بسم الله الرحمن الرحیم

مقاومت ملات های حاوی دوده سیلیسی، سرباره کوره آهنگدازی و خاکستربادی در محلولهای سه گانه و چهارگانه

استادراهنما: دکترصالح احری
استادمشاور: دکترابراهیمی اصل
استادداور: دکترزندی
بهراد عبدالله زاده

پایان نامه در یک نگاه

1

فصل اول

مقدمه ، بیان مسئله ، اهداف و ضرورت تحقیق

2

فصل دوم

پیشینه پژوهش ، مفاهیم پایه

3

فصل سوم

مصالح مصرفی ، روند کار آزمایشگاهی و محاسباتی

4

فصل چهارم

بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی

5

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

1

فصل اول

مقدمه ، بیان مسئله ، اهداف و ضرورت تحقیق

2

فصل دوم

پیشینه پژوهش ، مفاهیم پایه

3

فصل سوم

مصالح مصرفی ، روند کار آزمایشگاهی و محاسباتی

4

فصل چهارم

بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی

5

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل اول

- مقدمه
- بیان مسئله
- اهداف
- ضرورت تحقیق

زمان: ۳ دقیقه

بتن به علت تطبیق پذیری زیاد دارای قابلیت اجرایی بسیار بالایی میباشد.

بتن هزینه بسیار پایینی دارد و بسیار به صرفه اقتصادی میباشد.

تکنولوژی تولید ، حمل و استفاده از بتن سهل و آسان است.

عملکرد سازه های اسکلت بتنی مناسب و قابل قبول میباشد.

استفاده از مواد مکمل سیمانی

بازیافت و استفاده از
ضایعات صنایع دیگر
کاهش هزینه تولید
کاهش آلایندگی
بهبود خواص مکانیکی
ملات

.

تولید سیمان

صرف انرژی بسیار
زیاد
هزینه بالا
آلایندگی بالا
تولید میزان قابل
توجهی گاز گلخانه ای

سیمان

اصلی ترین ماده
تشکیل دهنده ملات

راهکار بهبود بتن

بهبود خواص ملات

ملات

اصلی ترین جزء بتن

ضرورت پژوهش

ضرورت این پژوهش از آن جهت احساس میشود که کیلنکر و انرژی مصرفی در تولید سیمان تجدید ناپذیر میباشد.همچنین نقایص بتن معمولی مثل ترک خوردگی و حرارت زایی زیاد سبب سعی در رفع آن گشته است.

بیان مسئله

با توجه به مصرف زیاد بتن و نقایص موجود در آن برای کاهش هزینه تولید و کاهش مصرف انرژی و مسائل زیست محیطی عزم جهانی براستفاده از مواد مکمل سیمانی و کاهش تولید سیمان میباشد.

فرضیات پژوهش

در این پژوهش مواد مکمل سیمانی در درصد های مختلف جایگزین سیمان شده اند و ملات های دو گانه (سیمان و یک نوع پوزولان) ملات های سه گانه (سیمان و دو نوع پوزولان) و ملات های چهار گانه (سیمان و سه نوع پوزولان) تولید شده است. .

اهداف

تولید ملات با استفاده از مواد مکمل سیمانی و کاهش مصرف سیمان

بهبود خواص مکانیکی ملات

ارائه الگوریتم تخمین مقاومت فشاری با استفاده از مقادیر مواد مکمل سیمانی

1

فصل اول

مقدمه ، بیان مسئله ، اهداف و ضرورت تحقیق

2

فصل دوم

پیشینه پژوهش ، مفاهیم پایه

3

فصل سوم

مصالح مصرفی ، روند کار آزمایشگاهی و محاسباتی

4

فصل چهارم

بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی

5

فصل پنجم

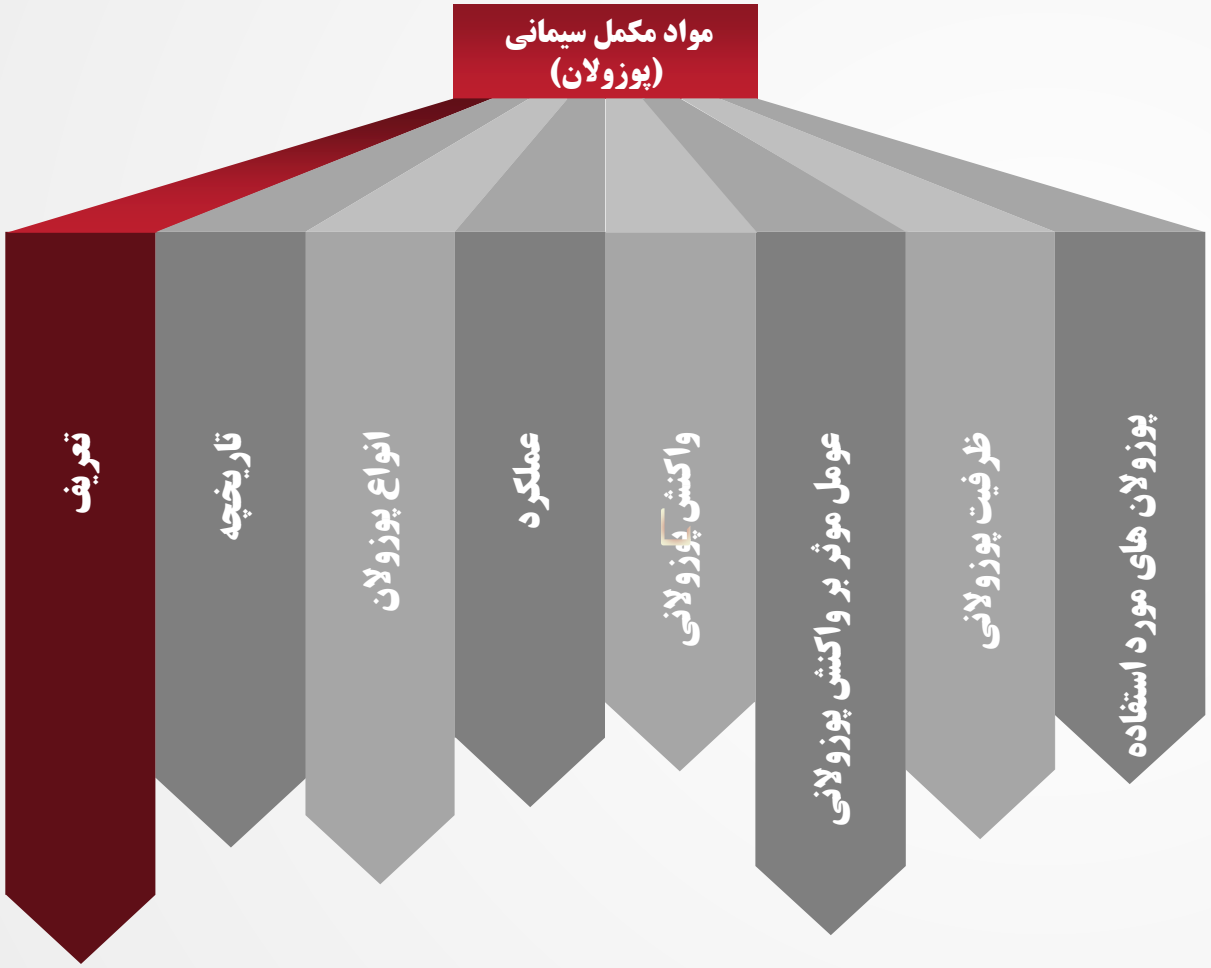
نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل دوم

- پیشینه پژوهش
- مفاهیم پایه

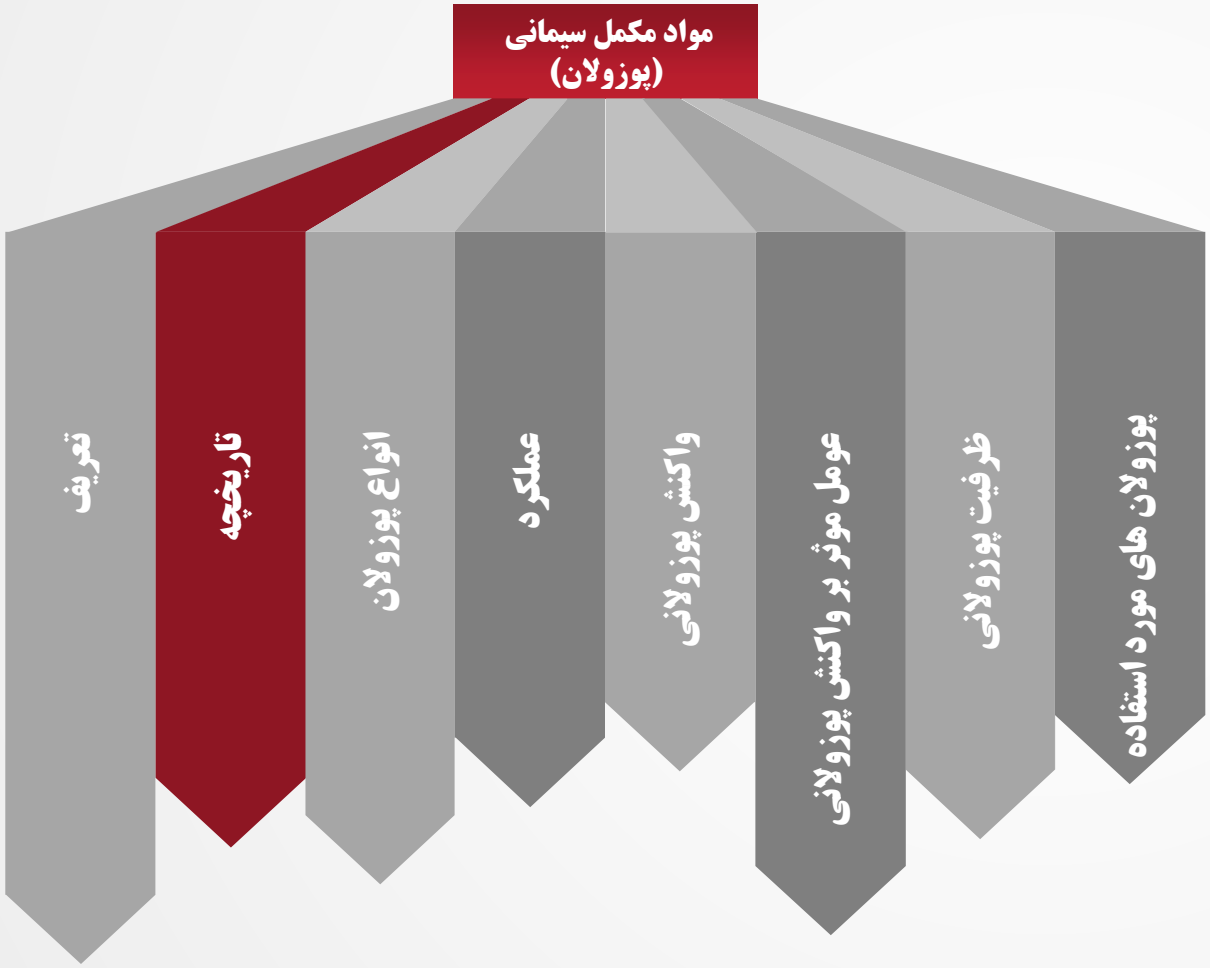
زمان: ۱۰ دقیقه

مواد مکمل سیمانی
(پوزولان)



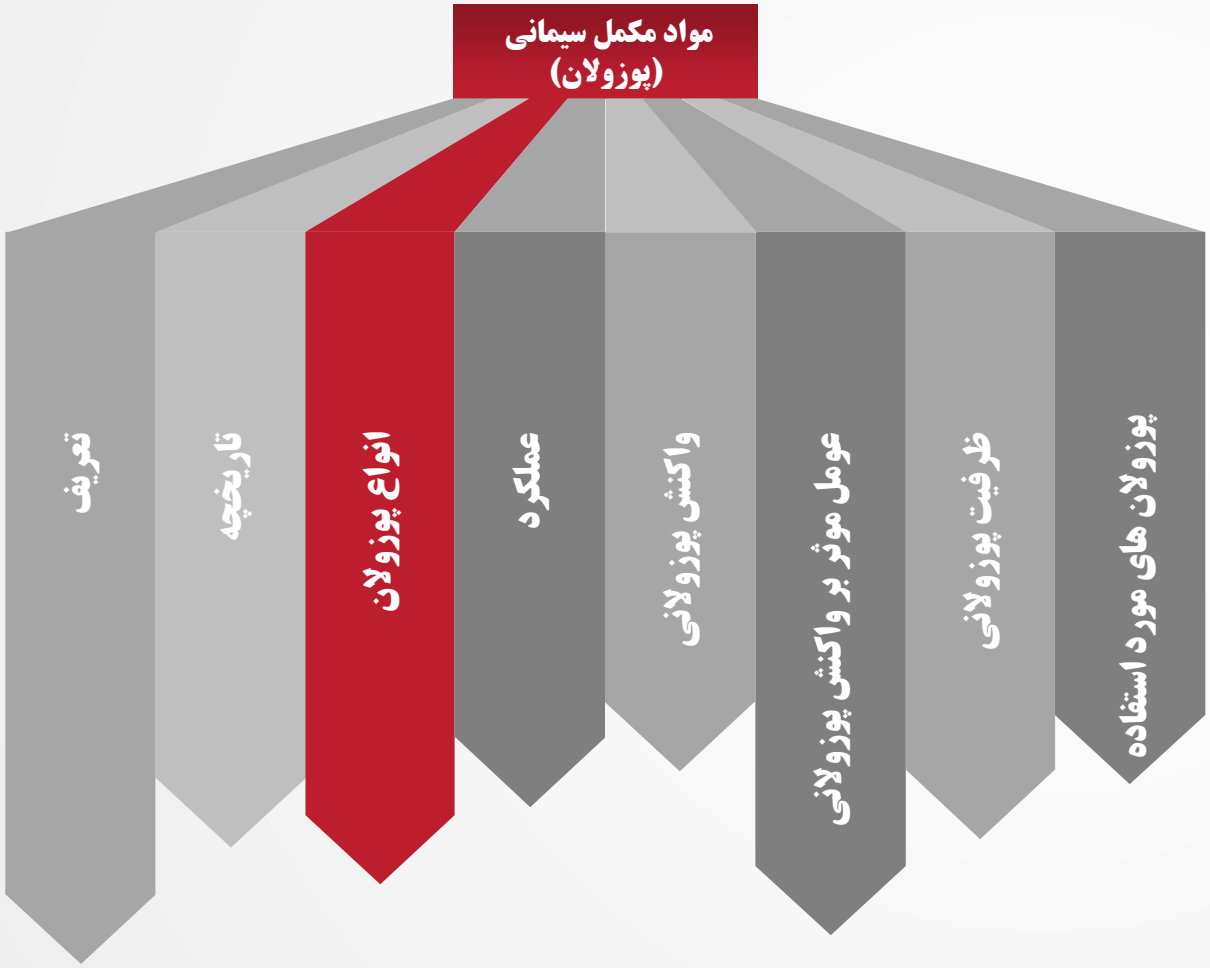
تعریف پوزولان

طبق استاندارد ASTM C618 پوزولان مصالحی سیلیسی و آلومینی می باشد که به تنهایی ، ارزش سیمانی نداشته و یا ارزش سیمانی آن ناچیز می باشد. اما اگر به صورت ذرات ریز در آید می تواند در دمای معمولی با هیدروکسید های کلسیم واکنش داده و ترکیباتی را بوجود آورد که دارای خواص سیمانی می باشند.



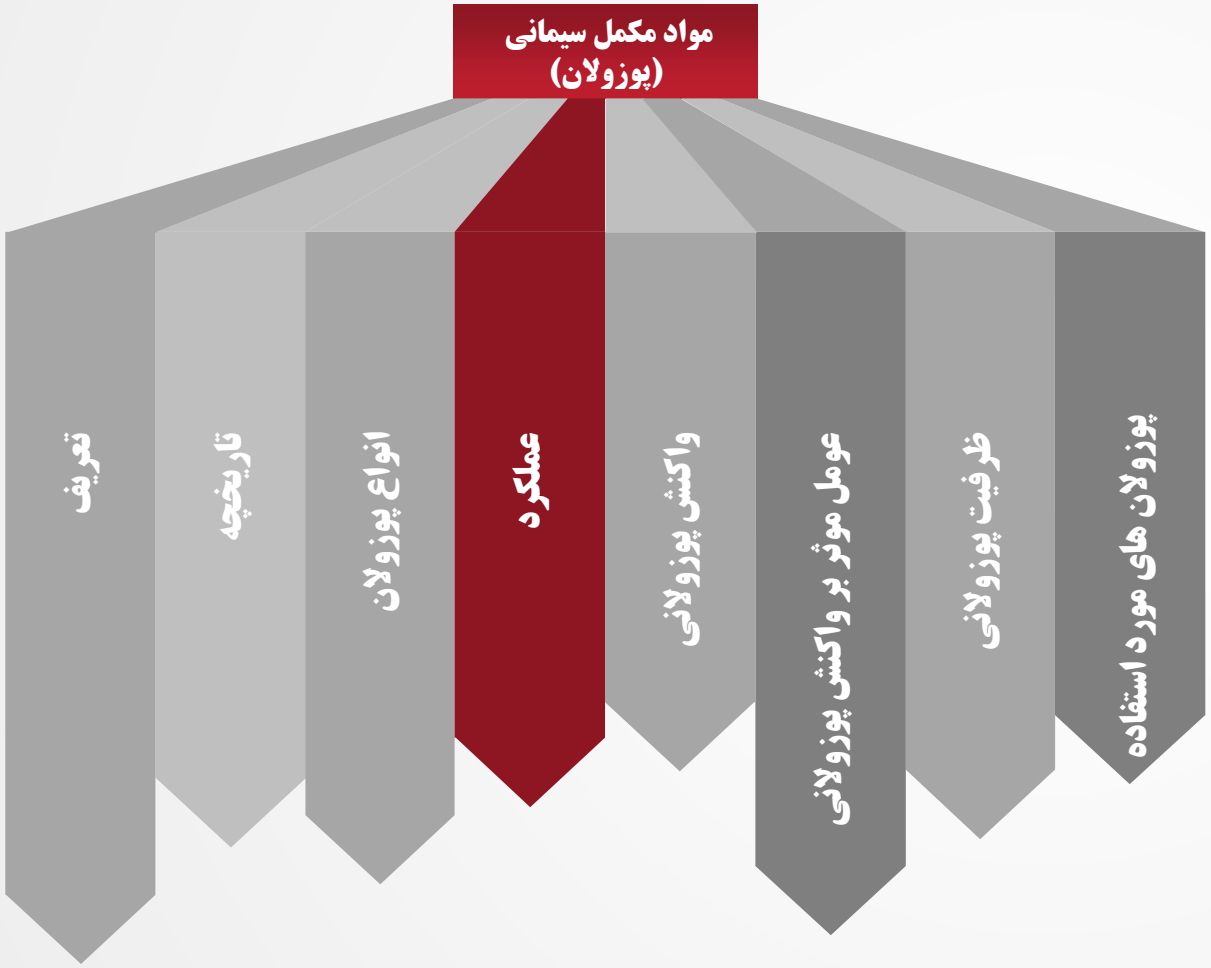
تاریخچه

واژه پوزولان برگرفته از نام محلی به اسم پوزولی در ایتالیا می باشد. که بعدها به پوزولانا و پوزولان مشهور شد.



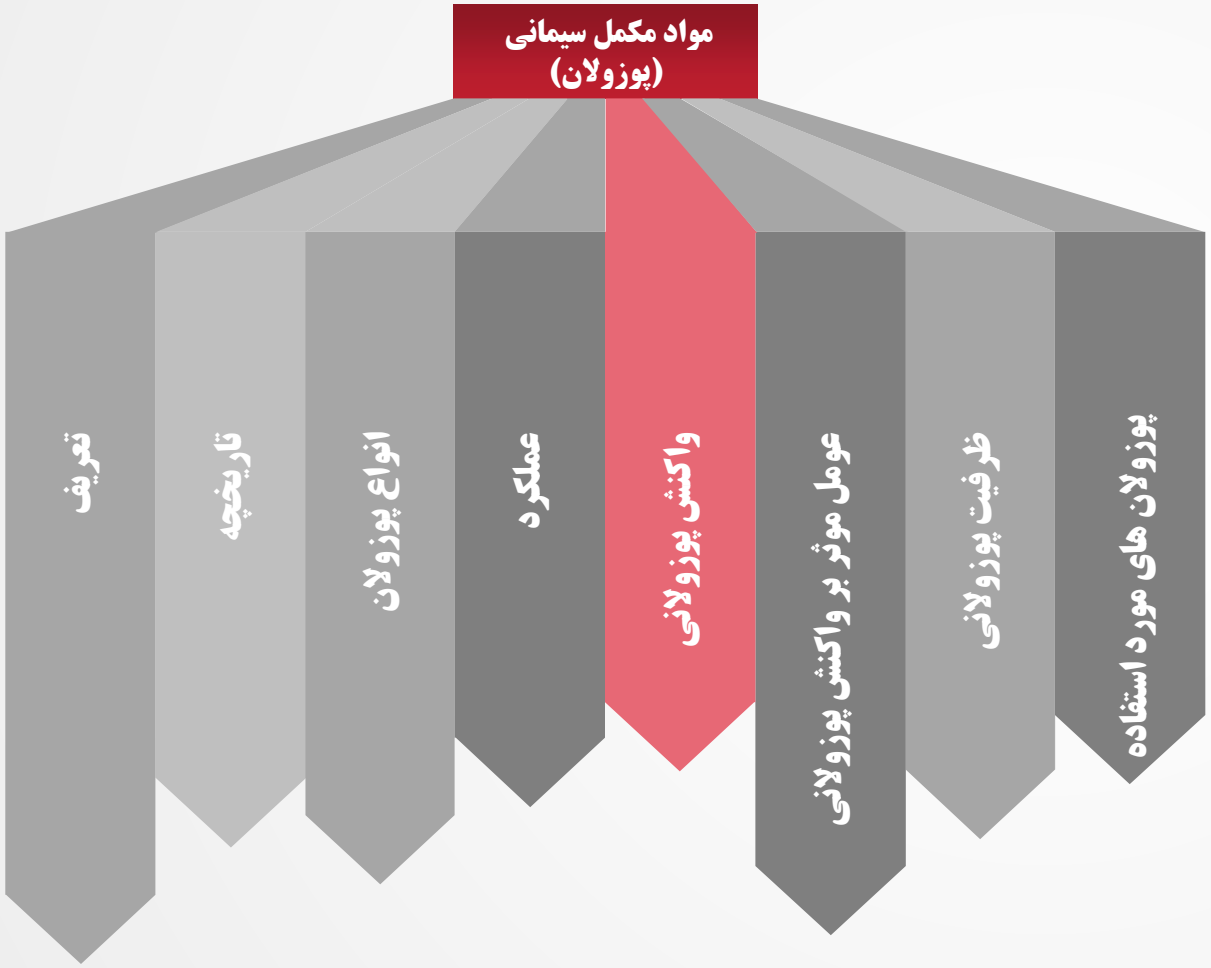
انواع پوزولان

- پوزولان های طبیعی خام که بطور عمده شامل خاکستر های آتشفشانی است.
- پوزولان های صنعتی که به طور عمده شامل خاکستر بادی و دوده سیلیسی است.



عملکرد

در فرایند هیدراتاسیون سیمان، مقادیر زیادی از کلسیم هیدروکسید $Ca(OH)_2$ تولید می شود که ساختار این محصول به صورت کریستالی بوده و این لایه های کریستالی با نیروی چسبندگی مولکولی ضعیفی به هم متصل شده اند که در نتیجه نمی توانند خیلی به کسب مقاومت خمیر سیمان سخت شده کمک کنند. در این حالت حضور پوزولان ها باعث می شود که سیلیس موجود در آن ها با کلسیم هیدروکسید واکنش دهد و آنرا مصرف نماید که این امر به تولید بیشتر ژل C-S-H منجر می شود که میزان آن تأثیر مستقیم در مقاومت اکتسابی بتن دارد.



واکنش پوزولانی

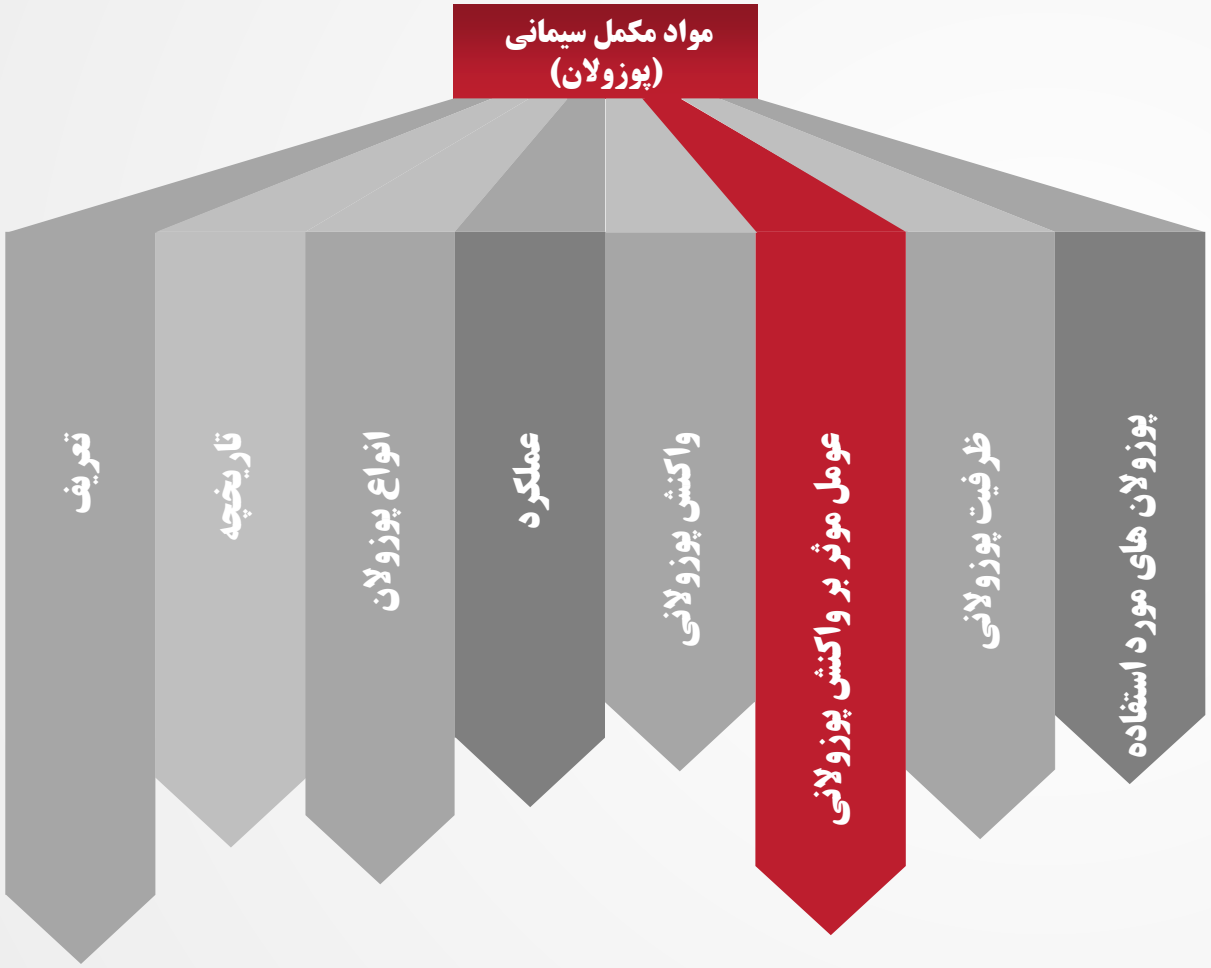
سیلیس غیر کریستاله یا شیشیه ای که جز اصلی یک ئوزولان است،با هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراتاسیون سیلیکات کلسیم واکنش میدهد.فعل و انفعال اصلی به صورت زیر است:

$$CH + S + H \rightarrow C - S - H$$

به هر حال با پوزولانهای خیلی فعال دارای سیلیس زیاد (دوده سیلیسی و خاکستر پوسته برنج) نسبت C/S تفاوت قابل ملاحظه ای دارد و نزدیک به عدد یک بوده و نسبت H/S کمی کمتر است.این نشان دهنده ایجاد واکنش ثانویه پوزولانی با C-S-H میباشد.

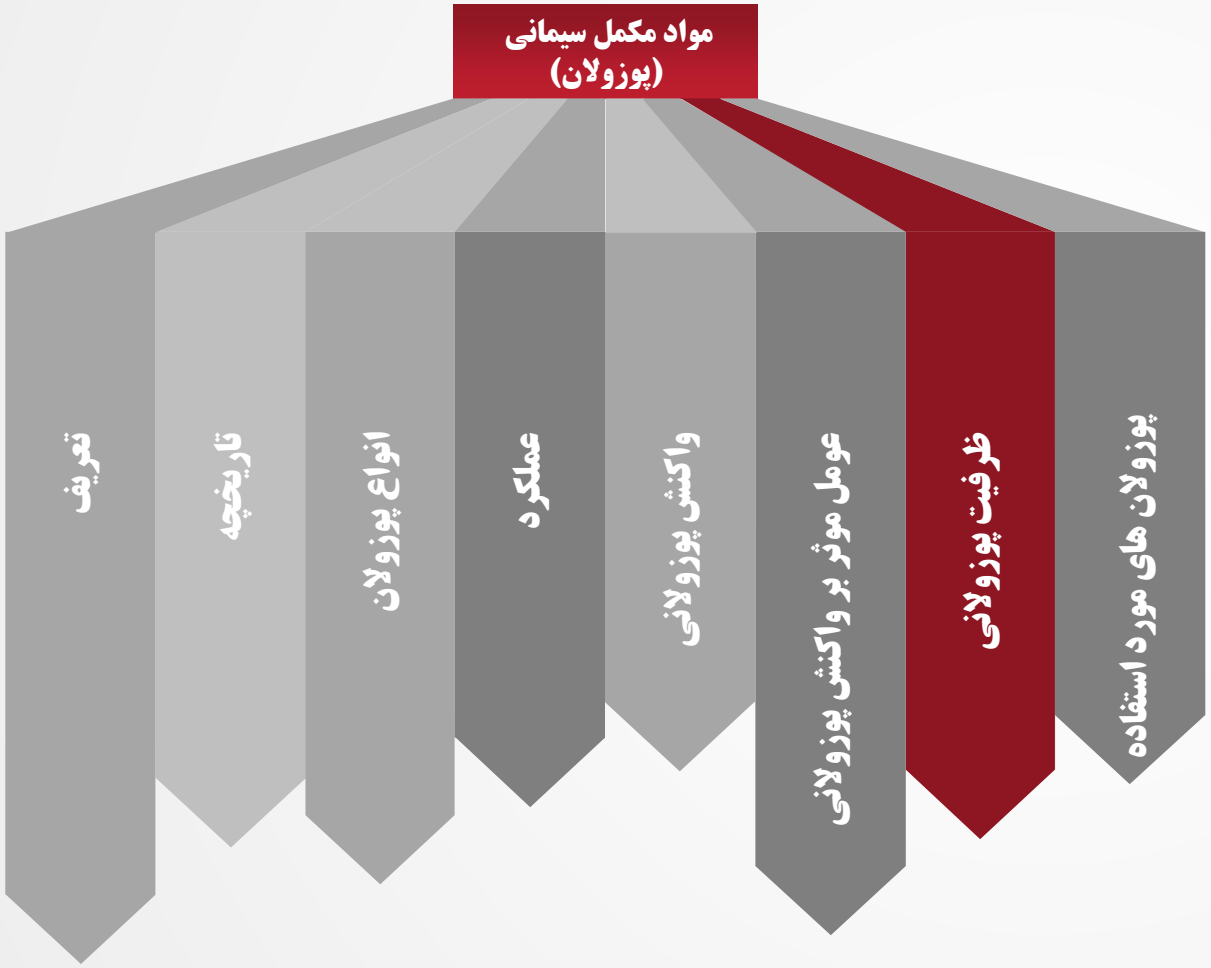
بنابراین واکنش کلی میتواند به صورت زیر نوشته شود:

$$C_3S+2S+10.5H \rightarrow 3[CSH_{3.5}]$$



عومل موثر بر واکنش پوزولانی

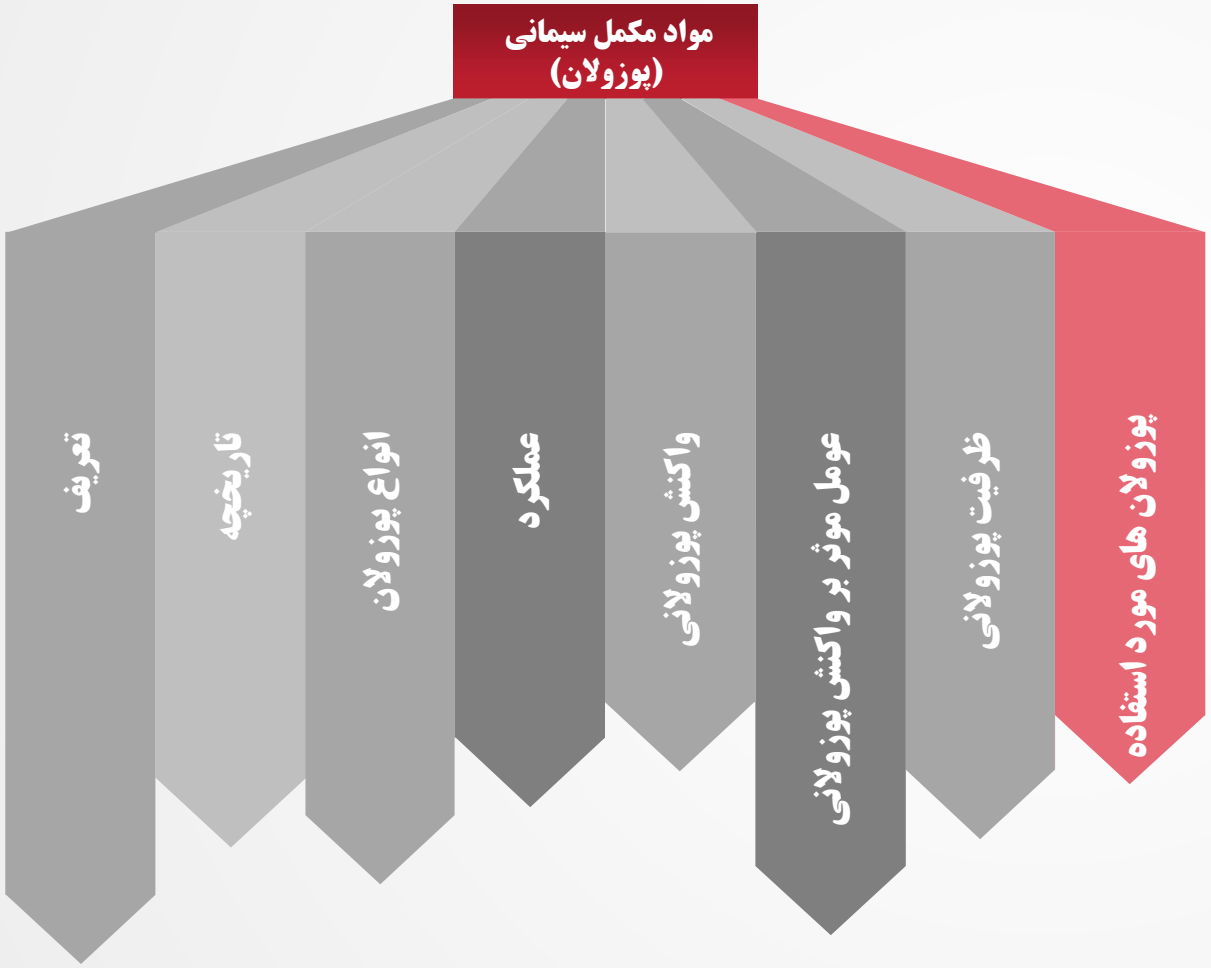
- مقدار ۳ ترکیب شیمیایی پوزولان ($SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O$)
- ساختار بلورشناسی پوزولان (درجه آمورف بودن ساختار آن)
- ریزدانگی ذرات و سطح مخصوص آن
- مورفولوژی ذرات پوزولان
- نسبت فاز آمورف به فاز کریستالی در پوزولان
- درجه حرارت محیط



ظرفیت پوزولانی

ظرفیت پوزولانی به طور معمول با واکنش مستقیم با $Ca(OH)_2$ و اندازه گیری مصرف آهک تعیین میگردد.

الزام اصلی در ASTM دارا بودن حداقل مقاومت با اندیس فعالیت ۷۵ درصد در ۷ یا ۲۸ روز میباشد.



پوزولان های مورد استفاده

در این پژوهش از سه نوع پوزولان دوده سیلیسی و خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی استفاده شده است.

خاکستر بادی

تحقیقات زیادی نشان داده است که خاکستر بادی یک ماده افزودنی مفید و مؤثر در بتن برای افزایش مقاومت و کاهش نفوذ سولفاتها و کلرید ها می باشد. همچنین خاکستر بادی کارآیی بتن تازه را افزایش می دهد و نیز دمای حداکثر ناشی از هیدراسیون اولیه بتن را کاهش می دهد و تأثیر مفیدی در افزایش دوام گذاشته است.

خاکستر بادی

- منابع
- ساختار فیزیکی
- ساختار شیمیایی
- انواع
- ریز ساختار

خاکستر بادی یک ماده زاید صنعتی است که در نیروگاه های تولید برق از سوختن زغال سنگ حاصل می شود .

بدلیل افزایش استفاده از پودر زغال سنگ بعنوان سوخت برای بدست آوردن انرژی الکتریکی، خاکستر بادی در حال حاضر در بیشتر نقاط جهان در دسترس است. خاکستر بادی در فرآیند سوختن زغال سنگ تولید شده و بوسیله فیلتر ها جمع آوری می شوند.

تنها در ایالات متحده سالانه حدود ۶۳ میلیون تن خاکستربادی تولید می شود که تخمین می زنند، ۱۸تا ۲۰ درصد از آن در بتن مورد استفاده قرار می گیرد.

خاکستر بادی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

خاکستر بادی شامل ترکیبات ناهمگن مواد شیشه ای و کریستالی هستند که کره های شیشه ای به شکل کره های پر و توخالی و با خلل و فرج می باشند .
خاکستر بادی دارای ذراتی ریز بین ۱ تا ۱۰ میکرون هستند و سطح ویژه آن ۱ تا ۲ متر مربع بر گرم است.
بطور معمول مقدار چگالی برای کل خاکستر های بادی ۲.۲ تا ۲.۸ کیلو گرم بر متر مکعب گزارش شده اند.

خاکستر بادی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

مقادیر چهار ترکیب اصلی خاکستر بادی به شرح زیر است:

- Fe_2O_3 (4-20%)
- Al_2O_3 (10-30%)
- SiO_2(35-60%)
- CaO(1-35%)

سیلیس موجود در خاکستربادی اصولاً از رس معدنی و کوارتز موجود در زغال سنگ می باشد. زغال سنگ های قیری و آنتراسلیت اغلب شامل درصد زیادتری از رس های معدنی نسبت به زغال سنگ های لیگنیتی و نیمه قیری می باشد. در نتیجه هرچه درصد رس معدنی موجود در زغال سنگ ها بیشتر باشد مقدار سیلیس خاکستر بادی بیشتر خواهد بود.

خاکستر بادی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

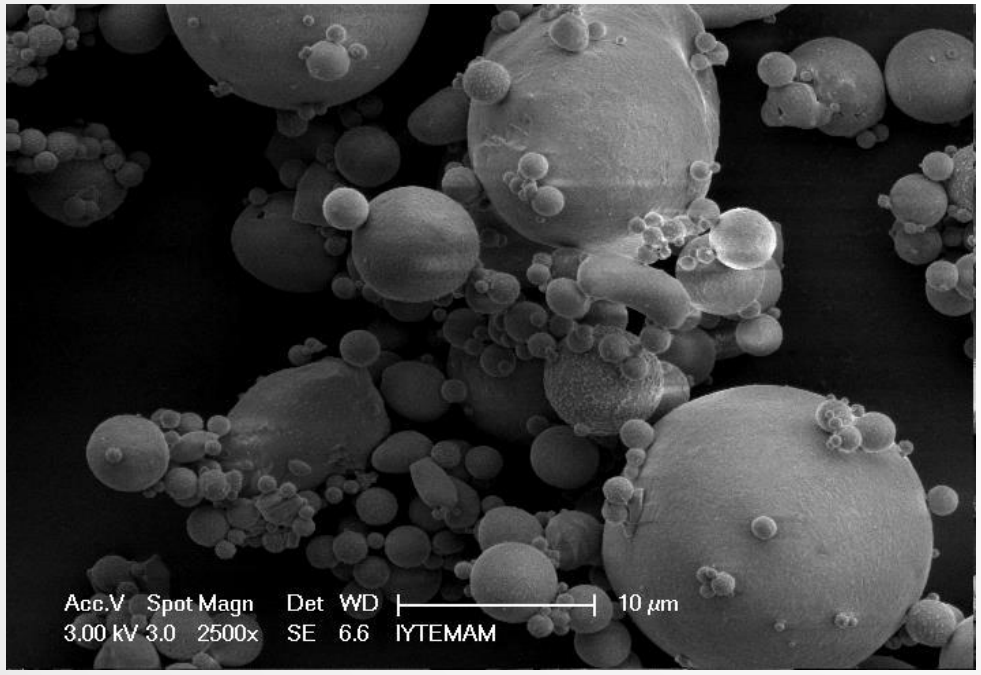
ریز ساختار

براساس ترکیبات شیمیایی، خاکستربادی را بعنوان گروه خاکسترهای کلاس F و C طبقه بندی می شود که مشخصه های عملکردی مختلف را نشان می دهند .کلاس F خاکستر بادی معمولاً از سوختن زغال سنگ های با انرژی گرمایی زیاد از جمله قیر و(آنتراسیت) زغال سنگ با کربن زیاد در حدود ۹۵٪ بدست می آید .خاکسترهای بادی زغال سنگ های قیری و آنتراسیت بندرت اکسید کلسیم آنها بیشتر از ۱۵ درصد است .خاکسترهای بادی نوع C حاصل از سوختن ذغال سنگ های نیمه قیری و لیگنیتی که کربن آنها در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد می باشد، معمولاً اکسید کلسیم بالای ۱۰ درصد و خصوصیات پوزولانی و سیمانی را دارا می باشند .اختلاف های عملکردی قابل توجهی بین خاکسترهای بادی از منابع مختلف وجود دارند .

	نوع	
	F	C
حداقل مجموع اکسید های سیلیسیم، آلومینیوم و آهن (٪)	۷۰	۵۰
حداکثر SO_3 (٪)	۵	۵
حداکثر رطوبت (٪)	۳	۳
حداکثر افت ناشی از سرخ شدن (٪)	۶	۶

خاکستر بادی

همانگونه که بیان شد ذرات خاکستربادی دارای شکل کروی پر یا توخالی و یا با خلل و فرج هستند.ذرات خاکستربادی توخالی هم به صورت شفاف و هم به صورت کدر موجود می باشند. اندازه ذرات خاکستربادی بین ۱ تا ۱۰ میکرون می باشد. ذرات درشت خاکستربادی اغلب ذرات خالص کروی توخالی هستند. خاکسترهای بادی با اندازه بین ۵ تا ۸ میکرون واکنش زایی بیشتری نسبت به خاکستربادی درشت دانه دارند.



منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

دوده سیلیسی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

دوده سیلیسی

منابع
ساختار فیزیکی
ساختار شیمیایی
انواع
ریز ساختار

دوده سلیسی محصول زائد کوره های قوس الکتریکی القایی در صنایع تولید فلز سیلیسیم وآلیاژ فروسیلیسیم است.

این ماده که با نام های دیگری مانند میکرو سیلیس متراکم نیز شناخته میشود، در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی و خاکستر های بادی متعارف، نمونه های دوده سیلیسی متراکم توزیع اندازه ذراتی را نشان می دهند که صد مرتبه، ریزتر هستند. بدین جهت است که از یک طرف این ماده یک پوزولان فعال است و از طرف دیگر مشکلات جابجایی دارد و نیاز مندی به آب را در بتن بطور محسوس افزایش می دهد، مگر آنکه همراه با آن مواد افزودنی روان ساز و یا فوق روان ساز بکار برده شود.

دوده سیلیسی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

دوده سیلیسی دارای ذرات کروی شکل و فوق العاده ریز میباشد و اندازه ذرات آن بین ۰/۱ تا ۰/۳ میکرون میباشد. که دلیلی بر فعالیت زیاد این ماده است.

بیشتر دوده های سیلیسی در محدوده سفید تا خاکستری تیره دیده شده اند .بدلیل اینکه SiO_2 بی رنگ است، رنگ دوده سیلیسی توسط مولفه های غیر سیلیسی تعیین می شود که معمولا کربن واکسید آهن است.

چگالی دوده سیلیسی تقریبا (Kg/m^3) ۲۲۰۰ است .سطح ویژه آن ۱۵ تا ۲۵ متر مربع برگرم است.

دوده سیلیسی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

ترکیب شیمیایی دوده های سیلیسی با نوع آلیاژی که در ابتدا از آن ساخته شده اند با یکدیگر متفاوتند .
الزامات دوده سیلیسی به شرح جدول زیر است:

حداقل سیلیس (٪)	۸۵
حداکثر رطوبت (٪)	۳
حداکثر افت ناشی از سرخ شدن	۶

دوده سیلیسی

منابع

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

دوده سیلیسی با توجه به منبع تهیه شده دارای انواع مختلفی میباشد که به شرح جدول زیر است:

نوع الیاژ سیلیسیم	Si[1]		FeSi-75 percent[1]		Si and FeSi-75 percent[2] blend		FeSi-75 percent[3]		Si[4]	
تعداد نمونه	42		42		32		6		28	
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد
SiO_2	93.65	3.84	93.22	1.71	92.1	1.29	91.4	0.92	94.22	0.34
Al_2O_3	0.28	0.13	0.31	0.2	0.25	0.12	0.57	0.03	0.36	0.04
Fe_2O_3	0.58	2.26	1.12	0.86	0.79	0.7	3.86	0.41	0.1	0.01
CaO	0.27	0.07	0.44	0.34	0.38	0.11	0.73	0.08	0.27	0.05
MgO	0.25	0.26	1.08	0.29	0.35	0.1	0.44	0.05	0.2	0.02
Na_2O	0.02	0.02	0.1	0.06	0.17	0.04	0.2	0.02	-	-
K_2O	0.49	0.24	1.37	0.45	0.96	0.22	1.06	0.05	-	-
S	0.2[5]	0.16[5]	0.22[5]	0.06[5]	-	-	-	-	-	-
SO_3	-	-	-	-	0.36	0.1	0.36[6]	0.16[6]	-	-
LOI	4.36[5]	1.48[5]	3.1[5]	0.9[5]	3.2	0.45	2.62[6]	0.42[6]	3.6	0.33

دوده سیلیسی

منابع

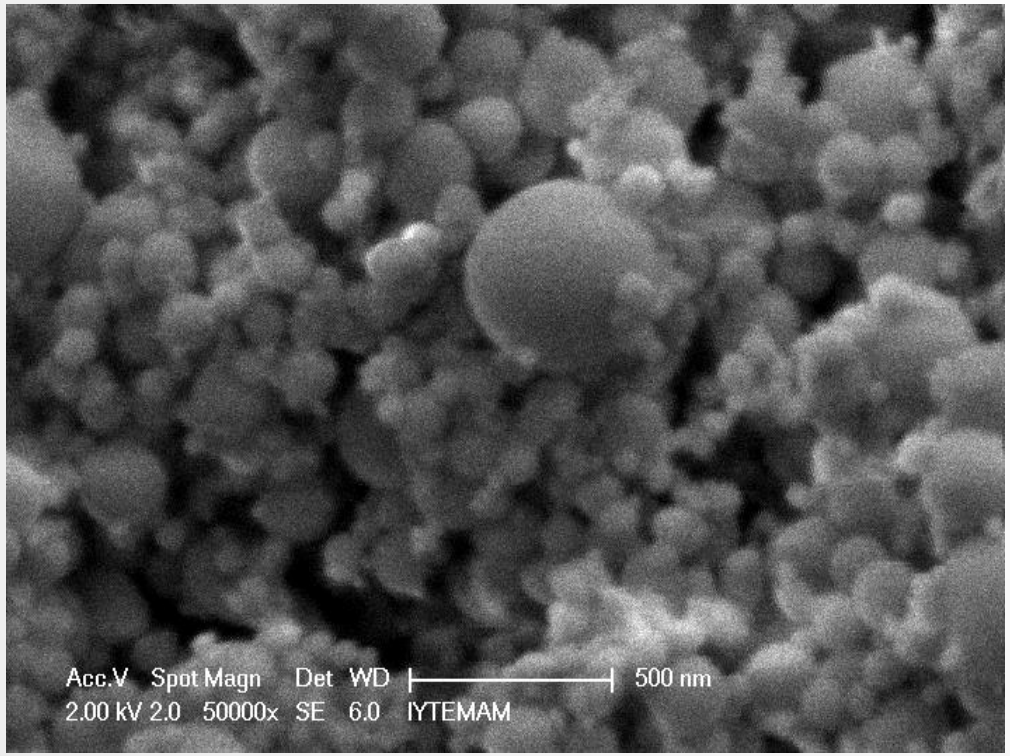
ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

انواع

ریز ساختار

همانگونه که بیان شد ذرات میکرو سیلیس دارای شکل کروی و ریزی بسیار زیاد میباشد.



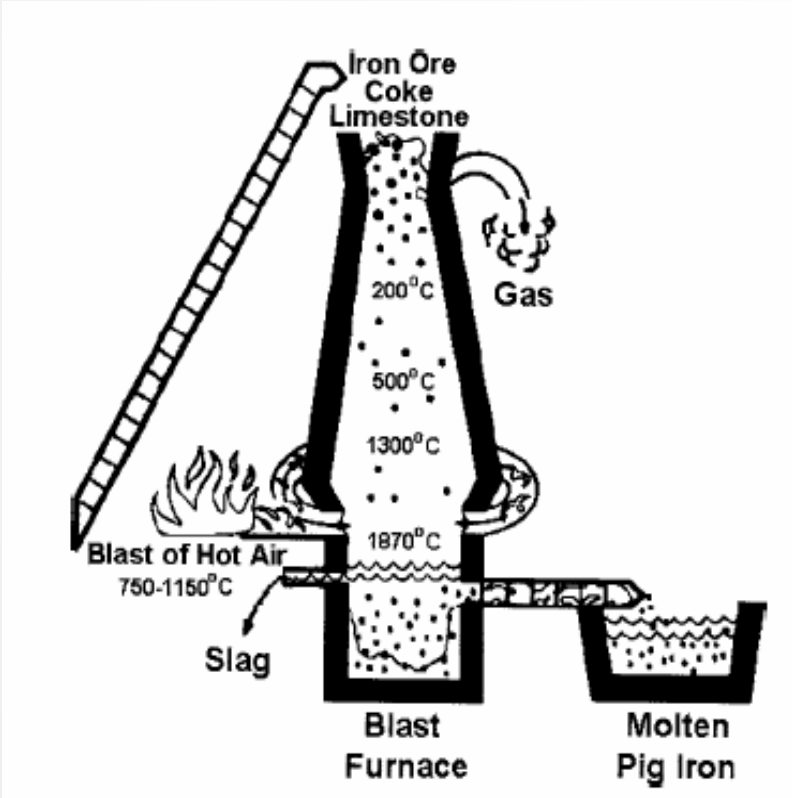
سرباره کوره آهنگدازی

سرباره آهنگدازی پرکاربرد ترین نوع سرباره در بتن می باشد. این نوع سرباره در اکثر مناطق قابل دسترس است و اولین بار در سال ۱۸۵۳ در آلمان رواج پیدا کرد. سرباره آهنگدازی به عنوان ماده ای سیمانی از اوائل قرن بیستم در بتن مورد استفاده قرار گرفته است و در مصارف عمومی بتن در امریکای شمالی معمولا با مقادیری در حدود ۳۰ تا ۴۵ درصد سیمان در طرح اختلاط بکار رفته است.

کاهش انرژی و هزینه در جایگزینی با سیمان، کاهش گازهای گلخانه ای و حفظ محیط زیست، بهبود کارایی پمپ کردن و تراکم بتن، افزایش مقاومت و دوام بتن، کاهش نفوذپذیری بتن، مقاومت زیاد در برابر نفوذ یون کلر و حمله سولفات ها، مقاومت زیاد در برابر واکنش سنگدانه های قلیایی، حرارت زایی هیدراسیون بسیار کم، بهبود نمای معماری بتن، رنگ روشن تر و یکنواخت تر بتن، جلوگیری از سفیدک بتن و کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری سازه های بتنی.

سرباره کوره آهنگدازی

سرباره کوره آهنگدازی یک پوزولان مصنوعی حاصل جمع آوری سرباره کوره آهنگدازی سپس سرد کردن آن میباشد.



منابع

روش های سرد کردن

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

ریز ساختار

سرباره کوره آهنگدازی

منابع

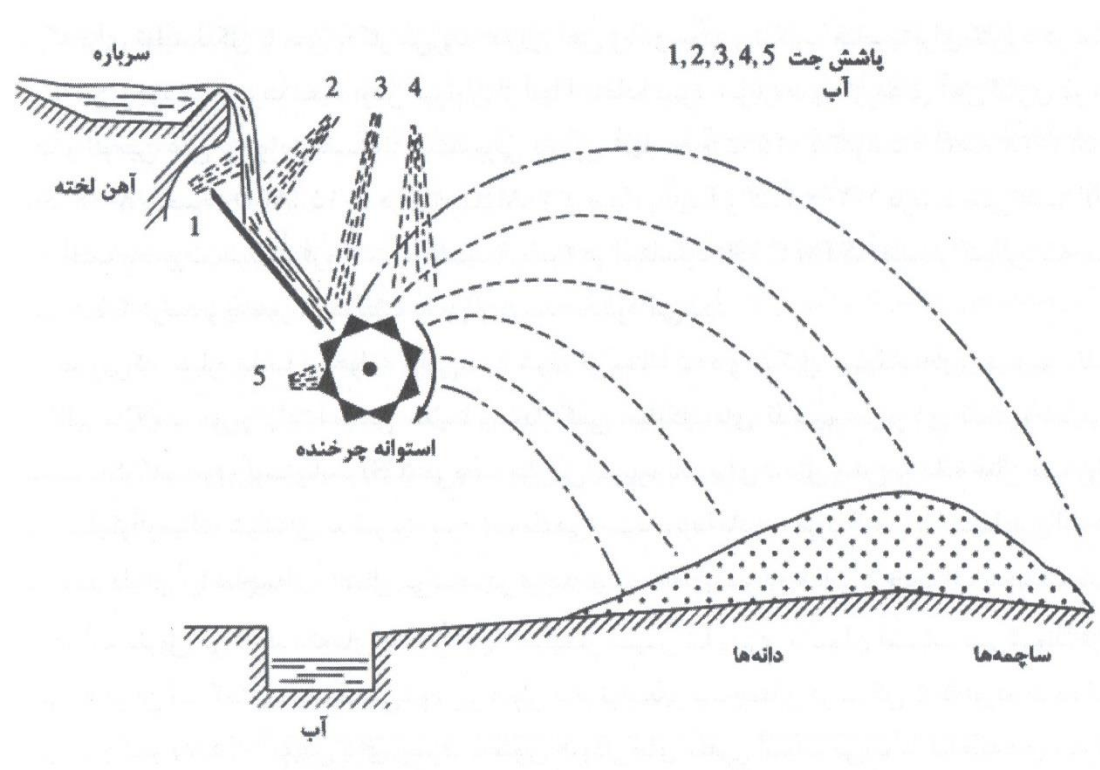
روش های سرد کردن

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

ریز ساختار

درگذشته سرباره را با ریختن داخل گودال های آب، سرد و خرد می کردند اما امروزه سرباره را با آب فشار بالا (۰/۶)مگا پاسکال خنک می کنند سپس توسط استوانه چرخان با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه به هوا پرتاب می شود. در این روش به ازای تولید هر تن سرباره یک تن آب مصرف می گردد.



سرباره کوره آهنگدازی

منابع

روش های سرد کردن

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

ریز ساختار

ذرات خاکستر بادی دارای شکلی اسفنجی و نا منظم است و اندازه ذرات آن بین ۵ تا ۳۰ میکرون میباشد وسرباره آهنگدازی آسیاب شده، پودری تقریبا سفید (کرم) رنگ می باشد . دانسیته نسبی آن در حدود ۲.۸۵ تا ۲.۹۵ میباشد و دارای سطح ویژه ای در حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ مترمربع بر کیلوگرم می باشد.

سرباره کوره آهنگدازی

منابع

روش های سرد کردن

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

ریز ساختار

ترکیبات شیمیایی سرباره آهنگدازی بر اساس نوع آهن تولیدی و نوع کوره مورد استفاده متغیر است. قسمت عمده ترکیبات شیمیایی سرباره متشکل از اکسید های MgO، Al_2O_3 ، SiO_2و CaO میباشند. که مقادیر آنها به شرح زیر است:

- Fe_2O_3 (0-2%)
- Al_2O_3 (8-16%)
- SiO_2(32-38%)
- CaO(35-45%)
- MgO(5-15%)

سرباره کوره آهنگدازی

منابع

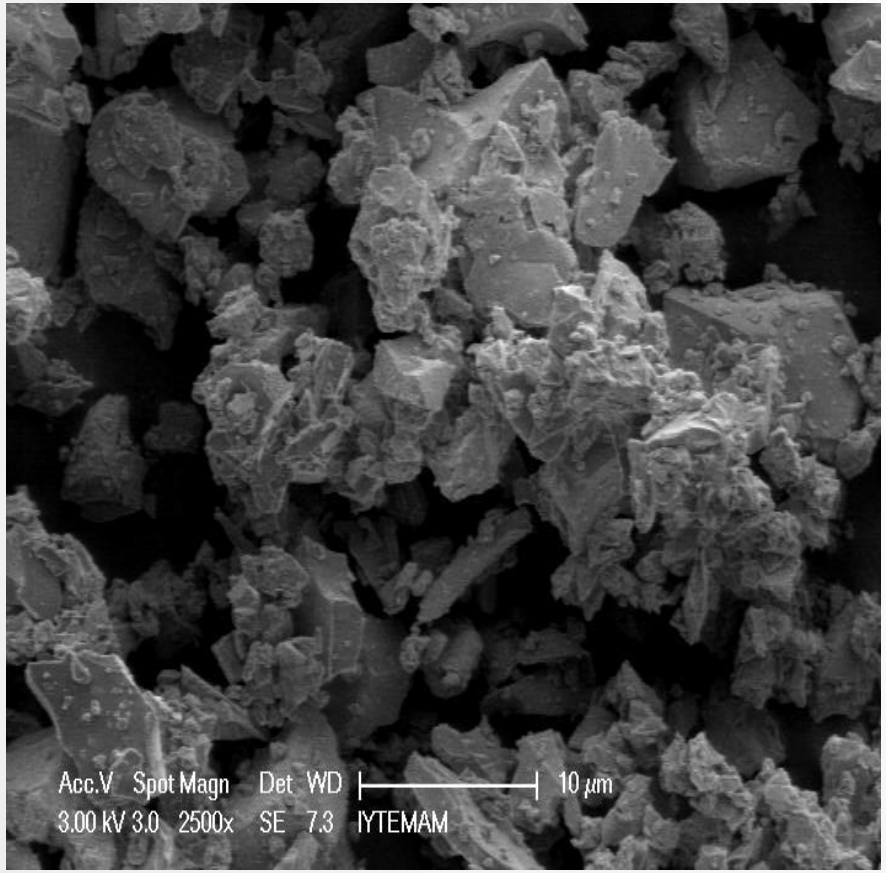
روش های سرد کردن

ساختار فیزیکی

ساختار شیمیایی

ریز ساختار

همانگونه که بیان شد ذرات سرباره کوره آهنگدازی دارای شکل اسفنجی و شکل نا منظم و ریزی متوسط میباشد.



روش محاسباتی

برای تخمین مقاومت فشاری ملات های محتوی پوزولان و انجام محاسبات بر طبق آن در این پژوهش الگوریتم تخمین مقاومت فشاری ملات در سنن ۷، ۲۸و۹۰ با استفاده از مقادیرمختلف پوزولان های استفاده شده، ارائه شده است. این الگوریتم با استفاده از ۴ مدل پیش بینی مختلف مذکور در شکل روبرو مقاومت فشاری ملات پیش بینی شده است.

1
شبکه عصبی مصنوعی

2
الگوریتم ژنتیک

3
رگرسیون خطی

4
رگرسیون غیر خطی

شبکه عصبی مصنوعی

1
شبکه عصبی مصنوعی

2
الگوریتم ژنتیک

3
رگرسیون خطی

4
رگرسیون غیر خطی

شبکه های عصبی از عناصر عملیاتی ساده ای به صورت موازی ساخته میشوند. این عناصر از سیستمهای عصبی زیستی الهام گرفته شده اند. سه جز اساسی شبکه عصبی تابع تبدیل، ساختار شبکه و قانون یادگیری می باشد. قبل از استفاده از شبکه به عنوان ابزاری برای پیش بینی، لازم است تا با استفاده از بخشی از داده ها شبکه را تعلیم داد. الگوریتم های مختلفی برای آموزش شبکه وجود دارد که از بین آنها الگوریتم پس انتشار معروفتر و قابل اعتمادتر است. شبکه عصبی پس انتشار حداقل از سه لایه تشکیل شده است: ورودی، مخفی و خروجی. هر لایه شامل تعدادی نورون می باشد که نورونهای هر لایه از طریق وزنها با نورونهای لایه دیگر مرتبط می شود. در ابتدای آموزش شبکه، وزنها و بایاس ها به صورت تصادفی انتخاب می شوند. شبکه به صورت نظارت شده با استفاده از الگوریتم پس انتشار آموزش داده می شود. این الگوریتم یادگیری بر اساس قانون تصحیح خطا می باشد. به این صورت که خطا در جهت عکس در شبکه انتشار پیدا می کند و وزنها و بایاس های شبکه بر اساس خطا طوری تنظیم می شوند که نتیجه مطلوب بدست آمده و خطا به سمت صفر میل کند.

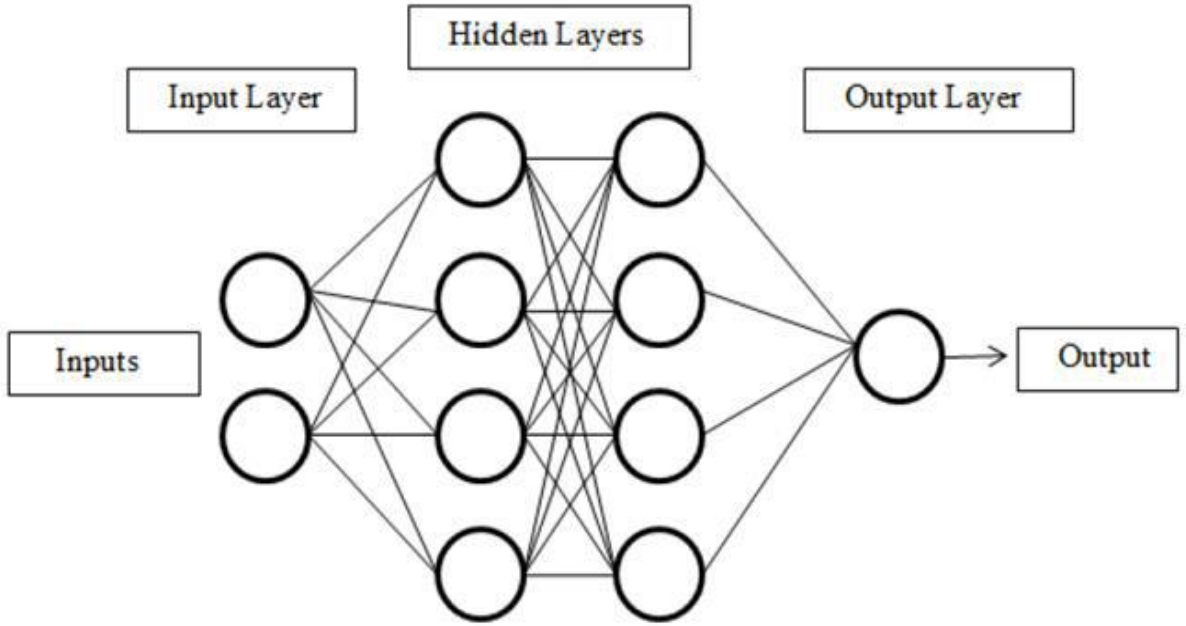
شبکه عصبی مصنوعی

1
شبکه عصبی مصنوعی

2
الگوریتم ژنتیک

3
رگرسیون خطی

4
رگرسیون غیر خطی



شبکه عصبی مصنوعی دارای ویژگی های ممتازی میباشد مانند:

- ❑ قابلیت یادگیری
- ❑ قابلیت تعمیم
- ❑ مقاوم بودن در مقابل خطا
- ❑ پردازش موازی

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه سازی عددی است که بر پایه اصول داروین بوده و در آن از ژنتیک طبیعی الهام گرفته شده است. در الگوریتم ژنتیک هر متغیر معادل یک ژن است که اکثراً به صورت دودویی کدگذاری می شود. با کنار هم قرار گرفتن این ژنها رشته های دودویی ایجاد م یشود که به این رشته های دودویی کروموزوم گفته می شود و در الگوریتم ژنتیک اکثرا افراد را با یک رشته یا کروموزوم در نظر می گیریم. در الگوریتم ژنتیک هر کروموزوم معادل یک سری از مقادیر مشخص متغیرهای مسئله است یا به بیانی یک بردار جواب در فضای جستجو می باشد. با توجه به این موضوع الگوریتم ژنتیک ابتدا تعدادی از این کروموزوم ها را ایجاد میکند که به آن جمعیت اولیه گفته میشود. تولید جمعیت اولیه می تواند به صورت کاملاً تصادفی و یا با اعمال نظر کاربر صورت پذیرد. پس از ایجاد جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک به بررسی این کروموزوم ها (که در حقیقت طرح های اولیه می باشند) پرداخته و متناسب با برازندگی آنها مقادیری را به آنها نسبت می دهد. به طوری که هر چه طرح با شرایط مورد احتیاج ما، سازگارتر باشد، برازنده تر بوده و بنابراین مقدار عددی بیشتری را به خود منسوب خواهد کرد.

1
شبکه عصبی مصنوعی

2
الگوریتم ژنتیک

3
رگرسیون خطی

4
رگرسیون غیر خطی

الگوریتم ژنتیک

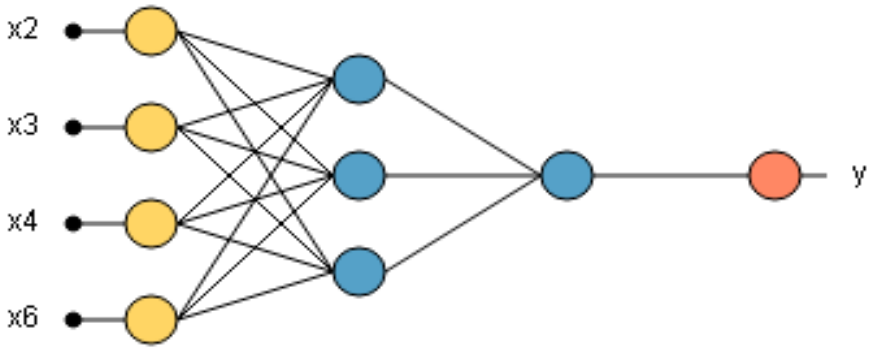
پس از اتمام بررسی برازندگی تمام افراد جامعه، الگوریتم ژنتیک افراد بهتر را برای ایجاد نسل آینده انتخاب کرده و افراد ضعیف را حذف م ینماید. سپس افراد انتخاب شده جهت ایجاد نسل بعدی تحت عمل عملگرهای تصادفی همچون انتخاب، پیوند و جهش قرار میگیرند. پس از اعمال این عملگرها، نسل جدیدی ایجاد میشود که معمولاً دارای برازندگی بیشتری نسبت به نسل پیش خود (والدین) است. نسل جدید جانشین نسل پیشین شده و این چرخه تا برآورده شدن معیارهای توقف الگوریتم ادامه خواهد یافت و در نتیجه برازنده ترین فرد نسل همگرا شده جواب مسئله خواهد بود.

1
شبکه عصبی مصنوعی

2
الگوریتم ژنتیک

3
رگرسیون خطی

4
رگرسیون غیر خطی



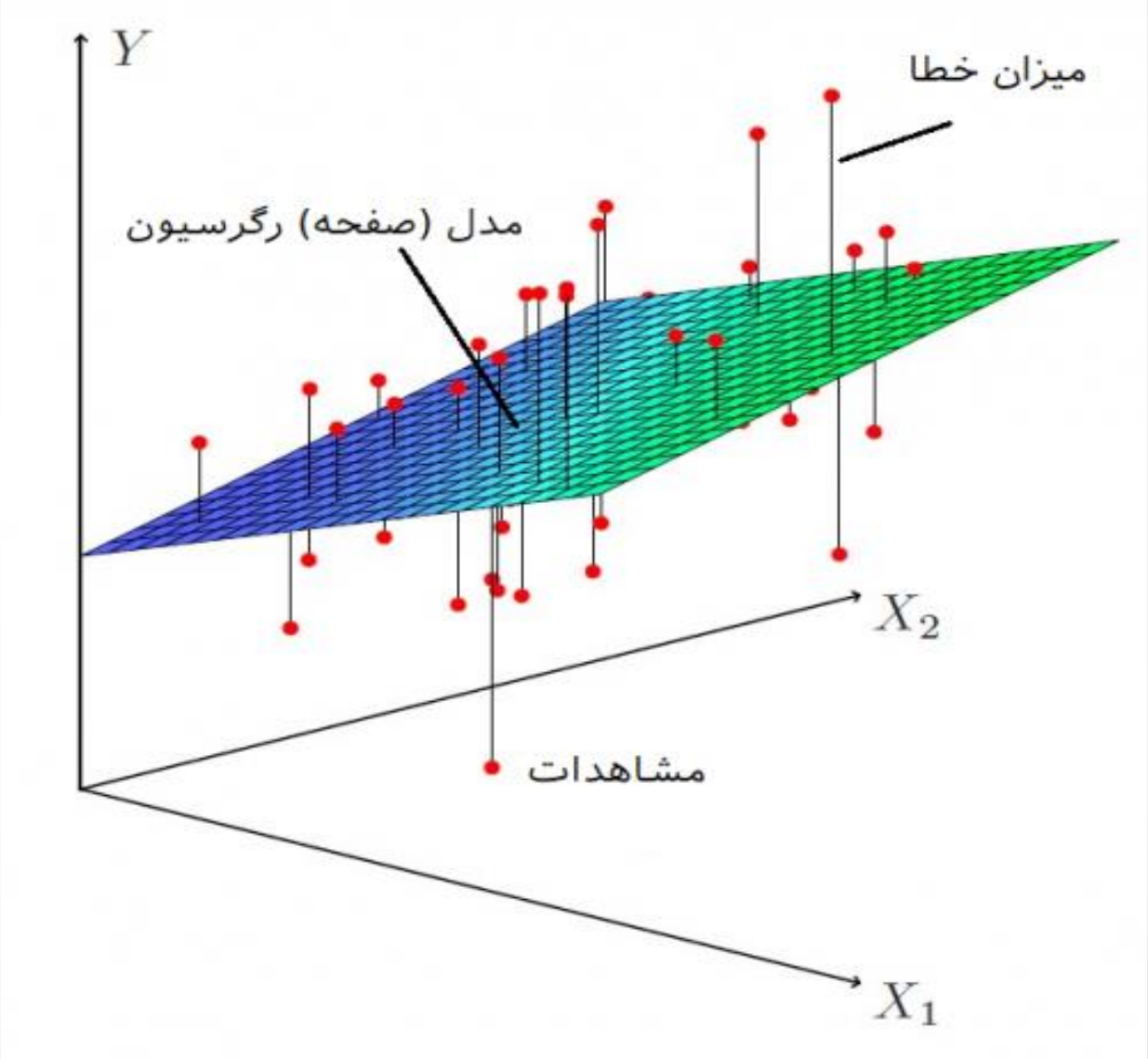
رگرسیون خطی

1
شبکه عصبی مصنوعی

2
الگوریتم ژنتیک

3
رگرسیون خطی

4
رگرسیون غیر خطی



رگرسیون غیر خطی

اگر رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته به شکل یک تابع غیرخطی نسبت به پارامترها باشد، می‌توان برآورد پارامترهای مدل را به کمک رگرسیون غیرخطی بدست آورد. معمولا در این حالت مدل را به صورت زیر نمایش می‌دهند.

$$y \sim f(X,\beta)$$

این تابع نسبت به پارامترها غیرخطی است زیرا نمی‌تواند به صورت یک ترکیب خطی از ضرایب β نوشته شود. پس هدف در این روش بدست آوردن تابعی است که با توجه به داده‌ها بهترین برازش را داشته یا حداقل تقریبی برای تابع مورد نظر باشد.

1 شبکه عصبی مصنوعی

2 الگوریتم ژنتیک

3 رگرسیون خطی

4 رگرسیون غیر خطی

1

فصل اول

مقدمه ، بیان مسئله ، اهداف و ضرورت تحقیق

2

فصل دوم

پیشینه پژوهش ، مفاهیم پایه

3

فصل سوم

مصالح مصرفی ، روند کار آزمایشگاهی و محاسباتی

4

فصل چهارم

بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی

5

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل سوم

- مصالح مصرفی
- روند کار آزمایشگاهی
- روند کار محاسباتی

زمان: ۳ دقیقه

مصالح مصرفی

دوده سیلیسی

کارخانه سیمان سپاهان اصفهان

چگالی: ۲.۳۲ Kg/cm^3

سرباره کوره آهنگدازی

غیر متراکم تولیدی فرو آلیاژ ایران از کارخانه ازنا

چگالی: ۲.۹۴ Kg/cm^3

خاکستر بادی

از نوع F ساخت کارخانه Dirk هندوستان

چگالی: ۲.۴ Kg/cm^3

فوق روان کننده

Sika ViscoCrete-5110 IR با پایه پلی کربوکسیلات

چگالی: ۱.۳ Kg/cm^3

ماسه

از معدن شرکت سرام در منطقه آناخاتون شهر تبریز و دانه بندی اصلاح شده

چگالی: ۲.۵۹ Kg/cm^3

سیمان

تیپ ۲ صادراتی کارخانه سیمان صوفیان

چگالی: ۳.۱۳ Kg/cm^3

کلیات طراحی و آزمایشات ملات ها

- در این پژوهش از ۶۴ نوع طرح مخلوط استفاده شده است. در طراحی ملات های دو گانه برای پوزولان های خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی از درصد های جایگزینی ۱۵، ۳۰، ۴۵و ۶۰ استفاده شده است و برای میکرو سیلیس از درصد های جایگزینی ۵، ۱۰ و ۱۵ استفاده شده است.
- برای ملات های دو گانه و سه گانه تمامی درصد های جایگزینی با یکدیگر ترکیب شده اند.
- عیار سیمان مصرفی در تمامی طرح های مخلوط ۴۵۰ (کیلوگرم بر متر مکعب) در نظر گرفته شده است.
- در تمامی طرح مخلوط ها نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۵ در نظر گرفته شده است.
- به تمامی طرح مخلوط ها مقدار ۴ (کیلوگرم بر متر مکعب) فوق روان کننده افزوده شده است.
- برای قالب بندی از قالب های فولادی ۳ پارچه استفاده شده است.
- اسلامپ ملات ها توسط میز جریان سنجیده شده است.
- عمل آوری ملات ها در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد انجام شده است.
- آزمایشات مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شده است.
- سرعت بارگذاری ۳ (کیلونیوتن بر ثانیه) انتخاب شده است.

برنامه محاسباتی

الگوریتم ژنتیک

برای مدلسازی از نرم افزار Genexpro toolsورژن ۴.۰ استفاده شد که از بین ۱۹۲ عدد داده مقاومت فشاری ملات های حاوی پوزولانهای دوده سیلیسی و خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی ٪۷۵ از تعداد داده های برای آموزش شبکه و ٪۲۵ داده ها برای تست شبکه استفاده شد.

شبکه عصبی مصنوعی

برای مدلسازی از نرم افزار متلب ورژن ۲۰۱۳a استفاده شد که از بین ۱۹۲ عدد داده مقاومت فشاری ملات های حاوی پوزولانهای دوده سیلیسی و خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی ٪۷۵ از تعداد داده های برای آموزش شبکه و ٪۲۵ داده ها برای تست شبکه استفاده شد.

رگرسیون غیر خطی

برای محاسبه از نرم افزار SPSS ورژن ۲۱ استفاده شد که از بین ۱۹۲ عدد داده مقاومت فشاری ملات های حاوی پوزولانهای دوده سیلیسی و خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی ٪۷۵ از تعداد داده های برای آموزش شبکه و ٪۲۵ داده ها برای تست شبکه استفاده شد.

رگرسیون خطی

برای محاسبه از نرم افزار SPSS ورژن ۲۱ استفاده شد که از بین ۱۹۲ عدد داده مقاومت فشاری ملات های حاوی پوزولانهای دوده سیلیسی و خاکستر بادی و سرباره کوره آهنگدازی ٪۷۵ از تعداد داده های برای آموزش شبکه و ٪۲۵ داده ها برای تست شبکه استفاده شد.

ارزیابی برنامه محاسباتی

- ضریب همبستگی R
- ضریب تعیین R^2
- ریشه میانگین خطای مطلق RMSE
- میانگین مربعات خطا MAE

$$R = \frac{N(\sum_{i=1}^{N} O_i P_i - \sum_{i=1}^{N} O_i \sum_{i=1}^{N} P_i)}{\sqrt{[N(\sum_{i=1}^{N} O_i^2) - (\sum_{i=1}^{N} O_i)^2].[N(\sum_{i=1}^{N} P_i^2) - (\sum_{i=1}^{N} P_i)^2]}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{N-1}}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N}|P_i - O_i|}{N}$$

1

فصل اول

مقدمه ، بیان مسئله ، اهداف و ضرورت تحقیق

2

فصل دوم

پیشینه پژوهش ، مفاهیم پایه

3

فصل سوم

مصالح مصرفی ، روند کار آزمایشگاهی و محاسباتی

4

فصل چهارم

بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی

5

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل چهارم

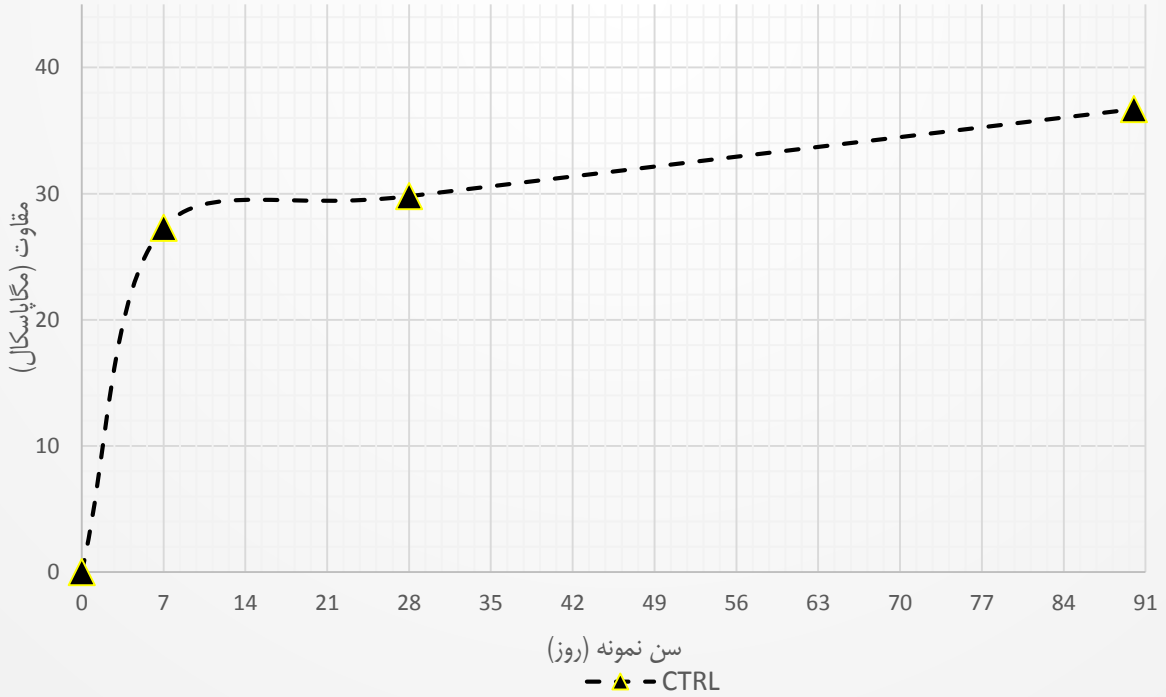
- ❑ بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی
- ❑ بحث و بررسی نتایج محاسباتی

زمان: ۱۵ دقیقه

نمونه شاهد

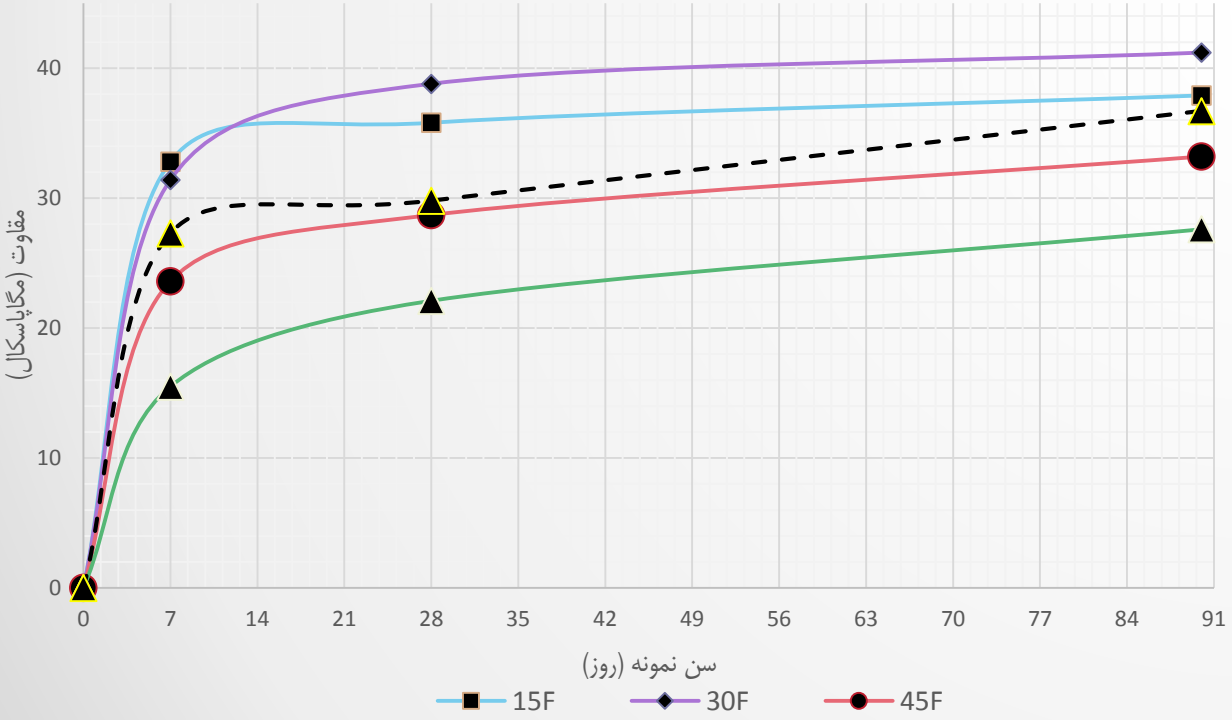
در این تحقیق برای مقایسه و بررسی نتایج ملات های محتوی پوزولان های مختلف یک نمونه شاهد(کنترل) بدون پوزولان و نسبت آب به مواد سیمانی و مقدار افزودنی شیمیایی برابر ساخته شده است.

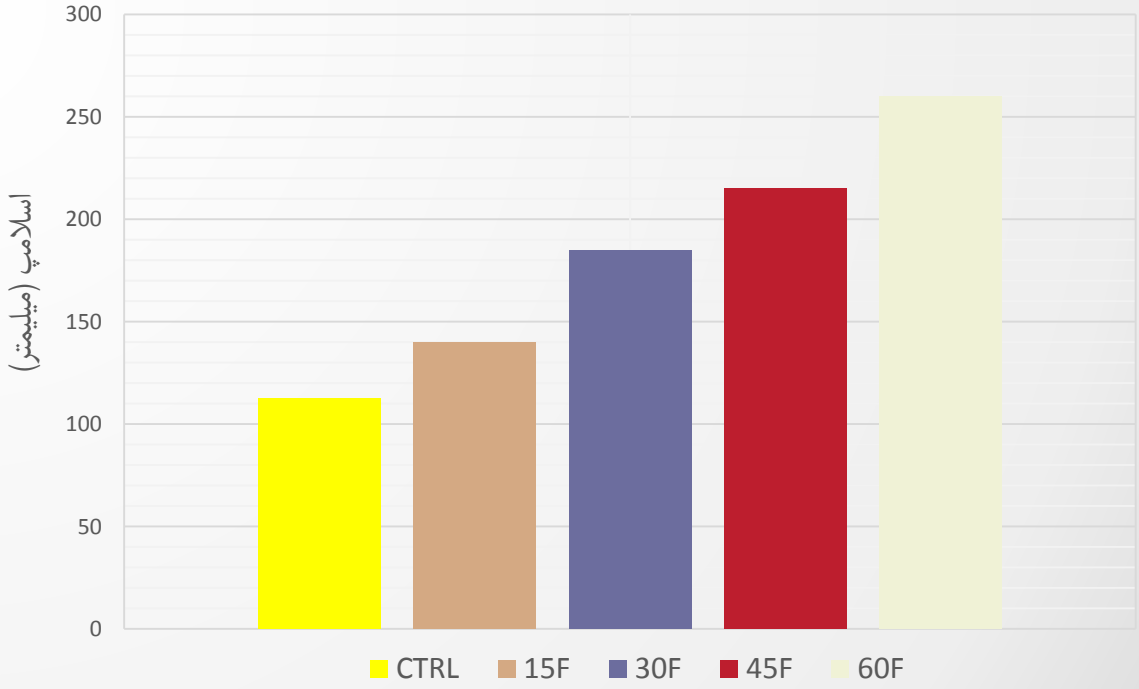
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	*D* mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
1	ctrl	112.5	27.3	29.8	36.7



تأثیر افزودن خاکستر بادی در درصد های جایگزینی مختلف (مخلوط های ملات دوگانه)

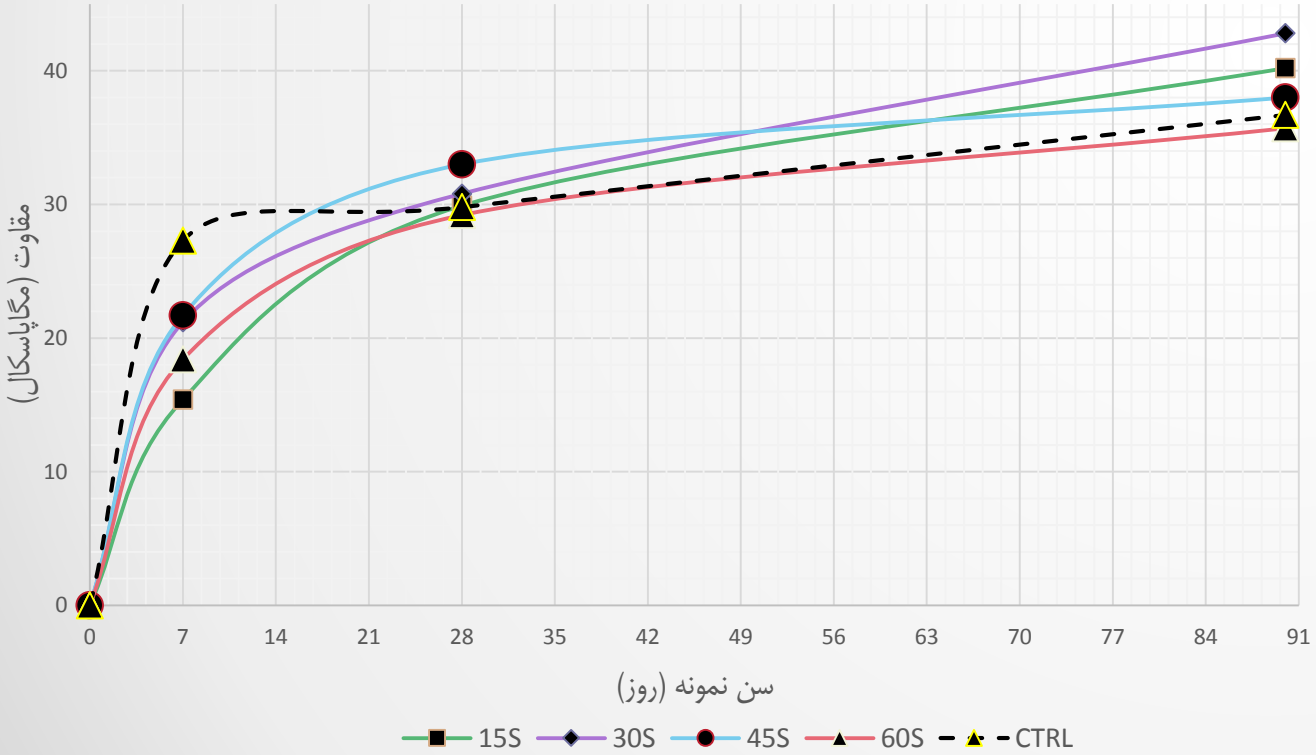
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
2	15 F	140	32.8	35.8	37.9
3	30 F	185	31.4	38.8	41.2
4	45 F	215	23.6	28.7	33.2
5	60 F	260	15.5	22.1	27.6

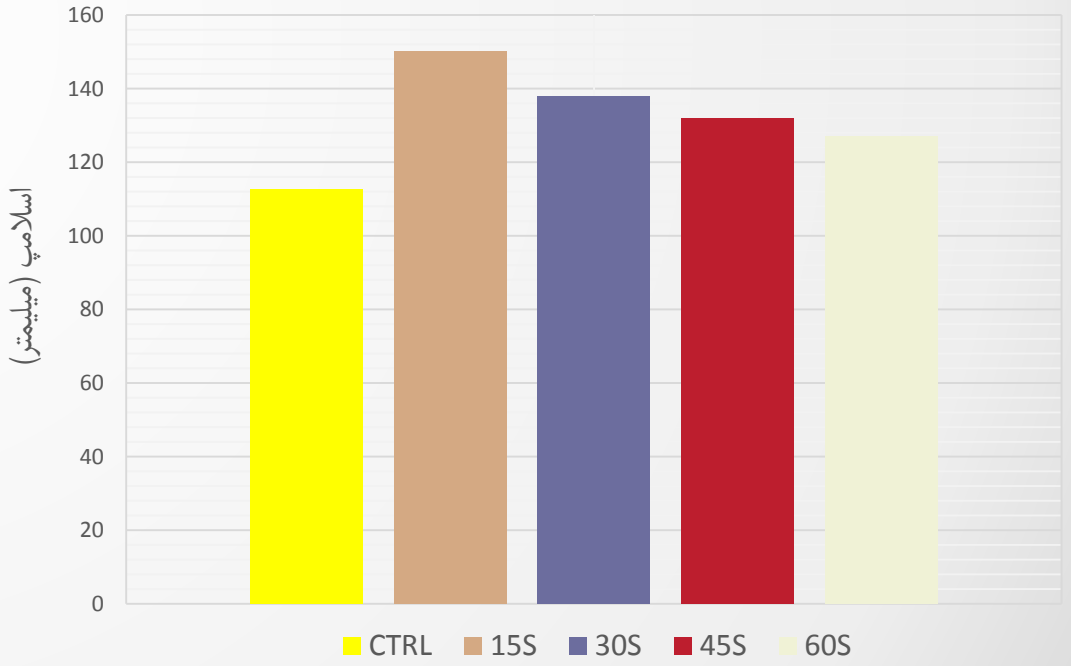




تأثیر افزودن سرباره در درصد های جایگزینی مختلف (مخلوط های ملات دوگانه)

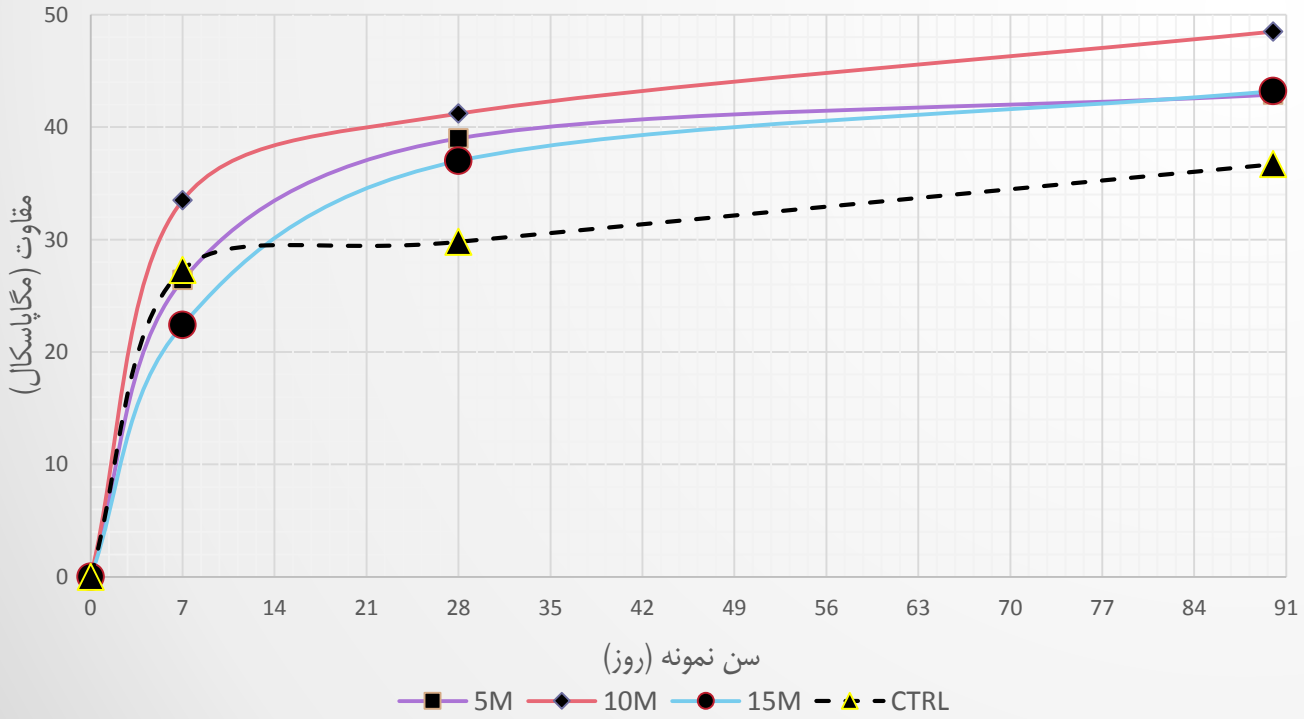
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
6	15 S	150	15.4	29.9	40.2
7	30 S	138	21.2	30.8	42.8
8	45 S	132	21.7	33	48
9	60 S	128	18.4	29.2	35.7

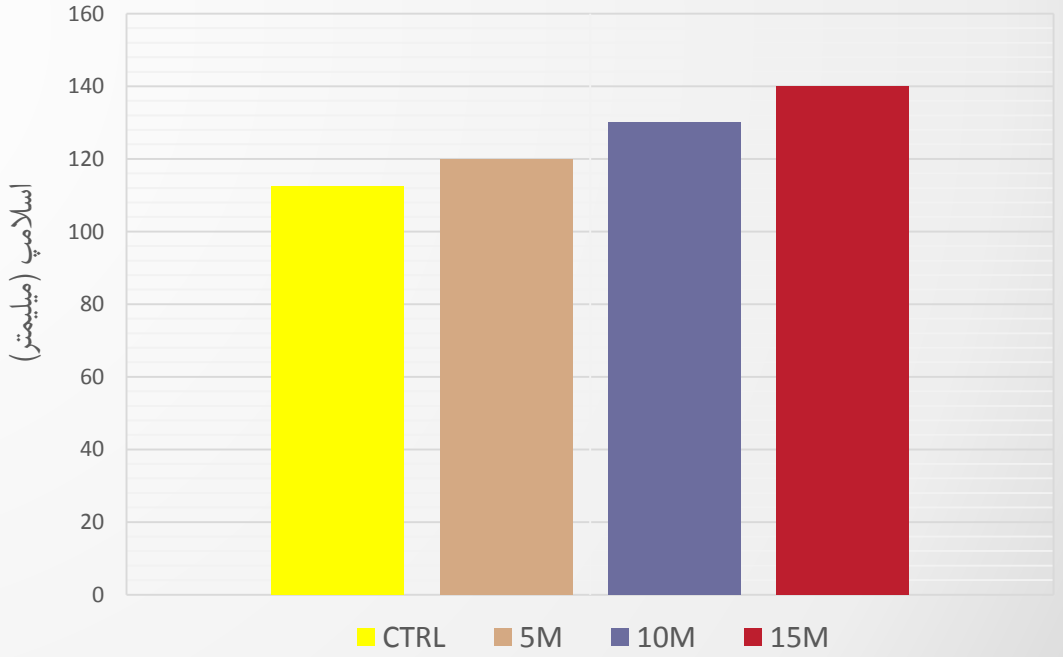




تأثیر افزودن دوده سیلیسی در درصد های جایگزینی مختلف (مخلوط های ملات دوگانه)

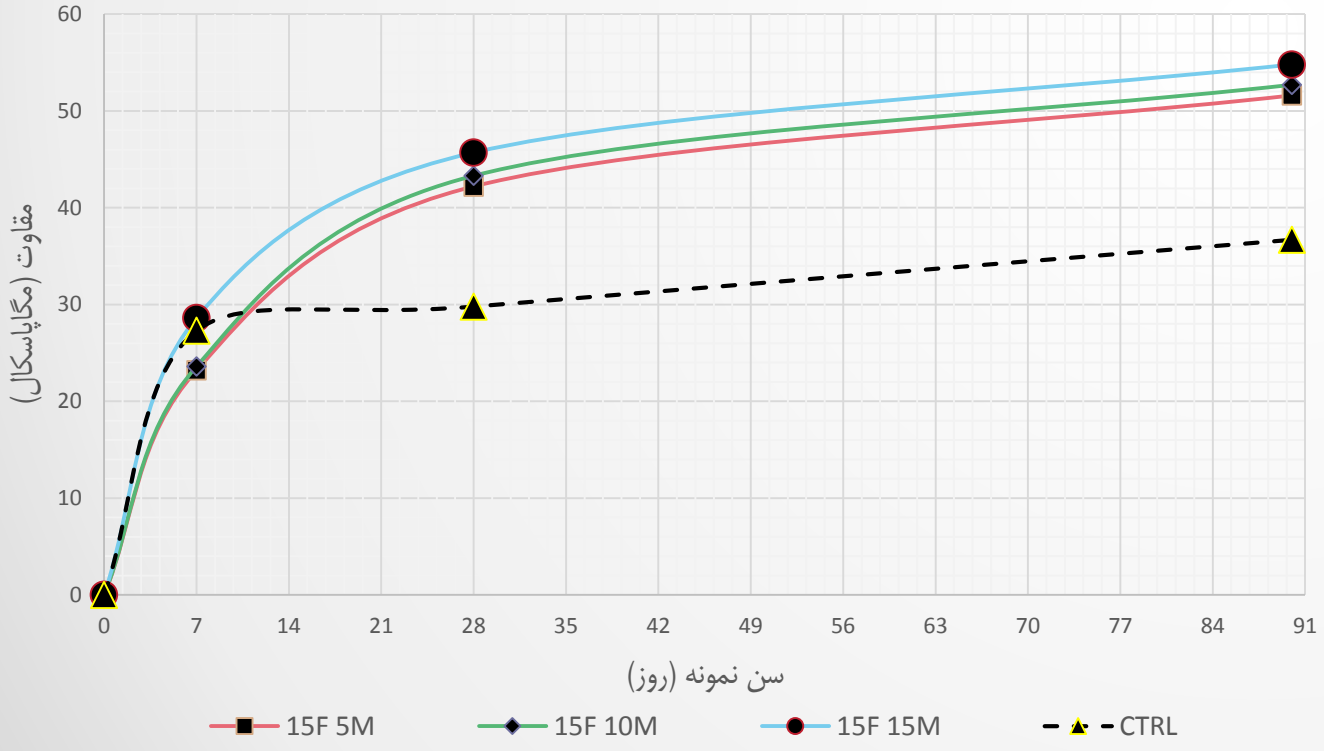
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
10	5 M	120	26.4	39	42.9
11	10 M	130	33.5	41.2	48.5
12	15 M	140	22.4	37	43.2

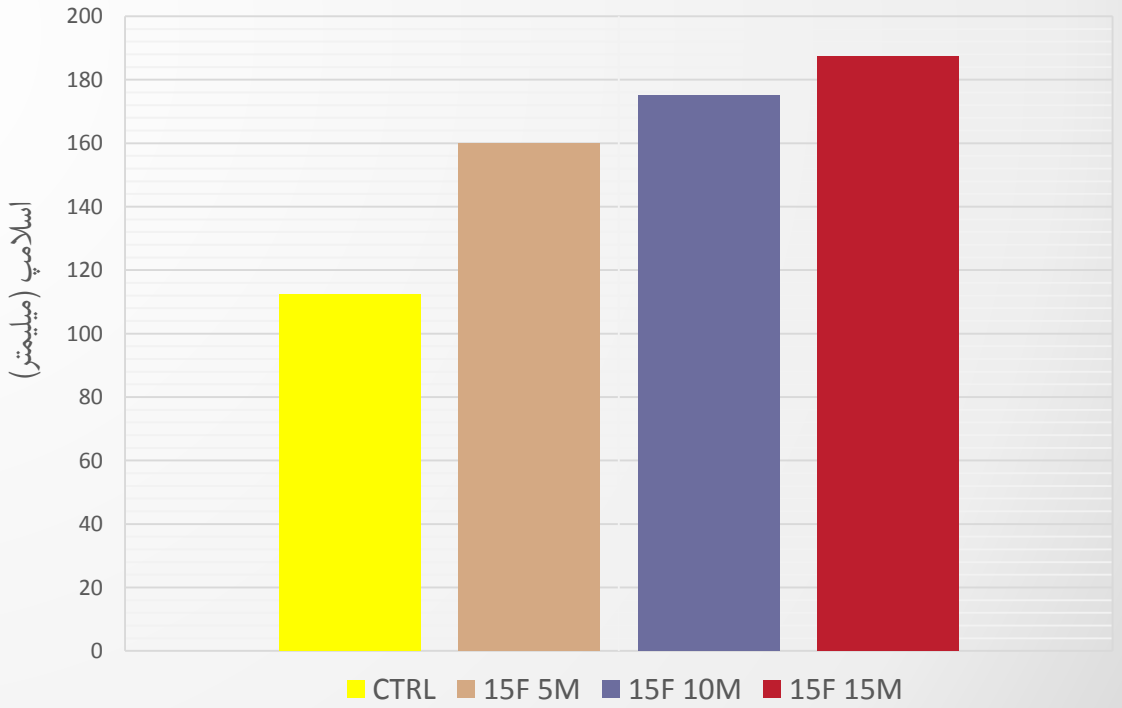




تأثیر افزودن خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

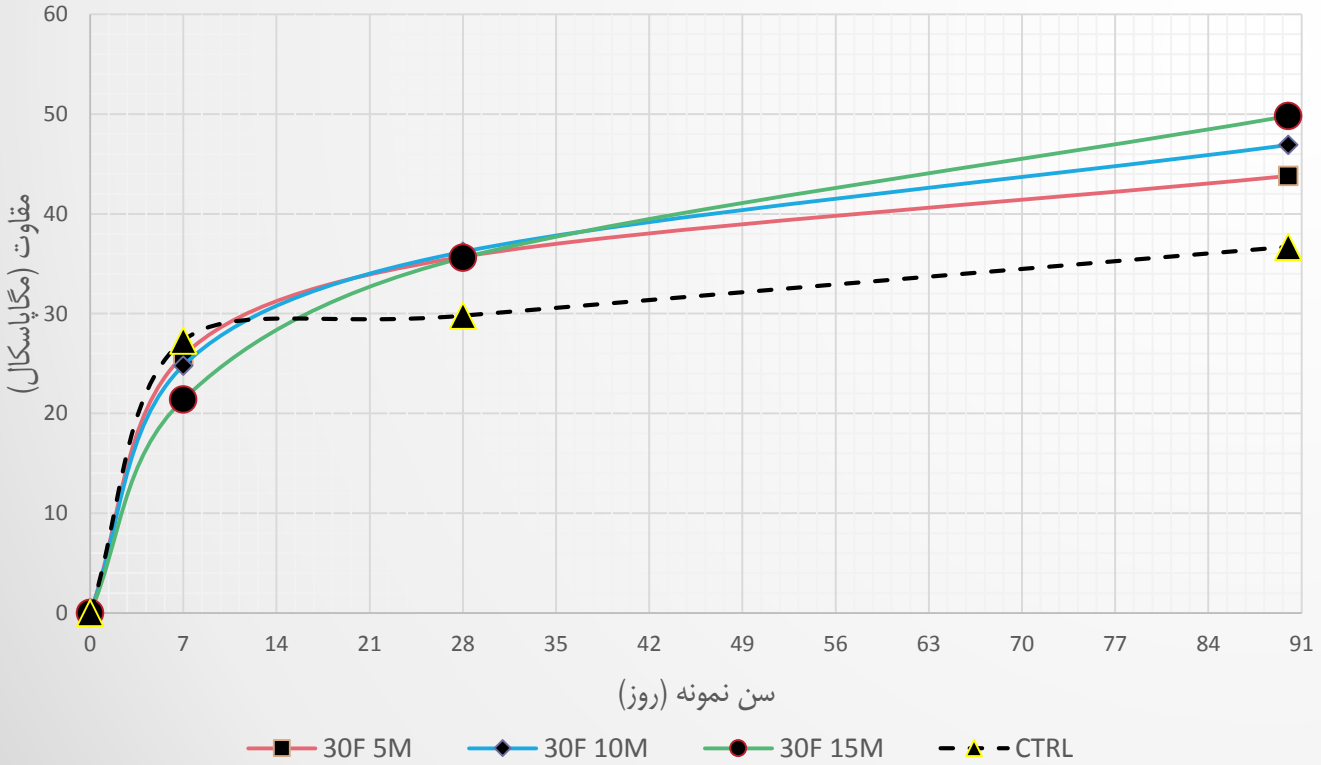
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
13	15 F 5 M	160	23.2	42.2	51.6
14	15 F 10 M	175	23.6	43.3	52.7
15	15 F 15 M	187.5	28.6	45.7	54.8

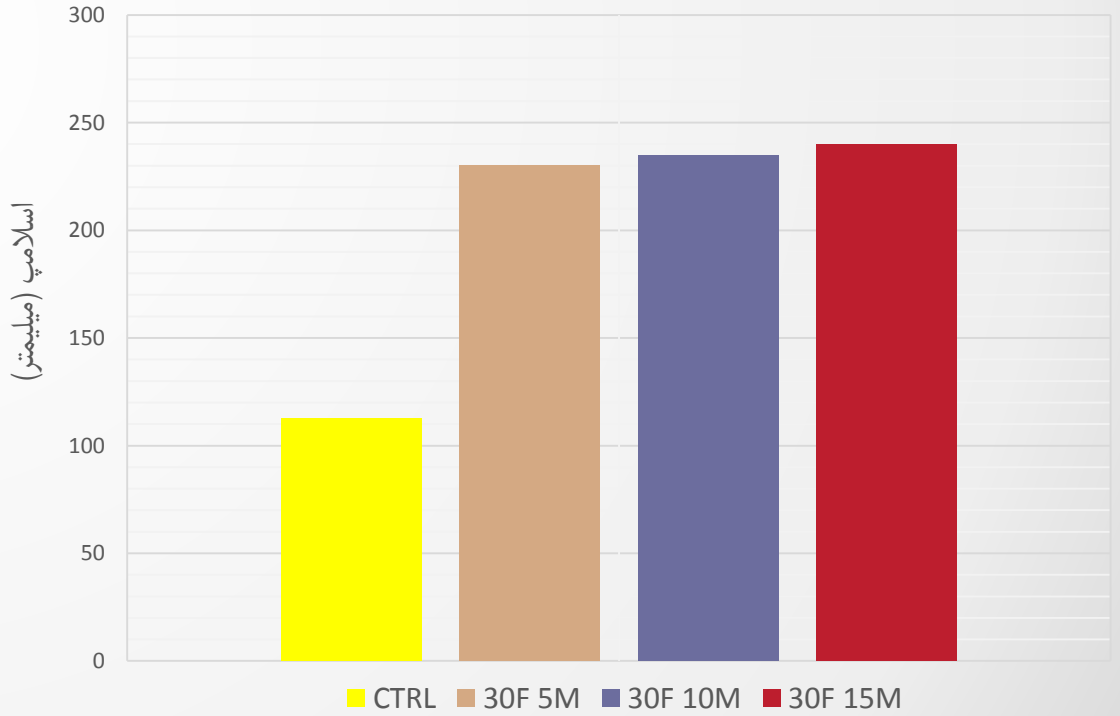




تأثیر افزودن خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

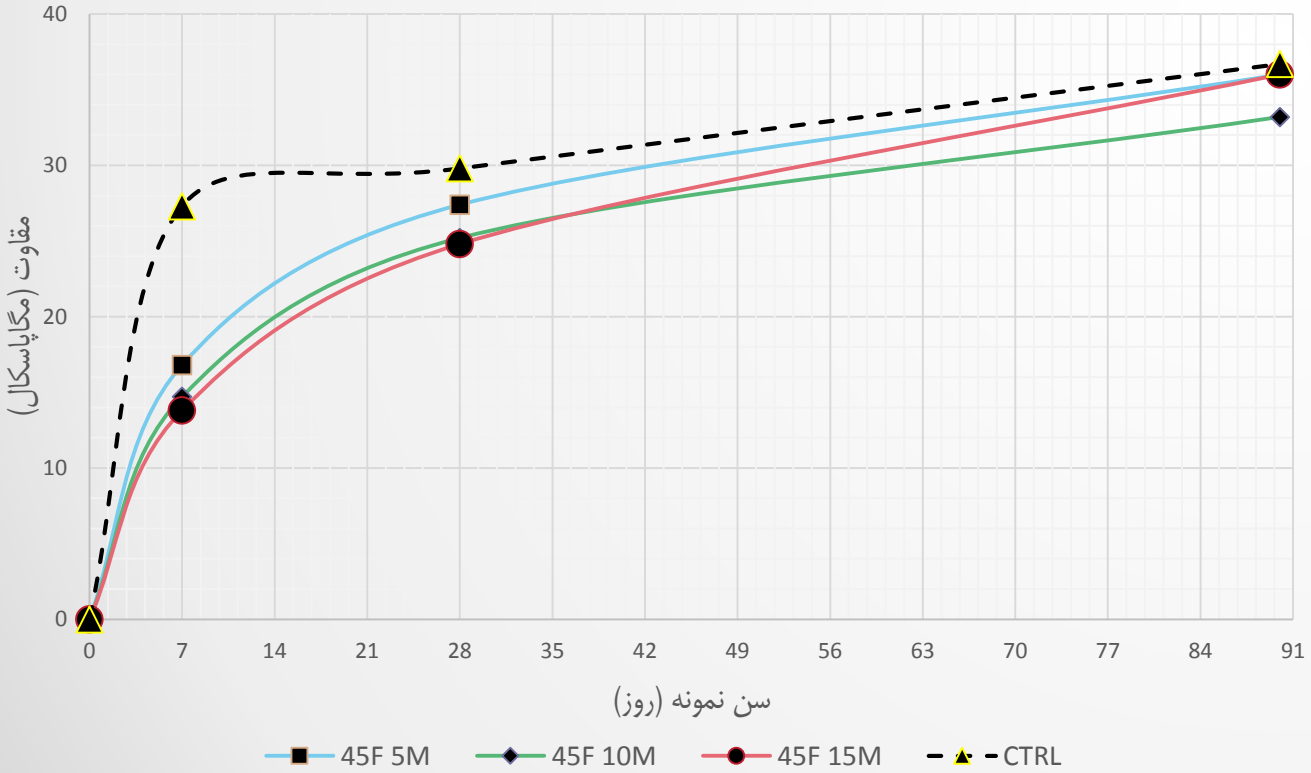
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
19	30 F 5 M	230	25.8	35.7	43.8
20	30 F 10 M	235	24.8	36.2	46.9
21	30 F 15 M	240	21.4	35.6	49.8

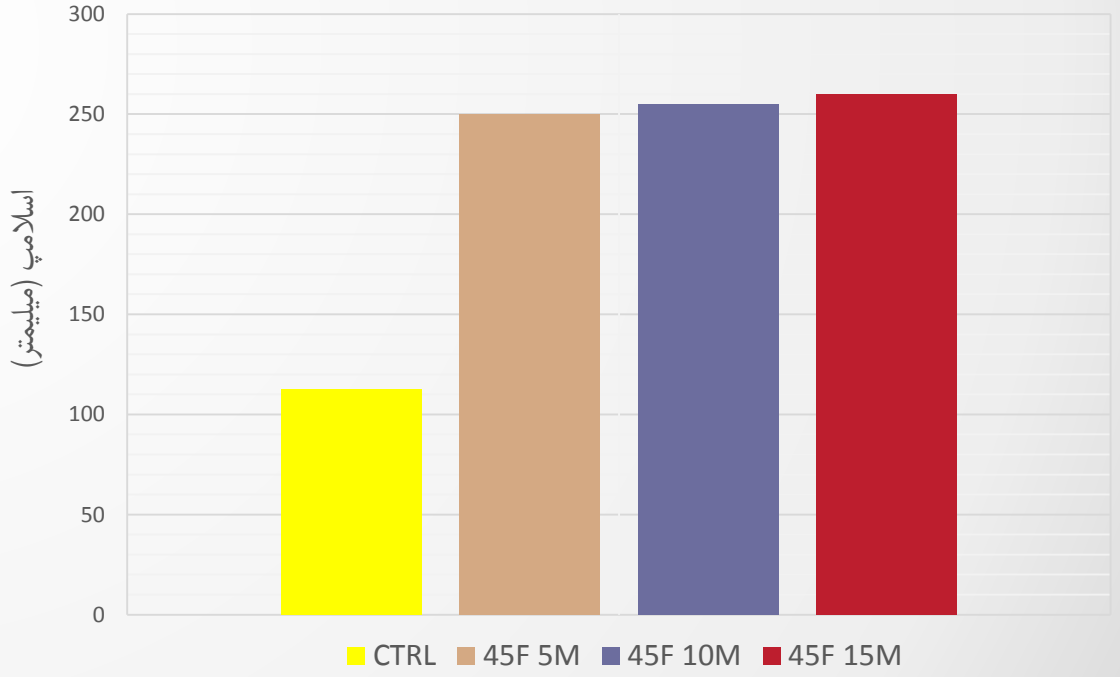




تأثیر افزودن خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

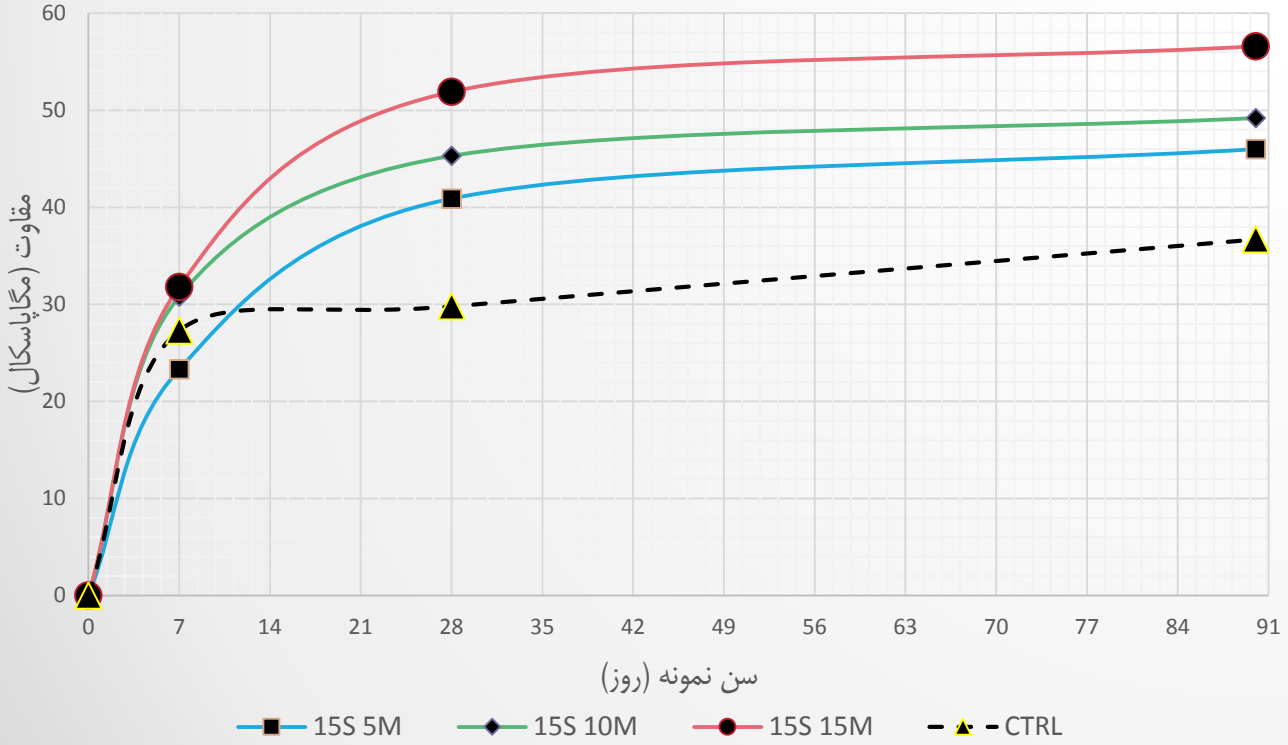
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
25	45 F 5 M	250	16.8	27.4	36
26	45 F 10 M	255	14.7	25.2	33.2
27	45 F 15 M	260	13.8	24.8	30.1

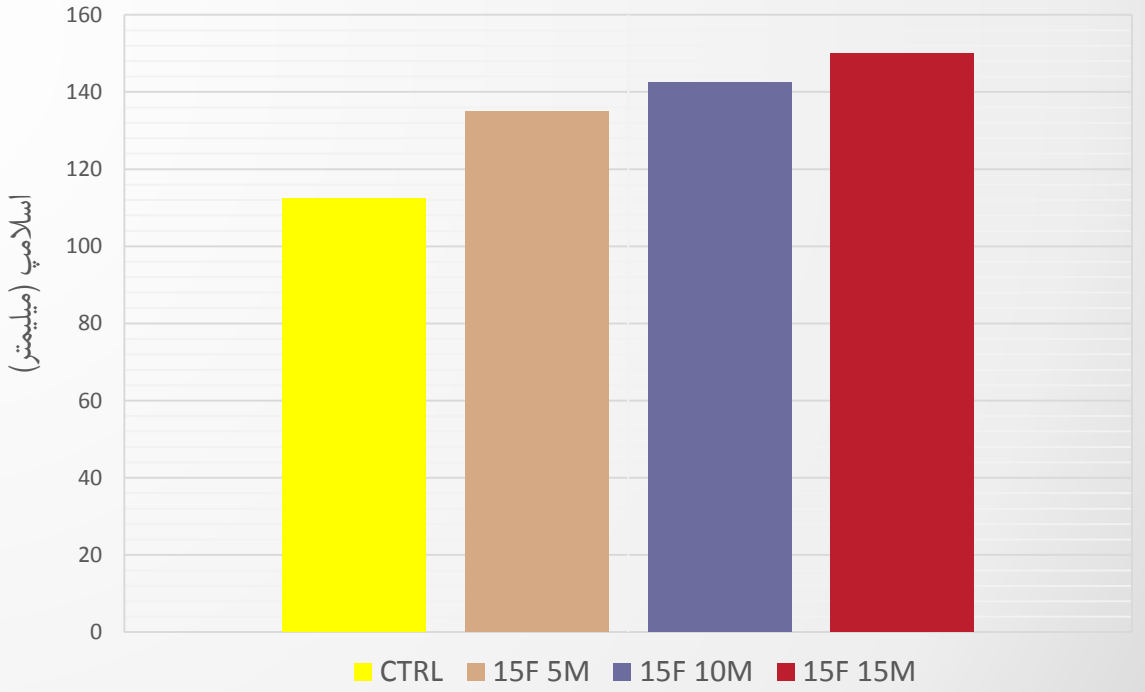




تأثیر افزودن سرباره و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

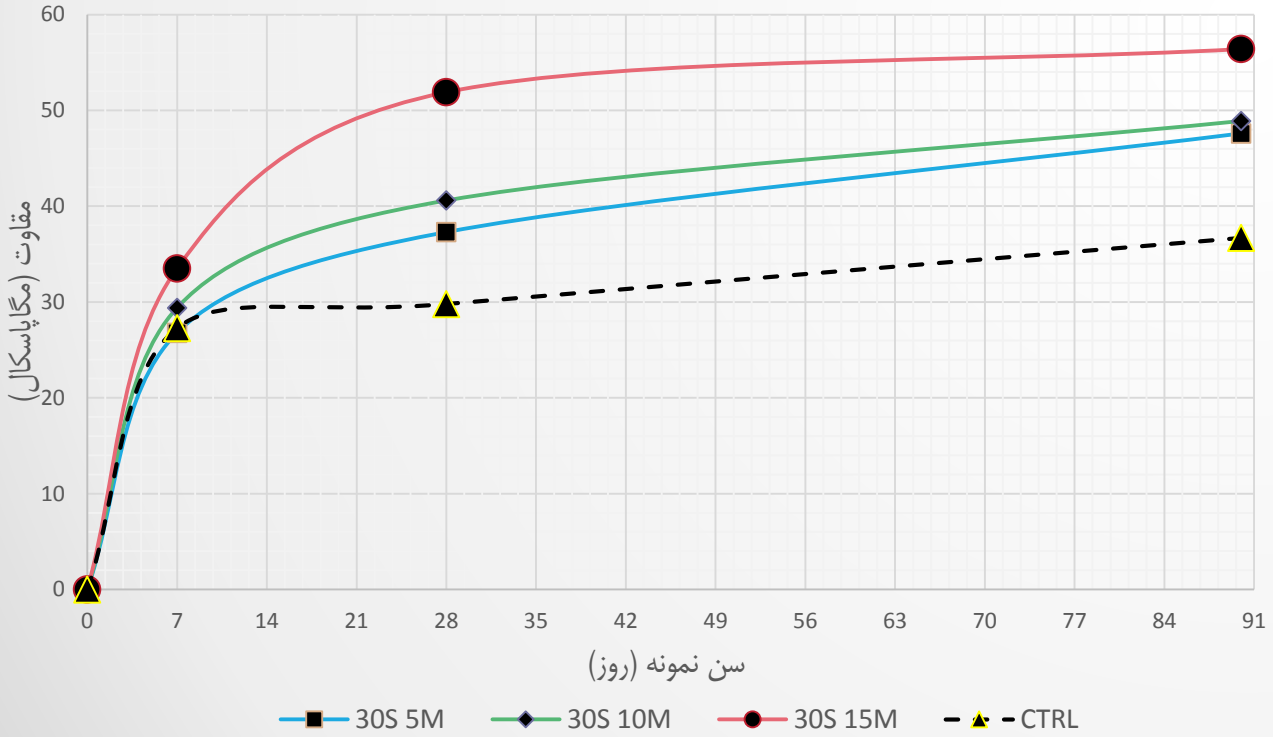
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
16	15 S 5 M	135	23.3	40.9	46
17	15 S 10 M	142.5	30.8	45.3	49.2
18	15 S 15 M	150	31.8	51.9	56.6

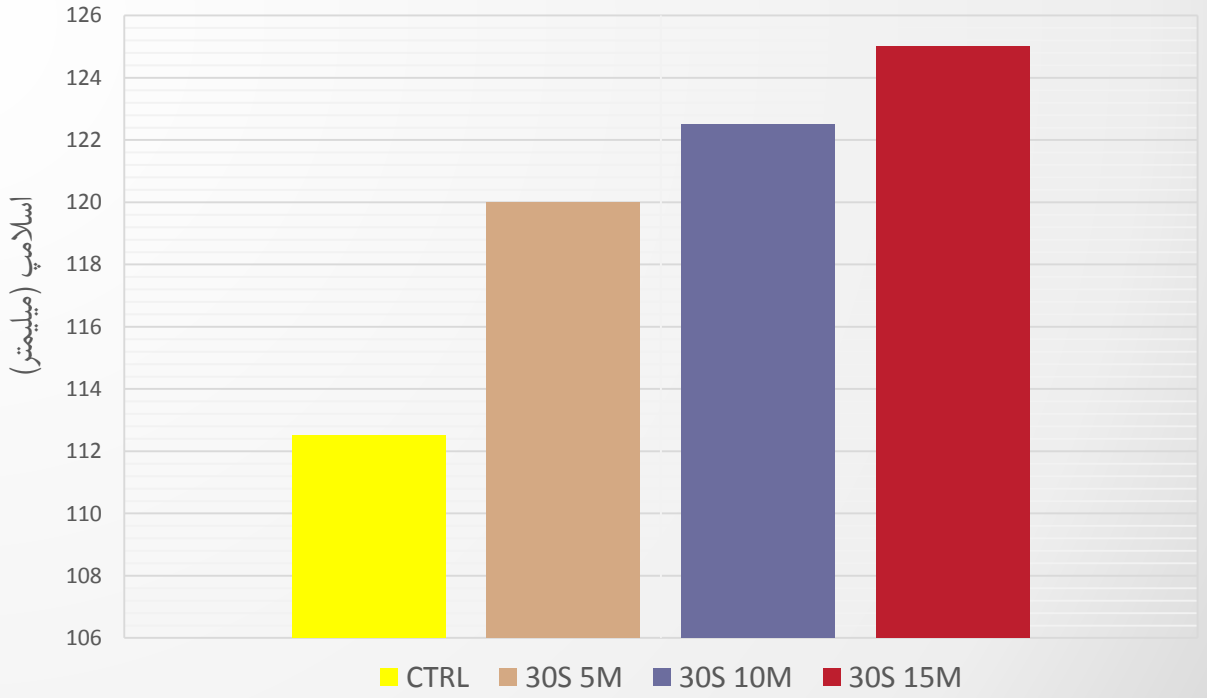




تأثیر افزودن خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

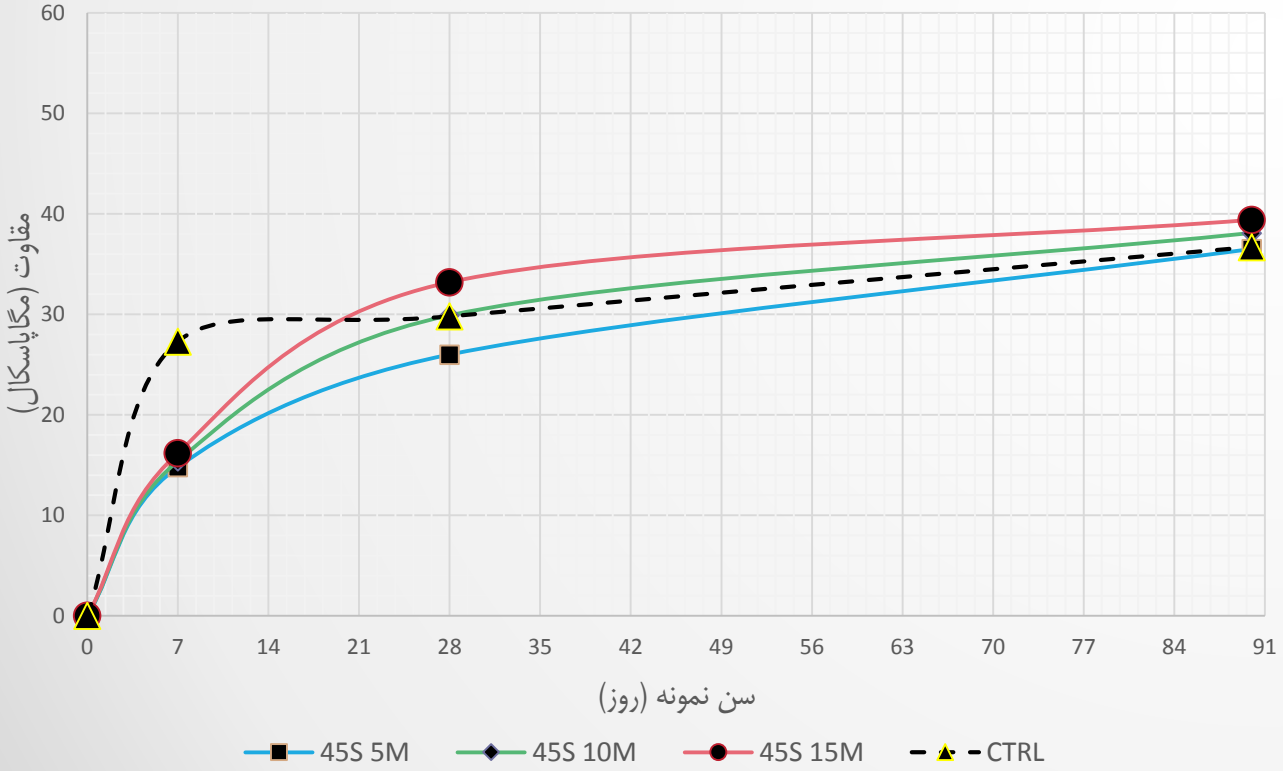
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
22	30 S 5 M	120	26.8	37.3	47.6
23	30 S 10 M	122.5	29.4	40.6	48.9
24	30 S 15 M	125	33.5	51.9	56.4

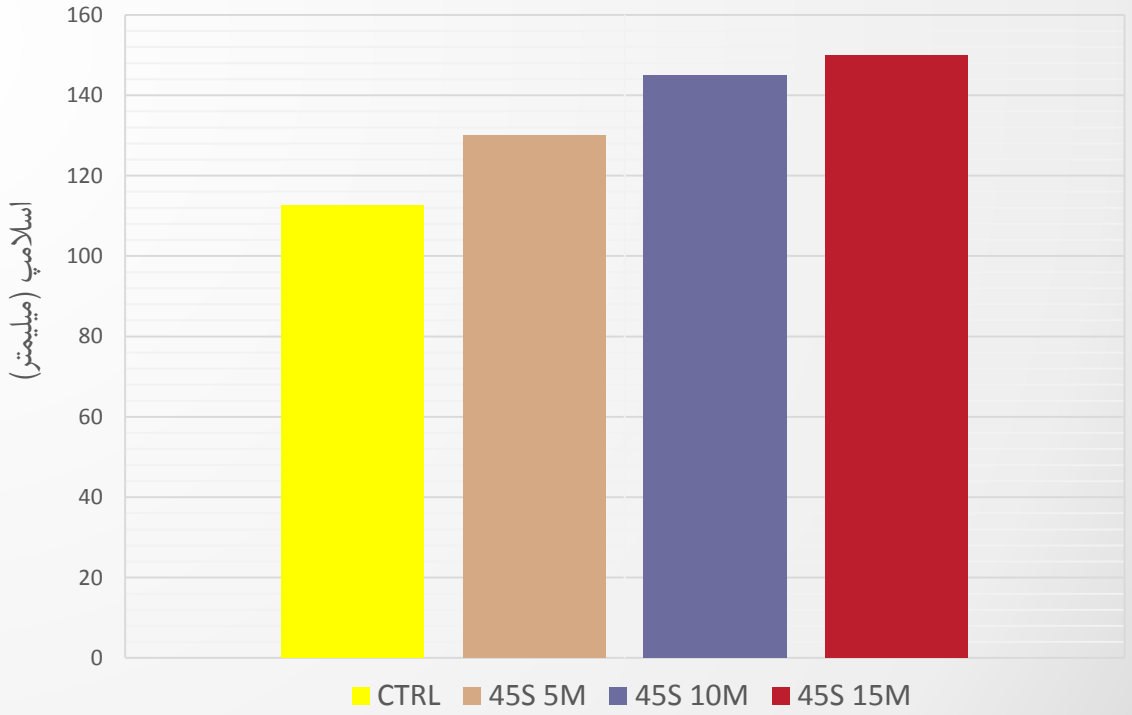




تأثیر افزودن خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

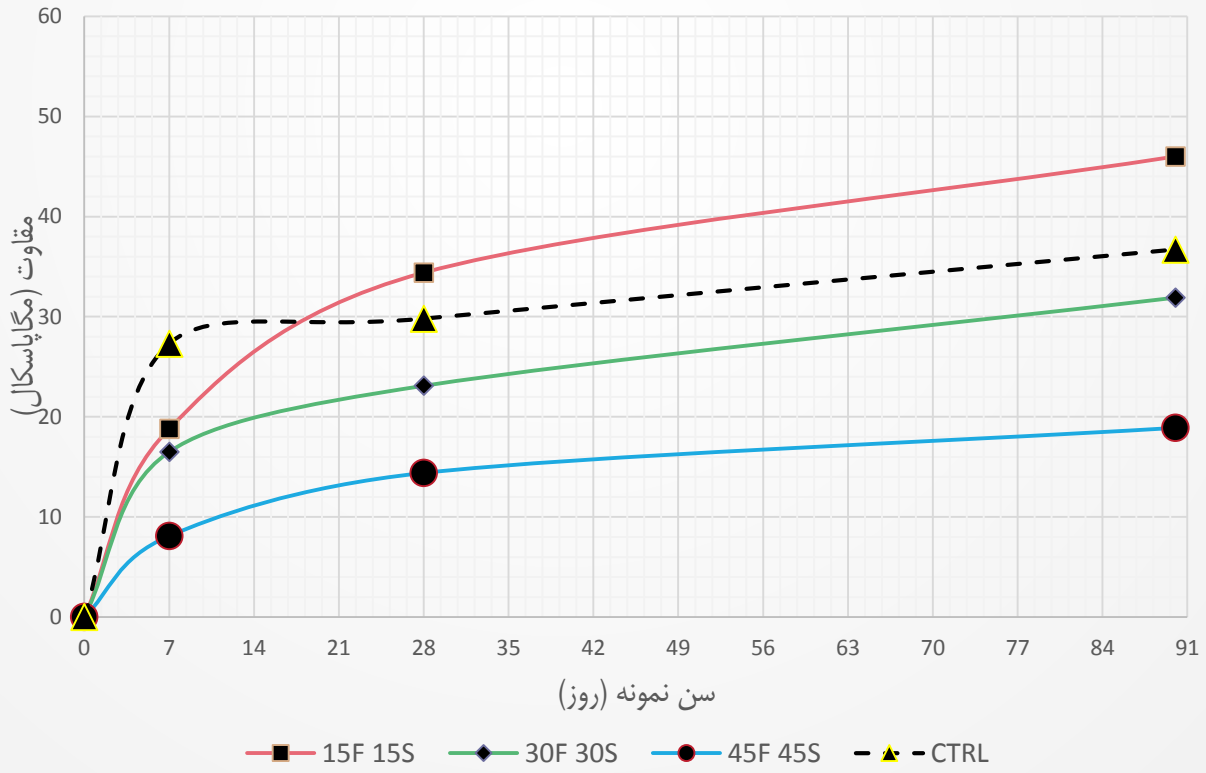
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
28	45 S 5 M	130	14.8	26	36.5
29	45 S 10 M	135	15.4	29.9	38.1
30	45 S 15 M	140	16.2	33.2	39.4





تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

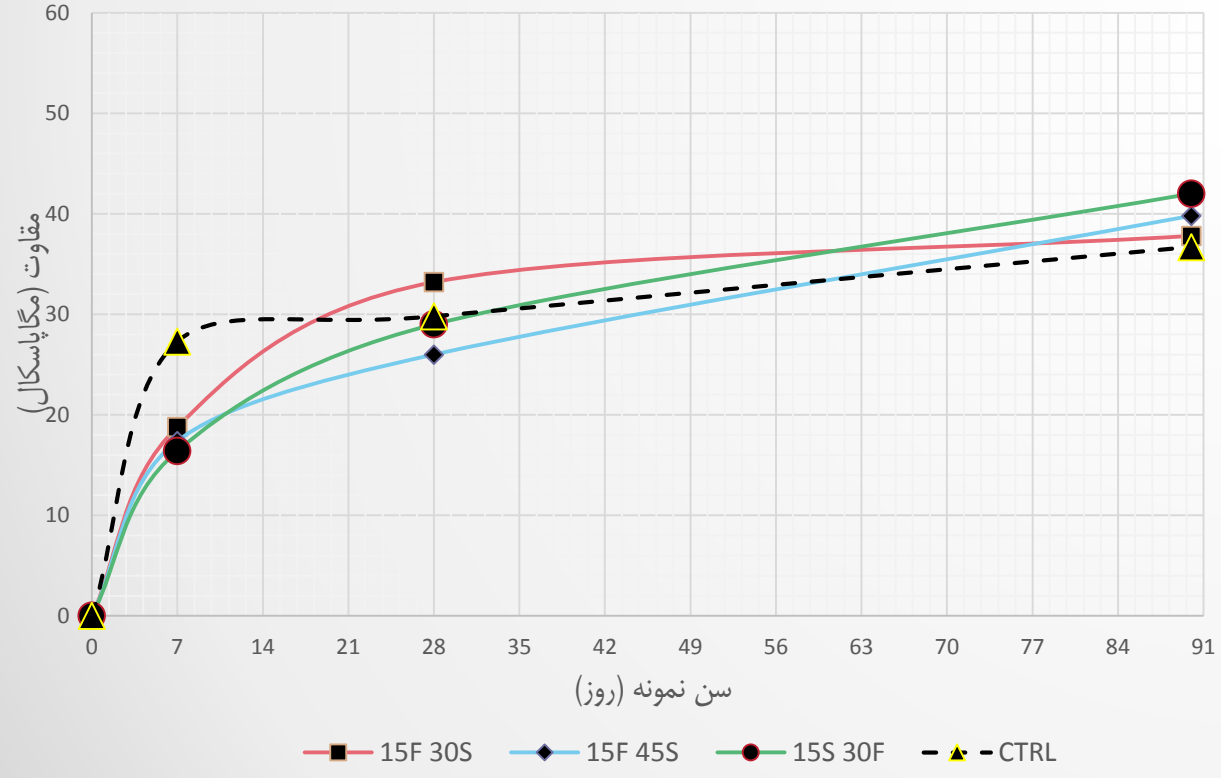
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
31	15 F 15 S	140	18.8	34.4	46
32	30 F 30 S	195	16.5	23.1	31.9
33	45 F 45 S	185	8.1	14.4	18.9

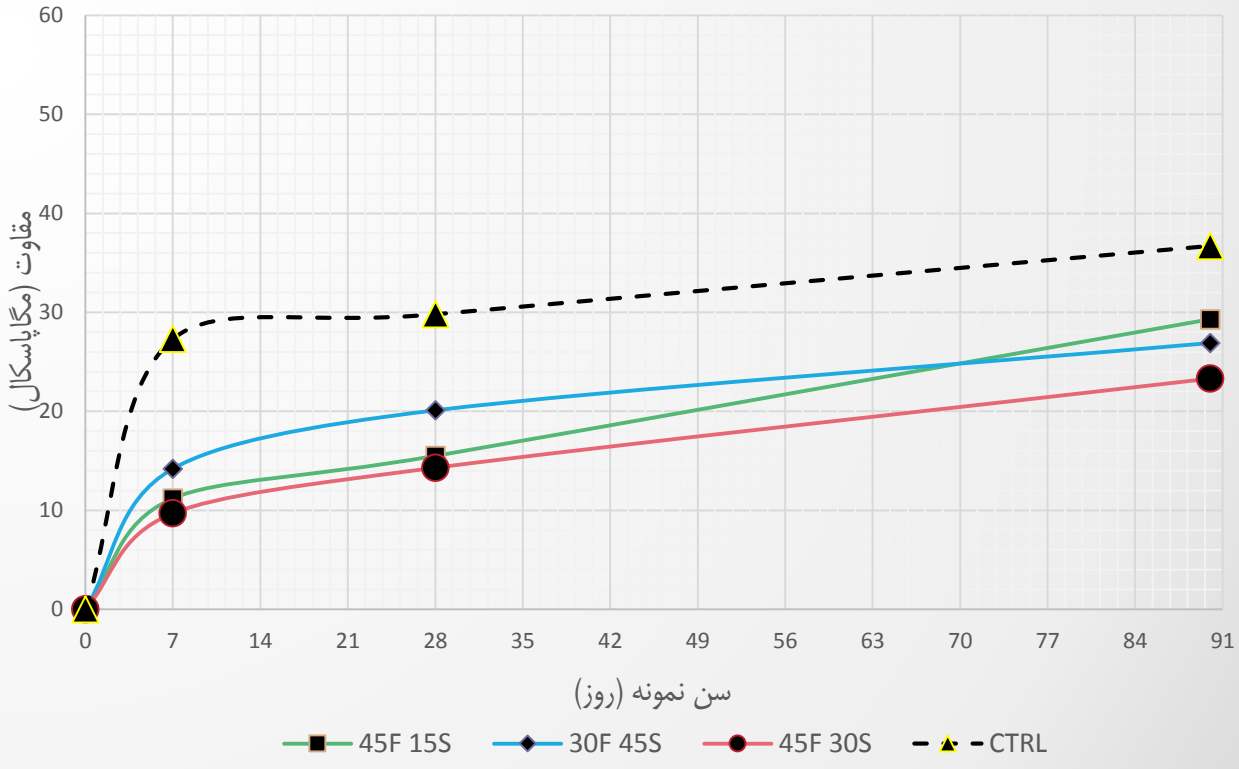


تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

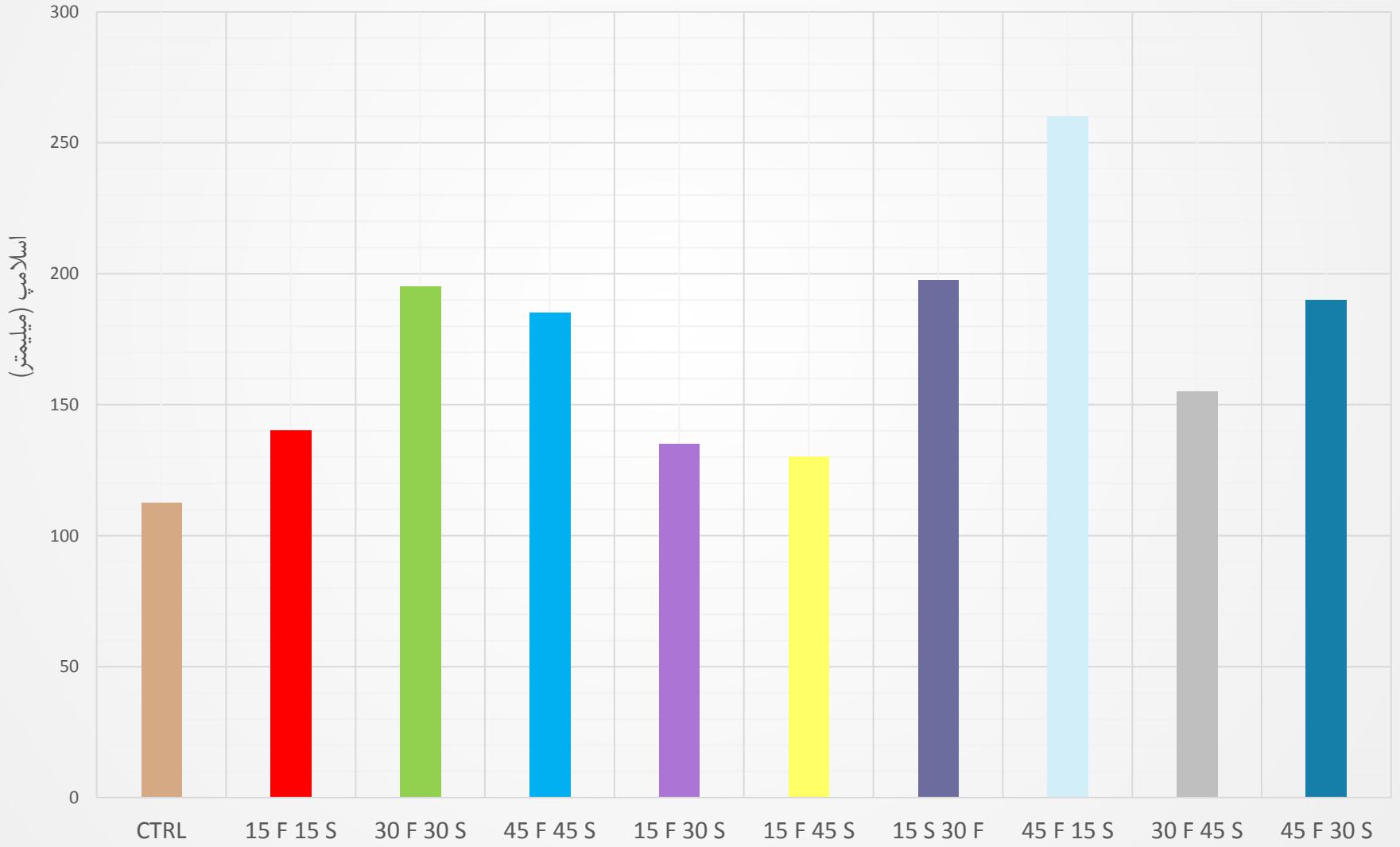
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
34	15 F 30 S	135	18.8	33.2	37.8
35	15 F 45 S	130	17.4	26	39.8
36	15 S 30 F	197.5	16.4	29	42

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
37	45 F 15 S	260	11.2	15.5	29.3
38	30 F 45 S	155	14.2	20.1	26.9
39	45 F 30 S	190	9.7	14.3	23.3





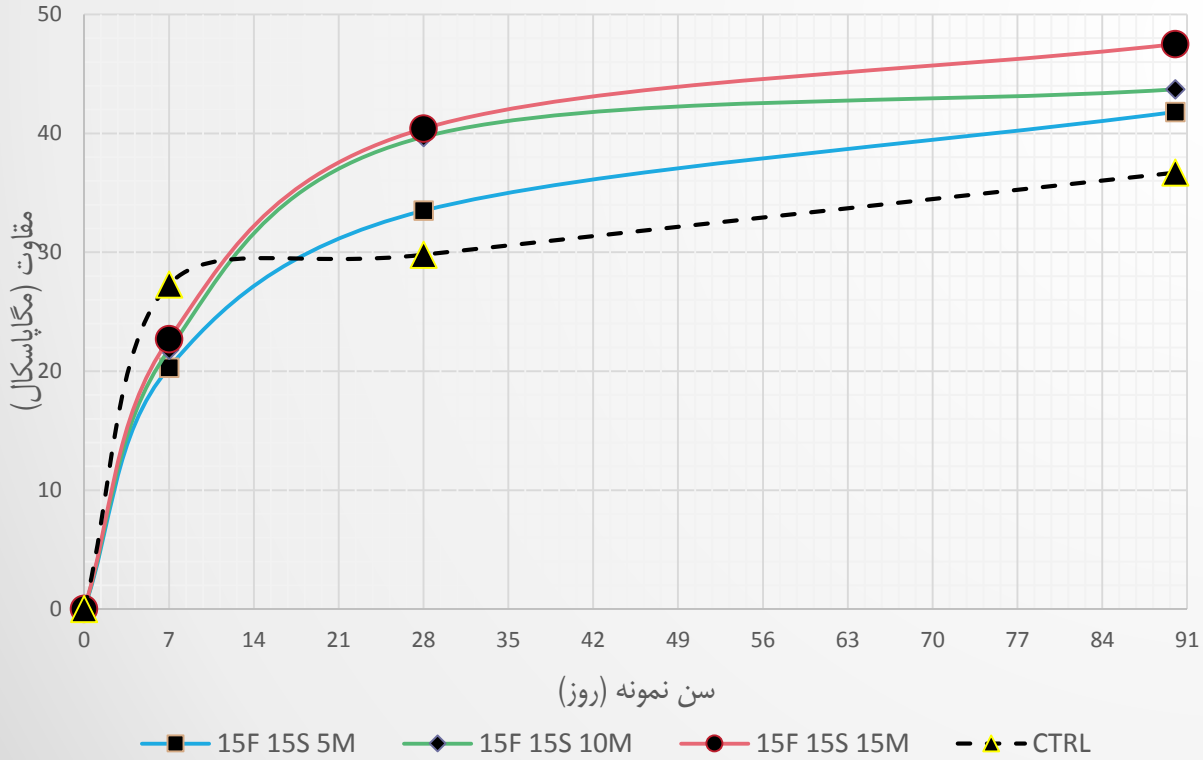
تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات سه گانه)

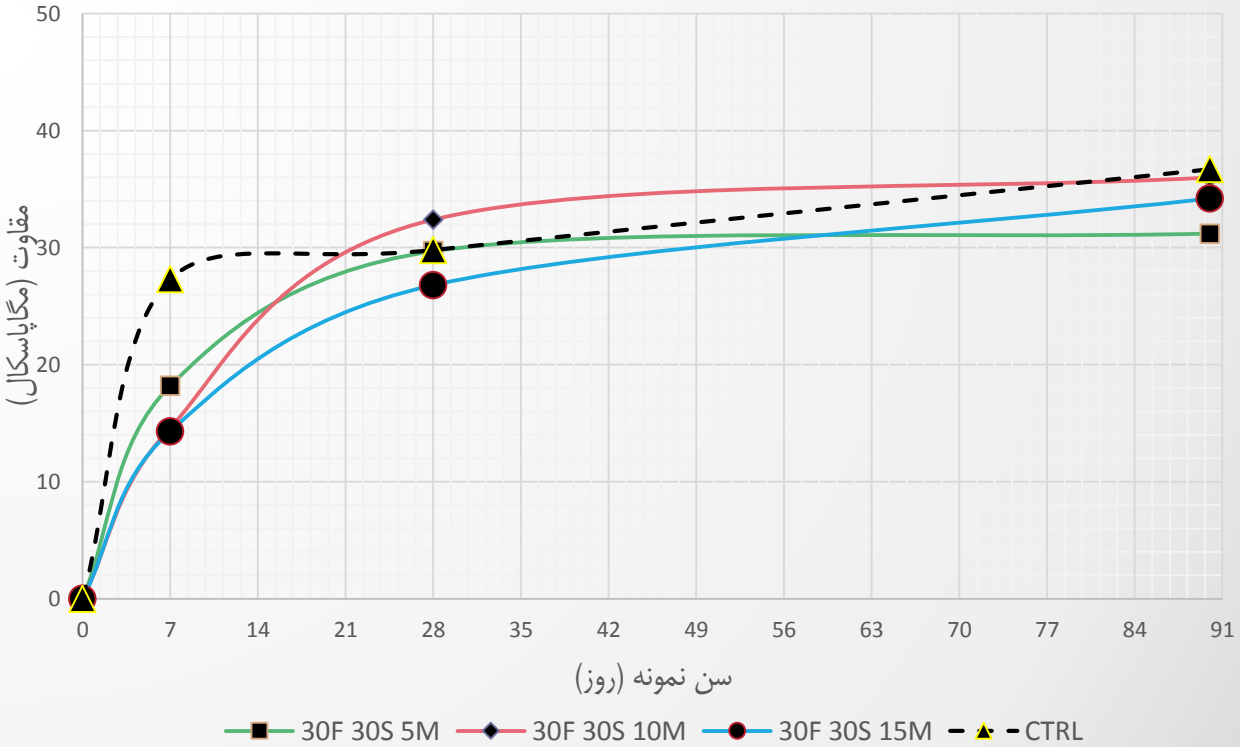


تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات چهار گانه)

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاومت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
40	15 F 15 S 5M	112.5	20.3	33.5	41.8
41	15 F 15 S 10M	145	21.8	39.7	43.7
42	15 F 15 S 15M	155	22.7	40.4	47.5

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاومت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
43	30 F 30 S 5M	150	18.2	29.7	31.2
44	30 F 30 S 10M	155	14.6	32.4	36
45	30 F 30 S 15M	162.5	14.3	26.8	34.2
46	45 F 45 S 5M	215	4	10	12.7

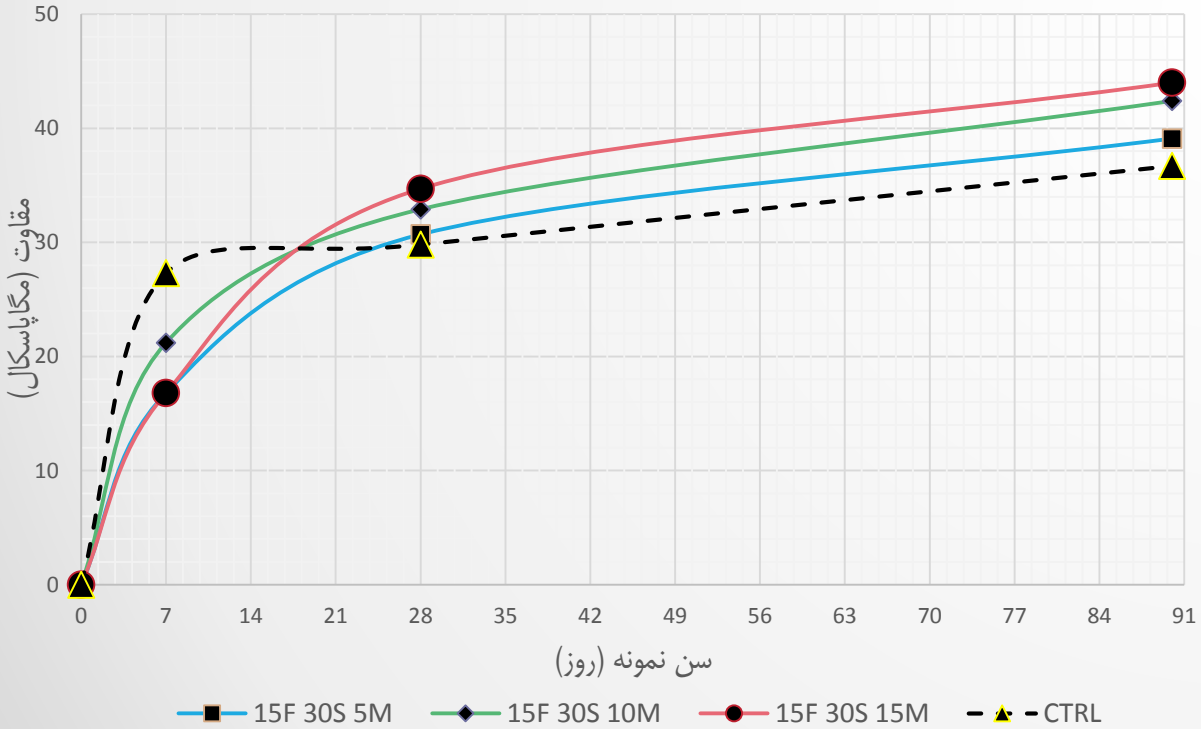


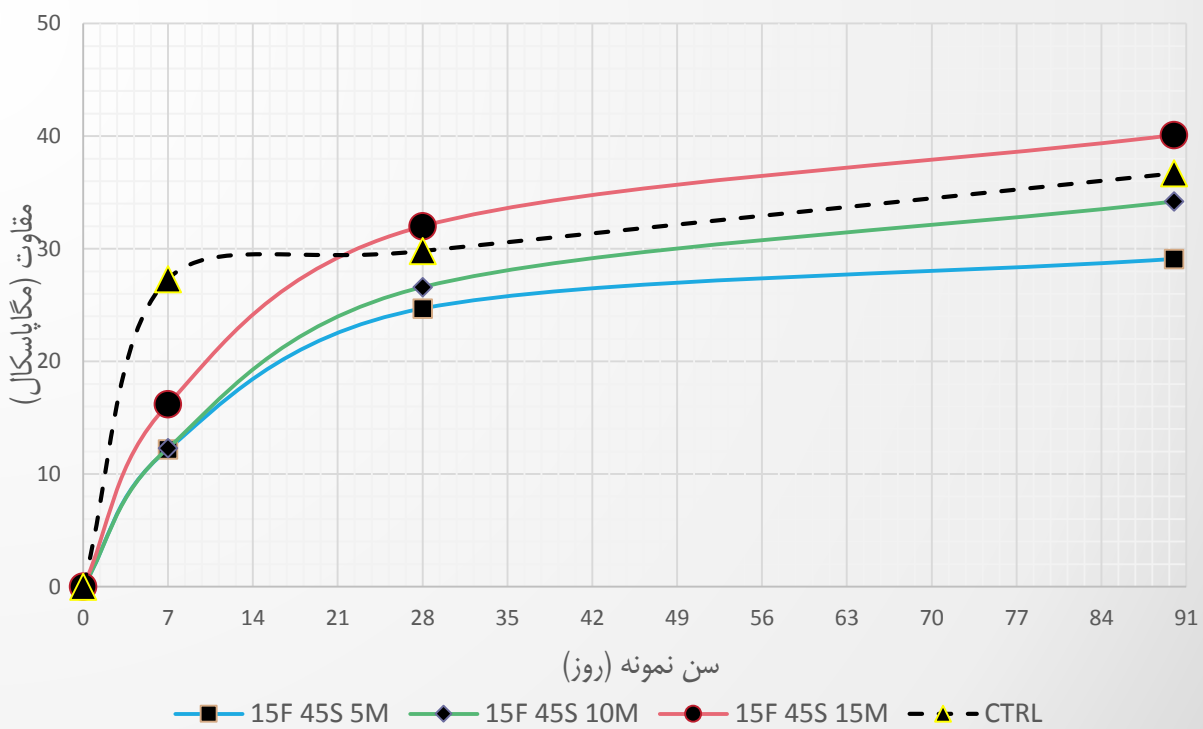


تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات چهار گانه)

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
47	15 F 30 S 5M	105	16.8	30.7	39.1
48	15 F 30 S 10M	130	21.2	32.9	42.4
49	15 F 30 S 15M	140	16.8	34.7	44

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
50	15 F 45 S 5M	105	12.2	24.7	29.1
51	15 F 45 S 10M	120	12.3	26.6	34.2
52	15 F 45 S 15M	135	16.2	32	40.1

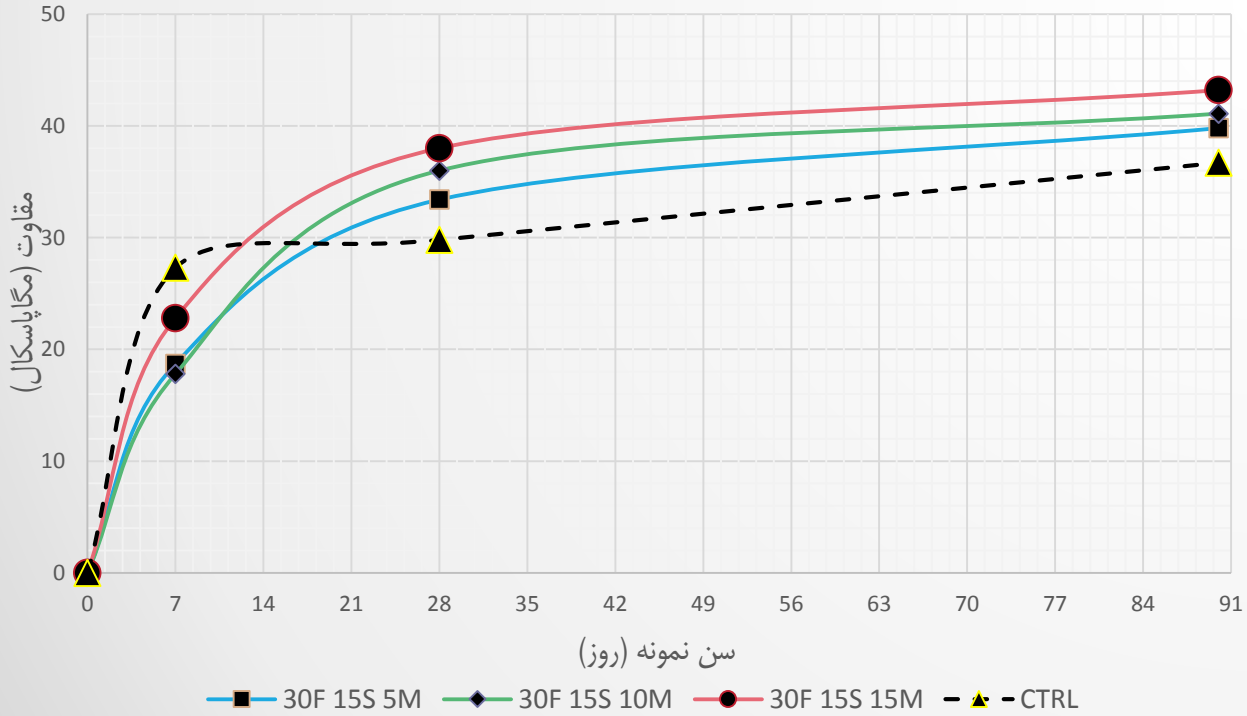


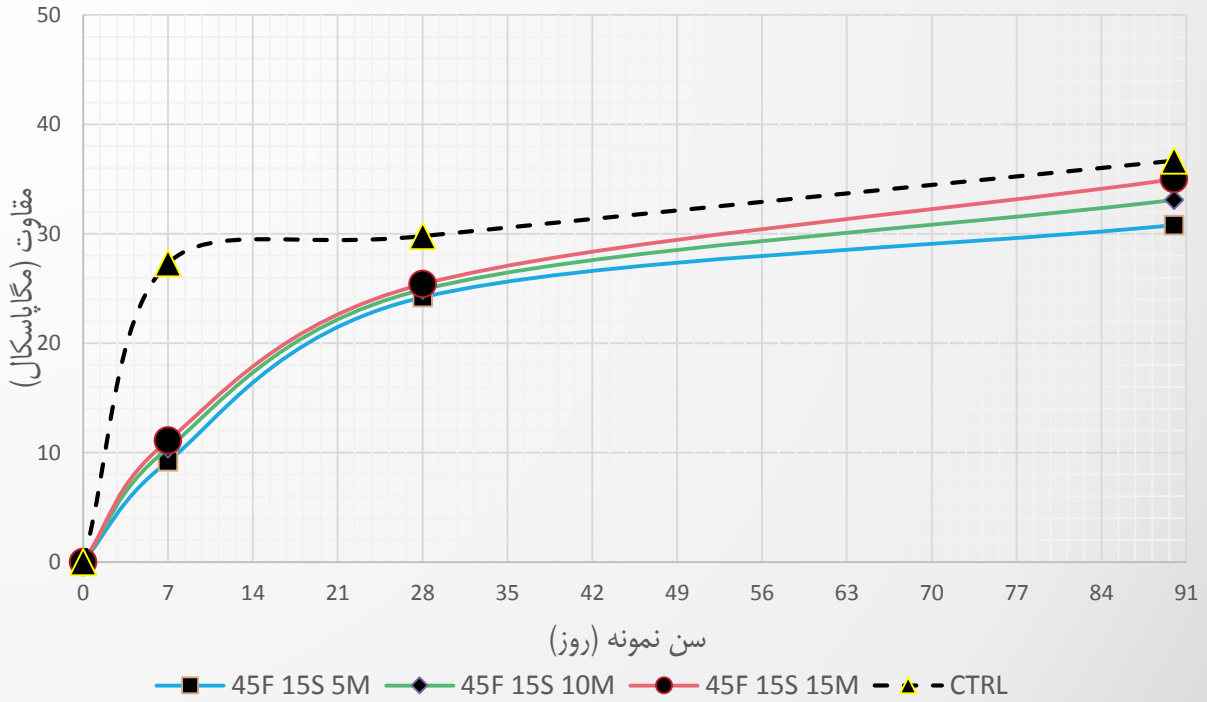


تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات چهار گانه)

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
53	30 F 15 S 5M	160	18.7	33.4	39.8
54	30 F 15 S 10M	175	17.8	36	41.1
55	30 F 15 S 15M	185	22.8	38	43.2

شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاوت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
56	45 F 15 S 5M	210	9.2	24.2	30.8
57	45 F 15 S 10M	217.5	10.4	24.9	33.1
58	45 F 15 S 15M	222.5	11.1	25.4	35

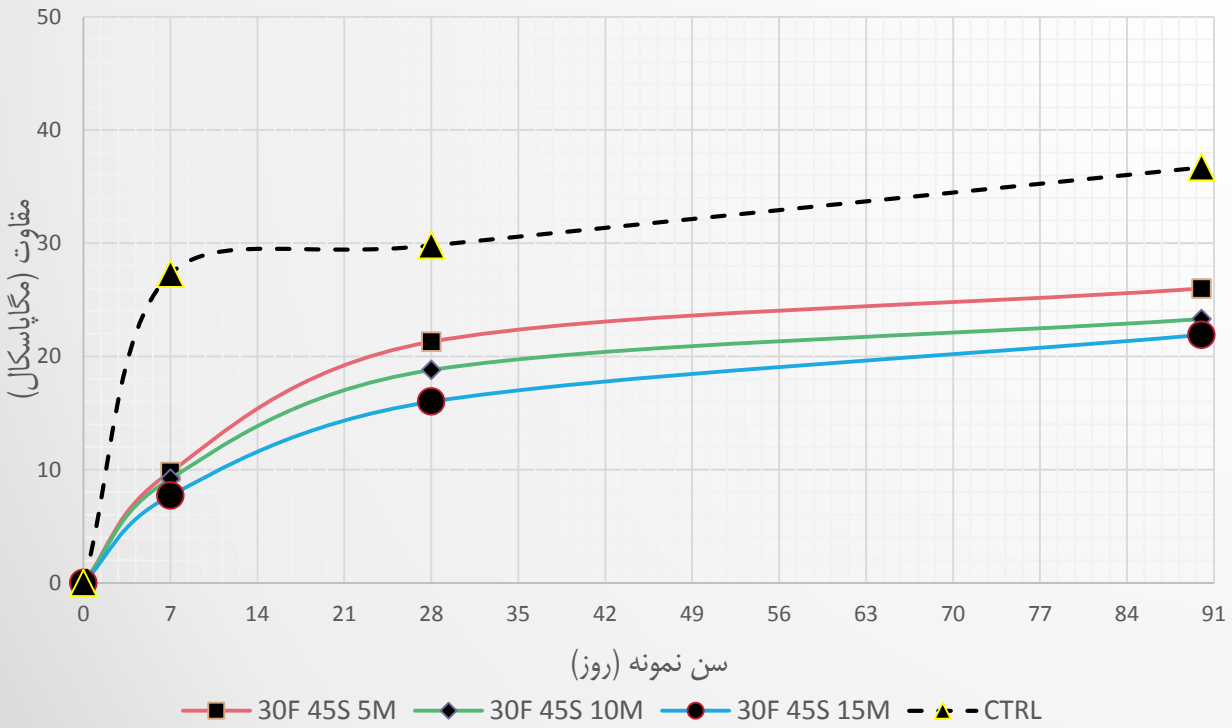




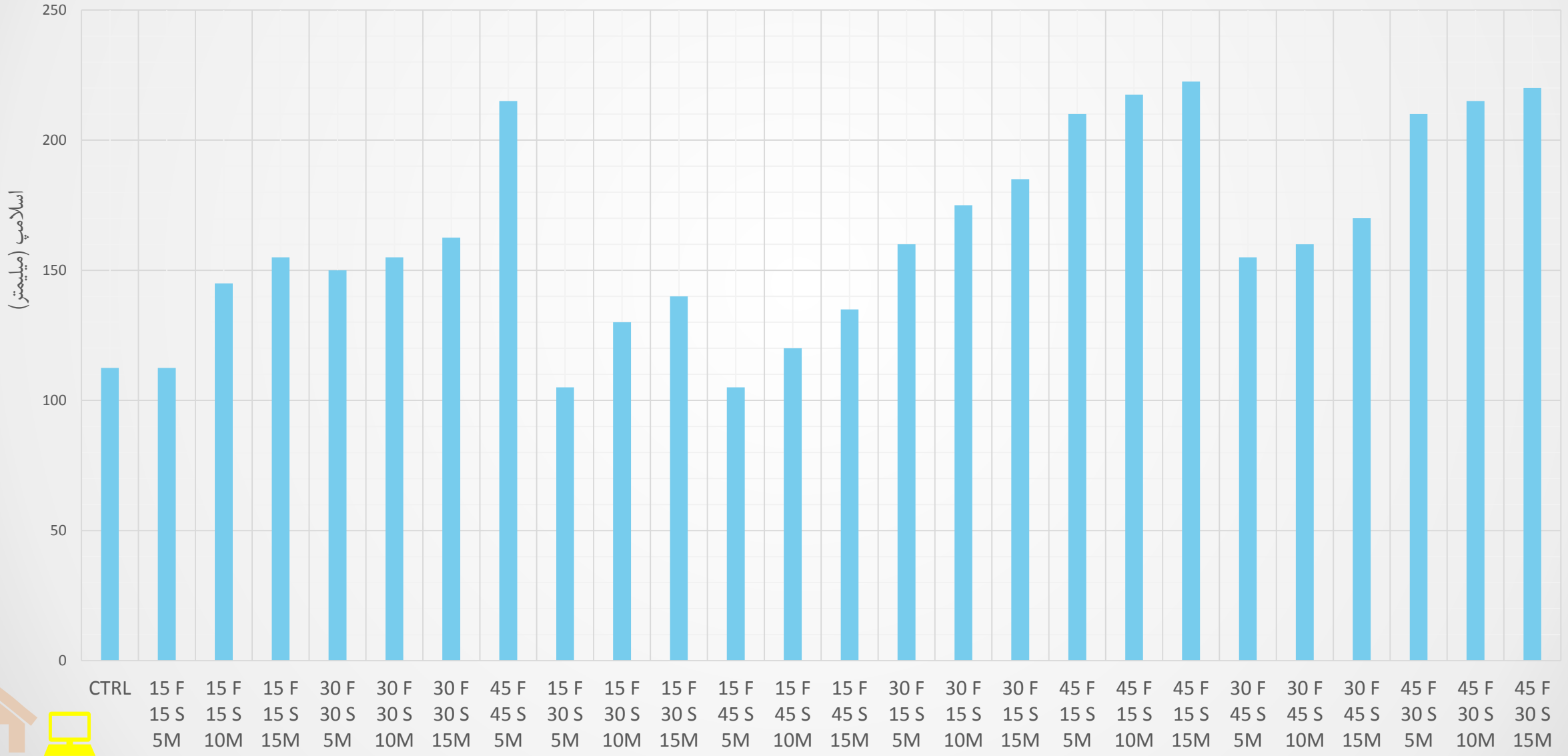
تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات چهار گانه)

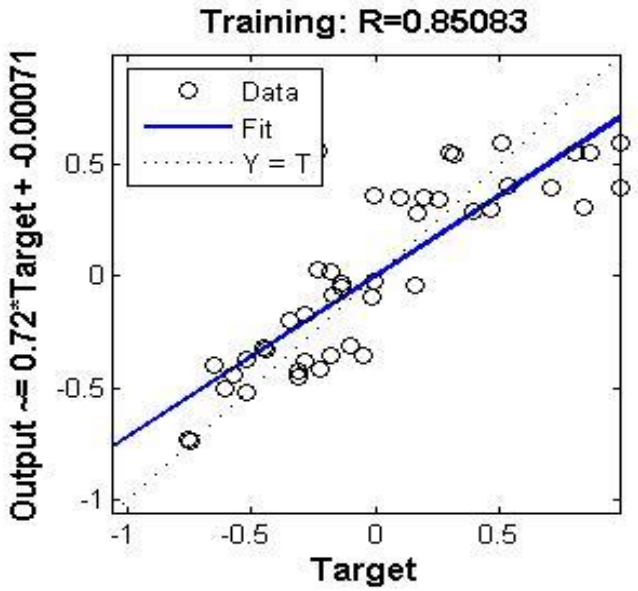
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاومت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
62	45 F 30 S 5M	210	9	17	25
63	45 F 30 S 10M	215	7.8	13.3	19.6
64	45 F 30 S 15M	220	6.4	9.7	17

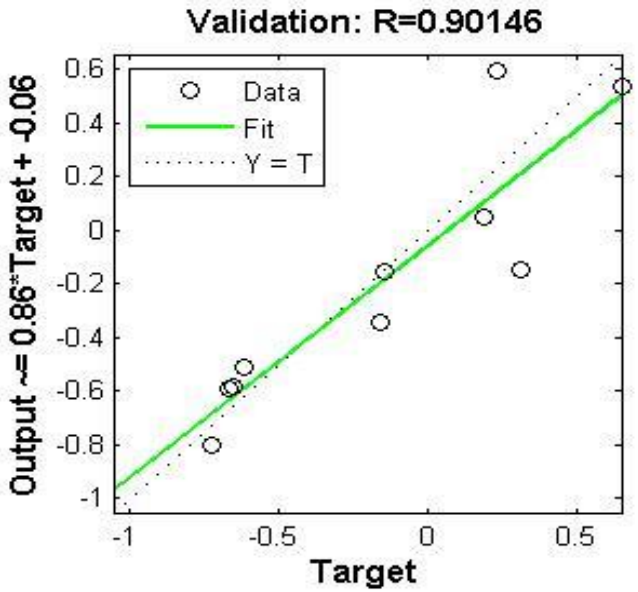
شماره No	نشانه طرح مخلوط Mix Design	D mm	مقاومت ۷ روزه MPa	مقاومت ۲۸ روزه MPa	مقاومت ۹۰ روزه MPa
59	30 F 45 S 5M	155	9.8	21.3	26
60	30 F 45 S 10M	160	9.2	18.8	23.3
61	30 F 45 S 15M	170	7.7	16	21.9

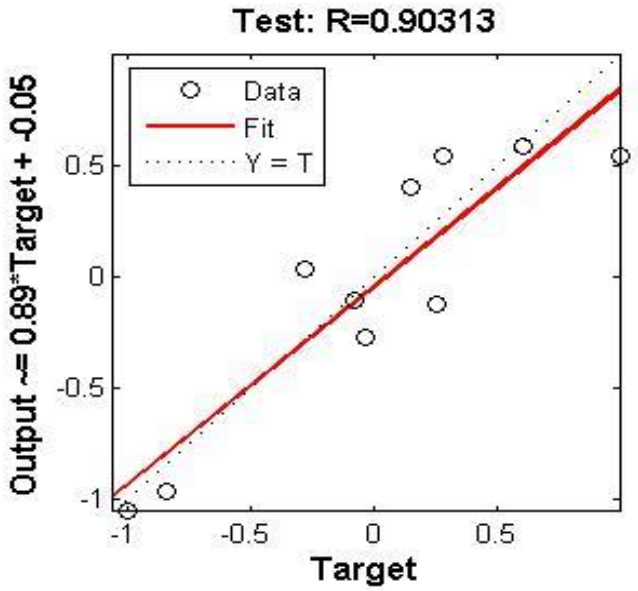


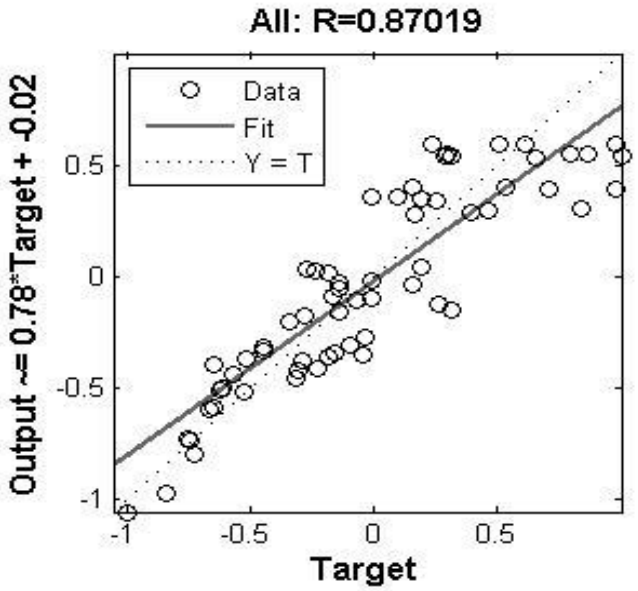
تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس در درصد های جایگزینی مختلف بصورت توامان (مخلوط های ملات چهار گانه)



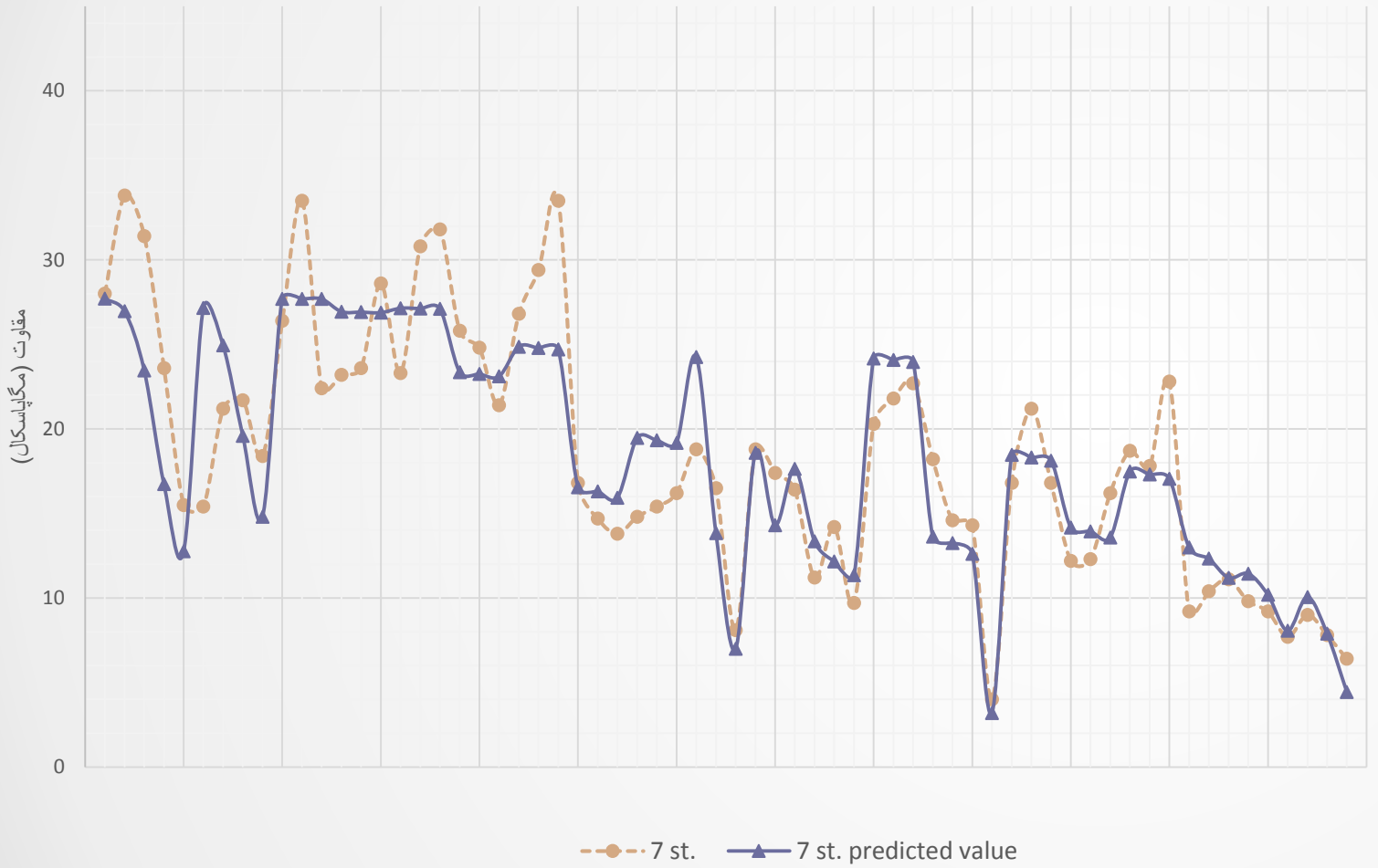








شبکه عصبی
سن ۷ روزه

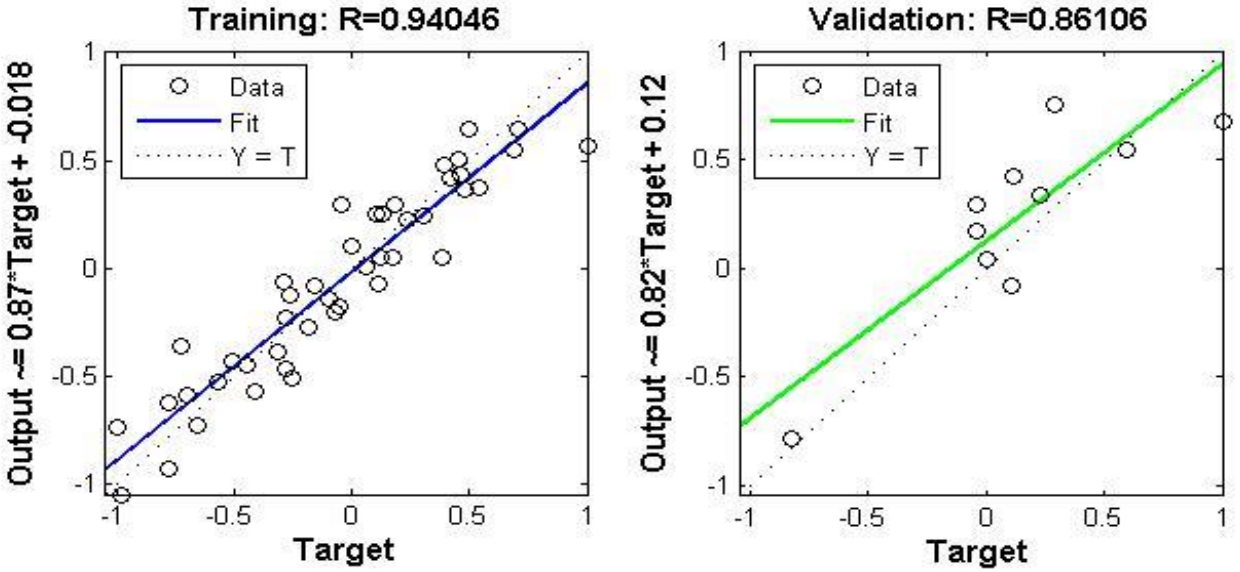


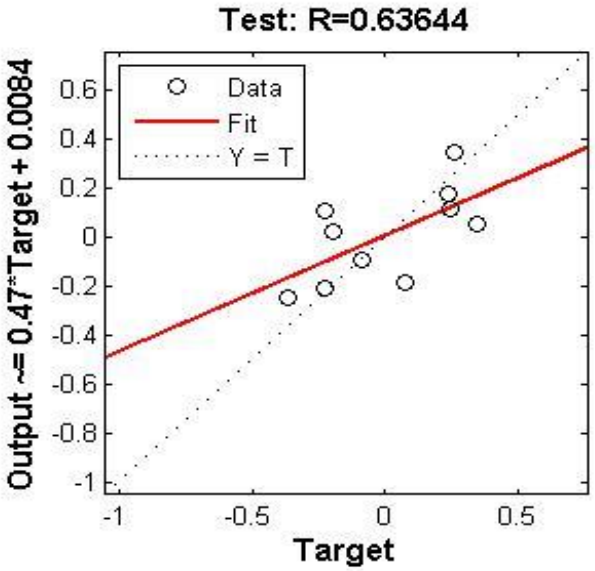
شبکه عصبی
سن ۷ روزه

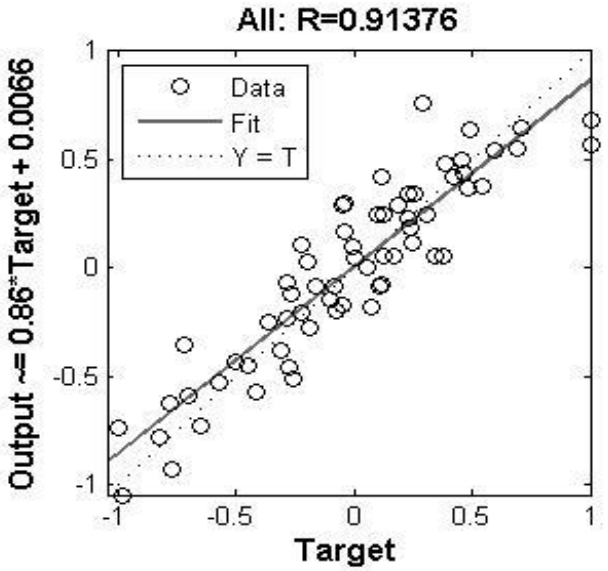
MAE:2.85

RMSE:3.65

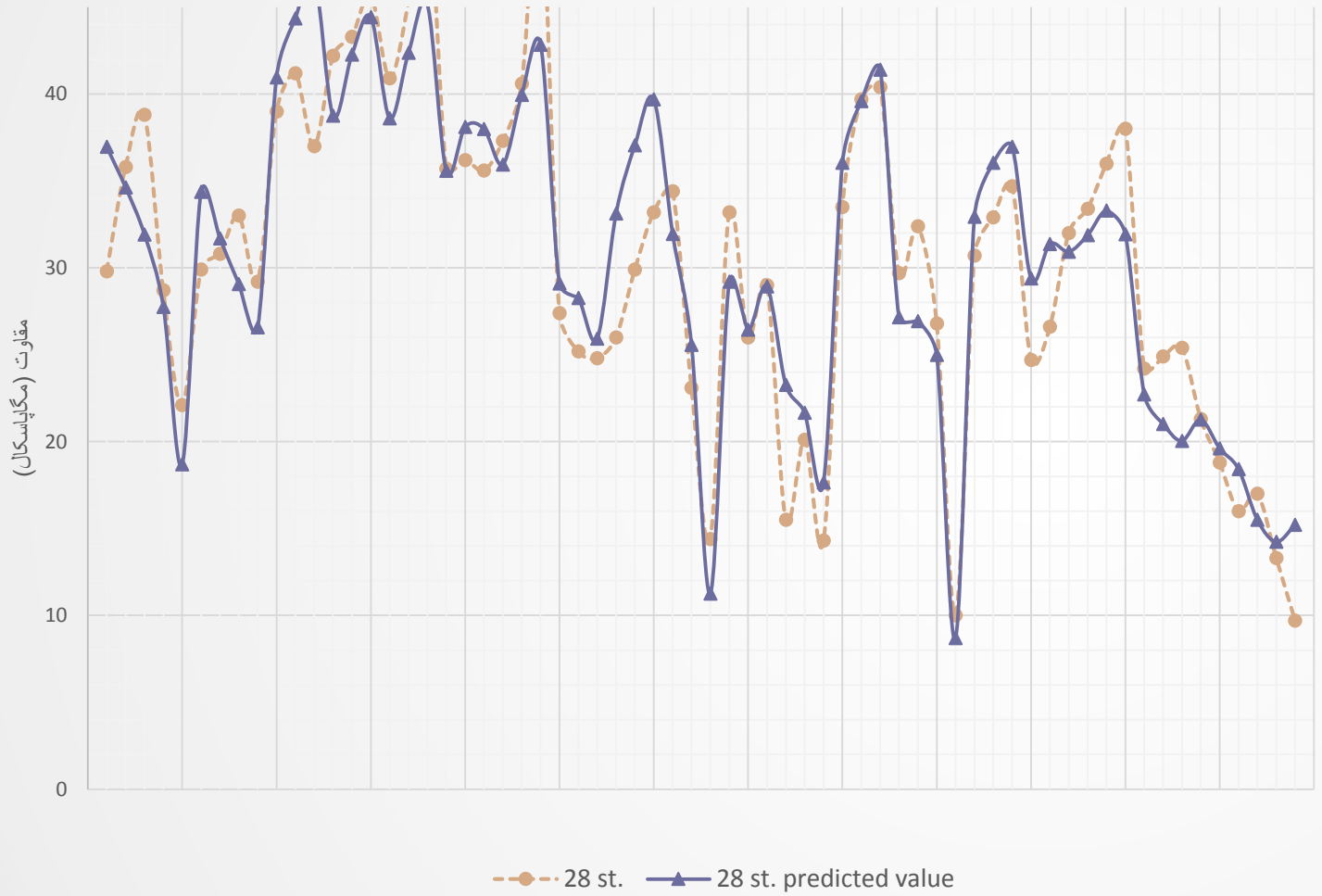
R^2 :0.78







شبکه عصبی
سن ۲۸ روزه

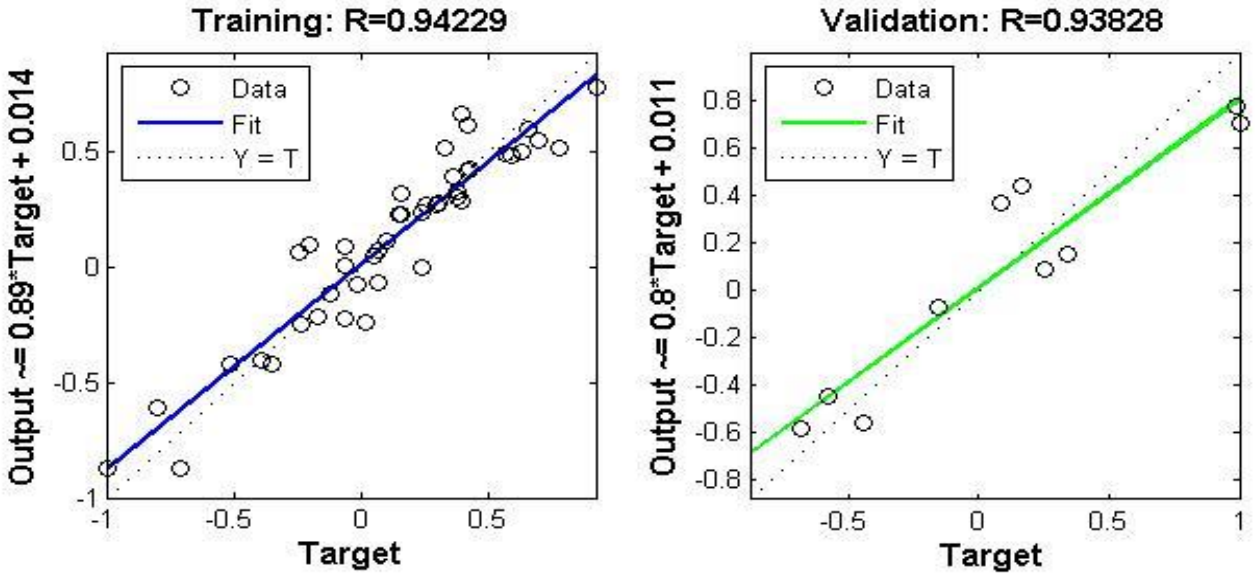


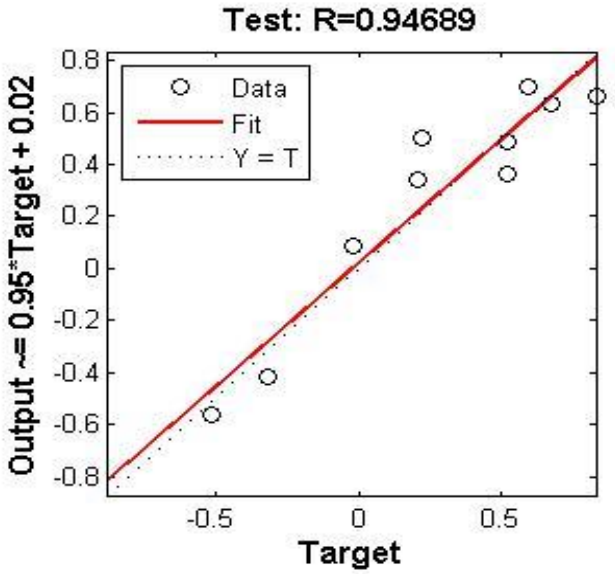
شبکه عصبی
سن ۲۸ روزه

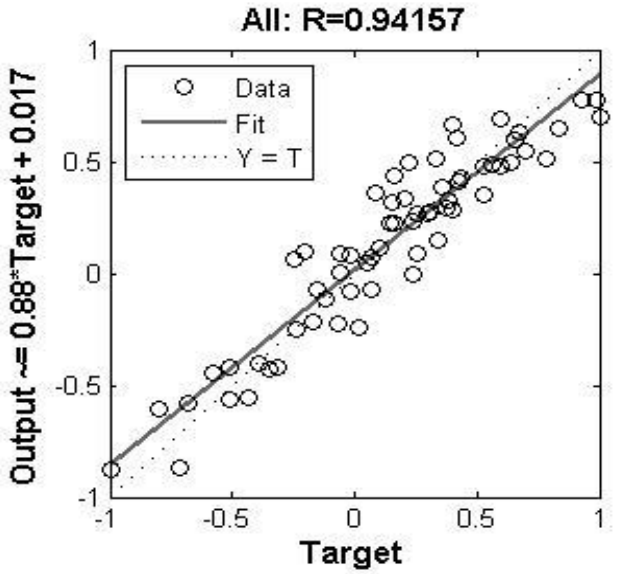
MAE:3.07

RMSE:3.88

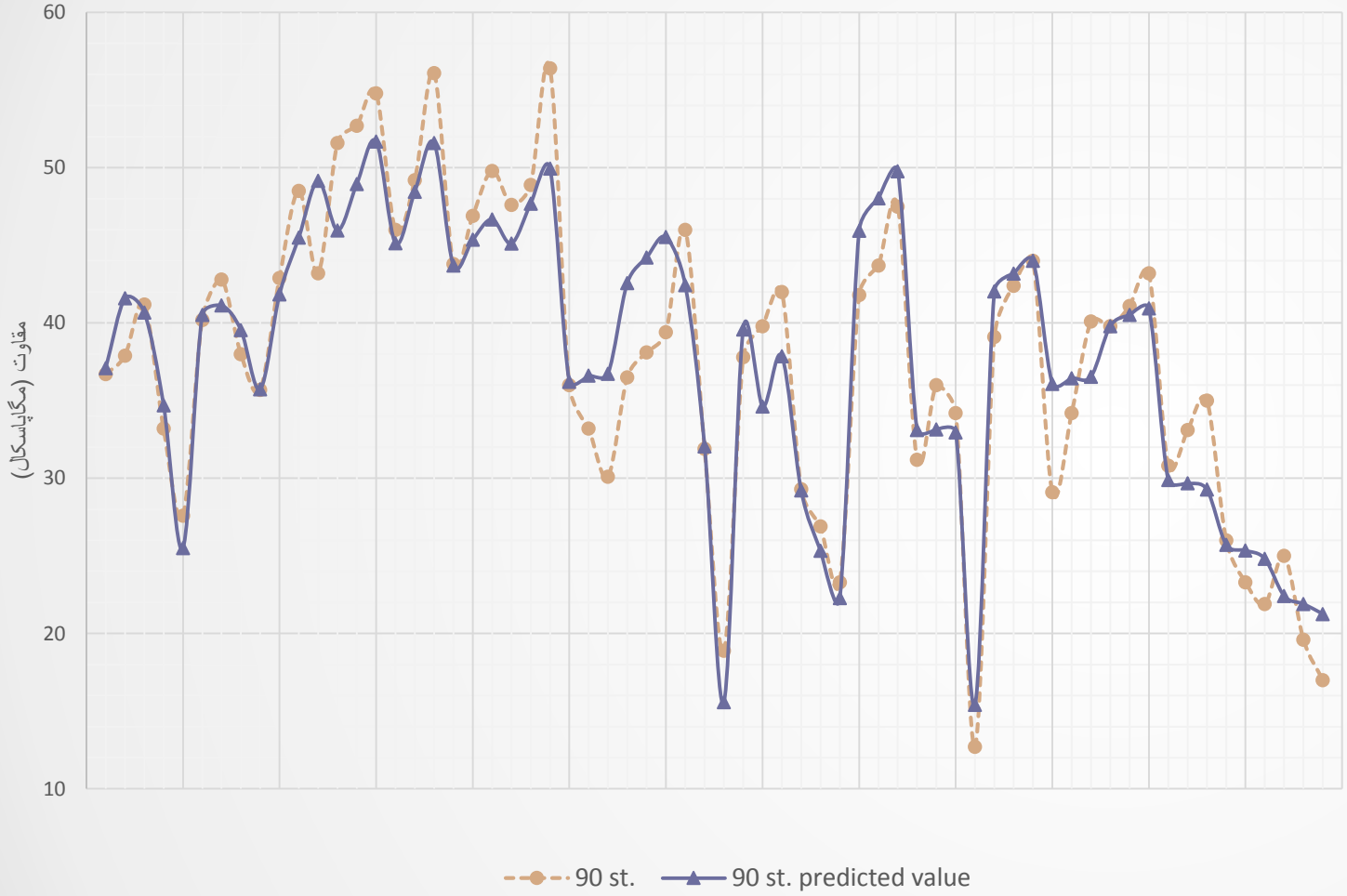
R^2 :0.91







شبکه عصبی
سن ۹۰روزه

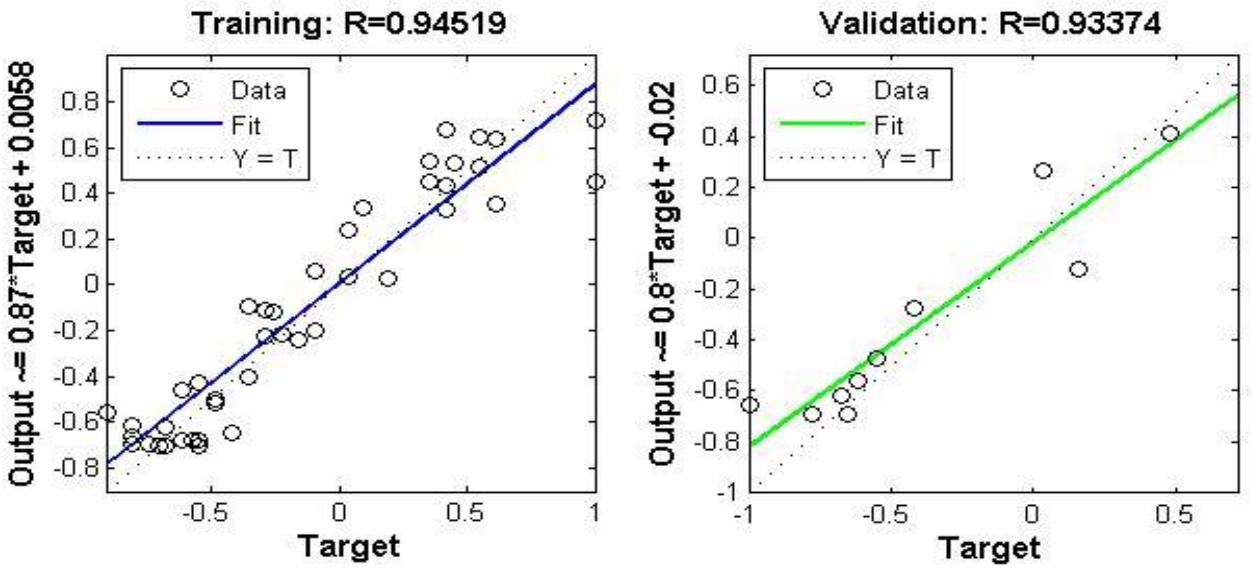


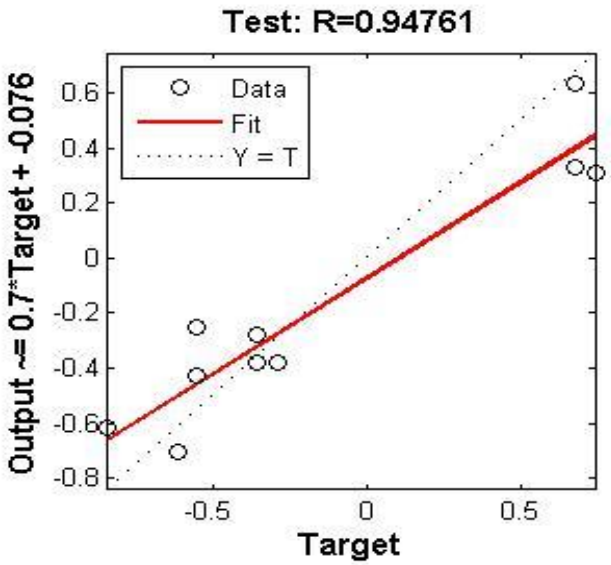
شبکه عصبی
سن ۹۰روزه

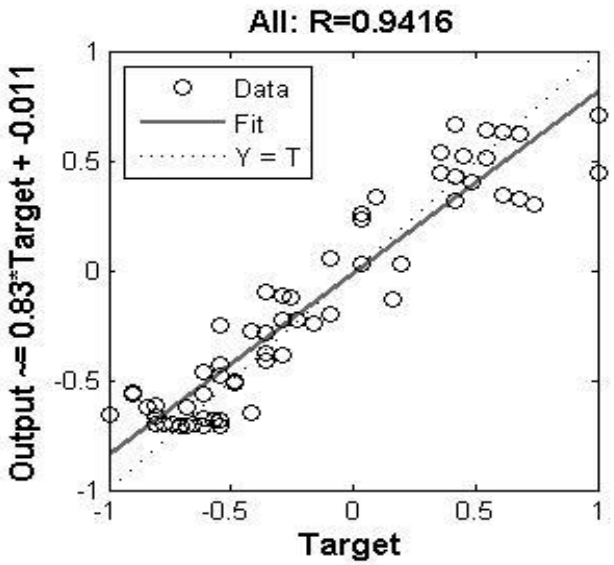
MAE:2.26

RMSE:3.29

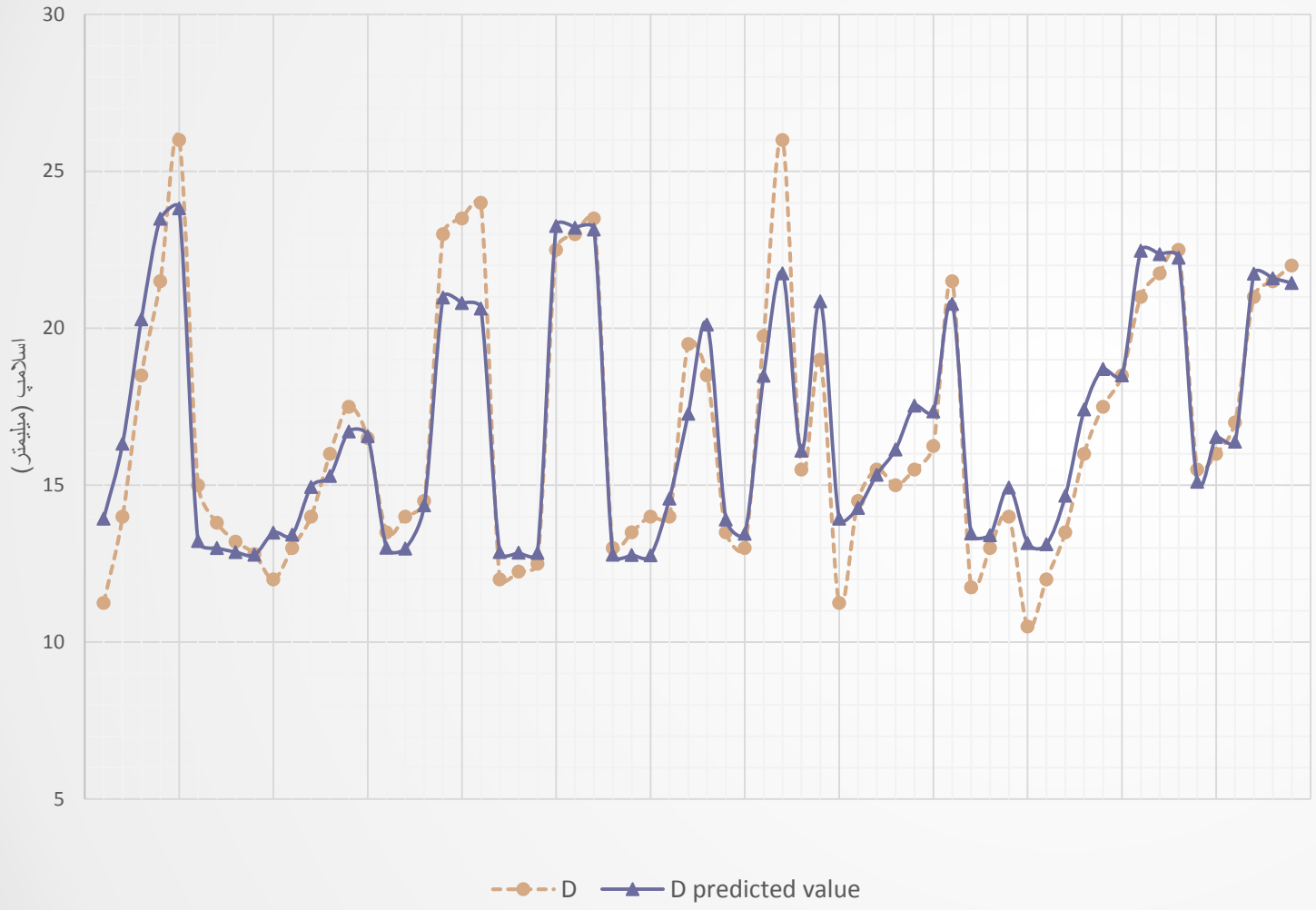
R^2 :0.94







شبکه عصبی اسلامپ

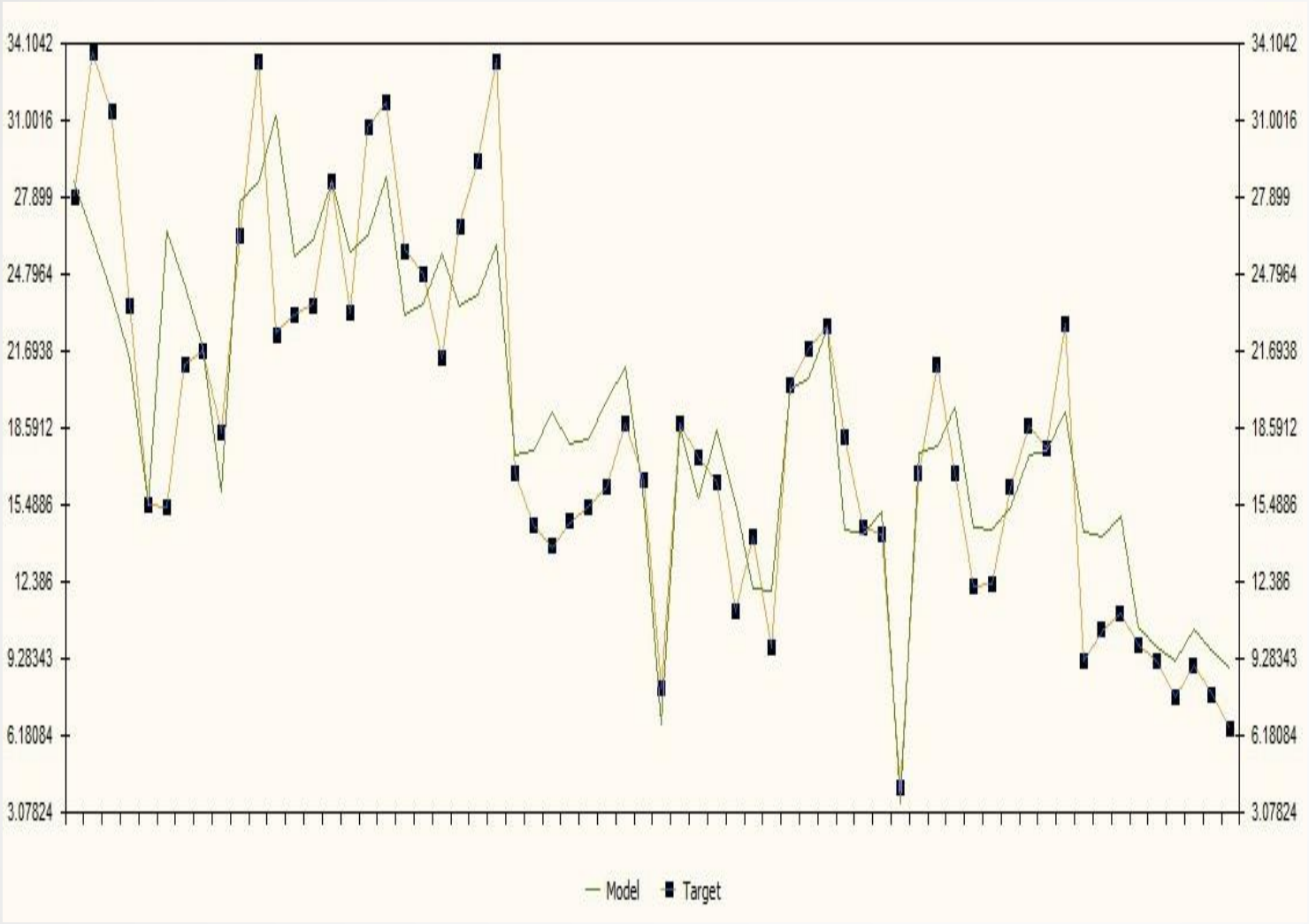


شبکه عصبی اسلامپ

MAE:1.10

RMSE:1.42

R^2 :0.94

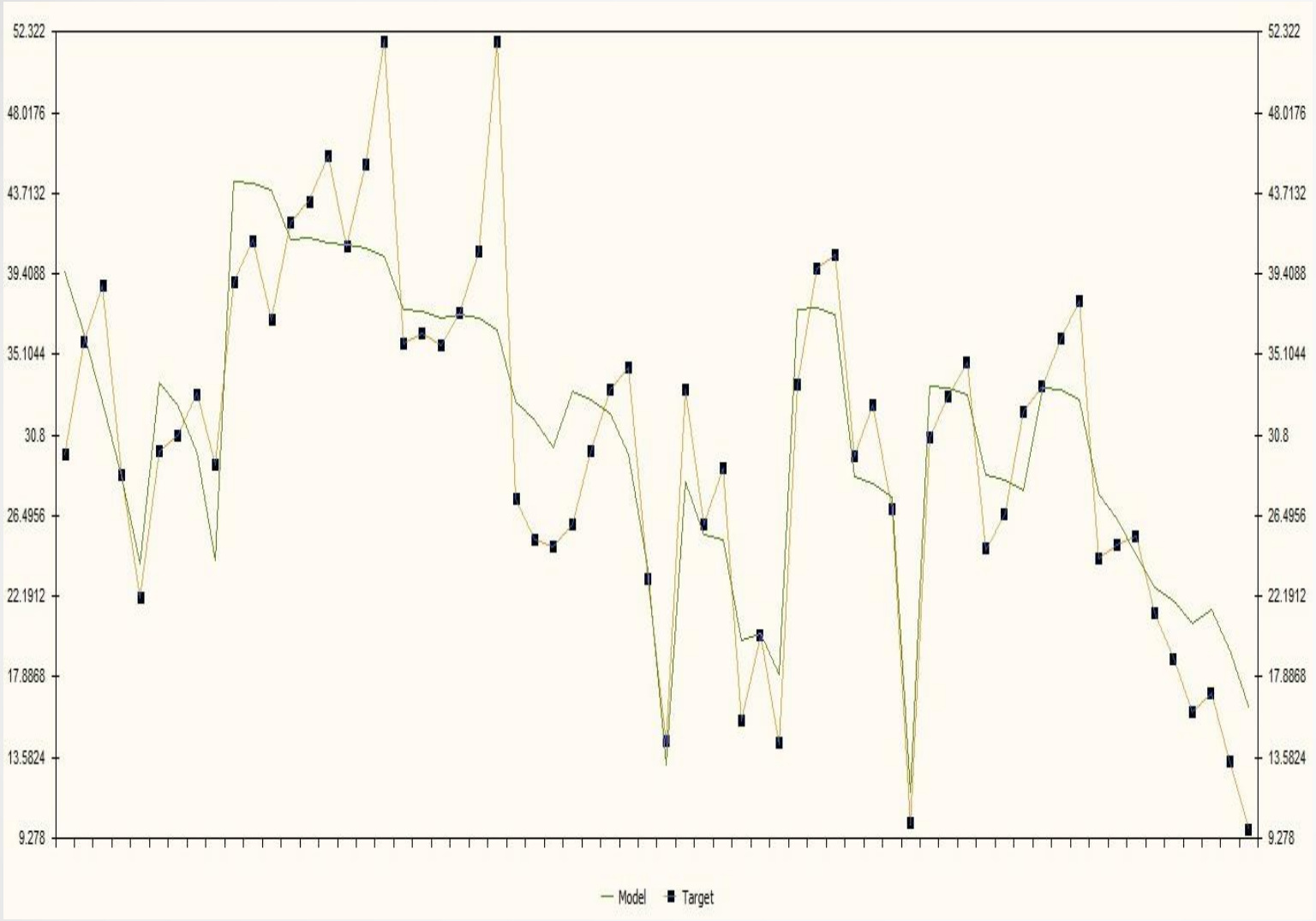


الگوریتم ژنتیک
سن ۷روزه

MAE:2.85

RMSE:2.64

R^2 :0.78

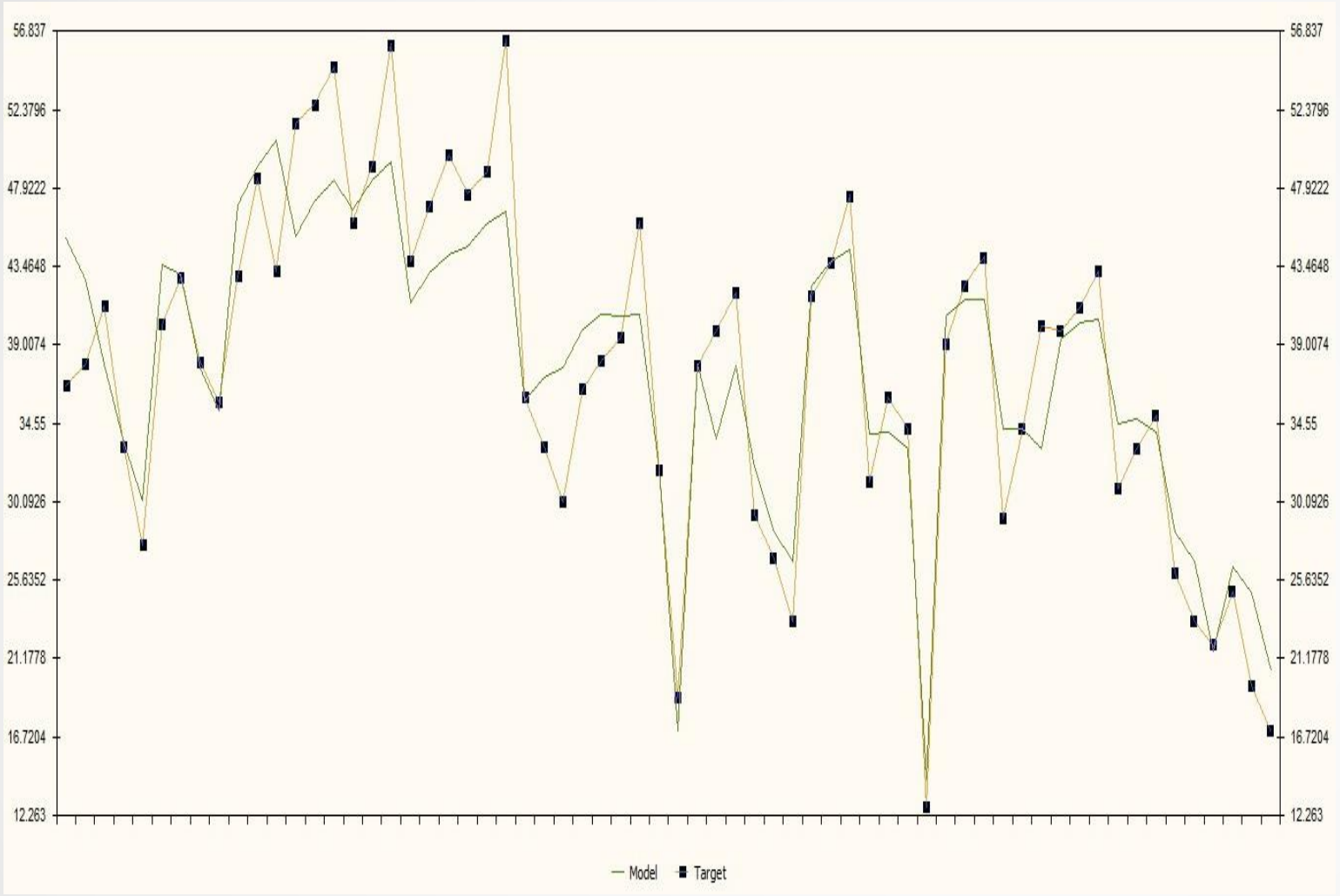


الگوریتم ژنتیک
سن ۲۸روزه

MAE:3.4

RMSE:4.4

R^2 :0.788

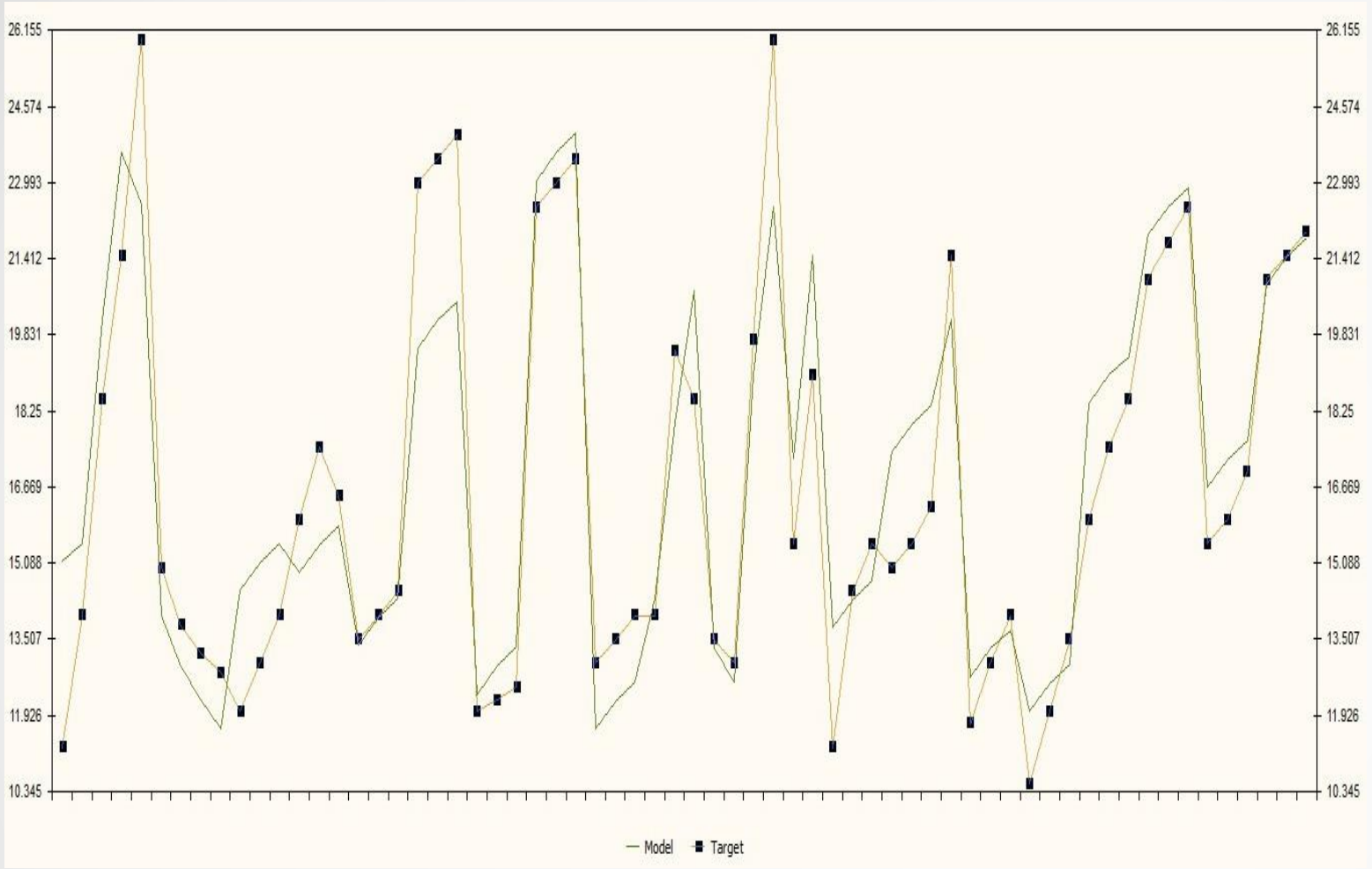


الگوریتم ژنتیک
سن ۹۰روزه

MAE:2.94

RMSE:3.77

R^2 :0.85

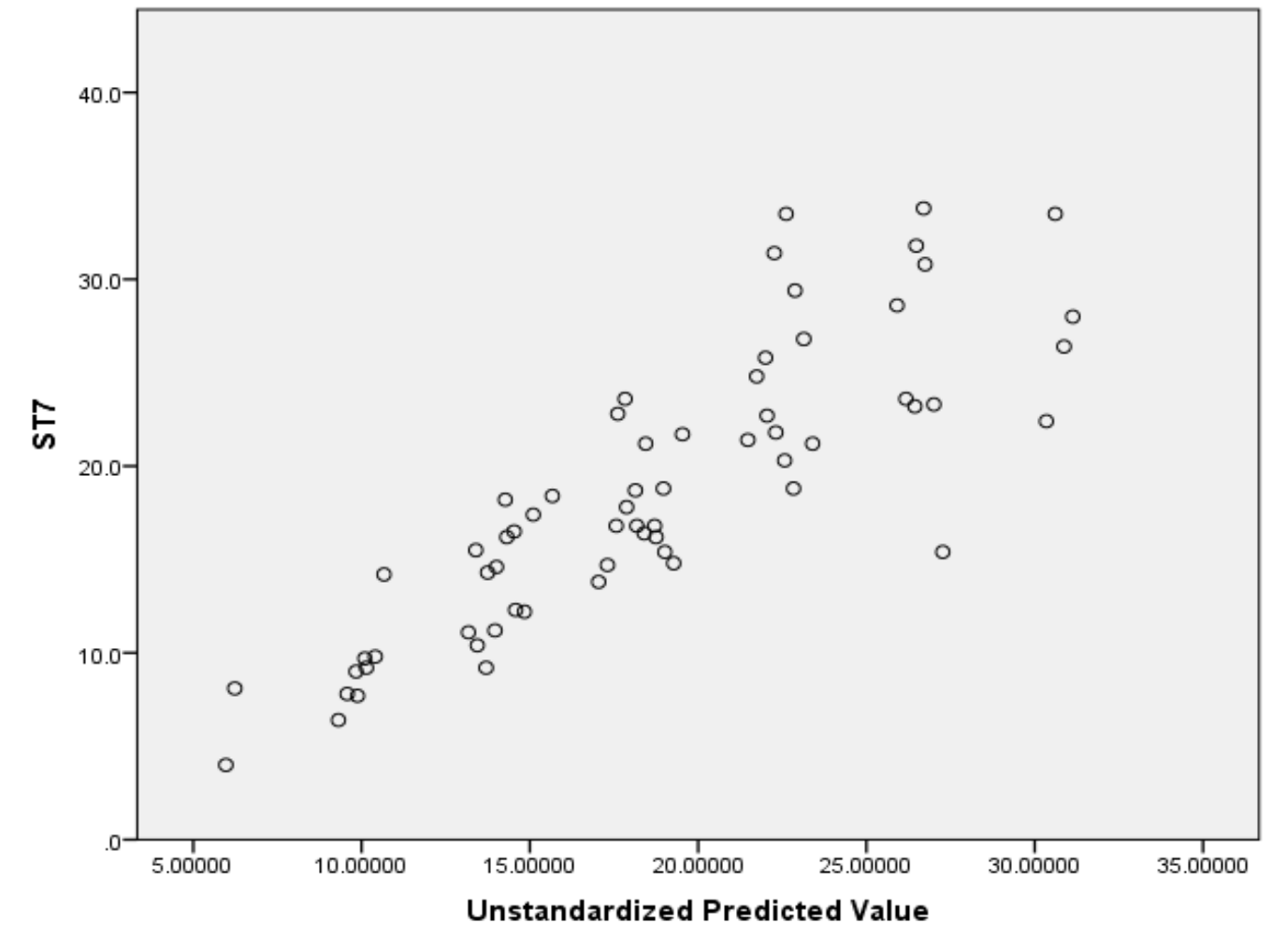


الگوریتم ژنتیک اسلامپ

MAE:1.31

RMSE:1.65

R^2 :0.84



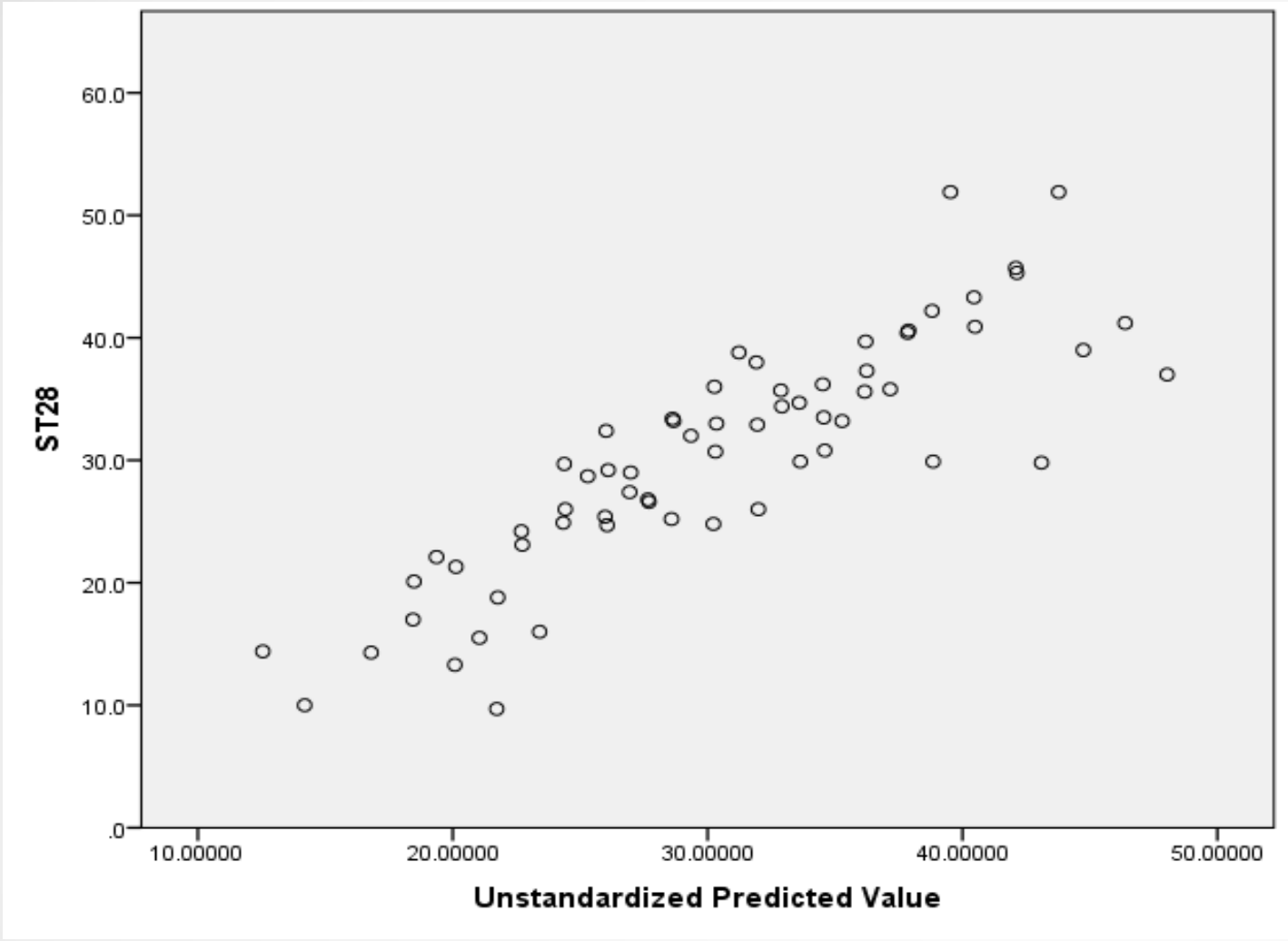
رگرسیون خطی
سن ۷ روزه

$$7\ st. = 31.132 - 0.066 * F - 0.057 * S - 0.012 * M$$

MAE:3.05

RMSE:3.89

R^2 :0.721



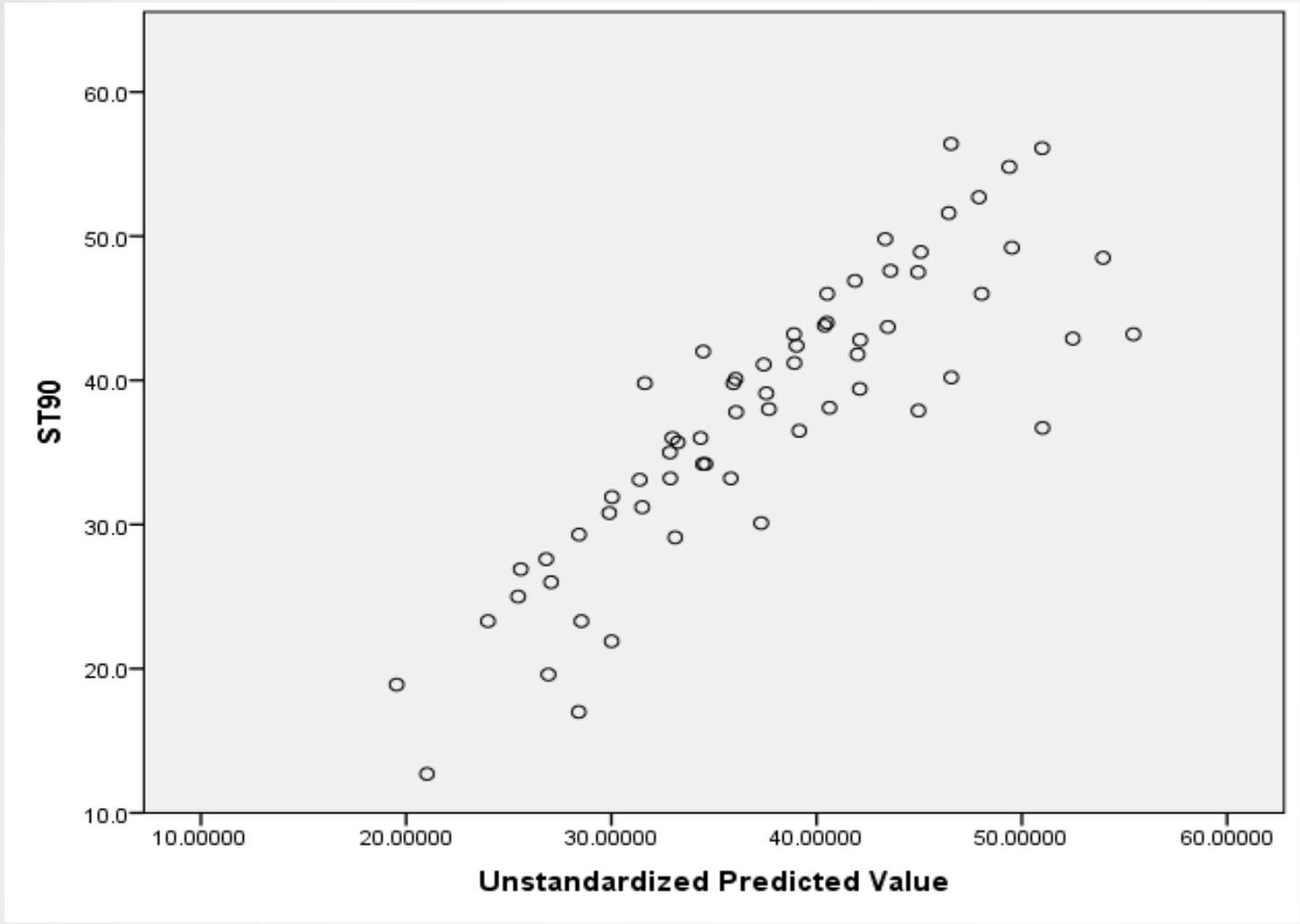
رگرسیون خطی سن ۲۸ روزه

$$28\ st. = 43.096 - 0.088 * F - 0.063 * S - 0.073 * M$$

MAE:3.69

RMSE:4.83

R^2 :0.742



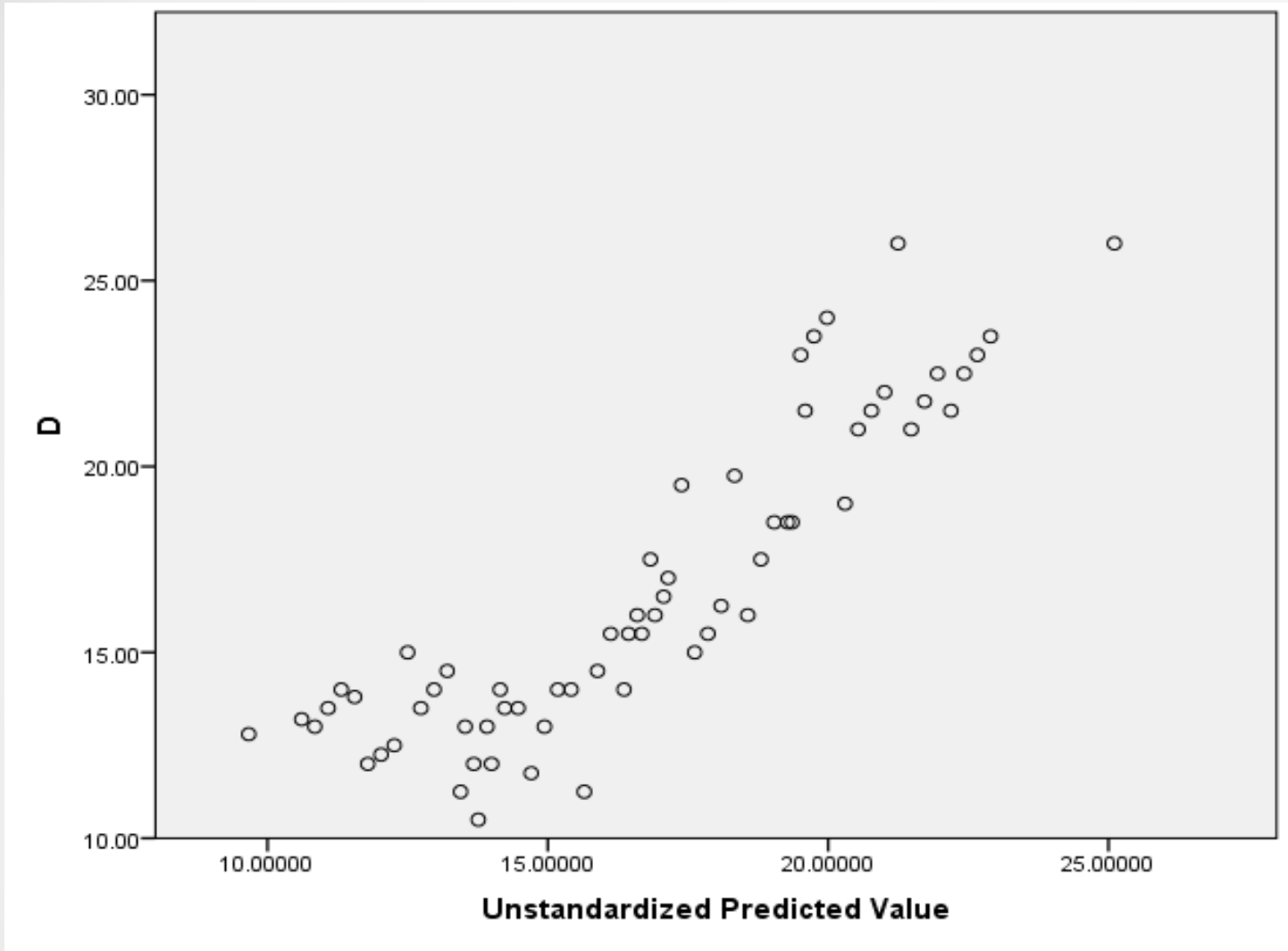
رگرسیون خطی
سن ۹۰ روزه

$$90\ st. = 51.008 - 0.090 * F - 0.066 * S + 0.066 * M$$

MAE:3.85

RMSE:5

R^2 :0.731



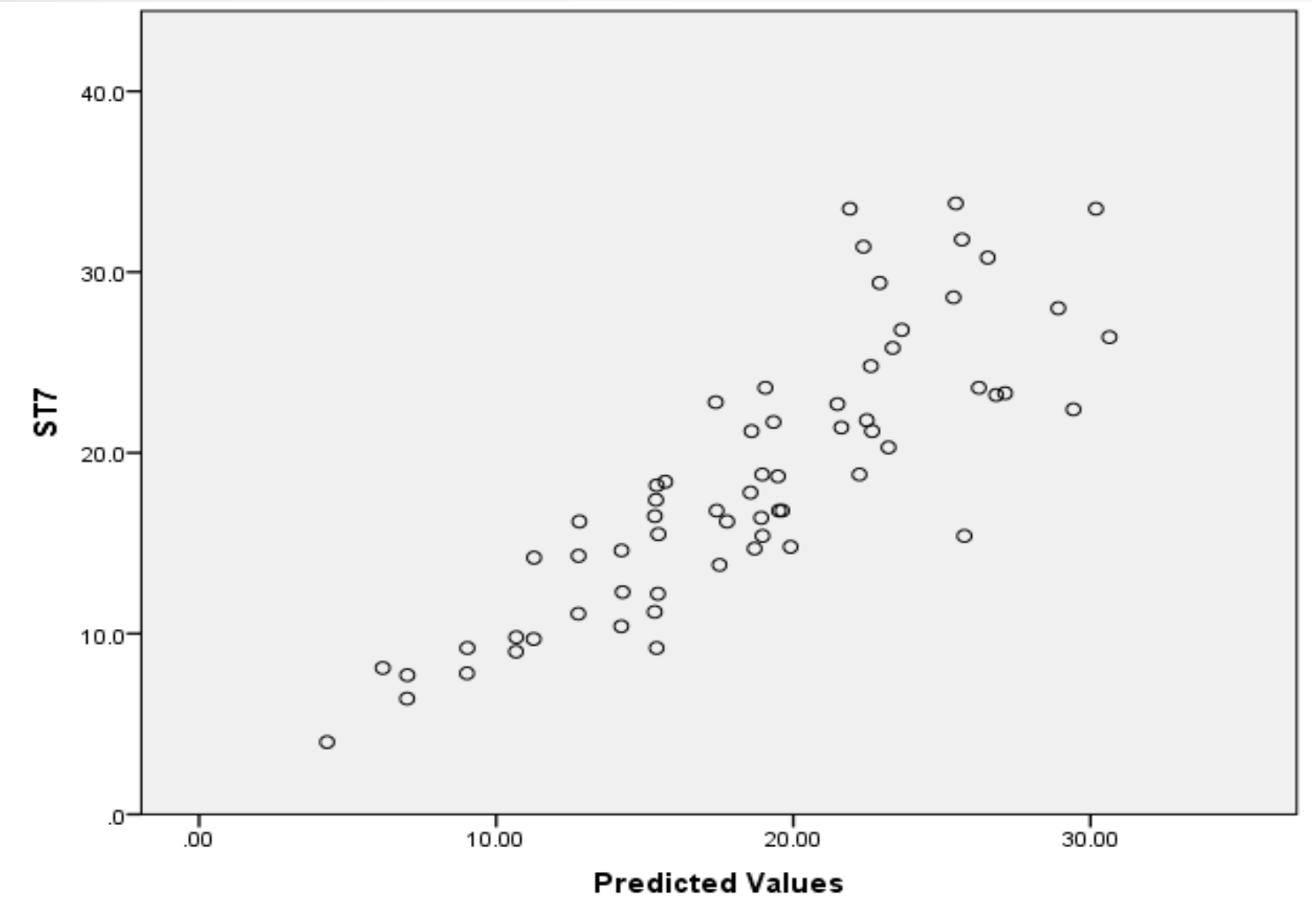
رگرسیون خطی اسلامپ

$$slump = 13.444 + 0.043 * F - 0.014 * S + 0.01 * M$$

MAE:1.5

RMSE:1.9

R^2 :0.79



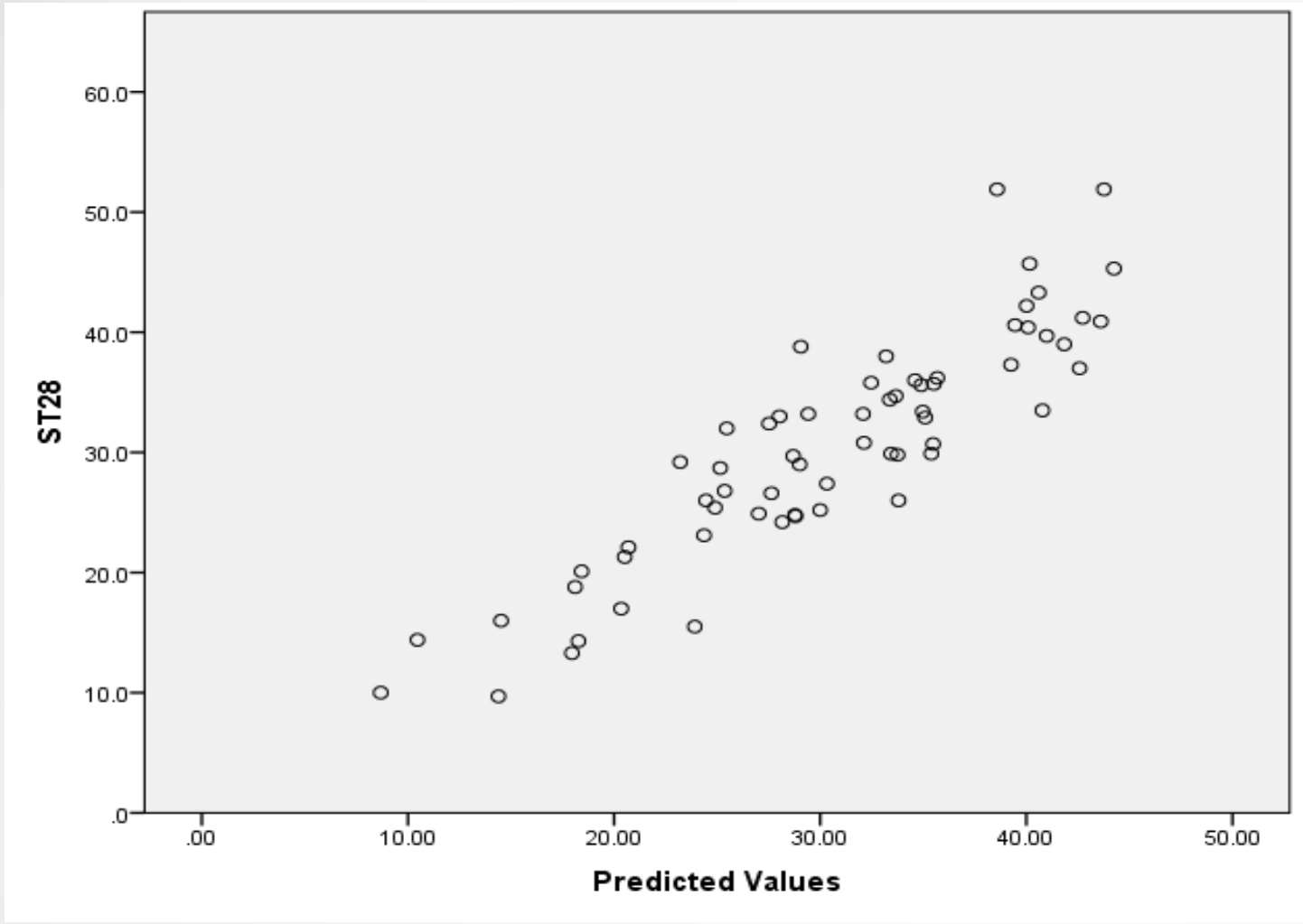
رگرسیون غیر خطی
سن ۷روزه

$$7\ st. = 0.534 * C^{0.654} * F^{-0.005} * S^{-0.002} * M^{0.029}$$

MAE:3

RMSE:3.9

R^2 :0.721



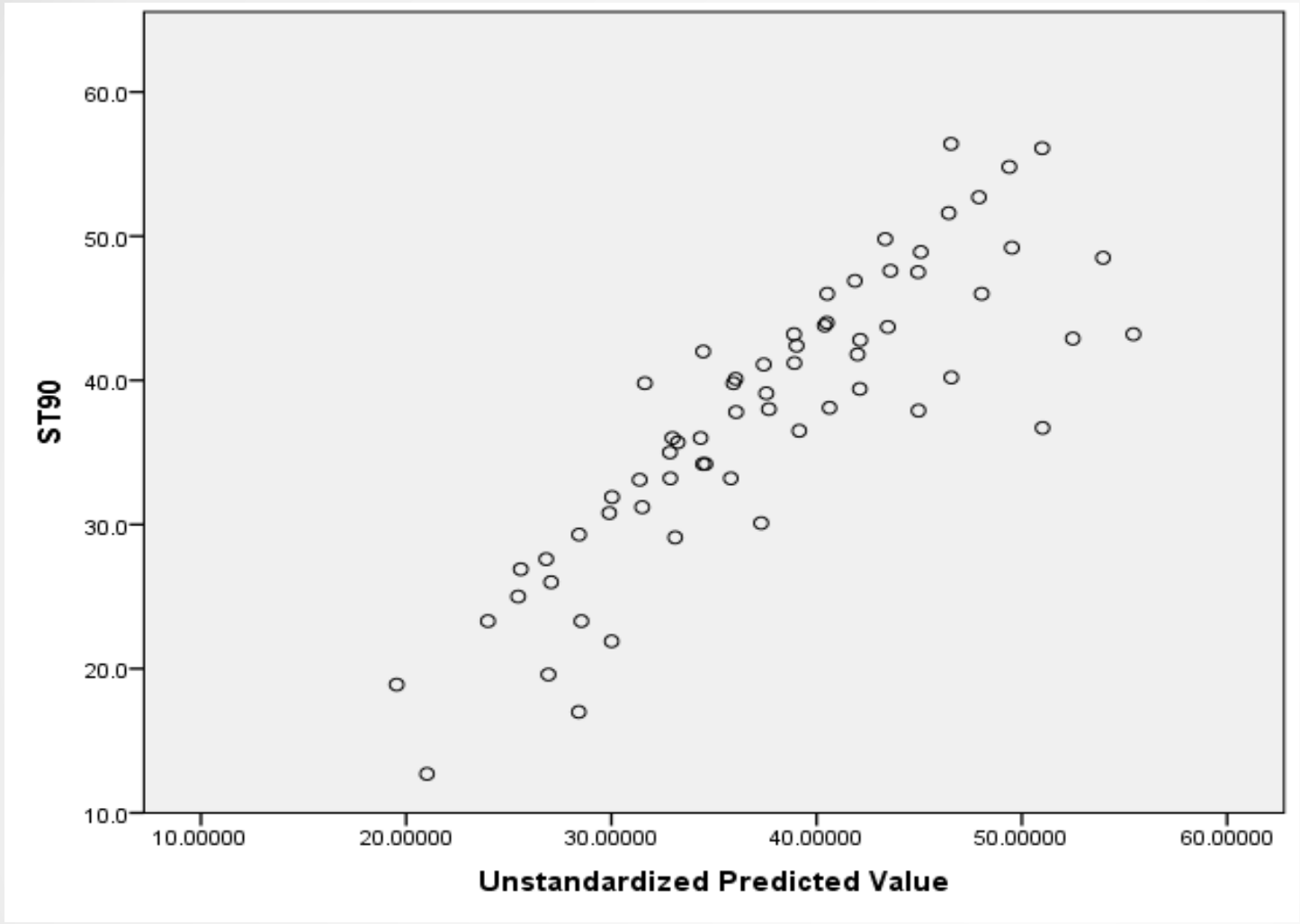
رگرسیون غیر خطی
سن ۲۸روزه

$$28\,st. = 0.743 * C^{0.625} * F^{0.015} * S^{0.035} * M^{0.079}$$

MAE:3.23

RMSE:4.17

R^2 :0.808



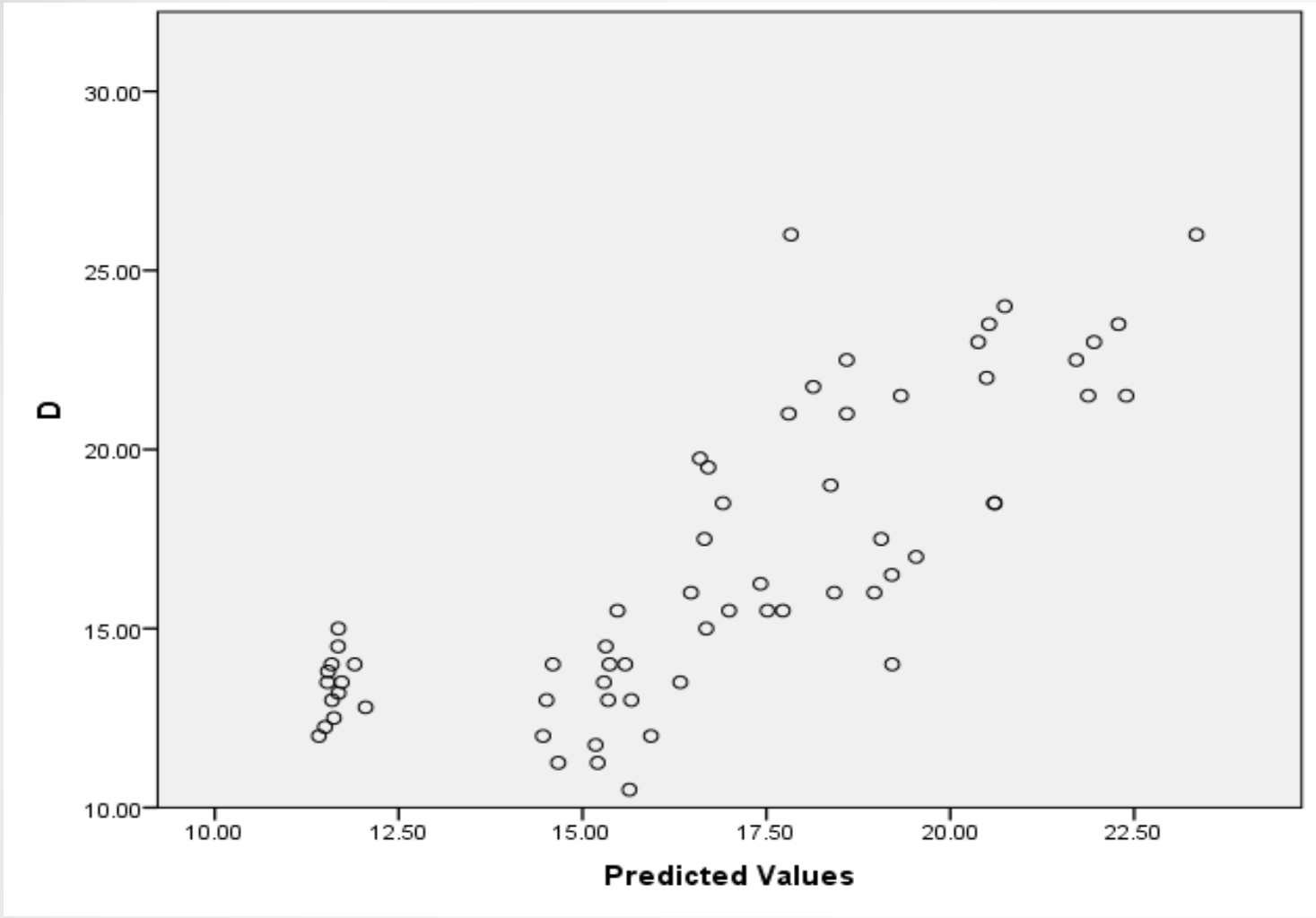
رگرسیون غیر خطی سن ۹۰روزه

$$90\ st. = 1.618 * C^{0.531} * F^{0.017} * S^{0.032} * M^{0.059}$$

MAE:3.29

RMSE:4.07

R^2 :0.826



رگرسیون غیر خطی اسلامپ

$$slump = 37.054 * C^{-0.152} * F^{0.058} * S^{-0.060} * M^{-0.007}$$

MAE:2.20

RMSE:2.59

R^2 :0.607

1

فصل اول

مقدمه ، بیان مسئله ، اهداف و ضرورت تحقیق

2

فصل دوم

پیشینه پژوهش ، مفاهیم پایه

3

فصل سوم

مصالح مصرفی ، روند کار آزمایشگاهی و محاسباتی

4

فصل چهارم

بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی

5

فصل پنجم

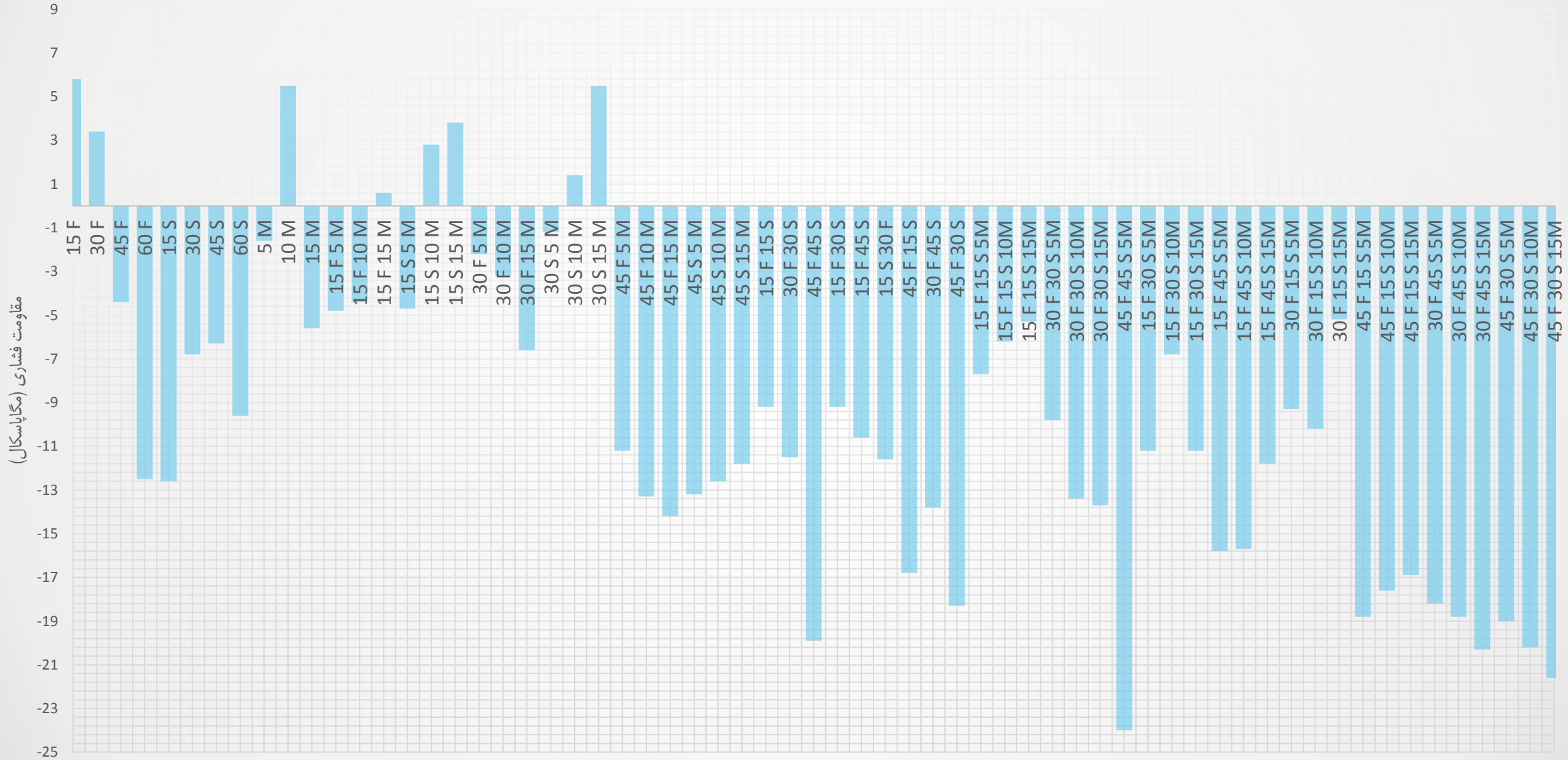
نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل پنجم

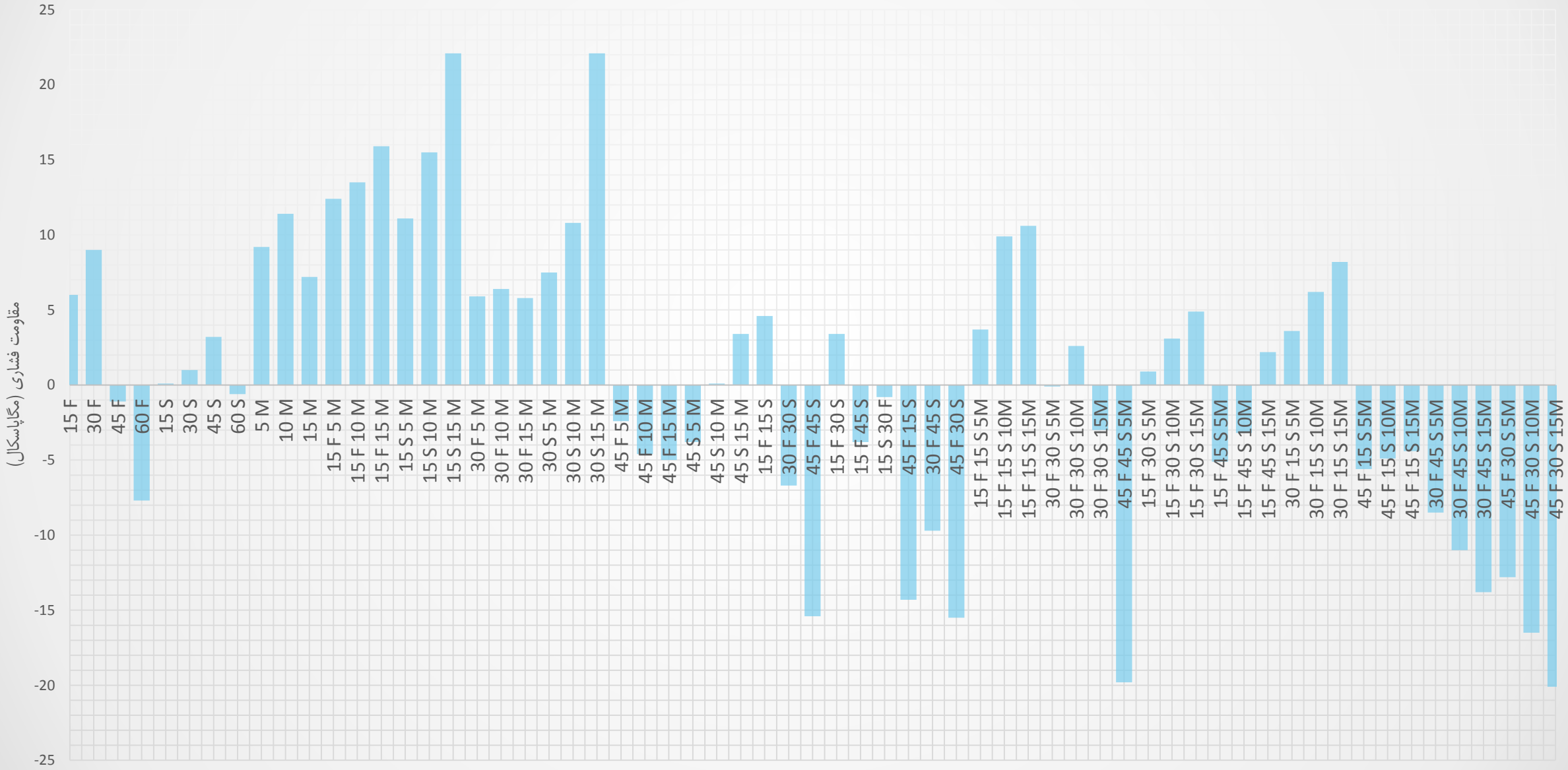
- نتیجه گیری
- پیشنهادات

زمان: ۳ دقیقه

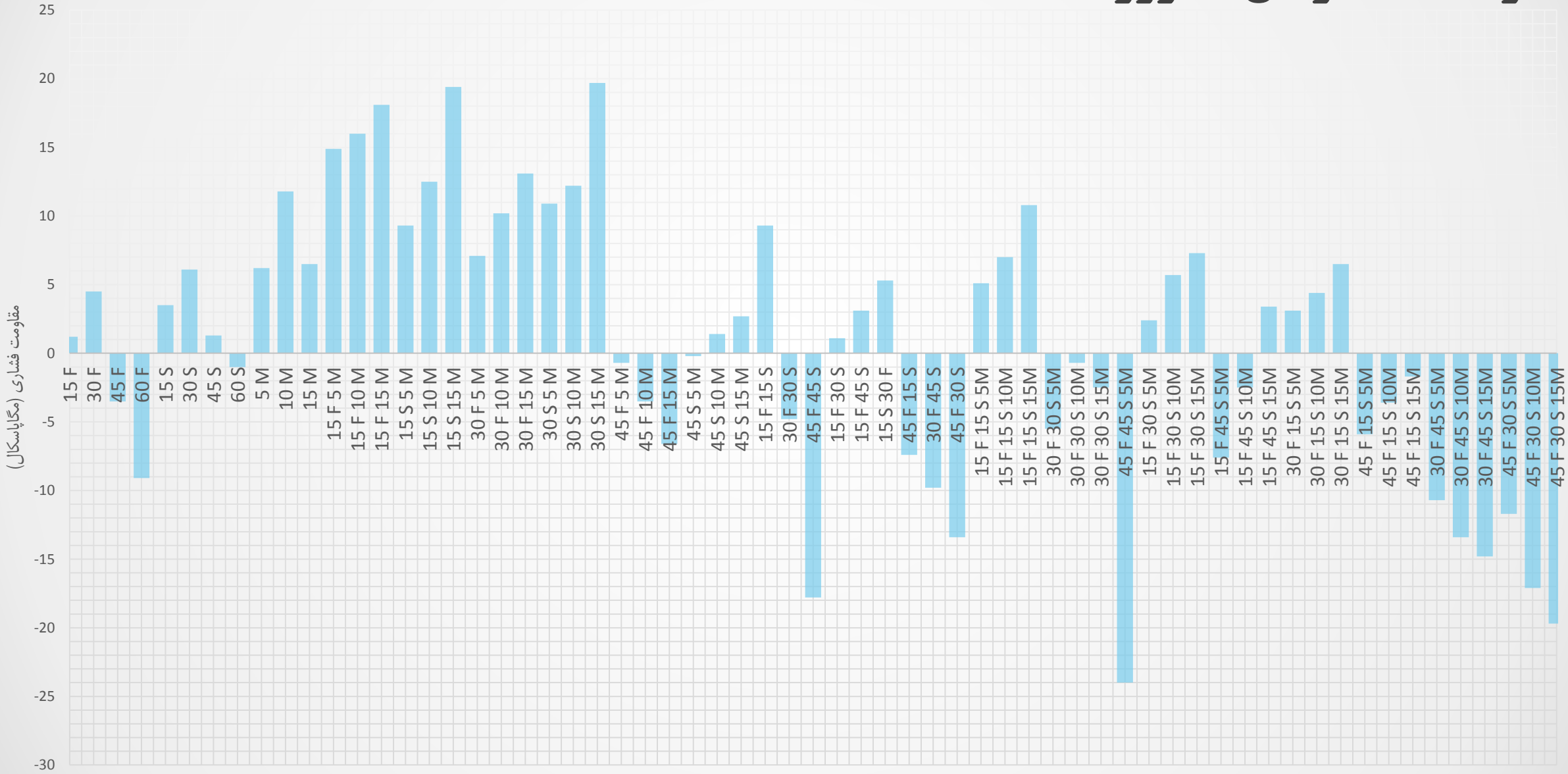
تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس بر مقاومت فشاری ملات در مقایسه با نمونه شاهد در سن ۷ روزه



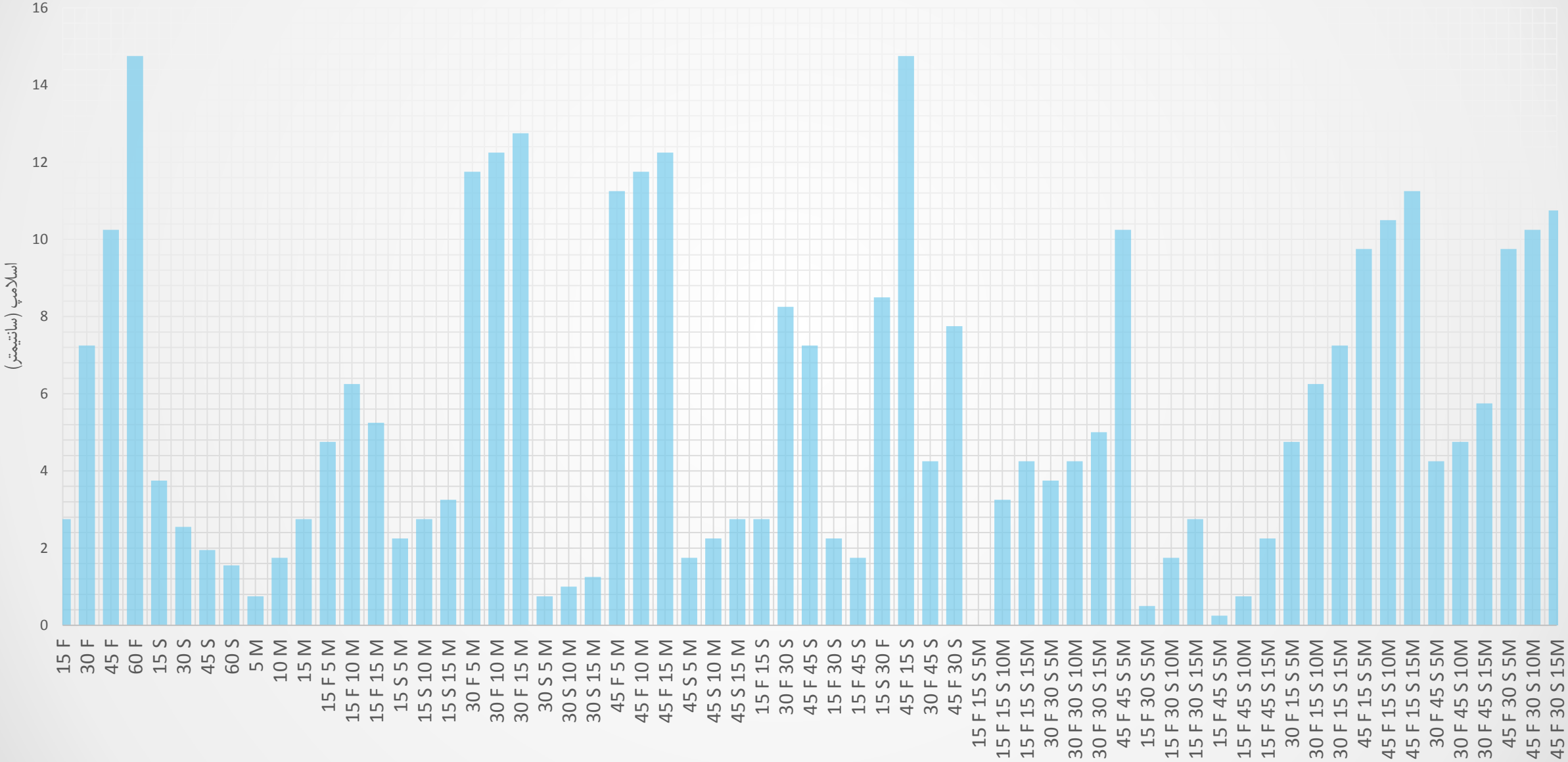
تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس بر مقاومت فشاری ملات در مقایسه با نمونه شاهد در سن ۲۸ روزه



تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس بر مقاومت فشاری ملات در مقایسه با نمونه شاهد در سن ۹۰ روزه



تأثیر افزودن سرباره و خاکستر بادی و میکروسیلیس بر اسلامپ ملات در مقایسه با نمونه شاهد



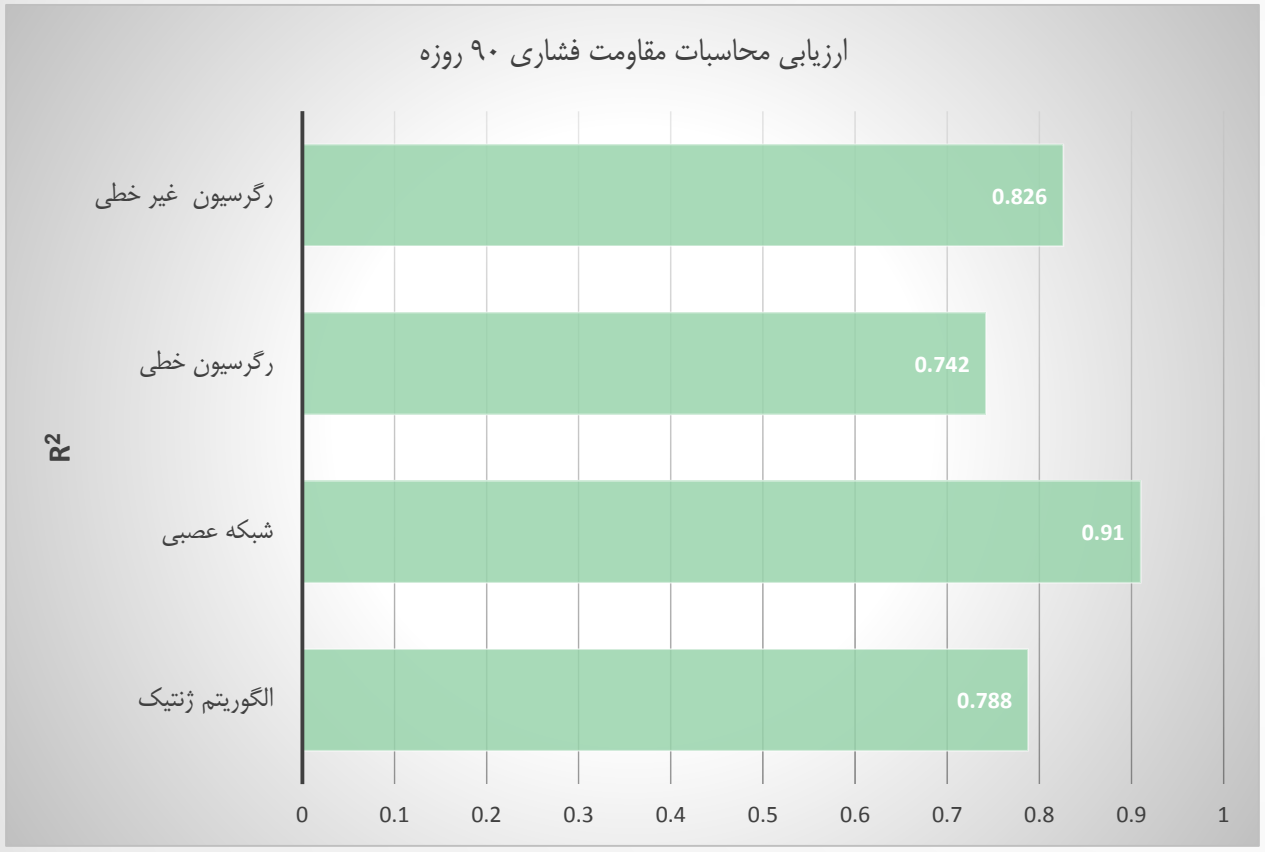
نتیجه گیری کلی

- افزودن پوزولان عموما مقاومت اولیه را کاهش میدهد.
- با توجه به کاهش مقاومت اولیه زمان قالب برداری را به تعویق می اندازد و طبعا هزینه قالب بندی را افزایش میدهد.
- تا حد جایگزینی ۶۰ درصد پوزولان به جای سیمان افزایش مقاومت مشاهده میشود ولی بعد از حد ۶۰ درصد سبب کاهش مقاومت میشود.
- جایگزینی پوزولان به جای سیمان سبب کاهش مصرف سیمان و استفاده از مواد بازیافتی میشود که در جهت حفظ محیط زیست میباشد.
- افزودن پوزولان عموما نیاز آبی ملات را کاهش میدهد و روانی آن را افزایش میدهد.
- بهینه ترین طرح مخلوط دوگانه از نظر مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱۰ درصد دوده سیلیسی میباشد که حدود ۳۲٪ مقاومت نمونه شاهد را بهبود میبخشد.
- بهینه ترین طرح مخلوط سه گانه از نظر مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱۵ درصد دوده سیلیسی و ۱۵ درصد سرباره کوره آهنگدازی میباشد که حدود ۵۲٪ مقاومت نمونه شاهد را بهبود میبخشد.
- بهینه ترین طرح مخلوط چهار گانه از نظر مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱۵ درصد دوده سیلیسی و ۱۵ درصد سرباره کوره آهنگدازی و ۱۵ درصد خاکستر بادی میباشد حدود ۲۹٪ مقاومت نمونه شاهد را بهبود میبخشد.

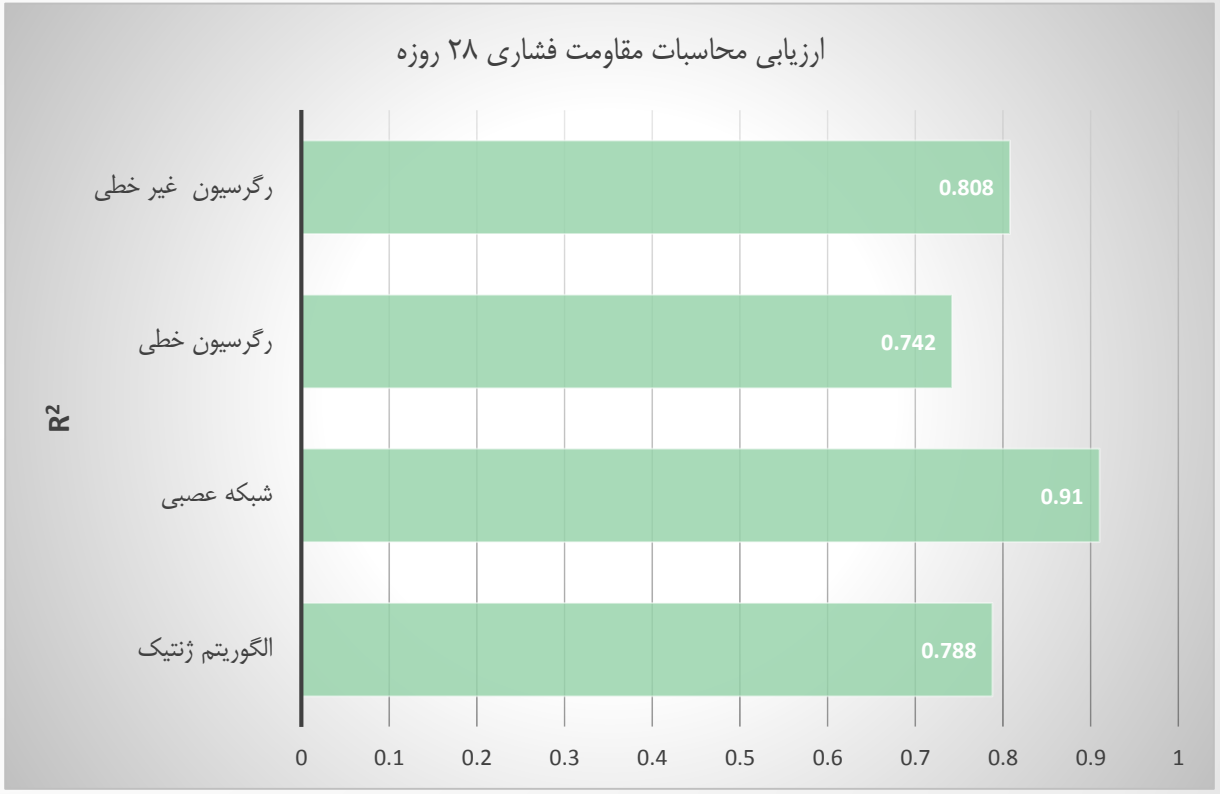
نتیجه گیری کلی

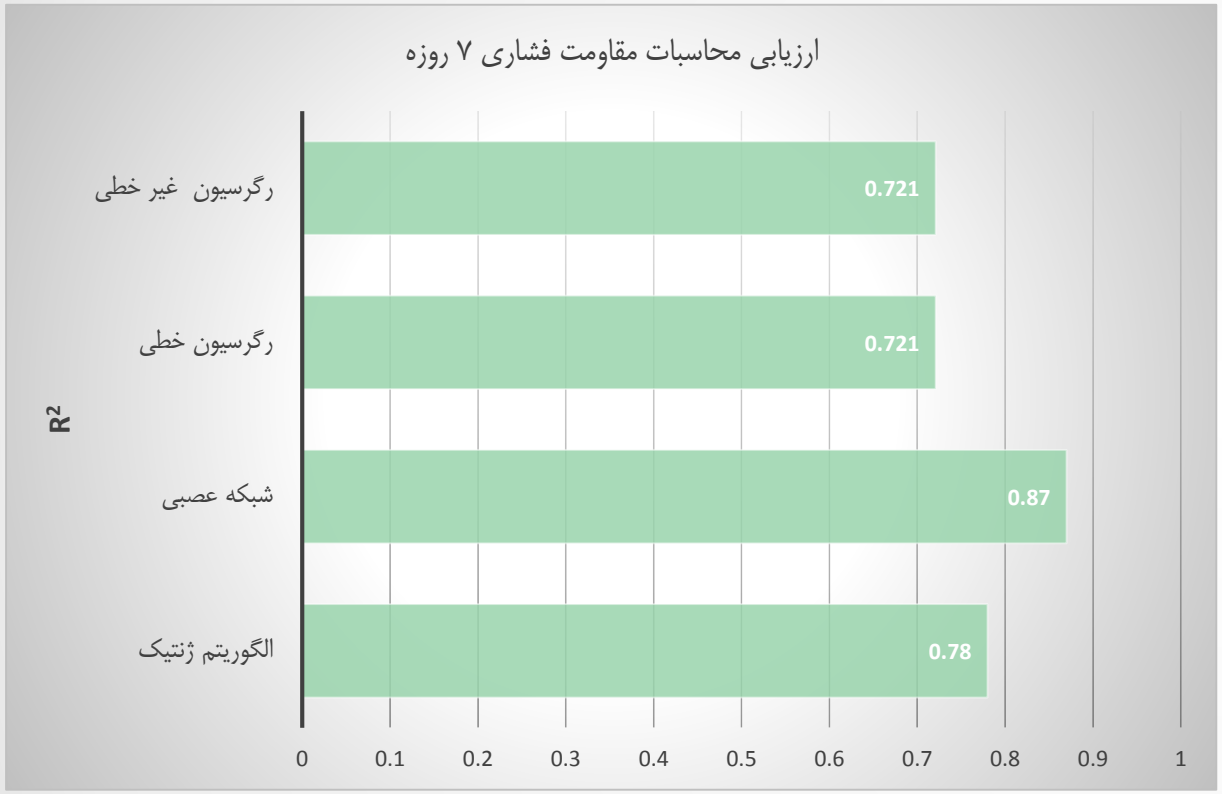
- با بالا رفتن سن نمونه ها روند کسب مقاومت ملات های محتوی پوزولان بهبود میابد.
- افزایش روانی ملات های مخلوط سبب جداشدگی اجزا ملات نمیشود.
- تراکم پذیری ملات های محتوی پوزولان نسبت به نمونه شاهد بهتر میباشد.
- سطح در تماس ملات های محتوی پوزولان با قالب صاف و صیقلی تر از نمونه شاهد میباشد.
- افزودن پوزولان عموما سبب کاهش جرم واحد حجم ملات میشود و نفوذ پذیری آن را کاهش میدهد.

نتیجه گیری برنامه محاسباتی



نتیجه گیری برنامه محاسباتی





نتیجه گیری کلی برنامه محاسباتی

- ساده ترین روش پیش بینی رگرسیون خطی میباشد
- دقیق ترین روش پیش بینی استفاده از شبکه عصبی میباشد که میزان خطای بسیار کمی دارد و مقدار ضریب همبستگی آن نزدیک به یک میباشد یعنی رابطه تقریبا مستقیم بین مقادیر ورودی و خروجی برقرار کرده است.

با تشکر از زحمات بی دریغ جناب آقای
دکتر صالح اهری
و با تشکر از سرکار خانم دکتر ابراهیمی اصل
و جناب آقای دکتر زندی

با سپاس از توجه شما