

بررسی آزمایشگاهی اثر خود تمیزکنندگی بتن ساخته شده با ماسه بادی و tio2

علیرضا کیانی^{۱*}، حسن شعبانی^۲، علیرضا حاجیانی بوشهریان^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، Kiani349@yahoo.co

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، h59sh@yahoo.co

۳- دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملاصدرا، ahajiani@gmail.com

چکیده

استفاده از مصالح خود تمیز کننده یکی از مباحث جدید در حوزه ساخت و ساز می باشد. دی اکسید تیتانیوم به عنوان یکی از مواد افزودنی به بتن معرفی شده که تجزیه آسان آلودگی ها از جمله ترکیبات آلی، ویروس ها، باکتری ها، جلبک ها و قارچ ها به کمک نور خورشید را انجام می دهد که همان اثر فتوکاتالیزوری است. افزودن یک فتوکاتالیزور به مصالح معمولی که در صنعت ساختمان بکار می رود می تواند یک ترکیب کم خطر را ایجاد کند که توسط آن آلودگی هوا یا آلودگی خود سطوح کاهش یابد. دی اکسید تیتانیوم به سیمان افزوده می شود تا آلودگی هوای ناشی از گازهای زائد را کنترل کند. مطالعه دقیقی از اصول فتوکاتالیزوری و برهم کنش بین دی اکسید تیتانیوم و بتن انجام شده است. در یک نگاه کلی دی اکسید تیتانیوم بعنوان ماده ی تصفیه کننده ی هوا بیشتر برای استفاده در خیابان ها و معابر شهری کاربرد دارد. در این پروژه با جایگزین کردن درصد های مختلف دی اکسید تیتانیوم بجای سیمان و ماسه بادی نتایج مطلوبی حاصل گشت. این نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد دی اکسید تیتانیوم و ماسه بادی در بتن، اثر خود تمیزکنندگی بتن ساخته شده بیشتر شد.

واژه‌های کلیدی: ماسه بادی، دی اکسید تیتانیوم، بتن، خود تمیز کنندگی.

۱- مقدمه

دی اکسید تیتانیوم یک ماده ارزان، فاقد سمیت و جامد می باشد که کاربردهای زیادی در صنعت غذایی، دارویی، معماری، صنایع رنگ سازی، کاشی سازی داشته و همچنین در پوشش دیوارها نیز مورد استفاده قرار می گیرد. عملکرد تجزیه آسان مواد به کمک نور خورشید (اثر فتوکاتالیزوری) این ماده قابل توجه است. اضافه شدن این ماده به مصالح باعث شده که تمیز کردن این مواد بدون هیچگونه هزینه ای انجام شود. این مسئله بخصوص در مورد بناهای ماندگار اهمیت بیشتری پیدا می کند. پژوهش های زیادی در مورد تجزیه مواد مختلف به کمک دی اکسید تیتانیوم در بتن انجام و به چاپ رسیده است و ثابت شده که همراه شدن یک سری مواد فلزی و غیر فلزی به دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش فعالیت کاتالیزوری در تجزیه آلودگیها شده است. به عنوان مثال اضافه شدن یک درصد نقره به دی اکسید تیتانیوم و استفاده در بتن باعث تمیز شدن آن در هنگام قرار گرفتن در برابر نور خورشید و عدم رشد خزه بر روی آن شده است.

دی اکسید تیتانیوم، یک ترکیب طبیعی است که می‌تواند آلاینده‌های گازی با حضور نور خورشید را تجزیه کند. استفاده از دی اکسید تیتانیوم در کف خیابان و پیاده رو می‌تواند به حذف آلاینده‌های انتشار شده در نزدیکی وسایل نقلیه در خیابان‌ها کمک کند. با این حال، پوشش سطح روسازی سنتی ممکن است به علت سایش سطح، اثربخشی خود را از دست دهد. هنگامی که دی اکسید تیتانیوم به آسفالت نفوذپذیر اعمال شود، دو منفعت و مزیت پایدار در یک ماده فراهم می‌شود. با توجه به اینکه امروزه استفاده از بتن با مقاومت و اثر خودتمیز کنندگی بالا در بسیاری از سازه‌ها که در معرض آلودگی‌های مختلف قرار دارند مورد توجه مهندسين طراح بوده، لذا ساخت بتنی که دارای این معیارها باشد و از طرفی بتوان از بکار بردن مواد افزودنی گران قیمت در ساخت آن نیز اجتناب نمود واجد اهمیت می‌باشد. یکی از مصالحی که در استان بوشهر و خصوصاً شهر عالی شهر به وفور یافت می‌شود، ماسه بادی می‌باشد. در این پژوهش ساخت بتن با ابعاد استاندارد و عیارهای مختلف و تأثیر افزودن دی اکسید تیتانیوم و ماسه بادی با درصد‌های مختلف به جای سیمان و ماسه معمولی، جهت بهبود اثر خودتمیز کنندگی مورد تحقیق قرار می‌گیرد.

۲- طرح آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سیمان

سیمان استفاده شده در این مطالعه از نوع پرتلند تیپ II، تولید کارخانه سیمان دشتستان می‌باشد که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جداول ۱ و ۲ آورده شده است [۲-۱].

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سیمان [۲-۱]

مقاومت فشاری Kg/m^2			ان‌ب‌س‌اط اتوکول‌او (درصد)	گیرش ن‌های ی (Min)	گیرش ابتدای ی (Min)	بلین Cm^2/g	نمونه سیمان پرتلند تیپ II
28 روزه	7 روزه	3 روزه					
448	347	255	0/1	215	170	3000	سیمان دشتستان
حداقل 315	حداقل 175	حداقل 100	حداکثر 0/8	حداکثر 360	حداقل 45	حداقل 2800	استاندارد ملی ایران ISIR 389

جدول ۲: مشخصات شیمیایی سیمان [۱-۲]

LOI	IR	SO ₃	ONa ₂	Ok ₂	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	عن‌اصر ش‌ی‌م‌ای ی
1/90	0/30	2/35	0/40	0/75	3/60	61/45	3/85	5/05	20/55	درصد عن‌اصر م‌وج‌ود
حداکثر 3	حداکثر 0/75	حداکثر 3	-	-	حداکثر 5	-	حداکثر 6	حداکثر 6	حداقل 20	استاندارد ملی ایران ISIR 389

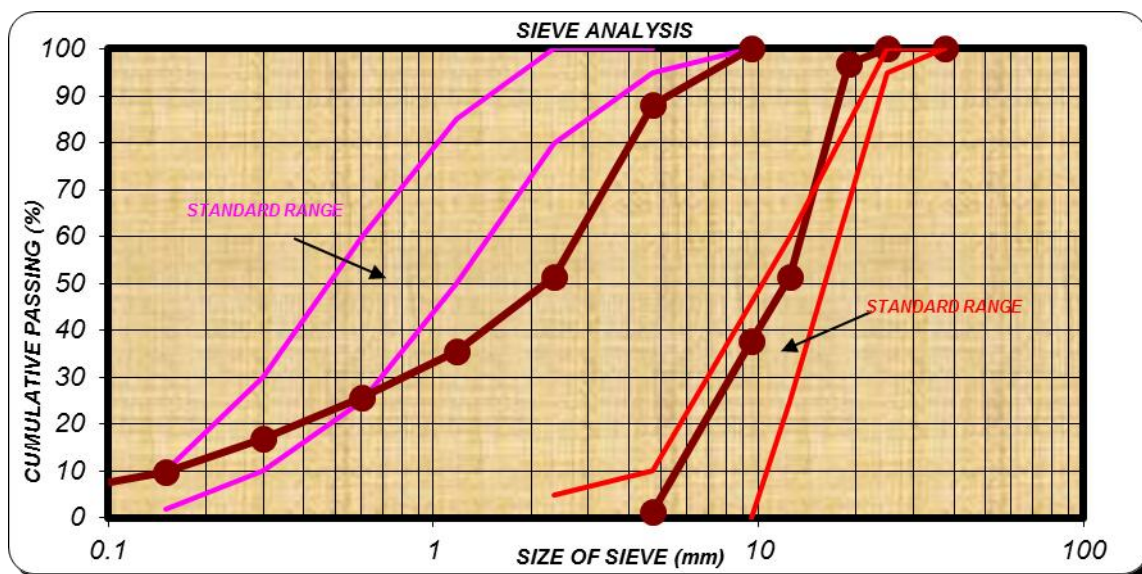
۲-۱-۲- سنگدانه‌ها

تمام مصالح سنگی درشت دانه و ریزدانه از سنگ‌شکن شهرستان خورموج واقع در استان بوشهر تهیه گردیده است. مشخصات سنگدانه‌های ریز و درشت طبق روش‌های تست (ASTM(C136, C128, C127C33, C29) تعیین شده است و

حداکثر قطر سنگدانه‌ها 19mm می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌ها در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. همچنین نمودار شماره ۱ نتایج دانه بندی سنگدانه‌ها را نشان می‌دهد [۳].

جدول ۳: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌های ریز (ماسه) و درشت (شن) [۳]

مدول نرمی $F.M$	رطوبت اشباع با سطح خشک (درصد)	رطوبت نسبی (درصد)	وزن مخصوص ظاهری Kg/m^3	نوع سنگدانه
-	۴/۲	۱/۲	۱۳۰۹	شن
۳/۷۲	۶	۳	۱۴۵۰	ماسه



نمودار ۱: دانه‌بندی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه به همراه حدود مجاز استاندارد $ASTM-C136-84a$

۳-۱-۲- ماسه بادی

رسوب‌های بادی معمولاً در حد ماسه و ریزتر از آن بوده و به اشکال مختلفی از جمله تپه‌های ماسه‌ای مشاهده می‌شوند. این رسوب‌ها در بخش‌های وسیعی از کشور، از جمله در کویرها و سواحل دریای مازندران و خلیج فارس و حاشیه‌ی برخی از رودها یافت می‌شوند. این رسوبات از جورشدگی خوب و مقاومت بالایی برخوردار هستند. عموماً ماسه‌های بادی در نتیجه هوازدگی شیمیایی فرسایش سنگ‌ها به علت تغییرات سریع حرارت و همچنین خراشیده شدن سنگ‌ها بوسیله بادهای حاوی ماسه صورت می‌گیرد. این نوع تخریب تنها در مورد رخنمون سنگ‌ها صورت نگرفته، بلکه می‌تواند در مورد رسوبات جدید نیز صورت پذیرد. در هر صورت هر نوع خردشدگی سنگ‌های قدیمی و یا رسوبات جوانی که تازه سیمان شده‌اند می‌تواند منشأ ماسه‌های بادی باشند به شرط آنکه اندازه ذرات در توان انرژی حمل باد باشد. منشأ دیگر ماسه‌های بادی رسوبات مخروطه افکنه^۱ می‌باشد که ذرات بدون سیمان ماسه‌ها می‌توانند بوسیله باد از جا کنده شده و به همراه باد به حرکت در بیایند. منشأ سوم ماسه‌های بادی که محدودتر است ماسه‌های ساحلی است که حاوی خرده صدف‌ها و پوسته جانوران دریایی می‌باشند. این نوع ماسه‌های بادی بیشتر در حاشیه دریاهای استوایی دیده می‌شوند. می‌دانیم ماسه به دانه‌های کوچک‌تر از $4/75$ میلی‌متر تا $0/075$ میلی‌متر گفته می‌شود. ماسه‌بادی ماسه‌ای است که اندازه آن از ۲ میلی‌متر کوچک‌تر است و تقریباً دانه‌بندی

یکنواختی دارد. این ماسه به طور معمول در جاهایی که فرسایش زیاد باشد، پیدا می‌شود. این ماسه به دلیل ریزی زیاد قابلیت جذب آب بالایی دارد، در نتیجه نیاز به مقدار آب فراوانی در بتن دارد.

یکی از مهم‌ترین موارد استفاده از ماسه‌بادی در بندکشی نماهای سنگ لاشه است. همچنین در عملیات اجرای لوله‌های آب و برق و گاز هم بعنوان محافظ لوله در زیر و روی آن استفاده می‌شود. در ضمن در اجرای کف‌سازی پیاده رو و محوطه‌ها هم بعنوان بستر خشکه‌چینی و بندکشی از آن‌ها استفاده می‌شود. از کاربردهای دیگر این ماسه، جهت لایه زهکشی در زیر شن می‌باشد. همچنین از این ماسه در ساخت بلوک‌های بتنی سبک نیز به وفور استفاده می‌شود. البته ریزی و یکنواختی ماسه‌های بادی به محل و ساختگاه تولید ماسه بستگی دارد ولی به طور عمومی این ماسه دانه‌بندی یکنواختی دارد. ماسه‌بادی برای استحصال و تحکیم بستر زمین‌های لجنی کاربرد فراوانی دارد [۴].

۴-۱-۲- دی اکسید تیتانیوم

دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) به زبان انگلیسی *Titanium Dioxide* که به آن تیتانیا هم گفته می‌شود، یک ماده غیر آلی جامد سفیدرنگی است که در برابر حرارت پایدار، غیر قابل اشتعال و دارای قابلیت انحلال ضعیف است و با توجه به سیستم طبقه‌بندی و علامت گذاری مواد شیمیایی هماهنگ جهانی (GHS) ملل متحد (UN) جزء مواد خطرناک طبقه‌بندی نمی‌شود. دی اکسید تیتانیوم، اکسید تیتانیوم فلزی، به طور طبیعی در چند نوع سنگ و شن و ماسه معدنی به وجود می‌آید. تیتانیوم نهمین عنصر رایج در پوسته زمین محسوب می‌شود. دی اکسید تیتانیوم معمولاً از لحاظ شیمیایی، خنثی تلقی می‌شود. یکی از عناصر با خاصیت فتوکاتالیستی زیاد، دی اکسید تیتانیوم می‌باشد که به طور عمده در فرم های کریستالی روتایل و آناتاز وجود دارد. کاربردهای نانو اکسید تیتانیوم براساس خواص ویژه این ماده، توسعه یافته است. خواص همچون آنتی باکتریال و فتوکاتالیز بودن از مهمترین ویژگی های این ماده می باشد. نانو پوشش های تصفیه هوا بر روی سطوح خارجی ساختمان و جاده ها به ویژه در نقاط پر تردد و دارای آلودگی قابل استفاده هستند. به طور خلاصه می توان گفت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم برای بهبود ویژگی های بتن در نمای ساختمان ها به عنوان پوشش بازتاب کننده مورد استفاده قرار می گیرد. این نانو ذرات از طریق واکنشهای فتوکاتالیستی قوی قادر به شکستن و تجزیه آلاینده های آلی، ترکیبات آلی فرار (VOC) و غشای باکتریایی هستند [۵].

دی اکسید تیتانیوم ماده‌ای است که می‌تواند به عنوان ماده‌ای افزودنی در بتن بکار برد. این ماده با توجه به خواصی که دارد می‌تواند خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بتن را تغییر داده و باعث بهبودی آن شود. این ماده از رنگی سفیدتر و با دوام‌تر از بتن برخوردار می‌باشد و می‌تواند مواد آلوده در هوا را تجزیه نماید و از آن در صنایع بتن رنگ سازی مدرن و در ژاپن و برخی نقاط اروپا استفاده می‌شود.

جدول ۴: مشخصات دی اکسید تیتانیوم [۶]

TiO_2	فرمول شیمیایی نوع ماده
جامد	حالت فیزیکی
سفید	رنگ
بی بو	بو

جدول ۵: خواص دی اکسید تیتانیوم [۶]

Properties	Unit	Typical Value
Specific surface area (BET)	m^2/g	50 ± 15
Average primary particle size	nm	21
Density	g/l	Approximately 130
Ignition loss (2 hrs. at 1000 °C)	--	≤ 2.0
pH-value	wt. %	3.5 – 4.5
TiO ₂ -content (based on ignited material)	wt. %	≥ 99.5

۲-۲- طرح اختلاط بتن

در این پژوهش جهت طرح اختلاط از استاندارد *ACI-211-1* استفاده گردیده است. برای مخلوط نمودن مصالح ابتدا شن را درون میکسر ریخته و جهت رسیدن به اشباع، ۲۵۰ CC آب اضافه می‌نماییم؛ سپس به ترتیب ماسه، سیمان، ماسه بادی، دی اکسید تیتانیوم و در انتها آب را به آن می‌افزاییم و میکسر را به مدت تقریبی ۵ الی ۷ دقیقه روشن می‌گذاریم تا مصالح ما بخوبی مخلوط شوند. در این تحقیق از یک طرح شاهد با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ با سه عیار سیمان 350 Kg/m^3 ، 400 Kg/m^3 و 450 Kg/m^3 ، در درصدهای حجمی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ماسه بادی بجای ماسه و درصد های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دی اکسید تیتانیوم بجای سیمان استفاده گردیده است.

جدول ۶: طرح اختلاط شاهد

سیمان (Kg)	ماسه (Kg)	شن (Kg)		آب (Kg)
		بادامی	نخودی	
۳۵۰	۱۰۹۵	۴۵۰	۳۵۰	۱۵۵
۴۰۰	۱۰۷۰	۴۲۵	۳۲۵	۱۸۰
۴۵۰	۱۰۴۷/۵	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۲/۵

۲-۳- روش‌های آزمایش

بر طبق تعریف *ACI* روانی بتن یعنی قابلیت بتن یا ملات تازه مخلوط شده برای جریان یافتن است. کلمه کارایی به سهولت در ریختن، قابلیت تراکم، سهولت در پرداخت بتن و مقاومت در برابر جدا شدگی اطلاق می‌شود که جهت تعیین آن از آزمایش اسلامپ طبق استاندارد *ASTM-C143-90* استفاده می‌شود. وسایل لازم جهت انجام این آزمایش، یک سینی فلزی به ابعاد 40×40 و یا 50×50 سانتی‌متر، یک مخروط فلزی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که قطر بالای آن ۱۰ سانتی‌متر بوده و دارای دو دستگیره در دو طرف است، میله‌ای به طول تقریبی ۳۵ سانتی‌متر که در یک سر آن خط‌کشی به عرض ۵ سانتی‌متر قرار دارد، به طوری که پس از قرار گرفتن این میله در محل خود بر روی سینی، ارتفاع مابین سینی تا زیر خط‌کش ۳۰ سانتی‌متر یعنی برابر ارتفاع مخروط باشد، یک عدد میلگرد ساده به طول ۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متر که برای متراکم کردن بتن داخل مخروط به کار می‌رود و وسیله‌ای برای اندازه‌گیری طول می‌باشد. انجام این آزمایش به این صورت است که ابتدا مخروط اسلامپ بر روی سینی مربوطه و در محل خود مستقر می‌شود. سپس با یک بیلچه‌ی دستی اقدام به پر کردن مخروط می‌شود. این عمل در سه مرحله و هر مرحله با ۲۵ بار کوبش بتن (جهت فشرده‌سازی) انجام می‌شود. پس از اتمام سه مرحله‌ی فوق و پر شدن مخروط، با یک کاردک سطح بتن را صاف کرده تا با لبه‌ی قاعده بالایی در یک تراز قرار گیرد. بالا کشیدن قالب باید ظرف ۵ تا ۱۰ ثانیه بدون اینکه حرکت جانبی یا چرخشی به قالب و بتن وارد شود انجام گیرد. پس از برداشت مخروط، بتن مقداری افت خواهد

کرد، به‌وسیله خط‌کش این مقدار افت را اندازه می‌گیریم، عدد به‌دست آمده همان مقدار اسلامپ بتن است که معمولاً به سانتی‌متر بیان می‌شود.

نمونه‌های بتنی سخت شده برای آزمایش اثر خود تمیزکنندگی در سن ۹۰ روزه بر روی نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متر آزمایش می‌شوند.

جهت انجام این آزمایش بعد از ساخت نمونه‌ها و عمل‌آوری آنها در سن ۹۰ روزه، آنها را در محیط آلوده قرار می‌دهیم که در اینجا ما با دود آگزوز این آلودگی را بوجود می‌آوریم. سپس نمونه‌ها را در مجاورت نور خورشید قرار می‌دهیم و آنها را شستشو داده و مدت زمان لازم جهت پاکسازی را مد نظر قرار می‌دهیم.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر خود تمیزکنندگی

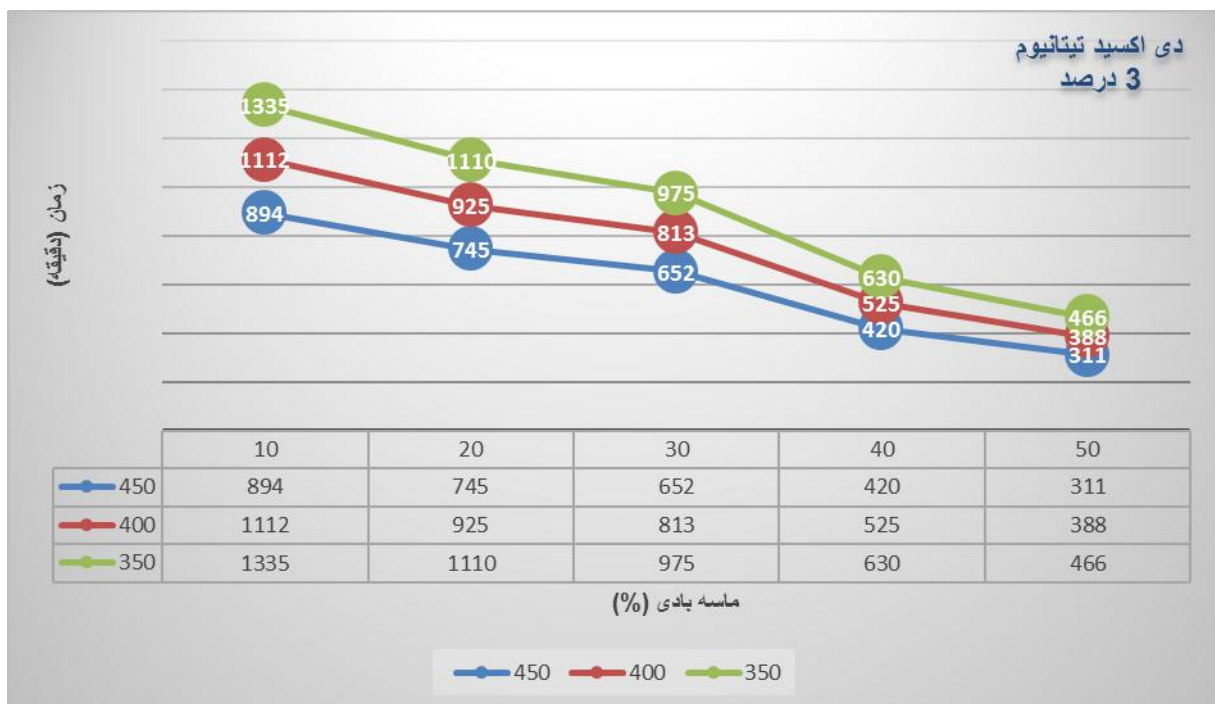
به منظور بررسی تأثیر درصدهای مختلف جانشین‌سازی دی‌اکسید تیتانیوم و ماسه بادی بر اثر خود تمیزکنندگی بتن در سن ۹۰ روزه، از نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متر استفاده شده است. تمام نمونه‌های آزمایشی یک روز پس از ساخت، قالب‌برداری شده و در حوضچه عمل‌آوری نگهداری می‌شوند و سپس مورد آزمایش قرار می‌گیرند.



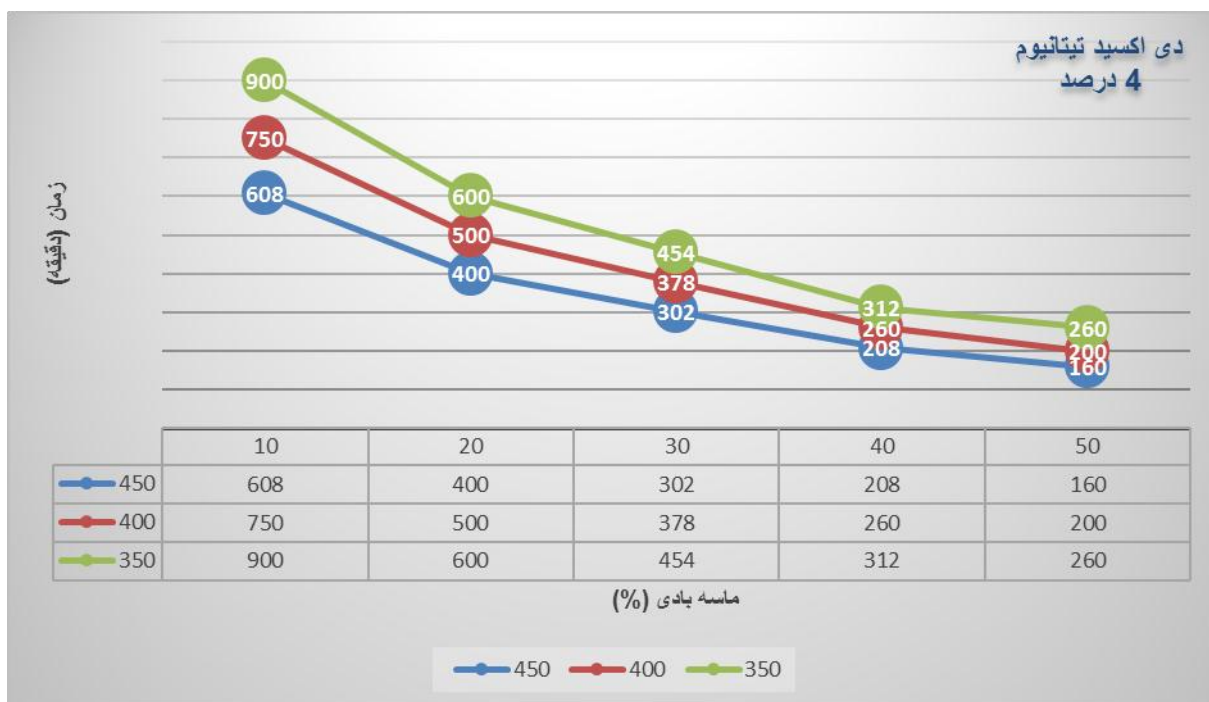
نمودار ۲: نتایج اثر خود تمیزکنندگی نمونه‌های حاوی ۱٪ دی‌اکسید تیتانیوم



نمودار ۳: نتایج اثر خود تمیزکنندگی نمونه‌های حاوی ۲٪ دی اکسید تیتانیوم



نمودار ۴: نتایج اثر خود تمیزکنندگی نمونه‌های حاوی ۳٪ دی اکسید تیتانیوم



نمودار ۵: نتایج اثر خود تمیزکنندگی نمونه‌های حاوی ۴٪ دی اکسید تیتانیوم



نمودار ۶: نتایج اثر خود تمیزکنندگی نمونه‌های حاوی ۵٪ دی اکسید تیتانیوم

همانطور که در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود افزایش دی اکسید تیتانیوم به میزان ۵٪ سیمان و ماسه بادی به میزان ۵۰٪ ماسه معمولی در سنین مختلف، کمترین زمان را جهت تمیز شدن نمونه از آلودگی به ما نشان می‌دهد.



۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱- با افزایش درصد استفاده از ماسه‌بادی و دی اکسید تیتانیوم، زمان لازم جهت تمیز شدن نمونه‌ها از آلودگی کاهش می‌یابد. که این کاهش، تا زمان استفاده از ۵۰٪ ماسه بادی بعلاوه ۵٪ دی اکسید تیتانیوم در عیار ۴۵۰ سیمان ادامه دارد که در درصدهای ذکر شده در فوق، به کمترین زمان لازم جهت تمیز شدن نمونه از آلودگی می‌رسد.

مراجع

[۱] کاتالوگ کارخانه سیمان دشتستان استان بوشهر .

[2] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Lime – Portland cement – Specification , ISIRI .4220, 1st.revision.

[۳] سیفی بوشهری، سجاد، آزمایشگاه اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان بوشهر.

[۴] معیری، م.، " فرهنگ واژه‌های ژئومورفولوژی"، انتشارات دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۰).

[۵] اکبریور، ع.، افتخاری، م.م.، محمودزاده، پ.، "استفاده از ترکیب نانو ذرات TiO_2 و SiO_2 به منظور ایجاد بتن خود تمیز شونده با مقاومت بالا"، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز، (۱۳۹۲).

[6] Christopher. M., Neubauer, M.Y., Hamlin, M., (1998), "Interparticle Potential and Sedimentation Behavior of Cement Suspensions: Effects of Admixtures", *Advanced Cement Based Materials*, Volume 8, Issue 1, July, Pages 17-27.