



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کارگاه ارائه نتایج طرح پژوهشی :

تعیین ابعاد بهینه دریچه های منھول چدنی با

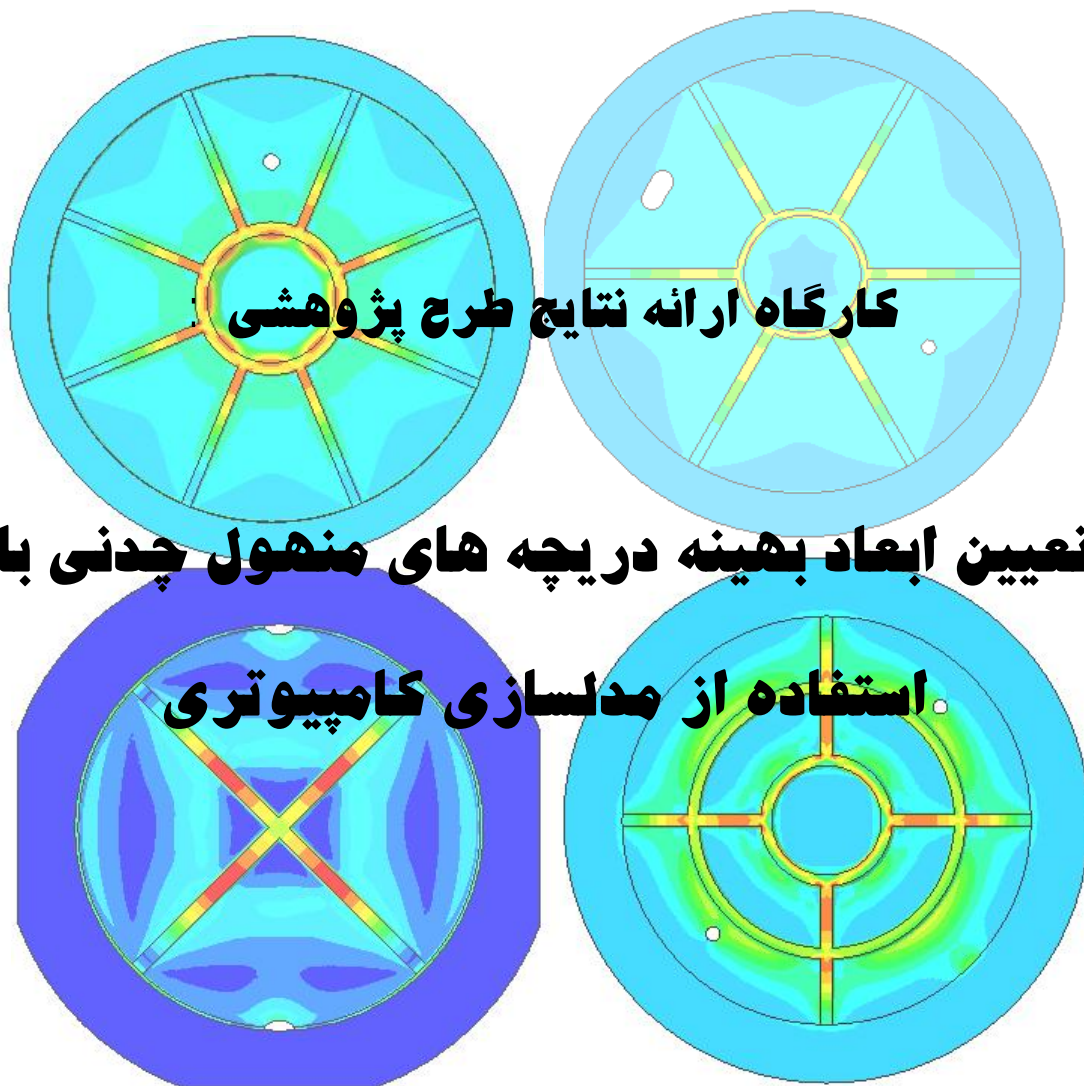
استفاده از مدلسازی کامپیوتری

محقق : دکتر منصور رفیعیان

مجری : شرکت آب و فاضلاب استان یزد



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



کارگاه ارائه نتایج طرح پژوهشی

تعیین ابعاد بهینه دریچه های منهول چدنی با

استفاده از مدلسازی کامپیوتری

محقق : دکتر منصور رفیعیان

مجری : شرکت آب و فاضلاب استان یزد

هدف اصلی از انجام این پروژه که به سفارش شرکت آب و فاضلاب استان یزد انجام شده، بررسی وضعیت کیفی دریچه‌های آب و فاضلاب شهری است که تنوع هندسی مختلفی در بازار دارند و خریدار را با مشکل انتخاب مواجه می‌کنند. شرکت آب و فاضلاب استان یزد که مانند هر شرکت دیگری از نوع خود خریدار عمده‌ی این محصول است، تمایل داشته تا دوری و نزدیکی هریک از انواع موجود در بازار را به نوع استاندارد و با کیفیت قابل قبول بداند و به طور غیر مستقیم سازندگان را به سوی تولید کیفی این محصول سوق دهد. به همین جهت در این تحقیق انواع دریچه‌های موجود در بازار شهرهای یزد، اصفهان و شیراز به عنوان نمونه انتخاب شده و با توجه به مبانی استاندارد طراحی این محصولات مطالعه شدند. در این مطالعه تحلیل تنش در دریچه‌ها انجام گرفت. انگیزه اصلی برای تحلیل تنش در این دریچه‌ها، بررسی مقاومت آن‌ها در برابر بارهای اعمالی بود. اکثر سازندگان داخلی دریچه‌ها را بدون در نظر گرفتن روش‌های علمی تولید می‌کنند و برای ساخت آن‌ها به تجربه تکیه می‌کنند. بنابراین نحوه‌ی ساخت، کیفیت و استحکام دریچه‌های تولید شده در کشور با استانداردهای جهانی مطابقت ندارد. همچنین تاکنون در داخل کشور تحلیل نرم‌افزاری بر روی دریچه‌های تولید شده صورت نگرفته است. در راستای انجام این پروژه، چهار نمونه از دریچه‌های موجود و در حال استفاده توسط سازمان آب و فاضلاب استان یزد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. به علت هزینه بر بودن تست‌های آزمایشگاهی بر روی دریچه‌ها، تست نمونه‌ها به روش نرم‌افزاری انجام شده است. با این وجود سه دریچه‌ی چدنی نیز مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج آن بررسی شد. روش تحلیل نرم-افزاری بدین شکل است که ابعاد نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و پس از مدلسازی سه بعدی، آزمایش بارگذاری بر روی دریچه‌ها به صورت مجازی در نرم افزار ABAQUS شبیه سازی شده است. در شبیه‌سازی نرم‌افزاری، هیچ‌یک از نمونه‌های مورد تحلیل، مقاومت لازم را در برابر بارهای استاندارد نداشتند. بنابراین به ناچار بارهای مجاز جاده‌ای مبنای تحلیل قرار گرفت و تنش‌ها در اثر اعمال این بارها محاسبه شدند. با بررسی نتایج می‌توان نقاط بحرانی را در هندسه دریچه‌ها شناسایی کرد و دریچه‌ها را با در نظر گرفتن وزن مناسب آن‌ها تقویت کرد.

## تاریخچه و انواع دریچه‌ها

از دوران روم باستان، از دریچه‌های سنگی برای جلوگیری از افتادن افراد درون مجراهای فاضلاب استفاده می‌شد. دریچه‌ها معمولاً سنگین هستند (وزن آنها بیش از 100 پوند یا 50 کیلوگرم است). یک دلیل آن این است که اکثر آنها از چدن ساخته شده‌اند یا داخل آنها از بتون پر شده است و دلیل دیگر این است که سنگینی باعث می‌شود در حین عبور خودروها از روی آنها در جای خود ثابت بمانند و حرکت نکنند.



شکل 1-1 - دریچه‌ی سنگی

وجود سوراخ در دریچه‌های آب و فاضلاب برای عبور آب به درون مجرا و همچنین عبور نور از دریچه الزامی است. دریچه‌ها عموماً از روش‌های ریخته‌گری ماسه‌ای تولید می‌شوند. هم اکنون بزرگترین تولید کننده این دریچه‌ها ایالات متحده است. البته در سال‌های اخیر کشور هندوستان نیز نقش مهمی را در این صنعت پیدا کرده است. هندسه و نوع ساخت و حتی نشان‌هایی که روی این دریچه‌ها درج می‌شوند بسیار متنوع‌اند به طوری که بعضی افراد کلکسیون عکس از این دریچه‌ها تهیه می‌کنند. چند نمونه از این عکس‌ها در این بخش آورده شده‌اند. به تنوع هندسه و نقش‌های روی آنها توجه کنید. برخی از تولیدکنندگان اروپایی ظرف مدت 4 تا 6 هفته نمونه‌های سفارشی را به تولید می‌رسانند. تنوع این محصول نیز جالب توجه است. انواع مربعی، مستطیلی و دایره‌ای و نیز انواعی مثل درون بتونی، آب بندی شده<sup>1</sup> و بدون درز<sup>2</sup> تولید می‌شوند.

---

<sup>1</sup> gasket  
<sup>2</sup> seamless



شکل 1-2- دریچه‌ای در شهر برلین که طبقه بندی بارگذاری D۴۰۰ و استاندارد DIN روی آن حک شده است.

مشکل بزرگ دریچه‌های چدنی سرقت آن‌هاست. هنگامی که قیمت آهن در بازار بالا می‌رود سرقت این دریچه‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. این موضوع خاص کشور ایران نبوده و در گزارش‌های موجود در اینترنت مشاهده می‌شود که در کشورهای پیشرفته هم این اتفاق می‌افتد. برای رفع این مشکل نمونه‌های لولایی ساخته شده‌اند که حتی برخی از آن‌ها قفل نیز دارند.



شکل 1-3- ماتسوموتو- ژاپن، دریچه‌ی رنگ آمیزی شده





شکل 1-4- نروژ، طبقه‌بندی بارگذاری D۴۰۰

- دریچه‌های منهول (آدم‌رو) معمولاً دایره‌ای ساخته می‌شوند. دلایل زیر را می‌توان برای آن ذکر کرد.
  - تولید آنها راحت‌تر است. همچنین شکل گرد مانع از سقوط درپوش به داخل چاه می‌شود (مثلاً در مورد مربع چون طول ضلع از قطر کمتر است ممکن است درب به داخل سقوط کند)
  - مقطع دایره‌ای بیشترین تحمل را در برابر فشار نسبت به اشکال دیگر دارد.
  - سطوح جانبی و زیرین درپوش‌های دایره‌ای ماشینکاری می‌شوند تا سطوح زیرین آنها در یک سطح تراز قرار گیرند و در هنگام عبور و مرور از جای خود در نیایند. بر روی اشکال دایره‌ای به راحتی می‌توان ماشینکاری افقی انجام داد.
  - برای جا انداختن درپوش‌های دایره‌ای نیازی به چرخاندن آنها نیست.
  - حرکت دادن آنها ساده‌تر است و می‌توان به راحتی آنها را روی زمین غلتاند.
  - مقطع دایره‌ای گوشه‌های تیز ندارد و احتمال ایجاد خطر در آن کمتر است. همچنین شکل متقارن استحکام بیشتری دارد.
  - حفر چاه دایره‌ای نیز ساده‌تر است.

## دریچه‌های مورد استفاده در استان‌های یزد، اصفهان و فارس

در طی انجام این تحقیق از انبارهای شرکت‌های فاضلاب استان‌های یزد، اصفهان و فارس بازدیدهایی به عمل آمد و اطلاعاتی در خصوص انواع دریچه‌ها و سازندگان آنها به دست آمد که در اینجا به ذکر برخی از آنها می‌پردازیم. شکل‌های (1-5) تا (1-11) نمونه‌های موجود در انبار یزد را نشان می‌دهند. این تصاویر تنوع نسبی در دریچه‌ها را به خوبی نشان می‌دهد. از نظر جنسی می‌توان نتیجه گرفت که سه نوع دریچه‌ی چدنی، بتونی و پلیمری (مواد مرکب) تولید می‌شوند که هر کدام خواص مربوط به خود را دارند.



شکل 1-5- دریچه‌ی چدنی لولدار با چدن داکتیل (انبار یزد)



شکل 1-7- دریچه‌ی چدنی نوع ضربدری (انبار یزد)

شکل 1-6- دریچه‌ی چدنی نوع ضربدری (انبار یزد)





شکل 1-9- دریچه‌ی بتونی (انبار یزد)



شکل 1-8- دریچه‌ی چدنی با چدن خاکستری (انبار یزد)



شکل 1-11- دریچه‌ی پلیمری (انبار یزد)



شکل 1-10- دریچه‌ی هشت‌پرچمدنی با چدن خاکستری (انبار یزد)- قدیمی و بدون کاربرد

مقایسه‌ی ابتدایی این تصاویر با تصاویر دریچه‌های ساخت داخل، عدم رعایت سازندگان را در نوشتن طبقه‌بندی بارگذاری و استاندارد رعایت شده در ساخت، نشان می‌دهد.

در بازدیدی که از انبار استان فارس به عمل آمد دو نوع دریچه مشاهده شد که یکی از آنها همان دریچه‌ی چدنی لولایی شکل (1-5) بود و دو دریچه‌ی دیگر که در شکل‌های (1-12) و (1-13) نشان داده شده‌اند در واقع هندسه‌ی یکسان ولی جنس متفاوت دارند، بودند.



در بازدید از انبار استان اصفهان معلوم شد که از دو نوع دریچه استفاده می‌شود که این دو نوع براساس استانداردهای C۲۵۰ و D۴۰۰ ساخته شده‌اند. این دو نوع در شکل‌های (14-1) و (15-1) نشان داده شده‌اند. علامت‌های استاندارد C۲۵۰ و D۴۰۰ در روی این دو نوع دریچه حک شده‌اند.



شکل 1-13 - دریچه لولایی و قاب آن از جنس چدن داکتیل (انبار شیراز)



شکل 1-12 - دریچه‌ی از جنس چدن خاکستری (انبار شیراز)



شکل 1-15 - دریچه‌ی از جنس چدن خاکستری مطابق با استاندارد C۲۵۰ - نمای زیر (انبار اصفهان)



شکل 1-14 - دریچه‌ی از جنس چدن خاکستری مطابق با استاندارد C۲۵۰ - نمای بالا (انبار اصفهان)



شکل 1-17- دريچه‌ی از جنس چدن خاکستری مطابق با استاندارد D۴۰۰-نمای زیر (انبار اصفهان)

شکل 1-16- دريچه‌ی از جنس چدن خاکستری مطابق با استاندارد D۴۰۰-نمای بالا (انبار اصفهان)

براساس اطلاعاتی که از محل‌های بازدید به دست آمده شرکت‌های طرف قرارداد با هریک از این سه شرکت آب و فاضلاب استانی دريچه‌های خود را به شرح جداول (1-1)، (2-1) و (3-1) به فروش می‌رسانند. شایان ذکر است که مقادیر عددی این جداول به دلیل اینکه مبتنی بر اظهارات افراد در محل انبار بوده و براساس اسناد و مدارک رسمی نیست، قابل دفاع نبوده و بیشتر جنبه‌ی مقایسه‌ی نسبی دارد.

جدول 1-1- شرکت‌های طرف قرارداد با آب و فاضلاب یزد

| نام شرکت                                             | جنس دريچه   | قیمت<br>(تومان) | وزن (کیلوگرم) |
|------------------------------------------------------|-------------|-----------------|---------------|
| میراب اتصال تهران - مدیریت ملا احمدی<br>021-88751346 | چدن خاکستری | 85000           | 90            |
| طلوع تهران                                           | چدن خاکستری | 60000           | 100           |
| بل صنعت دلتا تهران - مدیریت احمدزاده<br>09123724436  | چدن خاکستری | 60000           | 85            |
| ذوب فلزات طباطبایی زواره اردستان                     | چدن خاکستری | 85000           | 100           |

جدول 1-2- شرکت طرف قرارداد با آب و فاضلاب استان فارس

| نام شرکت                                                                                                                        | نوع دریچه   | قیمت (تومان) | وزن (کیلوگرم) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| شیراز- ریخته‌گری ولی عصر- بلوار نصر، نرسیده به پل سردخانه، (جاده قدیم کفترک) - مدیریت فتوحی<br>09171180648<br>ریخته‌گری ولی عصر | چدن خاکستری | 71000        | 95            |
|                                                                                                                                 | چدن خاکستری | 90000        | 120           |

جدول 1-3- شرکت مورد تأیید آب و فاضلاب استان اصفهان

| نام شرکت                                                                                                 | نوع دریچه           | قیمت (تومان) | وزن (کیلوگرم) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|---------------|
| پایاب زیست آپادانا - اصفهان خ بزرگمهر خ 22 بهمن کوچه همت پلاک 36 -<br>03112683758<br>مدیریت باب الحوائجی | چدن خاکستری<br>C۲۵۰ | 70000        | 80            |
|                                                                                                          | چدن خاکستری<br>D۴۰۰ | 80000        | 90            |

## ضرورت و اهداف طرح مسئله

در حال حاضر برخی از شهرها فاقد هرگونه سیستم لوله‌کشی فاضلاب هستند و در بعضی دیگر برنامه‌ریزی برای ایجاد سیستم لوله‌کشی برای فاضلاب در حال انجام است. با توسعه فضاهای شهری نیز به گسترش شبکه‌های جدید نیز بیشتر می‌شود. با توجه به نیاز شهرهای فاقد سیستم لوله‌کشی و همچنین توسعه سیستم فاضلاب در دیگر شهرها بدیهی است هر کدام از منهول‌های آب و فاضلاب نیاز به یک سیستم درپوش دارند. به دلایل زیر نیاز به بهینه‌سازی و استانداردسازی هندسه و جنس و روش تولید این دریچه‌ها احساس می‌شود:

1- زیاد بودن وزن هر دریچه (حدود 90 تا 120 کیلوگرم).

2- قیمت بالا (قیمت بین 70000 تا 120000 تومان به ازای هر مجموعه دریچه).

3- استحکام کم که باعث شکست زود هنگام می شود.

4- تقاضا و مصرف زیاد (تنها در شهر یزد سالانه حدود 2200 عدد درخواست می شود که اینها

یا تعویض می شوند و یا دریچه جدید هستند).

5- تنوع هندسه و شکل دریچه ها و همچنین تنوع تولیدکنندگان و روش تولید و جنس که

در نتیجه باعث سردرگمی مسئولین مربوطه برای تهیه این دریچه ها می شود.

با بررسی نمونه های موجود و بهینه سازی نمونه های پرکاربرد می توان دریچه ها را با قابلیت اطمینان بالاتر و وزن کم تر و استحکام بیشتر طراحی کرد. علاوه بر این با کم کردن وزن و بالا بردن استحکام می توان قیمت تمام شده را پایین آورد. اگر بتوان خصوصیات مدل های بهینه شده را در قالب هندسه ی استاندارد دریچه، جنس و روش تولید به سازندگان ارائه کرد در این صورت در هزینه های هنگفتی مانند هزینه باز یافت و تعویض صرفه جویی خواهد شد.

## انواع جنس ها

در حال حاضر دریچه ها از جنس هایی چون چدن خاکستری، چدن داکتیل، فولاد گالوانیزه، فولاد فورج شده، فولاد ریخته گری، فولاد نورد شده، آلومینیوم، پلاستیک های تقویت شده (کامپوزیت ها) و مواد دیگر مانند بتون تقویت شده با فولاد ساخته می شوند. بر اساس استاندارد، فولادها فقط هنگامی می توانند به کار روند که از نظر مقاومت به خوردگی اطمینان کافی وجود داشته باشد. این مقاومت می تواند در اثر اندود کردن سطح با پوشش گالوانیزه با حداقل ضخامت 50 تا 60 میکرومتر به دست آید. همچنین توزیع جرم لایه ی پوشش حداقل 350 تا 450 گرم بر مترمربع است. به دلیل اهمیتی که چدن ها در ساخت این محصول دارند در اینجا برخی خواص چدن ها از جمله چدن خاکستری و چدن داکتیل به اختصار بررسی می شود.



## معرفی استاندارد EN ۱۲۴

استاندارد EN ۱۲۴ معرف معیارهای طراحی، آزمایش، علامت‌گذاری و کنترل کیفیت برای دریچه‌های آب و فاضلاب در محل‌های عبور عابرین پیاده و وسائل نقلیه است. این استاندارد، استاندارد در حال حاضر اروپاست که در سال 1994 و برای همه کشورهای اروپایی وضع شده است. نمونه‌های آن BS EN ۱۲۴ و DIN EN ۱۲۴ هستند. استاندارد EN ۱۲۴ جایگزینی برای استاندارد قدیمی‌تر BS ۴۹۷ است که در سال 1976 وضع شده بود. متن این استاندارد در ضمیمه ب آمده است. اکثر تولیدکنندگان در سرتاسر جهان از این استاندارد برای ساخت درپوش‌ها تبعیت می‌کنند. در جدول (4-1) برخی از استانداردهای زیر مجموعه، مثل استاندارد DIN معرفی شده‌اند.

جدول 4-1- استانداردهای زیر مجموعه DIN

|             |                                               |
|-------------|-----------------------------------------------|
| DIN ۴۲۷۱-۱  | Class B ۱۲۵ manhole tops – Assembly           |
| DIN ۴۲۷۱-۲  | Class B ۱۲۵ manhole tops – Frames             |
| DIN ۴۲۷۱-۳  | Class B ۱۲۵ manhole tops – Covers             |
| DIN ۱۹۵۸۴-۱ | Class D ۴۰۰ manhole tops - Part ۱: Assembly   |
| DIN ۱۹۵۸۴-۲ | Class D ۴۰۰ manhole tops - Part ۲: Components |

از جمله‌ی استانداردهای مواد که به عنوان مرجع از آن‌ها در تنظیم استاندارد EN ۱۲۴ استفاده شده است و طبقه‌بندی‌ها و خواص چدن‌ها را شامل می‌شوند، دو استاندارد ISO ۱۸۵ و ISO ۱۰۸۳ هستند که به ترتیب برای چدن‌های خاکستری و چدن با گرافیت کروی (داکتیل) وضع شده‌اند.

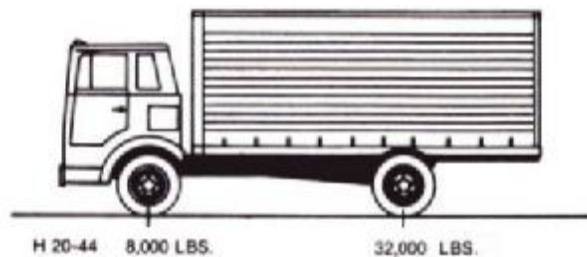
## معرفی استاندارد امریکایی AASHTO<sup>۱</sup>

AASHTO یک سازمان استاندارد است که تعاریف، آیین نامه‌ها و خط‌ومشی‌ها را به منظور استفاده در طراحی و ساخت بزرگراه‌ها در آمریکا منتشر می‌کند. بر خلاف نام آن، این سازمان نه تنها بزرگراه‌ها، بلکه راه‌های هوایی، راه آهن، آب و حمل و نقل عمومی را نیز شامل می‌شود. یکی از شاخه‌های این استاندارد که در طراحی پل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل دو معیار اصلی H و

<sup>۱</sup> American Association of State Highway and Transportation Officials

HS برای کامیون‌ها است. نوع H فقط مربوط به کامیون‌های دو محوره است و خود شامل دو زیرگروه

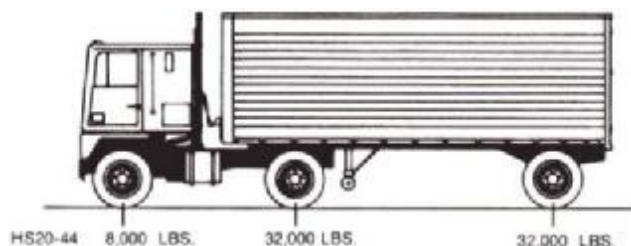
کامیون‌های 18 تن ( $H^{۲۰}$ ) و نوع سبک تر 13/5 تن ( $H^{۱۵}$ ) می‌شود.



شکل 1-20- بار مجاز کامیون‌های دو محوره 18 تن

$$8000\text{lbs} = 3632\text{ kg} , 32000\text{lbs} = 14528\text{ kg}$$

نوع HS ، شامل کامیون‌های با یک محور اضافی 14/5 تن می‌شود که وزن آن 32/7 تن ( $HS^{۲۰}$ ) و نوع کوچکتر آن 24/5 تن ( $HS^{۱۵}$ ) است.



شکل 1-21- بار مجاز کامیون‌های دو محوره 18 تن

$$\text{kg } 14528\text{lbs} = 32000\text{ kg} , 3632\text{lbs} = 8000$$

### طبقه بندی بارگذاری و دستگاه آزمایش

بر اساس این استاندارد دريچه‌ها بسته به بارگذاری و محل نصب به 6 دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

1- ۱۵ A : فقط برای نصب در محل عبور عابر پیاده و دوچرخه.

2- ۱۲۵ B : برای نصب در محل عبور عابر پیاده، دوچرخه و محل پارک خودروها.

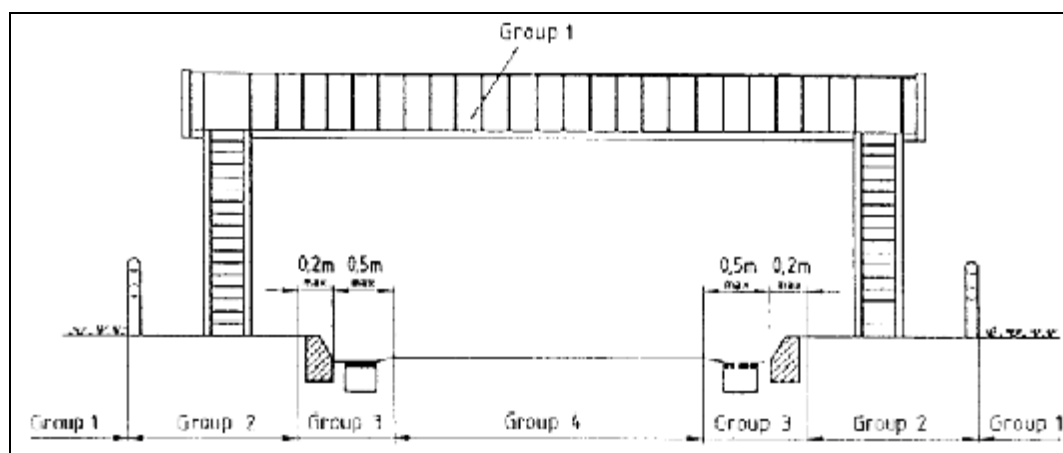
3- ۲۵۰ C : برای نصب در حاشیه خیابان و کنار جدول که به فاصله ماکزیمم 0/5 متر از محل عبور خودروها و 0/25 متر از جدول است.

4- ۴۰۰ D : برای نصب در محل تردد و پارک همهی انواع خودروهای جاده‌ای.

5- ۶۰۰ E : برای نصب در محل تردد خودروهای سنگین مثل بندرگاه‌ها و فرودگاه‌ها.

6- ۹۰۰ F : برای نصب در محل تردد بارهای بسیار سنگین در مناطقی مثل بندرگاه‌ها و فرودگاه‌ها.

در شکل (16-1) طبقه‌بندی بارگذاری روی دريچه‌ها طبق استاندارد نشان داده شده است.



شکل 16-1- تفکیک مناطق مختلف خیابان بر اساس طبقه بارگذاری.

نکته‌ی مهمی که در طراحی تکیه‌گاه قاب وجود دارد این است که فشار وارد بر سطح این

تکیه‌گاه در اثر بار اعمالی نباید بیش از 7/5 MPa باشد.

آزمایش‌های ارائه شده در استاندارد برای دريچه‌های با جنس‌های زیر هستند:

- چدن با گرافیت ورقه‌ای (چدن خاکستری)
- چدن با گرافیت کروی (چدن داکتیل)
- فولاد ریخته‌گری

برای دريچه‌هایی که جنس آن‌ها با جنس‌های مذکور متفاوت است باید آزمایش‌های دیگری هم ترتیب داده شود، همچنین برای دريچه‌هایی با دهانه محض بیش از 250 میلیمتر، بارهای آزمایشی در جدول (5-1) ارائه شده‌اند.

جدول 5-1 - طبقه بندی بارگذاری

| بار آزمایشی (kN) | طبقه بندی        |
|------------------|------------------|
| 15               | A <sup>۱۵</sup>  |
| 125              | B <sup>۱۲۵</sup> |
| 250              | C <sup>۲۵۰</sup> |
| 400              | D <sup>۴۰۰</sup> |
| 600              | E <sup>۶۰۰</sup> |
| 900              | F <sup>۹۰۰</sup> |

## نکات مهم در طراحی

در طراحی دريچه‌های استاندارد، مواردی را که در متن استاندارد EN<sup>۱۲۴</sup> به آن‌ها اشاره شده باید رعایت کرد. این موارد به شرح زیرند.

الف) عمق جای‌گیری برای طبقه بندی D<sup>۴۰۰</sup>، E<sup>۶۰۰</sup> و F<sup>۹۰۰</sup> باید حداقل 50 میلیمتر باشد.

ب) مساحت تهویه<sup>۱</sup> بر اساس جدول (7-1) خواهد بود.

جدول 7-1 - مقادیر مساحت تهویه

| دهانه محض | مساحت تهویه                                       |
|-----------|---------------------------------------------------|
| >600 mm   | 140 cm <sup>۲</sup>                               |
| ≤ 600 mm  | 5% مساحت دایره‌ای که قطری برابر با دهانه محض دارد |

<sup>۱</sup> Vent area



پ) قطر سوراخ ها برای طبقه بندی A۱۵ و B۱۲۵ باید بین 18 تا 38 میلی متر و برای C۲۵۰ تا F۹۰۰ بین 30 تا 38 میلی متر باشد. به عنوان مثال برای دهانه محض 50 سانتی متر و با قطر سوراخ 3 سانتی متر باید روی دریچه 14 سوراخ وجود داشته باشد.

ت) مجموع تلرانس ها در شکل (5-1)، براساس جدول (5-1) به دست می آید.

جدول 8-1- مقادیر تلرانس ها

| دهانه محض             | مجموع تلرانس          |
|-----------------------|-----------------------|
| >400 mm               | $a \leq 9 \text{ mm}$ |
| $\leq 400 \text{ mm}$ | $a \leq 7 \text{ mm}$ |

ث) الگوی روی دریچه باید ارتفاعی براساس جدول (9-1) داشته باشد. این الگو شامل نقش ها و علامت هایی می شود که بسته به نوع دریچه و مکان استفاده ی آن روی دریچه حک می شود. سطح الگو باید بین 10 تا 70 درصد کل سطح فوقانی دریچه باشد.

جدول 9-1 - مقادیر ارتفاع الگوی روی دریچه

| طبقه بندی      | مجموع تلرانس    |
|----------------|-----------------|
| A۱۵-B۱۲۵-C۲۵۰  | 2 تا 6 میلی متر |
| D۴۰۰-E۶۰۰-F۹۰۰ | 3 تا 8 میلی متر |

ج) علامت گذاری روی دریچه ها

تمامی دریچه های استاندارد باید علامت EN۱۲۴ و طبقه بندی بارگذاری مربوطه را داشته باشند. همچنین نام سازنده، نام مالک و شماره شناسایی و نوع کاربرد هم می تواند بر روی دریچه حک شود.

## معرفی نرم افزار ABAQUS

نرم افزار ABAQUS مجموعه ای از برنامه های قدرتمند شبیه سازی مهندسی است که بر پایه روش اجزاء محدود بنا شده است و می تواند انواع مسائل، از مسائل نسبتاً ساده خطی گرفته تا چالش

برانگیزترین مسائل غیرخطی را حل کند. ABAQUS شامل کتابخانه‌ای وسیع از انواع المان‌هاست که می‌توان به کمک آن هرگونه هندسه‌ای را به طور مجازی مدلسازی کرد. در عین حال این نرم‌افزار دارای فهرستی گسترده از مدل‌های مواد است که می‌توان به کمک آن رفتار بسیاری از مواد معمول مهندسی را شبیه‌سازی کرد، از جمله‌ی این مواد می‌توان به فلزات، لاستیک، پلیمرها، کامپوزیت‌ها، بتون تقویت شده، فوم‌های متراکم و انعطاف پذیر و مواد زمین شناسی نظیر خاک و سنگ اشاره کرد. ABAQUS یک ابزار شبیه‌سازی با اهداف عمومی است، به همین خاطر نه تنها قادر به شبیه‌سازی مسائل سازه ای (تنش - تغییر مکان) است بلکه در زمینه‌های مختلف از جمله انتقال حرارت، انتقال جرم، مدیریت حرارتی اجزای الکتریکی (تحلیل جفت شده حرارتی - الکتریکی)، تحلیل آکوستیک، مکانیک خاک و تحلیل پیزوالکتریک نیز کاربرد دارد. ABAQUS توانایی زیادی در حل انواع مسائل خطی و غیر خطی دارد. مسائلی که می‌تواند اجزای مختلف داشته و هر جزء ماده مخصوص به خود دارد و این اجزاء با یکدیگر تعامل دارند. در یک تحلیل غیرخطی، ABAQUS به طور خودکار نمونه‌های بارگذاری<sup>1</sup> و تیرانس‌های همگرایی مناسب را انتخاب می‌کند و در حین حل آن‌ها را تنظیم می‌کند تا حل دقیق مسئله به صورت بهینه به دست آید.

## معیارهای طراحی

تا کنون معیارهای مختلفی برای شکست مواد نرم و ترد ارائه شده است. در اینجا برای هر کدام از مواد ترد و نرم سه نظریه معروف‌تر که کاربرد بیشتری دارند [7] بیان می‌شوند.

### معیارهای تسلیم مواد نرم

- معیار تنش برشی ماکزیمم یا نظریه ترسکا
- معیار فون میسز یا نظریه انرژی کرنشی ماکزیمم
- معیار کلمب - مور نرم

---

<sup>1</sup> Load increments

## - معیار تنش برشی ماکزیمم

براساس این معیار که به معیار ترسکا نیز معروف است، یک نقطه از جسم زمانی به تسلیم می‌رسد که ماکزیمم تنش برشی در آن نقطه (المان) به ماکزیمم تنش برشی همان جسم در آزمایش کشش ساده برسد. از آنجا که در آزمایش کشش ساده این مقدار برابر نصف  $S_y$  است لذا چنانچه در یک وضعیت تنش سه بعدی،  $s_1$ ،  $s_2$  و  $s_3$  تنش‌های اصلی باشند آنگاه ماکزیمم تنش برشی از رابطه‌ی (1-3) به دست می‌آید:

$$t_{\max} = \frac{s_1 - s_3}{2} \quad (1-3)$$

و با در نظر گرفتن  $S_y$  به عنوان مقاومت تسلیم، رابطه (2-3) به تسلیم رسیدن ماده را پیش بینی می‌کند:

$$s_1 - s_3 \geq S_y \quad \text{یا} \quad t_{\max} = \frac{s_1 - s_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad (2-3)$$

همچنین با در نظر گرفتن ضریب اطمینان  $n$  خواهیم داشت :

$$s_1 - s_3 \geq \frac{S_y}{n} \quad (3-3)$$

## - معیار فون میسز

بر اساس این تئوری جسم وقتی به تسلیم می‌رسد که حداکثر انرژی کرنشی ذخیره شده در آن به مقدار انرژی کرنشی ذخیره شده در آزمایش کشش ساده برسد. بر این اساس، به تسلیم رسیدن ماده زمانی آغاز می‌شود که رابطه‌ی زیر برقرار شود:

$$\left[ \frac{(s_1 - s_3)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_1 - s_2)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq S_y \quad (4-3)$$

که طرف چپ رابطه به تنش فون میسر معروف است و آن را با  $s'$  نشان می‌دهیم. با در نظر گرفتن ضریب اطمینان  $n$ ، خواهیم داشت:

$$s' = \frac{S_y}{n} \quad (5-3)$$

تئوری فون میسر به طور وسیع در طراحی قطعات ساخته شده از مواد نرم به کار می‌رود و با نتایج عملی مطابقت بسیار خوبی را نشان داده است.

### - معیار کلمب مور نرم

این تئوری برای موادی به کار می‌رود که رفتار کشش و فشار متفاوتی در تسلیم از خود نشان می‌دهند. اگر  $S_{yc}$  و  $S_{yt}$  به ترتیب مقاومت تسلیم در کشش و مقاومت تسلیم در فشار باشند، ماده زمانی به تسلیم می‌رسد که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{S_1}{S_{yt}} - \frac{S_2}{S_{yc}} = 1 \quad (6-3)$$

و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان خواهیم داشت:

$$\frac{S_1}{S_{yt}} - \frac{S_2}{S_{yc}} = \frac{1}{n} \quad (7-3)$$

### معیارهای شکست مواد ترد

به علت تفاوت رفتار مواد ترد با نرم، معیارهای تسلیم این مواد نیز متفاوت هستند. شاید بتوان گفت مهمترین این معیارها عبارت باشند از:

- معیار تنش ماکزیمم نرمال
- معیار کلمب - مور ترد
- معیار مور اصلاح شده

### - معیار تنش اصلی ماکزیمم

بر اساس این معیار شکست زمانی اتفاق می افتد که یکی از سه تنش اصلی از مقاومت نهایی ماده بیشتر شود:

$$s_r \leq -S_{uc} \quad \text{یا} \quad s_1 \geq S_{ut} \quad (8-3)$$

با در نظر گرفتن  $n$  به عنوان ضریب اطمینان خواهیم داشت :

$$s_1 = \frac{S_{ut}}{n} \quad \text{یا} \quad s_r = -\frac{S_{uc}}{n} \quad (9-3)$$

### - معیار کلمب مور ترد

وقتی تنش های اصلی همگی مثبت باشند (تنش کششی) رابطه زیر برقرار است:

$$s_1 = \frac{S_{ut}}{n} \quad (10-3)$$

همچنین زمانی که یک از تنش های اصلی منفی (فشاری) باشد:

$$\frac{s_1}{S_{ut}} - \frac{s_r}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad (11-3)$$

و وقتی همگی تنش ها منفی باشند:

$$s_r = -\frac{S_{uc}}{n} \quad (12-3)$$

### - معیار مور اصلاح شده

وقتی همه ی تنش های اصلی مثبت باشند داریم:  $s_1 = \frac{S_{ut}}{n}$  و وقتی یکی از تنش ها منفی

(فشاری) است داریم:  $\frac{(S_{uc} - S_{ut})s_1}{S_{ut}S_{uc}} - \frac{s_r}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$  و در نهایت وقتی که همه ی تنش ها فشاری

هستند خواهیم داشت:  $s_r = -\frac{S_{uc}}{n}$  . برای مواد ترد معیار مور اصلاح شده با نتایج عملی مطابقت

بیشتری دارد.



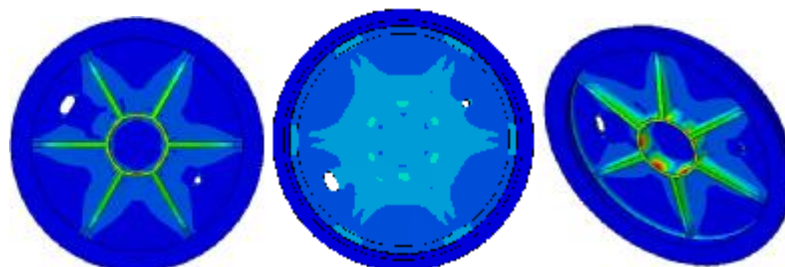
## نتایج شبیه سازی

شبیه سازی آزمایش برای هر دریچه با دو جنس متفاوت صورت گرفته است. تفاوت مدل های هر دریچه فقط در مدول الاستیک آنهاست. برای به دست آوردن ضریب اطمینان با توجه به جدول (1-4)، برای جنس نرم از معیار فون میسز و برای جنس ترد از معیار تنش اصلی نرمال استفاده شده است. مقادیر محاسبه شده در جداول (2-4) تا (5-4) ارائه شده اند.

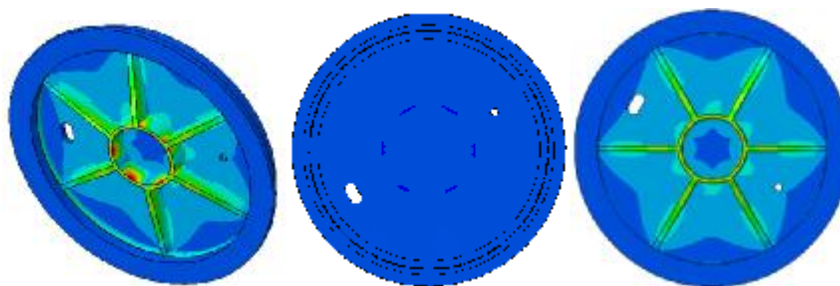
### نتایج تحلیل نمونه ی الف

جدول 2-4- نتایج تحلیل نمونه ی الف

| GG-۲۵     | GGG-۴۰    | کمیت                      |
|-----------|-----------|---------------------------|
| 169/1 MPa | -         | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -         | 167/8 MPa | تنش فون میسز $\sigma'$    |
| 1/73      | 1/49      | ضریب اطمینان $n$          |



شکل 4-6- کانتور تنش فون میسز

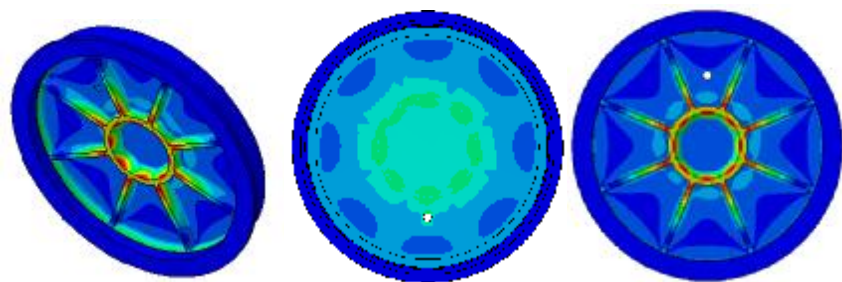


شکل 4-7- کانتور تنش اصلی نرمال

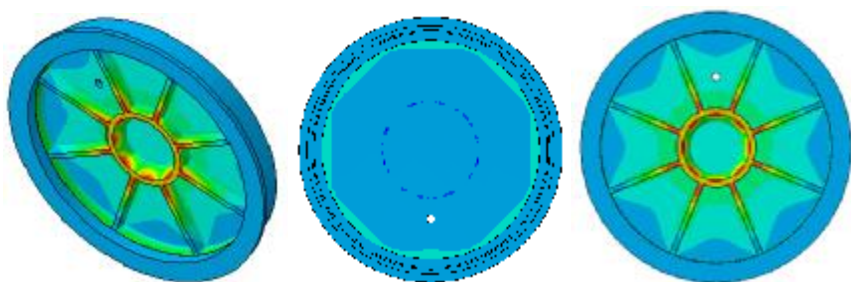
### نتایج تحلیل نمونه ی ب

جدول 3-4- نتایج تحلیل نمونه ی ب

| GG-۲۵     | GGG-۴۰    | کمیت                      |
|-----------|-----------|---------------------------|
| 138/8 MPa | -         | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -         | 128/2 MPa | تنش فون میسز $\sigma'$    |
| 2/11      | 1/95      | ضریب اطمینان              |



شکل 4-8- کانتور تنش فون میسز

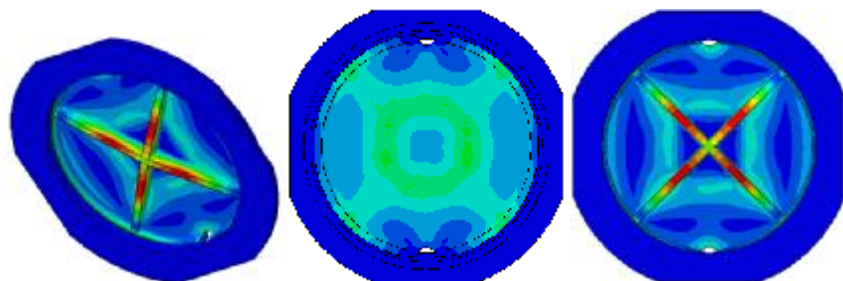


شکل 4-9- کانتور تنش اصلی نرمال

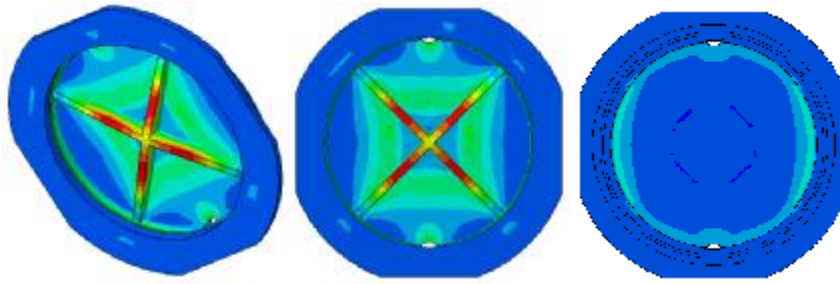
### نتایج تحلیل نمونه ی ج

جدول 4-4- نتایج تحلیل نمونه ی ج

| GG-۲۵     | GGG-۴۰    | کمیت                      |
|-----------|-----------|---------------------------|
| 101/2 MPa | -         | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -         | 101/4 MPa | تنش فون میسز $\sigma'$    |
| 2/9       | 2/47      | ضریب اطمینان              |



شکل 4-10 - کانتور تنش فون میسز

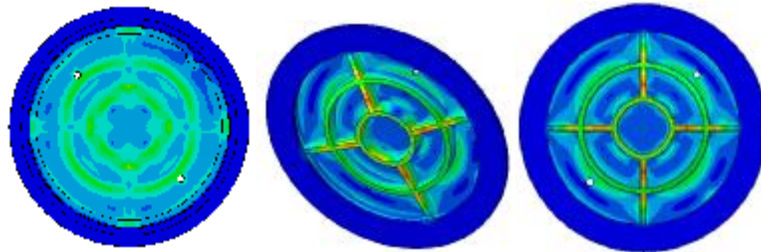


شکل 4-11 - کانتور تنش اصلی نرمال

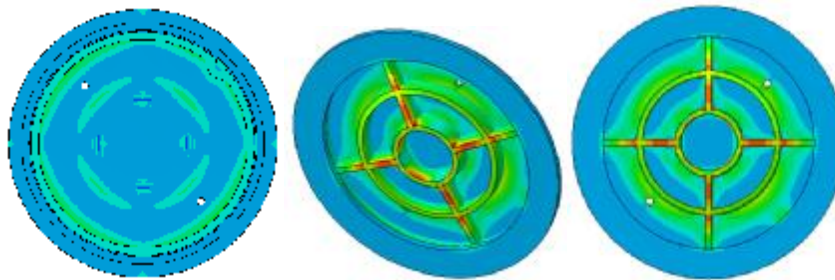
شایان ذکر است که در بار یکسان، در بین نمونه‌ها این نمونه کمترین تنش را دارد. دلیل منطقی برای توجیه این نتیجه را می‌توان چنین تشریح کرد: با توجه به شکل (4-1) اعمال بار عمودی بر دریچه در جهت محور  $y$  صورت می‌گیرد و صفحه  $xz$  موازی با سطح فوقانی دریچه است،  $I_{xx}$  و  $I_{zz}$  برای این دریچه از تمامی دریچه‌های دیگر بیشتر است. همچنین ممان خمشی در وسط بیشترین مقدار را دارد. چون قسمت مرکزی این دریچه خالی نیست، ماده‌ی موجود در مرکز، از خمش بیش از حد جلوگیری کرده و کمترین تنش در آن به وجود می‌آید. بر این اساس یکی از راه‌های بهینه‌سازی دریچه‌ها این است که اولاً در مرکز دریچه حتماً باید مقداری ماده با حداکثر فاصله از سطح فوقانی وجود داشته باشد و ثانیاً هندسه زیرین دریچه باید طوری طراحی شود که بیشترین ممان اینرسی را در برابر خمش فراهم کند.

جدول 4-5- نتایج تحلیل نمونه‌ی د

| GG-۲۵     | GGG-۴۰    | کمیت                      |
|-----------|-----------|---------------------------|
| 120/6 MPa | -         | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -         | 125/1 MPa | تنش فون میسر $\sigma'$    |
| 2/43      | 1/99      | ضریب اطمینان              |



شکل 4-12- کانتور تنش فون میسر



شکل 4-13- کانتور تنش اصلی نرمال

### مقایسه‌ی نتایج

برای رسیدن به یک مقایسه جامع و منطقی از تحلیل‌های انجام گرفته برای هر کدام از جنس‌ها، ضریب اطمینان و وزن به عنوان عوامل تعیین‌کننده در تصمیم‌گیری برای انتخاب دریاچه مناسب هستند. روش کار بدین صورت است که وزن هر دریاچه به وزن ماکزیمم تقسیم می‌شود، همچنین ضریب اطمینان هر دریاچه نیز به ضریب اطمینان ماکزیمم تقسیم می‌شود. بدین ترتیب

مقادیر ضریب اطمینان و وزن بین صفر و یک قرار می‌گیرند. براساس این تعریف  $\bar{n}_i = \frac{n_i}{n_{\max}}$  و

$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_{\max}}$  سپس با استفاده از رابطه  $\frac{\bar{n}_i}{\bar{w}_i}$  امتیاز هر دریاچه برای انتخاب تعیین می‌شود.

بر اساس جدول (6-4) و (7-4) و با توجه به اینکه برای هر دو جنس، نتایج دو جدول یکسان است می‌توان نتیجه گرفت، نمونه‌ی « د » بهترین و نمونه‌ی « الف » بدترین نمونه برای انتخاب است. البته وزن مدل‌ها بر اساس مدل نرم‌افزاری تعیین شده است و این نیاز به اندازه‌گیری دقیق‌تری دارد تا بتوان نتیجه‌گیری دقیق‌تری انجام داد.

جدول 6-4 - رتبه بندی مدل‌ها برای انتخاب بر اساس جنس GG<sup>۲۵</sup>

| رتبه | $\frac{\bar{n}_i}{\bar{w}_i}$ | $\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_{\max}}$ | $\bar{n}_i = \frac{n_i}{n_{\max}}$ | جنس GG <sup>۲۵</sup> |
|------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 4    | 0/597                         | 1                                  | 0/597                              | الف                  |
| 3    | 0/798                         | 0/912                              | 0/728                              | ب                    |
| 2    | 1/041                         | 0/961                              | 1                                  | ج                    |
| 1    | 1/095                         | 0/765                              | 0/838                              | د                    |

جدول 7-4 - رتبه بندی مدل‌ها برای انتخاب بر اساس جنس GGG<sup>۴۰</sup>

| رتبه | $\frac{\bar{n}_i}{\bar{w}_i}$ | $\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_{\max}}$ | $\bar{n}_i = \frac{n_i}{n_{\max}}$ | جنس GGG <sup>۴۰</sup> |
|------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| 4    | 0/603                         | 1                                  | 0/603                              | الف                   |
| 3    | 0/865                         | 0/912                              | 0/789                              | ب                     |
| 2    | 1/041                         | 0/961                              | 1                                  | ج                     |
| 1    | 1/054                         | 0/765                              | 0/806                              | د                     |

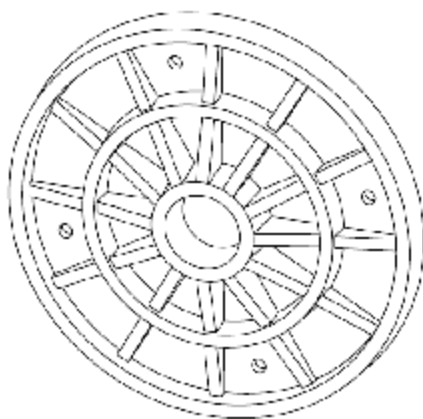
### تحلیل دریاچه‌های استان اصفهان

سازمان آب و فاضلاب استان اصفهان در حال حاضر از دو نوع دریاچه استاندارد با طبقه‌بندی بارگذاری C<sup>۲۵۰</sup> و D<sup>۴۰۰</sup> استفاده می‌کند. در جدول (8-4) مشخصات این دریاچه‌ها ذکر شده‌اند.

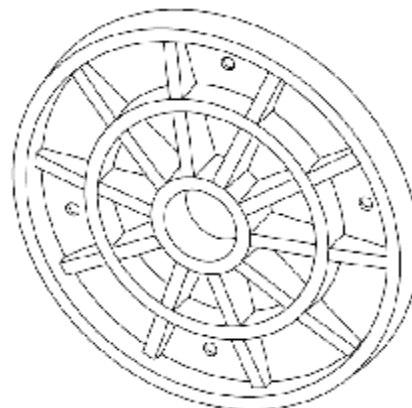
جدول 8-4 - مشخصات دریاچه‌های استاندارد استان اصفهان

| جنس              | تعداد تیغه های تقویت کننده | جرم دریاچه (kg) | نوع              |
|------------------|----------------------------|-----------------|------------------|
| GG <sup>۲۵</sup> | 10                         | 49              | C <sup>۲۵۰</sup> |
| GG <sup>۲۵</sup> | 12                         | 58              | D <sup>۴۰۰</sup> |

در شکل‌های (14-4) و (15-4)، هندسه‌ی این دریچه‌ها نمایش داده شده است.



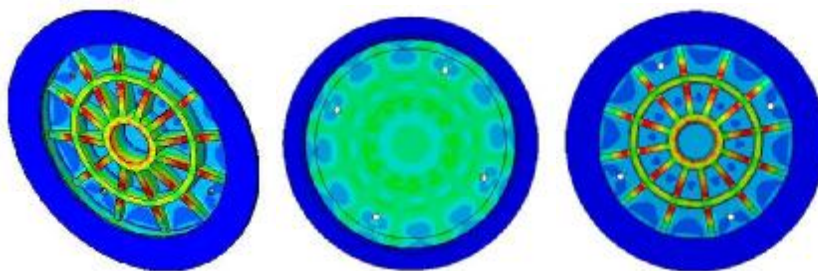
شکل 15-4 - دریچه D<sup>۴۰۰</sup>



شکل 14-4 - دریچه C<sup>۲۵۰</sup>

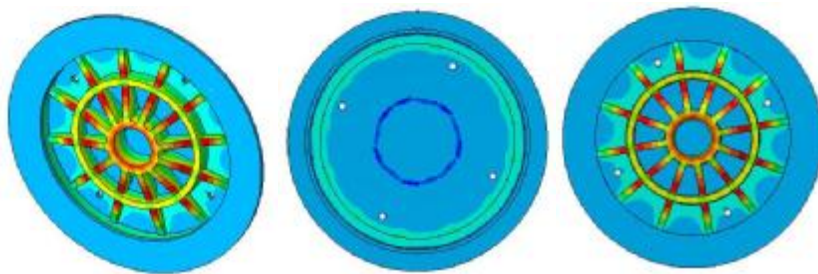
### نتایج تحلیل تنش

دریچه‌های استاندارد در آزمایشگاه تست شده‌اند و نتایج تحلیل نرم افزاری نیز حاکی از آن است که این دریچه‌ها تحت بارهای استاندارد مقاومت لازم را دارا هستند. نتایج تحلیل نرم افزاری در جدول (9-4) ارائه شده است. طبق گفته مسئولان ذیربط تولید این دریچه‌ها با چدن داکتیل مقرون به صرفه نیست ولی در صورتی که بتوان با بهینه‌سازی، وزن آن‌ها را کاهش داد، آنگاه تولید این دریچه‌ها با چدن داکتیل نیز امکان پذیر خواهد بود.



شکل 16-4 - کانتور تنش فون میسز





شکل 4-17 - کانتور تنش اصلی نرمال

جدول 4-9 - نتایج تحلیل تنش در دریچه‌های استاندارد

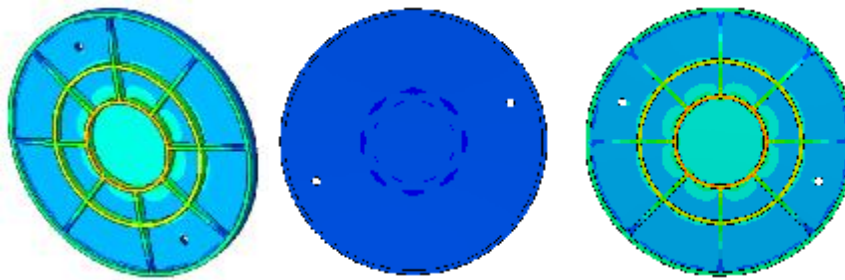
| GG-۲۵     | GGG-۴۰    | C۲۵۰                      |
|-----------|-----------|---------------------------|
| 180/1 MPa | -         | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -         | 177/3 MPa | تنش فون میسر $\sigma'$    |
| 1/63      | 1/41      | ضریب اطمینان              |
| GG-۲۵     | GGG-۴۰    | D۴۰۰                      |
| 241 MPa   | -         | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -         | 239 MPa   | تنش فون میسر $\sigma'$    |
| 1/22      | 1/04      | ضریب اطمینان              |

### تحلیل دریچه‌های استان فارس

سازمان آب و فاضلاب استان فارس در حال حاضر از دو نوع دریچه استفاده می‌کند. یکی از آن‌ها مشابه دریچه‌ی مورد استفاده توسط آب و فاضلاب یزد است و دیگری دریچه‌ای است که در همان استان تولید می‌شود. دریچه‌ی مشابه، محصول شرکت « د » است و از جنس چدن داکتیل بوده و قبلاً مورد تحلیل قرار گرفته است. برای تحلیل دریچه‌ی دوم از بار 6/5 تن استفاده شده است. نتایج تحلیل این دریچه در جدول (4-10) ذکر شده است. در صورتی که این دریچه با چدن داکتیل ساخته شود تنش‌های به وجود آمده باعث می‌شوند ماده‌ی دریچه به حد تسلیم برسد.

جدول 4-10 - نتایج تحلیل دریچه‌ی استان فارس

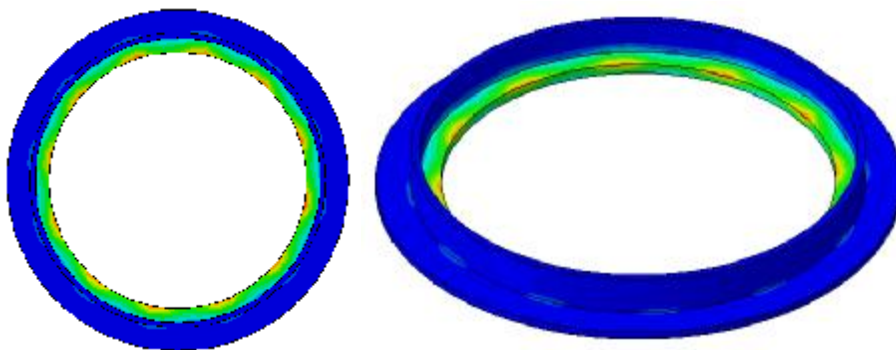
| GG-۲۵   | GGG-۴۰  | کمیت                      |
|---------|---------|---------------------------|
| 266 MPa | -       | تنش نرمال اصلی $\sigma_1$ |
| -       | 262 MPa | تنش فون میسر $\sigma'$    |
| 1/1     | -       | ضریب اطمینان              |



شکل 4-18 - کانتور تنش اصلی نرمال

## تحلیل قاب

در پایان ذکر این مطلب الزامی است که تنش‌های به وجود آمده در قاب دریچه‌ها خیلی کمتر از تنش‌های به وجود آمده در خود دریچه‌ها هستند. بیشترین مقدار تنش در قاب مربوط به دریچه  $D^{400}$  است که این دریچه تحت بار 40 تن قرار گرفته است و تنش ماکزیمم آن برابر با 39 مگاپاسکال است. بنابراین ضریب اطمینان برای قاب دریچه‌ها در بدترین حالت برابر با  $7/5$  است. مطلب مهم دیگر در مورد قاب دریچه‌ها آن است که این ضریب اطمینان در صورتی معتبر است که تکیه‌گاه (قسمت زیرین قاب که روی سازه نگهدارنده سوار می‌شود) کاملاً محکم شده باشد و به عبارت بهتر تکیه‌گاه صلب باشد. در صورت صلب نبودن تکیه‌گاه، ممکن است قاب دچار برش شود.



شکل 4-19 - کانتور تنش در قاب دریچه‌ی  $D^{400}$