

# ارزیابی آسیب پذیری سازه ها و تجهیزات شبکه برق در مقابل

## زمین لرزه

مطالعه موردی ارزیابی کمی سازه های ساختمان کنترل و سالن توربین نیروگاه سیکل ترکیبی

کازرون"

امیرحسین خلوتی، کارشناس ارشد مهندسی زلزله، شرکت متن، بخش سازه های صنعتی

khalvaty@yahoo.com

مهدی فرساد، کارشناس ارشد مهندسی زلزله، شرکت متن، بخش سازه های صنعتی

mehdi\_farsad@hotmail.com

### ۱- چکیده

تاسیسات شبکه برق بدلیل مصرف گسترده انرژی الکتریکی در صنایع مختلف، ارتباطات و مخابرات، کشاورزی، معادن و ... در زمره شریانهای حیاتی مهم قرار گرفته اند و باید در برابر حوادث غیرمترقبه خصوصاً زمین لرزه از مقاومت و ایمنی کافی برخوردار باشند زیرا تجربه زمین لرزه های گذشته نشان داده است که چنانچه پس از رویداد زلزله در یک منطقه آسیب دیدگی شبکه برق منجر به توقف عملیات امداد و نجات گردد صدمات و آسیبهای وارده و میزان تلفات چندین برابر می شود. بطور کلی ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای از دو دیدگاه کمی و کیفی صورت می پذیرد که در هر سه بخش شبکه برق از جمله تولید، انتقال و توزیع قابل بحث می باشد. در این مقاله ابتدا آسیب پذیری لرزه ای نیروگاهها بطور کلی و در ادامه سازه های فلزی سالن توربین و سازه بتنی ساختمان کنترل نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون بصورت کمی بررسی می گردد.

### ۲- مقدمه

به طور کلی نیروگاهها بسته به نوع انرژی مصرفی به انواع زیر تقسیم می شوند:  
۱- اتمی، ۲- آبی، ۳- بادی، ۴- خورشیدی، ۵- زمین گرمایی<sup>(۱)</sup>، ۶- گازی و ۷- بخاری  
از میان موارد فوق نیروگاههای اتمی و آبی ضوابط طرح لرزه ای بسیار کامل و دقیقی دارند و در طراحی آنها ملاحظات طرح لرزه ای در نظر گرفته می شود. نیروگاههای بادی، خورشیدی و زمین گرمایی نیز در ایران بسیار نادر می باشند و در شبکه برق اهمیت زیادی ندارند، لذا در این مقاله صرفاً نیروگاههای گازی و بخاری مورد ارزیابی قرار می گیرند.

## ۳- ارزیابی آسیب پذیری کیفی نیروگاهها [۱] و [۲]

### ۳-۱- نیروگاههای گازی

واحدهای نیروگاه گازی یا بصورت ثابت نصب می شوند و یا می توانند روی ریل حرکت کنند. بطور کلی توربوژنراتورها ذاتاً صلب هستند و تاکنون هیچ گونه خرابی در زلزله برای آنها گزارش نشده است، البته احتمال خرابی در تکیه گاههای توربین و عدم کفایت مهارها و بولتهای اتصال توربین به فونداسیون بتنی وجود دارد که باید در ارزیابی مدنظر قرار گیرد. با وجود این در یک نیروگاه گازی سایر موارد از جمله ساختمانهای کنترل نیروگاه، انبار، کانتینر، مخازن سوخت، قطعات غیرسازه ای در ساختمانها از جمله پانلهای کنترل باطریها و ... بسیار آسیب پذیر بوده اند که در ادامه بررسی می گردند.

### ۳-۲- نیروگاههای بخاری

نیروگاههای بخاری را به دو دسته نیروگاههای مازوتی ( یا گازوئیلی) و زغال سنگی تقسیم مینماییم. بدلیل تفاوت در نحوه فرآیند احتراق، یک نیروگاه زغال سنگی از یک نیروگاه مازوتی به همان ظرفیت بسیار بزرگتر می باشد. نیروگاههای زغال سنگی بدلیل وجود سیلوهای سنگین زغال در بالای سازه بویلر و هم چنین تسمه نقاله ها و تجهیزات انتقال زغال بسیار آسیب پذیر میباشند.

### ۳-۲-۱- توربینها

توربینها در هنگام زمین لرزه آسیبهایی متعددی می توانند ببینند که بطور عمده عبارتند از:

- خرابی یاتاقان توربین که در اثر حرکات ایجاد شده در امتداد محور توربین و خشک شدن سطح تماس و از بین رفتن روغن رخ می دهد.
- خرابی پره های توربین که در اثر حرکت طولی روتور بیش از حد مجاز و برخورد تیغه های متحرک به ثابت رخ می دهد.
- ضربه حاصل از برخورد فونداسیون توربین با کف سالن توربین که باعث خرد شدن و از بین رفتن بتن در آن موضع می شود.
- قطع برق اضطراری و انجام عمل تریپ بدون حضور روغن که به یاتاقانها شدیداً صدمه می زند.
- خارج شدن محور توربین از امتداد افقی و حالت تراز که باعث کاهش راندمان و آسیبهای جدی در دراز مدت می گردد.

- نشست نامتقارن توریین و لوله های متصل به آن که بدلیل رفتار نامناسب خاک بستر رخ می دهد و باعث شکستگی لوله ها و قطع سیمها می شود.

### ۳-۲-۲- بویلر و سازه نگهدارنده آن

بدلیل وجود تنشهای حرارتی بویلر بر سازه نگهدارنده خود به طور معلق و آویزان نصب شده است تا تغییر شکل‌های حرارتی بتوانند آزادانه رخ دهند. خرابی براکتهای داخلی بویلر و شکستگی آنها در زلزله های قبلی گزارش شده است. لوله ها و اتصالات فراوانی میان بویلر و سازه نگهدارنده آن وجود دارند و طوری طراحی شده اند که در برابر حرکات ناشی از تغییر درجه حرارت بدون وجود قید یا مانعی می توانند آزادانه حرکت کنند ولیکن در برابر حرکت شدید زمین لرزه و تغییر مکانهای جانبی زیاد آن سریعاً شکسته ، از بین می روند.

### ۳-۲-۳- لوله ها و سیستمهای سوخت رسانی

معمولاً طول خطوط لوله در نیروگاهها زیاد می باشد و لذا به جهت تامین انعطاف پذیری کافی لازم است که در مسیر لوله خمهایی به شکل U ایجاد شود تا حرکات لوله در امتداد محور خود را کنترل نماید و باعث خرابی اتصالات دو انتها نشود. در محل اتصال لوله های کوتاه و غیرانعطاف پذیر به لوله های بلندتر گسیختگی بسیار محتمل می باشد همچنین در نقاطی که لوله ها از داخل دیواره ها عبور می کنند بدلیل وجود حرکات نسبی، دیوار مانند یک گیوتین لوله را قطع می کند، لذا لوله هایی که به سازه ها متصل می شوند باید به اندازه کافی انعطاف پذیر باشند و ضمناً در محل اتصالات با رعایت جزئیات خاصی امکان حرکات نسبی ایجاد گردد.

### ۳-۲-۴- تجهیزات برقی و مکانیکی

این تجهیزات شامل موتورها، پمپها، کلیدها، پانلها و ... می باشند. تجهیزات مکانیکی در زلزله ها رفتار بسیار مناسبی داشته اند مگر آنکه در اتصالات آنها ضعفی وجود داشته باشد که باعث شود گسیختگی در همان نقطه رخ دهد.

### ۳-۲-۵- مخازن ذخیره سوخت و مایعات

در نیروگاهها معمولاً انواع مختلف مخازن ذخیره مایعات مشاهده می گردد. مخازن با کف تخت که به میزان کافی و به طور مناسبی به پایه مهار نشده است می تواند در اثر حرکات گهواره ای ایجاد شده اتصالات صلب لوله های انتقال سوخت را شکسته و از بین ببرد. این حرکت گهواره ای همچنین باعث بروز پدیده کمانش پافیلی می شود. این نوع کمانش به شکل یک برآمدگی و تحذب در اطراف و پایه مخزن بروز می کند. در این پدیده که بدلیل زنگ زدگی و خوردگی مخزن خیلی سریع باعث گسیختگی و سوراخ شدن محل اتصال و جوش دیواره به کف مخزن می گردد، تخلیه سریع محتویات سبب کاهش فشار داخلی و کمانش پوسته دیواره به سمت داخل می گردد.

یکی از موارد مهم در مخازن، جوش سرتاسری پلکان فلزی به جداره مخزن می باشد که در حرکات زلزله بدلیل سختی زیاد این ناحیه، پارگی دقیقاً در همین نقاط در جداره مخزن رخ می دهد و لذا توصیه می شود پلکان فقط در چند نقطه در ارتفاع اتصال ضعیفی به مخزن داشته باشد. مخازن کوتاه که معمولاً صلب نیز هستند در هنگام زلزله روی بستر خود لغزیده و اتصالات و لوله ها کاملاً گسیخته می شوند و لذا باید مهارهای کافی جهت اتصال مخزن به کف تعبیه شوند. درپوش مخازن یا بصورت ثابت به لبه دیواره ها جوش می شود و یا اینکه بطور لغزنده در ارتفاع حرکت می کند. در مخازن سوخت معمولاً گاز قابل اشتعالی زیر درپوش جمع می شود که با حرکات مخزن و ایجاد جرقه بدلیل اصطکاک دیواره و درپوش متحرک آن سریعاً منفجر شده و آتش سوزی شروع میشود و لذا واشرهای لاستیکی لازم در محل‌های اتصال باید تعبیه شوند. در نهایت اگر خاک زیر مخزن مستعد روانگرایی باشد نشستهای زیاد می تواند باعث گسیختگی اتصالات و لوله ها شود.

#### **۳-۲-۶- برج خنک کن**

برج‌های خنک کن معمولاً به دو صورت طبیعی (به شکل هیپربولیک) و یا مکانیکی (پنکه های خنک کننده آب) به کار می روند. تاکنون گزارشی در مورد خرابی برج‌های خنک کن طبیعی ثبت نشده است ولیکن در نوع دیگر بدلیل زنگ زدگی، خوردگی اعضا و وجود قطعات متحرک امکان آسیب پذیری وجود دارد.

#### **۳-۲-۷- خرابیهای غیر سازه ای در اجزاء ساختمانها و خرابیهای سازه ای**

در یک نیروگاه عمدتاً سازه های ساختمانی با کاربریهای متفاوتی وجود دارد که عبارتند از ساختمان کنترل، ساختمان توربین، ساختمانهای انبار، کانتینر، تلمبه خانه، اطفاء حریق و مدیریت نیروگاه که در تمام این موارد خرابیهای سازه ای و غیر سازه ای محتمل می باشد. در بررسی خرابیهای غیر سازه ای سقوط سقفهای کاذب معلق و آسیب دیدن کامپیوترها و تجهیزات زیر آنها، واژگونی قفسه ها خصوصاً در انبار و کتابخانه ها، واژگونی مانیتورها و قطع سیمها، ترکهای قطری در تیغه ها و در بعضی موارد خرابی کامل آنها، شکستن شیشه هاو ... از موارد قابل توجه میباشند. به جز ساختمانهای کنترل، خرابیهای سازه ای در نیروگاهها بسیار محدود بوده است و در مواردی که حتی منجر به خرابی یک عضو یا یک اتصال شده است، در عملکرد سیستم تأثیری نداشته و نیروگاه به تولید ادامه داده است. در اکثر موارد ساختمانهای کنترل از مصالح بنایی بدون ملاحظات طرح لرزه ای ساخته می شوند که در زلزله بسیار آسیب پذیر می باشند. در سالنهای توربین نیز معمولاً یکی از دیواره ها که جهت مقابل بویلر می باشد آزاد و بدون مهار با ارتفاع نسبتاً زیاد اجرا می گردد که در هنگام زلزله این دیوار به راحتی در امتداد عمود بر صفحه خود حرکت

کرده و یا بصورت پرتاب عرضی از صفحه خود خارج می شود. همچنین این دیوار معمولاً تکیه گاه یکی از ریل‌های جرثقیل سقفی می باشد.

#### ۴- ارزیابی آسیب پذیری کمی سازه های ساختمان کنترل و سالن توربین نیروگاه کازرون

به منظور بررسی مقاومت سازه های موجود در نیروگاه در برابر زلزله چند سازه به دلیل اهمیت و یا خرابیهای مشاهده شده انتخاب شد. این سازه ها شامل ساختمان کنترل و سالن توربین می باشد. سالن توربین یک سازه فلزی دارای سیستم باربر جانبی قاب ساده به اضافه بادبند هم محور در یک جهت و قاب خمشی در جهت دیگر است و ساختمان کنترل یک سازه بتنی با سیستم قاب خمشی می باشد. در اینجا روال طی شده برای ساختمان کنترل بررسی می شود.

##### ۴-۱- مشخصات ساختمان کنترل

ساختمان کنترل شامل چهار طبقه با احتساب همکف و زیر زمین است. دلایل انتخاب این ساختمان برای تحلیل به این ترتیب می باشد: الف) ساختمان کنترل از اهمیت زیادی برخوردار است. بخصوص بعد از وقوع زلزله، برای برقرار ماندن جریان در شبکه برق و تسهیل امر کمک رسانی ادامه کار این قسمت از نیروگاه الزامی می باشد. ب) خرابیهای مشاهده شده در اثر زلزله قبلی که دارای بزرگی متوسط بود این ذهنیت را بوجود می آورد که با توجه به لرزه خیزی محل احتمال وقوع زلزله های شدیدتر و در نتیجه خرابیهای جدی تر وجود دارد. به خصوص، با توجه به هندسه سازه و وجود ستونهای کوتاه در طبقه میانی، شکست برشی ترد در این ستونها دور از انتظار نمی باشد و احتیاج به بررسی دقیق تر دارد. بنابراین، سازه بتنی ساختمان کنترل به عنوان یکی از سازه های مورد نظر جهت ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای انتخاب شد.

##### ۴-۱-۱- آنالیز استاتیکی معادل

سازه ساختمان کنترل براساس نقشه های موجود توسط نرم افزار *Sap2000* مدلسازی شد. به منظور بررسی مقدماتی وضعیت سازه، تصمیم گرفته شد از یک روش آنالیز خطی مثل روش استاتیکی معادل آیین نامه ۲۸۰۰ استفاده شود. در این روش برش پایه براساس طیف بازتاب استاندارد ایران تعیین می شود و به نسبت حاصلضرب جرم در ارتفاع طبقات در ارتفاع توزیع می شود. کازرون در منطقه خطر نسبی زیاد زلزله قرار گرفته است. بنابراین پارامتر  $A$ ، شتاب مبنا، برای محاسبه برش پایه  $0/3$  انتخاب می شود. به دلیل مسائلی که قبلاً توضیح داده شد این ساختمان با اهمیت زیاد در نظر گرفته می شود و ضریب  $I$  برابر  $1/2$  فرض می شود. برای تعیین ضریب رفتار  $R$  لازم است بدانیم این سازه دارای کدام یک از شکل پذیریهای کم، متوسط و یا زیاد است. برای این منظور ابتدا ضوابط شکل پذیری ویژه با آیین نامه *ACI* کنترل شد. بسیاری از ستونهای سازه بعضی از این ضوابط را برآورده نمی کردند. با توجه به اینکه در

ستونهای سازه، بندهای مربوط به خاموت گذاری در نواحی بحرانی آنها مطابق ضوابط شکل پذیری زیاد نیستند، با دانستن اهمیت و نقش شکل پذیری ستونها در رفتار سازه در مقابل بار جانبی به این نتیجه می رسیم که این سازه دارای شکل پذیری زیاد نمی باشد. بنابراین در گام بعدی به بررسی ضوابط شکل پذیری متوسط می پردازیم.

ضوابط شکل پذیری متوسط نیز در بعضی از تیرها و ستونها رعایت نشده بود. در بعضی از تیرهای بام در دو طرف ستونها فاصله آرماتور عرضی بیشتر از مقدار مشخص شده در آیین نامه بود. همچنین در محل اتصالات تیر به ستون، حداقل آرماتور عرضی رعایت نشده بود. این ضابطه در مورد شکل پذیری کم هم وجود دارد.

با توجه به ضابطه تعیین شده در آیین نامه ۲۸۰۰ مبنی بر اینکه در ساختمانهای با اهمیت زیاد مجاز به استفاده از سیستم شکل پذیر کم نیستیم، و نیز نقاطی که در آن ضوابط شکل پذیری متوسط تامین نمی شود بسیار کم می باشند و در حالت مرزی قرار دارند، به منظور پیدا کردن یک دید کلی نسبت به وضعیت سازه این ذهنیت بوجود آمد که ضوابط شکل پذیری متوسط برای این سازه تامین شود و از مقدار ۸ برای ضریب  $R$  که مخصوص قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط می باشد استفاده گردد.

نتایج این بررسی نشان می دهد که ابعاد و آرماتورهای طولی تیرها و ستونها برای تحمل نیروهای وارده کافی می باشد. همینطور آرماتور برشی لازم در تیرها کمتر از مقدار موجود هستند. اما ستونهای طبقه میانی در برابر برش ظرفیتی که کنترل آن به منظور داشتن شکل پذیری متوسط الزامی می باشد مشکل دارند. این ستونها همان ستونهای کوتاهی هستند که قبلاً در مورد آن صحبت شده است. با توجه به مشکل ذکر شده و عدم ارضاء بعضی از ضوابط شکل پذیری متوسط توسط این سازه، وضعیت ساختمان کنترل نیروگاه کازرون از نظر باربری لرزه ای مشکوک به نظر می رسد و به یک تحلیل دقیق تر نیاز می باشد. لذا تصمیم به استفاده از روش دینامیکی خطی دستورالعمل FEMA گرفته شد.

#### ۴-۱-۲-۱-۴-۱-۲ ارزیابی سازه براساس FEMA356

برای ارزیابی یک سازه براساس FEMA، با توجه به روش ارزیابی، سطح خطر و سطح عملکرد مورد نظر اعضای سازه مشخص می گردد. هدفهای بهسازی در FEMA به سه دسته تقسیم می شوند: مطلوب، ویژه و محدود.

در بهسازی مطلوب، سازه در دو سطح عملکرد بررسی می شود. اول، سطح عملکرد حفظ جان تحت زلزله ۴۷۵ ساله و دوم سطح عملکرد عدم فرو ریزش تحت زلزله ۲۵۰۰ ساله. برای اعضای سازه ای سطح عملکرد حفظ جان به این معنی است که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله خرابی

در سازه ایجاد می گردد، اما میزان خرابی به اندازه ای نباشد که منجر به خسارت جانی گردد. همینطور سطح عملکرد عدم فروریزش به سطح عملکردی اطلاق می گردد که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله خرابی گسترده در سازه ایجاد گردد، اما ساختمان فرونریزد و تلفات جانی به حداقل برسد. همچنین زلزله ۴۷۵ ساله به زلزله ای اطلاق می شود که احتمال فراگذشت آن در ۵۰ سال ۱۰٪ باشد. این مقدار برای زلزله ۲۵۰۰ ساله به ۲٪ در ۵۰ سال می رسد [۳].

برای ارزیابی سازه ساختمان کنترل نیروگاه کازرون روش بهسازی مطلوب که متعارف می باشد در نظر گرفته می شود. در گام اول این روش، به یک مدل کامپیوتری جهت تحلیل سازه نیاز داریم. به این منظور، از همان مدل ساخته شده توسط Sap2000 استفاده می شود، با این تفاوت که سختی اعضا طبق FEMA356 برای مقاطع ترک خورده به ترتیب زیر اصلاح می شود: سختی خمشی تیرها و ستونها (به دلیل اینکه بار ثقلی کمتری از  $0.3A_g f'_c$  دارند) در عدد  $0.5$  ضرب می شود و سختی محوری ستونها هم به همان دلیل ذکر شده و نزدیک بودن رفتار آنها به رفتار خمشی برابر  $E_s A_s$  فرض می گردد. در این عبارات  $A_s$  نشانگر مساحت آرماتور طولی در ستون،  $E_s$  مدول الاستیسیته فولاد،  $A_g$  مقطع کل ستون و  $f'_c$  مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن می باشد.

ترکیبات بارگذاری نیز بر اساس دستورالعمل FEMA356 به صورت زیر اصلاح می شود:

$$Q_U = Q_G + Q_E$$

که در آن  $Q_E$  بار زلزله است که به کمک طیف ویژه ساختگاه نیروگاه بدست می آید<sup>(۱)</sup> و  $Q_G$  بارهای ثقلی هستند که در حالتی که هم جهت با بارهای زلزله عمل می کنند به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$Q_G = 1.1 (Q_D + Q_L + Q_S)$$

و در حالتی که در خلاف جهت بارهای زلزله عمل می کنند به این صورت محاسبه می شوند:

$$Q_G = 0.9 Q_D$$

در این عبارات  $Q_D$  نشانگر بار مرده،  $Q_L$  بار زنده، مساوی  $0.25$  برابر بار زنده طراحی کاهش نیافته و یا بار زنده موجود، هر کدام که بیشتر باشد و  $Q_S$  بار موثر برف می باشد. ضمناً اثرات پیچش نیز با در نظر گرفتن  $30\%$  نیروی زلزله در جهت قائم اعمال می شود.

در گام دوم، جهت تعیین نیاز شکل پذیری اعضا نسبت نیروی موجود به مقاومت عضو را برای نیروهای مختلف از قبیل نیروی محوری، ممان و برش، جداگانه محاسبه می کنیم. نیروی وارد بر اعضا همانطور که در بالا توضیح داده شد توسط نرم افزار محاسبه می شود. ظرفیت اعضا نیز طبق روابط آیین نامه ACI محاسبه می گردد با این تفاوت که ضریب کاهش مقاومت برابر  $1/0$

۱- این طیف طبق مطالعات انجام شده در بخش سازه های صنعتی شرکت متن به دست آمده است.

در نظر گرفته می شود. همچنین برای بازتابهایی که تغییر مکان کنترل کننده است، مقاومت بتن و فولاد به ترتیب در ضرایب  $1/5$  و  $1/25$  ضرب می شود. این ضرایب به دلیل سخت شدگی کرنشی فولاد و اضافه مقاومت بتن اعمال می شود. علاوه بر اینها مقاومت اعضاء در یک ضریب به اسم ضریب آگاهی ( $K$ ) ضرب می شود که براساس نحوه اجرا و شرایط موجود ساختمان و آزمایشاتی که انجام می شود تعیین می گردد. این ضریب بین  $0/75$  تا  $1/0$  متغیر است و هرچه شرایط موجود سازه بدتر باشد،  $K$  کمتر می شود. در ارزیابی سازه ساختمان کنترل ضریب آگاهی برابر  $0/75$  در نظر گرفته میشود. در دستورالعمل  $FEMA356$  الزام شده است که در صورت وجود یکی از دلایل زیر ضریب آگاهی برابر  $0/75$  فرض شود:

۱- در ارزیابی سازه متوجه آسیب یا کاهش مقاومت در اعضا شده باشیم و آزمایشی هم انجام نگیرد.

۲- خواص مکانیکی اعضا دارای ضریب تغییرات  $25\%$  و یا بیشتر باشند.

۳- اعضاء، کهنه و قدیمی و یا اختصاصی باشند و شرایط آن مشخص نباشد.

در بازدیدی که از سازه انجام شده بود، ترکهای زیادی در محل اتصال تیر و ستونها مشاهده شد. با توجه به این مورد و اینکه هیچ آزمایشی به منظور ارزیابی مقاومت اعضاء انجام نشده بود، همینطور براساس الزامات دستورالعمل  $FEMA356$ ، مقدار  $0/75$  بهترین انتخاب برای ضریب آگاهی می باشد.

به این ترتیب تمام مقادیر لازم جهت محاسبه  $DCR^{(1)}$  مشخص می شوند و توسط یک برنامه که از فایل های ورودی و خروجی  $Sap2000$  استفاده و با توجه به بحثهای بالا ظرفیت اعضاء را محاسبه می کند، مقادیر  $DCR$  برای تمام نیروها در سه مقطع برای هر عضو محاسبه می گردد. این پارامتر معرف نسبت نیاز به ظرفیت اعضا برای بازتابهای مختلف می باشد.

مورد استفاده  $DCR$  به این ترتیب است که اگر کوچکتر از  $2/0$  باشد نیاز شکل پذیری کم، بین  $2/0$  و  $4/0$  باشد نیاز شکل پذیری متوسط و اگر بزرگتر از  $4/0$  باشد نیاز شکل پذیری زیاد میباشد. بنابراین هر کدام از اعضاء برای هر یک از نیروهایش، در هر محدوده ای از  $DCR$  قرار گرفت، باید ضوابط شکل پذیری مربوط به آن را ارضا کند.

در سازه ساختمان کنترل نیروگاه کازرون  $DCR$  برای هیچ عضوی بزرگتر از  $4/0$  نمی باشد. برای تمامی اعضایی که  $DCR$  بحرانی آنها بین  $2/0$  و  $4/0$  است ضوابط شکل پذیری متوسط برآورده می شود. به جز یکی از تیرهای بام که دارای  $DCR$  برابر  $2/5$  می باشد و ضابطه ای از آیین نامه را مبنی بر وجود حداقل آرمانتور فشاری به اندازه  $1/3$  آرمانتور کششی برآورده نمی کند. سه تیر دیگر



نیز در تراز بام این ضابطه را ارضاء نمی کنند، اما به دلیل داشتن DCR کمتر از ۲/۰ نیازی به ارضای آن ندارند. در ضمن در اکثر اتصالات تیر به ستون، حداقل آرما تور عرضی مورد نیاز تلمین نشده است. برای تحلیل و بررسی کامل و دقیق تر سازه، لازم است در آخرین مرحله این کار، ظرفیت و نیروهای اعضا، با تقسیم بازتابها به جابجایی-کنترل و نیرو کنترل بدست آید. اولین مرحله برای انجام این کار تقسیم بازتابهای اعضا به جابجایی-کنترل و نیرو-کنترل است. طبق دستورالعمل FEMA356 برای قاب خمشی بتنی، ممان در تیرها و ستونها جابجایی-کنترل و نیروی محوری و برش نیرو-کنترل هستند. تفاوت نحوه رفتار با نیروها برای این دو دسته به این ترتیب است که ظرفیت های نیرو کنترل دقیقاً برابر ظرفیت محاسبه شده در قسمت قبلی است، اما در ترکیب بارهای وارده قسمت بار لرزه ای به یک پارامتر کاهش به اسم  $J$  تقسیم می شود. این پارامتر بسته به لرزه خیزی محل از کم تا زیاد، بین ۱/۰ تا ۲/۰ تغییر می کند. با توجه به طیف ساختگاه ۴۷۵ ساله بدست آمده برای نیروگاه و مقایسه  $PGA$  آن با طیف استاندارد ایران، به این نتیجه می رسیم که این نیروگاه در بخش لرزه خیزی زیاد قرار دارد که منجر به انتخاب  $J=2$  میگردد. اما در مورد بازتابهایی که تغییر مکان-کنترل هستند وضعیت به این ترتیب است که نیروهای وارده دقیقاً مانند قسمت قبل محاسبه می شود، ولی ظرفیتها در یک ضریب افزایشی به اسم  $m$  ضرب می گردد. این ضریب به عضو اجازه ورود به محدوده غیرخطی را می دهد و به عوامل مختلفی از جمله مقدار آرما تور طولی کششی و فشاری، آرما تور عرضی، نیروی برشی و نیروی محوری بستگی دارد. همینطور سطح عملکردی که سازه برای آن چک می شود در تعیین این ضریب موثر است. تاثیر این عوامل به این ترتیب است که هر چه سطح عملکرد بالاتری برای سازه در نظر گرفته شود و هر چه نیروی برشی، و مقدار آرما تور کششی منهای آرما تور فشاری کمتر باشد ضریب  $m$  بیشتر خواهد شد. ضمناً عدم رعایت حداکثر فاصله مجاز بین آرما تورهای عرضی و عدم تلمین حداقل  $3/4$  برش موجود توسط این آرما تورها باعث کاهش مقدار  $m$  می شود.

بدین ترتیب نیاز کلیه اعضای سازه و ظرفیت آنها در برابر نیروهای مختلف محاسبه می گردد و ابزار کامل جهت نتیجه گیری نهایی بدست می آید. بدین ترتیب که هر کجا که نیاز از ظرفیت بیشتر باشد، عضو به تقویت احتیاج دارد. نتایج بدست آمده از این قرار است که در سطح عملکرد حفظ جان تحت زلزله ۴۷۵ ساله، یکی از تیرهای بام از نظر مقاومت در برابر برش موجود و برش ظرفیتی مشکل دارد، طوریکه نسبت نیاز به ظرفیت برابر ۱/۱ می باشد. در بقیه تیرها هیچ مشکلی مشاهده نمی گردد.

در ستونها نیز در همین سطح عملکرد و زلزله مشاهده می شود که ۶ ستون، شامل ستونهای طبقه میانی، که همان ستونهای کوتاه می باشند، در دو طرف طول ساختمان در برابر برش ظرفیتی

مشکل دارند و به تقویت نیاز دارند. بقیه ستونها در برابر نیروهای وارده مشکلی از خود نشان نمی دهند.

اما در بررسی سطح عملکرد عدم فروریزش تحت زلزله ۲۵۰۰ ساله، مشکلات قبلی در همان محل و در برابر همان نیروها وجود دارند. علاوه بر آن، در ۴ ستون از همان ۶ ستونی که در برابر برش ضعف داشتند، مشاهده می شود که نیاز اندرکنش ممان و نیروی محوری بیشتر از ظرفیت این ستونها می باشد.

بنابراین، با توجه به نتایج بدست آمده، در میان تمامی اعضاء سازه، یک تیر در برابر برش، ۶ ستون در برابر برش ظرفیتی و ۴ عدد از همین ستونها در برابر اندرکنش ممان و نیروی محوری مشکل دارند و باید تقویت شوند. این ستونها، همان ستونهای کوتاه با ارتفاع ۱/۶ متر هستند که از ابتدای امر احتمال ضعف برشی در آنها داده می شد.

#### **۴-۲- سازه سالن توربین**

علاوه بر ساختمان کنترل، سازه سالن توربین نیروگاه کازرون نیز به منظور ارزیابی مقاومت لرزه ای آن کنترل شد. این کنترل برای این سازه شامل یک آنالیز استاتیکی معادل طبق آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد. بارهای وارده به این سازه نیز طبق نقشه های موجود و بازدیدی که از محل انجام شد به آن اعمال شدند. وزن تمام تجهیزات روی بام به طور دقیق محاسبه گردیده، به صورت بار گسترده اعمال شدند. نتیجه این تحلیل نشان می دهد که تیرها و ستونها هیچ مشکلی ندارند و دارای نسبت تنشهایی بین ۰/۵ تا ۰/۹ می باشند. بعضی از بادبندهای موجود در بالاترین تراز در محل اتصال دو بام بالا و پایین ضوابط مربوط به کماتش محلی (نسبت عرض به ضخامت) را تامین نکرده اند و در زلزله رخ داده دقیقاً همین بادبندها کماتش کرده اند. اما با در نظر گیری این عدم ارضاء ضابطه و کاهش تنش مجاز فشاری بادبندها، بازهم تنش مجاز فشاری بیشتر از تنش وارده می باشد. در این سازه مشکل دیگری مشاهده نمی شود.

بنابراین پیشنهاد می شود بادبندهای کماتش کرده تعویض شوند و بقیه بادبندی های لاغر نیز در برابر کماتش محلی تقویت شوند.

#### **۵- مراجع**

1-Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA356, Nov. 2000.

2-Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminour united states, FEMA 224, 1991.

3-Guid to improved earthquake performance of electric power systems, National institute of standards and technology, Nist GCR 98-757, U.S. Dept. of Commerce.