ساز

تعیین جهت قرارگیری سوراخ‌ها بر لوله سیال-ساز یکی از پارامترهایی است که باید در طراحی مشخص گردد. بر اساس آزمایشات [۳۷]، جهت قرارگیری افقی برای سوراخ‌ها (بر روی دو طرف لوله) پیشنهاد شده است (شکل ۳-۴۳). دلایل این مسئله در موارد زیر آمده است :

- مطالعات نشان داد که بیشترین و عریض‌ترین ناحیه سیال-سازی با قرار گیری افقی سوراخ‌ها امکان پذیر خواهد بود.

- بررسی‌ها نشان دادند که اگر سوراخ‌ها در بالای لوله قرار بگیرند، زمانی که سیستم پمپاژ قطع بشود، سوراخ‌ها توسط رسوبات دچار گرفتگی خواهند شد. چنانچه سوراخ‌ها در پایین لوله باشند، به صورت مدفون درآمده و رسوبات در آن‌ها انباشت خواهند شد [۳۸ و ۳۹].

#### ج- نرخ جریان

در (شکل ۳-۴۴)، پلات عمق تدفین نسبی (عمق تدفین  $d_b$  تقسیم بر قطر لوله  $D$ )، نسبت به فاکتور نرخ جریان  $Q/k.d_b$  که در آن  $K$  نفوذ پذیری ماسه،  $d_b$  عمق تدفین در بستر و  $Q$  نرخ جریان به ازای واحد طول لوله است، نشان داده شده است. پارامتر سوم دامنه محدوده رسوبی ( $X_d/D$ ،  $Y_d/D$ ) می‌باشد که  $X_d$  و  $Y_d$  به ترتیب فاصله افقی لوله تا مرز محدوده و عمق لایه رسوبی زیر لوله هستند (شکل ۳-۴۱-الف). عمق تدفین  $d_b$  در فرآیند اولیه طراحی تعیین می‌شود. ضریب نفوذ پذیری ( $K$ ) در سواحل مختلف بسته به نوع رسوبات آن‌ها متفاوت است و به عنوان یک پارامتر مهم محسوب می‌شود.

نرخ جریان اولیه لازم برای شروع سیال-سازی از (رابطه ۳-۶۲) بدست می‌آید :

(رابطه ۳-۶۲)

$$Q_I = \left( \frac{Q_{I'}}{K \cdot d_b} \right) * K * d_b * \text{pipe length}$$

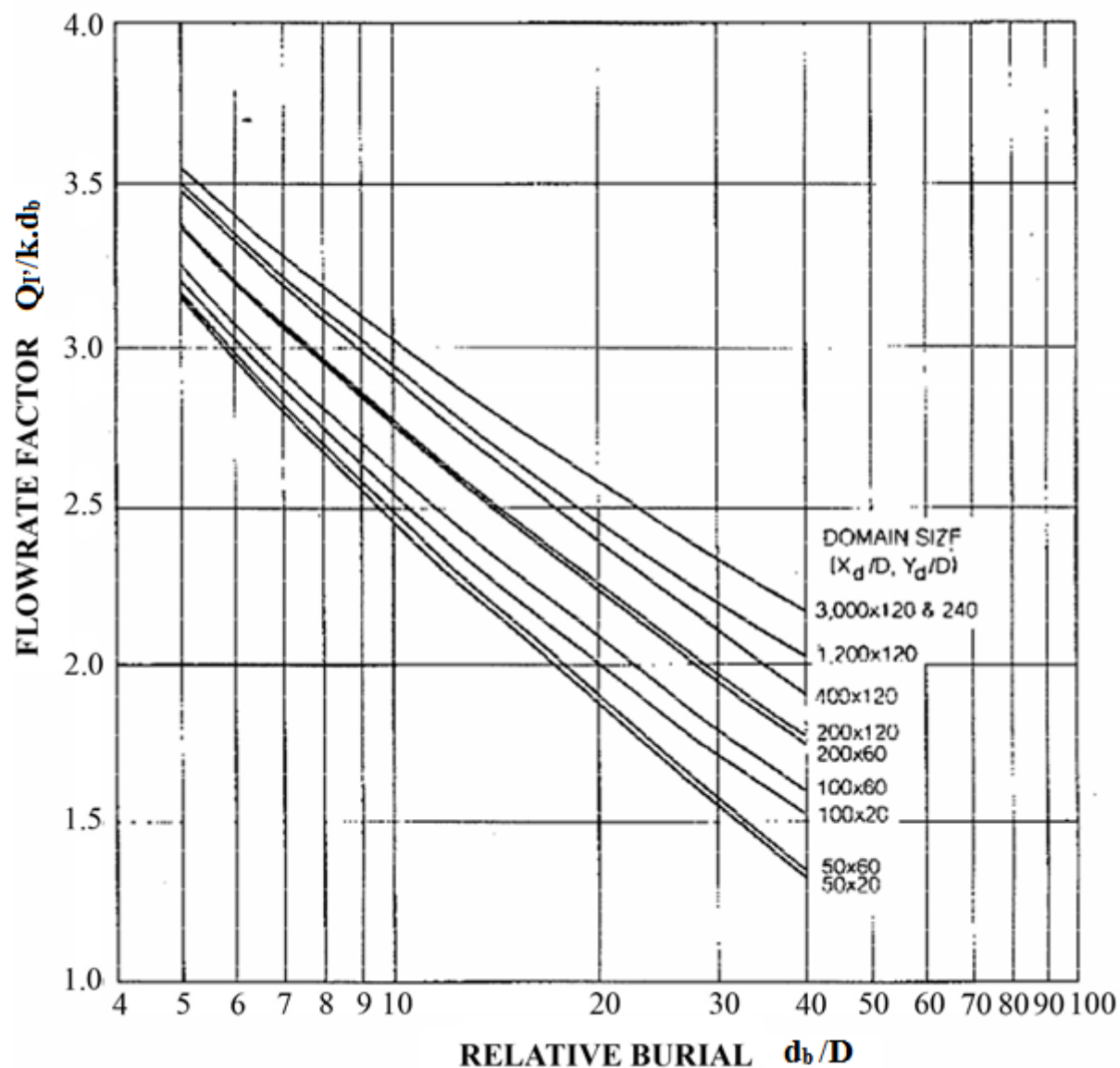
زمانی که اطلاعات محدودی در زمینه رسوبات در دسترس است، پیشنهاد می‌شود از ضریب محافظه کارانه فاکتور نرخ جریان به عنوان ضریب اطمینان استفاده شود (منحنی فوقانی در شکل ۳-۴۴). زمانی که اطلاعات مورد نیاز در دسترس طراح قرار گیرد، قادر خواهد بود از منحنی مربوطه استفاده نماید و از مقدار محافظه کارانه بدست آمده از منحنی فوقانی بکاهد. برای دستیابی به ترانشه، سیال-سازی کامل لازم می‌باشد. رابطه بین نرخ جریان سیال-سازی کامل و نرخ جریان شروع سیال سازی به صورت (رابطه ۳-۶۳) بیان می‌شود :

(رابطه ۳-۶۳)

$$Q_F = F * Q_I$$

F یک ضریب تجربی است که مقدار ی بین ۵ تا ۱۰ دارد. این ضریب باعث اطمینان از سیال-سازی در کل طول لوله

می‌شود.



شکل ۴۴-۳- پلات شرایط تامین کننده فاکتور نرخ جریان مورد نیاز برای دامنه با ابعاد مورد نظر

به عنوان جمع بندی، نرخ جریان  $Q_F$  به صورت زیر تعیین می شود:

- تعیین عمق قرارگیری لوله سیال-ساز به صورت مدفون ( $d_b$ )
- تعیین فاصله عمودی و افقی لوله از مرز محدوده رسوبی ( $X_d, Y_d$ )
- تعیین ضریب نفوذ پذیری رسوب ( $K$ )
- استفاده از (شکل ۴۴-۳) برای بدست آوردن نرخ جریان در واحد طول لوله برای آغاز فرآیند سیال-سازی ( $Q_F$ )
- ضرب مقدار  $Q_F$  در فاکتور  $F$  و طول لوله برای بدست آوردن نرخ جریان لازم برای سیال-سازی کامل ( $Q_F$ )

#### د- فشار مورد نیاز در لوله سیال-ساز

هد فشار در لوله سیال-ساز باید به اندازه‌ای باشد که قادر به تامین انرژی برای رسیدن جریان به تمام سوراخ‌های در طول لوله و بستر رسوبی باشد. افت هد کلی، مجموع افت در سوراخ‌ها و افت در طول بستر می‌باشد. برای تامین نرخ جریان سیال-سازی کامل، فشار در لوله سیال-ساز باید در هر سوراخ به  $Q_h$  به علاوه ۱ متر هد به ازای هر متر از عمق ترانشه برسد.

(رابطه ۳-۶۴)

$$Q_h = C_d * A_h * \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}$$

در این رابطه  $C_d$  ضریب تخلیه،  $A_h$  مساحت سوراخ‌ها،  $\Delta p$  اختلاف فشار داخل و خارج سوراخ،  $\gamma$  وزن مخصوص آب و  $g$  شتاب گرانش می‌باشند. برای سوراخ‌های لبه تیز، ضریب تخلیه تقریباً ۰/۶۱ است. بر اساس آزمایشات [۳۷] مقدار این ضریب در محدوده ۰/۸۶-۰/۷۳ (مقدار میانگین ۰/۷۹) قرار دارد. به صورت خلاصه، برای رسیدن هد فشار در لوله اصلی سیال-ساز به هد سیال-سازی کامل باید با استفاده از (رابطه ۳-۶۴) افت فشار خروج آب از لوله حساب شده و به ازای هر متر از عمق ترانشه، یک متر به آن اضافه شود.

#### ه- اندازه و فاصله سوراخ‌ها

آزمایشات نشان داده‌اند که برای سیال-سازی آغازین و کامل، اندازه سوراخ‌ها و فواصل آن‌ها در مقایسه با پارامترهای عمق و اندازه رسوبات اثر چندانی ندارد. مقادیر پیشنهادی برای فاصله سوراخ‌ها ۵-۲/۵ سانتیمتر و اندازه سوراخ‌ها ۵/۰-۳/۰ سانتیمتر می‌باشد.

#### و- اندازه قطر لوله سیال-ساز

لوله سیال-ساز یک لوله دارای سوراخ<sup>۱</sup> است که وظیفه آن تامین جریان یکنواخت برای خروج از سوراخ‌ها می‌باشد. این امر نیازمند آن است که هد هیدرولیکی در طول لوله ثابت بماند [۴۰]. لوله با قطر ۵/۳۰ - ۵/۲۵ سانتیمتر به عنوان نقطه شروع طراحی، منطقی به نظر می‌رسد.

#### ز- محدودیت‌های به کارگیری سیستم‌های سیال ساز

با توجه به آزمایشات مختلف صورت گرفته، محدودیت‌هایی در زمینه اندازه رسوبات، عمق قرارگیری لوله سیال-ساز و شیب لوله مطرح شده است.

- محدودیت مربوط به اندازه رسوبات: تمامی آزمایشات و تجربیات میدانی تا کنون بر روی ماسه‌های ریز تا متوسط انجام شده‌اند (آزمایش بر روی رسوبات ریزدانه‌تر یا درشت‌دانه‌تر انجام نشده است). تا زمانی که در رسوبات

ریزدانه چسبندگی نداشته باشد، سیستم سیال-سازی باید عمل کند. چنانچه مقداری مصالح چسبنده وجود داشته باشد، رسیدن به سیال-سازی کامل و تشکیل ترانشه با مشکل مواجه خواهد شد. برای سیال-سازی ماسه متوسط، نرخ جریان بالاتری در مقایسه با ماسه ریز دانه نیاز خواهد بود. بنابراین یک محدودیت به لحاظ عملی برای سایز رسوبات وجود خواهد داشت تا جریان مورد نیاز برای سیال-سازی کامل به صورت غیر اقتصادی بزرگ و زیاد نشود.

- محدودیت مربوط به طول لوله: محدودیت‌هایی برای به اندازه پمپ یا سایز لوله در مسائل اجرایی وجود دارد. برای مواجهه با این محدودیت‌ها، طول لوله سیال-ساز می‌تواند به قسمت‌های کوچک‌تری تقسیم شود.
- محدودیت مربوط به شیب لوله: اگر لوله سیال-ساز با شیب ۱ درصد قرار بگیرد تا مخلوط آب و رسوب را برای جت پمپ تامین نماید، قسمت انتهایی و پایین دست لوله نیاز به عمق دفن بالاتری خواهد داشت. به عنوان مثال یک لوله با طول ۳۰۰ متر، نیاز به ۳ متر عمق دفن در انتهای خود دارد. این موضوع در مناطق دارای لایه های سنگی و یا رسوبات چسبنده در عمق، مشکل ساز خواهد شد.

### ح- خلاصه فرآیند طراحی

برای شروع فرآیند طراحی لازم است به مدت یک تا سه سال داده اندازه‌گیری میدانی از منطقه تهیه شود و مورد بررسی قرار گیرد. از این مطالعه، موارد زیر باید تعیین گردند:

- تعیین جهت و تخمین حجم رسوبات انتقالی
- اطلاعات موجود در مورد نوع رسوبات، اندازه و توزیع آن‌ها
- اطلاعات بلند مدت مورفولوژی منطقه و موقعیت خط ساحلی
- اطلاعات ژئومورفولوژی
- اطلاعات درباره سازه‌های ساحلی مجاور و آثار آن‌ها
- تغییرات فصلی نرخ انتقال رسوب

گام بعدی تعیین شرایط طراحی با توجه به چگونگی عملکرد سیستم سیال-سازی در مجموعه موجود با در نظر گرفتن موقعیت جت پمپ‌ها و یا دیگر تجهیزات و محدودیت‌های موجود می‌باشد. بعد از تعیین موقعیت، طراحی هندسی ترانشه صورت می‌گیرد که شامل انتخاب شیب، طول، عمق و تراز قرار گیری و عرض کانال است.

انتخاب پارامترهای طراحی سیستم سیال-سازی شامل گام‌های ذیل می‌باشد:

- در نظر گرفتن چندین طراحی برای عمق های تدفین مختلف، شامل چندین لوله موازی (در صورتی که برای رسیدن به عرض طراحی لازم باشد)
- انتخاب طرح مناسب
- تعیین موقعیت پمپ و برداشت آب تمیز
- تخمین قطر لوله (D) (در صورت عدم قطعیت ۳۰/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شود)



- تعیین فاکتور نرخ جریان اولیه  $Q_1/k.d_b$  از (شکل ۳-۴۴) یا استفاده از مقدار محافظه کارانه ۲,۶ ( داده های مورد نیاز :  $D, d_b, K$  و ابعاد تخمینی ترانشه)
  - تعیین نرخ جریان اولیه  $Q_1$  از (رابطه ۳-۶۲)
  - انتخاب فاکتور  $F$  در محدوده ۱۰-۵ ( بیشترین مقدار محافظه کارانه)
  - محاسبه نرخ جریان برای سیال-سازی کامل با استفاده از (رابطه ۳-۶۳)
  - انتخاب هندسه سوراخ‌ها (سایز و فاصله) در لوله سیال-ساز. نحوه مناسب قرارگیری سوراخ‌ها به صورت افقی است (مقدار پیشنهادی ابعاد سوراخ‌ها:  $3/0$  سانتیمتر با فواصل ۵ سانتیمتر)
  - تعیین هد فشار مورد نیاز در لوله سیال-ساز که شامل افت هد در سوراخ‌های لوله به اضافه افت در طول بستر سیال شده می‌باشد
  - تعیین قطر لوله با توجه به این مسئله که هد در طول لوله تقریباً ثابت باقی بماند
  - انتخاب جنس لوله و پمپ
- با وجود این‌که فرکانس عملکرد سیستم قابل تخمین می‌باشد، اما مقدار دقیق آن در حین عملیات و با توجه عمق رسوبات تجمع یافته در ترانشه مشخص می‌گردد. طول عملیات به مدت زمانی که صرف می‌شود تا به تراز مورد نظر طراحی در بستر ترانشه دست یابیم، بستگی دارد. این مسئله نیز تابع سرعت برداشت رسوبات توسط جت‌پمپ‌ها می‌باشد. بنابراین طراحی سیال-ساز و جت‌پمپ باید هم زمان صورت گیرد. این احتمال وجود دارد که سیال-ساز با تناوب بیشتری نسبت به جت‌پمپ عمل کند. تجربیات حاصل از سیستم گذردهی رسوب اوشن ساید در کالیفرنیا نشان داده است که عملیات به صورت دوره‌ای (چند هفته یک بار) برای کاهش گرفتگی سیستم ضروری می‌باشد.



## فصل ۴

---

بررسی و ارائه مبانی ارزیابی‌های  
محیط زیستی سیستم‌های  
گذردهی رسوب



#### ۴-۱- مقدمه

با توجه به گستره فعالیت و محدوده تاثیر سیستم‌های گذردهی رسوب، مقررات و قوانین کشورها فعالیت آن‌ها را منوط به انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی و تایید گزارشات مربوطه توسط مراجع ذیصلاح نموده است. مطالب این فصل با استفاده از تجربیات جهانی و نمونه گزارشات ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه‌های فعال سیستم گذر دهی رسوب در سایر کشورها برای استفاده و تسهیل در انجام ارزیابی‌های محیط زیستی سیستم‌های گذردهی رسوب و تهیه گزارش‌های مربوطه گردآوری و ارائه شده‌اند. همچنین این بخش حاوی مطالب تکمیلی عمومی از جمله مراحل انجام مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی، برنامه‌های مدیریت محیط زیست و پایش و استانداردهای محیط زیستی مرتبط با سیستم‌های گذردهی رسوب می‌باشد. لازم به ذکر است در تهیه این بخش از منابع معتبر موجود در این زمینه که عناوین آن‌ها در بخش مراجع ارائه شده، استفاده گردیده است.

#### ۴-۲- مراحل انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی

ارزیابی اثرات محیط زیستی از مراحل گوناگونی تشکیل می‌شود که هر مرحله از مطالعات مبنای مراحل بعدی می‌باشد. در (شکل ۴-۱) مراحل انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی نشان داده شده است. این مراحل عبارتند از: (۱) جمع‌آوری اطلاعات پایه: در نخستین مرحله از مطالعات، باید اطلاعات پایه‌ای لازم بر اساس ماهیت پروژه و محیط اجرای آن گردآوری شوند.

(۲) بررسی قوانین و مقررات: در این مرحله ضروری است مقررات مرتبط با ارزیابی‌های محیط زیستی و همچنین قوانین مرتبط با بهره‌برداری و حفاظت از دریاها و سرزمین بررسی شوند.

(۳) تعیین محدوده مطالعاتی: تعیین دامنه و محدوده مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی در این گام صورت می‌گیرد. باید بر اساس مستندات موجود و بررسی‌های انجام شده مشخص شود که آیا اجرای پروژه نیاز به ارزیابی تفصیلی یا جامع دارد یا خیر؟ چنانچه محدوده کار به درستی مشخص نشود، تحلیل واقع بینانه و عملی از اثرات محیط زیستی ناشی از پروژه امکان پذیر نمی‌باشد. با مشخص نمودن محدوده اثر گذاری طرح، از گردآوری اطلاعات غیرضروری نیز ممانعت به عمل می‌آید که موجب صرفه جویی در هزینه و زمان می‌شود.

(۴) بررسی ویژگی‌های طرح: در این مرحله از مطالعات، ویژگی‌های طرح در دو گروه مشخصات اقتصادی و اجتماعی شناسایی می‌گردند.

(۵) بررسی ویژگی‌های محیط زیست موجود در منطقه: به منظور شناسایی وضعیت فعلی محیط زیست محل اجرای طرح و مناطق تحت تاثیر آن، کلیه پارامترهای محیط زیستی در محیط‌های خشکی، ساحلی و دریایی منطقه و اکوسیستم‌های موجود در آن‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

۶) ارائه گزینه‌های مناسب: بر اساس ملاحظات فنی و اقتصادی گزینه‌های مناسب برای اجرای پروژه مورد نظر پیشنهاد می‌گردند.

۷) پیش بینی و تجزیه و تحلیل اثرات هر یک از گزینه‌ها: در این مرحله هر یک از گزینه‌های ارائه شده مورد مطالعه قرار گرفته و اثرات محیط زیستی ناشی از هر یک پیش بینی و بررسی می‌گردد.

۸) انتخاب گزینه برتر: با توجه به نتایج حاصل از تحلیل و پیش بینی اثرات محیط زیستی ناشی از هر یک از گزینه‌های پیشنهادی، گزینه برتر که دارای حداقل اثرات سوء محیط زیستی می‌باشد انتخاب می‌گردد.

۹) ارائه راهکارهای کاهش اثرات و برنامه‌های مدیریت محیط زیست: در این مرحله از مطالعات راهکارهایی جهت کاهش اثرات سوء ناشی از به کار گیری گزینه منتخب ارائه می‌گردد.



شکل ۴-۱- مراحل انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی

### ۴-۳- اثرات محیط زیستی سیستم‌های گذردهی رسوب و راهکارهای کاهش آن‌ها

اثرات سیستم‌های گذردهی رسوب بر محیط‌زیست را می‌توان در مرحله ساخت و مرحله بهره برداری از این سیستم‌ها مورد بررسی قرار داد. این آثار در ۸ گروه شامل اثرات بر کیفیت آب، مشخصات ناحیه ساحلی، کیفیت هوا، صدا و ارتعاش، اکولوژی ساحلی و دریایی، مسائل زیبایی شناختی، مسائل اجتماعی-فرهنگی و مسائل اقتصادی- فنی قابل تقسیم بندی هستند [۴۱]. در این بخش به تشریح اثرات بر موارد نامبرده و ارائه راهکارهایی جهت کاهش این اثرات پرداخته شده است.

#### ۴-۳-۱- اثرات بر کیفیت آب

فعالیت‌های مربوط به ساخت بخش‌های دریایی سیستم‌های گذردهی رسوب نظیر ساخت پلتفرم قرار گیری جت‌پمپ‌ها، جایگذاری لوله‌های انتقال در زیر بستر و همچنین انجام عملیات برداشت رسوبات بستر و تخلیه آن‌ها از جمله فعالیت‌هایی هستند که در حین ساخت سیستم‌های گذردهی رسوب بر کیفیت آب تاثیر می‌گذارند. فعالیت‌های مذکور سبب معلق شدن رسوبات و ایجاد کدورت در آب دریا می‌شوند. در صورت وجود مواد ارگانیک و مواد سمی در رسوبات، معلق شدن رسوبات می‌تواند منجر به آزاد شدن آن‌ها شود. همچنین کدورت آب سبب کاهش نفوذ نور خورشید به داخل آب می‌گردد و ممکن است فتوسنتز گیاهان آبی دچار اختلال شده و در نتیجه اکسیژن تولیدی توسط آن‌ها کاهش یابد [۴۳ و ۴۲]. لازم به ذکر است با توجه به این‌که سیستم‌های گذردهی رسوب عمدتاً در سواحل ماسه‌ای به کار می‌روند که معمولاً مقادیر رسوبات چسبنده و ریز دانه در آن‌ها ناچیز می‌باشند و با در نظر گرفتن این موضوع که عملیات احداث در دوره ای موقت صورت می‌گیرد، می‌توان گفت کدورت ایجاد شده ناشی از عملیات احداث به صورت موقت و با ماندگاری کوتاهی در محدوده ساخت سیستم به وقوع خواهد پیوست و دارای اثرات دراز مدت نخواهد بود [۴۲]. همچنین با انتخاب تجهیزات مناسب برای عملیات احداث و رعایت استانداردهای مربوط به برداشت و تخلیه رسوبات، اثرات نامطلوب مرحله ساخت سیستم‌های گذردهی رسوب بر کیفیت آب قابل کاهش می‌باشند.

پساب‌ها، پسماندها و آلاینده‌هایی که در حین ساخت به آب وارد می‌شوند نیز بر کیفیت آب تاثیرگذار خواهند بود. دفع پسماندهای تولیدی در لندفیل‌ها می‌تواند از مشکلات ناشی از تخلیه پسماندها در دریا جلوگیری نماید. احداث سپتیک تانک در محل کمپ موقت و استفاده از تاسیسات بهداشتی موجود از دیگر راهکارهای ممکن هستند.

در مرحله بهره برداری از سیستم‌های گذردهی رسوب، چنانچه پلتفرم نصب جت‌پمپ‌ها در سیستم گذردهی رسوب از نوع بسته بوده و جریان‌ات دریایی از آن عبور ننمایند، ممکن است الگوی جریان‌ات ساحلی را تغییر داده و سبب ایستایی آب در پشت سازه گردد. در چنین شرایطی اگر در منطقه قرار گیری سیستم گذردهی رسوب تخلیه پساب وجود داشته باشد، پدیده‌های پخش و انتقال پساب در محیط آبی مختل شده و زمان ماند آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. تشدید پدیده‌هایی نظیر اوتریفیکاسیون، که به دلیل ورود مواد مغذی به محیط‌های دریایی رخ می‌دهند و منجر به رشد بسیار

شدید فیتوپلانکتون‌ها و کاهش اکسیژن محلول می‌شوند، می‌تواند از اثرات افزایش زمان ماند باشد. همچنین اگر در موقعیتی که برای سیستم گذردهی رسوب در نظر گرفته شده است رسوبات آلوده وجود داشته باشند، راکد شدن آب سبب تشدید اثرات منفی ورود مواد آلاینده از رسوبات به محیط آبی خواهد شد. بر اساس توضیحات ارائه شده، پلتفرم‌هایی مطلوب هستند که دارای بازشوهایی در طول خود باشند تا سبب رکود آب در منطقه نگردند. با توجه به نمونه‌های جهانی سیستم‌های گذردهی رسوب اغلب سازه پلتفرم مورد استفاده در این سیستم‌ها از نوع شمع و عرشه می‌باشد که سبب رکود آب نمی‌گردد [۴۲]. در غیر این صورت، چنانچه پلتفرم بدون بازشو برای سیستم انتخاب گردد و در منطقه قرار گیری سیستم گذردهی رسوب تخلیه پساب وجود داشته باشد، یک سیستم تصفیه فاضلاب موقت یا دائمی (بر حسب نیاز) باید تعبیه گردد. همچنین اگر رسوبات موجود در منطقه دارای بار آلودگی بالایی باشند، برداشت این رسوبات می‌تواند در کاهش انتقال آلاینده‌ها از رسوبات به آب موثر واقع شود.

در مرحله بهره‌برداری از سیستم‌های گذردهی رسوب، با برداشت رسوبات از یک ناحیه و تخلیه آن‌ها در ناحیه‌ای دیگر، رسوبات معلق شده و سبب بروز کدورت در محیط آبی می‌گردند. شدت و ماندگاری کدورت ایجاد شده تابع هیدرودینامیک و مشخصات رسوب منطقه است. همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر گردید، با توجه به این که سیستم‌های گذردهی رسوب عمدتاً در سواحل ماسه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، کدورت ایجاد شده ناشی از تعلیق رسوبات دارای ماندگاری کم خواهد بود و کدورت ایجاد شده به دلیل تداوم کوتاه معمولاً اثر چشمگیری بر کیفیت آب منطقه نخواهد داشت [۴۲ و ۴۴].

#### ۴-۳-۲- اثرات بر مشخصات ناحیه ساحلی

در زمان ایجاد کارگاه و تجهیز آن پاکتراشی و بوته کنی ممکن است موجب فرسایش خاک در منطقه گردد. ایجاد پوشش گیاهی در اطراف بخش‌های ساحلی سیستم پس از اتمام فرآیند ساخت ازجمله راهکارهای کنترل فرسایش می‌باشد. برداشت رسوبات و ایجاد ترانشه جهت به دام اندازی رسوبات ممکن است تغییراتی در الگوی جریان‌ها، امواج و دینامیک انتقال رسوبات ایجاد نماید که در نهایت می‌تواند منجر به تغییراتی در توپوگرافی منطقه و خط ساحل شود. این موارد با مدلسازی‌های کامپیوتری قابل پیش‌بینی و ارزیابی می‌باشند و به این ترتیب می‌توان شرایطی را فراهم نمود تا از آثار غیر مطلوب فوق‌الذکر جلوگیری شود. چنانچه رسوبات برداشت شده در زمان ساخت حاوی مواد و عناصر آلاینده باشند، تخلیه آن‌ها در ساحل ممکن است سبب نفوذ آلاینده‌ها به ساحل و آب‌های زیر زمینی شود [۴۲]. با مطالعه کیفیت رسوبات منطقه می‌توان از وضعیت آلودگی احتمالی آن‌ها آگاه گردید و در صورت نیاز از تدابیری مانند پاکسازی رسوبات پیش از تخلیه استفاده نمود.

سیستم‌های گذردهی رسوب در زمان بهره‌برداری، با تامین رسوبات و توزیع آن‌ها در امتداد سواحل فرسایش یافته، قادر به احیاء و تعریض آن‌ها می‌باشند. همچنین به کارگیری سیستم‌های گذردهی رسوب می‌تواند سبب کاهش نیاز به لایروبی در کانال‌های ناوبری که با مشکل رسوب‌گذاری روبرو می‌باشند، گردد. چنانچه پلتفرم مورد استفاده برای استقرار



تجهیزات سیستم گذردهی رسوب به گونه‌ای باشد که امکان عبور جریانات از آن وجود نداشته باشد، ممکن است حضور این سازه سبب تغییرات در الگوی امواج و جریانات ساحلی و به تبع آن تغییرات در الگوی انتقال رسوبات منطقه گردد. همچنین جریانات تغییر یافته و امواج منعکس شده ممکن است خطراتی برای کشتی‌های عبوری از منطقه ایجاد نمایند. اگر سیستم گذردهی رسوب در دهانه رودخانه اجرا گردد، موقعیت سیستم و تجهیزات آن ممکن است تغییراتی در جریان رودخانه ایجاد نماید. بنابراین چنانچه در بخش پیشین نیز اشاره گردید، پلتفرم‌هایی نظیر سازه‌های شمع و عرشه برای استقرار تجهیزات سیستم‌های گذردهی رسوب مناسب می‌باشند. با توجه به نمونه‌های جهانی سیستم‌های گذردهی رسوب نیز مشاهده می‌شود که پلتفرم‌های مورد استفاده عمدتاً<sup>۱</sup> به صورت شمع و عرشه هستند که تغییرات خاصی در الگوی جریانات و امواج منطقه ایجاد نمی‌کنند [۴۴ و ۴۲]. با این وجود، انجام شبیه‌سازی‌های کامپیوتری به پیش‌بینی تغییرات محتمل کمک نموده و می‌تواند در طراحی مناسب سیستم گذردهی رسوب سودمند واقع شود.

چنانچه نوع و کیفیت رسوبات برداشت شده با نوع و کیفیت رسوبات محل تخلیه یکسان نباشد و یا رسوبات برداشت شده از بالا دست در اثر فعالیت‌های بنادر، تخلیه فاضلاب و ... آلوده باشند، بهره برداری از سیستم گذردهی رسوب بر نوع و کیفیت رسوبات پایین دست تاثیر گذار خواهد بود [۴۵]. با توجه این‌که سیستم‌های گذردهی رسوب وظیفه‌ی انتقال رسوبات به دام افتاده توسط سازه‌های انسان ساخت (نظیر موج شکن‌های بنادر) که روند طبیعی انتقال رسوبات را مختل نموده‌اند را بر عهده دارند، در نتیجه رسوبات برداشت شده از بالادست عمدتاً با رسوبات سواحل پایین دست مشابه بوده و عملکرد سیستم سبب تغییرات چشمگیری در نوع رسوبات نخواهد شد. چنانچه رسوبات بالادست دارای آلودگی شدیدی باشند، ابتدا باید طی مراحل پاکسازی آن‌ها انجام گیرد و سپس به پایین دست منتقل گردند. مطالعه آلودگی در رسوبات موجود در محل‌های برداشت و تخلیه مهم‌ترین اقدام بمنظور جلوگیری از آلوده شدن ساحل منطقه در مرحله بهره برداری می‌باشد.

همچنین باید توجه داشت که انتقال رسوبات توسط سیستم گذردهی رسوب به نحوی باشد که منجر به افزایش عرض ساحل پایین دست به میزان بیش از شرایط طبیعی مورد نیاز منطقه نگردد.

#### ۴-۳-۳- اثرات بر کیفیت هوا

دود خروجی از ماشین آلات مورد استفاده در فاز ساخت سیستم‌های گذردهی رسوب می‌تواند سبب آلودگی هوا گردد. گرد و غبار ایجاد شده در حین فعالیت‌های ساخت و ساز از دیگر منابع آلوده کننده هوا می‌باشند. با توجه به میزان و نوع سوخت ماشین آلات و با داشتن ضرایب انتشار آلاینده‌ها، می‌توان میزان انتشار و نوع آلاینده‌های منتشره را برآورد و شناسایی نمود. استفاده از ماشین آلات استاندارد و بدون نقص فنی نیز از شدت آلودگی هوا می‌کاهد. از روش‌های کنترل انتشار گرد و غبار نیز می‌توان به آب پاشی در محل ساخت و ساز، استفاده از روش‌های مناسب حمل و نقل مصالح نظیر تسمه نقاله<sup>۱</sup> و استفاده از محافظ‌هایی در اطراف محدوده پروژه اشاره کرد. همچنین پیاده سازی موقت

1- Conveyor belt

جاده‌ها در محل احداث سیستم می‌تواند بطور قابل توجهی باعث کاهش انتشار گرد و غبار شود. توصیه می‌شود که حمل و نقل مصالح و تجهیزات مورد نیاز در جاده های دسترسی آسفالتی موجود انجام گیرد. برای جلوگیری از برخاستن ذرات گرد و غبار، بهتر است مواد و مصالح مصرفی در محل‌های مسقف نگهداری شوند. لازم به ذکر است که در پروژه‌های گذردهی رسوب مطرح جهانی نظیر پروژه رودخانه تئوید در استرالیا دیده شده است که احداث این سیستم‌ها آثار بسیار ناچیزی بر کیفیت هوا داشته‌اند [۴۶ و ۴۷].

#### ۴-۳-۴- تولید صدا و ارتعاش

فعالیت‌های مرتبط با احداث سیستم‌های گذردهی رسوب و ماشین آلات مورد استفاده دارای پتانسیل تولید صدا و ارتعاش در منطقه هستند. صدا و ارتعاشات تولیدی ممکن است سبب ایجاد مزاحمت برای کاربران منطقه و حیات وحش گردد. استفاده از تجهیزات کم صدا و نصب عایق‌های صوتی می‌تواند به طور قابل توجهی میزان اصوات تولیدی را کاهش دهد. بمنظور کاهش مزاحمت‌های ناشی از آلودگی‌های صوتی، لازم است که در زمان شب و استراحت اهالی منطقه، فعالیت‌های ساخت و ساز متوقف شود. نگهداری مناسب و تعمیرات به موقع تجهیزات می‌توانند موجب کاهش شدت اصوات تولیدی شوند. رانندگان ماشین آلات حمل مصالح ملزم به رعایت مقررات رانندگی و عدم استفاده از بوق (بخصوص بوق های ناهنجار و ممتد) می‌باشند.

در زمان بهره برداری سیستم گذردهی رسوب، فعالیت جت‌پمپ‌های مورد استفاده جهت برداشت رسوبات و پمپ‌های هیدرولیکی تولید صدا می‌نمایند. فعالیت‌های دوره‌ای مانند توزیع مجدد رسوبات تخلیه شده در امتداد ساحل که ممکن است در منطقه انجام شوند، پتانسیل تولید صدا دارند. هم‌چنین در حین تعمیرات و نگهداری از تجهیزات نیز ممکن است صدا تولید شود.

لازم به ذکر است که تولید صدا ممکن است بر حیات وحش جنگل‌ها، تالاب‌ها و مناطق حافظت شده مجاور اثرات منفی داشته باشد. استفاده از عایق‌های اکوستیک و نصب پوشش‌ها در اطراف تجهیزات می‌تواند به کاهش انتشار صدای تولید شده کمک نماید. نگهداری مناسب و تعمیرات به موقع تجهیزات نیز می‌تواند شدت اصوات تولید شده توسط سیستم را بکاهد. بمنظور کاهش مزاحمت برای کاربران منطقه، می‌توان زمان انجام تعمیرات و فعالیت سیستم را به زمان‌هایی موکول نمود که جمعیت کمتری در منطقه حضور دارند. هم‌چنین ایجاد فضای سبز می‌تواند به عنوان یک مانع مناسب در برابر اصوات عمل نماید [۴۱].

#### ۴-۳-۵- اثرات بر اکولوژی دریا و ساحل

عملیات احداث بخش‌های دریایی سیستم‌های گذردهی رسوب، سبب بر هم زدن رسوبات بستر، تعلیق، پخش و نشست مجدد آن‌ها می‌شوند. این مسئله سبب آزاد شدن مواد سمی و مضر موجود در رسوبات (در صورت وجود) می‌شود و ممکن است موجب آسیب به آبزیان موجود در منطقه و تولید مثل آن‌ها شود. هم‌چنین رسوبات معلق شده ممکن است

وارد دستگاه تنفسی آبزیان شده و سبب اختلال در تنفس آن‌ها شود. برداشت و تخلیه رسوبات در مرحله ساخت امکان دارد موجب آسیب به زیستگاه‌های حساس دریایی نظیر آبسنگ‌های مرجانی و کفزیان و گونه‌های گیاهی و جانوری شود. احداث تجهیزات ساحلی نیز امکان تاثیر گذاری بر زیستگاه‌های خشکی، پوشش گیاهی و پرندگان ساکن در منطقه را خواهد داشت [۴۶ و ۴۲].

بمنظور برنامه‌ریزی مناسب جهت عملیات مرتبط با احداث سیستم، نظیر حفر ترانشه، تخلیه رسوبات برداشت شده در زمان ساخت و احداث بخش‌های ساحلی سیستم، مطالعه دقیق گونه‌های گیاهی و جانوری منطقه (آبزی و یا خشکی زی) ضروری می‌باشد. هم‌چنین پیش از عملیات احداث، میزان آلودگی رسوبات منطقه باید مورد مطالعه قرار گیرد. انتخاب محل تخلیه و روش‌های تخلیه رسوبات برداشت شده در زمان ساخت نیز باید به گونه‌ای صورت گیرد که کمترین اثرات منفی بر محیط تحمیل شود. استفاده از موانع شناور<sup>۱</sup> بمنظور کنترل حرکت رسوبات معلق در آب‌های کم عمق موثر می‌باشد.

در زمان بهره برداری از سیستم گذردهی رسوب، برداشت رسوبات توسط جت‌پمپ‌ها ممکن است سبب تخریب زیستگاه کفزیان و اختلالاتی در مکان تخم ریزی آن‌ها گردد. تخلیه رسوبات نیز ممکن است سبب مدفون شدن و نابودی زیستگاه‌های نواحی کم عمق ساحلی گردد. هم‌چنین بواسطه نوع عملکرد تجهیزات ساحلی ممکن است جانوران ساکن در خشکی مانند لاک پشت‌ها، خرچنگ‌ها، پرندگان بومی منطقه و گونه‌های مهاجر تحت تاثیر قرار گیرند. از اثرات مثبت بهره‌برداری از سیستم گذردهی رسوب احیای سواحل فرسایش یافته پایین دست و بازگشت زیستگاه‌های از دست رفته می‌باشد.

به طور کلی با بررسی دقیق مشخصات اکولوژیکی محل اجرای سیستم‌های گذردهی رسوب می‌توان گونه‌های آسیب پذیر و یا در معرض انقراض موجود در منطقه را شناسایی نموده و اختلالات ایجاد شده توسط سیستم گذردهی رسوب در فصول و محل تخم ریزی آن‌ها را به حداقل رساند. عدم تخلیه رسوبات در مناطق حساس ساحلی نیز از اقدامات ضروری تلقی می‌شود. لازم به ذکر است تنظیم نرخ تخلیه رسوبات در سواحل پایین دست به گونه‌ای که آبزیانی که رسوبات بروی آن‌ها تخلیه می‌شود، قادر باشند خود را از توده رسوبی تخلیه شده از سیستم خارج نمایند، از اقدامات موثر به شمار می‌رود که مانع از مدفون شدن و نابودی این اکوسیستم‌ها خواهد شد [۴۲].

#### ۴-۳-۶- اثرات زیبایی شناختی

به لحاظ زیبایی شناختی، منطقه‌ای که سیستم گذردهی رسوب در آن ساخته می‌شود تحت تاثیر موقعیت قرار گیری تجهیزات سیستم و میزان در معرض دید بودن آن‌ها می‌باشد. در معرض دید بودن تجهیزات به کار رفته ممکن است احساس نامطلوبی در مردم بومی و کاربران منطقه ایجاد نماید. بنابراین، طراحی سیستم گذردهی رسوب باید به گونه‌ای باشد که سیستم را با محیط اطرافش ترکیب و همگون نماید. انتخاب مناسب رنگ تجهیزات در معرض دید، به بهبود

1- Silt curtain

وضعیت چشم انداز منطقه کمک می‌کند. همچنین استقرار لوله‌های انتقال به صورت مدفون می‌تواند از اثرات منفی سیستم‌های گذردهی رسوب بر مسائل زیبایی شناختی بکاهد [۴۲ و ۴۱].

#### ۴-۳-۷- اثرات بر مسائل اجتماعی- فرهنگی

موقعیت قرار گیری سیستم‌های گذردهی رسوب ممکن است به گونه‌ای باشد که عملیات احداث سیستم، جوامع محلی ساکن در منطقه را وادار به تغییر در محل زندگی نماید و یا منجر به تخریب آثار تاریخی موجود در منطقه گردد. البته با توجه به این‌که سیستم‌های گذردهی رسوب در مجاورت سازه‌های ساحلی از پیش ساخته شده نظیر موج شکن‌های بنادر قرار می‌گیرند، احتمال این‌که اثرات گفته شده را داشته باشند بسیار پایین است. چنانچه مطالعات شرایط محیط زیستی و اجتماعی- فرهنگی منطقه در مرحله احداث سازه‌های موجود در محل به درستی صورت گرفته باشد، موارد مذکور از پیش بررسی شده‌اند [۴۶ و ۴۲]. با این وجود ضروری است مطالعات لازم درباره جمعیت ساکن در منطقه، توزیع جمعیت، زیر ساخت‌های موجود در منطقه و شرایط تغییر محل سکونت ساکنان صورت گیرد. همچنین تعیین مناطق دارای آثار تاریخی و میراث فرهنگی در مراحل اولیه مطالعات ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که استخدام ساکنان منطقه و به کارگیری مشارکت محلی در مرحله احداث سیستم‌های گذردهی رسوب از آثار مثبت بالقوه احداث این سیستم‌ها بر مسائل اجتماعی به شمار می‌رود.

#### ۴-۳-۸- اثرات بر مسائل اقتصادی- فنی

تامین منابع قرضه و تجهیزات سیستم‌های گذردهی رسوب در مرحله احداث این سیستم‌ها، بر اقتصاد منطقه تأثیر گذار خواهند بود. همچنین به کارگیری نیروی انسانی محلی بر درآمد منطقه موثر می‌باشد. از سویی دیگر عملیات احداث سیستم ممکن است به صورت موقت اختلالاتی در صنعت توریسم منطقه ایجاد نماید و سبب بروز مشکلاتی در فعالیت‌های اهالی منطقه نظیر ماهیگیری شود [۴۲]. چنانچه تا جای ممکن از نیروی انسانی محلی جهت ساخت و راه اندازی سیستم‌های گذردهی رسوب استفاده شود، اقتصاد منطقه رونق پیدا خواهد کرد که می‌تواند اثرات ناشی از رکود در برخی فعالیت‌ها در زمان احداث (نظیر ماهیگیری) را جبران نماید. با شناسایی فصول پر رونق گردشگری، می‌توان عملیات ساخت را به زمان‌هایی که توریست کمتری در منطقه حضور دارد موکول نمود و مانع از آسیب دیدن این صنعت شد.

بهره‌برداری از سیستم‌های گذردهی رسوب ممکن است اختلالاتی در عملکرد بنادر و دسترسی به آن‌ها ایجاد نماید. همچنین سیستم ممکن است طرح‌های آبی توسعه بندر را تحت تأثیر قرار دهد. حضور تجهیزات در مسیر حرکت کشتی‌ها نیز می‌تواند موجب بروز حوادث و سوانحی برای شناورها شود. در نتیجه استقرار تجهیزات سیستم به گونه‌ای که اختلالاتی در فعالیت‌های معمول بنادر ایجاد ننماید، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به عنوان مثال استقرار لوله‌های انتقال از زیر بستر مانع از بروز حوادث برای شناورهای موجود در منطقه خواهد شد.

بهره برداری از سیستم‌های گذردهی رسوب ممکن است موجب تغییراتی در قیمت مستغلات و اراضی مجاور سیستم شود. از سوی دیگر، افزایش عرض ساحل و به تبع آن توسعه امکانات تفریحی سبب جذب توریست و رونق طرح‌های گردشگری می‌شود [۴۷ و ۴۲]. هم‌چنین بازدید و حضور در روی پلتفرم سیستم گذردهی رسوب به عنوان جاذبه گردشگری و یا ماهیگیری تفریحی مطرح می‌باشد.

#### ۴-۴- برنامه‌های مدیریت محیط زیست و پایش

یکی از اصول مهم و پایه‌ای در تهیه گزارش‌های ارزیابی اثرات محیط زیستی، ارائه برنامه‌های مدیریت و پایش محیط زیست است. برنامه‌های مدیریت و پایش محیط زیستی مشخص می‌نمایند که آیا اثرات و پیامدهای فعالیت‌های یک طرح که در مراحل اجرا و پس از آن مورد سنجش قرار گرفته اند، قابل قبول بوده و توانسته‌اند اهداف مندرج در اقدامات اصلاحی را محقق سازند یا خیر. یافته‌های برنامه‌های مدیریت و پایش محیط زیست، اطلاعات و خط مشی‌های مناسبی را برای اجرای اقدامات اصلاحی و کاهش اثرات سوء فراهم می‌نماید. مهم‌ترین اهداف این برنامه‌ها را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- اتخاذ تدابیر مناسب برای توقف فعالیت‌های طرح در زمان حادث شدن فرآیندهای مخرب محیط زیست
- تعیین میزان اثر بخشی اقدامات اصلاحی
- بهبود مدیریت پروژه بمنظور اصلاح فرآیندها
- ایجاد فرصت‌های آموزشی بمنظور بهبود اقدامات اصلاحی در پروژه‌های آینده
- نکاتی که در تدوین برنامه‌های مدیریت و پایش محیط زیست و مولفه‌های متشکله آن باید مورد توجه قرار گیرند، به طور عمده شامل موارد زیر می‌باشند:

##### الف) تعیین شاخص‌های عمده سنجش طرح

به منظور تعیین اثرات محیط زیستی طرح‌ها معمولاً لازم است شاخص‌های متعددی توسط گروه مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی مورد بررسی قرار گیرند که ممکن است همه آن‌ها در برنامه مدیریت و پایش مورد استفاده قرار نگیرند و به همین دلیل، باید از مجموع این شاخص‌ها، آن دسته از شاخص‌هایی که واجد خصوصیات زیر هستند مورد توجه قرار گیرند:

- شاخص‌های انعطاف پذیر که سنجش آن‌ها در مراحل اجرا و بهره برداری میسر باشد
- شاخص‌های نمایانگر برخی از اثرات محیط زیستی مهم
- با توجه به دو ضابطه فوق، گروه مطالعات محیط زیستی قادر خواهد بود تا شاخص‌های مناسب را برای تدوین برنامه مدیریت و پایش محیط زیست برگزیند.

##### ب) مولفه‌های اصلی برنامه مدیریت محیط زیست و پایش

گستره و دامنه برنامه مدیریت و پایش محیط زیست باید به گونه‌ای تعیین شود که نتایج حاصل از آن، جامع نگری لازم را در مطالعات ارزیابی فراهم کرده و بتواند اهداف حفاظت از محیط زیست را تضمین نماید. بنابراین لازم است مولفه‌های متعددی در نظر گرفته شوند. این مولفه‌ها که باید به صورت شفاف و دقیق تعیین گردند از جمله شامل موارد زیر می‌باشند:

- تکنیک‌ها و روش‌های پایش
- ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای پایش
- برنامه زمانی سنجش پارامترهای پایش
- تجزیه و تحلیل آماری
- شناسایی محل‌های نمونه برداری

#### ج) برنامه زمانی پایش

به منظور ارزیابی مولفه‌ها و شاخص‌های منتخب برای پایش و تغییرات فصلی و دوره‌ای آن‌ها، ضروری است برنامه زمانی مناسبی برای پایش تعیین گردد. بر اساس نوع پروژه، شاخص‌های تعریف شده و محل‌های تعیین شده می‌توان زمان نمونه‌برداری‌ها را مشخص نمود. چنانچه عملیات پایش برای دوره‌های کوتاه‌تری مطرح شود، لازم است برنامه نمونه برداری و تواتر پایش با دقت بالایی مشخص شوند.

با توجه به موارد مطرح در بندهای فوق الذکر، شاخص‌های اصلی پایش سیستم‌های گذردهی رسوب به شرح زیر ارائه می‌شوند:

- داده‌های عمق سنجی منطقه ساحل و نزدیک به ساحل
- داده‌های عمق سنجی در کانال‌های ناوبری و ورودی آبراهه‌های ساحلی
- اقلیم امواج نزدیک ساحل
- هیدرودینامیک جریان‌ات دریایی
- دینامیک انتقال رسوبات در امتداد ساحل
- جمعیت، پراکنش، تراکم و گونه‌های حیات وحش
- وضعیت زیستگاه‌های گیاهی و جانوری
- پوشش گیاهی منطقه (آبی و خشکی زی)
- کیفیت رسوبات
- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک
- نحوه تخلیه رسوبات توسط سیستم گذردهی رسوب
- میزان مواد معلق موجود در آب هنگام فعالیت سیستم گذردهی رسوب
- پایداری سازه‌های مجاور سیستم گذردهی رسوب

- کیفیت آب
- آثار تاریخی موجود در منطقه
- تغییرات در کاربری اراضی
- سطوح صدای تولید شده توسط تجهیزات [۴۸ و ۴۷].

#### ۴-۵- استانداردهای محیط زیستی

حدود مجاز آلاینده‌ها در محیط بنادر و سیستم‌های گذردهی رسوب در هر منطقه‌ای بسته به موقعیت جغرافیایی و الزامات جوامع محلی آن متفاوت است. استانداردهای محیط زیستی یک منطقه لزوماً با استانداردهای منطقه‌ای دیگر که شرایط محیط زیستی متفاوتی دارد مشابه نمی‌باشد. اهداف محیط زیستی و سطوح مجاز آلاینده‌ها با توجه به میزان آلودگی‌های موجود، نوع منابع آلودگی و برنامه‌های توسعه آینده منطقه تعیین می‌گردد. در ادامه استانداردهای محیط زیستی تدوین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران و نمونه‌هایی از استانداردهای چند کشور خارجی که می‌توانند در ارتباط با سیستم‌های گذردهی رسوب مورد استفاده قرار گیرند، ارائه شده است.

#### ۴-۵-۱- استانداردهای کیفیت آب

در تعیین استاندارد برای آب‌های ساحلی، کاربری آب باید مد نظر قرار گیرد. استانداردهای کیفیت آب با توجه به عواملی نظیر ملاحظات فنی، ملاحظات اقتصادی، نتایج آزمایشات بیولوژیکی، ملاحظات قانونی و... تعیین می‌شوند. طبقه‌بندی آب‌های ساحلی به شرح زیر می‌باشد [۴۹]:

طبقه A: آب‌های این طبقه اغلب بدون هر نوع حفاظت از محیط زیست آبی جهت تفریح مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آب‌ها باید از آلودگی‌های خانگی، تجاری و صنعتی، کشتیرانی و قایقرانی متمرکز، فعالیت‌های ساختمانی و دیگر فعالیت‌هایی که امکان آسیب رسانی به کاربری مطلوب از آنها را دارند حفظ شوند.

طبقه B: آب‌های این طبقه اغلب محل فعالیت‌های بیولوژیکی دریایی هستند. بنابراین استانداردها باید تضمین کننده حفاظت از موجودات زنده دریایی، به ویژه صدف‌ها و آبسنگ‌های مرجانی باشند. فعالیت‌های تفریحی استفاده مهم دیگر از این مناطق می‌باشند.

طبقه C: آب‌های این طبقه برای استفاده‌های عمومی شامل مصارف تجاری یا صنعتی در نظر گرفته شده‌اند. در عین حال باید از کیفیت لازم جهت حفاظت از محیط زیست آبی و عدم محدودیت برای تماس‌های محدود با آب برخوردار باشند [۴۹].

استانداردهای کیفیت آب برای مناطق ساحلی در (جدول ۴-۱) ارائه شده‌اند. همچنین استانداردهای کیفیت آب برای محیط‌های آب دارای آبسنگ‌های مرجانی، در (جدول ۴-۲) نشان داده شده است.

جدول ۱-۴- استانداردهای کیفیت آب برای آب‌های ساحلی [۴۹]

| شاخص              | برای آب های ساحلی                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BOD <sub>5</sub>  | کمتر از 10 mg/lit                                                                                                                                                                                   |
| باکتری کلیفرم     | آب آشامیدنی، کمتر از $50 \frac{\text{MPN}}{100 \text{ ml}}$<br>رشد صدف خوراکی، کمتر از $70 \frac{\text{MPN}}{100 \text{ ml}}$<br>تماس انسانی (شنا)، کمتر از $240 \frac{\text{MPN}}{100 \text{ ml}}$ |
| مواد شوینده       | کمتر از 0.2 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| نیتрат و نیتريت   | کمتر از 0.5 mg/lit، در آب های زلال کمتر از 0.2 mg/lit                                                                                                                                               |
| اکسیژن            | کمتر از 4 mg/lit نباشد                                                                                                                                                                              |
| هیدروکربن         | کمتر از 5 mg/lit                                                                                                                                                                                    |
| فسفر کل           | کمتر از 0.6 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| ذرات ریز معلق SPM | در سطوح بالای حفاظتی کمتر از 15 mg/lit<br>در سطوح متوسط حفاظتی کمتر از 80 mg/lit<br>در سطوح حفاظتی پایین کمتر از 400 mg/lit                                                                         |
| شفافیت            | مواد آلاینده نباید نفوذ نور را بیشتر از ۱۰ درصد کاهش دهند                                                                                                                                           |
| کدورت             | در مصب ها کمتر از ۵ تا ۲۵ NTU بسته به محیط                                                                                                                                                          |
| فلزات سنگین       |                                                                                                                                                                                                     |
| آلومینیوم         | کمتر از 0.1 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| آنتیموان          | کمتر از 0.2 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| آرسنیک            | کمتر از 0.6 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| باریم             | کمتر از 1 mg/lit                                                                                                                                                                                    |
| برلیوم            | کمتر از 1.5 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| کادمیوم           | کمتر از 7.7 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| کروم              | کمتر از 0.1 μg/l                                                                                                                                                                                    |
| مس                | کمتر از 2.9 μg/l                                                                                                                                                                                    |
| سرب               | کمتر از 1.6 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| منگنز             | کمتر از 0.1 mg/lit                                                                                                                                                                                  |
| جیوه              | کمتر از 0.1 μg/l                                                                                                                                                                                    |
| نیکل              | کمتر از 7 μg/l                                                                                                                                                                                      |
| سلنیوم            | کمتر از 0.01 mg/lit                                                                                                                                                                                 |



|          |                    |
|----------|--------------------|
| نقره     | کمتر از 0.5 µg/l   |
| اورانیوم | کمتر از 0.5 mg/lit |
| روی      | کمتر از 0.6 mg/l   |

جدول ۴-۲- استانداردهای کیفیت آب برای آبسنگ‌های مرجانی [۴۹]

| شاخص                                | برای آبسنگ‌های مرجانی                                               |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| BOD5                                | کمتر از 0.25-0.78 mg/lit                                            |
| نیتрат و نیتريت                     | کمتر از 1.31 mg/lit                                                 |
| اکسیژن                              | بیشتر از 5.5 mg/lit (یا بیشتر از ۸۰٪ حالت اشباع)                    |
| هیدروکربن                           | کمتر از 0.25 mg/lit                                                 |
| ذرات ریز معلق SPM                   | کمتر از 3.85-4.5 mg/lit                                             |
| کدورت                               | کمتر از 1 NTU                                                       |
| آمونیم                              | کمتر از 0.65 mg/lit، کمتر از ۱۰ درصد محیط اطراف                     |
| کلرین آزاد                          | کمتر از 0.2 mg/lit                                                  |
| کلروفیل a                           | کمتر از 0.59 mg/lit                                                 |
| هیدروکربن‌ها                        | کمتر از 0.25 mg/lit                                                 |
| عناصر مغذی                          | کمتر از ۱۰ درصد محیط بالا                                           |
| فسفات غیر آلی                       | کمتر از 0.25 mg/lit (کمتر از ۱۰ درصد محیط بالا)                     |
| شوری                                | بیشتر از 30 PPT (تغییر آن نباید بیشتر از ۱۰ درصد محیط پیرامون باشد) |
| نسبت رسوب گذاری (در رابطه با مرجان) | کمتر از 30 mg/cm2/day                                               |
| دما                                 | نباید از ۱ درجه سانتیگراد بیشتر از محیط اطراف باشد                  |

## الف- استاندارد کیفیت آب برای حفاظت محیط زیست (اکوسیستم‌های آبی)

استاندارد کیفیت آب برای حفاظت از اکوسیستم‌های آبی دو گروه ذیل، در (جدول ۴-۳) تا (جدول ۴-۵) ارائه شده

است<sup>۱</sup> [۵۰].

- گروه ۱: اکوسیستم‌های مناسب برای ماهیان سردآبی (مانند آزاد ماهیان)
- گروه ۲: اکوسیستم‌های مناسب برای ماهیان گرم آبی (مانند کپورماهیان)

۱- برگرفته از استاندارد اتحادیه اروپا (رهنمود EC/44/2006 با عنوان کیفیت منابع آب شیرین برای حفاظت و بهبود به منظور حمایت از حیات ماهی‌ها)؛ همچنین خدمت‌های ترکیبات فنلی بر اساس معیارهای کیفیت منابع آب کانادا و حد مجاز هیدروکربن‌های نفتی بر اساس نتایج پژوهش‌های Mironov در روسیه می‌باشد.

❖ این استاندارد برای آب‌های داخلی می‌باشد و آب دریاها و آب‌های با کیفیت طبیعی ویژه را در بر نمی‌گیرد. به عبارت دیگر این استاندارد برای آب‌هایی که به‌طور طبیعی کیفیتی متفاوت با حدود تعیین شده در این استاندارد دارند (مانند شوری بالا) قابل استفاده نمی‌باشد. ولی اگر کیفیت آب به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی تغییر کند، مشمول این استاندارد می‌باشد.

### اصطلاحات و تعاریف

- آب با کیفیت طبیعی ویژه: آبی که به‌طور طبیعی مقدار پارامترهای کیفی آن بالاتر از حدود تعیین شده در این استاندارد است، مانند چشمه‌های آب معدنی که کاربردهای درمانی دارند یا منابع آبی که به‌طور طبیعی شوری آن‌ها بالا می‌باشد.
- تفریح با تماس مستقیم: فعالیت‌هایی که در آن بدن انسان در تماس با آب است و امکان ورود آب به بدن به ویژه از طریق بلع زیاد است.
- تفریح غیرمستقیم: فعالیت‌هایی که در آن بخشی از بدن در تماس با آب است و امکان ورود آب به بدن ناچیز است.

جدول ۳-۴ - استاندارد کیفیت آب برای حفاظت محیط زیست (اکوسیستم‌های آبی) [۵۰]

| پارامتر                                | گروه ۱                                                                                                                                           | گروه ۲                                                                                                                                            | حداقل نمونه‌برداری و تناوب اندازه‌گیری                                                                                          | توضیحات                                                                                     |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| درجه حرارت<br>(درجه سلسیوس)            | ۱/۵                                                                                                                                              | ۳                                                                                                                                                 | هفتگی در بالادست و پایین‌دست نقطه تخلیه<br>آلودگی حرارتی (در مرز ناحیه اختلاط) با بالادست آن نباید بیش از مقادیر زیر باشد:      | باید از تغییر ناگهانی درجه حرارت جلوگیری شود.                                               |
| اکسیژن محلول<br>(میلی گرم بر لیتر)     | حدافل در پنجاه درصد مواقع نه (۹) میلی گرم بر لیتر یا ۹۰ درصد اشباع و بیش تر و در صددرصد مواقع هفت (۷) میلی گرم بر لیتر یا ۷۰ درصد اشباع و بیش تر | حدافل در پنجاه درصد مواقع هشت (۸) میلی گرم بر لیتر یا ۸۰ درصد اشباع و بیش تر و در صددرصد مواقع پنج (۵) میلی گرم بر لیتر یا ۵۰ درصد اشباع و بیش تر | ماهانه، حداقل یک نوبت نمونه‌برداری در شرایط اکسیژن محلول پایین. در محل‌هایی که تغییرات روزانه مشکوک است، حداقل دو نمونه در روز. |                                                                                             |
| pH                                     | ۶-۹                                                                                                                                              | ۶-۹                                                                                                                                               | ماهانه                                                                                                                          |                                                                                             |
| جامدات معلق<br>(میلی گرم بر لیتر)      | کمتر از ۲۵                                                                                                                                       | کمتر از ۲۵                                                                                                                                        | ماهانه                                                                                                                          | مقادیر میانگین حسابی غلظت هستند و برای جامدات معلق همراه با مواد شیمیایی مضر کاربرد ندارند. |
| BOD <sub>5</sub><br>(میلی گرم بر لیتر) | کمتر از سه                                                                                                                                       | کمتر از شش                                                                                                                                        | ماهانه                                                                                                                          |                                                                                             |
| فسفر کل<br>(میلی گرم بر لیتر)          | کمتر از ۰/۰۶۵                                                                                                                                    | کمتر از ۰/۱۳                                                                                                                                      | ماهانه                                                                                                                          | برای دریاچه‌ها و تالاب‌ها براساس غلظت در لایه سطحی می‌باشد.                                 |
| نیتريت<br>(میلی گرم بر لیتر)           | کمتر از ۰/۰۱                                                                                                                                     | کمتر از ۰/۰۳                                                                                                                                      | ماهانه                                                                                                                          |                                                                                             |

|                                               |                        |                     |        |                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------|------------------------|---------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ترکیبات فنلی<br>(میلی گرم بر لیتر)            | ۰,۰۴                   | ۰,۰۴                | ماهانه | آزمایش طعم تنها در محلی که احتمال وجود ترکیبات فنلی می‌باشد، باید انجام شود.                                                                                      |
| هیدروکربن‌های نفتی<br>(میلی گرم بر لیتر)      | ۰,۰۱                   | ۰,۰۱                | ماهانه | آزمایش بصری باید به‌طور منظم یک نوبت در ماه و ترجیحا همراه با آزمایش مزه در محلی که احتمال وجود هیدروکربن‌ها می‌باشد، انجام شود.                                  |
| آمونیاک (یونیزه نشده)<br>(میلی گرم بر لیتر)   | کمتر یا مساوی ۰/۰۲۵    | کمتر یا مساوی ۰/۰۲۵ | ماهانه | ممکن است غلظت آمونیاک یونیزه نشده افزایش جزئی در طول روز داشته باشد (برای محاسبه غلظت آمونیاک یونیزه نشده لازم است درجه حرارت و پ‌هش آب در محل اندازه‌گیری شوند). |
| آمونیم کل<br>(میلی گرم بر لیتر)               | کمتر یا مساوی یک       | کمتر یا مساوی یک    | ماهانه |                                                                                                                                                                   |
| کلرین باقیمانده کل<br>(میلی گرم HOCI بر لیتر) | کمتر یا مساوی ۰/۰۰۵    | کمتر یا مساوی ۰/۰۰۵ | ماهانه | غلظت بالاتر کلرین کل در pH بالاتر از شش قابل قبول است.                                                                                                            |
| روی کل<br>(میلی گرم بر لیتر)                  | به جدول ۴-۴ رجوع کنید. |                     | ماهانه |                                                                                                                                                                   |
| مس محلول<br>(میلی گرم بر لیتر)                | به جدول ۴-۵ رجوع کنید. |                     | ماهانه |                                                                                                                                                                   |

جدول ۴-۴- غلظت روی کل (میلی گرم بر لیتر) برای مقادیر سختی کل بین ۱۰ تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر [۵۰]

| سختی کل آب میلی گرم بر لیتر |     |     |      | گروه آب |
|-----------------------------|-----|-----|------|---------|
| ۵۰۰                         | ۱۰۰ | ۵۰  | ۱۰   |         |
| ۰/۵                         | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۰۳ | گروه ۱  |
| ۲                           | ۱   | ۰/۷ | ۰/۳  | گروه ۲  |

جدول ۴-۵- غلظت مس محلول (میلی گرم بر لیتر) [۵۰]

| سختی کل آب میلی گرم بر لیتر                                                                        |        |       |       | پارامتر                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-----------------------------|
| بیشتر از ۱۰۰                                                                                       | ۱۰۰-۵۰ | ۱۰-۵۰ | ۰-۱۰  |                             |
| ۰/۱۱۲                                                                                              | ۰/۰۴   | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۰۵ | مس محلول (میلی گرم بر لیتر) |
| (*) حضور آبیان در آب حاوی غلظت بالاتر مس می‌تواند نشان‌دهنده غالب بودن ترکیبات آلی مسی محلول باشد. |        |       |       |                             |

## ب- استاندارد کیفیت آب برای کاربری تفریحی

استاندارد کیفیت آب برای کاربری تفریحی با تماس مستقیم و با تماس غیرمستقیم به شرح (جدول ۴-۶) می‌باشد.<sup>۱</sup> در این جدول پارامترهای کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، اشرشیاکلی، انترکوکسی، pH و اکسیژن محلول مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۴-۶- استاندارد کیفیت آب برای کاربری تفریحی [۵۰]

| غیرمستقیم                                                |               | مستقیم            |               | پارامتر       |
|----------------------------------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| حداکثر مقدار مجاز                                        | میانگین هندسی | حداکثر مقدار مجاز | میانگین هندسی |               |
| ۱۰۰۰۰                                                    | ۵۰۰۰          | ۱۰۰۰۰             | ۲۰۰۰          | کلیفرم کل     |
| ۴۰۰۰                                                     | ۲۰۰۰          | ۲۰۰۰              | ۴۰۰           | کلیفرم مدفوعی |
| ۱۲۰۰                                                     | ۶۰۰           | ۶۰۰               | ۲۰۰           | اشرشیاکلی     |
| ۴۰۰                                                      | ۲۰۰           | ۲۰۰               | ۵۰            | انترکوکسی     |
| ۶٫۵-۹٫۵                                                  |               |                   |               | pH            |
| مساوی یا بیش‌تر از پنج میلی گرم بر لیتر یا ۵۰ درصد اشباع |               |                   |               | اکسیژن محلول  |

## ج- سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت آب در برخی از کشورهای خارجی

سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت آب برای کاربری‌های گوناگون در محیط‌های دریایی، در کشورهای هند، اندونزی، ژاپن، مالزی، فیلیپین و تایلند در (جدول ۴-۷) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۷- سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت آب در کشورهای هند، اندونزی، ژاپن، مالزی، فیلیپین و تایلند [۴۷]

| کشور | محل / کاربری    | شاخص    |           |           |           |
|------|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|      |                 | pH      | DO (mg/l) | COD(mg/l) | BOD(mg/l) |
| هند  | مناطق آلوده     | ۶٫۵-۹٫۵ | $\geq 3$  | -         | $\leq 5$  |
|      | تفریحی          | ۶٫۵-۹٫۰ | $\geq 4$  | -         | $\leq 5$  |
|      | بنادر           | -       | $\geq 5$  | -         | $\leq 3$  |
|      | مناطق غیر آلوده | -       | $\geq 4$  | -         | $\leq 6$  |
|      | شست و شو        | -       | -         | -         | -         |
|      | زیستگاه آبزیان  | -       | -         | -         | -         |

۱- برگرفته از توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی ویرایش سال ۲۰۰۳ و متمم سال ۲۰۰۹ و منطبق بر مفاد نشریه شماره ۴۶۲ (راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفریحی) معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور و دفتر ضوابط و معیارهای فنی معاونت آب و آبفای وزارت نیرو.

|                                               |                                                  |                                                  |                                              |                                      |                                                                  |         |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------|
| $\leq 3$<br>$\leq 5$<br>$\leq 5$<br>$\leq 2$  | $\leq 20$<br>$\leq 45$<br>$\leq 45$<br>$\leq 20$ | $\leq 40$<br>$\leq 80$<br>$\leq 80$<br>$\leq 40$ | $\geq 5$<br>$\geq 4$<br>$\geq 4$<br>$-$      | ۶-۹<br>۶-۹<br>۶-۹<br>۶-۹             | آب‌های ساحلی<br>شست و شو<br>آبی پروری<br>پارک‌های دریایی<br>صنعت | اندونزی |
| $\leq 0,5$<br>$\leq 0,5$                      | -<br>-                                           | $\leq 2$<br>$\leq 3$                             | $\geq 7,5$<br>$\geq 5$                       | ۷,۸-۸,۳<br>۷,۸-۸,۳                   | دریا<br>شست و شو<br>صنعت                                         | ژاپن    |
| -<br>-<br>-<br>-                              | $\leq 1$<br>$\leq 3$<br>$\leq 3$<br>$\leq 6$     | $\leq 10$<br>$\leq 25$<br>$\leq 25$<br>$\leq 50$ | $\geq 7$<br>$5-7$<br>$5-7$<br>$3-5$          | ۶,۵-۸,۵<br>۶-۹<br>۶-۹<br>۵-۹         | دریا<br>طبیعی<br>زیستگاه آبزیان<br>تفریحی<br>عمومی               | مالزی   |
| $\leq 2$<br>$\leq 5$<br>$\leq 5$<br>$\leq 10$ | -<br>-<br>-<br>-                                 | -<br>-<br>-<br>-                                 | $\geq 5$<br>$\geq 5$<br>$\geq 3$<br>$\geq 2$ | ۶,۵-۸,۵<br>۶,۵-۸,۵<br>۶,۵-۸,۵<br>۵-۹ | دریا<br>تفریحی<br>زیستگاه آبزیان<br>صنعت<br>ناوبری               | فیلیپین |
| -<br>-                                        | -<br>-                                           | -<br>-                                           | $\geq 4$<br>$\geq 5$                         | ۶,۵-۸,۳<br>۷,۵-۸,۹                   | خلیج<br>شنا<br>حفاظت منابع طبیعی                                 | تایلند  |

#### ۴-۵-۲- استانداردهای کیفیت هوا

استانداردهای کیفیت هوای پاک برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در (جدول ۴-۸) نشان داده شده‌اند. در این جدول سطوح مجاز برای آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق، ازن، سرب و بنزن ارائه شده‌اند.

جدول ۴-۸- استانداردهای هوای پاک برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ مصوب ۱۳۸۸/۵/۱۱ [۵۱]

| ۱۳۹۰  |       | ۱۳۸۹  |       | ۱۳۸۸ |       | نوع آلاینده     |                  |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|-----------------|------------------|
| ppm   | µg/m3 | ppm   | µg/m3 | ppm  | µg/m3 | زمان            | نوع آلاینده      |
| ۹     | ۱۰۰۰۰ | ۹     | ۱۰۰۰۰ | ۹    | ۱۰۰۰۰ | حداکثر ۸ ساعته  | مونوکسید کربن    |
| ۳۵    | ۴۰۰۰۰ | ۳۵    | ۴۰۰۰۰ | ۳۵   | ۴۰۰۰۰ | حداکثر ۱ ساعته  | (CO)             |
| ۰,۰۰۷ | ۲۰    | ۰,۰۱۹ | ۵۰    | ۰,۰۳ | ۸۰    | سالیانه حداکثر  | دی اکسید گوگرد   |
| ۰,۰۳۷ | ۱۰۰   | ۰,۰۹۴ | ۲۵۰   | ۰,۱۴ | ۳۶۵   | ۲۴ ساعته        | (SO2)            |
| ۰,۰۲۱ | ۴۰    | ۰,۰۳۱ | ۶۰    | ۰,۰۵ | ۱۰۰   | سالیانه         | دی اکسید نیتروژن |
|       |       |       |       |      |       |                 | (NO2)            |
| -     | ۱۰    | -     | ۴۰    | -    | ۱۵۰   | سالیانه         | ذرات معلق        |
|       | ۲۵    |       | ۹۰    |      |       | حداکثر ۲۴ ساعته | (PM10)           |
| -     | ۱۰    | -     | ۱۲    | -    |       | سالیانه         | ذرات معلق        |

|      |          |       |          |   |     |                                  |                |
|------|----------|-------|----------|---|-----|----------------------------------|----------------|
|      | ۲۵       |       | ۳۰       |   |     | حداکثر ۲۴ ساعته                  | (PM2.5)        |
| ۰,۰۵ | ۱۰۰      | ۰,۰۷۱ | ۱۴۰      | - | ۱۶۰ | حداکثر ۸ ساعته<br>حداکثر ۱ ساعته | ازن (O3)       |
|      | ۰,۵      |       | ۰,۵      | - | -   | سالیانه                          | سرب            |
|      | ۵        |       | ۵        | - | -   | سالیانه                          | بنزن           |
|      | ۱(ng/m3) |       | ۱(ng/m3) | - | -   | سالیانه                          | بنزو آلفا پیرن |

حداکثر تعداد مجاز تکرار شونده‌های دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق، ازن، منو اکسید کربن، بنزن و بنزو آلفا پیرن در یک سال در (جدول ۴-۹) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۹- حداکثر تعداد مجاز تکرار شونده‌های دی اکسید گوگرد در یک سال [۵۱]

| آلاینده          | میانگین سنجش | انتشار کیفیت هوا               | حداکثر مجاز برای تکرار در یک سال |
|------------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------|
| دی اکسید گوگرد   | ۱۰ دقیقه ای  | $500 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | ۲۴ بار                           |
| دی اکسید گوگرد   | ۲۴ ساعته     | $50 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$  | ۳ بار                            |
| دی اکسید نیتروژن | ۱ ساعته      | $20 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$  | ۱۸ بار                           |
| دی اکسید نیتروژن | ۱ ساعته      | $40 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$  | -                                |
| ذرات معلق PM10   | ۲۴ ساعته     | $50 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$  | ۷ بار                            |
| ذرات معلق PM10   | ۱ ساعته      | $20 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$  | -                                |
| ازن              | ۸ ساعته      | $100 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ | ۲۰ بار                           |
| منو اکسید کربن   | ۸ ساعته      | $10 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$  | -                                |
| بنزن             | ۱ ساعته      | $5 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$   | -                                |
| بنزو آلفا پیرن   | ۱ ساعته      | $1 (\text{g}/\text{m}^3)$      | -                                |

الف) سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت هوا در کشورهای خارجی

مقادیر مجاز شاخص‌های کیفیت هوای محیط‌های دریایی و بنادر در کشورهای چین، اندونزی، هنگ کنگ، ژاپن، مالزی، فیلیپین و کره در (جدول ۴-۱۰) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۱۰- سطوح مجاز شاخص‌های کیفیت هوا در کشورهای چین، اندونزی، هنگ کنگ، ژاپن، مالزی، فیلیپین، کره [۴۷]

| کشور / منطقه / | SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | SPM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | CO (mg/m <sup>3</sup> ) | Oxidant ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|

| سازمان                    | ۱ ساعت <sup>۲</sup> | ۲۴ ساعت <sup>۱</sup> | ۱ ساعت  | ۲۴ ساعت | ۱ ساعت  | ۲۴ ساعت | ۱ ساعت | ۸ ساعت | ۱ ساعت  |
|---------------------------|---------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| چین                       | ۱۵۰-۷۰۰             | ۵۰-۲۵۰               | ۱۰۰-۳۰۰ | ۵۰-۱۵۰  | ۷۰۰-۱۵۰ | ۲۵۰-۵۰  | ۲۰-۱۰  | -      | ۲۰۰-۱۲۰ |
| اندونزی                   | -                   | ۲۶۰                  | -       | ۹۲,۵    | -       | ۲۶۰     | -      | ۲۲,۶   | ۲۰۰     |
| هنگ کنگ                   | ۸۰۰                 | ۳۵۰                  | ۳۰۰     | ۱۵۰     | -       | ۱۸۰     | ۳۰     | ۱۰     | ۲۴۰     |
| ژاپن                      | ۲۸۶                 | ۱۱۴                  | ۲۰۵-۴۰۹ | ۱۲۳-۸۲  | ۲۰۰     | ۱۰۰     | -      | ۲۵     | ۱۲۹     |
| مالزی                     | -                   | -                    | -       | -       | -       | ۷۵      | -      | -      | -       |
| فیلیپین                   | ۸۵۰                 | ۳۶۹                  | ۱۹۰     | -       | ۲۵۰     | ۱۸۰     | ۳۵     | ۱۰     | ۱۲۰     |
| کره                       | -                   | ۴۲۹                  | ۳۰۷     | -       | -       | ۳۰۰     | -      | ۲۵     | ۲۱۴     |
| تایلند                    | -                   | ۳۰۰                  | ۳۲۰     | -       | -       | ۳۳۰     | ۵۰     | ۲۰     | ۲۰۰     |
| سازمان بهداشت جهانی (WHO) | ۳۵۰                 | ۱۰۰-۱۵۰              | ۴۰۰     | ۱۵۰     | -       | ۱۵۰     | ۳۰     | ۱۰     | ۲۰۰-۱۵۰ |
| بانک جهانی (World Bank)   | -                   | -                    | -       | -       | -       | ۵۰۰     | -      | -      | -       |

#### ۴-۵-۳- استانداردهای آلودگی صوتی

حد مجاز آلودگی صوتی در پهنه‌های مسکونی، تجاری - مسکونی، تجاری-اداری، مسکونی - صنعتی و صنعتی در (جدول ۴-۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۱- حد مجاز آلودگی صوتی موضوع ماده ۲ آیین نامه اجرایی جلوگیری از آلودگی صوتی [۵۱]

| نوع پهنه      | تراز متوسط روز (۷ صبح تا ۱۰ شب)<br>dB(A) روز | تراز متوسط شب (۱۰ شب تا ۷ صبح)<br>dB(A) شب |
|---------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| مسکونی        | ۵۵                                           | ۴۵                                         |
| تجاری- مسکونی | ۶۰                                           | ۵۰                                         |
| تجاری- اداری  | ۶۵                                           | ۵۵                                         |
| مسکونی- صنعتی | ۷۰                                           | ۶۰                                         |
| صنعتی         | ۷۵                                           | ۶۵                                         |

مصوبه شورای عالی حفاظت محیط زیست در خصوص تعیین حد مجاز آلودگی صوتی در خودروهای تولید داخل، پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت صنایع و معادن به شرح (جدول ۴-۱۲) می‌باشد.

جدول ۴-۱۲- حدود مجاز آلودگی صوتی در خودروهای تولید داخل [۵۱]

۱- میانگین ۲۴ ساعته

۲- میانگین یک ساعته

| حد مجاز ارائه شده سطح صوت خودروها در ایران |                  |                                                          |              | عنوان استاندارد |
|--------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|--------------|-----------------|
| آزمون صدای عبوری                           | آزمون صدای اگزوز | آزمون صدای وسیله هشدار دهنده خودرو<br>(نصب بر روی خودرو) |              |                 |
|                                            |                  | کلاس M1                                                  | کلاس N1      |                 |
| ۷۵dB(A)                                    | ۷۸ dB(A)         | ۸۶dB(A)                                                  | ۱۱۲-۸۷ dB(a) | استاندارد ایران |

dB (A) تراز سطح

الف) سطوح مجاز شاخص‌های صدا در کشورهای خارجی

سطوح مجاز شاخص‌های آلودگی صوتی مناطق مسکونی و صنعتی در کشورهای اندونزی، ژاپن، فیلیپین، کره و سریلانکا در (جدول ۴-۱۳) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۱۳- سطوح مجاز شاخص‌های صدا در کشورهای اندونزی، ژاپن، فیلیپین، کره و سریلانکا [۴۷]

| کشور     | منطقه صنعتی |           |    | منطقه مسکونی |           |       |
|----------|-------------|-----------|----|--------------|-----------|-------|
|          | روز         | صبح / عصر | شب | روز          | صبح / عصر | شب    |
| اندونزی  | ۷۰          | ۷۰        | ۷۰ | ۶۰           | ۶۰        | ۶۰    |
| ژاپن     | ۶۰          | ۶۵        | ۶۰ | ۵۰           | ۴۵        | ۴۰    |
| فیلیپین  | ۷۰          | ۶۵        | ۶۰ | ۵۵           | ۴۵        | ۴۰    |
| کره      | -           | -         | -  | ۶۰-۶۵        | ۶۰-۶۵     | ۶۰-۶۵ |
| سریلانکا | ۶۳          | ۶۰        | ۵۵ | ۵۰           | ۴۵        | ۴۰    |

واحد اندازه گیری: دسی بل (dBA)

خودروی کلاس M1: خودروهایی که به منظور حمل مسافر می‌باشند و در برگیرنده بیشتر از ۹ صندلی با احتساب صندلی راننده نباشند.

خودروی کلاس N1: خودروهایی که برای مقاصد حمل کالا می‌باشند (با ماکزیمم جرم کمتر از ۲ تن)

#### ۴-۵-۴- استانداردهای پارامتر بو

شاخص‌های پارامتر بو و سطح مجاز آن در محیط بنادر بر اساس استاندارد کشور ژاپن در (جدول ۴-۱۴) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۱۴- سطح مجاز شاخص‌های پارامتر بو (گزارش فنی ارزیابی اثرات محیط زیستی توسعه بنادر، ژاپن، ۱۹۸۳) [۴۷]

| ماده      | مشخصات بو (فرمول مولکولی)          | سطوح مجاز (ppm) |
|-----------|------------------------------------|-----------------|
| آمونیاک   | بوی آزار دهنده (NH <sub>3</sub> )  | ۵-۱             |
| متان تیول | بوی پیاز فاسد (CH <sub>3</sub> SH) | ۰,۰۰۲-۰,۰۰۱     |



|            |                                                                                       |                |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| ۰,۰۲-۰,۲   | بوی تخم مرغ فاسد (H <sub>2</sub> S)                                                   | هیدروژن سولفید |
| ۰,۰۱-۰,۲   | بوی کلم فاسد ((CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S)                                      | متیل سولفید    |
| ۰,۰۰۹-۰,۱  | بوی کلم فاسد ((CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> )                        | متیل دی سولفید |
| ۰,۰۰۵-۰,۰۷ | بوی ماهی فاسد ((CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N)                                     | تری متیل آمین  |
| ۰,۰۵-۰,۵   | بوی آزار دهنده مشابه اتر (CH <sub>3</sub> CHO)                                        | استالدئید      |
| ۰,۴-۲      | بوی آزار دهنده حلال های شیمیایی<br>(C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH) | استایرن        |

پیوست ۱

---

---

سایر روابط مورد نیاز در محاسبات  
طراحی





• رابطه کلبروک - وایت

۱. برای دامنه شرایط پوشش داده شده توسط این گزارش، فاکتور اصطکاک  $f$ ، که در فرمول داریسی وایسباخ برای محاسبه تلفات انرژی جریان در لوله به کار رفته است، از طریق رابطه کلبروک - وایت قابل محاسبه است.
- (پ.۱-۱)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} + \frac{\varepsilon}{3.71D} \right)$$

$\text{Re} : VD/\nu$  ، عدد رینولدز

$V$ : سرعت متوسط جریان در لوله، فوت بر ثانیه

$D$ : قطر داخلی لوله، فوت

$\nu$ : ویسکوزیته سینماتیکی سیال، فوت مربع بر ثانیه

$\varepsilon$ : زبری معادل دیواره لوله، فوت

۲. مقادیر  $\varepsilon$  برای جنس‌های مختلف لوله در مراجع استاندارد مرتبط با جریان سیالات در لوله‌ها قابل تعیین است. مقادیر  $\nu$  هم از کتب راهنمای هیدرولیک و مراجع استاندارد قابل تعیین می‌باشد.
۳. برای حل معادله (پ.۱-۱) توسط روش تکراری، با مقدار فرضی  $f = 0.007$  شروع کنید. با استفاده از مقدار مفروض، سمت راست معادله را حل کنید. نتیجه به صورت رابطه (پ.۱-۲) خواهد شد.  $C$  مقدار سمت راست معادله (پ.۱-۱) است که با استفاده از مقدار مفروض  $f$ ، مشخصات لوله و شرایط جریان بدست آمده است.
- (پ.۱-۲)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = C$$

۴. سپس معادله (پ.۱-۲) را برای  $f$  حل کنید. اگر این مقدار  $f$  بدست آمده و مقدار فرض شده تقریباً با هم برابر بودند (حدود ۰/۰۰۵٪ یکدیگر بودند)،  $f$  تعیین شده است. در غیر این صورت، فرآیند را با استفاده از مقدار  $f$  بدست آمده از معادله (پ.۱-۲) به عنوان مقدار مفروض تکرار نمایید. تکرار این فرآیند باید سبب همگرایی به یک مقدار مشخص با دقت قابل قبول گردد.
۵. این فرآیند به راحتی توسط کامپیوتر قابل انجام است که سبب عدم نیاز به دیاگرام مودی خواهد شد.

• طول‌های معادل

۶. برای آن دسته از اتصالات لوله‌ها که در جداول طول‌های معادل وجود ندارند، تلفات انرژی  $h_f$  اغلب با استفاده از رابطه (پ.۱-۳) محاسبه می‌شود. در حالی که  $k$  ضریب مقاومت برای نوع خاص اتصال با اندازه ای مشخص است.
- (پ.۱-۳)

$$h_f = k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

۷. برای لوله مستقیم، رابطه معمول برای محاسبه تلفات انرژی، فرمول دارسی وایسباخ است که به شکل معادله (پ. ۱-۴) می باشد.

(پ. ۱-۴)

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$h_L$ : تلفات انرژی در لوله مستقیم

$f$ : فاکتور اصطکاک

$L$ : طول لوله مستقیم

$D$ : قطر داخلی لوله

۸. با برابر قرار دادن روابط (پ. ۱-۳) و (پ. ۱-۴)، عبارت (پ. ۱-۵) برای طول معادل قابل استحصال است.  $L$  در اینجا نشان دهنده طول لوله مستقیم با قطر داخلی  $D$  معادل با اتصال با ضریب مقاومت  $K$  و سایز لوله مشابه است.

(پ. ۱-۵)

$$L = \frac{kD}{F}$$

۹. برای لوله های فولادی با سایزها و محدوده سرعت های جریان، که معمولاً در سیستم های جت پمپ گذردهی استفاده می شوند، رابطه (پ. ۱-۵) به رابطه (پ. ۱-۶) قابل تقریب است. رابطه (پ. ۱-۶) مقدار تخمینی طول معادل لوله فولادی با قطر داخلی  $D$  را برای یک اتصال با سایز مشابه لوله با ضریب مقاومت  $K$  بدست می دهد.

(پ. ۱-۶)

$$L = \frac{KD}{0.014}$$

۱۰. برای خطوط لوله ای که از جنس های دیگر به جز فولاد هستند، روش طول های معادل برای کاربرد دشوارتر خواهد بود. در این شرایط توصیه می شود که تلفات برای اتصالات با رابطه (پ. ۱-۳) محاسبه شود. سپس این تلفات می تواند به تلفات یک لوله مستقیم که توسط فرمول دارسی وایسباخ بدست آمده اضافه شود تا تلفات انرژی کل خط لوله بدست آید.

## پیوست ۲

---

گراف‌های طراحی جت‌پمپ‌ها و  
نحوه استخراج آن‌ها





۱. هدف این بخش تعیین چگونگی استخراج منحنی های (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) از روابط روش طراحی تکراری می باشد.

۲. پارامترهای بی بعد تعیین کننده عملکرد جت پمپ با نسبت سطح مشخص R با روابط (۱) و (۲) قابل تعیین هستند.  
(تکرار ۱)

$$N = \frac{H_{DIS} - H_{SUC}}{H_{SUP} - H_{DIS}}$$

(تکرار ۲)

$$M = \frac{Q_{SUC}}{Q_{SUP}}$$

۳. رابطه بین این پارامترها به صورت معادله (پ.۲-۱) فرض می شود. که این رابطه به صورت خطی فرض شده و ضرایب a و b به کار رفته در آن، ثابت هستند. مقادیر این ثابت ها می توانند از روابط M بر حسب N که در (گراف ۱) نشان داده شده است، بدست آیند.  
(پ.۲-۱)

$$N = a.M + b$$

۴. با جایگذاری (رابطه ۱-۳) و (رابطه ۲-۳) در رابطه (پ.۲-۱) خواهیم داشت:  
(پ.۲-۲)

$$\frac{H_{DIS} - H_{SUC}}{H_{SUP} - H_{DIS}} = a \left( \frac{Q_{SUC}}{Q_{SUP}} \right) + b$$

۵. رابطه بین پارامترهای  $Q_{SUP}$ ،  $H_{SUP}$  و  $H_{SUC}$  باید در (رابطه ۳-۳۳) صدق نماید.  
(تکرار ۳۳)

$$Q_{SUP} = B(ANOZ) \sqrt{(H_{SUP} - H_{SUC})}$$

از (رابطه ۳-۳۴):

(پ.۲-۳)

$$ANOZ = f(R, AMIX)$$

برای یک جت پمپ با سایز مشخص، AMIX ثابت است. برای یک مقدار مشخص R، B ثابت است. (به جدول ۳-۶) مراجعه شود). بنابراین برای یک سایز مشخص جت پمپ و مقدار مشخص R داریم:  
(پ.۲-۴)

$$Q_{SUP} = f(H_{SUP}, H_{SUC})$$

۶. (رابطه ۳-۳۱) یک عبارت برای محاسبه  $H_{SUC}$  ارائه می دهد.

(تکرار ۳۱)

$$HSUC = \frac{VSUC^2}{2g} - [2LSUC + 4 \left( \frac{VSUC^2}{2g} \right)]$$

برای یک سایز مشخص جت پمپ:

(پ.۲-۵)

$$VSUC = f(QSUC)$$

۷. بنابر این برای یک سایز مشخص جت پمپ و مقدار مفروض LSUC :

(پ.۲-۶)

$$HSUC = f(QSUC)$$

تساوی (پ.۲-۴) اکنون قابل باز نویسی است.

(پ.۲-۷)

$$QSUP = f(HSUP, QSUC)$$

یا

(پ.۲-۸)

$$HSUP = f(QSUP, QSUC)$$

۸. با جایگزینی عبارت های (پ.۲-۶) و (پ.۲-۸) در تساوی (پ.۲-۲) خواهیم داشت:

(پ.۲-۹)

$$\frac{HDIS - f(QSUC)}{f(QSUP, QSUC) - HDIS} = a \left( \frac{QSUC}{QSUP} \right) + b$$

۹. تساوی (پ.۲-۹) اساس منحنی های طراحی (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) است. که شامل سه متغیر HDIS، QSUP و QSUC و ثابت های a و b است. با ثابت نگه داشتن یک متغیر، یک رابطه واحد بین دو متغیر دیگر تعریف خواهد شد. منحنی های طراحی گرافیکی با ثابت نگه داشتن QSUP و محاسبه HDIS برای مقادیر مختلف QSUC تولید شده اند. سپس مقدار QSUP تغییر داده شده و فرآیند تکرار شده است. تنها تفاوت با روش طراحی تکراری فرض یک مقدار برای پارامتر LSUC می باشد. با این حال این فرض می تواند نشان داده شود تا اثر حداقل بر محاسبه HDIS داشته باشد.

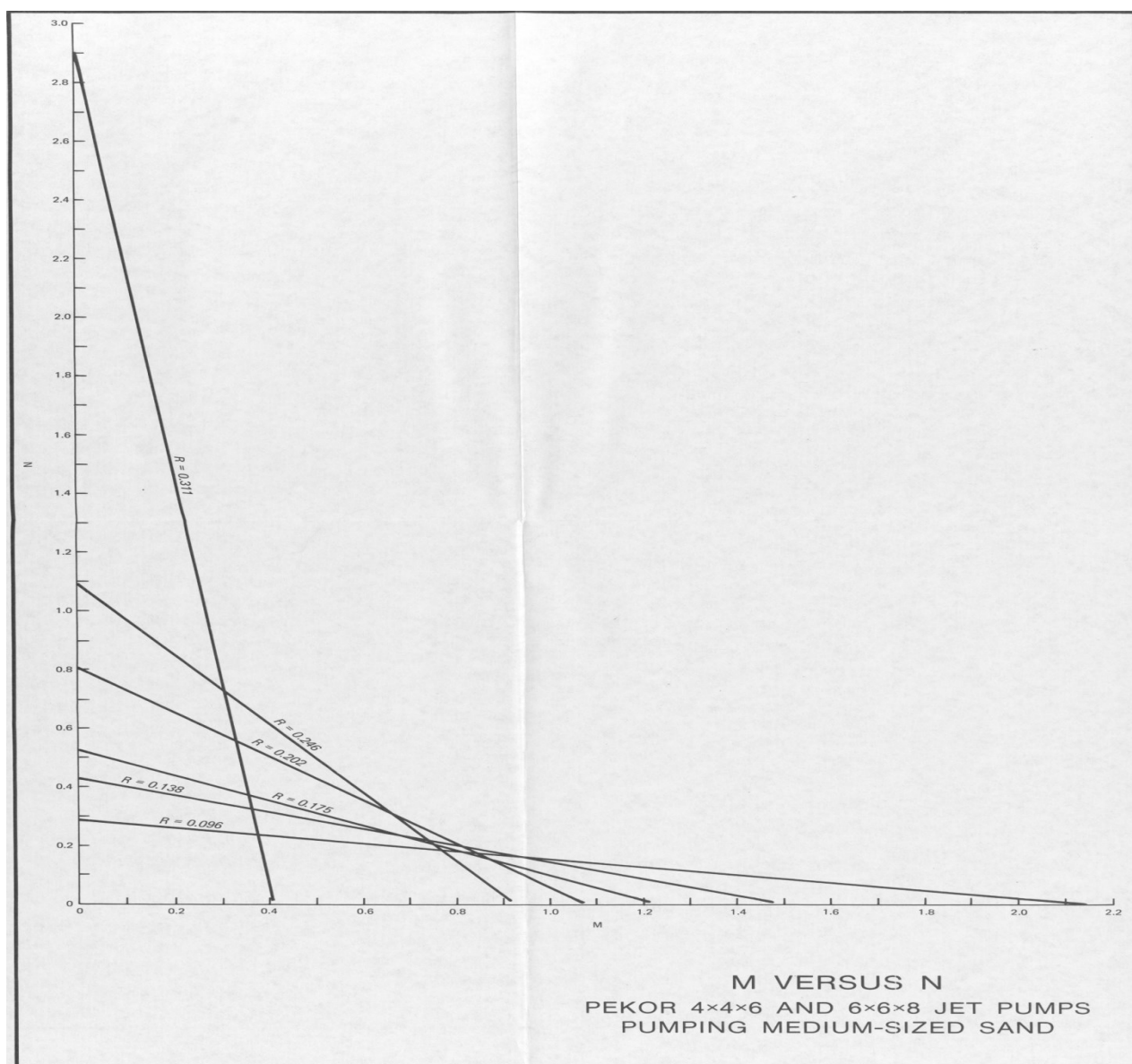
۱۰. مقادیر HSUP نشان داده شده در منحنی های طراحی گرافیکی با استفاده از فرم تغییر شکل یافته (رابطه ۳-۳۳) محاسبه شده اند.

(پ.۲-۱۰)

$$HSUP = \left[ \frac{QSUP}{B(ANOZ)} \right]^2 + HSUC$$

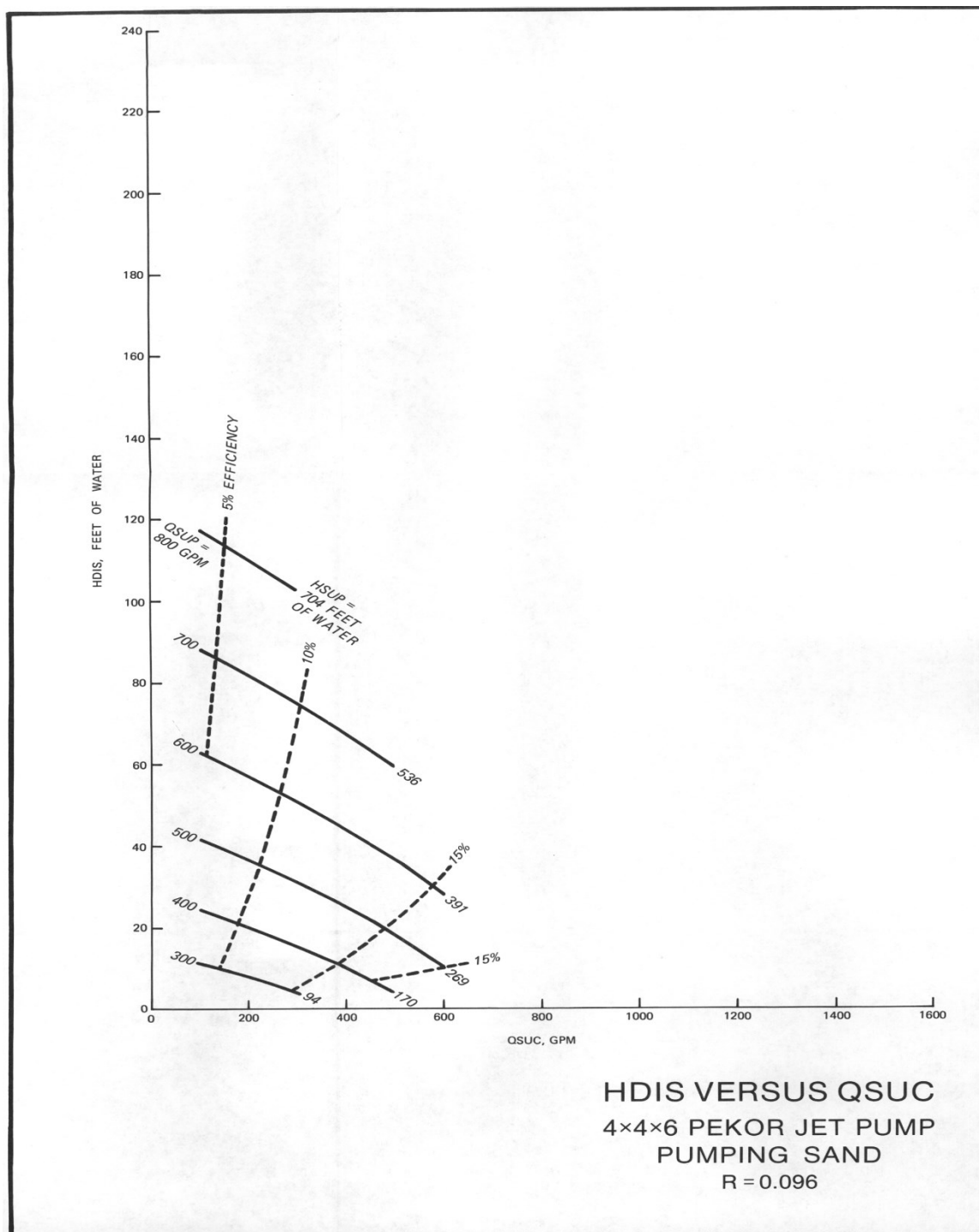
۱۱. برای یک جت پمپ با سایز مشخص و مقدار  $R$  معین، اگر  $HSUC$  در عبارت (پ. ۲-۱۰) ثابت در نظر گرفته شود، سپس  $HSUP$  تنها به مقدار  $QSUP$  بستگی خواهد داشت. برای هر منحنی طراحی نشان داده شده در (گراف ۲) تا (گراف ۱۳) مقدار  $HSUC$  در نقطه میانی منحنی، به عنوان ثابت در محاسبه  $HSUP$  از تساوی (پ. ۲-۱۰) استفاده شده است. بنابراین مقدار  $HSUP$  داده شده برای هر منحنی، درست در نقطه میانی منحنی صحیح است، که با حرکت به هر دو انتهای منحنی، خطا زیاد می شود. بزرگی این خطا در انتهای منحنی در اغلب موارد حدود ۵٪ است. بنابراین برای هر نقطه عملکرد طراحی، خطا در استفاده از مقدار  $HSUP$  از منحنی های طراحی گرافیکی به جای محاسبات دقیق از روش طراحی تکراری، بسیار کمتر از خطا در کل روند طراحی است.

### گراف های طراحی



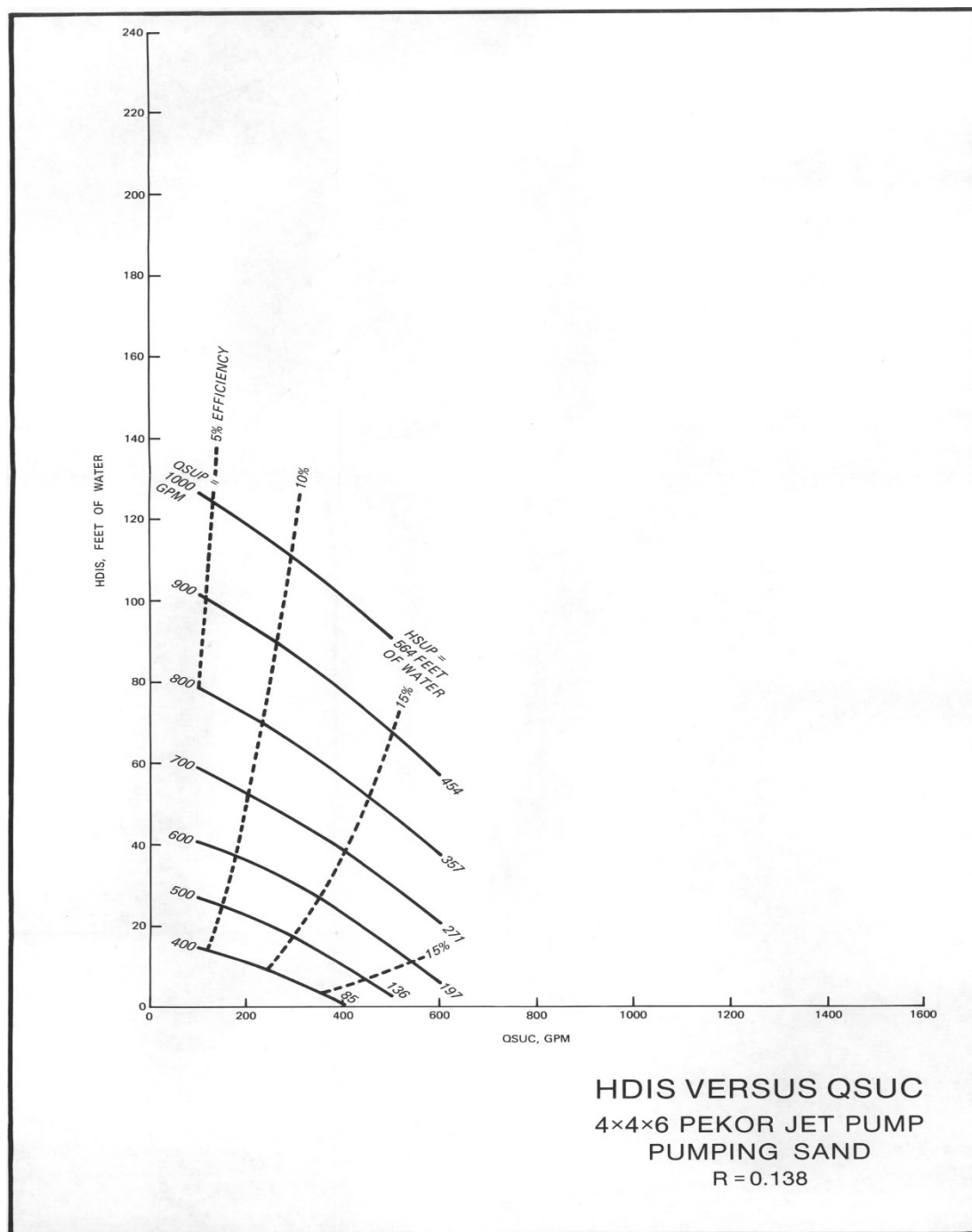
گراف ۱- نمودار پارامتر بدون بعد N بر حسب پارامتر بدون بعد M برای جت پمپ های ۴\*۴\*۶ و ۶\*۶\*۸ PEKOR

(برای پمپاژ ماسه متوسط)



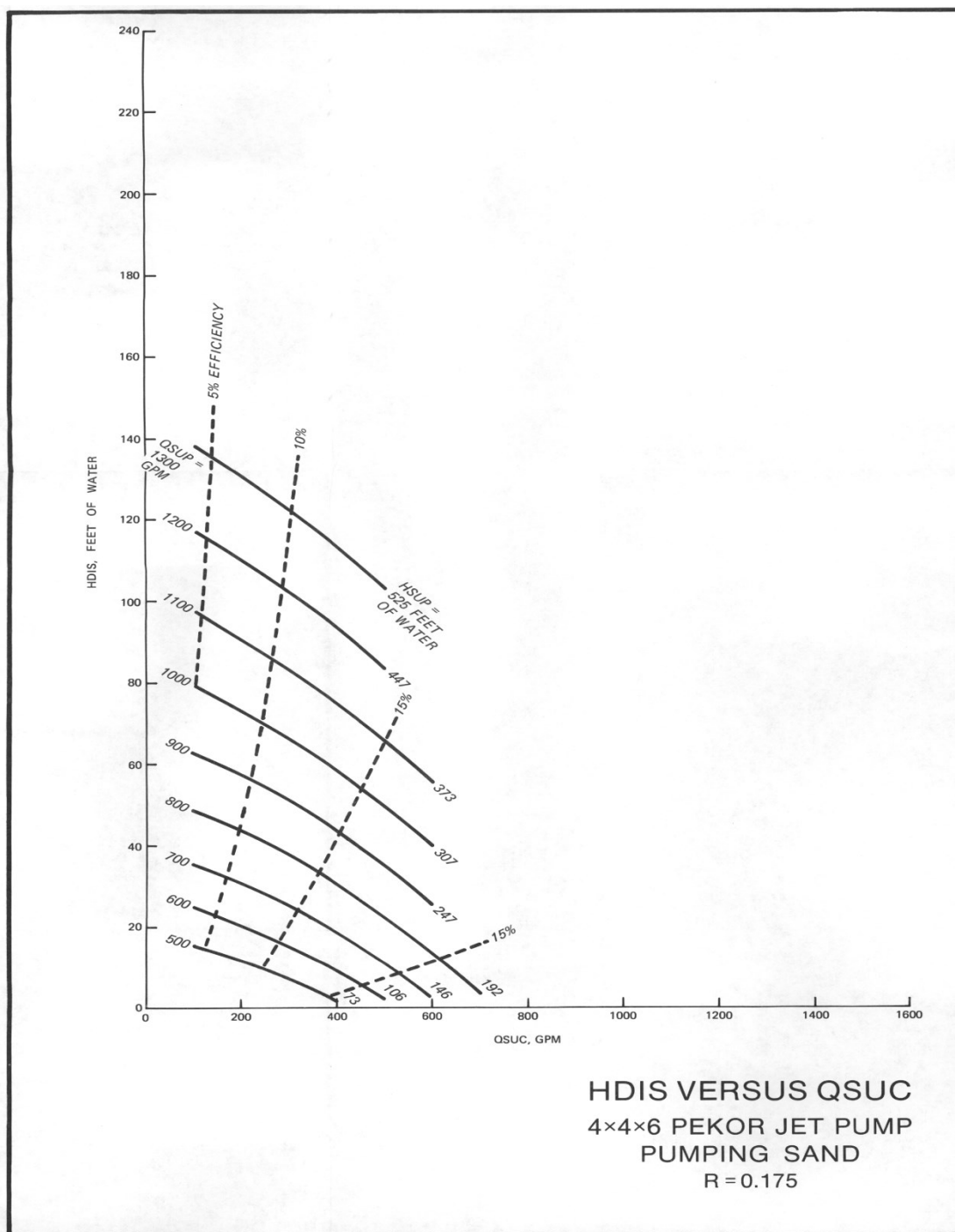
گراف ۲- نمودار HDS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ PEKOR با نسبت سطح R=0.096

(برای پمپاژ ماسه)



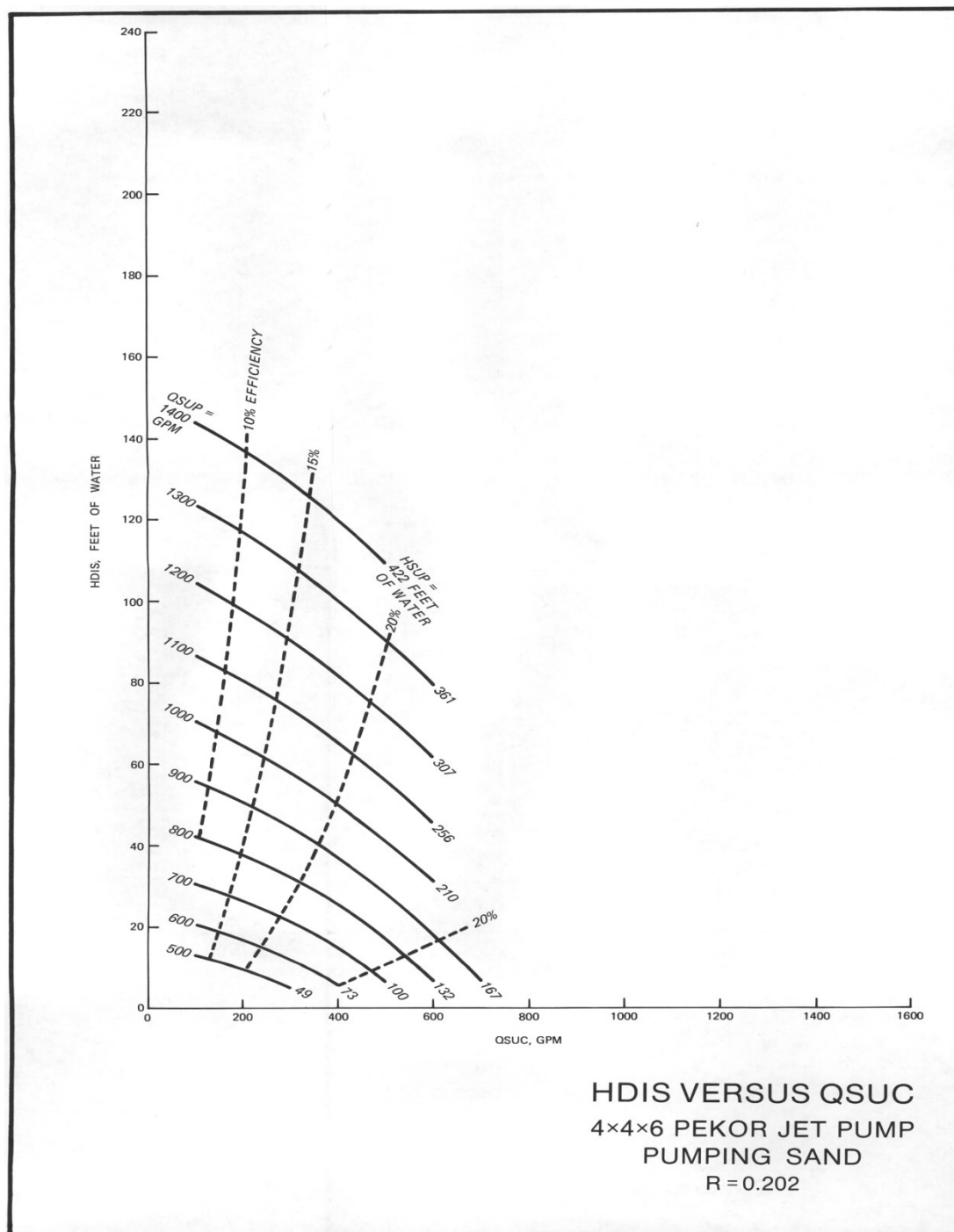
گراف ۳- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ PEKOR با نسبت سطح R=0.138

(برای پمپاژ ماسه)



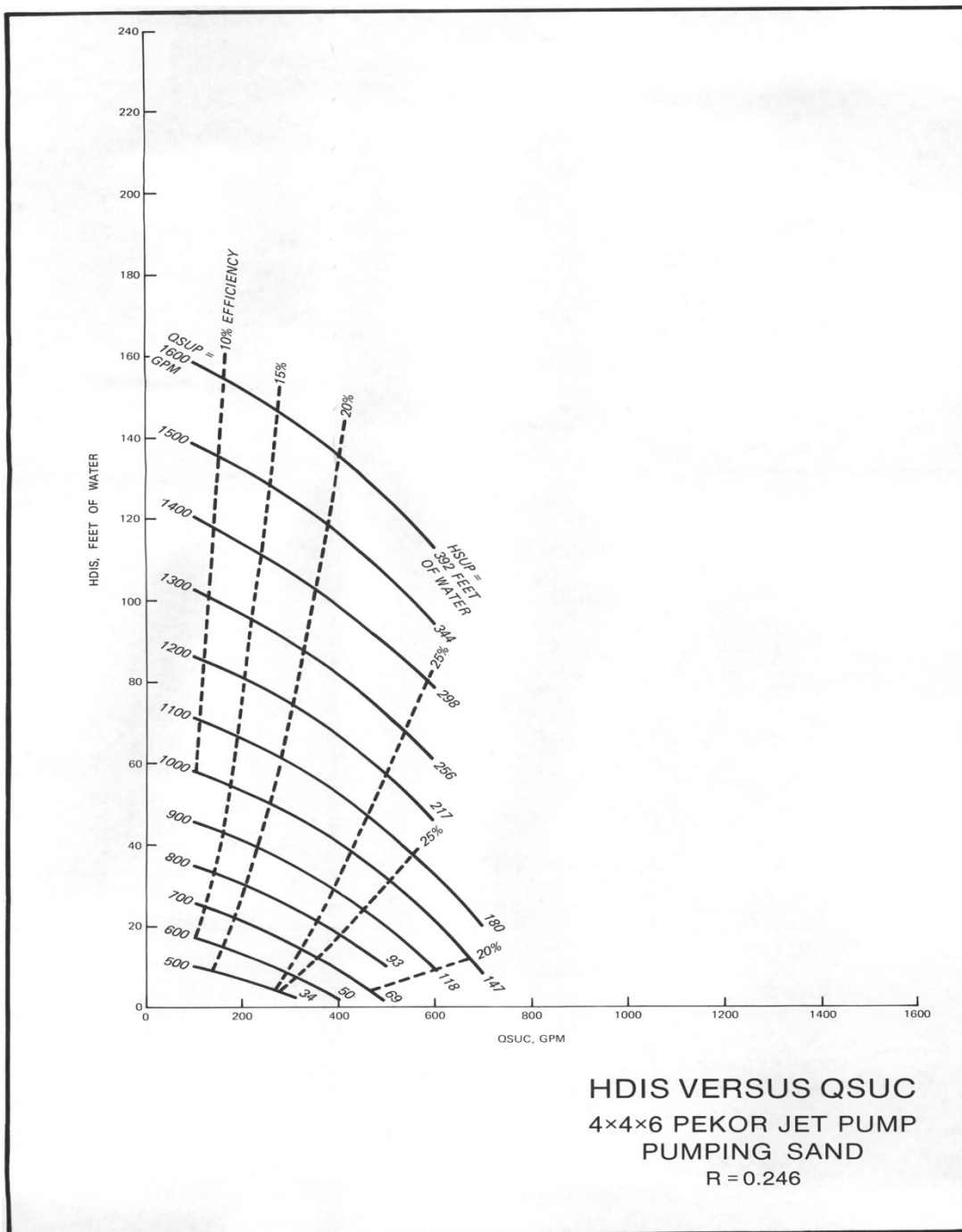
گراف ۴- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ PEKOR با نسبت سطح R=0.175

(برای پمپاژ ماسه)



گراف ۵- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ PEKOR با نسبت سطح  $R=0.202$

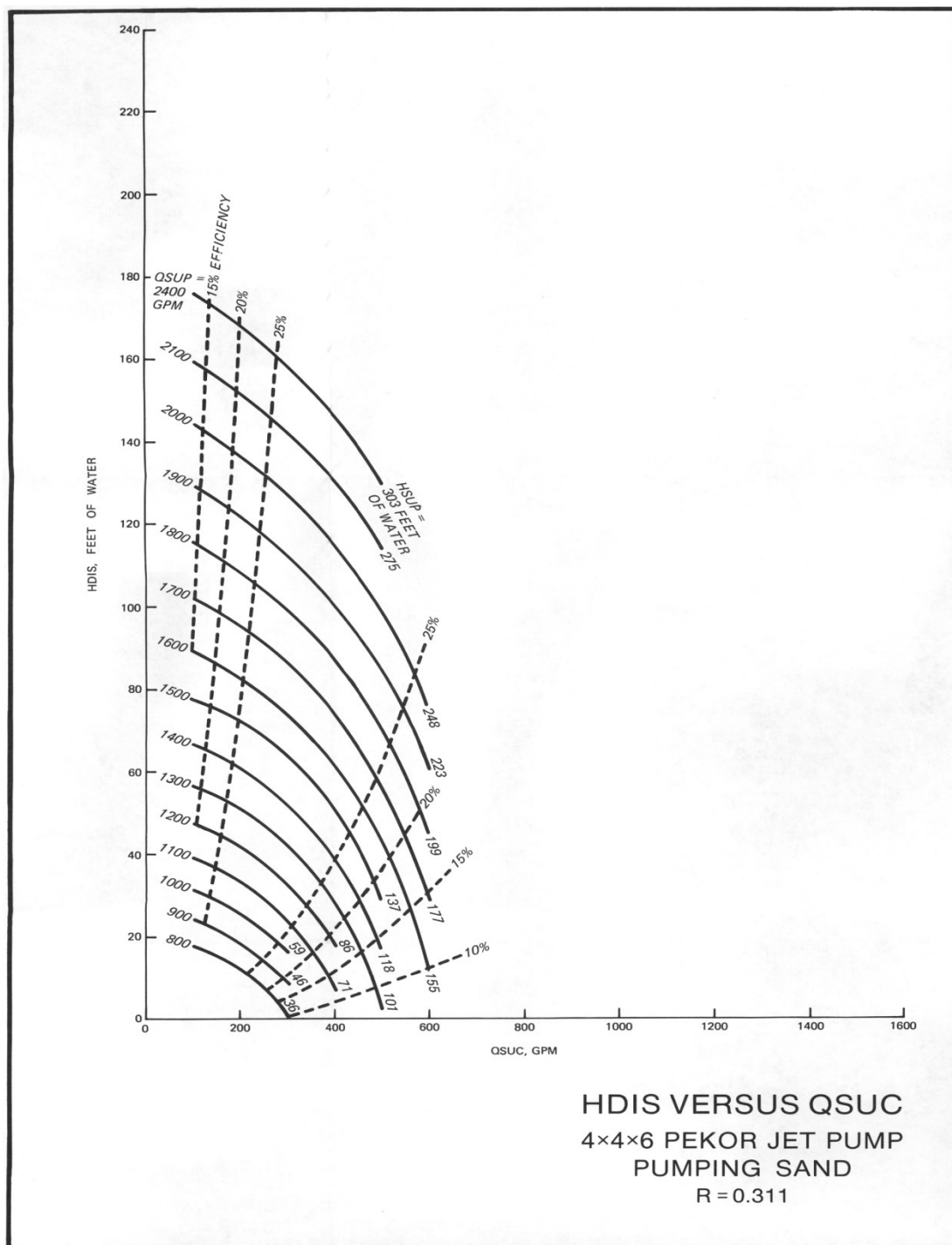
(برای پمپاژ ماسه)



گراف ۶- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ PEKOR با نسبت سطح  $R=0.246$

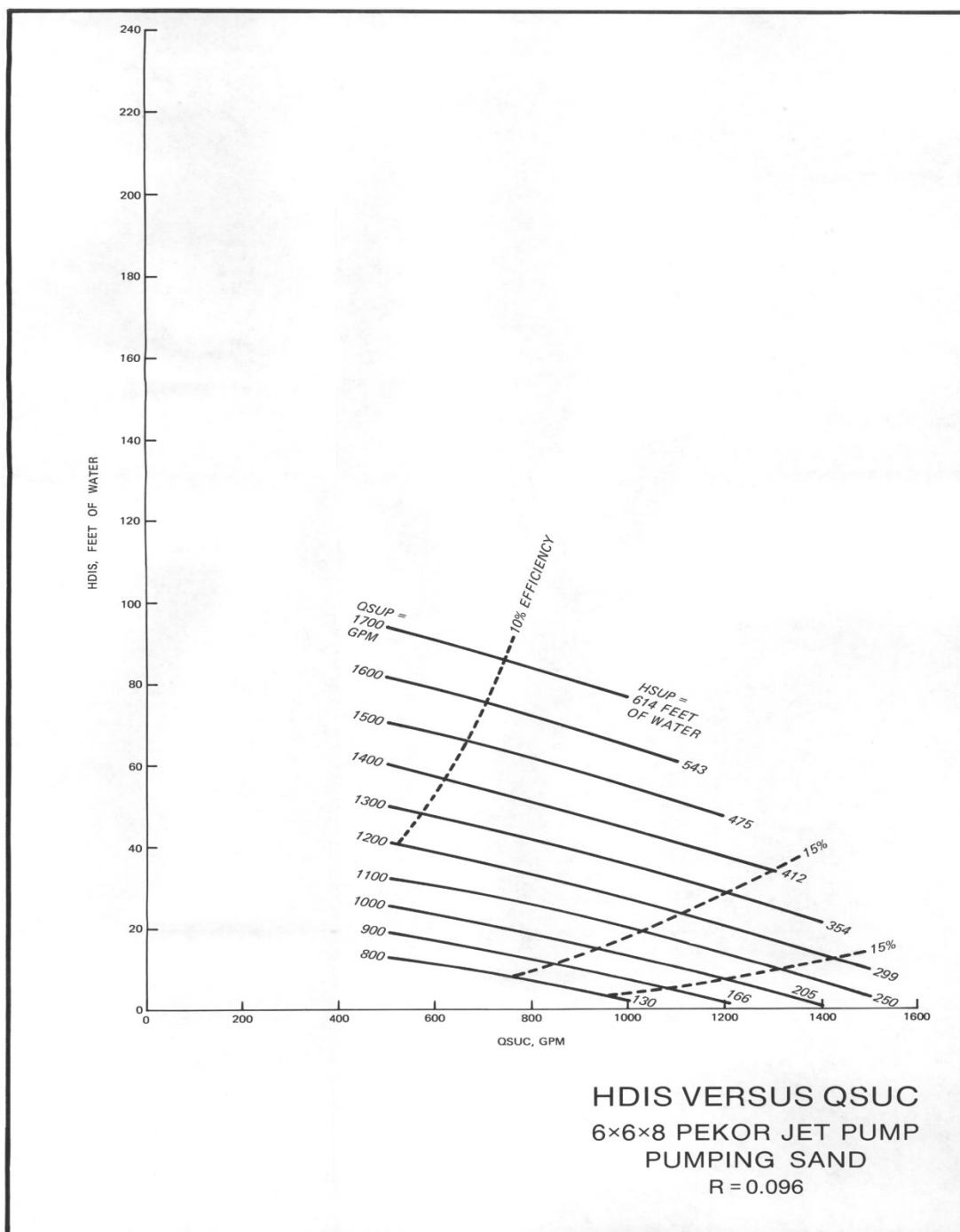
(برای پمپاژ ماسه)





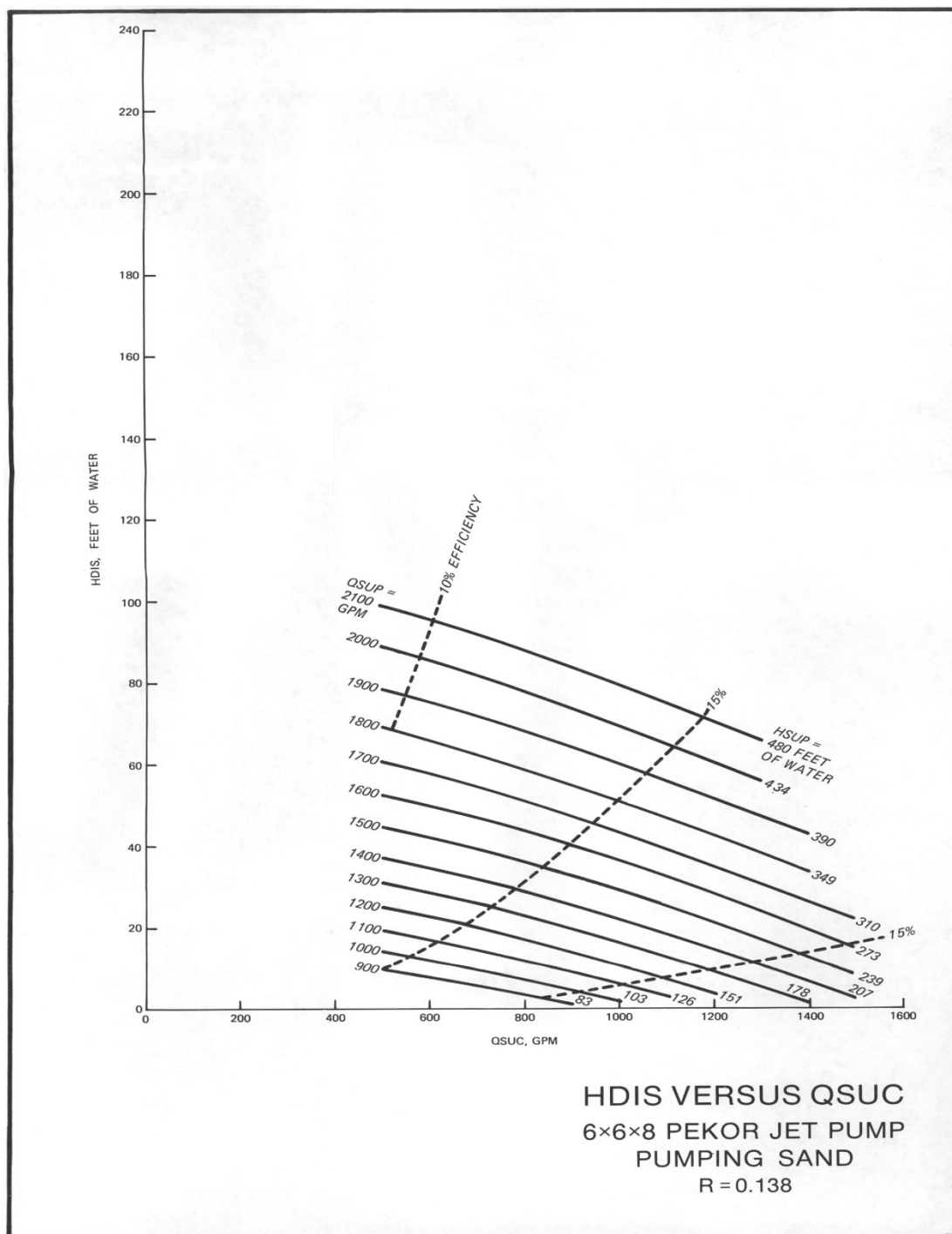
گراف ۷- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۴\*۴\*۶ PEKOR با نسبت سطح R=0.311

(برای پمپاژ ماسه)



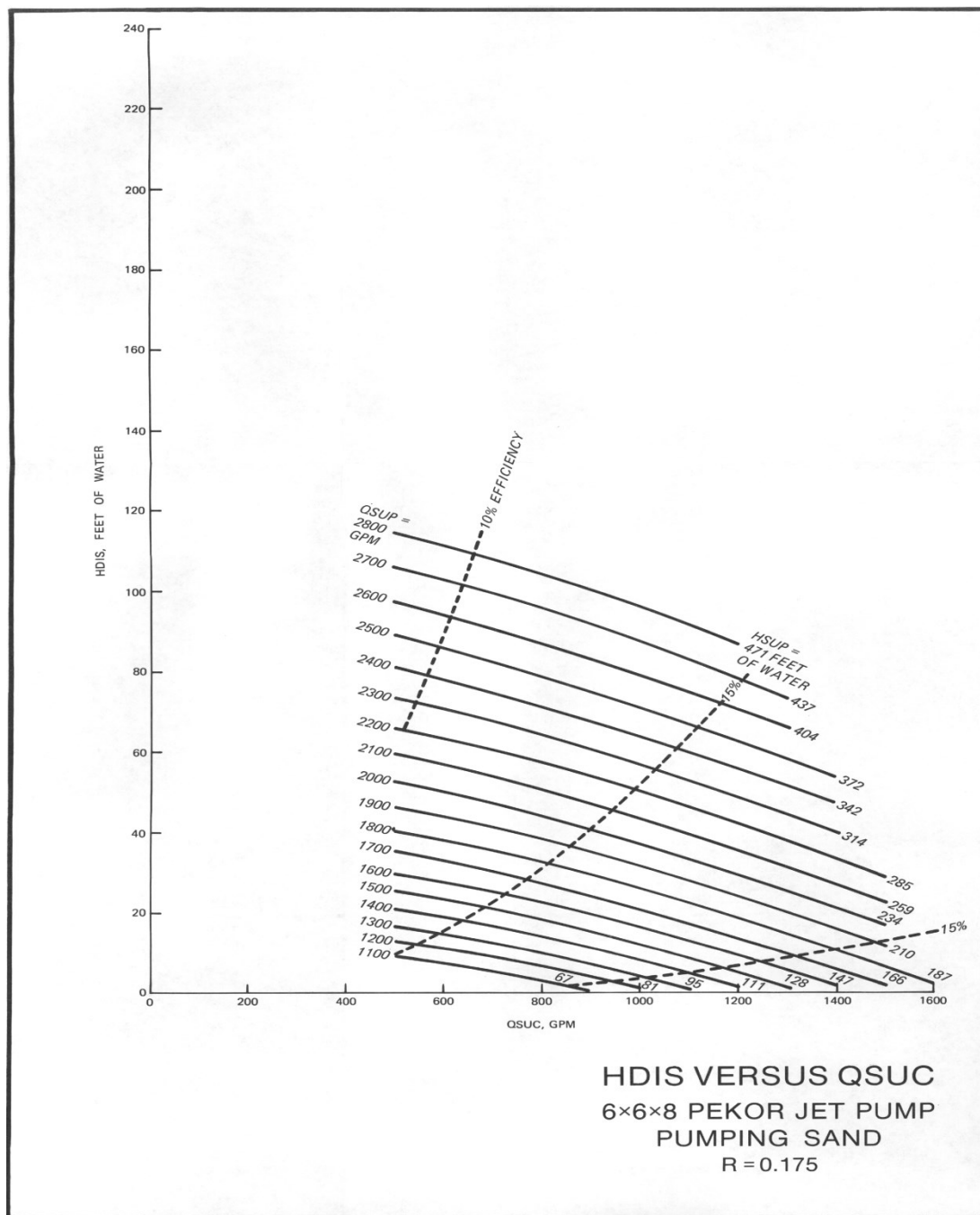
گراف ۸- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۶\*۶\*۸ PEKOR با نسبت سطح  $R=0.096$

(برای پمپاژ ماسه)



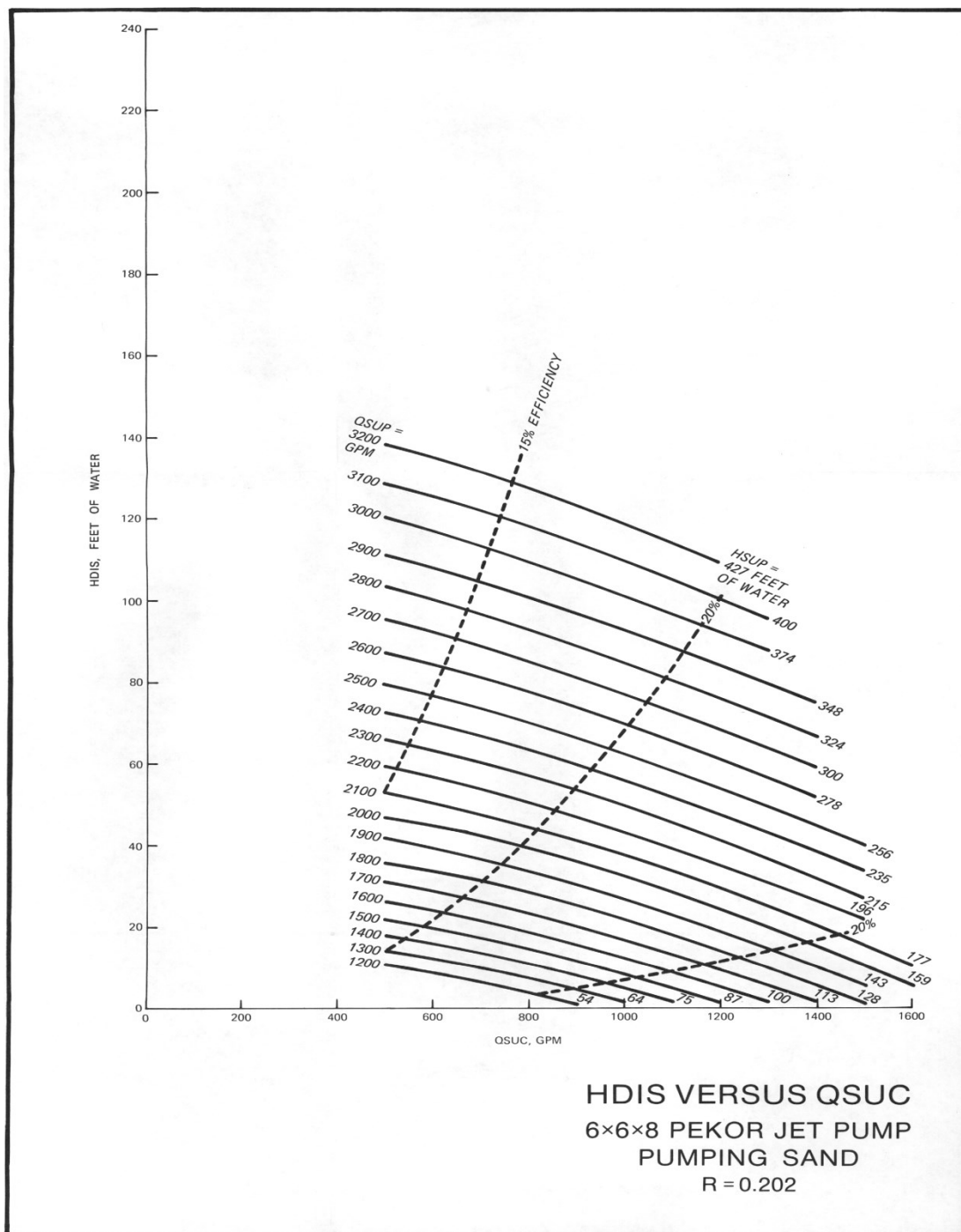
گراف ۹- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۶\*۶\*۸ PEKOR با نسبت سطح  $R=0.138$

(برای پمپاژ ماسه)



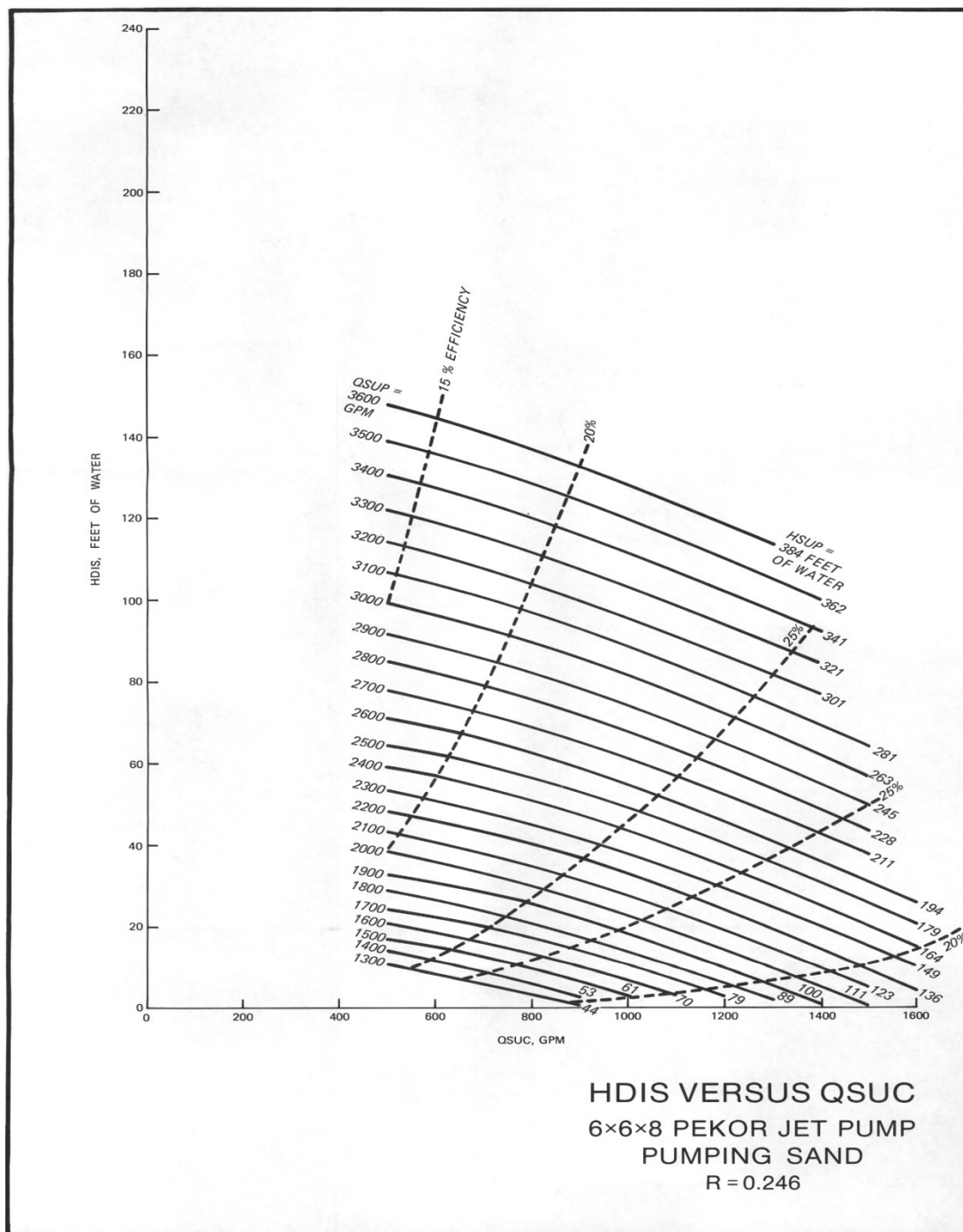
گراف ۱۰- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۶\*۶\*۸ PEKOR با نسبت سطح R=0.175

(برای پمپاژ ماسه)



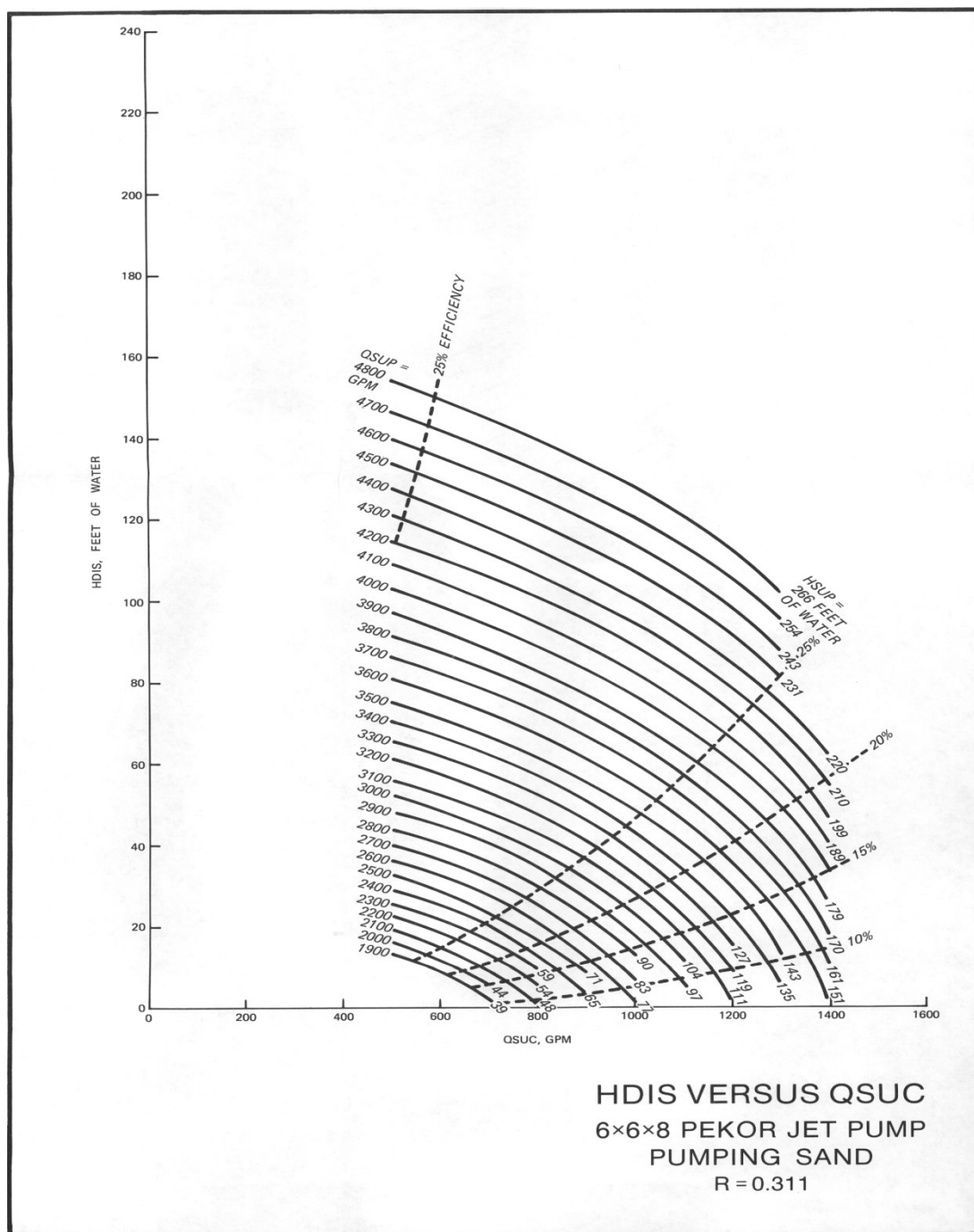
گراف ۱۱- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۶\*۶\*۸ PEKOR با نسبت سطح  $R=0.202$

(برای پمپاژ ماسه)



گراف ۱۲- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۶\*۶\*۸ PEKOR با نسبت سطح R=0.246

(برای پمپاژ ماسه)



گراف ۱۳- نمودار HDIS بر حسب QSUC برای جت پمپ ۶\*۶\*۸ PEKOR با نسبت سطح  $R=0.311$

(برای پمپاژ ماسه)





## پیوست ۳

---

الگوی مطالعات ارزیابی اثرات  
محیط زیستی و روش‌های آن



## الف- مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی مطابق الگوی سازمان حفاظت محیط زیست ایران

۱- نخستین گام در مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی یک طرح، تهیه و ارائه چکیده غیر فنی مربوط به آن می‌باشد. این چکیده شامل نوع و ویژگی‌های طرح، گزینه‌های موجود، خلاصه‌ای از وضعیت موجود محیط زیست منطقه مورد مطالعه، اهم آثار و پیامدهای محیط زیستی پیش بینی شده طرح، اهم روش‌های کاهش اثرات سوء و برنامه‌های مدیریتی آن و نهایتاً "نتیجه‌گیری از ارزیابی محیط زیستی انجام گرفته می‌باشد.

۲- در گام دوم تشریح ویژگی‌های فنی و مکانی طرح صورت می‌پذیرد. این گام شامل موارد زیر می‌باشد:

۱-۲- تشریح اهداف، نیازها و ضرورت‌های اجرای طرح

۲-۲- جایگاه طرح در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای و محلی و میزان هم‌خوانی آن با سیاست‌های کلی کارفرما

۲-۳- تدوین و بررسی قوانین، مقررات و ضوابط محیط زیستی ذیربط

۲-۴- تشریح موقعیت محدوده پیشنهادی برای اجرای طرح همراه با ترسیم این موقعیت روی نقشه

۲-۵- تشریح گزینه‌های مکانی و فنی طرح

۲-۶- تشریح فاز بندی کلی طرح (آماده سازی، ساخت و ساز، اجرا و بهره برداری و...)

۲-۷- فرآیندها و عملیات پیش بینی شده طرح

۲-۸- تاسیسات جانبی و پروژه‌های پی آیند

۲-۹- تشریح فعالیت‌ها و عملیات طرح به تفکیک فاز احداث و بهره برداری

۲-۱۰- تعیین نوع و محل انتشار آلاینده‌های محیط زیستی

۲-۱۱- تشریح سایر ویژگی‌های طرح در هر یک از گزینه‌ها و ویژگی‌های طرح شامل:

۲-۱۱-۱- تشریح ظرفیت و سطح خدمت رسانی

۲-۱۱-۲- تشریح برآوردهای انجام شده در زمینه برآورد کم و کیف مصالح و لوازم مورد نیاز، محل تامین و نحوه

انتقال آن‌ها به تفکیک فاز احداث و بهره برداری

۲-۱۱-۳- تشریح برآوردهای انجام شده در زمینه نوع و میزان آب، انرژی، سوخت و ...، موارد مصرف و محل تامین و

نحوه انتقال آن‌ها

۲-۱۱-۴- تشریح برآوردهای انسانی در فازهای احداث و بهره برداری از طرح و منابع تامین آن

۳- بررسی مراحل آماده سازی و اقدامات زیر بنایی که منجر به تغییر و یا تخریب محیط زیست می‌شوند

۴- تعیین آلاینده‌ها و پسماندهای مهم تولیدی در هر یک از گزینه‌ها و فازهای طرح

۵- خطرات و سوانح و موارد عدم ایمنی مرتبط با طرح در دوران ساخت و بهره برداری

۶- تشریح وضعیت موجود محیط زیست منطقه

۶-۱- تعیین محدوده مطالعاتی

- ۶-۲- محیط زیست فیزیکی
- ۶-۲-۱- هوا و اقلیم شناسی
- ۶-۲-۲- منابع آب سطحی و زیر زمینی
- ۶-۲-۳- زمین شناسی و ساختار توپوگرافی
- ۶-۲-۴- خاک شناسی و قابلیت اراضی
- ۶-۳- تشریح محیط زیست بیولوژیکی
- ۶-۳-۱- پوشش گیاهی رویشگاه ها (خشکی و دریا)
- جوامع و تیپ‌های گیاهی طبیعی
- گونه‌های گیاهی مختلف
- توزیع و پراکنش جوامع و گونه‌ها
- تعیین گونه‌های گیاهی حفاظتی و نادر محدوده مطالعاتی
- ۶-۳-۲- حیات وحش جانوری (خشکی و دریا)
- جمعیت و جوامع جانوری و تعیین محل زیستگاه آن‌ها
- گونه‌های جانوری، حمایت و حفاظت شده و در معرض انقراض محدوده مطالعاتی
- ۶-۳-۳- زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌ها و مناطق ویژه زیستی
- ۶-۳-۴- مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست
- ۶-۴- تشریح محیط زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی
- ۶-۴-۱- تقسیمات سیاسی و اداری
- ۶-۴-۲- سکونت‌گاه‌های انسانی
- ۶-۴-۳- ویژگی‌های جمعیتی
- ۶-۴-۴- اشتغال
- ۶-۴-۵- فعالیت‌های اقتصادی
- ۶-۴-۶- تسهیلات و خدمات رفاهی و آموزشی
- ۶-۴-۷- وضعیت بهداشتی
- ۶-۴-۸- کاربری اراضی
- ۶-۴-۹- سایر طرح‌های توسعه منطقه‌ای
- ۶-۴-۱۰- آثار تاریخی و اماکن مذهبی
- ۶-۴-۱۱- جاذبه‌های توریستی (توریسم)
- ۶-۵- آلودگی‌های محیط زیست

- ۶-۵-۱- آلودگی هوا
- ۶-۵-۲- آلودگی دریا و ساحل
- ۶-۵-۳- آلودگی صوتی
- ۷- پیش بینی اثرات و پیامدهای طرح در گزینه‌ها و فازهای طرح (اجرا و بهره برداری)
  - ۷-۱- پیشنهاد گزینه‌های مختلف در صورت وجود
  - ۷-۲- اهم اثرات بر محیط زیست فیزیکی
    - ۷-۲-۱- اثرات بر خاک: مورفولوژی و کیفیتی
    - ۷-۲-۲- اثرات بر آب: کمیت و کیفیت
    - ۷-۲-۳- اثرات بر اقلیم، هوا و صوت: تغییرات هوا و بارش‌ها، کیفیت هوا
    - ۷-۳- اثرات بر محیط زیست بیولوژیکی
      - ۷-۳-۱- اثرات بر گونه‌های گیاهی
      - ۷-۳-۲- اثرات بر گونه‌های جانوری
      - ۷-۳-۳- اثرات بر بیولوژی دریا
      - ۷-۳-۴- اثرات بر زیستگاه‌ها، چشم اندازها و مسیر مهاجرت پرندگان
    - ۷-۴- اهم اثرات بر محیط زیست اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی
      - ۷-۴-۱- اثر بر سلامت و محیط بهداشتی مردم
      - ۷-۴-۲- اثر بر محیط اجتماعی، اشتغال، مسکن و آموزش
      - ۷-۴-۳- اثر بر محیط فرهنگی، اعتقادات فرهنگی و مذهبی مردم و میراث فرهنگی
  - ۷-۵- اهم اثرات بر وضعیت آلودگی های محیط زیست
    - ۷-۵-۱- آلودگی هوا
    - ۷-۵-۲- آلودگی دریا و ساحل
    - ۷-۵-۳- آلودگی صوتی
  - ۷-۶- اثرات محیط زیستی بر طرح‌های توسعه
    - ۷-۶-۱- اثر بر سایر طرح‌های توسعه صنعتی و خدماتی منطقه
    - ۷-۶-۲- اثر بر طرح آمایش منطقه
    - ۷-۶-۳- اثر بر کاربری اراضی منطقه
- ۸- ارزیابی اثرات و پیامدهای محیط زیستی طرح در گزینه‌ها و فازهای مختلف
  - ۸-۱- انتخاب و معرفی روش ارزیابی

- ۸-۲- ارزیابی اثرات محیط زیستی در فازها و گزینه‌های مختلف
- ۸-۳- ارزیابی کلی اثرات و پیامدهای محیط زیستی
- ۹- ارائه روش‌های تقلیل اثرات سوء محیط زیستی ناشی از طرح
- ۹-۱- روش‌های تقلیل اثرات بر محیط زیست فیزیکی
- ۹-۲- روش‌های تقلیل اثرات بر محیط زیست بیولوژیکی (خشکی و دریا)
- ۹-۳- روش‌های تقلیل اثرات بر محیط زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی
- ۹-۴- روش‌های تقلیل اثرات بر وضعیت آلودگی‌های محیط زیستی
- ۹-۵- روش‌های تقلیل اثرات بر طرح‌های توسعه
- ۱۰- ارائه برنامه‌های مدیریت، پایش و آموزش محیط زیستی
- ۱۱- ارزیابی ریسک محیط زیستی

#### ب- انتخاب روش مناسب برای ارزیابی اثرات

تا کنون روش‌های مختلفی برای انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی طرح‌ها و پروژه‌ها توسعه یافته‌اند. مهم‌ترین این روش‌ها چک لیست، ماتریس، روی هم گذاری نقشه‌ها و شبکه است. در ادامه هر یک از روش‌های مذکور به طور خلاصه تشریح گردیده‌اند.

##### • روش چک لیست

چک لیست‌ها به عنوان نخستین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی‌های محیط زیستی شناخته می‌شوند و در شکل‌های ساده تا پیچیده ارائه گردیده‌اند. این روش فهرستی از پارامترهایی را که در فرآیند ارزیابی مورد بررسی قرار می‌گیرند را ارائه می‌نماید. چک لیست‌ها دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

الف) دارای رویکرد ساختاری برای شناسایی فاکتورهای محیط زیستی مرتبط هستند.

ب) در فرآیند ارزیابی محیط زیستی به عنوان یک ابزار اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ج) فهرست‌های ساده‌ای از فاکتورهای محیط زیستی را ارائه می‌نمایند که این فهرست‌ها موجب تسهیل مدل‌سازی‌های ریاضی جهت تشریح شرایط محیط زیستی می‌شوند.

د) داوری و اطلاعات اولیه برای افرادی که تمایل به توسعه آن‌ها را دارند فراهم می‌نمایند.

##### • روش ماتریس

ماتریس‌ها جداول دو بعدی برای شناسایی اثرات ناشی از فعالیت‌های پروژه بر بخش‌های خاص محیط زیست می‌باشند. به طور کلی فعالیت‌های مراحل مختلف اجرا و بهره برداری پروژه در یک محور و پارامترهای محیط زیست در محور دیگر جدول ارائه می‌شوند. بدین ترتیب ماتریس‌ها ارتباط بین فعالیت‌های متعدد پروژه و اثرات آن‌ها بر بخش‌های مختلف محیط زیست را ارائه می‌نمایند. علاوه بر این، ماتریس‌ها دارای قابلیت نمایش گرافیکی نیز هستند. ماتریس‌های

ساده هرچند می‌توانند اثرات اولیه و یا مستقیم را شناسایی نمایند لیکن قادر به مشخص نمودن اثرات غیر مستقیم دارای درجات بالاتر و پیچیده‌تر نیستند. ماتریس‌های کامل‌تر که به صورت کمی و درجه بندی شده می‌باشند ویژگی‌های خاصی را به منظور تجزیه و تحلیل نتایج در اختیار تصمیم گیرندگان قرار می‌دهند. لیکن ماتریس‌ها توانایی برخورد با عدم قطعیت‌ها را نداشته و در واقع کلیه پیش بینی‌ها بر اساس وقوع قطعی اثرات و پیامدهای پروژه است. به همین جهت پیش بینی تغییرات غیر منتظره در طبیعت و محیط زیست توسط آن‌ها ممکن نیست.

#### ○ ماتریس لئوپولد

لئوپولد و همکاران در سال ۱۹۷۱ یک ساختار ماتریسی را برای تحلیل اثرات متقابل معرفی نموده‌اند. در این ماتریس ۱۰۰ فعالیت در محور افقی و ۸۸ پارامتر محیطی در محور عمودی یک جدول نشان داده می‌شوند که تلاقی آن‌ها مشخص کننده بروز یک اثر در مراحل ساختمانی و بهره برداری پروژه می‌باشد.

#### ○ ماتریس سریع اثرات

در روش ماتریس سریع اثرات، ابتدا ریز فعالیت‌های پروژه مورد نظر شناسایی شده و سپس اثرات این فعالیت‌ها بر هر یک از ریز عامل‌های محیطی مشخص می‌شود. برای هر ریز عامل محیطی یک نمره با استفاده از معیارهای از پیش تعریف شده منظور می‌گردد. معیارهای مهم ارزیابی در دو طبقه قرار می‌گیرند، طبقه اول معیارهایی هستند که از نظر اهمیت مهم محسوب می‌شوند و می‌توانند از نمره یا امتیاز برخوردار باشند و طبقه دوم معیارهایی می‌باشند که ارزش وضعیت یا شرایط را آشکار می‌سازند اما به طور مستقل نمره‌دهی را تحت شعاع قرار نمی‌دهند. به طور کلی فرآیندی که در روش ارزیابی سریع اثرات مورد استفاده قرار می‌گیرد در روابط زیر خلاصه می‌گردد:

$$(A1)(A2)=AT$$

$$(B1) + (B2) + (B3) = BT$$

$$(AT)(BT) = ES$$

که در روابط فوق A1 اهمیت اثر، A2 دامنه اثر، B1 مدت اثر، B2 مدت سازگاری اثر، B3 تجمعی بودن اثر و ES مجموع نمرات می‌باشند. روش ماتریس سریع اثرات در مقایسه با سایر روش‌های معمول ارزیابی اثرات محیط زیستی دارای مزایایی نظیر هزینه و زمان کمتر، ارزیابی‌های دقیق‌تر، قابلیت تکرار پذیری بالاتر، قابلیت استفاده برای ارزیابی اثرات تجمعی پروژه‌ها و کارایی بالاتر برای تجزیه و تحلیل داده‌های زیاد می‌باشد.

#### • روی هم گذاری نقشه‌ها

در روش روی هم گذاری نقشه‌ها، با روی هم قرار دادن تعدادی نقشه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان مناطق تحت تاثیر و برخی از اثرات آشکار را شناسایی نمود. نقشه ترکیبی حاصل علاوه بر نشان دادن تناسب منطقه برای فعالیت مورد نظر، نمایانگر وسعت انتشار و شدت هر یک از اثرات در محدوده مشخصی می‌باشد. اگر چه ارائه گرافیکی نتایج ارزیابی در بررسی روابط مکانی فعالیت‌ها و اثرات بالقوه مناسب است، اما این امر معیاری برای اهمیت، ارزش نسبی یا

معنی دار بودن اثرات را ارائه نمی‌دهد. روش روی هم گذاری به تنهایی نمی‌تواند به ارزیابی اثرات محیط زیستی بپردازد و حتما باید در تلفیق با یکی از روش‌های ارزیابی به ویژه روش ماتریس باشد.

- روش شبکه

هدف این روش شناخت زنجیره ارتباطات متقابلی است که احتمال دارد در اثر پروژه پیشنهادی در محیط زیست بروز نماید. به عبارت دیگر شبکه‌ها روابط بین فعالیت‌های پروژه و مشخصه‌های محیط زیستی را مشخص می‌نمایند. تغییر در یک خصوصیت محیط زیستی ممکن است تغییر در دیگر جنبه‌های محیط زیستی را موجب گردد. از مزایای روش شبکه‌ها، راهنمایی مفید آنها در تجزیه و تحلیل اثرات غیرمستقیم و چند جانبه فعالیت‌ها است. به علاوه در خاتمه تجزیه و تحلیل می‌توان خلاصه‌ای ساده و قابل فهم از اثرات را در اختیار تصمیم گیرندگان قرار داد. از معایب مهم این روش، نبود معیار یا ضابطه خاصی برای تعیین نسبی اهمیت اثرات است. لذا در سنجش عوامل کیفی نظیر پارامترهای اجتماعی و زیبایی شناختی نمی‌توان به این روش چندان متکی بود. هم‌چنین، اصولاً شبکه‌ها فقط اثرات نامطلوب را بررسی می‌نمایند.



# پیوست ۴

---

مشخصات سیستم گذردهی رسوب

طراحی شده برای بندر امیرآباد



بندر امیرآباد واقع در شرق استان مازندران (طول جغرافیایی  $22^{\circ} 22' 53''$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 51' 25''$ )، به عنوان بزرگ‌ترین بندر نسل سوم حاشیه دریای خزر و تنها بندر شمالی متصل به شبکه ریلی کشور، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. این بندر از شرق به منطقه حفاظت شده میانکاله و از غرب به بندر صدر و نیروگاه نکا منتهی می‌شود (شکل پ. ۴-۱).



شکل پ. ۴-۱: بندر امیرآباد، انباشت رسوب در غرب بندر و فرسایش ساحل در شرق بندر بعد از اتمام دیوار ساحلی، دیده می‌شود.

بندر امیرآباد با مشکلات حاد رسوب‌گذاری در دهانه و کانال نوابری ورودی بندر درگیر بوده و برای حفظ تردد بندر، کانال دسترسی و دهانه بندر به صورت دوره‌ای و چندین نوبت در سال لایروبی می‌گردد. از سوی دیگر اندرکنش موج-شکن‌های بندر با روند طبیعی هیدرودینامیک و دینامیک انتقال رسوب در منطقه ساحلی امیرآباد، منجر به فرسایش شدید در شرق بندر در منطقه ساحلی حفاظت شده میانکاله شده است و مشکلات اساسی محیط زیستی، از جمله ریشه کن شدن درختان را در این منطقه به وجود آورده است.

با توجه به شرایط بندر و منطقه ساحلی آن، سیستم گذر دهی رسوب می‌تواند یکی از مفیدترین و موثرترین راهکارها برای رفع مشکلات اساسی رسوب گذاری شدید در دهانه و کانال دسترسی بندر و فرسایش در شرق بندر باشد. بنابراین طراحی فاز یک سیستم گذردهی رسوب برای بندر امیرآباد انجام شد که در ادامه مشخصات این سیستم ارائه می‌گردد.

لازم به ذکر است که در طراحی سیستم سند بای پسینگ بندر امیرآباد، مطالعات لازم در زمینه شرایط مورفولوژیک ساحل و تغییرات خط ساحلی، مشخصات و دانه بندی رسوبات، وضعیت باد، هیدرودینامیک امواج و جریانات دریایی و دینامیک انتقال رسوب با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده باد، موج، رسوب، بسیمتری و اطلاعات هیدروگرافی، داده‌ها و آمار لایروبی، داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌سازی‌های عددی، داده‌ها و آمار لایروبی منطقه صورت گرفت. هم-چنین بازدید میدانی از منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن به عمل آمد و جلسات حضوری با مسئولین و کارشناسان بندر برگزار گردید.

در شکل پ.۴-۲ جانمایی سیستم گذردهی رسوب طراحی شده برای بندر امیرآباد و اجزای مختلف آن نشان داده شده است.



شکل پ.۴-۲: سیستم گذردهی رسوب بندر امیرآباد و جانمایی بخش های مختلف آن

این سیستم برای ظرفیت گذردهی رسوب ۲۵۰ هزار متر مکعب متوسط سالیانه و ۲۰۰ متر مکعب در ساعت طراحی شده است.

بخش‌های مختلف گذردهی رسوب بندر امیرآباد به شرح زیر می باشند:

- سازه محل استقرار جت پمپ ها
- جت پمپ‌های مجهز به سیال ساز
- پمپ کم فشار انتقال آب به پمپ پر فشار
- پمپ پر فشار انتقال آب به سیستم جت پمپ‌ها و سیال سازها
- پمپ اسلاری به منظور پمپاژ مخلوط آب و رسوب به سواحل محل تخلیه
- فلوم شیب دار انتقال مخلوط آب و رسوب از جت پمپ‌ها به سمت پمپ اسلاری
- لوله های انتقال آب تمیز به جت پمپ‌ها
- لوله انتقال مخلوط آب و رسوب از پمپ اسلاری به محل تخلیه
- ساختمان کنترل سیستم

سازه محل استقرار جت پمپ‌ها، از نوع شمع و عرشه می باشد. شمع‌ها فولادی و عرشه تیر فولادی و دال بتنی می- باشند. سازه دارای طول ۵۵ متر و عرض ۵ متر بوده و در فاصله ۳۰۰ متر از نوک موج شکن غربی بندر امیرآباد واقع شده است.

جت پمپ‌های مجهز به سیال ساز ، ۱۸ عدد بوده که در فواصل ۳۰ متری از یکدیگر بر روی سازه شمع و عرشه جانمایی شده اند. جت پمپ‌ها مجهز به سیستم سیال ساز بوده و تجهیزات جانبی جت پمپ‌ها از جمله لوله‌های انتقال آب پرفشار به جت پمپ و انتقال مخلوط آب و رسوب از جت پمپ به عرشه سازه و تجهیزات جانبی آن‌ها که وظیفه سیال‌سازی رسوبات و برداشت مخلوط آب و رسوب را بر عهده دارند، توسط سازه شمع و عرشه حمایت می‌شوند.

پمپ کم فشار انتقال آب به پمپ پرفشار، که وظیفه برداشت آب تمیز مورد نیاز جت پمپ‌ها و سایر بخش های سیستم از حوضچه بندر و پمپ کردن این آب به سمت پمپ پرفشار را بر عهده دارد، در فاصله ۵۵ متری پمپ پرفشار در کنار حوضچه داخلی بندر جانمای شده است. این پمپ از نوع گریز از مرکز می باشد و دارای ظرفیت ۵۰۰ متر مکعب در ساعت می باشد.

پمپ پر فشار انتقال آب به سیستم جت پمپ‌ها و سیال سازها، با وظیفه پمپاژ آب تمیز و عاری از رسوبات با فشار بالا به سمت جت پمپ‌ها و سیال سازها، در ساختمان کنترل و در فاصله حدود ۳۲۰ متر از پمپ کم فشار واقع خواهد شد. این پمپ از نوع گریز از مرکز می‌باشد و دارای ظرفیت ۵۰۰ متر مکعب در ساعت می‌باشد.

پمپ اسلاری، وظیفه برداشت مخلوط آب و رسوب از پمپ اسلاری و پمپاژ آن به سمت نقطه تخلیه را بر عهده دارد. این پمپ نیز در ساختمان کنترل سیستم واقع خواهد شد. این پمپ از نوع گریز از مرکز می‌باشد و دارای ظرفیت ۵۷۰ متر مکعب در ساعت می باشد.

فلوم شیب دار انتقال مخلوط آب و رسوب از جت پمپ ها به سمت پمپ اسلاری، بر روی سازه شمع و عرشه و به صورت شیب دار به سمت ساحل جانمایی شده است. از طریق این فلوم مخلوط آب و رسوب توسط نیروی گرانشی به سمت پیت (گودال) پمپ اسلاری انتقال یافته و با از عبور از سیستم آشغالگیر، زباله‌های احتمالی موجود در آن جدا می-گردند.

لوله‌های انتقال آب تمیز به جت پمپ ها، شامل لوله انتقال آب از پمپ کم فشار به پمپ پر فشار و لوله های انتقال آب از پمپ پر فشار به جت پمپ ها می باشند. این لوله ها فولادی می‌باشند.

لوله انتقال مخلوط آب و رسوب، که وظیفه انتقال رسوبات به سمت پایین دست بندر در مکان تخلیه را بر عهده دارد، از بستر حوضچه بندر عبور می کند و دارای طول حدود ۳۱۱۴ متر می‌باشد. این لوله از نوع فولادی پوشش داده شده با پلی اورتان و یا از نوع پلی اتیلن ضد سایش می باشد.

ساختمان کنترل سیستم، در فاصله حدود ۵۰ متر از ساحل جانمایی شده است. کلیه تجهیزات الکتریکی، وسایل مربوط به تعمیرات سیستم، اتاق فرمان سیستم و محل استقرار پرسنل نیز در این ساختمان قرار خواهند گرفت.



## منابع و مراجع

- [1]. Loza, P.R.G. "Sand bypassing systems", masters in environmental engineering, 2008.
- [2]. Boswood, P.K. and Murray, R.J., "World-wide sand bypassing systems: data report", Queensland Government Environmental Protection Agency, 2001.
- [3]. Clausner, J.E., "Fluidizer system design for channel maintenance and sand bypassing", US Army Engineer Waterways Experiment Station, 1992.
- [4]. Richardson, T. W., and McNair, E. C., Jr., "A Guide to the Planning and Hydraulic Design of Jet pump Remedial Sand Bypassing systems", Instruction Report HL-81-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1981.
- [5]. Clausner, J.E., "Jet Pump Sand Bypassing, Nerang River Entrance, Australia" (No. WES-DRP-3-01). ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION VICKSBURG MS, 1989.
- [6]. Acworth, C. and Lawson, S., "The Tweed River Entrance Sand Bypassing Project, ten years of managing operations in a highly variable coastal system", *In Proceedings of the 20th NSW coastal conference*, Tweed Heads, 2011, pp. 1-23.
- [7]. DEAN, R.G and DALRYMPLE, R.A., "Coastal Processes with Engineering Applications", Cambridge University Press, 2004.
- [8]. Kraus, N.C., Isobe, M., Igarashi, H. et al., "Field experiments on longshore sand transport in the surf zone". *Proc. 18th Intl. Conf. on Coastal Engineering, ASCE*, 1982, pp. 969-988.
- [9]. Dyson, A., Victory, S. and Connor, T., "Sand bypassing the Tweed River entrance: an overview", *In Proc Coasts & Ports 2001 Conf*, 2001, pp. 25-28.
- [10]. McQuade, M., Jackson, L.A. and Corbett, B.B., "Tweed River entrance sand bypassing precommissioning dredging works". *In Coasts & Ports 2001: Proceedings of the 15th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference, the 8th Australasian Port and Harbour Conference*, 2001, p. 242.
- [11]. Dyson, A., Lawson, S., Victory, S., Boswood, P., Mahon, B., Trucchi, L. and Cummings, P., "Tweed River entrance sand bypassing project post-commissioning coastal behavior", *In Coastal Engineering 2002: Solving Coastal Conundrums*, 2003, pp. 3748-3752.
- [12]. Morton, J.M. and Wolfin, J.P., "Ocean city, Maryland and vicinity water resources reconnaissance study, planning and aid report", *In Baseline Biological Conditions*, US Army Corps of Engineers Baltimore, MD District, 1993, pp. 1-20.
- [13]. <https://www.tweedsandbypass.nsw.gov.au/operations/general-information/technical-information>.
- [14]. Schmidt, N., "Conceptual solutions to minimise the effects of cobbles on the sand-bypassing system at the Port of Ngqura", Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University, 2016.
- [15]. U. S. Army Coastal Engineering Research Center, CE. "Shore Protection Manual", Washington, D. C, 1977.
- [16]. Office, Chief of Engineers, "Beach Erosion Control and Shore Protection Studies," Engineer Manual 1110-2-3300, Washington, D. C., 1966.

- [17]. Gosline, J. E., and O'Brien, M. P., "The Water Jet Pump", University of California Publications in Engineering, Vol 3, No. 3, 1934, pp 167-190.
- [18]. Mueller, N. H. G. "Water Jet Pump" Journal, Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, Vol 90, No. HY3, 1964, pp 83-113.
- [19]. Reddy, Y. R., and Kar, S., "Theory and Performance of Water Jet Pump", *Journal, Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, Vol 94, No. HY5, . 1968, pp 1261-1281.
- [20]. Fish, G., "The Solids-Handling Jet Pump", Proceedings, Hydrotransport 1, British Hydromechanics Research Association, Coventry, England, 1970, pp L1-1 - L1-15.
- [21]. Zandi, I., and Govatos, G., "Jet Pump in Slurry Transport," Proceedings, Hydrotransport j, British Hydromechanics Research Association, Coventry, England, 1970, pp L2-17 - L2-32.
- [22]. Silvester, R., and Vongvisessomjai, S., "Characteristics of the Jet-Pump with Liquids of Different Density", *Proceedings, World Dredging Conference*, 1970, pp 293-315.
- [23]. Durand, R., "Basic Relationships of the Transportation of Solids in Pipes-Experimental Research," Proceedings, Minnesota International Hydraulics Convention, Minneapolis, 1953, pp 89-103.
- [24]. Graf, W. H., and Acaroglu, E. R., "Homogeneous Suspensions in Circular Conduits", *Journal of Pipeline Division, American Society of Civil Engineers*, Vol 93, No. PL2, 1967, pp 63-69.
- [25]. Colebrook, C. F., "Turbulent Flow in Pipes, with Particular Reference to the Transition Region Between the Smooth and Rough Pipe Laws", *Journal of the Institution of Civil Engineers*, Vol 11, 1939, pp 133-156.
- [26]. Moody, L. F., "Friction Factors for Pipe Flow", Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Vol 66, 1944, pp 671-677.
- [27]. Newitt, D. M., et al., "Hydraulic Conveying of Solids in Horizontal Pipes", Transactions of the Institute of Chemical Engineers, Vol 33, 1955, pp 93-110.
- [28]. Silvester, R., and Mueller, N. H. G., "Design Data for the Liquid - Liquid Jet Pump", *Journal of Hydraulic Research*, Vol 6, No. 2, 1968, pp 129-162.
- [29]. Wakefield, A. W., "Practical Solids - Handling Jet Pumps", Proceedings, *Symposium on Jet Pumps and Ejectors*, London, 1972, pp 183-202.
- [30]. Stepanoff, A. J., "Gravity Flow of Bulk Solids and Transportation of Solids in Suspension", Wiley, New York, 1969.
- [31]. Weisman, R. N., and Lennon, G. P., "A Design Manual for Coastal Fluidization Systems", Proceedings of Coastal Practice '92, American Society of Civil Engineers, 1992, pp 862-877.
- [32]. Lennon, G. P., Chang, F. T., and Weisman, R.N., "Predicting Incipient Fluidization of Fine sand in Unbounded Domains" , *Journal of Hydraulic Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol 116, No. HY12, 1990, pp 1454-1467.
- [33]. Richardson, T. W., and McNair, E.C., "A Guide to the planning and Hydraulic Design of Jet Pump Remedial sand Bypassing Systems", Instruction Report HL-81-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1981.
- [34]. Shore Protection Manual, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Ms, 1984.



- [35]. Headquarters, U.S. Army Corps of Engineers, "Sand Bypassing", Engineer Manual 1110-2-1616, Washington, DC, 1991.
- [36]. Eckert, J., and Callender, G., "Geotechnical Engineering in the Coastal Zone", Instruction Report CERC-87-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1987.
- [37]. Kelley, J.T., "Fluidization Applied to Sediment Transport", Master's thesis, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1977.
- [38]. Weisman, R. N., and Collins, A.G., "Stabilization of Tidal Inlet Channels- Design Recommendations", Fritz Engineering Laboratory Report No.7103, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1979.
- [39]. Weisman, R, N, Collins, A. G., and Parks, J.M., "Maintaining Tidal Inlet Channels by Fluidization", *Journal of Waterway, port, Coastal and Ocean Division*, American Society of Civil Engineers, Vol 108, No.WW4, 1982, pp 526-538.
- [40]. McNown, J. S. 1953 (Aug). "Mechanics of Manifold Flow", Proceedings of American Society of Civil Engineers, Vol 79, No. 258, pp258-1 – 258-22.
- [41]. El Gohary, R. and El Gohary, T., "Environmental Impact Assessment (EIA) Guidelines for Development of Ports, Harbours and Marines along Egyptian Mediterranean Coast-A Case Study", 2017.
- [42]. Hyder Consulting Pty Ltd, Patterson Britton Partners Pty Ltd and WBM Oceanics Australia Joint Venture., "Tweed river entrance sand bypassing project permanent bypassing system, Environmental Impact statement study", 1997.
- [43]. US Army Corps Of Engineers., "ENVIRONMENTAL ASSESSMENT, MYRTLE BEACH STORM DAMAGE REDUCTION PROJECT City of Myrtle Beach - Reach 2", Horry County, South Carolina, 2018.
- [44]. Vidal, R., Vanoord, G., "Environmental Impacts In Beach Nourishment: A Comparison Of Options", 2010.
- [45]. Peterson, C.H. and Bishop, M.J., "Assessing the environmental impacts of beach nourishment. AIBS Bulletin", 55(10), 2005, pp.887-896.
- [46]. Environmental Impact Assessment Guidance Manual, Ports and Harbors, Ministry of Environment & Forests, GOVERNMENT OF INDIA, NEW DELHI, 2009.
- [47]. Assessment of the environmental impact of port development, Economic and social commission for Asia and Pacific, UNITED NATIONS, New York, 1992.
- [48]. Lawson, S., McMahon, J. and Boswood, P., "Environmental management of the construction and operation of a sand bypassing system at the Tweed River entrance". In *Coasts & Ports 2001: Proceedings of the 15th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference, the 8th Australasian Port and Harbour Conference*, Institution of Engineers, Australia, 2001, p. 322.

[۴۹]. "لایروبی، راهنمای ارزیابی اثرات زیست محیطی، وزارت راه و شهرسازی"، پژوهشکده حمل و نقل.

[۵۰]. "استاندارد کیفیت آب‌های ایران"، سازمان حفاظت محیط زیست، معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب و خاک، ۱۳۹۵.

[۵۱]. شاعری، محمد علی، رحمتی، علیرضا، "قوانین، مقررات و استانداردهای محیط زیست انسانی"، ۱۳۹۱.



## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از پنجاه سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می باشد.



## **Abstract**

In recent decades, extensive developments have been carried out on the southern and northern coasts of Iran for the use of ports and maritime, urban, mining, industry, agriculture, tourism and defense. Many of these developments have been associated with the construction of coastal structures such as breakwaters and jetties. The interaction of this type of structures with the coast has disrupted the natural process of sediment transport in these areas. This issue has led to environmental problems such as accumulation of sediments upstream and coastal erosion downstream of the structure. In addition, it has caused operational problems such as accumulation of sediment in port's entrance, inlets and port's navigational channel and also damage to structures in eroded areas. One of the famous methods in the field of control and reduction of harmful effects due to the interaction of coastal structures with sediment dynamics is the sand bypassing. Sand bypassing system can be an effective solution to solve sedimentation problems at the mouth of ports and erosion downstream.

In the first chapter of this guide, sand bypassing systems and their performance are introduced. Information and specifications related to successful global examples of these systems are presented in the second chapter. Chapter 3 presents the translation of two guides for design of sand bypassing and fluidizer systems:

- A Guide to the Planning and Hydraulic Design of Jet Pump Remedial Sand Bypassing Systems
- Fluidizer System Design for Channel Maintenance and Sand bypassing

The principles of environmental impact assessment of sand bypassing systems in the phases of construction and operation are presented in the fourth chapter.



**Islamic Republic of Iran  
Plan and Budget Organization**

# **Guidelines for the Design of Sand Bypassing Systems**

**No 852**

Deputy of Technical and Infrastructure  
Development Affairs

Ports & Maritime Organization

Department of Technical and Executive  
Affairs, Consultants and Contractors

Department of Technical and  
Infrastructure Development Affairs

**nezamfanni.ir**

**pmo.ir**

**2022**





## این نشریه

با عنوان «راهنمای سیستم های گذردهی رسوب» در راستای معرفی و آشنایی با سیستم های گذردهی رسوب و طراحی و ارزیابی اثرات زیست محیطی این سیستم ها در چهار فصل و سه پیوست تدوین شده که شامل: معرفی سیستم های گذردهی رسوب ، آشنایی با سیستم های گذردهی رسوب، دستور العمل طراحی سیستم های گذردهی رسوب و بررسی و ارائه مبانی ارزیابی های محیط زیستی سیستم های گذردهی رسوب می باشد.