



دانشکده : مهندسی عمران

گروه : مهندسی سازه

عنوان پایان نامه :

مانیتورینگ سلامت سازه مخزن ذخیره سازی نفت خام در ترمینالهای نفتی

دانشجو: حسین شاملی حاجی آبادی

استاد راهنما :

دکتر علی کیهانی

شهریور 93

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : مهندسی سازه

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حسین شاملی حاجی ابادی

تحت عنوان : مانیتورینگ سلامت سازه مخزن ذخیره سازی نفت خام در ترمینالهای نفتی

در تاریخ 93/06/31 توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر علی کیهانی			

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر فرشید علایی			
دکتر سید مهدی حسینی			
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			

تقدیم به:

پدر و مادر و همسر عزیزم که
وجود ارزشمندشان همواره
تکیه گاهم در ناهمواریهای
زندگی بوده و هست، و با
دربای لطف و حمایت‌های بی
دریغشان امکان رسیدن به
ساحل مقصود و راحت
زندگی را برایم میسر نموده
اند.

تقدیر و تشکر:

بارالها! من با یاد تو، به تو تقرّب میجویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می آورم و از تو خواستارم، به کرمّت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی ام واداری .

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق . برخوردارم می دانم از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایان نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم . به خصوص از استاد فرزانه جناب آقای دکتر علی کیهانی که در کلیه مراحل پژوهش با خوشروئی، یاری و راهنمایی ام نمودند تشکر و قدردانی مینمایم .

تعهد نامه

اینجانب حسین شاملی حاجی آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران-سازه دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مانیترینگ سلامت سازه مخزن ذخیره سازی نفت خام در ترمینالهای نفتی تحت راهنمایی دکتر کیهانی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

شهریور 93

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده :

در سال های اخیر مانیتورینگ سلامت سازه های حیاتی توجه بسیاری از دانشمندان را در پی داشته است . عملکرد مطلوب سازه یک مخزن ذخیره سازی نفت خام در طول عمر آن با افزایش تعداد قابل ملاحظه خرابی های سازه ای ، کاهش می یابد . اهمیت تشخیص و مدیریت فرسودگی سازه های نفتی و نیاز به برآورد دقیق خرابی بوضوح برای متخصصان روشن و ضروری است . در این پژوهش مانیتورینگ سلامت یک مخزن نفتی بررسی می گردد . پس از شناخت آسیب های رایج در ورق های کف مخزن ، شبیه سازی ورق ها و تاثیر انواع آسیب ها در ورق های کف مخزن انجام می شود . تاثیر پدیده خستگی ناشی از بالا و پایین رفتن سقف مخزن بعلت پر و خالی شدن های مداوم مواد نفتی بر شدت خوردگی ورق های کف مخازن ذخیره سازی نفت خام خصوصا در محل آسیب بررسی می شود و تعداد بارگذاری های مجاز پس از آسیب دیدگی محاسبه می شود . نتایج این پژوهش نشان می دهد که با داشتن یک سیستم مانیتورینگ سلامت مخزن نفتی ، از تحمیل هزینه های زیاد جهت تعمیرات غیر ضروری اجتناب شده و از سطح سلامت سازه بدون خارج از سرویس کردن آن می توان آگاهی داشت . بر اساس این داده ها می توان در مورد نحوه بهره برداری و میزان شدت آسیب دیدگی و زمان و سطح تعمیرات مورد نیاز تصمیم گیری کرد .

واژگان کلیدی : مانیتورینگ سلامت سازه ، آسیب دیدگی ، خوردگی ، خستگی ، مخزن ذخیره

سازی نفت خام

فهرست

- 1..... فصل اول مقدمه
- 2..... 1-1- پیش گفتار
- 3..... 2-1- سامان دهی پایان نامه :
- 5..... فصل دوم تعریف مانیتورینگ سلامت سازه
- 6..... 1-2- تعریف مانیتورینگ سلامت سازه:
- 7..... 2-2- هدف از مانیتورینگ سلامت سازه :
- 8..... 3-2- مرور کارهای گذشته:
- 8..... 2-3-1-نگاهی کلی به زمینه های تحقیق :
- 9..... 2-3-1- تغییرات فرکانس:
- 12..... 2-4- روش های بر پایه اندازه گیری دینامیکی انعطاف پذیری
- 13..... 2-5- روش های کرنش پایه:
- 14..... 2-6- روش های غیر خطی
- 15..... 2-7- روش های بر پایه شبکه عصبی:
- 24..... فصل سوم تعریف آسیب دیدگی
- 24..... 3-1- پیشگفتار
- 25..... 3-1- پیشگفتار
- 25..... 3-2- تعریف آسیب دیدگی :
- 28..... 3-3- آزمون های غیرمخرب
- 29..... 3-4- روش های آزمون
- 29..... 3-4-1- آزمون انتشار امواج صوتی
- 29..... 3-4-2- آزمون چشمی و نوری

- 30.....3-4-3 آزمون رادیوگرافی
- 30.....4-4-3 آزمون ذرات مغناطیسی
- 30.....5-4-3 آزمون فراصوت
- 31.....6-4-3 آزمون مایعات نافذ
- 31.....7-4-3 آزمون الکترومغناطیس
- 32.....8-4-3 آزمون نشتی
- 32.....9-4-3 آزمون ترموگرافی
- 32.....10-4-3 آزمون نشت شار مغناطیسی
- 34.....5-3 مقایسه مانیتورینگ سلامت با تست های غیر مخرب
- 38.....فصل چهارم اندازه گیری داده های کرنشی
- 39.....1-4-1 پیشگفتار
- 39.....2-4-2 شناسایی خرابی بر اساس اندازه گیری های کرنش
- 39.....1-2-4-1 پیشینه تئوریک این روش :
- 44.....2-2-4-2 رابطه تحلیلی کرنش خرابی برای یک پانل تک ترک
- 45.....3-2-4-3 مدل سازی یک ترک توسط روش تفاضل اجرای محدود
- 48.....فصل پنجم شناسایی سازه
- 49.....1-5-1 پیشگفتار
- 49.....2-5-2 ساختار مخازن ذخیره سازی نفت خام :
- 50.....1-2-5-1 مخازن با سقف شناور:
- 52.....3-5-3 اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی مخازن
- 53.....1-3-5-1 کد ها و استانداردهای طراحی:
- 53.....2-3-5-2 طراحی عمرانی
- 54.....3-3-5-3 طراحی مکانیکی
- 58.....فصل ششم تشخیص خرابی

59	1-6-پیشگفتار
59	2-6-شرح کار گزارش
59	1-2-6-اهداف گزارش
60	2-2-6-دستور العمل اجرایی:
65	3-2-6-گزارش اول
66	4-2-6-گزارش دوم
67	5-2-6-گزارش سوم
68	6-2-6-گزارش چهارم
69	7-2-6-گزارش پنجم
70	8-2-6-گزارش ششم
72	9-2-6-نتایج عملیات بازرسی به روش MFL:
72	10-2-6-نتایج عملیات بازرسی التراسونیک
73	فصل هفتم طراحی سیستم مانیتورینگ سلامت مخزن
74	1-7-پیشگفتار
74	2-7-جمع بندی داده های قسمت قبل
75	3-7-شبیه سازی مسئله توسط نرم افزار انسیس:
75	1-3-7-معرفی نرم افزار انسیس:
76	2-3-7-شبیه سازی ورق کف مخزن:
81	3-3-7-بررسی و تحلیل داده ها:
82	4-3-7-نتیجه گیری از داده ها:
83	4-4-7-تاثیر متقابل پدیده های خوردگی و خستگی:
83	1-4-7-مقدمه ای بر شکست خستگی
84	2-4-7-تئوری شکست خستگی:
85	3-4-7-خصوصیات ساختاری خستگی:

86.....	3-4-7-اثر سطح و خستگی:
87.....	4-4-7-اثر متغیرهای متالورژیکی بر خستگی:
88.....	5-4-7-اثر دما بر خستگی:
89.....	6-4-7-خوردگی تنش:
89.....	7-4-7-خوردگی در اثر خستگی:
90.....	8-4-7-راه های مقابله با خوردگی خستگی:
91.....	5-7-شبیه سازی خستگی در کف مخزن:
96.....	فصل هشتم نتیجه گیری.....
97.....	1-8-خلاصه.....
97.....	2-8-نتیجه گیری و تحلیل داده ها:
99.....	3-8-پیشنهاد برای ادامه کار:
101.....	پیوست.....
109.....	مراجع.....

فهرست اشکال

- شکل 3-1: آزمایش لرزه ای بر روی پل در نیو مکزیکو I-40..... 27
- شکل 3-2: تغییرات در فرکانس اساسی سازه 28
- شکل 4-1: جسم سه بعدی با شکل رندم با ماده الاستیک خطی و آسیب دیدگی نامعلوم 40
- شکل 4-2: جسم دو بعدی با شکل رندم با ماده الاستیک خطی و آسیب دیده 41
- شکل 4-3: صفحه بینهایت با یک ترک نهفته بطول $2a$ 44
- شکل 4-4: مسیر اندازه گیری کرنش های نزدیک و بافاصله از ترک 47
- شکل 5-1: مخزن سقف شناور داخلی با سقف گنبدی خارجی 51
- شکل 5-2: مخازن سقف شناور خارجی 52
- شکل 5-3: کاهش ضخامت ورق های دیواره با افزایش ارتفاع 56
- شکل 5-4: طراحی کف مخزن-مخروطی به بالا 56
- شکل 5-5: طراحی کف مخزن-مخروطی به پایین 56
- شکل 5-6: نحوه چینش ورق های کف مخزن 57
- شکل 6-1: آزمون ورق های کف مخزن با دستگاه FloorMapVS2i 60
- شکل 6-2: آزمون ورق های کف مخزن با دستگاه Ultrasonic 60
- شکل 6-3: بازرسی چشمی ورق های کف مخزن 61
- شکل 6-4: پاشش جوش 61
- شکل 6-5: آسیب مکانیکی 62
- شکل 6-6: عدم پوشش مناسب ورق 62
- شکل 6-7: آسیب دیدگی ناشی از خوردگی 63
- شکل 6-8: آسیب دیدگی در محل جوش 64

- شکل 6-9: آسیب دیدگی مکانیکی 64
- شکل 6-10: شماره گذاری ورق های مف مخزن 65
- شکل 6-11: پراکندگی خرابی ورق های کف مخزن 66
- شکل 6-12: نشان دادن مقادیر ناپیوستگی در کف مخزن 67
- شکل 6-13: نشان دادن تجهیزات ثابت مخزن 68
- شکل 6-14: درصد کل خرابی ها و فراوانی آن 69
- شکل 6-15: درصد خرابی برحسب شماره و مکان ورق 71
- شکل 6-16: بررسی نواحی با دسترسی محدود با تست التراسونیک 72
- شکل 7-1: مدلسازی ورق سالم 77
- شکل 7-2: مش بندی ورق سالم 77
- شکل 7-3: اعمال شرایط مرزی و بارگذاری 78
- شکل 7-4: تنش های گره ای در جهت X 78
- شکل 7-5: تنش های گره ای در جهت Y 79
- شکل 7-6: تنش های گره ای در جهت Z 79
- شکل 7-7: کرنش های گره ای در جهت X 80
- شکل 7-8: کرنش های گره ای در جهت Y 80
- شکل 7-9: کرنش های گره ای در جهت Z 81
- شکل 7-10: سطح شکست ناشی از خستگی و مشخص بودن ناحیه های هموار و ناهموار 84
- شکل 7-11: محاسبه خستگی در ورق سالم تحت بارگذاری های بیشینه و کمینه 93
- شکل 7-12: محاسبه خستگی در ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و سوراخ شدگی به شعاع 2 سانتی متر 94

- شکل 7-13: محاسبه خستگی در ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و سوراخ شدگی به طول 20 سانتی متر 94
- شکل پ 1: کرنش های گره ای در جهت X ورق با 25 درصد کاهش ضخامت 103
- شکل پ 2: کرنش های گره ای در جهت Y ورق با 25 درصد کاهش ضخامت 103
- شکل پ 3: کرنش های گره ای در جهت Z ورق با 25 درصد کاهش ضخامت 104
- شکل پ 4: کرنش های گره ای در جهت X ورق با 50 درصد کاهش ضخامت 104
- شکل پ 5: کرنش های گره ای در جهت Y ورق با 50 درصد کاهش ضخامت 105
- شکل پ 6: کرنش های گره ای در جهت Z ورق با 50 درصد کاهش ضخامت 105
- شکل پ 7: کرنش های گره ای در جهت X ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و حفره به شعاع 2 سانتی متر 106
- شکل پ 8: کرنش های گره ای در جهت Y ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و حفره به شعاع 2 سانتی متر 106
- شکل پ 9: کرنش های گره ای در جهت Z ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و حفره به شعاع 2 سانتی متر 107
- شکل پ 10: کرنش های گره ای در جهت X ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و حفره به طول 20 سانتی متر 107
- شکل پ 11: کرنش های گره ای در جهت Y ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و حفره به طول 20 سانتی متر 108
- شکل پ 12: کرنش های گره ای در جهت Z ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و حفره به طول 20 سانتی متر 108

فهرست جداول

- جدول 3-1: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در اندازه گیری 35
- جدول 3-2: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در شناسایی سازه 36
- جدول 3-3: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در شناسایی خرابی 37
- جدول 3-4: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در تصمیم سازی 38
- جدول 5-1: ضخامت ورق کف مخزن بر حسب قطر مخزن 58
- جدول 7-1: مقادیر کرنش بدست آمده از مدلسازی ورق های مختلف 83
- جدول 7-2: مقادیر تعداد دوره های بارگذاری و باربرداری خستگی بدست آمده از مدلسازی ورقهای مختلف 96
- جدول پ 1: نقاط استخراج شده از دیاگرام S-N که در نرم افزار جهت محاسبه خستگی استفاده شد 102

فصل اول

مقدمه

1-1- پیش گفتار

سازه های صنعتی و عمرانی از جمله الزامات اقتصاد و تولید در جوامع امروزی است . امروزه تصور داشتن جامعه ای بدون ساختمانها ، جاده ها ، راه آهن ، پلها ، تونلها ، سدها ، نیروگاهها مشکل است . سازه ها از لحاظ اجتماعی ، اقتصادی ، فرهنگی و زیباشناسی بر روی زندگی انسانها تاثیر گذار هستند . بنابراین ، طراحی خوب ، ساخت با کیفیت ، داشتن سازه هایی ایمن و با دوام از اهداف مهندسين عمران می باشد . در صنایع مادر خصوصا صنعت نفت ، وجود سازه هایی از قبیل خطوط انتقال گاز و نفت ، مخازن ذخیره سازی نفت خام و فرآورده های نفتی ، سازه های پالایشگاهی و سازه های دریایی نفتی به عنوان شریانهای حیاتی تلقی می گردند . با افزایش نیاز روز افزون جوامع به انرژی و استفاده از تکنولوژی های جدید در صنعت ساخت و ساز و بالا رفتن کیفیت سازه ها ، تأثیر عملکرد شریانهای حیاتی بر مجموعه اقتصاد و امنیت روانی و اقتصادی جامعه نمایانتر می شود . بر این اساس نیاز به ایمنی در سازه های زیر بنایی همچون سازه های نفتی ، به شدت در حال افزایش می باشد . صنعت نفت علاوه بر توسعه و ساخت سازه های عظیم نفتی جدید ، به بهبود در ایمنی سازه های موجود خود نیاز دارد . موارد اشاره شده متخصصان عمران را به استفاده از سیستم مانیتورینگ سلامت سازه به عنوان راه حلی کلیدی جهت حل مشکل هدایت کرده است . برای مثال در خطوط انتقال نفت و گاز و مخازن ذخیره سازی ، نشت هیدروکربن اثرات زیان بار اقتصادی به همراه داشته و آلودگی محیطی زیادی را ایجاد می کند . روشهای سنتی در آشکار سازی نشت که به آلودگی منجر می شود ، وقت گیر بوده و اغلب مخرب می باشند . استفاده از سیستم های کنترل از راه دور به عنوان یک گزینه برای مانیتورینگ چنین سازه هایی مطرح بوده که غیر مخرب نیز می باشد و یا مانیتورینگ کرنش در سازه های فولادی همچون خطوط لوله و یا مخازن فلزی ذخیره سازی قابل انجام است . می توان به این حقیقت اشاره کرد که ، اثرات محیطی

در مواردی که تغییرات دما و و فشار در محیط و سیال زیاد است و سازه فلزی را دچار خوردگی می کند ، شدید است .

عملکرد بد چنین سازه هایی اغلب با عواقب جدی همراه است . جدی ترین آنها حوادثی هستند که با قربانی شدن انسانها همراه اند علاوه بر آنکه محیط زیست نیز به شدت آلوده می شود . اثر اقتصادی مربوط به از کارافتادگی سازه های نفتی دارای دو قسمت می باشد : مستقیم و غیر مستقیم . اثر مستقیم به هزینه ساخت مجدد بر می گردد ، درحالیکه اثر غیر مستقیم شامل خسارات در سایر بخشهای اقتصادی می باشد . استفاده از سیستم های پیشرفته و نوین در خطوط انتقال نفت و مخازن ذخیره سازی کشور ایران باعث می شود تا زمان و محل آسیب ، بعد از گذشت مدت زمان کمی مشخص شود که باعث صرفه جویی اقتصادی و جلوگیری از هدر رفتن سرمایه های ملی می شود . لذا در این خصوص آشنایی بیشتر با تکنولوژیهای روز و نحوه بکار گیری آنها در سازه های مهم از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می باشد . در این پژوهش به بررسی استفاده بهینه از این سیستم ها و نحوه به کارگیری از آنها پرداخته شده و دلایل استفاده از این روش ، نیازها و ضرورت های کاربرد آن در مخازن ذخیره سازی به همراه طراحی اولیه مانیتورینگ یک سیستم مورد تحقیق قرار گرفته است .

1-2-سامان دهی پایان نامه :

فصل اول این پایان نامه به بیان اهمیت موضوع مانیتورینگ سلامت سازه پرداخته و کاربرد کلیدی آن در صنعت نفت خصوصا در مخازن ذخیره سازی را بیان داشته است . فصل دوم در مورد تعریف مانیتورینگ سلامت سازه از زبان مراجع معتبر و قابل استناد این شاخه از علم می باشد . سپس به بررسی اهداف مورد نظر و مرور کارهای گذشته اشاره دارد . در پایان فصل به اهمیت مانیتورینگ در مخازن نفتی پرداخته می شود . فصل سوم در مورد تعریف آسیب دیدگی است و به یکی از راه های

شناخت آسیب در صنعت که آزمون های غیر مخرب باشد می پردازد و مقایسه ای بین این روش و مانیتورینگ سلامت سازه انجام می دهد . فصل چهارم به شناخت اندازه گیری های کرنش پایه پرداخته است و پیشینه تئوریک این نوع اندازه گیری ها را ارائه کرده است . فصل پنجم درباره شناسایی و یافتن یک دید کلی درباره سازه یک مخزن ذخیره سازی است . فصل ششم درباره تشخیص خرابی در چنین سازه ای و معرفی خرابی های متداول در این سازه نکاتی را ارائه کرده است. در فصل هفتم طراحی مانیتورینگ سلامت مخزن نفتی انجام شده و در فصل هشتم نتیجه گیری های لازم انجام می شود و پیشنهاد هایی برای ادامه کار مطرح می گردد .

فصل دوم

تعریف مانیتورینگ سلامت سازه

2-1-تعریف مانیتورینگ سلامت سازه¹:

استراتژی های شناسایی خرابی در مهندسی های هوا فضا ، عمران و مکانیک و سازه های مربوط به آنها اشاره به مانیتورینگ سلامت سازه دارد . عموم روش های مانیتورینگ می کوشند تا ورودی ها و پاسخ های یک سازه قبل از خرابی را به عنوان مبنا اندازه گیری کرده و سپس داده های بعدی را آنالیز کنند . مرحله بعد از آن مقایسه آنالیز داده ها با داده های قبل از خرابی ، جهت پیش بینی شرایط محیطی حاضر و شرایط عملیاتی سازه و اجزای آن جهت تست سیستم و مدلسازی عددی جهت تعیین عمر مفید سازه ، است.[1]

بطور کلی می توان مانیتورینگ سلامت سازه را در چهار جزء مشخص و به هم پیوسته تقسیم بندی کرد:

- اندازه گیری ها یا جمع آوری داده ها
- شناسایی صحیح سازه
- تشخیص خرابی
- تصمیم سازی

مهمترین بخش مانیتورینگ سلامت سازه تصمیم سازی است یعنی بر اساس داده های بدست آمده از سه بخش قبل بتوان گفت که برای سازه چکار باید کرد ؟

سازه را در همین حالت نگهداری کرد یا نیاز به تعمیر و یا مقاوم سازی دارد و یا بایستی سازه دیگری را جایگزین کرد . همچنین بایستی نسبت به تغییر دادن/ندادن طراحی های آینده نیز تصمیم گیری کرد .

¹ -Structural Health Monitoring

2-2-هدف از مانیتورینگ سلامت سازه :

هدف از مانیتورینگ سلامت سازه ، مشخص کردن پیوستگی و یکپارچگی و سلامت سازه بدون استفاده از روش های مخرب است . روشهای قدیمی مانیتورینگ سلامت سازه به دو بخش تقسیم می شوند:

1-تشخیص خرابی در سازه

2- پیش بینی مکان و حجم خرابی در طول مدت زمان باقیمانده از عمر آن

سیستم های SHM در حالت کلی ، حالت جاری سازه را با داده های گرفته شده از گذشته سازه ، (زمانی که سازه را سالم می دانستند) مقایسه می کنند . این مقایسه جهت نشان دادن خرابی یا عدم خرابی در سازه است . شناسایی خرابی اولین هدف در سیستم مانیتورینگ سلامت سازه است . سپس مراحل بعدی آن مکان یابی خرابی و برآورد میزان خرابی است .

پروژه مانیتورینگ سلامت سازه شامل ، بررسی دقیق یک سیستم در طول زمان استفاده از آن و بصورت دوره ای اندازه گیری از نمونه پاسخ های دینامیکی آن توسط سنسورها ، استخراج داده های مربوط به رابطه بین خرابی در سازه و شرایط نشان داده شده در پردازش داده های گرفته شده از سنسورها و اندازه گیری ها ، سپس آنالیز استاتیکی این رابطه جهت مشخص کردن میزان سلامت سازه در حال حاضر است . جهت مانیتور کردن های بلند مدت ، خروجی این پردازش بطور دوره ای داده هایش بروز می شود . البته این بروز شدن با توجه به بالا رفتن سن ساختمان و تغییر شرایط محیطی و عملیاتی سازه ، همراه با تغییرات در خروجی است . علاوه بر پایش دوره ای ، پس از رخدادهای بزرگ همچون زلزله ها و انفجار ، SHM برای بدست آوردن دید و نگاه سریع به شرایط سازه و رسیدن به جمع بندی اینکه شرایط عملیاتی سازه در چه حدی قرار دارد ، کاربرد دارد . محققان به این نکته اعتقاد دارند که مانیتورینگ سلامت سازه در حالت اساسی یکی از موارد - یا

بعبارت بهتر زیر شاخه - شناسایی الگوی استاتیکی است چرا که مراحل شناسایی خرابی را در لغت با شناسایی الگوی استاتیکی¹ جابجا می کنند که این موضوع از 4 طبقه پردازشی زیر تشکیل شده است:

1- بررسی عملیاتی سازه

2- جمع آوری داده ها و دسته بندی آن

3- استخراج نتایج مورد نیاز و جمع بندی از نتایج

4- بدست آوردن مدل استاتیکی برای نتیجه گیری های حیاتی در مورد سازه [2]

2-3- مرور کارهای گذشته:

2-3-1- انگاهی کلی به زمینه های تحقیق :

همانطور که قبلاً اشاره شد ، زمینه شناسایی خرابی بسیار وسیع بوده که شامل روش های محلی و عمومی می باشد . موضوعات بسیار زیادی هستند که بررسی آنها جهت شناسایی خرابی و سلامت سازه ، بسیار حیاتی اند. بیان موضوعات مهم ، تحریک کردن سازه و در نظر گرفتن اندازه گیری ها ، شامل انتخاب نوع و محل سنسورها ، نوع و محل تحریک سازه بسیار با اهمیت است . موضوع مهم دیگر پردازش سیگنال است که شامل روش هایی چون آنالیز فوریه ، آنالیز زمان-فرکانس و آنالیز ویولت است .

در ادامه روند تحقیقاتی که در فهم مسئله مورد نظر این پایان نامه تاثیر بیشتری دارند آمده است . مرور تحقیقات گذشته به چند قسمت طبقه بندی می شود:

¹ Statistical Pattern Recognition

ابتدا تحقیقات قبلی ای که درباره روش های شناسایی خرابی و محل آن است ، مرور می شود . سپس کاربرد این تکنیک ها برای سازه های خاص و مسائل مهندسی مرور می شود . در نهایت توصیه های حیاتی و پیشنهاداتی که برای تحقیقات آینده ، گفته شده است ، ارائه می شود . روش های شناسایی خرابی بر اساس نوع اندازه گیری داده های استفاده شده و یا تکنیک های مورد استفاده طبقه بندی شده اند .

2-3-1- تغییرات فرکانس:

تعداد تحقیقاتی که در رابطه با شناسایی خرابی از پارامتر فرکانس طبیعی استفاده می کنند ، بسیار زیاد است . تغییرات در خصوصیات سازه باعث تغییر در فرکانس لرزه ای سازه ، عاملی بود تا از روش های مودال برای شناسایی خرابی و مانیتورینگ سلامت سازه ، استفاده شود .

بخاط تعداد زیاد تحقیقات انجام گرفته ، سعی شده است که کارهای آخری که در این زمینه انجام شده است معرفی گردد.

بایستی توجه داشت که استفاده از فرکانس در حالت عملی دارای محدودیت های مهمی در سازه های مختلف است ، اگر چه که در آینده ، تحقیقات وسیع ممکن است به حل این مشکلات کمک کند . در بعضی موارد تغییرات کم فرکانس و پایین بودن حساسیت فرکانسی باعث می شود تا نیاز به اندازه گیری بسیار دقیق فرکانس داشته باشیم و یا حجم خرابی بسیار بالا باشد تا شناسایی شود .

برای مثال در سکوهای دریایی تشخیص فرکانس های ایجاد شده ی ناشی از خرابی ، فرکانس ناشی از افزایش جرم بواسطه جزر و مد دریا ، بسیار سخت است . آزمایشات روی پل I-40 (فرار و همکاران 1994)¹ همین نکته را نشان داده است چرا که وقتی سختی سطح مقطع در مرکز صفحه اصلی پل به

¹ Farrar, et al

96.4% کاهش پیدا می کند ، سختی خمشی کل سطح مقطع پل زیر 21% کاهش پیدا کرده و در نتیجه کاهش چشمگیری در فرکانس های مودال قابل مشاهده است . در نتیجه استفاده از تغییرات فرکانس جهت شناسایی خرابی نیازمند به محیطی کنترل شده و اندازه گیری بسیار دقیق ، شبیه به آزمایشگاه های کنترل کیفیت در ساخت قطعات کارخانه ای دارد [3] . برای مثال در روشی که معروف به رزونانت التراسوند اسپکتروسکوپی¹ می باشد ، از آشکار سازهای هموداین² استفاده می شود تا فرکانس های سینوسی - رفت و برگشتی³ به دقت بالا اندازه گیری شود تا خروج از محوریت بال بیرینگ ها⁴ معین گردد⁵. از آنجا که فرکانس های مودال از خصوصیات عمومی سازه اند ، تغییرات این پارامتر ، نمی تواند جهت تعیین دقیق خرابی بکار رود . به زبان دیگر ، فرکانس نمی تواند اطلاعات خاصی را در مورد تغییرات در سازه بدهد .

استثنایی برای این محدودیت در فرکانس های مودال مرتبه بالاتر می تواند باشد ، جایی که مودها بر اساس پاسخ های محلی بررسی می شود . با این وجود محدودیت های عملی همراه با تحریک و جداسازی این مودهای محلی باقی می ماند که عامل مشکل ساز در شناسایی آن ها می شود .

تغییرات فرکانس در چند نقطه محلی از سازه نیز می تواند به ما در شناسایی و رخ دادن خرابی در سازه کمک کند چرا که باعث تغییر در ترکیب فرکانس های مودال می شود . در نتیجه همانطور که محققین زیادی گفته اند ، به تعداد نامتناهی فرکانس با تغییرات به اندازه کافی نیاز است تا مکان خرابی در سازه مشخص گردد .

¹ Resonant Ultra Sound Spectroscopy

² homodyne

³ sine-sweep

⁴ ball bearing

⁵ Migliori, et al (۱۹۹۳)

2-3-1-1-مسائل پیشرو¹

مسائل پیشرو، که معمولاً در طبقه بندی 1 از شناسایی خرابی قرار می گیرند، شامل محاسبه تغییرات فرکانس از یک نوع خرابی مشخص می شود. متناوباً خرابی بصورت ریاضی مدلسازی شده و سپس فرکانس های اندازه گیری شده با فرکانس های پیش بینی شده مقایسه گردیده تا خرابی مشخص گردد. دانشمندان زیادی همچون ونديور²(1975)، بک و همکاران³(1976)، آدامز و کاوولی⁴(1979)، گودموندسون⁵(1982)، ترای و داردين⁶(1989)، کات و دینیوسون⁷(1992) و... در این زمینه فعالیت کردند. مگیور و منگتی⁸(1994) فرمولی را بر مبنای حساسیت فرکانس اثبات کردند که بوسیله آن مکان ترک در یک تیر با تغییر فرکانس بدست می آید. با داشتن تغییر سختی محلی و رسم نمودار تغییرات فرکانس بر حسب تابعی از مکان ترک و تقاطع این نمودار با خط تغییر سختی محلی، مکان ترک پیش بینی می شود. چوی و همکاران⁹(1995) از یک تکنیک ماتریس انتقال جهت ارتباط دادن نیروها و جابجایی در یک انتها از المان تیر استفاده کرد تا مقادیر مشابه را در انتهای دیگر تیر بدست آورند. نویسندگان سپس مفهوم تیر را به یک پی الاستیک بسط داد و ثابت کرد که خرابی می تواند با کاهش مدول یانگ در یک جزئی از اجزای بیم شبیه سازی شود.

با فرض اینکه مدول یانگ تمام المان های تیر سالم معلوم باشد، با روش تکرار و سعی و خط المان هایی که مدول یانگ آنها کاهش یافته است، مشخص می شود. در ادامه از جستجوی نیووتون-رافسون هم استفاده شده تا مکان چندیدن خرابی در تیر مشخص شود. البته تعداد خرابی ها، بایستی معلوم باشد. جهت تعیین خرابی در پی الاستیک تیر به طریق مشابه عمل می گردد. [2]

¹ Forward Problem

² Vandiver

³ Begg, et al

⁴ Adams and Cawley

⁵ Gudmundson

⁶ Dardoen and Traey

⁷ Kot and Srinivasan

⁸ Meneghetti and Maggiore

⁹ Choy, et al

2-3-1-2- معکوس مسئله

معکوس مسئله که عموماً مربوط به شناسایی طبقه 2 و 3 است ، شامل محاسبه پارامترهای خرابی یعنی مکان و یا طول خرابی ، از طریق تغییرات فرکانس است .

لیفشیتز و روتتم¹ (1969) احتمالاً اولین مقاله جهت شناسایی خرابی از طریق اندازه گیری لرزه ای را ارائه کردند ، که با در نظر گرفتن میزان تغییرات مدول دینامیکی و ارتباط دادن آن به تغییرات فرکانس ، اقدام به ارائه روش تعیین خرابی کردند. [2]

2-4- روش های بر پایه اندازه گیری دینامیکی انعطاف پذیری

طبقه دیگری از روش های شناسایی خرابی ، استفاده از اندازه گیری دینامیکی ماتریس انعطاف پذیری جهت تخمین تغییرات در رفتار استاتیکی سازه است . از آنجا که ماتریس انعطاف پذیری بصورت معکوس ماتریس سختی تعریف می شود ، ماتریس انعطاف پذیری نیروی استاتیکی اعمال شده را به جابجایی نتیجه شده در سازه مرتبط می سازد . بنابراین هر ستون ماتریس انعطاف پذیری بیانگر الگوی جابجایی سازه با اعمال نیروی واحد در درجه آزادی معین است . با استفاده از ماتریس های انعطاف پذیری در زمان های مختلف و مقایسه با ماتریس انعطاف پذیری در حالت بدون خرابی و بدست آمده از روش اجزای محدود ، خرابی در سازه شناسایی می شود .

اکتان و همکاران² (1994) با استفاده از ماتریس انعطاف پذیری جهت محاسبه پیوستگی نسبی یک پل طرحی را ارائه کردند . آنها این تکنیک را برای 2 پل اجرا کرده و انعطاف پذیری اندازه گیری شده را با تغییر شکل های ثابت ایجاد شده در سازه بوسیله دسته ای از تراک های سنگین بر روی پل ، امتحان کردند . [2]

¹ Lifshitz and Rotem

² Aktan, et al

2-5- روش های کرنش پایه: [4]

اندازه گیری کرنش از جمله مهمترین اندازه گیری های بر پایه پاسخ های لرزه ای سازه است. از دیگر مواردی که در اندازه گیری پاسخ های لرزه ای اهمیت دارد، شتاب، جابجایی است که همگی جزو مقادیر سینماتیک هستند. دما، رطوبت و باد نیز از جمله موارد محیطی تاثیر گذار در این حوزه از انرژی هستند که برای مثال در مقدمه به تاثیر آنها در مانیتورینگ اشاره شد.

پرن و ونگ¹ (2000) از نشانگر های کرنشی با فیبر نوری جهت پایش خمش عمودی، خمش افقی، پیچش، نیروی برشی عمودی و نیروهای قطری فشاری در قایق های تندروی استفاده کردند. هدف نهایی این اندازه گیری ها اندازه گیری گشتاور خمشی کلی سازه بود بر اساس شبیه سازی اجزای محدود تاثیر امواج بر روی سازه مشخص گردید. ایشان از تکنیک های انتقال ویولت جهت آنالیز کرنش گذار گرفته شده از سنسورها و فهم مودهای خمش عمودی استفاده کردند.

ریزالا و همکاران² (2000) پروژه ای را جهت مانیتورینگ از راه دور سه پل در کانادا تعریف کردند که با "FRP" تعمیر شده بودند. مخصوصا محققان انگیزشان اندازه گیری کرنش های توسعه یافته در کامپوزیت های بود که برای تقویت و پیش تنیدگی در پایه ها و بتن آرمه های عرشه و دیوارهای باربر در سیستم قرار گرفتند. آنها از سنسورهای فیبر نوری و سنسورهای دمایی الکتریکی در این جهت استفاده کردند. از سنسورهای فیبر نوری³ نیز جهت نشان دادن کرنش های کرنش "FRP" در بتن آرمه عرشه استفاده شد. محققان دریافتند که کرنش ناشی از بار اعمالی ترافیک خودروها بسیار کم تاثیر تر نسبت به کرنش ناشی از بار القایی ناشی از تغییرات دمایی است.

¹ Wang and Pran

² Rizkalla, et al

³ FBG

تحقیقات کامل در مورد مقایسه میان کرنش سنج های متداول و فیبر نوری توسط کیم و پیک¹ (1997) انجام گردید.

تاد و همکاران² (2000) سیستم اندازه گیری کرنش پایه ای را جهت بدست آوردن داده هایی با رزولوشن بالا و نویز کم توسعه دادند که با تکنیک های کشف خرابی های موجود آنالیز و پردازش می شود. نویسندگان روش خود را با مثالی از یک ورق گیر دار که از محل گیرداریش در حال جدا شدن است، نشان دادند.

2-6- روش های غیر خطی

اکتیس و دیماروگونز³ (1989) روشی بر مبنای اجزای محدود برای یک تیر که ترک های باز و بسته داشت ارائه دادند. آنها مشخص کردند که اگر ترک تیر بر اساس علامت خمش تیر در محل ترک، باز یا بسته باشد، تقریبی وجود دارد که بر آن اساس، شکل مود تغییراتی ندارد. هوانگ و جو⁴ (1993) از معادلاتی با درجات بالاتر از 1 جهت نشان دادن غیر خطی بودن در سازه استفاده کردند.

شویتز و پرایم⁵ (1996) نتایجی از یک مطالعه آزمایشگاهی از یک تیر طره که ترک های باز و بسته در آنها بود را ارائه کردند. نتایج ارائه آنها نشان داد که شکل مودهای هارمونیک، بسیار حساس تر به عمق ترک و مکان های ترک بوده و نسبت به حالت شکل مودهای معمولی و متعارف حساسیتشان به ترک بهتر نشان داده می شود. شکل مودهای هارمونیک از طریق اندازه پیک های هارمونیک در طیف پاسخ مقطع-توان بدست می آیند. [2]

¹ Kim and Paik

² Todd, et al

³ Actis and Dimarogonas

⁴ Gu and Huang

⁵ Shevitz and Prime

2-7- روش های بر پایه شبکه عصبی:

در سال های اخیر علاقه محققین جهت استفاده از شبکه های عصبی برای تخمین و پیش بینی میزان و مکان خرابی در سازه های پیچیده بیشتر شده است .

شبکه های عصبی بعنوان توابعی کلی و تخمینی برای هر نوع تابع با هر پیچیدگی دلخواه توسعه داده شدند . پیدا کردن دید کلی و اجمالی به شبکه های عصبی را می توان با خواندن مطالب بیشاپ¹(1994) بدست آورد. رایج ترین نوع شبکه عصبی مورد استفاده ، پروسپترون چند لایه(MLP) است که بصورت پس انتشار بکار می رود . شبکه عصبی پس انتشار چند لایه ، توابع نزولی سیگموید² هستند که خروجی های یک لایه در وزن های خاصی ضرب شده و با هم جمع می شوند و سپس با خطوطی ارتباطی به عنوان ورودی لایه بعد استفاده می شوند . طراح یک شبکه عصبی در واقع وزن ها و خطوط اتصال لایه ها را طراحی می کند . الگوریتم پس انتشار نیز روشی جهت تنظیم وزن ها و خطوط اتصال لایه ها است که هدفش مینیمم کردن خطا بین خروجی های اندازه گیری شده و پیش بینی شده است . در مطالعات محققان وزن هایی توسط آزمایشات مختلف بهینه شده و مقادیری از داده ها با تکرارهایی متعدد در الگوریتم تمرین آورده شده است تا شواهد نشان دهد که خطا بین داده ها و شبکه عصبی قابل قبول است .

وو و همکاران³ (1992) از شبکه عصبی پس انتشار جهت شناسایی خرابی در یک ساختمان سه طبقه که بصورت دوبعدی و در نظر گرفتن برش در آن تحت نیروی زلزله مدلسازی شده است ، استفاده کردند . خرابی بصورت کاهش سختی عضو و به میزان 50 تا 75 درصد مدلسازی شده است . شبکه عصبی از انتقال داده های فوریه شتاب جهت شناسایی نقشه خرابی بصورت میزان آسیب دیدگی در

¹ Bishop

² Sigmoid

³ Wu, et al

هر عضو استفاده کرده است. دویست نقطه ابتدایی در انتقال سریع فوریه¹ 0 تا 20 هرتز بعنوان ورودی های شبکه عصبی استفاده شد. طراح شبکه یک لایه مشخص با 10 گره سختی انتخاب و 42 بار امتحان در شبکه انجام داد. اولین مرتبه امتحان فقط داده های شتاب بالاترین طبقه بوده است. نتیجه آنکه شبکه عصبی تنها قادر بود که داده های طبقه سوم را با دقت شناسایی کند. در نتیجه از شبکه عصبی ثانوی استفاده شد. برای این شبکه از داده های ورودی مربوط به دوطبقه دیگر استفاده شد. این شبکه قادر بود تا خرابی برای طبقات اول و سوم با 25 درصد خطا تشخیص دهد ولی جهت میزان خرابی برای طبقه دوم مناسب نبود.

حجم کارهای انجام شده در این زمینه بسیار زیاد است و به اختصار آورده می شود. شوارز و همکاران² (1996) از شبکه عصبی پس انتشار جهت شناسایی آسیب های خطی در سیستم های جرم- فنر استفاده کردند. نویسندگان درباره جزئیات شبکه عصبی خود زیاد توضیحی ندادند و فقط به گفتن سه لایه بودن شبکه عصبی پس انتشار خود بسنده کردند. شبکه عصبی برای شناسایی تغییرات در ثابت های فنر بر حسب تغییرات در فرکانس های مودالی استفاده شد. شبکه عصبی به سیستم مورد آزمایش که شامل دو فنر و دو جرم است، اعمال شد. یک خروجی به تغییرات سختی هر فنر نسبت داده شد. شبکه عصبی با 1000 داده متناظر با تغییرات در سختی (از صفر تا 100% تغییرات) آزمایش شد. نویسندگان فهمیدند که آنها قادرند تا تغییرات در سختی در بازه حدود 10 درصد تغییر را برآورد نمایند. یکی از مشکلات در این آزمایش این بود که به موازات افزایش پیچیدگی بخاطر نزدیک کردن مسئله به واقعیت، دور شدن از جواب بیشتر رخ می داد. علاوه بر آن نویز³ شبیه سازی نشده بود که الگوریتم را تحت تاثیر خود قرار داد.

¹ Fast Fourier transform

² Schwarz, et al

³ noise

بحث در مورد موارد بالا بسیار زیاد در مقالات قبلی آمده است ولی خلاصه و چکیده مباحث و نکات مهم آن بشرح زیر است:

در بعضی موارد اگر داده های سازه در حالت آسیب ندیده موجود باشد ، الگوریتم هایی که جهت شناسایی مدل استاتیکی استفاده می شود ، از این داده ها استفاده می کنند ، و در مواردی که داده های سازه آسیب ندیده موجود نباشد ، نحوه محاسبه و الگوریتم شناسایی مدل استاتیکی آن متفاوت است شدت خرابی و حالت آن با پاسخ به پرسش های زیر بدست می آید:

1- آیا خرابی در سیستم وجود دارد؟

2- مکان خرابی در سیستم کجاست؟

3- چه نوع خرابی در سیستم وجود دارد؟

4- شدت خرابی (دامنه تخریب) تا چه حدی است؟

5- چه میزان از عمر مفید سازه باقی مانده است؟

از مدل های استاتیکی جهت پاسخ به این پرسشها استفاده می شود.[5]

از مهمترین قسمت های توسعه پردازش مدل استاتیکی ، آزمایش کردن این مدل ها با داده های واقعی است تا حساسیت روش ارائه شده نسبت به خرابی سنجیده شود. دابلینگ و همکاران¹ یک مرور جامع در مورد مقالات ارائه شده در مورد مانیتورینگ سلامت سازه که شامل شناسایی ، مکان یابی و خصوصیات یابی خرابی های سازه ای بوده که پاسخ های لرزه ای سازه را بررسی می کند ، ارائه کردند . این گزارش ابتدا روش ها را بر اساس داده های مورد نیاز جهت اندازه گیری و تکنیک

¹ Doebling , et al

های آنالیز تقسیم بندی می کند . سپس کاربرد روش های مختلف برای انواع مسائل مهندسی را بصورت خلاصه بیان می کند . بعضی نتایج حاصل از این گزارش بصورت خلاصه آمده است .

بعضی از آنالیزها و مدل ها نیاز به داده هایی از سازه آسیب ندیده دارند و بعضی دیگر این داده ها را بر اساس مدلسازی اجزای محدود سازه مورد نظر بدست می آورند . در نتیجه دسته دوم تقریباً بصورت غیر تجربی به نتیجه رسیدند . در مورد دسته اول هم بایستی توجه داشت که حجم بالای داده های ورودی ، تحلیل را دچار پیچیدگی و وابستگی به آن داده ها می کرد .

تقریباً اکثر روش های شناسایی خرابی ، بر اساس مدلسازی های سازه بصورت خطی انجام گرفته است . مطالعات زیادی در زمینه مدلسازی سازه بصورت غیر خطی و پاسخ غیر خطی سازه نیاز است . برای مثال می توان به بازشدن و بسته شدن ترک ها در طول بارگذاری های سیکلی و نتایج ناشی از خستگی در سازه و یا تست های لرزه ای سازه ، اشاره کرد .

تعداد و مکان سنسورهای اندازه گیری از دیگر موارد مهم اشاره نشده در بسیاری از مقالات مرور شده است . بسیاری از روش ها که در یک مثال موردی به خوبی جواب دادند ، در موارد واقعی با مشکل مواجه می شوند چرا که تعداد سنسورهای اندازه گیری محدود بوده و در شرایط واقعی با مشکلات و محدودیت هایی نیز مواجه بوده و بایستی در مورد محل قرارگیری مناسب سنسورها نیز بصورت علمی بحث و نتیجه گیری مناسب انجام شود .

از دیگر مواردی که باید بدان اشاره کرد آن است که بسیاری از موارد مطالعه شده مربوط به قسمت های کوچک و موارد جزئی از یک سازه است و نمی توان در حالت کلی و سازه های اساسی به آن تکیه کرد . چرا که عدم قطعیت بالا در اندازه گیری ها مانع شناسایی خرابی های جزئی و سطح پایین می شود .

با توجه به مانیتورهای طولانی مدت سلامت سازه هایی همچون پل ها و سکوهای دریایی ، نیاز به کاهش وابستگی به مکانیزم های تحریک مصنوعی سازه در مطالب بسیاری از محققین اشاره شده است . توانایی استفاده از لرزه هایی که توسط محیط پیرامونی و یا بارهای ناشی از عملیاتی بودن سازه ایجاد می شود از جمله نکاتی بوده که بسیاری از محققین به آن اشاره کرده اند .

از دیگر موارد اشاره شده توسط محققین این است که استفاده از این روش ها بیشتر بایستی به سمت کاربردهای خاص و صنایع حساس باشد تا از محاسن این تکنولوژی استفاده کنند . از قبیل: مانیتورینگ سلامت سازه ای پل ها ، سکوهای پیشرفته نفتی دریایی ، هواپیما ها و دیگر سازه هایی که برای استفاده طولانی مدت ساخته شده اند . علاوه بر آن ، تحقیقات بایستی معطوف به آزمایش این روش ها بر روی سازه های واقعی در حین بهره برداری شود تا آزمایش های محیط آزمایشگاهی .

در سال 1993 ، راتر¹ ، 4 سطح در مورد روش های شناسایی خرابی بیان کرد. اینمن² در سال 2003 سه سطح دیگر بدان افزود . این سطوح می تواند به مانیتورینگ سلامت سازه مدرن تعبیر شود.

1-تشخیص (کشف) وجود خرابی

2-تشخیص و مکان یابی خرابی

3-تشخیص ، مکان یابی و تعیین میزان خرابی

4-تشخیص ، مکان یابی ، تعیین میزان خرابی و پیش بینی عمر مفید باقیمانده سازه

5-ترکیب مرحله 4 با سازه های هوشمند تا اینکه سیستم هایی که خود ارزیاب³ هستند شکل گیرند .

6-ترکیب مرحله 4 با سازه های هوشمند تا اینکه سیستم های خود سالم نگه دار¹ شکل گیرند .

¹ Rytter

² Inman

³ Self-evaluating

7- ترکیب با کنترل های فعال تا بطور همزمان مانیتورینگ سلامت و کنترل انجام گیرد . [6]

پیریس² (2002) توانست بطور موفقیت آمیزی مراحل یک تا 6 تقسیم بندی راتر-اینمن را به مشارکت گیرد . تحقیق او شامل پیدا کردن محل قطع شدن پیچ در یک عملگر³ با آلیاژ شکل پذیر هوشمند⁴ بوده تا بتواند گشتاور ابتدایی مورد نیاز به پیچ اتصال دهنده را به آن دوباره بازگرداند . اگر چه که آزمایش این تحقق بر روی یک نمونه بزرگ انجام نشد ولی تحقیق او در واقع تلاشی در زمینه پر کردن فضای خالی بین سیستم تقسیم بندی بالا و صنعت واقعی بوده است .

در سال های اخیر ، تقاضا برای سیستم های مانیتورینگ سلامت سازه از سیستم هایی که کارشان مانیتور کردن و بازرسی از سازه است به سمت سیستم هایی میل کرده است که توانایی تشخیص و مدیریت خرابی را دارند ، و از حالت استفاده از این تکنولوژی بصورت محدود در سازه های قدیمی هوافضا یا عمران به سمت استفاده در سازه های انتقال زمینی ، سازه های دریایی ، ماشین های کارخانجات و حتی دستگاههای بیمارستانی و ... پیش می رود(چانگ، 2003)⁵ .

¹ Self-evaluating
² Pearis
³ actuator
⁴ Shape alloy Memory
⁵ Chang

2-8- اهمیت و شیوه مانیتورینگ در مخزن ذخیره سازی نفت خام:

امروزه رقابت کشورها در بالابردن ظرفیت ذخیره سازی نفت به موضوعی استراتژیک تبدیل شده است. این موضوع از دو جهت اهمیت دارد. اول آنکه توان ذخیره سازی بالای کشورهای صادر کننده نفت، قدرت مانور عملیاتی آنها را در تحویل نفت به مشتریان بالابرده و در صورت کشش بازار در هر زمان عرضه بیشتری به بازار داشته باشند و چنانچه در بعضی ایام صادرات کاهش یابد، مجبور به توقف تولید نباشند. دوم برای خریداران ذخیره سازی امری حیاتی است چرا که در مواقع بروز جنگ و یا تهدیدات دیگر ذخیره مناسب برای مصرف خود داشته باشند. بطور مثال ایالات متحده آمریکا توان ذخیره سازی 727 میلیون بشکه نفت خام را دارد و اگر مصرف 19.5 میلیون بشکه در روز این کشور در نظر گرفته شود، مشخص می شود که در صورت انواع تهدیدات خارجی و مشکلات در برداشت داخلی، تا مدتی طولانی از نفت خام برخوردار است. آنچه مسلم است این است که توان ذخیره سازی حتی 100 هزار بشکه، بهتر از نداشتن این ظرفیت است. از طرفی واضح است که عملکرد مطلوب سازه یک مخزن ذخیره سازی نفت خام در طول عمر آن با افزایش تعداد قابل ملاحظه خرابی های سازه ای، کاهش می یابد. تشخیص و مدیریت فرسودگی سازه های نفتی و نیاز به برآورد دقیق خرابی و شناخت ابزارهای مورد نیاز برای متخصصان بوضوح روشن و ضروری است. علاوه بر آن کاربرد روش های معمول تست های غیر مخرب¹ برای بازرسی های دوره ای از مخازن، ایمنی و اعتماد پذیری آنها را تضمین می کند. با این وجود نیاز به بازدید های دوره ای انکارناپذیر است چرا که خرابی های غیر قابل پیش بینی همیشه وجود دارد، در غیر اینصورت هزینه های تعمیر و نگه داری بطور قابل ملاحظه ای بالا می رود و در کل انجام عملیات و تعمیرات دوره ای با هزینه و وقت بالا انجام می شود.

¹ NDE

جهت ارزیابی خرابی ناشی از فرسودگی مخازن ، همچنین مینیمم کردن بازدید های منظم دوره ای و حذف تعمیرات ناگهانی ، بکاربردن روش های پایش سلامت سازه ضروری است . پایش درون سازه ای سلامت یک سازه واقعی¹ نیاز به نصب شبکه هایی از سنسور های مدفون شده در سازه دارد . چنین شبکه های سنسوری بایستی در نقاط حساس سازه پراکنده شده و به پردازشگر مرکزی متصل شود تا سازه پایش و خرابی هایش مشخص گردد .

در سازه یک مخزن نفتی بیشترین خرابی ها در کف مخزن رخ می دهد . بسیاری از روش های موجود مانیتورینگ سلامت سازه بر پایه طیف وسیعی از خصوصیات فیزیکی همچون دمپینگ ، فرکانس لرزش و ... است که توضیحات آن در بسیاری از منابع آمده است . با وجود اینکه روش های فوق مزیت های خاصی نیز دارند ، معایب جدی ای نیز متوجه آنهاست . مهمترین عیب روش های مذکور ، حساسیت به شرایط مرزی ویا محیطی (یعنی بار اعمالی، دما) است و تشخیص و جداسازی سنسورهایی که مقادیر کاذب نشان داده و مختل کننده نتایج بوده و در بسیاری از موارد منجر به عدم توانایی تشخیص خرابی می گردد نیز بسیار دشوار است . بنابراین انتخاب یک سیستم درون سازه ای پایش سلامت که بتواند بطور دقیق و با قابلیت اعتماد بالا الگوهای ترک را شناسایی و میزان تاثیر ترک در سازه را برآورد نماید ، بسیار با اهمیت است . تنها تعداد کمی از روش های توسعه یافته مانیتورینگ سلامت سازه بر پایه اندازه گیری های کرنش بسط داده شده اند . با این وجود این روش نیز نمیتواند بطور مستقیم برای یک مسئله پیچیده بسط داده شود چراکه محاسبه طول ترک از طریق مقدار کرنش بر پایه توابع بسیار ساده ای بیان شده اند و نمی توانند برای مسائل پیچیده کاربرد داشته باشند . علاوه بر این ، روش مذکور نیاز به پیوست دسته های فیبر در همسایگی ترک و درون ناحیه توسعه ترک دارد که باعث می شود تا سنسور در مراحل خیلی ابتدایی تشکیل ترک از کار

¹On Board Structural Health Monitoring

بیفتد ، یعنی زمانی که مسیر ترک عمود بر فیبر باشد . بنابراین کل عملکرد فیبر زیر سوال می رود و در نتیجه روش کرنش پایه بسیار محدود می گردد.

عوامل تاثیر گذار در آسیب دیدگی یک مخزن نفتی بسیار زیاد است . مواردی همچون شدت جریان ورودی به مخزن ، دمای سیال ورودی ، خوردگی سیال ذخیره شده ، عدم پوشش مناسب بوسیله رنگ های چند لایه در کف مخزن و دیواره های آن ، سابیگی غیر مجاز دیواره مخزن با سقف شناور و ... از جمله عوامل آسیب دیدگی تدریجی در این سازه است . اما عاملی که این تحقیق تاثیرش را بر روی میزان آسیب دیدگی مخزن بررسی می کند ، کاهش ضخامت و ایجاد حفره ناشی از ضربات مکانیکی و یا خوردگی در کف مخزن است . سپس به بررسی اعمال بارهای سیکلی ناشی از پر و خالی شدن نفت خام به محل سوراخ در ورق های کف مخزن است . چرا که وجود حفره های بسیار ریز در که ناشی از خوردگی و یا ضربه است ، امری اجتناب ناپذیر می باشد . همین حفره های بسیار ریز با اعمال بارگذاری و باربرداری های متناوب ، افزایش طول های قابل توجهی از خود نشان می دهند . نتیجه آنکه نیاز به تعمیرات دوره ای در زمان های کوتاه تر از حد انتظار ، هزینه های سنگینی را تحمیل می نماید . با انجام مانیتورینگ سلامت سازه می توان از میزان و شدت خرابی های ناشی از این دست آگاهی یافته و تصمیم کاراتری را برای سازه اتخاذ کرد.[7]

فصل سوم

تعریف آسیب دیدگی

3-1- پیشگفتار

در این فصل به تعریف آسیب دیدگی پرداخته و یکی از راه های شناخت خرابی که استفاده از آزمون های غیر مخرب¹ می باشد نیز معرفی می شود . سپس به مقایسه مختصری بین مانیتورینگ سلامت سازه و آزمون های غیر مخرب پرداخته می شود .

3-2- تعریف آسیب دیدگی²: [4]

در یک تعریف کلی ، آسیب دیدگی یا خرابی می تواند بصورت تغییر ایجاد شده در یک سیستم که تغییر محسوسی در عملکرد حال یا آینده آن سیستم دارد ، تعریف شود . بوضوح این مفهوم در تعریف فوق مشخص است که خرابی بدون مقایسه بین دو حالت مختلف یک سیستم ، که یک حالت آن ، حالت ابتدایی سیستم یا اغلب آسیب ندیده می باشد ، معناپذیر نیست .

معمولاً در سیستم های سازه ای منظور از خرابی ، تغییرات در مواد سازنده سازه یا خصوصیات هندسی سازه - که شامل تغییر شرایط مرزی و پیوستگی سازه ای است - می باشد . برای مثال یک ترک که در جزء مکانیکی سازه بوجود می آید ، تغییری در هندسه سیستم داده که خصوصیات سختی آن جزء را تغییر می دهد. بسته به اندازه و موقعیت ترک و نیروی اعمال شده به سیستم ، تغییرات ایجاد شده در سیستم ممکن است آنی یا تدریجی باشد .

در مقیاس طولی ، همه خرابی ها در سطح مواد بوده و سپس تحت انواع سناریوهای بارگذاری در هر جزء سازه ممکن است خرابی با سرعت های مختلف در کل سیستم پیشروی کند . در مقیاس زمانی ، خرابی می تواند طی بازه زمانی بسیار طولانی انباشته شود همچون خرابی های انباشته مثل خرابی ناشی از خوردگی و خستگی . خرابی همچنین می تواند نتیجه رخداد های ناپیوسته ولی با برنامه

¹ Non destructive test

² Damage

همچون خرابی ناشی از فرود آمدن در صنایع هوایی و یا ناشی از رخدادهای ناپیوسته و بدون برنامه قبلی همچون زلزله یا حملات تروریستی و نظامی باشد .

اصول ابتدایی تقریباً همه روش های شناسایی خرابی این است که ، آسیب دیدگی باعث تغییر در سختی ، جرم یا از بین رفتن انرژی در یک سیستم می شود که در نهایت باعث تغییر در خصوصیات دینامیکی و پاسخ های آن در سازه می شود . اگر چه که اصول تشخیص آسیب دیدگی بسیار ساده بنظر می رسند ولی کاربردهای واقعی این مفاهیم ، با دشواری های بسیاری همراه است . عمومی ترین دشواری که در تشخیص خرابی با روش های مختلف همراه است ، این واقعیت است که در بسیاری از موارد ، خرابی یک پدیده محلی بوده و بطور واضح پاسخ فرکانس کلی سازه را در تست های لرزه ای سازه ، تحت تاثیر قرار نمی دهد . به زبان دیگر ، این تغییرات اساسی - که مشابه آن در زمینه های مختلف مهندسی یافت می شود - در این موارد نیاز به تقسیم بندی پاسخ سیستم به مقیاس های بسیار ریزتر داشته و در نتیجه مدلسازی بر اساس این داده ها بسیار سخت است .

مشکل اساسی دیگر ، این است که در بسیاری از موارد ، شناسایی خرابی در شرایط غیر دسترس بودن مکان خرابی بایستی انجام گیرد . یعنی داده های درست از سیستم آسیب دیده ، بطور دقیق در دسترس نیست . این مشکل توسط چندین روش عملی که اندازه گیری های تکرارپذیر و دقیقی از پاسخ دینامیکی سازه را در خود داشته اند تا حدودی حل شده است زیرا فقط در مکانهای محدودی از سازه های پیچیده کاربرد دارند .

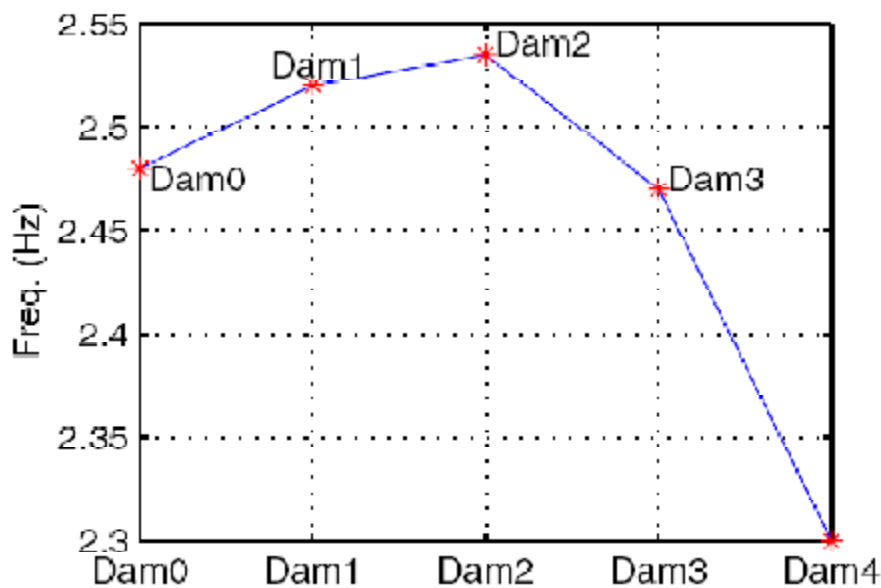
تغییرات محیطی و عملیاتی از قبیل تغییر دما ، رطوبت و شرایط بارگذاری روی پاسخ دینامیکی سازه ها تاثیر گذار بوده که در تحقیقات به آن توجه زیادی نمی شود . در حقیقت ، این تغییرات در بعضی موارد تاثیر بسزایی در خرابی سازه دارد . برای نمونه ، فرار و همکاران (1994) آزمایش لرزه ای را روی پل I-40 (شکل 3-1) در نیومکزیکو انجام دادند تا با استفاده از پارامترهای مودال ، خرابی در پل را

تشخیص دهند . در شکل (2-3) تغییرات در فرکانس های اساسی سازه برحسب 4 سطح مختلف خرابی که بصورت تدریجی به پل اعمال شد ، نشان داده شده است .



شکل 3-1: آزمایش لرزه ای بر روی پل I-40 در نیو مکزیکو

بخاطر اینکه اندازه فرکانس طبیعی پل متناسب با سختی آن است ، پیشرفت خرابی با کاهش فرکانس قابل پیش بینی است . در واقعیت فرکانس برای 2 سطح اول خرابی افزایش یافته و سپس بصورت جدی برای 2 سطح بعد خرابی کاهش یافت . تحقیقات بعدی نشان داد که علاوه بر خرابی هایی که به سازه اعمال شد ، دمای محیط پل نقشی اساسی در تغییر خصوصیات دینامیکی پل بازی می کرد . تحقیقات دیگر نشان داد که متغیرهای با پتانسیل بالای تاثیر گذاری دیگر ، همچون تغییرات عملیاتی سازه و تغییرات شرایط محیطی سازه ، روی شناسایی خرابی لرزش پایه موثر است .



شکل 2-3: تغییرات در فرکانس اساسی سازه

3-3- آزمون‌های غیرمخرب [8]

به مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی و تعیین خواص دستگاه‌ها و قطعات ساخته شده گفته می‌شود که هیچ‌گونه آسیب یا تغییری در سیستم ایجاد نکنند. با استفاده از تست‌های غیرمخرب می‌توان عیوب موجود در قطعات از جمله تخلخل و حفره‌های داخلی، ترک و ناپیوستگی‌های سطحی و داخلی، ناخالصی‌ها و انواع عیوبی که در حین تولید و یا در حین بهره‌برداری و شرایط ویژه محیط کار ایجاد و شکل می‌گیرند را شناسایی نمود. عملکرد و طول عمر هر قطعه در حین کار به نوع، اندازه، موقعیت عیب موجود در آن و عیوبی که در شرایط کاری در آن ایجاد می‌شود بستگی دارد. در مواردی تعیین حد قابل قبول یا حد مجاز عیوب ضرورت می‌یابد. اندازه حد مجاز عیوب به حساسیت موقعیت کاری قطعه بستگی داشته و از اهمیت بیشتری برخوردار است. در مواردی آزمایش‌های غیرمخرب برای اندازه‌گیری ترک و مقایسه آن با اندازه مجاز و برآورد طول عمر در ارتباط با آهنگ رشد و

گسترش ترک، بویژه برای قطعاتی که در معرض بارهای متناوب و یا در شرایط خوردگی قرار می‌گیرند، مشخص می‌شود.

3-4- روش‌های آزمون

در این بخش متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در آزمون‌های غیرمخرب معرفی می‌شوند.

3-4-1- آزمون انتشار امواج صوتی

وقتی که ماده‌ای جامد تحت تنش می‌باشد، عیوب موجود در آن باعث ایجاد امواج صوتی با بسامد بالا می‌گردند. این امواج در ماده منتشر شده و می‌توان توسط حسگرهای خاصی آنها را دریافت کرد و با تجزیه و تحلیل این امواج می‌توان نوع عیب، مکان و شدت آن را تعیین نمود. تست نشرآوایی (اکوستیک امیشن) یک روش نوین در زمینه تستهای غیر مخرب است. از این روش می‌توان برای تشخیص و موقعیت یابی عیوب مختلف در سازه های تحت بار و اجزای آنها استفاده کرد . تخلیه سریع انرژی از یک منبع متمرکز در درون جسم باعث ایجاد امواج الاستیک گذرا و انتشار آنها در ماده می‌شود. این پدیده را اکوستیک امیشن می‌نامند. با توجه به انتشار امواج از منبع تا سطح ماده، می‌توان آنها را توسط سنسورهایی ثبت کرد و از این طریق اطلاعاتی در مورد وجود و محل منبع انتشار امواج به دست آورد.

3-4-2- آزمون چشمی و نوری

این روش پایه‌ای‌ترین، ابتدایی‌ترین و معمولاً ساده‌ترین روش آزمون کنترل کیفیت و پایش تجهیزات می‌باشد . در این روش مسئول کنترل کیفیت می‌بایست مواردی را بطور بصری چک کند . البته گاهی اوقات از دوربین‌هایی استفاده می‌شود که تصاویر را به رایانه فرستاده و رایانه عیوب را تشخیص می‌دهد .

3-4-3-آزمون رادیوگرافی

آزمون رادیوگرافی به استفاده از امواج گاما و ایکس، که قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد را دارا می‌باشند، برای بررسی مواد و تشخیص عیوب محصولات گفته می‌شود. در این روش اشعه ایکس و یا رادیواکتیو به سمت قطعه هدایت می‌شود و پس از عبور از قطعه بر روی فیلم منعکس می‌شود. ضخامت و مشخصه‌های داخلی باعث می‌شوند نقاطی در فیلم تاریکتر و یا روشن‌تر دیده شوند.

3-4-4-آزمون ذرات مغناطیسی

در این روش ذرات آهن بر روی ماده‌ای با خاصیت آهنربایی ریخته می‌شود و میدان مغناطیسی در آن القا می‌شود. در صورت وجود خراش و یا ترکی بر روی سطح و یا در نزدیکی سطح، در محل عیب قطب‌های مغناطیسی تشکیل می‌شود و یا میدان مغناطیسی در آن ناحیه دچار اعوجاج می‌گردد. این قطب‌های مغناطیسی باعث جذب ذرات آهن می‌شوند. در نتیجه وجود عیب را می‌توان از تجمع ذرات آهن تشخیص داد.

3-4-5-آزمون فراصوت

در این روش امواج فراصوت با بسامد بالا و با دامنه کم به داخل قطعه فرستاده می‌شوند. این امواج پس از برخورد به هر گسستگی بازتابیده می‌شوند و قسمتی از این امواج به سمت حسگر رفته و حسگر آن را دریافت می‌کند. از روی دامنه و زمان بازگشت این امواج می‌توان به مشخصه‌های این گسستگی پی برد. از کاربردهای این روش می‌توان به اندازه‌گیری ضخامت و تشخیص عیوب موجود در قطعات نام برد.

3-4-6-آزمون مایعات نافذ

در این روش سطح قطعه با مایعی رنگی قابل مشاهده و یا فلورسنت پوشیده می‌شود. پس از مدتی این مایع در درون شکاف‌ها و حفره‌های سطحی قطعه نفوذ می‌کند. پس از آن مایع از سطح جسم زدوده می‌شود و ماده ظاهر کتته به روی سطح پاشیده می‌شود. اختلاف روشنایی مایع نافذ و ظاهر کننده باعث می‌شود که عیوب سطحی به راحتی مشاهده شوند.

این تست برای ظاهر سازی عیوبی به کار می‌رود که به سطح راه داشته باشد و بر روی اکثر مواد از هر جنس که باشد می‌توان استفاده نمود در ضمن زبری سطح مورد آزمایش باید در حد مناسب باشد. در این روش ابتدا باید سطح را از چربی و آلودگی تمیز کرد سپس مایع نافذ را بر روی سطح پاشیده و حداقل به مدت پنج دقیقه صبر می‌کنیم تا مایع نافذ به درون عیب نفوذ کند سپس سطح را تمیز کرده و ماده ظاهر ساز را بر روی سطح می‌پاشیم که این ماده معمولاً سفید رنگ است اگر عیبی در سطح وجود داشته باشد اثر آن بر روی سطح مشخص می‌گردد.

3-4-7-آزمون الکترومغناطیس

در این روش با استفاده از یک میدان مغناطیسی متغیر در یک ماده رسانا جریان الکتریکی گردابی القا می‌شود و این جریان الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. وجود گسستگی‌هایی مانند ترک در ماده باعث ایجاد وقفه در این جریان می‌شود و بدین طریق می‌توان به وجود چنین عیبی پی برد. در ضمن مواد مختلف دارای رسانایی الکتریکی نفوذپذیری متفاوتی هستند. بنابراین می‌توان بعضی از مواد را با این روش رده‌بندی نمود.

3-4-8-آزمون نشتی

روش‌های مختلفی برای تشخیص نشتی در مخازن تحت فشار و مانند آن، استفاده می‌شود که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: گوشی‌های الکتریکی، گیج فشار، گاز و یا مایع نافذ و همینطور تست حباب صابون.

3-4-9-آزمون ترموگرافی

یکی از این روش‌های مراقبت وضعیت و پیش بینی عیوب ماشین آلات مکانیکی و الکتریکی بهره گیری از آنالیزهای حرارتی می باشد زیرا عملکرد هر دستگاه همواره با انتشار گرما همراه است و معمولاً هر ایراد مکانیکی و الکتریکی در تجهیزات با افزایش و یا کاهش دما بروز می نماید. گرمای منتشر شده از سطح بیرونی اجسام به صورت تشعشعات مادون قرمز که توسط چشم انسان قابل رویت نیستند آزاد می گردد. اما این تشعشعات را می توان از طریق دوربین های ترموگرافی که پیشرفته ترین و کامل ترین تجهیزات در زمینه آنالیز حرارتی محسوب می شوند ، مشاهده نمود.

از آنالیزهای حرارتی می توان جهت شناسائی و تشخیص عیوبی مانند اتصالات الکتریکی نامناسب ، شل بودن قطعات و تجهیزات ، تغییرات متالورژی ، بار بیش از حد ، خنک کاری نامناسب ، ولتاژ نامناسب ، اتصال و رسانائی نامناسب ، کثیف بودن تجهیزات ، وجود آلودگی محیطی ، اکسیده شدن اتصالات ، ظرفیت نامناسب ، خوردگی و فرسایش خارجی ، عدم هم محوری و ارتعاشات بیش از حد و بسیاری عیوب دیگر را که در نهایت باعث معیوب شدن قطعات و تجهیزات می گردند ، استفاده نمود.

3-4-10-آزمون نشت شار مغناطیسی

تصویربرداری مغناطیسی از سطوح فلزی توسط حسگرهای میدان مغناطیسی یک تکنیک پر کاربرد در تست غیر مخرب سطح برای تشخیص وجود نقص در نمونه های فلزی است. در میان تکنیکهای

تصویربرداری مغناطیسی، روش تست نشت شار مغناطیسی یک روش پرکاربرد در تست غیر مخرب سطوح فلزی فرومغناطیسی همانند لوله های انتقال و مخازن ذخیره نفت و گاز است. در این روش نمونه فرومغناطیس توسط آهنربای دائمی و یا یک سیم پیچ تا نزدیکی ناحیه اشباع مغناطیده میشود. وجود هر گونه ناپیوستگی در ماده مانند ترک، موجب تغییر موضعی شار نشتی در محل ترک می شود. توزیع و شدت شار نشتی اطلاعات مفیدی در باره موقعیت و ابعاد ترک با خود به همراه دارد. این شار نشتی توسط یک حسگر مغناطیسی قابل اندازه گیری است. خواص حسگر مغناطیسی بر توانایی سیستم تست در تشخیص ترکها و خوردگیها با ابعاد مختلف بسیار موثر است.

3-5- مقایسه مانیتورینگ سلامت با تست های غیر مخرب

این مقایسه در قالب جداول زیر توضیح داده شده است .

SHM	NDT	موضوع مورد مقایسه
<p>در حالت کلی منطقه وسیعتری را پوشش می دهد. محل خرابی از قبل فرض شده نیست. می تواند مانیتورینگ پیوسته یا متناوب در بازه های زمانی طولانی انجام شود.</p> <p>در تکنولوژی اندازه گیری توسعه یافته است. در بسیاری از مورد غیر دستی است.</p>	<p>محلی است. نیاز به یک دید مطلوب از محل خرابی دارد.</p> <p>در تکنولوژی اندازه گیری بسیار پیشرفته است.</p> <p>در بسیاری از موارد، دستی است.</p>	<p>اندازه گیری¹</p>

جدول 3-1: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در اندازه گیری

¹ Sensing

جدول 2-3: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در شناسایی سازه

SHM	NDT	موضوع مورد مقایسه
<p>شناسایی سازه یک جزء پیوسته و از الزامات پروژه های SHM است.</p> <p>روش های شناسایی سازه به صورت خوبی برای سازه های ساده و سازه های خاص، ارتقا یافته اند و البته نیاز به راه حل های کلی در این زمینه وجود دارد.</p>	<p>روش های شناسایی سازه بطوری که سازه آسیب نبیند، محلی و محدودند در حالیکه شناسایی سازه باید بررسی رفتار کل سازه باشد</p> <p>نیاز به ارتقاء روش های غیر مخرب در شناسایی سازه داریم.</p>	<p>شناسایی سازه (سیستم)</p>

جدول 3-3: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در شناسایی خرابی

SHM	NDT	موضوع مورد مقایسه
<p>راه حل های مطلوب نیاز به پیشرفت و ارتقا دارند.</p> <p>مکان خرابی در محدوده وسیع(نه مکان دقیق) ارائه می شود.</p> <p>نیاز به اطلاعات بیشتر مربوط به سازه از قبیل مختصات خصوصیات و... دارد.</p>	<p>محلی است.اگر مکان تقریبی و نوع خرابی مشخص باشد،می تواند جواب دقیق ارائه دهد.</p> <p>با توجه به ماهیت محلی بودن،نیاز به اطلاعات جامع و کلی سازه نیست.</p>	<p>شناسایی خرابی</p>

جدول 3-4: مقایسه مانیتورینگ سلامت سازه با آزمون های غیر مخرب در تصمیم سازی

SHM	NDT	موضوع مورد مقایسه
<p>بسیاری از ابزارهای درگیر در تصمیم سازی و پردازش داده ها با توجه به ماهیت خارجی SHM (هم در بعد زمانی و هم بعد مکانی) نیاز است.</p>	<p>ابزارهای زیادی برای NDT فراهم است.</p>	<p>تصمیم سازی</p>

فصل چهارم

اندازه گیری داده های کرنشی

4-1- پیشگفتار

اندازه گیری و گرفتن داده از سازه اولین بخش از یک سیستم مانیتورینگ سلامت سازه است . در این فصل ابتدا به بررسی پیشینه تئوریک اندازه گیری کرنش و نظریات ارائه شده در این زمینه پرداخته می شود . سپس به مدلسازی اندازه گیری های کرنش در محل خرابی اشاره دارد .

4-2- شناسایی خرابی بر اساس اندازه گیری های کرنش [7]

4-2-1- پیشینه تئوریک این روش :

جسم سه بعدی با شکل رندم با ماده الاستیک خطی نشان داده شده در شکل (4-1-الف) را در نظر بگیرید که یک یا چند خرابی نامعلوم در خود داشته و تحت کشش خارجی T قرار گرفته است . خرابی ها بصورت تمام موارد غیر عادی و انفصالات مدفون در پیکره شیء ، یعنی تمام ترک هایی که در چندین جهت در محل اتصال دو لبه پیشروی کرده اند می باشند . خرابی ها می توانند با آرایه α توصیف شوند . یعنی هم دارای اندازه و هم مکان خرابی اند . تحت کشش اعمالی T ، جسم توسط بردار جابجایی $U(X,Y,Z)$ تغییر شکل می دهد و تانسور میدان تنش $\sigma(X,Y,Z)$ و تانسور میدان کرنش $\varepsilon(X,Y,Z)$ در هر نقطه از جسم تولید می شود .

از دیدگاه تحلیل ابعادی پارامترهایی که روی مسئله توضیح داده شده بالا تاثیر دارند $(\sigma, \varepsilon, T, \alpha)$ هستند . معادله تشکیل دهنده برای رفتار الاستیک خطی در حالت کلی آن بصورت زیر نوشته می شود :

$$\sigma = G(\varepsilon) \quad (1-4)$$

و G تابع معکوس پذیر متقارن با ارزش تانسوری می باشد . بنابراین معادله بالا بصورت زیر می تواند نوشته شود:

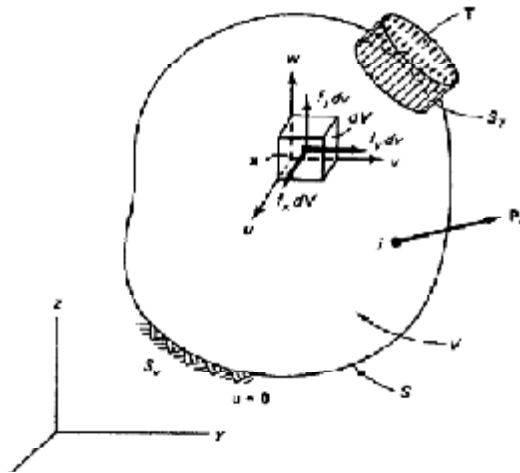
$$\varepsilon = G^{-1}(\sigma) \quad (2-4)$$

متناوباً مجموعه پارامترهای توضیح دهنده مسئله به (σ, T, α) کاهش می یابد. بر طبق روش آنالیز ابعادی، هر کدام از پارامترهای فوق می تواند بر اساس بقیه پارامترها بیان شود. بنابراین عبارت $\sigma = g(\alpha, T, r)$ برای هر نقطه که موقعیت آن با بردار $r(x, g, z)$ توصیف می شود، اعتبار دارد. با پیاده سازی اصل برهم نهی، بردار تنش $\sigma(r)$ می تواند بصورت زیر نوشته شود:

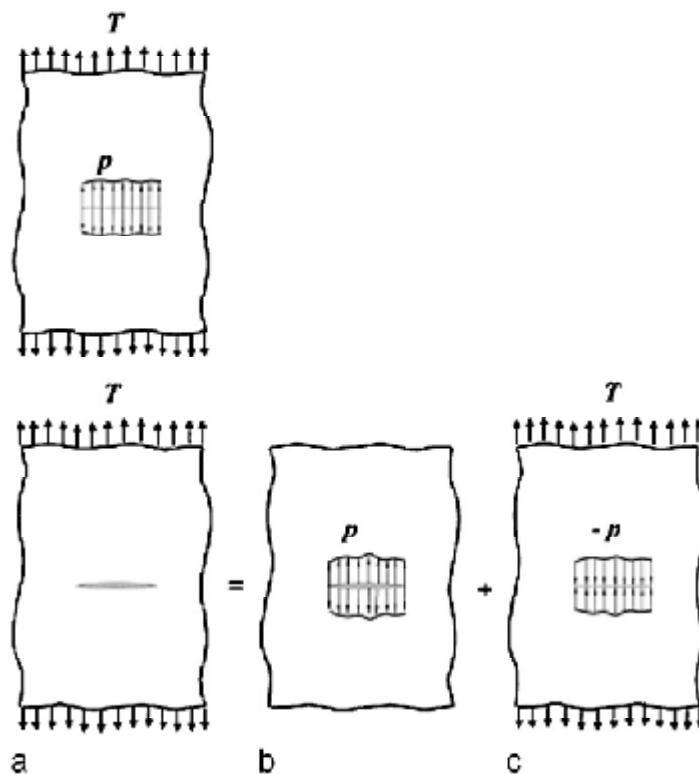
$$\sigma(\bar{r}) = \sigma^h(\bar{r}) + \sigma^p(\bar{r}) \Rightarrow \sigma^p(\bar{r}) = \sigma(\bar{r}) - \sigma^h(\bar{r}), \quad (3-4)$$

σ^h تانسور تنش از قسمت سالم تحت بارگذاری با کشش T است و σ^p و σ به تانسورهای تنشی اشاره دارد که به پیکره آسیب دیده اعمال می شوند.

ایده پشت معادله (3-4) بصورت شماتیک در شکل (2-4) ارائه گردیده است که در آن حالت دو بعدی جهت سهولت بجای حالت پویای سه بعدی نمایش داده شده است.



شکل 1-4: جسم سه بعدی با شکل رندم با ماده الاستیک خطی و آسیب دیدگی نامعلوم



شکل 2-4: جسم دو بعدی با شکل رندم با ماده الاستیک خطی و آسیب دیده

کشش مغشوش "P" باعث تنش σ^p شده و اشاره به کششی دارد که بایستی به سطوح ترک از پیکره آسیب دیده تحمیل شود تا مقداری از میدان تنش σ که در جسم آسیب دیده تحت عمل T توسعه یافته است را خنثی کند. اعمال همزمان کشش T و P ، باعث می شود تا جسم آسیب دیده بطور هم ارز رفتاری شبیه قسمت سالم بدنه که تحت کشش P قرار دارد از خود نشان دهد.

اعمال کردن معادله خطی (2-4) در (3-4) نتیجه می دهد:

$$\varepsilon^p(\vec{r}) = \varepsilon(\vec{r}) - \varepsilon^h(\vec{r}). \quad (4-4)$$

با در نظر گرفتن این نکته که ε^h مستقل از α بوده و بر اساس آنالیز ابعادی، معادله (4-4) بصورت زیر نوشته می شود:

$$\varepsilon^p(\vec{r}) = f(a, T, \vec{r}) - f_h(T, \vec{r}),$$

$$(5-4)$$

که در آن

$$e^h(\vec{r}) = f_h(T, \vec{r}). \quad (6-4)$$

فرض می شود که المان ε_{ij} از تانسور کرنش که در تعداد متناهی از نقاط مجزا p_n که به اندازه کافی از مکان آسیب دیده (میدان کرنش مغشوش) دور هستند، معلوم بوده و مدنظر قرار گیرد، در نتیجه آرایه ε_{∞} می تواند بصورت (n اشاره به نقطه خاصی از موقعیت دارد) بدست آید:

$$e_{\infty} = \{\varepsilon_{ij}(\vec{r}_n)\}. \quad (7-4)$$

فرض می شود که رابطه یکتایی بین ε_{∞} و کشش T موجود است، پس می توان با عوض کردن این دو پارامتر در معادله (6-4) به معادله جدیدی دست یافت:

$$e^p(\vec{r}) = f(a, e_{\infty}, \vec{r}) - f_h(e_{\infty}, \vec{r}). \quad (8-4)$$

با توجه به اندازه گیری آزمایشگاهی ε_{ij} در تعداد مشخصی از نقاط مجزای P_m که به اندازه کافی نزدیک به محل آسیب دیده است، جایی که میدان کرنش مغشوش غالب بوده و بطرز قابل ملاحظه ای میدان کرنش خارجی را تحت تاثیر قرار می دهد، آرایه ε بدست می آید (m اشاره به نقطه مشخصی از موقعیت دارد):

$$e = \{\varepsilon_{ij}(\vec{r}_m)\}. \quad (9-4)$$

از آنجاییکه رفتار جسم سالم (تابع f_h) می تواند معلوم در نظر گرفته شود، مقادیر متناظر از میدان تنش های مغشوش نشده در نقاط P_m نیز معلوم است در نتیجه:

$$e_h = \{\varepsilon_{ij}^h(\vec{r}_m)\} - \{f_h(e_{\infty}, \vec{r}_m)\}. \quad (10-4)$$

با پیاده سازی معادله (4-4) در معادله (9-4)، آرایه ε_p ، بدست می آید:

$$\varepsilon_p = [e_{ij}^p(\vec{r}_m)] = [e_{ij}(\vec{r}_m) - e_{ij}^b(\vec{r}_m)] = [e_{ij}(\vec{r}_m) - \int_{\Omega} f_n(\varepsilon_{\infty}, \vec{r}_m)] = \varepsilon - \mathcal{U}_n(\varepsilon_{\infty}, \vec{r}_m), \quad (11-4)$$

یا

$$e_p = F(e, e_{\infty}), \quad (12-4)$$

با در نظر گرفتن یک رابطه یکتا میان ε_p و خصوصیات خرابی که با آرایه α توصیف می شود، عبارت زیر می تواند اثبات شود:

$$\varepsilon = G(e_p) = G(F(e, e_{\infty})) = H(e, e_{\infty}). \quad (13-4)$$

بر اساس مفاهیم فوق الذکر و قوانین مکانیک شکست الاستیک خطی¹، پیاده سازی فرمول (13-4) یعنی "خصوصیات فیزیکی (اندازه و موقعیت) یک خرابی، که در یک جسم صلب مدفون است و تحت نیروی خارجی نامعلوم است که می تواند از یک یا چند مؤلفه کرنشی اثبات شود، در تعداد متنهایی از نقاط انتخابی مناسب اندازه گیری می شود". اگرچه اثبات ریاضی معادله (13-4) بر اساس قانون برهم نهی خطی است، بکارگیری آن زمانی که جسم آسیب دیده از رفتار خالص خطی منحرف شود، یعنی در شرایط مکانیک شکست الاستیک یا پلاستیک نیز معتبر است.

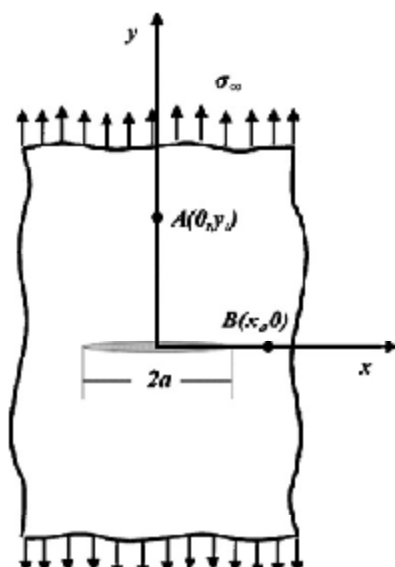
اثبات خصوصیات فیزیکی (اندازه و مکان خرابی) از روی مقادیر یک یا چندین مؤلفه کرنش که در نقاط مناسب متنهایی از سازه بارگذاری شده اندازه گیری گردیده است، یک مسئله مکانیک پیوسته معکوس را ارائه می کند. مسائل معکوس معمولاً از جهت اینکه نمی توانند به اندازه ضرورت شرایط موجود را ارضا کرده و یکتا و ثابت باشند، نامطلوب اند. اگر چه که بسیاری از انواع مسائل معکوس و کاربردهایشان در کارهای علمی قبلی این زمینه اشاره شده است، تعداد کمی از آنها در ارتباط با

¹ LEFM

مسئله بازسازی سه بعدی میدان خرابی و شرایط مرزی آن هستند . اگرچه جهت روش شناسی ارائه پیش رو ، محاسبه تحلیلی رابطه خرابی- کرنش یک پیش شرط نیست چرا که یک شبکه عصبی مصنوعی جهت این استخراج استفاده می شود ، ولی وجود یکتایی حل معکوس مسئله بایستی پیش فرض باشد .

4-2-2-2-4- رابطه تحلیلی کرنش خرابی برای یک پانل تک ترک

جهت معرفی تعاریف مربوط به روابط کرنش-ترک ، مستند ساده ای از یک پانل تک ترک ، که یک راه حل اجزای محدودی تحلیلی دارد ، انتخاب می شود . روابط مربوط به معادله (4-13) برای صفحه بینهایت انتخاب می شود که در شکل (4-3) نشان داده شده است که شامل یک ترک نهفته به طول $2a$ می باشد و تحت بار کششی دوردست تک محوره σ قرار دارد که بر خط ترک عمود است .



شکل 4-3: صفحه بینهایت با یک ترک نهفته بطول $2a$

با محاسبه مقدار کرنش ϵ_{yy} در نقطه $A(0, y_1)$ که در فاصله به اندازه کافی دور از ترک قرار گرفته است و فرض اینکه این مقدار کرنش تحت اثر اغتشاشات ناشی از ترک ایجاد شده نیست ، کشش σ از طریق معادله زیر می تواند بدست آید :

$$\sigma_{\infty} = \sigma_{yy}(0, y_1) = E\varepsilon_{yy}(0, y_1) = E\varepsilon_{\infty} \quad (14-4)$$

که منظور از آرایه $\varepsilon_{\infty} = \{\varepsilon_{yy}(0, y_1)\}$ ، یعنی اینکه مقدار کرنش در فاصله به اندازه کافی دور از ترک است. فرض اینکه رابطه یکتا بین آرائه ε_{∞} و کشش σ_{∞} موجود است نیز بوضوح ارضا شده است. به طریق مشابه، آرایه ε نیز از طریق اندازه گیری ε_{yy} در نقطه $B(X_2, 0)$ که در مکانی که ترک بشدت بر آن مسلط است بدست می آید:

$$e = \{\varepsilon_{yy}(X_2, 0)\} = \{\varepsilon\}. \quad (14-4)$$

میدان تنش نزدیک لبه ترک بصورت تحلیلی در نقطه $B(X_2, 0)$ بصورت زیر نشان داده می شود:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \quad \text{or} \quad \sigma = \frac{\sigma_{\infty} \sqrt{\pi a}}{\sqrt{2\pi(X_2 - a)}} \quad (15-4)$$

برای کرنش ε عبارت زیر درست است:

$$\varepsilon = \frac{1}{E}(\sigma_{yy} - \nu\sigma_{xx}) = (1 - \nu) \frac{\sigma}{E} \quad \text{or} \quad \sigma = \frac{E\varepsilon}{1 - \nu} \quad (16-4)$$

با جایگزینی σ_{∞} و σ در معادله (15-4) که مقادیرشان در معادله (14-4) و (16-4) اثبات گردید،

معادله اندازه خرابی α برابر است با:

$$a = \frac{\varepsilon^2}{((1 - \nu)^2 \varepsilon_{\infty}^2) / (2 + \varepsilon^2)} \cdot X_2 \quad (17-4)$$

رابطه معادله (17-4) دلالت بر این دارد که یک تناظر یکتا بین آرایه $\alpha = (a)$ و آرایه های $\varepsilon_{\infty} = (\varepsilon_{\infty})$ و $\varepsilon = (\varepsilon)$ برای یک هندسه و کشش خاص وجود دارد. علاوه بر این معادله (17-4) شبیه به معادله (4-13) است و مخصوص مسئله ساده تک ترک در یک پانل آسیب دیده است.

4-2-3- مدل سازی یک ترک توسط روش تفاضل اجرای محدود

برای سازه هایی با هندسه پیچیده، هیچ راه حل تحلیلی برای مشخص کردن میزان میدان تنش و کرنش بر حسب تابعی از از خرابی ها (یعنی ترک ها) موجود نیست. متناوباً هیچ راه حل تحلیلی

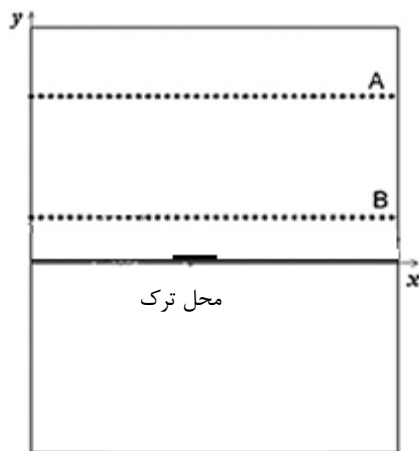
برای معکوس مسئله نیز نمی توان بدست آورد که برای پیشرفت دادن سیستم مانیتورینگ سلامت سازه ، نیاز است . یعنی جهت مشخص کردن مکان ترک و بسط آن بر اساس کرنش های معلوم در نقاط خاص یک سازه نمی توان از آن استفاده کرد . در چنین مواردی تنها راه ممکن تحلیل تنش ، استفاده از روشهای عددی با استفاده از آنالیز اجزای محدود است . اگر نتایج کرنش بتواند از طریق راه حل های عددی برای تعداد کافی از اشکال خرابی بدست آید ، یک شبکه عصبی مصنوعی توسعه یافته¹ ، می تواند برای روابط خرابی-کرنش امتحان شود : متناوباً شبکه عصبی می تواند برای مشخص کردن خصوصیات خرابی(مکان و اندازه ترک) در یک سازه آسیب دیده استفاده شود . با این وجود ، همانطور که استفاده از شبکه عصبی نیاز به تحلیل تعداد زیادی از الگوهای ترک های چند گانه دارد ، روش های اجزای محدود متداول و معمول به راحتی کاربرد پذیر نیستند . چرا که مدت زمان بسیار طولانی نیاز است تا محاسبات انجام شود.

جهت مقابله با مشکل زمان ، روش تفاضل اجزای محدود در حال حاضر جهت تحلیل تنش اتصالات لبه به لبه سازه های پیچیده استفاده می شود . روش تفاضل بر اساس تقسیم بندی کل مدل اجزای محدود سازه به سوپر المان های اجزای محدود مناسب می باشد که مزایای الگوی تکرار هندسی را در بر دارد . روش سوپر المان بر مشکلات ناشی از اندازه مدل و زمانبر بودن حل آن ، غلبه کرده است و بدون آنکه بر دقت حل اثر گذار باشد فرضیات یک تحلیل الاستیک خطی را تعبیر می سازد . در تحقیق حاضر مقادیر مورد نیاز کرنش که برای امتحان شبکه عصبی نیاز است ، در یک فاصله به اندازه کافی دور از مکان یک ترک گرفته شده است ، جایی که اغتشاشات میدان کرنش بر اثر ایجاد یک ترک پلاستیک ، به طور تقریباً کاملی نادیده گرفته می شود . همچنین جهت ساده سازی و محدود کردن حجم عملیات و مجهولات ، فرض شده است که تنها یک نوع ترک طولی ، مهمترین عامل خرابی در کف مخزن است .

¹ ANN

نرم افزار *ANSYS*، جهت حل معدل اجزای محدود استفاده می شود و مساحت پانل که ترک در آن قرار دارد، به المان های مناسبی تقسیم می شود و ماتریس سختی سوپر المان متناظر آن نیز برای هر کدام از آنها محاسبه می شود. همانطور که تکرار پذیری هندسی یکی از ابزارهایی است که بصورت تجربی روش سوپر المان را سودمند می کند، زیر سازه ها نیز به نحوی انتخاب می شوند که کل هندسه پانل با تکرار سوپر المان ها ایجاد شود. مدل سازی در دو فصل بعد بتفصیل شرح داده می شود.

حل مدل سوپر المان توصیف شده در بالا، تحت نیروی تنش کششی خیلی دور تک محوره، منجر به محاسبه آرایه های ϵ_{xx} و ϵ مورد نیاز که شامل مؤلفه کرنش ϵ_{yy} در نقاط مشخص است، می شود. جهت بدست آمدن مؤلفه کرنش ϵ_{yy} ، مقادیر محاسبه شده کرنش در چندین نقطه در طول خط A و خط B مد نظر قرار می گیرد. همانطور که در شکل نشان داده شده است فاصله بین دو خط A و B طوری انتخاب می شود که خط A در محدوده بسیار دورتر قرار گیرد به طوری که اغتشاشات میدان کرنش ناشی از ایجاد ترک تقریباً نادیده گرفته شود در حالیکه خط B در همسایگی اتصال جایی که تغییرات ϵ_{yy} کرنش در منطقه بدون ترک (A) و منطقه با ترک (B) بصورت گرافیکی در دو فصل بعد برای یک نمونه واقعی آورده می شود.



شکل 4-4: مسیر اندازه گیری کرنش های نزدیک و بافاصله از ترک

فصل پنجم

شناسایی سازه

5-1- پیشگفتار

این فصل به بررسی دومین قسمت از مبحث مانیتورینگ سلامت سازه یعنی شناسایی سازه پرداخته می شود . برای این منظور ساختار یک سازه مخزن نفتی بررسی اجمالی شده و قسمت هایی از سازه که شناختشان برای مانیتورینگ سلامت سازه اهمیت بیشتری دارند ، با جزئیات آمده اند .

5-2- ساختار مخازن ذخیره سازی نفت خام: [9]

مخازن جهت نگهداری و ذخیره سازی سیالات مورد استفاده قرار می گیرند . بطور کلی مخازن بر اساس موارد زیر طبقه بندی می شوند :

- ماهیت ماده ای که بایستی در آن ذخیره شود.

بر این اساس مخازن به سه نوع مخازن نگهداری مواد در فشار محیط - مخازن نگهداری با فشار متوسط و مخازن نگهداری سیالات با فشار پایین طبقه بندی می شوند .

- دمای کاری

بر این اساس مخازن به دو دسته مخازن نگهداری در دمای محیط و مخازن نگهداری در دماهای پایین دسته بندی می گردند .

- نوع سازه مخازن

در این نوع دسته بندی مخازن به چند دسته بالای سطح زمین - زیر سطح زمین و دو دیواره تقسیم بندی می شوند.

مهمترین ملاک طبقه بندی مخازن بر اساس فشار بخار سیال مورد نظر می باشد . معمولا برای سیالات با فشار بخار بالا از 4/ بار از مخازن سقف ثابت استفاده می شود مانند مخازن مربوط به نفت و گاز یا نفت کوره ویا حتی آب ، در حالت بعدی برای سیالات با فشار بخار متوسط (حدود 0/1-1/2) از مخازن سقف متحرک یا به عبارتی سقف شناور استفاده می کنند . درحالت سوم نیز برای سیالات با فشار بخار پایین از مخازن کروی استفاده می کنند ، مانند مخزنهای مربوط به گاز مایع . در نتیجه طراحی های اصلی مورد استفاده در ساخت مخازن ذخیره را می توان به چهار گروه تقسیم بندی نمود:

1 -مخازن با سقف ثابت : سقف این مخازن جزء ساده ترین نوع مخازن می باشد . سقف این مخازن در جهت افقی و عمودی بدون حرکت می باشد .

2 -مخازن ذخیره با سقف شناور خارجی .

3 -مخازن ذخیره با سقف شناور داخلی .

4 -مخازن ذخیره با فشار متوسط .

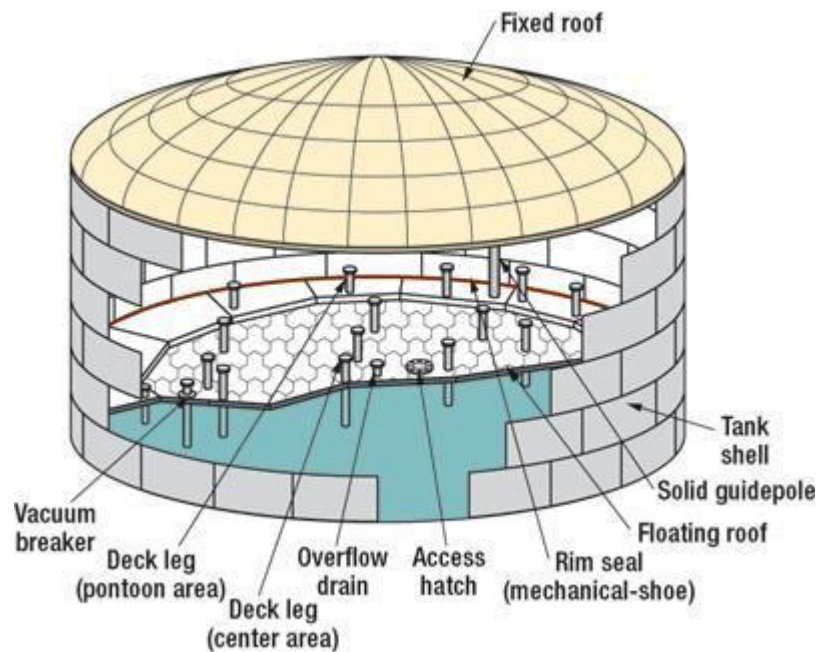
از آنجا که سازه موزد مطالعه این پژوهش مخازن با سقف شناور می باشند ، جزئیات بیشتری از این نوع مخازن در ادامه آمده است :

5-2-1-مخازن با سقف شناور:

سقف این مخازن بصورت شناور طراحی می شوند تا از بخار شدن محتویات و ایجاد فشار بخار زیاد در مخازن جلوگیری شود . بطور کلی این مخازن برای نگهداری موادی با فشار بخار بالاتر از PSI 11.1 مورد استفاده دارند . از جمله این مواد می توان به نفت خام ، نفت سفید و مازوت اشاره نمود .

5-2-1-1-2-1-مخازن با سقف شناور داخلی:

این مخازن دارای یک سقف شناور می باشند که به وسیله یک سقف ثابت محافظت می شود. بایستی دقت کرد که ساخت این مخازن مشکل تر از مخازن با سقف شناور خارجی می باشد و معمولا برای نگهداری مایعات بسیار فرار و گرانبه مانند سوخت هواپیما استفاده می شوند.



شکل 1-5 مخزن سقف شناور داخلی با سقف گنبدی خارجی

5-2-1-2-2-مخازن با سقف شناور خارجی:

این مخازن در فشار محیط کاربرد دارند و زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که قطر مخزن بیشتر از 15 متر باشد. در این مخازن سقف ثابتی وجود ندارد و سقف شناور بصورت دو لایه برای جلوگیری از غرق شدن سقف و همچنین به تعادل رساندن فشار شناوری سیال با فشارهای خارجی از قبیل فشار وارد ناشی از وزن برف باریده شده بر روی سقف ساخته می شود. مخزن های سقف متحرک بلافاصله بعد از جنگ جهانی اول توسعه یافتند. تبخیر محصولات در مخزن های سقف ثابت باعث اتلاف هزینه های زیادی می شد. این عامل باعث توسعه این نوع مخازن شد.



شکل 5-2 مخازن سقف شناور خارجی

از آنجا که در ترمینال های نفتی از این نوع مخازن بسیار استفاده می شود ، جزئیات بیشتری از این مخازن در ادامه می آید :

5-3-اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی مخازن

داده های زیر جهت طراحی یک مخزن ضروری اند :

1-اطلاعات هندسی محل : مانند اینکه در کنار دریاست یا دور از دریا و سرعت باد ، زلزله و بارش

برف

2- آب و هوا : نوع آب و هوای منطقه بایستی در محاسبات در نظر گرفته شود مثلا شدت سرما در زمستان و شدت گرما و خشکی در تابستان و اطلاعات رطوبت محل در تابستان و زمستان .

3- دما : میانگین دمای سال ، کمینه و بیشینه دما در محل ساخت و اختلاف دمای بیشینه و کمینه .

5-3-1- کد ها و استانداردهای طراحی:

برای طراحی و ساخت مخازن استاندارد های متعددی استفاده می شود که می توان به استانداردهای زیر اشاره کرد:

- American standards API 650 (Welded Steel Tanks for Oil Storage)
- British Standards BS 2654 (Manufacture of Vertical Storage Tanks with Butt Welded Shells for the Petroleum Industry)
- The European Standards
- German Code Din 4119-Part 1 and 2 (Above Ground Cylindrical Flat Bottomed Storage Tanks of Metallic)

استاندارد مورد استفاده و استناد این تحقیق مورد اول (API) بوده و نحوه طراحی سازه مخزن که در ادامه می آید ، از این استاندارد پیروی می کند . (مرجع 10)

طراحی مخازن نفتی به دو بخش عمرانی و مکانیکی تقسیم می شود .

5-3-2- طراحی عمرانی

مهمترین قسمت های طراحی عمرانی شامل موارد زیر است .

- عملیات خاکبرداری و خاکریزی سایت

- عملیات خاکبرداری و خاکریزی زیر مخزن
- عملیات حفر کانال رینگ بتنی
- آرماتور بندی رینگ وال¹
- بتن ریزی رینگ وال
- اجرای شن ریزی زیر مخزن به منظور زهکشی
- اجرای آسفالت زیر مخزن
- اجرای باند وال های بتنی دور مخزن
- اجرای سیستم ارتینگ مخازن
- اجرای سیستم حفاظت کاتدیک مخازن

5-3-3- طراحی مکانیکی

مهمترین موارد طراحی مکانیکی شامل موارد زیر است:

- ورق های انولار²
- ورق های کف مخزن³
- نصب میز موقت
- جوشکاری عرشه پایینی⁴ سقف
- مونتاژ کورس ها
- انواع تست ها
- اجرای سقف شناور و ساپورت های آن

¹ Ring wall
² Annular
³ Bottom Plate
⁴ Lower Deck

- اجرای پانتون¹
- آب بندی مکانیکی²
- طراحی سوآمپ³
- اجرای نازل های ورودی و خروجی
- اجرای گاید پل⁴
- تست هیدروستاتیک⁵
- سند بلاست و رنگ آمیزی

خوانندگان محترم جهت دانستن جزئیات بیشتر می توانند به مرجع 10 مراجعه نمایند . در ادامه فقط موارد ضروری از جزئیات اجرایی مخزن که مربوط به تحقیق است می آید.

محاسبه تنش و آنالیز آن مهمترین موضوع نگرانی مهندسان طراح مخازن ذخیره سازی نفت است. مهمترین آنالیز تنش ها در مخزن در موارد زیر است :

- دیواره مخزن با توجه به بار داخلی و خارجی
- ورق های کف مخزن
- سقف مخزن

برای انتخاب جنس فولاد بدنه و کف مخزن بر اساس استاندارد تصمیم گیری می گردد . سقف مخزن در مواردی که سیال ذخیره شده بسیار فرار و آتش گیر باشد از جنس آلومینیوم انتخاب می شود.

¹ Pantoon
² Mechanical seal
³ sump
⁴ Guide pole
⁵ Hydrostatic test

ضخامت دیواره مخزن در هر ارتفاع آن متفاوت است و بستگی به پارامترهای طراحی دارد که در استاندارد به طور مفصل بدان اشاره شده است ولی آنچه مسلم است آن است که با افزایش ارتفاع تنش وارده به دیواره ها کمتر شده و ضخامت کاهش می یابد .

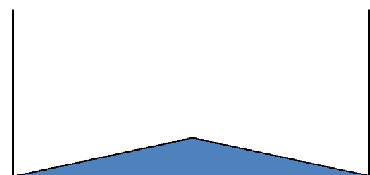


شکل 3-5 : کاهش ضخامت ورق های دیواره با افزایش ارتفاع [10]

بیشترین مقدار تنش هم به کف مخزن بعلت ارتفاع سیال و وزن سقف روی آن وارد می شود . کف مخزن معمولا از جنس استیل می باشند که پلیت های آن بهم جوش خورده اند . ورق های بدنه مخزن توسط ورق های انیولار به صفحات داخلی کف مخزن جوش خورده است . انیولار محل اتصال مخزن به کف زمین است . سه نوع طراحی کف مخزن در استاندارد آمده است :

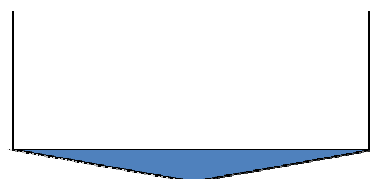
- کف مخزن صاف باشد

- مخروطی به بالا



شکل 4-5 : طراحی کف مخزن-مخروطی به بالا

- مخروطی به پایین



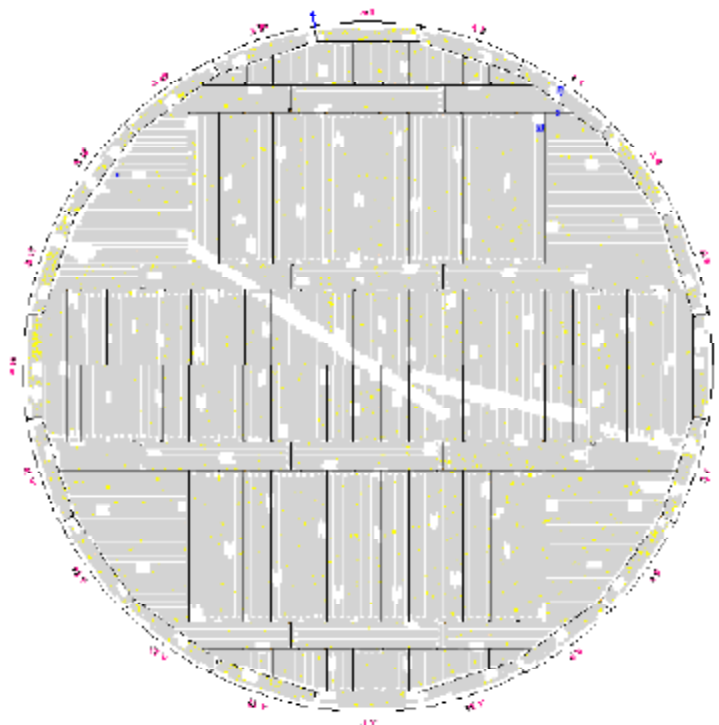
شکل 5-5 : طراحی کف مخزن-مخروطی به پایین

جنس فولاد کف مخزن و ضخامت آن برحسب جدول زیر که از API استخراج شده است ، تعیین می شود.

Nominal Tank Diameter (See Note 1)		Nominal Plate Thickness (See Note 2)	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	3/16
15 to < 36	50 to < 120	6	1/4
36 to 60	120 to 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

جدول 5-1: ضخامت ورق کف مخزن برحسب قطر مخزن [10]

نحوه قرار گرفتن ورق های کف مخزن در شکل بعد آمده است.



شکل 5-6: نحوه چینش ورق های کف مخزن

فصل ششم

تشخیص خرابی

6-1- پیشگفتار

در این قسمت از پژوهش نتایج بازرسی به روش نشت میدان مغناطیسی (MFL) از ورق های کف یک مخزن ذخیره سازی نفت خام که جهت انجام تعمیرات اساسی خارج از سرویس شده است، آمده است. از آنجا که این مخزن مجهز به سیستم مانیتورینگ سلامت سازه نبوده است، زمان انجام تعمیرات اساسی آن تابع میزان خرابی در مخزن نبوده و فقط برحسب مدت زمان بهره برداری از مخزن، زمان تعمیرات اساسی آن را تعیین می کنند و این امر موضوعی رایج در صنعت نفت است حال آنکه وجود یک سیستم مانیتورینگ سلامت سازه کارا و پویا، کمک زیادی در تعیین زمان بهینه تعمیرات اساسی یک سازه دارد و از تحمیل هزینه گزاف خارج از سرویس کردن و انجام بازرسی های گسترده و پر هزینه و تعمیرات غیر ضروری در سازه، جلوگیری می نماید.

6-2- شرح کار گزارش

آزمون ورق های کف مخزن X به روش نشت میدان مغناطیسی. قطر داخلی کف مخزن حدود 5015 سانتیمتر و مساحت کف آن حدود 1959 متر مربع می باشد. کف مخزن دارای ورق هایی از جنس A285 – Gr C با ضخامت 8.5 میلی متر و ورق های آنولار از جنس A 285 – Gr C با ضخامت 8 میلی متر می باشد. پوشش ورقهای کف مخزن قبل از انجام بازرسی جارو کشی شده است.

6-2-1- اهداف گزارش

هدف از این بازرسی تعیین وضعیت کیفی ورق های کف مخزن و میزان خرابی داخلی و خارجی در ورق ها و ارائه گزارش و تعیین ورق هایی میباشد که خرابی آنها بیش از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد است.

6-2-2-دستور العمل اجرایی:

اجرای بازرسی برای ورقهای کف مخزن به روش نشت میدان مغناطیسی ، مطابق با استاندارد ASME-Section V-Article 16 و آزمون ورقهای کف مخزن با استفاده از دستگاه FloorMapVS2i و آزمون نواحی محصور و دارای مانع با دستگاه Ultrasonic انجام گردیده است و جمعا 113 عدد ورق با مساحت تقریبی 1959 مترمربع مورد بازرسی قرار گرفته است .



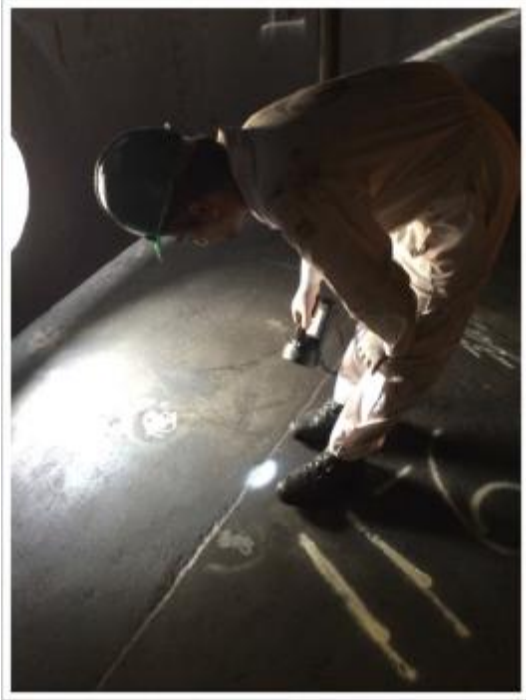
شکل 1-6 : آزمون ورق های کف مخزن با دستگاه
FloorMapVS2i



شکل 2-6 : آزمون ورق های کف مخزن با دستگاه
Ultrasonic

6-2-2-1-بازرسی چشمی

در بازرسی چشمی هم عیوب زیر در ورق های کف مخزن مشخص بود:



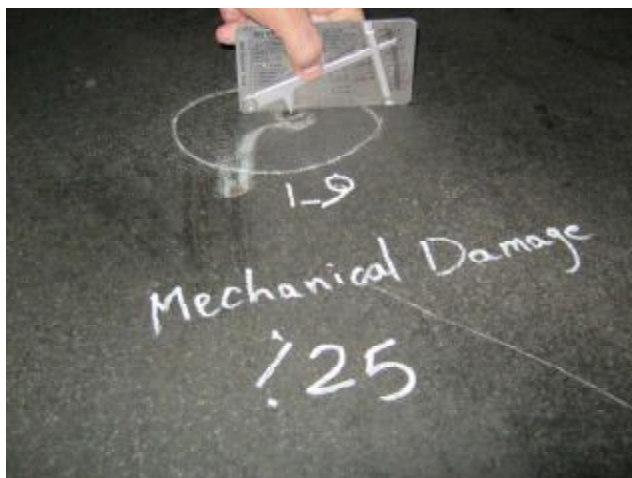
شکل 6-3: بازرسی چشمی ورق های کف مخزن

1-پاشش جوش:



شکل 6-4: پاشش جوش

2- آسیب و خرابی های مکانیکی در بعضی نقاط ورق های کف مخزن مشهود است .



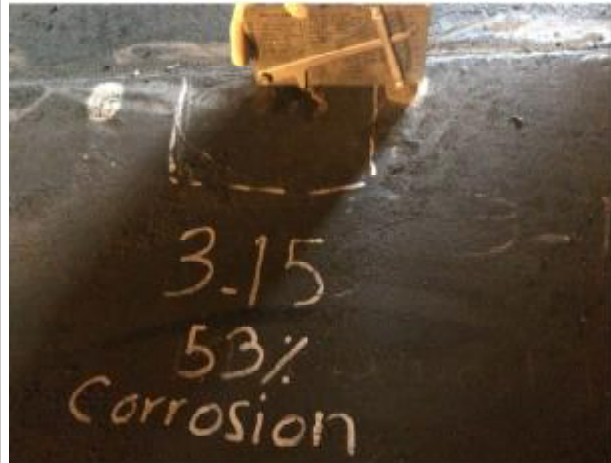
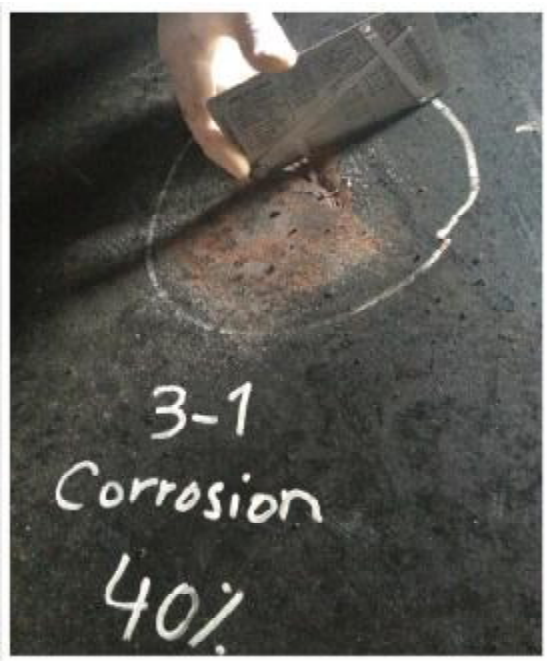
شکل 5-6: آسیب مکانیکی

3- عیوب ناشی از عدم پوشش مناسب ورق



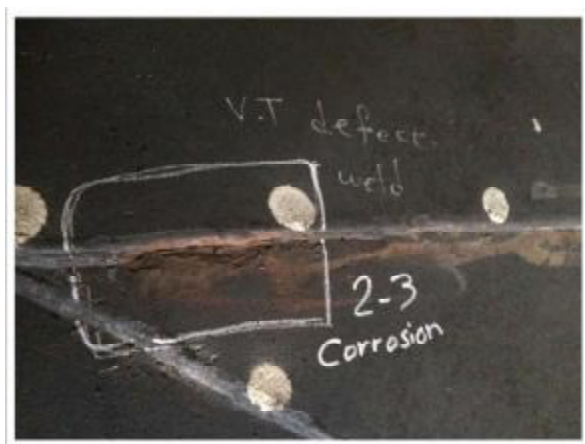
شکل 6-6: عدم پوشش مناسب ورق

4-خرابی ناشی از خوردگی:



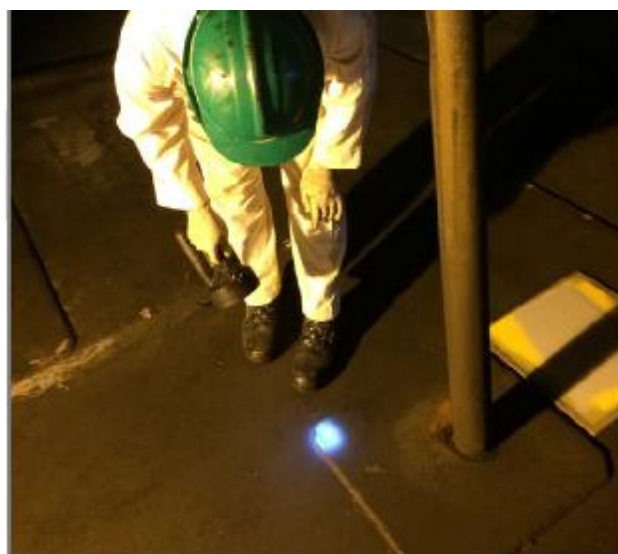
شکل 6-7: آسیب دیدگی ناشی از خوردگی

5-خرابی خوردگی در محل جوش



شکل 6-8: آسیب دیدگی در محل جوش

6-آسیب دیدگی مکانیکی بیس پلیت:

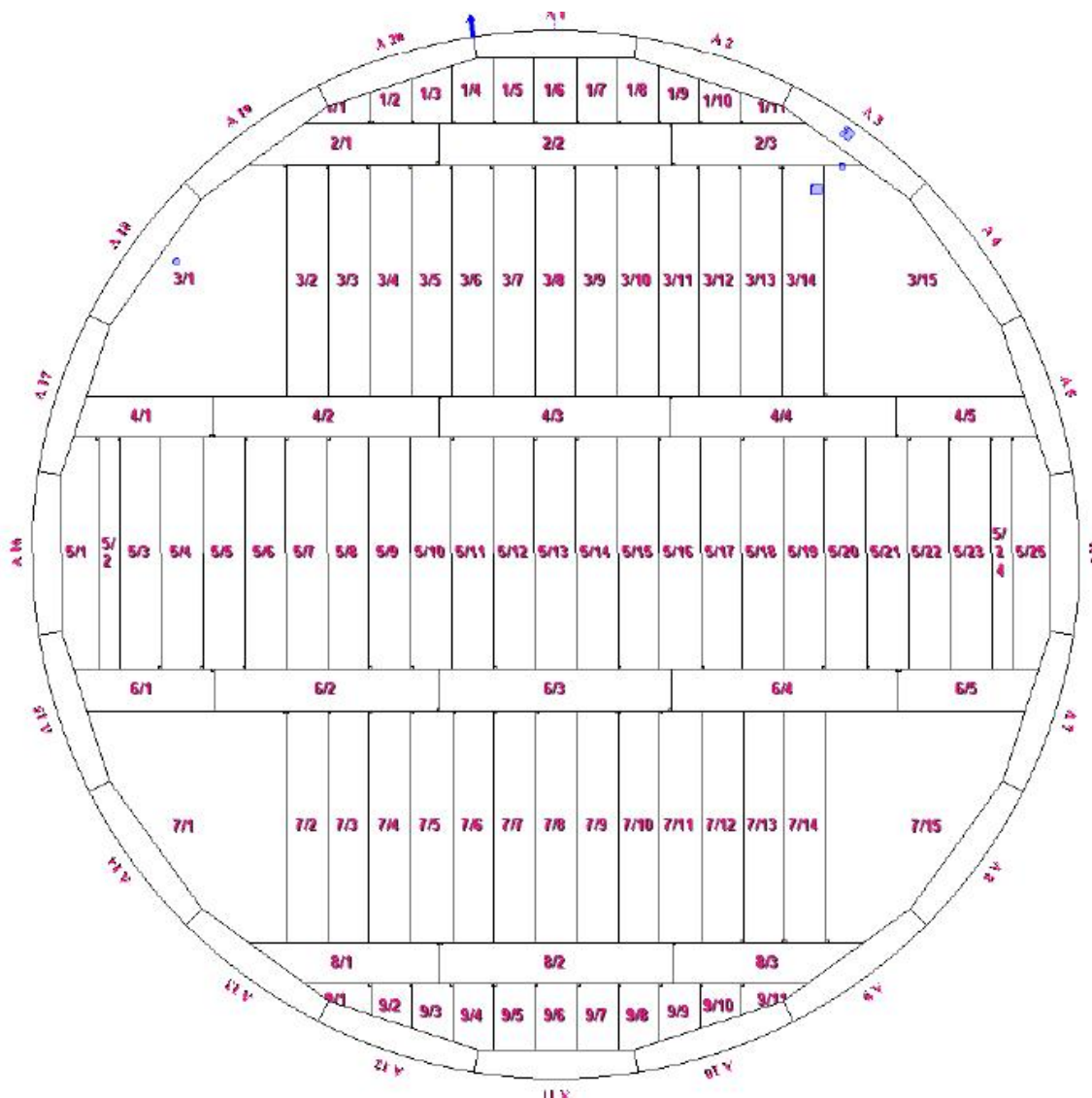


شکل 6-9: آسیب دیدگی مکانیکی

این آسیب دیدگی بعلت ضربه ناشی از نشستن پایه های سقف روی کف مخزن ، می باشد.

6-2-3- گزارش اول

در این گزارش شماره گذاری ورق های کف مخزن انجام شده است .

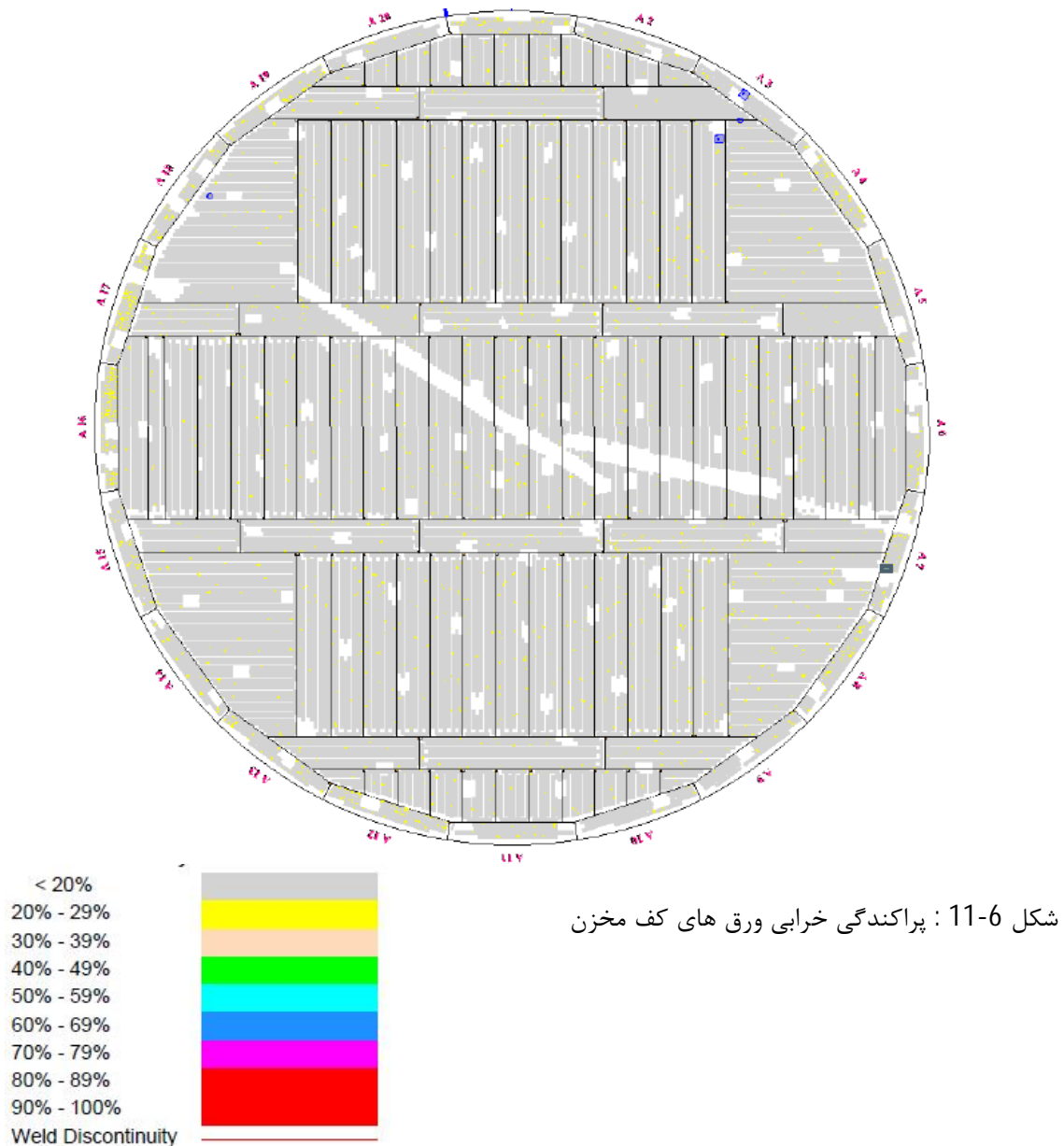


شکل 6-10 : شماره گذاری ورق های مف مخزن

ورق های انولار از A1 تا A20 و ورق های کف بر حسب مکان سطر وستون شماره گذاری شده اند .

6-2-4- گزارش دوم

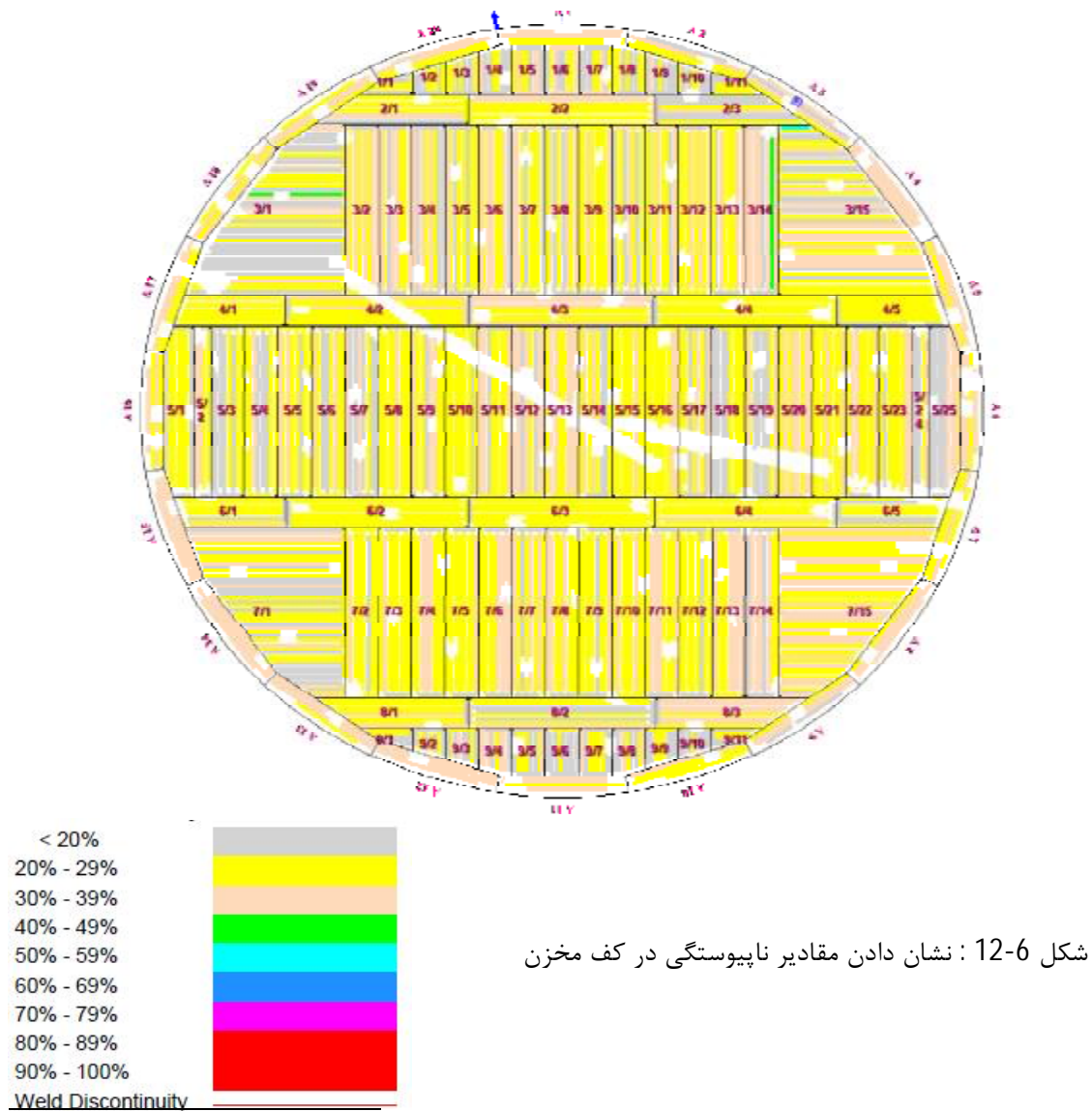
در این گزارش پراکندگی خرابی ورق های کف مخزن به صورت یکجا نمایش داده شده است . میزان خوردگی در بازه های مختلف دسته بندی شده که این بازه ها با رنگهای مختلف در زیر گزارش معرفی شده است . در این بخش جهت جانمایی بهتر هر خرابی و تشخیص راحت عمق آن ، هر بازه خرابی با یک رنگ مشخص شده است. رنگ ها بیانگر وضعیت کیفی کاهش ضخامت ورق های کف مخزن هستند .



شکل 6-11: پراکندگی خرابی ورق های کف مخزن

6-2-5- گزارش سوم

این گزارش بیشترین مقدار ناپیوستگی¹ می باشد که برای سهولت در تشخیص پراکندگی و میزان کاهش ضخامت ورق های کف مخزن ، هر ورق به صورت عرضی به نوارهای بیست و پنج سانتیمتری (عرض اسکندر) تقسیم بندی شده و براساس بزرگترین خرابی موجود ، هر نوار با رنگ بندی خاصی که مرتبط با عمق خوردگی در آن نوار می باشد ، رنگ آمیزی شده است .

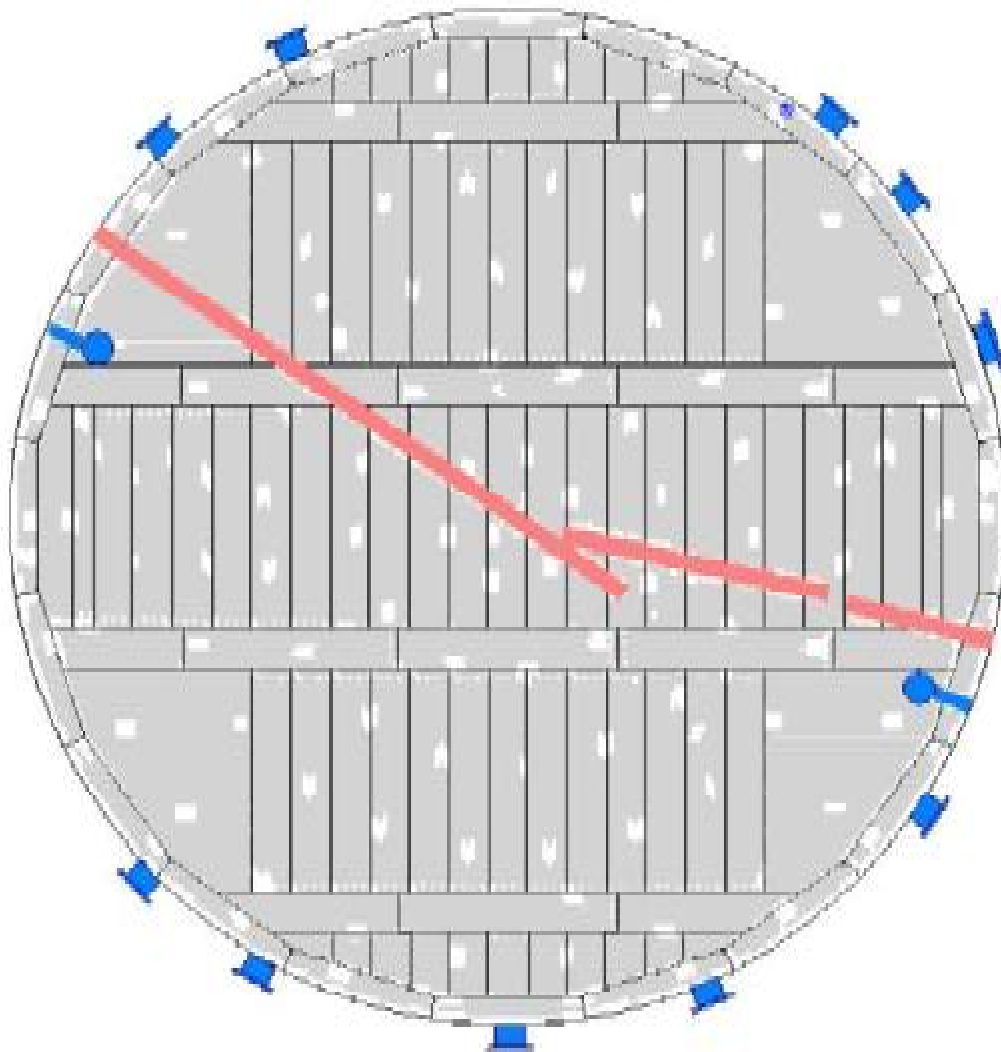


شکل 6-12: نشان دادن مقادیر ناپیوستگی در کف مخزن

¹ Maximum Discontinuity Per Track

6-2-6- گزارش چهارم

در این گزارش تصویر کامل ورق های کف مخزن به همراه کلیه تجهیزات ثابت موجود بر روی ورق های کف مخزن نمایش داده می شود. این تجهیزات ثابت مانند مکان ورودی های مخزن، مکان سیستم لوله کشی داخلی، پایه ها مکان گرم کن ها¹ و ... می باشند.

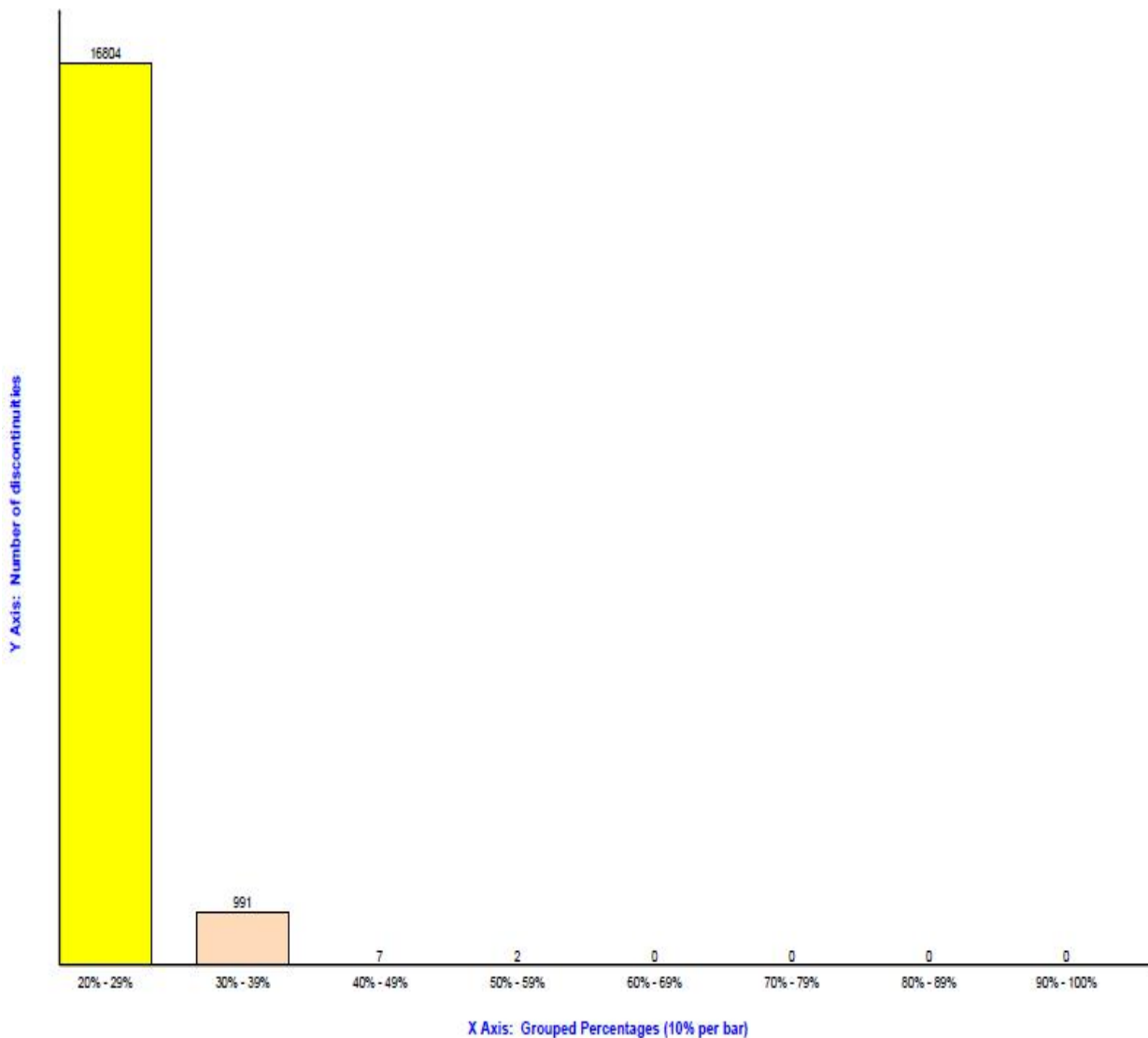


شکل 6-13: نشان دادن تجهیزات ثابت مخزن

¹ Heater

6-2-7- گزارش پنجم

این گزارش درصد میزان خرابی ها نسبت به کل سطح کف مخزن است که نشان می دهد در 16804 نقطه خرابی حدود 25 درصد ، در 991 نقطه خرابی حدود 35 درصد ، 7 نقطه خرابی حدود 45 درصد و 2 نقطه خرابی حدود 55 درصدی از خود نشان داده اند .

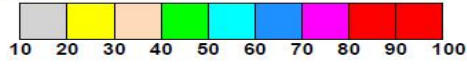


شکل 6-14 : درصد کل خرابی ها و فراوانی آن

6-2-8- گزارش ششم

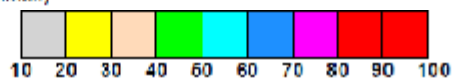
این گزارش در صد خرابی بر حسب مکان و شماره ورق را نشان می دهد:

Discontinuities found on all plates (ignoring thresholds)



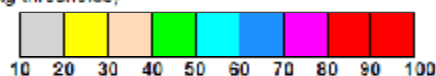
Row	Plate	Minimum discontinuity %	Maximum discontinuity %	Severity
1	1	20	29	Yellow
1	2	20	27	Yellow
1	3	20	35	Orange
1	4	20	33	Orange
1	5	20	39	Orange
1	6	20	35	Orange
1	7	20	36	Orange
1	8	20	29	Yellow
1	9	20	35	Orange
1	10	20	28	Yellow
1	11	20	28	Yellow
2	1	20	32	Orange
2	2	20	34	Orange
2	3	20	30	Orange
3	1	20	41	Green
3	2	20	33	Orange
3	3	20	39	Orange
3	4	20	33	Orange
3	5	20	31	Orange
3	6	20	38	Orange
3	7	20	33	Orange
3	8	20	33	Orange
3	9	20	31	Orange
3	10	20	37	Orange
3	11	20	31	Orange
3	12	20	35	Orange
3	13	20	33	Orange
3	14	20	45	Green
3	15	20	53	Cyan
4	1	20	30	Orange
4	2	20	34	Orange
4	3	20	34	Orange
4	4	20	29	Yellow
4	5	20	29	Yellow
5	1	20	35	Orange
5	2	20	39	Orange
5	3	20	28	Yellow
5	4	20	39	Orange
5	5	20	31	Orange
5	6	20	31	Orange
5	7	20	31	Orange
5	8	20	30	Orange
5	9	20	32	Orange
5	10	20	29	Yellow
5	11	20	32	Orange
5	12	20	34	Orange
5	13	20	33	Orange
5	14	20	31	Orange
5	15	20	35	Orange
5	16	20	33	Orange
5	17	20	31	Orange
5	18	20	27	Yellow
5	19	20	33	Orange
5	20	20	37	Orange
5	21	20	33	Orange
5	22	20	33	Orange
5	23	20	33	Orange
5	24	20	31	Orange
5	25	20	33	Orange
6	1	20	31	Orange
6	2	20	29	Yellow
6	3	20	29	Yellow
6	4	20	32	Orange
6	5	20	29	Yellow
7	1	20	37	Orange
7	2	20	30	Orange
7	3	20	35	Orange
7	4	20	35	Orange
7	5	20	31	Orange
7	6	20	31	Orange
7	7	20	32	Orange
7	8	20	31	Orange
7	9	20	30	Orange
7	10	20	31	Orange

Discontinuities found on all plates (ignoring thresholds)



Row	Plate	Minimum discontinuity %	Maximum discontinuity %	Severity
7	13	20	36	
7	14	20	33	
7	15	20	39	
8	1	20	31	
8	2	20	33	
8	3	20	35	
9	1	20	24	
9	2	20	27	
9	3	20	35	
9	4	20	39	
9	5	20	39	
9	8	20	26	
9	7	20	33	
9	8	20	32	
9	9	20	28	
9	10	20	24	
9	11	20	27	

Discontinuities found on all annular plates (ignoring thresholds)



Annular number	Minimum discontinuity %	Maximum discontinuity %	Severity
1	20	39	
2	20	37	
3	20	35	
4	20	38	
5	20	36	
6	20	35	
7	20	35	
8	20	37	
9	20	39	
10	20	31	
11	20	33	
12	20	35	
13	20	38	
14	20	37	
15	20	39	
18	20	33	
17	20	36	
18	20	37	
19	20	33	
20	20	38	

شکل 6-15: درصد خرابی برحسب شماره و مکان ورق

6-2-9-نتایج عملیات بازرسی به روش MFL:

تعداد 113 عدد از ورق های کف دارای کاهش ضخامت بیش از 20 درصد ضخامت اولیه می باشند.
تعداد 93 عدد از ورق های کف دارای کاهش ضخامت بیش از 30 درصد ضخامت اولیه می باشند.
تعداد 3 عدد از ورق های کف دارای کاهش ضخامت بیش از 40 درصد ضخامت اولیه می باشند.
تعداد 1 عدد از ورق های کف دارای کاهش ضخامت بیش از 50 درصد ضخامت اولیه می باشد.
آسیب های مکانیکی در محل قرار گیری هیترهای مخزن و پایه های سقف رخ داده است .
هیچ مورد ورقی با کاهش ضخامت بالای 60 درصد مشاهده نگردید . کلیه خرابی ها مربوط به عیوب داخلی ورقها (شامل خوردگی داخلی، آسیب دیدگی مکانیکی و پاشش جوش) می باشند.

6-2-10-نتایج عملیات بازرسی التراسونیک

به منظور اطمینان از صحت عیوب مشاهده شده توسط روش MFL ، نواحی مربوطه توسط دستگاه التراسونیک نیز مورد بررسی گرفت . همچنین نواحی با دسترسی محدود مانند زیر لوله ها و کناره های پایه های لوله ها که با دستگاه FloorMapVS2i قابل بررسی نبود توسط دستگاه التراسونیک مورد بررسی گرفت . نتایج بدست آمده با اختلاف 5 در صد نتایج تست MFL را تایید می کرد .



شکل 6-16: بررسی نواحی با دسترسی محدود با تست التراسونیک

فصل هفتم

طراحی سیستم مانیتورینگ سلامت مخزن

7-1- پیشگفتار

همانطور که در فصل دوم بیان شد ، مرحله اول و دوم از شناسایی الگوی استاتیکی سازه بررسی عملیاتی سازه و جمع آوری داده ها و دسته بندی آن است که این دو مرحله در قسمت قبل انجام شده است . مرحله بعد ، استخراج نتایج مورد نیاز از داده ها و جمع بندی از نتایج است . نتایج زیر را می توان از داده های فوق استخراج کرد.

7-2- جمع بندی داده های قسمت قبل

- تعریف خرابی در ورق های کف مخزن در اکثر موارد بمعنای درصد کاهش ضخامت است و در موارد معدودی به معنای ترک ها و شکستگی های ناشی از خوردگی و ضربات مکانیکی است که تاثیر هر دو مورد در پیش بینی مدت زمان مجاز بهره برداری ، زیاد است .
- از آنجا که در تحلیل مهندسی بایستی بدترین شرایط ممکن را در نظر گرفت ، خرابی های با شدت بالاتر تاثیر بیشتری در پایان عمر بهره برداری سازه داشته و در نتیجه بیشتر تحلیل ها به بررسی این دسته از خرابی ها اختصاص داده می شود .
- داده های قسمت قبل در مکان یابی جهت تعبیه سنسورها می تواند مفید باشد . با توجه به شدت تجمع خرابی در هر محل ، بایستی به مکان تعبیه سنسور تصمیم گیری کرد . آنچه مسلم است بهترین حالت قراردادن یک سنسور برای هر ورق است ولی لزوماً بهترین حالت بهینه ترین حالت نیست!
- سنسورهایی که برای این سازه پیشنهاد می شود بایستی در اندازه گیری کرنش و ضخامت ورق کارایی داشته باشند .
- از آنجا که ورق های کف تحت بارگذاری های متغیر هستند ، تاثیر پدیده خستگی و بیشینه مجاز تعداد دفعات بارگذاری ورق های کف مخزن در حالت های ابتدایی (بدون خرابی) ،

خرابی های ناشی از کاهش ضخامت و خرابی های ناشی از ترک و سوراخ شدگی کف بایستی تحلیل شده تا مدت زمان مجاز بهره برداری قبل از وقوع پدیده خستگی در هر کدام از حالت های فوق مشخص گردد .

7-3-شبه سازی مسئله توسط نرم افزار انسیس¹:

7-3-1- معرفی نرم افزار انسیس: [12]

این نرم افزار در سال 1971 توسط شرکت آمریکایی سوانسون² به عنوان یکی از پیشگامان نرم افزارهای اجزای محدود ساخته شد و مورد استفاده محققان قرار گرفت و جزء اولین نرم افزارهایی است که آنالیزهای غیرخطی ، مکانیک شکست ، مخازن و سایر آنالیزها را در بسته نرم افزاری خود دارد . هدف از انتخاب این نرم افزار به دلایل زیر است :

- حل گره های قدرتمند و هوشمند این نرم افزار ، کاربرد آنرا از کاربردهای تحقیقاتی به کاربرد های صنعتی ارتقا داده است بطوری که هم در امور تحقیقاتی و هم در امور صنعتی می توان از آن استفاده کرد .
- مدلسازی و شبکه بندی در این نرم افزار بسیار ساده و در عین حال قدرتمند است .
- در این نرم افزار امکان انجام تحلیل های مختلف مقدور است به طوری که از آن در سه شاخه مهندسی مکانیک ، عمران و الکترونیک استفاده مستقیم می شود و در شاخه های مهندسی مواد ، شیمی و پلیمر قابل بهره برداری است .
- دسترسی ساده تر و در عین حال بسیار جامع تر به نتایج خروجی در این نرم افزار موجود است .

¹ ANSYS

² Swoanson

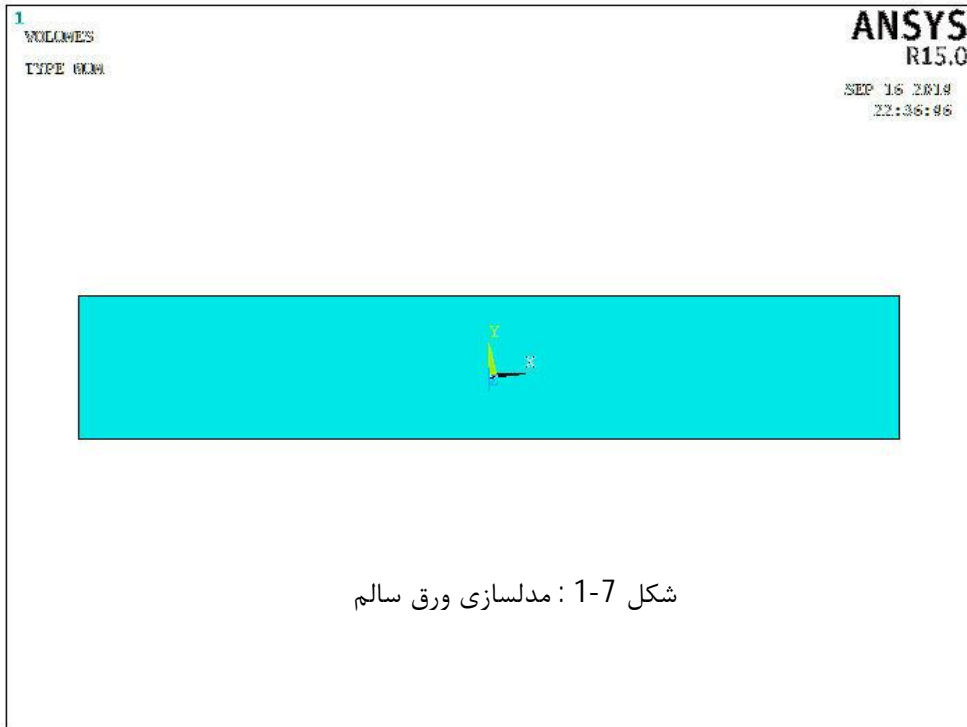
7-3-2-شبيهه سازى ورق كف مخزن :

ابتدا با توجه به داده هاى طراحى قسمت قبل به شبيهه سازى يك ورق در فضاى سه بعدى تحت بار بيشينه اعمالى ، يعنى زمان پر بودن مخزن پرداخته و ميزان کرنش الاستيك در قسمت هاى مختلف در خروجى نرم افزار بصورت گرافيكى در سه بعد X, Y, Z نمايش داده مى شود . خصوصيات مكانيكى فولاد از استاندارد و ميزان بارگذاري از دستورالعمل طراحى مخزن استخراج شده است . بيشينه بار طراحى 0.85 مگاپاسكال و كمترين آن 0.15 مگاپاسكال مى باشد . ضخامت ورق 8 ميلى متر و جنس آن A285 Gr C مى باشد . لازم به ذكر است كه جهت خلاصه سازى شبيهه سازى ، فقط در اولين شبيهه سازى مراحل حل بصورت تصويرى نمايش داده مى شود و در بقيه موارد به نمايش خروجى گرافيكى بسنده مى شود .

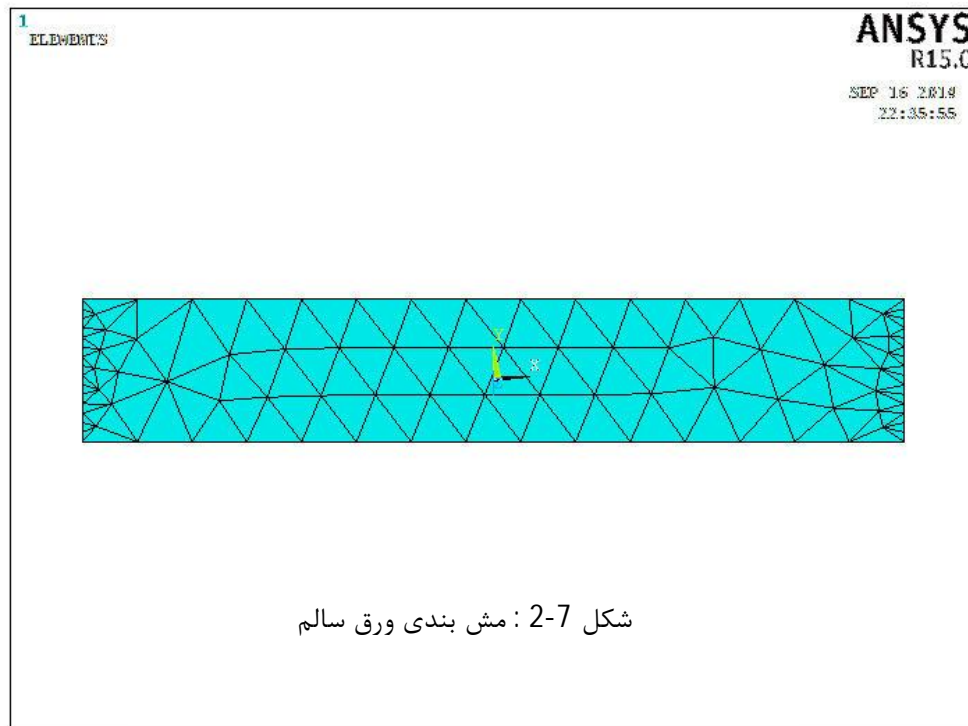
7-3-2-1-شبيهه سازى ورق هاى سالم تحت بارگذاري :

• مدلسازى :

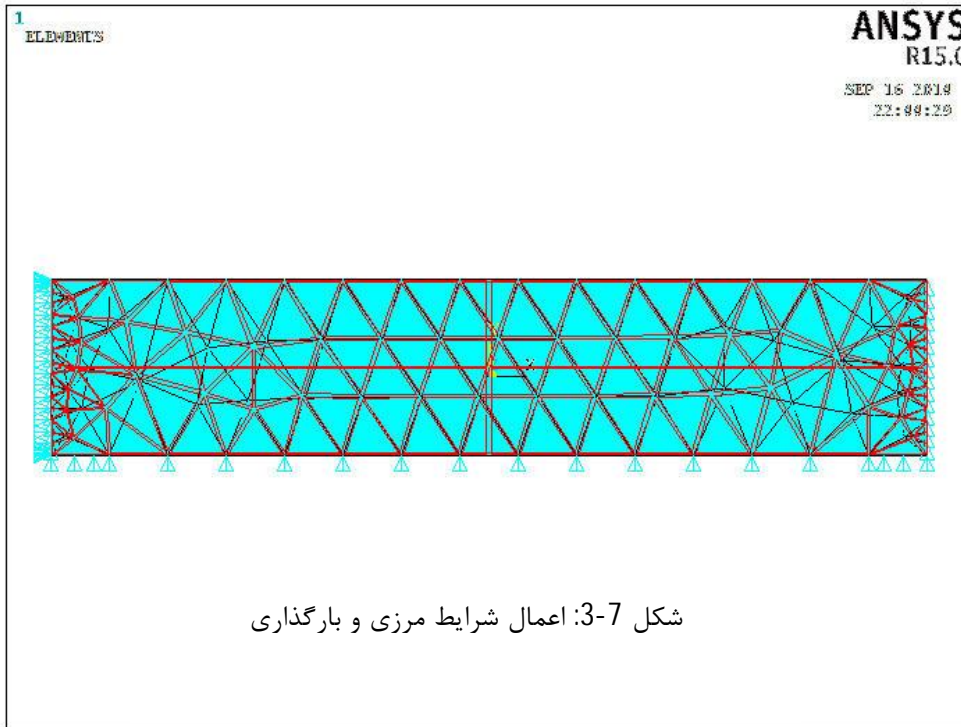
در اين مدلسازى يك ورق مخزن به ابعاد 2متر در 10 متر با ضخامت 8 ميلى متر طراحى شده است . بار اعمالى وارد به كف برابر بيشينه بار ممكن يعنى پر بودن مخزن ، پمپاژ سيال ، روشن بودن ميكسر ، بار مرده برف و سقف و... واعمال ضرايب بارگذاري است كه در دستورالعمل ساخت مخزن برابر 0.85 مگاپاسكال است .



• مش بندی :

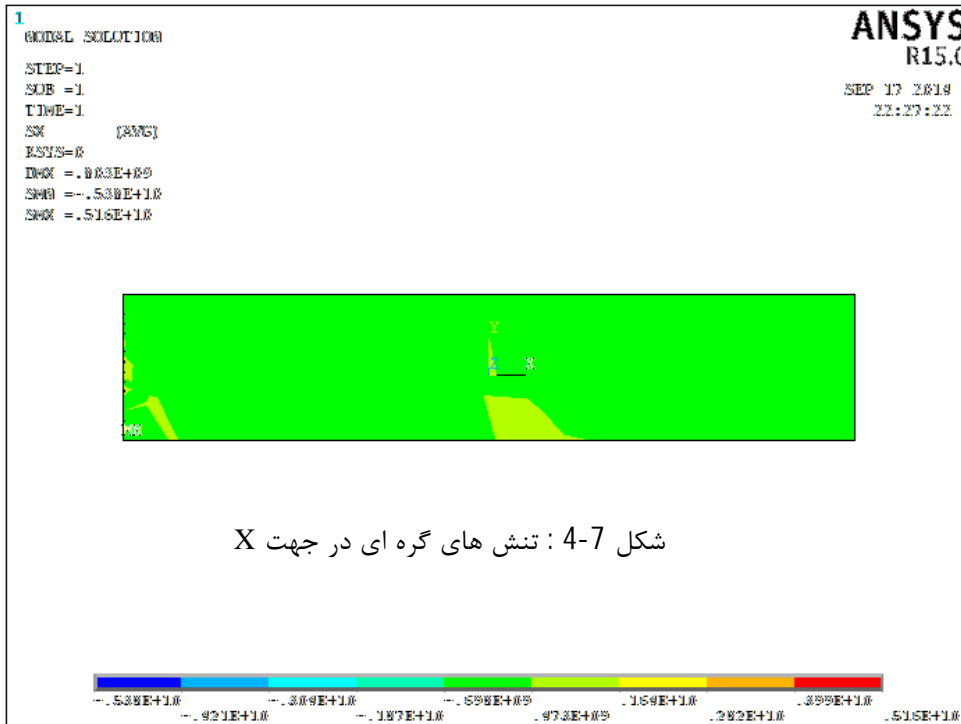


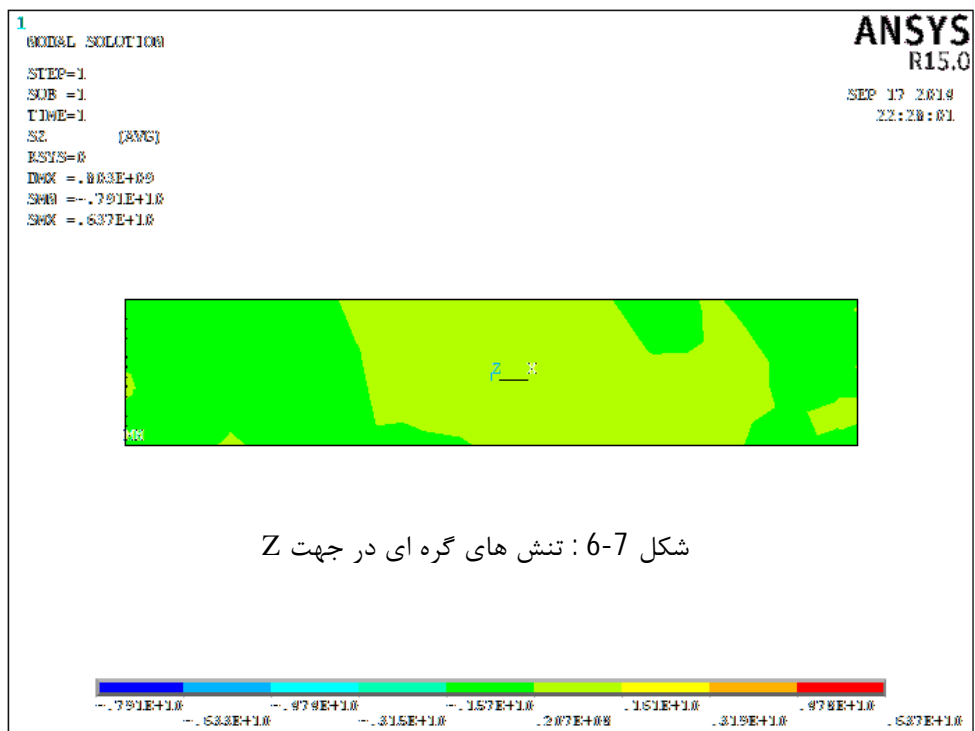
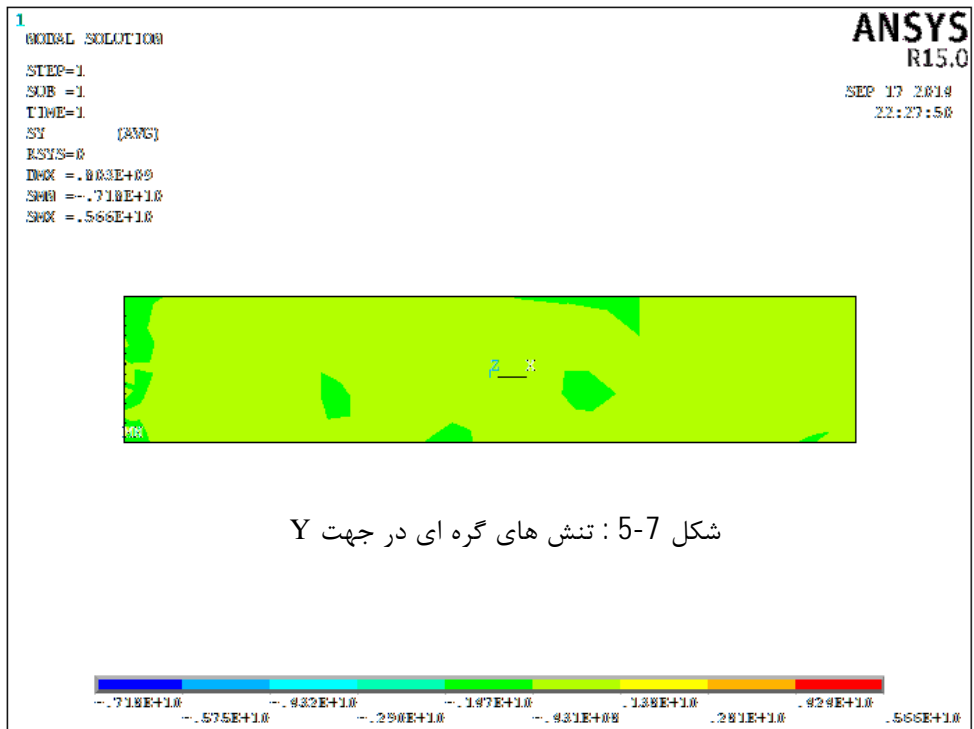
- اعمال شرایط مرزی و بارگذاری:



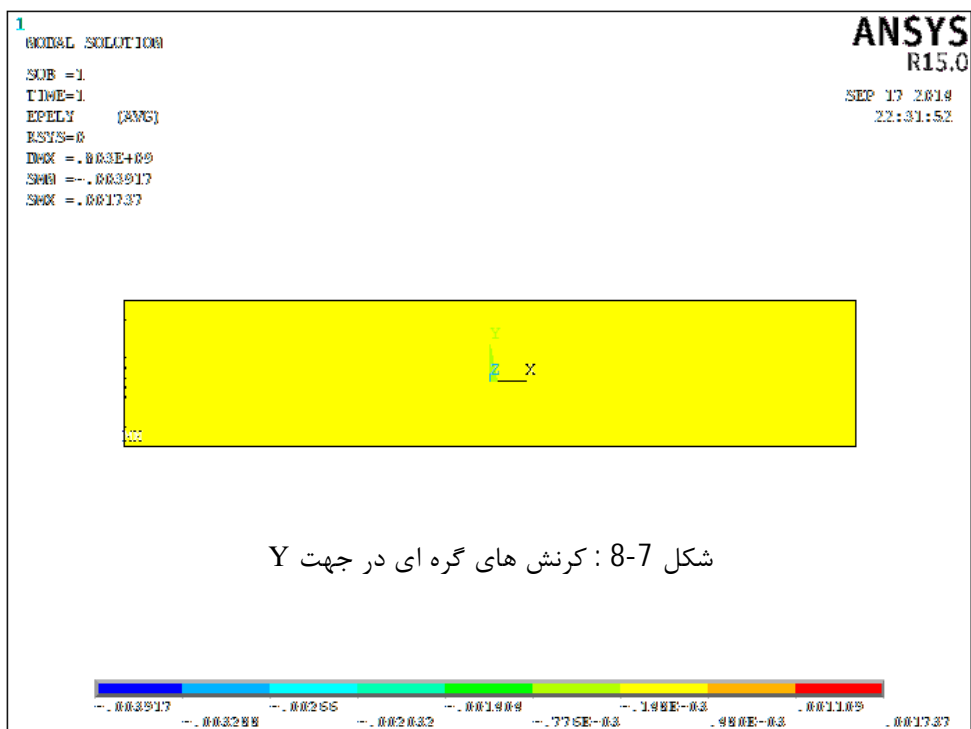
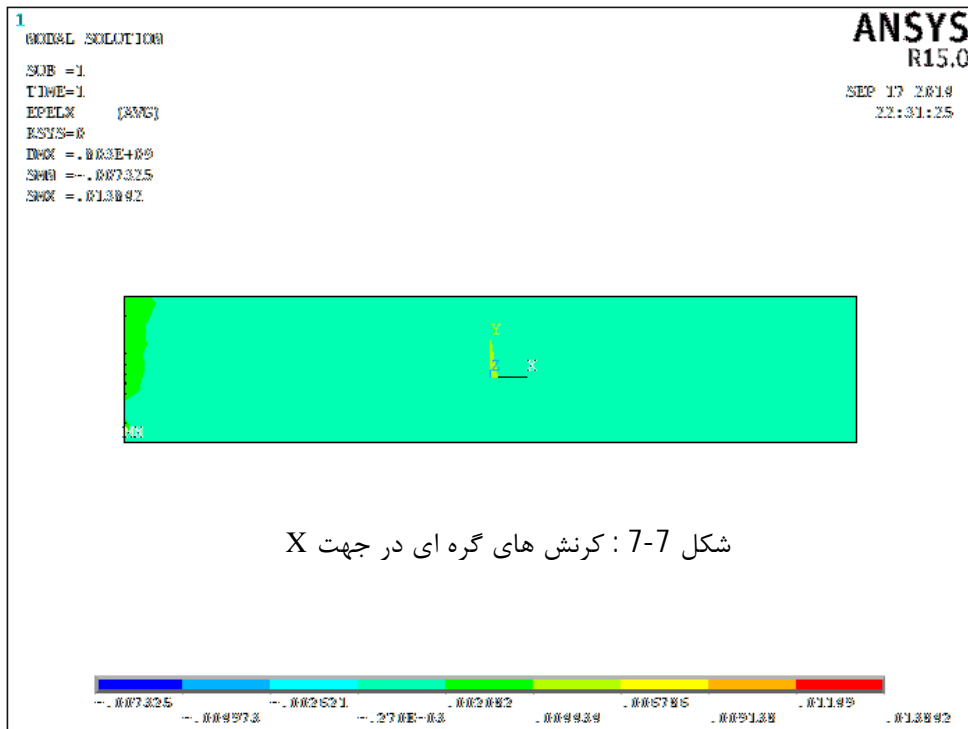
خروجی نرم افزار:

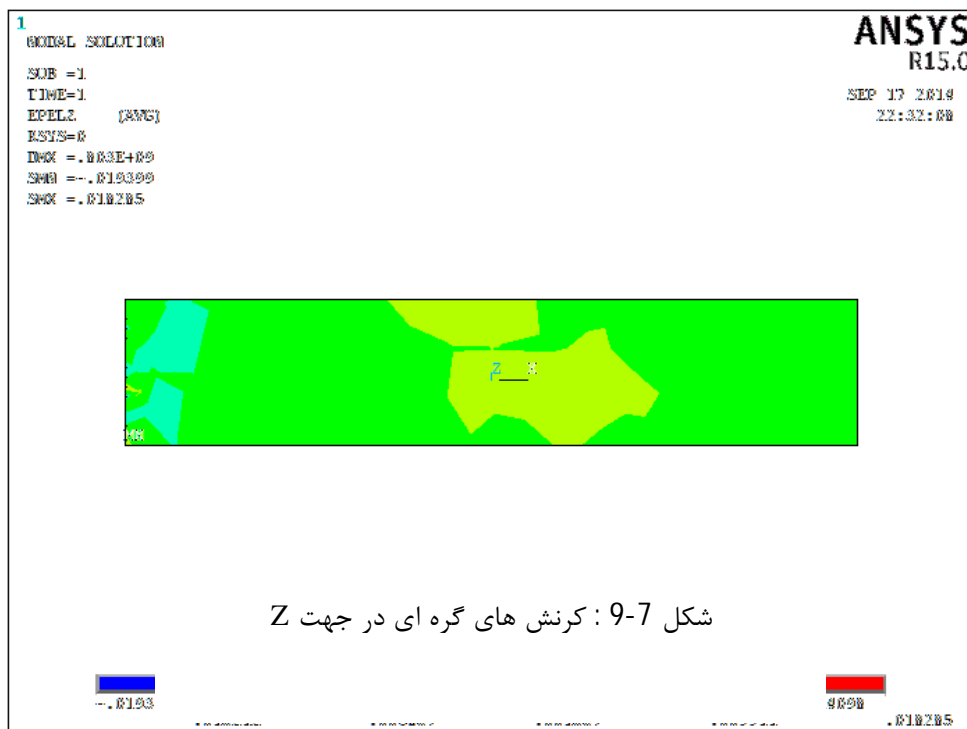
کانتورهای تنش گره ای:





کانتورهای کرنش گره ای :





به همین ترتیب شبیه سازی برای ورق های با خرابی حدود 25 درصد و 50 درصد و همچنین خرابی های ناشی از ضربات مکانیکی و سوراخ شدگی انجام گردیده است که در پیوست 1 تصاویر آن موجود است .

3-3-7- بررسی و تحلیل داده ها :

در این قسمت از پژوهش به تحلیل داده های قسمت قبل پرداخته می شود . این تحلیل به میزان بیشینه و کمینه کرنش تحت بار فشاری 850000 پاسکال در هر کدام از ورق های با درصد خرابی مشخص پرداخته است . همچنین تحلیل پدیده خستگی برای هر کدام از موارد فوق نیز در ادامه انجام شده است .

جدول 7-1: مقادیر کرنش بدست آمده از مدل سازی ورق های مختلف

$\epsilon_{ave z}$	$\epsilon_{z max}$	$\epsilon_{ave y}$	$\epsilon_{y max}$	$\epsilon_{ave x}$	$\epsilon_{x max}$	میزان خرابی
0.0026	0.011	0.00014	0.00014	0.00208	0.00208	ورق سالم
0.0009	0.0038	0.00023	0.00023	0.00308	0.00308	25% کاهش ضخامت
0.0342	0.0515	0.00987	0.00987	0.0010	0.01268	50% کاهش ضخامت
0.0002	0.0104	0.00027	0.00066	0.00014	0.0081	50% کاهش ضخامت و سوراخ شدگی به شعاع 2 سانتیمتر
0.12	0.422	0.00544	0.00544	0.0057	0.0207	50% کاهش ضخامت و سوراخ شدگی بطول 20 سانتی متر

قدر مطلق مقادیر کرنش آمده است .

7-3-4- نتیجه گیری از داده ها :

با شبیه سازی بارگذاری بیشینه بر روی ورق با کیفیت ذکر شده در بالا می توان به نتایج زیر دست یافت :

1- در خوردگی با کاهش ضخامت حدود 50% کرنش هایی بالاتر از 0.005 مشاهده می شود .

می توان این نتیجه را گرفت که ورق کف مخزن از این مرحله وارد تغییر شکل های برگشت

ناپذیر شده است . مقایسه خروجی کرنشی سنسورها با این شبیه سازی می تواند در تصمیم گیری برای سازه موثر باشد .

2- با توجه به تصاویر آمده در پیوست و اختلاف بین کرنش بیشینه و متوسط کرنش که در جدول قسمت قبل نشان داده شده است ، می توان چنین نتیجه گرفت که با شروع آسیب مکانیکی و خوردگی و سوراخ شدگی کف مخزن ، اغتشاش در اندازه گیری کرنش مشاهده می شود .

3- شبیه سازی های فوق بعنوان معیار اندازه گیری آسیب در کف مخزن در سیستم مانیتورینگ سلامت سازه مخزن نفتی می باشند .

7-4- تاثیر متقابل پدیده های خوردگی و خستگی :

با شروع سوراخ شدگی ، تاثیر خوردگی تنشی و خستگی در گسترش ترک و تبدیل شدن به شکست های گسترده بیشتر نمایان می شود که در ادامه ابتدا به معرفی پدیده خستگی اشاره شده و سپس رابطه خستگی و خوردگی توضیح داده می شود .

7-4-1- مقدمه ای بر شکست خستگی¹ [11]

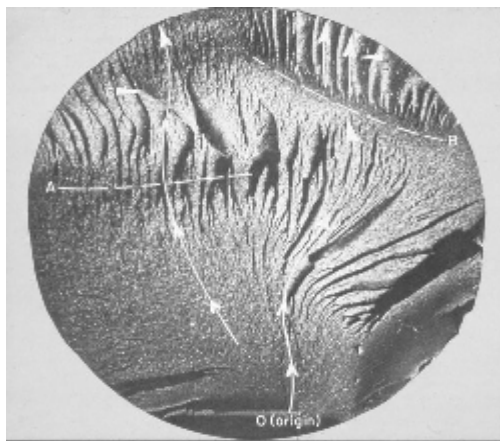
از سال 1850 معلوم شده است که فلز تحت تنش تکراری یا نوسانی ، در تنشی به مراتب کمتر از تنش لازم برای شکست در اثر یک مرتبه اعمال بار ، خواهد شکست . شکست هایی که در شرایط بارگذاری دینامیک رخ می دهند شکستهای خستگی نامیده میشوند که این نامگذاری احتمالاً مبتنی بر این دلیل است که به طور کلی مشاهده می شود شکستها فقط پس از یک دوره کار زیاد رخ می دهند . خستگی فلزات بصورت اعمال متناوب تنش که باعث ایجاد و گسترش ترک های بسیار ریز و تبدیل به ترک های بزرگتر شود ، تعریف می شود .

¹ Fatigue

هیچگونه تغییر واضحی در ساختار فلزی که به علت خستگی می شکند وجود ندارد تا بتوان به عنوان مدرکی برای شناخت دلایل شکست خستگی از آن استفاده کرد. با پیشرفت صنعت و افزایش تعداد وسایلی از قبیل خودرو، هواپیما، کمپرسور، پمپ، توربین و غیره که تحت بارگذاری تکراری و ارتعاشی هستند، خستگی بیشتر متداول شده و اکنون چنین برداشتی می شود که عامل حداقل 90 درصد شکستهای ناشی از دلایل مکانیکی حین کار خستگی می باشد.

7-4-2- تئوری شکست خستگی :

دلیل عمده خطرناک بودن شکست خستگی این است که بدون آگاهی قبلی و قابل رویت بودن رخ می دهد. خستگی به صورت شکستی با ظاهر ترد، بدون هیچگونه تغییر شکل ناخالص در شکست نتیجه میشود. معمولاً سطح شکست در مقیاس میکروسکوپی بر جهت تنش کشش اصلی عمود است. معمولاً سطح شکست خستگی از ظاهر سطح شکست تشخیص داده میشود، که از یک ناحیه هموار حاصل از عمل ساییش با اشاعه ترک در مقطع، و یک ناحیه ناهموار که در هنگام عدم تحمل بار توسط مقطع، در قطعه به صورت نرم شکسته شده است تشکیل می شود. غالباً پیشرفت شکست توسط یک دسته حلقه نشان داده می شود، که از نقطه شروع شکست به طرف داخل پیشرفت می کند.



شکل 7-10: سطح شکست ناشی از خستگی و مشخص بودن ناحیه های هموار و ناهموار

سه عامل عمده برای وقوع شکست خستگی ضروری هستند. این عوامل عبارتند از:

1- تنش کششی حداکثری به مقدار بسیار زیاد

2- تغییرات به حد کافی زیاد یا نوسانی در تنش وارده

3- زیاد بودن چرخه های تنش وارده

علاوه بر این، متغیرهای دیگری مانند تمرکز تنش، خوردگی، دما، بار اضافی، ساختار متالورژیکی، تنشهای باقیمانده و تنشهای مرکب هم وجود دارند که شرایط را برای ایجاد خستگی تقویت می کنند.

7-4-3- خصوصیات ساختاری خستگی:

در مطالعات تغییرات ساختاری در فلزی که به آن تنش چرخه ای اعمال می شود، فرایند خستگی برای سهولت درک به مراحل زیر تقسیم شده است:

1- شروع ترک: شامل ایجاد اولیه عیب خستگی که با عملیات تابانیدن مناسب برطرف می شود.

2- رشد ترک نوار لغزش: عبارت است از عمیق شدن ترک اولیه روی صفحات با تنش برشی زیاد، این مرحله غالباً رشد ترک مرحله 1 نامیده می شود.

3- شکست ترک روی صفحاتی با تنش کششی زیاد: عبارت است از رشد یک ترک معین در جهت عمود بر تنش کششی حداکثر. این مرحله معمولاً رشد ترک مرحله 2 نامیده می شود.

4- شکست نرم نهایی: هنگامی رخ می دهد که طول ترک به اندازه کافی برسد، طوری که سطح مقطع باقیمانده نتواند بار وارده را تحمل کند.

سهام نسبی هر مرحله از کل چرخه های مسبب شکست به شرایط آزمایش و ماده بستگی دارد اما کاملاً مشخص شده است که یک ترک خستگی می تواند قبل از اینکه 10 درصد عمر کل نمونه منقضی شود، تشکیل شود. البته در تصمیم گیری در مورد زمانی که یک نوار لغزش عمیق شده می

تواند ترک نامیده شود ، ابهام زیادی وجود دارد . به طور کلی ، سهم بیشتری از کل چرخه های مسبب شکست به اشاعه ترکهای مرحله 2 در خستگی کم چرخه تعلق دارد تا خستگی پر چرخه ، در صورتی که رشد ترک در مرحله 1 برای خستگی پرچرخه و تنش کمتر ، بیشتر است . اگر تنش کششی زیاد باشد ، مانند خستگی در نمونه های با شیار تیز ، رشد ترک مرحله 1 به هیچ وجه قابل مشاهده نیست .

بررسی ساختاری دقیق خستگی این واقعیت را نشان می دهد که معمولا ترکهای خستگی در یک سطح آزاد شروع می شوند . در موارد نادری که ترکهای خستگی از قسمت داخلی شروع می شوند ، همیشه مرزی مانند حد فاصل یک لایه سطحی کربوره شده و فلز اصلی ، باید وجود داشته باشد .

7-4-3- اثر سطح و خستگی:

عملا تمام شکستهای خستگی از سطح شروع می شوند. در بسیاری از انواع متداول بارگذاری ، مانند خمش و پیچش ، تنش حداکثر در سطح رخ می دهد ، طوری که شروع شکست از آن مکان منطقی جلوه می کند . اما در بارگذاری محوری ، شکست خستگی تقریبا همیشه از سطح شروع می شود . مدارک فراوانی حاکی از اینکه خواص خستگی به شرایط سطحی بسیار حساس هستند در دست است . عواملی که در سطح یک نمونه خستگی تاثیر می گذارند عمدتا به سه دسته تقسیم می شوند:

1- نا همواری سطح یا منابع تنش سطحی

2- تغییر استحکام خستگی فلز سطحی

3- تغییرات شرایط تنش باقیمانده در سطح

علاوه بر این ، سطح فلز در معرض اکسایش و خوردگی نیز قرار دارد .

7-4-4- اثر متغیرهای متالورژیکی بر خستگی:

خواص خستگی فلزات کاملا به ساختار حساس است. اما در حال حاضر، روشهای محدودی وجود دارد که توسط آنها می توان خواص خستگی را از طرق متالورژیکی بهبود بخشید.

تغییرات طراحی به نحوی که تمرکز تنش کم شود و استفاده صحیح از تنش باقیمانده فشاری مفید به جای تغییر جنس، از کارهای عمده ای است که در خواص خستگی بهبود ایجاد می کند. با اینحال عوامل متالورژیکی ویژه ای وجود دارند که برای اطمینان از بهترین کارایی در اندازه گیری یک فلز یا آلیاژ خاص باید در نظر گرفته شوند. آن آزمایشهای خستگی که برای خستگی طراحی شده اند، معمولا با نمونه های صاف پرداخت شده و در شرایط تنش کاملا معکوس انجام می شوند. عموما فرض می شود هرگونه تغییری در خواص خستگی به علت عوامل متالورژیکی، مشابه همان مقدار تغییری است که در شرایط خستگی مرکب، مانند نمونه های شیار دار تحت تنشهای مرکب، رخ می دهد، البته این نکته همیشه با شرایطی که در مورد نتایج حساسیت به شیار است مطابقت ندارد.

غالبا خواص خستگی به خواص کششی وابسته اند. به طور کلی حد خستگی فولادهای ریخته شده و کار شده تقریبا 50 درصد استحکام نهایی کشش است. نسبت حد خستگی به استحکام کششی نسبت خستگی نامیده می شود. نسبت خستگی فلزات غیر آهنی مانند نیکل، مس و منیزیم در حدود 35 درصد خواهد بود. اما با زیاد شدن استحکام تسلیم توسط مکانیزم های استحکام دهی مختلف، معمولا حد خستگی به طور متناسب با آن زیاد نمی شود. اکثر مواد با استحکام زیاد، در برابر خستگی با محدودیت مواجه اند.

رابطه عمر خستگی با اندازه دانه نیز به شیوه تغییر شکل بستگی دارد. بیشترین تاثیر اندازه دانه بر عمر خستگی در شرایط چرخه زیاد و تنش کم است که در آن ایجاد ترک مرحله 1 مسلط است. در موادی با انرژی خطای انباشتگی زیاد (مانند آلومینیوم و مس) ساختارهای سلولی به سادگی به وجود

آمده و اشاعه ترک مرحله 1 را کنترل می کند . بنابراین ساختار سلول نابجایی ، اثر اندازه دانه را می پوشاند و عمرخستگی در تنش ثابت به اندازه حساس نیست . اما در ماده ای با انرژی خطای انباشتگی کم (مانند برنج آلفا) ، عدم وجود ساختار سلولی به دلیل لغزش مسطح باعث می شود مرزهای دانه ، آهنگ ایجاد ترک را کنترل کنند . در این حالت ، عمرخستگی با 2 برابر قطر دانه متناسب است .

7-4-5- اثر دما بر خستگی:

آزمایشهای خستگی فلزات در دماهای کمتر از دمای اتاق نشان می دهد که استحکام خستگی با کاهش دما زیاد می شود . با اینکه فولادها در حالت خستگی در دمای کم به شیار حساستر می شوند ، هیچ دلیلی برای نشان دادن وقوع هر گونه تغییر ناگهانی در خواص خستگی در دما های کمتر از دمای انتقال تردی به نرمی وجود ندارد . این واقعیت که با کاهش دما استحکام خستگی نسبتا بیشتر از استحکام کششی افزایش می یابد ، با نشان دادن شکست خستگی در دمای اتاق که با تشکیل و تمرکز جای خالی همراه است ، توجیه می شود . به طور کلی ، هرچه استحکام خزش ماده ای بیشتر باشد ، استحکام خستگی آن ماده در دمای زیاد بیشتر است. اما آن عملیات متالورژیکی که باعث ایجاد بهترین خواص خستگی در دمای بالا می شود لزوما به ایجاد بهترین مشخصات پارگی در خزش منجر نخواهد شد . به طور کلی ، گرچه اغلب قطعات ریختگی به خزش مقاوم ترند ، ولی آلیاژهایی که بر آنها کار انجام شده باشد ، مقاومت به خستگی بهتری نشان می دهند . امکان دارد روشهایی که در کاهش شکستهای خستگی در دمای اتاق مفیدند ، برای خستگی در دمای بالا مفید نباشند . مثلا ممکن است قبل از اینکه دما به دمای عمل برسد ، تنشهای باقیمانده فشاری در اثر تابانیده شدن از بین بروند. تنشهایی که باعث ایجاد شکست خستگی در دمای بالا می شوند ، لزوما نباید از منابع مکانیکی ناشی شده باشند. شکست خستگی می تواند در شرایطی که هیچ تنشی به دلایل مکانیکی تولید نمی شود ، توسط تنشهای گرمایی نوسانی به وجود آید . تنشهای گرمایی وقتی به وجود می آیند که توسط قیدی از تغییر ابعاد یک قطعه به علت تغییر دما جلوگیری شود.

اگر شکست در اثر اعمال تنش گرمایی رخ دهد ، شرایط به شوک گرمایی موسوم است . اما اگر شکست پس از اعمال مکرر تنش گرمایی رخ دهد ، این حالت خستگی حرارتی نامیده میشود . غالباً در وسایلی که در دمای بالا کار می کنند ، شرایط ایجاد شکست در اثر خستگی گرمایی وجود دارد . فولاد زنگ نزن آستنیتی از فلزاتی است که خصوصاً به دلیل هدایت گرمایی کم و انبساط گرمایی زیاد خود نسبت به این پدیده حساس است .

7-4-6- خوردگی تنشی

خوردگی تنشی پدیده ای است که از نیروی مکانیکی و شیمیایی منتج گشته و فلز دست خوش خوردگی می شود . در یک محیط خورنده ای که نیروی کششی یا فشاری وجود دارد این خوردگی نیز وجود خواهد داشت . عامل حرارت با تنش باعث سرعت بخشیدن به خوردگی می شود که اغلب همراه با ترک خواهد بود و امکان دارد که ترک از کنار دانه های فلز یا از وسط دانه های فلز باشد که خوردگی تنشی مرزدانه ای یا بین دانه ای نامیده می شود . هر چند فولاد های ضد زنگ مقاومت بیشتری از خود نشان می دهند اما در برابر خوردگی تنشی فولاد های معمولی مقاوم ترند . خوردگی تنشی را می توان با استفاده از کند کننده هایی مانند فسفات ها و دیگر مواد موثر تقلیل داد که باید با دقت و به مقدار کافی و با آگاهی از اینکه محیط چندان خورنده نیز نباشد انجام شود .

7-4-7- خوردگی در اثر خستگی

مکانیزم خوردگی خستگی کاملاً روشن نیست ، لکن علت این نوع خوردگی به طور کیفی مشخص شده است . آزمایش های خوردگی خستگی آهن و آلیاژهای آهنی نشان می دهند که رفتار این آلیاژها شبیه رفتار فلزات غیرآهنی در آزمایش های خستگی معمولی است . همچنین به نظر می رسد که خوردگی خستگی در محیط هایی که باعث حفره دار شدن می شوند ، رایج تر است . این دو

واقعیت دلالت بر این دارند که علت کم شدن مقاومت خستگی در حضور محیط خورنده این است که حفره ها به عنوان منابعی برای تمرکز تنش عمل کرده و باعث ایجاد ترک هایی در فلز می شوند . به احتمال زیاد در راس ترک ، خوردگی شدید تر است . شکست های ناشی از خوردگی خستگی معمولاً بین دانه ای بوده و فاقد شاخه شاخه شدن که از ویژگی های اکثر شکست های ناشی از خوردگی تنش است ، می باشند . مراحل نهایی خوردگی خستگی شبیه مراحل نهایی خستگی معمولی است . شکست نهایی صد در صد مکانیکی بوده و به وجود خورنده نیازی ندارند .

7-4-8- راه های مقابله با خوردگی خستگی

با راه های مختلف می توان از خوردگی خستگی مانع شد . افزایش استحکام کششی فلز یا آلیاژ ، عمر خستگی معمولی را بهبود می بخشد ، لکن برای خوردگی خستگی مضر است . در مورد مقاومت خستگی معمولی ، آلیاژهایی که دارای استحکام کششی بالایی هستند ، در مقابل جوانه زدن و شروع ترک ها مقاومت بیشتری می کنند . باید توجه کرد که در یک فلز با استحکام بالا و انعطاف پذیری کم به مجرد این که ترک شروع شد ، سرعت رشد بیشتر از سرعت رشد در ترک های فلزی است که دارای استحکام کمتری می باشند . در خوردگی خستگی ، ترک به سهولت در اثر خوردگی ایجاد می گردد ، بنابراین از این نقطه نظر مقاومت خوردگی خستگی فلزی که دارای استحکام بیشتری است ، نامناسب تر است .

با کم کردن تنش روی فلز می توان خوردگی خستگی را کم و یا کاملاً حذف کرد . همچنین با تغییر طراحی جسم ، عملیات حرارتی تنش گیری و یا با ساچمه زنی به منظور ایجاد تنش های فشاری روی سطح می توان تنش روی جسم را کاهش داد . بازدارنده های خوردگی در کم کردن یا حذف اثرات این نوع خوردگی موثرند . همچنین با استفاده از پوشش هایی مثل روی ، کادمیم ، نیکل و مس و نیترا ته کردن ، مقاومت خوردگی خستگی افزایش می یابد . زمانی که اعمال پوشش ها ، توسط

الکترولیز انجام می شود ، بایستی از روش هایی استفاده شود که تنش های کششی در پوشش به وجود نیارند و همچنین هیدروژن وارد فلز نگردد .

7-5- شبیه سازی خستگی در کف مخزن: [12]

در نرم افزار انسیس برای انجام یک تحلیل خستگی تحت بار متناوب ، ابتدا باید تنش های ایجاد شده در سازه را تحت بارهای تناوبی تعیین کرد بنابر این قبل از انجام هر آنالیز خستگی باید یک آنالیز استاتیکی که شامل حداقل دو بارگذاری می باشد را انجام داد . سپس با توجه به کانتور های تنش ، گره بحرانی را تشخیص داده و سپس به محاسبه خستگی بر روی این گره های بحرانی پرداخته شود . برای انجام تحلیل خستگی ، پس از انجام تحلیل استاتیکی ، با مفاهیم زیر بایستی آشنا بود :

- رخداد¹ : تعداد انواع سیکل هایی است که بر روی سازه اتفاق می افتد .
- بارگذاری² : بارهای اعمالی در آنالیز است که جزیی از *EVENT* می باشد .
- موقعیت³ : گره های بحرانی سازه است که محاسبات خستگی بر روی آنها انجام می شود و این گره ها توسط کاربر پس از محاسبه تنش و کرنش در هر بارگذاری بر روی مدل بایستی شناسایی شود .
- دیاگرام *S-N* : نمودار دامنه تنش بر حسب تعداد سیکل خستگی است که برای فلزات مختلف از کد های *ASME* قابل دست یابی است .
- دیاگرام *S_m-T* : در مواردی که سازه وارد ناحیه پلاستیک می شود ، تعریف این دیاگرام و پارامترهای الاستو- پلاستیک ضروری است .

¹ Event
² Loading
³ Location

نرم افزار *ANSYS* بر اساس کد *ASME Boiler & pressure vessel (section III)* محاسبات خستگی را انجام می دهد و حال آنکه به کاربر توصیه کرده است در صورت تمایل به استفاده از روش های دیگر ، محاسبه عمر خستگی را بر اساس معیار مورد نظر انجام دهد .

محاسبه خستگی در *ANSYS* بصورت زیر انجام می شود :

1- مدل سازی و حل مسئله باتوجه به بارگذاری موجود در حل خستگی

2- فراخوانی مدل در *POST 1*

3- تعیین تعداد نقاط رخداد و بارگذاری برای نرم افزار

4- تعیین خواص خستگی ماده موجود

5- تعیین فاکتور تمرکز تنش

6- بازیابی تنش های مربوط به نقاط تعیین شده

7- محاسبه خستگی بر اساس روش نرم افزار و مشاهده مقدار عمق بدست آمده

حال موارد فوق را در نرم افزار اعمال می کنیم. همچنین تعداد سیکل های اعمالی در این رخداد را 1500000 سیکل در نظر می گیریم . ابعاد هندسی ، نوع المان و گزینه های آن ، مقادیر ثابت ، روش مش بندی و اعمال شرایط مرزی عینا مانند آنالیز استاتیکی انجام می گیرد و فقط در این مورد تعداد دو بارگذاری بالا به مدل اعمال می گردد . میزان تنش بیشینه بر اساس دستورالعمل طراحی ، مقدار 0.85 مگا پاسکال و کمینه بارگذاری 0.1 مگا پاسکال است .

خواص ماده نیز بر اساس استاندارد به نرم افزار معرفی می شود . تعداد نقاط مورد نیاز جهت تعریف دیاگرام *S-N* در پیوست آمده است .

شماره یک گره بحرانی از نرم افزار استخراج می شود و سپس گزینه های مربوط به خستگی و محاسبه آن بر روی این گره انجام می شود. میزان سیکل اعمالی نیز در این قسمت در نرم افزار اعمال می گردد. در نهایت میزان خستگی در گره بحرانی مشخص می شود.

شبیه سازی خستگی در یک گره با کرنش بالا در ورق کف مخزن توسط نرم افزار انجام شده است که خروجی نرم افزار بدین صورت است

```

FTCALC Command
File
PERFORM FATIGUE CALCULATION AT LOCATION 1 NODE 0
*** POST1 FATIGUE CALCULATION ***
LOCATION 1 NODE 1130
EVENT/LOADS 1 1 AND 1 2
PRODUCE ALTERNATING SI <SALT> = 0.10000E-29 WITH TEMP = 0.0000
CYCLES USED/ALLOWED = 0.1500E+07/ 0.1000E+09 = PARTIAL USAGE = 0.01500
CUMULATIVE FATIGUE USAGE = 0.01500
    
```

شکل 7-11: محاسبه خستگی در ورق سالم تحت بارگذاری های بیشینه و کمینه

در خروجی نرم افزار عددی با عنوان *Cumulative Fatigue Usage* مشاهده می گردد که عبارتست از تقسیم مقدار سیکل اعمالی بر میزان سیکل کاری که نرم افزار پیش بینی می کند. پس از این میزان سیکل، شکست صورت می گیرد.

در مورد یک ورق سالم تحت بارگذاری فوق، مشکل شکست ناشی از خستگی را نداریم چرا که پیش بینی نرم افزار، شکست پس از یکصد میلیون دوره بارگذاری و باربرداری است ولی با ایجاد حفره بعلت خوردگی و سوراخ های مکانیکی ملاحظات خستگی لازم است. به نتایج بدست آمده از شبیه سازی دقت فرمایید:

```
FTCALC Command
File
PERFORM FATIGUE CALCULATION AT LOCATION 1 NODE 0
*** POST1 FATIGUE CALCULATION ***
LOCATION 1 NODE 332
EVENT/LOADS 1 1 AND 1 2
PRODUCE ALTERNATING SI <SALT> = 0.10000E-29 WITH TEMP = 0.0000
CYCLES USED/ALLOWED = 0.1500E+07/ 0.7531E+05 = PARTIAL USAGE = 19.91767
CUMULATIVE FATIGUE USAGE = 19.91767
```

شکل 7-12: محاسبه خستگی در ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و سوراخ شدگی به شعاع 2 سانتی متر

```
FTCALC Command
File
PERFORM FATIGUE CALCULATION AT LOCATION 1 NODE 0
*** POST1 FATIGUE CALCULATION ***
LOCATION 1 NODE 133
EVENT/LOADS 1 1 AND 1 2
PRODUCE ALTERNATING SI <SALT> = 0.10000E-29 WITH TEMP = 0.0000
CYCLES USED/ALLOWED = 0.1500E+07/ 0.2151E+05 = PARTIAL USAGE = 69.73273
CUMULATIVE FATIGUE USAGE = 69.73273
```

شکل 7-13: محاسبه خستگی در ورق با 50 درصد کاهش ضخامت و سوراخ شدگی به طول 20 سانتی متر

جدول 7-2: مقادیر تعداد دوره های بارگذاری و باربرداری خستگی بدست آمده از مدلسازی ورق های مختلف

میزان خرابی	تعداد دوره های مجاز بارگذاری تا رسیدن به شکست خستگی
ورق سالم	$10e9 <$
25% کاهش ضخامت	$10e9 <$
50% کاهش ضخامت	$10e9 <$
50% کاهش ضخامت و سوراخ شدگی به شعاع 2 سانتیمتر	75300
50% کاهش ضخامت و سوراخ شدگی بطول 20 سانتی متر	21510

نتایج فوق تایید می کند که خوردگی خستگی در تبدیل حفره های کوچک به شکست های اساسی تاثیر فوق العاده دارد .

فصل هشتم

نتیجه گیری

8-1- خلاصه

در این پژوهش سعی شده است تا پس از معرفی مانیتورینگ سلامت سازه و مقایسه آن با روش آزمون های غیر مخرب به درک اهمیت این موضوع در صنایع حساس رسیده شود . بر این اساس در 4 زمینه کاری به بررسی موارد زیر پرداخته شد .

ابتدا به شیوه اندازه گیری در سازه اشاره شد . اندازه گیری دروازه ورود به مانیتورینگ می باشد . در صورت ورود داده های نادرست ، قضاوت درستی از سازه نمی توان داشت . با توجه به نوع انتظار کاربر از مانیتورینگ سلامت سازه ، بایستی نحوه اندازه گیری انتخاب شود . برای این منظور اندازه گیری کرنش پایه برای سازه مورد نظر انتخاب شد تا خروجی مورد نظر که اغتشاش کرنش ها و شکست ورق کف مخزن است ، حاصل شود .

زمینه دوم تحقیق ، شناخت سازه و آسیب های رایجی است که می تواند سازه را تهدید کند . این مرحله هم بر اساس اطلاعات واقعی طراحی و ساخت مخزن ، همچنین از گزارش حقیقی که از بازرسی فنی کف مخزن ذخیره سازی نفت خام بدست آمد محقق شد .

مرحله سوم تحقیق مدلسازی ورق های کف مخزن تحت سطوح خرابی مختلف است . این مدلسازی ها و نتایج حاصل از آن ها در قضاوت عملکرد ورق های کف مخزن با توجه به داده های سنسورها ، موثرند .

مرحله چهارم پژوهش تحلیل نتایج و تصمیم سازی است که در ادامه به آن اشاره می شود .

8-2- نتیجه گیری و تحلیل داده ها :

1- بر اساس میزان آسیب دیدگی های فوق در یک مخزن بایستی در مورد آینده مخزن تصمیم

گیری کرد و به سوالات زیر پاسخ داد :

آیا خرابی رخ داده است؟

کجا؟ به چه میزان؟

تاثیر خرابی/پیامدهای آن چیست؟

نوع خرابی چیست؟ (خستگی، خوردگی، فرسودگی و پارگی، تغییر شکل های بزرگ ضربه، تورق، ...)

برنامه کاری مخزن در آینده بستگی به جواب سوالات فوق دارد. بطور مثال با توجه به کاهش ضخامت 25% ورق کف مخزن و اینکه ورق های کف هنوز در ناحیه کشسان هستند، می توان تاثیر خرابی در کف مخزن را نادیده گرفت. در خرابی 50% هم همینطور. ولی در خرابی ناشی از سوراخ شدگی و با توجه به نتایج مدلسازی می توان شدت عملیات استفاده از مخزن را کم کرد یا نقطه بیشینه ارتفاع جدیدی برای مخزن تعریف کرد طوری که تحت بارگذاری های متغیر قرار نگرفته و حتی المقدور ارتفاع سیال درون آن پایین باشد و یا بیشینه شدت دبی سیال ورودی به مخزن را کم کرد تا تنش های شدیدی به مخزن وارد نیاید و ... تا عمر بهره برداری از مخزن بالاتر رود. این نتیجه گیری ها در راستای اهداف مورد نظر پژوهش از مانیتورینگ سلامت سازه است.

2- برنامه ریزی دقیق جهت شروع تعمیرات اساسی مخزن قبل از وقوع شکست گسترده انجام شود.

3- میتوان با قرار دادن سنسور های حساس به نشت سیال نفتی در زیر مخزن به شناسایی زمان نشت نفت و استفاده از مخزن قبل از این زمان نیز اقدام کرد.

4- در صورت مجاز بودن از نظر استاندارد، نوع ورق کف مخزن را به نوع انعطاف پذیر تری تغییر داد تا وقوع شکستگی ناشی از این نوع خستگی را به حد اقل رساند و از طرفی تحمل بارهای

لازم نیز انجام شود . چرا که خوردگی ناشی از خستگی در ورق با انعطاف بالاتر بمراتب کمتر است . این نتیجه هم در راستای اهداف مانیتورینگ سلامت سازه که همانا بهبود طراحی های بعدی است می باشد .

5- سیستم مانیتورینگ سلامت سازه مورد نیاز برای یک مخزن نفتی متشکل از مجموعه ای از سنسورهای کرنش پایه و یا در صورت نیاز ضخامت سنچ مدفون در زیر ورق ها که داده هایشان بعنوان ورودی به پردازشگر تلقی شده و پردازشگر با تحلیل داده ها بر اساس نرم افزارهای زیر مجموعه ای که در خود دارد خروجی می دهد . این خروجی می تواند شامل وضعیت فعلی کف مخزن و مقایسه با حالت ابتدایی (سالم) ، تخمین میزان خرابی و مکان آن ، تخمین میزان عمر عملیاتی سازه و... باشد . داده های ورودی به پردازشگر دائما بروز می شوند و مقایسه ها انجام می شود . بر اساس این خروجی درباره مخزن بایستی تصمیم گیری کرد .

8-3- پیشنهاد برای ادامه کار :

- 1- ایجاد یک سیستم شبکه عصبی مصنوعی جهت دریافت ماتریس ورودی (داده ها) و اهداف (میزان و مکان خرابی) و بکاربردن این شبکه مصنوعی برای مانیتورینگ سلامت مخزن
- 2- شبیه سازی کف مخزن با دیگر نرم افزارهای مدلسازی اجزای محدود از قبیل آباکوس و ...
- 3- گسترش مانیتورینگ سلامت مخزن از کف مخزن به دیواره ها و دیگر تجهیزات مرتبط در مخزن
- 4- مقایسه نتایج حاصل از آزمون های غیر مخرب بازرسی کف مخازن دیگر و رسیدن به خرابی های عمومی در سازه مخزن

5- بررسی استفاده از دیگر انواع سنسورها از قبیل سنسورهای فرکانس ، صدا و ... و مقایسه

نتایج با تحقیق فعلی

6- استفاده از نتایج حاصل از مانیتورینگ جهت تغییر در طراحی های بعدی برای مثال نحوه

پوشش رنگ کف مخزن جهت جلوگیری از خوردگی ، تغییر جنس ورق های کف مخزن و...

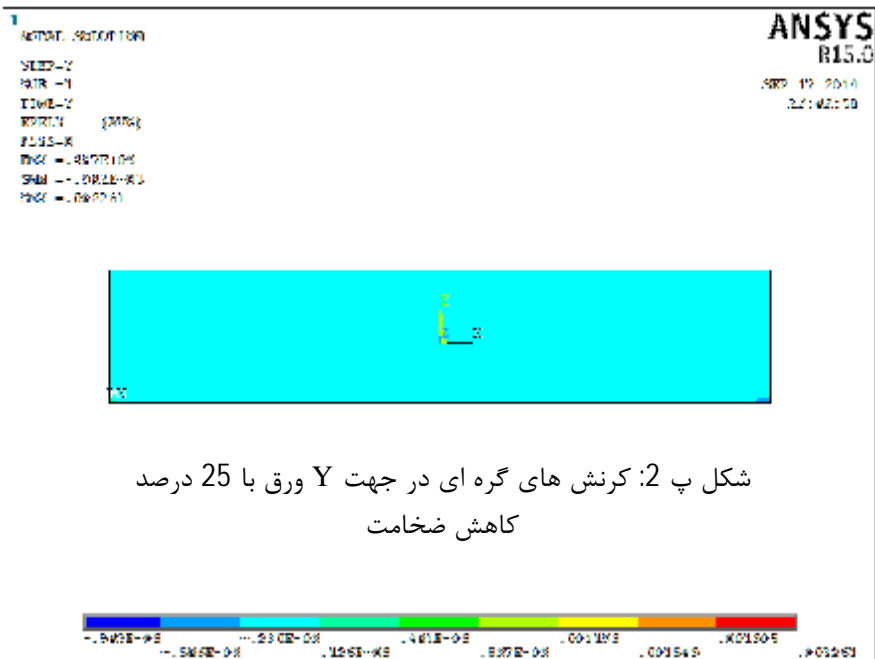
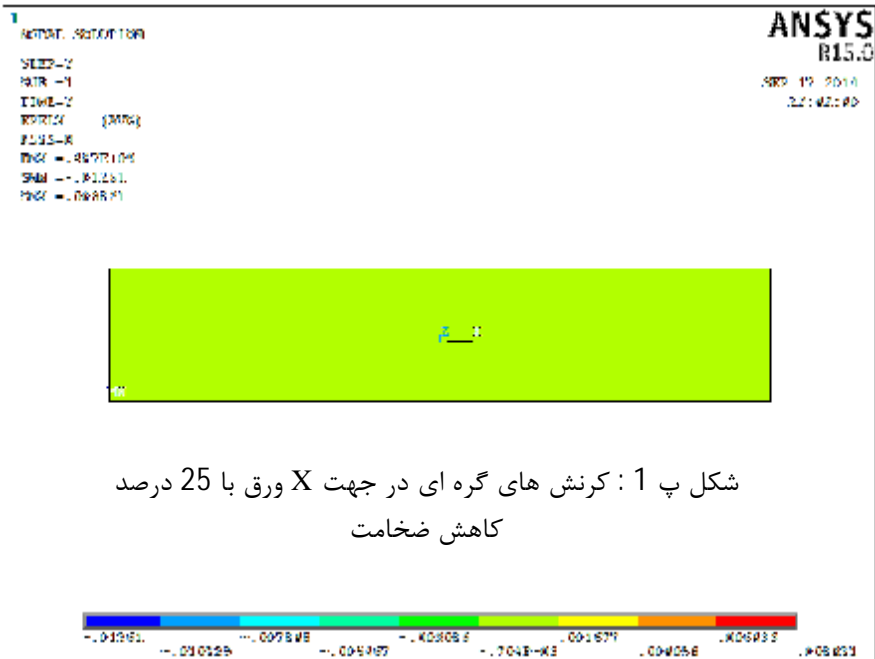
7- طراحی مانیتورینگ برای دیگر قسمت های یک ترمینال نفتی از قبیل اسکله ها ، خطوط لوله

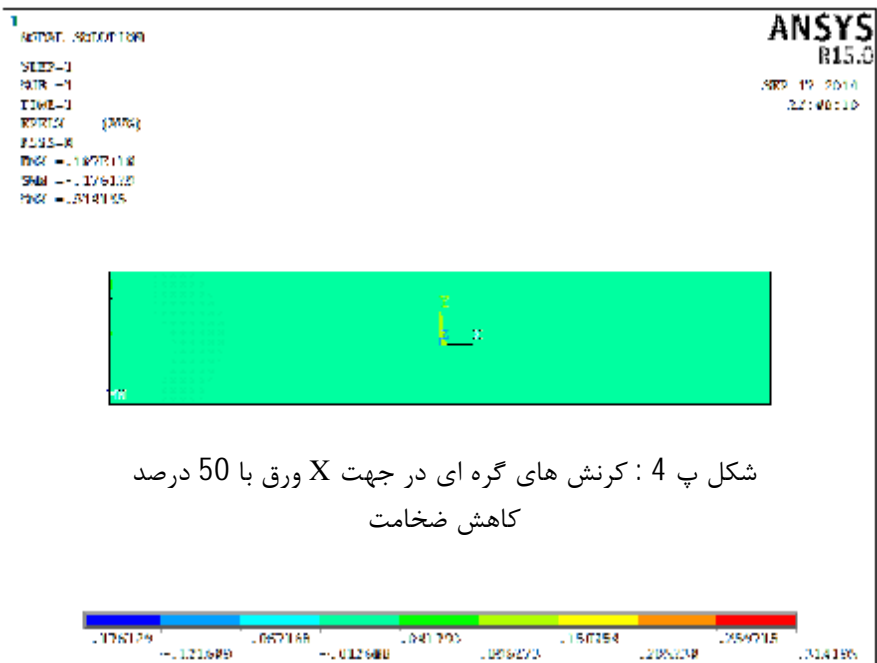
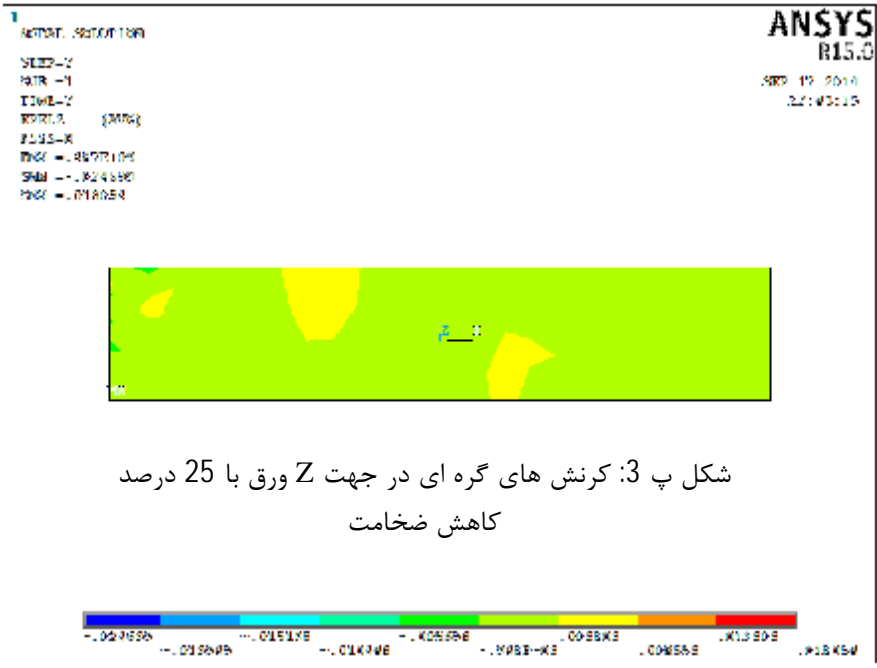
سیستم اطفاء حریق و ...

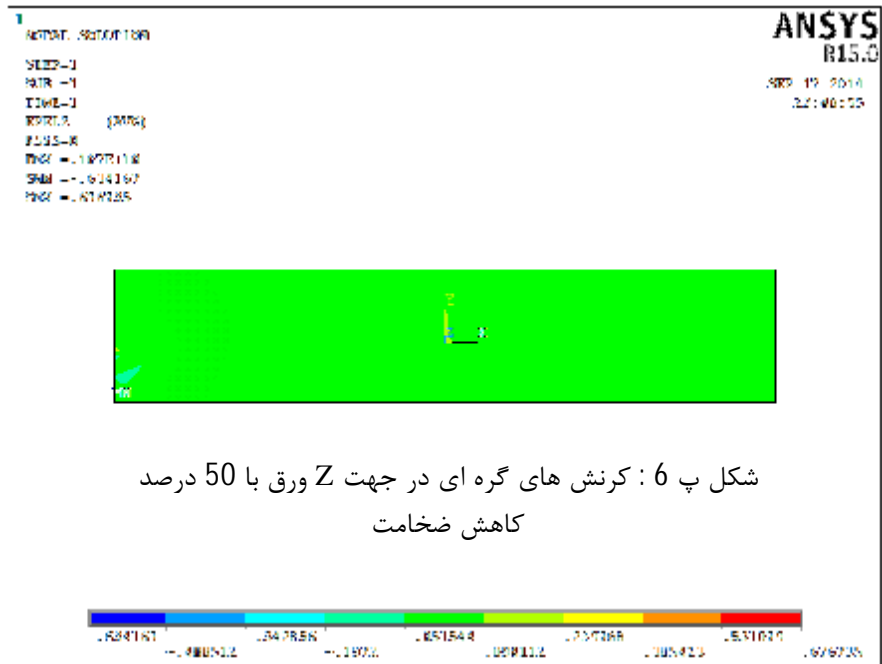
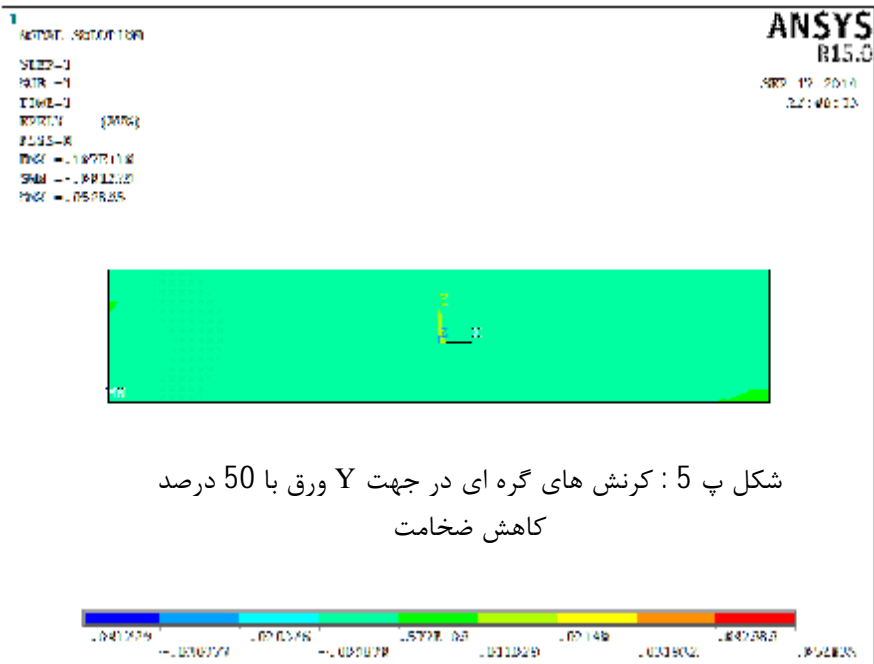
پیوست

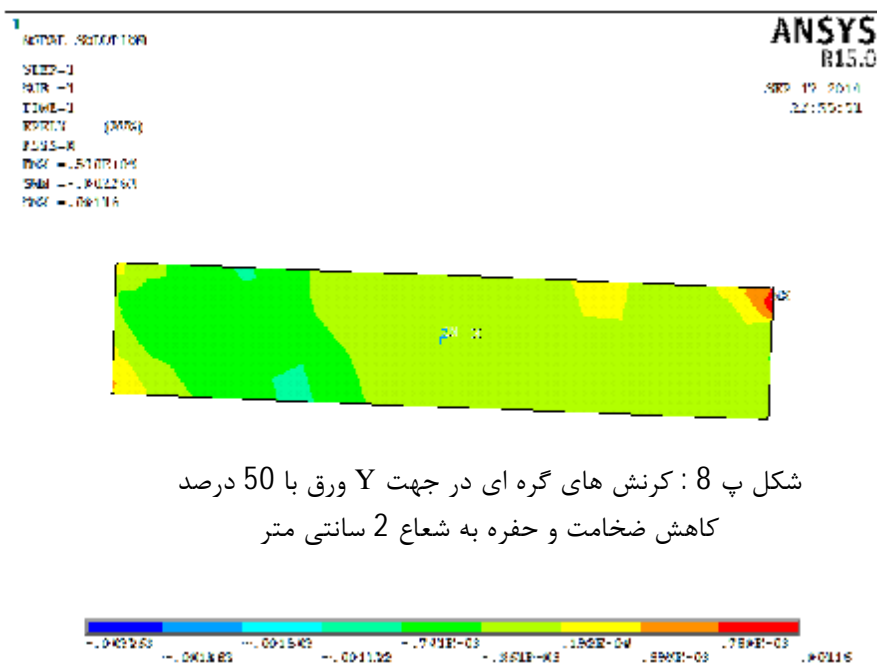
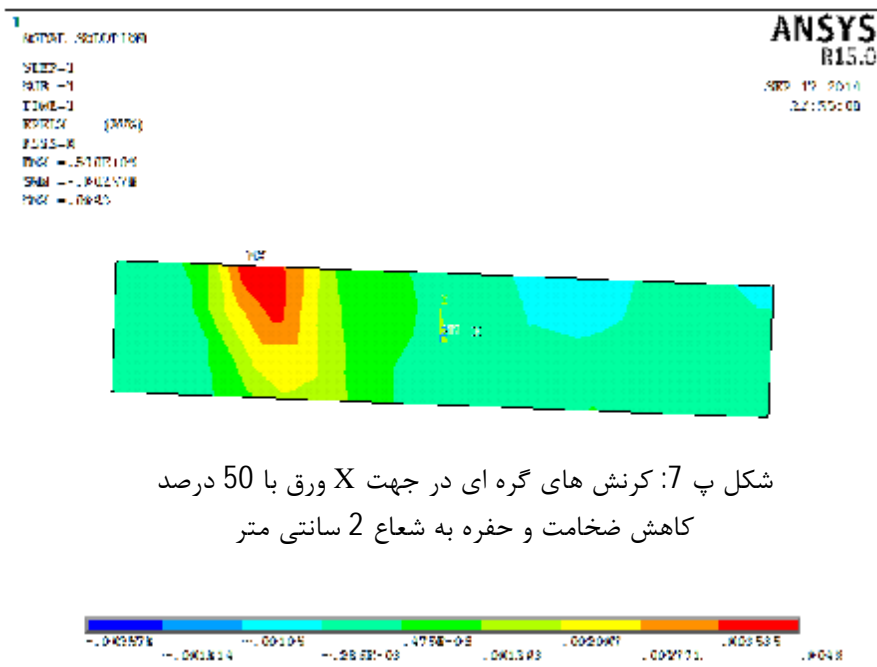
S	N
1	700e6
10	650e6
1000	600e6
10000	550e6
30000	500e6
50000	450e6
70000	400e6
100000	380e6
250000	360e6
500000	340e6
750000	320e6
1000000	300e6
2500000	280e6
5000000	260e6
7500000	240e6
10000000	220e6
25000000	210e6
50000000	205e6
75000000	202e6
100000000	200e6

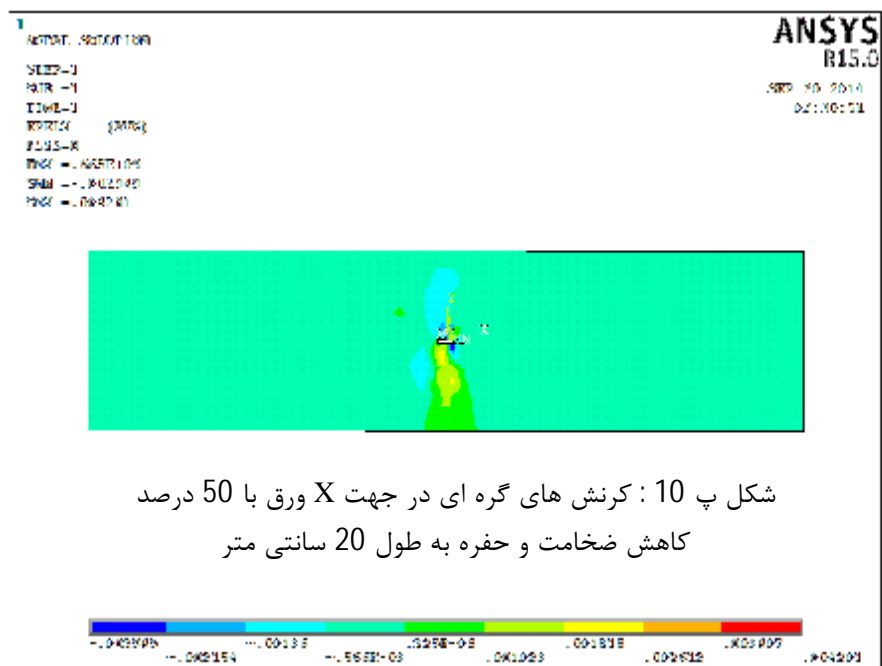
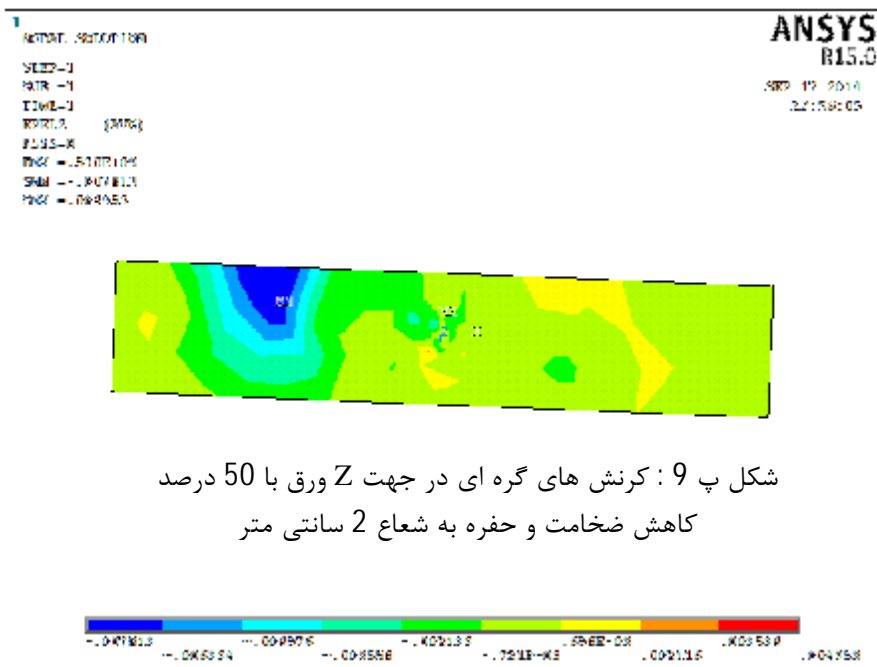
جدول پ 1: نقاط استخراج شده از دیاگرام S-N که در نرم افزار جهت محاسبه خستگی استفاده شد

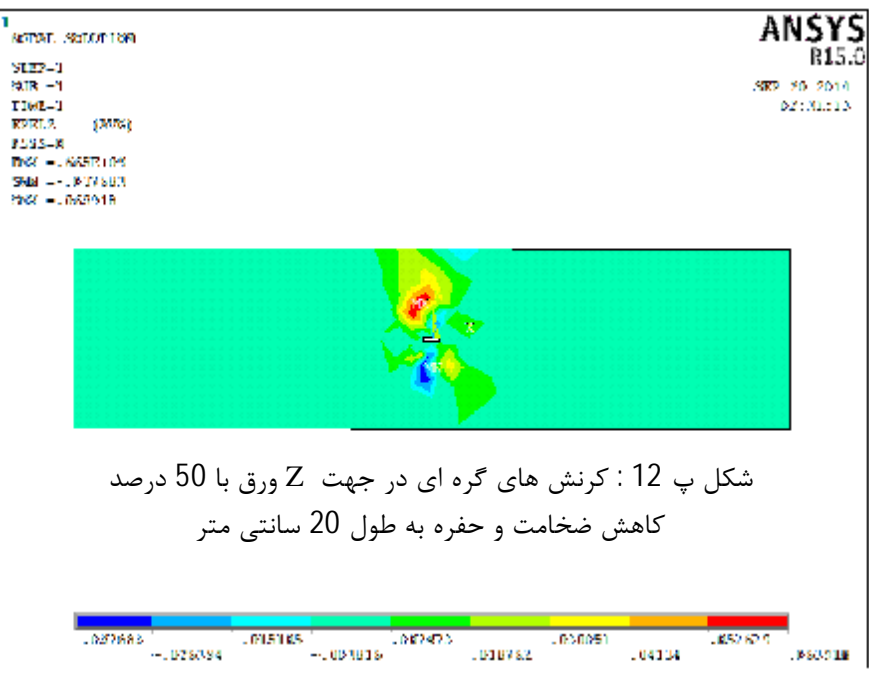
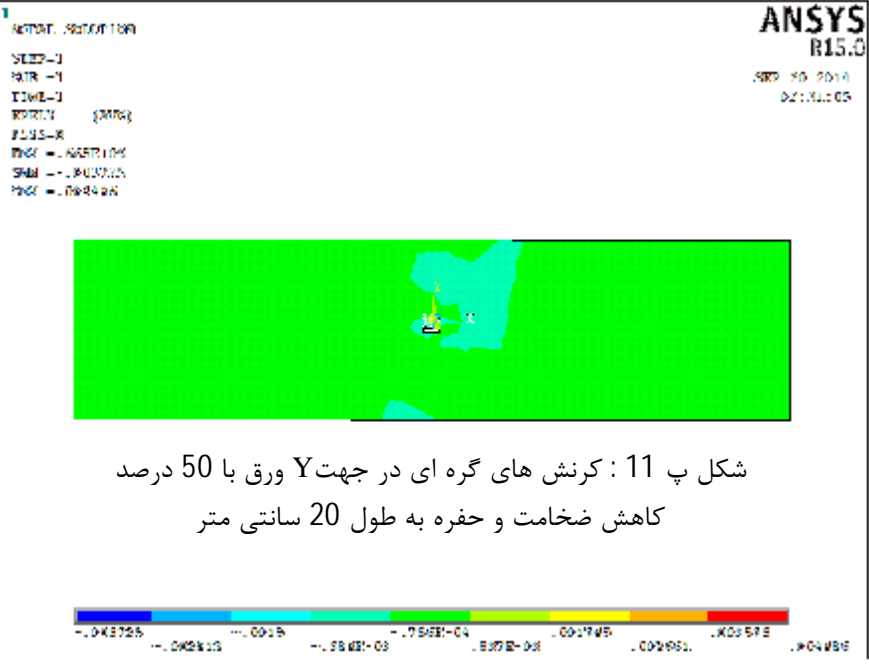












مراجع

1. Charles R Farrar and Keith Worden , 2006, “*An introduction to structural health monitoring*”, *Phil. Trans. R. Soc. A* (2007) 365, pp 303–315
2. Scott W. Doebling, Charles R. Farrar, Michael B. Prime, Daniel W. Shevitz ,(1996), “*Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review*” Los Alamos National Laboratory report LA-13070-MS, pp5-55
3. Farrar, C.R., Baker, W.E., Bell, T.M., Cone, K.M., Darling, T.W, Duffey, T.A., Eklund, and Migliori, (1994) “*Dynamic Characterization and Damage Detection in the I-40 Bridge over the Rio Grande,*” Los Alamos National Laboratory report LA-12767-MS.
4. Hoon Sohn, Charles R. Farrar, Francois M. Hemez, Devin D. Shunk, Daniel W. Stinemas, Brett R. Nadler, Jerry J. Czarnecki (2004),” *A Review of Structural Health Monitoring Literature: 1996–2001*” Los Alamos National Laboratory report LA-13976-MS pp 3-49
5. Barnett, V., and Lewis, T. (1994) *Outliers in Statistical Data*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
6. G. Park, H. Sohn, C.R. Farrar, and D.J. Inman, “*Overview of Piezoelectric Impedance-Based Health Monitoring and Path Forward,*” accepted for publication in *The Shock and Vibration Digest*, 2003. pp 10-14
7. Ch.E. Katsikeros, G.N. Labeas, (2008), “*Development and validation of a strain-based Structural Health Monitoring system*”, *Mechanical Systems and Signal Processing* 23 (2009) 372– 383
8. Barry Hull, Vernon John, (1988) “*Non-destructive testing*”, Macmillan Education LTD, pp 41-58

9. American Petroleum Institute,(2003)"API-653 : Tank inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction" Office of the federal register Washington , D.C.
 10. American Petroleum Institute,(2007)"API-650 : Welded steel tank for oil storage" Office of the federal register Washington , D.C.
 11. Y.-Z. Wang, 2011,corrosion fatigue,pp 195-202, "Uhlig's Corrosion Handbook", 3rd Edition,Winston Revie R,Wiley & sons,New Jersey
- 12-حمیدرضا جاہد مطلق ، محمد رضا نوریان ، محمد امین اشراقی ، 1379، "ANSYS"، چاپ اول
انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران ،صفحات 189-203

Abstract

Structural health monitoring of critical structures have followed many scientist attraction in recent years. Optimal performance of a crude oil storage tank with increasing of the number of significant structural damage will reduce during in its lifetime. The importance of Diagnosis and management of failure is clear for professional. in this study the effect of corrosion fatigue Phenomenon over bottom plate of storage tanks due to moving up and down of their roof has investigated. Then with ANSYS software a crack in bottom plate has simulated and the amount of strains in different areas of around crack was resulted. The result of this simulation is benchmark for comparison with real data that taken from sensors. The result of this study show that the powerful structural health monitoring system for oil storage tanks , cause to avoid to impose high cost for unnecessary repairs and making facilities outside of services and knowing the level of healthing of tanks .according to these data , managers can make decision about operating , time and level of repairing of structures.

Key words: structural health monitoring , crude oil storage tank , damage , corrosion , fatigue