

## **The role of basic engineering data on risk assessment in the oil sector**

**Farzin Kalantary, PhD, PE, Assistant Professor, K.N.Toosi, University**

**Babak Banijamali, PhD, PE, Deputy M.D., Daryabandar Consult. Eng.**

[fz\\_kalantary@kntu.ac.ir](mailto:fz_kalantary@kntu.ac.ir)

### **Abstract**

Risk and its evaluation is an integral part of engineering processes, since the probability of performance demand exceeding the supply in engineering systems always exists. For obvious economical reasons it is not only impossible to eliminate the risk, but also its reduction beyond certain extends weakens the economical feasibility of projects. Thus, the role and importance of basic engineering characteristics in risk analysis becomes evident.

The design and construction of the harbor wall of the petrochemical port of Assalueh and installation of LPG pipe racks on the breakwater stood out a serious challenge in the realm of value engineering. The 44m maximum height of this rubble mound breakwater amounted to a shaky base for the LPG pipe racks in a seismically active zone.

The technical specifications of the pipes reiterated that the maximum allowable settlement was less than 5cm, whereas the estimates derived from the dynamic analysis of the breakwater body showed that in addition to large displacements during a seismic event, the pipe racks will experience permanent lateral as well as vertical displacements well in excess of the aforementioned limits.

Further investigations revealed that the vertical component of the displacement could be subdued by installation of piles, but restraining the lateral component will imposed a heavy burden on the funding of the project. It was therefore decided to accommodate for a calculated risk of ruptures in the pipes by including a segmental automatic shutdown system.

This situation clearly portrayed the role and importance of the basic engineering data in the assessment of the maximum probable risk during the service life of the structure. Furthermore, it showed that expedient exploratory investigations could have produced a more accurate and adjusted risk evaluation that would have led to a better insurance policy.

In this article the above mentioned case is studied and the appropriate courses of action described.

**Keywords:** Risk, engineering, investigation, analysis, design

## ارزیابی اثر داده های پایه بر تحلیل ریسک در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی

فرزین کلانتری، دکتر ژئوتکنیک، عضو هیات علمی دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی  
بابک بنی جمالی، دکتر مهندسی سواحل، شرکت مهندسان مشاور دریا بندر

fz\_kalantary@kntu.ac.ir

### چکیده

پذیرش و تعیین ریسک جزو لاینفک طرحهای مهندسی است زیرا که پیوسته احتمال عدم تکافوی عرضه نسبت به تقاضا در مشخصات پایه مهندسی وجود دارد. بدیهیست به دلایل اقتصادی نه تنها حذف مطلق ریسک ممکن نمی باشد بلکه کاهش آن فراتر از حدود متعارف نیز موجب تضعیف توجیه اقتصادی طرحها می شود. از این روست که نقش و اهمیت داده های پایه مهندسی در ارزیابی صحیح ریسک آشکار می شود.

طراحی و ساخت موج شکن بندر پتروشیمی عسلویه و نصب خطوط لوله LPG بر روی آن، یکی از چالشهای جدی مهندسی ارزش در سالهای اخیر بوده است. این موج شکن با ارتفاع بیشینه ۴۴ متر از بستر دریا تکیه گاهی لرزان برای این لوله های بسیار ترد (دمای سیال درون این لوله ها حدود  $80^{\circ}\text{C}$  است) در منطقه ای لرزه خیزی محسوب می گردید.

مشخصات فنی اعلام شده برای این لوله ها مقدار تغییر مکان نسبی مجاز را به کمتر ۵ سانتیمتر محدود می نمود، در حالیکه برآورد های حاصل از مطالعات لرزه خیزی و تحلیل بدنه موج شکن نشان می داد علاوه بر تغییر مکان های بزرگ که در حین وقوع زمین لرزه رخ خواهد داد، نشست و جابجائی افقی ماندگاری بیش از حدود مجاز رخ خواهد داد.

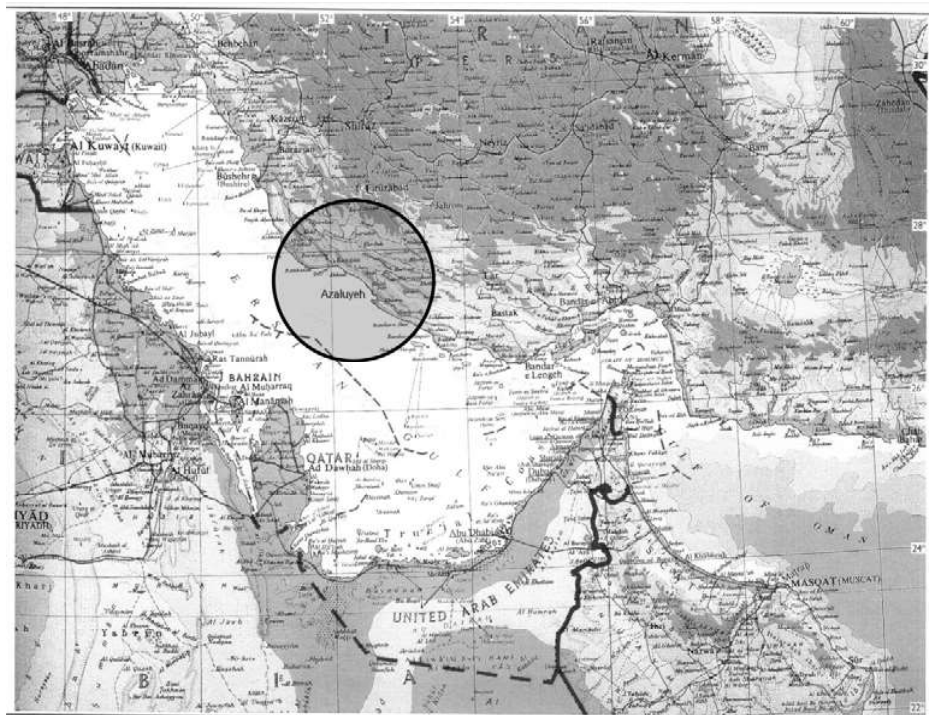
بررسی های کارشناسی نشان داد که حذف مولفه قائم جابجائی توسط شمع های کوبشی در بدنه موج شکن و افزایش صلبیت در این راستا ممکن است ولی کاهش مولفه افقی آن به حدود مجاز، بار مالی سنگینی را به پروژه تحمیل می نماید. از این رو ضمن پذیرش ریسک رخداد یک یا چند شکستگی در پوسته لوله ها در اثر چنین حادثه ای مقرر گردید از شیر های خودکار قطع کن در فواصل کم استفاده شود.

حال آشکار می گردد که محاسبه و برآورد خسارت بیشینه احتمالی در دوره بهره برداری تابعی از پارامترهای ورودی به محاسبات مهندسی خواهد بود و سرمایه گذاری به موقع در این بخش می توانست ارزیابی دقیقتری را برای محاسبات تعیین ریسک و به طبع آن تامین بیمه مناسب فراهم نماید. در این مقاله ضمن بررسی این case study، راهکار های عمومی تدقیق اینگونه مطالعات بیان خواهد شد.

واژه های کلیدی: ریسک، مهندسی، مطالعات، تحلیل، طراحی

## مقدمه

بندر پتروشیمی پارس واقع در عسلویه مبداء صادرات محصولات پتروشیمائی بزرگترین حوزه گازی جهان است. این بندر بخشی از طرح توسعه میدان گازی پارس جنوبی است. مجری و بهره بردار این طرح عظیم شرکت ملی پتروشیمی (NPC) است و پروژه بندر پتروشیمی پارس به صورت طرح و اجراء به قرارگاه بازسازی نوح سپاه پاسداران انقلاب اسلامی واگذار گردیده است. موقعیت عمومی بندر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت عمومی بندر پتروشیمی پارس - عسلویه

مهندسان مشاور دریابندر طرح اولیه (Tender Design) پروژه تهیه نموده و مسئولیت کنترل طراحی تفصیلی پروژه که توسط مهندسان مشاور ساحل انجام پذیرفت را برعهده داشت.

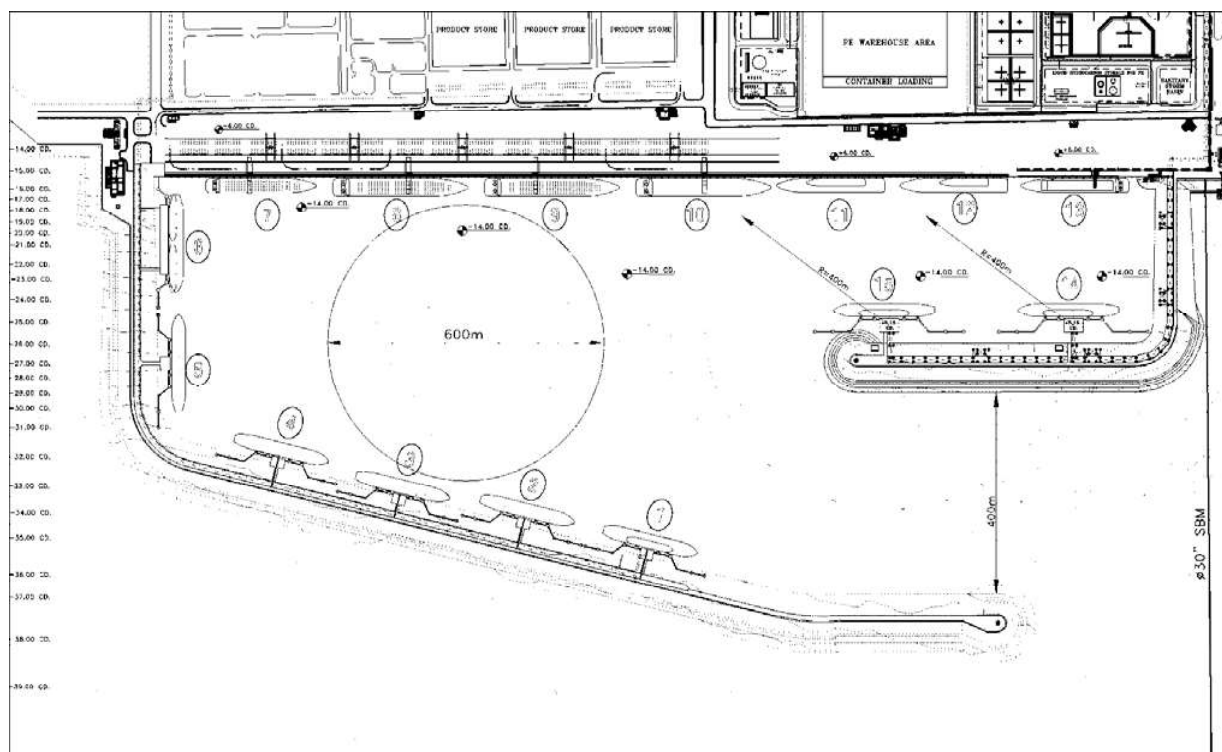
در طی فرآینده مطالعات و طراحی پروژه چالشهای متفاوتی پیش روی کارشناسان دست اندرکار قرار گرفت. طراحی موج شکن های این بندر نیز به نوبه خود دارای چالشهای فراوانی بود که عمدتاً از سه عامل زیر تاثیر می پذیرفتند:

- در ناحیه مورد نظر کوهپایه زاگرس در فاصله کمی از کرانه شمالی خلیج فارس قرار دارد و از این رو محدودیت جدی فضای قابل توسعه در نوار ساحلی وجود دارد. به همین دلیل لازم گردید بخشی از اراضی مورد نیاز از دریا استحصال شود. دیواره ساحلی بندر پتروشیمی پارس در انتهای این محدوده استحصال شده در عمق ۱۲ متری آب احداث گردید. به دلیل زمین ریخت ویژه و شیب نسبتاً تند بستر دریا در فاصله کمی از دیواره ساحلی عمق آب بسرعت افزایش پیدا کرده و باعث گردیده بخش اعظم موج شکن اصلی (غربی) در عمق ۳۳ متری آب نسبت به تراز مبنا پایین ترین جزر نجومی در

منطقه قرار گیرد. این موج شکن با ارتفاع بیشینه ۴۴ متر از بستر دریا، مرتفع ترین موج شکن خاور میانه است و با توجه به لرزه خیزی منطقه در نوع خود در جهان منحصر بفرد است.

- معمولاً موج شکن ها برای بارگذاری ناشی از اثر امواج دریا و مسائل هیدرولیکی مترتب به آن طراحی می شوند، ولی به دلیل وجود یک گسل فعال در فاصله کمی از ساختگاه و لرزه خیز بودن منطقه عملکرد دینامیکی موج شکن اهمیت ویژه پیدا نمود [۱۱]. بعبارت دیگر این موج شکن می بایست علاوه بر مهار امواج دریا [۵]، مقاومت لازم را در برابر زمین لرزه برآورد شده با حفظ خدمت دهی (پذیری) دارا باشد. شیوه اجراء موج شکن (ریزش ثقلی سنگریزه) موجب می گردید تراکم نسبی بالا قابل دستیابی نباشد و از این رو انتظار می رفت نشست و گسترش جانبی قابل توجهی در پی زمین لرزه طرح رخ دهد.

- به دلیل محدودیت فضا پهلو گیری در دیواره ساحلی بندر مقرر گردید شش پست اسکله در کنار موج شکن اصلی و دو پست اسکله در موج شکن شرقی ساخته شود (شکل ۲). از این رو می بایست لوله های انتقال گاز مایع از روی بدنه موج شکن اصلی عبور نماید. با توجه به برودت گاز مایع که در برخی موارد حدود  $-80^{\circ}\text{C}$  است، جسم لوله بسیار ترد و شکننده می شود و تغییر شکل پذیری آن بسیار کاهش می یابد و لذا رواداری نشست و جابجائی نسبی جانبی بسیار کم خواهد بود.



شکل ۲- آرایش پهلو گیرهای بندر پتروشیمی پارس

### مشخصات طرح:

بر پایه مطالعات و تحلیل های انجام شده شامل مطالعات موج و اقلیم [ ۱ و ۴]، مطالعات ژئوتکنیک [۹]، مطالعات انتقال رسوب [۴]، مدلسازی الگوی جریان [۱۰]، مطالعات تاویری [۱] و تحلیل و برآورد خطر [۸] طرح عمومی بندر، پهلوییها و موج شکن ها بدست آمد. ( شکل ۲)

علی رغم فقدان سنگ کوهی با کیفیت و صرفاً بنا به دلایل اقتصادی و سرعت عمل اجرائی، موج شکن ها از نوع توده سنگی (Rubble mound) انتخاب گردید. شایان توجه است حجم تنها موج شکن اصلی حدود پنج میلیون متر مکعب برآورد می گردید و از این رو تامین سنگریزه از فواصل دورتر توجیه اقتصادی طرح را کم رنگ می نمود. با توجه به بیشینه ارتفاع موج موثر ۵/۲ متر، و تحلیل های حدی انجام پذیرفته مقطع نوعی موج شکن (شکل ۳) با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ بدست آمد:

جدول ۱- وزن بیشینه قطعات در لایه های مختلف

نام لایه	وزن سنگ یا آنتی فر (کیلوگرم)
لایه محافظ آنتی فر بدنه (IV-a)	۱۴۰۰۰
لایه محافظ آنتی فر بخش فوقانی (IV - c)	۱۸۰۰۰
فیلتر فوقانی (III)	۳۰۰۰ - ۱۰۰۰۰
برم فوقانی (III - a)	۴۰۰۰ - ۲۰۰۰۰
فیلتر تحتانی (II)	۱۰۰۰ - ۲۰۰
برم تحتانی (II - b)	۵۰۰ - ۱۰۰
هسته (I)	۲۰۰

تحلیل پایداری به روشهای مختلف انجام پذیرفته و نتایج آن نشان دهنده حاشیه اطمینان نسبی مناسب است. خلاصه نتایج تحلیل پایداری و احتمال لغزش به دو روش بیشاپ ساده شده و مورگسترن- پرایس در جدول ۲ ارائه شده است. در ضمن شکل ۴ نمونه ای از نتایج تحلیل پایداری را نشان می دهد.

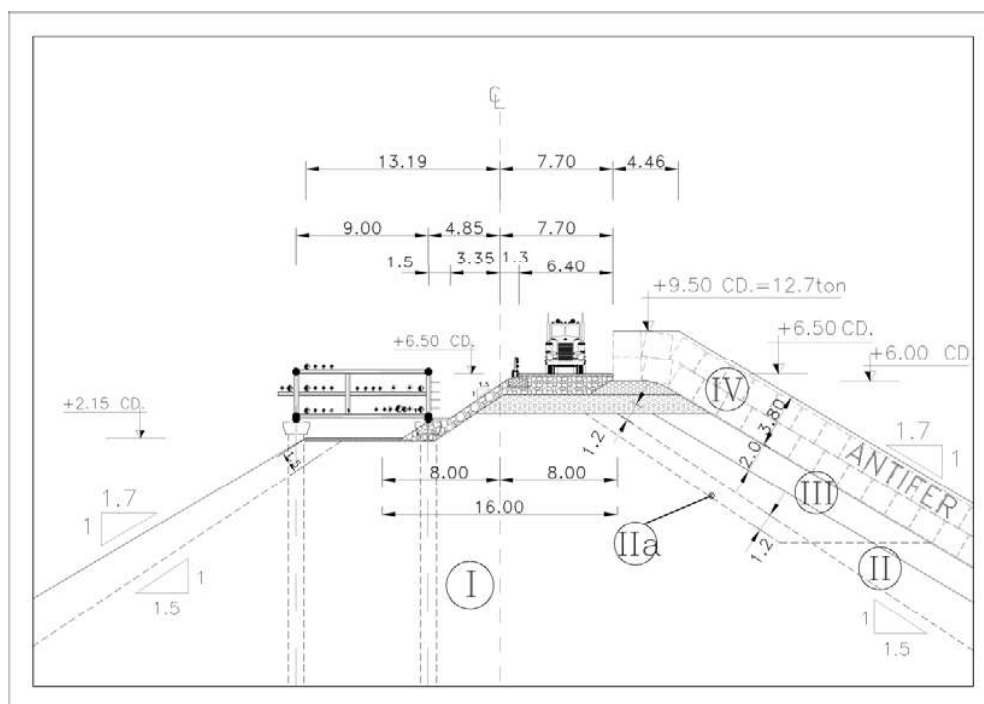
جدول ۲- خلاصه نتایج تحلیل پایداری

شیب داخلی موج شکن	احتمال شکست به روش	
	بیشاپ ساده شده	مورگسترن - پرایس
1:1.5	٪۸	٪۶
1:1.7	٪۵	٪۳
1:2.0	٪۰/۵	٪۰/۲

مجدداً شایان یادآوری است که بطور معمول موج شکن ها با توجه به جوانب هیدرولیکی و ژئوتکنیکی طراحی می شوند و موضوع پایداری و شکل پذیری توده تحت بارهای ناشی از زمین لرزه مورد توجه قرار نمی گیرد زیرا که امواج دریا بصورت طبیعی شتاب قابل توجهی را به بدنه موج شکن وارد می کند. ولی بر اساس دستورالعمل استاندارد فنی بنادر ژاپن [۱۲] بررسی لرزه ای موج شکن های لاغر الزامی بود.

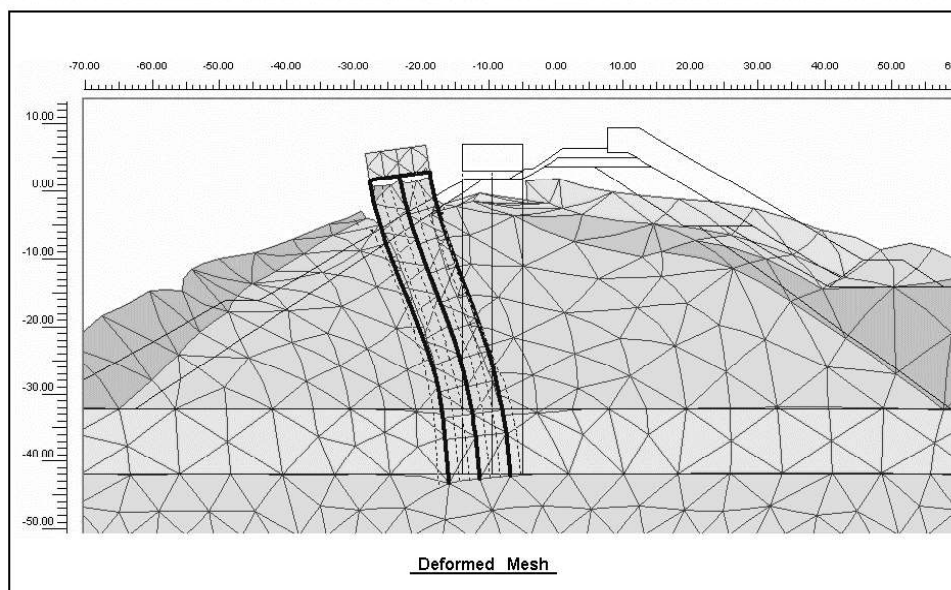


برآوردهای بدست آمده از تحلیل های لرزه خیزی نشان می داد بیشینه شتاب سطح L1 و L2 به ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۴۲ شتاب ثقل خواهد بود. از سوی دیگر طرح نصب لوله های انتقال گاز مایع با حساسیت زیاد به جابجائی (قائم و افقی) پس از بارگذاری لرزه ای، نیاز به تحلیل و تمهید ویژه را آشکار نمود. شکل ۵ مقطعی از موج شکن را با محل استقرار لوله های LPG نشان می دهد.



شکل ۵ - مقطع موج شکن با قاب لوله های LPG

از همین رو تحلیل تغییر مکان با استفاده از نرم افزار های اجزاء محدود انجام پذیرفت و مشخص شد که پس از وقوع زمین لرزه طرح لوله های گاز مایع خسارات جدی را در اثر تغییر مکان ها تجربه خواهند نمود. بررسی ها نشان داد که بخش زیادی از تغییر مکان قائم را می توان با اجرای شمع در زیر قاب لوله ها مهار نمود، ولی حذف تغییر مکان افقی تقریباً غیر ممکن می نمود. شکل ۶ مدل اجزاء محدود مقطع موج شکن با قاب لوله های LPG نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که علی رغم تامین ایستائی، گسترش جانبی و جابجائی افقی قاب لوله ها به همراه شمع ها رخ خواهد داد. به منظور نمایش بهتر پدیده، تغییر شکل های محاسیه شده شبکه اجزاء محدود بزرگنمایی شده است.



شکل ۶- نتایج تحلیل تغییر مکان

با توجه به نتایج یدست آمده مقوله تحلیل خطر پروژه از یک برآورد خسارت به جسم موج شکن و تاسیسات نصب شده بر آن در صورت وقوع زمین لرزه طرح فراتر رفته و موضوع خطرات رخداد این پدیده در زمان بارگیری گاز مایع مطرح گردید. لازم به توضیح است در صورت بروز ترک در لوله در حین بارگیری احتمال انفجار و آتش سوزی و گسترش سریع آن به تاسیسات ساحلی و تانکر شناور غیر قابل چشم پوشی است.

حال با توجه به آشنائی کلی با طرح بندر پتروشیمی پارس و درک رفتار موج شکن های این بندر، لازم به منظور شناخت اثر پارامترهای پایه طراحی بر تخمین ریسک لازم است مبانی و مفاهیم پایه ریسک را نیز تعریف نمود.

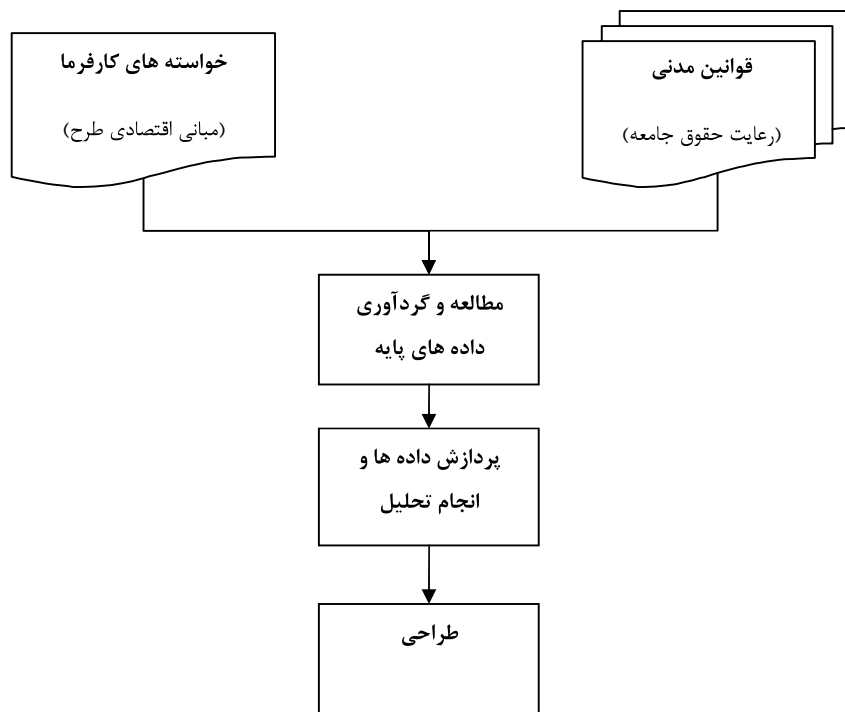
### ریسک در مهندسی

"طراحی یعنی تصمیم گیری" و بنا به این تعریف طراحی یک پروژه بزرگ مانند بندر پتروشیمی پارس یک سلسله تصمیمات مرتبط به هم در چارچوب دانش بشری است که شکل و ماهیت محصول نهائی را تعیین می کنند. این تصمیمات ممکن است منتج از سیاستهای کلان اقتصادی- اجتماعی و حتی نظامی یک کشور باشد و به عکس ممکن است نتیجه یک قضاوت مهندسی ساده یک کارشناس باشد.

به منظور تنظیم فرآیندهای تصمیم گیری مهندسی، لازم است ضمن تعمیق دانسته ها و آگاهی های موردی، به آیین نامه ها و استانداردهای اتکا شود.

نمودار زیر ( شکل ۷) روند عمومی این تصمیم گیری ها را نشان می دهد:





شکل ۷- فرآیند طراحی

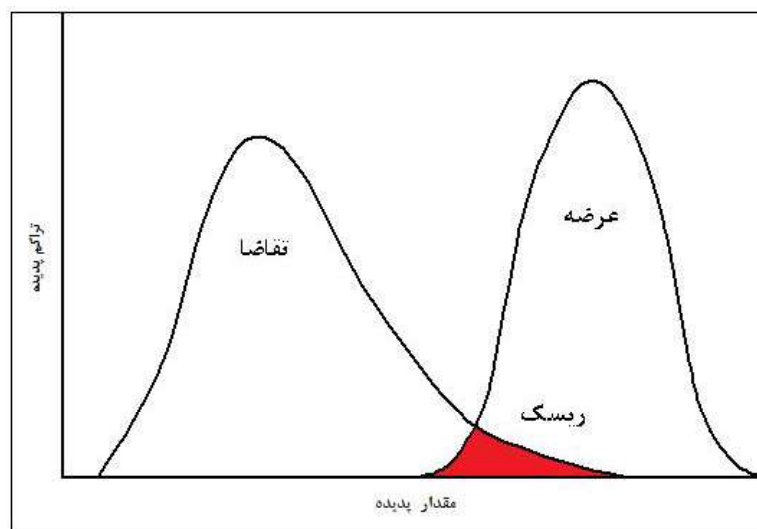
ظرفیت خدمت دهی طرح ( که اصطلاحاً در این مقاله از آن بعنوان "عرضه" یاد می شود) می بایست پیوسته از خواسته های مهندسی از طرح ( که اصطلاحاً در این مقاله از آن بعنوان "تقاضا" یاد می شود) با احتساب ریسکی از پیش تعیین شده بیشتر باشد.

در این قاعده عمومی طرحهای مهندسی سه رکن وجود دارد:

- ظرفیت خدمت دهی (عرضه)
- خواسته مهندسی (تقاضا)
- ریسک (حاشیه اطمینان)

بعنوان مثال، بارگذاری یک ساختمان خواسته مهندسی از آن است. این خواسته طبق آیین نامه ها و استانداردها و در چارچوب رواداری مشخص قابل محاسبه است. از سوی دیگر توان باربری و حفظ یکپارچگی و قابلیت بهره وری بی وقفه از یک ساختمان تحت بارهای تعیین شده، ظرفیت خدمت دهی آنرا تعیین می کند. حال تناسب قابل پذیرش این دو را ریسک یا همانا حاشیه اطمینان می نامیم.

شایان توجه است به دلیل تغییر پذیری (Variability) طبیعی مشخصات مصالح و رخداد احتمالاتی (Probabilistic) بارگذاری، مقادیر عرضه و تقاضا دارای یک توزیع آماری خواهند بود. با فرض اینکه تقاضا دارای توزیع log-normal باشد و عرضه دارای توزیع normal باشد، همپوشانی (محدوده مشترک) این دو توزیع حاشیه اطمینان (یا همانا ریسک) را تعریف می نماید. شکل زیر بصورت کیفی این موضوع را نشان می دهد:



شکل ۸ - توصیف کیفی ریسک

توان محاسبه هر چه دقیقتر این کمیت احتمالاتی در کنار ارزیابی خسارت ناشی از حادثه محتمل، امری لازم در صنعت بیمه است. بدون دستیابی به این تخمین مقوله بیمه فاقد زمینه علمی خواهد شد و برآورد های حاصل می تواند دارای رواداری زیادی باشد. ارزیابی خطرات ناشی از رخداد بارگذاری های حدی همانند مطالعات لرزه خیزی جایگاه ثابتی نزد کارشناسان و ارزیابان صنعت بیمه یافته است ولی مقوله ارزیابی عملکرد سازه ای (عرضه) هنوز جایگاه لازم را پیدا نکرده است. زمینه توسعه این ارزیابی را نیز همانند بخش دیگر می بایست در مرحله گردآوری اطلاعات و مطالعات پایه جستجو نمود هرچند که مراحل بعدی تحلیل و طراحی نیز دارای اهمیت زیادی هستند. ولی از آنجائیکه معمولاً هیچ یک از دست اندرکاران پروژه دغدغه تحلیل ریسک را در مراحل مقدماتی ندارند، و بالعکس تعجیل فراوان برای آغاز مرحله اجرایی وجود دارد، مرحله انجام مطالعات و تعیین اطلاعات پایه با دقتی کمتر از مراحل بعدی پی گرفته می شود.

یکی از راهکار های جبران این شرائط ایجاد سامانه های اطلاعات پایه (مانند بانک اطلاعات ژئوتکنیک یا پایگاه داده های شتاب نگاشت) است که می تواند حتی پیش از آغاز مطالعات نقش موثری در جهت دهی مطالعات ایفا نماید. بی نیاز از توضیح است این مقوله یکی از شاخه های فن آوری اطلاعات است که توسعه چشمگیری در دو دهه اخیر یافته است.

## نتیجه گیری

حال با توجه به توضیحات ارائه شده و توصیف وضعیت پروژه و با آشکار شدن تبعات سنگین بروز حادثه برای لوله های LPG مستقر بر روی بدنه موج شکن ها، موضوع تدقیق نتایج مطالعات (اعم از مطالعات لرزه خیزی، ژئوتکنیک و آزمایشهای کنترل کیفیت اجزاء) اهمیت ویژه پیدا نمود.

بدیهیست با افزایش سرمایه در معرض خطر، صرف هزینه های مطالعاتی مضاعف نیز موجه می گردد. شایان توضیح است، تحلیل اجزاء محدود با پارامترهای مقاومت برشی تقریبی ( $\phi=35^\circ$  و  $c=0.2 \text{ kg/cm}^2$ ) که از آیین نامه بنادر ژاپن اقتباس شده بود انجام پذیرفته بود. حال چنانچه نتایج تدقیق شده با آزمایشهای پیشرفته تر (مانند سه محوری بزرگ مقیاس) نشان می داد که این مقادیر تا ۱۵٪ قابل افزایش باشند، خطر شکست لوله به دلیل جابجائی زیاد تا حد زیادی کاهش می یافت. بدیهیست نتیجه عکس آن نیز از منظر طبقه بندی ریسک اثری چشمگیر می داشت.

نتایج سایر مطالعات و پارامترهای پایه طراحی نیز مشابه بوده و تدقیق هریک می توانست حداقل بر تحلیل ریسک و برآورد حدود خسارت بالقوه تاثیر زیادی داشته باشد.

شایان توجه است فارغ از موضع فنی، تخمین هرچه دقیقتر ریسک کمک زیادی به کارشناسان بیمه برای برآورد حق بیمه و ایجاد صرف اقتصادی متقابل برای بیمه گر و بیمه گذار می کند.

## مراجع

- [01] Alkyon report no. A847 [April 222] "Nautical Study of the Pars Petrochemical Port"
- [02] ARGOSS [2002 Version] "Online wind and wave data-base of the world"
- [03] CUR/RWS Report no. 169 [2000 Edition] "Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering"
- [04] DBC report no. NPC-122 [November 2001] "Coastal Engineering Compendium of the Pars Petrochemical Port"
- [05] DBC report no. NPC-232 [May 2002] "Breakwater Run-up and Overtopping computations of the Pars Petrochemical Port"
- [06] DBC report no. NPC-355 [2003a] "Comparison of various types of structures for berths adjacent to breakwaters of the Pars Petrochemical Port"
- [07] DBC report no. NPC-442 [2003b] "Basic Design of the pile and deck structure for the berths 14 & 15 of the Pars Petrochemical Port"
- [08] Det Norske Veritas (DNV) report no. 2002-0338 [April 2002] "Quantitative Risk Analysis of the Pars Petrochemical Port"
- [09] Fugro report no. IR/811/01/02 [January 2002a] "Marine Geotechnical Investigations of the Pars Petrochemical Port"
- [10] Fugro report [January 2002b] "Geophysical and Current Measurement Surveys of the Pars Petrochemical Port"
- [11] International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES) [2002] "Seismology Study of the Assalueh region"
- [12] The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan [2001 Edition] "Technical Standards & Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan"
- [13] Water Research Centre of the Iranian Ministry of Power report [December 2003] "Physical Modeling of the breakwaters of the Pars Petrochemical Port"
- [14] WL | Delft Hydraulics [March 2002] "2D and 3D physical Model Tests of the Pars Petrochemical Port breakwaters"