

شرکت مهندسی

قدس نیرو

نشریه فنی تخصصی قدس نیرو
شماره ۲۷ - پاییز ۱۳۸۷

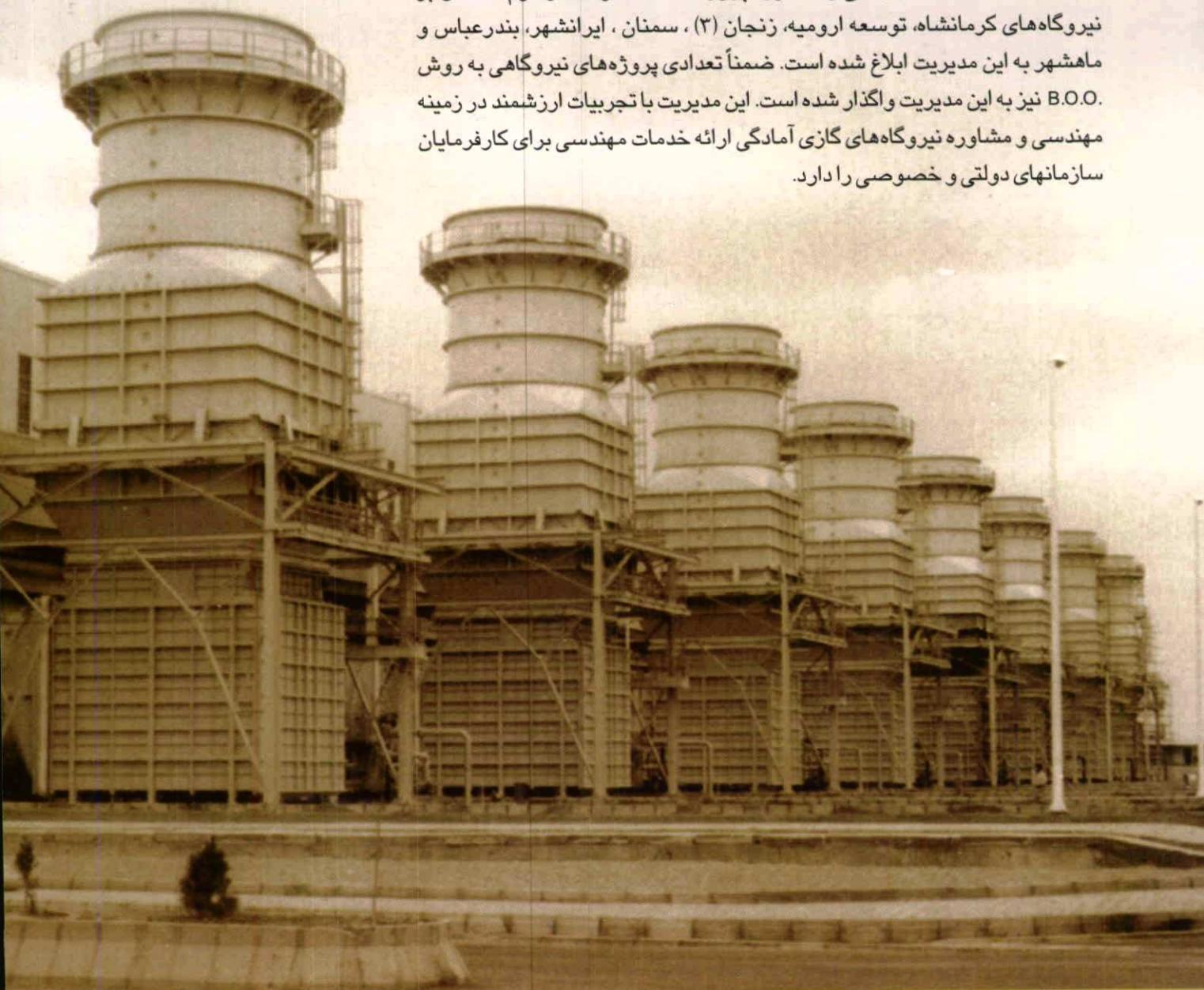


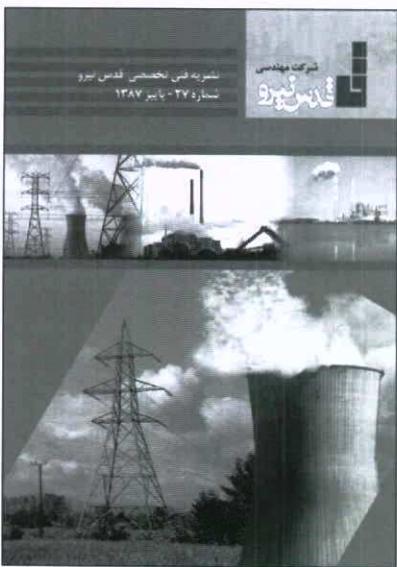
مدیریت هندسی نیروگاههای گازی ۱

شرکت مهندسی قدس نیرو دارای بیشترین تجربه در زمینه خدمات مهندسی و نظارتی نیروگاههای گازی می‌باشد. بجز نیروگاه گازی ری که (قبل از انقلاب) توسط این مشاور سرپرستی و نظارت شده است، اولین تجربه نیروگاه گازی مربوط به نیروگاه ۲×۱۳۷/۵ مگاواتی نکامی باشد که در سال‌های ۶۷ الی ۷۰ انجام شده است. سپس خدمات مهندسی نیروگاه قم، کازرون قدیم و نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان توسط این مشاور انجام شده است.

در سال ۱۳۷۶ اجرای پروژه ۳۰ واحد توربین گازی به ظرفیت ۴۵۰۰ مگاوات همراه با انتقال تکنولوژی ساخت توربین و ژنراتور در دستور کار وزارت نیرو قرار گرفت و برای انجام این مهم در شرکت مهندسی قدس نیرو واحدی بنام پروژه نیروگاههای گازی تشکیل گردید. کلیه خدمات مطالعاتی- مهندسی و نظارتی این پروژه مشتمل بر نیروگاههای کرمان، کازرون، دماوند ۱ و دماوند ۲، شیروان، سمندج و جهرم توسط این مدیریت انجام شد.

آخرآ قرارداد خدمات مهندسی و مشاوره پروژه ۳۰۰۰ مگاوات فاز دوم مشتمل بر نیروگاههای کرمانشاه، توسعه ارومیه، زنجان (۳)، سمنان، ایرانشهر، بندرعباس و ماهشهر به این مدیریت ابلاغ شده است. ضمناً تعدادی پروژه‌های نیروگاهی به روش B.O.O. نیز به این مدیریت واگذار شده است. این مدیریت با تجربیات ارزشمند در زمینه مهندسی و مشاوره نیروگاههای گازی آمادگی ارائه خدمات مهندسی برای کارفرمایان سازمانهای دولتی و خصوصی را دارد.





مدیر مسئول: مهندس احمد شکوری راد
سر دبیر: مهندس فتانه دوستدار

با تشکر از همکاری آقایان:

- مهندس احمد اهرابی
- مهندس حسین بختیاری زاده
- مهندس احمد فریدون درافشان
- مهندس علی شاه حسینی
- دکتر همایون صحیحی
- مهندس منصور قزوینی
- مسعود نجمی

از مدیر و همکاران محترم امور پشتیبانی سپاسگزاریم.

هیأت داوران:

مهند پورنگ پاینده، مهندس مسعود حبیب‌زاده،
مهند فتانه دوستدار، مهندس محمدرضا رضایی،
مهند رضا رضوی، مهندس محمد حسن
زرگ‌رشوشتی، مهندس فرهاد شاهمنصوریان،
مهند فرنگ شفی، مهرداد صارمی، دکتر جعفر
صحیحی، مهندس غلامرضا صفارپور، دکتر جعفر
عسگری، مهندس امیر همایون فتحی، مهندس
بهرام کرمانی، مهندس علی اصغر کسانیان، مهندس
حسن کمالی زاده، مهندس وحید مرتضوی، مهندس
رضا میرمحمدی، مهندس محمدرضا نصراللهی،
مهند محمدیحیی نصراللهی، مهندس بهروز هنری.

۱	معرفی
۲	نگاهی بر تکنیک ترکیب اطلاعات سنسوری - مهندس حمیدرضا کریمی
۱۲	بررسی سیستم فیوزگیت در مقایسه با سیستمهای موجود در طراحی و اجرای سربز سدها - دکتر جعفر عسگری و مهندس محسن معجزی
۱۸	انتخاب سطوح حفاظتی برقگیر و محاسبه استقامت عایقی مقره آن - مهندس آزاده نیکخواه
۲۲	تحلیل لرزه ای تونل های زیرزمینی با مقطع دایره - مهندس محبوبه طاهری و مهندس جواد یزدان ستا
۲۸	جایابی خطاهای امپدانس بالا در شبکه های توزیع دارای منابع تولید پراکنده با استفاده از شبکه عصبی - مهندس سید علی محمد جوادیان
۳۶	اثر جدا کننده ارتعاشی بر رفتار سازه ای تکیه گاه توربوزناتور در نیروگاه های برقابی - دکتر جعفر عسگری
۴۶	استفاده از توربین - پمپهای بازیاب در تصفیه آب به روش اسمز معکوس - مهندس حسین حق پرست، مهندس کیهان کبیر و مهندس محسن امیری

این نشریه از طریق اینترنت قدس نیرو در دسترس همکاران می باشد. ارتباط مستقیم با مقاله دهنگان از طریق Email یا فاکس

آن در انتهای هر مقاله و همچنین ارانه نظرات، پیشنهادات و سوالات احتمالی خوانندگان گرامی از طریق اینترنت قدس نیرو و یا

شماره تلفن نشریه ۸۸۴۴۲۴۸۲ امکان پذیر می باشد.

۱- زنجیره پیش رو^۷ (تصمیم گیری گام به گام براساس استدلال)

۲- زنجیره پس رو^۸ (وقتی یک پیشنهاد به عنوان هدف مطرح می شود).

نامعینی به این شکل در سیستمی مطرح می گردد که قوانین تولیدی را به همراه پارامتر قطعیت $CF \leq 1$ ،

مورد استفاده قرار می دهد:

۱- $CF = 0$: عدم اطمینان کامل

۲- $CF = 1$: اطمینان کامل

۳- $CF = 0$: کمبود اطلاعات

در اینجا ذکر این نکته لازم است که آرایش سنسورها در یک سیستم ترکیب اطلاعات سنسوری می تواند به چهارشکل سری، موازی، سری-موازی و موازی-سری باشد^[۷]. عیب اصلی در روش سری، حساسیت آن به ایجاد و عیب در ارتباط^۹ است. لذا اغلب با روش موازی به ترکیب مطمئن تری برای اطلاعات دست می یابیم. (شکل ۲)

۳- مروری بر روش‌های ترکیب اطلاعات سنسوری

در این قسمت مروری کوتاه بر برخی از روش‌های مرسوم و شناخته شده در این زمینه خواهیم داشت. بسته به رویکرد روشها در ترکیب اطلاعات و نظریه‌ای که هر روش در بستر آن نظریه فرموله شده است. روشها را به دو دسته "روش‌های کلاسیک" و "روش‌های هوشمند" تقسیم می کنیم که ما در این مقاله سعی داریم تا نگاهی اجمالی به برخی از روش‌های کلاسیک آن داشته باشیم و علاقمندان می توانند جهت مطالعه و آشنایی بیشتر با روش‌های کلاسیک یا روش‌های هوشمند به مراجع [۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲] مراجعه نمایند.

۱- روش‌های کلاسیک

منظور از روش‌های کلاسیک ترکیب، روش‌هایی است که مبنای آنها نظریه‌های کلاسیک هستند. نظریه احتمال (ترکیب بیزین)^۱، نظریه استدلال شهودی (دیپسٹر - شافر) و فیلتر کالمن سه نظریه کلاسیک هستند که سه روش ترکیب اطلاعات در بستر آنها فرموله شده است.

1- Feature Vector

2- Knowledge – Based Data Fusion

3- Signal – Based Fusion

4- Alignment

5- Decision – Level Fusion

6- Rules Production

7- Forward Chaining

8- Backward Chaining

9- Certainty Factor

10- Link

مثالاً مجموعه ای از سنسورها را در یک ربات فرض کنید که هر یک به منظور اندازه گیری کمیتی خاص بکار می روند (شکل، رنگ، طعم و ...). اکنون با ترکیب اطلاعات جمع آوری شده از سنسورها و در حقیقت ترکیب تصمیماتی که هر یک گرفته اند می توان در مورد ماهیت شی ناشناخته تصمیم کاملی اتخاذ نمود. ترکیب در سطح طرح (ساختار) نیاز به استفاده از بردارهای حالت یا ساختار^۱ دارد و ترکیب در سطح تصمیم گیری متدهایی مانند دامپسٹر- شافر را می طلبد. ترکیب در سطح داده، به اطلاعات هر سنسور به طور مستقل نگاه می کند. ترکیب در سطح طرح (ساختار) شامل تولید بردار اطلاعات طرح است و یک بردار ساختار تولید می کند و ترکیب در سطح تصمیم گیری به تکنیکهای استنتاج مانند دامپسٹر- شافر می پردازد.

• ترکیب اطلاعات مبتنی بر دانش^۲

به منظور استفاده از پایگاه دانش، ارزشگذاری و استنتاج مورد نیاز است. یکی از راههای پیاده سازی این تکنیکها خودکار نمودن فرآیند نتیجه گیری است. روش‌های جستجو به منظور تجزیه و تحلیل پایگاه داده و مشخص نمودن قوانین مورد نیاز در دسترس می باشند.

• ترکیب در سطح سیگنال^۳

یکی از سودمند ترین روشها در کاربردهای به هنگام است. ورودی به شکل سیگنالهای ردیفی که دارای اطلاعات سطح پایین هستند می باشند. اطلاعات به طور نوعی، همزمانی و به صفت بودن^۴ سنسورها را نشان می توان به پردازش از این تکنیک کاهش تغییرات مقادیر مورد انتظار است.

ترکیب سیگنالها با مدل کردن آنها به شکل متغیرهای تصادفی یک راه معمول در توصیف ریاضی داده می باشد. سپس فرآیند ترکیب به صورت یک روش تخمین متغیر تصادفی مدل می گردد؛ به عنوان مثالی در این زمینه می توان به پردازش سیگنال جهت تولید تصویر اشاره نمود. [۱]

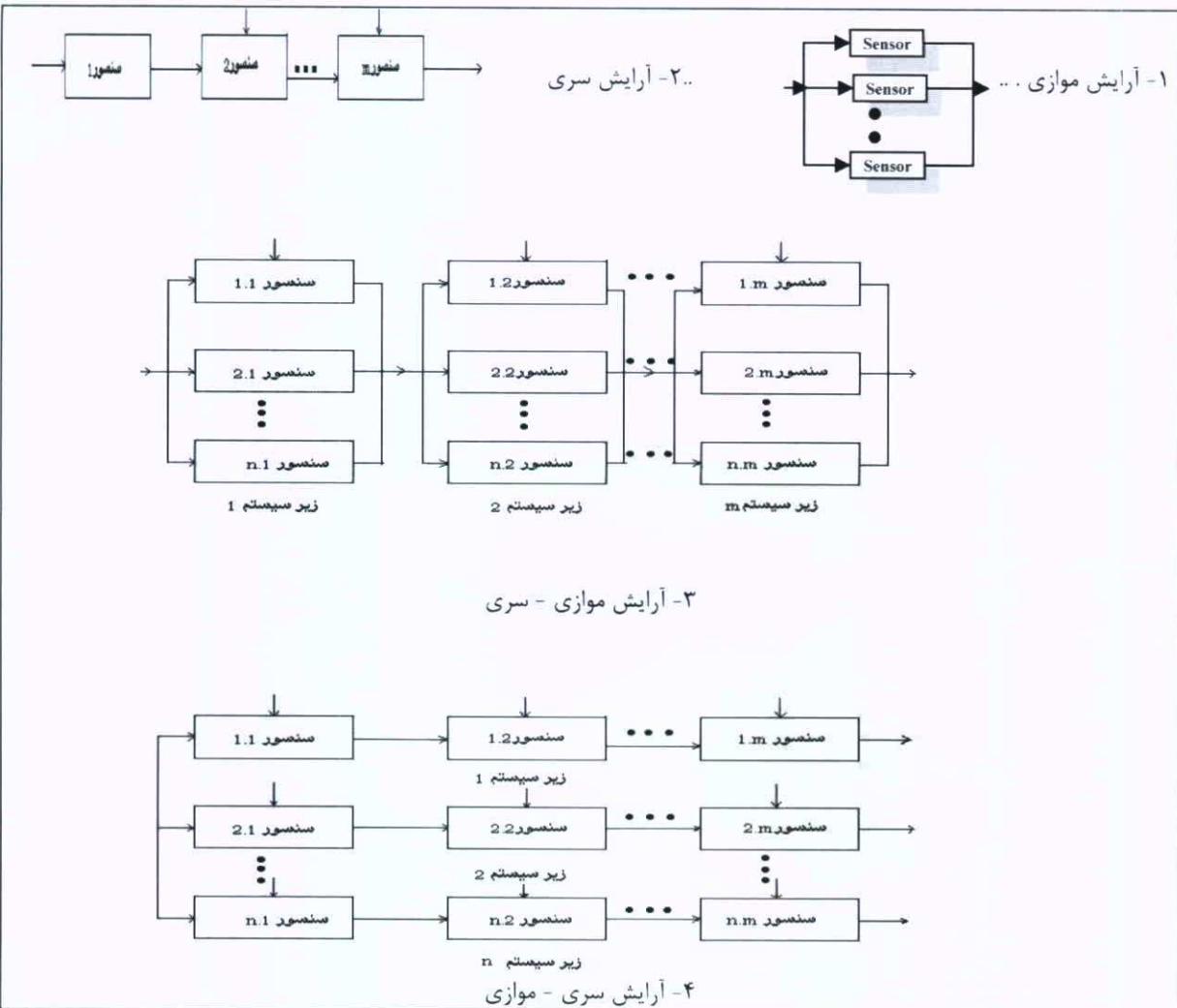
• ترکیب در سطح تصمیم^۵

این تکنیک اطلاعات سطح بالایی به شکل سمبولیک به دست می دهد که هر سمبول نشاندهنده یک تصمیم است. مزیت عمده این روش افزایش مقادیر درست و صحیح است. از کاربردهای این روش ساختن احتمالات بر پایه شناخت شی گرایست. [۱]

• ایجاد قوانین^۶

۲ روش استنتاج قابل بررسی است:





شکل (۲): آرایش سنسورها در سیستم ترکیب اطلاعات سنسوری

$$L(X_i | Y) = \frac{P(X_i | Y)}{P(X_i | \neg Y)} \quad (2)$$

تمایل پسین^۴ به درستی برای گزاره Y با داشتن اطلاعات X_1, X_2, \dots, X_n را نیز به صورت رابطه (۳) تعریف می کنیم:

$$O(Y | X_1, \dots, X_n) = O(Y) \prod_{i=1}^n L(X_i | Y) \quad (3)$$

با فرض آنکه n سنسور S_1, S_2, \dots, S_n در اندازه گیری یا قضاوت در مورد Y مستقل از یکدیگر عمل کنند، احتمال پسین Y با داشتن اطلاعات X_1, X_2, \dots, X_n عبارتست از:

$$P(Y | X_1, \dots, X_n) = \frac{O(Y | X_1, \dots, X_n)}{1 + O(Y | X_1, \dots, X_n)} \quad (4)$$

۱-۱-۳- روش ترکیب بیزین

روش ترکیب بیزین در واقع بر مبنای قوانین ترکیب احتمال در نظریه احتمال فرموله شده است. عدم قطعیت در این روش به شکل احتمالهای شرطی ($P(Y|X)$) مدل می شود.

فرض کنید n سنسور S_1, S_2, \dots, S_n مقدار X_1, X_2, \dots, X_n را مورد سنجش قرار داده اند. عملکرد هر سنسور در اندازه گیری مقدار Y و در واقع عدم قطعیت موجود در این اندازه گیری را با یک احتمال شرطی مدل می شود.

این احتمال برای سنسور i ام عبارتست از $P(X_i | Y)$ نسبت شباخت^۵ یا نسبت همخوانی موجود بین Y و هر یک از مقادیر X_i را به شکل زیر تعریف می کنیم:

$$O(Y) = \frac{P(Y)}{P(\neg Y)} \quad (1)$$

همچنین تمایل پیشین^۶ به درستی را برای گزاره Y به شکل زیر تعریف می کنیم:

- 1- Bayesian Fusion
- 2- Likelihood Ratio
- 3- Prior odds
- 4- Posterior odds





تخصیص پایه ای جدید به نام $m = m_i \oplus m_j$ خواهد بود که به صورت رابطه (۶) محاسبه می شود :

$$m_{i,j}(A) = \frac{\sum_{X \cap Y = A} m_i(X)m_j(Y)}{1 - \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_i(X)m_j(Y)} \quad (6)$$

در اینجا برای روش شدن بیشتر مطلب، مثالی درمورد استفاده از قانون ترکیب دمپستر برای شناخت شئ ارائه می گردد. شئ X متعلق به ۴ کلاس A, D, C, B : سرد و مستطیلی، B: سرد و دایروی، C: گرم و مستطیلی و D: گرم و دایروی) S₁, S₂, S₃ را که S₁, S₂, S₃ را در نظر بگیرید. ۳ سنسور S₁, S₂, S₃ حرارت جسم را حس می کند به کار بده می شود. در مورد یک جسم تحت شناسایی X S₁, S₂ گزارشی به شرح ادامه داده اند:

$$\begin{aligned} m_1(A \vee C) &= 0.82, m_1(B \vee D) = 0.12 : m_1(\theta) = 0.06 \\ m_2(A \vee C) &= 0.71, m_2(B \vee D) = 0.14 : m_2(\theta) = 0.15 \end{aligned}$$

و سنسور S₃ نیز گزارشی به شرح زیر داده است:
 $m_3(A \vee B) = 0.92, m_3(C \vee D) = 0.06 : m_3(\theta) = 0.02$
 ملاحظه می شود که در این نمایش داخلی، هر سنسور جهل خود را در تصمیم گیری به صورت یک مقدار به دست می دهد (مقادیر m_i(θ)). با توجه با فرمول دمپستر داریم:

$$m_{1,2}(A \vee C) = 0.93475, m_{1,2}(B \vee D) = 0.054, m_{1,2}(\theta) = 0.01125$$

و با محاسباتی مشابه در مورد S₃، نتایج نشان می دهد که بیشترین اعتقاد در تعلق شئ به کلاس A یعنی سرد و مستطیلی است. داریم: $m_{1,2,3}(A) = 0.85997$

۳-۱-۳- فیلتر کالمن

فیلتر کالمن در اصل نوعی ابزار تخمین بهینه است که مشخصه آن انجام ارزیابی های بازگشتی از مدل داخلی دینامیک یک سیستم شامل حالتهای سیستم از روی خروجی های وزن دار دینامیکی آن است و یکی از مزایای اصلی آن برداشتن نویز از سیگنال سنسورها است. در این بخش تنها به ارائه شما کلی از روش فیلتر کالمن به همراه معادلات آن اکتفا شده و خواننده را در صورت علاقمندی به مراجع [۱۲] و [۱۳] راهنمایی می نماید (شکل ۳) :

این روابط همچنین می تواند برای ترکیب اطلاعات حاصله از یک سنسور در n زمان مختلف نیز به کار رود، البته با فرض استقلال عملکرد سنسور در زمانهای مختلف.

اگنون مثالی در این زمینه ارائه می گردد:

فرض کنیم در مورد مانعی می خواهیم تشخیص داده شود که آیا به شکل مکعب مستطیل است (حالت S) یا گرد (حالت R). اگر داشته باشیم:

$$P(S) = P(R) = P(\neg S) = P(\neg R) = 0.5$$

و دو سنسور تصمیمات زیر را در مورد بروز حالت S برای مانع گرفته باشند:

$$P(S_1 | S) = 0.82, \quad P(S_2 | S) = 0.71$$

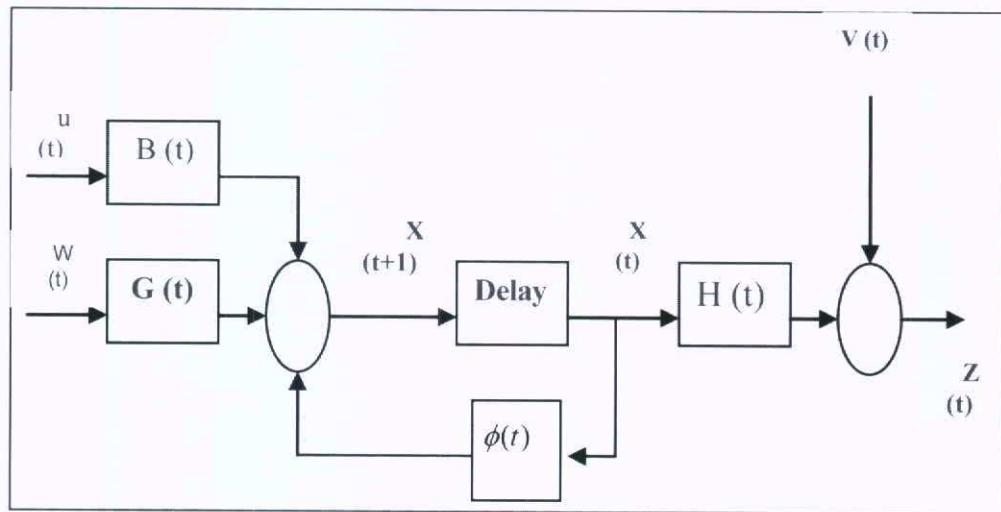
و چون فرض بر گرد یا مکعبی بودن مانع است، داریم:
 $P(S_1 | R) = P(S_1 | \neg S) = 0.18,$
 $P(S_2 | R) = P(S_2 | \neg S) = 0.29$

ولذا $O(S | S_1, S_2) = 11.15, P(S | S_1, S_2) = 0.92$ روش است که تصمیم ترکیبی نسبت به تصمیم های تک تک سنسورها از قطعیت بیشتری برخوردار است.

۳-۲-۱-۳- ترکیب در بستر نظریه دمپستر - شافر نظریه دمپستر - شافر برای مدل سازی عدم قطعیت در پدیده های فیزیکی، تعمیمی بر نظریه احتمال است. مدل سازی عدم قطعیت در نظریه دمپستر - شافر به نحوی صورت می گیرد که جهل مانعیت به پیشامدها نیز مورد اندازه گیری قرار می گیرد. در واقع کمیتی که به عنوان میزان احتمال وقوع معرفی می شود، خود دارای عدم قطعیت و حدود بالا و پایین است. مجموعه توانی Θ را که شامل تمامی زیر مجموعه های Θ (جایگزین فضای احتمال) است، با \mathcal{P}^2 نشان می دهیم. آنگاه با در نظر داشتن تابع اندازه زیر به عنوان تخصیص پایه ای احتمال داریم:

$$\begin{aligned} m : \mathcal{P}^2 &\rightarrow [0, 1] \\ \forall x \in \mathcal{P}^2 : 0 \leq m(x) &\leq 1 \\ m(\emptyset) &= 0 \\ \sum_{x \in \mathcal{P}^2} m(x) &= 1 \end{aligned} \quad (5)$$

اگنون دو تخصیص پایه ای احتمال بنامهای m_i, m_j با دو منع مستقل اطلاعات یا سنسور در نظر بگیرید. ترکیب این دو



شکل (۳): شمای کلی از روش فیلتر کالمن

$$x(t+1) = \phi(t)x(t) + B(t)u(t) + G(t)w(t)$$

$$z(t) = H(t)x(t) + v(t)$$

$$\hat{x}(t+1 | t) = \phi(t)\hat{x}(t | t) + B(t)u(t)$$

$$\Rightarrow \hat{X}(t | t) = \hat{x}(t | t-1) + K(t)[z(t) - H(t)\hat{x}(t | t-1)]$$

$$\forall K(t) = P(t | t-1) H^T(t) [H(t)P(t | t-1) H^T(t) + r(t)]^{-1}$$

$$P(t+1 | t) = \phi(t)P(t | t)\phi^T + G(t)Q(t)G^T(t)$$

$$, P(t | t) = P(t | t-1) - K(t)H(t)P(t | t-1)$$

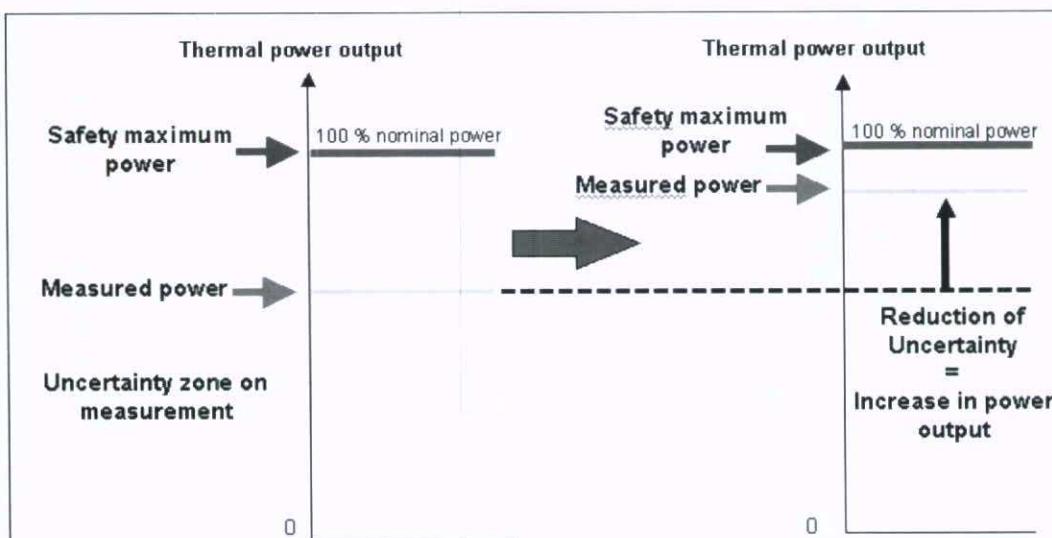
بهره بردار نیروگاه اجباراً به تخمین های ارائه شده از توان رآکتور یا توربین اعتماد می نماید. این تخمین ها از اندازه گیری های فلو، دما و فشار در ورودی و خروجی مولد بخار صورت می گیرد و لذا کاهش خطای اندازه گیری بسیار حائز اهمیت است (شکل ۴). از سویی خطای موجود در اندازه گیری صرفاً به نادقیقی سنسورها مربوط نیست و عوامل دیگری همچون شرایط نصب المان های نصب مانند فلومترهای مبتنی بر تفاضل فشار و ... بر آن تأثیر گذارند که در این میان تکنیک ترکیب اطلاعات سنسوری بدون نیاز به کالیبراسیون های مکرر با بکار گیری مؤثر تجهیزات ابزار دقیق نصب شده و تنها با بکار بستن افزونگی در اندازه گیری منجر به تصحیح اندازه گیری تا حد مورد نیاز فرایند می گردد.

در این رابطه دستورالعمل VDI روابط ریاضی مورد نیاز در این زمینه را در مرجع [۱۳] ارائه می دهد.

یکی دیگر از کاربردهایی که برای تکنیک ترکیب اطلاعات سنسوری مفروض است کمک به بهینه سازی در بهره برداری از نیروگاه های حرارتی (سوخت فسیلی و هسته ای) است که منجر به چهار نتیجه اصلی به شرح ذیل می گردد:

- ✓ کاهش هزینه های عملکرد بعنوان مثال بهینه سازی در نگهداری تجهیزات ابزار دقیق (کالیبراسیون کمتر)
- ✓ افزایش بازده حرارتی بوسیله تخمین مناسب تر از شاخص های کارایی
- ✓ افزایش توان خروجی بوسیله تخمین دقیق تر از نقاط تنظیم عملکرد (کاهش نامعینی ها با اندازه گیری دقیق تر منجر به افزایش حاشیه امنیت می گردد)
- ✓ افزایش اطمینان از عملکرد سیستم بوسیله تخمین بهتر پارامترهای مربوط به اطمینان عملکرد فرایند (دما و فشار)





شکل (۴): تأثیر اهمیت دقت اندازه گیری بر اطمینان و کارایی عملکرد نیروگاه

- 5- D.L. Hall, J.Linas,"A Challenge for Data Fusion Community I: Research Imperatives for Improved Processing, "Proceedings of seventh National Symposium of sensor fusion, Albuquerque, NM, March 1994.
- 6- J.Gelfaud,"Selective Guide to Literature on Artificial Intelligence and Expert Systems", American Society for Engineering Education 1992.
- 7- رضا حسین نژاد، «مسیر یابی هوشمند ربات متحرک با استفاده از ترکیب اطلاعات سنسوری»، رساله دکتری، استاد راهنمای: دکتر بهزاد مشیری، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۱.

- 8- B.Moshiri, A.Eydgahi, M.najafi and R.Hoseinnezhad, "Multi -Sensor Data Fusion Used in Intelligent Autonomous Navigation", Proc. of IASTED – CA '99 (Control Systems and Application), Banff, Canada, JULY 1999.
- 9- James L Crowley and Yves Demazeau, "Principles and Techniques for Sensor Data Fusion", LIFIA (IMAG) , 1995.
- 10- Pedro Pinheiro , Pedro Lima , " Bayesian Sensor Fusion for Cooperative Object Localization and Word Modeling" , Institute of Robotic Systems (Portugal) , 2003.
- 11- Behrooz Parhami," Multi-Sensor Data Fusion and Reliable Multi-Channel Computation: Unifying Concepts and Techniques", IEEE 1996.

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج مفید تکنیک ترکیب اطلاعات سنسوری و کاربردهای وسیع آن در صنعت، علوم نظامی، کشاورزی و ... به منظور معرفی این تکنیک سودمند، در این مقاله معرفی اجمالی از تکنیک ترکیب اطلاعات سنسوری ارائه گردید. برای این منظور ابتدا اهمیت آنرا از دیدگاه مهندسی با بیان کاربردهای آن و ارائه تاریخچه ای در مورد روش‌های این تکنیک و پیدایش آنها بیان نمودیم. سپس تعاریف لازم در این مقوله، با معرفی ساختار یک سیستم ترکیب اطلاعات سنسوری شرح داده شد و در انتها چند تکنیک کلاسیک ترکیب اطلاعات (ترکیب بیزین و دمپستر- شافر) به همراه چند مثال عددی و کاربردی در این زمینه معرفی گردید.

مراجع

- 1- L.A.Gee and M. A .Abidi," Multisensor Fusion for Decision-Based Control Cues", IEEE Transaction on systems, Man and Cybernetics, vol. 26, Number 1, January 1996.
- 2- James Limas , "An Introduction to Multi Sensor Fusion" ,Center for multi source Information Fusion (NEWYORK) ,IEEE 1998.
- 3- L.A.Klein,"Sensor and Data Fusion Concepts and Applications", SPIE Optical Engineering Press,Tutorial Texts,vol.14,1993.
- 4- E.Waltz," Data Fusion for C3I: A Tutorial "Command , Control, Communication (C3I) Handbook ,EW communication, Inc., Palo Alto Ca, pp.217-226, 1986.



12- Louis Drolet, Francois Michaud and Jean Cote," Adaptable Sensor Fusion Using Multiple Kalman Filters ", IREQ, Canada, 2000.

13- VDI 2048, "Uncertainties of measurement during acceptance tests on energy-conversion and power plants" October 2000 - German guideline.

آقای حمیدرضا کریمی فارغ التحصیل رشته مهندسی برق با گرایش کنترل از دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۲ و کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۸۲ به عنوان کارشناس سیستمهای کنترل و ابزار دقیق با شرکت مهندسی قدس نیرو همکاری نموده است. زمینه فعالیت آقای کریمی سیستمهای کنترل و ابزار دقیق نیروگاه می‌باشد.

Email:
hkarimi@ghods-niroo.com



بررسی سیستم فیوزگیت در مقایسه با سیستمهای موجود در طراحی و اجرای سرریز سدها

جعفر عسکری

مدیر گروه سد و نیروگاه - مدیریت ارشد مهندسی سازه های آبی

محسن معجزی

کارشناس ارشد عمران - مدیریت ارشد مهندسی سازه های آبی

چکیده

سرریز یک سد عمده‌ای به منظور تخلیه آبهای اضافی مخزن در حالت عملکرد عادی و سیلابهای بزرگ برای یک دوره بازگشت معین، بدون وارد شدن آسیب جدی به سد، طراحی می‌شود. در طراحی سرریز عوامل مختلفی دخیل بوده و خود سرریزها نیز به انواع گوناگونی تقسیم می‌شوند. در یک تقسیم بندي کلی طراح معمولاً با دو گزینه سرریز دریچه‌دار و سرریز بدون دریچه روبرو خواهد بود. هر کدام از این دو گزینه دارای مزايا و معایب خاص خود بوده که با توجه به شرایط موجود، جنس بدنه سد، نوع کاربری سد، عوامل فني، اجرائي و اقتصادي يكى از اين دو گزينه انتخاب مي گردد.

اما مشکلاتي که در اجرا، بهره برداری و نگهداري هر کدام از اين گزينهها وجود دارد سبب شده که طراحان به دنبال گزينه‌هایي باشند که علاوه بر داشتن مزاياي هر دو گزينه، در عين حال از معایب و مشکلات آنها به دور بوده و موجب افزایش ايماني عملکرد، کاهش هزینه‌ها و بهينه شدن کلي طرح نيز گردد.

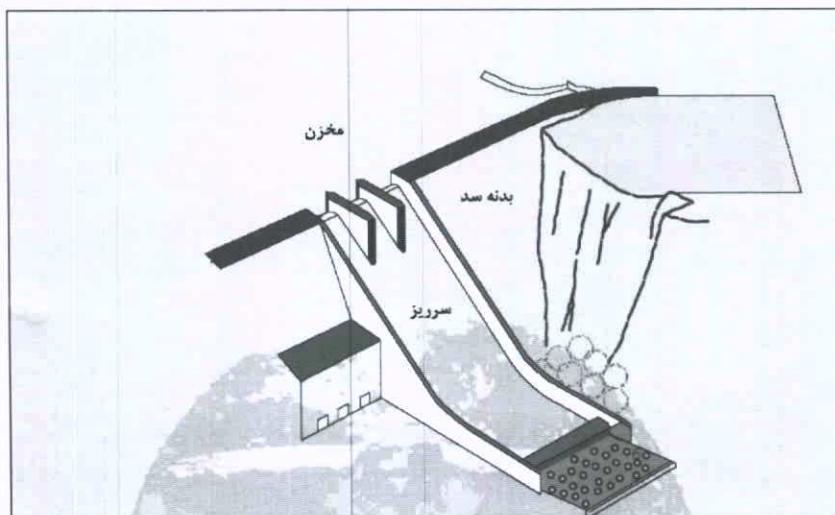
در اين مقاله با توجه به عوامل مختلف مذكور که در انتخاب نوع سرریزها و اجراء آنها وجود دارد، سیستم جدید فیوزگیت معرفی و مراحل اجرا و همچنین عملکرد آن حین بهره برداری تشریح و با دیگر گزینه‌های موجود از جهات مختلف مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: سد، سرریز، دریچه، فیوزگیت

۱- مقدمه

آب دریچه پشت سد است که در این حالت شکل و ابعاد سرریز تابعی از موقعیت جغرافیایی و هیدرولوژیکی منطقه خواهد بود (شکل ۱).

برای عبور آبهای اضافی و سیلاب‌ها از بالادست سد به پایین دست، از سازه‌ای به نام سرریز استفاده می‌شود. به عبارت دیگر يكى از کاربردهای مهم سرریزها، کنترل ارتفاع و حجم



شکل (۱): نمایی از یک سرریز و موقعیت آن روی بدنه سد



۲- تقسیم بندی سرریزها

تقسیم بندیهای مختلفی برای انواع سرریزها درنظر گرفته می‌شود که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۲-۱- تقسیم بندی سرریزها بر اساس وجود یا عدم وجود دریچه

۲-۲- سرریز بدون دریچه^۹

در سدهای با سرریز بدون دریچه، با افزایش تراز آب نسبت به تراز کف سرریز، آبهای اضافی از طریق سرریز به سمت پایین دست هدایت می‌شود. سرریز بدون دریچه دارای مزیت اعتماد کامل در عملکرد می‌باشد ولی از طرف دیگر موجب از دستدادن ظرفیت فعال مخزن با توجه به ارتفاع سد خواهد شد که می‌تواند تا حدود یک سوم ظرفیت پتانسیل کل نیز باشد (شکل ۳).

۲-۱- تقسیم بندی سرریزها بر اساس محل قرارگیری نسبت به بدن سد

۱- سرریزهایی که در بدن سد قرار می‌گیرند:

۱- سرریزهای اوجی^۱

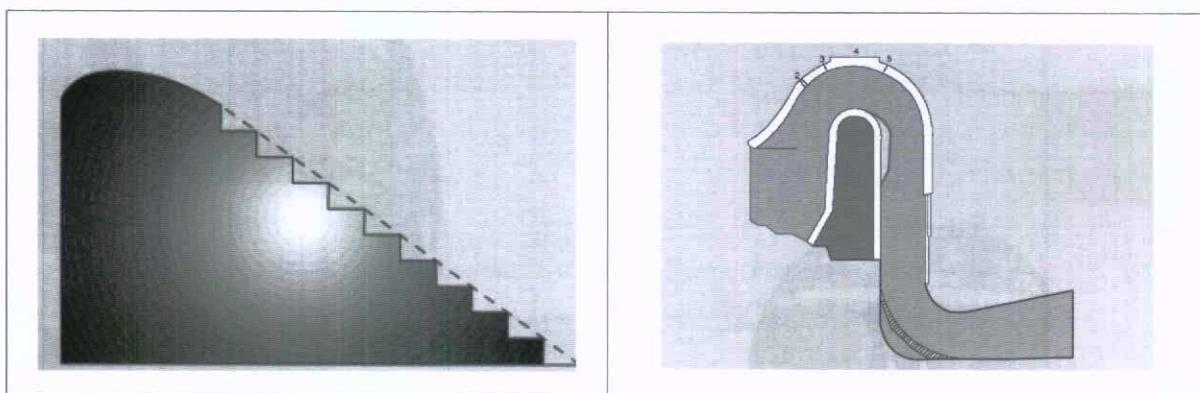
۲- سرریزهای لبه پهن^۲

۳- سرریزهای روزنه‌ای^۳

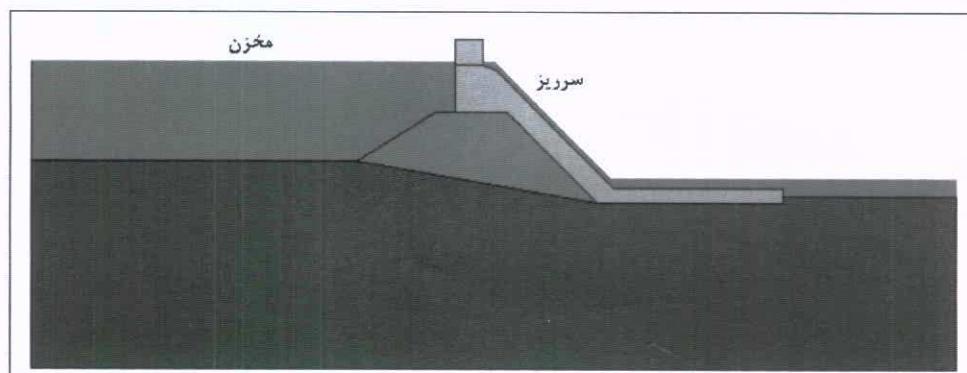
۲- سرریزهایی که در خارج از بدن سد قرار می‌گیرند:

۴- سرریزهای جانبی^۴

۵- سرریز شوت^۵

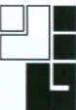


شکل (۲): مقاطعی از سرریزهای سیفونی و پلکانی



شکل (۳): مقاطعی از یک سرریز بدون دریچه

- 1- Ogee Spillways
- 2- Broad-Crested Spillways
- 3- Orifice Spillways
- 4- Side Channel Spillways
- 5- Chute Spillway
- 6- Morning Glory Spillway
- 7- Siphon Spillway
- 8- Stepped Spillway
- 9- Ungated Spillway



دربیچه‌ها و همچنین ابتکار سازندگان دربیچه، خطر خراب شدن دربیچه‌ها به طور کامل برطرف نشده است. نزدیکترین راه حلی که برای رفع این مشکل به ذهن می‌رسد، ساخت یک سیستم Fuse Plug Flash Board. دایکه‌های Flash Board و Inflatable weir است، اما با وجود تجربه چند دهه‌ای، هیچ‌کدام از این سیستم‌ها راه حل کاملی نبوده‌اند.

۳- معرفی سیستم فیوز گیت^۶

سیستمهای فیوز گیت از یک سری اجزای مستقل در کنار هم تشکیل شده اند که بر روی کف تاج سرریز چیده می‌شوند. در هنگام وقوع سیلاپ با یک دوره بازگشت معین، سیستم با یک روند مشخص و از پیش طراحی شده شروع به واژگون شدن نموده، به طوری که با اضافه شده بدبی سیلاپ سرانجام تمام سطح سرریز برای تخلیه سیلاپ طراحی شده باز خواهد شد. این سیستم برای سدهای جدید و حتی اجرا شده با سرریز کوچک یا بزرگ نیز مناسب می‌باشد.

به طور کلی یک فیوز گیت از سه قسمت عمدۀ تشکیل می‌شود:

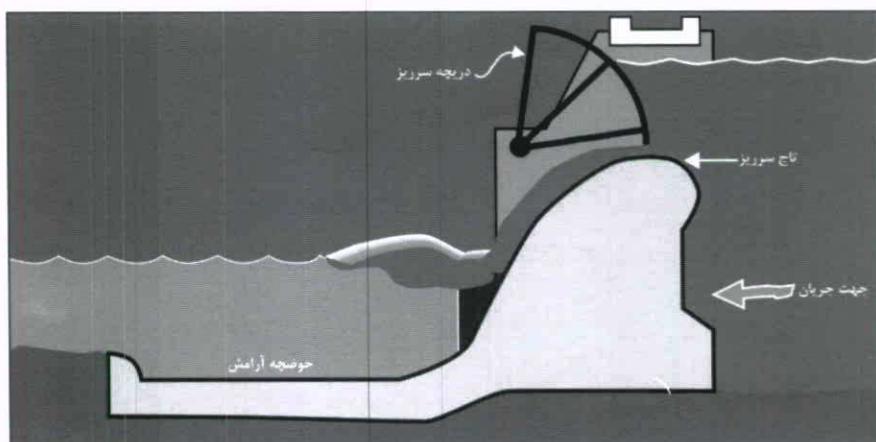
- ۱- سازه نگهدارنده آب (که می‌تواند به اشکال مختلف باشد)
- ۲- محفظه فشار تحتانی و بلوك نگهدارنده واقع در کف (که می‌تواند از جنس مصالح بتنی یا فولادی باشد)
- ۳- مجرای ورود آب سیلانی به محفظه فشار

در شکل (۵) یک واحد فیوز گیت و جزئیات قسمتهای تشکیل دهنده آن نشان داده شده است. با توجه به شرایط اجرایی و موارد فنی پیروزه، فیوز گیتها می‌توانند از جنس فولادی یا بتنی ساخته شوند. در شکل (۶) یک فیوز گیت فولادی نشان داده شده است. در شکل (۷) نیز مراحل اجرای یک سری فیوز گیت بتنی روی سرریز یک سد نشان داده شده است.

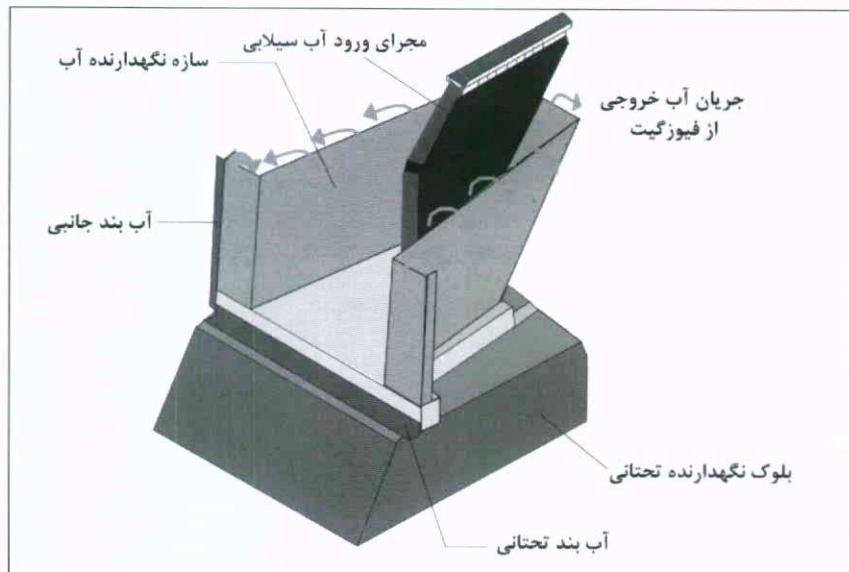
۲-۲- سرریز دربیچه دار^۱

در سدهای با سرریز دربیچه دار تراز آب مخزن می‌تواند تا تراز بالاتر از کف مخزن نیز بالا رود و تخلیه آب اضافی با باز شدن دربیچه‌ها انجام می‌گیرد (شکل ۴). از آنجاییکه سرریزها معمولاً برای سیلاپهای بالای هزار سال طراحی می‌شوند، در مورد سرریزهای دربیچه‌دار، دربیچه‌ها برای مدت طولانی بسته خواهند بود و تنها در زمان سیلاپهای سنگین نیاز به باز شدن آنها می‌باشد. از طرفی خراب شدن دربیچه‌ها مشکلی است که اغلب اتفاق می‌افتد. این مشکل می‌تواند به علت نقص‌های مکانیکی، فقدان انرژی یا نقص عملکرد باشد. درصورتیکه در زمان لازم دربیچه به خوبی عمل نکند و باز نشود، می‌تواند اینمی کل سد را به خطر بیندازد (۳۰ درصد خرابی‌های سدهای دربیچه‌دار به علت بازنشدن دربیچه‌ها اتفاق افتاده است). به علاوه هرگاه یکی از دربیچه‌ها حین عملکرد معمول به اشتباه باز شود، سیلاپ مصنوعی آزاد شده می‌تواند موجب بروز خطر در پایین دست گردد. بنابراین سرریزهای دربیچه دار از ریسک بالایی برخوردار هستند. هزینه‌های بالای نگهداری و تعمیر دربیچه‌ها نیز از جمله مواردی است که باید در طراحی مدنظر قرار گیرد. اما از سوی دیگر در سرریزهای دربیچه دار می‌توان تراز آب مخزن را بیشتر درنظر گرفت که با توجه به نوع عملکرد مورد انتظار سد می‌تواند از محاسن این نوع سرریزها باشد، ولی در همین مورد نیز باید به مسئله تملک اراضی که در محدوده مخزن به زیر آب می‌روند و هزینه‌های آن توجه گردد.

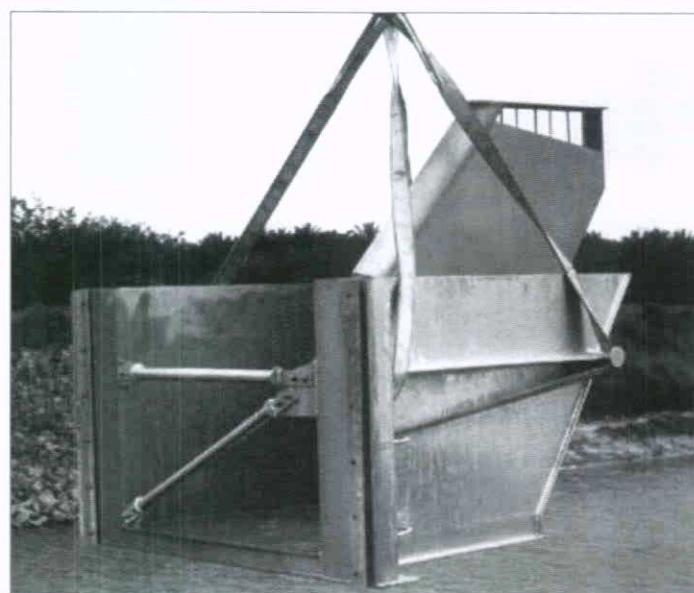
باتوجه به مطالب ذکر شده، مشاهده می‌گردد که طراح با انتخاب دشواری در میان محدودیت‌های اقتصادی، جنبه‌های اینمی و مسائل فنی و اجرایی طرح روبرو خواهد بود. در زمینه رفع عیوب سرریزهای دربیچه دار تحقیقات زیادی صورت گرفته است، ولی باوجود سعی در ایجاد اطمینان بیشتر در عملکرد



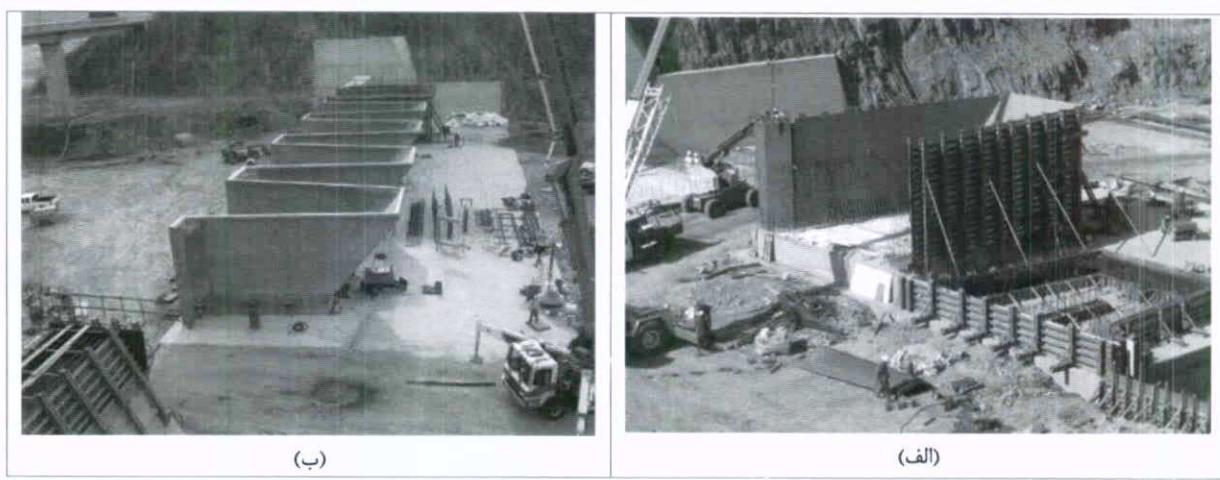
شکل (۴): مقطعی از یک سرریز دربیچه دار



شکل (۵): نمایی از یک واحد فیوزگیت و قسمتهای تشکیل دهنده آن



شکل (۶): نمایی از یک فیوزگیت فولادی

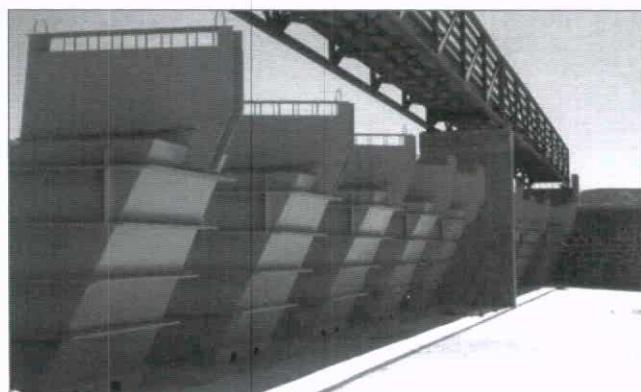


شکل (۷): مراحل اجرای فیوزگیتها بتنی

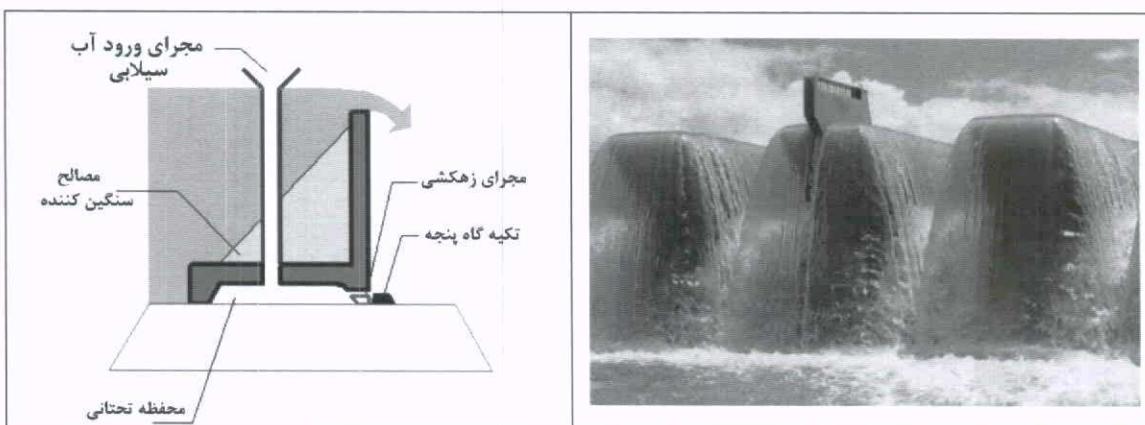
۴- طرز کار سیستم فیوزگیت

تراز مشخص بالای فیوزگیت فراتر می‌رود (زمان وقوع سیلاب)، از طریق مجرای ورود آبی که بصورت قائم تعییه شده، آب سیلابی اضافی به محفظه تحتانی فیوزگیت راه می‌یابد. در زمان سیلاب این سیستم بصورت یک سوپاپ اطمینان عمل می‌کند. یعنی هنگامی که زهکش تحتانی قادر به تخلیه آب وارد شده از طریق ورودی قائم به فضای تحتانی نباشد، فشار آب در این فضای افزایش یافته و سرانجام منجر به واژگون شدن فیوزگیت می‌شود. شکل (۱۰) نمایی از مرحله واژگون شدن یک فیوزگیت در زمان سیلاب را نشان می‌دهد.

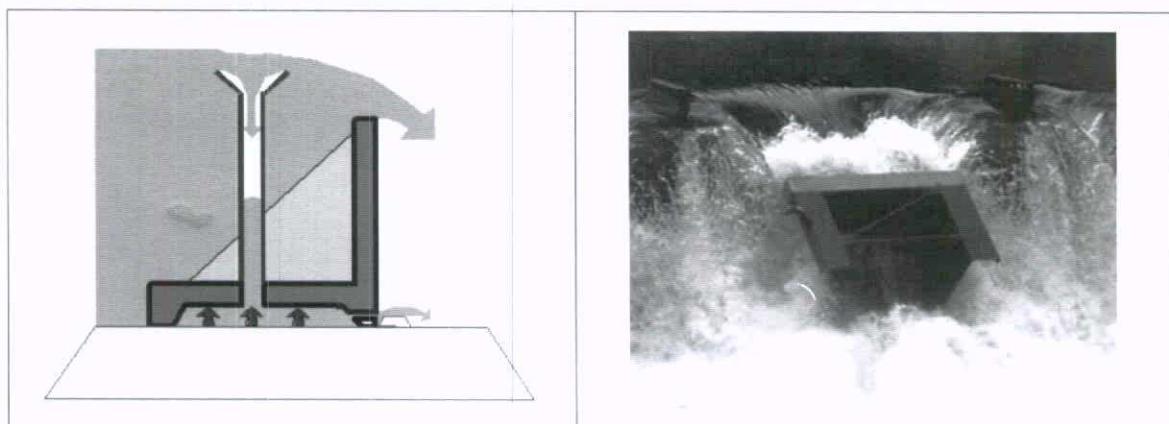
پس از تکمیل شدن عملیات اجرای سرریز، فیوزگیتها در سر تا سر کف سرریز بصورت یک حصار قرار گرفته یا ساخته می‌شوند (شکل ۸). هر فیوزگیت برروی بلوك تکیه‌گاهی کوچکی که در پنجه پایین دست آن قرار می‌گیرد تکیه می‌کند. جهت غلبه بر فشار هیدرولاستاتیک فیوزگیتها توسط مصالح سنگی، بلوكهای بتُنی و یا روشهای مشابه سنگین می‌شوند (شکل ۹). به منظور تخلیه آب از سطح تحتانی، زهکش‌هایی نیز در کف فیوزگیتها تعییه می‌شوند. هنگامی که آب از یک



شکل (۸): قرارگیری فیوزگیتها در کنار هم روی تاج سرریز



شکل (۹): عملکرد سیستم فیوزگیت در حالت عادی



شکل (۱۰): عملکرد سیستم فیوزگیت در زمان وقوع سیلاب

- افزایش ایمنی طرح

در نتیجه با استفاده از این سیستم در سدهای در حال اجرا و حتی سدهای ساخته شده، می‌توان به مزیت‌های ذکر شده دست یافت.

مراجع

- 1- United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (1987), "Design of Small Dams", Third Edition, USA.
- 2- Website of Hydro plus Co. (2008), "www.Hydroplus.com", France.
- 3- بیرامی، م. ک.(۱۳۷۸)، "سازه‌های انتقال آب"، چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- 4- حسینی، م.ح، ابریشمی‌ج. (۱۳۸۲)، "هیدرولیک کانالهای باز"، چاپ یازدهم، انتشارات آستان قدس رضوی.

آقای جعفر عسگری مارنانی فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی در رشته عمران- مهندسی سازه از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۶۷، فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد در رشته عمران- سازه‌های آبی از دانشگاه تهران در سال ۱۳۶۹ و فارغ‌التحصیل در مقطع دکترای تخصصی در رشته مهندسی عمران- سازه مشترکاً از دانشگاه تربیت مدرس ایران و TW-WIEN کشور اتریش می‌باشد. ایشان جمعاً ۲۰ سال سابقه کار دارند که ۱۰ سال آن در قدس نیرو است. علاقمندی آقای عسگری کار روی طراحی سازه‌های فولادی و تهیه مدل‌های عددی در تحلیل سیستم‌های سازه‌ای است.

Email:
jasgari@ghods-niroo.com

آقای محسن معجزی دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مکانیک خاک و مهندسی بی می‌باشد. ایشان جمعاً ۵ سال سابقه کار دارند که ۲ سال آن در قدس نیرو است. زمینه فعالیت و علاقمندی آقای معجزی موارد مرتبط با طراحی و آنالیز سدهای خاکی و سنگریزهای، طراحی و آنالیز شیروانی‌ها و دیوارهای مسلح (سیستم‌های MSE)، کاربردهای تسليح خاک در مهندسی عمران و مطالعات زئوتکنیک سازه‌های مختلف می‌باشد.

Email:
mmojezi@ghods-niroo.com

با استفاده از سیستم فیوزگیت، سیلابهای کوچک و ملایم از روی آنها عبور کرده و در سیلابهای بزرگ نیز فیوزگیت‌ها بصورت یکی پس از دیگری تا رسیدن به شرایط پایدار واژگون می‌شوند. در طراحی این سیستم‌ها دوره بازگشت سیل برای واژگون شدن اولین فیوزگیت را به اندازه کافی طولانی درنظر می‌گیرند (۲۰ الی ۲۰۰ سال و یا بیشتر) به طوری که مزایای این سیستم در عملکرد عادی، در مقابل مشکل تخریب این سیستم در زمان وقوع سیلاب بسیار بیشتر خواهد بود. به علت قابلیت‌های ذاتی این سیستم‌ها و دلایل ذیل، در بسیاری از سدهای ساخته شده نیز می‌توان از سیستم فیوزگیت استفاده نمود:

- ۱- افزایش ظرفیت ذخیره فعال در سدهای با سرریز بدون دریچه، بوسیله بازیافت تا ۸۰ درصد آب خروجی سالیانه، بدون بالابردن تراز ماقزیمم آب (MWL).
- ۲- بهبود ایمنی سرریز بدون ازدست دادن ظرفیت ذخیره شده، از طریق کاهش تاج سرریز قبل از نصب فیوزگیت.

با ترکیب این دو مزیت همچنین امکان بهبود عملکرد کنترل سیلاب از طریق کاهش خروجی در حین سیلابهای فصلی وجود دارد، ضمن اینکه ظرفیت سرریز (بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد) و در برخی موارد ظرفیت ذخیره مخزن نیز افزایش می‌یابد. این سیستم در تمام سدهای جدید اعم از کوچک و بزرگ قابل استفاده خواهد بود و همچنین با کاهش هزینه‌های ساخت و افزایش ایمنی عملکرد موجب بهینه‌شدن طرح خواهد شد.

۵- نتیجه گیری

از آنجایی که در اجرای انواع مختلف سدها دو گزینه کلی سرریز بدون دریچه و سرریز دریچه دار وجود داشته و هر کدام از این دو نوع نیز مزایا و معایب خاص خود را دارد هستند، لذا با کاربرد سیستمی که شرایط مطلوب هر دو گزینه را داشته و در عین حال از معایب آنها به دور باشد می‌توان تا حد بسیار زیادی راندمان کلی سد را افزایش و در عین حال هزینه‌های اجرایی و نگهداری را کاهش داد. سیستم فیوزگیت به شرحی که توصیف شد تا حدود زیادی شرایط ذکر شده را در بر دارد. مهمترین مزایای استفاده از سیستم فیوزگیت عبارتند از:

- قابلیت تطابق با شرایط کاهش هزینه‌ها و سرعت نصب و اجرا
- امکان کاهش طول کف سرریز و ارتفاع سد
- نیاز به بازرسی و نگهداری کمتر



انتخاب سطوح حفاظتی بر قگیر و محاسبه استقامت عایقی مقره آن

آزاده نیکخواه

کارشناس برق- مدیریت ارشد پستهای انتقال

چکیده

تجهیزات پستهای فشار قوی بنا به دلایلی ناشی از برخورد موج صاعقه و یا کلیدزنی و یا وقوع خطاهای سیستم دچار اضافه ولتاژهای گذرا می‌شوند. جهت حفاظت تجهیزات در برابر این اضافه ولتاژها از بر قگیر استفاده می‌شود. بنابراین ترمینالهای بر قگیر و محفظه آن نیز بایستی بتوانند ولتاژی که بنا به دلایل مذکور بر آنها اعمال می‌شود را تحمل نمایند. در این مقاله نحوه محاسبه سطوح حفاظتی بر قگیر و استقامت عایقی مقره آن ارائه شده است.

۱- مقدمه باقیمانده بر قگیر^۱ تعریف می‌شود. حداکثر ولتاژ باقیماندهای که ترمینالهای یک بر قگیر می‌تواند هنگام عبور موج تخلیه تحمل نماید، سطح حفاظتی بر قگیر تعریف می‌شود.

۲- موج ضربه جریان با شیب تند^۲

یک موج جریان با زمان مجاز پیشانی برابر با یک میکروثانیه و حداکثر زمان مجازی رسیدن به نصف دامنه دنباله موج ۲۰ میکروثانیه، موج ضربه جریان با شیب تند تعریف می‌شود. طبق استاندارد زمان مجازی پیشانی T_1 می‌تواند دارای $10 \pm$ درصد تلوانس باشد.

۳- موج ضربه جریان صاعقه^۳

یک موج ضربه جریان با زمان مجازی پیشانی ۸ میکروثانیه و زمان مجازی دنباله موج ۲۰ میکروثانیه را موج ضربه جریان صاعقه می‌نامند. مقدار تلوانس در زمان مجازی پیشانی (T_1) و مدت زمان تأثیم مقدار دم موج (T_2) برابر ۱۰ درصد است.

۴- موج ضربه جریان کلیدزنی^۴

مقدار پیک جریان تخلیه‌ای است که دارای زمان مجازی تا قله بزرگتر از ۳۰ میکروثانیه اما کمتر از ۱۰۰ میکرو ثانیه و زمان تأثیم نصف دامنه دنباله موج حدوداً دو برابر زمان مجازی پیشانی است.

1- Rated Voltage

2- Maximum System Voltage

3- Earth Factor

4- Min. TOV Withstand Strength Factor

5- Residual Voltage

6- Steep Current Impulse

7- Lightning Current Impulse

8- Switching Current Impulse

از آنجا که حفاظت تجهیزات در برابر اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه و یا کلیدزنی تنها با افزایش استقامت عایقی آنها بسیار پرهزینه و غیرعملی خواهد بود، برای کاهش این اضافه ولتاژها از بر قگیر استفاده می‌شود. در واقع بر قگیر بایستی این اضافه ولتاژها را به زمین منتقل نماید. افت ولتاژ ناشی از عبور جریان تخلیه در طول بر قگیر بایستی به یک مقدار مشخص که همان سطح حفاظتی بر قگیر می‌باشد محدود گردد. سطح حفاظتی بر قگیر در برابر این اضافه ولتاژها از پارامترهای مهم در انتخاب بر قگیر می‌باشد و به تبع آن برای انتخاب مقره بر قگیر نیز بایستی مدنظر قرار گیرد.

۲- تعاریف

۱- ولتاژ نامی بر قگیر^۵ (U_R)

مطابق استاندارد IEC، یک بر قگیر باید ولتاژ نامی U_R را حداقل به مدت ۱۰ ثانیه بدون آنکه پایداری حرارتی خود را از دست بدهد تحمل نماید، که از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$(1) U_R > \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_E}{T_R}$$

U_m : حداکثر ولتاژ سیستم
 C_E : ضریب اتصال زمین که برای شبکه‌های مؤثر زمین شده برابر $1/4$ و برای سایر شبکه‌ها $\sqrt{3}$ فرض می‌شود.

T_R : ضریب تحمل بر قگیر در برابر اضافه ولتاژهای موقت. طبق استاندارد IEC برای اضافه ولتاژهای موقتی که حداکثر ۱۰ ثانیه استمرار می‌یابند، $T_R \geq 1$ انتخاب می‌شود.

۲- سطوح حفاظتی بر قگیر

مقدار پیک ولتاژ ظاهر شده در ترمینالهای بر قگیر هنگامی که یک موج جریان تخلیه استاندارد از آن عبور می‌کند، ولتاژ



مطابق استاندارد پنج کلاس تخلیه برای برقگیرها تعیین می‌شود.

۳- مقادیر استاندارد سطوح حفاظتی برقگیر
حداکثر مقادیر سطوح حفاظتی برقگیر با توجه به مشخصات سازنده و بر اساس نتایج آزمایشات نوعی انجام شده بر روی برقگیر بدست می‌آید. استاندارد IEC حداکثر مقادیر نامی سطوح عایقی را مطابق جداول (۲) و (۳) بر اساس جریان تخلیه نامی و ولتاژ نامی برقگیر ارائه نموده است. حد پایین مقادیر مندرج در جداول مربوط به برقگیرها با کلاس تخلیه بالا و بر عکس حد بالای مقادیر برای برقگیرهای باکلاس تخلیه پایین می‌باشد.

لازم به توضیح است که اختلاف اصلی بین جریانهای تخلیه نامی در کلاس تخلیه انرژی برقگیر می‌باشد. بطور مثال برای برقگیرهای با جریان تخلیه نامی ۱۰ KA، کلاسهای تخلیه ۱۰ و ۲۰ KA برای برقگیرهای با جریان تخلیه کلاسهای تخلیه ۴ و ۵ تعریف می‌شود.

۴- استقامت الکتریکی مقره برقگیر
با توجه به اینکه وظیفه اصلی برقگیر محافظت تجهیزات در برابر اضافه ولتاژها می‌باشد، بدینهی است محفظه خارجی برقگیر نیز بایستی از استقامت الکتریکی کافی برخوردار باشد. مطابق استاندارد IEC محفظه برقگیر بایستی بتواند تنش‌های ولتاژی ذیل را تحمل نماید:

۴- ولتاژی معادل $1/3$ برابر سطح حفاظتی تعریف شده برای برقگیر در برابر موج صاعقه.

۶- سطح حفاظتی برقگیر در برابر موج صاعقه (LIPL)
سطح حفاظتی برقگیر در برابر موج صاعقه یا به عبارتی ولتاژ باقیمانده در ترمینالهای برقگیر در اثر عبور موج صاعقه با حداقل مقدار دو رابطه زیر مشخص می‌شود:
الف) ولتاژ تخلیه برقگیر به ازای موج با شیب تند تقسیم بر $1/15 \mu\text{s}$ با دامنه‌ای برابر با جریان نامی برقگیر، In.

ب) ولتاژ تخلیه برقگیر به ازای موج جریان صاعقه (موج $\frac{8}{20} \mu\text{s}$) با دامنه‌ای برابر با جریان نامی برقگیر، In.

۷- سطح حفاظتی برقگیر در برابر موج کلیدزنی (SIPL)

سطح حفاظتی برقگیر در برابر موج کلیدزنی عبارت است از ولتاژ تخلیه برقگیر به ازای یک موج جریان کلیدزنی استاندارد (موج $\frac{30}{80} \mu\text{s}$).

۸- جریان تخلیه برقگیر
جریان تخلیه برقگیر، مقدار پیک جریان با شکل موج $\frac{8}{20} \mu\text{s}$ است که به منظور طبقه‌بندی برقگیرها به کار می‌رود. مقادیر استاندارد شده جریان نامی طبق استاندارد IEC برای رنج‌های متفاوت ولتاژ نامی برقگیر به شرح جدول (۱) می‌باشد.

۹- کلاس تخلیه خط

کلاس تخلیه خط در برقگیر نشانده‌نده قابلیت جذب انرژی تولید شده در برقگیر در اثر وقوع اضافه ولتاژها می‌باشد.

جدول (۱): جریان تخلیه برقگیر

20KA	10KA	5KA	2.5KA	1.5KA	جریان تخلیه برقگیر
360KV < Ur ≤ 756KV	3KV ≤ Ur ≤ 360KV	Ur ≤ 132KV	Ur ≤ 36KV	تحت مطالعه	ولتاژ نامی برقگیر

جدول (۲): سطوح حفاظتی برای برقگیرهای با جریان تخلیه KA ۱۰ و KA ۲۰ بر حسب ولتاژ نامی برقگیر

20KA KV(Peak)/UR			10KA KV(Peak)/UR			ولتاژ نامی (UR) KV r.m.s.
Switching	Lightning	Steep	Switching	Lightning	Steep	
-	-	-	2-2.9	2.3-3.6	2.6-4	3-29
2-2.3	2.3-2.8	2.6-3.1	2-2.6	2.3-3.3	2.6-3.7	30-132
2-2.3	2.3-2.8	2.6-3.1	2-2.6	2.3-3.3	2.6-3.7	144-342
2-2.3	2.3-2.8	2.6-3.1	2-2.3	2.3-2.8	2.6-3.1	360-756

1- Lightning Impulse Protection Level

2- Switching Impulse Protection Level

3- Discharge Current



جدول (۳): سطوح حفاظتی برای برقگیرهای با جریان تخلیه KA ، $1/5 KA$ و $2/5 KA$ بر حسب ولتاژ نامی برقگیر

5KA KV(Peak)/UR		2.5KA KV(Peak)/UR		1.5KA KV(Peak)/UR		ولتاژ نامی KV r.m.s.
Lightning	Steep	Lightning	Steep	Lightning	Steep	
2.4-3.6	2.7-4	3.3-4.5	3.7-5	4-6	4.5-6.7	0.175-2.9
2.4-3.6	2.7-4	3.6	4	-	-	3-29
2.4-3.6	2.7-3.7	3.6	4	-	-	30-132

استقامت الکتریکی عایق با افزایش رطوبت هوا، به دلیل جذب بارهای حامل توسط ذرات آب افزایش می‌یابد. میزان بارندگی اثر قابل توجهی در تقلیل ولتاژ شکست عایق در ولتاژهای فرکانس قدرت و اضافه ولتاژهای کلیدزنی دارد اما اثر آن در ولتاژهای شکست صاعقه نامحسوس است.

آلودگیها اعم از آلودگیهای نمکی و یا دوده‌های صنعتی باعث کاهش استقامت عایقی سطح خارجی در ولتاژهای با فرکانس قدرت می‌شوند.

لذا باایستی اثر این شرایط را در صورت تغییر نسبت به شرایط استاندارد آب و هوایی یعنی درجه حرارت $20^{\circ}C$ ، فشار هوایی 160 میلیمتر جیوه و رطوبت مطلق 11 گرم بر متر مکعب درنظر گرفت. مطابق استاندارد IEC60060-1 چنانچه U_0 ولتاژ تست در شرایط استاندارد و U ولتاژ تحت شرایط محیطی مورد نظر باشد، خواهیم داشت:

$$U_0 = \frac{U}{K_t} \quad (2)$$

$$K_t = K_1 \cdot K_2 \quad (3)$$

$$K_1 = \left(\frac{b}{b_0} \times \frac{273 + t_0}{273 + t} \right)^m \quad (4)$$

$$K_2 = K^w \quad (5)$$

K_1 : ضریب تصحیح چگالی هوا

K_2 : ضریب تصحیح رطوبت هوا

b = فشار هوا در محل نصب برقگیر

t = درجه حرارت هوا در محل نصب برقگیر

m , w = تابعهایی هستند که مقادیر آنها از صفر تا یک تغییر کرده و تابع شکل موج ولتاژ، الکترودها، پلاریته و طول فاصله هوایی می‌باشد.

K = ضریبی که تابع شکل موج ولتاژ و رطوبت مطلق هواست.

ضریب $1/3$ جهت پوشش دادن خطاهای ناشی از شرایط محیطی و جریانهای تخلیه بیشتر از مقادیر نامی تعریف شده به ازای کلاسهای مختلف برقگیر می‌باشد.

۴-۲- برای برقگیرهای $10 KA$ و $20 KA$ با ولتاژ نامی $200 KV$ به بالا، ولتاژی برابر $1/25$ برابر ولتاژ تعریف شده برای سطح حفاظتی برقگیر در برابر موج کلیدزنی. ضریب $1/25$ نیز مشابه تعریف فوق جهت پوشش دادن خطاهای ناشی از تغییر شرایط محیطی و جریان تخلیه، بیشتر از مقادیر نامی برای جریانهای تخلیه تعریف شده می‌باشد.

۴-۳- ولتاژ با فرکانس قدرت در شرایط مرطوب برای برقگیرهای بیرونی و در شرایط خشک برای برقگیرهای داخلی، با این توضیح که محفظه برقگیرهای $1/5 KA$ ، $1/5 KA$ و $2/5 KA$ باید بتواند ولتاژ فرکانس قدرت با مقدار پیک سطح حفاظتی تعریف شده در برابر موج صاعقه با احتساب ضریب $0/88$ را به مدت یک دقیقه تحمل کند. این مقدار برای برقگیرهای $10 KA$ و $20 KA$ با ولتاژ نامی KV برابر مقدار پیک سطح ولتاژ تعریف شده برای موج کلیدزنی با ضریب $1/06$ به مدت یک دقیقه خواهد بود. جمع‌بندی موارد فوق در جدول (۴) ارائه شده‌اند.

۵- اثر شرایط محیطی بر استقامت الکتریکی عایقها برخلاف عایقهای داخلی، استقامت الکتریکی عایقهای خارجی از شرایط محیطی نظیر رطوبت، فشار، آلودگی و درجه حرارت تأثیر پذیر می‌باشد. بطوری که:

- استقامت الکتریکی عایق با افزایش چگالی هوا (کاهش دما، کاهش ارتفاع از سطح دریا یا افزایش فشار هوا) به علت کاهش فاصله مولکولهای هوا و در نتیجه کاهش فاصله لازم برای شتاب گرفتن الکترونها و برخورد مؤثر آنها با انمهای هم‌جوارشان، افزایش می‌یابد.



جدول (۴): استقامت الکتریکی مقره بر قرگیر

$Ur \geq 200KV$	$Ur < 200KV$	استقامت الکتریکی
PFWL ^r	$\frac{1.06}{\sqrt{2}} \times SIPL : In = 10, 20KA$ $\frac{0.88}{\sqrt{2}} \times LIPL : In = 1.5, 2.5, 5KA$	—
SIWL ^r	—	$1.25 \times SIPL$
LIWL ^r	$1.3 \times LIPL$	$1.3 \times LIPL$

مراجع

- 1- IEC60099-4-Surge Arresters
- 2- IEC60060-1- High Voltage Test Techniques
- 3- IEC60694-Common Specification for High voltage Switchgear and Control gear Standards
- 4- Siemens Handbook-Metal Oxide Surge Arresters – Part 1; 2001

- ۵- استاندارد پستهای ۱۳۲/۲۰ کیلوولت وزارت نیرو -
جلد ۱۲۰۱ - هماهنگی عایقی و بر قرگیرها

خانم آزاده نیکخواه دارای مدرک لیسانس مهندسی برق (گرایش قدرت) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) می باشد. ایشان جمیعاً ۷ سال سابقه کار دارد که ۶ سال آن در قدس نیرو بوده است. زمینه علاقمندی و فعالیت خانم نیکخواه طراحی پستهای انتقال می باشد.

Email:

Anikkhah@ghods-niroo.com

-
- 1- Power Frequency Withstand Level
 - 2- Switching Impulse Withstand Level
 - 3- Lightning Impulse Withstand Level

با مقایسه نسبی میان ضرایب درجه حرارت، فشار هوا و رطوبت می توان گفت که ضریب تصحیح فشار هوا یا در واقع ارتفاع محل از سطح دریا از اهمیت بینشی برخوردار است. از طرفی به دلیل عدم سهولت جمع آوری اطلاعات هواشناسی، در عمل می توان از سایر ضرایب تصحیح صرف نظر و از ضریب تصحیح ارتفاع K_a استفاده نمود رابطه (۶).

$$K_a = e^{m(H-1000)/8150} \quad (6)$$

$m = 1$, برای ولتاژ ضربه موج صاعقه، ولتاژ فرکانس قدرت و

ولتاژ ضربه کلیدزنی فاز به فاز

$m = 0.9$, برای ولتاژ ضربه کلیدزنی طولی

$m = 0.75$, برای ولتاژ ضربه کلیدزنی فاز به زمین

۶- مثال

در پایان بر اساس آنچه که گفته شد مقادیر سطوح حفاظتی و استقامت عایقی مقره به عنوان نمونه برای بر قرگیر با ولتاژ نامی KV ۱۹۸ و جریان تخلیه نامی KA ۱۰ با کلاس تخلیه ۳ که به طور معمول برای پستهای فشار قوی با سطح ولتاژ KV ۲۳۰ استفاده می شوند و با احتساب شرایط محیطی استاندارد، ارائه می گردد:

با توجه به کلاس تخلیه بر قرگیر رنج پایین مقادیر سطوح

حفاظتی را از جدول ۲ انتخاب می کنیم:

الف) حداقل سطوح حفاظتی بر قرگیر:

- LIPL:
- Steep Current = $2.6 \times Ur = 514.8KV$
- Lightning = $2.3 \times Ur = 455.4KV$
- SIPL = $2Ur = 396KV$

ب) حداقل استقامت الکتریکی مقره بر قرگیر

- LIWL = $1.3 \times 455.4 = 592.02KV$
- SIWL = $1.25 \times 396 = 495KV$
- PFWL = $\frac{1.06}{\sqrt{2}} \times 396 = 297KV$



تحلیل لرزه‌ای تونل‌های زیرزمینی با مقطع دایره

(مطالعه موردی: تونل انحراف و تخلیه کننده تحتانی رودبار لرستان)

محبوبه طاهری

کارشناس سازه - مدیریت ارشد مهندسی سازه های آبی

جواد یزدان ستا

کارشناس سازه

واژه‌های کلیدی: سازه‌های زیرزمینی، تونل انحراف، تخلیه کننده تحتانی، تغییر شکل زمین آزاد، لاینینگ

چکیده

اگرچه آسیب پذیری سازه‌های زیرزمینی در برابر نیروهای ناشی از زلزله کمتر از سازه‌های سطحی می‌باشد، تجربه نشان داده است که در بعضی موارد این نیروها خسارات جرمان پذیری را در سازه‌های زیرزمینی به وجود آورده اند. از آن جمله می‌توان به زلزله Kobe زاپن سال ۱۹۹۵ Chi-Chi تایوان سال ۱۹۹۹ و Kocaeli سال ۱۹۹۹ اشاره نمود. در این مقاله به صورت موردی تونل انحراف پروژه سد و نیروگاه رودبار لرستان که پس از اتمام ساخت به عنوان تخلیه کننده تحتانی استفاده می‌شود تحت بررسی قرار می‌گیرد. روش طراحی لرزه‌ای بر اساس روش تغییر شکل زمین آزاد (free-field deformation) می‌باشد که در آن کرنش‌های سطح زمین تحت اثر امواج زلزله بدون در نظر گرفتن سازه تونل با صرفنظر از عکس العمل بین لاینینگ تونل و سنگ اطراف محاسبه می‌گردند. با توجه به این فرض، این روش یک روش محافظه کارانه بوده و برای تونل‌های حفاری شده در سنگ مناسب تشخیص داده می‌شود، در تونل‌های حفر شده در خاک بایستی عکس العمل بین سازه و خاک در محاسبه این کرنش‌ها منتظر گردد. پس از محاسبه کرنش، با استفاده از روش ساده شده Closed form solutions، مقادیر نیروهای زلزله با در نظر گرفتن اندرکش سازه و محیط اطراف محاسبه شده و به مقادیر بدست آمده در حالات استاتیکی اضافه می‌گردد.

۱- مقدمه

دیدند. با توجه به موارد مذکور، اهمیت و ضرورت تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها و سازه‌های زیرزمینی مشخص می‌گردد. در این مقاله، تحلیل لرزه‌ای تونل انحراف و تخلیه کننده تحتانی پروژه سد و نیروگاه رودبار لرستان مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم انحراف پروژه مذکور، یک سازه کلیدی در زمان ساخت و پس از اتمام ساخت سد می‌باشد. این تونل به طول تقریبی ۳۶۵ متر و با قطر داخلی تمام شده ۸ متر، در زمان ساخت که حدود سه سال تخمین زده می‌شود، برای انحراف آب رودخانه استفاده شده و هرگونه صدمه به سازه ممکن است منجر به تأخیر در جرایی پروژه شود و پس از اتمام ساخت نیز در زمان بهره برداری (با فرض عمر مفید پنجاه سال)، سازه به عنوان تخلیه کننده تحتانی نقش مهمی را در تأمین امنیت سازه سد خواهد داشت. در این مقاله تحلیل لرزه‌ای سیستم انحراف آب در دو حالت کوتاه مدت (زمان انحراف) و دراز مدت (زمان بهره برداری) مورد بررسی قرار خواهد گرفت [۲].

نگاهی کوتاه به عملکرد تونل‌ها در برابر زلزله و گزارش‌های متعدد در زمینه صدمات واردہ براین سازه‌ها در زلزله‌های اخیر، ضرورت بررسی رفتار مناسب تونل‌ها در برابر زلزله را نشان می‌دهد. جدیدترین گزارشها از صدمات مذکور مربوط به زلزله‌های Kobe سال ۱۹۹۵ Chi-Chi تایوان سال ۱۹۹۹ Duzce و Kocaeli سال ۱۹۹۹ باشند. در کشور زاپن که از کشورهای پیشرفته در زمینه تونل سازی می‌باشد، زلزله Kanto سال ۱۹۲۳ منجر به آسیب بیش از ۱۰۰ تونل گردید و همچنین گزارش‌های حاکی از زلزله‌های Kita-Izu سال ۱۹۳۰ و Izu-Oshima-Kinkai سال ۱۹۷۸ آسیب‌های واردہ برتوانل‌های موجود در مناطق زلزله زده را نشان می‌دهد. در زلزله Kobe، بیش از ۳۰ تونل از مجموع ۱۰۰ تونل موجود در منطقه دچار صدمات نسبتاً شدیدی شده و از جمله سه ایستگاه راه آهن زیرزمینی در شهر کوبه آسیب

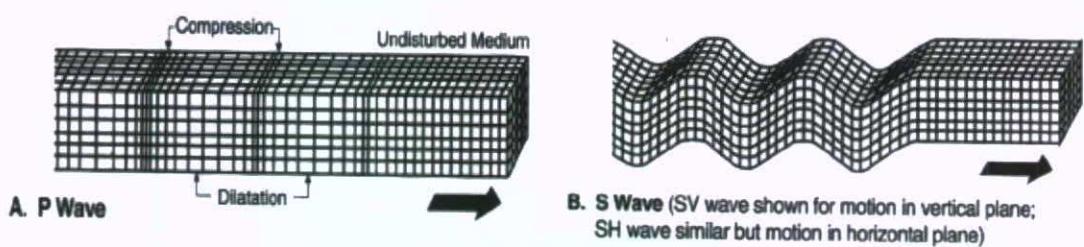


۲- امواج زمین لرزه و تغییر شکلهای ناشی از آنها

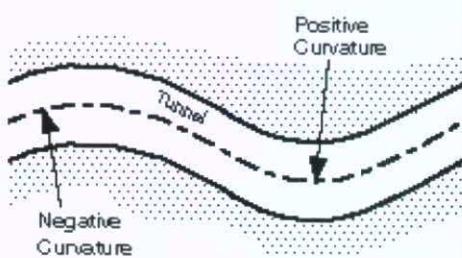
سازه‌های زیرزمینی با توجه به ویژگی‌های خاص خود از جمله مدفون بودن در سنگ یا خاک و همچنین طول زیاد آنها رفتار لرزه‌ای متفاوتی را در مقایسه با دیگر سازه‌ها در برابر نیروهای لرزه ای از نابراین طراحی این سازه‌ها در برابر نیروهای لرزه ای از پیچیدگی خاصی برخوردار است. برخلاف سازه‌های رو زمینی که شتاب حداقل زمین و طیف پاسخ طرح و نیروهای اینرسی حاصل از لرزش زمین پارامترهای تعیین کننده نیروهای زلزله می‌باشند، رفتار لرزه ای سازه‌های زیرزمینی تابع ارتعاشات زمین ناشی از عبور امواج از توده اطراف آن و گسیختگی آن به دلیل روانگرایی، جابجایی گسل‌ها و ناپایداری شیب‌ها می‌باشد.

اعوجاج زمین اطراف، همان تغییر شکلهای زمین تحت اثر این امواج لرزه ای می‌باشند و از جمله عواملی که بر این تغییر شکلهای تأثیر می‌گذارند شامل شکل، ابعاد، عمق سازه، مشخصات خاک یا سنگ اطراف و شدت زمین لرزه می‌باشند.

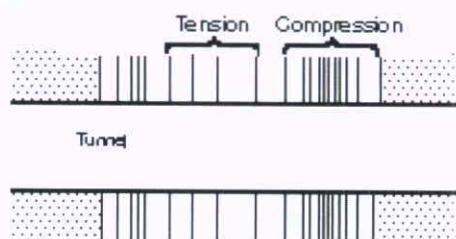
لرزش زمین که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود، به جنبش زمین در انتشار امواج زلزله بستگی دارد [۳]. امواج گذرای زمین لرزه (شکل ۱)، امواج تغییر شکل هستند که اثر فشاری (امواج P) یا برشی (امواج S) دارند. اثر زمین لرزه بر تونل در راستای طولی به صورت تغییر شکلهای



شکل (۱): عکس العمل زمین نسبت به امواج P و S



شکل (۳): تغییر شکل خمی در راستای تونل



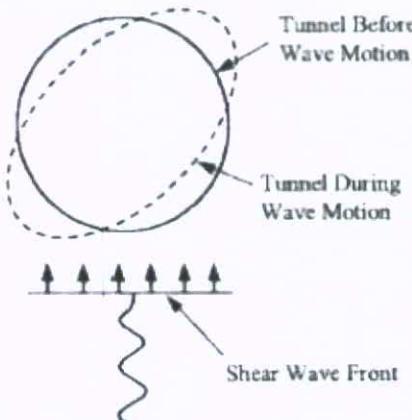
شکل (۲): تغییر شکل محوری در راستای تونل

محوری و خمی و در جهت عرضی، تمایل به بیضی نمودن مقطع دایره و یا در حالت غالب، ترکیبی از آنها دارند.

تغییر شکلهای محوری تغییرشکلهای افقی یا تقریباً افقی می‌باشند که سبب فشار و کشش متناوب در تونل می‌گردند.

شکل (۲)، نمونه‌ای از این تغییرشکل را نشان می‌دهد. همانطوریکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود، تغییر شکلهای خمی به صورت انحنای افقی و یا قائم، عمود بر محور تونل و در جهت طولی ایجاد می‌گردد [۱].

تمایل به بیضی کردن مقطع، ناشی از اثر امواج برشی است که عمود بر راستای تونل اثر می‌کنند. وقتی مقطع در راستای یک قطر افزایش می‌یابد در جهت قطر عمود بر آن از قطر کاسته خواهد شد (شکل ۴). تنش‌های دینامیکی حاصل از تغییر شکل بیضوی تونل بر تنش‌های موجود در حالت استاتیکی افزوده شده و با توجه به نوع تنش‌های موجود نتایج متفاوتی را در بر خواهد داشت. چنانچه تنش‌های دینامیکی فشاری به تنش‌های استاتیکی فشاری اضافه شود، ظرفیت لاینینگ بتی به صورت موضعی افزایش می‌یابد و چنانچه تنش‌های حاصل از اثر دینامیکی کششی باشند باعث کاهش ظرفیت خمی مقطع می‌گردد [۳].



شکل (۴): تغییر شکل بیضوی عمود بر راستای تونل

مدول یانگ بتن (کوتاه مدت): 29000 kg/cm^2 (مقدار آن در دراز مدت به نصف تقلیل می‌باید)

۱-۳- محاسبات کرنش، نیروهای لرزه‌ای و روش Closed form solutions

هنگامی که تونل نسبت به خاک اطراف از صلابت طولی بیشتری برخوردار باشد ساره در برابر تغییر شکل‌های تحمل شده توسط توده اطراف مقاومت می‌کند و در یافتن باسخ سازه‌های سخت مدفون در خاک‌های نرم، سختی خاک و سازه تواماً در نظر گرفته می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که در شرایط معمول، تغییر شکل‌های ایجاد شده در راستای طولی بسیار کمتر از ظرفیت الاستیک قابل تحمل توسط سازه می‌باشد و مقدار آنها برای مقایسه با مقدار مجاز کرنش محاسبه می‌شود. جنابه سازه تونل در زمین‌های مستعد لغزش، روانگرایی و مناطق دارای گسل احداث شده باشد و یا سختی سازه در راستای تونل متفاوت باشد افزایش مقاومت پویش بنتی تونل برای تحمل تغییر شکل‌های محیط اطراف راه حل مناسبی نمی‌باشد و بایستی با توجه به هر یک از شرایط فوق راه حل مناسبی استفاده نمود.

با استفاده از روش کرنش زمین آزاد که توسط نیومارک توسعه داده شده و رابطه آن در ذیل آمده است کرنش طولی سازه که مجموع تغییر شکل محوری و تغییر شکل خمی می‌باشد محاسبه گردیده است. در واقع در بهره گیری از این معادله فرض می‌شود که تغییر شکل سازه برابر با تغییر شکل زمین آزاد می‌باشد. برخلاف امواج فشاری بررسی آثار ناشی از امواج برشی حائز اهمیت می‌باشد چرا که این امواج دارای بیشترین پتانسیل انرژی هستند.

هنگامی که سختی سازه و زمینی که سازه در آن احداث شده است تفاوت زیادی داشته باشند، روش تغییر شکل زمین آزاد

۳- معیارهای طراحی لرزه‌ای

اگرچه در سازه‌های طولی مانند تونل‌ها حرکت زمین به علت زلزله منجر به رفتارهای متفاوتی در نقاط مختلف سازه می‌گردد، در روش ارائه شده میدان امواج لرزه‌ای به صورت امواج صفحه‌ای با دامنه یکسان در طول تونل فرض می‌گردد و در حقیقت از پراکندگی و انتشار سه بعدی پیچیده امواج که منجر به تغییر دامنه موج در طول تونل می‌گردد، صرفظیر می‌شود. برای این منظور کرنش‌های زمین آزاد تحت اثر امواج هارمونیک با یک زاویه انتشار مشخص، در یک محیط الاستیک، ایزوتروپیک و همگن محاسبه می‌گردد. برای دستیابی به ماکریتم کرنش و ضریب اطمینان مناسب در مقابل نیروهای زلزله محاسبات بر اساس بحرانی ترین زاویه انتشار انجام شده است. شتابهای لرزه‌ای زلزله طرح، با استفاده از روش‌های احتمالاتی محاسبه شده و با توجه به عمق قرارگیری تونل که از پارامترهای مهم در محاسبات لرزه‌ای می‌باشد، تعديل شده است [۲].

بزرگی زلزله (Mw) به ترتیب در دوره انحراف و بهره برداری برابر $4/5$ و $7/5$ بوده و با توجه به آن، حداقل شتاب افقی زمین برای دوره انحراف (با دوره بازگشت ۱۵۰ سال) $0.26g$ و برای دوره بهره برداری (با دوره بازگشت ۵۰۰ سال) $0.29g$ محاسبه گشته است [۴].

سایر مشخصات به صورت ذیل می‌باشد:

فاصله از مرکز زلزله: 15 km

سرعت موج برشی: 2500 m/sec

ضریب پواسون سنگ: 0.24

چگالی سنگ: 2700 kg/m^3

ضریب پواسون بتن: 0.2



بنی، F نسبت انعطاف پذیری، R شعاع خارجی تونل، K_1 ضریب واکنش پوشش بنی، K_2 ضریب واکنش پوشش در شرایط لغزش کامل، T_{max} حداکثر نیروی محوری و M_{max} حداکثر لنگر خمثی می باشد.

- روابط ونگ در شرایط بدون لغزش :

$$C = \frac{E_m(1-v_1^2)}{E_l t(1+v_m)(1-2v_m)} R \quad (8)$$

$$K_2 = 1 + \frac{\frac{1}{2}(1-2v_m) - (1-2v_m)C - \frac{1}{2}(1-2v_m)^2 + 2}{\frac{5}{2}H(3-2v_m) + (1-2v_m)C + Q - 8v_m + 6v_m^2 + 6 - 8v_m} \quad (9)$$

$$T_{max} = \pm K_2 \frac{E_m}{2(1+v_m)} R g_{max} \quad (10)$$

$$M_{max} = -\frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{1+v_m} R^2 g_{max} \quad (11)$$

که در روابط بالا، C نسبت تراکم پذیری، k ضریب واکنش پوشش در شرایط بدون لغزش، t ضخامت پوشش بنی می باشد [۳].

- روابط پنزین برای محاسبه نیروی محوری و لنگر خمثی در حالت لغزش کامل :

$$\alpha^n = \frac{12E_l I(5-6v_m)}{D^3 G_m (1-v_1^2)} \quad (12)$$

$$R^n = 4 \frac{(1-v_m)}{\alpha^n + 1} \quad (13)$$

$$\Delta d_{lining}^n = R^n \frac{\gamma_{max}}{2} \quad (14)$$

$$T(\theta) = 12 \frac{E_l I \Delta d_{lining}^n}{D^3 (1-v_1^2)} \cos 2(\theta + \frac{\pi}{4}) \quad (15)$$

$$M(\theta) = 6 \frac{E_l I \Delta d_{lining}^n}{D^2 (1-v_1^2)} \cos 2(\theta + \frac{\pi}{4}) \quad (16)$$

که در روابط داده شده، Δd_{lining}^n تغییر شکل قطری، $T(\theta)$ نیروی محوری و $M(\theta)$ لنگر خمثی می باشد.

- روابط پنزین برای محاسبه نیروی محوری و لنگر خمثی در حالت بدون لغزش :

$$\alpha = \frac{24E_l I(3-4v_m)}{D^3 G_m (1-v_1^2)} \quad (17)$$

نتایج بسیار متفاوتی با واقعیت به دست می دهد. در روش Closed form solutions اندکنش سازه و محیط اطراف با استفاده از دو نسبت تراکم پذیری و انعطاف پذیری در نظر گرفته می شود. در این روش نیروها در دو حالت بدون لغزش و لغزش کامل محاسبه می شوند. شرایط لغزش کامل تنها زمانی پیش می آید که سازه با سختی زیاد در خاک نرم احداث شده باشد و یا اینکه شدت زلزله زیاد باشد. از آنجا که بیشتر تونل ها در شرایطی ما بین لغزش کامل و بدون لغزش قرار دارند، برای حصول اطمینان کافی بهتر است محاسبات برای هر دو شرایط فوق انجام شود و مقادیر بحرانی مبنای محاسبات قرار گیرد. با بهره گیری از مقدار تغییر شکل برشی زمین آزاد، مقدار نیروی محوری، لنگر خمثی وارد بر مقطع با استفاده از روابط ونگ و پنزین محاسبه شده است [۳],[۵].

۲-۳- روابط ریاضی

- رابطه نیومارک برای محاسبه تغییر شکل طولی سازه:

$$\varepsilon_l = \varepsilon + k = \frac{V_s}{C_s} \sin \phi \cos \phi + \frac{a_s^2}{C_s^2} \cos^2 \phi \quad (1)$$

که در آن ε تغییر شکل طولی، ε کرنش محوری، k کرنش خمثی، V_s سرعت حداکثر امواج برشی، C_s سرعت مؤثر انتشار امواج برشی، a_s شتاب حداکثر امواج برشی، θ زاویه انتشار امواج برشی می باشد.

- روابط ونگ در شرایط لغزش کامل :

$$\frac{\Delta D}{D} = \pm 2 g_{max} (1-v_m) \quad (2)$$

$$g_{max} = \frac{V_s}{C_s} \quad (3)$$

$$F = \frac{E_m (1-v_1^2) R^3}{6 E_l I (1+v_m)} \quad (4)$$

$$K_1 = \frac{12(1-v_m)}{2F + 5 - 6v_m} \quad (5)$$

$$T_{max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1+v_m)} R g_{max} \quad (6)$$

$$M_{max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1+v_m)} R^2 g_{max} \quad (7)$$

که در روابط فوق، $\frac{\Delta D}{D}$ کرنش حداکثر قطری، g_{max} حداکثر کرنش برشی خاک یا سنگ، v_m ضریب پواسون خاک یا سنگ، v_1 ضریب پواسون پوشش بنی، E_m مدول الاستیسیته خاک یا سنگ، E_1 مدول الاستیسیته پوشش



جدول (۱) انتخاب شده و به ترکیبات بارگذاری در حالت استاتیکی اضافه می‌گردد.

برای پروژه تحت مطالعه مقدار حداکثر نیروی محوری $F=1012\text{kN}$ و لنگر خمثی $M=18\text{kN.m}$ برآورد می‌گردد.

- مقادیر فوق نشان می‌دهد که نیروهای لرزه ای تعیین کننده و یا به عبارتی جداکثر مقادیر، مربوط به دوره کوتاه مدت یعنی زمان انحراف می‌باشد.

- نتایج نشان می‌دهد که در شرایط لغزش کامل روش پنزین و ونگ نتایج مشابهی برای نیروی محوری و لنگر خمثی دارند. همچنین مقدار لنگر خمثی در شرایط بدون لغزش برای هر دو روش یکسان می‌باشد ولی تفاوت محسوسی بین مقادیر نیروی محوری حاصل از دو روش در حالت بدون لغزش به چشم می‌خورد. این تفاوت ناشی از در نظر گرفتن نسبت تراکم پذیری در فرمول‌های ونگ در حالت بدون لغزش می‌باشد.

- به نظر می‌رسد از دو نسبت تراکم پذیری و انعطاف پذیری، نسبت انعطاف پذیری دارای اهمیت بیشتری می‌باشد چرا که این پارامتر نشان دهنده توانایی پوشش برای مقاومت در برابر اعوجاج تحمل شده از توده اطراف می‌باشد.

$$R = 4 \frac{(1 - v_m)}{\alpha + 1} \quad (18)$$

$$\Delta d_{lining} = R \frac{\gamma_{max}}{2} \quad (19)$$

$$T(\theta) = 24 \frac{E_1 I \Delta d_{lining}}{D^3 (1 - v_1^2)} \cos(2\theta + \frac{\pi}{4}) \quad (20)$$

$$F = \frac{E_m (1 - v_1^2) R^3}{6 E_1 I (1 + v_m)} \quad (21)$$

$$M(\theta) = 6 \frac{E_1 I \Delta d_{lining}}{D^2 (1 - v_1^2)} \cos(2\theta + \frac{\pi}{4}) \quad (22)$$

که در روابط فوق، Δd_{lining} تغییر شکل قطری، $T(\theta)$ نیروی محوری و $M(\theta)$ لنگر خمثی می‌باشد [۶],[۷].

۳-۳- نتایج تحلیل لرزه ای

نتایج تحلیل لرزه ای برای تونل مذکور در جداول (۱) و (۲) آمده است.

۴- نتیجه گیری

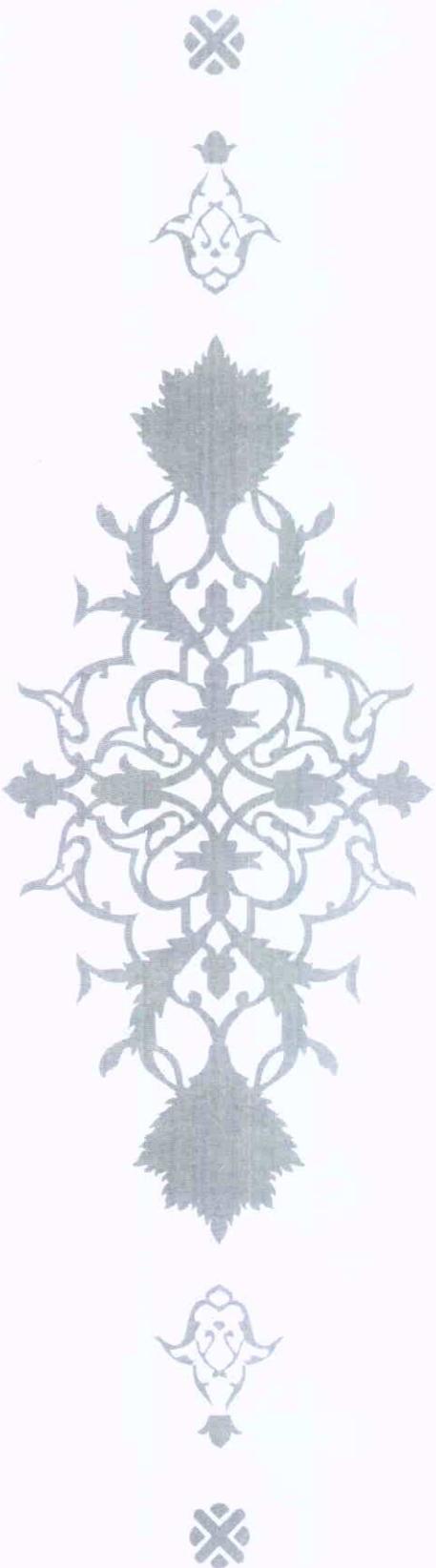
- حداکثر مقدار نیروی محوری و لنگر خمثی با توجه به

جدول (۱): نتایج نیروها و کرنش برای حالت بارگذاری عرضی

کرنش حداکثر	بدون لغزش				لغزش کامل				شرایط		عمق (متر)
	پنزین		وانگ		پنزین		وانگ		دوران	بزرگی زلزله (Mw)	
	لنگر الخمثی (kN.m)	نیروی محوری (kN)	لنگر الخمثی (kN.m)	نیروی محوری (kN)	لنگر الخمثی (kN.m)	نیروی محوری (kN)	لنگر الخمثی (kN.m)	نیروی محوری (kN)	دوران	بزرگی زلزله (Mw)	
۰/۰۰۰۰۷۳	۱۶	۷	۱۶	۸۸۶	۱۶	۴	۱۶	۴	انحراف	۶/۵	>۳۰ m
۰/۰۰۰۱۲	۱۳	۶	۱۳	۸۰۷	۱۳	۳	۱۳	۳	بهره برداری	۷/۵	
۰/۰۰۰۰۸۳	۱۸	۸	۱۸	۱۰۱۲	۱۸	۴	۱۸	۴	انحراف	۶/۵	
۰/۰۰۰۱۴	۱۵	۷	۱۵	۹۲۲	۱۵	۴	۱۵	۴	بهره برداری	۷/۵	(۱۵-۳۰ m)

جدول (۲): نتایج کرنش برای حالت بارگذاری طولی

کرنش طولی حداکثر	شرایط		عمق (متر)
	دوران	بزرگی زلزله (Mw)	
۰/۰۰۰۰۲۵	انحراف	۶/۵	>۳۰ m
۰/۰۰۰۰۳۹	بهره برداری	۷/۵	
۰/۰۰۰۰۲۷	انحراف	۶/۵	
۰/۰۰۰۰۴۵	بهره برداری	۷/۵	



- 1- "راهنمای طراحی سازه ای تونلهای آب بر، نشریه شماره ۳۰۹"، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۴.
- 2- Halcrow," Diversion Tunnel with Lower Bottom Outlet- Design of Permanent Linings", Technical Note TN58A, 21 September 2005.
- 3- Youssef M.A. Hashash.; Jeffrey J. Hook.; Birger Schmidt.; John I-Chiang Yao," Seismic Design and Analysis of Underground Structures", *Tunneling and Underground Space Technology*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, San Francisco, Ca, USA.
- 4- Technical Report," Seismic Hazard Analysis at Rudbar Lorestan Dam Site and Power Station, June 2005.
- 5- Wang, J.-N., 1993. "Seismic Design of Tunnels", A State-of-the-Art Approach , Monograph, monograph 7. Parsons, Brinckerhoff, Quade and Douglas Inc, New York.
- 6- Penzien, J., Wu, C., 1998. "Stresses in linings of bored tunnels", Int. J.Earthquake Eng. Struct. Dyn. 27, 283-300.
- 7- Penzien, J., 2000. "Seismically-induced racking of tunnel linings", Int. J.Earthquake Eng. Struct. Dyn. 29, 683-691.

خانم محبوبه طاهری دارای مدرک کارشناسی عمران- سازه های آبی ازدانشگاه صنعت آب و برق (عباسپور) تهران بوده و جمعاً چهار سال سابقه کاردارد که یک سال آن در مهندسین مشاور قدس نیرو می باشد. زمینه کاری مورد علاقه ایشان طراحی سازه های هیدرولیکی، طراحی سازه های جانبی سد، سازه های خاص از قبیل سازه های زیرزمینی، پلها و ... می باشد.

Email:
mtaheri@ghods-niroo.com

آقای جواد یزدان ستاداری مدرک کارشناسی ارشد عمران- سازه ازدانشگاه تبریز بوده و جمعاً ۱۰ سال سابقه کاردارد. زمینه کاری مورد علاقه ایشان طراحی سازه های هیدرولیکی، سازه های جانبی سد، سازه های زیرزمینی، ارزیابی لرزه ای و بهسازی پلها و سازه های بلند می باشد.

جایابی خطاهای امپدنس بالا در شبکه‌های توزیع دارای منابع تولید پراکنده با استفاده از شبکه عصبی

سید علی محمد جوادیان

کارشناس ارشد مطالعات سیستم - مدیریت ارشد مهندسی شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو

واژه‌های کلیدی: تولید پراکنده، شبکه توزیع، شبکه عصبی، جایابی خطاهای امپدنس بالا در شبکه‌های توزیع دارای منابع تولید پراکنده

چکیده

یکی از مسائلی که در سال‌های اخیر ذهن مهندسین حفاظت را به خود مشغول کرده، طراحی روش‌هایی برای تعیین نوع و مکان دقیق خطاهای قدرت است. تشخیص مکان خطاهای قدرت در شبکه‌های انتقال، به دلیل ناچیز بودن امپدانس خطاهای قدرت، کار چندان پیچیده‌ای نیست و غالباً توسط رله‌های دیستانس انجام می‌گیرد. اما در شبکه‌های توزیع به دلیل بزرگ بودن امپدانس خطاهای توزیع و تغییرات وسیع آن و نیز سادگی ادوات حفاظتی این شبکه‌ها، تشخیص مکان دقیق خطاهای توزیع سخت است، از طرفی با نفوذ روزافروزن منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، نیاز به طراحی سیستم‌های جدید حفاظتی برای این گونه شبکه‌ها نیز افزایش می‌یابد. یکی از مسائلی که می‌تواند باعث بالا بردن کیفیت عملکرد رله‌های جدید حفاظتی شبکه توزیع شود، قدرت این رله‌ها در تشخیص محل دقیق خطاهای توزیع است. در این مقاله یک روش جدید برای تشخیص محل دقیق خطاهای توزیع دارای منابع تولید پراکنده و با استفاده از شبکه‌های عصبی MLP ارائه شده است. در روش ارائه شده پس از تشخیص نوع خطاهای توزیع دارای منابع تولید پراکنده و با استفاده از شبکه‌های عصبی MLP مربوط به آن نوع خطاهای توزیع دارای منابع تولید پراکنده و با استفاده از نرم‌افزار Dig Silent Power Factory 13.2 مدل‌سازی شده پیاده‌سازی شده است و کارایی آن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بیانگر قدرت و دقت بالای روش پیشنهادی است و قابلیت استفاده از این روش را برای استفاده در طرح‌های حفاظتی هوشمند در شبکه‌های توزیع مدرن تأیید می‌کند.

۱- مقدمه

در صورت تشخیص دقیق محل خطاهای توزیع در شبکه‌ها و طراحی صحیح سیستم حفاظت بر مبنای آن می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را به شدت افزایش داد [۴].

یکی دیگر از مسائلی که در سال‌های اخیر مورد توجه مهندسین قدرت قرار گرفته است، حضور منابع تولید پراکنده و استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی در شبکه‌های توزیع است. منابع تولید پراکنده نیروگاه‌های کوچک و کم ظرفیتی هستند که معمولاً از انرژی‌های پاک و سازگار با محیط زیست برای تولید برق استفاده می‌کنند و به دلیل ظرفیت تولید پایین، انتقال توان تولیدی آنها از طریق شبکه‌های انتقال مقرن به صرفه نبوده و لذا به شبکه‌های توزیع متصل می‌شوند [۵و۶].

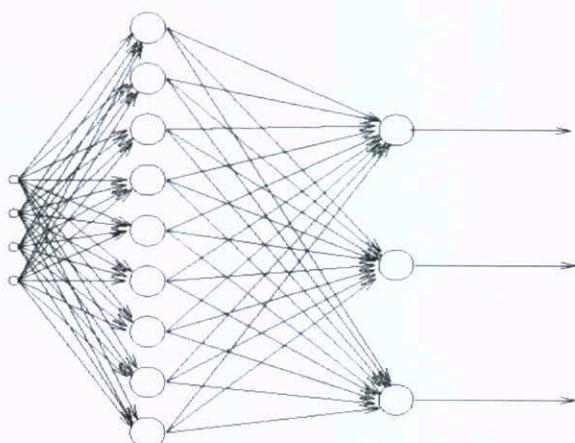
حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع، ساختار شعاعی و بسیار ساده این شبکه‌ها را به کلی دگرگون کرده و بهره‌برداری، کنترل و حفاظت شبکه‌های توزیع را بسیار پیچیده‌تر می‌کند. با پیچیده‌تر شدن حفاظت شبکه‌های توزیع اهمیت تشخیص محل دقیق خطاهای احتمالی نیز بیشتر می‌شود [۷و۸].

تشخیص مکان وقوع خطاهای فشار قوی انتقال به دلیل پائین بودن امپدانس خطاهای چندان پیچیده نیست و معمولاً

یکی از خطاهایی که همواره تجهیزات شبکه‌های توزیع را تهدید می‌کند وقوع خطاهای اتصال کوتاه در شبکه است. مبارزه با این پدیده و حفاظت شبکه‌های توزیع در برابر آن از دیرباز یکی از مسائل مورد بحث و بررسی مهندسین برق بوده است. تجهیزات حفاظتی و الگوریتم‌های حفاظت در شبکه قدرت از بدو تشکیل این شبکه‌ها به وجود آمده‌اند و با پیشرفت تکنولوژی به طور روزافروزن بهبود یافته‌اند. در سال‌های اخیر نیز با نفوذ رله‌های دیجیتال در سیستم‌های حفاظتی شبکه‌های قدرت، قابلیت‌های سیستم‌ها و الگوریتم‌های حفاظتی پیشرفت چشمگیری داشته‌اند [۹و۱۰]. یکی از مسائل مهمی که همواره مورد توجه مهندسین حفاظت بوده، تشخیص دقیق محل خطاهای توزیع رله‌های حفاظتی بوده است. این مسأله در شبکه‌های توزیع به دلیل تغییرات وسیع امپدانس خطاهای توزیع از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و تشخیص آن نیز به مرتب سخت‌تر از شبکه‌های انتقال است [۱۱]. علاوه بر آن، اهمیت و قیمت کم تجهیزات شبکه‌های توزیع، طراحی سیستم‌های حفاظتی پیشرفتی برای این شبکه‌ها را از نظر اقتصادی توجیه نایذر می‌سازد. این در حالی است که

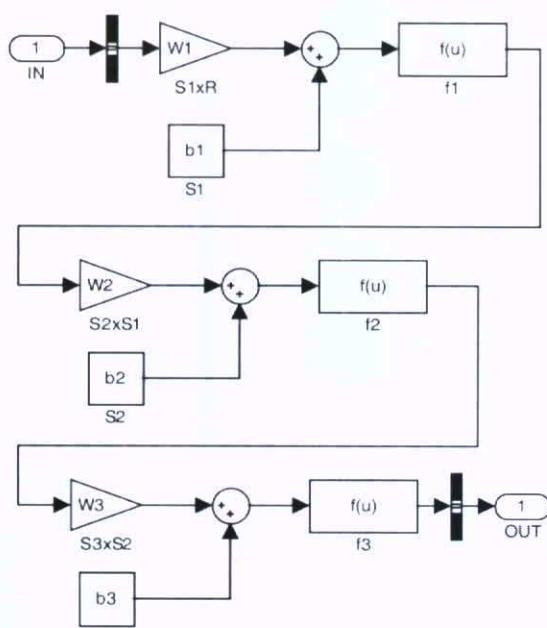


استفاده شود، این شبکه فدرت طبقه‌بندی ورودی‌ها را به سه کلاس مجزا و با تعریف^۴ ویژگی دارا می‌باشد.



شکل (۱): آرایش کلی یک شبکه MLP دو لایه

شکل (۲) بلوک دیاگرام یک شبکه پرسپترون سه لایه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هر لایه دارای یک بردار وزن و یک بردار بایاس است. بردار وزن هر لایه در بردار ورودی‌های آن لایه ضرب شده و پس از جمع شدن با بردار بایاس از تابع تبدیل نرون عبور می‌کند و نتیجه به عنوان خروجی به لایه بعد ارسال می‌گردد. در شکل (۲)، R₁ بیانگر تعداد نرون‌های لایه اول، دوم و سوم هستند [۱۲].



شکل (۲): بلوک دیاگرام یک شبکه پرسپترون سه لایه

1- Multilayer Perceptrons

توسط رله‌های دیستانس انجام پذیر است. اما به دلیل گستردگی شبکه‌های توزيع در سطح مناطق شهری و مسکونی، خطاهایی که در این شبکه‌ها اتفاق می‌افتد با امیدانس‌های متفاوت و عموماً بزرگ همراه هستند. بالا بودن امیدانس خطأ و دامنه تغییرات وسیع آن در شبکه‌های توزيع باعث می‌شود که با استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های کلاسیک نتوان محل دقیق آن را مشخص نمود [۱۰ و ۹].

الگوریتم‌های بهینه‌سازی و هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی، الگوریتم زنتیک، تئوری بازی، منطق فازی، کلونی مورچگان و سردشدن فلزات، در سال‌های اخیر به شدت مورد استفاده مهندسین در حل مسائل مختلف مهندسی و بهینه‌سازی قرار گرفته‌اند. به طوری که حضور این روش‌ها در مسائل مهندسی باعث سادگی و سرعت بخشیدن به حل این گونه مسائل شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی از برقدرت ترین ابزارهای حل مسائل مهندسی همچون طبقه‌بندی و تقریب تابع می‌باشند. قدرت بسیار بالای این شبکه‌ها در حل مسائل فوق، به همراه سادگی پیاده‌سازی آنها باعث نفوذ روزافزون این شبکه‌ها در حل مسائل مهندسی شده است [۱۱]. در این مقاله یک روش جدید برای شناسایی نوع و محل دقیق خطای اتصال کوتاه در شبکه‌های توزيع دارای منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن امیدانس خطأ و با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه شده است. در ادامه پس از معرفی مختصر شبکه‌های عصبی^۱ MLP، که در این مقاله از آنها استفاده شده است، به تشریح روش استفاده شده برای تعیین محل خطأ پرداخته شده و در انتهای روش ارائه شده بر روی یک شبکه توزيع نمونه پیاده‌سازی و نتایج حاصل ارائه شده است.

۲- معرفی شبکه‌های عصبی MLP

شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه یا شبکه‌های عصبی چند لایه پیشخور شبکه‌هایی هستند که از چند لایه نرون تشکیل می‌شوند. در این شبکه‌ها یک لایه نرون به عنوان لایه خروجی و بقیه لایه‌ها، لایه‌های انجام فرآیند یا لایه‌های پنهان هستند. تعداد نرون‌های لایه خروجی و لایه‌های پنهان و تابع تبدیل آنها کاملاً وابسته به مسئله است، اما برای حل مسائل فنی و مهندسی عموماً از شبکه‌های MLP با یک لایه پنهان و یک لایه خروجی استفاده می‌شود. در این گونه مسائل توابع تبدیل لایه پنهان و لایه خروجی نیز معمولاً به صورت سیگمونید و خطی در نظر گرفته می‌شود. شکل (۱) آرایش کلی یک شبکه MLP دو لایه را نشان می‌دهد. این شبکه دارای ۴ ورودی، ۳ خروجی و ۹ نرون در لایه پنهان است. اگر از شبکه نشان داد، شده در شکل (۱) برای طبقه‌بندی دادگان یا شناسایی الگو

به تکنولوژی پیشرفته منابع تولید پراکنده، سیستم‌های اتوماسیون شبکه‌های توزیع و دستورالعمل وصل منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع (استاندارد IEEE-1547) اندازه‌گیری جریان خروجی منابع تولید پراکنده و در دسترس بودن آنها از جمله ملزومات اولیه اتصال DG به شبکه توزیع است. بنابراین فرضیه استفاده از جریان خروجی DG‌ها و پست تغذیه کننده شبکه هیچ‌گونه هزینه اضافی برای طراحی سیستم حفاظت به شبکه تحمیل نخواهد کرد. الگوریتم پیشنهادی این مقاله شامل دو مرحله تشخیص نوع خطا و تشخیص مکان خطا است که در ادامه تشریح شده‌اند.

۱-۳ روش تشخیص نوع خطا

برای تشخیص نوع خطا تنها از جریان سه فاز پست تغذیه کننده شبکه استفاده می‌شود. در این مرحله نیازی به استفاده از شبکه عصبی نیست و تنها با نرمالیزه کردن جریان سه فاز خروجی از پست تغذیه کننده شبکه می‌توان نوع خطا را تشخیص داد. برای نرمالیزه کردن جریان‌های مورد نظر از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$I_{\text{normal}} = \frac{I}{I_{\max}} \quad (2)$$

که در آن I مقدار جریان فاز و I_{\max} مقدار بیشینه بردار جریان فازها است. با استفاده از رابطه (۲) و جدول (۱) می‌توان به راحتی نوع خطا اتفاق افتاده در شبکه را تشخیص داد.

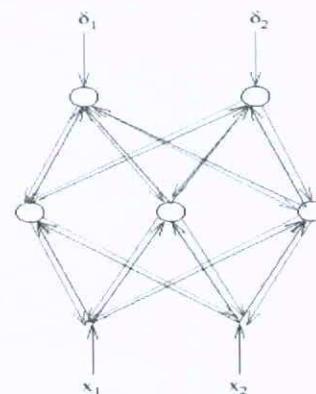
جدول (۱): مقادیر نرمالیزه شده جریان فازها به ازای خطاهای مختلف

Ic	Ib	Ia		نوع خطا
0	0	1	Ag	خطای تکفار به زمین
0	1	0	Bg	
1	0	0	Cg	
0	-1	1	AB	
-1	0	1	AC	خطای دو فاز
-1	1	0	BC	
0	1	1	ABg	
1	0	1	ACg	
1	1	0	BCg	خطای دو فاز به زمین
1	1	1	ABC	
				خطای سه فاز

۲-۳ روش تشخیص مکان خطا

پس از تعیین نوع خطا باید مکان دقیق وقوع خطا تعیین شود. برای تعیین مکان خطا در این مقاله از شبکه عصبی استفاده شده است. شکل (۴) شماتیک کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

برای آموزش شبکه‌های MLP از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌شود. روش آموزش پس انتشار را می‌توان به صورت نشان داده شده در شکل (۳) و رابطه (۱) خلاصه نمود. اصول روش این گونه است که برای آموزش شبکه و تغییر وزن‌های نرون‌ها در هر مرحله از تکرار، در مسیر رفت خروجی تمام نرون‌ها محاسبه می‌شوند و در مسیر برگشت طبق رابطه (۱) وزن نرون‌های هر لایه تغییر داده می‌شوند.



شکل (۳): روش آموزش پس انتشار

$$\begin{pmatrix} \text{Weight} \\ \text{correction} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{learning} \\ \text{parameter} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \text{local} \\ \text{gradient} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \text{input signal} \\ \text{to neuron } j \end{pmatrix} \quad (1)$$

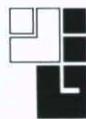
$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \delta_j(n) y_i(n)$$

روش آموزش پس انتشار دارای سرعت همگرایی بسیار پایینی است. لذا با توجه به حجم زیاد محاسبات در شبکه‌های MLP سرعت پایین همگرایی الگوریتم پس انتشار، روش‌هایی برای افزایش سرعت همگرایی این الگوریتم ارائه شده است، که در این مقاله تنها به ذکر برخی از معروفترین این روش‌ها بسته می‌شود. این روش‌ها عبارتند از: [۱۲-۱۴]

- Gradient descent
- Gradient descent with momentum
- Gradient descent with momentum & adaptive learning rate
- Gradient descent with adaptive learning rate
- Levenberg – Marquardt
- Quasi-Newton
- Conjugate gradient

۳- روش پیشنهادی برای تشخیص نوع و مکان خطا

در روش پیشنهادی این مقاله فرض شده است که جریان سه فاز تمام DG‌های واقع در شبکه و پست تغذیه کننده آن به صورت همزمان و به طور پیوسته در دسترس می‌باشد. با توجه



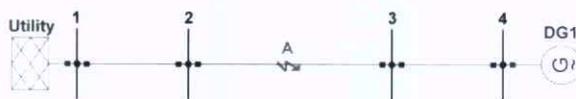
اتصال کوتاه تزریقی از شبکه به جریان اتصال کوتاه تزریقی از DG برابر است با:

$$\frac{I_s}{I_{DG}} = \frac{Z_{34} + Z_{3a}}{Z_{12} + Z_{2a}} \quad (6)$$

حال اگر اتصال کوتاه در همان نقطه A و با امپدانس Z_f رخ دهد این نسبت تقریباً برابر خواهد بود با:

$$\frac{I_s}{I_{DG}} \approx \frac{Z_{34} + Z_{3a} + Z_f}{Z_{12} + Z_{2a} + Z_f} \quad (7)$$

که تقریباً برابر با همان مقدار حاصل از رابطه (6) است. بنابراین با استفاده از نسبت جریان خطای تزریقی از منابع مختلف به یکدیگر به عنوان ورودی شبکه عصبی می‌توان اثر امپدانس خطا را به حداقل مقدار خود رساند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این مشخصه ورودی تنها در شبکه‌های توزیع دارای DG قابل استخراج است و لذا روش ارائه شده در این مقاله تنها در این گونه شبکه‌ها قابل اجرا است و نمی‌توان از آن برای تعیین مکان خطا در شبکه‌های توزیع سنتی استفاده کرد.

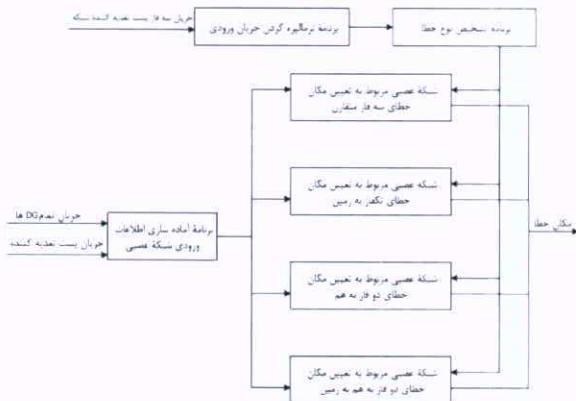


شکل (5): یک شبکه توزیع ساده با یک DG

نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد این است که با افزایش تعداد DG‌های متصل به شبکه توزیع، دقت تشخیص محل خطا توسط شبکه عصبی نیز به خاطر افزایش تعداد ورودی‌های آن DG افزایش می‌یابد. به عنوان مثال اگر در شبکه تنها یک DG وجود داشته باشد، برای آموزش شبکه عصبی تنها از یک ورودی می‌توان استفاده کرد، ولی اگر n منبع تولید پراکنده به شبکه متصل شده باشد، به تعداد ترکیبات دو از $n+1$ ورودی در شبکه خواهیم داشت. به عبارت دیگر تعداد ورودی‌های شبکه عصبی برابر است با:

$$N = \binom{n}{2} \quad (8)$$

که در آن n تعداد منابع تغذیه کننده جریان خط است (شبکه و $n-1$ منبع تولید پراکنده). تعداد خروجی‌های شبکه عصبی نیز به تعداد n (تعداد منابع تغذیه کننده جریان خط) می‌باشد و هر خروجی فاصله محل خطا از منبع تغذیه مربوط به خود را مشخص می‌کند. با توجه به مطالب فوق می‌توان ساختار کلی شبکه عصبی استفاده شده در این مقاله را به صورت نشان داده شده در شکل (6) تعریف کرد.



شکل (4): شماتیکی روشن پیشنهادی

پس از مشخص شدن نوع خطا توسط واحد مربوطه، شبکه عصبی آموزش داده شده مربوط به آن نوع خطا فعال می‌شود و با دریافت داده‌های ورودی، که توسط برنامه آمده‌سازی اطلاعات ورودی شبکه عصبی تهیه شده‌اند، فاصله خطا از تمام منابع تولید پراکنده و پست تغذیه کننده شبکه را به عنوان خروجی تولید می‌کند.

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد مشکل اصلی تشخیص محل خطا در شبکه‌های توزیع، امپدانس خطا است. برای این که شبکه عصبی را بتوان به نحوی آموزش داد که مقدار امپدانس خطا کمترین تأثیر را در خروجی آنها داشته باشد، باید مشخصه‌های مناسبی را به عنوان ورودی برای شبکه عصبی تعریف کرد. در این مقاله از منابع تغذیه جریان‌های خطای تزریقی توسط DG‌ها و پست تغذیه کننده شبکه به یکدیگر برای ورودی شبکه عصبی استفاده شده است.

جریان خطای تزریقی از هر یک از منابع تغذیه را می‌توان به صورت رابطه (3) نمایش داد:

$$I_f = \frac{V}{Z_{th}} \quad (3)$$

که در آن V ولتاژ پایانه منبع تغذیه و Z_{th} امپدانس تونن معادل شبکه از دید آن است. به عنوان مثال در شبکه نشان داده شده در شکل (5) در صورتیکه یک اتصال کوتاه با مقاومت صفر در نقطه A انفاق بیافتد، امپدانس دیده شده توسط DG و شبکه عبارتند از:

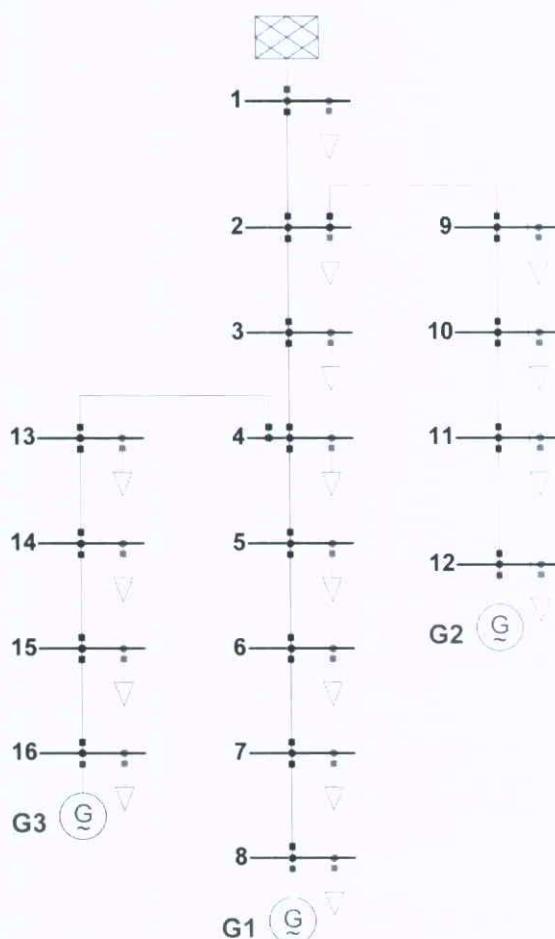
$$Z_{DG} = Z_{34} + Z_{3a} \quad (4)$$

$$Z_s = Z_{12} + Z_{2a} \quad (5)$$

که در آن Z_{12} امپدانس خط متصل کننده باس شماره ۱ به ۲، Z_{34} امپدانس خط متصل کننده باس شماره ۳ به ۴، Z_{3a} امپدانس بین باس شماره ۳ و محل خطا و Z_{2a} امپدانس بین باس شماره ۲ و محل خطا است. در شبکه فوق نسبت جریان

MATLAB استفاده شده است. شبکه توزیع مورد مطالعه در این مقاله یک شبکه توزیع ۲۰ کیلوولت ۱۶ باسه است که ۳ دیزل ژنراتور MVA ۲ به آن متصل شده است. شکل (۷) دیاگرام تک خطی شبکه مذکور را نشان می‌دهد. اطلاعات فنی تجهیزات این شبکه در پیوست مقاله ارائه شده است.

برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز شبکه عصبی، انواع خطاهای در تمام شبکه، به فواصل ۱۰۰ متر از یکدیگر و با امپدانس‌های خطای صفر، ۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ اهم شبیه‌سازی شده‌اند و جریان‌های خروجی تمام منابع تغذیه به ازای این خطاهای استخراج شده است. شکل‌های (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) به ترتیب نتیجه آموزش شبکه‌های عصبی مربوط به خطای سه فاز، تکفار، دو فاز به هم و دو فاز به هم به زمین را نشان می‌دهند. همچنین ساختار شبکه‌های عصبی مذکور به همراه میزان خطای خروجی هر یک به طور خلاصه در جدول (۲) گردآوری شده است.



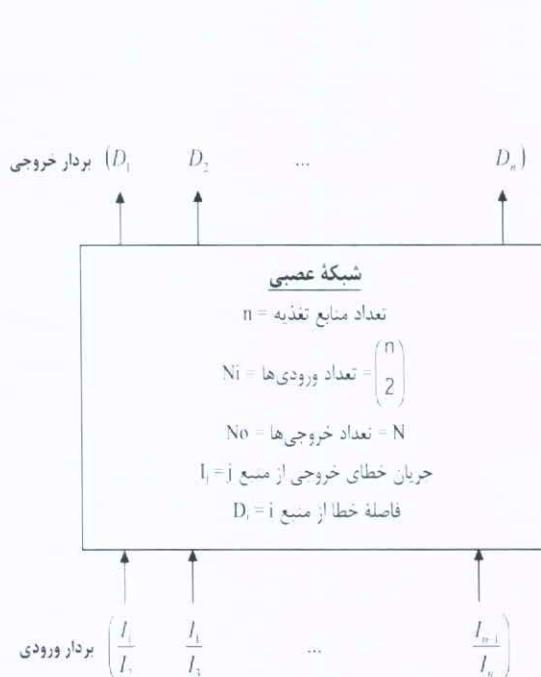
شکل (۷): شبکه توزیع مدلسازی شده

برای تشکیل شبکه عصبی تنها از یک لایه پنهان استفاده می‌شود اما در رابطه با تعداد نرون‌های لایه پنهان نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد و کاملاً وابسته به شرایط است. ولی برای حل هر مسأله می‌توان با روش سعی و خطا تعداد نرون‌های لایه پنهان را مشخص نمود. تعداد نرون‌های لایه خروجی دقیقاً برابر با تعداد خروجی‌ها است و تابع تبدیل نرون‌های خروجی نیز خطی در نظر گرفته شده است.

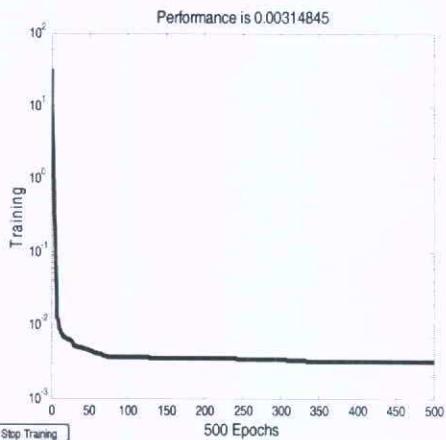
همچنین تابع تبدیل نرون‌های لایه پنهان به شکل تائراست هیبروبولیک در نظر گرفته شده است. برای آموزش شبکه عصبی نیز از روش Levenberg-Marquardt استفاده شده است.

۴- شبیه‌سازی شبکه توزیع نمونه

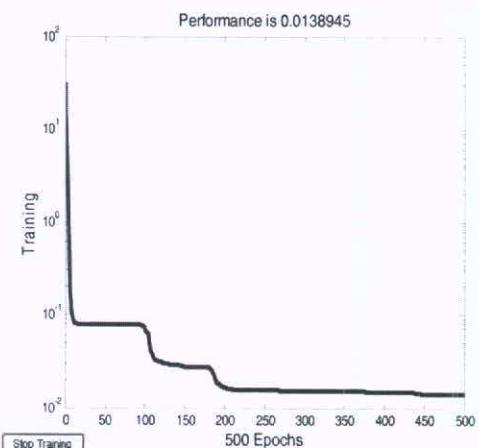
در این مقاله برای مدلسازی شبکه توزیع نمونه و استخراج اطلاعات مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی از نرم‌افزار Dig Silent Power Factory 13.2 و برای تشکیل شبکه عصبی و شبیه‌سازی الگوریتم ارائه شده از نرم‌افزار



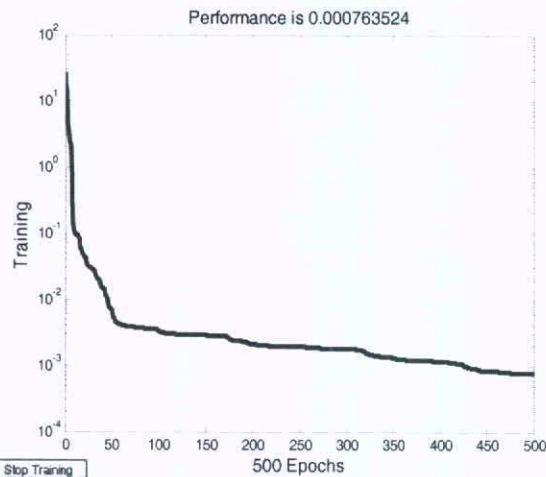
شکل (۶): ساختار شبکه عصبی



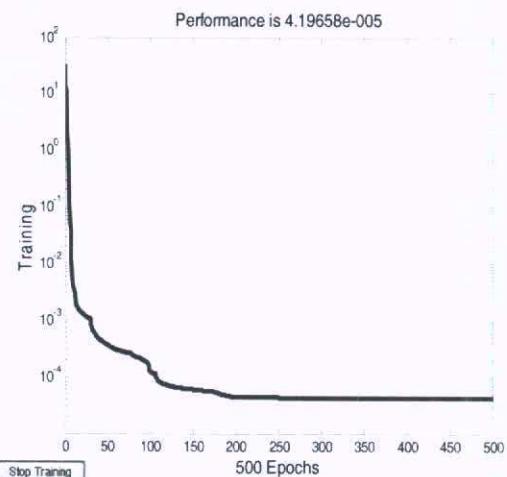
شکل (۹): منحنی آموزش شبکه عصبی مربوط به خطای تک فاز



شکل (۸): منحنی آموزش شبکه عصبی مربوط به خطای سه فاز



شکل (۱۱): منحنی آموزش شبکه عصبی مربوط به خطای دو فاز به زمین



شکل (۱۰): منحنی آموزش شبکه عصبی مربوط به خطای دو فاز

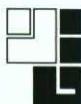
۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید برای تشخیص نوع و مکان دقیق خطا در شبکه‌های توزیع دارای DG با استفاده از شبکه‌های عصبی MLP ارائه شد. در روش ارائه شده برای حداقل کردن تأثیر امپدانس خط در تشخیص محل آن، از نسبت جریان تزریقی منابع تغذیه به یکدیگر استفاده شد و به عنوان ورودی شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. در روش ارائه شده ابتدا با استفاده از نرمالیزه کردن جریان خطای تزریقی از پست تغذیه‌کننده شبکه، نوع خطا مشخص شده و سپس شبکه عصبی آموزش دیده مربوط به آن نوع خطا برای تعیین فاصله محل خطا از منابع تغذیه موجود در شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی از آن استخراج شده است پیاده‌سازی و نتایج حاصل از آن ارائه شد. نتایج حاصل بیانگر

جدول (۲): ساختار و میزان خطای شبکه‌های عصبی آموزش داده شده

MSE	خطای ^۱	ساختار شبکه عصبی	نوع خطا
۰/۰۱۳۸۹۴۵	[۶ ۶ ۴]		خطای سه فاز متقاضان
۰/۰۰۳۱۴۸۴۵	[۶ ۵ ۴]		خطای تکفاز به زمین
۰/۰۰۰۴۱۹۶۵۸	[۶ ۷ ۴]		خطای دو فاز به هم
۰/۰۰۰۷۶۳۵۲۴	[۶ ۷ ۴]		خطای دو فاز به هم به زمین

همان گونه که ملاحظه می‌شود میزان خطای شبکه‌های عصبی، پس از آموزش حداقل ۲۰ متر است. لذا با توجه به اینکه طول خطوط در شبکه مذکور ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده و در سیستم‌های حفاظت شبکه‌های توزیع هدف تشخیص خطی است که خطا بر روی آن اتفاق افتاده است، می‌توان نتیجه گرفت که روش مذکور از خطای قابل قبولی برخوردار است و با بهره‌گیری از این روش می‌توان سیستم‌های حفاظتی هوشمند را برای شبکه‌های توزیع دارای DG طراحی نمود.



3- N. Rezaei, M.-R. Haghifam, "Protection scheme for a distribution system with distributed generation using neural networks," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 30, Issue 4, May 2008, pp. 235-241.

۴- سید علی محمد جوادیان، محمود فتوحی فیروزآباد، "ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن همانگی بازبست- فیوز،" سیزدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، اردیبهشت ۱۳۸۷.

5- P. P. Barker, R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: part1-radial distribution systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 15, pp. 486-493, Apr. 2000.

6- R. C. Dugan, T. E. McDermott, "Operating conflicts for Distributed Generation interconnected with Utility Distribution Systems," IEEE Industry Applications Magazines, 19-25, Mar/Apr. 2002.

7-S.A.M. Javadian, M.-R. Haghifam, "Designing a New Protection System for Distribution Networks including DG," The 9th IET International conf. on Developments in Power System Protection, 17-20 March 2008, pp. 675-680.

8-Farzanehrafat, S.A.M. Javadian, S.M.T. Bathaee, M.-R. Haghifam, "Maintaining the Recloser-Fuse Coordination in Distribution Systems in Presence of DG by Determining DG's Size," The 9th IET International conf. on Developments in Power System Protection, 17-20 March 2008, pp. 124-129.

9-Jiang J-A, Liu Y-H, Liu C-W, Yang J-Z, Too T-M, "An adaptive fault locator system for transmission lines," IEEE PES summer meeting, vol. 2, 1999. pp. 930-936.

10- A. Meshal, A. Al-shaher, M. Manar, B. Sabry, S. Ahmad, S. Saleh, "Fault location in multi-ring distribution network using artificial neural network," Electric Power Systems Research, vol. 64, 2003 pp. 87-92.

11- M. Ehsan, A. Soroudi, "An Introduction to Heuristic Search Algorithms for Optimization of Engineering Problems," International Conference on Genetic and Evolutionary Methods, USA, June 25-28, 2007.

۱۲- محمد باقر منهاج، "مبانی شبکه‌های عصبی،" انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ چهارم، پاییز ۱۳۸۶.

همچنین الگوریتم ارائه شده بر روی یک شبکه توزیع نمونه که با استفاده از نرمافزار Dig Silent مدلسازی شده و اطلاعات قدرت و دقت بالای روش پیشنهادی است و قابلیت استفاده این روش را برای استفاده در طرح‌های حفاظتی هوشمند در شبکه‌های توزیع مدرن تأیید می‌کند.

پیوست

تمام خطوط استفاده شده در شبکه نمونه از نوع HYENA، به طول یک کیلومتر و با مشخصات مشروح در جدول (۳) می‌باشد. همچنین بار پیک تمام پست‌های توزیع ۱ مگاوات و با ضریب توان ۹/۰ پس‌فاز در نظر گرفته شده است. مشخصات فنی DG های مورد استفاده نیز در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۳): مشخصات فنی هادی

نام هادی	نوع	سطح مقطع	
		ACSR	HYENA
	R (Ω/km)	126 mm ²	0.303
	X (Ω/km)		0.3383
	R_0 (Ω/km)		0.4509
	X_0 (Ω/km)		1.5866
مشخصات الکتریکی	I _n (A)		250

جدول (۴): مشخصات فنی DG

Machine Type	IEC 909	Salient Pole Series 1	
Voltage (kV)	20	X'd (pu)	0.256
Pn (MW)	2.4	X"d (pu)	0.168
PFn	0.8	X0 (pu)	0.1
Connection	YN	X2 (pu)	0.2
Xd (pu)	1.5	R0=R2 (pu)	0
Xq (pu)	0.75	Rstr (pu)	0.504

مراجع

- 1-S.A.M. Javadian, M.-R. Haghifam, "Protection of Distribution Networks in Presence of DG Using Distribution Automation System Capabilities," Proc. 2008 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 20-24 July 2008.
- 2- S.A.M. Javadian, and M.-R. Haghifam, "Implementation of a new protection scheme on a real distribution system in presence of DG," Proc. POWERCON 2008 and 2008 IEEE Power India Conference, 12-15 October 2008, New Delhi, India (Accepted).



13- S. Haykin, "Neural Networks a comprehensive foundation," Second edition, Prentice-Hall, Inc. 1999.

14- K. Y. Lee, M. A. El-Sharkawi, "Modern Heuristic Optimization Techniques, Theory and Applications to Power Systems," John Wiley & Sons Inc., 2008.

آقای سید علی محمد جوادیان مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق - قدرت به ترتیب در سال ۱۴ از دانشکده فنی دانشگاه تهران و سال ۱۶ از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ نمود و از سال ۱۶ تحصیلات خود را در این رشته و در مقطع دکترای تخصصی در دانشگاه آزاد تهران آغاز کرد. ایشان از سال ۱۴ همکاری خود را با شرکت قدس نیرو به عنوان کارشناس مطالعات سیستم شروع نموده و از سال ۱۶ در کنار ادامه همکاری با شرکت، به عضویت هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی نیز درآمد. مهمترین زمینه‌های علاقمندی آقای جوادیان حفاظت شبکه‌های قدرت، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت منابع تولید پر اکنده و استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در اتوماسیون شبکه‌های توزیع می‌باشد.

Email:

ajavadian@ghos-niroo.com
s.a.m.javadian@gmail.com



اثر جداکننده ارتعاشی بر رفتار سازه‌ای تکیه گاه توربوزنراتور در نیروگاه‌های برقابی

جعفر عسکری

مدیر گروه سد و نیروگاه - مدیریت ارشد مهندسی سازه‌های آبی

واژه‌های کلیدی: سازه نیروگاه برقابی، سازه تکیه گاه توربین، جداکننده ارتعاشی، تحلیل دینامیکی

چکیده:

در طراحی نیروگاه‌های برقابی، یکی از مهمترین قسمتها، طراحی سازه ساختمان نیروگاه است. در طراحی سازه‌ای نیروگاه، محاسبات مربوط به تکیه گاه واحدهای توربوزنراتور، به لحاظ اعمال انواع بارگذاری‌های مختلف دینامیکی و استاتیکی به عنوان یک قسمت خاص باید مورد توجه ویژه قرار گیرد. نیروهای دینامیکی و ارتعاشی ناشی از جریان‌های گردابی بوجود آمده از چرخش پرهای توربین، عدم تطابق فاکتورهای طراحی توربین و جرم‌های نابالائی در مجموعه توربین و زنراتور، اثرات لرزه‌ای زیادی بر روی این قسمت از سازه نیروگاه می‌گذارد. در این مقاله با منظور نمودن جداکننده‌های ارتعاشی لاستیکی HDRB، به بررسی رفتار لرزه‌ای سازه تکیه گاه واحدهای نیروگاهی پرداخته شده است.

۱- مقدمه

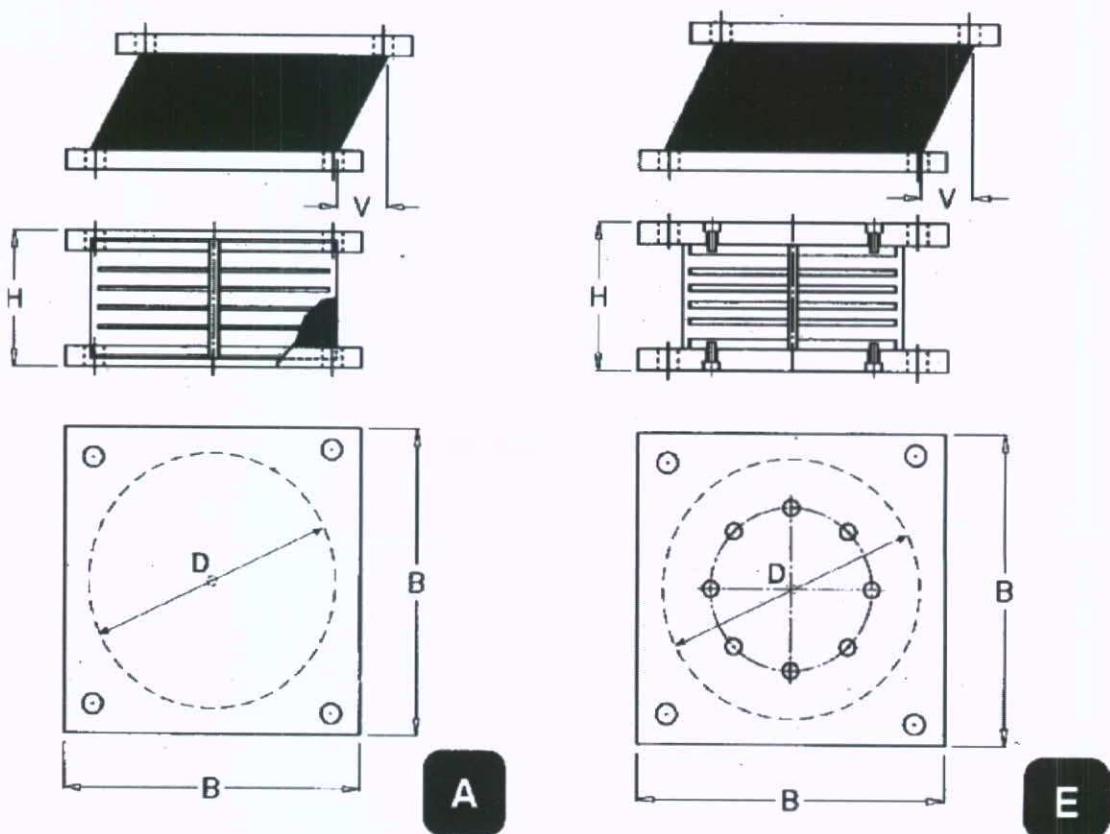
هدف از اعمال جداکننده‌های ارتعاشی، کاهش فرکانس طبیعی سازه، طراحی بهینه یاتاقانها و کاهش هزینه ساخت سازه تحتانی می‌باشد. جداسازی ارتعاشی در واقع نصب سیستمی است که سازه و یا ملحقات آن را از حرکات لرزه‌ای مخرب زمین و تکیه گاه جدا می‌سازد. در اکثر موارد جداگرها ارتعاشی در قسمت تحتانی سازه نصب می‌گردد و بهمین علت بنام جداگرها پی نامیده می‌شوند. مهمترین امتیاز جداگرها ارتعاشی در این است که با انعطاف‌پذیری زیاد خود، زمان تناوب طبیعی سازه را افزایش می‌دهند. این پدیده یعنی افزایش زمان تناوب سازه موجب می‌گردد که از عمل تشديد و یا از نزدیک شدن به حالت تشديد اجتناب شود و در نهایت پاسخ سازه کاهش یابد.

انرژی پتانسیل آب، به عنوان یک منبع انرژی سنتی و متدالو، مبتنی بر جریان چرخش طبیعی آب و سقوط آن از یک نقطه بلند در سطح زمین به نقطه پایین‌تر می‌باشد. به منظور تبدیل این انرژی پتانسیل به انرژی الکتریکی باید جریان آب وارد دستگاه توربین شده و آن را به حرکت درآورد تا انرژی آب به انرژی مکانیکی تبدیل و زنراتور را که به توربین وصل می‌باشد به حرکت در آورده و در نهایت با چرخش زنراتور، تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی صورت گیرد.

مسئله ارتعاش در نیروگاه برقابی به دلیل شکل و هندسه نیروگاه و رفتار نیروی ارتعاشی وارد بر آن یک مسئله پیچیده می‌باشد. نیروهای ارتعاشی وارد بر نیروگاه سبب ایجاد شتاب‌های افقی و قائم زیادی بر سازه نیروگاه بهویژه پی واحدهای توربوزنراتور می‌شود. سازه تکیه گاه زنراتور را از نقطه نظر هندسی می‌توان به چهار دسته سایبانی، استوانه‌ای، قاب صلب و سقفی تقسیم‌بندی نمود.

علاوه بر تقسیم‌بندی فوق می‌توان تکیه گاه را از دیدگاه فرکانس طبیعی به دو گروه تکیه گاه فرکانس پایین و تکیه گاه فرکانس بالا، طبقه‌بندی نمود. به طوری که تکیه گاه فرکانس پایین سازه‌ای است که فرکانس طبیعی آن کمتر از فرکانس دوران مашین است و تکیه گاه فرکانس بالا سازه‌ای است که فرکانس طبیعی آن بیشتر از فرکانس دوران مашین باشد.





شکل (۱): انواع جداکننده HDRB

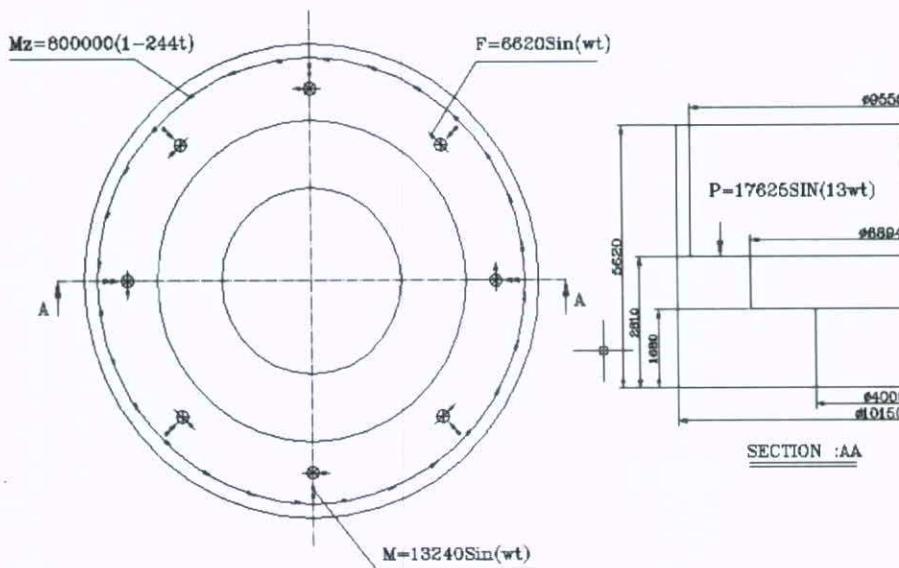
۳- نیروهای ارتعاشی اعمالی بر سازه

سه نیروی ارتعاشی مؤثر بر سازه تکیه‌گاه، نیروی رانش هیدرولیکی، نیروهای ناشی از قطعات دورانی بالائی بالا نشده و پیچش اتصال کوتاه می‌باشد. البته شکل گردآبی بوجود آمده در پشت لبه‌های پرهای توربین نیز بر ارتعاش ماشین تأثیر می‌گذارد، که برای مقدار و فرکانس آن هنوز رابطه خاصی ارائه نشده است (شکل ۲). لازم به ذکر است که ضربه قوچ بوجود آمده در لوله تحت فشار و لوله مکش بطور مستقیم روی تکیه‌گاه استوانه‌ای ژنراتور اثر نمی‌گذارد.

رانش هیدرولیکی عبارت است از فشار آبی که بطور عمود بر رانر توربین به استوانه تکیه‌گاه ژنراتور منتقل می‌شود. منشاء نیروی رانش هیدرولیکی فشار کاور توربین، مکش ناشی از تخلیه آب از لوله مکش، عکس العمل جت آب تخلیه شده از رانر توربین و اختلاف نیرویی است که بوسیله محفظه آبیندی ایجاد می‌گردد. مقدار این نیرو در توربین‌های فرانسیس برابر با:

$$P_z = \pi e / 4 \cdot d^2 H_{\max} \quad (1)$$

- مهمترین ویژگی‌های جداکننده HDRB عبارت است از:
- قابلیت میرایی زیاد به خاطر گستردگی بودن ناحیه زیر حلقه هیسترزیس.
- سختی افقی بالا به گونه‌ای که اثرات برخی از بارهای ارتعاشی که به صورت غیر دائمی اعمال می‌شود کاهش چشمگیر می‌یابد.
- سختی عمودی بالا، این ویژگی در جلوگیری از حرکت‌های نوسانی و غلبه بر نیروهای ناشی از بار مرده و بارهای عمودی زلزله بسیار مفید می‌باشد.
- دارا بودن عمر متوسط بیش از ۶۰ سال.
- ضمناً نحوه ثابت نمودن این جداگرها در سازه اصلی براساس اصطکاک نمی‌باشد و مشخصات سختی و میرایی آنها وابسته به مدول الاستیک، ابعاد صفحه تکیه‌گاه، ارتفاع و تعداد لایه‌های لاستیک می‌باشد. حداکثر جایگایی افقی و عمودی مجاز جداکننده به نحوه مهار جداکننده و سیستم مهاری بستگی دارد و سختی این جداگرها در حالت کارکرد عادی به حدی است که از حرکت بیش از حد سازه در زمان زمین‌لرزه‌های شدید و شوک‌های ناگهانی جلوگیری به عمل آورد.



شکل (۲): نیروهای ارتعاشی اعمالی بر سازه

ماشین بر حسب دور در دقیقه است. در حالت اتصال کوتاه یا شکست مکانیکی، جریان ژنراتور ناگهان تا چند برابر مقدار عادی زیاد می‌شود و به تبع آن ممان‌های اعمالی به سازه نیز چند برابر می‌شود. مقدار این ممان پیچشی (ممان پیچشی اتصال کوتاه و یا به طور مختصر پیچش اتصال کوتاه) تا پنج برابر مقدار ممان پیچشی در حالت عادی است.

با توجه به نوع توربین، وضعیت سازه تکیه گاه و دستورالعمل بهره برداری می‌توان انواع حالات بارگذاری را جهت تحلیل مدل در نظر گرفت ولی در حالت کلی یکی از مهمترین ترکیبات بار شامل بارهای دینامیکی و بار مرده با ضریب یک می‌باشد، برای تحلیل دینامیکی سازه مذکور جداگانه HDSA400 با سختی افقی ۴۸° که توانایی تحمل ۸۵۰ کیلونیوتون نیرو را دارد انتخاب شده است.

کل سازه یعنی دیوارهای توربین و نشیمنگاه ماشین توسط المان‌های محدود سه‌بعدی مدل شده است و ژنراتور در ۸ نقطه روی صفحاتی که به تکیه گاه متصل شده است، قرار می‌گیرد. اگر چه استوانه تکیه گاه از طبقات مختلف تشکیل شده، اما به دلیل عملکرد صلب این طبقات، از اثرات آنها در تحلیل صرف نظر شده است.

نحوه المان‌بندی به گونه‌ای است که با ایجاد المان‌هایی که اکثراً مکعبی و منظم می‌باشند، جواب‌های دقیق‌تری حاصل گردد. شکل (۳) آرایش استقرار جداگانه‌ها را بر روی سازه تحتانی نشان میدهد.

در این رابطه، P_z نیرویی فشار آب بر حسب کیلوگرم نیرو، d قطر لبه پره رانر بر حسب متر، H_{max} حداکثر هد خالص بر حسب متر و e فاکتور رانش است که تابعی از سرعت ویژه توربین می‌باشد.

قطعات دورانی اصلی یک نیروگاه برق‌آبی، دارای نابالانسی‌هایی می‌باشند که حتی پس از اعمال پروسه بالانس، از بین نمی‌رود. منشاء این نابالانسی‌ها جرم یا جرم‌های خارج از مرکز می‌باشد. حداکثر مقدار نیروی نابالانسی از رابطه (۲) حاصل می‌شود:

$$F_{max} = m \cdot e \cdot \omega^2 \quad (2)$$

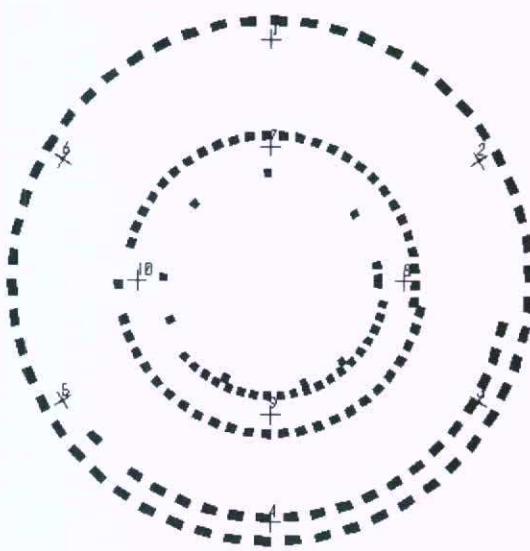
در این رابطه m جرم قطعات دورانی بر حسب کیلوگرم، e خروج از مرکزیت قطعات دورانی از محور دوران بر حسب متر و ω فرکانس دورانی ماشین بر حسب رادیان بر ثانیه می‌باشد. این نیرو نیز، بصورت‌هارمونیک با فرکانس ارتعاشی مساوی با فرکانس ماشین بوده و محل اعمال آن مرکز نقل قطعات دورانی می‌باشد.

$$F = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

در حالتی که ماشین به طور عادی کار می‌کند، نیروهای مغناطیسی میان روتور و استاتور بر هم کنش دارند. این برهم کنش، لنگرهای پیچشی مشخصی را به سازه تکیه گاه در محل اتصال استاتور به سازه وارد می‌کند که مقدار آن برابر است با:

$$M = k_w \div f \quad (4)$$

k_w بیانگر ظرفیت ماشین بر حسب کیلووات و f سرعت دوران

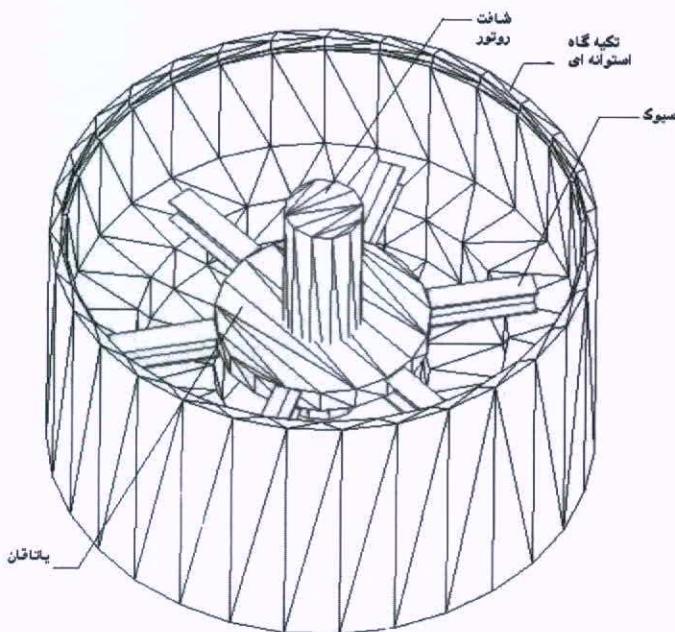


شکل (۳): آرایش استقرار جداکننده‌ها بر روی سازه تحتانی

در نمونه مورد بررسی مقدار نیروی فشار آب (P_z) برای توربین با ظرفیت ۶۰ مگاوات که بتوان آن را در تکیه‌گاه مطابق شکل (۵) نصب نمود ۱۴۱ تن می‌باشد. نیروی رانش هیدرولیکی P یک نیروی پریدیک می‌باشد که فرکانس آن با حاصلضرب تعداد پره‌های رانر در سرعت دوران ماشین به دست می‌آید. با در نظر گرفتن ۱۳ پره برای توربین مورد تحلیل، نیروی رانش $P = 141 \sin(13\omega t)$ را خواهیم داشت که مطابق شکل (۶) به سازه اعمال می‌شود.

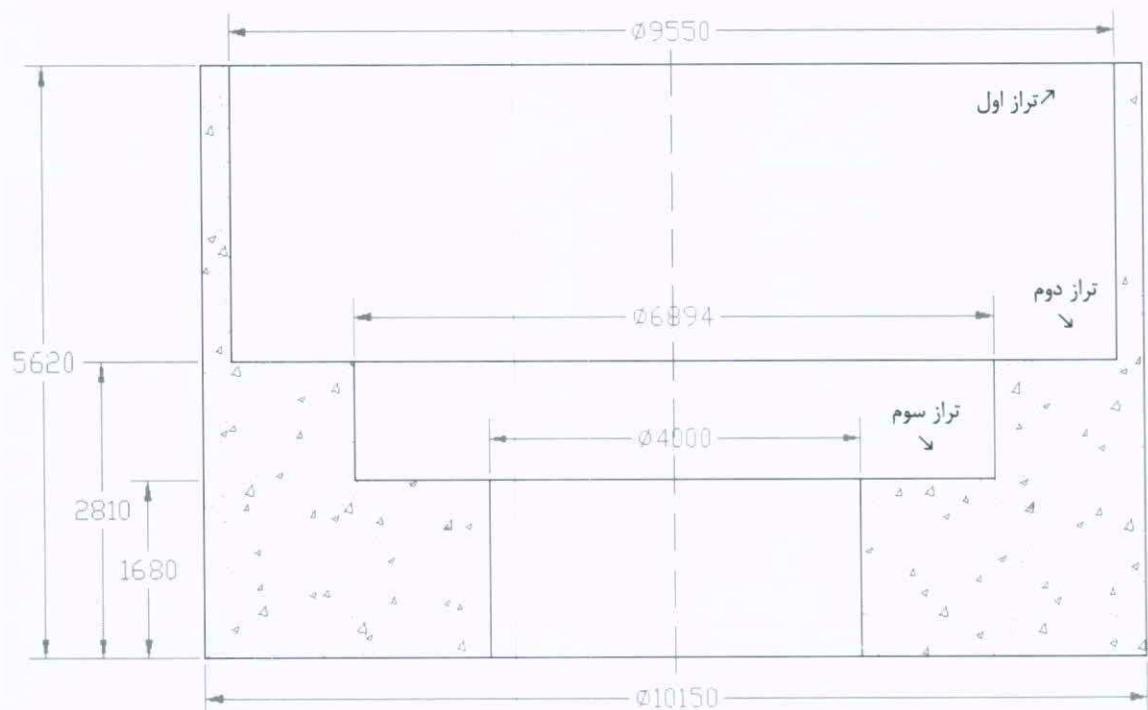
۴- مدل تحلیلی

به عنوان نمونه مورد تحلیل یک تکیه‌گاه استوانه‌ای، به دلیل متداول‌تر بودن نسبت به دیگر انواع تکیه‌گاه‌های توربین‌ترتورها، مطابق شکل (۴) در نظر گرفته شده است. در این شکل قسمت‌های اصلی تشکیل‌دهنده سیستم شامل شافت روتور، اسپوک و جداره استوانه‌ای تکیه‌گاه نشان داده شده است. همچنین در شکل (۵) ابعاد و شکل هندسی مقطع تکیه‌گاه مشخص شده است.



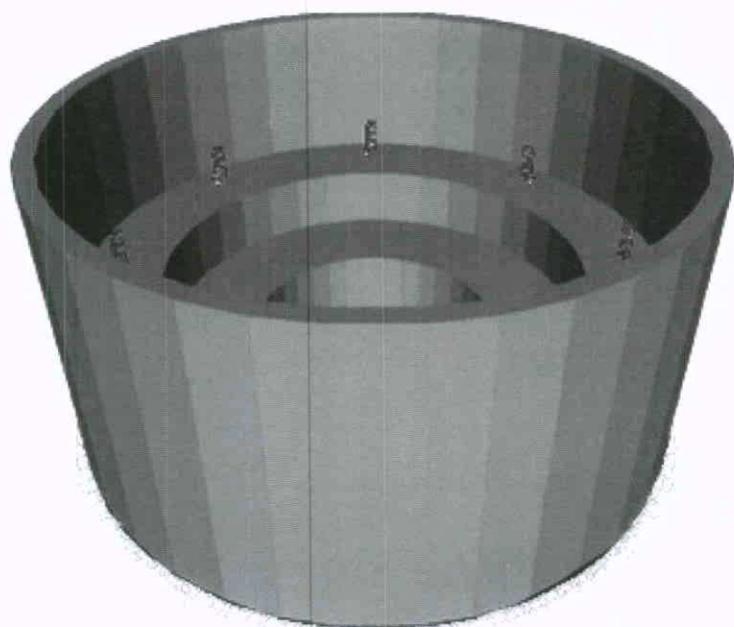
شکل (۴): آرایش شماتیک تکیه‌گاه استوانه‌ای





شکل (۵): مقطع تکیه گاه توربوزناتور (ابعاد بر حسب mm می باشد)

نیروی نابالанс F با منظور داشتن حداکثر خروج از مرکزیت $\frac{1}{2}$ میلیمتر و سرعت دوران ماشین ۳۷۵ دور در دقیقه و جرم



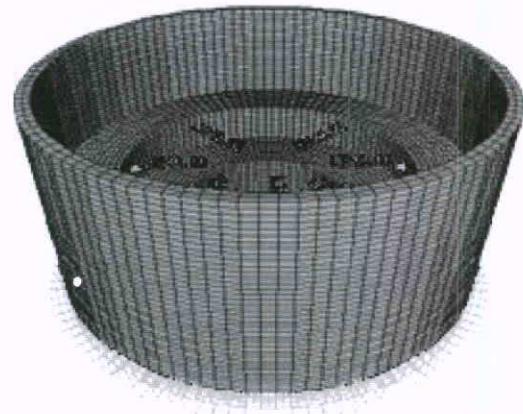
شکل (۶): نیروی P اعمال شده بر سازه

قطعات دورانی $\frac{1}{4}$ تن-محذور ثانیه بر متر معادل $F = 6/6 \sin\omega t$ خواهد شد که با ضرب آن در بازوی دوران نسبت به مرکز ثقل تکیه گاه (۲ متر)، لنگر حاصله برابر $M = 13/2 \sin\omega t$ به صورت مماس نتیجه می شود.





شکل (۸): نیروی M اعمال شده بر سازه



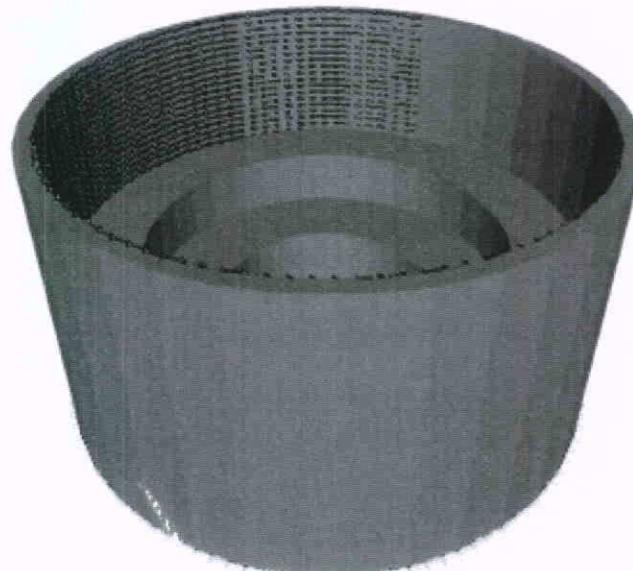
شکل (۹): نیروی F اعمال شده بر سازه

صورت محزا و ترکیبی در سه تراز سازه مطابق شکل (۵) با درصد میرایی‌های مختلف انجام گردیده است. در اشکال (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نمودارهای طیف شتاب-فرکانس برای نیروهای ترکیبی با درصد میرایی مختلف در رقوم یک، دو و سه نشان داده شده است.

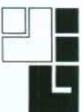
از تحلیل‌های انجام گرفته مشاهده گردید که تأثیر نیروی رانش P و نیروی نابالانس F در حصول نمودار شتاب فرکانس تحت بار ترکیبی در جهت افقی بسیار بیشتر از ممان پیچش اتصال کوتاه می‌باشد. همچنین تأثیر میرایی در نمودار شتاب-فرکانس تحت بارگذاری ناشی از ممان پیچش اتصال کوتاه چشمگیر نمی‌باشد.

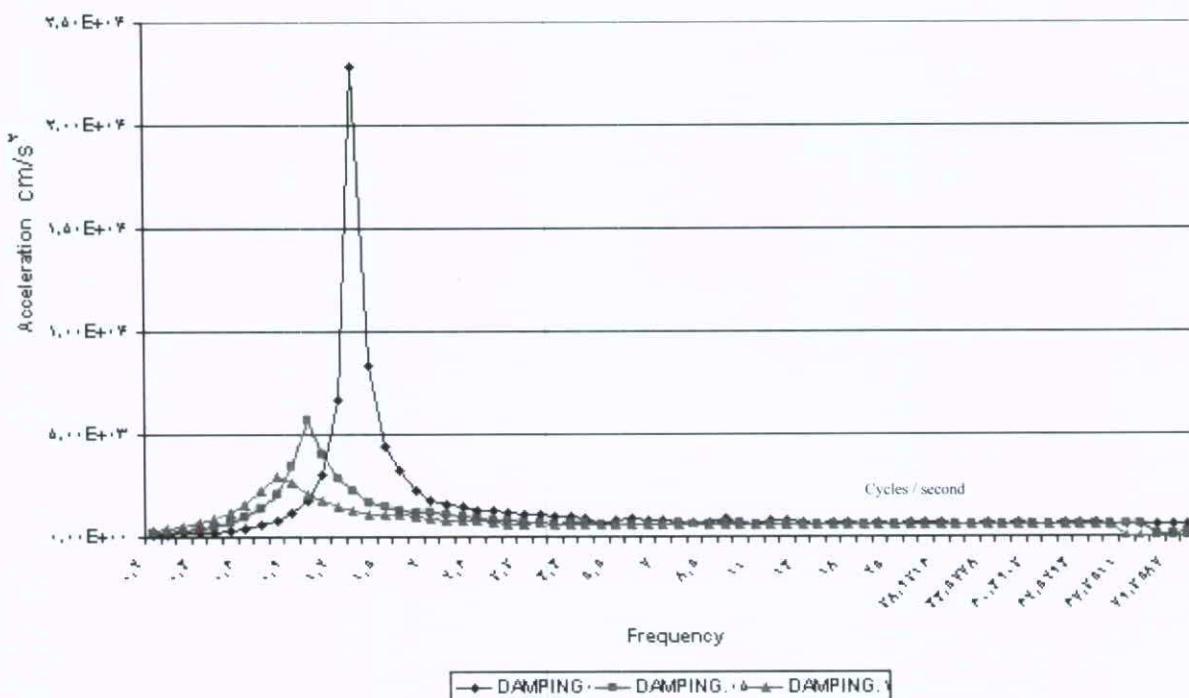
با توجه به ظرفیت نیروگاه $W = 60000 \text{ kW}$ و سرعت دوران 375 دور در دقیقه، ممان پیچشی برابر 160 تن-متر ($M_z = 60000/375 = 160$) به دست می‌دهد که با توجه به اینکه ممان پیچش اتصال کوتاه تقریباً 5 برابر این مقدار است، مقدار ممان پیچشی اتصال کوتاه 800 تن-متر خواهد شد. بارگذاری ناشی از این ممان برای نیروگاه مورد نظر به صورت متشابه با زمان اعمال یک‌چهارم پریود عادی ماشین به سیستم اعمال شده است (شکل ۹).

۵-نتیجه گیری حاصل از تحلیل
تحلیل مدل سازه تکیه‌گاه، تحت بارگذاری‌های تشریح شده به

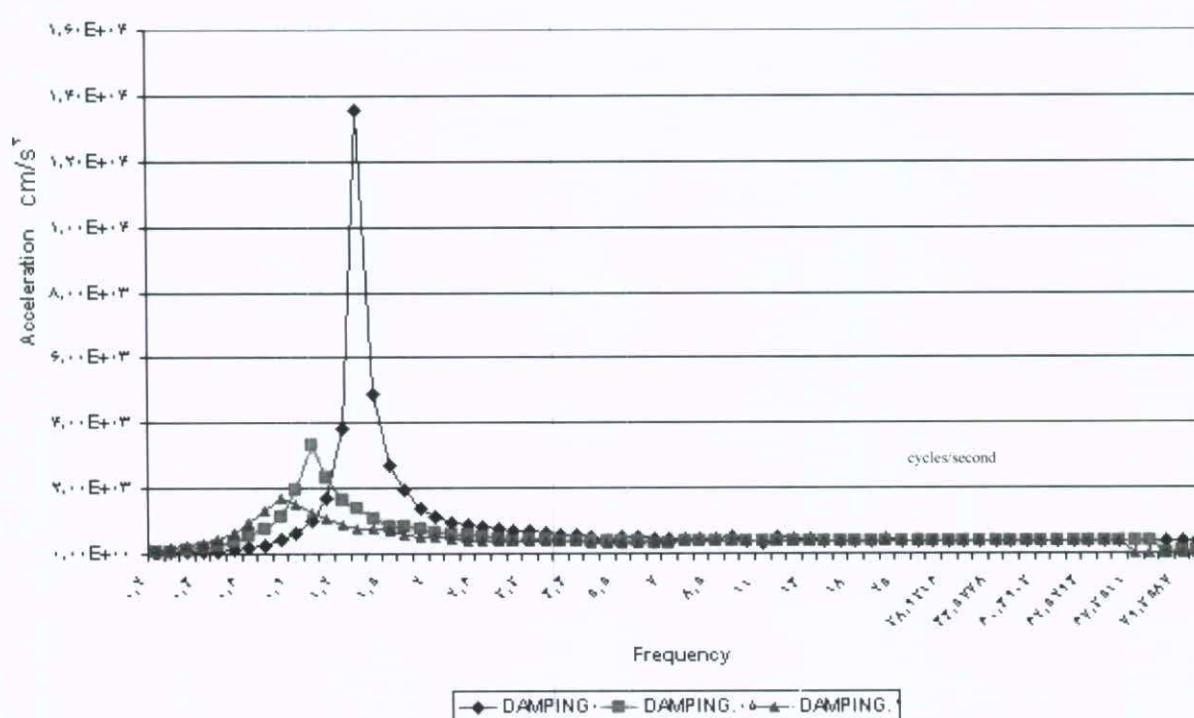


شکل (۹): نیروی ناشی از اعمال ممان پیچشی اتصال کوتاه اعمالی بر سازه





شکل (۱۰): نمودار شتاب فرکانس در تراز اول یک-بار ترکیبی در جهت افقی



شکل (۱۱): نمودار شتاب فرکانس در تراز دوم یک-بار ترکیبی در جهت افقی

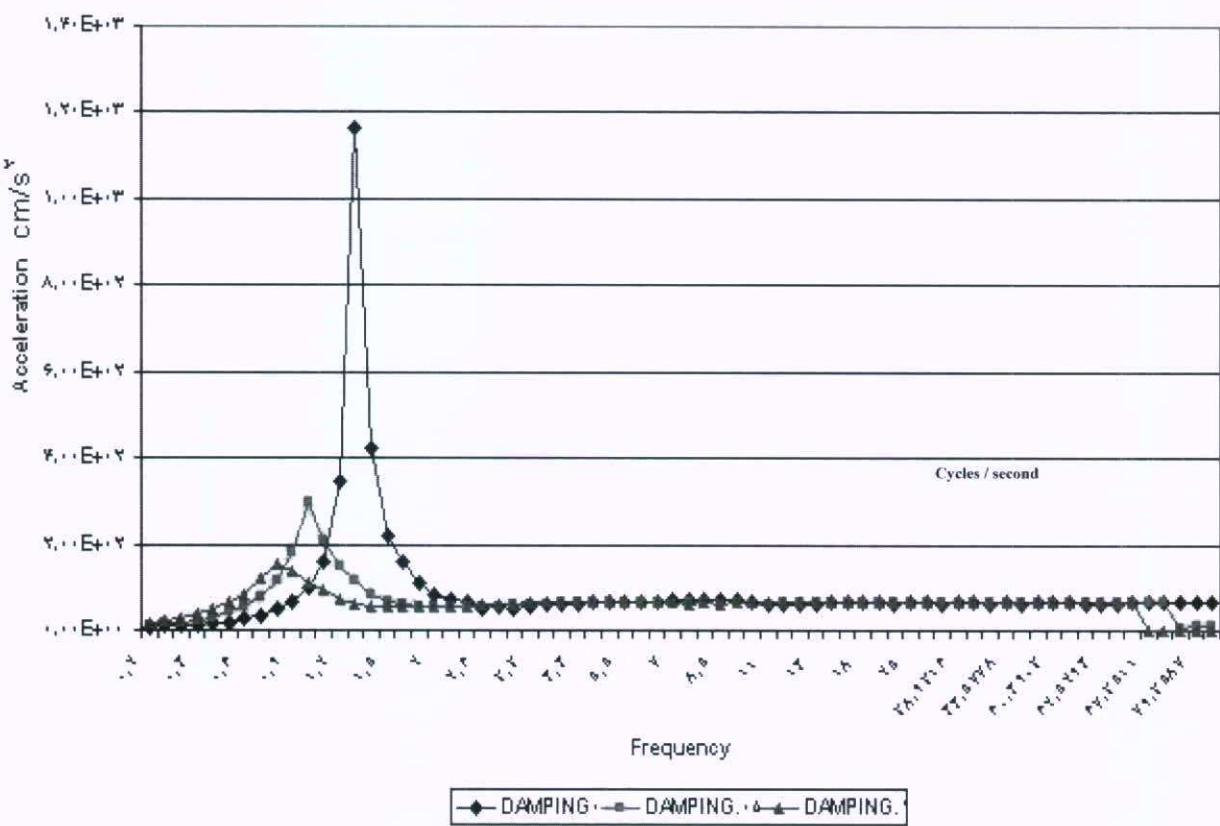


سازه جداسازی شده می‌باشد). ملاحظه می‌شود که وجود جداکننده سبب افزایش پریود سازه و به تبع کاهش فرکانس طبیعی آن می‌گردد.

همچنین مقایسه شتاب‌های ایجاد شده در سازه تحت سه تراز مذکور در دو حالت سازه ثابت و سازه جدا شده با جداگرهای ارتعاشی در شکل (۱۳) ارائه شده است. در این شکل خطوط ناپیوسته مربوط به سازه ثابت می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌شود در صورت استفاده از جداکننده‌های ارتعاشی در تراز اول مقادیر شتاب کاهش قابل توجهی را دارد. در حالیکه این مقادیر در رقوم دو و سه در دو حالت سازه ثابت و سازه جداسازی شده به یکدیگر نزدیک‌تر می‌باشند.

بر اساس نتایج حاصله مشخص گردید که تأثیر چشمگیر نیروهای نبلالنسی ماشین در شتابهای ایجاد شده دلیل اصلی استفاده از سیستم (Centrifugal Pendulum Vibration Absorbers) CPVA جهت کنترل آن می‌باشد. این سیستم‌ها جرم‌های متumerکزی هستند که روی روتور به گونه‌ای تعییه می‌شوند تا مسیری را که از قبل تعیین شده بپیمایند و با نوسان بر خلاف نوسانات پیچشی موجود، سبب کاهش ارتعاشات پیچشی روتور گردند.

در جدول (۱) پریود و فرکانس‌های طبیعی ده مود اول ارتعاشی سازه ثابت و سازه جداسازی شده با جداگرهای ارائه شده است. (ردیفهایی از جدول که پرنگ می‌باشد، مربوط به

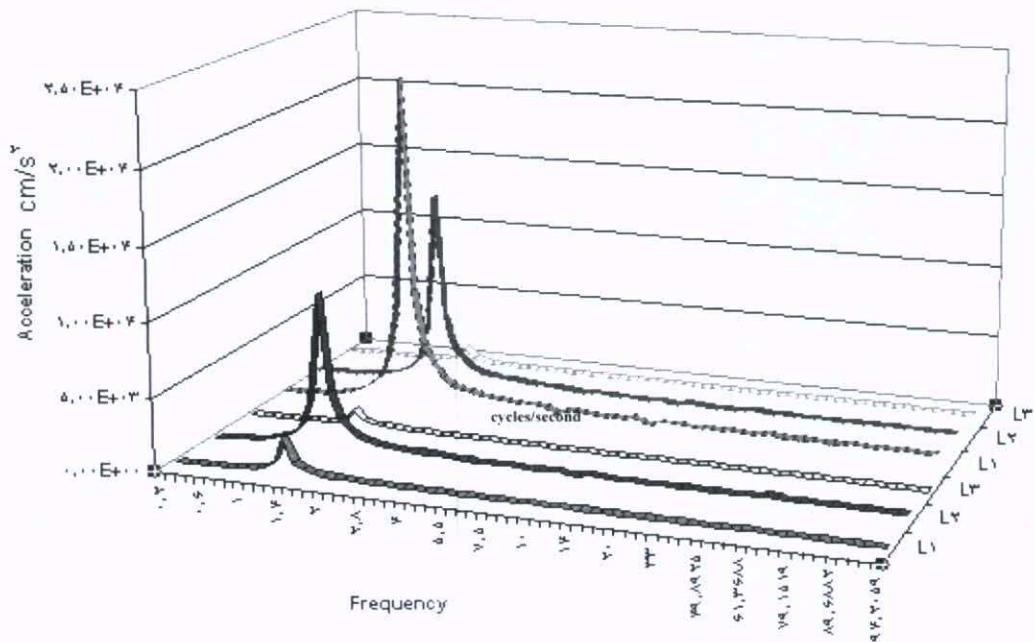


شکل (۱۲): نمودار شتاب فرکانس در تراز سوم - بار ترکیبی در جهت افقی



جدول (۱): فرکانس‌های طبیعی سازه تکیه‌گاه در ۱۰ مورد اول ارتعاش

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue	
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²	
MODAL	Mode	۱	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۸.۸۷E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۱	۰.۲۴۹۲	۴.۷۹۸۸۰۱۷۷۹	۷.۹۸۸۲۰۷۹۹	۹.۱۸۹۲۰۴۹۹	
MODAL	Mode	۲	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۸.۸۷E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۲	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۳	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۳	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۴	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۴	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۵	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۵	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۶	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۶	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۷	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۷	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۸	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۸	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۹	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۹	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	
MODAL	Mode	۱۰	۰.۲۱۲	۴.۷۹E+۰۱	۷.۹۹E+۰۲	۹.۸۹E+۰۲	
MODAL ISOLATED	Mode	۱۰	۰.۲۶۷۱۳	۴.۷۹۱۵۹۸۰۷۸	۷.۹۲۱۱۸۹۹	۹.۸۰۷۸۰۹۹	

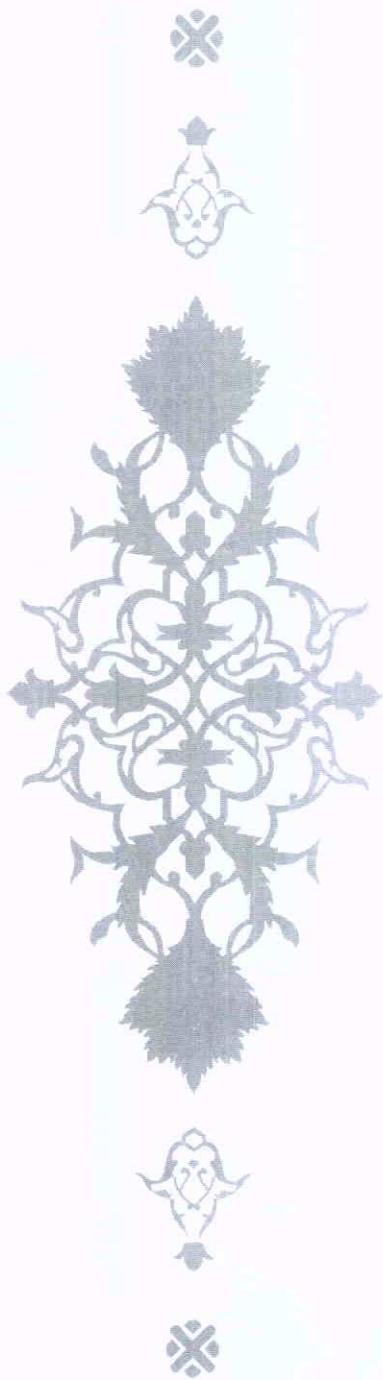


شکل (۱۳): نمودار شتاب افقی فرکانس سازه تکیه‌گاه در بارگذاری ترکیبی
= تراز اول، L_2 = تراز دوم، L_3 = تراز سوم)



TW-WIEN کشور اتریش می باشد. ایشان جمعاً ۲۰ سال سابقه کار دارند که ۱۰ سال آن در قدس نیرو است. علاقمندی آقای عسگری کار روی طراحی سازه های فولادی و تهیه مدل های عددی در تحلیل سیستم های سازه ای است.

Email:
jasgari@ghods-niroo.com



- 1- Lundstrom. Mattias," Measurement and Analysis of Damping in Hydropower Units", Lulea university , London, 2005.
- 2- Ebisawa, K. ,” Progress of a Research Program on Seismic Base Isolation of Nuclear Components ”, Nuclear Engineering and Design 198 (2000) 61–74
- 3- Bong Yoo,” Seismic Base isolation Technologies for Korea Advanced Liquid Metal Reactor”, Nuclear Engineering and Design 199 (2000) 125–142.
- 4- Micheli, I., “Investigation upon the Dynamic Structural Response of a Nuclear Plant on a Seismic Isolating Devices”, Nuclear Engineering and Design 228 (2004) 319–343.
- 5- Lundstrom. Mattias,”Influence Of Orthotropic Stiffness and Damping in Hydropower Rotors”, Lulea university , London, 2005.
- 6- Apparao,T.N.” Vibration Analysis Of Generator Supporting Barrel with Reference to Balimela Hydro-electric Power Station “ ME.Dissertation accepted by WRDTC university Roorkee 1997.
- 7- Barkan, D.D. “ Dynamic of Base abd Foundation”. Mc Grow Hill Book Company Inc., New York 1962.
- 8- سن کلایی درسنگی، جعفر عسگری مارنانی، محمد صادق روحانی منش ” تحلیل دینامیکی سازه تکیه گاه ریزانور در نیروگاه های برقی و تأثیر جدا کننده های ارتعاشی بر آن ” دانشگاه آزاد اسلامی - پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۸۵
- 9- ابوالفضل شمسایی ” نیروگاه های برقی ” انتشارات علمی، ۱۳۸۳
- 10- رحمت الله هوشمند ” تولید برق در نیروگاهها ” انتشارات شهید چمران اهواز، ۱۳۸۰
- 11- محسن تهرانی زاده ” جداسازی لرزه ای در برایر زلزله ” پژوهشگاه بین المللی زلزله، ۱۳۷۸

آقای جعفر عسگری مارنانی فارغ التحصیل مقطع کارشناسی در رشته عمران- مهندسی سازه از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۶۷ ، فارغ التحصیل مقطع کارشناسی ارشد در رشته عمران- سازه های آبی از دانشگاه تهران در سال ۱۳۶۹ و فارغ التحصیل در مقطع دکترای تخصصی در رشته مهندسی عمران- سازه مشترکاً از دانشگاه تربیت مدرس ایران و

استفاده از توربین-پمپ های بازیاب در تصفیه آب به روش اسمز معکوس

حسین حق پرست

کارشناس ارشد شیمی- شرکت مدیریت تولید برق یزد

کیهان کبیر

کارشناس ارشد مکانیک- شرکت مدیریت تولید برق یزد

محسن امیری

کارشناس ارشد مکانیک- شرکت مدیریت تولید برق یزد

چکیده

هدف این مقاله استفاده از بازیافت انرژی برای تأمین انرژی فرایند شیرین سازی آب به وسیله سیستمهای اسمز معکوس می باشد که به طور ویژه بر روی کاربرد توربین- پمپ های بازیاب انرژی در طراحی سیستمهای آب شیرین کن اسمز معکوس آب دریا تأکید دارد. تکنولوژی تصفیه آب طی نیم قرن اخیر با پیدایش سیستمهای اسمز معکوس متتحول گردیده است. با این وجود مصرف انرژی زیاد این فرایند در مقایسه با سایر فرایندهای سنتی تصفیه آب استفاده از آنرا با محدودیت مواجه نموده است. در حدود نیمی از هزینه های سیستم های آب شیرین کن اسمز معکوس هزینه مربوط به انرژی الکتریکی پمپ های فشار قوی می باشد. بنابراین استفاده از تکنیک های جهت کاهش انرژی مورد نیاز پمپ های فشار قوی سیستمهای اسمز معکوس باعث کاهش هزینه بهره برداری و نگهداری این سیستمها و استفاده گسترده تر از آنها می شود. در این مقاله جزئیات طراحی یک سیستم آب شیرین کن اسمز معکوس با کمک نرم افزار های طراحی سامانه های اسمز معکوس به تفصیل بررسی خواهد گردید. همچنین میزان انرژی مورد نیاز سیستمهای اسمز معکوس با و بدون استفاده از سیستم بازیافت انرژی، محاسبه و باهم مقایسه می گردد و میزان صرفه جویی در انرژی سیستمهای اسمز معکوس که برای بازیافت انرژی از توربوشارژرهای هیدرولیکی (توربین- پمپ بازیاب) استفاده می کند ارائه می گردد. با در نظر گرفتن یک توربین- پمپ بازیاب انرژی در طراحی سیستمهای اسمز معکوس به سادگی می توان هزینه های بهره برداری و نگهداری سیستمهای آب شیرین کن اسمز معکوس را کاهش داد. نصب چنین ابزاری در خطوط اسمز معکوس باعث کاهش مصرف انرژی به میزان ۳۰ تا ۴۵ درصد خواهد شد و هزینه سرمایه گذاری مربوط به این ابزار نیز بسته به قیمت برق در مدتی حدود ۳ سال قابل بازگشت می باشد. بنابراین استفاده از ابزارهای بازیافت انرژی که نقشی حیاتی را در تولید اقتصادی آب ایفا می کنند، جهت سیستم های اسمز معکوس آب دریا توصیه می گردد.

واژه های کلیدی: توربین- پمپ، توربو شارژر هیدرولیکی، اسمز معکوس، بازیافت انرژی

استفاده از تکنیک های شیرین سازی آبهای شور است که می تواند راه گشای مشکلات کمبود آب باشد. دو دسته عمده تکنیک های نمک زدایی که به طور گسترده استفاده می شود روش های تبخیری و روش های غشایی هستند. روش های تبخیری نظیر MSF و MED در مناطقی نظیر منطقه خاور میانه که منابع انرژی عظیمی وجود دارد، معمول می باشند. در سرتاسر دنیا ۶۶ درصد شیرین سازی با فرایند MSF انجام می گردد و در مقایسه با اسمز معکوس که تنها ۲۲٪ استفاده می گردد،

۱- مقدمه

نیاز به آب در سرتاسر دنیا هم به دلیل رشد جمعیت و هم به دلیل رشد صنعت به طور فرایندهای افزایش یافته است و منابع آب به سرعت در حال تهی شدن می باشند. از سال ۱۹۹۰ بیش از ۸۰ کشور با مشکل کمبود آب مواجه هستند. این در حالی است که بیش از ۷۰ درصد سطح زمین پوشیده از آب است که ۹۷/۵ درصد آن را اقیانوسها تشکیل می دهد و تنها یک درصد از این منابع جهت استفاده، مناسب می باشد. تنها راه حل،

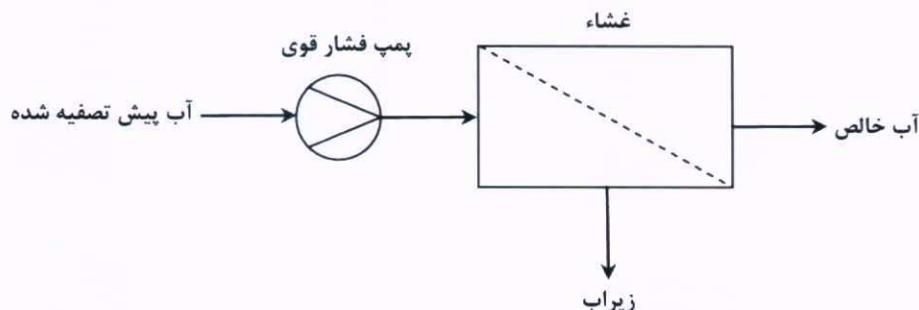
اسمز معکوس فرایندی است که از نظر انرژی پر مصرف می‌باشد. هزینه‌های یک سیستم اسمز معکوس که شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری می‌باشد در جدول (۱) طبقه‌بندی گردیده است. بخش مهمی از هزینه بهره‌برداری سیستمهای اسمز معکوس انرژی الکتریکی است که با توجه به اینکه نیاز است غشاهای اسمز معکوس در فشارهای بالا بهره‌برداری شوند، برای پمپهای تغذیه مصرف می‌شود. با این وجود افت فشار در سیستمهای اسمز معکوس کم می‌باشد و جریان زیراب از آخرین غشاء با فشاری معادل ۸۰ تا ۹۰ درصد فشار تغذیه خارج می‌شود که پس فشار به وسیله شیر کنترل زیراب تأمین می‌شود. در صورت هدایت زیراب سیستم اسمز معکوس به آبهای سطحی، باید این فشار اضافی قابل از تخلیه اتلاف گردد. فشاری که در جریان زیراب از طریق شیر کنترل زیراب اتلاف می‌گردد از تلف شده است، چون در سیستم تصفیه هیچ کار مفیدی انجام نمی‌دهد. به دلیل اینکه مقدار زیراب هم از نظر انرژی و هم از نظر حجم، زیاد می‌باشد، مقدار انرژی تلف شده نیز قابل توجه است.

بیش از ۹۰٪ انرژی صرف شده برای فشاردار کردن جریان زیراب قابل بازیافت می‌باشد. تجهیزات بازیافت انرژی برای اولین بار برای سیستمهای آب شیرین کن آب دریا استفاده شدند چون این سیستمها در فشارهای بسیار بالا و بازیافت پایین Recovery بهره‌برداری می‌شوند که باعث اتلاف انرژی زیادی می‌گردد.

خاورمیانه بزرگترین بازار شیرین‌سازی آب دریا می‌باشد. طی نیم قرن اخیر با ورود سیستمهای اسمز معکوس به بازار نمکزدایی از آب، این صنعت متحول گردیده است. اسمز معکوس فرایند جداسازی است که نیروی پیشران آن فشار می‌باشد و آب شور با فشار از طریق نفوذ از درون یک غشاء نیمه تراوا خالص‌سازی می‌گردد. این فرایند بستگی به مقاومت غشاء و غلظت ناخالصیهای آب دارد. فلو دیاگرام کلی یک سیستم اسمز معکوس در شکل (۱) نشان داده شده است. اولین مرحله فرایند یک سیستم اسمز معکوس پیش تصفیه می‌باشد. پیش تصفیه برای سیستمهای اسمز معکوس معمولاً شامل مراحلی نظیر کلریناسیون برای جلوگیری از خطر بیوفولینگ آب، فیلتراسیون از درون فیلترهای مولتی مدیا برای حفاظت غشاهای و پمپهای فشار قوی از ذرات معلق، دکلریناسیون برای حذف مواد اکسیده استفاده شده برای ضد عفونی، تزریق مواد ضد رسوب و تزریق اسید برای جلوگیری از فولینگ غشاهای و فیلتراسیون از درون فیلترهای کارتریج برای حفاظت پمپهای فشار قوی و غشاهای از ذرات معلق، می‌باشد. بعد از پیش تصفیه آب با فشار به درون محفظه‌ای که درون آن غشاء قرار دارد، رانده می‌شود. بخشی از آب از غشاء عبور می‌کند و از آنجاییکه فقط آب خالص می‌تواند از غشاء عبور کند، به این ترتیب آب خالص تولید می‌گردد. بخشی از آب که ناخالصیها در آن تغليظ شده‌اند به عنوان زیراب تحت فشار از سیستم دفع می‌گردد.

جدول (۱): طبقه‌بندی هزینه‌های سیستمهای اسمز معکوس

درصد	نوع هزینه
۳۷	سرمایه گذاری
۴۴	انرژی الکتریکی
۷	نگهداری
۳	مواد مصرفی
۴	کارگر
۵	ممبران



شکل (۱): فلو دیاگرام کلی یک سیستم اسمز معکوس

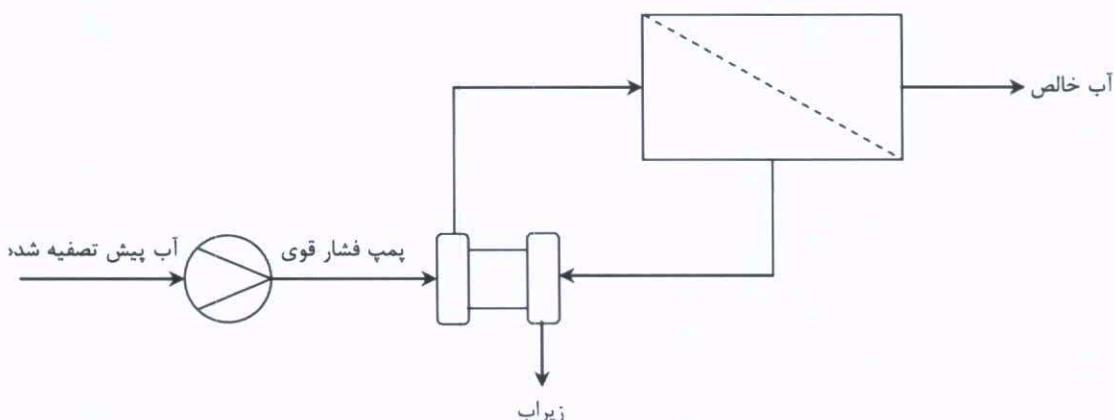
داشته با این استثنا که یک توربین - پمپ بازیاب انرژی بین پمپ تغذیه و محفظه غشاء نصب شده است. علاوه بر ایجاد فشار به جریان تغذیه به وسیله ابزار بازیافت انرژی کاربرد دیگری نیز برای ایجاد فشار بین مراحل مختلف می‌باشد. با استفاده از ابزار بازیافت انرژی برای تقویت فشار بین مراحل، نیاز به بوستر پمپ نیز حذف می‌گردد که می‌تواند بخشی از هزینه سرمایه‌گذاری بازیافت انرژی را جبران کند.

۲- توربین - پمپهای بازیاب

توربین - پمپهای بازیاب برای فرایندهای صنعتی که یک سیال تحت فشار بالا به فرایند پمپ می‌شود و حداقل بخشی از آن سیال از فرایند در فشار بالا تخلیه می‌گردد، قابل استفاده می‌باشد. توربین در جهتی قرار دارد که زیراب پر فشار فرایند را دریافت می‌کند، این توربین دارای پره‌هایی می‌باشد که بر روی یک شافت قرار دارند و سیال تخلیه شده با این پره‌ها درگیر شده و باعث می‌شود تا هم پره و هم شافت بچرخد. چرخش شافت توربین باعث چرخش پره و شافت پمپ می‌شود و به این طریق هم از پمپ برای تأمین سیال تحت فشار به فرایند استفاده می‌شود و هم انرژی سیال (که هدر می‌رفت) بازیافت می‌شود (شکل ۳).

روند پیشرفتهای اخیر در دستگاههای بازیافت انرژی و افزایش یافتن قیمت استفاده بیشتر از بازیافت انرژی در سیستمهای کم فشار را توجیه می‌نماید. از تجهیزات بازیافت انرژی اغلب برای احیای این انرژی تلف شده در جریان زیراب استفاده می‌شود. انواع متعددی از تجهیزات بازیافت انرژی موجود هستند که شامل توربین فرانسیس، چرخ پلتون، توربومشارکرهای هیدرولیکی و مبدل‌های فشار می‌باشند. معمولاً از انرژی بازیافت شده از فشار باقیمانده جریان زیراب برای فشاردار کردن جریان زیراب استفاده می‌شود. در همه دستگاههای موجود جریان زیراب روتوری را می‌چرخاند و انرژی را طی این فرایند از دست می‌دهد و از ابزار بازیافت انرژی در فشار بسیار کمتری خارج می‌گردد. در توربین فرانسیس و مبدل فشار، ابزار بازیافت انرژی به وسیله یک روتور که فشار را از زیراب به تغذیه منتقل می‌کند در تماس با هر دو جریان تغذیه و زیراب است. در ابزارهای چرخ پلتون زیراب پر فشار وارد توربین القایی می‌گردد که تولید توان چرخشی می‌کند که برای کمک کردن به موتور الکتریکی اصلی پمپ فشار قوی استفاده می‌شود.

شکل (۲) یک سیستم اسمز معکوس را نشان می‌دهد که یک توربین پمپ بازیاب انرژی در سیستم نصب شده است، این سیستم همان اجزای سیستم اسمز معکوس در شکل (۱) را



شکل (۲): استفاده از توربین - پمپ بازیاب در طراحی سیستمهای اسمز معکوس



شکل (۳): نمای ظاهری یک توربین - پمپ بازیاب انرژی برای استفاده در سیستمهای اسمز معکوس



این مسیر فرعی زمانی مورد نیاز است که جریان زیراب مرحله دوم بیش از مقدار مورد نیاز برای تقویت فشار تغذیه باشد، به ویژه زمانیکه تغذیه در معرض تغییرات دمایی زیاد باشد. در این ابزار صرفه‌جویی در انرژی با کاهش فشار خروجی مورد نیاز پمپ فشار قوی سیستم اسمز معکوس بدست می‌آید. شیوه‌های متعددی برای بازیابی انرژی از جریان زیراب به منظور کاهش هزینه‌های بهره‌برداری فرایندهای صنعتی و خالص سازی مایعات استفاده شده‌اند. در این مطالعه میزان صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی مورد نیاز سیستمهای اسمز معکوس در صورت استفاده از توربین - پمپهای بازیاب بررسی می‌گردد. به عنوان نمونه عملی سیستمهای اسمز معکوس تأسیسات آب شیرین کن شرکت آب و فاضلاب بندر لنگه بررسی می‌گردد. این بندر جهت تأمین بخشی از آب شرب شهر از سه خط اسمز معکوس استفاده می‌نماید که دارای ظرفیت تولید ۱۵۰۰ متر مکعب آب خالص در ۲۴ ساعت می‌باشند. آب ورودی سیستمهای اسمز معکوس از خلیج فارس تأمین می‌گردد که هدایت الکتریکی آن در حدود $S/cm = 6000$ می‌باشد. سایر داده‌های ترکیب آب خلیج فارس بر اساس نمونه آنالیز شده در آزمایشگاه در جدول (۲) آمده است.

این توربین - پمپهای مفید برای کاهش نیاز انرژی بسیاری از فرایندهای صنعتی و پالایش مایعات یا گازها در فشارهای بالا قابل استفاده می‌باشد. این توربین - پمپها به طور ویره برای فرایندهای اسمز معکوس مناسب هستند که برای کاردن ناخالصیهای آب استفاده می‌شود. در سیستمهای اسمز معکوس و سایر سیستمهایی که در آنها یک سیال در فشار بالا به محفظه‌ای پمپ می‌شود. در محفظه بخشی از سیال مایع یا گاز، تصفیه می‌گردد و بخش دیگر به عنوان زیراب تحت فشار بالا دفع می‌گردد. این زیراب معمولاً در فشار بسیار بالای بوده و این فشار باید از طریق استفاده از یک شیر خفه‌کن یا وسیله‌ای دیگر دفع گردد. معمولاً شیر خفه‌کن فشار زیراب را تا حد صفر psi کاهش می‌دهد لذا همه انرژی فشار جریان زیراب تلف می‌گردد و برای فرایند فایده‌ای ندارد. این میزان اتفاق انرژی می‌تواند بسیار قابل توجه باشد و منجر به یک ناکارایی اساسی در سیستم شود. در استفاده از شیوه اسمز معکوس برای جدا کردن نمک از آب دریا با یک چنین عدم کارایی، کاربردهای تجاری این تکنولوژی را به شدت محدود کرده است. این ابزار یک مسیر فرعی by-pass هم دارد که اپراتور را برای کنترل و متوازن نمودن این جریان قادر می‌سازد.

جدول (۲): آنالیز آب ورودی، آب خالص و زیراب سیستمهای آب شیرین کن اسمز معکوس بندر لنگه

جزء	خلیج فارس	غلظت در آب خالص اسمز معکوس	غلظت در زیراب سیستم اسمز معکوس	غلظت در آب خالص اسمز معکوس
NH ₄	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
K	۴۱۹/۰۰	۵۹۶/۰۳	۷/۲۴	۱۸۶/۸۱
Na	۱۱۶۶۳/۰۰	۱۷۸۴۰/۳۸	۲۱۶۶/۳۲	۵/۲۱
Mg	۱۴۱۰/۰۰	۷۷۸/۹۱	۷۷۸/۹۱	۱/۷۶
Ca	۴۸۰/۰۰	۱۹/۹۷	۱۹/۹۷	۰/۰۵
Sr	۱۳/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۰
Ba	۰/۰۵	۶۳/۲۸	۶۳/۲۸	۰/۰۰
CO ₃	۴۳/۰۹	۲۲۲/۹۲	۲۲۲/۹۲	۳/۴۶
HCO ₃	۱۵۴/۰۰	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۰۵
Cl	۲۰۹۹۹/۰۰	۲۲۱۴۵/۷۱	۲۲۱۴۵/۷۱	۳۰۷/۷۴
F	۱/۴۰	۲/۱۴	۲/۱۴	۰/۰۳
SO ₄	۳۲۰/۰۰	۴۵۱۹/۲۰	۴۵۱۹/۲۰	۴/۲۸
SiO ₂	۱/۵۰	۲/۲۹	۲/۲۹	۰/۰۴
B	۴/۰۰	۵/۴۴	۵/۴۴	۱/۳۶
CO ₂	۰/۴۸	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۳۷
TDS	۳۸۱۰۹/۰۰	۵۸۳۴۹/۱۰	۵۸۳۴۹/۱۰	۵۲۴/۴۸
pH	۸/۱۰	۸/۰۵	۸/۰۵	۷/۰۴



همچنین فشار ورودی سیستمهای اسمز معکوس برای تأمین دبی آب خالص تولیدی با فولینگ غشاها را باید افزایش داد، زمانیکه این افزایش فشار به ۲۰ درصد رسید باید غشاها را با استفاده از مواد شیمیایی مناسب شستشوی شیمیایی داد. با انجام شستشوی شیمیایی فشار ورودی به فشار اولیه زمان راهاندازی نزدیکتر می‌گردد. سیستمهای اسمز معکوس بندر لگه در دمای ۳۶ درجه سانتیگراد با فشار ورودی ۵۴ بار بهره‌برداری می‌شوند. که ۳۴ بار فشار به وسیله پمپ فشار قوی و ۲۰ بار آن به وسیله توربین پمپ تأمین می‌گردد. میزان تقویت فشار به وسیله توربین پمپ از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد:

$$P_B = (N_{te}) \times (R_r) \times (P_{br} - P_e) \quad (1)$$

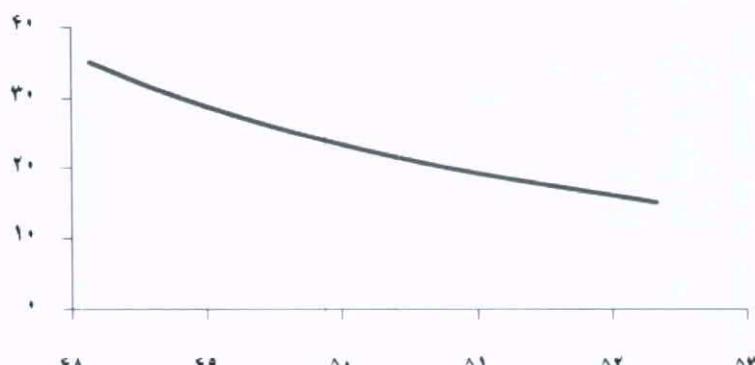
پارامترهای رابطه (۱) به شرح ذیل می‌باشند:
 P_B : میزان تقویت فشار به وسیله توربین پمپ
 N_{te} : بازده انتقال انرژی هیدرولیکی (از روی منحنی کارایی توربین پمپ استخراج می‌گردد)
 R_r : نسبت دبی آب زیراب به آب ورودی سیستم اسمز معکوس
 P_{br} : فشار زیراب در ورودی توربین
 P_e : فشار زیراب خروجی از توربین

فلودیاگرام خطوط اسمز معکوس همانند فلو دیاگرام شکل (۲) می‌باشد. تعداد محفظه‌های غشایی هر خط ۸ عدد می‌باشد که داخل هر یک از آنها ۶ عدد غشاء از نوع SW30HRLE-400 قرار دارد. دبی آب ورودی هر خط $60\text{ m}^3/\text{h}$ و دبی آب خالص تولیدی هر خط $21\text{ m}^3/\text{h}$ می‌باشد. میزان بازیافت هر خط ۳۵ درصد می‌باشد. داده‌های مربوط به طراحی این خطوط که با استفاده از یکی از نرم‌افزارهای طراحی سامانه‌های اسمز معکوس به دست آمده در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین داده‌های مربوط به آنالیز آب خالص و زیراب در جدول (۲) ارائه شده است.

دبی آب ورودی (خليج فارس) بين ۱۶ تا حدود ۴۰ درجه متغير می‌باشد. اطلاعات ارائه شده در جدول (۲) مربوط به دمای ۳۶ درجه می‌باشد. با کاهش دمای آب ورودی سیستمهای اسمز معکوس فشار خروجی پمپهای فشار قوی را باید افزایش داد. تغييرات فشار ورودی بر اساس تغييرات دمای آب ورودی سیستمهای اسمز معکوس در نموذار (۱) رسم گردیده است. با استفاده از یک مبدل فرکانس^۱ به سادگی می‌توان اين تغييرات فشار را اعمال نمود. همچنین استفاده از مبدل فرکانس امكان استارت نرم خطوط اسمز معکوس و جلوگيري از ضربات فشار را فراهم می‌سازد.

جدول (۳): جزئيات سیستم

دبی m^3/h	دبی زیراب	دبی m^3/h	دبی آب خالص	دبی m^3/h	دبی تغذیه
۳۶	دبی آب ورودی	٪ ۳۵	بازیافت	۴۸ بار (۵۴ بار)	فشار تغذیه
۴۳/۹۹ بار	فشار اسمزی زیراب	۲۸/۰۹ بار	فشار اسمزی تغذیه	۴۸	تعداد غشاها
۳۸۱۰/۹۹۲	TDS تغذیه	اینج	قطر غشاء	SW30HRLE-400	غشاء



نمودار (۱): تغييرات فشار ورودي با تغييرات دمای آب



۳- نتیجه گیری

استفاده از بازیافت انرژی برای تأمین انرژی فرایندهای شیرینسازی به ویژه برای نواحی خشک و مجزا که در آنجا استفاده از انرژیهای سنتی پر هزینه یا غیر قابل دسترس می‌باشد، دارای آینده نوید بخشی می‌باشد. سیستمهای شیرینسازی با استفاده از انرژیهای تجدید پذیر نیز به طور گسترده‌ای به عنوان یک روش نوین اقتصادی و سازگار با محیط زیست برای تصفیه آب مطالعه شده‌اند. همانگونه که تبیین گردید بیشترین هزینه مربوط به هزینه انرژی الکتریکی پمپهای فشار قوی سیستمهای اسمز معکوس می‌باشد. به دلیل اینکه افت فشار در سیستمهای اسمز معکوس کم است، زیرا دارای انرژی فشاری قابل توجهی بوده که اگر به وسیله یک ابزار بازیافت انرژی ERD بازیافت شود می‌تواند باعث بهبود کارایی کلی سیستم و هزینه‌ها شود. بستگی به قیمت برق، هزینه سرمایه‌گذاری تجهیز بازیافت انرژی می‌تواند طی مدت ۳ تا ۵ سال جریان گردد.

در این مقاله با بررسی یک واحد شیرینسازی آب دریا به شیوه اسمز معکوس با کمک نرم افزارهای طراحی سامانه‌های اسمز معکوس میزان صرفه‌جویی در انرژی که با استفاده از یک توربین پمپ ساده عاید می‌گردد، محاسبه و تبیین گردید. به عنوان نتیجه در تأسیسات آب شیرین کن اسمز معکوس آب دریا که فشار بالا و بازیافت پایین می‌باشد، استفاده از یک توربوشارژر ایده‌آل می‌باشد. تحت این شرایط ۳۰ تا ۴۵ درصد انرژی مورد نیاز فرایند قابل بازیافت بوده که به معنای صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد. در آینده‌ای نزدیک کلیه سیستمهای اسمز معکوس مجهز به یکی از ابزار بازیافت انرژی خواهد بود و حتی استفاده از سیستمهای بازیافت انرژی برای سیستمهای کم فشار نیز رو به گسترش است. بررسی سیستمهای بازیافت انرژی جهت سیستمهای اسمز معکوس کم فشار از کارهای مطالعاتی آینده این گروه می‌باشد.

به عنوان مثال برای سیستمهای اسمز معکوس بندر لنگه که جریان ورودی غشاها $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ، بازیافت 35% ، فشار ورودی غشاها 54 بار، فشار زیراب 52 بار و فشار زیراب خروجی از توربین صفر بار باشد و ضریب بازده انتقال انرژی هیدرولیکی 0.59 باشد میزان تقویت فشار برابر با 20 بار خواهد شد. همچنین توان مورد نیاز پمپ بر حسب وات از رابطه (۲) قابل محاسبه می‌باشد.

$$(2) \quad p = \frac{p \times Q}{\eta_p \eta_m} \quad (\text{توان})$$

که در آن p فشار بر حسب پاسکال، Q دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه، η_p بازده پمپ و η_m بازده موتور می‌باشد. بنابراین برای سیستمهای اسمز معکوس بندر لنگه توان مورد نیاز پمپ‌های فشار قوی بدون استفاده از ابزار بازیافت انرژی 125 کیلو وات خواهد بود و با استفاده از یک توربین - پمپ بازیافت، توان مورد نیاز به $78/7$ کاهش می‌یابد، که با استفاده از یک توربین پمپ در حدود 37 درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی گردیده است. در جدول (۴) توانهای مورد نیاز سیستم اسمز معکوس مذکور با و بدون استفاده از سیستم توربین - پمپ و همچنین میزان صرفه‌جویی انرژی درج گردیده است. برای انجام محاسبات مربوط به توان، η_p و η_m به ترتیب 0.8 و 0.9 در نظر گرفته شده‌اند. انرژی مورد نیاز برای شیرینسازی آب دریا از لحظه مینیمم نوری 1 kWh/m^3 می‌باشد که این انرژی برای تقطیر ساده 627 kWh/m^3 است. برای تکنیکهای نظری MED و MSF و VC بین $6-16 \text{ kWh/m}^3$ و برای اسمز معکوس بین $3-8 \text{ kWh/m}^3$ می‌باشد. همچنین در نظر داشته باشید که توربین - پمپ نیاز به شیر کنترل زیراب^۱ را مرتفع می‌سازد که هزینه اصلی دیگر و آبتمی در نگهداری واحدهای شیرینسازی آب دریا به وسیله اسمز معکوس می‌باشد. افزون بر این از نظر مکانیکی توربین - پمپ مستقل از پمپ فشار قوی می‌باشد و بنابراین آنرا با هر نوع پمپ تعذیب بدون هیچ تغییراتی در پمپ یا موتور می‌توان بکار برد.

جدول (۴): مقایسه انرژی‌های مورد نیاز سیستم اسمز معکوس با و بدون سیستم بازیافت انرژی توربین - پمپ

توان مورد نیاز (کیلو وات)
انرژی مخصوص (کیلو وات ساعت بر متر مکعب)
توان مورد نیاز با استفاده از توربین پمپ (کیلو وات)
انرژی مخصوص با استفاده از توربین پمپ (کیلو وات ساعت بر متر مکعب)
صرفه‌جویی در انرژی %

مراجع

- 1- Oklejas et al, Power recovery pump turbine, Us patent 4983305, Jan. 08, 1991,
- 2- Richard L. Stover, energy recovery device performance analysis, Water Middle East, November 14, 2005
- 3- Pump engineering INC., HTC-AT hydraulic turbocharger technical and application manual
- 4- Oklejas Jr., method and apparatus for boosting inter-stage pressure in a reverse osmosis system, US patent 6468431 B1, Oct. 22, 2002
- 5- L. Muthumariappan, Energy Conservation Systems in Reverse Osmosis Desalination Plants, TWAD Technical Newsletter, January 2004
- 6- Dow Chemical Company, Reverse Osmosis System Analysis, Version 6.1.1

حال حاضر کارشناس ارشد شیمی دفتر فنی شرکت مدیریت تولید برق یزد می باشد. زمینه علاقمندی آقای حق پرست روشهای مختلف تصفیه آب می باشد.

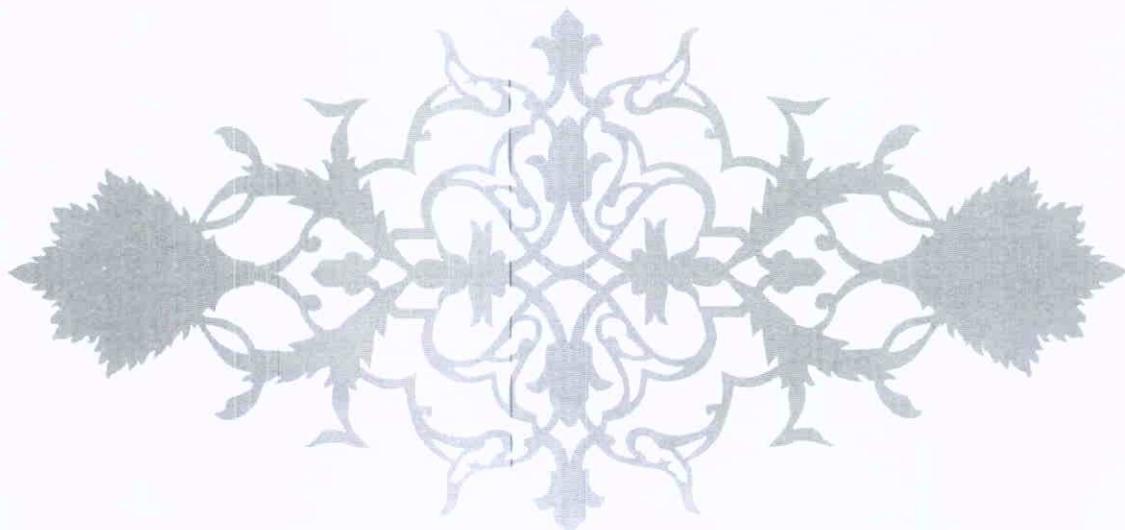
Email:
hhaghparast@yahoo.com

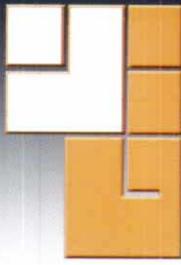
آقای کیهان کبیر کارشناس مکانیک دفتر مهندسی شرکت مدیریت تولید برق بوده و ۱ سال سابقه فعالیت در زمینه های طراحی مکانیزم های صنعتی به ویژه انتقال قدرت دارد. زمینه علاقمندی ایشان سیستمهای هیدرولیک و انتقال قدرت می باشد.

آقای محسن امیری با مسؤولیت کارشناس سیکل حرارتی و پمپها در واحد بهره برداری نیروگاه سیکل ترکیبی یزد مشغول فعالیت می باشند. آقای امیری ۷ سال سابقه در زمینه نصب تأسیسات و تجهیزات صنایع و پرورش های آبرسانی داشته و زمینه علاقمندی ایشان تجهیزات دوار می باشد.

آقای حسین حق پرست دارای فوق لیسانس مهندسی شیمی از دانشگاه صنعتی شریف بوده و جمعاً ۶ سال سابقه کار دارد. ایشان در

نگارندگان مقاله، از حمایت و مساعدت جناب آقای مهندس منوچهر نوذری، مدیریت محترم عامل، و جناب آقای مهندس جمال الدین عزیزی، معاونت محترم مهندسی و برنامه ریزی شرکت مدیریت تولید برق یزد سپاسگزاری می نمایند.





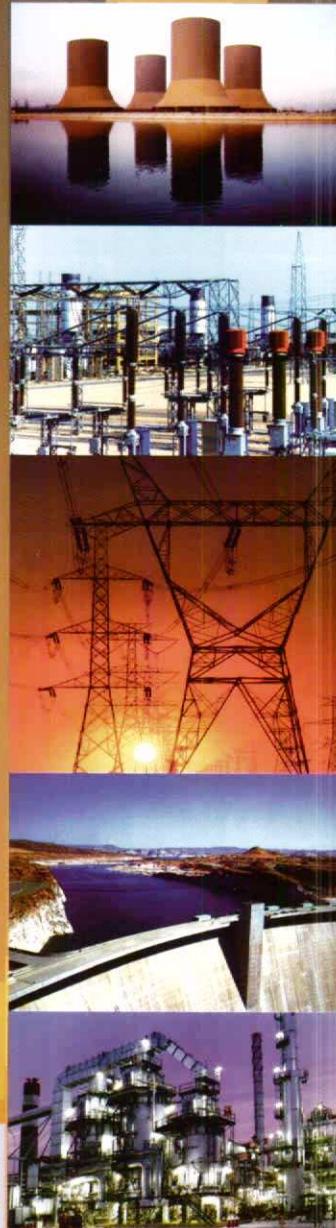
GHODS NIROO ENGINEERING COMPANY

Add: No.98, Ostad motahari Ave.
Tehran - 1566775711 - IRAN
Tel: (+9821) 88403613 - 88416344
Telfax: (+9821) 88411704
E-MAIL: INFO@GHODS-NIROO.COM
WWW.GHODS-NIROO.COM

► GHODS NIROO ENGINEERING COMPANY

GNEC provides services, details design and engineering, project management and supervisory services in the following fields:

- **Thermal Power Plants (Steam, Gas Turbine & Combined Cycle)**
- **Substation & Switch - Yards**
- **Transmission Lines& Distribution Networks**
- **Dams & Hydropower Plants, Water Transmission Lines, Irrigation& Drainage Networks**
- **Environmental Studies**
- **Cooperation with Clients in Management Contract**
- **Participation in Major EPC Contracts**
- **Participation in Major "EPC" and "MC" Contracts in Different Types of industrial areas especially in Oil and Gas.**
- **Renewable Energies Studies, Engineering and "EPC" Contracts**





تهران، خیابان استاد مطهری، چهارراه شهروردی، شماره ۹۸
کد بسته: ۱۵۶۶۷۷۵۷۱۱
تلفن: ۸۸۴۲۰۴۵۴ - ۸۸۴۰۳۶۱۳
فکس: ۸۸۴۱۱۷۰۴

No. 98, Ostad Motahari Ave.
Tehran 156675711 - IRAN
Tel: 88403613 - 88430454
Fax: 88411704
info@ghods-niroo.com
www.ghods-niroo.com

