

تعیین پارامترهای مقاومتی بتن غلتکی در سدها با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی

روح الله حنطه^۱، مجتبی حنطه^۲، علی خیرالدین^{۳*}، امید رضایی فر^۴

۱. کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی
۲. دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشگاه سمنان
۳. استاد، گروه عمران سازه دانشگاه سمنان
۴. دانشیار، گروه عمران سازه دانشگاه سمنان

*kheyroddin@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۱

چکیده

یکی از روش‌هایی که در ساخت سدهای بتنی و خاکی به‌عنوان جایگزینی مناسب مطرح است، روش ساخت سدها به شیوه بتن غلتکی می‌باشد. بتن غلتکی، بتنی است که کارایی بسیار پایین داشته و همچون سدهای خاکی لایه به لایه پخش و پس از تراکم با غلتک به بتنی همانند بتن معمولی تبدیل می‌شود. از مزایای این شیوه می‌توان به اقتصادی بودن و سرعت بالای آن اشاره نمود. ارزیابی کیفیت مناسب و دسترسی به مصالح لازم برای تولید بتن غلتکی بطوریکه الزامات سازه‌ای و دوام را برآورده سازد از نکات ضروری به‌شمار می‌آید. لذا انتخاب صحیح نسبت مخلوط بتن غلتکی یک مرحله مهم در دستیابی به بتن اقتصادی و بادوام می‌باشد. در این تحقیق مراحل کلی و مطالعات آزمایشگاهی اولیه نسبت مخلوط بهینه بتن غلتکی سد مخزنی ژاوه واقع در استان کردستان به صورت مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. از نتایج بدست آمده، مجموع مواد سیمانی به‌کار رفته در نسبت مخلوط بهینه آزمایشگاهی معادل ۱۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. همچنین نسبت خمیر به ملات در حدود ۵ درصد بالاتر از حداقل توصیه شده در دستورالعمل بتن غلتکی ارائه شده در راهنمای انجمن مهندسی ارتش آمریکا به دست آمد. با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی مصنوعی از جمله روش‌های مدل‌سازی هستند که قدرت بسیار زیادی برای هماهنگی با مسائل مهندسی از خودشان نشان داده‌اند، در ادامه بر اساس نتایج واقعی ناشی از نسبت مخلوط آزمایشگاهی توسط مدل‌سازی شبکه‌های عصبی به مدل‌هایی به منظور پیش‌بینی مقاومت فشاری این نوع بتن در سن ۱۸۰ روزه می‌پردازد. مقادیر ضرایب همبستگی در هر یک از مدل‌های ساخته شده در این پژوهش نزدیک به مقدار ۱ به دست آمد که بیانگر دقت مناسب مدل‌ها هست.

واژگان کلیدی: نسبت مخلوط، بتن غلتکی، پارامترهای مقاومتی، شبکه‌های عصبی، سد ژاوه.

۱- مقدمه

از ابتدا استفاده از بتن غلتکی در سدسازی، با دیدگاه تأمین اهدافی چون حصول خواص سازه‌ای بتن و روش اجرایی مشابه با سدهای خاکی، مطرح و گسترش یافته است. اساسی‌ترین گام در آغاز استفاده از بتن غلتکی به عنوان نوع جدیدی از مصالح در سدسازی و روش اجرای ویژه آن در دهه ۸۰ برداشته شد و با توجه به هزینه کم احداث آن در قیاس با دیگر سدهای بتنی که به سرعت ساخت و کاهش میزان مواد سیمانی مصرفی باز می‌گشت، در زمان نسبتاً کوتاهی در سراسر دنیا مقبول واقع شد. سد بتن غلتکی را می‌توان برای شرایط عملکردی گسترده‌ای همچون سازه‌های حجیم با مقاومت کم تا سازه‌های کم حجم با مقاومت زیاد طرح و با سرعت بالایی اجرا نمود [1]. بتن غلتکی، یک بتن خشک با اسلامپ صفر است که به وسیله غلتک متراکم می‌شود. این بتن باید آنقدر خشک باشد که بتواند وزن غلتک و ماشین آلات را تحمل نماید و از سوی دیگر باید آنقدر رطوبت داشته باشد که امکان پخش و توزیع خمیر مواد سیمانی در کل توده بتن، در خلال مخلوط نمودن و متراکم ساختن آن فراهم شود [2]. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌ها در مرحله تعیین نسبت مخلوط بتن غلتکی قابلیت تراکم پذیری، کنترل پدیده جداشدگی سنگدانه‌ها و حفظ انسجام و یکنواختی مخلوط در حالت بتن تازه و محدود کردن نفوذپذیری و دستیابی به اتصال مناسب بین لایه‌ها در بتن سخت شده است [3]. همچنین چگونگی بتن‌ریزی بر هزینه و حتی نوع نسبت مخلوط بتن غلتکی تأثیر می‌گذارد [4، 5]. در زمینه خواص بتن غلتکی پژوهش‌های بسیاری انجام شده است. خالو و همکاران به بررسی عوامل موثر بر خواص بتن غلتکی و ارائه چگونگی دستیابی به نسبت مخلوط بهینه بتن غلتکی با توجه به سه معیار مقاومت فشاری بزرگتر از ۱۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، کارایی مناسب (زمان وی بی بین ۱۰ تا ۲۰ ثانیه) و عدم جداشدگی دانه‌ها و همچنین ملاحظات نفوذپذیری پرداخته‌اند [6]. در این راستا تعداد زیادی نسبت مخلوط مختلف با سنگدانه‌های شکسته و طبیعی ساخته شده است و آثار نوع و مقدار سیمان و پوزولان، نوع و دانه‌بندی

مصالح سنگدانه‌ای، نوع و مقدار مواد افزودنی و مقدار آب روی خواص بتن غلتکی به ویژه مقاومت فشاری و کارایی، بررسی شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد در سنگدانه‌هایی که دارای مقدار زیادی ریزدانه هستند، مقاومت فشاری مطلوبی حاصل نشد و سنگدانه‌هایی که فاقد مقدار کافی ذرات ریزدانه هستند از مقاومت فشاری خوبی برخوردارند ولی در آن‌ها جدا شدگی سنگدانه‌ها رخ می‌دهد. رمضانپور و همکاران در پژوهشی با عنوان تخمین مقاومت فشاری بتن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی این گونه مطرح می‌کند که از مدل‌های شبکه عصبی می‌توان به عنوان یک رگرسیون کاملاً غیرخطی و پیچیده یاد کرد که بر اساس داده‌های ورودی و هدف، آموزش دیده و قادر به پیش‌بینی شرایط بر اساس ورودی‌های جدید است [7]. در این پژوهش با در نظرگیری پارامترهای نسبت مخلوط بتن به عنوان ورودی، از مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی عملکرد بسیار مناسبی در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن دارد. هازاری و همکاران تأثیر نسبت مخلوط بر مشخصه‌های مقاومت در برابر ذوب و یخبندان در بتن غلتکی را مورد مطالعه قرار داده‌اند [8]. اهداف اصلی این پژوهش آثار مختلف میزان سیمان و هوای موجود روی ویژگی‌های پایه‌ای فیزیکی، مکانیکی و مقاومت‌های ذوب و یخبندان مخلوط‌های بتن غلتکی است. میزان هوای مخلوط نشان از تأثیر روی مقاومت و دوام در چرخه‌های یخ زدن و آب شدن را داشته است. مردانی آقابگلو و رامیار به منظور بررسی آثار پوزولان بر مشخصه‌های مکانیکی بتن غلتکی دو مجموعه از نسبت مخلوط که در آن‌ها پوزولان، جایگزین بخشی از سیمان یا سنگدانه‌ها شده بود را انجام دادند [9]. در مجموعه اول پوزولان جایگزین ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد وزن سیمان شد و در مجموعه دوم پوزولان به میزان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد وزن سیمان جایگزین مصالح سنگی شد. نتایج بیانگر این است که افزایش پوزولان باعث افزایش مقدار بهینه آب می‌شود. در مجموعه‌ای که پوزولان جایگزین سیمان شده بود، مقاومت‌ها با افزایش پوزولان

غلطکی بعثت کاهش نسبت آب به سیمان افزایش می‌یابد. همچنین در این پژوهش اضافه کردن مواد افزودنی دیرگیر کننده نیز موجب افزایش مقاومت فشاری بتن غلتکی شد.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

سد مخزنی ژاوه در استان کردستان در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر سنندج و در ۶ کیلومتری پایین دست محل تلاقی رودخانه‌های گاوهرود و قشلاق واقع شده است. (شکل ۱)

شکل ۱. موقعیت قرارگیری سد مخزنی ژاوه



Fig. 1. Location of Javeh Dam Reservoir

این سد از نوع بتن غلتکی است. خواص بتن غلتکی در حالت تازه و سخت شده حائز اهمیت ویژه بوده و دستیابی به مزایای فنی و اقتصادی برای سدهای بتن غلتکی، بستگی به مناسب بودن نسبت مخلوط دارد. بنابراین می‌توان با ارائه یک نسبت مخلوط مناسب اثر مصالح تشکیل دهنده بتن غلتکی را روی خواص مقاومتی بتن غلتکی با توجه به معیارهای مقاومت فشاری، کارایی و عدم جداشدگی سنگدانه‌ها بررسی کرد و سهم آن‌ها را در نسبت مخلوط بهینه مورد ارزیابی قرار داد. بتن غلتکی باید با توجه به روش و امکانات اجرایی، دارای کارایی کافی برای دستیابی به تراکم مورد نظر باشد. کارایی مخلوط تازه بتن غلتکی کاملاً متأثر از نسبت میزان بخش خمیری (Paste) در مخلوط بتن غلتکی است. منظور از خمیر، مجموع مواد ریزتر از الک ۲۰۰ شامل سیمان، پوزولان، آب، فیلر موجود در سنگدانه‌ها و حباب‌های هوای محبوس است. در این راستا برای رسیدن به نسبت مخلوط بهینه، یک برنامه آزمایشگاهی گسترده و

کاهش می‌یابد. در مجموعه‌ای که پوزولان جایگزین مصالح سنگی شده بود، با وجود افزایش در نسبت آب به سیمان، مقاومت‌ها در تمام سنین افزایش می‌یافت که این افزایش را به بهبود قابلیت تراکم پذیری به دلیل استفاده از پوزولان می‌توان مربوط دانست. در طرح‌هایی که ۶۰ درصد سیمان با پوزولان جایگزین شده بودند، افت محسوسی در مقاومت فشاری ۷ روزه به دست آمد. ابوخشابا و همکاران با رویکرد کاهش هزینه به بررسی امکان ساخت سدهای بتن غلتکی کم هزینه پرداخته‌اند [10]. دو گروه نسبت مخلوط با نسبت‌های آب به سیمان ۱ و ۰/۹ که در هر گروه از درصدهای مختلف پوزولان به عنوان جایگزین سیمان استفاده شده بود، طراحی و آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی، خمشی و مدول الاستیسیته روی نمونه‌ها انجام شده و نتایج بیان می‌کند که استفاده از پوزولان به عنوان جایگزین سیمان به منظور کاهش هزینه‌های آن و همچنین استفاده از خواص ویژه پوزولان موفقیت آمیز بوده است. نرخ رشد مقاومت فشاری از ۲۸ روزه به ۹۰ روزه با افزایش مقدار پوزولان افزایش یافت. در طرح‌های بدون پوزولان افزایش نرخ رشد ۱۰۵ تا ۱۲۰ درصد حاصل شد در حالیکه در طرح‌های با پوزولان این نسبت به ۱۲۲ تا ۱۵۱ درصد افزایش یافت. می‌جان و همکاران تأثیر ماکزیمم سائز سنگدانه‌ها در عملکرد بتن غلتکی را بررسی کردند [11]. نتایج نشان می‌دهد که دانه‌بندی کامل درشت‌دانه می‌تواند باعث کاهش میزان مصرف مواد سیمانی و کاهش رشد حرارت هیدراتاسیون شود که نیاز به تمهیدات کنترل حرارتی را کاهش می‌دهد. رآو و همکاران تأثیر جایگزینی سیمان با سرباره کوره ذوب گرانول در عملکرد بتن غلتکی را بررسی کردند [12، 13]. نتایج نشان می‌دهد که با جایگزین کردن ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درصدی سرباره کوره ذوب گرانول با سیمان در بتن غلتکی حاوی مصالح تمام شکسته موجب بهبود مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن به مقدار ۷، ۲۳ و ۱۹ درصد می‌شود. هاشمی و همکاران تغییرات مقاومت فشاری بتن غلتکی با بهبود ضریب کارایی سیمان را مورد مطالعه قرار دادند [14]. نتایج نشان داد که با اضافه کردن مواد افزودنی روان کننده، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن

شکل ۳. تعیین نسبت بهینه سنگدانه‌ها

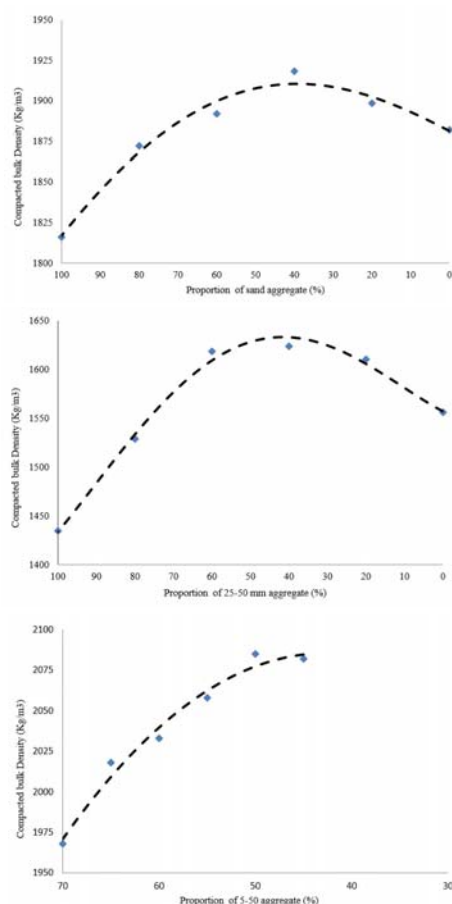


Fig.3. Determination of Optimal Aggregates Combination

جدول ۱- نتایج آزمایش XRD سنگ معدن قرضه

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂
Percent	8.61	2.22	0.82	0.04	0.46	0.25	0.4	48.66	0.07

Table 1. XRD Test Results of the Sample Borrow Source

شن (۰۵-۲۵) و شن (۲۵-۵۰) میلی‌متر در ساخت بتن غلتکی استفاده شد. (شکل ۲)
 برخی از نتایج آزمایش XRD نمونه‌ای از سنگ معدن قرضه استفاده شده مطابق جدول (۱) است.

شکل ۲. نمایی از کارگاه تولید مصالح (سنگ شکن)



Fig. 2. A View of Aggregates Production Site (Crusher)

کاربردی در آزمایشگاه مستقر در پروژه با رعایت معیارهای ذیل به اجرا درآمد:

✓ معیار مقاومت فشاری: بر اساس طراحی بدنه مقاومت فشاری هدف 120 kg/cm^2 برای سن ۹۰ روزه در نظر گرفته شد.

✓ معیار کارایی: برای کارایی مناسب و پیوستگی مورد انتظار لایه‌های مختلف معیار زمان VeBe برابر ۱۵ تا ۲۲ ثانیه لحاظ شد.

✓ کنترل جداشدگی: در این راستا ضمن الزام به قرارگیری مصالح سنگی تولیدی در پوش منحنی دانه‌بندی، اندازه حداکثر سنگدانه‌ها (MSA) برابر با ۵۰ میلی‌متر محدود شد.

برای ساخت و تراکم نمونه‌ها از میز وی بی اصلاح شده مطابق با استاندارد ASTM-C1176 استفاده شد.

۱-۲- مواد و مصالح مصرفی

۱-۱-۲- سنگدانه

برای تولید مخلوط‌های بتن غلتکی به کار رفته در پروژه‌های

مختلف سده سازی، گستره وسیعی از مواد و مصالح از نظر کیفی و کمی به کار رفته‌اند. در فرآیند نسبت مخلوط بتن غلتکی و یا تهیه مشخصات فنی پروژه برای مواد و مصالح سد بتن غلتکی باید شرایط و ویژگی‌های خاص در پروژه، لزوم طراحی و منابع مواد و مصالح در دسترس مدنظر قرار گیرند [15]. یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت و اقتصادی بودن پروژه، انتخاب منبع قرضه مناسب برای سنگدانه‌ها است. سنگدانه‌ها در بتن غلتکی باید استانداردهای لازم برای دانه‌بندی و کیفیت را برای ارضاء الزامات طراحی سازه برآورده سازند [3]. با توجه به بهره‌برداری مصالح از معدن قرضه سنگی کوهی واقع در اطراف ساختگاه، چهاربخش مصالح شامل فیلر، ماسه (۰-۵)،

در راستای تعیین نسبت بهینه سنگدانه‌ها، انجام آزمایش وزن مخصوص آزاد میله خورده مصالح مطابق با استاندارد ASTM-C29 در سه مرحله ذیل مطابق شکل (۳) در دستور کار قرار گرفت.

✓ تعیین درصد مناسب ماسه نسبت به فیلر

✓ تعیین درصد مناسب شن ریزدانه (۲۵-۵) میلی‌متر

نسبت به شن درشت‌دانه (۵۰-۲۵) میلی‌متر

✓ تعیین درصد مناسب مصالح درشت‌دانه (۵۰-۵) میلی‌متر

نسبت به مصالح ریزدانه (۵۰-۵) میلی‌متر

با در نظر گرفتن پارامترهای پیشینه وزن مخصوص میله خورده و کنترل پدیده جداشدگی، نسبت بهینه سنگدانه‌ها مطابق جدول (۲) انتخاب و مبنای ساخت نسبت مخلوط قرار گرفت. به منظور شناخت بهتر از مخلوط بدست آمده از ترکیب مصالح ۵۰-۰ میلی‌متر، میانگین دانه‌بندی کلی مصالح شکل (۴) در مقایسه با تعدادی از دانه‌بندی‌های سایر پروژه‌های بتن غلتکی ارائه شده توسط موسسه بتن آمریکا (ACI) [2] مطابق شکل (۵) نمایش داده شده است.

جدول ۲. نسبت بهینه سنگدانه‌ها در نسبت مخلوط بتن غلتکی

Specifications (%)	Filler	Sand	5-25	25-50
Fine Materials	30	70	----	----
Coarse Materials	----	----	50	50
To Total	45	55		
To Mixture	13.50	31.50	27.50	27.50

Table 2. Aggregate proportion in RCC Mixture Design

۲-۱-۲- سیمان و پوزولان

سیمان استفاده شده در ساخت نسبت‌های مخلوط از تولیدی ۳ کارخانه تولید کننده بی‌جار، آبیک و ایلام که دارای یک منبع پوزولانی بودند، مطابق با استاندارد ASTM-C595 با مقدارهای متفاوت سیمان و درصد پوزولان‌های مختلف ارزیابی شدند. درانتخاب سیمان علاوه بر ملاحظات فنی، باید ملاحظات اقتصادی تهیه سیمان نیز در نظر گرفته شود. یکی از خرابی‌های عمده در سدها، واکنش قلیایی سیلیسی سنگدانه‌ها است. با کاربرد پوزولان‌ها می‌توان تا حدود زیادی واکنش مذکور را تحت

کنترل در آورد. با توجه به موقعیت جغرافیایی پروژه و با عنایت به نتایج آزمایش‌ها واکنش قلیایی سیلیسی مطابق با استاندارد ASTM-C1260 که بیانگر مستعد بودن واکنش‌زایی مصالح بود و همچنین تشکیل ژل قلیایی سیلیسی در داخل منافذ بتن فاقد پوزولان در آزمایش پتروگرافی بتن مطابق شکل (۶)، سیمان پوزولانی ویژه تیپ II کارخانه سیمان بیجار با ۲۰ درصد پوزولان برای استفاده در پروژه انتخاب شد. مشخصات فیزیکی این سیمان در جدول (۳) ارائه شده است.

پودر پوزولان استفاده شده از نوع طبیعی بوده که با عنایت به نتایج آزمایش‌ها تجزیه شیمیایی پوزولان بر اساس ASTM-C311 مطابق جدول (۴) کلیه موارد شیمیایی و فیزیکی استاندارد ASTM-C618 کلاس N را برآورده می‌نماید.

۲-۱-۳- آب و مواد معدنی

بطورکلی هر آب طبیعی که قابل آشامیدن بوده و مزه و بوی خاصی نداشته باشد می‌تواند استفاده شود. آب مصرفی باید عاری از ناخالصی‌ها باشد. تا حد امکان باید از مصرف آبی که غلظت مواد محلول آن زیاد است، خودداری کرد. آب مورد نیاز در ساخت نمونه‌ها از آب چاه حفر شده در حاشیه رودخانه کارگاه تأمین شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های شیمیایی آب، غلظت یون سولفات و کلر به ترتیب ۵۲ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر (ppm) بوده و غلظت سایر املاح نیز در حد قابل قبول است. مواد افزودنی شیمیایی در بتن غلتکی مطابق با استاندارد ASTM-C494 به‌عنوان کنترل کننده زمان گیرش و تنظیم آن طبقه‌بندی می‌شوند. استفاده از این مواد باعث افزایش کارایی و چسبندگی بهتر لایه‌ها و بهبود خواص مکانیکی توده بتن غلتکی می‌شود. در این خصوص پس از ساخت نمونه‌ها با در صدهای مختلف مواد افزودنی از محصولات چندین تولیدکننده معتبر در آزمایشگاه، مطابق استاندارد ASTM-C403 زمان‌های گیرش مطابق شکل (۷) برای شرایط مختلف آب و هوایی و اجرایی تهیه و مقدار بهینه این مواد به میزان درصد مواد سیمانی تعیین شد.

شکل ۴. منحنی دانه‌بندی کلی مصالح تولیدی

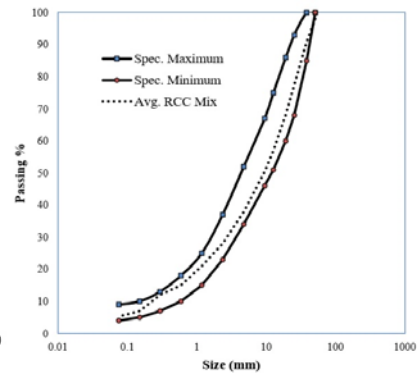


Fig.4. Total Gradation Curve of Produced Materials

شکل ۵. مقایسه منحنی دانه‌بندی با تعدادی از پروژه‌های بتن غلتکی اجرا شده

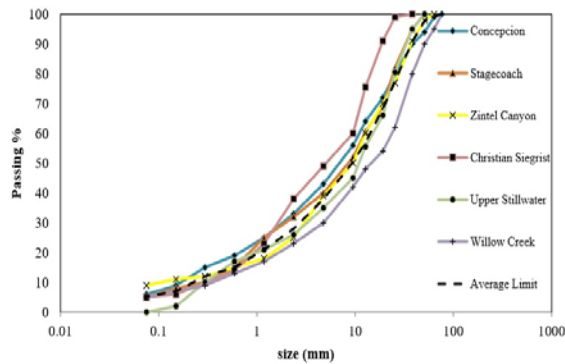


Fig.5. Comparison Gradation Curve to RCC Projects

شکل ۶. تشکیل ژل قلیایی سیلیسی در نمونه بتن فاقد پوزولان



Fig. 6. Alkali-silica gel Formation in the Concrete Sample without Pozzolan

جدول ۳. مشخصات فیزیکی سیمان پوزولانی ویژه تیپ II، کارخانه سیمان بیجار

Density (gr/cm ³)	Autoclave (%)	Vicat Test		Normal Consistency	Blaine (Cm ² /gr)	Compressive Strength (Kg/cm ²)		
		final	initial			28 days	7 days	3days
3.15	0.2	140	100	25.4	3408	478	352	252

Table 3. Physical Characteristics, Especially Type II Pozzolan Cement, Cement Factories Bijar

جدول ۴- نتایج آنالیز تجزیه شیمیایی پوزولان

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	LOI
Percent	68.9	12.5	2	0.95	3.51	2.11	0.99	5.1	4.9

Table 4. The Results of Pozzolan Chemical Analysis

۲-۲- نسبت‌های مخلوط

روش‌های مختلفی برای تعیین نسبت‌های مخلوط بتن غلتکی در دنیا استفاده می‌شود. تفاوت‌های موجود در این روش‌ها به خاطر شرایط بتن‌ریزی و ترکیب بتن، مصالح در

شکل ۷- آزمایش تعیین زمان گیرش بتن



Fig.7. Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance

برای تأمین کارایی مناسب، کم کردن فضاهای خالی در بتن و چسبندگی مناسب میان لایه‌های بتنی و در نهایت کاهش نفوذپذیری مخلوط در نظر گرفته شود. در نسبت مخلوط بهینه نسبت خمیر به ملات محاسبه شده ۱۰/۴۴ است که بالاتر از حدود پیشنهاد شده فوق است. یکی از پارامترهای مهمی که در ارزیابی نقش مواد سیمانی در بهبود مقاومت مخلوط بتن غلتکی کاربرد دارد ضریب کارایی سیمان است که به صورت نسبت مقاومت فشاری به مقدار سیمان در یک متر مکعب تعریف می‌شود. مقادیر این ضریب در سنین مختلف در بیش از ۶۰ سد مختلف دنیا در جدول (۹) ارایه شده است [16]. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضرایب کارایی سیمان در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نسبت مخلوط بهینه در مقایسه با میانگین ضرایب کارایی ارایه شده مطابق جدول (۹) از مقادیر بالاتری برخوردار هستند که بیانگر عملکرد مناسب نسبت مخلوط بتن غلتکی بهینه است.

۲-۲-۱- اجرای بستر آزمایشی و مغزه‌گیری

به منظور مشاهده کارایی بتن تولیدی با نسبت مخلوط منتخب و نیز انجام آزمایش‌های لازم، بستری آزمایشی به طول ۲۰ متر و عرض ۸ متر در دو لایه به ضخامت هر کدام ۳۰ سانتی‌متر اجرا، و مقرر شد در این طرح بیشترین حالات محتمل در اجرا، شبیه‌سازی شود تا امکان قضاوت کامل‌تر و دقیقی به دست آید. بتن غلتکی اجرا شده در بستر آزمایشی و نتایج آزمایش‌های حاصل از مغزه‌گیری از نظر ظاهری و نیز کارایی بر اساس مشخصات فنی و اجرایی با استانداردهای معتبر موجود هماهنگی داشت. تصاویری از مراحل اجرایی عملیات بتن‌ریزی غلتکی در بستر آزمایش در شکل (۸) نمایش داده شده است.

۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی

مقاومت فشاری بتن غلتکی متأثر از عواملی همچون مقدار سنگدانه‌ها، کیفیت ریزدانه‌ها، کیفیت مواد سیمانی، درجه تراکم و میزان رطوبت مخلوط است. با توجه به تأثیر عوامل گفته شده دامنه وسیعی برای مقاومت فشاری بتن غلتکی در هر پروژه بدست

جدول ۵- نسبت مخلوط آزمایشی بتن غلتکی سد ژاوه

RCC Trial Mixture Designs		
Number of Mixture Designs	Type of Pozzolan	Type of Cement
20	Bijar	Bijar
20	Abyek	Abyek
20	Ilam	Ilam

Table 5. Proposed Mixture Designs of RCC for Javeh Dam

طبق هماهنگی‌های صورت گرفته یک مجموعه جامع از نسبت‌های مخلوط با مقادیر مختلف سیمان و پوزولان از سه کارخانه مورد نظر پروژه مطابق جداول (۵ و ۷) پیش‌بینی و در دستور کار آزمایشگاه قرار گرفت. در این خصوص تعداد ۶۰ نسبت‌های مخلوط مختلف با به‌کارگیری پارامترهایی شامل: سنگدانه‌های تولیدی در اندازه‌های مختلف، مقدار سیمان و درصد پوزولان، نسبت آب به سیمان مطابق جدول (۶) ساخته شد و آزمایش‌های تعیین زمان وی بی و چگالی بتن غلتکی تراکم و همچنین آزمایش تعیین مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذپذیری و مدول الاستیسیته برای تعیین خواص آن انجام پذیرفت. با توجه به اینکه نسبت‌های مخلوط پیش‌بینی شده دارای تنوع زیادی هستند، پس امکان انتخاب نسبت مخلوط مناسب برای بدنه فراهم می‌شود. در نهایت با عنایت به موارد فوق و تأمین لزوم و پارامترهای مورد نیاز طراحی، از بین ۶۰ نسبت‌های مخلوط ساخته شده با مقدارهای مختلف سیمان و درصد متفاوت پوزولان با نسبت سنگدانه‌های بدست آمده از بند ۱-۱، مطابق جدول (۸) نسبت مخلوط بتن با مقدار ۱۲۵ کیلوگرم در متر مکعب با ۲۰ درصد پوزولان با نوع سیمان و پوزولان بیجار، به عنوان نسبت مخلوط بهینه انتخاب شد. نسبت خمیر به ملات تأثیر مستقیم در کارایی و تراکم مخلوط بتن غلتکی دارد. این نسبت با میزان ماسه و عبوری از الک نمره ۲۰۰ رابطه دارد. در دستورالعمل بتن غلتکی ارائه شده در راهنمای انجمن مهندسی ارتش آمریکا [3] توصیه شده است نسبت خمیر به ملات برابر ۰/۴۲

می‌آید [17]. پیش‌بینی و مدل‌سازی نسبت خلوط و مقاومت بتن غلتکی بر اساس پارامترهای موثر به مانند انواع دیگر بتن و چه بسا بیشتر، از پیچیدگی خاصی برخوردار است. از طرفی ورود انواع پوزولان‌ها، مواد افزودنی جدید در نسبت مخلوط این نوع بتن و همچنین متأثر بودن این بتن از روش‌های متفاوت بتن‌ریزی، اختلاط و تراکم، پیچیدگی نسبت‌های مخلوط آن را مضاعف نموده است [18]. با توجه به گستردگی مواد و مصالح استفاده شده در این نوع بتن و پیچیدگی نسبت مخلوط و متأثر بودن نسبت مخلوط آن از پارامترهای مختلف و نیز یافتن روابط بین پارامترهای مختلف نسبت مخلوط آن، باعث شده تا ارائه مدلی برای نسبت مخلوط بتن غلتکی امری ضروری به نظر برسد. مدل‌سازی مقاومت بتن غلتکی توسط شیوه‌های سستی و رگرسیونی با توجه به پیچیدگی‌های موجود در این موضوع، قادر به پیش‌بینی‌های مناسب نخواهد بود، چرا که رفتار مقاومتی بتن تحت تأثیر شرایط غیر خطی است و از کوچکترین جزئیات اجزای موجود در مخلوط و تعامل بین این اجزا متأثر می‌شود [19].

جدول ۶. نسبت‌های مخلوط آزمایشگاهی بتن غلتکی

No	Cementitious (Kg/m ³)		Cement Content (Kg/m ³)	Pozzolan		W/(C+P)	Aggregate (Kg/m ³)			
	Content	Type		Content(Kg/m ³)	%		Filler	0-5	5-25	25-50
1	100	Abyek	100	0	0	1.25	300	701	612	612
2	100	Abyek	80	20	20	1.25	300	700	611	611
3	100	Abyek	70	30	30	1.25	300	699	610	610
4	100	Abyek	60	40	40	1.25	299	698	610	610
5	100	Abyek	50	50	50	1.25	299	697	609	609
6	125	Abyek	125	0	0	1	297	694	606	606
7	125	Abyek	100	25	20	1	297	692	605	605
8	125	Abyek	97.5	27.5	30	1	296	692	604	604
9	125	Abyek	75	50	40	1	296	691	603	603
10	125	Abyek	62.5	62.5	50	1	296	690	602	602
11	150	Abyek	150	0	0	0.84	294	684	599	599
12	150	Abyek	120	30	20	0.84	293	684	598	598
13	150	Abyek	105	45	30	0.84	293	684	597	597
14	150	Abyek	90	60	40	0.84	293	682	596	596
15	150	Abyek	75	75	50	0.84	292	681	595	595
16	175	Abyek	175	0	0	0.72	291	680	593	593
17	175	Abyek	140	35	20	0.72	290	677	591	591
18	175	Abyek	122.5	52.5	30	0.72	290	676	590	590
19	175	Abyek	105	70	40	0.72	289	675	589	589
20	175	Abyek	87.5	87.5	50	0.72	289	674	588	588
21	100	Bijar	100	0	0	1.25	300	700	611	611
22	100	Bijar	80	20	20	1.25	297	693	605	605
23	100	Bijar	70	30	30	1.25	297	693	605	605
24	100	Bijar	60	40	40	1.25	296	692	604	604
25	100	Bijar	50	50	50	1.25	297	693	603	603
26	125	Bijar	125	0	0	1	294	686	599	599
27	125	Bijar	100	25	20	1	293	685	598	598
28	125	Bijar	97.5	27.5	30	1	293	684	597	597
29	125	Bijar	75	50	40	1	293	683	597	597
30	125	Bijar	62.5	62.5	50	1	292	682	597	597
31	150	Bijar	150	0	0	0.84	291	679	593	593
32	150	Bijar	120	30	20	0.84	290	677	591	591
33	150	Bijar	105	45	30	0.84	289	676	590	590
34	150	Bijar	90	60	40	0.84	293	684	597	597
35	150	Bijar	75	75	50	0.84	293	683	596	596
36	175	Bijar	175	0	0	0.72	292	682	595	595
37	175	Bijar	140	35	20	0.72	291	679	593	593
38	175	Bijar	122.5	52.5	30	0.72	290	678	592	592
39	175	Bijar	105	70	40	0.72	290	677	591	591
40	175	Bijar	87.5	87.5	50	0.72	290	676	590	590
41	100	Ilam	100	0	0	1.25	300	700	611	611
42	100	Ilam	80	20	20	1.25	300	699	610	610
43	100	Ilam	70	30	30	1.25	300	699	610	610
44	100	Ilam	60	40	40	1.25	299	699	610	610
45	100	Ilam	50	50	50	1.25	299	698	610	610
46	125	Ilam	125	0	0	1	297	693	605	605
47	125	Ilam	100	25	20	1	296	692	604	604
48	125	Ilam	97.5	27.5	30	1	296	691	604	604
49	125	Ilam	75	50	40	1	296	691	603	603
50	125	Ilam	62.5	62.5	50	1	296	690	602	602
51	150	Ilam	150	0	0	0.84	294	686	598	598
52	150	Ilam	120	30	20	0.84	293	684	597	597
53	150	Ilam	105	45	30	0.84	293	683	596	596
54	150	Ilam	90	60	40	0.84	293	682	596	596
55	150	Ilam	75	75	50	0.84	292	682	595	595
56	175	Ilam	175	0	0	0.72	291	679	592	592
57	175	Ilam	140	35	20	0.72	290	679	591	591
58	175	Ilam	122.5	52.5	30	0.72	290	676	590	590
59	175	Ilam	105	70	40	0.72	289	675	589	589
60	175	Ilam	87.5	87.5	50	0.72	289	674	588	588

Table 6. Laboratory Mixture Design Proportions of RCC

جدول ۷. برنامه آزمایشگاهی و آزمون‌های مورد نیاز نسبت‌های مخلوط آزمایشی بتن غلتکی

Item	Cementitious Materials (Kg/m ³)	Pozzolan Percent	Number of Required Test Specimens				
			Compressive strength				Tensile Strength
			7-Days	28-Days	90-Days	180-Days	90-Days
1	100	0	2	3	3	3	3
2		20	2	3	3	3	3
3		30	2	3	3	3	3
4		40	2	3	3	3	3
5		50	2	3	3	3	3
6	125	0	2	3	3	3	3
7		20	2	3	3	3	3
8		30	2	3	3	3	3
9		40	2	3	3	3	3
10		50	2	3	3	3	3
11	150	0	2	3	3	3	3
12		20	2	3	3	3	3
13		30	2	3	3	3	3
14		40	2	3	3	3	3
15		50	2	3	3	3	3
16	175	0	2	3	3	3	3
17		20	2	3	3	3	3
18		30	2	3	3	3	3
19		40	2	3	3	3	3
20		50	2	3	3	3	3

Table 7. Laboratory Program and Test Specimens for RCC Mixture Designs

جدول ۸. نسبت مخلوط بهینه آزمایشگاهی بتن غلتکی

Project Specifications	(C+P)	W/(C+P)	MSA (mm)	Aggregate								Vebe (Sec)	Unit Weight (Kg/m³)	Vp/Vm
				Filler		0-5		5-25		25-50				
				%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg			
RCC-125	125	1	50	13.5	293	31.5	685	27.5	598	27.5	598	15	2450	0.44

Table 8. Laboratory Optimum Mixture Design of RCC

جدول ۹. مقایسه ضرایب کارایی نسبت مخلوط بهینه بتن غلتکی سد ژاوه

Age	7-days	28-days	90-days
Average Efficiency Factor in over 60 dams	0.54	0.91	1.20
RCC Optimum Mixture Design	0.58	0.95	1.23

Table 9. The Comparison of Efficiency Factor of RCC Optimum Mixture Design in Javeh dam

هماهنگی با مسایل مهندسی از خود نشان داده‌اند. ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی الهام گرفته از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی است. بدین معنی که یک شبکه عصبی از چندین عنصر به نام نورون تشکیل شده است که هر یک از این نورون‌ها با نورون‌های دیگر ارتباط دارند. هدف شبکه عصبی مصنوعی، تقلید از نورون‌های سیستم عصبی انسان است که این کار با اتصال تعداد زیادی از پردازش‌گرها

پس استفاده از روشی که به کمک آن بتوان با استفاده از نسبت مخلوط مختلف و بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده قبلی روی نمونه بتن غلتکی با درصدهای سیمان و پوزولان مختلف و نیز تنوع مدل آن‌ها به پیش‌بینی و یا تعیین محدوده مناسبی از مقاومت بتن غلتکی رسید، امروزه مورد توجه هست. شبکه‌های عصبی مصنوعی از جمله روش‌های مدل‌سازی هستند که قدرت بسیار زیادی برای

شکل ۸. تصاویری از اجرای بستر آزمایشی



Fig. 8. Images of the Test Pad Construction

بسیاری از ویژگی‌های نسبت‌های مخلوط و بدون ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی به نسبت مخلوط بهینه از جنبه‌های سازه‌ای و مالی دست یافت. پس در ادامه با توجه به داده‌های ناشی از ۶۰ نسبت‌های مخلوط بتن غلتکی سد مخزنی ژاوه و با استفاده از این نوع شبکه عصبی که دارای یک لایه پنهان باشد، به مدل‌هایی به منظور پیش‌بینی مقاومت فشاری این نوع بتن پرداخته می‌شود. شکل (۹) ساختار شبکه به کار رفته برای مدل سازی را نشان می‌دهد که از سه لایه ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده است و $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pN}$ ورودی‌های N عنصری و Whi و Wjh اوزان قابل تنظیم شبکه را تشکیل می‌دهند.

شکل ۹. ساختار شبکه‌های عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا

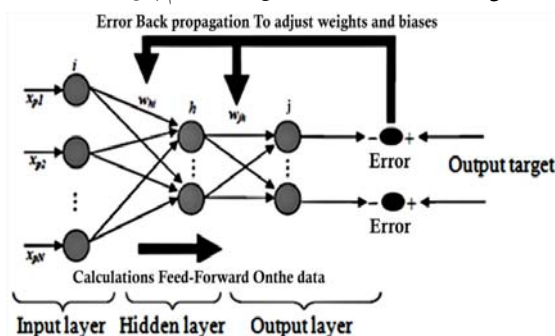


Fig. 9. Structure of Neural Networks with Error Back propagation Algorithm

موسوم به نورون‌های مصنوعی انجام می‌شود. نورون‌ها، اجزای اصلی شبکه‌های عصبی هستند که از سه بخش وزن، بایاس و تابع انتقال تشکیل می‌شود. بیشتر مدل‌های شبکه عصبی از سه بخش اصلی لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی تشکیل شده است. هر نورون در لایه ورودی به نورون لایه پنهان متصل است و باید به این نکته توجه داشت که بین نورون‌ها در یک لایه هیچ‌گونه اتصالی وجود ندارد. تعداد نورون‌ها در هر لایه به عوامل متعددی بستگی دارد. به عنوان نمونه، تعداد نورون‌های ورودی و خروجی به پارامترهای ورودی و خروجی مورد نظر در مدل‌سازی بستگی داشته و معمولاً تعداد نورون‌ها در لایه پنهان به کمک روش‌های مختلف بر اساس پیچیدگی مسأله مورد نظر تعیین می‌شود [20]. به‌طور کلی شبکه‌های عصبی با معرفی، محاسبه و تفکیک داده‌ها در یک فضای چند متغیره، آن‌ها را به فضاهای مطلوب تبدیل می‌کند. برای آموزش شبکه داده‌های آموزشی به عنوان ورودی به شبکه داده می‌شود و خروجی شبکه محاسبه می‌شود. با محاسبه اختلاف بین خروجی شبکه و خروجی مد نظر، وزن‌ها و بایاس‌های شبکه تنظیم می‌شود تا خطا به کمترین مقدار برسد [21]. با به کار بردن این مدل‌های پیش‌بینی مقاومت و استفاده از روش‌های مینیمم سازی می‌توان با در نظر گرفتن

می‌شود. تابع انتقال به‌کار گرفته شده در این لایه از نوع سیگموئید است. همچنین از تابع لونیگ-مارکواردت برای بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس‌ها استفاده شده است.

جدول ۱۰. بهترین تعداد نورون در لایه مخفی

The Number of Neurons in the Hidden layer	Error
12	0.043
14	0.025
16	0.010
18	0.015
20	0.017

Table 10. The Best Number of Neurons in the Hidden layer

۵- تقسیم‌بندی داده‌ها

در مدل‌سازی رفتار پدیده‌ها به‌وسیله هوش مصنوعی، نیاز به معرفی ۳ سری داده‌های آموزشی، ۳ صحت‌سنجی و آزمایشی است. نسبت هر سری از داده‌های ذکر شده به کل داده‌ها در شبکه عصبی مصنوعی این پژوهش در جدول (۱۲) آورده شده است.

جدول ۱۱. پارامترهای ورودی مدل‌ها و نماد آن‌ها

Variable Input(kg/m ³)	Symbol Input
Cement Content	X1
pozzolan Content	X2
Filler Content	X3
Sand Content(0-5)	X4
Gravel Content(5-25)	X5
Gravel Content(25-50)	X6
Water Content	X7

Table 11. Input Parameters of Models and their Symbols

جدول ۱۲. درصد داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی

Data segmentation	Artificial Neural Network
Training Data	%70
Validation Data	%15
Testing Data	%15

Table 12. Percentage of Training, Validation and Test Data

۶- معیارهای ارزیابی

منظور از ارزیابی، به‌دست آوردن میزان خطای مدل با توجه به داده‌های ورودی داده شده به مدل برای آموزش و بر اساس معیارهای مختلف محاسبه خطا است. ضرایب ارزیابی

این شبکه‌ها بر اساس المان‌های پردازش‌گری به نام سلول عصبی عمل می‌کنند. سلول‌های لایه ورودی مقادیر عناصر بردار ورودی هر یک از الگوها را بدون هیچ پردازشی به لایه مخفی منتقل می‌کنند و سلول‌های لایه مخفی و لایه خروجی بر اساس شکل (۱۰) روی مقادیر ورودی خود به پردازش اطلاعات دست می‌زنند. تابع f در این شکل با نام تابع انتقال شناخته می‌شود و می‌تواند از نوع تابع سیگموئید، تانژانت هایپربولیک و یا خطی باشد [22].

۴- مجموعه داده‌های مدل‌سازی

در این پژوهش مدل سازی مقاومت فشاری ۱۸۰ روزه بتن غلتکی سد ژاوه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام گرفته است. پارامترهای تاثیرگذار بر مقاومت فشاری که در جدول (۱۱) ذکر شده‌اند، به عنوان ورودی به مدل‌ها داده شده است.

شکل ۱۰. (چپ) سلول عصبی و عملیات ریاضی آن، (راست ۱) تابع تانژانت هایپربولیک (راست ۲) تابع سیگموئید

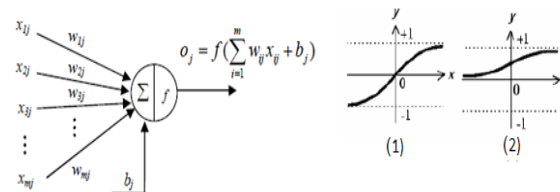


Fig. 10. (Left) Nerve Cell and its Math Operations, (Right 1) Hyperbolic Tangent Function (Right 2) Sigmoid Function

رابطه ۱ که برنامه طبق آن محاسبات را انجام می‌دهد به صورت زیر است:

$$\text{Purelin}(W_{2,1} \times \text{Tansig}(W_{1,1} \times X + b_1) + b_2) \quad (1)$$

که در آن $W_{2,1}$, $W_{1,1}$ و b_1 و b_2 ضرایب محاسباتی توسط نرم‌افزار است و X نیز مقادیر اولیه نسبت‌های مخلوط است. در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار استفاده شده است. برای این شبکه عصبی ۳ لایه تعریف شده که دارای یک لایه پنهان است. تعداد نورون‌های لایه پنهان با توجه به مقایسه مقدار خطا محاسبه شده در جدول (۱۰) و انتخاب نورون با کمترین مقدار خطا، ۱۶ عدد انتخاب

- 3 Train Data
- 4 Validation Data
- 5 Test Data

- 1 Back Propagation
- 2 Levenberg Marquardt(LM)

شکل ۱۱. نمودار رگرسیون شبکه پس از آموزش برای پیش بینی مدل ۱۸۰ روزه

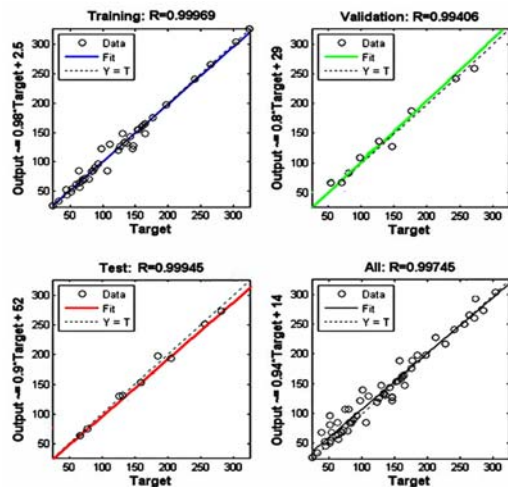


Fig. 11. Network Regression Diagram after Training to Predict the 180-days Model

شکل ۱۲. نمودار میانگین مربعات خطا در فرآیند آموزش شبکه

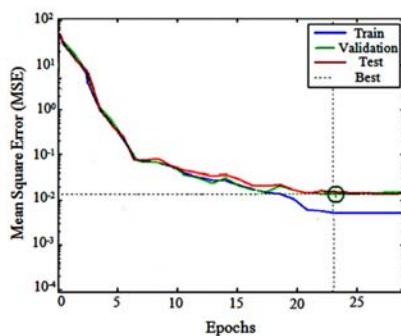


Fig. 12. The Mean Squared Error Graph in the Network Training Process

شکل ۱۳. روند تغییرات شبکه در مراحل آموزش شبکه

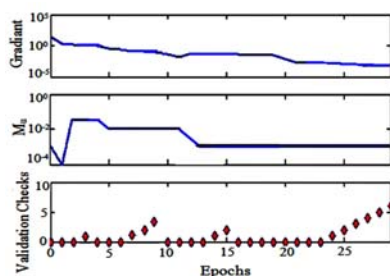


Fig. 13. The Process of Network changes in the Network Training Stages

۱- مجموع مواد سیمانی به کار رفته در نسبت مخلوط بهینه آزمایشگاهی معادل ۱۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. بر اساس طبقه‌بندی مخلوط‌های بتن غلتکی، نسبت مخلوط

مورد شامل ضریب همبستگی ۱ و میانگین مربعات خطا ۲ می‌باشد.

۷- نرم افزار مورد استفاده برای مدل سازی

برای مدل سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی، نرم افزارهای متعددی همچون Matlab, Neural Solution, Nnet Sheet و غیره موجود است که به دلیل محیط کاربری آسان، قدرت بالا و در دسترس بودن آن، از نرم افزار Matlab برای مدل سازی و یافتن شبکه بهینه استفاده شده است [23].

۸- ارائه نتایج مدل سازی

شکل (۱۱)، نمودار میزان دقت نتایج ناشی از مدل سازی شبکه عصبی در مقایسه با خروجی‌های واقعی بررسی‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد، که هر چه تمرکز این نقاط روی نیمساز ربع اول محورهای مختصات خط $(y=x)$ بیشتر باشد، تصدیقی بر درستی فرآیند مدل سازی شبکه‌ی عصبی و دقت بالای آن است. همان گونه که مشاهده می‌شود در هریک از مدل‌های ساخته شده نتایج مناسبی به وجود آمده است به شکلی که ضرایب همبستگی نزدیک به مقدار ۱ در بین خروجی‌های مدل و مقادیر هدف برخوردار هستند. این دقت در سه مجموعه آموزش، صحت سنجی و آزمایش به طور همزمان وجود دارد که نشان دهنده دقت مناسب مدل‌ها است. در شکل (۱۲)، تغییرات میانگین مربعات خطا در فرآیند مدل سازی بر حسب تغییرات اپوک مورد بررسی قرار گرفته است، که اگر سه نمودار ترسیمی در یک راستا و امتداد باشند، نشان دهنده درستی فرآیند مدل سازی توسط شبکه است.

شکل (۱۳) نیز روند تغییرات شبکه طی اپوک‌های مختلف را نمایش می‌دهد.

۹- نتیجه گیری

ساخت سدها با شیوه بتن غلتکی فناوری جدیدی است که در طول دهه اخیر پیشرفت زیادی کرده است. همچنین استفاده از شبکه‌های عصبی، مقاومت فشاری بتن غلتکی را دچار تحول کرده و نتایج بسیار دقیقی را در برداشته است. در ذیل عمده نتایج بدست آمده از این پژوهش ارائه شده است:

- International Conference on Advances in Concrete Technology, Athens, Greece; 2nd Edition, CANMET, Ottawa, Canada.
- [2] American Concrete Institute (ACI). (2000). Roller Compacted Mass Concrete. ACI 207.5R.
- [3] Translation: Ehsani Znoor, A. and Motevali Kohne SHahri, A. (1378). Roller-Compacted Concrete in Dam Construction, Translated from the Artifacts of the Army of the United States Army, Forouzesh Publications, First Edition, 196 pages. (in persian)
- [4] Lopez, M.J., Schrader, E. and Gaekel, L., (2012). RCC Dam Construction – Conveyors or Trucks. 6TH International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams. Zaragoza.
- [5] Niekerk, J.F., Niekerk, J. and Ortega, F., (2012). Immersion Vibrated RCC (IVRCC) First world experience at DeHoop RCC Dam in South Africa.
- [6] Khaloo A. R., Safari M., and Amini A. K. (1388). Roller Compacted Concrete (RCC) Optimal Mix Design, 3th International Conference on Concrete and Development, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran. (in persian)
- [7] Ramezani pour A. A., Pilvar, A. R. and Sobhani J., (1391). Estimating Compressive Strength of Concrete Using Artificial Neural Network, 4th Annual National Concrete Conference of Iran, Tehran, Iran. (in persian)
- [8] Hazaree, CH. , Ceylan, H. and Wang, K. (2011). Influences of mixture composition on properties and freeze – thaw resistance of RCC. Construction and Building Materials. 25, 313–319.
- [9] Mardani-Aghabaglou, A and Ramyar, K. (2013). Mechanical properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method. Construction and Building Materials. 38, 356-364.
- [10] Abu-Khashaba, M.I. , Adam, I. and El-Ashaal, A. (2014). Investigating the possibility of constructing low cost roller compacted concrete dam. Alexandria Engineering Journal. 53, 131–142.
- [11] Meijuan, Rao, Huaquan, Yang, Yuqiang Lin, Jiazheng, Li and Yan Shi. (2016). Influence of maximum aggregate sizes on the performance of RCC. Construction and Building Materials. 115, 42–47.
- [12] Rao, S.K., Sravana, P. and Rao, T.C. (2016). Investigating the effect of Manufactured Sand on abrasion resistance of Fly Ash - سد ژاوه از گروه مخلوط‌های سیمان با مقدار متوسط (مابین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان) است.
- ۲- نسبت خمیر به ملات در نسبت مخلوط بهینه آزمایشگاهی در حدود ۵ درصد بالاتر از حداقل توصیه شده در دستورالعمل بتن غلتکی ارائه شده در راهنمای انجمن مهندسی ارتش آمریکا است و این بیانگر کارایی مناسب مخلوط بتن غلتکی بوده که البته در حین اجرای بستر آزمایشی نیز مشاهده شد.
- ۳- ضرایب کارآیی سیمان در نسبت مخلوط بهینه بتن غلتکی آزمایشگاهی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب در حدود ۴/۵، ۷/۵ و ۲/۵ درصد بیشتر از میانگین ضرایب کارآیی سیمان ارایه شده در بیش از ۶۰ سد مختلف دنیا است.
- ۴- مشاهدات چشمی اجرای بتن غلتکی در بستر آزمایشی و عدم جداشدگی سنگدانه‌ها در مخلوط، بیانگر مناسب بودن منحنی دانه‌بندی ترکیبی در نسبت مخلوط بهینه آزمایشگاهی است.
- ۵- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از استفاده شبکه‌های عصبی مصنوعی، بیانگر آن است که با استفاده از این شبکه‌ها و در مدت زمان کوتاه می‌توان مقاومت فشاری سنین مختلف بتن غلتکی را با کمترین خطا پیش‌بینی نمود.
- ۶- میانگین شاخص فعالیت پوزولانی بیجار با سیمان کارخانه بیجار در سن ۷ روزه ۸۴/۵، در سن ۱۴ روزه ۸۹ و در سن ۲۸ روزه ۸۷/۶ درصد حاصل شده، که به‌طور متوسط بیشتر از حداقل مجاز استاندارد ASTM-C618 کلاس N است.
- ۷- مقدار ضریب همبستگی از صفر تا یک متغیر بوده و هر چه پاسخ به یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده برازش بهتر مدل می‌باشد. مقادیر ضرایب همبستگی در هر یک از مدل‌های ساخته شده در این پژوهش نزدیک به مقدار ۱ است.

۱۰- مراجع

- [1] Schrader, EK. (1994). Roller-Compacted concrete for dams, State of the Art.

- concrete, Journal No. 14, Publication of the Ministry of Energy, National Committee of the Great Dams of Iran, 283 pages. (in persian)
- [19] Ramezani pour A. A., Sadeghi Kh., and Niaomran M. A. (1385). Application of Artificial Neural Networks in RCC Mix Design, 7th International Civil Engineering Congress, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (in persian)
- [20] Mehmanna vaz, T., Khalilikhorram, V., Sajjadi, S.M. and Samadi, M. (2014). Presenting an Appropriate Neural Network for Optimal Mix Design of Roller Compacted Concrete Dams. Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol., 7, 1872–1877.
- [21] Khan, M. I. (2012). Predicting properties of High Performance Concrete containing composite cementitious materials using Artificial Neural Networks. Autom. Constr., 22, 516–524.
- [22] Menhaj M. (1377). The Foundations of Neural Networks. Professor Hessabi Publication Center, First Ed., Tehran, Iran. (in persian)
- [23] Matlab User Manual, Mathworks, (2015).
- Roller Compacted Concrete (FRCC). 118, 352–363.
- [13] Rao, S.K., Sravana, P. and Rao, T.C. (2016). Investigating the effect of Manufactured Sand on abrasion resistance of Roller Compacted Concrete containing GGBS. 122, 191–201.
- [14] Hashemi, M., Shafigh, P., Karim, M.R.B., and Atis, C.D. (2018). The effect of coarse to fine aggregate ratio on the fresh and hardened properties of roller compacted concrete pavement. Construction and Building Materials. 169, 553–566.
- [15] Bagheri, A. and Mahmoudian, M. (1381). Methods of Mixing Design of Concrete Rollers for Dam Construction Projects, Journal No. 47, Publication of the Ministry of Energy, National Committee of the Great Dams of Iran. (in persian)
- [16] Andriolo, F. (2003). Materials & RCC Quality Requirements. 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams- Spain.
- [17] Schrader, E.K. (2008). Construction Engineering Handbook (Chapter 20). Second Edition, CRC Press. New Jersey.
- [18] Vereinhard, Hansen, translation: Bondar, D. (1376). Dams of Roller-Compacted

Determination of Strength Parameters in Roller Compacted Concrete (RCC) Dams using Laboratory Results and Forecasting based on Artificial Neural Networks

Roohollah Hanteh¹, Mojtaba Hanteh², Ali Kheyroddin^{3*}, Omid Rezaifar⁴

1. M.Sc civil Engineering in Water Engineering & Hydraulic Structure, Iran

2. PhD candidate - Structure Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

3. Professor - Civil Engineering Department, Semnan University, Semnan, Iran

4. Associate Professor - Civil Engineering Department, Semnan University, Semnan, Iran

*kheyroddin@semnan.ac.ir

Abstract

The RCC construction method is one of the alternative methods in constructing concrete and earth dams. RCC is a kind of concrete which is pressed with roller, and after being compacted with roller, it is changed to a concrete like conventional concrete. Primarily, using RCC in dam construction was developed to obtain the concrete structural properties and a construction method similar to earth dams. In RCC mixture design, compressibility, non-segregation, maintaining the consistency of the fresh concrete, limiting the permeability, and achieving the proper bonding among the layers is required for efficiency. A qualitatively and quantitatively wide range of materials are used for constructing RCC mixtures in different dam projects. Therefore, Primarily the RCC aimed to obtain the conventional concrete properties and the construction procedure similar to earth dams. The quality and accessibility to materials to produce RCC should satisfy the structural and durability requirements. Therefore, the proper ratio of roller compacted concrete mixture is an important step in achieving an economical and durable concrete. This study aims to investigate the effects of various factors on the dam RCC mixture design (a case study of Javeh dam in the West of Iran), which optimum mixture design was developed as a laboratory research while observing all technical requirements and finally it was conducted as a test pad application. Javeh Reservoir Dam is located in a distance of 40 km southwest of Sanandaj, Kurdistan and 6 km from the downstream of Gaveh Roud and Qeshlaq River intersection. The dam is made of RCC. The properties of RCC in fresh and hardened conditions are of particular importance. Technical and economic advantages of RCC dams depend on the suitability of the mixture design. Therefore, by an appropriate mixture design, we can investigate the effect of RCC composite materials on the strength properties of RCC in terms of compressive strength, efficiency and non-separation characteristics of aggregates and their ratios in an optimal mixture design. RCC must have sufficient efficiency to achieve the desired density according to the method and facilities. The efficiency of the new mix of RCC is entirely influenced by the amount of paste in the RCC mix. The paste contains the materials finer than #200 sieve including cement, pozzolan, water, filler of the aggregates and air bubbles. From the results, the total cementitious materials used in the optimum laboratory mixture design is 125 kg/m³. In addition, the ratio of Paste to mortar was about 5% higher than the minimum recommended in the RCC instruction given in the manual of the US Army Corps of Engineers. The compressive strength of roller concrete is affected by factors such as the amount of aggregates, the quality of fine grains, the quality of cement materials, grade density and content of mixed moisture. Considering that artificial neural networks are among the modeling methods that have shown great power to adapt to engineering problems, the models for predicting the compressive strength of this type of 180-day concrete is discussed based on the actual results from laboratory mixture design by neural networks modeling. The values of correlation coefficients in each of the models made in this study were close to the value of 1, which indicates the appropriate accuracy of the models.

Keywords: Mixture Design, Roller Compacted Concrete (RCC), Strength Parameters, Neural Networks, Javeh Dam.