

# بسم ... الرحمن الرحيم

## مقدمه :

پنجمین همایش جهانی آب که در استانبول ترکیه برگزار شد فرصتی فراهم آورد که با هماهنگی آقای مهندس فتاح وزیر محترم نیرو که در آنجا حضور داشتند بازدید از تونل مرمری داشته باشیم. عمیق ترین تونل زیرآبی دنیا که برای عبود از تنگه بسفر در حال احداث می باشد. جذابیت موضوع و سابقه ای که اینجانب در مطالعه تونلهای زیرآبی در دوران دفاع مقدس داشتم سرآغازی برای تهیه این گزارش و ارائه آن تحت عنوان " روشهای احداث تونلهای غرقابی " در انجمن تونل ایران گردید. همانطور که در متن این نوشتار به آن اشاره شده است تاریخچه این نوع تونلها در جهان به سال 1894 برمی گردد که برای نخستین بار در کشور امریکا برای انتقال فاضلاب ساخته شد. در ایران سابقه مطالعات در دسترس، مربوط به عبور از رودخانه کارون حدفاصل تقاطع کارون - بهمنشیر و کارون - اروند است که توسط مهندسین مشاور اندیشکار و همکاری آقایان دکتر ارسالان قهرمانی و دکتر محمدحسن کدیور صورت گرفته است.<sup>(1)</sup> لیکن تاکنون به مرحله اجرا نرسیده است. مورد دیگر مطالعه تونل پهل - لافت برای ارتباط بین جزیره قشم و بندرعباس از طریق عبور در محدوده تنگه خوران است که توسط مهندسین مشاور ساحل انجام شده است و تونل غرقابی به عنوان یک گزینه بررسی و به دلیل عمق و صعوبت اجرا رد شده است. از اینرو در این تحقیق سعی بر این بوده است که با ارائه دو نمونه از پروژه های اجرائی مشابه که دارای پیچیدگی و صعوبت بیشتری نسبت به موارد فوق را دارد، تأکیدی مجدد بر امکان پذیری و توجیه دار بودن گزینه غرقابی در محل های مطالعه شده باشد. و بتواند مسئولین امر را در اتخاذ تصمیم مناسب کمک کند و در آینده نزدیک با همت و تلاش متخصصین امر شاهد عملیاتی شدن طرحهای اشاره شده باشیم و مردم عزیزمان از نتایج آن بهره مند گردند. در پایان لازم است از آقای مهندس مرتضی همزه که زحمت جمع آوری عمده مطالب این گزارش را عهده دار بودند و همچنین آقای مهندس جعفر انیسی که ویراستاری آن را انجام داده اند تشکر و قدردانی نمایم.

## ابوالقاسم مظفری

1- گزارش کامل این مطالعات تحت عنوان " تونل زیر رودخانه کارون در خرمشهر " در مجموعه مقالات دومین سمینار تونل سازی (26-30 آبان 1364) درج شده است.

## فهرست مطالب

### راهکارهای مختلف برای عبور از رودخانه ها و گذرگاههای آبی

- 1- پل ها
- 2- تونل های شناور
- 3- تونل های زیر آبی
- 4- تونل های غرقابی

### انواع تونلهای غرقابی

- 1- تونل های غرقابی بتنی
- 2- تونل های غرقابی فلزی

### مراحل اجرای تونل های غرقابی

- 1- ساخت قطعات پیش ساخته
- 2- حفاری و آماده سازی ترانشه در بستر رودخانه
- 3- شناور نمودن قطعات به سمت محل اجرا
- 4- غرقاب نمودن قطعات
- 5- پی سازی
- 6- خاکریزی روی قطعات تونل

### آببند نمودن قطعات

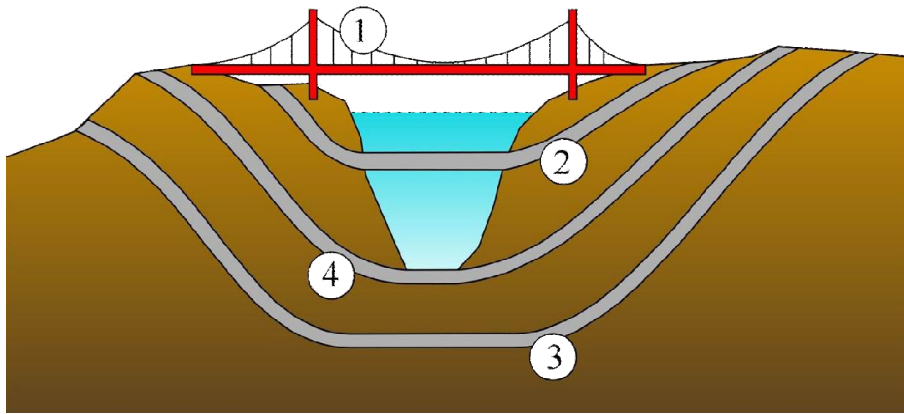
### مطالعه موردی تونل های مرمری و بوسان

### عوامل خارجی و شرایط موثر در انتخاب روشهای طراحی و ساخت

### لایروبی و خاکبرداری و اثرات اکولوژی و محیط زیستی آن

### راهکارهای مختلف برای عبور از رودخانه ها و گذرگاههای آبی

- 1- پل ها
- 2- تونل های شناور
- 3- تونل های زیر آبی
- 4- تونل های غرقابی



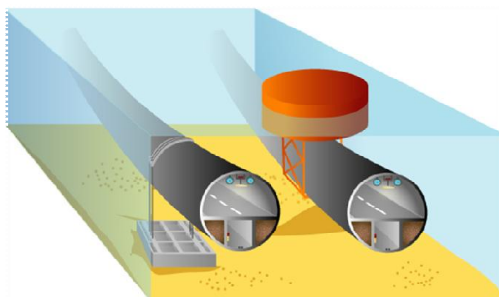
1- پل ها



## 2- تونل های شناور (Submerged Floating Tunnel)

تونل های شناور، تونل هایی هستند که به واسطه نیروی ارشمیدس قابلیت شناوری در آب را دارند. این تونل ها در زیر آب و در عمقی که مانع از تردهای دریایی نشوند (در عمق بین 20 الی 50 متر) قرار می گیرند. گزینه ساخت تونل های شناور شباهت زیادی به ساخت تونل های غرقابی دارد. با این تفاوت که مقدار بالاست محاسبه شده برای آن در حدی است که تعادل هیدروستاتیکی برقرار شود (چگالی کلی سازه با چگالی آب برابر باشد)، به نحوی که با افزایش مقدار بالاست، این تونل ها به سمت غرقاب شدن تمایل داشته باشد و توسط شناور ها مهار شوند و در صورتیکه چگالی آنها در مقایسه با آب کمتر باشد، سازه توسط کابل، به کف بستر مهار شوند.

گزینه استفاده از تونل های شناور در شرایطی مطرح می شود که عمق آب زیاد باشد و احداث پل یا تونل به لحاظ فنی امکان پذیر نبوده و یا هزینه بالایی را به همراه داشته باشد. از طرفی این تونل ها ممکن است در هنگام ساخت تحت تأثیر ترافیک دریایی قرار



بگیرند. لازم به ذکر است که این گونه تونل ها هنوز ساخته نشده اند و تنها چند گزینه مطالعاتی ارائه شده است.

### تونل Transatlantic

این تونل یک طرح اولیه ای است که در آن آمریکای شمالی و اروپا توسط یک تونل شناور به یکدیگر متصل می شود و ترانزیت کالا و عبور و مرور نفرات با استفاده از این تونل راه آهن انجام می شود. طراحی این تونل تنها در حد فاز صفر مطالعات بوده و هنوز هیچ اقدامی در این خصوص صورت نگرفته است.



این طرح تونل بین دو کشور آمریکا و انگلیس می باشد. مهمترین عامل متوقف کننده اجرای این تونل هزینه (که بالغ بر 12 تریلیون دلار) و دانش مصالح ای که باید استفاده شود، می باشد. طول این تونل حدود 5500 کیلومتر (یعنی حدود 215 برابر) و هزینه اجرای آن نیز 3000 برابر طولانی ترین تونل ها است.

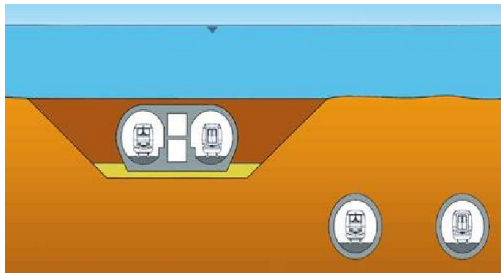
### 3- تونل های زیر آبی

تونل های زیر آبی تونل هایی هستند که یا بخشی از آن و یا کل آن زیر آب ساخته می شود. از این روش زمانی استفاده می شود که امکان ساخت پل و یا راه اندازی حمل و نقل آبی به راحتی امکان پذیر نباشد

#### مزایای تونل های زیر آبی

با احداث این تونل ها هیچ تغییری در ترافیک دریایی ایجاد نمی شود در صورتیکه ساخت پل های کم ارتفاع این مشکل را به همراه دارد و نیاز به احداث یک دهانه عبوری، یک پل گردان و یا دیگر گزینه ها می باشد.

با احداث پل نمی توان از روی فواصل آبی زیاد گذر کرد، در صورتی که با استفاده از تونل های زیر دریایی این امکان وجود دارد.



#### معایب تونل های زیر آبی

- در مقایسه با پل ها هزینه ساخت و ایمن سازی آن بیشتر می باشد لذا برای مسیرهای کوتاه اقتصادی نیست

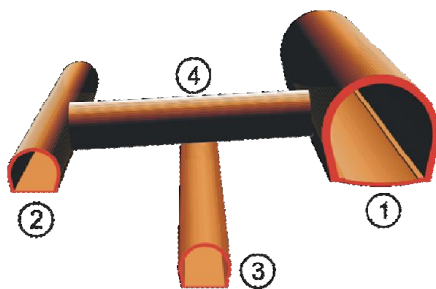
- در مقایسه با حمل و نقل دریایی هدایت و راه اندازی

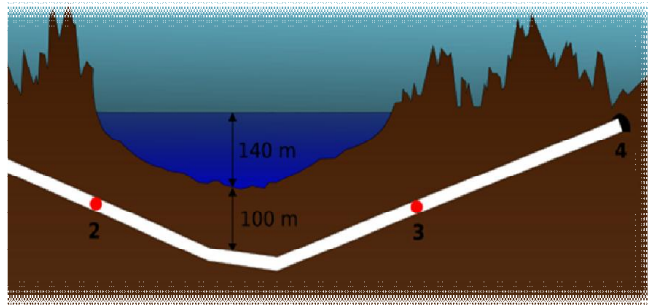
سیستم دریایی ارزانتر و راحت تر می باشد.

#### تونل سیکان (Seikan)

تونل راه آهن Seikan 85/53 کیلومتر طول دارد که 3/23 کیلومتر آن از زیر دریا می گذرد. این تونل بلندترین و عمیق ترین تونل زیر دریایی جهان است که جزیره Honshu را با عبور از زیر تنگه Tsugaru به جزیره Hokkaido وصل می کند.

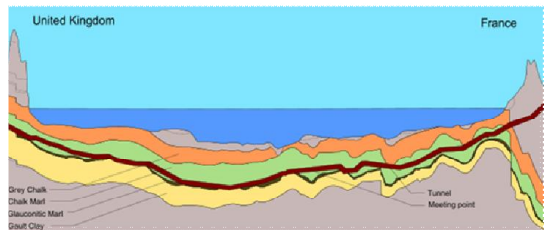
تونل راه آهن Seikan از یک تونل اصلی، یک تونل سرویس، یک تونل پایلوت و گالری های اتصالی تشکیل شده است.





### تونل مانش

این تونل زیرآبی با طول 5/50 کیلومتر، دو کشور انگلیس و فرانسه را به یکدیگر متصل نموده است. عمیق ترین بخش این تونل ها 75 متر زیر تراز کف کانال می باشد.



### 4- تونل های غرقابی

تونل های غرقابی تونل هایی هستند که در محلی دور از موقعیت اجرا ساخته شده و پس از انتقال به موقعیت تونل به یکدیگر متصل می شوند. از این تونل ها معمولاً برای عبور از رودخانه ها، خلیج های کوچک، بنادر و گذرگاه های آبی استفاده می شود. این تونل ها معمولاً با انواع دیگر تونل ها همانند تونل های Cut & Cover و تونل های حفاری شده همراه هستند تا بوسیله آنها به سطح زمین راه یابند. تونل های غرقابی معمولاً در ترانشه هایی که در بستر آبی، حدفاصل سازه هایی که در خشکی قرار گرفته اند نصب می شوند.



### تاریخچه

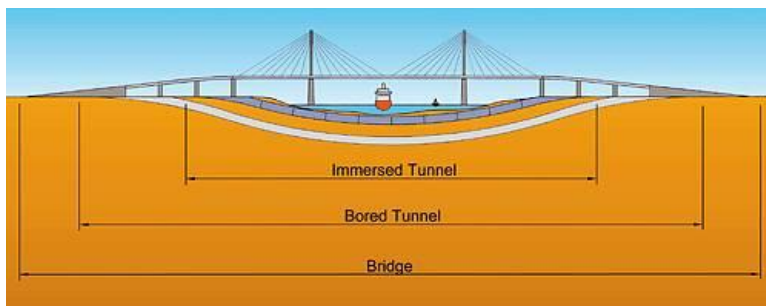
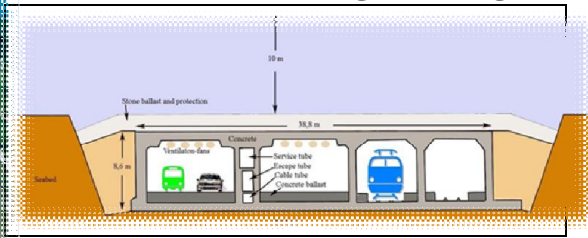
- اولین تونل غرقابی در سال 1894 و به منظور انتقال فضلاب در آمریکای شمالی ساخته شد.



- اولین تونل غرقابی ترافیکی راه آهن در خط آهن میشیگان آمریکا طی سالهای 1906 الی 1910 احداث شد

- در اروپا، هلند اولین کشوری بود که از این تکنیک استفاده نمود و تونل Mass در سال 1944 افتتاح گردید.

- در آسیا، ژاپن اولین کشوری بود که از این تکنیک استفاده کرد و تونل های راه دوفلو در Osaka (تونل Aji River) اولین تونل های غرقابی در آسیا بودند. در حال حاضر تونل غرقابی San Francisco که از 57 قطعه 110 متری ساخته شده طولانی ترین تونل غرقابی اجرا شده می باشد.



### مزایای تونل های غرقابی

مزایای اصلی تونل های غرقابی این است که هزینه احداث آنها در مقایسه با گزینه های دیگر همچون تونل های زیر آبی و احداث پل کمتر می باشد.

از دیگر مزایای آن عبارتند از:

- سرعت بالای ساخت.
- ایجاد حداقل اختلال برای رودخانه ها یا گذرگاه های آبی در صورتیکه مسیر تردد کشتی ها باشد
- مقاوم در برابر زلزله با بکارگیری تمهیدات خاص
- ایمنی در ساخت (به عنوان مثال برخلاف حفاری تونل در زیر سطح آب، کار در یک بارانداز خشک انجام می شود).
- انعطاف پذیری قطعات (این در واقع عاملی است که امکان اتصال قطعات تونل به یکدیگر را فراهم می نماید).



### معایب تونل های غرقابی

این تونل ها نسبت به تونل های زیر آبی از آسیب پذیری بیشتری برخوردار می باشند و امکان تخریب دیوارها و سقف آن وجود دارد.

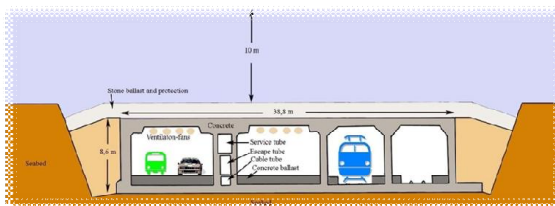
- این تونل ها با پوشش کم (معمولاً به همراه پوشش سنگی و وضعیت طبیعی) در بستر رودخانه قرار دارند و غرق شدن گشتی ها و یا لنگر انداختن آنها ممکن است این تونل ها را تحت تأثیر قرار دهد.
- آب بند کردن قطعات باید به دقت انجام شود و به عنوان نقاط ضعف این تونل ها محسوب می شود.
- تماس قطعات نیاز به طراحی دقیق اتصالات دارد تا اثرات و نیروهای طولی بین اتصالات برداشته شود.
- اثرات زیست محیطی منفی بر روی بستر کانال یا رودخانه دارد.



## انواع تونل‌های غرقابی

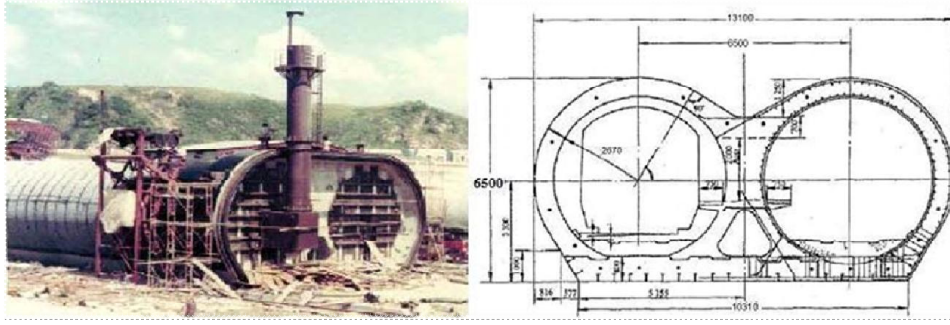
### - تونل‌های غرقابی بتنی

تونل‌های غرقابی بتنی تونل‌هایی هستند که از اتصال قطعات پیش ساخته بتن‌های مسلح که در یک بار انداز و یا حوضچه‌های مخصوصی ساخته می‌شوند تشکیل شده‌اند.



### - تونل‌های غرقابی فلزی

تونل‌های غرقابی فلزی تونل‌هایی هستند که از سازه‌های مرکب فلزی و بتنی ساخته شده‌اند. فلز بکار گرفته شده در این تونل‌ها سهم قابل توجهی در آییند نمودن سازه دارد. قطعات تونل‌های فلزی معمولاً در محوطه‌های گشتی سازی ساخته می‌شوند و بیشتر اجزاء بتنی این قطعات پس از به آب انداختن آنها اجرا می‌شود.



تا دو دهه اخیر انتخاب سازه بتنی یا فلزی معمولاً با توجه به تجارب قبلی کشورهای متفاوت بود. به عنوان نمونه در قاره آمریکا اکثراً از پوسته های فلزی، در غرب اروپا از تونل های بتنی و در شرق آسیا از هر دو گزینه استفاده می شد.

تنها در دو دهه اخیر از روشهای مقایسه ای برای انتخاب گزینه بهینه استفاده می شود. مواردی که در انتخاب نوع تونل غرقابی می تواند موثر می باشند عبارتند از:

- امکانات و نوع تجهیزات

- دریایی موجود

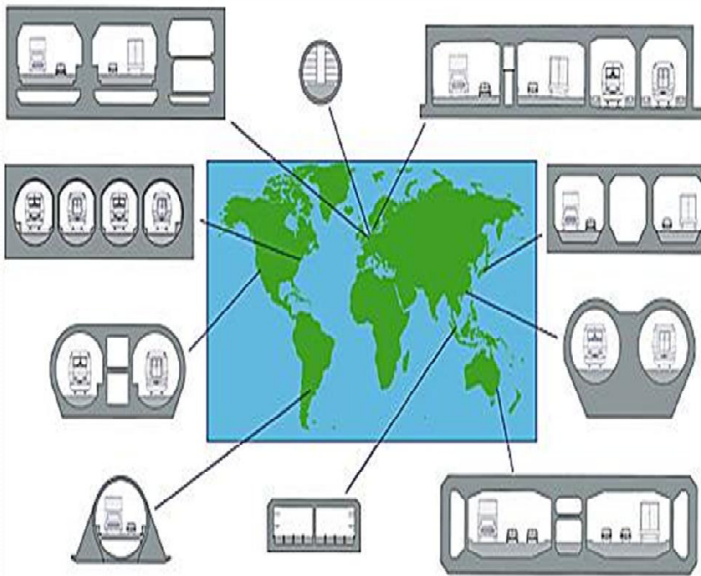
- نوع مصالح موجود

- روشهای کاری پیمانکاران

- موانع زیست محیطی

- زمان بندی

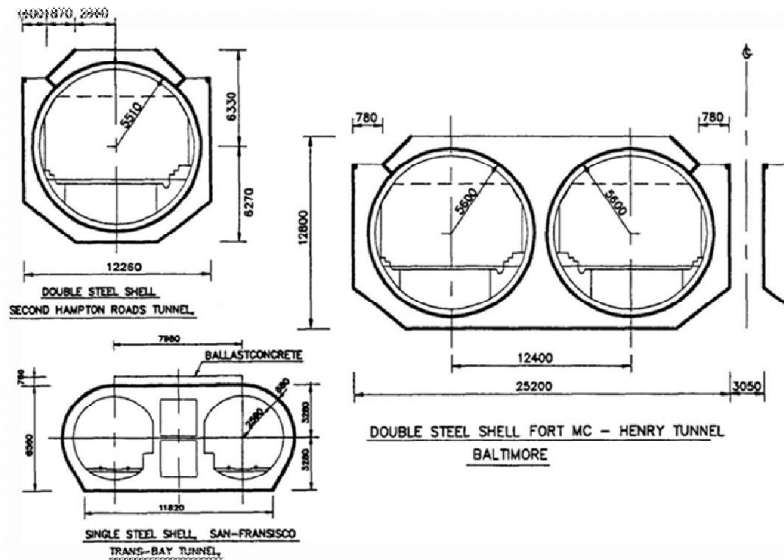
- ساختگاه پروژه و غیره



### تونل های غرقابی فلزی

سطح مقطع تونلهای فلزی به صورت دایره ای است که با توجه به تعداد خطوط رفت و آمد ممکن است از یک مقطع دایره ای و یا مقاطع دوقلو تشکیل شده باشد. مقاطع دایره ای با توجه به اینکه قابلیت باربری بالایی دارند اقتصادی تر هستند. ساختار این تونل ها از یک قشای نازک فولادی تشکیل شده که توسط یک رینگ بتنی پوشیده شده است. وزنه تعادل آن نیز به صورت بتنی در بیرون از پوسته و در فرورفتگی های ایجاد شده بین ساختار قشایی قرار می گیرد. از مزایای این تونل ها امکان در نظر گرفتن فضا جهت تعبیه مسیرهای ورود و خروج هوا و یا سرویس بین مقاطع زیرین تونل و زیر اسلب عبوری می باشد.

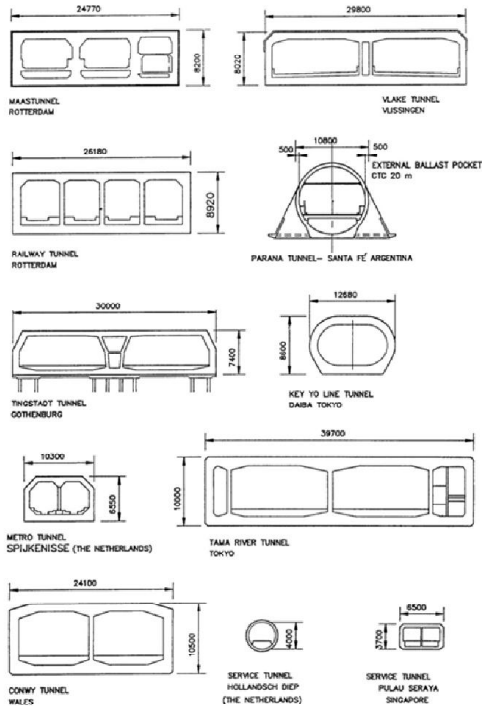




### انواع تونلهای غرقابی

#### تونل های غرقابی بتنی

تونل های بتنی سازهایی هستند که تنها از بتن ساخته شده اند. سطح مقطع اکثر تونلهای غرقابی بتنی به صورت مستطیلی است که برای تونل های ترافیکی از مسیرهای رفت و برگشت استفاده می شود. سطح مقطع این تونل ها ممکن است با تعبیه مسیرهای تهویه و یا تونل های سرویس افزایش یابد. مستطیلی بودن سطح مقطع تونل بهترین فضا را برای مسیرهای ترافیکی با توجه به انطباق بین مقاومت و وزن مقطع ایجاد می نماید. ضمن اینکه ساخت قطعات پیش ساخته مستطیل شکل راحت تر از دیگر مقاطع می باشد.



### سوابق مطالعات در ایران

#### پروژه تونل خلیج فارس

پروژه تونل خلیج فارس ارتباط بین جزیره قشم و بندر عباس را با عبور از زیر تنگه خوران برقرار می نماید. تنگه خوران حد فاصل بندر پل و بندر لافت قرار گرفته و عرض آن حدود 2500 متر می باشد.

گزینه هایی که مورد بررسی قرار گرفته اند عبارتند از:

- احداث پل
- حفر تونل زیر آبی
- حفر تونل غرقابی



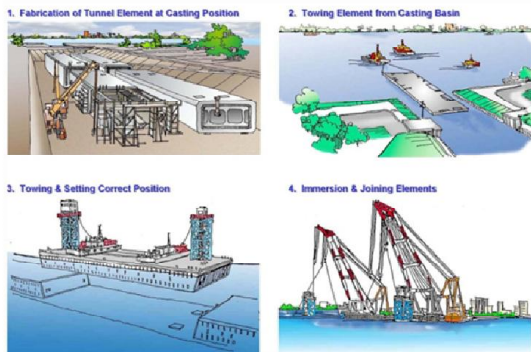
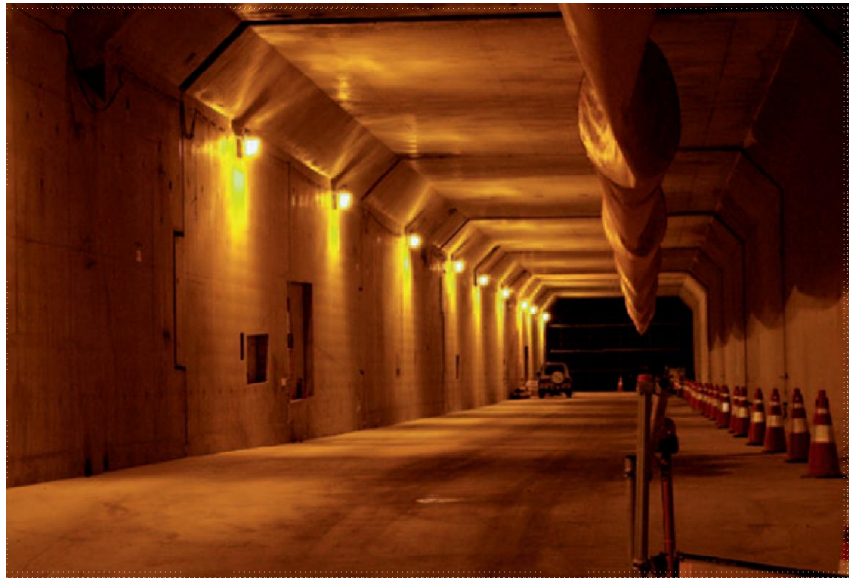


در این مطالعات با توجه به اینکه عمق آب در برخی نواحی به 30 متر می رسد گزینه تونل غرقابی منتفی گردید و دو گزینه تونل زیر آبی و پل در دست بررسی و مطالعه نهایی قرار گرفت.

در مورد گزینه تونل زیر آبی نیز با توجه به ساختار کلی مسیر که از توالی لایه های ضخیم و افقی مارن و میان لایه های نازک ماسه ای تشکیل شده، حفاری مکانیزه با استفاده از ماشین سپری EPB پیشنهاد گردیده است.

### پروژه تونل زیر آبی کارون

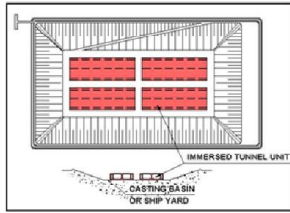
این پروژه در اوائل جنگ و با هدف عبور از زیر رودخانه کارون ، بالاتر از منطقه دارخوین عنوان گردید و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. جزییات طراحی و مشخصات این مطالعات در مجموعه مقالات اولین کنفرانس تونل ایران ارائه شده است.



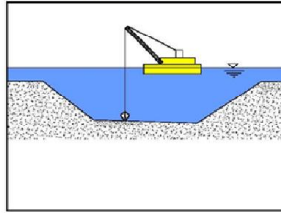
### مراحل اجرای تونل های غرقابی

- 1- ساخت قطعات پیش ساخته
- 2- حفاری و آماده سازی ترانشه
- 3- شناور نمودن قطعات به سمت محل اجرا
- 4- غرقاب نمودن قطعات
- 5- پی سازی
- 6- پوشش قطعات تونل

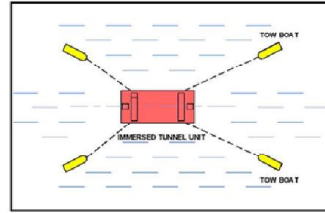
1. Fabrication of Immersed Tunnel Unit



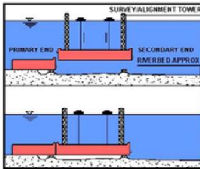
2. Dredging of Trench at the Immersed Tunnel Construction Site



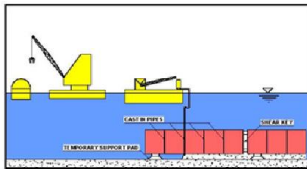
3. Towing



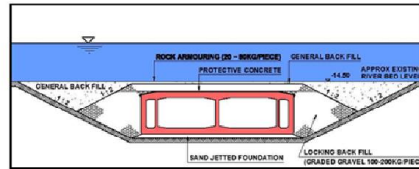
4. Immersion



5. Foundation



6. Backfilling

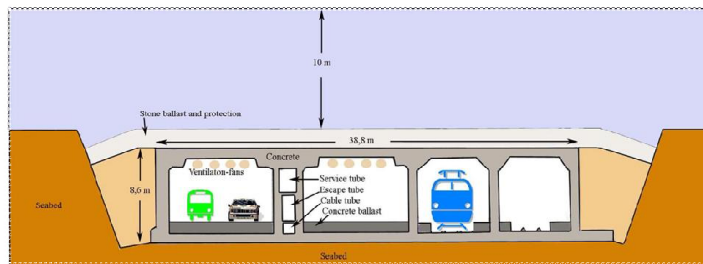


### 1-ساخت قطعات پیش ساخته

قطعات تونلهای غرقابی معمولاً در یک بارانداز و یا حوضچه های آب بندی شده مخصوص ساخته می شوند. ابعاد باراندازها معمولاً به ابعاد قطعات تونلهای غرقابی و تعداد قطعاتی که در یک مرحله ساخته می شود بستگی دارد.

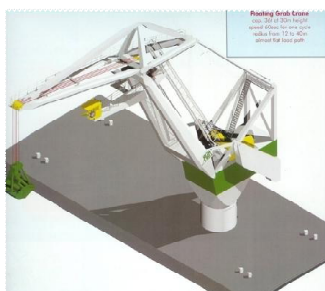
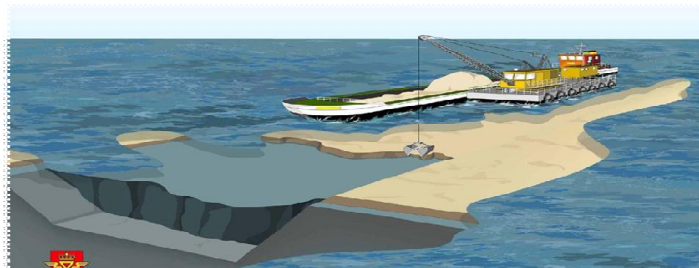


ابعاد و شکل تونل های غرقابی با توجه به نوع استفاده از آنها متفاوت است. برای تعیین شکل و ابعاد نهایی تونل، طراحان تونل باید مواردی همچون کاربرد تونل به عنوان تونل راه یا راه آهن، تعداد خطوط مستقل یا ترکیبی رفت و آمد، نوع سیستم تهویه، نحوه ساخت و دیگر موارد را مدنظر قرار دهند.

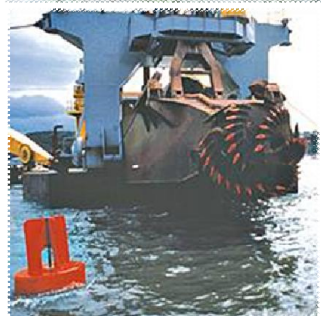




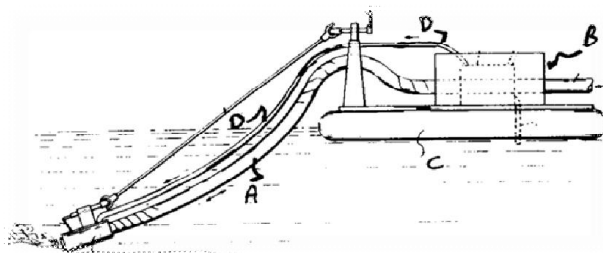
2- حفاری و آماده سازی ترانشه  
 روش ها و ماشین آلاتی که برای حفاری ترانشه ها  
 استفاده می شوند عبارتند از:  
 - Bucket dredger ( لایروب کننده باکتی): جابجایی  
 عمودی خاکهای کنده شده و ریختن آنها درون شناورها را  
 انجام می دهد.



روش ها و ماشین آلاتی که برای حفاری ترانشه ها  
 استفاده می شوند عبارتند از:  
 - Grab crane (بیل مکانیکی چنگکی)  
 - بیل مکانیکی منقاری



- Cutter or Suction dredger (لایروب کننده  
 مکشی و برنده): این دستگاه ها مصالحی که باید  
 پاکسازی شود را از کف بستر جدا کرده و به صورت  
 مکشی به درون شناور منتقل نماید.





- Dustpan dredger معمولاً برای تمیز کردن کف ترانشه استفاده میشود.

اثرات هر یک از این روشها به رفتار خاک و شرایط هیدرولیکی بستگی دارد. معمولاً مصالح ریز دانه با چسبندگی کم آلودگی های زیادی را به همراه دارد.



مواردی که در ترانشه برداری مورد توجه قرار گیرد :

- شکل و نوع ترانشه ای که حفاری میشود باید به اندازه کافی عریض و عمیق و با شیب های پایدار باشد.
- کف ترانشه باید نسبتاً صاف و هموار باشد. اختلاف زیاد در کف و زیر قطعات تونل موجب افزایش هزینه پی سازی و ممکن است موجب نشست های نامتقارن شود.
- کف ترانشه باید قبل از جا گذاشتن قطعات تونل تمیز و میزان پستی و بلندی کف آن حداکثر 15 سانتیمتر باشد.



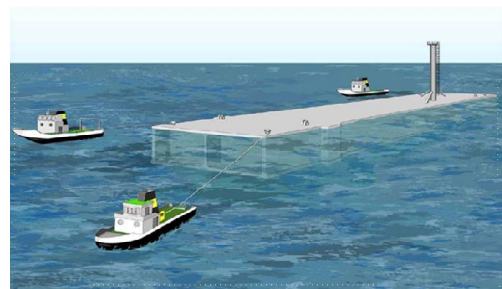
### 3- شناور نمودن قطعات به سمت محل اجرا

انتقال قطعات تونل توسط بیدک کش ها و شناورها انجام می شود. در انتقال قطعات تونل لازم است به مقاومت قطعات تونل در رودخانه، گذرگاه های آبی یا دریا و همچنین فضای کافی برای مانور قطعات توجه شود. حمل و نقل قطعات تونل بر روی دریا با حمل قطعات بر روی رودخانه یا کانال متفاوت است. حمل و نقل بر روی دریا نیاز دارد که سازه تونل توان مقابله با نیروهای حاصل از امواج را داشته باشد. برای انتقال عمودی قطعات تونل بتنی ابتدا قطعات ساخته شده به کمک آب بالاست می شوند تا هنگام آبیگری بار انداز در کف آن باقی بمانند. سپس برای شناور ساختن آنها آب استفاده شده به عنوان بالاست به بیرون از قطعات تونل پمپ می شوند.



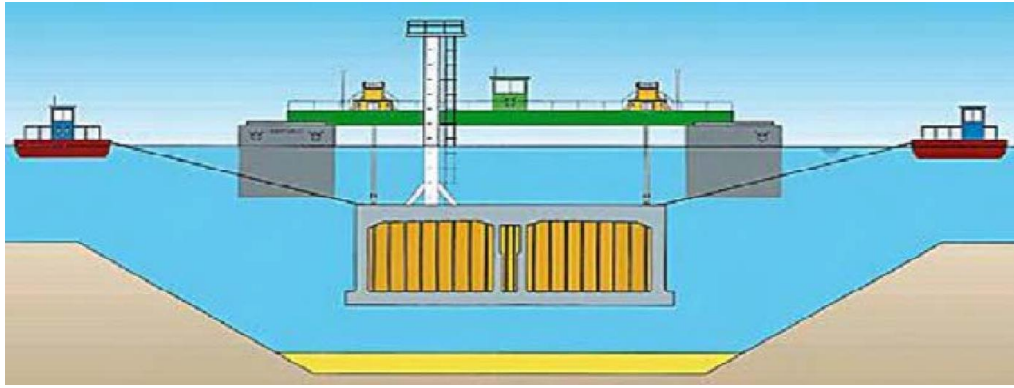
در انتقال قطعات تونل موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- عوامل خارجی موثر
- بررسی عکس العمل قطعات در برابر عوامل جوی در محل اجرا
- فضای موجود برای شناورها
- نوع و ظرفیت یدک کش ها
- سازماندهی نفرات و تجهیزات در انتقال قطعات

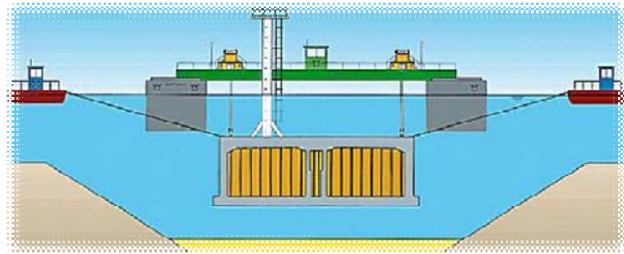


#### 4- غرقاب نمودن قطعات

غرقاب نمودن قطعات تونل شامل کارکردن با قطعات بزرگ می باشد که در آن دید مستقیم به شرایط کار وجود ندارد. اجرای موفقیت آمیز عملیات غرقاب نمودن قطعات تونل نیاز به اطلاعاتی درباره شرایط مختلف زیست محیطی، تجارب، مهارت و آگاهی از نحوه عملیاتی نمودن طراحی ها دارد. توصیه می شود در این بخش از عملیات ظرفیت و تجهیزات بکار گرفته شده بیش از ظرفیت برآورد شده و با ضرایب ایمنی بالا باشد. فرایند غرقاب نمودن بیشتر یک عملیات پرتنش برای تونل کاران محسوب می شود و در صورت اجرای تمام موارد خیلی پیچیده نخواهد بود.

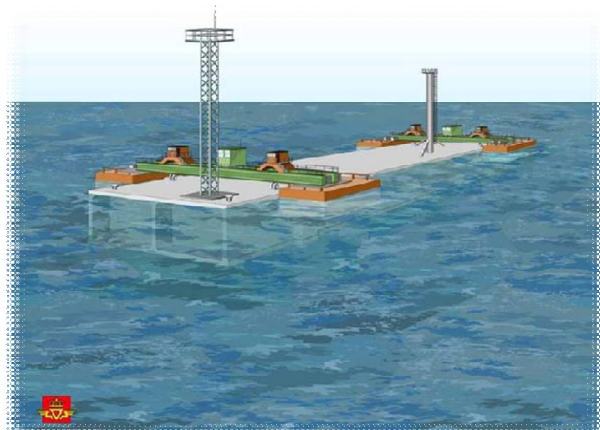


قبل از غرقاب نمودن، قطعات تونل به یک سری شناورهای خاص که معمولاً از 2 یا 4 شناور که به صورت جفت به همراه یک پل بین آنها می باشد وصل می شوند. قطعات تونل از طریق این پل ها به صورت معلق باقی می مانند. به منظور افزایش وزن قطعات تونل آنها را با استفاده از بتن اضافی و یا سنگریزه و یا تانکهای آب سنگین می کنند.



غرقاب نمودن قطعات تونل نیاز به کنترل عمودی و افقی قطعات دارد.

- کنترل عمودی قطعات تونل هنگام غرقاب نمودن آنها با استفاده از برج های تعادل که بر روی قطعات تونل قرار می گیرند و بالاست آب انجام می شود. استفاده همزمان این دو روش کنترل خیلی خوبی برای قطعات تونل فراهم می نماید.
- کنترل افقی قطعات تونل معمولاً توسط وینچ هایی که بر روی شناورها قرار گرفته و یا در سواحل رودخانه نصب شده اند انجام می شود. در مواقعی که جریان باد نسبتاً قوی باشد، لازم است تا کنترلهای بیشتری انجام شود.



وقتی که قطعات تونل نزدیک کف آب می رسند، قبل از اینکه بر روی بستر آماده شده قرار بگیرند، در مجاورت قطعات قبلی قرار داده شده و به صورت موقت با استفاده از واشرهای لاستیکی درزبندی می شوند. درزه بندی نهایی زمانی انجام می شود که تیغه آب بند آنها برداشته می شود.



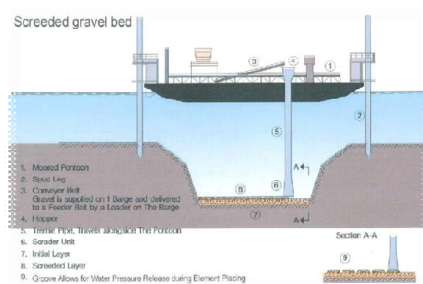
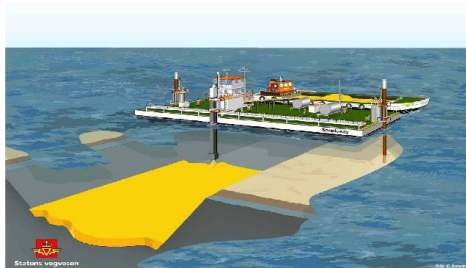
### 5- پی سازی

سه سیستم مختلف زیر برای آماده سازی پی بکار گرفته می شود.

- فرش کردن بستر ترانشه با سنگریزه

- سیستم Sand-Jet

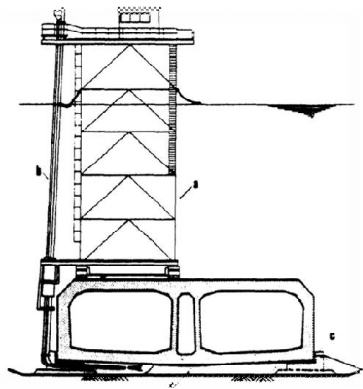
- سیستم Sand-Flow



### فرش کردن بستر ترانشه با سنگریزه

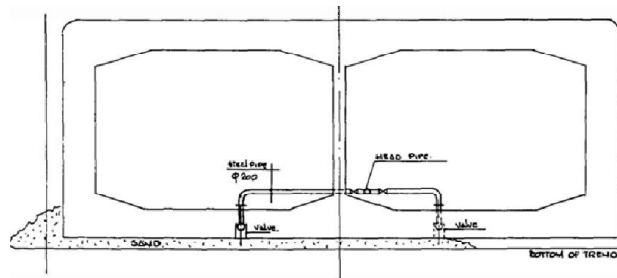
از این روش معمولاً در آمریکای شمالی و برای تونل های فلزی استفاده می شود. در این روش پس از حفاری ترانشه یک لایه از ماسه درشت و یا سنگریزه در کف ترانشه قرار می گیرد. دانه بندی مصالح باید با توجه به شرایط هیدرولیکی باشد یعنی هر چه شدت جریانها بیشتر باشد، دانه بندی مصالح درشت تر باشد. ضخامت این لایه باید حدود 70 سانتیمتر باشد. تراز نمودن این بستر سنگی از اهمیت بالایی برخوردار است، به نحوی که با توجه به شرایط موجود و تجهیزات بکار گرفته شده، دقت اجرای آن در حد 3 سانتیمتر باشد. تراز نمودن مصالح با استفاده از یک نوار شمشه مانند که از وینچ روی شناورها آویزان است انجام می شود.





### سیستم Sand-Flow و Sand-Jet

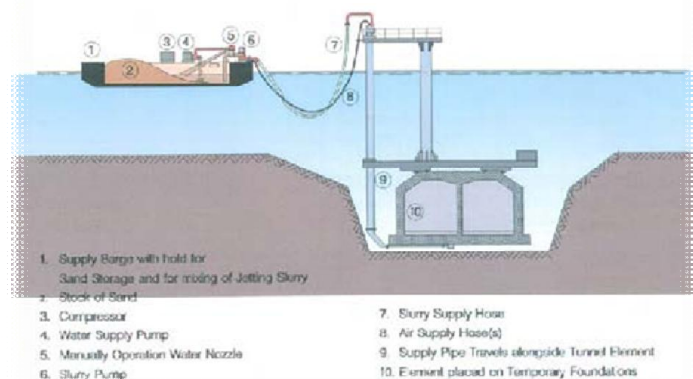
برای یک پی ماسه ای ، قطعات تونل ابتدا به صورت موقت و مستقیماً پس از غرقاب شدن روی بستر قرار می گیرند تا در موقعیت نهایی خود نصب شود. پی موقت از دالهای بتنی و یا فولادی تشکیل شده که قبل از غرقاب نمودن قطعات تونل در داخل ترانشه ایجاد شده اند. در بالای این دال ها یک سازه فولادی که از ستونها و جک هایی که به قطعات تونل متصل می باشد تشکیل شده است. این سیستمی است که امکان نصب دقیق قطعات تونل در فرایند اتصال آنها به یکدیگر را فراهم می نماید.



### - سیستم Sand-Jet

در این روش با استفاده از یک جرثقیل دروازه ای و سه خط لوله که در مجاورت هم قرار گرفته اند، فضای بین کف تونل و بستر ترانشه توسط ماسه پر می شود. نحوه کار بدین شکل است که از لوله میانه که دارای قطر بیشتری است مخلوط آب و ماسه (با یک نسبت کنترل شده) به زیر قطعات تونل پمپ می شود. دو لوله کناری نیز آب فرستاده شده را مجدداً مکش می کنند. این فرایند موجب جریان و نشست ماسه زیر قطعات تونل با یک الگوی منظم و کنترل شده می شود. وجود جرثقیل و چرخش خطوط لوله به اطراف در محور افقی این امکان را فراهم می نماید که تمام فضای زیر قطعه تونل پوشیده شود. برای جا به جایی و انتقال لوله ها به زیر قطعات تونل نیاز به یک فاصله یک متری می باشد. ماسه استفاده شده باید تمیز و متوسط ابعاد آن 5/0 میلیمتر باشد. تمرکز و سرعت خروج مخلوط ماسه و آب که مستقیماً به قطر لوله خروجی بستگی دارد باید به دقت کنترل شود.

Sand jetting

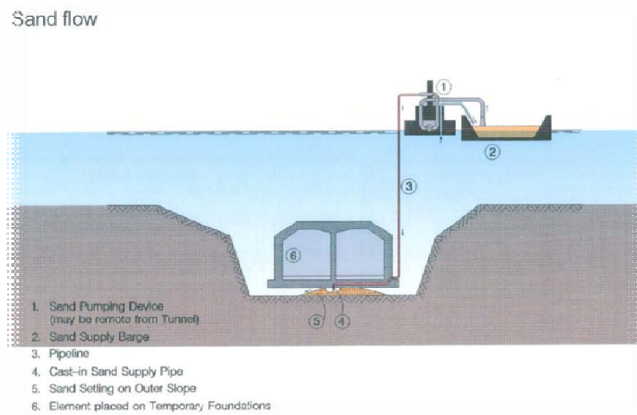


1. Supply Barge with hold for Sand Storage and for mixing of Jetting Slurry
2. Stock of Sand
3. Compressor
4. Water Supply Pump
5. Manually Operation Water Nozzle
6. Slurry Pump
7. Slurry Supply Hoses
8. Air Supply Hoses
9. Supply Pipe Travels alongside Tunnel Element
10. Element placed on Temporary Foundations

### سیستم Sand-Flow

از آنجا که استفاده از جرثقیل ممکن است ترافیک دریایی را مختل نماید، اجرای پی زیر تونل ها به روش Sand-Flow گسترش زیادی پیدا کرده است. در این روش، به جای استفاده از سیستم متحرک، چند مجرای ورودی در کف قطعات تونل ایجاد می شود. این ورودی ها به لوله هایی که یا از داخل تونل و یا از بیرون آن برای این منظور در نظر گرفته ، متصل شده و از طریق آن انتقال ماسه بین کف تراشه و تونل انجام می شود. هنگامی که خطوط لوله از داخل تونل ها به سمت مجاری ورودی منتقل شود هیچ گونه مانعی برای حمل و نقل دریایی وجود نخواهد داشت. در این روش ماسه فضای بین قطعات تونل و

بستر ترانشه را پر می کند تا حدی که ماسه پمپ شده به کف تونل برسد. این روش خیلی سریع بوده و به کمک آن می توان زیر هر یک از قطعات را در فاصله زمانی 24 ساعت پر نمود.



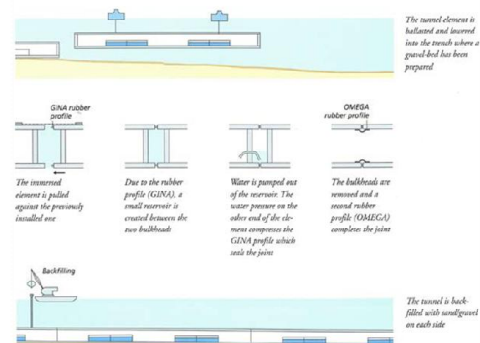
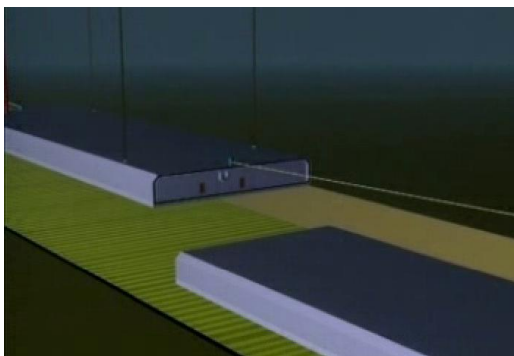
### 6- پوشش روی قطعات تونل

پس از استقرار قطعات تونل و پی سازی آنها، خاکریزی روی قطعات تونل نیز انجام می شود. معمولاً روی قطعات تونل ابتدا با یک لایه ماسه اجرا می شود سپس با توجه به موقعیت ابعاد، و وزن قطعات تونل روی آنها با خاکریزی که می تواند از سنگ ریزه و یا سنگ لاشه برای افزایش مقاومت قطعات تونل در برابر آسیب های احتمالی باشی از لنگر انداختن کشتی ها و یا غرق شدن آنها باشد استفاده شود.



### آببند نمودن قطعات

پس از اینکه قطعه تونل غوطه ور شد و توسط جکهای هیدرولیکی قوی به قطعه قبلی متصل گردید، آببند Gina تماس محیطی کاملی با قطعه مجاور خود برقرار می نماید. این درزگیرها در مراحل ساخت قطعات در انتهای هر یک از آنها نصب می شود. پس از اینکه قطعات به همدیگر متصل شدند، با نصب آببند Omega درز بین دو قطعه از درون نیز آببند می شود.



لاستیکی که برای ساخت این آببندها بکار برده می شود ترکیبی از لاستیک طبیعی (NR) و SBR یا لاستیک Styrene-butadiene است. این ترکیب خواص مکانیکی خیلی خوب با قابلیت جذب آب



عوامل خارجی و شرایط محیط پارامترهایی هستند که اهمیت ویژه ای در طراحی و ساخت تونلهای غرقابی دارند. بنابراین به منظور فهم اینکه در فازهای مختلف اجرا چه اتفاق ممکن است رخ بدهد لازم است تمام عوامل به دقت مورد بررسی قرارگیرد تا شرایط ناخواسته ای رخ ندهد. بنابراین جمع آوری و تصمیم گیری در خصوص داده های موجود و اطمینان از داده های جمع آوری شده بخشی از فرایند پروژه محسوب می شود. با توجه به شرایط موجود، این داده ها می تواند اثر قابل توجهی بر روی روش اجرا و در خیلی از موارد می تواند در خصوص تجهیزات و زمان بندی فعالیت های مختلف موثر باشد.

### عوامل خارجی و شرایط موثر در انتخاب روشهای طراحی و ساخت

عمده عوامل خارجی موثر عبارتند از:

#### 1- عوامل هیدرولیکی

- الف- جمع آوری داده و متدولوژی
- ب- سرعت و جهت جریان آب
- پ- وزن مخصوص
- ت- اثرات جذر و مد
- ث- امواج، بالا و پایین شدن سطح آب
- ج- رسوبگذاری
- چ- مدل‌های هیدرلیکی

#### 2- عوامل جوی

- الف - جمع آوری اطلاعات و هواشناسی
- ب - باد
- پ - دما
- ت - دید مناسب

#### 3- کشتی رانی و ناوبری

- الف - حرکت کشتی در طول فعالیت‌های دریائی
- ب - مکش ناشی از کشتی ها

#### 4- مطالعات خاکشناسی

- الف - جمع آوری اطلاعات و روش اجرا
- ب - حفاری ترانشه:
- پ - نشست

#### 5- زلزله

#### 1- عوامل هیدرولیکی

##### الف- جمع آوری داده و متدولوژی

جمع آوری داده ها بستگی به شرایط محلی، نیازهای پروژه و اطلاعات موجود دارد. عمده اطلاعات هیدرولیکی که مهندسين در مراحل طراحی و اجرای پروژه تونل های غرقابی به آن نیاز دارند عبارتند از:

- رفتار رودخانه، گذرگاه آبی و یا دریا در طول اجرا
- اثرات ایجاد ترانشه
- شرایط رسوب گذاری
- مشخصات و ابعاد ترانشه حفاری شده
- اثرات عملیات اجرایی بر سرعت جریان
- روش اجرای بهینه و تجهیزات متناسب با روش اجرا
- عمده مشکلاتی که در گذشته با پروژه های تونل سازی با آن مواجه شده اند بدلیل کافی نبودن اطلاعات و قضاوت افراد غیر حرفه ای بوده است.
- بیشتر مواقع ما با شرایطی مواجه می شویم که از قبل پیش بینی نشده و موجب افزایش هزینه برای کارفرما و یا پیمانکار می شود. در خیلی از موارد می توان شرایط پیش بینی نشده را با بکارگیری نفرات متخصص بر آورد نمود.

##### ب- سرعت و جهت جریان آب

جریانهای آب تاثیر به سزایی در انتخاب روش کشیدن، ساخت و غرقاب نمودن قطعات تونل دارد. برای کنترل قطعات تونل ظرفیت کشیدن، تجهیزات مورد نیاز برای غرقاب نمودن، نیروهایی که در اثر جریان ایجاد می شود را می بایست در نظر گرفت.

مواردی که می بایست در طراحی و اجرای تونل های غرقابی مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- سرعت جریان
- جهت جریان

- شکل و اندازه قطعات تونل  
 - عرض، عمق و شکل رودخانه یا سطحی که تحت تاثیر جریان قرار می گیرد.  
 به عنوان مثال: قطعات تونل 280 متری در کانالهایی غرقاب می شوند که هیچگونه جریانی در آن وجود نداشته باشد و فضای کافی برای مانور وجود داشته باشد.  
 طول قطعات در جاهایی که سرعت جریان به 5/1m/s تا 2m/s می رسد، به 140 متر محدوده می شود.  
 در مجموع قطعات تونل بالای 120 متر نیاز به تمهیدات خاصی دارند.

### پ- وزن مخصوص

از آنجا که طراحی تونل های غرقابی به صورت مستقیم با قوانین ارشمیدس در ارتباط است، و قطعات تونل در برخی پروژه ها دارای وزنی بالغ بر 45/000 تن می باشد، دانستن وزن مخصوص دقیق آب از اهمیت بالایی برخوردار است. عوامل موثر در تغییر وزن مخصوص آب عبارتند از:

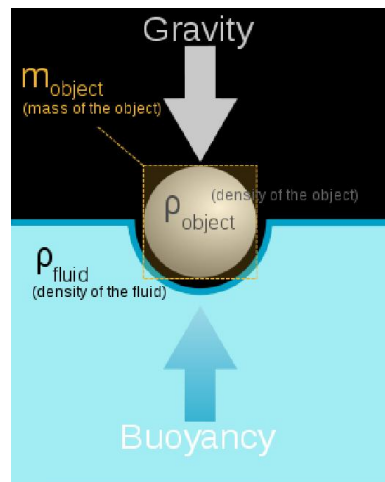
- زمان و دما با توجه به تغییر فصل

- رسوب گذاری

- غلظت نمک در آب

- عمق آب

در مجموع وزن مخصوص آب از 985/0 تا 003/1 در پروژه ها و مکانها و شرایط مختلف متغیر بوده، لذا در نظر گرفتن بازه ای از خطا در محاسبات ضروری می باشد.



### ت- اثرات جذر و مد

جذر و مد موجب تغییرات ارتفاع آب می شود و اثرات زیر را در بر دارد:  
 انتخاب و یا طراحی ابعاد محل ساخت قطعات پیش ساخته  
 حمل و نقل قطعات بر روی امواج آب  
 پروسه غرقاب نمودن با توجه به ارتفاع آب  
 ابعاد قطعات

در برخی از مواقع فاصله زمانی بین جذر و مد به یک حد بهینه ای می رسد (Tidal window) که بهترین زمان برای کارهای دریایی است

### ث- امواج، بالا و پایین شدن سطح آب

در خیلی از موارد قطعات در محدوده های حفاظت شده که امواج اندکی دارند ساخته می شوند. در این موارد، تنها اثرات امواج می بایست در کشیدن و غرقاب نمودن قطعات مد نظر قرار گیرد. هر چند در شرایط ساحلی اثرات امواج و بالا و پایین شدن تراز آب از اهمیت بالایی در طراحی آنها برخوردار است.

### ج- رسوبگذاری

رسوبگذاری، جریانهای گلی و یا حمل مواد از کف رودخانه‌ها مشکل ساز بوده و نگهداری ترانشه و کیفیت و کمیت پی و مقدار بالاستی که می‌بایست بکار برده شود را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آزمایشات نشان داده که رسوبگذاری برای هر رودخانه متفاوت بوده و به شرایط محلی آن بستگی دارد. اما در صورتی که اثرات رسوبگذاری بررسی و مطالعات کافی در مورد آن انجام و اقدامات پیش‌گیرانه مدنظر قرار گیرد (به عنوان نمونه شیوه تمیزکاری ترانشه و آماده‌سازی نهایی پی) این مورد مشکل ساز نخواهد بود.

دلایل اصلی رسوبگذاری عبارتند از:

- کاهش ناگهانی سرعت جریان در ترانشه که ممکن است موجب رسوبگذاری مصالح حمل شده شود.
- ته نشین شدن رسوبات معلق در آب تازه به صورت یک لایه نازک گلی هنگامی که با آب های شور مواجه می‌شوند و تحکیم لایه‌ها روی همدیگر انباشته شده بدنبال جذب و مدهای متوالی. بنابراین ممکن است رسوب گذاری به دفعات انجام شود
- حمل و جابجا شدن مصالح موجود در کف بستر تحت تأثیر جریانهای با سرعت زیاد. این مصالح به راحتی در ترانشه حفاری شده رسوب می‌کند.
- تغییر مقدار رسوبگذاری بدلیل ایجاد تغییرات در بستر رودخانه. به عنوان مثال حفاری پی تونل های غرقابی تمرکز رسوبات در بخش‌های دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- عموماً رخ دادن جریانهای گلی و رسوب گذاری را می‌توان پیش بینی نمود، اما کیفیت و کمیت رسوبات در رودخانه‌ها قابل پیش‌بینی نیست. در این خصوص توصیه می‌شود بدلیل اهمیت بالای آن در اجرای پروژه و بخصوص اجرای پی ترانشه از نظر متخصصین استفاده شود.
- از دیگر مواردی که می‌بایست مورد توجه قرار داد: یخ زدن رودخانه، جلبکهای دریایی، صدفهای دریایی است.

### چ- مدل‌های هیدرلیکی

به منظور برآورد و تعیین تأثیر شرایط هیدرولیکی در روش ساخت انجام تست های هیدرولیکی در آزمایشگاه اطلاعات قابل توجهی را به همراه خواهد داشت. از نتیجه این آزمایشات می‌توان برای تخمین نیروهای موثر بر قطعات تونل و رفتار قطعات تونل را در شرایط خاص برآورد نمود.

### 2- عوامل جوی

از آنجا که شرایط جوی، شرایط دریانوردی را تحت تأثیر قرار می‌دهد بنابراین باید به آن توجه خاصی شود. شرایط جوی می‌تواند اثر مستقیم بر روی پروژه های دریایی داشته باشد. بنابراین با توجه به حساسیت روش های اجرایی دریایی و مخاطرات ناشی از تاخیر و یا به تعویق افتادن ناگهانی مراحل غرقاب نمودن قطعات تونل، ممکن است لازم باشد یک ایستگاه هواشناسی در موقعیت پروژه نصب شود.

عوامل جوی موثر عبارتند از:

الف - باد

ب - دما

پ - دید مناسب

### الف - باد

باد ممکن است اثر قابل توجهی بر روی عملیات اجرایی با توجه به تجهیزات مورد استفاده داشته باشد. به عنوان مثال جریان باد زیاد هنگام غرقاب نمودن ممکن است خطرناک باشد.

### ب - دما

دما نیز هنگامی که کاهش یابد موجب مه گرفتگی و کاهش دامنه دید می‌شود. ضمن اینکه کار کردن در محیط های یخ بندان بدلیل سرمای زیاد مشکل است و کار با تجهیزات، کابلها و غیره را غیر ممکن می‌سازد.

### پ - دید مناسب

یکی از موارد مهمی که ممکن است موجب توقف عملیات اجرایی شود دید ضعیف در شرایط مشکل و غیرقابل پیش بینی می‌باشد. هرچند امکان استفاده از سیستم های مختلف جهت بهبود دامنه دید وجود دارد، اما هزینه بر بوده و می‌بایست موارد زیر را در بکارگیری آنها مد نظر قرار داد.

- تعداد دفعاتی که دید ضعیف می‌شود.

- تعداد قطعات تونلهایی که باید نصب شود.

- خطرات و نتایج حاصل از به تاخیر انداختن عملیات های دریایی پروژه
- اثرات اقتصادی تاخیرات بر روی محیط های دربرگیرنده.

### 3- کشتیرانی و ناوبری

#### الف - حرکت کشتی در طول فعالیتهای دریایی

بیشتر تونلهای غرقابی در مسیرهای آبی که کشتی های سنگین هستند ساخته می شوند. بنابراین عملیاتی که حرکت کشتی ها را تحت الشعاع قرار می دهد باید به حداقل رساند. این عملیات ها عبارتند از:

لایروبی و حفاری ترانشه  
غرقاب نمودن

آماده سازی پی و خاکریزی روی آن  
بنابراین در فاز اول طراحی و قبل از آماده سازی اسناد مناقصه، مجوزهای لازم باید اخذ شود.

#### ب - مکش ناشی از کشتی ها

حرکت کشتی ها می تواند قطعات تونل را تحت تاثیر قرار دهد. در برخی شرایط، عبور کشتی از روی قطعات تونل یک اثر مکشی بر روی قطعات تونل دارند. این رفتار به عوامل زیر بستگی دارد:

- ابعاد کشتی
- ابعاد قطعات تونل
- سرعت عبور کشتی
- فاصله بین کشتی و قطعات تونل
- لنگر انداختن کشتی

### 4- مطالعات خاک شناسی

مطالعات و بررسی های کاملی باید در خصوص ظرفیت باربری بستر تونل ها انجام شود. معمولاً از آنجا که وزن خود تونل کمتر از خاکی است که جابجا شده است شرایط خاک یا سنگ مورد نظر خیلی بحرانی نیست.

مواردی که باید در این خصوص بررسی شوند عبارتند از:

- وضعیت زمین شناسی محدوده مورد نظر از دیدگاه های مختلف
- چه کارهایی ممکن است شرایط خاک منطقه را تحت تاثیر قرار دهد.
- آیا تشکیلات سنگی در این محدوده وجود دارد.

#### الف - حفاری ترانشه

برای تعیین شیب ترانشه و روش حفاری آن، آزمایشاتی برای تعیین پایداری ترانشه باید انجام شود. پس از اینکه شیب ترانشه تعیین شده اثرات کلی سرعت جریان و شرایط خاصی که در طول غرقاب نمودن بدلیل ریزش ناگهانی ترانشه ها ممکن است رخ بدهد نیز باید در نظر گرفته شود.

#### ب - نشست

تونل ها در محل استقرار خود جایگزین حجمی از خاک می شوند که برداشته شده و وزن آن حداقل 10% کمتر از خاک برداشته شده است.

با این وجود در شرایطی که خاک خیلی سست باشد، ممکن است خطراتی ناشی از نشست بیش از اندازه وجود داشته باشد. برای حل این مشکل قطعات تونل بر روی شمعهای طولی قرار می گیرند.

### 5- زلزله

ساختار تونلهای فلزی و بتنی امکان جابجائی حاصل از زلزله را می دهد.

با توجه به روش اجرا در صورتی که سیال شدگی Fluidisation در پی زیر قطعات تونل رخ دهد، موجب بالآمدگی Uplift می شود. در صورتیکه از پی ماسه ای استفاده شود و مراحل اجرا به خوبی انجام پذیرد رفتار ماسه از پدیده Liquification که موجب بالا آمدگی قطعات تونل میشود جلوگیری میکند. در بعضی موارد به ماسه زیر تونل کلینکر اضافه میشود تا ساختار پی مقاوم تر نیز شود.

### لایروبی و خاکبرداری و اثرات اکولوژی و محیط زیستی آن

برای اینکه بتوان لایروبی و تراشه برداری را به بهترین نحو انجام داد موارد زیر را می بایست مد نظر قرار داد:

- 1- بررسی کیفی خاک بستر رودخانه به لحاظ ژئوتکنیکی و زیست محیطی
  - 2- بررسی شرایط هیدرولیکی رودخانه، کانال یا دریا
  - 3- بررسی گزینه های مختلف برای روشهای لایروبی و اثرات روش انتخاب شده
  - 4- مشخص نمودن معیارها در فرآیند لایروبی بر اساس نیازهای زیست محیطی و اثرات اکولوژیکی آن و تجهیزات مورد نیاز برای ساخت تونل
  - 5- بررسی گزینه های مطرح شده برای لایروبی با توجه به معیارهای ارائه شده توسط شرکت های لایروبی کننده
- خیلی از شرکت های لایروبی کننده تحقیقات گسترده ای برای یافتن راه حلهای مناسب جهت مقابله با اثرات مخرب لایروبی بر روی محیط زیست انجام داده اند که روشهای مختلفی برای جلوگیری از آلودگی کف کانالها و رودخانه ها ارائه شده است. آزمایشات و بررسی ها نشان داده که فرآیند لایروبی برای تونلها تنها اثرات کوتاه مدتی بر محیط زیست دارد. شرایط محیط زیستی بیشتر بوسیله اثرات فصلی که معمولاً بیشتر از اثرات لایروبی است تحت تاثیر قرار می گیرد.

عمده مواردی که می بایست در لایروبی مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- 1- شرایط ژئوتکنیکی، هیدرولیکی و زیست محیطی
- 2- معیارهای مربوط به ترانشه برداری
- 3- ارزیابی فرآیند لایروبی از دیدگاه فنی
- 4- انتخاب راه حل های بهینه

### 1- شرایط ژئوتکنیکی، هیدرولیکی و زیست محیطی

به منظور بررسی اثرات محیط زیستی با توجه به روشهای لایروبی داده های زیر مورد نیاز می باشد.

#### الف- خاک موجود بستر ترانشه

- ترکیبات کانی شناسی: تعیین طبیعت و میزان کدری کانی های مختلف و میزان حل شدگی آن
- ترکیبات سنگ دانه ای: قطعات درشت دانه معمولاً کمتر به صورت معلق می مانند. اثرات آلوده کننده ها بیشتر مربوط به ریز دانه ها می باشد
- چگالی و وجود مصالح سخت که در برابر روشهای لایروبی مقاومت از خود نشان میدهد.
- پایداری خاک با توجه مقاومت چسبندگی و ویسکوزیته و درجه تحکیم یافتگی
- طبیعت و درجه آلودگی
- مقدار مواد آلی معلق بر اساس مقدار مصالح آلی
- طبیعت شیمیائی ریز دانه ها

#### ب- شرایط هیدرودینامیکی

- طبیعت و مقدار جاری شدن با توجه رفتار پراکنندگی و معلق شدگی ذرات
- اثر امواج
- جریان های حاصل از باد
- عمق آب
- مقدار سیلت و حمل آنها از کف
- دما و دیگر داده های مرتبط با توجه به ویسکوزیته و چگالی

#### پ- کیفیت آب

- تغییرات چگالی که رسوب گذاری مصالح را تحت تاثیر قرار میدهد.
- اثرات دما که با ویسکوزیته و چگالی در ارتباط است.

### 2- معیارهای مربوط به ترانشه برداری

- شکل و نوع ترانشه ای که حفاری میشود باید به اندازه کافی عریض و عمیق با شیب های پایدار باشد.
- کف ترانشه باید نسبتاً صاف و هموار باشد. اختلاف زیاد در کف و زیر قطعات تونل موجب افزایش هزینه پی سازی و ممکن است موجب نشست های نامتقارن شود.
- کف ترانشه باید قبل از جا گذاشتن قطعات تونل تمیز و میزان پستی و بلندی کف آن حداکثر 15 سانتیمتر باشد.

### 3- ارزیابی فرآیند لایروبی از دیدگاه فنی

فرآیند لایروبی و حفاری ترانشه شامل مراحل زیر می باشد:  
کندن و حفاری خاک



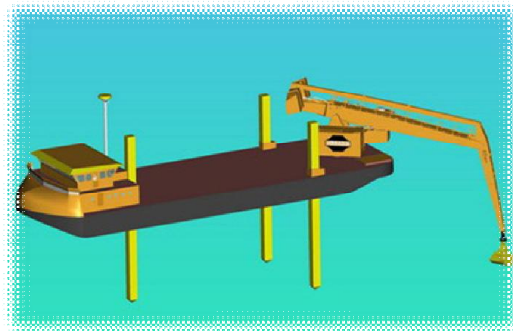
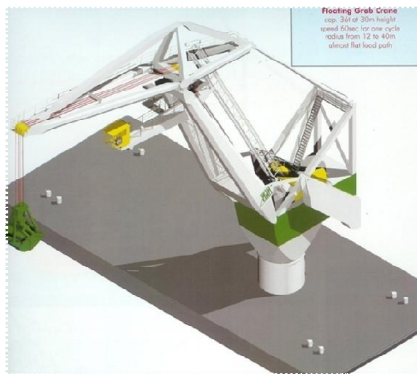
- حمل عمودی مصالح
- حمل افقی مصالح
- انباشته نمودن مصالح حفاری شده

روش ها و ماشین آلاتی که برای حفاری ترانشه ها استفاده می شوند عبارتند از:

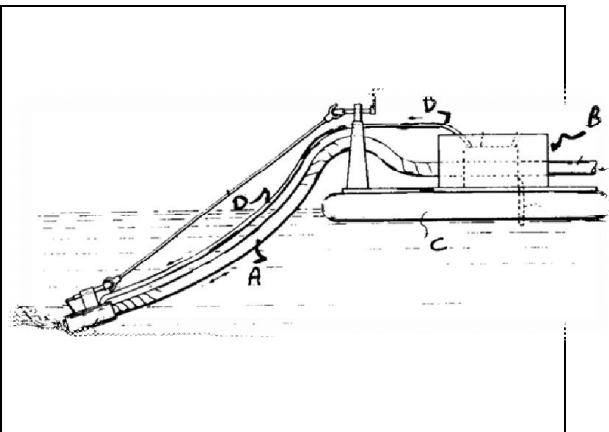
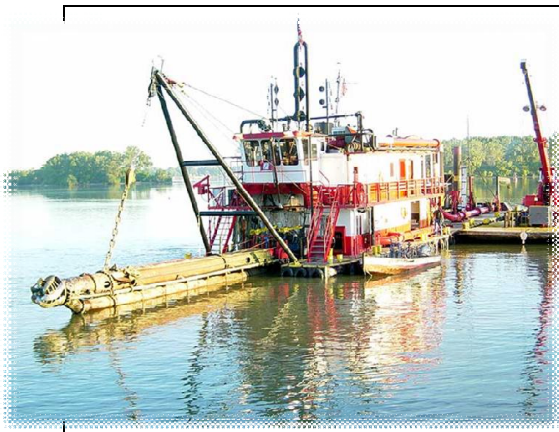
**Bucket dredger - ( لایروب کننده باکتی )**  
جابجائی عمودی خاکهای کنده شده و ریختن آنها درون شناورها را انجام می دهد.



**Grab crane - بیل مکانیکی چنگکی**



**Cutter or Suction dredger- ( لایروب کننده مکشی )**  
مصالحی که باید پاکسازی شود را از کف بستر جدا کرده و به صورت مکشی به درون شناور منتقل می نماید.



**Dustpan dredger -**  
معمولا برای تمیز کردن کف ترانشه استفاده میشود.

اثرات هر یک از این روشها به رفتار خاک و شرایط هیدرولیکی بستگی دارد. مصالح ریز دانه با چسبندگی کم آلودگی های زیادی را به همراه دارد.



#### 4- انتخاب راه حل های بهینه

عوامل مختلفی همچون زیست محیطی اکولوژیک در انتخاب روشهای فوق دخیل هستند انتخاب روش بهینه نیاز به بررسی اثرات و هزینه هائی که برای گزینه های مختلف در بردارد می شود. در کانالها یا رودخانه هائی که فعالیت های بیولوژی یا اکولوژی آنها خیلی کم است و یا اصلا وجود ندارد، لایروبی نه تنها صدماتی را وارد نمی کند بلکه با پاکسازی خاکهای آلوده شده شرایط بهتر نیز میشود. در خیلی از رودخانه ها بارانهای شدید و یا آب شدن فصلی برف ها موجب رسوب گذاری و آلودگی میشود که این تغییر رژیم رودخانه و آلودگی های ایجاد شده بیش از لایروبی و خاکبرداری ها است. در اکثر رودخانه ها اثرات بازگشت به حالت اولیه و ترمیم وضعیت قبلی توسط خود رودخانه انجام می شود. همین اثر میتوانند اثرات لایروبی و خاکبرداری را نیز برطرف نماید.