

## طراحی آستر بتنی به منظور حفاظت سطحی پوشش‌های فیزیکی کاهنده تبخیر

حمیده افخمی \*

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد.

حسین ملکی نژاد

دانشیار و عضو هیئت علمی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

عصمت اسماعیل زاده

رئیس بخش آب و محیط زیست، واحد تحقیقات و توسعه، مجتمع مس سرچشمه.

### چکیده

استفاده از پوشش‌های فیزیکی کاهنده تبخیر در مخازن آبی روباز، یکی از مهم‌ترین روش‌های حفاظت از منابع آبی محسوب می‌گردد. در پژوهش حاضر سه پوشش شناور شامل فومتالات، یورتالات و یونوبتن به منظور حفاظت از منابع آبی مجتمع مس سرچشمه طراحی شده که اساس آن متشکل از دو ماده پلی‌استایرن و پلی‌یورتان می‌باشد. به منظور حفاظت لایه سطحی پوشش‌های نامبرده در مقابل عوامل اقلیمی و شرایط اسیدی آب، آستری بتنی طی ۱۸ طرح اختلاط بتن طرح‌ریزی شد و در آن نسبت آب به سیمان، میزان پوزولان جایگزین سیمان، فیلر و الیاف پلی‌پروپیلن به عنوان فاکتورهای متغیر بررسی شد. سپس مقاومت ۲۸ و ۴۲ روزه نمونه‌ها و همچنین میزان خوردگی آن‌ها در بازه دو ماهه اندازه‌گیری گردید. در ادامه، معنی‌داری تفاوت‌های مشاهده شده حاصل از آزمایش‌های مختلف در نمونه‌های ساخته شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌های دانکن بررسی شد. در نهایت نتایج بدست آمده نشان داد وجود سرباره فولاد اصفهان به عنوان پوزولان به میزان ۴۵ درصد وزنی سیمان و فیلر WR780 به میزان دو درصد در نمونه L<sub>1</sub> منجر به کسب بیشترین مقاومت ۴۲ روزه (۵۶۰ نیوتن) و کمترین میزان خوردگی (۴ گرم) شده است. همچنین این نمونه بیشترین افزایش مقاومت از ۲۸ به ۴۲ روز را در میان سایر نمونه‌ها داشته که حاکی از تکامل واکنش‌های سرباره در بازه بعد از ۲۸ روز است. علاوه بر این نتایج آزمایش‌های L<sub>10</sub> و L<sub>15</sub> نشان داد، میزان پوزولان جایگزین سیمان فاکتور بسیار مهمی است، به طوری که مقادیر بیش از ۵۰ درصد آن به شدت مقاومت بتن را کاهش و میزان خوردگی را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: منابع آب، کنترل تبخیر، بتن ضد اسید، مقاومت فشاری، خوردگی.

\* نویسنده مسئول: hamide.afkhami@gmail.com

## ۱- مقدمه

اندازه گیری مستقیم حجم آب تبخیر شده روی نمونه های موجود، تأثیر استفاده از لایه تک مولکولی متشکل از اسیدهای چرب در کاهش نرخ تبخیر را بررسی نمودند. نتایج بررسی ها توانایی این مواد را در کاهش میزان تبخیر ۵۷ درصد نشان داد. آلورز و همکاران [۵] اثر استفاده از پوشش های پلیمری از جنس آلومینیوم و پلی اتیلن مخصوص در کاهش نرخ تبخیر از مخزن سدها به ترتیب ۵۰ و ۸۰ درصد برآورد نمودند. این روش بیشتر در مخازن و سدهای کوچک و محلی کاربرد دارد. بشامر [۶] و وان دی گراف [۷] به صورت جداگانه تحقیقاتی در زمینه استفاده از ماده های تجاری با نام آکوآتین (Aquatain) جهت کاهش تبخیر انجام دادند. همچنین مک جانت و همکاران [۸] مروری بر سابقه استفاده از تک لایه ها (Aquatain) و استفاده از آکوآتین و میزان کارایی آنها در کاهش تبخیر انجام دادند. حسن و همکاران [۹] از پوشش فیزیکی فوم جهت کاهش تبخیر بر روی دریاچه ناصر در مصر مطالعاتی را انجام دادند. نتایج این بررسی در مقیاس آزمایشگاهی نشان داد با پوشاندن ۸۲/۵ درصد از سطح با فوم های دایره ای کاهش تبخیری معادل ۷۴ درصد بدست خواهد آمد. مقیمان و اصلانی [۱۰] جهت کاهش میزان تبخیر از نانوذرات رس،  $TiO_2$ ،  $ZrO_2$ ،  $Fe_2O_3$  و  $Ni/Fe$  در غلظت های مختلف استفاده نمودند. نتایج، تأثیر نانوذره رس را در کاهش تبخیر منفی و استفاده از سایر نانوذرات را در ذخیره آب مثبت و مفید ارزیابی نمود. درویش و همکاران [۱۱] میزان کاهش تبخیر ناشی از اعمال پوشش های شناور پلی استایرن در رودخانه نیل را ۳۹ تخمین زدند. سانافه و همکاران [۱۲] به منظور کاهش تبخیر از مخازن ذخیره در مناطق خشک و نیمه خشک والنسیا در اسپانیا از سلول های فتوالکتریک استفاده نمودند و در نهایت این کاربرد دو منظوره که با هدف کاهش تبخیر و تولید جریان الکتریسته انجام گرفت روشی نسبتاً آسان و مقرون به صرفه ارزیابی گردید. نتایج تحقیق پیری و همکاران [۱۳] در ایران تأثیر پوشش های فیزیکی پلی استیرن با درصدهای متفاوت بین ۳۰ تا ۵۵ گزارش نمودند. رنجبر و همکاران [۱۴] صفحات بتن سبک پرلیتی به مساحت ۱ متر مربع جهت کاهش تبخیر از دریاچه سد کارون ۳ طراحی و تأثیر آن را در کاهش تبخیر مثبت ارزیابی نمودند.

در تحقیق حاضر که به منظور کاهش تبخیر از سطح مخازن روباز مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است، سه پوشش متفاوت بنام

تبخیر یکی از مهمترین پدیده های اقلیمی در کاهش و اتلاف آب در دریاچه ها و مخازن روباز محسوب می گردد. در شرایط فعلی که بسیاری از کشورها درگیر بحران شدید آب هستند، بسیاری از توجهات معطوف به صرفه جویی در مصرف آب شهری و ارائه راهکارها و روش های نوین در سیستم های آبیاری مبنی بر کاهش مصرف آب است. در این میان پدیده نامحسوس تبخیر به رغم خروج حجم عظیمی از این سرمایه گران بها از چرخه بیلان آبی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مشکلات و موانع یاد شده تلاش و کوشش مضاعف در خصوص شناسائی روش ها و ارائه راهکارهای عملی و اقتصادی که بتواند از تلفات آب جلوگیری کرده و آن را کاهش دهد بسیار ضروری به نظر می رسد. استفاده از روش های مختلف جهت کاهش تلفات تبخیر از سطح دریاچه ها و مخازن دارای سابقه طولانی در سطح دنیا می باشد. کریج [۱] روش های کاهش تبخیر از سطوح آبی روباز را به پنج دسته روش های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، ساختاری و مکانیکی تقسیم نمود. در این میان بیشترین تحقیقات انجام شده در سطح دنیا مربوط به استفاده از روش های شیمیایی و فیزیکی است. تحقیقات آزمایشگاهی در خصوص کاهش میزان تبخیر از سطح آب با استفاده از مواد شیمیایی به دهه ۱۹۲۰ برمی گردد که در آنها تأثیر استفاده از پوشش های شیمیایی تک مولکولی (Monomolecular film) روی سطح آب بررسی شد. در سال ۱۹۲۵ تأثیر مثبت استفاده از لایه های تک مولکولی متشکل از مواد آلی مرکب روی سطح آب در کاهش نرخ تبخیر نشان داده شد. استفاده از این مواد به صورت عملی مربوط به اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوایل دهه ۱۹۵۰ است. منزفیلد [۲] در استرالیا تکنیکی برای توسعه پخش مونولیرها ارائه نمود و پس از اجرای آن بر سطح مخزن بند آبیاری یک زمین کشاورزی، کاهش تبخیر قابل توجه ناشی از آن را گزارش کرد. مطالعات در زمینه استفاده از پوشش های فیزیکی نیز به موازات مواد شیمیایی آغاز گردید. ونز [۳] پوشش های فیزیکی از جنس پلی اتیلن های شناور را بر روی سطوح آبی مورد ارزیابی قرار داد و نتیجه استفاده از این پوشش ها را مثبت قلمداد نمود. در سال های اخیر نیز تحقیقات زیادی در زمینه روش های مؤثر در کاهش تبخیر از مخازن سدها و میزان کاهش در مقدار تبخیر انجام گرفته است. گاکلیوتی و همکاران [۴] با استفاده از

## ۲-۱-۲- سیمان و مواد پوزولانی

با توجه به هدف طرح که تهیه بتن ضد اسید است، در این پژوهش سعی گردید تا در کنار سیمان از مواد جایگزین، از جمله سرباره فولاد اصفهان با چگالی ۲/۸۶ و ژل میکروسیلیس با چگالی ۱/۹ استفاده گردد. علاوه بر این به دلیل گیرش دیرتر سرباره نسبت به سیمان، از سیمان تیپ I-425 ممتازان کرمان جهت ایجاد چسبندگی و گیرش سریع‌تر استفاده گردید. مواد نامبرده در مقایسه با سیمان معمولی علاوه بر ایجاد مقاومت بالاتر می‌تواند آستر بتنی را در برابر خوردگی مقاوم‌تر سازد.

## ۲-۱-۳- آب و مواد افزودنی

در ساخت نمونه‌های بتنی از آب آشامیدنی مجتمع مس سرچشمه استفاده گردید. همچنین جهت کاهش آب مصرفی در اختلاط بتن از فوق روان‌کننده‌هایی که بر پایه کربوکسیلات است استفاده گردید.

## ۲-۱-۴- الیاف پلی‌پروپیلن

الیاف پلی‌پروپیلن استفاده شده در این تحقیق که به منظور جلوگیری از ترک‌های سطحی و افزایش مقاومت به خوردگی در طرح اختلاط بتن در نظر گرفته شد، الیافی با طول ۶ میلی‌متر، چگالی ۰/۹۱ و جذب رطوبت صفر می‌باشد. شکل ظاهری الیاف استفاده شده در این تحقیق در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- نمونه الیاف استفاده شده در پژوهش حاضر

## ۲-۱-۵- فیلر

استفاده از فیلر در پژوهش حاضر بیشتر به منظور جلوگیری از صعود موئنه و کمک به خروج آب و ایجاد ترک در سطح بتن است.

یونوبتن، فومتالات و یورتالات طراحی شده است. اساس ماده تشکیل دهنده این پوشش‌ها پلی‌استایرن و پلی‌یورتان است. در بسیاری از تحقیقات انجام شده که از پلی‌استایرن به عنوان پوشش ضد تبخیر استفاده شده هیچ‌گونه تمهیداتی برای سطح این پلیمر در برابر شرایط اقلیمی، اشعه UV و همچنین صدمات وارده توسط پرندگان در نظر گرفته نشده است. لذا جهت محافظت از لایه سطحی در سه طرح ارائه شده، آستری بتنی طراحی شده که علاوه بر محافظت از دانه‌های پلی‌استایرن فشرده و فوم پلی‌یورتان در برابر تنش‌های محیطی منجر به افزایش وزن و ایجاد تعادل در برابر موج و بادهای شدید نیز می‌گردد. آنچه در این مبحث حائز اهمیت است، شرایط آبی مخازن مجتمع مس سرچشمه می‌باشد. در حال حاضر بیشترین حجم آبی که در مخازن روباز مجتمع معدن مس سرچشمه ذخیره شده است را پساب‌های باطله تشکیل می‌دهد که به شکل دریاچه‌ای پشت سد رسوبگیر جمع شده است. پساب جمع شده کیفیتی کاملاً متفاوت از آب لوله‌کشی داشته و pH آب علی‌رغم اینکه در بیشتر مواقع اسیدی است، بین ۳-۸ متغیر می‌باشد. با توجه به شرایط حاکم، نکته مهم در طرح آستر بتنی، مقاومت این پوشش سازه‌ای در برابر اسید و خوردگی می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش سعی شده تا با ارائه طرح اختلاط‌های متفاوت، آستر بتنی مقاوم به اسید طراحی گردد که این آستر منجر به پایداری و دوام بیشتر پوشش‌های طراحی شده در برابر تنش‌های محیطی نیز می‌گردد.

## ۲- الگوسازی نظری یا تجربی (مواد و روش)

### ۲-۱-۲- مواد و مصالح مصرفی جهت آستر بتنی

#### ۲-۱-۱- سنگدانه

به منظور طراحی آستر بتنی جهت حفاظت از لایه سطحی پوشش‌های ارائه شده است سعی گردید تنها از ماسه شسته شده و عبوری از الک ۸ مش با حداکثر قطر ۲/۳۸ میلی‌متر استفاده گردد. شایان ذکر است چون این آستر با شات‌کریت ضخامت کمی بر روی پوشش‌ها ایجاد می‌کند در طراحی آن از شن استفاده نشده است. میزان جذب آب ماسه مورد نظر ۳ درصد وزنی و چگالی آن ۲/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب و مدول نرمی متوسط ۲/۸ در نظر گرفته شده است که این بخش از مصالح مصرفی از قسمت بچینگ مجتمع تأمین گردید.

بدین منظور در طرح اختلاط بتن، از فیلر WR780 به میزان ۲ درصد وزنی سیمان و همچنین چسب بتن به میزان ۵ درصد وزنی سیمان استفاده گردید، شایان ذکر است در استفاده از چسب بتن میزان آب موجود در چسب از آب مصرفی کسر گردید.

## ۲-۲- طرح اختلاط بتن

در پژوهش حاضر که به منظور ساخت روکشی از بتن ضد اسید بر روی پوشش های بازدارنده تبخیر انجام گرفت، با توجه به تعدد متغیرها، جهت طرح آزمایشات از نرم افزار DX7 و مدل تاگوچی استفاده گردید. در این مدل با در نظر گرفتن ۴ فاکتور سه سطحی و یک فاکتور دو سطحی، ۱۸ طرح اختلاط مطابق با جدول ۱ است.

جدول ۱- خصوصیات طرح‌ها مختلف آستر بتنی در پوشش‌های کاهنده تبخیر در پژوهش حاضر

شماره آزمایش	نسبت آب به سیمان	سیمان (Kg/m <sup>3</sup> )	مواد پزولانی		فیلر		فوق روان کننده (Kg/m <sup>3</sup> )	آب (Kg/m <sup>3</sup> )	سنگدانه (Kg/m <sup>3</sup> )	الیاف (Kg/m <sup>3</sup> )
			میکروسیلیس (Kg/m <sup>3</sup> )	سرباره (Kg/m <sup>3</sup> )	WR <sub>780</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	چسب بتن (Kg/m <sup>3</sup> )				
L10	۰/۵	۳۲	۳۶	۲۹۲	-	۱۸	-	۱۵۶	۱۷۱۲/۹۶	-
L12	۰/۵	۱۸۸	۴۲	۱۵۴	۷/۲	-	-	۱۹۰	۱۷۱۲/۹۶	-
L13(Control)	۰/۵	۳۶۰	-	-	-	-	-	۲۱۳/۹۲	۱۷۱۲/۹۶	-
L3	۰/۴۵	۳۶	۹۳	۳۲۴	۸	-	۱/۲	۱۶۰/۱۲	۱۶۷۲/۵۶	-
L17	۰/۴۵	۲۰۹	۴۶/۵	۱۷۱	-	-	۱/۲	۱۸۷	۱۶۷۲/۵۶	-
L6	۰/۴۵	۴۰۰	-	-	-	۲۰	۱/۲	۲۰۱	۱۶۷۲/۵۶	-
L16	۰/۴	۴۲/۷۵	۵۲/۳	۳۸۴/۷۵	-	۲۲/۵	۳/۶	۱۶۸/۶۲	۱۶۲۲/۰۶	-
L1	۰/۴	۲۴۷	-	۲۰۳	۹	-	۳/۶	۲۱۲/۱۲	۱۶۲۲/۰۶	-
L14	۰/۴	۴۰۵	۱۰۴/۶	-	-	-	۳/۶	۱۵۲/۵۲	۱۶۲۲/۰۶	-
L15	۰/۵	۳۶	-	۳۲۴	-	-	-	۲۱۳/۹۲	۱۷۱۲/۹۶	۱
L11	۰/۵	۱۷۸/۲	۸۳/۷	۱۴۵/۸	-	۱۸	-	۱۵۵/۲۴	۱۷۱۲/۹۶	۱
L7	۰/۵	۳۴۲	۴۱/۸۶	-	۷/۲	-	-	۱۹۰/۰۶	۱۷۱۲/۹۶	۱
L18	۰/۴۵	۳۸	۴۶/۵	۳۴۲	-	-	۱/۲	۱۸۶/۶۲	۱۶۷۲/۵۶	۱
L9	۰/۴۵	۲۲۰	-	۱۸۰	-	۲۰	۱/۲	-	۱۶۷۲/۵۶	۱
L8	۰/۴۵	۳۶۰	۹۳	-	۸	-	۱/۲	۱۶۰/۱۲	۱۶۷۲/۵۶	۱
L5	۰/۴	۴۵	-	۴۰۵	۹	-	۳/۶	۲۱۲/۱۲	۱۶۲۲/۰۶	۱
L4	۰/۴	۲۲۲/۷۵	۱۰۴/۶	۱۸۲/۲۵	-	-	۳/۶	۱۵۲/۵۲	۱۶۲۲/۰۶	۱
L2	۰/۴	۴۲۷/۵	۵۲/۳	-	-	۲۲/۵	۳/۶	۱۶۸/۶	۱۶۲۲/۰۶	۱

## ۲-۵- تجزیه و تحلیل نتایج

پس از انجام آزمایش‌های مختلف طراحی بتن، نتایج بدست آمده به صورت  $Mean \pm S.d$  ارائه شد. در ادامه از تحلیل واریانس یک‌طرفه و به دنبال آن آزمون دانکن جهت مقایسه تأثیر نوع اختلاط‌های مختلف بر مقاومت فشاری ۲۸ و ۴۲ روزه و همچنین میزان خوردگی استفاده گردید. پس از به‌دست آوردن اطلاعات از انواع نمونه‌ها، نتایج بدست آمده تجزیه و تحلیل و  $P < 0.05$  به عنوان شاخص معنی‌دار بودن مطرح گردید. برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی سیمان و سرباره

نتایج آزمایش XRF و خواص فیزیکی سیمان و سرباره در جدول ۲ آورده شده است.

همان‌طور که نتایج آنالیز شیمیایی دو نمونه نشان می‌دهد، اکسید کلسیم که قابل حل در آب بوده و می‌تواند تحت pH های اسیدی دچار خوردگی و آسیب شود در سیمان ۷۱/۵۱ و در سرباره به میزان کمتر و معادل ۴۷/۶۷ درصد می‌باشد. بنابراین با جایگزینی سرباره به جای بخشی از سیمان می‌توان بتن ساخته شده را در مقابل محلول اسیدی مقاوم‌تر ساخت. بدیهی است میزان مناسب سرباره جایگزین سیمان باید طی اختلاط‌های مختلف به گونه‌ای انتخاب گردد که از یک سو بتوان تا حد امکان مصرف سیمان را کاهش داد و از سوی دیگر میزان کاهش مصرف سیمان نیز در حدی باشد که منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن ساخته شده نگردد.

### ۳-۲- نتایج حاصل از مقاومت فشاری بتن سخت شده

مقایسه نمودار میله‌ای سه پارامتر نامبرده حاصل از هجده طرح مختلف اختلاط بتن در پژوهش حاضر در شکل ۳ ترسیم شده است.

لازم به ذکر است، آزمایش‌ها در آزمایشگاه مکانیک خاک واقع در مجتمع مس سرچشمه انجام شد. با توجه به مصالح مصرفی نام برده در بالا تعداد ۱۶۲ نمونه به صورت مکعب‌هایی با ابعاد ۱۵۰ میلیمتر تهیه گردید. نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت تراکم با جک‌های مخصوص از داخل قالب بیرون آورده شده و سپس تا رسیدن به سن آزمایش به مدت ۲۸ و ۴۲ روز داخل حوضچه آب قرار داده شدند (شکل ۲).



شکل ۲- عمل آوری بخشی از نمونه‌های بتن

### ۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها

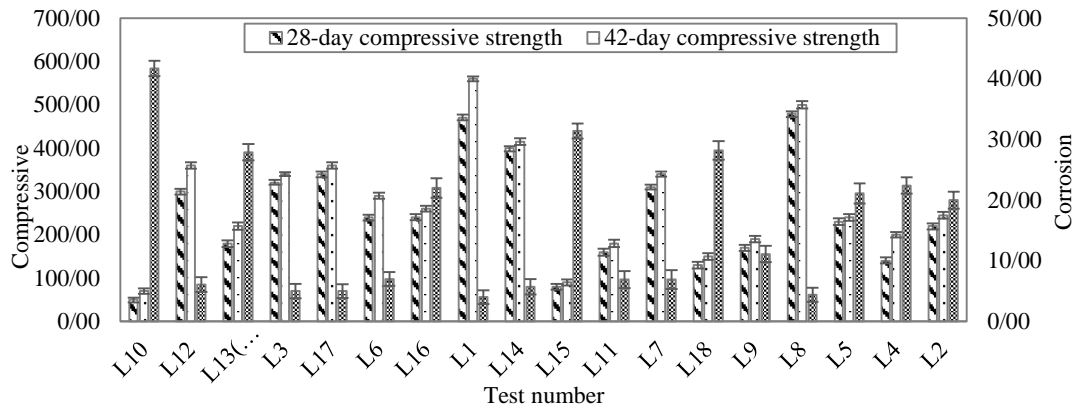
در ادامه، آزمایشات مقاومت فشاری در سن ۲۸ و ۴۲ روزه بر روی نمونه‌ها با سه تکرار انجام گرفت. جهت بررسی مقاومت فشاری از جک هیدرولیک آزمایشگاه مکانیک خاک مجتمع استفاده گردید.

### ۲-۴- آزمایش مقاومت به خوردگی نمونه‌ها

همچنین به منظور تعیین مقاومت نمونه‌ها به اسید، بعد از ۴۲ روزه عمل آوری، نمونه‌ها از آب خارج و بعد از خشک شدن سطحشان وزن گردیدند. در ادامه نمونه‌ها (با سه تکرار) به درون ظرف‌های جداگانه حاوی محلول اسید سولفوریک انتقال داده شد. محلول درون تمام ظرف‌ها با  $pH = 0.5$  تنظیم شد. به این ترتیب نمونه‌ها به مدت ۶۰ روز درون محلول نگه داشته شدند. سپس از محلول خارج شده و بعد از خشک شدن سطحشان، میزان کاهش وزنشان اندازه‌گیری گردید.

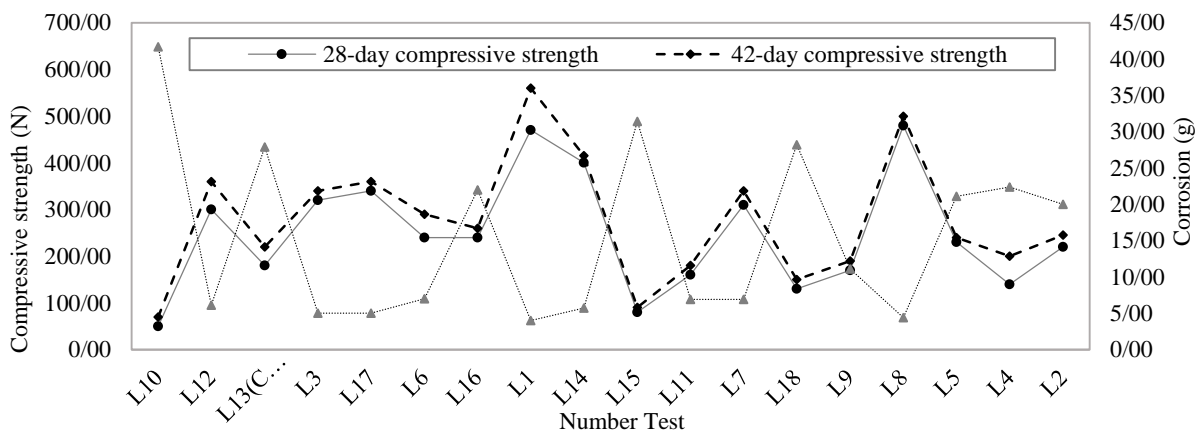
جدول ۲- نتایج آزمایش XRF دو نمونه سیمان و سرباره مصرفی

واحد	%	%	%	%	%	%	%	%	%
نام	K2O	MnO	CaO	SrO	TiO2	SO3	SiO2	Fe2O3	Al2O3
سیمان	۰/۸۷	-	۷۱/۵۱	۰/۰۵	۰/۲۸	۳/۸۸	۱۶/۵۶	۳/۴۸	۳/۳۶
سرباره	۱/۲۷	۱/۴۱	۴۷/۶۷	۰/۰۷	۲/۳۷	۳/۱۰	۳۱/۶۰	۰/۶۷	۸/۶۲



شکل ۳- نمودار مقایسه مقادیر مقاومت فشاری و میزان خوردگی در ۱۸ طرح اختلاط بتن

همان گونه که از شکل فوق نیز مشخص است مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه شاهد (L13(Control)) برابر ۱۸۰ نیوتن برآورد شده است. در حالی که تست L10 با ۵۰ نیوتن کمترین و L8 با ۴۸۰ نیوتن بیشترین میزان مقاومت ۲۸ روزه را کسب کرده است. همچنین نمونه های L1، L14، L17، L3، L7 و L12 به ترتیب با ۳۰۰، ۳۱۰، ۳۲۰، ۳۴۰، ۴۰۰، ۴۷۰ و ۳۶۰ نیوتن بیشترین مقاومت ۲۸ روزه را در میان سایر نمونه ها به خود اختصاص داده اند. با توجه به جایگزینی بخشی از سیمان توسط سرباره و گیرش دیرتر سرباره نسبت به سیمان، مقاومت ۴۲ روزه هر یک از نمونه ها نیز اندازه گیری گردید. بررسی مقاومت ۴۲ روزه نمونه ها نشان می دهد L10 با ۸۰ نیوتن کمترین مقاومت و L1 با ۵۶۰ نیوتن بیشترین مقاومت را طی این دوره کسب کرده است. همچنین L8، L14، L17، L3، L7 و L12 به ترتیب با ۴۱۵، ۳۶۰، ۳۴۰ و ۳۴۰ نیوتن بیشترین مقاومت ۴۲ روزه را داشته اند. شکل ۴، نمودار افزایش مقاومت ۴۲ روزه را نسبت به ۲۸ روزه نشان می دهد.



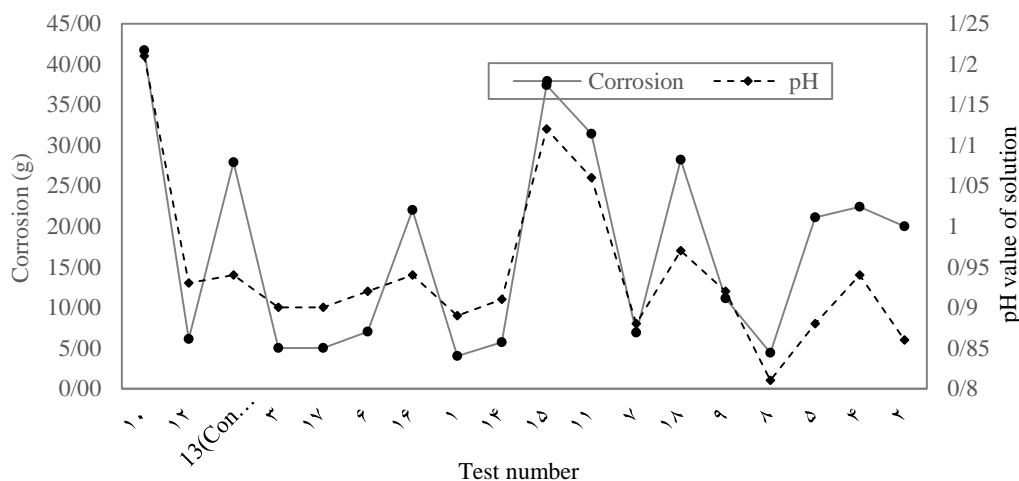
شکل ۴- روند تغییرات معکوس مقاومت فشاری در مقابل خوردگی نمونه ها

بیشترین افزایش مقاومت در نمونه L1 مشاهده می شود که حدود ۹۰ نیوتن است. این نمونه به رغم اینکه در دوره ۲۸ روزه مقاومت کمتری نسبت به نمونه L8 داشت (۴۷۰ به ۴۸۰ نیوتن) اما میزان افزایش مقاومت آن در دوره ۴۲ روزه (۹۰ به ۲۰) چند برابر نمونه L8 است (۵۶۰ به ۵۰۰ نیوتن). نکته قابل توجه مقادیر کاهش وزن نمونه ها ناشی از تست خوردگی در مدت دو ماه است که تا حدود زیادی کاهش وزن نمونه ها رابطه معکوس با میزان مقاومت آن ها دارد. نتیجه حاصل که در شکل ۴ نیز نشان داده شده است، بیشترین خوردگی را در نمونه L10 و L15 نشان می دهد که به ترتیب معادل ۴۱/۷ و ۳۱/۴ گرم می باشد. این دو نمونه کمترین مقاومت ۲۸ و ۴۲ روزه را در میان سایر نمونه ها داشته اند. از طرف دیگر کمترین خوردگی با ۴ و ۴/۴ گرم به ترتیب در نمونه های L1 و L8 مشاهده می شود که این دو نمونه در واقع بیشینه مقاومت ۲۸ و ۴۲ روزه را از خود نشان داده اند. شکل ۵ نمونه بتن L1 و L10 بعد از آزمایش خوردگی را نشان می دهد.



شکل ۵- نمونه بتن L1 و L10 بعد از آزمایش خوردگی

از دیگر پارامترهای قابل بررسی، اندازه‌گیری مقادیر pH ظرف آب تغییرات pH با میزان خوردگی است. به طوری که با افزایش میزان خوردگی و انحلال آهک مقدار pH آب نیز افزایش یافته است. نتایج بدست آمده (شکل ۶) بیانگر روند

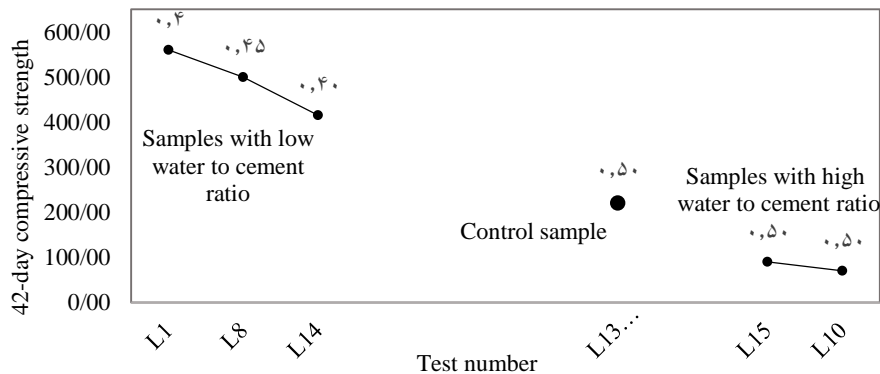


شکل ۶- رابطه مستقیم میزان خوردگی و pH محلول در نمونه‌های بتن

۳-۳- تأثیر نسبت آب به سیمان بر افزایش مقاومت نمونه‌ها همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شده بیشترین مقاومت ۲۸ و ۴۲ روزه و کمترین میزان خوردگی در سه نمونه L1، L8 و L14 مشاهده می‌شود که نسبت آب به سیمان در این نمونه‌ها به ترتیب ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۴ است. علاوه بر این نسبت آب به سیمان در نمونه‌های L10 و L15 که نماینده کمترین مقاومت و بیشترین خوردگی هستند ۰/۵ می‌باشد. بدیهی است با کاهش نسبت آب به سیمان در نمونه‌های ساخته شده مقاومت فشاری افزایش یافته و دوام و مقاومت در برابر خوردگی نیز افزایش یافته است. البته افزودن مواد جایگزین سیمان نیز در افزایش مقاومت این سه نمونه بی‌تأثیر نبوده است اما آنچه مسلم است این مواد در سایر نمونه‌ها از جمله L10 و L15 نیز اضافه شده درحالی که این دو نمونه

با توجه به هدف پژوهش حاضر که انتخاب بهترین گزینه جهت شات بتن بر روی پوشش‌های کاهنده تبخیر است مقاومت و دوام (مقاومت در برابر خوردگی) از جمله مهمترین معیارهای گزینش طرح اختلاط است. علاوه بر این تأثیر مستقل مواد افزودنی از جمله پوزولان، فیلر، الیاف و حتی نسبت آب به سیمان که به طور همزمان در این پژوهش استفاده شده بر افزایش مقاومت و دوام بتن هدف این پژوهش نبوده و امکان بررسی تأثیر عملکرد یک متغیر در شرایطی که سایر متغیرها ثابت باشند به سادگی میسر نیست. علی‌رغم آنچه بیان شد با مقایسه برخی نمونه‌ها می‌توان تا حدودی به نقش برخی متغیرها در افزایش مقاومت و کاهش خوردگی پرداخت.

کمترین مقاومت و دوام را در برابر خوردگی داشته و تأثیر افزودن مواد جایگزین سیمان بر افزایش مقاومت در این دو نمونه مشهود نیست. شکل ۷ روند تغییر مقاومت ۴۲ روزه نمونه‌های را با تغییر نسبت آب به سیمان نمایش می‌دهد.



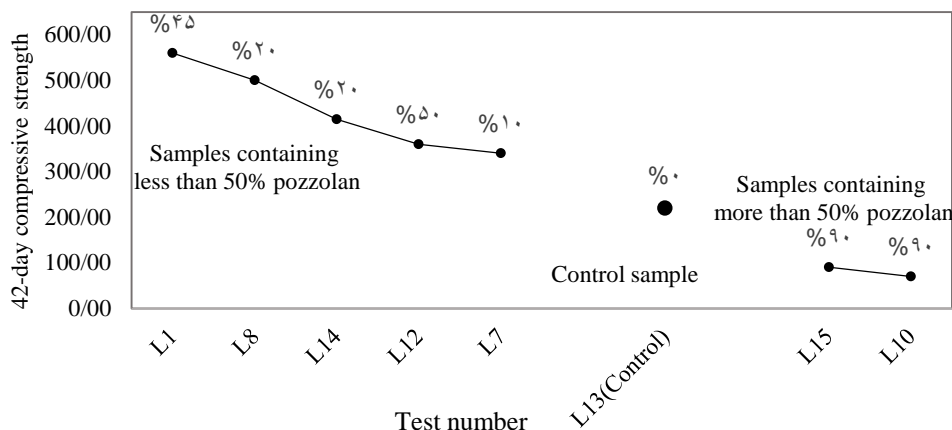
شکل ۷: تأثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت ۴۲ روزه نمونه‌های بتن

فوق به دلیل تکمیل شدن واکنش‌های پوزولانی و سرباره و همچنین بهبود ساختار حفرات، مقاومت فشاری این نمونه تا حد زیادی نسبت به همین نمونه با سن ۲۸ روز بهبود یافته است. نکته قابل توجه در دو نمونه L10 و L15 که کمترین مقاومت و بیشترین خوردگی را در میان سایر نمونه‌ها و نمونه شاهد داشته‌اند مربوط به دو ماده میکروسیلیس و سرباره استفاده شده در آن‌ها است که افزودن این مواد بر خلاف نتیجه بالا منجر به کاهش مقاومت در این نمونه‌ها شده است. باید توجه داشت نسبت‌های مختلف پوزولان‌های جایگزین سیمان نقش بسیار مهمی در تعیین مقاومت فشاری کسب شده خواهند داشت. در نمونه‌های L8 و L14 که تنها از میکروسیلیس به عنوان ماده پوزولان افزودنی به همراه سیمان استفاده شده، تنها ۲۰ درصد از کل سیمان مصرفی توسط میکروسیلیس جایگزین شده است. همچنین در نمونه L1 که از سرباره فولاد به عنوان پوزولان استفاده شده ۴۵ درصد سیمان با سرباره جایگزین شده است. علاوه بر این در دو نمونه L7 و L12 که مقاومت ۴۲ روزه آنها نیز بالای ۳۰۰ نیوتن است درصد مواد پوزولان جایگزین سیمان به ترتیب ۱۰ و ۵۰ درصد است. اما در دو نمونه L10 و L15 حدود ۹۰ درصد سیمان را ترکیبی از مواد پوزولانی تشکیل داده‌اند که این میزان منجر به کاهش و افت شدید مقاومت فشاری و کاهش مقاومت بتن در برابر خوردگی شده است. درصد مورد استفاده پوزولان و تأثیر آن بر بیشینه و کمینه مقاومت ۴۲ روزه نمونه‌ها در شکل ۸ رسم شده است.

### ۳-۴- بررسی اثر پوزولان بر افزایش مقاومت و دوام نمونه‌ها

پوزولان‌های استفاده شده در این پژوهش شامل سرباره و میکروسیلیس است که به صورت درصد وزنی جایگزین سیمان شده است. نتایج آزمایش‌های مختلف و مقایسه آن با نمونه شاهد که فاقد هر گونه افزودنی جایگزین سیمان می‌باشد، نشان می‌دهد مقاومت‌های فشاری ۲۸ و ۴۲ روزه بالای ۳۰۰ نیوتن همگی در حضور سیمان به همراه افزودنی‌های جایگزین بوده است که این مواد افزودنی منجر به افزایش مقاومت در تمام این نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در نمونه‌های L8 و L14 تنها از نسبت‌های مختلف میکروسیلیس به عنوان ماده پوزولان افزودنی به همراه سیمان استفاده شده در حالی که در نمونه L1 تنها از سرباره فولاد به عنوان جایگزین بخشی از سیمان استفاده شده است. این سه نمونه با کسب مقاومت بیشتر از ۴۰۰ نیوتن بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه را در بین دیگر نمونه‌ها بدست آورده‌اند. اما نکته قابل توجه در استفاده از پوزولان‌ها، افزایش میزان مقاومت فشاری ۴۲ روزه نمونه‌ها است. در دو نمونه L8 و L14 که تنها از میکروسیلیس به عنوان پوزولان استفاده شده بود افزایش مقاومت تنها ۲۰ و ۱۵ نیوتن بوده در حالی که در نمونه L1 که تنها از سرباره استفاده شده است، افزایش مقاومت ۹۰ نیوتن بوده و همین عامل منجر شده تا نمونه فوق بیشینه مقاومت ۴۲ روزه را کسب و کمترین خوردگی در آن ایجاد گردد. نتیجه فوق نشان می‌دهد با افزایش سن نمونه





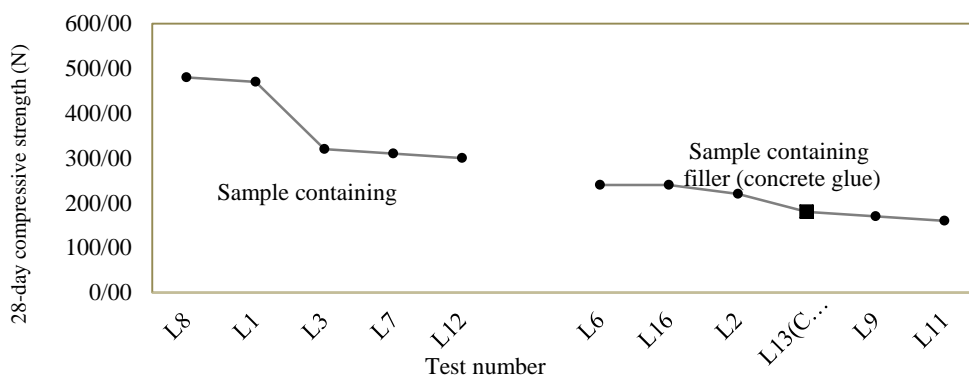
شکل ۸- رابطه مقاومت‌های بیشینه و کمینه ۴۲ روزه نمونه‌ها با میزان پوزولان مصرفی

همان‌طور که در شکل ۹ نیز نمایش داده شده است، نتایج بدست آمده از مقاومت فشاری و میزان خوردگی نمونه‌ها نشان می‌دهد در تمام نمونه‌هایی که از فیلر WR780 استفاده شده شامل L8، L1، L3، L12، و L7 مقاومت فشاری ۲۸ و ۴۲ روزه آن بیشتر از میزان نمونه شاهد و حتی بالای ۳۰۰ نیوتن بوده و کمترین میزان خوردگی را داشته‌اند. تنها در نمونه L15 که حدود ۹۰ درصد سیمان را ترکیبی از مواد پوزولانی تشکیل داده است، اضافه شدن فیلر منجر به افزایش دوام و مقاومت نشده است. آنچه مشهود است در هیچکدام از نمونه‌ها با مقاومت بالای ۳۰۰ نیوتن، چسب بتن وجود نداشته است و مقاومت ۲۸ روزه در تمام نمونه‌های حاوی چسب بتن بین ۱۶۰ تا ۲۴۰ نیوتن است.

نکته قابل ذکر درصد پوزولان استفاده شده در بتن است که نقش تعیین کننده بر دوام و مقاومت آن داشته است. کاهش میزان سیمان در این نمونه‌ها و واکنش پذیری کم پوزولان‌ها منجر به کاهش مقاومت نهایی بتن در این سن شده است.

### ۳-۵- تأثیر فیلرهای مورد استفاده بر مقاومت و دوام نمونه‌ها

فیلرهای مورد استفاده در طرح‌های مختلف این پژوهش شامل WR780 و چسب آبند بتن می‌باشد. این دو ماده که با کاهش خاصیت موئینگی منجر به افزایش دوام بتن می‌شود نیز به صورت درصد ثابت از وزن سیمان محاسبه و به آن اضافه شده است.

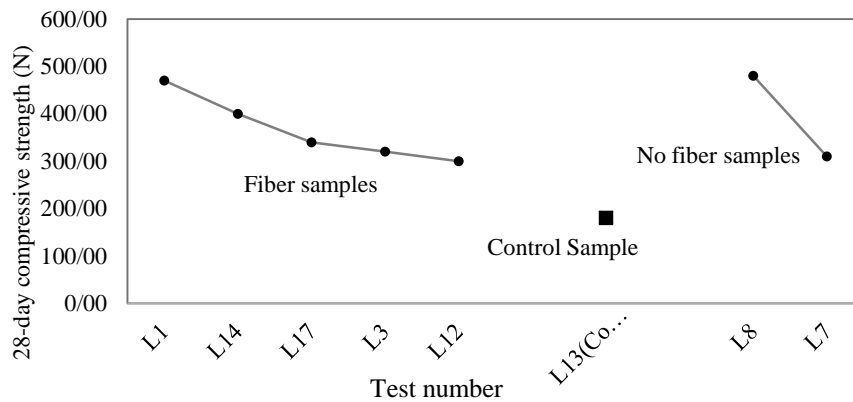


شکل ۹- رابطه مقاومت‌های بیشینه و کمینه ۲۸ روزه نمونه‌ها با نوع فیلر مصرف شده

الیاف دارای مقاومت ۲۸ روزه، بالاتر از مقاومت نمونه شاهد بوده است در حالی که از نه نمونه حاوی الیاف تنها چهار نمونه دارای مقاومت بیشتر از نمونه شاهد است و در پنج نمونه دیگر مقاومت ۲۸ روزه بتن کمتر از مقدار شاهد است. از طرف دیگر مقایسه نمونه‌های

۳-۶- تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت و دوام نمونه‌ها  
تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر افزایش استحکام و مقاومت فشاری نمونه‌ها نشان می‌دهد از میان ۱۸ طرح مختلف اختلاط بتن که نه طرح حاوی الیاف پلی پروپیلن و نه طرح فاقد الیاف است، تمام نمونه‌های بدون

که مقاومت بالای ۳۰۰ نیوتن کسب کرده‌اند نشان می‌دهد تنها دو L14، L17، L3 و L12 که مقاومت ۲۸ روزه آن‌ها بالای ۳۰۰ نیوتن است فاقد الیاف پلی پروپیلن می‌باشند. نمودار مقایسه نمونه‌های بالای ۳۰۰ نیوتن است در حالی که در پنج نمونه دیگر شامل L1، نامبرده در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- رابطه مقاومت‌های بیشینه و کمینه ۲۸ روزه نمونه‌ها با وجود یا عدم وجود الیاف

آنچه مشهود است در هیچ کدام از نمونه‌ها با مقاومت بالای ۳۰۰ میزان خوردگی نمونه‌ها نشان می‌دهد. در ادامه به منظور بررسی نیوتن، چسب بتن وجود نداشته است و مقاومت ۲۸ روزه در تمام نمونه‌های حاوی چسب بتن بین ۱۶۰ تا ۲۴۰ نیوتن است.

میزان خوردگی نمونه‌ها نشان می‌دهد. در ادامه به منظور بررسی معنی داری تفاوت‌های مشاهده شده در مقاومت و خوردگی نمونه‌ها از لحاظ آماری جدول تجزیه واریانس آن‌ها ارائه شده است (جدول ۳). بر اساس مقادیر نسبت پراش در نتایج ارائه شده از جدول تجزیه واریانس بین نمونه‌های مختلف بتن از نظر تأثیر بر مقاومت و میزان خوردگی در سطح احتمال ۰.۰۵٪ اختلاف معنی داری وجود دارد.

### ۳-۷- نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری

نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف با استفاده از طرح‌های مختلف اختلاط بتن تفاوت‌هایی را در مقادیر مقاومت فشاری و

جدول ۳- انحراف واریانس یک‌سویه برای بررسی تغییرات

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	نسبت پراش (معنی داری)
مقاومت ۲۸	بین گروه‌ها	۱۷	۴۵۷۲۵/۴۹۰	۸۰۲/۲۰۲	۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها(خطا)	۳۶	۵۷/۰۰۰		
	جمع کل	۵۳			
مقاومت ۴۲	بین گروه‌ها	۱۷	۵۷۰۴۴/۱۱۸	۱۱۷۲/۱۳۹	۰/۰۰۱۵
	درون گروه‌ها(خطا)	۳۶	۴۸/۶۶۷		
	جمع کل	۵۳			
میزان خوردگی	بین گروه‌ها	۱۷	۴۶۸/۸۵۰	۲۶۰/۶۳۳	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها(خطا)	۳۶	۱/۷۹۹		
	جمع کل	۵۳			

در ادامه جهت تشخیص تفاوت بین میانگین مقاومت ۲۸ و ۴۲ روزه و همچنین میزان خوردگی نمونه‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج این آزمون به منظور بررسی تأثیر نوع اختلاط بر مقاومت نمونه‌ها در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تأثیر نوع بتن بر مقاومت ۲۸ روزه

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
L10	۵۰. <sup>i</sup>											
L15		۸. <sup>k</sup>										
L18			۱۳. <sup>j</sup>									
L4			۱۴. <sup>j</sup>									
L11				۱۶. <sup>i</sup>								
L9					۱۷. <sup>i</sup>	h <sub>۱۷۰</sub>						
L13(Control)							h <sub>۱۸۰</sub>					
L2						g <sub>۲۲۰</sub>						
L5							f <sub>۲۳۰</sub>	g <sub>۲۳۰</sub>				
L6								f <sub>۲۴۰</sub>				
L16									f <sub>۲۴۰</sub>			
L12								c <sub>۳۰۰</sub>				
L7									e <sub>۳۱۰</sub>	d <sub>۳۱۰</sub>		
L3										d <sub>۳۲۰</sub>		
L17											c <sub>۳۴۰</sub>	
L14												b <sub>۴۰۰</sub>
L1												a <sub>۴۷۰</sub>
L8												a <sub>۴۸۰</sub>

نتایج آزمون دانکن در نهایت تفاوت معنی داری اختلاف‌های مشاهده شده در مقادیر بازیابی را دسته‌بندی کرده و مقادیری که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند را در یک گروه طبقه‌بندی می‌نماید. بر این اساس تفاوت بین نتایج به دست آمده در مقاومت ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده نشان می‌دهد، ۱۸ نمونه بتن در ۱۲ گروه آماری مختلف قرار می‌گیرد. در واقع نمونه‌های L1 و L8 از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی داری نداشته و با کسب بیشترین مقاومت در یک گروه قرار گرفتند. در ادامه نمونه L14 و L17 هر کدام با قرار گرفتن در یک گروه مستقل در رده‌های دوم و سوم از نظر مقاومت واقع شده‌اند. نمونه نیز L1 با قرار گرفتن در یک گروه مستقل کمترین مقاومت ۲۸ روزه را داشته است. در ادامه آزمون دانکن برای دسته‌بندی مقاومت ۴۲ روزه نمونه‌ها بکار گرفته شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج آزمایش XRF دو نمونه سیمان و سرباره مصرفی

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
L10	۷۰. <sup>n</sup>													
L15	۹۰. <sup>n</sup>													
L18		۱۵۰. <sup>m</sup>												
L11			۱۸۰. <sup>i</sup>											
L9			۱۹۰. <sup>i</sup>	۱۹۰. <sup>k</sup>										
L4				۲۰۰. <sup>k</sup>										
L13(Control)					j <sub>۲۲۰</sub>									
L5						i <sub>۲۴۰</sub>								
L2							i <sub>۲۴۵</sub>							
L16								h <sub>۲۶۰</sub>						
L6									g <sub>۲۹۰</sub>					
L3										f <sub>۳۴۰</sub>				
L7											f <sub>۳۴۰</sub>			
L12												e <sub>۳۶۰</sub>		
L14													d <sub>۴۱۵</sub>	
L17														c <sub>۴۶۰</sub>
L8														b <sub>۵۰۰</sub>
L1														a <sub>۵۶۰</sub>

نتایج مشاهده شده نشان می‌دهد آزمون دانکن از نظر اختلاف معنی - داری مقاومت فشاری ۴۲ روزه، نمونه‌ها را به ۱۴ گروه مستقل تقسیم کرده است. در این تقسیم بندی نمونه‌های L1 و L8 از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی داری داشته و در دو گروه مستقل قرار گرفته است. در واقع نمونه L1 با کسب مقاومت بیشتر از نمونه L8 در دوره ۴۲ روزه بیشترین مقاومت را کسب کرده و این اختلاف در افزایش مقاومت ناشی از طول دوره تکامل طولانی‌تر سرباره موجود در این نمونه است که طی دوره تکامل مقاومت بیشتری نسبت به

نمونه L8 کسب کرده و با ایجاد اختلاف در مقاومت نهایی در یک گروه مستقل قرار گرفته است. دو نمونه L10 و L15 نیز با کمترین مقاومت فشاری ۴۲ روزه در آخرین گروه قرار گرفته‌اند. در واقع در این دو نمونه ۹۰ درصد وزنی سیمان توسط مواد پوزولان جایگزین شده که کاهش میزان سیمان در این دو نمونه دلیل کاهش مقاومت نهایی آن محسوب می‌گردد. در نهایت آزمون دانکن آزمون دانکن برای دسته‌بندی آماری نمونه‌ها از لحاظ میزان خوردگی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تأثیر نوع بتن بر خوردگی

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
L1	۴/۰۰ <sup>i</sup>								
L8	۴/۴۰ <sup>i</sup>	۴/۴۰ <sup>h</sup>							
L3	۵/۰۰ <sup>i</sup>	۵/۰۰ <sup>h</sup>	۵/۰۰ <sup>g</sup>						
L17	۵/۰۰ <sup>i</sup>	۵/۰۰ <sup>h</sup>	۵/۰۰ <sup>g</sup>						
L14	۵/۷۰ <sup>i</sup>	۵/۷۰ <sup>h</sup>	۵/۷۰ <sup>g</sup>						
L12	۶/۱۰ <sup>i</sup>	۶/۱۰ <sup>h</sup>	۶/۱۰ <sup>g</sup>						
L7		۶/۹۰ <sup>h</sup>	۶/۹۰ <sup>g</sup>						
L6			۷/۰۰ <sup>g</sup>						
L9				۱۱/۱۰ <sup>f</sup>					
L2					۲۰/۰۰ <sup>e</sup>				
L5						۲۱/۱۰ <sup>e</sup>			
L16							۲۲/۰۰ <sup>e</sup>		
L4								۲۲/۴۰ <sup>e</sup>	
L13(Control)						۲۷/۹۰ <sup>d</sup>			
L18							۲۸/۲۰ <sup>d</sup>		
L11								۳۱/۴۰ <sup>c</sup>	
L15									۳۷/۴۰ <sup>b</sup>
L10									۴۱/۷۰ <sup>a</sup>

کاهش مقاومت در دو نمونه فوق به دلیل درصد بالای سرباره، شرایط را برای فروپاشی راحت‌تر ساختار بتن فراهم می‌آورد و میزان خوردگی را افزایش می‌دهد.

#### ۴- نتیجه گیری

تحقیق حاضر که با هدف انتخاب نوع اختلاط برتر بتن از لحاظ مقاومت و خوردگی جهت ایجاد آستر بتی بر روی سه پوشش یونبتن، فومتالات و یورتالات انجام شد، در نهایت منجر به ارائه نتایج زیر گردید:

۱- استفاده از مواد پوزولان به عنوان جایگزین بخشی از سیمان می‌تواند در افزایش مقاومت و دوام بتن نسبت به نمونه شاهد بسیار

نتایج جدول فوق نیز وابستگی میزان خوردگی و دوام بتن را در ارتباط با میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها نشان می‌دهد. در واقع آزمون دانکن برای دسته‌بندی نمونه‌ها از نظر پارامتر فوق ۹ گروه آماری مستقل در نظر گرفته است. کمترین میزان خوردگی در نمونه‌هایی است که بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ و ۴۲ روزه را داشته‌اند. در واقع نمونه‌های L1، L8، L3، L17، L14 و L12 با قرارگیری در یک گروه آماری کمترین میزان خوردگی را دارند. این نمونه‌ها از لحاظ مقاومت فشاری ۲۸ و ۴۲ روزه بیشترین مقاومت را کسب کرده‌اند. از طرف دیگر دو نمونه L10 و L15 که کمترین مقاومت فشاری را داشته‌اند، با قرارگیری در دو گروه آماری مستقل بیشترین میزان خوردگی را نشان می‌دهند. در واقع

۴- استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن که جهت کاهش ترک و افزایش استحکام بتن به برخی نمونه‌ها اضافه شد تأثیر چندانی در افزایش مقاومت و دوام بتن نداشت.

۵- با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت ۲۸ و ۴۲ روزه افزایش و خوردگی در نمونه‌ها کاهش یافت.

۶- در نمونه‌هایی با مقاومت کم، افزایش حلالیت آهک طی آزمایش‌های خوردگی، منجر به افزایش pH محلول شد به طوری که مقادیر pH محلول درون ظرف‌ها تا حدود زیادی دلالت بر نتایج حاصل از خوردگی نمونه‌ها می‌باشد.

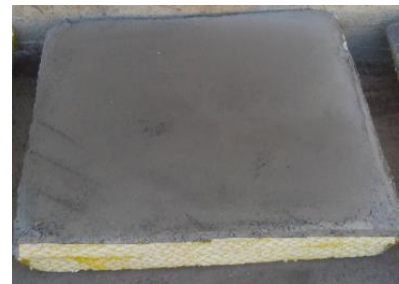
۷- دو نمونه L10 و L15 با کمترین مقاومت و بیشترین خوردگی، ضعیف‌ترین نتایج را ارائه داد.

۸- در نهایت طرح اختلاط نمونه L1 با بیشترین مقاومت فشاری و کمترین میزان خوردگی به عنوان طرح اختلاط منتخب برای شات بر روی پوشش‌های کاهنده تبخیر برگزیده گردید. شکل ۱۱ نمونه شات بتن منتخب بر روی سه پوشش یونوبتن، فومتالات و یورتالات را نمایش می‌دهد.

موثر باشد. آنچه حائز اهمیت است درصد مواد جایگزین سیمان است که در پژوهش حاضر اضافه کردن مواد پوزولان تا ۵۰ درصد در افزایش مقاومت و کاهش خوردگی بتن نقش مثبت داشته است اما جایگزینی بخش اعظم سیمان (۹۰ درصد) با مواد پوزولان منجر به کاهش مقاومت و افزایش میزان خوردگی بتن خواهد شد.

۲- نمونه L1 با افزایش مقاومت ۹۰ نیوتن طی فاصله ۲۸ تا ۴۲ روز در نهایت بیشترین مقاومت فشاری را کسب نمود. در این نمونه استفاده از سرباره به میزان ۴۵ درصد وزنی سیمان بهترین درصد ترکیبی مواد پوزولان جایگزین سیمان را نشان می‌دهد. سیر تکاملی واکنش‌های سرباره جهت تکامل ساختار بتن در واقع بعد از دوره ۲۸ روزه اتفاق می‌افتد و نسبت به سیمان خالص نیاز به زمان بیشتری جهت کسب مقاومت نهایی دارد.

۳- اضافه نمودن فیلر WR780 به میزان دو درصد وزنی سیمان با آبند نمودن حفرات و کاهش موئینگی در افزایش دوام بتن تأثیر مثبت داشته درحالی‌که چسب بتن به عنوان آبند چنین تأثیری نداشت.



شکل ۱۱- آستر بتنی بر روی سه نمونه از راست به چپ: یونوبتن، فومتالات و یورتالات

[2]. Mansfield, W., "Influence of monolayers on the natural rate of evaporation of water", Nature, vol. 175, pp. 247-249, (1955).

[3]. Vines, R., "Reducing evaporation with cetyl alcohol films: A new method of treating large water storages", Australian Journal of Applied Science, vol. 11, pp 200-204, (1960).

[4]. Gugliotti, M., Baptista, M.S. and Politi, M.J., "Reduction of evaporation of natural water samples by monomolecular films", Journal of the Brazilian Chemical Society, vol.16, pp. 1186-1190, (2005).

[5]. Álvarez, V.M., Baille, A., Martínez, and Real, M.G., "Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs", Spanish Journal of Agricultural Research, vol. 4, pp. 280-288, (2006).

[6]. Boshammer, M., "Aquatrain liquid anti-

## ۵- تشکر و قدردانی

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی مصوب و با حمایت مالی مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از واحدهای مختلف مجتمع از جمله واحد تحقیقات و توسعه، نظارت ساختمانی، ارفع‌سازان، بچینگ و آزمایشگاه مکانیک خاک که در انجام این پروژه مساعدت و همکاری لازم را به عمل آوردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

## ۶- مراجع

[1]. Craig, I., Green, A., Scobie, M. and Schmidt, E., "Controlling evaporation loss from water storages", (2005).

evaporation film", Independent trial results, Total Ag Services (Dalby) Pty Ltd., (2007).

[7]. Van de Graaff, R.H.M., "Aquatain anti-evaporation film. Independent water quality report", van de Graaff & Associates Pty Ltd., (2007).

[8]. McJannet, D., Cook, F., Knight, J. and Burn, S., "Evaporation reduction by monolayers: overview, modelling and effectiveness", Urban Water Security Research Alliance Technical Report, vol. 6, pp. 1-32, (2008).

[9]. Hassan, R.M., Hekal, N.T. and Mansor, N.M., "Evaporation Reduction From Lake Naser Using New Environmentally Safe Techniques", in: Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11, pp. 179-194, (2007).

[10]. Moghiman, M. and Aslani, B., "Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 61, pp. 114-118. (2013).

[11]. Darwish, A.a.M., Abdul-Hussien, W.G. and Al-Khateeb, T.A., "A theoretical attempt to increase the amount of water flowing through the Nile", Annals of the Faculty of Engineering Hamedara-International Journal of Engineering, vol. 9, (2011).

[12]. Santafé, M.R., Gisbert, P.S.F., Romero, F.J.S., Soler, J.B.T., Gozávez, J.J.F. and Gisbert, C.M.F., "Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs", Journal of cleaner production, vol. 66, pp. 568-570. (2014).

[۱۳]. پیری، مهدی، حسام، موسی، دهقانی، امیراحمد و مفتاح، مهدی، "مطالعه آزمایشگاهی تأثیر استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی بر کاهش تبخیر از مخازن آب"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۴، صص ۱۵۴-۱۴۱، (۱۳۸۹).

[۱۴]. رنجبر، ابراهیم، مهدویان، امیرسامان و مکنون، رضا، "بررسی امکان استفاده از صفحات شناور بتن سبک پرلیتی برای کاهش تبخیر مخازن سدها"، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، (۱۳۹۰).

## Design of concrete liners for surface protection of evaporation reducing physical covers

Hamideh Afkhami \*

P.H.D. student, Faculty of Natural Resources, Yazd University

Hossein Malekinezhad

Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University

Esmat esmailzadeh

Chief of water and environmental research, Sarcheshmeh copper complex

### Abstract

The use of evaporation reducing physical covers in open water reservoirs is one of the most important methods of water conservation. In the present study, three floating cover including Foamthalate, Urthalate and Unoconcrete were designed to protect the water resources of the Sarcheshmeh Copper Complex, which is based on two polystyrene and polyurethane materials. In order to protect the surface layers of the mentioned coatings against the climatic factors and acidic conditions of water was designed concrete liners in 18 concrete mixing designs and the water-to-cement ratio, the amount of Pozzolan replaces cement, Filler and polypropylene fibers was investigated as variable factors. Then the compressive strength of 28 and 42 days of the samples, as well as the corrosion rate within two months, were measured. In the following, the significance of the observed differences obtained from different experiments in samples made was investigated using Duncan's multiple range test. Finally, the results showed that the presence of Isfahan steel slag as a Pozzolan with 45% by weight of cement and the filler of WR<sub>780</sub> at a rate of 2% led to get a maximum resistance of 42 days (560 N) and the lowest corrosion rate (4 g) in the L<sub>1</sub> experiment. In addition, the results of the L<sub>10</sub> and L<sub>15</sub> experiments showed that the amount of Pozzolan replacing cement is a very important factor, so that amounts of more than 50% of it, significantly reduces the strength of the concrete and increases the amount of corrosion.

**Keywords:** Water resources, evaporation control, anti-acid concrete, compressive strength, corrosion.

---

\* Corresponding Author: hamide.afkhami@gmail.com

