

## بررسی و روش های مقاوم سازی سیلوی بتنی مخازن آهن اسفنجی

### گروه ملی صنعتی فولاد ایران

\*۱- یقوب کمالی نیا\*، ۲- مهدی محتشم زاده (\*یعقوب کمالی نیا)

۱- مهندسی تکنولوژی ساختمان (yaghoobkamalinia@gmail.com)

۲- کارشناس ارشد مدیریت ساخت (mehdi mohtasamzadeh@gmil.com)

#### چکیده

امروزه باتوجه به طرحهای صنعتی بسیار مهم از جمله مخازن بتنی (سیلو) در زمینه پروژه های ساختمانی و عمرانی پیش نیاز توسعه و زمینه ساز صنعتی شدن کشورها در حال توسعه می باشد و شرکت های نوردی برای ذخیره سازی گندله آهن اسفنجی بعنوان روشی نوین در صنعت آهن و فولاد همچنین هزینه های احیای آهن و تولید فولاد و کاهش هزینه های سربار مورد توجه شرکت های نوردی قرار گرفته است کاربرد بسیار بالایی دارد از جمله شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران در این زمینه باز به عنوان یکی از استراتژیک ترین مجموعه انبارهای ذخیره سازی مخازن برای (آهن اسفنجی، آهک و سایر مواد) اقدام به احداث و باز سازی پروژه مخازن بتنی استوانه ای مدور تکی یا گروهی چندسلولی نموده چرا که تاخیر در این گونه پروژه ها علاوه بر برهم زدن تعادل بین عرضه و تقاضا موجب تحمیل هزینه های سنگین حمل و نقل مضاعف ناشی از جابجایی شمش (مواد اولیه) و مدت زمانی برای این شرکت می گردد را احداث نموده ولی متأسفانه بعد از مرور زمان با توجه به شرایط محیطی آب وهوایی دما منطقه جنوب و نزدیکی وهمجواری با خلیج فارس ایران از قبیل (سرما، گرما، مرطوب) منجر به سایش بتن و خوردگی آرماتورها و ایجاد ترک در مخازن بتنی با توجه به انجام آزمایش های تست بتن (DT) و روش های غیر مخرب تست بتن (NDT) بر روی سازه بتنی گرچه این ترکها را میتوان به کمک مواد پیشرفته صنعت ساختمان از قبیل مقاوم سازی بتن مسلح با میلگرد فولادی یا FRP و مواد نانو به روز دنیا همچنین تزریق مواد اپوکسی تزریق ترمیم کرد اما ضعف سازه را به طور یقین و کامل برطرف نمیکند. باتوجه به اینکه سازه علاوه بر ضعف در برابر بارهای مرده و زنده همچنین خطرات احتمالی زلزله نیز آسیب پذیر است از آنجا که در شرایط بحرانی نیاز مبرم با استفاده از مواد ذخیره شده و میزان حجم در سیلو میباشد با توجه اینکه بهره برداری از این سازه برای این شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران نقش بسیار مهم میباشد. باتوجه مشاهدات عینی همچنی آزمایشات گوناگون دلایل خوردگی و ایجاد ترک های عمیق در کف مخزن مخروطی در این مقاله کارشناسی راهکار های مناسب برای ترمیم، مقاوم سازی، با توجه به مدت زمان و هزینه واقعی سازه را پیش بینی ترمیم و بازسازی اعلام نموده ایم.

**واژه های کلیدی:** علل و بررسی ترک سازه بتنی، مقاوم سازی بتن مسلح، میلگرد فولادی یا FRP، راه های جلوگیری از خوردگی، محافظت و نو آوری مخازن آهن اسفنجی



## ۱- مقدمه

سیلوهای بتنی سازه هایی هستند که در صنعت نورد برای ذخیره محصولات مورد نیاز خود از قبیل آهن اسفنجی، آهک و دیگر مواد مورد نیاز صنعت نوردی به کارگیری میشوند. زیرکی از مهمترین خطرات آهن اسفنجی، آلودگی های زیست محیطی، امکان اشتعال، قابلیت اکسیداسیون و زنگ زدگی بنابراین نقش استراتژیکی بسیار مهم برای صنعت فولاد شرکت و برای کشور را دارند و ساخت و نگهداری آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بر این اساس مخازن آهن اسفنجی که بصورت استوانه های بتنی بر اساس بارهای وارده بارگذاری محاسبه ساخته می شوند. در معرض شرایط جوی و محیطی قرار دارند این شرایط محیطی که ممکن است چرخه های تکراری دما (سرد و گرم) و یا مرطوب و خشک را باعث شوند، منجر به سایش بتن و خوردگی آرماتورها و ترک بتن در مخازن استوانه سیلو گردد. گرچه این ترکها را میتوان به کمک مواد پیشرفته نانو به روز دنیا همچنین تزریق اپوکسی پر و ترمیم کرد اما ضعف سازه ای را به طور یقین و کامل برطرف نمیکند. در این شرایط سازه علاوه بر ضعف در برابر بارهای مرده و زنده همچنین خطرات احتمالی زلزله نیز آسیب پذیر است و از آنجا که در شرایط بحرانی نیاز مبرم به مواد ذخیره شده در سیلو میباشد بهره برداری از این سازه برای این شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران بسیار مهم میباشد که با توجه مشاهدات عینی دلایل خوردگی و ایجاد ترک در کف مخزن ارایه گردیده که با انجام آزمایشات مقاومت بتن همچنین عکس های موجود جهت بررسی و مشاهده نتیجه ضعف سازه که با توجه به وضعیت ترک عمیق بتن از آزمایشهای اولتراسونیک، چکش اشmitt، آزمایش نیم پیل یا Half Cell، آزمایش مقاومت الکتریکی بتن انجام گردید.

## ۲- آزمایشات مقاومت بتن

جهت بررسی و مشاهده نتیجه ضعف سازه که با توجه به وضعیت ترک عمیق بتن از آزمایشهای اولتراسونیک، چکش اشmitt انجام و در صورت نیاز مغزه گیری انجام شود.

## ۳- تنظیف و پاکسازی

ابتدا در مناطقی که بتن نما گردیده و یا آرماتورها به علت تخریب کاور نمایان شده اند میبایست منطقه ترمیمی از فرم بی شکل به سطحی هندسی با لبه قائم و سطح قابل ترمیم یکنواخت (هم ارتفاع) تغییر شکل داده شود از بتن زدوده شده در صورت نیاز، سپس مجدداً سطح شستشو شده تا عاری از گرد و غبار گردد. درزهای قالب اسکراب و مناطق قطع بتن (ترک های سرد و اجرایی) به صورت V شکل باز شوند البته لازم به ذکر می باشد در صورت نیاز، زیرا نباید شیره بتن کهروی سطح بتن میباشد از بین رود.



## ۴- ترمیم

تزریق رزین اپوکسی به درون تمام ترک های سازه‌استانداردهای موجود برای ترمیم بتن صراحتاً تأکید دارد برای ضخامت های پایینتر از ۳ اینچ، پیوند تحت شرایط خاص و با استفاده از متریالهای پیوندی مخصوص صورت می پذیرد، لذا استفاده از متریال های الیاف دار که در ضخامتهای پایین دچار شکستگی و ترک خوردگی نشوند و نیز قابلیت اعمال بر روی بتن قدیم را با چسبندگی مناسب داشته باشند الزامیست.

## ۵- کتینگ نهایی محافظ در برابر شرایط جوی

جهت اطمینان از عملکرد الیه آب بند و تأثیر طولانی مدت ترمیم و آب بندی و جلوگیری از تأثیرات انبساطی و انقباضی سازه و اثر گرما و سرما بر روی سطح توجیه می گردد با استفاده از مالچ های ۲ جزئی الاستومری بر پایه سیمانهای پلیمری ۱۰۷ و یا ۱۲۷ که قابلیت الانگیشن و تحمل کشش بالایی دارند به عنوان پوشش نهایی استفاده نمود.

## ۶- سیلو های نگهداری آهن اسفنجی و شرایط نگهداری :

چون فلز DRI یک فلز به شدت تقلیل یافته و تجزیه شده است بنابراین میل زیادی به اکسید شدن دوباره و یک واکنش گرمادگی دارد. بنابراین بدون رعایت شرایط خاص آن و بدون در نظر گرفتن مخازن مناسب برای نگهداری و یا حمل و نقل این فلز، خطر اشتعال و خود گرمایشی وجود دارد. بسیاری از شرکت های بین المللی از روش ذخیره سازی DRI در مخازن حاوی گازهای بی اثر مثل نیتروژن استفاده می کنند.

## ۷- خطرات آهن اسفنجی

حالت یکی از مهمترین خطرات آهن اسفنجی، آلودگی های زیست محیطی است که عواقب زیادی را در بر دارد. یعنی آهن اسفنجی به برخی از ویژگی های مواد خام حس فاسفیت نشان می دهد. اما از دیگر خطرات آهن اسفنجی می توان به امکان اشتعال آن در خمیری اشاره کرد. البته برای جلوگیری از این امر راه های گوناگونی وجود دارد.

بسیاری از افراد تصور میکنند آهن اسفنجی که از درصد بالایی آهن خاک تشکیل شده است، هیچ گونه ضرر یا زیانی ندارد اما باید بدانید که خطرات آهن اسفنجی نیز قابل توجه است. واکنش نشان دادن آهن اسفنجی به



آلودگی های زیست محیطی، یکی از انواع این خطرات بوده که حائز اهمیت است. برای جلوگیری از اینگونه خطرات ترند هایی در نظر گرفته شده کفه در اینبخش برایتان بیان می کنیم:

آلودگی های زیست محیطی: بررسی مواد شیمیایی و فیزیکی مواد خام در ترکیب بایستی به صورت جداگانه صورت مواد گیرد چون یکی از خطرات آهن اسفنجی این است که نسبت به ویژگی های مواد خام حس فاسفیت بالایی از خودش نشان می دهد. اما منظور از مواد اولیه چستی یا بهتر است بگوییم که مواد اولیه تولید آهن اسفنجی کدام اندی این عبارتند از: سنگ آهن (مهم ترین آن ها)، زغال سنگ غیر کک و دولومیت.

قابلیت اکسیداسیون و زنگ زدگی: قابلیت اکسیداسیون و زنگ زدگی دو گزینه مهم به حساب می آیند که در دسته برای بندی خطرات آهن اسفنجی قرار می گیرند. راه حل پیشنهادی پیرامون این موضوع، تبدیل فوری آنها به فولاد یا ایجاد یک لایه حفاظتی برای آن ها است که از مهمترین خطرات آهن اسفنجی به شمار میروند که باید برای جلوگیری از این قضیه، سریعا به فولاد تبدیل شوند یا حفاظتی را برای آنها در نظر بگیرید.

#### ۸- از مهمترین خطرات آهن اسفنجی

اشتعال آهن اسفنجی در حالت خمیری: اشتعال یا اکسیداسیون آهن اسفنجی نیز به نوبه خود می تواند مخاطره انگیز باشد. اما برای جلوگیری از این امر چه باید کرد؟ بریکت سازی از جمله کارهایی است که می توانید برای خنثی کردن میزان اشتعال انجام دهید. نمونه دیگری که میتوان به آنها اشاره کرد این است که از طریق موادی از جمله گاز خنثی، آهک، سیلیکات سدیم و قرار دادن آن ها در فضایی بسته (سر پوشیده)، تا حد زیادی از این محصول (آهن اسفنجی) مراقبت و نگهداری کرد.

نمونه تصاویر گرفته شده از مخازن آهن اسفنجی گروه ملی صنعتی فولاد ایران





عکس هاو تصاویر شماره ( ۴،۲،۳،۱ ) نمایانگر نوع و علل ترک به وجود آمده را نشان می دهد



۹- دلایل ایجاد ترک در سیلوی آهن اسفنجی استوانه ای گروه ملی فولاد ایران و رعایت نکردن موارد استاندارد لازم از قبیل

۱- نقص ساختاری ناشی از خطاها در طراحی، معیارهای بارگذاری، اضافه بار غیر منتظره و...

۲- انباشت بیش از حد و ظرفیت محاسباتی

۳- فشار و حرارت مواد انبارش شده

۴- انتشار گازهای سمی و مخرب از مواد انبارش شده

۵- وقوع انفجارهای کوچک و بزرگ حاصل از واکنش مواد انبارش شده و گازهای منتشر شده در طول زمان

۶- نقص ساختاری ناشی از خطاها در طراحی، معیارهای بارگذاری، اضافه بار غیر منتظره و...

۷- رعایت نکردن اصول استاندارد بتن ریزی از قبیل موارد

مقاومت فشاری بتن - انجام صحیح بتن ریزی - عمل آوری بتن - میزان تخلخل بتن - پرداخت سطح بتن - نسبت سنگدانه ها - جنس سنگ دانه ها - نسبت آب به سیمان - مکش با خلا - الیاف فولادی و پلی پروپیلن - بتن ضد سایش - مکمل های سیمانی و افزودنی های سیلیسی - میزان حباب هوا از عواملی موجود در ایجاد ترک در این سازه بسیار مهم دخالت داشته است.

۱۰- استفاده از الیاف FRP جهت مقاوم سازی سازه بتنی آهن اسفنجی

با پیشرفت مواد پلیمری و افزایش تولید این مصالح استفاده از الیاف FRP افزایش چشمگیری داشته است. از خاصیت این مواد که در مقاوم سازی سیلوها بکار میرود میتوان به افزایش برافیت باربری، دوام و استحکام در برابر سایش و ضربه های مکانیکی، مقاومت و پایداری در شرایط محیطی نامناسب همچون محیط مرطوب و سیکل دما، مقاومت در برابر خوردگی، ضخامت بسیار پایین و وزن کم از جمله ویژگی هایی است که امروزه سبب شده استفاده از این الیاف در مقایسه با روش های متداول و سنتی افزایش پیدا کند. علاوه بر این می توان مقاوم سازی را بدون ایجاد خلل در زمان بهره برداری از سیلو انجام داد و مدت زمان اجرا را کاهش داد. علاوه بر این مقاوم سازی

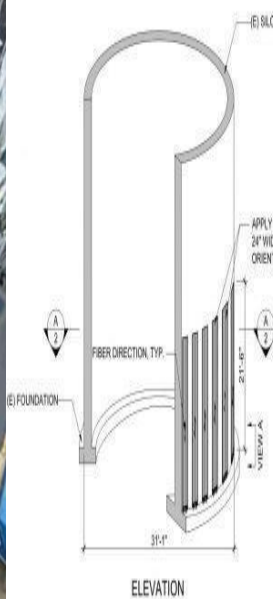
در صورت نیاز در دو وجه داخلی و بیرونی سازه نیز انجام میشود. همچنین در صورت نیاز به مقاوم سازی موضعی نیز به دلیل چسبندگی و پیوستگی که رزین اپوکسی و FRP با سیمان و بتن دارد باعث ایجاد سطح پیوسته و مقاوم در برابر نیرو و سایش استفاده کرد. پس از اتمام عملیات مقاوم سازی با FRP نیز میتوان براحتی سطح آن را رنگ آمیزی کرد. مقاوم سازی با FRP موجب توزیع تنش بر روی سطحی گسترده و حذف تمرکز تنش می شود.

الیاف FRP مقاومت کششی و مقاومت در برابر سایش را برای افزایش عمر سیلوهای بتنی به وجود می آورد. این محصول سریعتر و آسان تر از سیستم های شاتکریت اجرا می شود و وزن اضافی مربوط به ترمیم های به وسیله شاتکریت را از بین می برد.

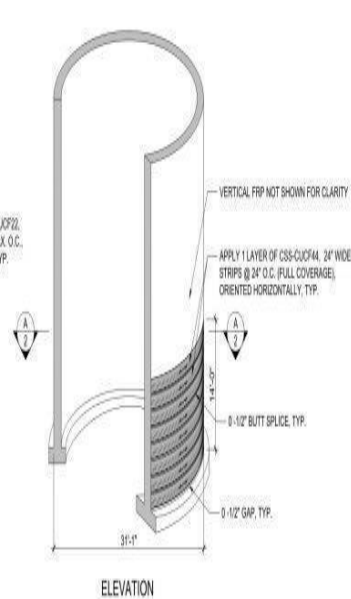
سیلوی بتن مسلح بدنه ای استوانه ای با دیواره نازک است که برای ذخیره مواد دانه ای آهن اسفنجی، اهک و غیره استفاده می شود. این سیلوها به طور گسترده ای در انبارهای مدرن صنایع سبک و غیره استفاده می شود. با این حال، به دلیل استانداردهای کم در طراحی هنگام ساخت، مصالح ساختمانی محدود، آسیب خوردگی از محیط های طبیعی و تخریب در استفاده عادی برخی سیلوهای بتنی به مرور با مشکلاتی مانند کاهش برافیت، ترک ها و آسیب های سازه ای روبرو می شوند که به طور جدی بر استفاده طبیعی از آنها تاثیر میگذارد و مسائل ایمنی خاصی را به همراه دارد. لمینت ها و الیاف کربن (CFRP) نوع جدیدی از مصالح مقاوم سازی کامپوزیت هستند.



STEP 1: VERTICAL STRIPS



STEP 2: HORIZONTAL STRIPS



۱۱- روشهای استفاده از پلیمر تقویت شده یا ( FRP ) جهت مقاوم سازی در سیلومخازن آهن اسفنجی

از جمله روش های دیگر مقاوم سازی با پلیمر تقویت شده میتوان به استفاده از الیاف پلیمر تقویت شده به صورت افقی و قائم در سراسر سیلو به همراه رزین اپوکسی جهت پر کردن ترکهای موجود روی سازه و ایجاد بستری صاف و هموار برای چسباندن الیاف پلیمر تقویت شده اشاره کرد. در این روش با محصور کردن سازه ی سیلو توسط الیاف پلیمر تقویت شده باعث افزایش ظرفیت محوری سیلو جهت تحمل فشار و نیروهای ناشی از مواد موجود در سیلو با افزایش مقاومت برشی و خمشی از ایجاد ترک ، شکست روی بدنه سیلو میتوان جلوگیری کرد. علاوه بر این الیاف پلیمری مقاوم در برابر رطوبت بوده و تقویت خارجی از خوردگی میلگرد ها جلوگیری میکند. که در این روش با اصطلاح EBR انگلیسی (Externally Reinforcement) Bonded شناخته می شود.

۱۲- راهکارمقاوم سازی سیلو آهن اسفنجی گروه ملی صنعتی فولاد ایران با الیاف پلیمری FRP

این الیاف دارای مزایای بسیاری از جمله مقاومت کششی بالا، مدول الاستیک بالا، سبک بودن، مقاومت در برابر خوردگی بال و اجرای راحت و غیره است و به طور گسترده ای در زمینه مقاوم سازی سازه های مهندسی استفاده می شود. در حال حاضر، تحقیقات در مورد مقاوم سازی با FRP در دور دنیا در حال گسترش است، اما استفاده از آن در مورد مقاوم سازی سیلوی بتنی و کارهای بتنی مسلح نسبتاً کم است.

مشکل اصلی که سیلوهای بتن مسلح سنتی با آن روبرو هستند، مسئله سایش است که میلگردهای فولادی را در معرض محیط قرار می دهد و منجر به خوردگی می شود. چالش های اضافی شامل محدودیت های استاندارد طراحی، طراحی ضعیف و خرابی ناشی از بارگذاری و تخلیه دوره ای است. راه حل های ممکن شامل مقاوم سازی بتن با مصالحی است که در معرض خوردگی نیستند، مانند پلیمرهای مقاوم سازی شده با الیاف و پلیمر تقویت شده یا FRP. نتایج این بررسی پیامدهای قابل توجهی برای مهندسان و اپراتورهای سیلوی مخازن بتن مسلح دارد، زیرا آن ها محدودیت های روش های استاندارد ساخت و نگهداری را نشان می دهند. علاوه بر این، تحقیقات راه حل های مشخصی برای کاهش خطر شکست ارائه می دهند.

پس از بررسی و مطالعه بر روی آسیبهای وارد شده به سیلو ، مخازن انبار آهن اسفنجی شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران با توجه به اینکه میلگردهای بکار رفته در بتن کاملاً نمایان و جدا شده بود همچنین رعایت نکردن استاندارد های لازم پوشش بتنی حداقل ۵ الی ۶ سانتیمتر و یکپارچه نبودن بتن ، استفاده نکردن از مواد افزودنی و مکمل ها، همچنین مهار نکردن دهانه استوانه ای مخازن با ورق یا ستون فلزی ، بتنی باعث فشار و ایجاد ترک



های عمیق گردیده است. باتوجه به یکی از خطرآفرین ترین انواع آسیب وارده به بتن، ظاهر شدن ترک است. عوامل مهم ترکها می توانند ناشی از بتن ریزی نادرست، عدم رعایت قوانین بتن ریزی در هوای گرم، ناشی از بارگذاری بیش از حد ظرفیت و یا طرح اختلاط نامناسب باشند. میزان خطر ترک، با بررسی طول، عرض و عمق آن سنجیده می شود. شکل ترک نیز بیانگر دلیل پدید آمدن آن است. با توجه به اینکه ترکهای برشی به صورت مورب با زاویه ۴۵ درجه و ترکهای خمشی به صورت قائم نمایان می شوند. نحوه ترمیم و تعمیر ترک بتن نسبت به نوع ترک متفاوت است و می توان با استفاده از ملاتهای ترمیمی پلیمری اپوکسی دو جزئی و سه جزئی ترمیم نمود بود و بازسازی شود که در ابتدا باید میلگردها با استفاده از روش های محافظتی آرماتورها مانند آند فدا شونده و یا استفاده از آستر پرایمر اپوکسی غنی شده با روی EZP™ محافظت شوند و سپس ترک های عمیق با ترمیم کننده های مناسب همچون ملات ترمیم کننده که ملات های تعمیراتی بتن بر اساس کیفیت ترمیم به دو گروه سیمانی و اپوکسی تقسیم می شوند اجرا نمود. زیرا با توجه به شرایط بسیار مهم و حساس این مخازن از مواد پایه پلیمری بتن PRO™ ۴۰۰ یا ملاتهای ترمیم کننده اپوکسی استفاده گردد زیرا یکی از ویژگی های بسیار خوبی این مواد ترمیمی این است که از مقاومت بالا در برابر واکنش های قلیایی، مقاومت بالا در برابر سایش و ضربه، مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی، سخت شدگی بدون انقباض، چسبندگی و برقراری اتصالات بسیار عالی، غیرقابل نفوذ و... برخوردار است

یا اینکه میتوان با استفاده از روش دوخت ترک بتن و با استفاده از ملاتهای ترمیمی تعمیر نمود یا با استفاده از دستگاه مخصوص پاشش (شات) بر روی سطح آسیب دیده بتن پاشیده شود. بطور کلی در تمام این مراحل لازم است که ابتدا باید سطح مورد نظر بتن کاملاً آماده سازی شود تا در صورت چسباندن الیاف پلیمری تقویت شده به راحتی از روی سطح بتن جدا نشود؛ سپس عملیات مقاوم سازی با الیاف پلیمری تقویت شده با رزین اپوکسی انجام شود. الیاف پلیمری تقویت شده میتوانند الیاف CFRP، (FRP شیشه) و یا FRP (آرامید) باشند که الیاف CFRP (کربن) به دلیل مقاومت بالاتر در برابر کشش توصیه میشود. استفاده از ژاکت FRP ضمن افزایش مقاومت برشی و خمشی با ایجاد تنش محصور شدگی مقاومت فشاری بتن نیز افزایش داده و همچنین از کماتورها جلوگیری مینماید.

## ۱۳- عملیات مقاوم سازی سیلو بتنی با الیاف پلیمری با روش EBR

روش دیگر مقاوم سازی سیلوه با استفاده از FRP ، روش NAS(Near Surface mount) است FRP در این روش می تواند میلگردهای کربن و یا شیشه و یا لمینت FRP باشد. به طور خلاصه در این روش میلگردهای کربن، شیشه ، آرامید و یا تسمه های FRP درون شیارهای تعبیه شده روی دیواره سیلو قرار گرفته و به وسیله چسب اپوکسی به دیوار متصل میشود و با افزایش ظرفیت باربری و افزایش مقاوم در برابر خمش و برش از ایجاد ترک در دیواره بتنی جلوگیری میکند.مزیت این روش نسبت به روش EBR این است که نیاز به آماده سازی سطح ندارد و پس از ایجاد شیار در دیواره تا حدی که به آرماتورهای داخلی آسیب بزند می تواند اجرا شود.

پس از مطالعه و بررسی ضعف ها و آسیب های رسیده به سیلو و انجام محاسبات مقاوم سازی سیلو با مصالح FRP تیمهای اجرایی شیارهای افقی و عمودی با فواصل منظم طبق دیتیلهای اجرایی را ایجاد کرده و با چسب اپوکسی درون آن را تا حدود نیمی از شیار پر کرده و سپس FRP درون آن کار گذاشته میشود و با چسب اپوکسی کامل شیار را پر شده و با ماله سطح دیوار را صاف میکنند.

## ۱۴- روش اجرای مقاوم سازی

پس از بررسی در سیلو های آهن اسفنجی مورد اشاره این گزارش به این نتیجه گیری خواهیم رسید که آسیب های وارده به بدنه بتنی سیلو ناشی از انفجار گازهای متصاعد شده از متریال درون سیلو می باشد. این انفجارها باعث شوک سفت و ازهم گسیختگی بدنه بتنی سیلو شده اما به آرماتورها تنشی وارد شده و امکان استفاده از آرماتورهای موجود میسر می باشد. ابتدا می بایست بتن آسیب دیده و کلیه بتن های لق و غیر قابل بارگذاری حداقل تا فاصله ۵۰ سانتی متر از هر طرف ترک ایجاد شده را برداشت سپس در صورت نیاز میلگردها زنگ زدایی یا تعویض شوند. با توجه به وضعیت مکانی محل تخریب و امکان قالب بندی و با استفاده از رزین و چسباننده های اپوکسی و ملات های ترمیمی الیافی اقدام به بازسازی بدنه بتنی سیلو کرد.



## نتیجه گیری

یکی از مهمترین برتری و مزایای سیلوهای مخازن بتنی نسبت به سیلوهای فلزی مقاومت بالای این نوع سیلو در برابر نیروهای جانبی وارد به سازه از جمله نیروی های داخلی و خارجی ، وجود بارهای زنده و مرده نیروهای میکانیکی و دینامیکی غیره است در حالی که بدنه سیلوهای فلزی پایداری کمی در برابر نیروهای جانبی دارند. در مورد سیلوهای بتنی ضخامت جداره و مقاومت آن در برابر خمش برای مقابله با این نیروها بیان شده طراحی می شوند و کاملاً در برابر نیروهای جانبی پایدار خواهند بود. پس از بررسی و کارشناسی در سیلوهای بتنی (مخازن) آهن اسفنجی مورد اشاره این گزارش به این نتیجه گیری خواهیم رسید که آسیب های وارد به بدنه بتنی این سازه و کف مخازن ناشی از انفجار گازهای متصاعد شده از متریال درون مخزن سیلو و رعایت نکردن اصول استاندارد مواد و متریال مصالح آرماتوربندی، قالب بندی ، بتن ریزی همچنین استفاده نشدن هاردوکس در کف مخزن باعث خوردگی سطح بتنی کف مخزن شده و همچنین موج انفجار عامل اصلی دخالت مسقیم در ایجاد ترک های عمیق شده و باعث گردیده که شوک سفت و از هم گسیختگی کف بدنه بتنی مخزن سیلو گردیده است. که به آرماتورها تنشی وارد شده و امکان استفاده از آرماتورهای موجود میسر می باشد. که در ابتدا می بایست بتن آسیب دیده و کلیه بتن های لق و غیر قابل بارگذاری حداقل را تا فاصله ۵۰ سانتی متر از هر طرف که ترک ایجاد شده را برداشت و با استفاده از ستون فلزی یا بتنی نصب به مهار کردن خروجی مخزن استوانه تعبیه گردد. در مراحل بعد با استفاده از مواد پلیمری FRP نسب به ترمیم و بازسازی سپس در صورت نیاز و مورد استفاده از میلگردها زنگ زدایی یا با دستورالعمل استاندارد مقررات ملی ساختمان و ایمنی بالا اقدام ترمیم و باز سازی انجام شود.

## مراجع

[۱] مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی چاپ یازدهم

[۲] کلینیک بتن ایران پودر ضد سایش

## Reference

th edition \ \ General technical specifications of construction works,  
Iran concrete clinic, anti-wear powder