جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت سهامی آب منطقه‌ای اردبیل

کمیته تحقیقات

طرح تحقیقات کاربردی

بررسی نوع سیمان و مصالح مناسب جهت استفاده در مخازن و استخرهای آب‌های گرم معدنی- مطالعه موردی آبگرم معدنی قوتورسوئی

سازمان مجری: دانشگاه پیام نور اردبیل

پژوهشگران:

دکتر امین لطفی اقلیم، دکتر مهزاد اسمعیلی فلک، مهندس رضا سرخانی بنماران، دکتر مرتضی وطن پرست، دکتر میثم ودیعتی و دکتر سعید رحیمی

شهریور ماه ۱۳۹۸

بسمه تعالی

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای اردبیل تحت قرارداد شماره ۹۵/۲/۱۳۳۵۰/۹۰۰ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۲۲ با کد ARW-94022 به انجام رسیده است.

شناسنامه طرح تحقیقاتی

عنوان: بررسی نوع سیمان و مصالح مناسب جهت استفاده در مخازن و استخرهای آب‌های گرم معدنی- مطالعه موردی آبگرم معدنی قوتورسوئی

شماره قرارداد: ۹۵/۲/۱۳۳۵۰/۹۰۰

تاریخ قرارداد: ۱۳۹۵/۱۲/۲۲

کد طرح: ARW-94022

کارفرما: شرک سهامی آب منطقه‌ای اردبیل (کمیته تحقیقات)

سازمان مجری: دانشگاه پیام نور اردبیل

پژوهشگران: دکتر امین لطفی اقلیم، دکتر مهزاد اسمعیلی فلک، دکتر مرتضی وطن‌پرست، دکتر میثم ودیعتی و دکتر سعید رحیمی

با همکاری: مهندس رضا سرخانی بنماران و مهندس مرتضی صدیقی کردلر

چکیده طرح

در صنعت ساخت و ساز در دنیا، سال‌های متمادی است که بتن نقش کلیدی و موثری ایفا می‌کند و به طبع آن مقادیر قابل توجهی از سرمایه‌ها در صنعت ساخت و ساز کشورها، صرف تعمیر و مرمت بتن‌های قدیمی می‌گردد. تکنولوژی و صنعت مدرن بتن نیازمند توجه ویژه به پایایی و دوام بتن‌های ساخته شده بویژه در محیط‌های خوردنده، خاصاً استخرهای آبگرم معدنی می‌باشد. در این راستا، توصیه‌هایی می‌بایست رشد یابند تا مصالح و تکنولوژی و روش‌های آزمایش جدید بتوانند برای تولید بتنی باکیفیت و دوام بالا، مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به ویژگی‌های منحصربفرد خورندگی آبگرم قوتورسویی به عنوان مطالعه موردی، مستلزم تمهیدات فراتر از روال معمول می‌باشد. در این پژوهش بجای تغییر ترکیبات تشکیل دهنده سیمان، تاکید بر استفاده از افزودنی‌های نسبتا جدید می‌باشد. به منظور شناسایی‌های دقیق، از آب آبگرم برای انجام آزمایش‌های شیمیایی نمونه‌برداری شده است. سپس با ساخت نمونه‌های بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف که شامل دو نوع سیمان، میکروسیلیس، خاکستر بادی، پلی‌وینیل الکل، استایرن بودتادین رابر و فوق‌روان‌کننده می‌باشند، اقدام به انجام آزمایش‌های مقاومت کششی، فشاری، سه گانه دوام، خرابی در محل، تخلخل بتن، آنالیز SEM و XRD شده است.

نتایج نشان می‌دهند که تمامی آزمایش‌های پایایی شامل آزمایش‌های متعارف و غیرمتعارف، بهبود وضعیت پایایی اکثر نمونه‌های بهسازی شده با طرح اختلاط‌های ارائه شده را نشان می‌دهند. همچنین بهترین طرح اختلاط‌ها به لحاظ عملکرد توامان مکانیکی و پایایی شامل طرح‌های اختلاط T5S20F20، T5S15F5، T5PVA و T5SBR می‌شوند. در ضمن، مکانیزم عملکرد افزودنی‌های پلیمری نسبت به افزودنی‌های معدنی به کلی متفاوت هستند و عالی‌ترین سطوح پایایی را دارا می‌باشند و در بتن‌های ساخته شده از افزودنی‌های پلیمری، کوچکترین نفوذی به داخل بتن اتفاق نیافتاده و به مانند پوشش آب‌بند عمل کرده‌اند.

استفاده از نسبت آب به سیمان حداکثر ۰/۴ به همراه سوپرپلاستی‌سایزر، استفاده از میکروسیلیس به اندازه ۱۵ تا ۲۰٪ جایگزینی به صورت مولفه تک جزئی، ترکیب ۱۰ تا ۱۵٪ میکروسیلیس –۵٪ خاکستر بادی جایگزینی به صورت مولفه دو جزئی، استفاده از PVA به اندازه ۰/۵ درصد وزنی سیمان، استفاده از SBR به اندازه ۷ تا ۸٪ وزنی سیمان، استفاده از هیتر و تهویه همزمان در فضای بسته به منظور عمل‌آوری در هوای سرد، استفاده از کاورهای حداقل ۷۵ میلیمتری در المان‌های سازه‌ای، اجرای درزهای اجرایی با شیب کمتر از ۴۵ درجه به سطح و در حالت کلی، حتی‌الامکان ممانعت از برخورد بتن تازه و پیش از گیرش نهایی با عوامل مهاجم با استفاده از ژئوممبرین، واتراستاپ و غیره را می‌توان به عنوان پیشنهادات اجرایی اختصاصاً برای این آبگرم در نظر گرفت.

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۱- فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- هدف از انجام تحقیق ۴

۱-۳- روش و مراحل انجام تحقیق ۵

۲- فصل دوم: پیشینه تحقیق و پایه‌های نظری ۷

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- چشمه‌های آبگرم معدنی ۹

۲-۳- چشمه‌های آبگرم معدنی ایران ۱۳

۲-۴- آبگرم قوتور سوئی- وضعیت کنونی و ترمیم‌های انجام شده ۱۴

۲-۵- ساز و کار حمله سولفاتی در ساختار بتن ۱۵

۲-۶- عوامل موثر بر مقاومت بتن در برابر حمله سولفاتی ۱۹

۲-۶-۱- شیمی سیمان پرتلند ۱۹

۲-۶-۲- نفوذپذیری بتن ۲۱

۲-۶-۳- افزودنی‌های معدنی جایگزین سیمان ۲۲

۲-۶-۴- نوع و غلظت منابع سدیم ۲۴

۲-۶-۴-۱- واکنش‌های سولفات کلسیم ۲۴

۲-۶-۴-۲- واکنش‌های سولفات سدیم ۲۵

۲-۶-۴-۳- واکنش‌های سولفات منیزیم ۲۷

۲-۷- روش‌های طراحی بتن برای محیط‌های سولفاتی ۲۹

۲-۸- روش‌های پلیمری مقاوم‌سازی بتن در برابر حمله سولفات‌ها ۳۱

۲-۸-۱- اطلاعات عمومی در مورد بتن‌های پلیمری ۳۱

۲-۸-۲- تقسیم‌بندی بتن‌های پلیمری بر اساس فرایند تخریب ۳۸

۲-۹- پیش‌بینی عمر مفید سازه‌ها و استراتژی تعمیر و نگهداری ۳۹
۲-۹-۱- پیش‌بینی عمر مفید ۳۹
۲-۹-۲- روش پیش‌بینی عمر مفید ۴۰
۲-۹-۳- ارزیابی دوام تعمیر ۴۲
۲-۹-۴- اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه ۴۲
۲-۹-۵- دوام سازه‌ها در یک آنالیز قابل اعتماد ۴۳
۲-۹-۶- ریسک در آنالیز قابلیت اعتماد ۴۴
۲-۱۰- مطالعات صورت گرفته در زمینه دوام و پایایی بتن‌ها ۴۴
۳- فصل سوم: مواد و روش‌ها ۵۱
۳-۱- مقدمه ۵۳
۳-۲- آزمایش‌های شیمی بر روی آبگرم قوتور سویی ۵۳
۳-۳- آزمایش‌های بتن تازه ۵۵
۳-۳-۱- کارایی بتن- آزمایش اسلامپ (ASTM-C143-78) ۵۶
۳-۳-۲- آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن ۵۷
۳-۴- آزمایش‌های بتن سخت شده ۵۸
۳-۴-۱- مقاومت فشاری بتن ۵۸
۳-۴-۱-۱- آزمایش نمونه‌های مکعبی ۶۰
۳-۴-۱-۲- شکست نمونه‌های فشاری ۶۰
۳-۴-۲- مقاومت کششی بتن ۶۳
۳-۴-۲-۱- آزمایش کشش غیرمستقیم (برزیلی) ۶۴
۳-۴-۳- آزمایش‌های دوام ۶۵
۳-۴-۳-۱- آزمایش تعیین جذب آب نیم ساعته ۶۹
۳-۴-۳-۲- آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار ۷۱
۳-۴-۳-۳- آزمایش نفوذ یون کلرید ۷۸

۳-۴-۴- آزمایش خرابی در محل ۷۶
۳-۵- آزمایش تعیین تخلخل بتن ۷۸
۳-۶- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۹
۳-۷- آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) ۸۲
۳-۸- مشخصات مصالح مصرفی ۹۱
۳-۸-۱- سیمان ۹۱
۳-۸-۲- مصالح سنگی ۹۲
۳-۸-۲-۱- شن ۹۳
۳-۸-۲-۲- ماسه ۹۴
۳-۸-۳- خاکستر بادی ۹۵
۳-۸-۴- میکروسیلیس ۹۶
۳-۸-۵- پلی وینیل الکل ۹۸
۳-۸-۶- استایرن بوتادین رابر ۱۰۰
۳-۸-۷- آب مصرفی در بتن ۱۰۲
۳-۸-۸- فوق روان‌کننده ۱۰۲
۳-۸-۹- ترکیبات شیمیایی روان‌کننده بتن ۱۰۴
۳-۸-۹-۱- لیگنوسولفونات‌ها در روان کننده بتن ۱۰۴
۳-۸-۹-۲- هیدروکسی کربوکسیلیک اسیدها ۱۰۶
۳-۸-۹-۳- کربوهیدرات‌ها ۱۰۶
۳-۸-۹-۴- سایر مواد شیمیایی روان‌کننده بتن ۱۰۷
۳-۸-۹-۵- مکانیزم عمل افزودنی‌های روان کننده ۱۰۷
۳-۱۰- طرح اختلاط و برنامه انجام آزمایش‌های مکانیکی و دوام ۱۰۸
۴- فصل چهارم: نتایج و بحث ۱۱۳
۴-۱- مقدمه ۱۱۵

۴-۲- نتایج آزمایش‌های شیمی بر روی آبگرم قوتورسویی ۱۱۵
۴-۳- نتایج آزمایش‌های مکانیکی ۱۱۸
۴-۳-۱- نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۱۱۸
۴-۳-۲- نتایج آزمایش‌های مقاومت کششی غیرمستقیم ۱۲۵
۴-۴- نتایج آزمایش‌های دوام ۱۲۷
۴-۵- نتایج آزمایش‌های غوطه‌وری در محل ۱۳۲
۴-۵-۱- تاثیر غوطه‌وری در آبگرم قوتورسویی بر روی تغییر طول نمونه‌ها ۱۳۲
۴-۵-۲- تاثیر غوطه‌وری در آبگرم قوتورسویی بر روی تغییر وزن نمونه‌ها ۱۳۵
۴-۵-۳- تاثیر غوطه‌وری در آبگرم قوتورسویی بر روی تغییر مقاومت فشاری نمونه‌ها ۱۳۸
۴-۵-۴- مقایسه نتایج غوطه‌وری در مطالعه حاضر و مطالعات مشابه ۱۴۱
۴-۶- نتایج آزمایش‌های تخلخل بتن قبل و پس از غوطه‌وری ۱۴۳
۴-۷- نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۱۴۶
۴-۸- نتایج آزمایش‌های آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) ۱۵۳
فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۶۱
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۶۳
۵-۲- پیشنهادات اجرایی و کابردی ۱۶۴
۵-۲-۱- پیشنهادات اجرایی عمومی ۱۶۴
۵-۲-۲- پیشنهادات اجرایی اختصاصی برای آبگرم قوتورسویی ۱۶۴
۵-۳- پیشنهادات برای مطالعات آتی ۱۶۶
پیوست: نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و گزارش اولیه ارائه شده توسط کارفرما ۱۶۷
فهرست منابع و مراجع ۱۷۷

فهرست اشکال و تصاویر

عنوان ..... صفحه

شکل (۲-۱): تصویر ماهواره‌ای موقعیت مکانی آبگرم معدنی قوتورسوئی (google earth, 2018)..... ۱۵

شکل (۲-۲): C-S-H، C-H و اترینگایت با میکروسکوپ الکترونی ۱۷

شکل (۲-۳): C-H با میکروسکوپ الکترونی..... ۱۸

شکل (۲-۴): رشد اترینگایت در منافذ بتن..... ۱۸

شکل (۲-۵): واکنش‌های بین اجزای سیمان و محلول سدیم سولفات ۲۷

شکل (۲-۶): واکنش‌های بین اجزاء سیمان و محلول سولفات منیزیم ۲۹

شکل (۳-۱): محل نمونه‌برداری از خاک ساختگاه قوتورسویی..... ۵۴

شکل (۳-۲): شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های مکعبی آزمایش طبق BS881..... ۶۱

شکل (۳-۳): نمونه مکعبی تحت آزمایش فشاری..... ۶۲

شکل (۳-۴): حالت رضایت‌بخش گسیختگی نمونه‌های مورد آزمایش..... ۶۲

شکل (۳-۵): تصویر استخر عمل‌آوری نمونه‌ها..... ۶۳

شکل (۳-۶): نحوه قرارگیری نمونه استوانه‌ای در آزمایش برزیلی..... ۶۴

شکل (۳-۷): دو نیم شدن نمونه استوانه‌ای پس از گسیختگی و در انتهای آزمایش برزیلی..... ۶۵

شکل (۳-۸): ضریب تصحیح در مقابل ارتفاع نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۷۵ میلیمتر ۷۰

شکل (۳-۹): شکل شماتیک آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار: ۱- قطعه فشرده‌سازی؛ ۲- رینگ آب‌بندی؛ ۳- صفحه رزوه شده؛ ۴- میله پیچ شده؛ ۵- آب تحت فشار؛ و ۶- صفحه صلب ۷۲

شکل (۳-۱۰): نمونه آماده برای آزمایش نفوذ یون کلرید به روش ASTM C1202-12..... ۷۵

شکل (۳-۱۱): غوطه‌ورسازی نمونه‌ها در ورودی استخر آبگرم قوتورسوئی ۷۷

شکل (۳-۱۲): نحوه استقرار دقیق آرماتورها در نمونه‌های آزمایش دوام و خوردگی..... ۷۸

شکل (۳-۱۳): وضوح عمودی و افقی روش‌های مختلف تصویربرداری ۸۰

شکل (۳-۱۴): تصویری از یک دستگاه SEM مرسوم امروزی..... ۸۲

شکل (۳-۱۵): نمونه اطلاعات ثبت شده از پراش یک نمونه در روش پودری..... ۸۳

شکل (۳-۱۶): فاصله صفحه‌ای متفاوت و آرایش مختلف اتم‌ها در دو صفحه از یک کریستال..... ۸۳

شکل (۳-۱۷): پراش اشعه ایکس توسط آرایه منظمی از اتم‌ها ۸۵
شکل (۳-۱۸): تأثیر آرایش اتم‌ها در شدت اشعه بازتابیده ۸۶
شکل (۳-۱۹): لوله اشعه ایکس ۸۷
شکل (۳-۲۰): نمودار شدت تابش هدف بمباران شده توسط اشعه الکترونی بر حسب طول موج ۸۸
شکل (۳-۲۱): ترازهای انرژی اتمی و گذارهای مرتبط ۸۹
شکل (۳-۲۲): نمودار دانه‌بندی شن بادامی مورد استفاده در این پروژه ۹۳
شکل (۳-۲۳): منحنی دانه‌بندی شن نخودی مورد استفاده در این پروژه ۹۴
شکل (۳-۲۴): منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در این پروژه ۹۵
شکل (۳-۲۵): توزین خاکستر بادی در مطالعه حاضر ۹۶
شکل (۳-۲۶): توزین میکروسیلیس جهت ساخت نمونه‌های آزمایشی ۹۷
شکل (۳-۲۷): تصویر نزدیک از پلی وینیل الکل ۹۸
شکل (۳-۲۸): فرمولاسیون شیمیایی پلی وینیل الکل ۹۹
شکل (۳-۲۹): پیوند شیمیایی استایرن بوتادین رابر ۱۰۱
شکل (۳-۳۰): فوق روان کننده و کاهنده آب مورد استفاده در مطالعه حاضر ۱۰۸
شکل (۴-۱): نمودار کالیبراسیون اندازه‌گیری یون فلوراید ۱۱۶
شکل (۴-۲): نمودار کالیبراسیون اندازه‌گیری یون کلراید ۱۱۶
شکل (۴-۳): نمودار کالیبراسیون اندازه‌گیری یون بروماید ۱۱۶
شکل (۴-۴): نمودار کالیبراسیون اندازه‌گیری یون نیترات ۱۱۷
شکل (۴-۵): نمودار کالیبراسیون اندازه‌گیری یون فسفات ۱۱۷
شکل (۴-۶): نمودار کالیبراسیون اندازه‌گیری یون سولفات ۱۱۷
شکل (۴-۷): تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از سیمان تیپ ۲ زنجان ۱۱۹
شکل (۴-۸): تاثیر خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از سیمان تیپ ۲ زنجان ۱۲۰
شکل (۴-۹): تاثیر اندرکنشی میکروسیلیس و خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از سیمان تیپ ۲ زنجان ۱۲۱
شکل (۴-۱۰): تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از سیمان تیپ ۵ کردستان ۱۲۲
شکل (۴-۱۱): تاثیر خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از سیمان تیپ ۵ کردستان ۱۲۳

شکل (۴-۱۲): تاثیر اندرکنشی میکروسیلیس و خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از سیمان تیپ ۵ کردستان ۱۲۵

شکل (۴-۱۳): مقاومت کششی نمونه‌های حاصل از سیمان تیپ ۲ و ۵ در سنین مختلف ۱۲۶

شکل (۴-۱۴): تاثیر افزودنی‌های معدنی و پلیمری بر مقدار جذب آب نیم ساعته در بتن‌های ساخته شده از سیمان تیپ ۲ و ۵ ..... ۱۲۸

شکل (۴-۱۵): تاثیر افزودنی‌های معدنی و پلیمری بر نفوذ آب تحت فشار در بتن‌های ساخته شده از سیمان تیپ ۲ و ۵ ..... ۱۳۰

شکل (۴-۱۶): تاثیر افزودنی‌های معدنی و پلیمری بر نفوذ یون کلرید در بتن‌های ساخته شده از سیمان تیپ ۲ و ۵ ..... ۱۳۱

شکل (۴-۱۷): تاثیر غوطه‌وری بر تغییر طول بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع ۲ به همراه افزودنی‌های معدنی ...۱۳۳

شکل (۴-۱۸): تاثیر غوطه‌وری بر تغییر طول بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع ۵ به همراه افزودنی‌های معدنی و پلیمری ۱۳۵

شکل (۴-۱۹): تاثیر غوطه‌وری بر تغییر وزن بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع ۲ به همراه افزودنی‌های معدنی .. ۱۳۶

شکل (۴-۲۰): تاثیر غوطه‌وری بر تغییر وزن بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع ۵ به همراه افزودنی‌های معدنی .. ۱۳۷

شکل (۴-۲۱): تاثیر غوطه‌وری بر تغییر مقاومت فشاری استاندارد نمونه‌های مکعبی بتن ساخته شده از سیمان نوع ۲ به همراه افزودنی‌های معدنی ۱۳۹

شکل (۴-۲۲): تاثیر غوطه‌وری بر تغییر مقاومت فشاری استاندارد نمونه‌های مکعبی بتن ساخته شده از سیمان نوع ۵ به همراه افزودنی‌های معدنی و پلیمری ۱۴۰

شکل (۴-۲۳): تغییرات تخلخل انواع نمونه‌های طراحی شده قبل و پس از غوطه‌وری در آبگرم قوتورسویی به مدت ۱۸ ماه در سطح و مغزه نمونه بتن ۱۴۵

شکل (۴-۲۴): تصویر SEM مربوط به نمونه S0F0 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۴۷

شکل (۴-۲۵): تصویر SEM مربوط به نمونه S0F0 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۴۷

شکل (۴-۲۶): تصویر SEM مربوط به نمونه S20F0 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۴۸

شکل (۴-۲۷): تصویر SEM مربوط به نمونه S20F0 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۴۸

شکل (۴-۲۸): تصویر SEM مربوط به نمونه S0F20 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۴۹

شکل (۴-۲۹): تصویر SEM مربوط به نمونه S0F20 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۴۹

شکل (۴-۳۰): تصویر SEM مربوط به نمونه S10F10 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۰

شکل (۴-۳۱): تصویر SEM مربوط به نمونه S10F10 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۰

شکل (۴-۳۲): تصویر SEM مربوط به نمونه PVA قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۱
شکل (۴-۳۳): تصویر SEM مربوط به نمونه PVA بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۱
شکل (۴-۳۴): تصویر SEM مربوط به نمونه SBR قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۲
شکل (۴-۳۵): تصویر SEM مربوط به نمونه SBR بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۲
شکل (۴-۳۶): تصویر SEM مربوط به نمونه PVA+SBR قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۳
شکل (۴-۳۷): تصویر SEM مربوط به نمونه PVA+SBR بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۳
شکل (۴-۳۸): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S0F0 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۴
شکل (۴-۳۹): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S0F0 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۴
شکل (۴-۴۰): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S20F0 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۵
شکل (۴-۴۱): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S20F0 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۵
شکل (۴-۴۲): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S0F20 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۶
شکل (۴-۴۳): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S0F20 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۶
شکل (۴-۴۴): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S10F10 قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۷
شکل (۴-۴۵): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه S10F10 بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۷
شکل (۴-۴۶): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه PVA قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۸
شکل (۴-۴۷): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه PVA بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۸
شکل (۴-۴۸): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه SBR قبل از غوطه‌ور شدن ۱۵۹
شکل (۴-۴۹): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه SBR بعد از غوطه‌ور شدن ۱۵۹
شکل (۴-۵۰): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه PVA+SBR قبل از غوطه‌ور شدن ۱۶۰
شکل (۴-۵۱): الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه PVA+SBR بعد از غوطه‌ور شدن ۱۶۰
شکل (پ-۱): استخر آبگرم قوتورسوئی قبل از تعمیرات سال ۱۳۹۴ ..... ۱۶۹
شکل (پ-۲): استخر آبگرم قوتورسوئی قبل از تعمیرات سال ۱۳۹۴ ..... ۱۶۹
شکل (پ-۳): تخریب دیوار محوطه جهت شروع عملیات بهسازی و ترمیم ۱۷۰
شکل (پ-۴): تخریب کف استخر جهت شروع عملیات بهسازی و ترمیم ۱۷۰
شکل (پ-۵): تخریب دیوار استخر جهت شروع عملیات بهسازی و ترمیم ۱۷۱

شکل (پ-۶): آرماتوربندی دیوار استخر ۱۷۱
شکل (پ-۷): قالب‌بندی دیوار استخر ۱۷۲
شکل (پ-۸): آجرچینی دیوار استخر ۱۷۲
شکل (پ-۹): کاشی‌کاری دیوار استخر ۱۷۳
شکل (پ-۱۰): کاشی‌کاری دیوار استخر ۱۷۳
شکل (پ-۱۱): کف استخر آبگرم قوتورسوئی قبل از تعمیرات سال ۱۳۹۴ ..... ۱۷۴
شکل (پ-۱۲): کف استخر آبگرم قوتورسوئی پس از تعمیرات سال ۱۳۹۴ ..... ۱۷۴
شکل (پ-۱۳): نمای کلی استخر آبگرم قوتورسوئی پس از تعمیرات سال ۱۳۹۴ ..... ۱۷۵