

جانمایی بهینه حسگرهای هوشمند جهت پایش سلامت سدهای بتن غلتکی به روش الگوریتم مونت کارلو بمنظور جلوگیری از هدر رفتن منابع آب

علی شمسایی^{۱*}، محسن قائمیان^۲، حمیدرضا وثوقی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۵

صص: ۸-۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۵

چکیده

ساخت سدهای بتن غلتکی (RCC) نقش بسزایی در استفاده موثر از منابع آبی می نماید. ساخت این سدها شامل ریختن بتن در لایه‌هایی با ضخامت کم و متراکم کردن آن‌ها می‌باشد. برای چک کردن دمای بتن ریزی باید از سنسورهای هوشمندی استفاده کرد که در آینده نیز قابل استفاده جهت پایش سلامت سازه باشند. هدف این مقاله معرفی یک مدل جدید مخصوص جانمایی سنسورهای هوشمند جهت پایش سلامت سدهای بتن غلتکی می‌باشد و نویسندگان الگوریتم پیشنهادی خود را با استفاده در یک سد واقعی (سد زبردان) اثبات می‌کنند و برای صحت سنجی از سد کینتا در مالزی استفاده شده است. از برنامه کامپیوتری ABAQUS برای مدل سازی حرارتی جهت تعیین دما و تنش‌های حرارتی استفاده شده و بهترین زمان برای بتن‌ریزی لایه‌ها تعیین گردیده است. با استفاده از مختصات x, y برای تک تک اجزاء در مدل FEM و اطلاعات دما و تنش‌های حرارتی به کمک شبکه عصبی، داده‌ها به صورت پیوسته درآمده تا از روش مونت کارلو یک x بهینه در تک تک لایه‌ها برای هر ارتفاع به دست آید. این نقاط پیدا شده برای کلیه ۱۵۳ عدد لایه سد زبردان به دست آمده و در الگوریتم ژنتیک به کار رفته تا به عنوان یک حدس اولیه برای جانمایی سنسورها به کار رود. با تعریف ضریب اهمیت (حرارت واقعی تقسیم بر حرارت محاسبه شده) و با در نظر گرفتن یک تابع هزینه که باعث می‌شود فاصله سنسورها بهینه و تعداد آنها کمتر گردد، یک جانمایی بهینه برای سنسورهای حرارتی سدها تعیین شده است. بدین ترتیب علاوه بر پایش موثر ایمنی سد، هزینه های آن نیز بهینه می‌گردد.

واژه های کلیدی: سد بتن غلتکی (RCC); Roller Compacted Concrete; ABAQUS; یک نرم افزار کامپیوتری برای مدل

سازی حرارتی FEM: Finite Element Method; روش عناصر محدود; منابع آب: water resources;

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

^۳ استاد گروه مهندسی عمران آب، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* نویسنده مسؤل مقاله: shamsai@yahoo.com

مقدمه

اهمیت روز افزون سدهای بتن غلتکی استفاده از این سازه ها را بسیار افزایش داده است. این سدها به جای سدهای خاکی با محاسن بسیار بیشتر از نظر ایمنی و اجرای راحت آنها نسبت به سدهای بتنی مرسوم، بسیار مورد استقبال قرار گرفته اند.

پایش کیفیت اجرای سازه سدها بسیار مورد اهمیت می باشد، لذا نیاز به تعبیه حسگرهای هوشمند و تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصله در حین ساخت می باشد. بزرگی سازه و عدم بهینه کردن مکان نصب سنسورها باعث ایجاد هزینه های اضافی و دریافت اطلاعات بسیار زیاد و غیر مفید می شود که کنترل اجرای سدها را با مشکل مواجه می سازد.

در پایش کیفیت اجرای سازه سد به صورت هوشمند، از تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از سنسورهای هوشمند استفاده می گردد. حسگرهای هوشمند ابزارهایی هستند که اطلاعاتی در زمینه وضعیت داخلی سازه به مامی دهند تا بتوان درک صحیحی از نحوه عملکرد و شرایط سازه در محل نصب سنسور داشت. این اطلاعات فرستاده شده از حسگرها، به عنوان داده های ورودی جهت تعیین کیفیت اجرای سازه به کار می رود.

مکان یابی محل سنسورهای حرارتی از اهمیت بسیاری برخوردار است. با مکان یابی بهینه، محل نصب حسگرها مشخص می گردد به طوری که با کمترین تعداد حسگر تمامی اطلاعات مورد نظر به دست آید.

در طراحی و ساخت سدهای بتن غلتکی باید به طوری که به تنش های حرارتی و اندازه گیری های مربوط به کنترل دما توجه کرد (نورزایی و همکاران (۲۰۰۶)).

بعد از اتمام ساخت سد، عملکرد سازه نقش مهمی در تنش های به وجود آمده در آن بازی می کند. با وجود این، در زمان ساخت سد نیز میدان درجه حرارت می بایست مورد مطالعه قرار گیرد زیرا در این زمان، اثرات حرارت هیدراسیون بسیار زیاد است. به علت این که در سدهای بتن غلتکی از لوله های خنک کننده استفاده نمی شود، حرارت ناشی از هیدراسیون تنها از سطح فوقانی لایه می تواند متصاعد شود، در نتیجه شرایط دمایی در هسته داخلی سد، آدیاباتیک بوده و افزایش دما در آنجا

قابل توجه است. تغییرات مذکور در دما باعث به وجود آمدن تنشهای بزرگ حرارتی می شود که در طراحی سازه های بتن حجیم^۱ باید بررسی شود (نیلیپور (۲۰۰۵)).

یک ارزیابی واقع گرایانه از تاثیرات حرارتی می تواند برای تصمیم گیری در مورد پارامترهای نگران کننده ای مانند: فضای درز، خصوصیات مکانیکی بتن، بهترین مقدار سیمان و درجه حرارت بهینه بتن ریزی، به عنوان راهنما کمک بزرگی باشد (چن و همکاران (۲۰۰۳)).

بررسی سلامت سازه سدها در طول بهره برداری از آنها نیز همانند طراحی و اجرای صحیح سدها حائز اهمیت می باشد. جهت این امر از دیرباز به پایش سلامتی سازه سدها به وسیله حسگرها (سنسورها) می پردازند که نوع، تعداد و دقت آنها در پایش بهتر و سریعتر سدها بسیار موثر می باشد.

در ایران تعداد زیادی سد (RCC) ساخته و در حال بهره برداری می باشد که از جمله معروفترین آنها سد جگین، سد پای پل کرخه، سد ژاوه و سد زبردان می باشد. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات این سدها، به مدل سازی سد بتن غلتکی زبردان پرداخته شده است. نورزاد در سال ۱۳۸۷ تکنیکها و فنآوری های جدید در زمینه پایش سدها، مفاهیم اندازه گیری، ساختار دستگاه های پایش، مشخصات ابزارهای اندازه گیری، بارهای وارده و تغییر شکل های ناشی از آنها را بیان کرده و نیز استفاده از فنآوری فیبر های نوری در زمینه پایش سدها را انجام داده است. او نتیجه گرفت که با توجه به حساسیت سازه و حیاتی بودن آن نیاز به کنترل و بازرسی مداوم و منظم می باشد و باید ابزار پایش با استفاده از آخرین تکنولوژی های روز باشد.

مددی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی مزایای استفاده از فیبر نوری نسبت به سایر روش ها درمانیتورینگ سد پرداخته اند و بیان می کنند که ثبت اعداد با حسگرهای فیبر نوری در اثر امواج رایویی رعد و برق و... خطای کمتری نسبت به دیگر روش ها دارد.

سینگ و همکاران (۲۰۰۹) به بهینه کردن محل نصب حسگرها و تعداد آنها برای پایش سلامتی سازه با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. آنها با بررسی

¹ Concrete mass structures

دهنده آن میباشد. در عمل دیده شده است که تأثیر حرارت ویژه آب بیشتر از سایر اجزا می باشد چرا که افزایش و یا کاهش آن تأثیر بسیار زیادی بر روی حرارت ویژه بتن می گذارد. با توجه به این که حجم بسیار زیادی از بتن معمولی و غلتکی را سنگدانه ها تشکیل میدهند، لذا تفاوتی در گرمای ویژه بتن معمولی و بتن غلتکی وجود ندارد و در محاسبات انتقال حرارت میتوان مقدار آنرا $(\frac{J}{kg c^{\circ}}) C = 1000$ در نظر گرفت. مقدار نظیر برای مواد سنگی پی سد حدود $(\frac{J}{kg c^{\circ}}) C = 1000$ در نظر گرفته می شود.

ضریب هدایت حرارتی بتن: مقدار حرارتی است که در واحد زمان از واحد ضخامت سطح یک مقطع بتنی با دو سطح بینهایت عبور می کند و با استفاده از اندازه گیری های تجربی قابل حصول می باشد. ضریب هدایت حرارتی برحسب واحد $(\frac{W}{M c^{\circ}})$ بیان می گردد. ضریب هدایت حرارتی بتن های متعارف در حدود ۲/۲ الی $(\frac{W}{M c^{\circ}}) ۳$ یا ۷۹۲۰ الی ۱۱۸۸۰ می باشد.

تغییرات مقدار K بر روی پروفیل های دمایی در بتن موثر است. لذا در محاسبات میتوان حد وسط را منظور نمود. در محاسبات انتقال حرارت در مقیاس واقعی بستر سنگی نیز مدل شده و ضریب هدایت حرارتی آن نیز در محاسبات به کار برده می شود که بسته به نوع سنگ بستر، متفاوت بوده و از مقدار $(\frac{W}{M c^{\circ}}) K = ۶/۲$

برای سنگهای آهکی تا $(\frac{W}{M c^{\circ}}) K = ۶.۰$ برای سنگ های کوارتیزیت متغیر است و بنا به نوع و محل قرارگیری، ضریب هدایت حرارتی محاسبه و در آنالیز به کار می رود. **قابلیت انتشار حرارتی (α) :** هر چه مقدار (α) ضریب پخش حرارتی بیشتر باشد، حرارت سریع تر در ماده پخش خواهد شد. تمامی موارد بیان شده (ρ, c, k, α) به عنوان اطلاعات ورودی مدل عددی تحلیلی قابل تعریف می باشند.

مدل عددی

الگوریتم مدل عددی پیشنهادی در شکل شماره یک آورده شده است. در ابتدا نرم افزار اجزای محدود

فرآیند تشخیص کامل محل آسیب دیده، نقاط بهینه برای نصب حسگرها را به دست آوردند. بینبین و همکاران (۲۰۱۱) برای پل شانگهای جانمایی بهینه سنسورهای حرارتی را پیدا کردند. تینگ و همکاران (۲۰۱۱) برای ساختمان های بلند، جانمایی بهینه سنسورهای حرارتی را به دست آوردند. زایاس و همکاران (۲۰۱۳)، جانمایی بهینه سنسورهای FBG بر اساس مدل احتمالاتی را مورد بحث قرار داده اند. ریمن و همکاران (۲۰۱۴)، بر روی بهینه یابی هوشمند ابر سازه ها تحقیق کردند ولی بصورت خاصر مورد سد بتن غلتکی کاری انجام نشده است.

روش تحقیق

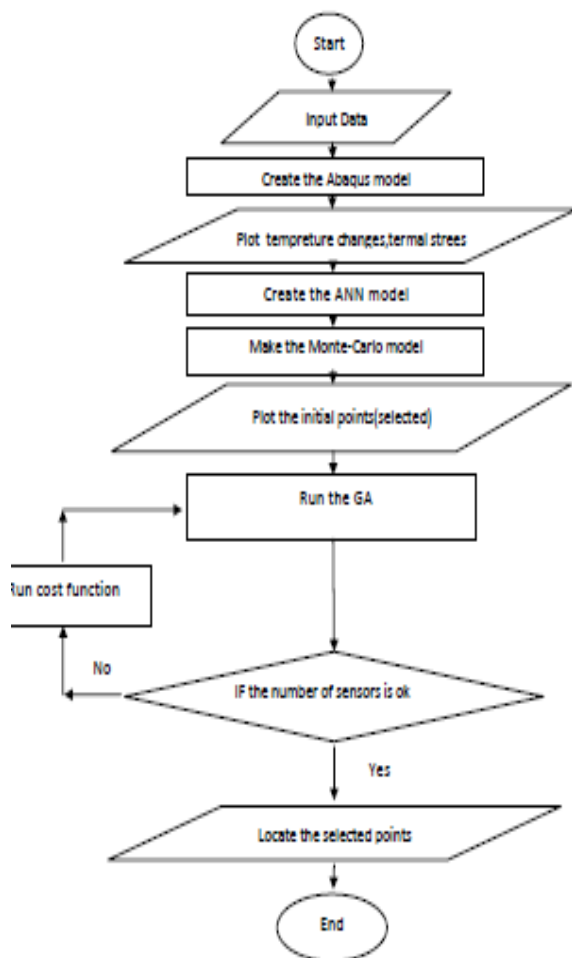
معادلات پخش حرارت: طبیعت انتقال حرارت به صورت یک پدیده کاملاً سه بعدی است ولی با توجه به یکنواخت بودن پروفیل های دمایی در راستای طولی سدهای بتنی وزنی و بخصوص سدهای بتن غلتکی و باتوجه به تبادل حرارتی انجام شده در این نوع سدها که عمدتاً از وجوه بالا دست و پایین دست صورت میگردد، می توان با دقت بسیار بالایی مسئله جریان انتقال حرارت را برای بتن های وزنی و بتنهایی غلتکی که در راستای طولی امتداد یافته اند به صورت دو بعدی حل نمود و رابطه دو بعدی را بهصورت زیر خلاصه کرد.

$$\frac{\partial T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial y^2} + \frac{\dot{q}}{K} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau}, \left(\frac{1}{\alpha} = \frac{\rho c}{K} \right), (K_x = K_y = K) \quad (1)$$

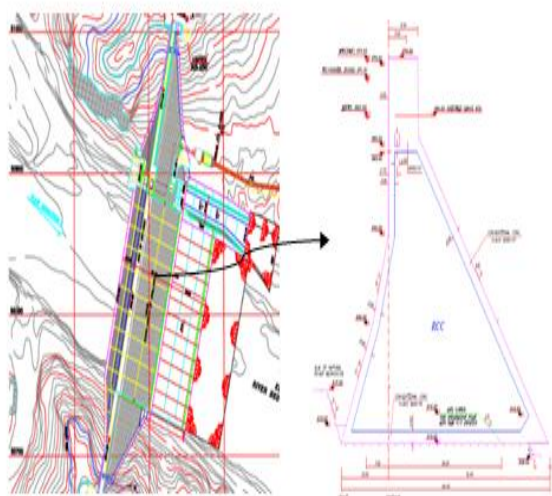
جرم حجمی ρ : جرم های حجمی به کار رفته در آنالیز حرارتی شامل جرم حجمی بتن متعارف و یا غلتکی بستر سنگی می باشد. جرم حجمی بتن متعارف ۲۳۰۰ الی ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است و این مقدار در بتن غلتکی بیش از ۲۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب می باشد که میتوان در محاسبات ۲۴۰۰ فرض نمود. برای بستر سنگی با توجه به موقعیت قرار گیری و نوع سنگ بستر، جرم حجمی بین ۲۲۰۰ الی ۲۹۰۰ کیلوگرم در متر مکعب متغیر می باشد.

حرارت ویژه c : حرارت ویژه به صورت مقدار حرارتی تعریف می شود که لازم است تا دمای واحد جرم یک ماده را به میزان یک درجه سانتیگراد افزایش دهد و حرارت ویژه بتن تابعی از حرارت ویژه اجزای تشکیل

مقدار میانگین و واریانس x و y توزیع نرمال دو جمله‌ای پایدار گردید.



شکل ۱- فلوچارت مدل



شکل ۲ - مشخصات سد زیردان.

ABAQUS و روش مش بندی با استفاده از اطلاعات عددی سد کینتا کالیبره گردید. مطالعه موردی (سد زیردان) با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدل شده و نتایج در شکل های سه و چهار آورده شده است. نتایج حاصله که شامل X, Y, S است همان مختصات و تنش های حرارتی می باشند، که به کمک فرمولهای واریانس نرمالیزه شده و در نتیجه ماتریس سیگما حاصل می گردد. این ماتریس، جهت تولید شبکه عصبی استفاده می شود. برای آموزش شبکه داده ها x و y به عنوان متغیر ورودی تعریف می شوند. $diff$ به عنوان تابع هدف تعریف شده و یک رابطه غیر خطی مابین اطلاعات ورودی و خروجی ایجاد می شود. ۸۰ درصد داده ها به عنوان داده های آموزشی جهت تربیت شبکه مورداستفاده قرار گرفت و ۲۰ درصد داده ها برای تست شبکه استفاده شد. برای ارزیابی بهتر عملکرد انتخاب شبکه بهینه، ضریب همبستگی بین داده های جابجایی اولیه و مقادیر به دست آمد، که مقدار این ضریب برابر ۰.۹۹۸ بود.

توزیع نرمال به عنوان توزیع مناسب پارامترهای x و y در نظر گرفته شد. داده های مشاهده ای x و y نرمالایز شده و سپس میانگین و انحراف معیار داده ها محاسبه شد. برای مدل تنش حرارتی، از تابع توزیع نرمال دو متغیره برای ارتباط دو متغیر و به عنوان توزیع هدف استفاده شد. این توزیع، بصورت زیر است:

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{\sigma_1 \sigma_2 \sqrt{1-\rho^2}} \times \exp \left[-\frac{\frac{(x_1 - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} - 2\rho \frac{(x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2)}{\sigma_1 \sigma_2} + \frac{(x_2 - \mu_2)^2}{\sigma_2^2}}{2(1-\rho^2)} \right] \quad (2)$$

μ_1 میانگین x_1 و σ_1 انحراف معیار استاندارد x_1 و μ_2 میانگین x_2 و σ_2 انحراف معیار استاندارد x_2 است و ρ ضریب همبستگی x_1, x_2 است. ماتریس کوواریانس توزیع نرمال دو متغیره بصورت زیر نوشته می شود:

$$cov(x_1, x_2) = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2 \\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

میانگین مقادیر x و y پس از ۱۰۰۰۰ بار تکرار به مقدار ثابتی رسید و پایدار شد. با ثابت شدن

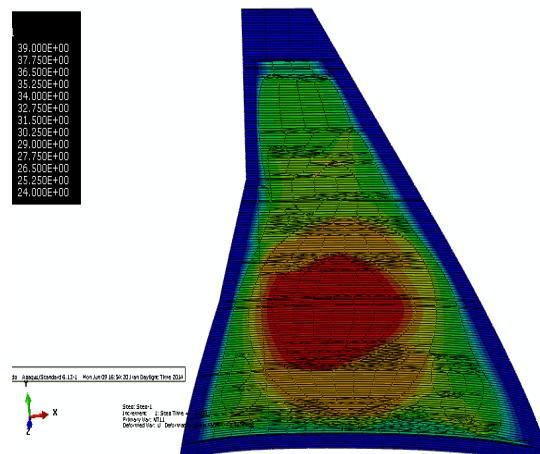
مشکل مذکور باید خاطر نشان نمود در محل های بحرانی، احتمال بروز مشکلات برای سازه سد از مکان های دیگر بیشتر می باشد. این در حالی است که احتمال خرابی حسگرها و یا عدم کارکرد مناسب آنها به دلیل مشکلات احتمالی ناشی از کالیبراسیون نامناسب و یا خرابی های در حال ساخت و یا عدم قطعیت ها در بحرانی ترین قسمت سازه زیر سوال می رود. بنابراین معیار سنجش دیگری علاوه بر فاصله برای الگوریتم ژنتیک مورد نیاز می باشد.

در این جا سعی شده است با وارد کردن کل تنش های حرارتی در تابع هزینه الگوریتم کمینه ژنتیک که قبلاً نرمال شده است و اعمال ضریب وزنی مناسب، اثر لایه ها و مرزهای بحرانی را در انتخاب حسگرها علاوه بر فاصله و تعداد آنها وارد الگوریتم ژنتیک نماییم. در نظر گرفتن این ضریب، وجود چند حسگر در مناطق بحرانی و یک حسگر در مناطق معمولی با در نظر گرفتن حداقل تعداد حسگرها می تواند سبب شود که طرح، با معیار اهمیت نقاط بحرانی و پایش هوشمند بیشتر نقاط بحرانی سازه هماهنگ باشد.

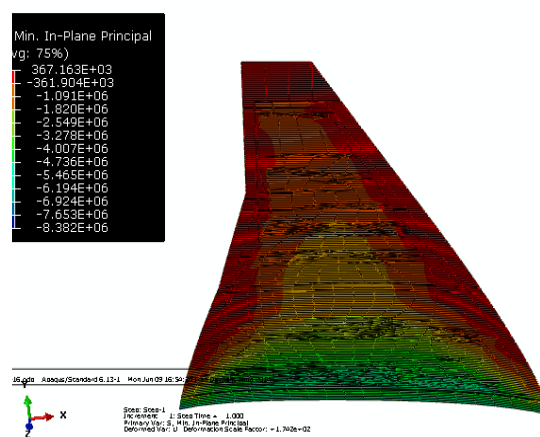
نسبت وزن دهی الگوریتم بهینه سازی سازه سد (فاصله و نسبت تنش) با اهمیت سازه، نظر کارفرما برای میزان دقت در پایش، کارخانه و نوع حسگر انتخاب شده، نحوه پایش و دقت تیم بهره بردار، کیفیت اجرایی سازه، میزان ترک های سرد و... ارتباط مستقیم دارد.

در این پروژه با توجه به نامعین بودن بسیاری از متغیرهای ذکر شده، ضریب وزن دهی بر اساس اهمیت نقاط بحرانی و حداقل تعداد حسگرهای هوشمند متعارف بر اساس پایش و آنالیز پروژه به دست آمده است. با توجه به موارد مذکور، نتایج تنش حرارتی کلیه نقاط گره مدل اجزای محدود به همراه مختصات کارتیزین آنها به عنوان ورودی وارد الگوریتم ژنتیک می گردد. تعداد نقاط مذکور بالغ بر ۱۹۵۰ گره می باشد.

همانطور که پیشتر اشاره گردید، محل های اولیه جانمایی حسگرها برای ورودی الگوریتم ژنتیک مورد نیاز می باشند. جهت این موضوع به کمک الگوریتم ترکیبی شبکه عصبی و مونت کارلو ایستگاه های اولیه به همراه مختصات دقیق آنها به دست می آید. نتایج مدل مونت کارلو در جدول ۱ آورده شده است. اهمیت انتخاب هر



شکل ۳ - کانتور حرارتی

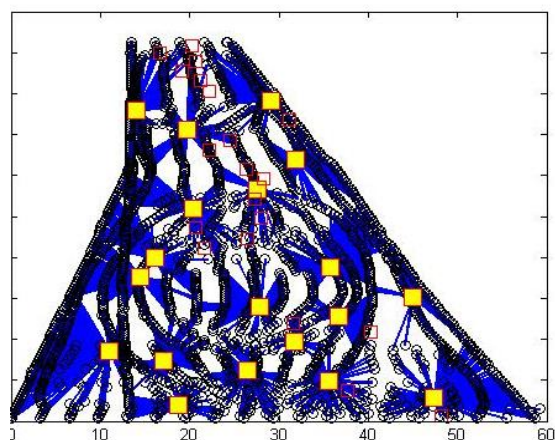


شکل ۴ - توزیع تنش حرارتی

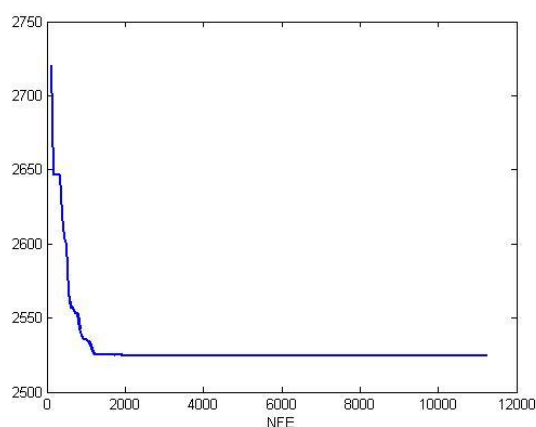
مکان یابی حسگرهای حرارتی در سد زیردان

پس از تحلیل آنالیز حاصل از نرم افزار اجزای محدود، نتایج تنش های حرارتی مسیرها و گره های قسمت RCC سد زیردان به همراه موقعیت دقیق x و y آنها به دست می آید. این داده ها در واقع، وزن دهی نقاط و اهمیت آنها در سازه سد را نشان می دهد. ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت می باشد که هر قدر تنش های حرارتی در منطقه ای از سازه سد بیشتر باشد نیاز بیشتری به حسگر وجود خواهد داشت. بنابراین صرفاً فاصله معیار مناسبی برای جانمایی حسگرها به حساب نمی آید، زیرا اگر صرفاً جانمایی بر اساس فاصله و حداقل حسگر مورد سنجش قرار گیرد، ممکن است در برخی از نواحی کم اهمیت، حسگر جانمایی گردد و در محل های با تنش های زیاد حسگری یافت نگردد. علاوه بر

از ۴۰ ایستگاه اولیه حاصل از بهینه سازی روش مونت کارلو ۱۹ حسگر در الگوریتم ژنتیک به دست آمده است.



شکل ۵ - جانمایی بهینه حسگرها



شکل ۶ - مقدار تابع هزینه درسی های انجام شده در الگوریتم ژنتیک

نتایج مدل و تحلیل اطلاعات

در پاشنه و پنجه سد زيردان تنها یک حسگر حرارتی نمایش داده شده است، و این امر نشان دهنده تبادل مناسب حرارتی این مناطق با محیط بیرونی سد و کاهش اثرات مخرب تنش های حرارتی در این مناطق می باشد.

در قسمت میانی قاعده سد، ۱۱ حسگر حرارتی نمایش داده شده است. این تعداد حسگر، حدود ۵۷ درصد از کل حسگرها می باشند. در این نواحی بتن حجیم سازه سد باعث عدم تبادل حرارتی سازه شده و انرژی گرمایی ناشی از هیدراتاسیون سد، باعث به وجود آمدن نقاط بحرانی در مناطق میانی سد شده است.

ایستگاه با وزن دهی مناسب می بایست مشخص گردد، تا نتایج خروجی مناسب تر و قابل اطمینان تر به دست آید. برای به دست آوردن ضریب وزنی مناسب نسبت نرمال شده ی دمای حاصل از تبادل حرارتی نرم افزار اجزای محدود به نتایج آزمایشگاهی شرکت پیمانکار سد زيردان (جهان کوثر) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- نقاط اولیه (خروجی مونت کارلو)

ردیف	X(m)	Y(m)	ردیف	X(m)	Y(m)
۱	۲۳۷.۴۸	۶.۰	۲۱	۶۲۹.۲۰	۵۵.۲۳
۲	۷۱۲.۱۸	۹۵.۱	۲۲	۹۷۶.۲۷	۷۵.۲۴
۳	۳۵۷.۴۷	۸۵.۲	۲۳	۳۴۶.۲۰	۹۵.۲۵
۴	۷۲۱.۳۷	۷۵.۳	۲۴	۲۹۱.۲۷	۱۵.۲۷
۵	۵۳۲.۳۵	۹۵.۴	۲۵	۶۴۳.۲۷	۳۵.۲۸
۶	۴۷.۲۶	۱۵.۶	۲۶	۲۲۸.۲۸	۵۵.۲۹
۷	۰۰۶.۱۷	۳۵.۷	۲۷	۳۰۳.۲۶	۷۵.۳۰
۸	۰۳۹.۱۱	۵۵.۸	۲۸	۹۳۲.۳۱	۹۵.۳۱
۹	۷۵۶.۳۱	۷۵.۹	۲۹	۲۲.۲۲	۱۵.۳۳
۱۰	۳۱۹.۴۰	۹۵.۱۰	۳۰	۵۸۸.۲۴	۳۵.۳۴
۱۱	۶۳۵.۳۱	۸۵.۱۱	۳۱	۷۵۸.۱۹	۵۵.۳۵
۱۲	۷۳۳.۳۶	۷۵.۱۲	۳۲	۱۸۲.۳۱	۷۵.۳۶
۱۳	۸۵۶.۲۷	۹۵.۱۳	۳۳	۹۷۳.۱۳	۹۵.۳۷
۱۴	۰۳۷.۴۵	۱۵.۱۵	۳۴	۰۷۴.۲۹	۱۵.۳۹
۱۵	۳۰۷.۴۴	۳۵.۱۶	۳۵	۲۴۴.۲۲	۳۵.۴۰
۱۶	۴۶۲.۴۴	۵۵.۱۷	۳۶	۲۰۶.۲۱	۵۵.۴۱
۱۷	۸۰۴.۳۵	۷۵.۱۸	۳۷	۱۳۹.۱۹	۷۵.۴۲
۱۸	۰۵۱.۱۶	۹۵.۱۹	۳۸	۶۲۴.۲۰	۹۵.۴۳
۱۹	۵۸.۲۱	۱۵.۲۱	۳۹	۷۰۴.۱۶	۴۵
۲۰	۴۳۱.۲۶	۳۵.۲۲	۴۰	۳۰۵.۲۰	۹.۴۵

پس از به دست آوردن مقادیر، نتایج وارد الگوریتم ژنتیک می شوند و به کمک روش چرخ رولت، تابع هزینه کمینه می شود، که نتایج آن در شکل شماره پنج قابل مشاهده می باشد. در این شکل، مربع ها نشان از موقعیت حسگرها و مربع های توپر، نشان از نتایج حاصل از بهینه سازی محل حسگرها دارد. نقاط دایره، گره های قرائت شده می باشد و خطوط، مناطق تحت پوشش هر حسگر را نمایش می دهد.

در ادامه در شکل شماره شش نمودار تعداد دفعات اجرای روش بهینه سازی و کاهش هزینه ها یا به عبارت دیگر کمینه کردن رابطه مذکور جهت کمینه کردن تعداد حسگرها و جانمایی مناسب آنها بر اساس ضرایب وزنی و اهمیت هر ایستگاه نمایش داده شده است.

نتایج مذکور حاصل ۲۰۰ بار Iteration می باشد و همانطور که در شکل ۶ قابل مشاهده می باشد، بهترین نتیجه در Iteration ۳۹ با مقدار ۲۵۲۴.۵۴ تابع هزینه به دست آمده است.

مزیت های پیژومتر فیبر نوری در پایشسدها. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برقابی. تهران.

۳) وثوقی فر، ح. ر. شکوهی، ک. س. (۱۳۹۰). مصالح هوشمند در مهندسی عمران و معماری. تهران: سماء قلم

4) J.Noorzaie, K.H.Bayagoob, W.A.Thanoon, M.S.Jaafar. (2006). "Thermal and stress analysis of Kinta RCC dam". Elsevier science Ltd.

5) Nima Nilipour. (2005). "Study of arch concrete dams constructed by RCC method. Thermo-mechanical comparison of RCC and conventional methods applied in construction of arch dams".

6) Y.L. Chen, C.J. Wang, S.Y. Li, and L.J. Chen. (2003). "The effect of construction designs on temperature field of a roller compacted concrete dam — a simulation analysis by a finite element method". Published on the NRC Research Press.

7) M.S. Jaafar, K.H. Bayagoob, J. Noorzaie, Waleed A.M. Thanoon (2007). Development of finite element computer code for thermal analysis of roller compacted concrete dams. *Advances in Engineering Software* 38 (2007) p. 886–895

8) Sergerlind L.J. (1984). *Applied finite element analysis*. New York: John Wiley and Sons

9) Hinton E, Owen DRJ. (1981) *An introduction to finite element computations*. UK: Swansea: Pineridge Press Limited;

10) Wouwer A V, Point N, Porteman S and Remy M (2000) *An approach to the selection of optimal sensor locations in distributed parameter systems*. *J. Process Control* 291–300

11) Eckhardt, R. (1987). Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo Method. *Los Alamos Science. Special Issue (15)*, pp. 131 – 137.

12) Tongpadungrod P, Rhys T D L and Brett P N (2003) *An approach to optimise the critical sensor locations in one-dimensional novel distributive tactile surface to maximize performance*. *Sensors Actuators* Gaspar, F. Lopez-Caballero, A. Modaresi-Farahmand-Razavi, A. Gomes-Correia (2014). *Methodology for a probabilistic analysis of an RCC gravity dam construction. Modeling of temperature, hydration degree and ageing degree fields*. *Engineering Structures* 65 (2014) p 99–110

13) Monte Carlo Method (2005). [Online]. [1 December 2005]. Available from World Wide Web

:http://www.riskglossary.com/link/monte_carlo_method.htm

14) Abdullah M, Richardson A and Hanif J (2001) *Placement of sensor/actuators on civil structures using genetic algorithms*. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 30 1167–84

15) Jafarbegloo, M.R. Hajialikhani, *Results of Mix Designs in Zirdan RCC Dam Proceedings of*

در ناحیه تغییر شیب سد و در محل ورود به ناحیه گردن سد، سه عدد حسگر حرارتی نشان داده شده است. این حسگر ها نیز همانند ردیف ۲ در نواحی میانی سد قابل مشاهده می باشند. در ناحیه میانی تاج و گردن سد، یک عدد حسگر قابل مشاهده می باشد. این امر با تحلیل های حرارتی معمول قابل توجیه است.

وجود دو حسگر در نواحی گردن سد در نواحی مرزی شبکه ها نشان از اجرای بتن با دمای زیاد در زمان اجرا دارد. بتن ریزی در این نواحی نسبت به دیگر لایه ها با حرارتی بیشتر با توجه به زمان بتن ریزی صورت گرفته است، که باعث بحرانی شدن این مناطق شده است. تغییرات در سطح مقطع سازه سد نیز خود به تنهایی باعث افزایش تمرکز تنش می گردد. افزایش بی رویه حرارت در این نقاط، به بحرانی شدن هرچه بیشتر آن می انجامد.

عدم وجود حسگر در ناحیه فوقانی تاج سد، نشان از تبادل بسیار مناسب حرارتی بتن این نواحی دارد. حجم بتن ریزی این مناطق نسبت به سایر مکان ها بسیار کمتر شده و این خود به تنهایی باعث عدم افزایش دمای حاصل از هیدراسیون بتن شده است.

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی صحت مدل را تایید می کنند. بنابراین یک جانمایی بهینه برای سنسورهای حرارتی سد ها تعیین شده است. بدین ترتیب علاوه بر پایش موثر ایمنی سد، هزینه های آن نیز بهینه می گردد. با توجه به قیمت های گزاف سنسور های هوشمند و محدودیتهای تولید آنها در داخل کشور، بهینه کردن تعداد آنها امری لازم و حیاتی می باشد. نکته قابل ملاحظه در مورد الگوریتم پیشنهادی بهینه کردن توامان هزینه و کیفیت پروژه می باشد، که استفاده از آن را ضروری می سازد.

منابع

۱) نورزاد، ع. جلال، م. (۱۳۸۷). فناوری های نوین در مانیتورینگ سدها. دومین کنفرانس ملی نیروگاه های آبی کشور

۲) مددی، ع.، اجتهادی ر. و همکاران. (۱۳۹۰). مقایسه نحوه عملکرد پیژومترهای تار مرتعش و فیبر نوری و

- monitoring of high-rise structure based on genetic algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*.
- 31) Binbin, L., Jinping, O., Xuefeng, Z., & Dongsheng, L. (2011). Optimal Sensor placement in health monitoring system of Xinghai Bay bridge. The 6th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology. Dalian, China.
- 32) Li, D. (2011). Sensor Placement Methods and Evaluation Criteria in Structural Health Monitoring. Universität Siegen.
- the 6th International symposium on Roller compacted concrete dams
- 16) M.R. Sadri, H.R. Araghian (2009). Laboratory Studies for Selection of a Suitable Chemical Admixture in Zirdan RCC Dam. Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Technology, Tabriz, Iran, 6-7 November 2009
- 17) L. Yao, W.A. Sethares, D.C. Kammer, Sensor placement for on-orbit modal identification via a genetic algorithm, *AIAA Journal* 31 (10) (1993) 1922–1928.
- 18) M.M. Abdullah, A. Richardson, H. Jameel, Placement of sensors/ actuators on civil structures using genetic algorithm, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 30 (8) (2001) 1167–1184.
- 19) W.P. Huang, J. Liu, H.J. Li, Optimal sensor placement based on genetic algorithms, *Engineering Mechanics* 22 (1) (2005) 113–117.
- 20) H. Gao, J.L. Rose, Sensor placement optimization in structural health monitoring using genetic and evolutionary algorithms, *Proceedings of SPIE* 6174 (2006) 1–12.
- 21) Ted Warren (2012). ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR DAM CONSTRUCTION, Volume 22, Issue 2, 01 June 2012, pages 87–90
- 22) Brian A. Forbes. (2003). Using Sloped Layers to Improve RCC Dam Construction. HRW, July 2003 - © HCI Publications,
- 23) Bai JC, Chang HY, Yang Y.A partheno-genetic algorithm for multidimensional knapsack problem. Proceedings of the 4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Guangzhou, China: 2005. p. 2962–2965.
- 24) H Y Guo, L Zhang, L L Zhang and J X Zhou (2004) Optimal placement of sensors for structural health monitoring using improved genetic algorithms. *Smart Mater. Struct.* 13 (2004) 528–534.
- 25) M. Meo, G. Zumpano, On the optimal sensor placement techniques for a bridge structure, *Engineering Structures* 27 (10) (2005) 1488–1497.
- 26) [27] Young Hoon wKa k a and L isa Ingal (2007) EXPLORING MONTE CARLO SIMULATION APPLICATIONS FOR PROJECT MANAGEMENT, *Risk Management* 2007, 9, (44–57)
- 27) Fei Kang, Jun-jie Li, Qing Xu (2007) Virus coevolution partheno-genetic algorithms for optimal sensor placement. *Advanced Engineering Informatics* 22 (2008) 362–370
- 28) Xiaosu Yi, Jia Liu, Xiangyu Ye, Song Lin (2013) An optimal placement of FBG sensor network based on probability model. *Optik* 124 (2013) 1045–1048.
- 29) Ting-Hua YI, H.-N. L. (2011). Optimal sensor placement for health monitoring of high-rise structure based on genetic algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*.
- 30) Ting-Hua YI, Hong-Nan LI, & Ming GU. (2011). Optimal sensor placement for health