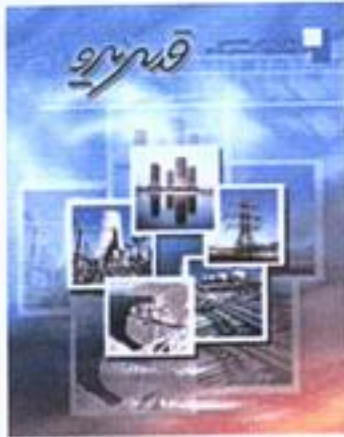


# قلمرو

نشریه فنی تخصصی  
شماره ۱۸۵ - تابستان ۱۳۸۵





مدیر مسئول: مهندس احمد شکوری راد  
سر دبیر: مهندس فتنه دوستدار  
طراحی: واحد طراحی و تبلیغات

با تشکر از همکاری آقایان:

- |    |  |  |
|----|--|--|
| ۱  | معرفی  | • مهندس احمد اهرابی                              |
|    | هماهنگی رله‌های دیستانس در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع | • مهندس حسین بختیاری زاده                        |
| ۲  | باتوجه به نوسانات توان - مهندس سید علی محمد جوادیان    | • مهندس احمد فریدون درافشان                      |
| ۱۴ | انرژی ژئوترمال و کاربردهای آن - مهندس امیر مقصودی      | • مهندس علی شاه حسینی                            |
|    | پایه‌های اینترنتی اتوماسیون در صنعت برق - مهندس        | • دکتر همایون صحیحی                              |
| ۲۶ | محمدامین سراجیان                                       | • مهندس منصور قزوینی                             |
|    | استفاده از آب دریا جهت مصارف آب آتش نشانی و انتخاب     | • مسعود نجمی                                     |
| ۳۵ | لوله‌های مناسب - مهندس ساناژ اسد کرمی                  | ازمدیر و همکاران محترم امور پشتیبانی سپاسگزاریم. |
| ۴۲ | برجهای خنک کن بتنی - مهندس نرگس علیرمایی               |  |
|    | شش سیگما (Six Sigma)، گزاره نوین و اثربخش مدیریت       |  |
| ۵۶ | کیفیت - صابر یاهو                                      |  |

هیأت تحریریه:

مهندس پورنگ پاینده، مهندس حسن تفرشی،  
مهندس مسعود حبیب‌آزاده، مهندس جواد  
خضرائی، مهندس فتنه دوستدار، مهندس محمد  
ابراهیم رئیسی، مهندس محمد حسن زرگر  
شوشتری، مهندس محمود زواری، مهندس فرهاد  
شاهمنصوریان، مهرداد صارمی، دکتر همایون  
صحیحی، مهندس غلامرضا صفارپور، دکتر جعفر  
عسگری، مهندس نرگس علیرمایی، مهندس  
امیرهمایون فتیحی، مهندس علی‌اصغر کسانیان،  
مهندس وحید مرتضوی، مهندس محمدیحیی  
نصرالهی، مهندس محمدرضا نصرالهی، مهندس  
پهروز هنری.

این نشریه از طریق اینترنت قدس‌نیرو نیز در دسترس  
علاقتمندان می‌باشد.

ارتباط مستقیم با مقاله‌دهندگان از طریق Email یا فاکس  
آنان در انتهای هر مقاله و همچنین ارائه نظرات، پیشنهادات  
و سؤالات احتمالی خوانندگان گرامی از طریق اینترنت  
قدس‌نیرو و یا شماره تلفن نشریه ۸۸۴۴۲۴۸۲ امکان‌پذیر  
می‌باشد.

از خوانندگان محترمی که مایل به ارسال مقاله برای نشریه می‌باشند تقاضا می‌شود موارد ذیل را رعایت فرمایند:

- موضوع مقاله در چارچوب اهداف نشریه و در ارتباط با صنعت آب، برق، نفت و گاز و پتروشیمی باشد.
- مقاله‌های تألیفی یا تحقیقی مستند به منابع علمی معتبر و مقاله‌های ترجمه شده منضم به تصویر اصل مقاله باشد.
- مقاله ارسالی بر روی یک کاغذ A4 و با خط خوانا و یا تایپ شده و شکل‌ها، عکس‌ها، نمودارها و جداول کاملاً واضح و قابل استفاده و حتی‌الامکان به روش گرافیک کامپیوتری ارائه گردد.
- توضیحات و زیرنویس‌ها به صورت مسلسل شماره‌گذاری شده و در پایان هر مقاله ذکر شوند.
- نشریه در تلخیص، تکمیل، ادغام و ویرایش مطالب مقالات آزاد است.
- مقاله دارای چکیده، مقدمه، نتیجه‌گیری و لیست مراجع بوده، به همراه رزومه مختصری از صاحب مقاله ارائه گردد.
- مقاله ارسالی قبلاً در نشریه دیگری چاپ نشده‌باشد.
- موارد فوق‌الذکر برای دریافت مقاله از علاقمندان خارج از قدس‌نیرو نیز برقرار می‌باشد.

# هماهنگی رله‌های دیستانس در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع با توجه به نوسانات توان

سید علی محمد جوادیان

کارشناس مطالعات سیستم - معاونت مهندسی شبکه‌های انتقال و توزیع

## چکیده:

حفاظت از خطوط انتقال انرژی در برابر خطاهای محتمل در سیستم قدرت یکی از مباحث مهم مهندسی برق است و با توجه به اینکه رله‌های دیستانس نقش اصلی را در این رابطه ایفا می‌کنند، لذا هماهنگی این رله‌ها یکی از پرتأثیرترین موضوعات در بهبود وضعیت سیستم‌های قدرت می‌باشد. در این مقاله سعی شده است که با مقایسه الگوریتم‌های مختلف ارائه شده برای هماهنگی رله‌های دیستانس و با بررسی همه جانبه آنها، الگوریتم کامل و جامعی برای حل مسأله هماهنگی رله‌های دیستانس و با در نظر گرفتن تمام شرایط ارائه گردد. در این الگوریتم تنظیمات رله دیستانس برای زونهای اول، دوم و سوم، اعم از تنظیمات امیدانس و زمان عملکرد رله محاسبه شده است. همچنین در این الگوریتم به تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس توجه ویژه‌ای شده است و برای تنظیم آن علاوه بر محاسبات امیدانس حداقل بار، نوسانات توان در سیستم قدرت نیز مورد توجه قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها:

رله دیستانس، حفاظت خط، هماهنگی بهینه، نوسان توان

## ۱- مقدمه

حفاظت سیستم‌های قدرت از سال ۱۹۴۰ در سطح وسیعی مورد توجه مهندسين برق قرار گرفت [۱]. همچنین استفاده از کامپیوتر و روش‌های کامپیوتری برای حل مسأله هماهنگی رله‌های دیستانس و جریان زیاد در سیستم قدرت از سال ۱۹۶۰ تا کنون مورد توجه ویژه قرار گرفته است [۲].

خطوط انتقال و توزیع انرژی الکتریکی نقش بسیار مهمی را در پایداری شبکه‌های قدرت بازی می‌کنند و وظیفه آنها برقراری ارتباط الکتریکی بین تولیدکننده‌های انرژی (ژنراتورها) و مصرف‌کنندگان (مشترکین) است [۳، ۴]. لذا هرگونه اختلال در شبکه انتقال و توزیع انرژی ممکن است باعث قطع ارتباط بین تولیدکننده و

مصرف‌کننده و در نتیجه آن بی‌برقی و در موارد حاد ناپایداری کل سیستم قدرت شود [۱۴]. علاوه بر این تجهیزاتی که در سیستم‌های قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرند، از جمله خطوط انتقال انرژی، بسیار با ارزش و گران قیمت هستند [۱۲]. لذا حفاظت از آنها در برابر خطاهایی که محتمل می‌باشند، هر قدر هم احتمال بروز آنها کم باشد توجیه اقتصادی داشته و قابل اجرا می‌باشد. [۱۰] برای حفاظت از سیستم انتقال شبکه‌های قدرت، به خصوص خطوط انتقال در سطوح ولتاژ بالا استفاده از رله دیستانس به دلیل دقت، انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان بالا، به رله‌های دیگر ترجیح داده می‌شود [۵، ۶].

در ادامه به مدلسازی رله دیستانس اشاره خواهد شد، سپس الگوریتم جامع هماهنگی بین رله‌های



دیستانس شرح داده می شود که در آن مسأله افزایش جریان بار و همچنین همپوشانی بین نواحی دوم و سوم رله های اصلی و پشتیبان نیز در نظر گرفته شده است. پس از آن ملاحظات نوسان توان الگوریتم اعمال شده، اثرات آن بر روی امنیت سیستم حفاظت بررسی می شود و مقیاس هایی برای حل مشکل نوسان توان ارائه می گردد. در خاتمه نیز برای تشریح، الگوریتم ارائه شده بر روی یک سیستم دو ناحیه ای پیاده سازی شده است.

## ۲- مدلسازی رله دیستانس

هر رله دیستانس را می توان با حداقل ۳ ناحیه<sup>۱</sup> عملکرد و زمان تأخیر عملکرد بین هر ناحیه (TDS) به طور کامل مدلسازی نمود. زمان تأخیر نواحی دوم و سوم باید طوری محاسبه شوند که کلیه خطاهای داخل ناحیه در حداکثر تأخیر مجاز پاکسازی شوند ( $T_{DMax}$ ). همچنین برای هماهنگی رله ها در سیستم قطع متوالی نیاز به یک زمان تأخیر بین رله اصلی و پشتیبان می باشد که به آن مینیمم زمان تأخیر ( $T_{DMin}$ ) گفته می شود. به طور معمول حداقل زمان تأخیر مجاز در حدود ۰/۳ ثانیه و حداکثر مقدار آن ۴ ثانیه است.

برای هماهنگی کامل، سیستم به محاسبه امپدانس های تنظیمی برای سه ناحیه عملکرد و همچنین تنظیمات تایمر برای هر کدام از رله ها نیاز دارد.

تنظیم امپدانس هر رله باید به گونه ای باشد که حتی برای حالت سه پایانه ( یعنی حالتی که خط دارای تیاف باشد ) نیز هماهنگی بین رله ها برقرار باشد و هیچ گونه کاهش یا افزایش بردی رخ ندهد.

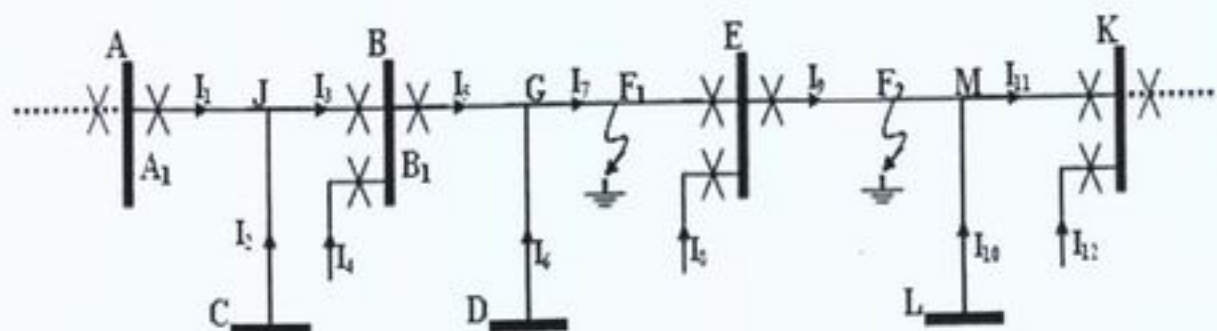
زمان عملکرد در ناحیه اول آنی و در نواحی دوم و سوم با یک تأخیر زمانی نسبت به ناحیه قبل تنظیم می شود.

در ادامه الگوریتم تنظیم نواحی سه گانه رله دیستانس را برای شبکه قدرت نشان داده شده در شکل (۱) تشریح می کنیم.

### ۱-۲- تنظیم ناحیه اول رله های دیستانس

در شبکه قدرت نشان داده شده در شکل (۱) ناحیه اول رله دیستانس  $A_1$  به عنوان حفاظت اصلی برای خطوط AB و AC بکار رفته است. برای اینکه ناحیه اول رله  $A_1$  بتواند این خط سه پایانه را به درستی پوشش دهد بایستی امپدانس آن مطابق رابطه (۱) تنظیم شود :

$$Z_1(A_1) = K_{Z_1} \times \text{Min}\{Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(A_1, B), Z_A(A_1, C)\} \quad (1)$$



شکل (۱): قسمتی از یک شبکه قدرت

که در آن :

$Z_n(m)$  : امپدانس تنظیمی ناحیه  $n$  ام رله  $m$

$Z_{ij}$  : امپدانس واقعی بین دو شین  $i$  و  $j$

$K_{Z1}$  : ضریب تنظیم است و مقدار آن بین  $0.8$  تا  $0.9$  می باشد

$Z_A(m, F)$  : امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله  $m$  به ازای خطا در ناحیه  $F$

در صورتیکه خط اصلی دو پایانه باشد، امپدانس تنظیمی رله برابر است با :

$$Z_1(A_1) = K_{Z1} \times Z_{AB}$$

و زمان عملکرد ناحیه اول آنی می باشد.

مقدار ضریب تنظیم  $K_{Z1}$  برای اجتناب از عملکرد نادرست رله و در مصالحه با حفظ امنیت سیستم حفاظت، کمتر از یک ولی نزدیک به آن انتخاب می شود.

مقدار امپدانس تنظیمی برای ناحیه اول رله دیستانس با مشخصه مهو (MHO) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود :

$$Z_{set1} = \frac{Z_1(A_1)}{\cos(\beta - \alpha_1)} \quad (2)$$

که در آن :

$\beta$  : حداکثر زاویه گشتاور رله  $A_1$

$\alpha_1$  : زاویه امپدانس  $Z_1(A_1)$

## ۲-۲- تنظیم ناحیه دوم رله های دیستانس

ناحیه دوم هر رله دیستانس می تواند بین یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر تنظیم شود. مقدار حداقل مقداری است که اگر ناحیه دوم رله دیستانس بر روی آن تنظیم شود، حتماً کلیه شینه های دور رله، توسط این رله مورد حفاظت واقع شوند.

با توجه به مطالب فوق، مقدار حداقل ناحیه دوم رله  $A_1$  در شکل (۱) برابر است با :

$$Z_{2min}(A_1) = K_{Z2} \times \text{Max}\{Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(A_1, B), Z_A(A_1, C)\} \quad (3)$$

مقدار ضریب  $K_{Z2}$  را برای اطمینان از پوشش کامل شینه های دور رله قرار می دهند و مقدار آن را معمولاً بین  $1/1$  و  $1/3$  انتخاب می نمایند.

مقدار حداکثر تنظیم ناحیه دوم، مقدار امپدانس است که اگر ناحیه دوم رله برابر آن تنظیم شود، ناحیه دوم این رله با ناحیه دوم هیچکدام از رله های خطوط مجاورش تلاقی نداشته باشد. به عنوان مثال اگر در شکل (۱) برد ناحیه اول رله  $B_1$  تا نقطه  $F_1$  باشد، ناحیه دوم رله  $A_1$  حداکثر تا این نقطه را می تواند حفاظت کند. بنابراین حداکثر امپدانس که می توان ناحیه دوم رله  $A_1$  را برابر آن تنظیم نمود مساوی امپدانس ظاهری رله  $A_1$  تا نقطه  $F_1$  می باشد و در صورت انتخاب مقادیر بزرگتر از این مقدار، میان نواحی دوم رله های  $A_1$  و  $B_1$  تلاقی ایجاد می شود و در نتیجه هماهنگی بین این دو رله از بین می رود. البته در صورتی که مجبور شویم ناحیه دوم رله دیستانس  $A_1$  را بیشتر از نقطه  $F_1$  تنظیم کنیم، باید زمان عملکرد ناحیه دوم آن را بیشتر از زمان عملکرد ناحیه دوم رله  $B_1$  قرار دهیم.

با توجه به مطالب ذکر شده، حداکثر مقدار امپدانس ظاهری ناحیه دوم رله  $A_1$  با فرض وقوع یک خطای اتصال کوتاه سه فاز متقارن در نقطه  $F_1$  برابر است با :

$$Z(A_1, F_1) = Z_M + Z_{AB} \left( \frac{I_3}{I_1} \right) + Z_{BC} \left( \frac{I_5}{I_1} \right) + Z_{GF1} \left( \frac{I_7}{I_1} \right) \quad (4)$$

رابطه (۴) فقط برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن صادق است و برای انواع دیگر اتصالی باید از روابط مربوطه استفاده کرد.

اگر رله  $A_1$  تنها دارای یک رله اصلی باشد مقداری که از رابطه (۴) بدست می آید، حداکثر مقدار امپدانس تنظیمی ناحیه دوم رله  $A_1$  می باشد، اما چنانچه رله های اصلی دیگری نیز وجود داشته



باشند، باید رابطه (۴) را برای این رله با تک تک رله‌های اصلی نوشت.

این کار را برای حالتی که خط با بیشترین جریان متصل به شین B قطع شود، تکرار نموده و از میان مقادیر بدست آمده، کوچکترین مقدار را که با  $Z_{2m}$  نمایش می‌دهیم، به عنوان حداکثر امپدانس تنظیمی ناحیه دوم رله  $A_1$  انتخاب می‌نماییم. دلیل انتخاب کوچکترین مقدار اینست که محدوده عملکرد ناحیه دوم رله  $A_1$  هیچگاه نباید از نقطه  $F_1$  متناظر با هر رله اصلی، فراتر رود تا هماهنگی بین این رله و همه رله‌های اصلی اش حفظ شود.

برای اطمینان بیشتر از عدم تلاقی بین ناحیه دوم رله  $A_1$  با رله‌های اصلی و با توجه به خطاهای موجود در ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان، ضریب اطمینان  $S_{Z2}$  را در نظر می‌گیریم. در این صورت حداکثر مقدار امپدانس تنظیمی ناحیه دوم رله  $A_1$  چنین خواهد شد:

$$Z_{2Max}(A_1) = S_{Z2} \times Z_{2m} \quad (5)$$

مقدار ضریب اطمینان  $S_{Z2}$  را معمولاً بین ۰/۸ تا ۰/۹ در نظر می‌گیرند.

با توجه به مقادیر حداکثر و حداقل بدست آمده برای امپدانس تنظیمی ناحیه دوم رله، تنظیم نهایی رله با توجه به یکی از حالت‌های زیر انجام می‌شود:

(۱) اگر  $Z_{2Min}(A_1) < Z_{2Max}(A_1)$  باشد، ناحیه دوم رله را بر روی  $Z_{2Max}(A_1)$  تنظیم می‌کنیم و با این کار مطمئن هستیم که علاوه بر حفاظت شینه‌های دور رله، قسمت زیادی از خطوط مجاور نیز توسط ناحیه دوم این رله حفاظت می‌شود.

(۲) اگر  $Z_{2Min}(A_1) > Z_{2Max}(A_1)$  باشد، در تنظیم ناحیه دوم رله دچار مشکل می‌شویم زیرا

از یک طرف نمی‌توان مقداری بیشتر از  $Z_{2Max}$  ( $A_1$ ) را برای تنظیم رله برگزید و از طرف دیگر نباید مقدار تنظیم شده کمتر از  $Z_{2Min}(A_1)$  باشد. برای حل این مشکل یکی از راه‌های زیر انتخاب می‌شود:

الف- تنظیم ناحیه دوم رله را بر روی  $Z_{2Max}(A_1)$  قرار می‌دهیم. با این کار ممکن است حفاظت شینه‌های دور رله  $A_1$  توسط این رله انجام نگیرد اما مطمئن هستیم که رله هیچگاه افزایش برد پیدا نکرده و ناحیه دوم آن با ناحیه دوم رله‌های اصلی اش تداخل نمی‌نماید.

ب- تنظیم ناحیه دوم رله را بر روی  $Z_{2Min}(A_1)$  قرار می‌دهیم و برای اینکه بین ناحیه دوم رله  $A_1$  با ناحیه دوم رله‌های اصلی اش تلاقی ایجاد نگردد، زمان تأخیر ناحیه دوم رله  $A_1$  را بیشتر از زمان عملکرد رله اصلی اش قرار می‌دهیم.

ج- ناحیه دوم رله خط یا خطوطی که این شرط را دارند را روی  $Z_{2Max}(A_1)$  تنظیم نموده و از رله پایلوت استفاده می‌کنیم. با این کار رابطه  $Z_{2Min}(A_1) < Z_{2Max}(A_1)$  برقرار می‌شود.

برای تنظیم زمان عملکرد ناحیه دوم، ابتدا زمان عملکرد ناحیه دوم کلیه رله‌ها را بر روی کمترین مقدار تنظیم می‌کنیم. در صورتی که در مراحل تنظیم امپدانس به وضعیت دوم رسیدیم و از راه حل (الف) استفاده کردیم، می‌بایست زمان عملکرد ناحیه دوم این رله را افزایش دهیم.

مقدار امپدانس تنظیمی برای ناحیه دوم رله دیستانس با مشخصه مهو (MHO) با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$Z_{set2} = \frac{Z_2(A_1)}{\cos(\beta - \alpha_n)} \quad (6)$$

### ۲-۳- تنظیم ناحیه سوم رله‌های دیستانس

امپدانس تنظیمی ناحیه سوم نیز مانند امپدانس تنظیمی ناحیه دوم می‌تواند بین یک مقدار حداقل



و یک مقدار حداکثر انتخاب شود. مقدار حداقل را باید به گونه‌ای برگزید که کوتاهترین خط مجاورش را حفاظت کند. این مقدار برای رله  $A_1$  در شکل (۱) برابر است با :

$$Z_{3m}(A_1) = K_{Z3} \times \text{Max}\{Z_{AE}, Z_{AD}, Z_A(A_1, E), Z_A(A_1, D)\} \quad (7)$$

مقدار ضریب  $K_{Z3}$  را برای اطمینان از پوشش کامل کوتاهترین خط مجاور رله قرار می‌دهند و مقدار آن را معمولاً بین ۱/۱ و ۱/۳ انتخاب می‌نمایند.

مقدار حداکثر امپدانس تنظیمی رله باید به گونه‌ای باشد که ناحیه سوم رله  $A_1$  با ناحیه سوم رله‌های اصلی‌اش تداخل نداشته باشد. همچنین مقدار حداکثر امپدانس ناحیه سوم باید به گونه‌ای انتخاب شود که به ازای بیشترین مقدار بار به کار نیفتد. جریان بار عموماً بسیار کمتر از جریان اتصال کوتاه است و رله امپدانس بزرگی را به هنگام عبور این جریان از محل رله می‌بیند و عمل نخواهد کرد. در صورتی که جریان بار زیاد باشد، امپدانس بار کم می‌شود و ممکن است باعث عملکرد ناحیه سوم رله شود. به همین علت باید جریان بار را در تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس در نظر گرفت.

به عنوان مثال برای بدست آوردن حداکثر امپدانس تنظیمی ناحیه سوم رله  $A_1$  در شکل (۱)، فرض می‌کنیم که نقطه  $F_2$  مرز عملکرد نواحی دوم و سوم رله  $B_1$  باشد. در این صورت ناحیه سوم رله  $A_1$  حداکثر می‌تواند تا این نقطه را حفاظت کند. حداکثر امپدانس ظاهری رله  $A_1$  تا نقطه  $F_2$  برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن عبارتست از :

$$Z(A_1, F_2) = Z_{AF} + Z_{FB}\left(\frac{I_3}{I_1}\right) + Z_{BC}\left(\frac{I_3}{I_1}\right) + Z_{CG}\left(\frac{I_3}{I_1}\right) + Z_{GF}\left(\frac{I_3}{I_1}\right) \quad (8)$$

رابطه (۸) فقط برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن صادق است و برای انواع دیگر اتصالی باید از روابط مربوطه استفاده کرد.

اگر رله  $A_1$  تنها دارای یک رله اصلی باشد مقداری که از رابطه (۸) بدست می‌آید، حداکثر مقدار امپدانس تنظیمی ناحیه سوم رله  $A_1$  می‌باشد، اما چنانچه رله‌های اصلی دیگری نیز وجود داشته باشند، باید رابطه (۸) را برای این رله با تک تک رله‌های اصلی نوشت.

این کار را برای حالتی که خط با بیشترین جریان متصل به شین B قطع شود، تکرار نموده و از میان مقادیر بدست آمده، کوچکترین مقدار را که با  $Z_{3m}$  نمایش می‌دهیم، به عنوان حداکثر امپدانس تنظیمی ناحیه سوم رله  $A_1$  انتخاب می‌نماییم. دلیل انتخاب کوچکترین مقدار اینست که محدوده عملکرد ناحیه سوم رله  $A_1$  هیچگاه نباید از نقطه  $F_2$  متناظر با هر رله اصلی، فراتر رود تا هماهنگی بین این رله و همه رله‌های اصلی‌اش حفظ شود. برای اطمینان بیشتر از عدم تلاقی میان ناحیه دوم رله  $A_1$  با رله‌های اصلی‌اش و با توجه به خطاهای موجود در ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان، ضریب اطمینان  $T_{Z3}$  در نظر گرفته می‌شود. در این صورت حداکثر مقدار امپدانس تنظیمی ناحیه سوم رله  $A_1$  چنین خواهد شد :

$$Z_{3m}(A_1) = T_{Z3} \times Z_{3m} \quad (9)$$

مقدار ضریب اطمینان  $T_{Z3}$  را معمولاً بین ۰/۸ تا ۰/۹ در نظر می‌گیرند.

همانطور که گفته شد در تنظیم این ناحیه باید امپدانس بار (ناشی از جریان بار) را در نظر گرفت. به عبارت دیگر باید مقداری که برای تنظیم نهایی ناحیه سوم رله در نظر گرفته‌ایم کمتر از

$Z_{LMin}$  باشد.  $Z_{LMin}$  کمترین امیدانس باری است که رله به هنگام عبور حداکثر بار می بیند.

برای محاسبه حداقل امیدانس بار ابتدا بار اولین شین جلوی رله را در حالیکه بار بقیه شینهای شبکه در مقدار بار پیک ثابت شده باشد افزایش می دهند و این افزایش را تا جایی که پخش بار شبکه و اگر شود ادامه می دهند. سپس بار دومین شین جلوی رله را تحت همان شرایط افزایش می دهند. امیدانس ظاهری دیده شده توسط رله را تحت شرایط فوق با هم مقایسه می کنند و مقدار کوچکتر را به عنوان امیدانس بدترین شرایط بار برمی گزینند. پس از آن برای اطمینان بیشتر از اینکه به هیچ عنوان شرایط بار شبکه بر روی عملکرد رله تأثیر نمی گذارد، امیدانس بدترین شرایط بار انتخابی را در یک ضریب اطمینان که معمولاً ۰/۹ انتخاب می شود ضرب می کنند و حاصل را به عنوان  $Z_{LMin}$  در محاسبات لحاظ می کنند.

حال با توجه به مقادیر حداکثر و حداقل بدست آمده برای امیدانس تنظیمی رله و همچنین حداقل امیدانس محاسبه شده برای بار، تنظیم نهایی رله با توجه به یکی از حالت‌های زیر انجام می شود:

(۱) اگر داشته باشیم  $Z_{LMin}(A_1) < Z_{3Max}(A_1)$  و  $Z_{3Min}(A_1) < Z_{LMin}(A_1)$  در این صورت:

(۱-۱) اگر رابطه  $Z_{3Min}(A_1) < Z_{3Max}(A_1)$  بین مقادیر حداکثر و حداقل امیدانس تنظیمی ناحیه سوم برقرار باشد،  $Z_{3Max}(A_1)$  را به عنوان امیدانس تنظیم نهایی ناحیه سوم رله انتخاب می کنیم. به این ترتیب سرتاسر کوتاهترین خط مجاور و همچنین قسمتهایی از دیگر خطوط مجاور تحت پوشش این ناحیه قرار می گیرد.

(۲-۱) اگر رابطه  $Z_{3Min}(A_1) > Z_{3Max}(A_1)$  بین مقادیر حداکثر و حداقل امیدانس تنظیمی ناحیه

سوم برقرار باشد، آنگاه تنظیم نهایی از بین یکی از حالت‌های زیر انتخاب می شود:

(۱-۲-۱) تنظیم نهایی ناحیه سوم رله  $A_1$  را بر روی  $Z_{3Max}(A_1)$  قرار می دهیم. با این انتخاب گرچه برد ناحیه سوم رله  $A_1$  کاهش می یابد و ممکن است تمامی کوتاهترین خط مجاورش را پوشش ندهد اما هماهنگی همچنان باقی خواهد ماند.

(۲-۲-۱) تنظیم نهایی ناحیه سوم رله  $A_1$  را بر روی  $Z_{3Min}(A_1)$  قرار می دهیم. در این حالت برای حفظ هماهنگی لازم است که زمان عملکرد ناحیه سوم رله  $A_1$  را بیشتر از نواحی سوم رله های اصلی آن انتخاب کنیم تا بین ناحیه سوم رله  $A_1$  و نواحی سوم رله های اصلی آن تلاقی بوجود نیاید.

(۲) اگر رابطه  $Z_{3Max}(A_1) > Z_{LMin}(A_1)$  برقرار باشد، آنگاه بدون توجه به مقدار  $Z_{3Min}(A_1)$ ، باید  $Z_{LMin}(A_1)$  را به عنوان تنظیم نهایی ناحیه سوم رله  $A_1$  انتخاب کنیم زیرا اگر  $Z_{3Min}(A_1) < Z_{LMin}(A_1)$  باشد، برای افزایش برد رله مقدار بزرگتر (یعنی  $Z_{LMin}(A_1)$ ) را در نظر می گیریم و اگر  $Z_{3Min}(A_1) > Z_{LMin}(A_1)$  باشد برای آنکه امیدانس تنظیم از امیدانس بار تجاوز نکند باید مقدار  $Z_{LMin}(A_1)$  را انتخاب کنیم.

(۳) اگر  $Z_{3Max}(A_1) < Z_{LMin}(A_1) < Z_{3Min}(A_1)$  باشد، تنظیم نهایی ناحیه سوم رله  $A_1$  را بر روی  $Z_{LMin}(A_1)$  قرار می دهیم و برای جلوگیری از تلاقی بین عملکرد ناحیه سوم رله  $A_1$  و نواحی سوم رله های اصلی اش، زمان عملکرد ناحیه سوم رله  $A_1$  را کمی بیشتر از بزرگترین زمان تأخیر ناحیه سوم رله اصلی اش در نظر می گیریم.

برای تنظیم زمان عملکرد ناحیه سوم، ابتدا زمان عملکرد ناحیه سوم کلیه رله ها را به اندازه یک تأخیر زمانی بیشتر از ناحیه دوم آنها تنظیم می کنیم. در صورتی که در مراحل تنظیم امیدانس از یکی از راه حل‌های (۲-۲-۱) و یا ۳ استفاده





نمودیم، می‌بایست زمان عملکرد ناحیه سوم این رله را افزایش دهیم.

مقدار امپدانس تنظیمی برای ناحیه دوم رله دیستانس با مشخصه مهو (MHO) با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$Z_{set3} = \frac{Z_3(A_1)}{\cos(\beta - \alpha_n)} \quad (10)$$

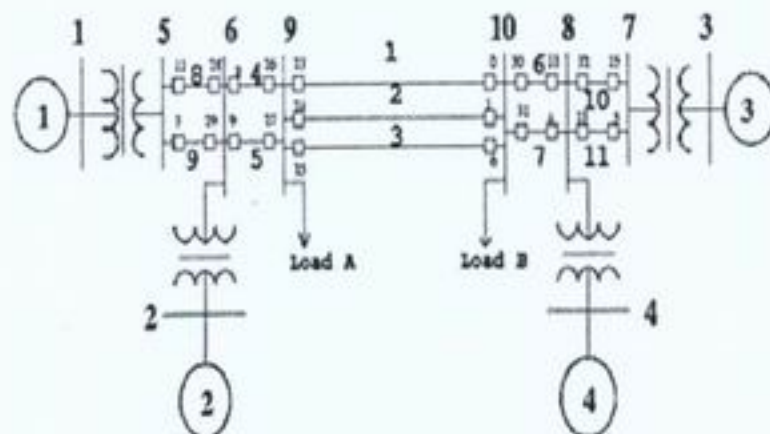
### ۳- شبیه‌سازی نوسانات توان

در این مقاله شبیه‌سازی نوسانات توان با استفاده از نرم افزار پایداری گذرا انجام می‌شود. این نرم‌افزار در دانشگاه صنعتی بمبئی هند (IIT) تهیه شده است. در این نرم افزار در هر مرحله از شبیه‌سازی نوسان توان، ولتاژ باس‌ها و جریان خطوط محاسبه شده و امپدانس ظاهری دیده شده توسط هر رله استخراج می‌شود. سپس منحنی  $R - X$  امپدانس ظاهری دیده شده توسط هر رله با توجه به نوسانات توان رسم می‌شود. حال اگر این امپدانس در داخل هر کدام از نواحی عملکردی رله قرار گیرد و در زمانی بیش از زمان تأخیر آن ناحیه از رله در داخل منحنی مشخصه باقی بماند، باعث می‌شود که رله آن را به عنوان خطا تشخیص داده و تریپ دهد، ولی اگر مدت زمانی که امپدانس دیده شده توسط رله در داخل ناحیه عملکرد آن قرار می‌گیرد، کمتر از زمان تأخیر آن باشد رله عمل نخواهد کرد. حتی ممکن است امپدانس نوسان

توان چندین بار وارد ناحیه عملکرد رله شود و دوباره خارج گردد. لذا برای اینکه رله بتواند نوسانات توان را تشخیص دهد و در برابر نوسانات پایدار توان عمل نکند، باید این شبیه‌سازی برای هر رله تکرار شود و حداکثر زمانی که در هر بار ورود و خروج، امپدانس ظاهری ناشی از نوسان توان در داخل مشخصه عملکرد رله قرار می‌گیرد محاسبه گردد تا زمان تأخیر آن ناحیه از رله را با توجه به آن دوباره تنظیم کرد. همچنین وقتی زمان تأخیر هر یک از رله‌ها به خاطر نوسانات توان تغییر کند، باید زمان تأخیر بقیه رله‌ها را نیز مجدداً با توجه به مقدار جدید زمان تأخیر تغییر یافته تنظیم کرد.

### ۴- مطالعه شبکه قدرت نمونه

شبکه‌ای که الگوریتم ارائه شده را بر روی آن پیاده‌سازی کردیم، یک شبکه دو ناحیه‌ای است که از چهار ژنراتور، ده باس و یازده خط انتقال تشکیل شده است. شکل (۲) این شبکه را نشان می‌دهد. امپدانس تنظیمی برای هر یک از نواحی سه گانه و زمان تأخیر نواحی دوم و سوم کلیه رله‌های دیستانس محاسبه شده و در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود به خاطر جلوگیری از تداخل ناحیه دوم، زمان تأخیر ناحیه دوم رله‌های شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ۰/۱۶ ثانیه افزایش داده شده است.



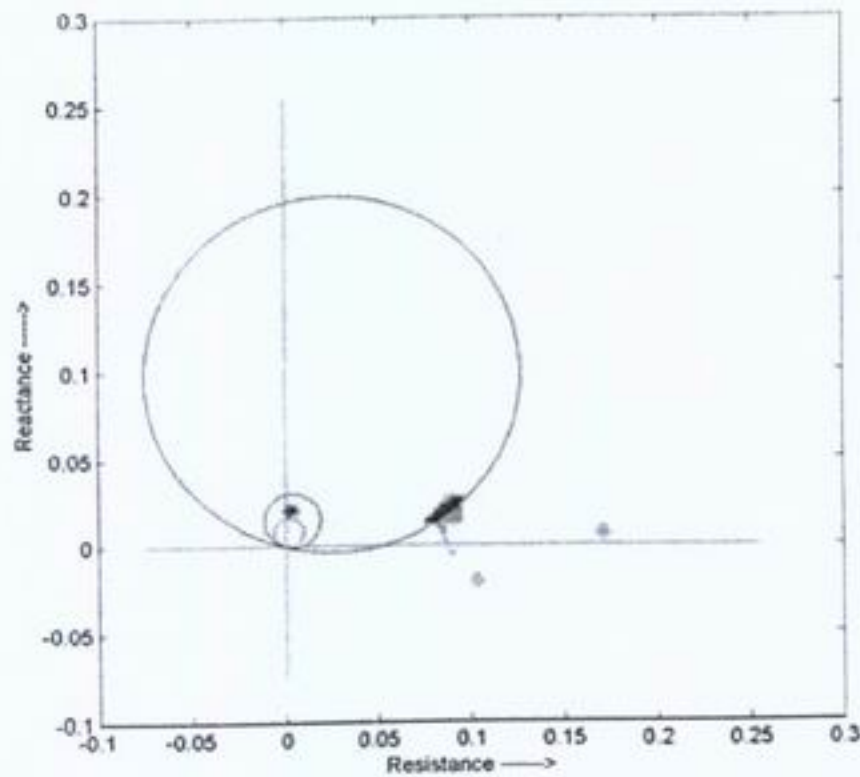
شکل (۲): شبکه قدرت مورد مطالعه



جدول (۱): تنظیم رله‌ها برای شبکه قدرت مورد مطالعه

شماره رله	$Z_1$ pu	$Z_2$ pu	$T_2$ sec	$Z_3$ Pu	$T_3$ sec
6	0.1792	0.2342	0.6	0.4481	0.9
0	0.1792	0.2342	0.6	0.4481	0.9
1	0.1792	0.2342	0.6	0.4481	0.9
2	0.0163	0.0306	0.3	0.0713	0.6
27	0.0163	0.0306	0.3	0.0713	0.6
28	0.0407	0.0611	0.3	0.1018	0.6
29	0.0407	0.0611	0.3	0.1018	0.6
30	0.0163	0.0306	0.3	0.0713	0.6
31	0.0163	0.0306	0.3	0.0713	0.6
32	0.0407	0.0611	0.3	0.1018	0.6
33	0.0407	0.0611	0.3	0.1018	0.6
13	0.0163	0.0306	0.3	0.2444	0.6
23	0.1792	0.2342	0.6	0.4481	0.9
24	0.1792	0.2342	0.6	0.4481	0.9
25	0.1792	0.2342	0.6	0.4481	0.9
4	0.0163	0.0306	0.3	0.2444	0.6
9	0.0163	0.0306	0.3	0.2028	0.6
15	0.0407	0.0611	0.3	0.1018	0.6
5	0.0407	0.0611	0.3	0.1018	0.6
11	0.0407	0.0611	0.3	0.0713	0.6
3	0.0407	0.0611	0.3	0.0713	0.6

اکنون به شبیه سازی و مطالعه اثرات نوسان توان در سیستم فوق و در حالات خاص می پردازیم. حالت اول: خطا روی خط شماره ۵ و بسیار نزدیک به باس شماره ۹ فرض کنید در شبکه نشان داده شده در شکل (۳) روی خط شماره ۵ و بسیار نزدیک به باس شماره ۹ خطایی رخ دهد. اگر مدت زمان پاکسازی خطا ۰/۰۸ ثانیه باشد، امیدانس ظاهری که رله شماره ۲ تحت شرایط خروج خط شماره ۵ می بیند در داخل ناحیه سوم رله قرار می گیرد. این شرایط در شکل (۳) نشان داده شده است. مطالعات پخش بار شبکه با شرط خروج خط شماره ۵ نیز نتیجه مشابهی را بدست می دهد. لذا پس از خروج خط شماره ۵ رله شماره ۲ نیز تریپ می دهد. در این حالت می توان با کاهش امیدانس تنظیمی ناحیه سوم رله از خطای عملکرد آن در برابر نوسان توان پایدار جلوگیری کرد.



شکل (۳): مطالعه نوسان توان در حالت اول

مشابه این شرایط را با ایجاد خطا روی خط شماره ۷ و بسیار نزدیک به باس شماره ۱۰ و مدت زمان پاکسازی ۰/۰۸ ثانیه خواهیم داشت. همچنین شرایط مشابهی با خروج خطوط شماره ۴ و ۶ به وجود می‌آید.

حالت دوم: خطا روی خط شماره ۱۱ و بسیار نزدیک به باس شماره ۷

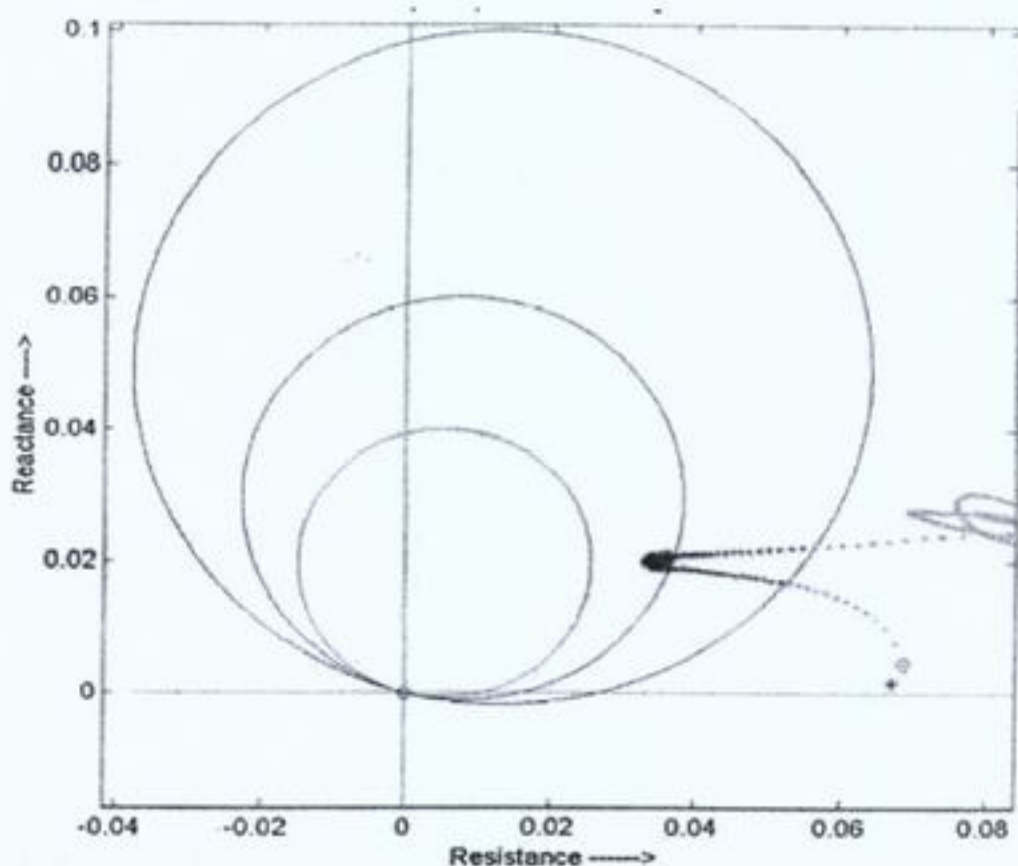
فرض کنید در شبکه نشان داده شده در شکل (۳) روی خط شماره ۱۱ و بسیار نزدیک به باس شماره ۷ خطایی رخ دهد. در این حالت مدت زمان پاکسازی خطا را ۰/۲۷۵ ثانیه در نظر بگیرید.

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در این شرایط امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله شماره ۱۵ در داخل نواحی دوم و سوم قرار می‌گیرد.

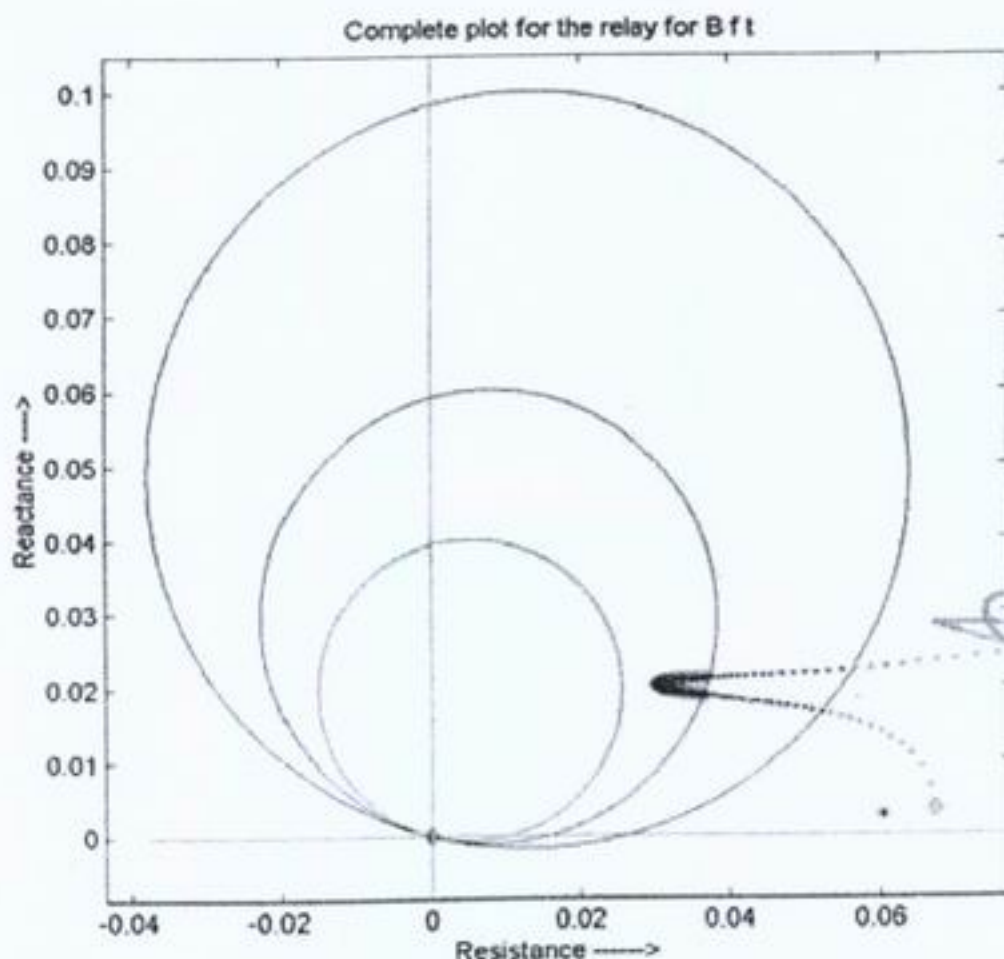
مدت زمانی که رله امپدانس را در داخل ناحیه دوم خود می‌بیند (۰/۲۸) کمتر از زمان تأخیر ناحیه دومش (۰/۳) است، لذا در این ناحیه نوسان توان ناشی از خروج خط شماره ۱۱ مشکلی ایجاد نمی‌کند.

اما مدت زمانی که رله امپدانس را در داخل ناحیه سوم خود می‌بیند (۰/۶۶) بیشتر از زمان تأخیر ناحیه سومش (۰/۶) است که این موضوع باعث عملکرد اشتباه رله می‌شود. لذا در این حالت برای جلوگیری از عملکرد اشتباه رله در برابر نوسان توان پایدار ناشی از خروج خط شماره ۱۱، باید زمان تأخیر ناحیه سوم رله شماره ۱۵ را روی مقداری بین ۰/۷ تا ۰/۹ تنظیم کرد.

حالت سوم: خطا روی خط شماره ۱۱ و بسیار نزدیک به باس شماره ۷



شکل (۴): مطالعه نوسان توان در حالت دوم



شکل (۵): مطالعه نوسان توان در حالت سوم

### ۵- نتیجه گیری

هدف اصلی در این مقاله، ارائه الگوریتم کامل و جامعی بود برای هماهنگی رله‌های دیستانس در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع که تمام حالات و اتفاقات را پوشش دهد. لذا روشی ارائه گردید که علاوه بر بدست دادن مقادیر تنظیمی امیدانس و زمان عملکرد نواحی سه گانه رله دیستانس، همپوشانی در نواحی دوم و سوم، اثر بدترین شرایط بار و همچنین اثر نوسانات توان ناشی از عملکرد رله‌ها و قطع خطوط انتقال را روی رله‌های دیگر شبکه مورد بررسی قرار داده است. در این روش با تغییراتی در تنظیمات رله دیستانس می توان تا حد زیادی از عملکرد اشتباه

فرض کنید در شبکه نشان داده شده در شکل (۳) روی خط شماره ۱۱ و بسیار نزدیک به باس شماره ۷ خطایی رخ دهد. در این حالت مدت زمان پاکسازی خطا را ۰/۲۸ ثانیه در نظر بگیرید. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود، در این شرایط امیدانس ظاهری دیده شده توسط رله شماره ۱۵ در داخل نواحی دوم و سوم آن قرار می‌گیرد. ولی در این در شرایط مدت زمانی که امیدانس دیده شده توسط رله در نواحی دوم و سوم آن قرار می‌گیرد، از زمان تأخیر هر دو ناحیه بیشتر است. لذا در این حالت علاوه بر افزایش زمان تأخیر ناحیه سوم، زمان تأخیر ناحیه دوم را نیز باید افزایش دهیم.



[5] M. J. Damborg and S. S. Venkata, "Specification of Computer-Aided Design of Transmission Protection Systems", Technical report EPRI EL-3337 (Final Report), Department of Electrical Engineering, University of Washington, 1984.

[6] J. P. Whiting and D. Lidgate, "Computer prediction of IDMT relay settings and performance for interconnected power systems", IEE Proc. Vol.130, Pt. C, No.3, pp. 139-147, May 1983.

[7] R. Ramaswami, M. J. Damborg, S. S. Venkata, "Coordination of directional overcurrent relays in Transmission systems - A subsystem approach", IEEE Transactions, PD vol. 5, NO. 1, pp. 65-71, 1989.

[8] J. K. Wagner and F. C. Trutt, "Interactive Relay Coordination using Microcomputer Graphics", Electr. Power Sys. Res., 4, pp. 129-134, 1981.

[9] Alberto J. Urdaneta, Ramon Nadira and Luis G. Perez Jimenez, "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in interconnected Power Systems", IEEE Transactions, PD vol. 3, NO. 3, pp. 903-911, 1988.

[10] Shubha Pandit, "Object Oriented Power System analysis", Ph.D Thesis, IIT Bombay, 2001.

[11] K. R. Padiyar, "Power System Dynamics - Stability and control", second edition, pp.325-329, B. S. Publications 2002.

[12] P. Kundur, "Power system stability and control", McGraw- Hill, Inc., 1994.

رله‌های دیستانس در برابر نوسان توان پایدار جلوگیری کرد.

بدین ترتیب که با شبیه سازی عوامل ایجادکننده نوسان توان در شبکه و محاسبه امپدانس دیده شده توسط رله‌های دیستانس در حین وقوع این نوسانات، خطاهای احتمالی در عملکرد رله‌ها پیش بینی می‌شود و با توجه به آن تنظیمات انجام شده بوسیله الگوریتم ارائه شده تصحیح می‌گردد. لذا با کاهش امپدانس تنظیمی و یا افزایش زمان تأخیر رله می‌توان از عملکرد اشتباه آن در برابر نوسان توان پایدار جلوگیری کرد.

#### ۶- مراجع

[1] W. A. Lewis and L. S. Tippet, "Fundamental basis for distance relaying on 3-phase system", AIEE Transactions, vol. 66, pp. 694-709, 1947.

[2] R. E. Albercht, M. J. Nisja, W. E. Feero, G. D. Rochfeller, C. L. Wagner, "Digital Computer Protective Device coordination Program I-General Program Description", AIEE Transactions, pp. 403-410, April 1964.

[3] M. J. Damborg, R. Ramaswami, S. S. Venkata, J. M. Postforoosh, "Computer aided Transmission protective system design. Part I: Algorithms", IEEE Transactions, PAS vol. 103, NO. 1, pp. 51-59, 1984.

[4] M. J. Damborg, R. Ramaswami, S. S. Venkata, J. M. Postforoosh, "Computer aided Transmission protective system design. Part II: Implementation and results", IEEE Transactions, PAS vol. 103, NO. 1, pp. 60-65, 1984.



[13] H. K. Karegar , H. A. Abyaneh , M. AL-Dabbagh, "A flexible Approach for overcurrent relay characteristic simulation", Electric power system research, pp. 233-239,2003.

[14] GEC Measurement, "Protective relaying application guide", Limited, London & Wibsech, 1986.

آقای سید علی محمدجوادیان دارای لیسانس مهندسی برق-قدرت از دانشکده فنی دانشگاه تهران بوده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-قدرت دانشگاه تربیت مدرس می باشد. آقای جوادیان از سال ۸۴ همکاری خود را با شرکت قدس نیرو آغاز کرده و زمینه علاقمندی ایشان حفاظت شبکه های قدرت به خصوص شبکه های توزیع با در نظر گرفتن اثرات منابع پراکنده و سیستمهای انوماسیون می باشد.

E-mail: [ajavadian@yahoo.com](mailto:ajavadian@yahoo.com)



## انرژی ژئوترمال و کاربردهای آن

امیر مقصودی

کارشناس سیستم مدیریت کیفیت - مدیریت ارشد عمومی (امور توسعه و تعالی)

### چکیده:

بحران انرژی یکی از مهمترین مشکلات دنیای امروز می‌باشد. کاهش ذخایر انرژی، لزوم توجه به منابع جدید انرژی را آشکار ساخته است. از این رو شناسایی منابع جدید انرژی و گسترش کاربرد آنها می‌تواند در راستای حل مشکلات مرتبط با مبحث انرژی موثر باشد. این مقاله در ارتباط با معرفی انرژی ژئوترمال و کاربردهای آن در زمینه تامین انرژی مورد نیاز جوامع می‌باشد. در این مورد ضمن مقدمه‌ای در مورد ضرورت استفاده از منابع جدید، انرژی ژئوترمال معرفی شده و روش‌های مختلف بکارگیری این انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش‌ها شامل انواع مختلف نیروگاههای ژئوترمال و روش‌های استفاده مستقیم از این انرژی می‌باشد. در نهایت مقایسه‌ای بین انرژی ژئوترمال و سایر انواع انرژی صورت گرفته و پروژه‌های انجام شده در ایران نام برده می‌شوند. امید است توجه بیشتر به این منابع، چشم انداز مناسبی را در زمینه تامین انرژی برای نسل‌های آینده کشورمان فراهم آورد.

### ۱- مقدمه:

انرژی به عنوان یکی از ضروری ترین عوامل و محصولات تولید، از نظر اقتصادی دارای اهمیت قابل توجهی می‌باشد. کمبود انرژی و افزایش قیمت آن یکی از مشکلات اساسی دنیای امروز می‌باشد. عوامل محرک زیادی برای تغییر سوخت‌های فسیلی که اکنون حاکم بر اقتصاد انرژی هستند، وجود دارد.

امروزه دنیا به سرعت در حال حرکت به سمتی است که دیگر نفت و گاز ارزان در دسترس نخواهد بود و بر اساس بررسی‌های انجام شده منابع نفت خام حداکثر تا دهه آینده تحلیل رفته و به تدریج میزان تقاضای انرژی از عرضه آن فراتر خواهد رفت. در ارتباط با ذخایر گاز طبیعی، ماندگاری آن به مدت طولانی‌تری خواهد بود ولی در نهایت این ذخایر نیز رو به اتمام خواهند گذاشت. مساله امنیت انرژی نیز از جمله مواردی می‌باشد که منابع فسیلی متداول با آن مواجه می‌باشند. بخشی از این مطلب

به عنوان پیامدی از اتمام منابع مشخصی از سوخت های فسیلی و بخش دیگر به علت وجود مشکلات سیاسی کشورهای عرضه کننده می باشد. امنیت عرضه انرژی بسیاری از کشورها را به ایجاد تغییراتی در زمینه روش‌های تامین انرژی مورد نیازشان واداشته است. با توجه به عدم وجود ثبات سیاسی در کشورهای خاورمیانه که قطب تولید انرژی فسیلی جهان می‌باشند، این مساله اهمیت زیادی می‌یابد و باعث ایجاد شک و تردید در مورد امنیت تامین انرژی می‌شود. به طور کلی هزینه‌های درگیر در منابع انرژی متداول را به هفت بخش تقسیم‌بندی می‌کنند [ ۲ ]:

- ۱-تاثیرات مضر بر روی سلامت انسان
- اثرات کوتاه مدت و سریع مانند جراحت
- اثرات بلند مدت مانند سرطان
- اثرات مخرب ژنتیکی بر روی نسل‌های مختلف



دسترسی آسان به این منابع باعث توجه روز افزون برای استفاده هر چه بیشتر از آنها شده است.

انرژی ژئوترمال به عنوان یکی از این منابع تجدیدپذیر می‌باشد که در سالهای اخیر توجه زیادی را به خود معطوف داشته است و در حال حاضر روند رو به رشدی در زمینه بکارگیری از این انرژی وجود دارد. اساس انرژی ژئوترمال بر پایه استفاده از حرارت داخلی زمین برای تولید انرژی می‌باشد. در این مقاله به تشریح این انرژی و روش‌های استفاده از آن پرداخته می‌شود.

## ۲- انرژی ژئوترمال

انرژی ژئوترمال (یا حرارت داخل زمین) یک منبع مهم طبیعی انرژی با امتیازات زیادی نسبت به سوخت‌های فسیلی می‌باشد. بخار و آب داغ تولید شده در اثر انرژی ژئوترمال برای تولید انرژی الکتریکی با کمترین میزان آلودگی و تشعشعات مضر بکار می‌رود. آب گرم تولید شده به وسیله انرژی ژئوترمال مستقیماً بوسیله پمپاژ در گلخانه‌ها، استخرهای پرورش ماهی، سیستم‌های گرمایش شهری و کاربردهای متنوع دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد. پمپ‌های حرارتی ژئوترمال به طور فزاینده‌ای به عنوان وسایل حرارت دهی و تهویه مطبوع در مدارس، خانه‌ها و کارخانجات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حال حاضر فقط میزان اندکی از انرژی ژئوترمال مورد استفاده قرار گرفته است اما دانش عمومی در مورد سودمندی این نوع انرژی در حال افزایش است. با توجه به روند رو به رشد پیشرفت تکنولوژی استفاده از انرژی ژئوترمال به صورت پاک و بدون آلاینش، پیش بینی می‌شود که این انرژی در آینده‌ای نزدیک، نقشی تعیین کننده در تامین نیاز انرژی بشر ایفا نماید.

۲- اثرات مخرب زیست محیطی

- اثرات مخرب بر روی مزارع و جنگل‌ها
  - اثرات مخرب بر روی جانوران مانند آبیان و دام‌ها
  - اثرات نامطلوب آب و هوایی
  - اثرات نامطلوب بر روی مواد
- ۳- هزینه‌های اقتصادی طولانی مدت ناشی از رکود منابع
- اثرات ساختاری بر روی اقتصاد کلان در نتیجه کاهش این نوع منابع

۴- هزینه‌های مالی ناشی از استفاده منابع انرژی متداول:

- هزینه‌های تحقیق و گسترش
  - هزینه‌های عملیاتی
  - هزینه‌های زیرساخت
  - هزینه‌های ناشی از جبران حوادث مرتبط
- ۵- هزینه‌های ناشی از افزایش احتمال جنگ
- تامین امنیت انرژی (مانند جنگ خلیج فارس)
  - افزایش سلاح‌های مخرب و هسته‌ای
- ۶- هزینه‌های ناشی از مواد آلاینده، رادیو اکتیو و هزینه‌های مرتب با حوادث غیر مترقبه ناشی از آنها
- ۷- هزینه‌های اجتماعی و روانی درگیر در این منابع
- هزینه‌های ناشی از بیماری و مرگ
  - هزینه‌های ناشی از جبران و بازسازی نقرات ناشی از حوادث و مرگ و میر
- مجموعه این عوامل لزوم تجدید نظر در زمینه استفاده از ذخایر فسیلی را مشخص می‌نماید.

منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان ذخایر دوستدار محیط زیست و قابل دسترسی، چشم انداز روشنی را در این زمینه فراهم نموده است. منابعی مانند باد، خورشید، جزر و مد و ژئوترمال به عنوان نمونه‌هایی از ذخایر تجدید پذیر می‌باشند. گستردگی و توزیع این منابع در طبیعت و ویژگیهای منحصر بفرد آنها مانند تولید غیر متمرکز، عدم ایجاد اثرات مخرب زیست محیطی، فناوری نسبتاً ساده و

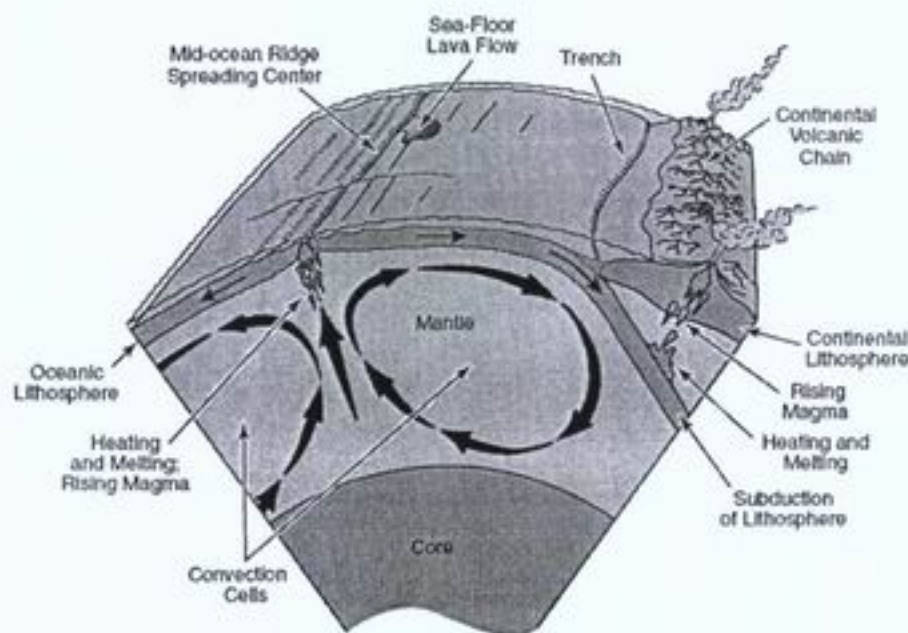




۲-۱- منشأ انرژی ژئوترمال و منابع آن [۵]

انرژی ژئوترمال حرارت ناشی از اعماق زمین می‌باشد. دمای سطح زمین با افزایش عمق به تدریج بالا رفته و این دما در مرکز زمین به ۴۲۰۰ درجه سانتیگراد بالغ می‌شود. مقداری از این حرارت ناشی از شکل سیال زمین در ۴/۵ میلیارد سال قبل بوده است که تاکنون باقی مانده اما مقدار بیشتری از آن ناشی از تخریب ایزوتوپ‌های رادیواکتیو در اعماق زمین در طی سالیان متمادی می‌باشد. از آنجایی که حرارت تمایل به جریان از نقاط گرمتر به نقاط سردتر را دارد از این رو در درون زمین جریان سیالی از داخل زمین به سمت سطح آن وجود دارد. بر اساس تخمین ۴۲ میلیارد کیلووات حرارت به طور پیوسته در حال انتشار از سطح زمین به فضا می‌باشد. متأسفانه مقدار زیادی از این حرارت عملاً قابل استفاده نیست چون در دمای پائینی به سطح زمین می‌رسد. پوسته زمین در قسمت لیتوسفر به ۱۲ صفحه بزرگ و تعداد زیادی صفحات کوچکتر تقسیم شده است که ثابت نبوده و بر روی لایه‌زیری که سیالی با چگالی بالا بوده و

استوسفر نامیده می‌شود، حرکت می‌کنند. در مناطقی که این صفحات از هم جدا می‌شوند ماگمای بازالتی به شکل آتشفشان‌های وسیع با دهانه باز به بیرون می‌زند و در مناطق برخورد این صفحات یکی از آنها در زیر دیگری فرو می‌رود که می‌تواند موجب وقوع زلزله‌های شدید و تشکیل شکاف‌های اقیانوسی بزرگ گردد. در اعماق زمین بر روی لایه‌ای که در زیر قرار می‌گیرد درجه حرارت به حد ذوب سنگ‌ها می‌رسد. ماگمای تشکیل شده در اثر این فعل و انفعال دانسیته پائین‌تری نسبت به سنگ‌های در برگیرنده اش دارد، از این رو از میان این سنگ‌ها بیرون زده و از سمت گوشته به سوی پوسته زمین جریان می‌یابد. در اینصورت این ماگماها می‌توانند باعث بوجود آمدن آتشفشان‌های بزرگی شوند و موجب ایجاد پتانسیل فوق العاده‌ای از حرارت در پاره‌ای از نقاط شوند. منشأ انرژی ژئوترمال بر اساس استفاده از این حرارت داخلی از طریق شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در پوسته زمین می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱): سیستم گردش حرارت در داخل زمین

جهت وجود و باقی ماندن یک سیستم هیدروترمال سه مولفه اساسی لازم می باشد :

۱- یک منبع حرارتی با عمر طولانی

۲- یک شبکه گسترده از منابع آب که داخل یک سیستم نفوذپذیر باشد و توانایی انتقال جریان سیال را داشته باشد.

۳- یک طاق صخره‌ای که مانع از نشت و فرار سیال به بیرون شود

فرآیند هیدروترمال وقتی آغاز می‌شود که آب در اعماق زمین گرم می‌شود. منبع حرارتی می‌تواند یک ساختار ماگمای مذاب یا بدنه سخت شده‌ای از ماگمای داغ باشد که عموماً مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی می‌باشد. در داخل زون‌های شکسته شده نفوذپذیر عامل حرارت می‌تواند تنها افزایش حرارت ناشی از زیاد شدن عمق باشد. آبگرم ایجاد شده در نتیجه این فعل و انفعالات، دانسیته کمتری نسبت به آب سرد اطراف آن دارد، در نتیجه از طریق شبکه‌های شکستگی‌های موجود به بالا جریان می‌یابد. بخش کوچکی از سیال گازی ایجاد شده از این طریق ممکن است از طریق طاق‌های صخره‌ای به سطح برسد. با این وجود بخش زیادی از این سیال به صورت بسته باقی مانده و کم‌کم حرارت خود را از دست می‌دهد. در این صورت با پایین آمدن دما، دانسیته آن بالا می‌رود و از طریق شبکه شکاف‌ها به منبع اصلی خود برمی‌گردند و در آنجا مجدداً حرارت دیده و سیکل گردش سیال همچنان ادامه می‌یابد. سیستم‌های بزرگ انتقال گرمای هیدروترمال می‌توانند برای زمان‌های طولانی چندین هزار سال و حتی تا میلیون‌ها سال باقی بمانند. برای استفاده از چنین سیستم‌هایی، شکل و ساختار آنها با استفاده از زمین‌شناسی مدرن، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و تکنیک‌های اکتشاف راه دور مورد شناسایی قرار می‌گیرد.

نتایج ترکیبی چنین مطالعاتی برای تعیین محل حفر چاه‌های تولیدی با بیشترین احتمال برای یافتن جریان‌های گرمایی در دما و نرخ جریان اقتصادی می‌باشد.

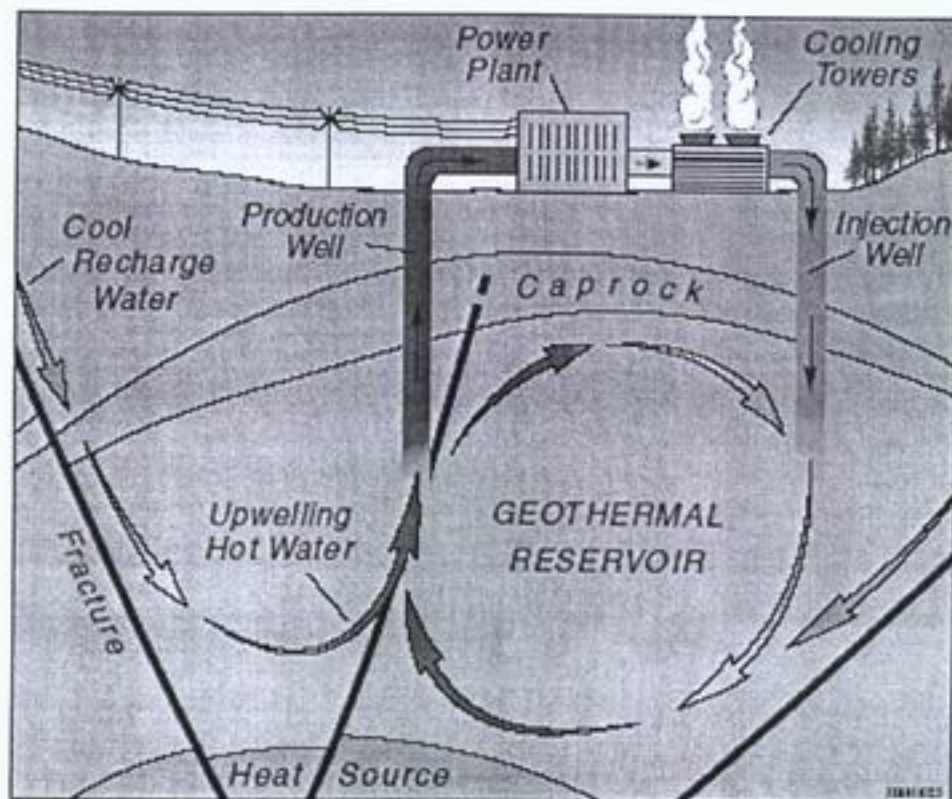
انرژی ژئوترمال منبعی تجدید پذیر با ابعاد معقول می‌باشد و منابع ژئوترمال می‌توانند برای سالیان طولانی تامین‌کننده انرژی باشند. تاکنون هیچکدام از مناطقی که مورد استفاده انرژی ژئوترمال بوده‌اند از بین نرفته‌اند اگرچه دما و فشار مخازن ژئوترمال به کندی رو به کاهش می‌رود. مناطق گسترده‌ای در <sup>۱</sup> Geysers و <sup>۲</sup> Wairakei تا کنون نزدیک به ۴۰ سال است که برای تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. منطقه <sup>۳</sup> Laederello نیز از سال ۱۹۰۴ مورد استفاده قرار گرفته است. این منطقه به دقت بوسیله تکنیک‌های مهندسی و علمی و سیستم‌های ژئوترمال مدرن اداره می‌شود که می‌توان برای دهه‌های مختلف و یا حتی برای قرن‌ها تامین‌کننده انرژی باشد.

۱- Geysers در کالیفرنیا واقع می‌باشد که در حدود ۷۰ درصد از برق ناحیه نورث کاست در حد فاصل گلدن گیت بریج تا خط ایالت ارگن را تامین می‌نماید. این میزان می‌تواند تامین‌کننده الکتریسیته برای یک میلیون خانوار در کالیفرنیا شمالی باشد [۸]

۲- منطقه Wairakei در نیوزیلند واقع شده است و در سال ۱۹۹۸، چهارمین سالگرد تاسیس آن برگزار گردید. ساختار این نیروگاه از نیروگاه Laederello برداشت شده است و در زمان احداث دومین نیروگاه از این نوع بود [۶]

۳- Laederello در ناحیه جنوبی توسکانی در ایتالیا واقع شده است که از زمانهای گذشته به خاطر طبیعت آتشفشانی و جریانهای گرمایی گسترده آن شناخته شده بود. استفاده از انرژی ژئوترمال در این منطقه از سال ۱۹۰۴ آغاز شده است و اولین نیروگاه زمین گرمایی در این منطقه در سال ۱۹۱۱ تاسیس شده است [۷].





شکل (۲): تولید الکتریسیته به کمک استفاده مستقیم از بخار تولیدی در داخل زمین

نوع عمومی‌تر، سیستم‌های آب داغ می‌باشد که در دمای بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشند. برای این نوع سیستم‌ها نیروگاههای تولید انرژی بخار آبی بکار گرفته می‌شود. در این نوع سیستم‌ها نیز سیال ژئوترمال از طریق چاه‌های تولیدی به عمق ۴ کیلومتر به سطح زمین منتقل می‌شود. در این اعماق آب داغ تحت فشار بالایی قرار می‌گیرد اما همچنانکه فشار در طول انتقال به نیروگاه کاهش می‌یابد، ۳۰ تا ۴۰ درصد از آب به صورت انفجاری به بخار تبدیل می‌شود.

در اینجا بخار از آب جدا سازی شده و برای تولید الکتریسیته در توربین بکار می‌رود. آب باقیمانده به مخزن آب زیر زمینی باز گردانده می‌شود تا فشار مخزن زیر زمینی حفظ شده و بهره‌وری سیستم بالا رود.

## ۲-۲- استفاده از انرژی ژئوترمال برای تولید برق [۱]

تکنولوژی مورد استفاده برای تولید الکتریسیته از انرژی ژئوترمال به طبیعت و دمای منبع مورد استفاده بستگی دارد. نادرترین و در عین حال اقتصادی‌ترین سیستم (به عنوان مثال در Larderello و Geyers) بخار با دمای بالا می‌باشد که از درون چاه‌های تولیدی از نوع به طول ۱ تا ۴ کیلومتر نتیجه می‌شود. بخار به صورت مستقیم به توربین‌ها منتقل می‌شود که برای گرداندن ژنراتورهای الکتریکی و تولید جریان برق استفاده می‌شود. استفاده از این نوع نیروگاه مستلزم تامین مجموعه‌ای از شرایط طبیعی برای بهره‌برداری از منبع ژئوترمال می‌باشد که معمولاً به ندرت در طبیعت یافت می‌شود (شکل ۲).

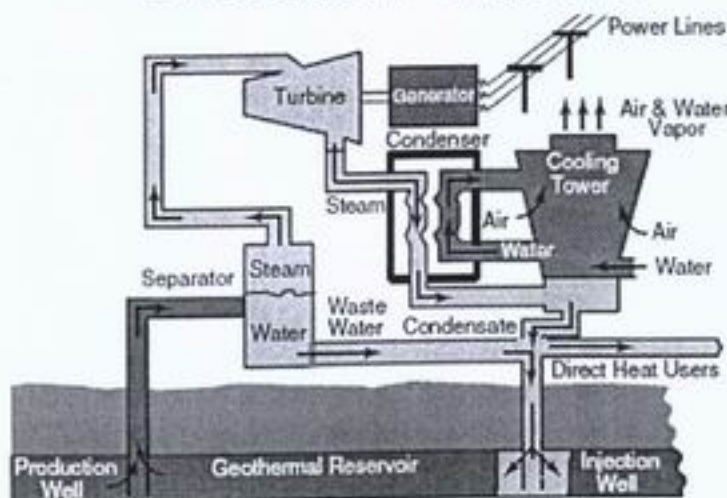


سیال دوم حرارت داده شود. معمولا یک سیال آرگانیکی مانند ایزوپنتان نسبت به آب در دمای پائین تری به جوش می‌آید. حرارت ناشی از سیال ژئوترمال در سیکل اول باعث تبخیر سیال موجود در سیکل دوم می‌شود. سیال تبخیر شده در داخل یک سیکل بسته نیروی لازم برای چرخش توربین را ایجاد می‌نماید (شکل ۴).

برای مخازن ژئوترمال دمای پایین که دمای آنها به طور تقریبی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار دارد، سیکل دوتایی تولید نیرو موثرتر از سیستم‌هایی می‌باشد که برای تولید نیرو تکنولوژی بخار آبی را بکار می‌برند (شکل ۳).

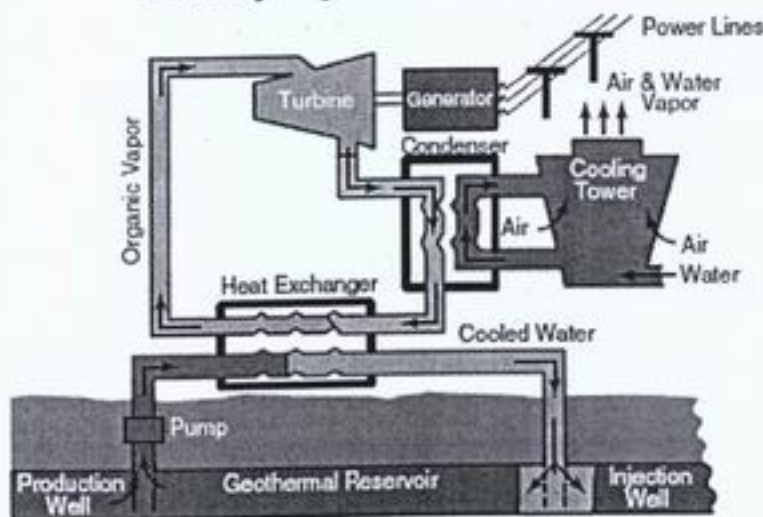
در نیروگاههای سیکل دوتایی سیال ژئوترمال از داخل یک مبدل حرارتی عبور داده می‌شود تا یک جریان

### Flash-Steam Power Plant



شکل (۳) : استفاده از بخار آبی برای تولید انرژی الکتریکی در نیروگاههای ژئوترمال

### Binary-Cycle Power Plant



شکل (۴) : استفاده از سیکل دوگانه برای تولید الکتریسیته به کمک انرژی ژئوترمال



این بخار سپس قبل از حرارت دیدن مجدد در کندانسور به مایع تبدیل می‌شود. در این نوع نیز همانند انواع بخار آبی سیال ژئوترمال خارج شده پس از استفاده برای تامین فشار به داخل مخزن ژئوترمال بازگردانده می‌شود. سیکل‌های بخار آبی و دوتایی می‌توانند به طور ترکیبی برای بالاتر بردن راندمان تبدیل انرژی حرارتی به الکتریسیته مورد استفاده قرار بگیرند. در این نوع نیروگاه‌های ترکیبی، آب داغ خارج شده از چاه‌های تولیدی ابتدا به طور آبی به بخار تبدیل می‌شود و بخار تولید شده به این روش برای گرداندن توربین یک ژنراتور اولیه استفاده می‌شود. پس از آن بخاری که از توربین اولیه عبور کرده و به مایع تبدیل شده است با مقدار آب خروجی باقیمانده ترکیب شده و با استفاده از یک سیکل ثانویه برای تولید بیشتر انرژی بکار می‌رود. جدا از مزایای محیطی انرژی ژئوترمال، نیروگاه‌های تولید انرژی ژئوترمال مزیت‌های تجاری بسیاری نسبت به نیروگاه‌های فسیلی دارند. برای مثال نیروگاه‌های ژئوترمال در ۹۵ درصد مواقع آماده تولید می‌باشند. این نوع نیروگاه‌ها محدودیتی در ظرفیت ندارند و می‌توانند با توجه به ظرفیت مورد نظر احداث شوند. علاوه بر این ساخت و ساز این نوع نیروگاه‌ها معمولاً فرآیندی سریع بوده در حدود ۶ ماه برای نیروگاه‌های ۰/۵ تا ۱۰ مگاواتی و ۱ تا ۲ سال برای نیروگاه‌های با ظرفیت ۲۵۰ مگاوات یا بیشتر می‌باشد.

### ۲-۳- استفاده از انرژی ژئوترمال برای حرارت مستقیم

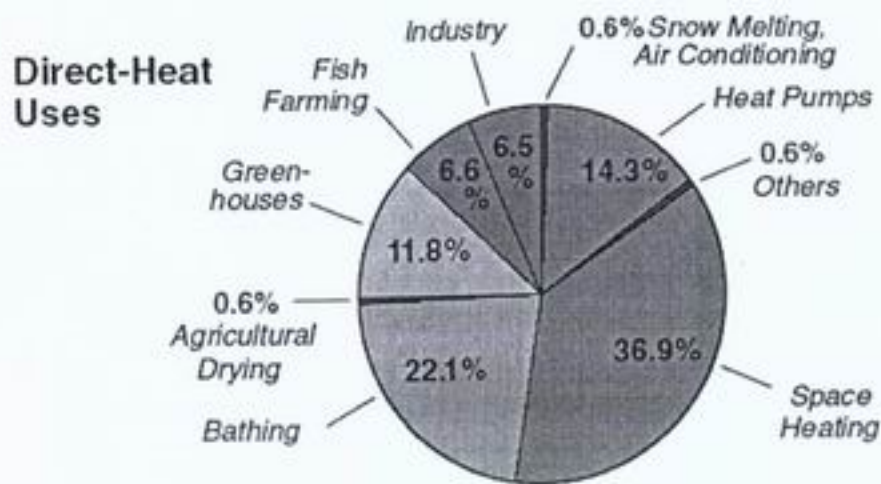
از زمانهای دور تا کنون، آبگرم چشمه‌های معدنی برای کاربردهای مختلفی مانند استحمام، پخت و پز و گرمایش مورد استفاده بوده است. امروزه منابع آب‌های ژئوترمال با دمای پائین تا متوسط مانند ۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد بطور قابل توجهی برای استفاده در گرمایش ساختمان‌ها، گرم نگه داشتن گلخانه‌ها برای رشد سبزیجات، میوه‌ها و

گل‌ها، مزارع ماهی، خشک نمودن محصولات کشاورزی و مواد ساختمانی و کاربردهای بسیار دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد. فقط در ایالات متحده ۱۷ سیستم گرمایش منطقه‌ای، ۲۸ گلخانه ترکیبی، ۲۸ مزرعه ماهی، ۱۲ کارخانه صنعتی و ۲۱۸ چشمه وجود دارد که از منابع آب‌های ژئوترمال استفاده می‌کنند. در ایسلند که بر روی چین خوردگی آتشفشانی حاشیه اطلس واقع شده است حدود ۹۰ درصد از خانه‌ها بوسیله سیستم پمپی آب‌های ژئوترمال عمل می‌کنند.

با سرمایه‌گذاری بر روی لوازم و تجهیزات استفاده از جریان‌های آب داغ داخلی استفاده از پروژه‌های گرمایش ژئوترمال کاملاً مناسب به نظر می‌رسد. اولین اجزاء استفاده از چنین سیستم‌هایی، ساختار شبکه پمپاژ چرخشی، چاه زیرزمینی برای دسترسی به منبع ژئوترمال، خطوط لوله انتقال و توزیع، تاسیسات کنترل و پشتیبانی و تاسیسات جذب حرارت می‌باشد. با توجه به کیفیت آب، شرایط محیطی و نیازهای پروژه، منابع آب‌های ژئوترمال می‌توانند بر روی سطح تخلیه شوند یا مجدداً در داخل ذخیره‌های زیر زمینی تزریق شوند. در شکل (۵) انواع کاربردهای انرژی ژئوترمال برای استفاده به عنوان حرارت مستقیم را می‌توان مشاهده نمود.

### ۲-۴- پمپ‌های حرارتی ژئوترمال - ذخیره سازی انرژی [۳]

یکی از کارآمدترین تکنولوژی‌ها برای حرارت دهی و تهویه سیستم‌های خانگی و محل‌های کار، پمپ‌های حرارتی ژئوترمال می‌باشند. این تجهیزات میزان مصرف انرژی را ۳۰ تا ۶۰ درصد نسبت به سیستم‌های سرمایش و گرمایش الکتریکی مرسوم کاهش می‌دهند و انتشارات مضر کمتری نسبت به نیروگاه‌های مرسوم دارند.



شکل (۵): دسته‌بندی انواع کاربردهای انرژی ژئوترمال برای حرارت مستقیم بر حسب درصد

یک محلول ضد یخ که اثرات زیست محیطی ندارد گردش می‌کند که برای انتقال حرارت به زمین و یا تامین گرما از آن بکار می‌رود. این سیستم هیچگونه منبع آب زیر زمینی را مورد استفاده قرار نمی‌دهد و محلول داخل خط لوله‌ها به طور موثری از منابع آبهای زیر زمینی و زمین، ایزوله شده است. به جز این شیوه‌های نصب مختلفی بطور موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در یک شکل جدید یک نوع خط لوله مارپیچ به صورت عمودی در داخل زمین مدفون می‌شود. در حالت دیگری لوله در زیر یک حوضچه آب که در فصل سرما یخ نمی‌بندد قرار می‌گیرد. این سیستم برای سالیان متمادی در کانادا و آمریکا به طور موثری مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقاتی که توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا صورت گرفت نشان می‌دهد که کاربرد پمپ‌های حرارت ژئوترمال به میزان زیادی باعث کاهش مصرف الکتریسیته در ساختمان می‌شود. این گزارش این طریقه را به عنوان یکی از بهترین روش‌های تکنولوژیکی برای تهویه فضاهای ساختمانی عنوان می‌کند.

در پمپ‌های حرارتی ژئوترمال آب داغ از طریق سیستم‌های محلی به منظور گرمایش و تهویه در فصول مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های پمپ حرارت ژئوترمال نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری نسبت به سیستم‌های سرمایش و گرمایش معمول دارند. پمپ حرارتی ژئوترمال با سیستمی مشابه یخچال خانگی عمل می‌کند. اگرچه برخلاف سیستم یخچال خانگی (با انتقال حرارت در یک جهت) توانایی انتقال حرارت در هر دو جهت را دارد. در فصل زمستان حرارت داخل زمین جذب شده و برای گرمایش به داخل ساختمان فرستاده می‌شود. در فصل تابستان حرارت از داخل ساختمان جذب شده و برای ذخیره‌سازی به داخل زمین فرستاده می‌شود (حالت تهویه هوا). در ظاهر پمپ حرارتی ژئوترمال از طریق انرژی الکتریکی تغذیه می‌شود ولی الکتریسیته تنها برای انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد، نه برای تولید آن. در نهایت پمپ ۳ تا ۴ برابر انرژی که مصرف می‌کند را منتقل می‌نماید. در حالت کلی یک سیکل خط لوله پلاستیک به صورت عمودی و با مته به اعماق زمین فرستاده می‌شود و اطراف آن پوشانده می‌شود. در داخل سیستم خط لوله



## ۲-۵- مزایای استفاده از انرژی ژئوترمال

با توجه به رشد جوامع و گسترش اقتصادی کشورها تمایل جهانی به انرژی به طور فزاینده ای رو به افزایش می‌باشد. در همین زمان توجه به مسائل زیست محیطی و مشکلات آن رو به افزایش است. با توجه به این شرایط توجه بیشتر به انرژی ژئوترمال برای تولید بیشتر انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی ضروری می‌باشد. نیروگاههای تولید انرژی که از منابع فسیلی استفاده می‌کنند با انتشار دی اکسید گوگرد که برای محیط زیست بسیار زیانبار می‌باشد (عامل اصلی باران‌های اسیدی)، اکسیدهای نیتروژن (که دارای تاثیرات سوء بر روی لایه ازن است) و دی اکسید کربن که موجب اثرات نامطلوب گلخانه‌ای می‌شود همراه می‌باشد. نیروگاههای هسته‌ای نیز باعث تولید زباله‌های خطرناک آلوده به مواد رادیو اکتیو می‌شوند. در مقایسه با منابع تولید انرژی متداول، کاربرد انرژی ژئوترمال مزایای زیر را دارد:

انتشارات بسیار کمتر و قابل کنترل‌تر مواد آلاینده اتمسفری، عدم تولید زباله‌های رادیو اکتیو، سیستم تامین آب از داخل زمین، احتیاج به زمین کمتر برای تاسیس نیروگاه و هزینه های عملیاتی پائین.

تاسیسات ژئوترمال فقط به یک شکستگی و شکاف از سطح زمین احتیاج دارند، در حالیکه تاسیسات فسیلی و هسته‌ای احتیاج به زمین زیادی برای استقرار تسهیلات لازم دارند. به عنوان مثال در 'valley جنوبی در کالیفرنیا نه تنها یکی از بزرگترین مناطق کشاورزی جهان مستقر شده است بلکه منطقه‌ای قرار دارد که ۱۵ نیروگاه ژئوترمال بزرگ در آن مستقر شده‌اند و در حدود ۴۰۰ مگاوات تولید انرژی در آن وجود دارد. یکی از این مناطق در کنار یک پارک جنگلی حفاظت شده قرار دارد که هزاران گونه مختلف از حیوانات وحشی در آن حضور دارند.

یکی از موارد مثبت نیروگاههای ژئوترمال هزینه پائین آن در طول مدت زمان استفاده می‌باشد. تمامی انواع این نوع نیروگاه هزینه‌های راه اندازی زیادی دارند ولی پس از آن به جز معدودی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، هزینه دیگری ندارند. این در حالی است که نیروگاههای ژئوترمال می‌توانند به مدت ۳۰ سال یا بیشتر بدون جایگزینی مورد استفاده قرار گیرند و می‌توانند سیالات ژئوترمال لازم برای تولید انرژی را برای دهه‌ها یا حتی قرن‌ها تامین کنند و این مطلب نشان دهنده آن است که هزینه‌های بهره‌برداری انرژی ژئوترمال بسیار پائین می‌باشد.

## ۲-۶- مشکلات مرتبط با استفاده از انرژی ژئوترمال

امروزه تنها منابع بزرگ ژئوترمال می‌توانند به طور اقتصادی مورد استفاده قرار گیرند. مانع اصلی در مقابل استفاده بیشتر از انرژی ژئوترمال هزینه بالا و تکنولوژی ناکافی استفاده از آن می‌باشد. پیشرفت این تکنولوژی نیاز به توجه بیشتر به سیستم اکتشاف، حفاری و طراحی نیروگاه دارد.

### • اکتشاف

مشکل اصلی شرکت‌ها برای بهره‌برداری از انرژی ژئوترمال این است که چگونه به صورت کارآمد و اقتصادی محل دقیق حفاری را که منتهی به کانالهای جریان سیالات هیدروترمال و ذخایر سنگی در زیر زمین می‌شود تعیین کنند. تکنولوژی‌های مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و تکنیک‌های راه دور یافته‌های بسیاری را در اختیار قرار داده‌اند اما تحقیقات در این زمینه هنوز نیاز به پیگیری بیشتری دارد.

۱- پروژه عظیم ژئوترمال Valley در حال حاضر شامل ۱۰ کارخانه فعال تولید الکتریسیته در منطقه سالتون سی در کالیفرنیا جنوبی می‌باشد. ظرفیت ترکیبی نصب شده در این منطقه ۳۲۷ مگاوات می‌باشد [۹].

#### • حفاری

به علت دمای بالای سیالات ژئوترمال، و قابلیت خوردگی بالای آنها حفاری ژئوترمال بسیار سخت تر از حفاری‌هایی است که به روش‌های مرسوم برای استخراج نفت استفاده می‌شود. هر چاه ژئوترمال چیزی در حدود یک الی چهار میلیون دلار هزینه در بر دارد و گاهی اوقات نیاز به ۱۰ تا ۱۰۰ چاه برای بهره‌برداری کامل از ذخیره ژئوترمال می‌باشد. از این رو حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد هزینه‌های نیروگاه‌های ژئوترمال در عملیات حفاری آن می‌باشد.

#### • نیروگاهها

استقرار یک نیروگاه ژئوترمال به میزان بسیار زیادی تحت تاثیر دو عامل زیر می باشد:

- کارایی تبدیل انرژی حرارتی سیال به الکتریسیته
- هزینه‌های ساخت و تجهیز

افزایش مورد اول و کاهش مورد دوم می‌تواند منجر به پیشرفت در استفاده از منابع ژئوترمال شود. برای دستیابی توام به این دو هدف مطالعات زیادی در دانشگاهها، آزمایشگاهها و مراکز تحقیقاتی در دست انجام است. مطالعات بسیاری در این زمینه در کشورهای ژاپن، آمریکا، نیوزیلند، ایسلند و کشورهای اروپایی در دست انجام است. پیامد این تحقیقات هزینه‌های بهره‌برداری از منابع ژئوترمال نسبت به دو دهه قبل به میزان ۲۵ درصد کاهش یافته است. با این وجود هنوز مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز می باشد.

#### ۷-۲- گسترش کاربرد انرژی ژئوترمال و هزینه‌های پایین

آن

در حال حاضر ظرفیت نصب شده انرژی ژئوترمال به میزان ۸۰۰۰ مگاوات می باشد که در ۲۱ کشور جهان نصب گردیده است و از این طریق حدود ۴۹۰۰۰ گیگاوات ساعت انرژی الکتریکی در سال تولید می‌شود. این مقدار

برابر با تولید ۱۰ تا ۱۵ نیروگاه فسیلی یا هسته‌ای می‌باشد که البته بدون وجود هیچگونه آلودگی است. در حال حاضر انرژی ژئوترمال منبع تولید الکتریسیته برای بیش از ۳۰ میلیون نفر از مردم جهان می‌باشد. فقط در ایالات متحده، صنعت تولید الکتریسیته از انرژی ژئوترمال ظرفیت عملیاتی در حدود ۲۳۰۰ مگاوات دارد و سالانه چیزی در حدود ۱۶ میلیارد کیلووات ساعت الکتریسیته تولید وجود دارد که می‌تواند نیاز ۳ تا ۴ میلیون آمریکایی را تامین کند.

استفاده از حرارت مستقیم انرژی ژئوترمال نیز دارای اهمیت می‌باشد. تقریباً ۱۶۰۰۰ مگاوات حرارتی ظرفیت نصب شده در ۵۵ کشور دنیا وجود دارد که خروجی در حدود ۴۵۰۰۰ گیگاوات ساعت در سال دارد. از بین هزاران کاربرد این انرژی حرارتی می‌توان به کاربرد در خانه‌ها، کارخانه‌ها و گلخانه‌ها، برای پرورش و نگهداری از مزارع و حیوانات در شرایط سخت و برای خشک‌نمودن مواد خوراکی نام برد. در کنار آن، چشمه‌های آب گرم برای استفاده‌های تفریحی و درمانی، استحمام و شنا می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

برای تامین انرژی در کشورهای در حال توسعه منابع بومی بسیار مورد توجه می‌باشد و در صورت وجود شرایط مناسب انرژی ژئوترمال قابلیت تامین هزاران مگاوات ساعت انرژی با کمترین میزان آلودگی‌های زیست محیطی را دارد. سیستم‌های ژئوترمال با دمای بالا در بسیاری از کشورهای دنیا در دسترس بوده و توانایی استفاده در بسیاری از کشورهای در حال توسعه را دارند. این مطلب باعث استفاده گسترده‌تر از اینگونه نیروگاهها به جای نیروگاههای با سوخت فسیلی که آثار زیست محیطی زاینباری دارند، شده است. علاوه بر این انرژی ژئوترمال قابلیت کاربرد در مقیاسهای کوچک مانند ۰/۵ تا ۱۰ مگاوات برای استفاده در نواحی روستایی دورافتاده را دارد.





## ۸-۲- انرژی ژئوترمال در ایران

کشور ایران با توجه به وضعیت کوهستانی آن و واقع شدن در ناحیه‌ای چین خورده دارای سیستم‌های آتشفشانی و زمین گرمایی فعالی می‌باشد. از این رو از پتانسیل بالایی برای استفاده و بهره برداری از انرژی ژئوترمال برخوردار است. مناطق مختلفی در ایران شناسایی شده اند که قابلیت استفاده برای نصب نیروگاههای ژئوترمال را دارند، از جمله آنها می توان به مناطق زیر اشاره کرد:

مهمترین پروژه استفاده از انرژی زمین گرمایی در کشور پروژه نیروگاه مشکین شهر می‌باشد. حفاری‌های انجام شده و مطالعات امکان سنجی در منطقه، امکان نصب نیروگاه ژئوترمال در این منطقه را اثبات کرده است. با توجه به مطالعات انجام شده وجود مخزنی با وسعت ۵ کیلومتر مربع و دمای ۲۴۵ درجه سانتیگراد در این منطقه اثبات شده است که جوابگوی تامین انرژی نیروگاهی با ظرفیت ۶۰ مگاوات خواهد بود. علاوه بر این مطالعات گسترده‌تر امکان نصب نیروگاهی با ظرفیت ۲۰۰ مگاوات را نیز نشان داده است. با توجه به حفاری‌های انجام شده در اعماق دامنه‌های سبلان قابلیت استفاده از انرژی زمین گرمایی در ایران اثبات شده است.

در راستای استفاده از این منبع ژئوترمال طرح‌های زیر در دست بررسی می باشد:

- تامین گرمایش ساختمان‌های مسکونی روستای مجاور سایت نیروگاه
  - احداث هتل و مجموعه تفریحی جذب توریست مطابق با استانداردهای روز دنیا
  - احداث گلخانه کشاورزی برای پرورش محصولات کشاورزی و گلخانه‌ای
  - احداث حوضچه‌های مخصوص پرورش آبزیان
- در این زمینه سازمان انرژی اتمی ایران نیز فعالیت‌های انجام داده است که در نهایت نتایج زیر را در بر داشته است:

- مشخص شدن یک مخزن زمین گرمایی هیدروترمال در عمق تقریبی ۷۰۰-۹۰۰ متری زمین با درجه حرارتی در حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد
- کشف یک مخزن زمین گرمایی هیدروترمال در عمق ۷۱ متری سطح زمین با درجه حرارتی بیش از ۱۰۰ درجه سانتیگراد

علاوه بر منطقه نامبرده شده در دامنه سبلان، مناطق دیگری در دامنه‌های دماوند و تفتان وجود دارد که در حال حاضر مطالعات امکان سنجی در این مناطق برای استفاده از سیالات ژئوترمال در دست انجام می باشد.

## ۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هزینه‌های واقعی انرژی در صورت حسابهای مالی و در پمپ های بنزین مشخص نمی شود. ما هزینه‌های غیرمستقیم زیادی را در قبال مصرف انرژی متقبل می‌شویم که در زمینه سوخته‌های فسیلی می توان هزینه‌های مربوط به آسیب به منابع طبیعی، آسیب به سلامت انسان، آلودگی هوا، آلودگی آب های سطحی و سایر موارد را نام برد. علاوه بر این نشانه‌هایی از گرم شدن آب و هوای سطح زمین در اثر افزایش گاز CO<sub>2</sub> ناشی از سوختن منابع فسیلی وجود دارد. در این صورت هزینه‌های مرتبط با این موارد برای ما و نسل‌های بعد از ما بسیار سنگین خواهد بود.

سایر هزینه‌های خارجی درگیر در انرژی هزینه‌های نظامی مربوط به حفاظت از منابع نفتی، هزینه‌های مربوط به دفن و ایزوله کردن زباله‌های رادیواکتیو و هزینه‌های مربوط به برداشت زیاد ذخایر نفتی می باشد و این مورد علاوه بر هزینه‌های سنگین مالیات و کمک‌هایی می‌باشد که به نیروگاههای فسیلی و هسته‌ای تعلق می‌گیرد. اگر تمامی این هزینه‌ها در تصمیم گیری‌های ما منظور شود کل هزینه حاصل بسیار زیاد خواهد بود. اینگونه هزینه‌های



Geothermal Power Plant in The Geysers Field, California, USA

- Zekai Sen, Renewable energy in progress and future research trends, Department of Meteorology, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Istanbul Technical University, Maslak 34469, Istanbul, Turkey, February 2004

3. <http://www.geothermal.org/>

4. <http://geothermal.marin.org/>

5. DOE/GO-10097-518, Geothermal Energy Power from the Depths, December 1997

6. <http://www.geothermie.de/>

7. <http://www.nevadageothermal.com/>

8. <http://www.thegga.org/>

9. <http://www1.eere.energy.gov/geothermal>

آقای امیر مقصودی دارای مدرک لیسانس مهندسی معدن از دانشکده فنی دانشکده تهران بوده و در حال حاضر نیز دانشجوی فوق لیسانس مهندسی صنایع در همان دانشگاه است. ایشان دارای دو سال سابقه کار و تألیفات و تحقیقات در زمینه انرژی و نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. زمینه‌های فعالیت آقای مقصودی سیستم‌های مدیریت کیفیت، انرژی و مدیریت انرژی، و زمینه‌های علاقمندی ایشان IT، شبیه‌سازی، انرژی‌های نو و نیروگاه می‌باشد.

[Amaghsoudi80@yahoo.com](mailto:Amaghsoudi80@yahoo.com)

[Amaghsoudi@ghods-niroo.com](mailto:Amaghsoudi@ghods-niroo.com)

خارجی در بهترین حالت پنهان شده و در بدترین حالت، نادیده در نظر گرفته می‌شوند، از این رو اطلاعات درستی به مصرف کنندگان داده نمی‌شود. این مطلب باعث می‌شود که برآورد درستی در مورد هزینه‌های منابع مختلف انرژی، خصوصاً منابع انرژی تجدید پذیر نداشته باشیم. در صورت در نظر گرفتن هزینه‌های خارجی منابع مختلف انرژی، منابع انرژی تجدیدپذیر قابلیت رقابت بیشتری در مقایسه با منابع فسیلی خواهند داشت. منابع انرژی ژئوترمال در صورت وجود شرایط مناسب قابلیت بالایی در جهت تامین انرژی مورد نیاز جهانی دارند. انرژی ژئوترمال به عنوان یک منبع جایگزین فراوان، پاک، قابل اطمینان و تجدیدپذیر قابل استفاده در تمامی نقاط دنیا می‌باشد.

با وجود بهره‌مندی کشورمان از ذخایر گسترده فسیلی، توجه به ذخایر و منابع جدید انرژی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به روند رو به رشد مصرف انرژی در ایران و مصرف بالای سوخت در نیروگاه‌های کشور، در آینده ای نه چندان دور ذخایر انرژی فسیلی موجود فقط جوابگوی نیازهای داخلی کشور خواهد بود و با توجه به ساختار اقتصادی کشور که اساس صادرات این ذخایر می‌باشد، چالش بزرگی را پیش‌روی کشور قرار خواهد داد.

با توجه به موارد عنوان شده و پتانسیل‌های موجود در ایران توجه بیشتر به منابع انرژی ژئوترمال ضروری به نظر می‌رسد. وجود ذخایر بزرگ ژئوترمال در ایران لزوم سرمایه‌گذاری و مطالعات بیشتر در زمینه بکارگیری و استفاده از این انرژی در ایران را آشکار می‌سازد. امید است که با سرمایه‌گذاری و مطالعات بیشتر در این زمینه در آینده شاهد استفاده هر چه بیشتر از این منبع خدادادی باشیم.

#### ۴- مراجع

- J.B. Hulen and P.M. Wright, Brochure of Geothermal Energy, Energy & Geoscience Institute at the University of Utah,



## پایه‌های اینترنتی اتوماسیون در صنعت برق

محمد امین سراجیان

کارشناس اتوماسیون - مهندسین مشاور سنا کنترل

### چکیده:

چند سالی است که با افزایش کاربرد اتوماسیون در صنعت برق و افزایش بهره‌برداری از آن در سطح انتقال فوق توزیع و توزیع، لزوم ارائه سیستمی در جهت افزایش ضریب عملکرد قابلیت اطمینان آن باید موردنظر قرار گیرد. در این مقاله سعی بر آن است که راهکارهایی برای بهبود عملکرد و افزایش قابلیت اطمینان واسطه انتقال مخابراتی و شبکه مورد نیاز برای انتقال فراهم آید. از طرفی راهکارهای موردنظر در سالیان اخیر مورد بررسی قرار گیرد. یکی از روشهای بالابردن این قابلیت اطمینان استفاده از شبکه‌هایی با پروتکل TCP/IP برای انتقال اطلاعات از Substation به مرکز کنترل می‌باشد.

کلید واژه: TCP/IP و اینترنت و Ethernet

### ۱- مقدمه

زمان و شرکت‌های تولیدکننده، دارای پروتکل‌های متفاوتی برای برقراری ارتباط می‌باشند. این پروتکل‌ها که به پروتکل‌های Telecontrol system معروف هستند، دارای ساختارهای مختلفی برای برقراری ارتباط می‌باشند. ابتدا در این جا به توضیح این ساختارها می‌پردازیم:

بازگشت زمان از آغاز به کار سیستم‌های اتوماسیون به شبکه‌های قدرت، نیاز به این سیستم بیش از پیش واضح‌تر و روشن‌تر می‌گردد. بنابراین پیاده‌سازی و شبیه‌سازی این سیستم با توجه به امکانات سخت‌افزاری کم و نیز نیاز نه چندان زیاد آن به تکنولوژی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پیشرفته، می‌تواند زمینه مناسبی برای پیشرفت کشورمان در این سیستم، فراهم نماید. از طرفی سیستم‌های اتوماسیون در بخش‌های زیادی از صنعت برق همچون، نیروگاهها، پست‌ها، آزمایشگاههای فشارقوی و ... می‌تواند به کار گرفته شود. هر چند که شکل بکارگیری این سیستم در هر کدام از این مجموعه‌ها می‌تواند متفاوت باشد، ولی اصول بکارگیری آنها خصوصاً در مورد شبکه داخلی (Ethernets) آنها در مجموعه‌ها بسیار مشابه می‌باشد.

### ۲- Ethernet در اتوماسیون پست‌ها

#### ۱-۲- همبندی IEDها

IED های به کاررفته در اتوماسیون صنعت برق همانگونه که مشخص است، به دلیل پراکندگی

#### ۲-۱-۱- قابلیت گسترش و (Cascadable)

همانگونه که در شکل (۱) مشخص است، این نوع همبندی دارای مزیت قابل گسترش بودن است. در این نوع همبندی که ساده‌ترین نوع است، همه IED ها، با هم به صورت سری قرار می‌گیرند. اطلاعات ابتدا از طریق شینه اطلاعات<sup>۱</sup> وارد IED (یا سوئیچ) اول شده و سپس به تجهیزات دیگر می‌رسد. در این نوع برقراری ارتباط، زمانی که نرم‌افزار قصد برقراری ارتباط با یکی از IED ها را دارد، در سطح فیزیکی پروتکل، آدرس و سایر اطلاعات از قبیل سرعت انتقال اطلاعات<sup>۲</sup> و ... را

1- Data bus

2- rae daud



در بسته‌های اطلاعاتی به همراه اطلاعات دیگر می‌فرستد. حال اگر اطلاعات موردنظر (در سطح اول آدرس) با آدرس تجهیز موردنظر تطابق داشته باشد، در این صورت سوئیچ سرآمدهای مربوط به آدرس را از بسته اطلاعاتی حذف کرده و بقیه اطلاعات را به IED موردنظر می‌فرستد. در این سطح سخت‌افزار اطلاعات لایه فیزیکی بسته‌های اطلاعاتی را دریافت نموده و پس از مطابقت خود با آن، بقیه بسته را که شامل لایه کاربرد است، به عنوان اطلاعات خام موردنظر جهت پردازش اطلاعات به کار می‌برد.

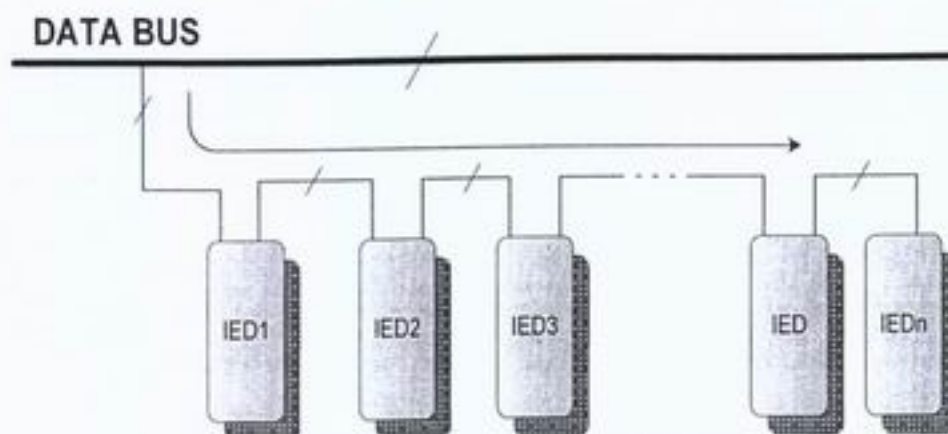
حال اگر اطلاعات مربوط به آدرس در سوئیچ اول با آدرس آن IED مطابقت نداشته باشد، در این صورت سوئیچ مسیر را برای انتقال بسته‌ها به تجهیزات بعدی باز می‌کند. این کار در مورد سوئیچ‌های بعدی انجام می‌شود تا بسته‌های اطلاعات به مسیر موردنظر خود برسند. همانگونه که توصیف این همبندی انجام شد در نگاه اول شکل آن در سری بودن این IED ها و در پایین بودن سرعت انتقال Data به دلیل مالیتی پلاکس شدن اطلاعات و سری شدن تجهیزات است. از طرفی اگر به هر دلیلی یکی از مسیرهای انتقال اطلاعات خراب شود، در این صورت همه

تجهیزات بعد از آن (مسیر خراب شده)، امکان برقراری ارتباط را از دست می‌دهند. در شکل (۱) این نوع همبندی نشان داده شده است.

### ۲-۱-۲- لوپ (loop)

این نوع همبندی زمانی مدنظر قرار گرفت که قابلیت اطمینان پایین انتقال اطلاعات در همبندی‌های نوع cascadable ظاهر شده بنابراین در گسترش همبندی cascadable سعی بر آن بود که این نقص در حد ممکن، کاهش یابد.

گسترش شبکه شکل cascadable، امروزه به شکل looped درآمد است، اما همچنان نرخ پایین سرعت انتقال اطلاعات از تجهیز موردنظر به مرکز کنترل، می‌تواند به عنوان مشکلی بزرگ جهت گسترش سیستم‌های اتوماسیون مطرح گردد. به دلیل نیاز سیستم قدرت به انتقال درست و بدون خطای اطلاعات، آنچه که به صورت گسترده مطرح شده است، انتقال سرعت پایین اطلاعات است. در این حالت لایه انتقال پروتکل‌های مخابراتی این IEDها، توان این را می‌یابند که با دقت بیشتری (در صورت نیاز تا چندین بار) عمل Errorchecking را انجام دهند.



شکل (۱) همبندی Cascadable

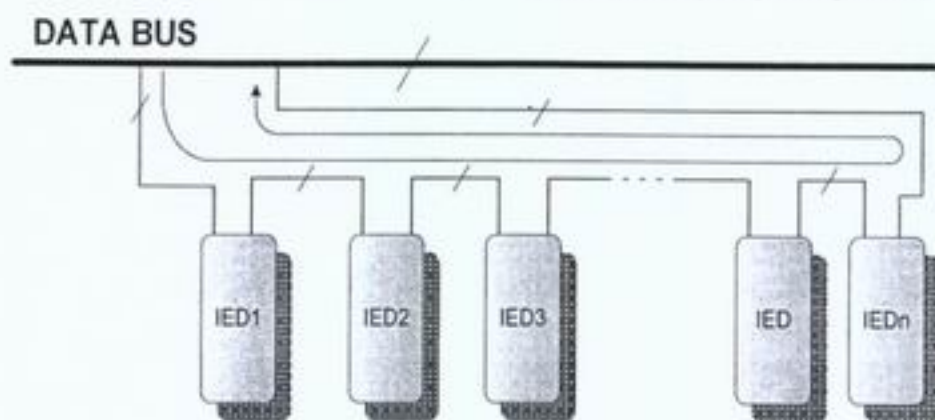
همبندی علاوه بر آن که سرعت بالایی از انتقال داده را حمایت می‌کند، قابلیت اطمینان بالایی را برای اطلاعات شبکه به وجود می‌آورد. در این حالت هیچ احتیاجی به بقیه پلکس کردن اطلاعات IED وجود ندارد. بنابراین هر یک از اتصالات بین IED و سوئیچ به طور مستقل در اختیار انتقال Data برای همان IED در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن منحصر به فرد بودن این Connectionها باعث می‌شود که اگر مسیر انتقال اطلاعات بین یک Switch و یک تجهیز از بین برود، در این صورت دسترسی شبکه (Ethernet) به همان تجهیز از میان می‌رود، نه دسترسی به کل تجهیزات. علاوه بر آن آدرس‌دهی در این حالت، مسیر انتهایی فایل را به صورت کامل مشخص می‌کند. در شکل (۳) شمای کلی این نوع همبندی نشان داده شده است.

برای پیاده‌سازی این نوع همبندی همانگونه که از شکل پیداست، IED انتهایی به Databus وصل می‌شود. در این حالت اگر خطایی در مسیر انتقال اطلاعات صورت گیرد، IED های قبل از محل خطا از طریق مسیر اولیه و IED های بعد از محل خطا از طریق مسیر دوم، به اطلاعات دسترسی می‌یابند.

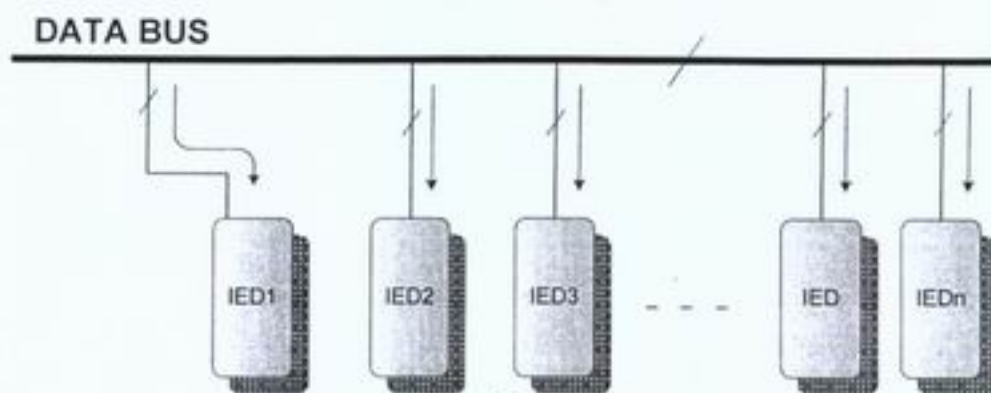
شمای کلی این نوع همبند در شکل (۲) مشخص شده است.

### ۲-۱-۳- استار (Star)

امروزه با گسترش روزافزون سیستم‌های اتوماسیون و نیز نیاز به دسترسی به سرعت بالا به اطلاعات مربوط به اتوماسیون باید همبندی‌های جدیدی را برای تجهیزات سیستم قدرت در نظر گرفت، که این خواسته را برآورده کند. در این راستا همبندی استار شکل گرفت. این نوع



شکل (۲) همبندی Loop



شکل (۳) همبندی Star

## ۲-۲- ساختار Ethernet در اتوماسیون پست

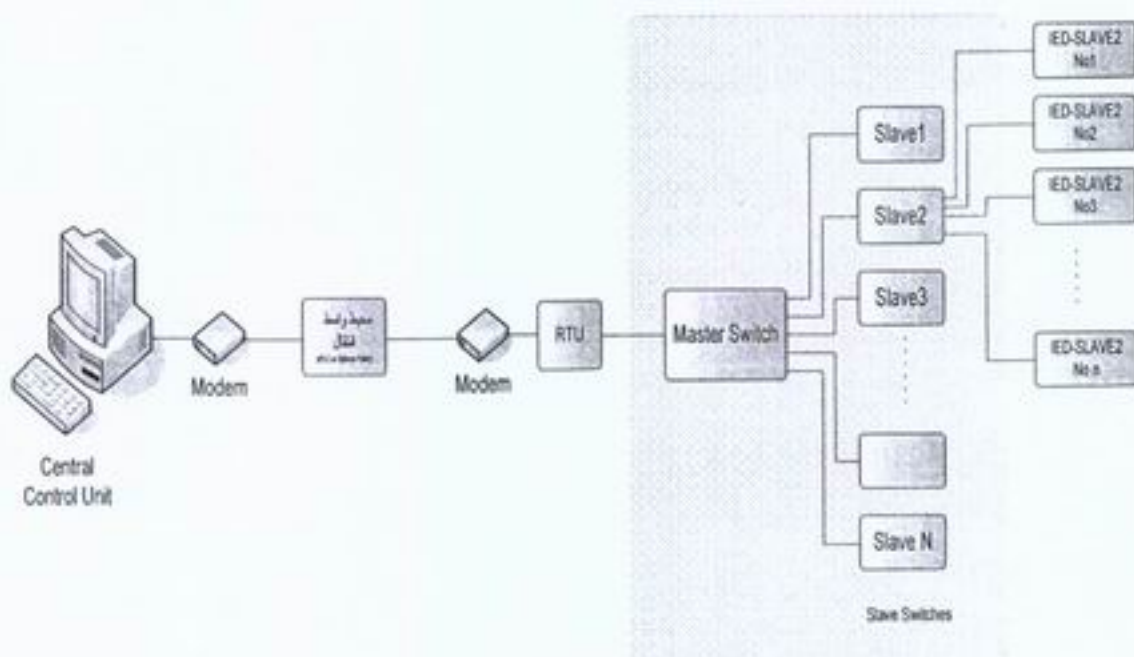
همانگونه که در مورد شبکه‌های کامپیوتری واسطه‌هایی برای data transmission به کار می‌رود، در مورد S.A نیز شبکه‌ها به صورت Master-slave و با کاربرد این چنین تجهیزاتی به شبکه‌های داخلی در پست‌ها و سایر مراکز نیز پیاده‌سازی می‌شود. شمای کلی ساختار Ethernet پست‌ها و شبکه‌های گسترده (WAN) در شکل (۴) نشان داده شده است.

همانگونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، این نوع پیاده‌سازی اتوماسیون شامل (۳) قسمت عمده است. قسمت اول که در مرکز کنترل مستقر است، شامل شبیه‌ساز<sup>۱</sup> است، که مهندس کنترل از طریق آن شبکه موردنظر را زیرنظر دارد. قسمت دوم نیز محیط واسطه انتقال اطلاعات از substation است و در نهایت قسمت سوم که شامل Ethernet و کلیه تجهیزات مربوط به آن در پست می‌باشد.

ابتدا به بحث در مورد Ethernet پست می‌پردازیم.

در وهله اول IED های پست به عنوان یک IED دیگر که معمولاً یک Switch است، وصل می‌شوند. این باعث می‌شود که تعداد ورودی‌های به تجهیز انتقال که آن را RTU می‌نامیم، کمتر شود، یعنی به جای اینکه هر کدام از IED ها از جمله رله‌ها و ... را به طور مستقیم به ورودی RTU وصل کنیم، مجموعه اینها را به یکی از ورودی‌های RTU متصل کنیم که این باعث صرفه‌جویی به واسطه انتقال اطلاعات (محیط انتقال) و نیز درگاه‌های ورودی RTU ها می‌گردد. سپس خروجی RTU بر روی محیط انتقال مانند PLC، فیبرنوری و ... قرار می‌گیرد.

محیط واسطه که می‌تواند PLC و یا فیبرنوری باشد، اطلاعات را به صورتی که موردنظر است، منتقل می‌کند. محیط انتقال PLC می‌تواند سرعت نسبتاً قابل قبولی را حمایت کند ولی



شکل (۴)

1- simulator

فیبرنوری می‌تواند پهنای باند وسیعی را تحت پوشش قرار دهد و در نهایت مرکز کنترل، اطلاعات رسیده از طریق محیط واسط، ابتدا از طریق یک مدار واسط که شامل چند ورودی است، وارد workstation نصب شده در substation می‌شود. وجود این مدار واسط این امکان را فراهم می‌کند، که بتوان چند مسیر اطلاعات مختلف را از راههای گوناگون به یک مسیر انتقال اطلاعات تبدیل کرد. این اطلاعات رسیده از طریق این Interface به عنوان اطلاعات خام نرم‌افزار شبیه‌ساز، به آن تحویل می‌گردد. این نرم‌افزار، بسته‌های اطلاعات را تبدیل به اطلاعات قابل مشاهده و قابل کنترل برای مهندس حفاظت و کنترل می‌نماید. در مورد آدرس دهی این Ethernet باید گفت که برای مشخص‌سازی دقیق مسیر انتقال اطلاعات باید شماره Slave هر کدام از تجهیزات را مشخص نمود. به این معنی که با اختصاص شماره Slave به هر کدام از IEDها، تعداد سرآمدهایی که Workstation باید به آدرس اضافه کند، مشخص می‌شود. در این حالت، هر کدام از سرآمدها آدرس هر کدام از مسیرها را مشخص می‌کند.

### ۳- اینترنت در Substation Automation

همانگونه که در بخش قبل تشریح شده اتوماسیون شامل یک شبکه داخلی (Ethernet) در پست فشارقوی و یک WAN در محدوده مرکز کنترل و پست فشارقوی می‌باشد. پروتکل‌های مخابراتی مورد استفاده در این WAN ها تا چندی پیش، محدود به Telecontrolsystem بودند. در حالی که با گذشت زمان و مشخص شدن این که، این پروتکل‌ها به دلیل ساختار خاص خود، به راحتی قابل گسترش نیستند، سعی بر آن بود تا با گسترش این پروتکل‌های مخابراتی که بیشتر محدودیت آنها را RTU ها اعمال می‌کردند. گسترش آسانتر اتوماسیون در صنعت برق میسر

گردد. بنابراین در سالیان آخر سعی بر آن بوده است که پروتکل‌های مورد استفاده برای گسترش آینده، نیاز گسترش آن را به راحتی برآورده سازد. در این راستا و در چند سال اخیر و بعد از پیمان نامه‌ای که بین سازنده‌های بزرگ IED ها، مثل Siemens ، ABB ، SAD و ... صورت گرفت، قرار شد که پروتکل مشترک IEC.61850 در تولیدات این شرکت‌ها به کار گرفته شود، که این باعث می‌گردد از یک طرف مشکلات قبلی این پروتکل‌ها برطرف شود، و از طرفی دیگر نیاز اتوماسیون در آینده‌ای نزدیک به تجهیزاتی مانند Protocol Gateway ها که خود دارای یک نرخ Failure می‌باشند، برطرف گردد. پس از گذشت مدتی از استفاده از این پروتکل در IED ها باز هم، همچنان مشکل گسترش سیستم و بازبودن نحوه بهره‌برداری از آنها پابرجا بود. بر این اساس امروزه سعی بر آن است از اینترنت‌ها پروتکل TCP استفاده شود. استفاده از این پروتکل، علاوه بر آن که ایمنی در انتقال اطلاعات را بالا می‌برد، امکان گسترش سیستم و دسترسی مجاز به اطلاعات را از هر جای سیستم که موردنیاز باشد، ممکن می‌سازد. علاوه بر آن می‌توان بدون نیاز به Protocol Gateway ها همه تجهیزات مورد استفاده در پست را کنترل کرد و اطلاعات را از آنها جمع‌آوری نمود. این راهکار در انتهای این مقاله، تشریح می‌گردد.

### ۴- ساختار اینترنت در اتوماسیون

اینترنت در اتوماسیون با توجه به پروتکل‌های مخابراتی مورد استفاده و نیز با توجه به کارایی آنها در اتوماسیون به شکل‌های مختلفی به کار می‌رود. ساختارهای مختلف اینترنت مورد استفاده در اتوماسیون به قرار زیر می‌باشد:

#### ۴-۱- یکپارچه (Monolithic)

همانگونه که از نام این همبندی بر می آید، این نوع اتوماسیون شامل یک سری connection بین IED های انتقال مثل RTU ها و SCADA MASTER می باشد. در این نوع همبندی، شکلی که به وجود می آید، تحلیل اطلاعات از طریق تنها یک شبیه ساز (Simulator) است، به این معنی که اگر این workstation به هر دلیلی دچار مشکل شود، آنالیز اطلاعات و مونیتورینگ سیستم با مشکل روبرو خواهد شد. علاوه بر آن امکان هیچ گونه تبادل اطلاعاتی بین پست های یک منطقه وجود ندارد.

در این نوع همبندی، ارتباط بین RTU ها و مرکز کنترل از طریق یک شبکه پهن (WAN) برقرار می گردد. این WAN ها همگی دارای پروتکل های خاص Telecontrol بودند. به دلیل مشکلات خاص این پروتکل ها و نیز عدم امکان گسترش راحت آنها، تمام تلاش بر گسترش این شبکه و افزودن امکانات به آن معطوف شد.

#### ۴-۲- گسترده (Distributed)

همانگونه که از شکل این نوع همبندی مشخص است، دو تا از مشکلات همبندی یکپارچه به نحوی حل شده است. در این نوع همبندی، که شامل تعدادی WAN و تعدادی LAN می باشد، از طریق یک WAN، ارتباطی بین RTU ها و ایستگاه های ارتباطی برقرار می شود.

این ایستگاه های ارتباطی همانند اینترنت (Internet) عمل می کنند، به این معنی که می توان از آنها اطلاعات IED ها دریافت کرده و به آنها داده، ارسال کرد. تفاوتی که این ایستگاه های ارتباطی با اینترنت دارند، در قابلیت دسترسی آنها می باشد. این ایستگاه های ارتباطی

هنوز امکان برقراری ارتباط باز را فراهم نیاورده بودند، ولی در یک سطح بالاتر، اتصال بین این ها و ایستگاه کاربر که از طریق یک WAN ممکن می شود، یکی از مشکلات حل می گردد. ایستگاه های کاربرها از طریق LAN به هم متصل می شوند، که این اتصال باعث می شود، اگر مشکلی در یکی از این ایستگاهها پیش بیاید، LAN توانایی انتقال اطلاعات را به ایستگاه دیگر، دارا می باشد.

علاوه بر آن که این گونه همبندی توانایی تجزیه و تحلیل سیستم های بزرگتر و پیچیده تری را دارد، قابلیت اطمینان عملکرد سیستم را نیز بالاتر می برد. بالا رفتن قابلیت اطمینان و عملکرد این سیستم نه تنها از جهت کارکرد ایستگاه های کاربرها، بلکه از جهت نحوه کارکرد ایستگاه های ارتباطی نیز می باشد.

#### ۴-۳- شبکه (Networked)

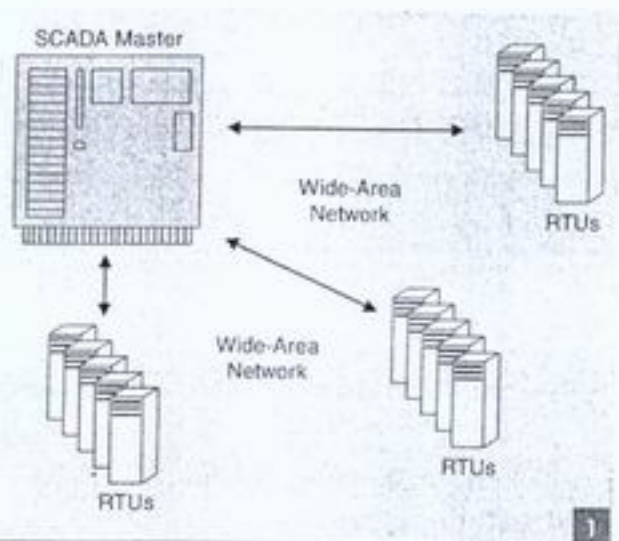
نوع سوم از همبندی در سیستم های اتوماسیون، "شبکه" است. این نوع شبکه ها که معمولاً با پروتکل های معمول شبکه های کامپیوتری، TCP پیاده سازی می شوند، یکی دیگر از مشکلات اتوماسیون را حل می کند. مشکلی که این نوع همبندی حل می کند این است که امکان گسترش اتوماسیون را به صورت بسیار ساده فراهم می کند. پروتکل TCP به دلیل باز بودن سیستم دسترسی، امکان برقراری ارتباط substation ها از هر جایی را ممکن می سازد. در این حالت می توان مراکز دیسپاچینگ را در چندین لایه به صورت ساده ای پیاده سازی کرد. علاوه بر آن، این گونه همبندی امکان نظارت را به مهندس کنترل از هر جایی که امکان اتصال به اینترنت (نه لزوماً شبکه جهانی) وجود داشته باشد، می دهد. همچنین امکان



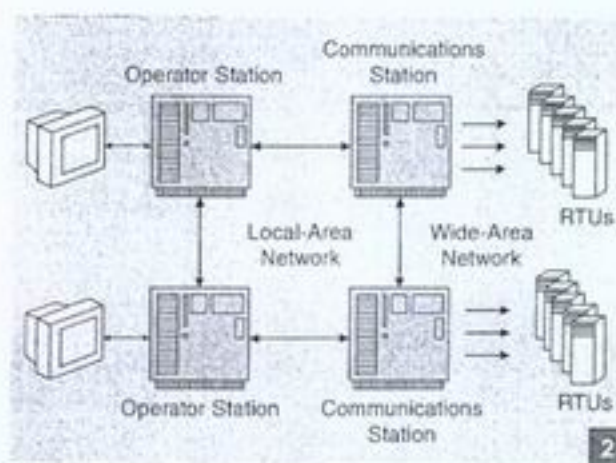


اطمینان بالا می‌باشد. شمایک همگی  
همبندی‌های مذکور در بالا در شکل‌های ۵-الف تا  
۵-ج نشان داده شده است.

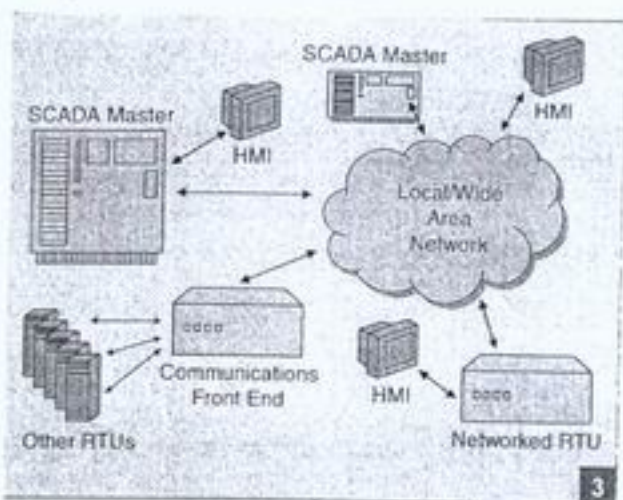
پیاپی سازی آسان این شبکه، می‌تواند دلیل خوبی  
برای استفاده از آنها در اتوماسیون باشد. پروتکل  
TCP در مقایسه با پروتکل‌های شبکه‌های  
گسترده<sup>۱</sup>، دارای امکان گسترش و قابلیت



First-generation SCADA architecture.



Second-generation SCADA architecture.



Third-generation SCADA architecture.

شکل (۵-الف) تا (۵-ج)

1- Distributed network protocol (DNP)

## ۵- ساختار اتوماسیون با دسترسی اینترنت

همانگونه که می‌دانیم اتوماسیون در صنعت برق شامل جمع‌آوری اطلاعات از سطح پستها و اعمال کنترل نظارتی بر آنها، تجهیزات نصب شده در آنها، به منظور کنترل کیفیت توان و ... است. از طرفی فاصله زیاد بین مرکز کنترل و پست فشارقوی می‌تواند باعث ایجاد خطا حین انتقال اطلاعات شود. بنابراین هر گونه تلاشی در جهت کم‌کردن این نویز و این خطا، می‌تواند بسیار با ارزش تلقی گردد.

در این راستا پیاده‌سازی WAN با پروتکل TCP بسیار متداول گردیده است. در این بخش سعی بر آن است که یکی از راههای Data Transmission بین مرکز کنترل و پست فشارقوی، مورد بررسی قرار گیرد.

شبکه موردنظر در مرکز کنترل شامل یک Workstation است که همه اطلاعات از طریق مدیا وارد آن می‌گردد. این تبادل می‌تواند از طریق اینترنت باشد. به این ترتیب اطلاعات توسط پروتکل P و با ضریب اطمینان بالاتر از طریق اینترنت بین مرکز کنترل و پست فشارقوی منتقل می‌شود. در این نوع پیاده‌سازی، ابتدا نرم افزار اصلی در Workstation مرکز کنترل نصب می‌شود. سپس یک نرم‌افزار که در workstation نصب شده در پست فشارقوی موجود است. به عنوان یک user از طریق این نرم‌افزار، کار تبادل اطلاعات را انجام می‌دهد. سپس یک نرم‌افزار دیگر که در واقع کار یک Data Switch را انجام می‌دهد، اطلاعات موردنظر را به IEDهای موردنظر می‌رساند. پیاده‌سازی این سیستم، به سیستم اتوماسیون امکان می‌دهد که بتواند همه نوع تبادل اطلاعاتی را با IED ها داشته باشد. این روش پیاده‌سازی اتوماسیون، در واقع شبیه‌سازی مرکز

کنترل در پست فشارقوی است. به این ترتیب IED ها هنگام برقراری ارتباط، به جای آنکه مخاطب خود را در مرکز کنترل ببینند، در Workstation پست، نرم‌افزار کاربر را ارتباط برقرار می‌کند. اجرای این گونه اتوماسیون علاوه بر آن که سرعت انتقال اطلاعات را بالا می‌برد، نیاز به IED هایی از قبیل Protocol Gateway ها را از میان می‌برد. زیرا در این حالت، تجهیز موردنظر با نرم‌افزار کاربر در workstation ارتباط برقرار می‌کند و رابطه بین این نرم‌افزار و مرکز کنترل از طریق اینترنت و فقط با Data Transmission ممکن می‌شود. در این حالت، اتوماسیون بدون نیاز به پیاده‌سازی Ethernet (شبکه داخلی) ممکن می‌شود. علاوه بر آن وجود این گونه شبکه‌ای در پست، نیاز به وجود بسیاری از تجهیزات مربوط به Ethernet را کاهش می‌دهد.

علاوه بر آن، فرسودگی تجهیزات پس از گذشت مدت زمانی، می‌تواند باعث ایجاد failure در سیستم data acquisition و control گردد، ولی وابسته و نزدیک‌تر کردن آنها به نرم‌افزار و دوری از استفاده از سخت‌افزارهای اضافی می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه، بالا رفتن سرعت و عملکرد سیستم شود.

## ۶- نتیجه‌گیری

گسترش سیستم اتوماسیون در سالهای اخیر بر پایه افزایش قابلیت اطمینان و نیز حرکت به سمتی بوده که بتوان دسترسی باز شبکه‌های اتوماسیون را در اختیار قرار دهد. پروتکل‌های متداول مورد استفاده در Telecontrol System هنوز امکان دوم را برای اتوماسیون فراهم نکرده است. در حالی که پروتکل TCP هر دو امکان را برای تکنولوژی اتوماسیون فراهم می‌کند. بنابراین



در سالیان اخیر سازندگان بزرگ IED ها به دنبال رسیدن به تکنولوژی بوده‌اند که بر پایه آن محصولات آنها پروتکل TCP را حمایت کند.

#### ۷-مراجع

- 1- H. Hayashi , Y.Hasegawa , s.komatsu , Ksuzuki , "Development of the International Based SCADA for power system , IEEE Trans. On power Delivery , 2000.
- 2- V.N.Gohokar , T.m.Dhande, S.S.Kabra , M.K.Khedkar , "Application of Information Technology in substation Automation" , IEEE Trans.on Power delivery. 2004.
- 3- D.Proudfoot , "Information Technologies for substation Automation Applications", IEEE Trans. On power Delivery , 2001.
- 4- B.Qiv , H.Gooi , Y.Liv,E.K.chan , "Internet based SCADA display system" , IEEE computer Application in power 2002.
- 5- "SCADA AND IP, is network convergence Really here?" , IEEE Industry Applications magazine " APR 2003.
- 6- "Ethernet in substation automation" , IEEE control system magazine , June 2002.

آقای محمدمین سراجیان دارای مدرک لیسانس مهندسی قدرت و دانشجوی سال دوم کارشناسی ارشد گرایش قدرت دانشگاه تهران بوده و در حال حاضر کارشناس اتوماسیون در مهندسی مشاور سنا کنترل است. آقای سراجیان تا چندی پیش کارشناس واحد مطالعات سیستم در مهندسی مشاور قدس نیرو بوده و زمینه کاری و علاقمندی ایشان اتوماسیون و حفاظت دیجیتال است.



## استفاده از آب دریا جهت مصارف آب آتش نشانی و انتخاب لوله‌های مناسب

ساناز اسدکرمی

کارشناس متالورژی پروژه‌های کنترل کیفیت - مدیریت مهندسی صنایع نیروگاهی

### چکیده:

در این مقاله سعی شده شرح مختصری از خوردگی داخلی لوله‌ها در اثر آب دریا، خوردگی در اثر اتمسفر دریا، خوردگی خارجی لوله در اثر تماس با خاک و همچنین انتخاب لوله‌ها از لحاظ مقاومت خوردگی، مقاومت مکانیکی و حرارتی و مسائل تعمیراتی و عمر طراحی آنها و کاربرد لوله‌ها و نهایتاً پیشنهادات در مورد انتخاب لوله‌های مناسب مورد بررسی قرار گیرد.

### ۱- مقدمه:

با توجه به طراحی سیستم آتش نشانی و مصارف آب آتش نشانی مسأله انتخاب لوله و اتصالات از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا تجهیزاتی هستند که در نزدیکی سواحل دریا قرار دارند و نامین آب آتش نشانی از آب دریا جهت سیستم آتش نشانی بعنوان اولین انتخاب مورد توجه قرار می‌گیرد. با پیش بینی مصارف زیاد، بررسی این نکته ضروری است که انتخاب لوله و اتصالات جهت استفاده از آب دریا و تخمین عمر مفید آنها ارجحیت دارد.

### ۲- بررسی وضعیت خوردگی سیستم لوله کشی

در بررسی موارد خوردگی لوله‌ها و اتصالات لازم برای انتقال آب دریا، جهت مصارف آب آتش نشانی با سه عامل متفاوت مواجه هستیم که شامل [۴]:

الف: خوردگی داخلی سیستم در اثر آب دریا

ب: خوردگی خارجی سیستم در تماس با اتمسفر دریایی

ج: خوردگی خارجی لوله‌ها و اتصالات در تماس با خاک (سیستم مدفون)

### ۲-۱- خوردگی داخلی در اثر آب دریا

خوردگی مواد در اثر آب دریا بستگی زیادی به کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب دارد. از جمله پارامترهای مهم در این رابطه، هدایت الکتریکی آب، PH، غلظت و نوع نمکها و گازهای موجود در آب و مسائل رسوبگذاری ناشی از این موارد می‌باشند. به طور کلی در آب دریا ۲/۴٪ نمک موجود است که خاصیت قلیایی دارد (مقدار  $PH = 8$ )، در نتیجه الکترولیت خوبی بوده و سبب خوردگی شیاری و گالوانیک می‌شود [۱].

برای انتخاب آلیاژ مناسب در این سیستم باید از رفتار خوردگی آن در سیستم مطلع بود. فولاد ساده کربنی به دلیل قیمت کم، استحکام مناسب، کاربردهای زیادی را در محیطهای دریایی دارد. اما، تجربه نشان داده است که کاربرد چنین فولادهایی مسائل تعمیراتی زودرس را به همراه داشته و در مجموع عمر مفید سیستم کوتاه خواهد بود. به طور کلی به دلیل قابل قبول بودن فولادهای کربنی از نظر مسائل اقتصادی و کاربردی<sup>۱</sup>، استفاده از این فولاد در این نوع سیستمها مرسوم شده است [۵].





نوع خوردگی این گروه فولادها (ساده کربنی)، بیشتر به صورت PITTING (نوعی خوردگی شدیداً موضعی، که باعث سوراخ شدن تجهیزات یا قطعات فلزی می‌شود) و یا CREVICE (نوعی خوردگی، که اکثراً در شیارهای در معرض محیط خورنده روی می‌دهد) می‌باشد [۳]. این خوردگیها به سرعت توسعه یافته و سبب نشت در اتصالات، لوله‌ها و شیرها می‌گردند. در چنین مواردی تأسیسات مجاور نیز که در مسیر نشتی آب قرار دارند، در معرض خوردگی قرار می‌گیرند. با این وجود سیستم حامل آب دریا سبب می‌شود که محصولات خوردگی مسیرهای تنگ و مقاطع باریک را مسدود نماید. البته سرعت حرکت آب در لوله‌ها تأثیر بسیاری در سرعت خوردگی دارد. باید توجه داشت که در سرعت‌های بالای ۳ فوت بر ثانیه موجودات زنده نمی‌توانند به جدار لوله چسبیده و روی آن رشد کنند. با این وجود با افزایش سرعت سیال سرعت خوردگی حفره‌ای در فولاد کربنی افزایش می‌یابد. از فولادهای گالوانیزه به میزان زیادی در این سیستمها استفاده می‌شود که دلیل آن حفاظت کاتدی مناسبی است که بر روی فولاد اعمال می‌نمایند. پوشش گالوانیزه معمولاً دارای ضخامت ۸۰-۶۰ میکرون است که شامل آلیاژهای مختلف روی- آهن می‌باشد. در سطح پوشش تقریباً روی خالص است و به تدریج به سمت فولاد، درصد روی در آلیاژ کم شده و به صفر می‌رسد. البته فولادهای گالوانیزه و ضد زنگ نیز از خوردگی در اثر آب دریا مبرا نیستند. عواملی چون سختی آب ورودی و حجم اکسیژن موجود در آب اثر قابل توجهی در خوردگی این نوع پوشش دارد. در هر حال گسترش خوردگی سبب بازسازی کلی در سیستم پس از چند سال (در حدود ۱۰ تا ۲۰ سال) می‌شود. گاهی اوقات از لوله‌های فولادی با پوشش سیمان برای عبور آب استفاده می‌شود که با توجه به ایجاد محیط قلیایی از آهن و فولاد به خوبی محافظت می‌نماید. مشکل اساسی با پوشش سیمان این است که هیچ گونه خاصیت ارتجاعی نداشته و در صورت نفوذ کلر به درون

سیمان با افزایش حجم سیمان سبب شکستگی پوشش شده و در نتیجه خوردگی فولاد را به همراه دارد، که تعمیرات این نوع پوشش نیز در محل مشکلات خاص خود را در بردارد [۳].

## ۲-۲- خوردگی خارجی سیستم در تماس با اتمسفر دریایی

خوردگی در این محیط عمدتاً به دو عامل رطوبت و اکسیژن بستگی دارد، ولی با وجود ناخالصیهایی مانند ترکیبات گوگردی و نمک، مسأله حادتر می‌شود. خوردگی فولاد در ساحل دریا ۴۰۰ تا ۵۰۰ برابر خوردگی آن در یک ناحیه کویری است [۲]. برای جلوگیری از مسأله خوردگی باید ارتباط فلز با محیط خورنده قطع شود، که رنگهای صنعتی مدرن نیز دقیقاً جوابگوی مسأله خوردگی قسمت‌های اتمسفری می‌باشند. نفوذ ناپذیری نسبی و چسبندگی این پوششها کیفیت آنها را تعیین می‌نماید. تمیزی سطوح، تأثیر بسیار زیادی بر کیفیت چسبندگی این رنگها دارند. این رنگها گرچه مقاومت خوبی در برابر اتمسفر دریایی دارند اما عملاً باید یک برنامه زمان بندی تعیین شده برای رنگ آمیزی تأسیسات و تعمیرات لازم، اعمال شود.

نوارهای پوششی از نوع پلی اتیلن و P.V.C اگر چه مقاومت خوبی در محیط دریایی دارند، اما نیاز به تمیز بودن کامل سطوح دارند. تعمیر چنین سیستمی آسان بوده ولی عمر آن کوتاه است.

پوششهای آلی چون پلی اتیلن یا پودر اپوکسی به ضخامت حدود ۲/۵ میلیمتر با روشهای پیچیده

"HOT DIPPING", "FUSING BONDING" و

"ELECTRO PLATING"، در کارخانه بر روی

سطح فلز اعمال می‌گردد. این پوششها در صورتی که روش آماده سازی سطوح و اعمال آنها دقیقاً بر اساس استانداردها، کنترل گردد بسیار مقاوم هستند، اما در صورت آسیب دیدگی مکانیکی قابل ترمیم نمی باشند و از سوی دیگر کاربرد تعمیراتی ندارند [۳].

در این محیط ممکن است از چسبهای خمیری نیز استفاده شود، این چسبها از انواع اپوکسی پلی آمید بوده و حاوی ۱۰۰٪ مواد جامد سیلیکا و بدون حلال است، که پس از مخلوط شدن دو قسمت رزین و سخت کننده و اعمال بر روی فلز، پیوند محکمی با فلز تشکیل می‌دهد. از خصوصیات این مواد، این است که عامل آمین پلی آمید، رزین قدرت جایگزینی ملکول آب در سطوح مرطوب را دارند و از سوی دیگر در آب حل نمیگردند و در مقابل ضربات مکانیکی آسیب‌پذیر هستند [۳].

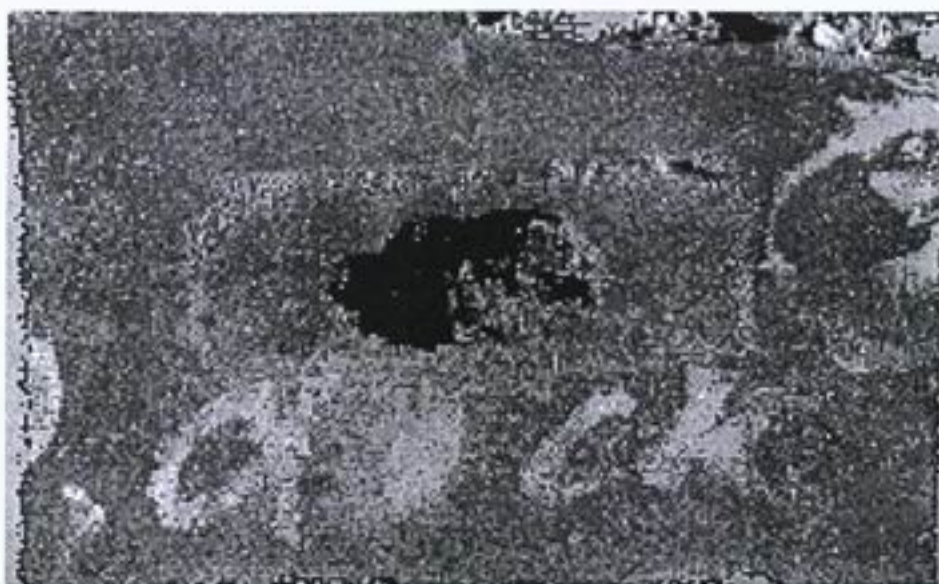
### ۲-۳- خوردگی خارجی لوله‌ها و اتصالات در تماس با خاک (سیستم مدفون)

این نوع خوردگی بستگی به ترکیبات شیمیایی خاک، PH، میزان رطوبت، و اندازه دانه‌های خاک دارد (این اختلاف اندازه باعث اختلاف در هواگیری و میزان رطوبت موجود در خاک می‌شود). همچنین حضور انواع باکتریهای موجود در خاک با هم متفاوت هستند. وجود رطوبت بالا در خاک مناطق ساحلی خوردگی آنها را افزایش می‌دهد. یکی دیگر از عوامل خوردگی در خاکها، خوردگی میکربی می‌باشد (شکل ۱).

این موجودات به سبب ترشح مواد شیمیایی بر روی لوله اثر گذاشته و خوردگی ایجاد می‌کنند و اغلب به صورت دسته جمعی در یک قسمت از لوله رشد و نمو می‌نمایند.

نتیجه این عمل، خوردگی وسیعی بر روی خطوط لوله می‌باشد، که با تشکیل یک پوسته غیر محافظ سولفور آهن همراه خواهد بود [۱].

برای پیشگیری از این نوع خوردگی به پوششهای با کیفیت بالا نیاز است. اگر در زمان اجرای این پوششها توجه کافی نشود و لوله‌ها از حفاظت کاتدی بهرمنند نشوند، پس از مدتی باعث نفوذ باکتریها در زیر پوششها شده و تورم در پوشش ایجاد می‌نماید که این شروع خوردگی و افزایش سرعت خوردگی لوله است. بدترین خوردگی که برای لوله‌های مدفون در خاک به وجود می‌آید، در محلهایی است که جریانهای الکتریکی سرگردان وجود دارد. منابع چنین جریانهایی ممکن است سیستم حفاظت کاتدی، سیستم حمل و نقل برقی، کارگاههای آبکاری الکتریکی، و یا وسایل جوشکاری باشد. با توجه به رطوبت بالای مناطق ساحلی مقاومت خاک بالاتر بوده و سبب می‌شود جریانهای الکتریکی از طریق لوله‌های فلزی مدفون انتقال یابند.



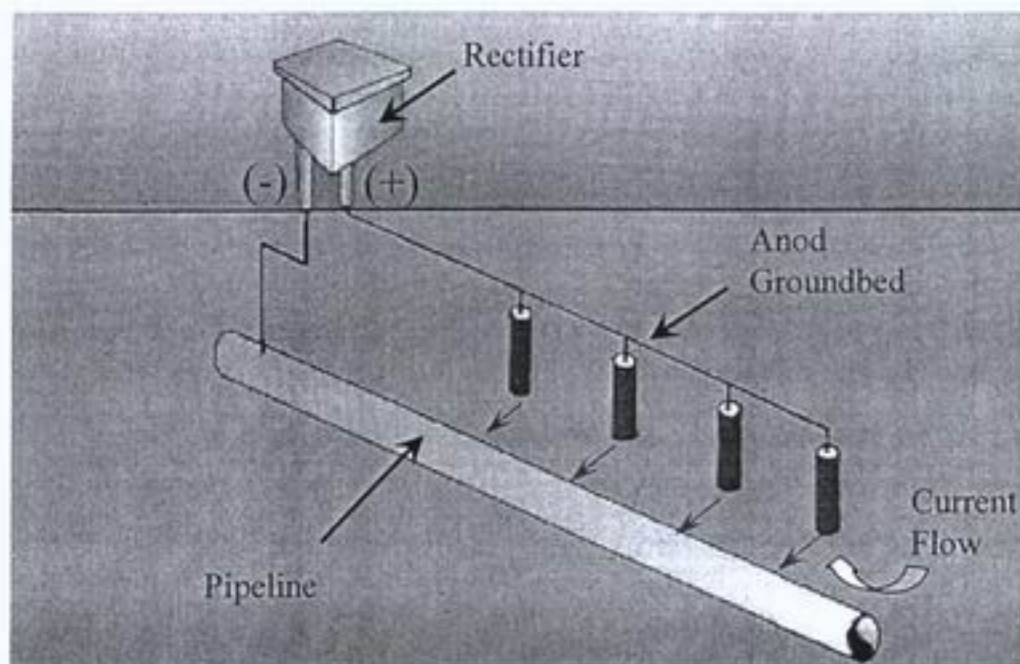
شکل (۱): خوردگی ناشی از فعالیت باکتریها در سطوح خارجی لوله

روشهایی که برای حفاظت قسمت بیرونی لوله‌ها به کار می‌برند پوشش‌های مناسب و سیستم حفاظت کاتدی است. به طور کلی از پوشش‌های قیر اندود شده برای جلوگیری از حمله خوردگی به لوله، کار گذاشته شده در خاک استفاده می‌کنند. دلیل آن چسبندگی بالای این نوع پوشش است. در روش‌های پیشرفته‌تر از نوارهای (P.V.C) برای پوشش لوله‌ها استفاده می‌کنند. در آخرین بررسیها فایبرگلاسهای پوشیده شده با صمغهای صنعتی نیز برای حفاظت لوله‌های مدفون پیشنهاد شده است.

پیدایش عیوب، با وجود لایه‌های محافظ ملزم می‌نماید که حفاظت نوع دومی را هم برای لوله‌های مدفون در خاک به کار گرفت. روش عمومی حفاظت کاتدی است.

حفاظت کاتدی را می‌توان به تنهایی هم به کار برد ولی به مقدار جریان زیادی نیاز دارد. بنابراین بهترین روش آن است که از یک لایه محافظ مناسب استفاده کرده و به وسیله حفاظت کاتدی آن را تقویت کرد. در پروسه خوردگی لوله‌ها، نقاط آندی و کاتدی در هر حال وجود دارند و در نواحی آندی از فلز که جریان الکتریسیته از آن به محیط اطراف خارج می‌شود

خوردگی اتفاق می‌افتد و از نقاط کاتدی که جریان از محیط اطراف به لوله می‌رسد خوردگی صورت نمی‌گیرد. در حقیقت اگر جریان الکتریسیته از طرف محیط به تمام سطح لوله برسد خوردگی پیش نمی‌آید و بدین ترتیب کل لوله کاتدی خواهد بود. این دقیقاً کاری است که یک سیستم حفاظت کاتدی انجام می‌دهد یعنی جریان مستقیم از یک منبع خارجی به تمام سطح لوله می‌رسد. هرگاه مقدار این جریان به طور مناسب تنظیم شود به تمام جریانهای نواحی آندی غلبه کرده و یک جریان منظم به طرف لوله در تمام سطوح آن عمل می‌نماید و در این صورت است که تمام سطح لوله به کاتد تبدیل شده و حفاظت به طور کامل اعمال می‌گردد. خروج جریان فقط از بستر آند طراحی شده اتفاق می‌افتد و موجبات خوردگی این آندها را فراهم می‌آورد (شکل ۲). معمولاً سعی می‌شود که به عنوان آند از مولد استفاده شود که طول عمر نسبتاً زیادی داشته باشد به این ترتیب سیستم حفاظت کاتدی خوردگی را حذف نکرده بلکه آنرا از سیستم خط لوله مورد حفاظت به یک بستر آند طراحی شده منتقل می‌نماید.



شکل (۲): حفاظت کاتدی با آندهای فدا شونده [۶]

### ۳- انتخاب لوله‌ها [۴]

انواع لوله‌هایی که برای انتقال آب دریا در این سیستم استفاده می‌شوند به شرح زیر است:

- ۱) لوله‌های فولادی
- ۲) لوله‌های غیر فلزی<sup>۱</sup>
- ۳) لوله‌های فولادی با پوشش داخلی
- ۴) لوله‌های چدنی<sup>۲</sup> با پوشش داخلی
- ۵) لوله‌های گالوانیزه

برای انتخاب لوله مناسب در شرایط کاربردی مورد نظر (آب دریا)، پارامترهای انتخاب به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- مقاومت خوردگی
- ۲- مقاومت مکانیکی (فشار، شوک حرارتی، ضربه)
- ۳- مقاومت حرارتی
- ۴- نوع اتصال
- ۵- مسائل تعمیراتی
- ۶- عمر طراحی
- ۷- تجربه کاربردی

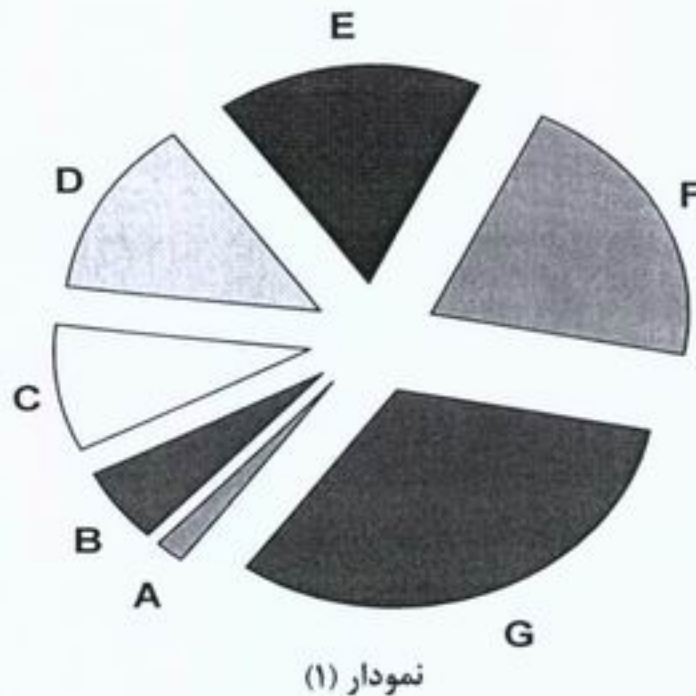
۸- مسائل اقتصادی (قیمت تمام شده)

- جدول (۱) به صورت کلی به مقایسه پارامترهای ذکر شده در مورد انواع لوله‌های به کار رفته در این سیستم پرداخته است.

- نمودار مقایسه قیمتها (نمودار ۱) به ترتیب افزایش قیمت به شرح زیر می باشد:

- A) P.V.C
- B) ASBESTOS CEMENT
- C) G.R.P (GLASS REINFORCED PLASTIC)
- D) CAST IRON
- E) DUCTILE IRON
- F) LAMINATED MILD STEEL
- G) MILD STEEL

با توجه به این نمودار گرانترین جنس لوله، انتخابی برای این سیستم لوله های فولادی و ارزانهترین آن لوله های P.V.C می باشد.



- 1- Non-metallic
- 2- Ductile





جدول (۱): مقایسه پارامترهای انتخاب

پارامترهای انتخاب	لوله‌های فولادی	لوله‌های غیر فلزی	لوله‌های فولادی با پوشش سیمان	لوله‌های چدنی با پوشش داخلی	لوله‌های گالوانیزه
مقاومت خوردگی	ضعیف	بسیار خوب	بسیار خوب	بسیار خوب	خوب
مقاومت مکانیکی الف: فشار ب: شوک / ضربه	بسیار خوب	متوسط	بسیار خوب	خوب	خوب
مقاومت حرارتی	بسیار خوب	ضعیف	خوب	خوب	بسیار خوب
نوع اتصال	جوش	اتصال دومی / مواد چسباننده / مکانیکی	کوپلینگ جوشی	غیر جوشی (فشاری، فلنج و پیچی)	کوپلینگ
مسائل تعمیراتی	زیاد	زیاد	x	کم	کم
عمر طراحی	زیر ده سال	بستگی به نوع لوله دارد	۱۰-۲۰ سال	۱۰-۲۰ سال	۱۰-۲۰ سال
تجربه کاربردی	عمدتاً خطوط انتقال نفت و گاز بعضاً در لوله‌های آب	لوله‌های آب شهری و مواد زائد	لوله‌های انتقال آب فشار بالا (تزریق در مخازن زیر زمینی)	لوله‌های انتقال آب و فاضلاب	لوله‌های شبکه آب

x مسائل تعمیراتی لوله‌های با پوشش سیمانی عمدتاً بستگی به نحوه، حمل و نقل لوله‌ها و اجرای پروژه خواهد داشت. در صورتی که حمل و نقل و نصب با دقت انجام شود مسائل تعمیراتی حداقل خواهد بود.

با توجه به اطلاعات ذکر شده در جدول و مسائل مربوط به رفتار مواد مختلف در برابر خوردگی نتایج زیر را می‌توان جمع‌بندی نمود:

۱- لوله‌های فولادی (کربنی) بدلیل ضعف مقاومت خوردگی و مسائل تعمیراتی زودرس و عمر کوتاه طراحی برای کاربرد در محیط آب دریا پیشنهاد نمی‌شوند.

۲- لوله‌های غیر فلزی شامل لوله‌های (P.V.C, ASBESTOS CEMENT, G.P.R, A.B.S, ...) لوله‌هایی هستند که از نظر خوردگی مقاومت بسیار خوبی دارند اما از نظر مقاومت مکانیکی و حرارتی ضعیف هستند. کاربرد این لوله‌ها برای لوله‌های آب با فشار پایین به علت ارزانی قیمت متداول می‌باشند.

۳- لوله‌های چدنی با پوشش داخلی دارای مقاومت خوردگی و مکانیکی خوبی هستند. نحوه اتصال لوله‌ها به طریق مک (FLANGE & SCREWED GLAND JOINT & PUSH-ON) می‌باشد. تولید کننده‌ها این لوله‌ها را در اندازه‌های مختلف برای فشارهای ۴۰ بار (تا ۸ اینچ) و ۲۵ بار (تا ۲۴ اینچ) پیشنهاد می‌کنند. این لوله را می‌توان با پوشش داخلی و خارجی تهیه نمود و به منظور بالا بردن عمر مفید لوله‌هایی که در زیر زمین قرار می‌گیرند می‌توان از حفاظت کاتدی که قبلاً توضیح داده شد استفاده کرد.

۴- لوله‌های فولادی با پوشش داخلی سیمان برای لوله‌های آب با فشارهای بالا کاربرد وسیع دارد و در سیستم تزریق آب به چاهها و لوله‌های انتقال آب فلات قاره ایران از این نوع لوله‌ها استفاده شده است. نحوه اتصال این نوع لوله‌ها جوشکاری با استفاده از رینگهای مناسب می‌باشد، در نتیجه هزینه نصب این نوع لوله‌ها نسبت به لوله‌های چدنی بیشتر است. اشکال دیگر آنها حساس بودن پوشش سیمانی در مقابل ضربه است، بنابراین حمل و نقل آنها باید با دقت بسیار انجام شود. در غیر این صورت پوشش داخلی آنها ریزش کرده و یا در حین بهره‌برداری مسائل تعمیراتی را به همراه

خواهند داشت. در صورت استفاده از این لوله‌ها در سیستم مدفون حفاظت خارجی این لوله‌ها نیز مطرح خواهد بود (پوشش و حفاظت کاتدی) که این خود مخارج اجرا و نگهداری را بالا خواهد برد. در هر حال برای استفاده از این لوله‌ها در محیط آب دریا پوشش داخلی باید از نوع (SULPHATE RESISTANCE) باشد.

۵- لوله‌های گالوانیزه برای انتقال آب معمولی در اندازه‌های پایین کاربرد وسیعی دارند. نحوه اتصال این لوله‌ها با استفاده از کوپلینگ می‌باشد. با انتخاب ضخامت مناسب پوشش گالوانیزه می‌توان از این لوله‌ها برای آب دریا استفاده نمود منتهی استفاده از آن به فشارها و اندازه‌های پایین تر محدود گردد.

#### ۴ - نتیجه گیری

**الف:** توصیه می‌شود کلیه لوله‌های اصلی (سیستم انتقال و شبکه) به صورت مدفون طراحی شود. لوله‌های چدنی که از داخل دارای پوشش پلی اتیلن و از خارج دارای پوشش قیری می‌باشند، بهترین گزینه برای این قسمت می‌باشند. البته محدودیت فشار نیز در این نوع لوله‌ها باید در نظر گرفته شود. نحوه اتصال مورد نظر از نوع "PUSH-ON JOINT" می‌باشد که اجرای کار را بسیار آسان می‌کند. توضیح اینکه در مواردیکه تنش کششی اضافی برای خط مطرح می‌باشد (سراسیبها، زمینهای سفت، تقاطعها و...) محل اتصالات با پوششهای مورد لزوم برای کاربرد در سیستم خط لوله توسط سازنده‌ها ارائه می‌گردد.

در صورت عدم تطبیق فشارهای مورد لزوم با RATING لوله‌های مورد بحث، استفاده از لوله‌های فولادی با پوشش داخلی سیمان می‌بایست در نظر گرفته شود.

**ب:** پیشنهاد می‌شود برای کلیه لوله‌های آبپاش و رینگهای اطراف مخازن (تا قطر ۴ اینچ) از لوله‌های گالوانیزه استفاده شود. برای رینگهای پایینی و ریزرها



قطر بزرگتر از ۴ اینچ) کاربرد لوله‌های چدنی بدون پوشش داخلی (اتصال فلنج) پیشنهاد می‌شود.

ج: طراحی سیستم به گونه‌ای باشد که اجزایی که به سرعت خورده می‌شوند به سهولت قابل تعویض باشند.

د: تا حد امکان از تماس الکتریکی فلزات غیر همجنس جلوگیری شود، تا خوردگی گالوانیکی به وجود نیاید و در صورت امکان در تمام سیستم از یک نوع فلز استفاده شود، در غیر این صورت فلزات غیر همجنس از یکدیگر عایق شوند. به طور مثال از اتصال شیرهای برنجی به سر لوله‌های فولادی خودداری شود، زیرا علاوه بر خوردگی گالوانیک مقاومت به حرارت آتش در مورد برنج کمتر از فولاد بوده و علاوه بر آن مقاومت مکانیکی کمتری نیز در مقابل ضربه دارد.

ه: تا جایی که امکان دارد ضخامت فلز لوله بیشتر باشد.

و: در صورت امکان موقعیت تجهیزات به گونه‌ای باشد که در مسیر حرکت هوای مرطوب دریا قرار نگیرد.

#### ۵- مراجع:

۱- کنترل خوردگی در صنایع - جلد یک - تألیف دکتر سید محمد سید رضی

۲- مهندسی خوردگی - نوشته: مار.ج. فونتانا ریا؛ ترجمه: دکتر احمد ساعتچی

۳- مجموعه مقالات اولین سمینار خوردگی در صنایع ایران - دانشگاه شیراز

۴- گزارش تجربی همکاران قدس نیرو حاضر در نیروگاه

۵- سایت اینترنتی:

www.nace.org (National Association of Colleges and Employers)

6-"FIRE PROTECTION MANUAL" by CHARLES H. VERVALIN

خانم ساناز اسد کرمی دارای لیسانس مهندسی

متالورژی صنعتی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده

و از شهریور سال ۸۴ همکاری خود را با پروژه‌های

کنترل کیفیت شرکت قدس نیرو آغاز کرده‌اند. زمینه

علاقتمندی ایشان انتخاب مواد در نیروگاه می‌باشد.

Email: sasadkarami@ghods-niroo.com

## برج‌های خنک‌کن بتنی

نرگس علیرمائی

کارشناس ارشد ساختمان - مدیریت مهندسی صنایع نیروگاهی

### چکیده:

درصد بالایی از ظرفیت تولید نیروی برق در ایران توسط نیروگاههای حرارتی (بخاری) تأمین می‌شود. در فرایند کار این نیروگاهها برج‌های خنک‌کن نقش بزرگی برعهده دارند. با گسترش روزافزون نیروگاههای در حال ساخت و افزایش دانش فنی و تکنیکهای اجرایی در داخل کشور و نیز تجربه همکاری در طراحی و ساخت برجهای خنک‌کن نیروگاههای سهند و فارس و نیز ساخت برج‌های خنک‌کن نیروگاههای شهیدرجائی، اراک و اصفهان، بخش عمده طراحی و ساخت برج‌های خنک‌کن نیروگاههای جدید عملاً برعهده متخصصان ایرانی است.

در این مقاله سعی شده است نکات عمده مربوط به طراحی و اجراء سازه پوسته‌ای برجهای خنک‌کن بتنی بیان شده و تجربیات کشورهای دارای سابقه در طراحی و ساخت اینگونه سازه‌ها مختصراً تشریح شود.

### ۱- مقدمه:

نیروگاهها، واحدهای پتروشیمی و پالایشگاهها در رهایی از گرمای ناخواسته وجه اشتراک دارند. گرمای ناخواسته در این واحدها توسط آب حذف می‌گردد. بدین طریق که آب سردتر از اجزاء گرم در فرایند کار، با جذب این گرما، گرم می‌شود. آب گرم شده یا باید به طریقی دفع گردد و یا اینکه سرد شده و دوباره برای جذب گرمای ناخواسته مورد استفاده قرار گیرد. برای استفاده مجدد از این آب، گرمای آن توسط مجموعه‌ای بنام برج خنک‌کن در هوا دفع شده و آب، سرد می‌شود. برجهای خنک‌کن از سازه‌های مهم و ارزشمند یک نیروگاه به شمار می‌رود. از کار افتادن آن موجب رکود فعالیت تمام یا بخشی از نیروگاه خواهد شد. اولین دسته سه تایی از برجهای خنک‌کن در سال ۱۹۱۶ ساخته شدند و از آن سال تاکنون طراحی و ساخت برجها روز به روز کاملتر و دقیقتر انجام می‌گیرد. برجهای خنک‌کن عموماً تحت اثر نیروهای ثقلی، باد، زلزله، تغییرات درجه حرارت و

نشست فونداسیون قرار می‌گیرند که از آن میان باد و زلزله کنترل‌کننده طرح هستند. در بخشهای مختلف مقاله نحوه اثر بارهای باد و زلزله بر برجهای خنک‌کن تشریح خواهد شد.

### ۲- برجهای خنک‌کن به چه کار می‌آیند؟

برجهای خنک‌کن برای برآوردن یک هدف نامحسوس ساخته می‌شوند. آنها در واقع گرمای اضافی حاصل از سوختن مواد خامی چون زغال‌سنگ، نفت، گاز طبیعی یا عمل شکافتن هسته<sup>۱</sup> در نیروگاههای هسته‌ای را از بین می‌برند، گرمایی که نمی‌تواند بطور کامل در توربین‌های بخار مورد استفاده قرار گیرد. با این عمل ابرهای بخار یا هوای داغ عظیمی در جو پراکنده می‌شود. در طول شصت سال گذشته برجهای خنک‌کن با ارتفاعاتی ساخته شده‌اند که از کیلومترها دورتر مشخص بوده و عظمت تکنولوژی عصر حاضر را به رخ می‌کشند. برجهای خنک‌کننده بزرگ مانند برجهایی که در شکل (۱) دیده می‌شوند، برجهای

1- Fission.

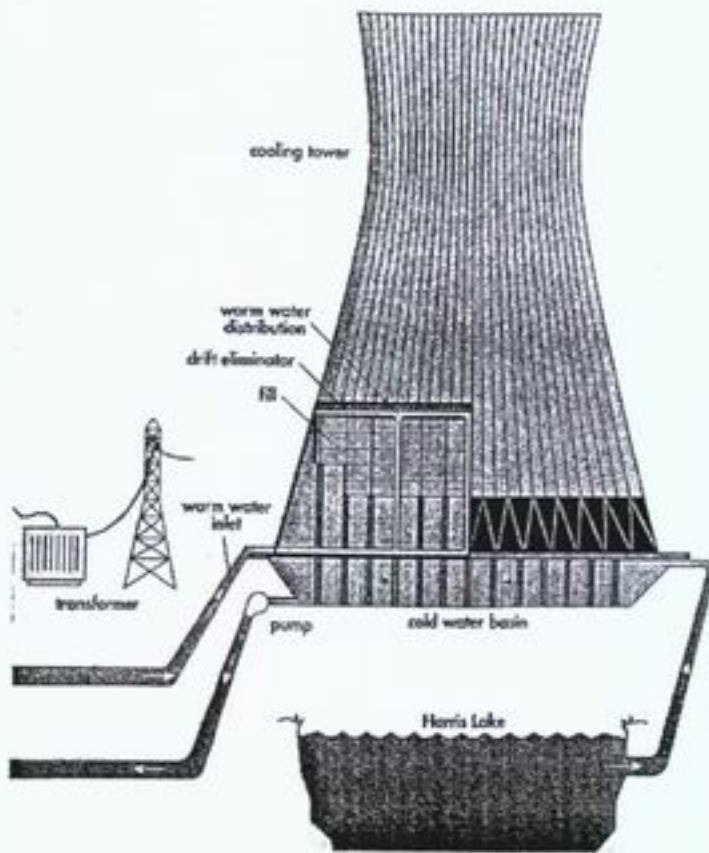


خنک‌کن طبیعی<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند. این برجها بسته به قدرت و ظرفیت نیروگاهها ارتفاعات متفاوتی دارند و تا ۱۳۰ متر و یا بیشتر ساخته می‌شوند و در واقع مانند دودکشهای بزرگی هستند که گرمای ناخواسته در هوا را به بیرون هدایت می‌کنند. برجهای خنک‌کن دارای یک سطح وسیع در پایین هستند تا میزان زیادی انتقال حرارت در آنها تعبیه شود و هر چه ارتفاع آنها بلندتر باشد مکش قوی‌تر است (شکل ۲).

**۳- چه نوع سازه‌ای برای برج خنک‌کن مناسب است؟**  
با توجه به این مشخصات، مهندسان سازه بهترین

شکل برجهای خنک‌کن را هذلولی چرخشی یافتند. حجمی که با چرخش یک منحنی هذلولی به دور یک محور قائم بدست می‌آید. اینگونه پوسته‌های دو قوسی باید طوری طراحی شوند که در مقابل نیروهای جانبی، خصوصاً باد، پایداری خود را حفظ کنند، اما خطر اصلی در مورد پوسته‌های جدار نازک کمانش است.

توزیع نیروهای بادبر روی پوسته بسیار وابسته به زبری سطح پوسته است. بایک سطح صیقلی، اگر سطح بیرونی پوسته بایک سری نوارهای عمودی باریک پوشیده شود نیروی مکش باد تا  $\frac{1}{3}$  کاهش می‌یابد.



شکل (۲)



شکل (۱)

1- Natural Draft.

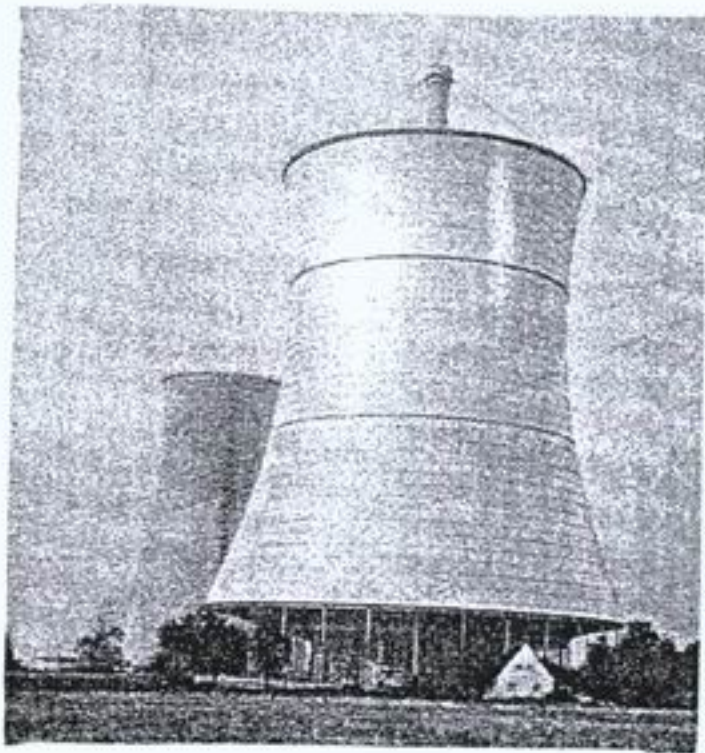
با این روش می‌توان به پوسته‌های بسیار نازک برای برج‌های خنک‌کن دست یافت. برای برج خنک‌کنی با ۱۲۰ متر ارتفاع و ۸۰ متر قطر در پایین و ۵۲ متر در کمرکش، یک پوسته بتنی با ۱۴ سانتی‌متر ضخامت کفایت می‌کند. در بالای برج نیز باید حلقه‌ای صلب بعنوان کلاف تقویتی فوقانی جهت کاهش تغییر شکل‌های ناخواسته قرار داده شود. نبودن این حلقه بالایی و بسیاری نقایص دیگر سازه‌ای (که در ادامه این مقاله تشریح خواهند شد) باعث فروریختن برجهای خنک‌کن فری بریج<sup>۱</sup> انگلستان در طی یک توفان شدید شد.

ابعاد برج‌های خنک‌کن در محاسبات ترمودینامیکی و برحسب نیاز سرمایه‌ی مورد نیاز تعیین می‌گردد. باریک‌ترین قسمت برج، "گلوگاه برج" نامیده می‌شود که ارتفاع آن از پایین برج حدود ۸۵ درصد ارتفاع کل برج است. در قسمت پایین پوسته جهت توزیع یکنواخت نیروها بر روی ستونها، از کلاف تقویتی تحتانی استفاده می‌شود. عرض این کلاف معمولاً ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر بیشتر از بعد ستون در جهت شعاعی بوده و بعضاً بجای آن ضخامت پوسته را در چند متری پایین آن افزایش می‌دهند. چنانچه گفته شد جهت افزایش مقاومت کمانشی پوسته و نیز سختی پوسته در بالای برج یک رینگ فوقانی اجراء می‌شود که علاوه بر عملکرد سازه‌ای از آن بعنوان پلاتفرم نیز استفاده می‌کنند. پوسته برجهای خنک‌کن در پاشنه روی یکسری ستونهای پیش‌ساخته قرار دارد و این ستونها که به صورت هفت یا هشت و یا ضربدری بهم چسبیده‌اند، در پایین برج رویه مشبکی ایجاد می‌کنند که جهت جریان هوای مکش طبیعی برج مناسب است. بلندترین برجهای خنک‌کن با این روش ساخت، با ۱۶۵ متر ارتفاع در آلمان ساخته شده‌اند.

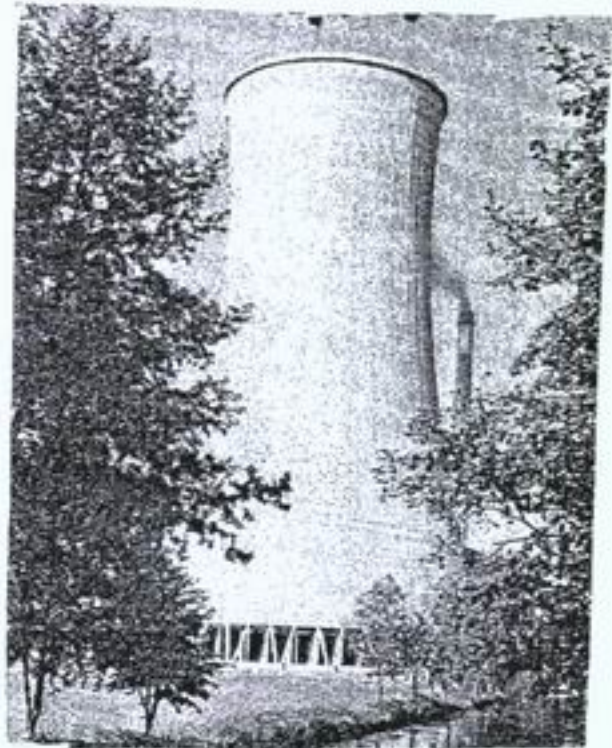
بدنبال ساخت سقف‌هایی با شبکه‌های کابلی برای استادیوم المپیک مونیخ در ۱۹۶۸، یورگ اشلاخ<sup>۲</sup> یکی از طراحان استادیوم المپیک مونیخ، این ایده را بر روی برجهای خنک‌کن پیاده کرد (شکل ۳). پوسته بیرونی هیبرولیکی برج خنک‌کن از یک شبکه کابلی و در روی آن پوششی طرح‌دار از آلومینیوم نازک تشکیل شده‌است. شبکه کابلی به یک حلقه در بالا بسته شده و حلقه نیز پیرامون یک دکل بتنی در وسط برج قرار گرفته است. با این روش ساخت می‌توان برج‌های خنک‌کن خشکی با وزن کم و ارتفاع حدود ۲۰۰ متر ساخت که علاوه بر مقاومت کافی در مقابل باد، به علت سبکی وزن در مقابل زلزله نیز کاملاً ایمن باشد شکل (۴). برج خنک‌کن نیروگاه هسته‌ای شمهاسن<sup>۳</sup> در آلمان را نشان می‌دهد که به این روش ساخته شده‌است. درخشش آلومینیوم در نور خورشید و سیستم شبکه کابلی، باعث شده که برج، بسیار سبکتر و زیباتر از برجهای خنک‌کن بتنی بنظر بیاید. در حال حاضر بلندترین و جدار نازک‌ترین برج خنک‌کن جهان در niederaubem در آلمان قرار دارد. این برج با ۲۰۰ متر ارتفاع در سال ۲۰۰۰ به بهره‌برداری رسید. طراحی پوسته برجهای خنک‌کن برای چندین دهه بر مبنای تئوری غشایی صورت می‌گرفت. با آسیب و انهدام چند برج، طراحان با اتکاء به روش المانهای محدود، شناخت بهتری نسبت به پاسخ دینامیکی برجهای خنک‌کن و نیز رفتار کمانشی پوسته برج بدست آوردند و با قرار دادن ماکت برجه‌ها در تونل باد، تأثیر تندبادها را بر روی برج مورد بررسی دقیق‌تری قرار دادند.

- 1- Ferry Bridge.
- 2- Jorg Schlaich.
- 3- Schmehausen.



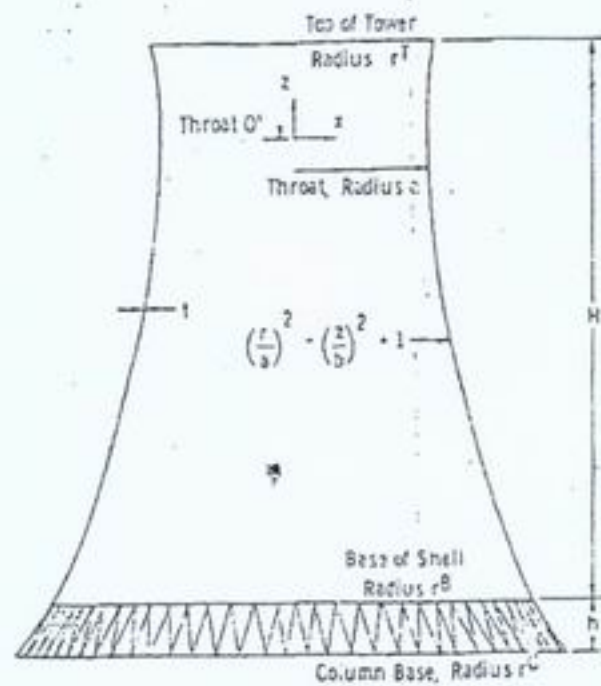


شکل (۴)



شکل (۳)

ارتفاع ستون‌ها  $h = ۱۵/۶m$   
 ارتفاع پوسته  $H = ۹۵/۴m$   
 قطر گلوگاه  $a = ۲۲/۳m$   
 شعاع در قسمت بالای پوسته  $r^T = ۲۶/۳m$   
 شعاع در قسمت پائین پوسته  $r^B = ۳۷/۱ m$   
 شعاع در قسمت پائین ستونها  $r^C = ۴۲/۳m$   
 ضخامت پوسته اصلی  $t = ۰/۱۵ m$



شکل (۵): نمونه‌ای از یک برج خنک‌کن بتنی

اتفاقی که بیشترین توجه را نسبت به ضعف‌های طراحی و ساخت برج‌های خنک‌کن به خود جلب کرد، فروریختن سه برج خنک‌کن در نیروگاه فری‌بریج انگلستان بود.

#### ۴- برجهای خنک‌کن فری‌بریج چگونه فرو

##### ریختند؟

دوشنبه ۵ نوامبر ۱۹۶۵، در ساعت ۱۰/۵ صبح دقایقی پس از آنکه حدود ۲۰۰ کارگر نیروگاه فری‌بریج نزدیک دانکستر<sup>۱</sup> در جنوب یورکشایر انگلستان، به دلیل وزش تندبادی با حداکثر سرعت  $137 \frac{km}{hr}$ ، از اطراف ۸ برج خنک‌کن نیروگاه به داخل ساختمانها فرا خوانده شدند، یکی از برج‌ها با صدای مهیبی فروریخت. نیم‌ساعت بعد دومی و به فاصله کمی سومی هم به همین سرنوشت دچار شدند. با ادامه تندباد، ۵ برج دیگر سرپا ماندند ولی به سختی آسیب دیدند.

این ۸ برج خنک‌کن که با ارتفاع ۱۱۵ متر، در کنار دودکش‌های دو قلوی نیروگاه با ارتفاع ۲۰۵ متر، بلندترین سازه‌های اروپای غربی محسوب می‌شدند، هر یک ۸۰۰۰ تن وزن و ۲۹۰٫۰۰۰ می‌پوند ارزش داشتند (شکل‌های ۶ و ۷).

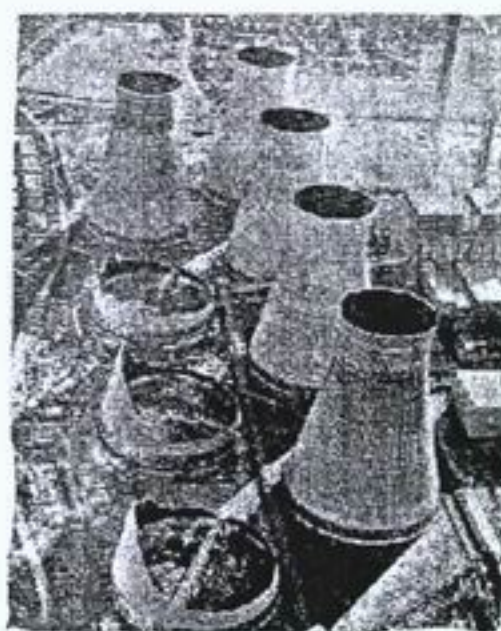
این برجها که در سال ۱۹۶۲ توسط شرکت Film Concrete Cooling Towers طراحی و ساخته شده بودند، از تمام برجهای خنک‌کن تا آن سال از نظر ابعاد بزرگتر بودند. نزدیکترین بادسنج به فاصله ۱۲ کیلومتری نیروگاه، وزش تندبادی را به مدت یک ساعت با سرعت متوسط ۷۲ کیلومتر در ساعت و حداکثر سرعت ۱۳۷ کیلومتر در ساعت در پای برج ثبت کرده بود.

گروههای بازرسی فنی، اهم عواملی را که در این فروریزی دخیل بوده‌اند به شرح ذیل مشخص کردند:



شکل (۷)

1- Dancaaster.



شکل (۶)



الف) برجهای خنک‌کن با آرایش نامناسبی در کنار یکدیگر قرار گرفته بودند. قرارگیری برجها در دو ردیف با آرایش Leeward و فاصله نسبتاً کم میان ۸ برج، باعث شده بود که سرعت باد با عبور از فضاهای خالی میان برجها و به واسطه کوچک‌شدن معبر، افزایش یابد. این اثر که Venture effect نامیده می‌شود، سرعت باد را در پای برجها به حدود ۱۶۰ کیلومتر در ساعت افزایش داده بود.

نکته جالب در مورد آرایش برجها این بود که ۳ برج فرو ریخته در مسیر مستقیم باد قرار نداشتند. جهت وزش باد از سمت راست بود و برجهای فروریخته در پشت ردیف مقابل باد قرار گرفته بودند. این موضوع نشان می‌داد که سرعت بادی که از آمار استخراج می‌شود برای تمام نقاط یک گروه برج دقت کافی ندارد و چنانچه گفته شد اثر تشدید سرعت باد در عبور از معابر باریک در یک گروه سازه باید مدنظر قرار می‌گرفت.

ب) آزمایشات قبل از طراحی تنها یک برج خنک‌کن را داخل تونل باد قرار داده بود و اثر تندباد بر یک گروه برج با آرایش نسبتاً بد بررسی نشده بود. بررسیهای تکمیلی نشان داد که سرعت باد حتی برای یک برج نیز در طراحی حدود ۱۹٪ کمتر از مقادیر آئین‌نامه بارگذاری بریتانیا در نظر گرفته شده بود. این اتفاق باعث تغییر میانی محاسبه اینگونه سازه‌ها در مقابل باد گردید. سرعت بادی که معمولاً از طرف هواشناسی برای محاسبات در مقابل باد ارائه می‌شد، سرعت متوسط ۱۰ دقیقه‌ای یا یک ساعته باد است، ولی در واقع بیشترین سرعت باد در حین تندبادها اتفاق می‌افتد. در تندبادها سرعت باد با توجه به مدت تندباد تا حداکثر ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد

که این مقدار در تبدیل به بار توان ۲ پیدا می‌کند، یعنی ضریب افزایشی آن ۲/۲۵ است.

ج) در پوسته برجهای خنک‌کن تنها از یک شبکه میلگرد در وسط استفاده شده بود، در حالیکه در چنین پوسته‌هایی قطعاً باید از دو شبکه میلگرد بیرونی و داخلی استفاده کرد.

د) عدم استفاده از حلقه صلب بالایی در برجهای خنک‌کن منجر به کاهش صلبیت و پتانسیل کماتشی پوسته شده و نهایتاً به ناپایداری کل برج منتهی گردید.

ه) ضخامت پوسته به نسبت ابعاد آن درست انتخاب نشده بود. ضخامت پوسته این برجها در مقایسه با قطرشان کمتر از نسبت ضخامت تخم‌مرغ به قطر آن بود. پوسته نسبتاً نازک این برجها با افزایش نوسانات و ایجاد تشدید مقاومت کافی نداشت.

در این اتفاق خسارت بسیار سنگینی به نیروگاه وارد شد. خرابی برجهای خنک‌کن، حدود یکسال تولید برق را در نیروگاه ۸۸ میلیون پوندی فری بریج به حالت تعلیق در آورد و اهمیت و توجه بیشتر به طراحی سازه‌های بزرگ را مشخص نمود. طراحی صحیح، اجرای صحیح را نیز طلب می‌کند. عدم رعایت اصول درست در اجرای برجهای خنک‌کن، سالها بعد فاجعه‌ای دیگر آفرید.

#### ۵- فروریزی برج خنک‌کن در حال ساخت در

##### آمریکا

صبح روز ۲۷ آوریل ۱۹۷۸، بلافاصله پس از انتقال اولین باکت ۷۰۰ کیلوگرمی بتن به کارگرانی که بر روی داربست قالب لفرزنده برج خنک‌کن در حال ساخت نیروگاه Monongahela در ویرجینیای غربی آمریکا مشغول به کار بودند، ناگهان بخشی از داربست جدا شد و بدنبال آن زنجیره‌ای از دیگر بخشهای داربست و در نهایت کل سیستم قالب

1- Bucket.

لغزنده فرو ریخت. ۴۶ کارگر از ارتفاع ۵۰ متری به زمین سقوط کردند و کشته شدند. ۶ کارگر نیز بر اثر سقوط سیستم قالب و بخشهایی از خود برج جان سپردند و بزرگترین فاجعه حین ساخت در تاریخ ایالات متحده رقم زده شد. برج فرو ریخته یکی از برجهای خنک کن دوقلویی بود که توسط شرکت Newjersy Construction Co. در نیروگاه در کنار جزیره Willow در حال ساخت بود.

مطالعات بازرسان نشان داد که علت حادثه مقاومت ناکافی بتن برای تحمل بارهای حین ساخت بوده است (Lew 1980). قالب استفاده شده در این برج خنک کن از نوع Jump Form بود و بولتهای داربست قالب لغزنده در آخرین لایه بتن ریخته شده محکم شده بود. تحقیقات نشان داد که این بتن تنها یک روز عمر داشت! بعلاوه در تمام مدت در معرض هوای کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته بود. بدنبال این فاجعه نیاز فوری برای تدوین استانداردهائی که ارزیابی بتن

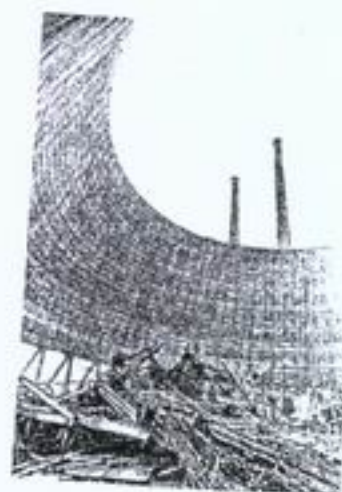
حین ساخت را اجباری کنند حس شد و نهایتاً اولین استاندارد جهانی بنام maturity method توسط NBS (National Building specifications) تدوین گردید (ASTM 1074). در این رابطه به شکلهای (۸) و (۹) مراجعه شود. در مورد روشهای اجرای برجهای خنک کن در بخشهای بعدی مقاله توضیح داده خواهد شد.

#### ۶- باد چگونه بر پوسته برج خنک کن اثر می گذارد؟

باد و زلزله هر دو باعث بوجود آمدن نیروهای کششی نصفالنهاری در برج خنک کن می شوند. این نیروهای کششی بوسیله نیروهای فشاری نصفالنهاری که در اثر وزن مرده خود برج بوجود می آیند، کاهش یافته و کشش خالص حاصل از برآیند این دو نیز، طرح آرماتورها را در جهت نصفالنهاری کنترل می کند. وزن برج با دقت خوبی قابل محاسبه است ولی تأثیرات باد و زلزله



شکل (۹)



شکل (۸)

آزمایشات انجام گرفته بر روی برج‌های واقعی و مدل‌های آزمایشگاهی امکان‌بدست آوردن یک نیروی استاتیکی معادل را برای در نظر گرفتن اثرات دینامیکی نیروی باد فراهم کرده‌است. در *ANSI A58.1* رابطه (۱) برای این نیرو معرفی شده‌است.

$$q(Z, \theta) = GC_e K_z q_{v30} \quad (1)$$

فشار استاتیکی معادل عمود بر سطح در نقطه‌ای به مختصات  $(\theta, Z) = q(Z, \theta)$  می‌باشد که  $Z$  ارتفاع از سطح زمین و  $\theta$  زاویه محیطی است که از نصف‌النهار مار برجهت باد اندازه‌گیری می‌شود. فشار مبنای باد در ارتفاع  $30ft$  از سطح زمین برای منطقه باز و هموار مساوی  $q_{v30}$  است.

$$q_{v30} = \frac{1}{2} \rho V_{30}^2 \quad (2)$$

$\rho$  = چگالی جرمی هوا<sup>۱</sup>

$K_z$  = ضریب چگونگی توزیع سرعت باد در امتداد قائم که بستگی به همواری منطقه دارد و برای مراکز شهر، حومه شهرها، مناطق جنگلی، و مناطق باز و هموار متفاوت است.

$C_e$  = ضریب توزیع فشار باد<sup>۲</sup> بر روی محیط برج

$G$  = ضریب پاسخ دینامیکی

$G$  ضریبی است برای در نظر گرفتن اثر تنشهای اضافی که سازه برج خنک‌کن در اثر پاسخ دینامیکی‌اش به

تغییرات زمانی فشار باد متحمل می‌شود. تغییرات زمانی فشار باد بر اثر تغییرات معمول سرعت باد با زمان، آشفته‌گی باد در اثر طبیعت منطقه و اغتشاش در لایه مرزی را بوجود می‌آید. براساس آیین‌نامه *ANSI*، این ضریب بین ۲ تا ۲/۸ می‌باشد.

1- Surface Roughness.

2- Laminar.

3- Turbulent.

4- Mass density of air.

5- Gust Response Factor.

دقت زیادی ندارد و افزایشی هر چند اندک در برآورد بار باد و زلزله باعث افزایش ناخواسته کشش خالص در پوسته برج می‌شود. بنابراین در حد امکان باید در جهت دقیق‌تر شدن محاسبات مربوط به باد و زلزله کوشید.

سرعت باد متناوباً با زمان و مکان تغییر می‌یابد. فشار دینامیکی وارده از طرف باد بر روی سازه، متناسب با مجذور سرعت آن است و نیز تابعی از موقعیت، اندازه و زبری سطح سازه می‌باشد. بعلاوه، پاسخ دینامیکی سازه به مشخصات فرکانسی سازه برج نیز بستگی دارد. در ارتباط با نیروی باد، نحوه صحیح توزیع نیروی باد بر روی برج مهمتر از تعیین شدت آن است.

رابطه رینولدز  $Re = \frac{V.D}{\nu}$  عوامل مؤثر در نحوه

توزیع فشار باد روی محیط برج را مشخص می‌کند.  $D$  قطر برج،  $V$  سرعت جریان باد و  $\nu$  غلظت حجمی هوا است. علاوه بر سه عامل فوق، زبری سطح برج<sup>۱</sup> و فشار مبنای باد در این نحوه توزیع فشار مؤثر می‌باشند.

زبری سطح برجهای خنک‌کن را معمولاً بوسیله دندان‌هایی از بتن که به صورت طولی در امتداد نصف‌النهاری قرار می‌گیرند، افزایش می‌دهند. اگر ضخامت زائده این دندان‌ها را با  $K$  نشان دهیم،

نسبت  $\frac{K}{D}$  را ضریب زبری سطح می‌نامند. هر چه

ضریب زبری و سطح افزایش یابد با فرض جریان باد ثابت، عدد رینولدز کاهش می‌یابد و در نتیجه مکش نیز کم می‌شود. اگر ضریب زبری سطح ثابت باشد با افزایش عدد رینولدز تا قبل از رسیدن به حد بحرانی، مکش نیز افزایش می‌یابد و با رسیدن عدد رینولدز به حد بحرانی، جریان سریعاً از حالت خطی<sup>۱</sup> به متلاطم<sup>۲</sup> تبدیل می‌شود.



رابطه (۱) در آئین‌نامه *ACI* (ASCE COMMITTEE 334) به رابطه (۳) تبدیل می‌شود:

$$q_z = K_z G q_{30} H_\theta \quad (3)$$

مقادیر  $K_z$ ،  $G$  و  $q_{30}$  کم و بیش همان مقادیر رابطه (۱) هستند و  $H_\theta$  ضریبی است که چگونگی توزیع فشار باد روی محیط برج را بیان می‌کند. آئین‌نامه *IASS* نیز فشار باد بر برج‌های خنک‌کن را با رابطه زیر معرفی می‌کند:

$$P = C_z C_\theta C_g q_{10} \quad (4)$$

$$q_{10} = \frac{1}{2} \rho V_{10}^2 \quad (5)$$

$q_{10}$  = فشار مبنای باد در ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین  
 $V_{10}$  = سرعت متوسط ساعتی باد

$\rho$  = جرم واحد حجم هوا در سطح دریا

$C_z$  = ضریبی که چگونگی توزیع فشار باد را در ترازهای مختلف روی برج بیان می‌کند و به ارتفاع از سطح زمین و ناهمواری منطقه بستگی دارد.

$C_\theta$  = ضریب بیان‌کننده چگونگی توزیع فشار باد روی محیط خارجی برج در یک تراز معین

$C_g$  = ضریب تندبادی که متأثر از سوابق بادهای آشفته در منطقه است.

چنانچه برج خنک‌کن در مجاورت برج‌های دیگر (مانند ۸ برج کنار هم در فری‌بریج) یا سازه‌های مهم دیگر قرار داشته باشد برای بدست آوردن  $C_\theta$  از آزمایش تونل باد باید استفاده کرد.

فرآیند اثر باد بر روی برج خنک‌کن، فرآیندی بسیار پیچیده است که محاسبات دقیق و آزمایشات متعددی را می‌طلبد. در این بخش بسیار مختصر و کلی تنها به عوامل مؤثر در محاسبات باد در برج‌های خنک‌کن اشاره شد. بدیهی است توضیح تفصیلی هر یک از روابط و

پارامترها در بخشی جداگانه ارائه شود که از حوصله این مقاله خارج است.

### ۷- اثر زلزله بر برج‌های خنک‌کن چیست؟

چنانچه گفته شد زلزله نیز همچون باد نیروهای کششی نصف‌النهاری در پوسته برج بوجود می‌آورد که پس از جمع جبری با اثر ثقل (وزن مرده خود برج) نهایتاً طرح میلگردها را کنترل می‌کند. تخمین نیروی زلزله با پیچیدگی‌های بسیار همراه است. علی‌الاصول با توجه به ابعاد بزرگ برج‌های خنک‌کن و حساسیت آنها در قبال زلزله مرحله اول، مطالعات ویژه خطر زلزله در سایت و تهیه طیف سایت<sup>۱</sup> برای سطوح مختلف زلزله‌های طراحی (*MCL*، *MDL*، *DBL*، *OBL*) است.

از آنجاییکه آنالیز دینامیکی در چنین سازه‌هایی ضرورت دارد، تهیه طیفهای طراحی و همچنین شتاب‌نگارهای لازم در طراحی، اولین قدم در تهیه مقدمات آنالیز دینامیکی سازه می‌باشد. همچنین تعیین مؤلفه افقی زلزله طراحی (*DBE*) در ساختگاه نیروگاه ضرورت دارد. فرکانسهای طبیعی برج‌های خنک‌کن را جهت محاسبات اولیه می‌توان از روی منحنی‌های پیشنهادی *IASS* استخراج کرد.

آنالیز دینامیکی سازه برج شامل پوسته و ستونهای پایه و تیرهای نعل درگاهی را می‌توان با استفاده از برنامه‌هایی که از تئوری المانهای محدود بهره می‌برند و قابلیت انجام آنالیزهای دینامیکی روش طیف طرح و تاریخچه زمانی را دارا می‌باشند (نظیر *Sap*، *Lusas* یا *MSC/Nastran*) انجام داد.

بعلاوه ابعاد عظیم برج‌های خنک‌کن، اثر اندرکنش

1- Response Spectra.



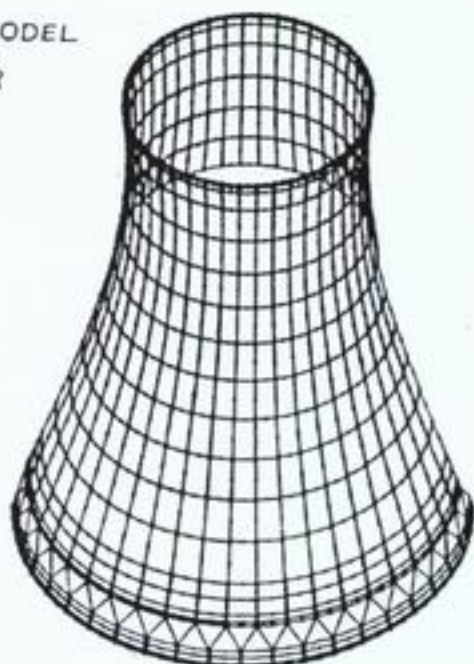
در ارتباط با مسائل عمده سازه‌های آنالیز و طراحی برج‌های خنک‌کن بتنی در قبال باد و زلزله در طی ۴۰ سال گذشته ده‌ها مقاله علمی ارائه شده‌است. لیست این مقالات همراه با چکیده آنها نزد نگارنده جهت مراجعه علاقمندان موجود می‌باشد.

#### ۸- برجهای خنک‌کن چگونه اجرا می‌شوند؟

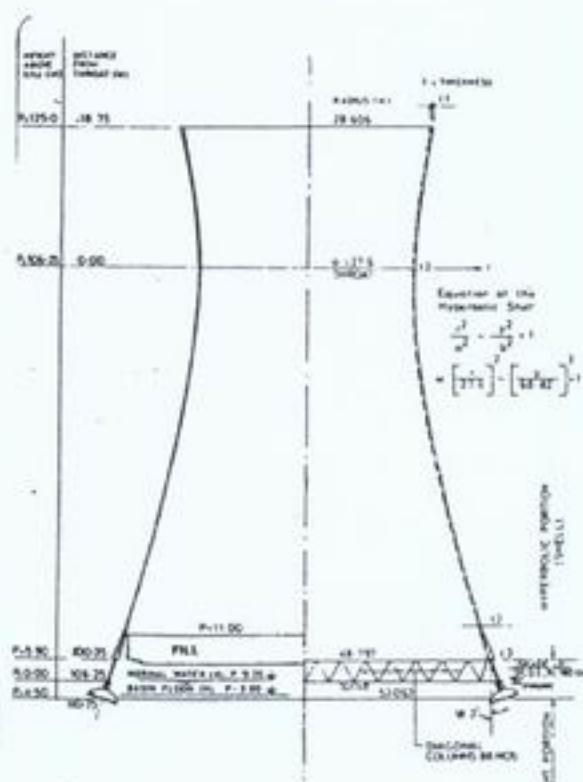
پس از احداث پی‌های حلقوی، ستونهای ضربدری شکل یا به شکل هفت و یا هشتی را که قبلاً در روی زمین و در داخل دایره برج خنک‌کن پیش ساخته شده، با جرثقیل برافراشته می‌کنند. این ستونها که در واقع شبکه‌ای را در زیر پوسته جهت عبور آزاد جریان هوا تشکیل می‌دهند باید به کمک پشت‌بندهای موقتی نگهداری شوند تا نعل درگاهی حلقوی بتنی احداث شده و کلیه ستونها را بهم بدوزد.

خاک - سازه را باید در آنالیز دینامیکی برجهای در مقابل نیروی زلزله در نظر گرفت. گرچه در بسیاری موارد، اثر اندرکنش دینامیکی موجب تخفیف بارهای زلزله وارده بر برج خواهد شد. در مقایسه نیروهای باد و زلزله، معمولاً در طراحی برجهای خنک‌کن بتنی اثر باد حاکم می‌شود. شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نمونه‌ای از هندسه و مش‌بندی یک برج خنک‌کن در آند را پرآوش هند را نشان می‌دهد که با برنامه *MSC/Nastran* آنالیز شده‌است. این نرم‌افزار با قابلیت مدل‌سازی اتحنا دو قوسی پوسته برج با استفاده از المان‌های *Quad 4* و *Quad 8* به بسیاری از نرم‌افزارهای دیگر دارای امکان آنالیز با روش المان‌های محدود ارجحیت دارد. یکی دیگر از مزایای این نرم‌افزار، وجود پیش‌پردازنده‌ای بنام *MSC/XL* است که به سرعت و سهولت، مدل‌سازی و مش‌بندی برج خنک‌کن را انجام می‌دهد.

FINITE ELEMENT MODEL OF COOLING TOWER



شکل (۱۱)



شکل (۱۰)

پوسته برجهای خنک کن به دو روش ساخته می‌شوند: استفاده از قالبهای بالا رونده<sup>۱</sup> یا استفاده از قالبهای لغزان<sup>۲</sup> و استفاده از قالبهای لغزنده در اجرای پوسته‌های بتنی استوانه‌ای (نظیر سیلوها)، پوسته‌های مخروطی (نیز دودکش‌ها) و سازه‌های خاص (مانند برجهای مخابراتی) و برخی سازه‌های دیگر مانند اینها، کاملاً اصولی و در جهت افزایش سرعت و کاهش هزینه می‌باشد. برای بهره‌گیری از قالب لغزنده در اجرای پوسته دو قوسی برج خنک کن لازم است کل مجموعه قطعات قالب لغزنده را به صورت یکپارچه نصب کرد و به شیوه کابلی به یکدیگر متصل ساخت. سیستم کابلی این امکان را فراهم می‌سازد که قالب جمع می‌شود ولی بنظر می‌رسد در هنگام باز شدن مجدد قالب در محل گلوگاه برج خنک کن با مشکل مواجه می‌گردد. یکی از مهمترین دلایل استفاده از قالب لغزنده صرفه جویی در مدت زمان اجرای پوسته است ولی تجربه‌های اخیر نشان داده که عملاً مشکلات عدیده در کار با قالب لغزنده برای پوسته‌های عظیم برج خنک کن، امکان ادامه پیوسته کار را نداده و این مهم نیز حاصل نگردیده است.

قالب بالارونده رایج‌ترین روش اجرای پوسته‌های دو قوسی برجهای خنک کن به شکل امروزی است. برای اجرای پوسته از خرپای ویژه بالا رونده<sup>۳</sup> استفاده شده و قالبها به بالا انتقال داده می‌شوند. دو خرپای بالارونده به صورت زوج در مقابل یکدیگر (داخل و خارج پوسته) بوسیله سه بولت بسته شده و سراسر محیط پوسته را به همین طریق پوشش می‌دهد. دو سکوی کار در این خرپاها تعبیه می‌گردد. سکوی فوقانی برای آرماتوربندی، قالببندی و بتن‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالیکه سکوی پائینی برای بازکردن قالب تراز پائین‌تر و انتقال به سکوی بالا و

همچنین اجرای تمهیدات گیرش بتن (نظیر آبدهی، رنگ و ...) کاربری دارد. هر دو سکو با توجه به شیب پوسته قابل تنظیم بوده تا همواره سطح تراز را جهت اجرای کار ایجاد نماید. این خرپاها در محیط پوسته به فواصل حدود ۶ متر (بسته به ابعاد کار) قرار می‌گیرند. قالببندی پوسته کاملاً مستقل از خرپاهای بالارونده و به صورتی کاملاً ساده انجام می‌شود. مثلاً در برج خنک کن نیروگاه فارس قطعات تشکیل دهنده قالبهای بالا رونده ۱۰۴ قطعه است که نیمی از آنها از داخل و نیمی دیگر از بیرون به بدنه برج بسته می‌شوند و زوجاً مستقل از دیگران بالا می‌روند. بدین ترتیب پیرامون برج به ۵۲ قسمت تقسیم می‌شود که در قسمتهای مختلف عملیات آرماتوربندی، بتن‌ریزی و ویبراسیون و غیره بطور همزمان انجام می‌گیرد. استفاده از این قالبها بعد از برافراشتن ستونها و تکمیل بتن‌ریزی حلقه نعل درگاهی پائینی آغاز شده و روزانه حدود ۱/۵ متر دور تا دور از ارتفاع پوسته ساخته می‌شود و بدین ترتیب برجی مانند برج خنک کن نیروگاه فارس در مدت زمانی برابر با حداکثر ۹۰ روز بعد از تکمیل حلقه نعل درگاهی ساخته می‌شود.

برخی مزایای استفاده از قالبهای بالارونده عبارت است از سادگی اجرا با حداقل نیروی انسانی متخصص، هزینه مناسب اجراء، کنترل دقیق بعلت مرحله‌ای بودن کار، نمای مناسب نهایی بتن به واسطه استفاده از قالبهای چوبی پلائی وود<sup>۴</sup> و فرصت مناسب برای رعایت کلیه ضوابط قالببندی و ویبراسیون کافی بتن پوسته و امکان توقف و بازکردن قالب در هر تراز مثلاً برای اجرای رینگ‌های بتنی در ترازهای دلخواه.

- 1- Climbing forms.
- 2- Slip Forming.
- 3- Scaffold.
- 4- Plywood.



## ۱۰- مراجع

- (۱) کتاب Erwin Heinle اثر Towers
  - (۲) مقاله Impacts of severe storms on infrastructure by : prof Dr.ing hans. Jurgenica:
  - (۳) گزارش تحقیقی پیرامون اثرات باد و زلزله بر برجهای خنک کن شرکت مشانیر
  - (۴) مقالات اینترنتی
- خانم نرگس علیرمائی دارای لیسانس مهندسی عمران - عمران از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) در سال ۱۳۶۸ بوده و ۱۷ سال سابقه کار دارند که تماماً در قدس نیرو می باشد. عمده سابقه کار خانم علیرمائی در مورد طراحی سازه های مختلف نیروگاهی و غیرنیروگاهی و زمینه علاقمندی ایشان محاسبات لرزه ای سازه ها می باشد.

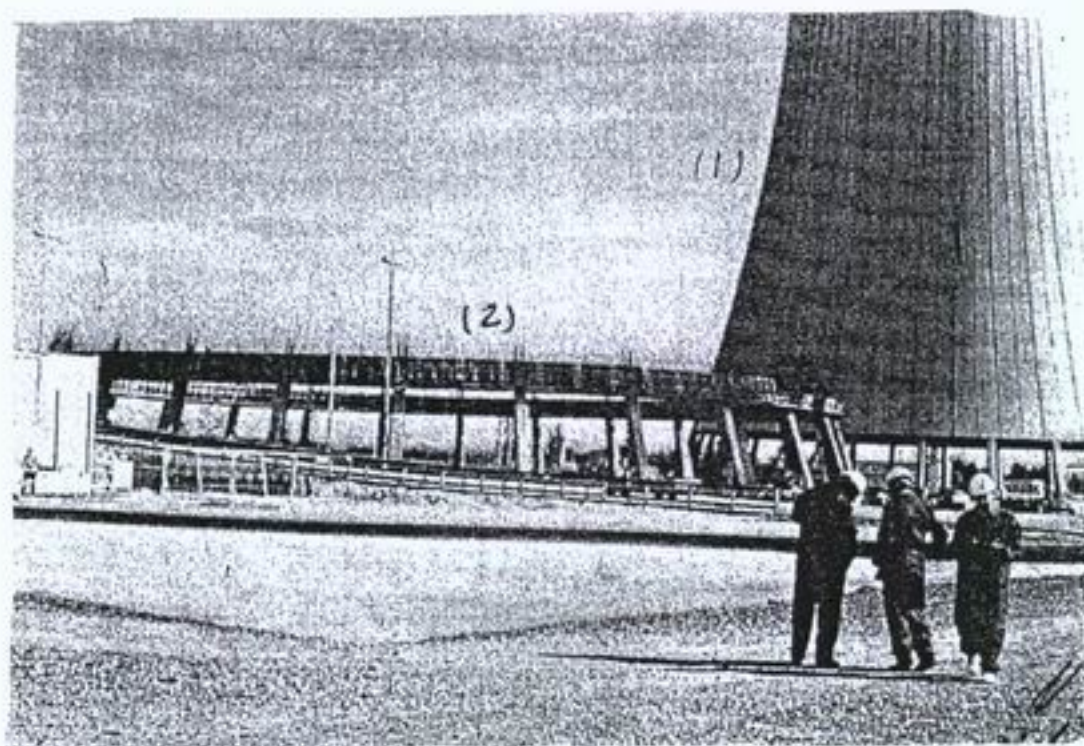
Naliramaie@yahoo.com

در حالیکه از قالب لغزنده تنها در احداث حدود ۶ برج خنک کن در مجارستان ژاپن و ترکیه استفاده شده، قالب بالارونده در احداث بیشتر از ۳۰۰ مورد برج خنک کن در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. فاجعه کشته شدن ۵۲ نفر در اثر عدم اجرای صحیح قالب بندی در نیروگاه ویرجینیای غربی که در بخش (۵) شرح داده شد نشان دهنده اهمیت روش اجراء و قالب بندی درست در برجهای خنک کن است. به شکل های (۱۲ و ۱۳) مربوط به اجرای برجهای خنک کن بتنی به روش کلایمینگ مراجعه گردد.

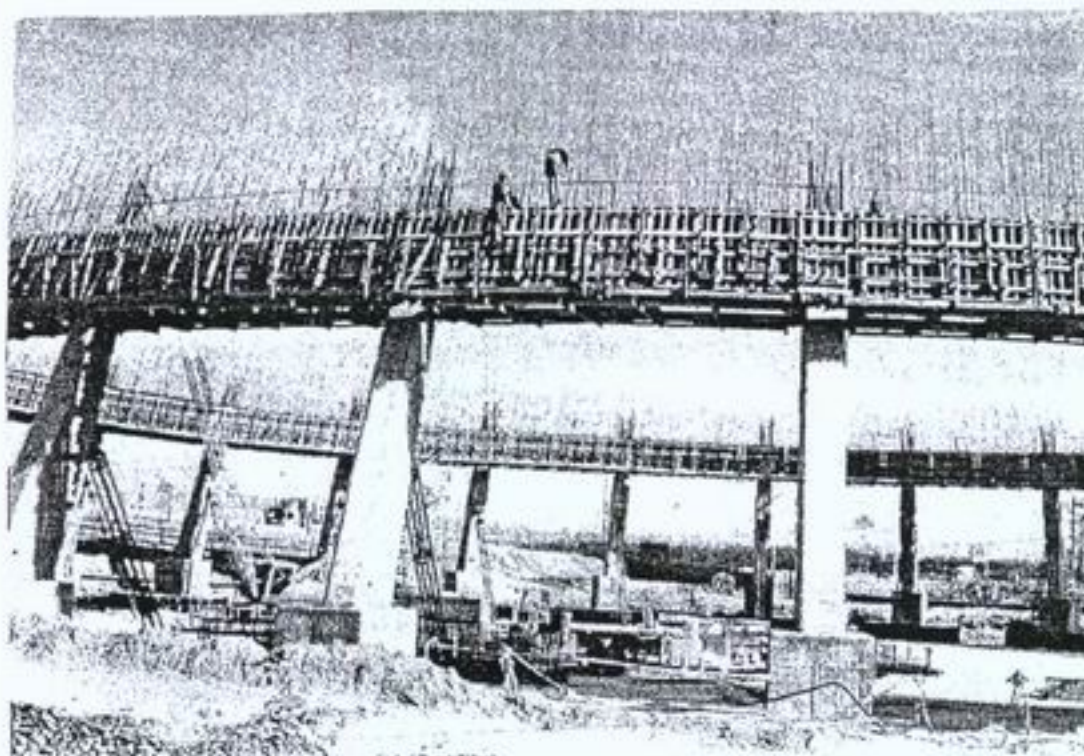
## ۹- نتیجه گیری

مصرف آب در نیروگاهها، پالایشگاهها و واحدهای پتروشیمی ابعاد چشمگیری دارد. این واحدها روزانه میلیونها مترمکعب آب مصرف می کنند که اگر در بازیافت آن همت نمی شد، منابع به سرعت تحلیل می رفت. برجهای خنک کننده جهت دفع گرمای ناخواسته در هوا توسعه یافته اند. روند دفع گرما توسط این برجها باید حداقل مسائل زیست محیطی و خسارات اکولوژیکی را بدنبال داشته باشد. این مورد در نیروگاهها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. با پیشرفت تکنولوژیک بشر، چشم اندازی رؤیایی فراروی ماست. روزی که با ساخت دودکشهایی با ارتفاع ۱۰۰۰ متر در صحراها و بیابانهای داغ بتوان با استفاده از منبع نامحدود نور خورشید، نیروگاههای متداول با سوخت نفت و زغال سنگ و حتی نیروگاههای هسته ای را که مضرات زیادی برای محیط زیست دارند به کناری گذاشت و برای تأمین برق تنها به نیروگاههای حرارتی خورشیدی و بادی اتکاء کرد.





شکل (۱۲): روش کلایمینگ: پوسته برج خنک کن (۱) در حال اجراست و در کنار آن پایه‌های بتنی پوسته برج خنک کن (۲) و قالب معمولی بسته شده بر روی تیرهای پیش ساخته که آماده بتن‌ریزی است.



شکل (۱۳): پس از نصب پایه‌های بتنی و تیرهای پیش‌ساخته روی آن قالبهای پلای وود با پشت‌بندهای چوبی بسته شده و آماده بتن‌ریزی می‌باشد. در این مرحله محل‌های نصب خرپاهای ویژه کلایمینگ در بتن ریخته شده تعبیه می‌گردد.



## شش سیگما (Six Sigma)، گزاره نوین و اثربخش مدیریت کیفیت

صابر یاهو

مسئول کنترل هزینه - معاونت مالی و منابع انسانی

### چکیده

آنچه نقطه اشتراک سازمانهای گذشته و امروز می باشد این است که هر دو تمام تلاش خود را برای رسیدن به "نتایج" معطوف داشته اند. وجه اختلاف سازمانهای امروز با سازمانهای نیمه اول قرن بیستم این است که نتایج در آنها محصول "قابلیت سازهای نتیجه مند" می باشد و قابلیت سازها به نتایج منجر خواهند گردید. میزان موفقیت سازمان در سطح حصول شاخص های عملکرد (نتایج) در مقایسه با رقبا تعیین می شود. سرعت و کیفیت رسیدن به شاخص های عملکرد در دنیای رقابتی بستگی به روش شناسی سازمان در تشخیص و بکارگیری قابلیت سازها دارد. مدیریت کیفیت طی چند دهه از نیمه قرن بیستم تا امروز با ارائه تفکر بهبود مستمر بر پایه حرکت به سمت نقص و خطای صفر (ZERO DEFECT) سعی بر ایجاد قابلیت سازهای مؤثری داشته که در رویکردها، فنون و ابزارهای متعدد متجلی بوده است. برخی از سازمانها بخصوص "موتورولا" در دهه هشتاد قرن بیستم دریافته اند که نیاز به رویکردی دارند تا آنها را هر چه سریعتر به شاخص های مهم عملکرد برساند و در عرصه رقابت فشرده، بقاء و ارتقاء آنها را تضمین کند. مدیریت کیفیت با مفاهیم کلاسیک خود نمی توانست جوابگوی نیاز آنها باشد. آنها به جای تأکید بر فعالیتهای تأکید بر نتایج، به جای تغییرات کند تغییرات پله ای، به جای برخی تناقض ها که در افزایش کیفیت و کاهش هزینه بصورت همزمان وجود داشت، رسیدن همزمان به هر دو و به جای تفکر خطای صفر کاهش مشخص عملیاتی و قابل سنجش خطا تا سطح  $\frac{3}{4}$  در یک میلیون فرصت را خواستار بودند.

### ۱- مقدمه

اغلب سازمانها به منظور افزایش بهره وری و نهایتاً دستیابی به مزیت رقابتی جهت ماندگاری پایدار در عرصه تجارت جهانی، بخش وسیعی از تمرکز و توجه خود را به رفع مسائل، مشکلات و نقاط ضعف موجود در سیستمها و فرآیندهای خود می نمایند که رویکردی منطقی است. ابزارهای حل مسأله سازمانها را در این راه یاری می نمایند. تنوع ابعاد و ماهیت مسائل و موانعی که سازمانها با آنها روبرو می باشند، ایجاب می کند که مدیران سازمانها از ابزارهای مختلفی جهت رفع موانع موجود استفاده نمایند. ابزارهایی که هر چند بکارگیری هر کدام از آنها در نهایت موجب بهبود در سازمان و

فرآیندهای آن خواهند شد، رویکرد و کانون توجه شان متفاوت است. سازمانها بایستی درک درستی از مسائل و مشکلات خود داشته باشند. همچنین از ماهیت و شیوه عملکرد ابزارهای حل مسأله نیز اطلاع داشته باشند تا با انتخاب و بکارگیری صحیح این ابزارها، بتوانند بطور اثربخشی به رفع مشکلات و ایجاد بهبود مستمر در سازمان اقدام نمایند.

### ۲- شش سیگما (Six Sigma)

سیگما یکی از حروف الفبای یونانی و از شاخص های مهم پراکندگی بنام انحراف معیار و در واقع مقیاسی برای سنجش انحراف است. سیگما بیانگر آن می باشد که یک فرآیند چه اندازه



از حالت مطلوب خود منحرف شده است. لذا در واقع استعاره‌ای است برای دقت فوق‌العاده در کاهش هزینه‌های کیفیت، استعاره‌ای که اهمیت محاسبات دقیق در فرآیند تولید و ارائه خدمات را مورد تأکید قرار می‌دهد.

#### ۱-۲- تعریف شش سیگما (Six Sigma)

شش سیگما یعنی رسیدن به سطحی از کیفیت تولیدات و ارائه خدمات که فرآیندهای کاری به میزان  $3/4$  در یک میلیون موقعیت کاهش یابد. شش سیگما یک فلسفه است چون به کمک آن خطای کمتری در کار ایجاد می‌گردد. یک اندازه‌گیری آماری می‌باشد، چون به دقت اندازه‌گیری محصول، خدمت و فرآیند کمک می‌کند، یک ابزار اندازه‌گیری است، چون سیستم اندازه‌گیری ایجاد می‌نماید و در نهایت یک استراتژی تجاری است، چون کیفیت بالا، هزینه را کاهش می‌دهد. رویکرد شش سیگما کاهش مشخص خطاهای (Variation) سازمان و رسیدن به سطح شش سیگما در کیفیت می‌باشد. شش سیگما در واقع مصرف روش شناسی سیگماها است و این بدان معنا می‌باشد که شش سیگما هدفی مشخص است که بایستی از مراحل و سطوح قبلی سیگماها بگذرد (۱ سیگما به ۶ سیگما). برای سازمانی که رویکرد فوق را دنبال می‌کند ابتدا ورود به حوزه سیگماها و تعیین وضعیت موجود و سپس طی مراحل بهبود تا رسیدن نهائی به سطح شش سیگما  $3/4$  خطا در میلیون فرصت ۶ برنامه‌ریزی می‌گردد.

منظور از کاهش خطا در سازمان، کاهش خطا در فرآیندهاست. در واقع محور بررسی و تحلیل‌ها در شش سیگماها فرآیند می‌باشد و نه افراد. تمرکز سازمان برای کشاندن سطح کل به سطح شش سیگما با تمرکز بر فرآیند آغاز می‌شود لذا تدوین

فرآیندهای واقعی اصلی از اهمیت ویژه برخوردار است.

#### ۲-۲- اهداف نهائی (Six sigma)

اهداف شش سیگما در سازمان که بسیار صریح و مورد تأکید است عبارتند از:

- ۱- افزایش سهم بازار
- ۲- کاهش استراتژیک هزینه‌ها
- ۳- رشد سودنهایی

#### ۳-۲- ساختار (Six Sigma)

چه کسانی در برنامه‌های شش سیگما حضور خواهند داشت؟

اگر چه بسیاری از افراد سازمان به نوعی با این موضوع مواجه خواهند گردید اما پروژه‌های شش سیگما از افراد انتخابی استفاده می‌کند. بسط افراد درگیر در برنامه‌های بهبود الزاماً نتایج مثبتی را به همراه نخواهد داشت. نتایج استقرار شش سیگما در سازمانها شش گروه از افراد را برای درک، آموزش، استقرار و نتیجه‌گیری پیشنهاد می‌کند. مستندات جدید علمی موجود در زمینه شش سیگما بر روی این ساختار به صورت کلی اتفاق نظر دارند. این شش گروه عبارتند از:

۱- مدیران ارشد (Directorates): مدیر یا مدیران ارشدی که نیروی رویکرد به شش سیگما را در سازمان جاری می‌کنند و نسبت به اجرای آن متعهد و پاسخگو هستند.

۲- قهرمانان (Champions): افرادی که وظیفه تهیه و معرفی فلسفی و فرهنگی شش سیگما را بعهده دارند و راهبران فکری و روحی ایجاد و بسط این روش‌شناسی هستند.

۳- مدیران کمر بند مشکی‌ها (Master Black Belts): افرادی که پروژه‌های جامع شش سیگما را مدیریت و هدایت می‌کنند.



۴- کمر بند مشکی‌ها (Black Belts) : افرادی که مدیریت اجرای پروژه‌های شش سیگما را بعهده داشته و برنامه‌های آموزشی معرفی رویکرد و ابزارهای آن را تدوین و اجرا می‌نمایند.

۵- کمر بند سبزه‌ها (Green Belts) : افرادی که هدایت اجزاء پروژه‌های شش سیگما و استفاده از ابزارهای اصلی بهبود بعهده آنها می‌باشد.

۶- تیم اجرایی (Team Executive) : افرادی که برنامه‌های مشخص تعریف شده بهبود را بصورت عملیاتی اجرا یا نظارت بر اجراء می‌کنند.

تقسیم‌بندی فوق یک ایده و الگوی کلی است که نشان می‌دهد شش گروه مشخص از افراد (۱ تا ۶) در یک طیف پیوسته، جنبه‌های مختلف ۶ سیگما را مورد توجه قرار می‌دهند. این جنبه‌ها را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:



### ۳- چرخه DMAIC

چرخه DMAIC متدولوژی نتیجه‌گرایی می‌باشد که پروژه‌های شش سیگما بر مبنای آن انجام می‌گیرند. عبارتی ساده‌تر چرخه DMAIC روش سیستماتیک و منظمی برای حل مسأله و پیشبرد این نوع پروژه‌ها است. DMAIC مخفف کلمات Definition (تعریف)، Measurement (اندازه‌گیری)، Analysis (تحلیل)، Improvement (بهبود)، Control (کنترل) می‌باشد. چرخه DMAIC یک رویکرد ساخت یافته، منسجم و همه جانبه برای بهبود فرآیند است و شامل ۵ فاز ذکر شده می‌باشد که هر فاز بطور منطقی

همانطوریکه به فاز بعدی مرتبط است به فاز قبلی نیز مربوط می‌شود. دلیل دنبال نمودن چنین متدولوژی منسجمی، رسیدن به هدف متعالی شش سیگما با ۳/۴ واحد خرابی در میلیون می‌باشد.

۱- فاز تعریف (Definition) : در فاز تعریف، اهداف و مرزهای پروژه بر اساس دانش مجریان پروژه از اهداف تجاری سازمان، نیازهای مشتری و فرآیندی که برای رسیدن به سطح سیگما لازم است بهبود داده شود، تعیین می‌گردد.

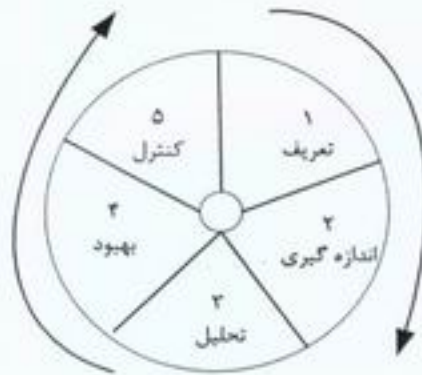
۲- فاز اندازه‌گیری (Measurement) : در فاز اندازه‌گیری، هدف این است که با ایجاد درک واقعی از مشکلات و شرایط فرآیند موجود، مکان یا منابع مشکلات به دقت مشخص گردد.

۳- فاز تحلیل (Analysis) : در فاز تحلیل، تئوریهایی در مورد علل ریشه‌ای ایجاد شده و با استفاده از داده‌ها سنجیده می‌شوند و در نهایت علل ریشه‌ای مشکلات شناسایی می‌شوند. علل شناسایی شده، پایه‌ای را برای ارائه راه‌حل‌ها در فاز بعدی (فاز بهبود) شکل می‌دهند.

۴- فاز بهبود (Improvement) : در فاز بهبود برای عللی که در فاز قبل بررسی شده راه‌حل‌هایی ارائه می‌گردد، این راه‌حل‌ها پیاده‌سازی شده و در نهایت نتایج آنها ارزیابی می‌شوند. در این مرحله بایستی با استفاده از داده‌ها نشان داده شود که راه‌حل‌های ارائه شده، مشکلات را حل نموده و منجر به بهبود شده‌اند.

۵- فاز کنترل (Control) : در طول فاز بهبود راه حل بطور آزمایشی اجرا شده است و برنامه‌ریزی‌های لازم برای اجرای راه حل بطور کامل انجام شده است. ارائه راه حل برای یک مشکل تنها بطور موقتی مشکل را برطرف می‌سازد. کاری که در فاز پنج یعنی فاز کنترل

- انجام می‌شود. حصول اطمینان از حل مشکل و در نهایت اینکه روشهای جدید به مرور زمان بهبود داده می‌شوند.
- ابزارهای مورد استفاده در فاز کنترل :
- ۱- نمودارهای کنترل
  - ۲- جمع‌آوری داده‌ها
- ۳- نمودارهای جریان
  - ۴- نمودارهای فراوانی
  - ۵- نمودارهای پارتو
  - ۶- نمودارهای کنترل کیفیت فرایند
  - ۷- استانداردسازی



چرخه DMAIC

جدول (۱) : مشخصه‌های متدولوژی شش سیگما

روش	شش سیگما SIX SIGMA
تئوری	کاهش خطاها Reduce Variation
فازهای اجرایی	۱- فاز تعریف (Definition) ۲- فاز اندازه‌گیری (Measurement) ۳- فاز تجزیه و تحلیل (Analysis) ۴- فاز بهبود (Improvement) ۵- فاز کنترل (Control)
تمرکز	تمرکز بر مشکلات Problem focused
فرضیات	- وجود مسأله (مشکل) محرز است. - خطاها قابل اندازه‌گیری و سنجش است. - اگر خطاها در تمام فرآیندها کاهش یافته باشند، خروجی سیستم بهبود می‌یابد.
نتایج اولیه	یکسان شدن خروجی فرآیندها Uniform process output
نتایج ثانویه	۱- کاهش اتلافات ۲- افزایش توان عملیاتی ۳- کاهش سطح موجودیها ۴- ارتقاء کیفیت
نقاط ضعف	بهبود یافتن فرآیندها بطور مستقل

#### ۴- نتیجه‌گیری

دانشگاه آزاد اسلامی (واحد جنوب) بوده و زمینه علاقمندی ایشان تجزیه و تحلیل و آنالیز حسابداری مالی، حسابداری داخلی و مدیریت بازاریابی است.

[Syahoo@Ghods-niroo.com](mailto:Syahoo@Ghods-niroo.com)

عرضه کنونی کسب و کار، تصویر جدیدی از سازمان ارائه می‌نماید. با این نگرش جدید سازمان مجموعه‌ای از فرآیندهایی است که هدف آنها ایجاد ارزش برای مشتری و لزوم ایجاد ارزش برای مشتری، آفرینش ارزش در خود سازمان است. برنامه سازمانی که می‌خواهد رویکرد فوق را دنبال کند در وهله اول ورود به حوزه سیگماها و در مرحله بعدی طی مراحل بهبود تا رسیدن به سطح شش سیگما می‌باشد. با توجه به اینکه شش سیگما یک روش‌شناسی جامع بهبود اثربخش سازمانی است که در درون خود از ساختار، برنامه و ابزارهای توانمند مدیریت کیفیت برخوردار می‌باشد، سازمانها می‌بایست برای ورود به صحنه بازار رقابت جهانی خود را سریعتر آماده نمایند و این موضوع نه یک انتخاب بلکه یک ضرورت است. از چالشهای اساسی که فراروی سازمانها، شرکتها و صنایع می‌باشد افزایش کیفیت و کاهش هزینه‌هاست.

#### ۵- مراجع

مقالات برگرفته از اینترنت با عناوین :

- ۱- ۶ سیگما گزاره نوین مدیریت کیفیت  
[WWW.imi.ir/tadbir-128/article](http://WWW.imi.ir/tadbir-128/article)
- ۲- تفکر ناب دروازه ورود به سرزمین سیگماها  
[WWW.irandoc.ac.ir/data/ej/vol14](http://WWW.irandoc.ac.ir/data/ej/vol14)
- ۳- تحقیق دانشگاهی در درس حقوق بازرگانی  
بین‌المللی

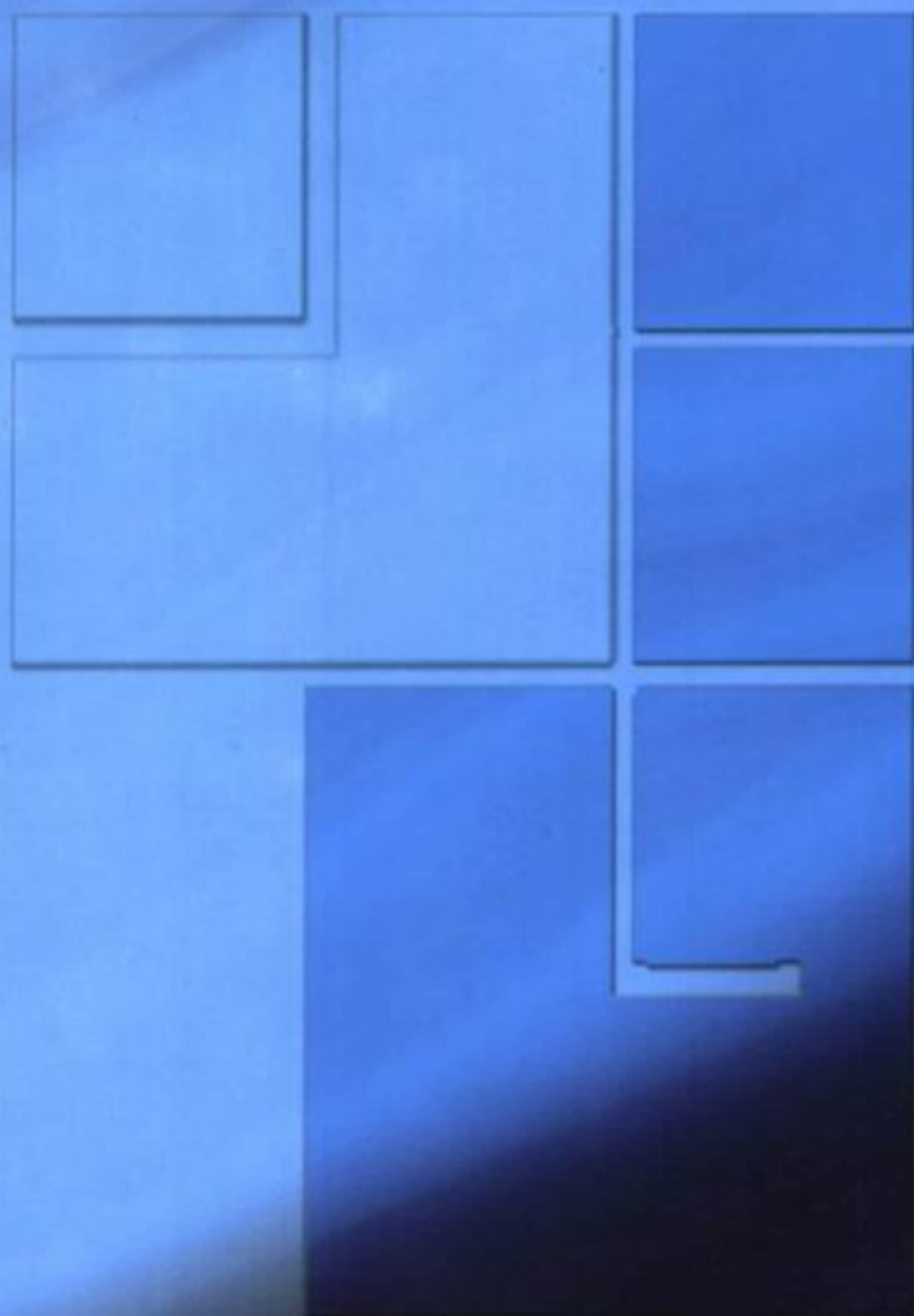
آقای صابر یاهو دارای دیپلم تجربی و ۱۷ سال سابقه کار می‌باشد که ۱۶ سال آن در شرکت قدس‌نیرو بوده است. آقای یاهو در حال حاضر دانشجوی سال آخر رشته مدیریت بازرگانی



**GHODS NIROO**  
**CONSULTING ENGINEERS**

مهندسين مشاور قدس نيرو (سهامي خاص)





تهران، خیابان استاد مطهری، چهارراه سه‌رودی، شماره ۹۸  
کدپستی: ۱۵۶۶۷۷۵۷۱۱

تلفن: ۸۸۴۳۰۴۵۴ - ۸۸۴۰۳۶۱۳  
فکس: ۸۸۴۱۱۷۰۴

NO.98 OSTAD MOTAHARI AVE, TEHRAN 156675711 - IRAN  
TEL:88403613 - 88430454  
FAX:88411704  
E-mail:info@ghods-niroo.com



## فعالیت واحد نیروگاههای خصوصی

شرکت مهندسين مشاور قدس نیرو به عنوان اولین شرکت در صنعت برق اقدام به تاسیس واحد نیروگاههای خصوصی نموده و در طی این فعالیت، با همکاری مشاورین معتبر خارجی، موفق به کسب تجربیات ارزنده‌ای در کلیه زمینه‌های مربوط به فرآیند خصوصی سازی شده است.

با اتکا به تجربیات فوق‌الذکر این واحد آماده همکاری و ارائه کمکهای فنی و کارشناسی به کلیه سازمانها و شرکتهای بخش خصوصی می باشد.

### حوزه‌های فعالیت

ارزیابی طرحهای سرمایه گذاری و امکان سنجی فنی، اقتصادی، مالی پروژه‌های عمرانی، زیربنایی و صنعتی (بالاخص در صنعت برق)

ارزیابی و قیمت گذاری شرکتهای و کارخانجات بر اساس تکنیکهای نوین، ارائه مشاوره و انجام مذاکرات مربوط به سرمایه گذاری به روشهای (B.O.O, B.O.O.T, B.O.T, ....)

### سوابق کاری

- تهیه اسناد مزایده فروش نیروگاهها
- مذاکرات قراردادی و تهیه قراردادهای فروش نیروگاه زرگان و خرید برق آن توسط توانیر
- فروش اسناد مزایده عمومی نیروگاه خوی و ارزیابی مالی پیشنهادات دریافتی
- تهیه اسناد مناقصه برون سپاری خدمات بهره برداری و نگهداری نیروگاه هرمزگان و ارزیابی مالی پیشنهادات مالی



تهران - خیابان اسناد مطهری - چهارراه سپهروری  
شماره ۹۸ - کدپستی ۱۵۶۶۷۷۵۷۱۱  
تلفن : ۸۸۴۳۰۴۵۴ - ۸۸۴۰۳۶۱۳  
فکس : ۸۸۴۱۱۷۰۲

Marketing @ghods-niroo.com  
www.ghods-niroo.com  
info@ghods-niroo.com  
tel : (+9821) 88416344 - 88414099  
fax : (+9821) 88411704