





دفاع کارشناسی ارشد عمران-ژئوتکنیک

تثبیت خاک رس با استفاده از لجن فاضلاب در روش ژئوپلیمر

عطیه منش معاونی

استاد راهنما :

دکتر شهرام پوراکبر

استاد مشاور:

دکتر دانیال معظمی

زمستان 1400

ارائه در یک نگاه



مقدمه

سوالات پژوهشی

2- مقاومت خاک تثبیت شده با لجن فاضلاب می تواند با مقاومت خاک تثبیت شده با سیمان و آهک برابری کند؟

1- آیا می توان از روش ژئوپلیمر برای حذف سیمان و آهک استفاده کرد؟

3- چه حجمی از این پسماند را می توان در تثبیت خاک استفاده کرد؟

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

اهداف پژوهشی

مقدمه

1) بدست آوردن مقدار بهینه لجن فاضلاب از طریق آزمایش UCS

تاریخچه
مطالعات

2) بررسی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) خاک تثبیت شده از طریق آزمایش برش مستقیم

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

3) تغییرات ریزساختاری ترکیبات ژئوپلیمریاز از طریق عکس برداری الکترونی (SEM) و طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

نتیجه گیری و
پیشنهادات

مشکلات سیمان و آهک

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات



تاریخچه مطالعات

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

2010

برنال

میکرو
سیلیس

2006

زاهاراکى

سرباره
فرونیکل

2003

چنگ و
چيو

سرباره
کوره
آهن
گدازى

1995

تممی

سرباره
آسیاب
شده

تاریخچه مطالعات

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

2021

آپارنا

لجن
فاضلاب

2020

صباغ

پودر
شیشه

2016

اساعدی

نانورس

2012

کریستلو

خاکستر
بادی

✓ آزمایش های انجام شده

← آزمایش هیدرومتری

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات



✓ آزمایش های انجام شده

← آزمایش حد روانی



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصلح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

✓ آزمایش های انجام شده

← آزمایش حد خمیری



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

✓ آزمایش های انجام شده

← آزمایش تراکم استاندارد



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

✓ آزمایش های انجام شده

←* آزمایش برش مستقیم



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصلح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

مشخصات خاک طبیعی مورد استفاده

پارامتر	استاندارد	مقدار
نام خاک در سیستم طبقه بندی متحد	ASTM D698 [123]	CL
درصد رطوبت بهینه (w_{opt})	ASTM D698 [123]	12/5%
حداکثر وزن مخصوص خشک ($\gamma_{d max}$)	ASTM D698 [123]	1/95(g/cm ³)
چگالی دانه های خشک (Gs)	ASTM D854 [124]	2/65
نشانه خمیری (PI)	ASTM D4318-10[122]	8
حد خمیری (PL)	ASTM D4318-10[122]	21
حد روانی (LL)	ASTM D 4318-10[122]	29
مقاومت فشاری تک محوری (UCS)	ASTM D2166/D2166M[126]	247(kPa)
چسبندگی (C)	ASTM D 3080[127]	0/33(kg/cm ²)
زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	ASTM D 3080[127]	18°

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

فلوچارت نحوه ساخت نمونه ها برای آزمایش UCS

مواد
افزودنی



EDTA



لجن فاضلاب

مواد قلیایی



سدیم
هیدروکسید



پتاسیم
هیدروکسید

ترکیب با
خاک رس

مخلوط و
عمل آوری

محلول
قلیایی

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

مشخصات مصالح برای آزمایش UCS

گروه شاهد	نوع مواد افزودنی	نام اختصاری	نسبت چسب به سود	مولاریته سود (M)	درصد چسب و سود	ω_{opt} (%)	γ_d^{max} (g/cm ³)	دوره ای عمل آوری (روز)
S	خاک طبیعی	S	-	-	-	%19	1/95	7-14-28-45
SG	خاک + چسب + سود	SG	2-1	10	%19	%19	1/93	7-14-28-45
SGS	خاک + چسب + سود + لجن فاضلاب %1/5	SGS1/5	2-1	10	%23	%23	1/87	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + لجن فاضلاب %2	SGS2	2-1	10	%23	%23	1/87	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + لجن فاضلاب %2/5	SGS2/5	2-1	10	%23	%23	1/87	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + لجن فاضلاب %3/5	SGS3/5	2-1	10	%23	%23	1/87	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + لجن فاضلاب %4/5	SGS4/5	2-1	10	%23	%23	1/87	7-14-28-45
SKS	خاک + چسب + پتاس + لجن فاضلاب %1/5	SKS1/5	2-1	10	%21	%21	1/91	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + لجن فاضلاب %2	SKS2	2-1	10	%21	%21	1/91	7-14-28-45

مقدمه

تاریخچه مطالعات

مشخصات مصالح

نتایج آزمایشات

نتیجه گیری و پیشنهادات

مشخصات مصالح برای آزمایش UCS

SKS	خاک + چسب + پتاس + لجن فاضلاب %2/5	SKS2/5	2-1	10	%21	%21	1/91	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + لجن فاضلاب %3/5	SKS3/5	2-1	10	%21	%21	1/91	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + لجن فاضلاب %4/5	SKS4/5	2-1	10	%21	%21	1/91	7-14-28-45
SGSE	خاک + چسب + سود + EDTA1%+ لجن فاضلاب %1/5	SGSE1/5	2-1	10	%23	%23	1/92	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + EDTA1%+ لجن فاضلاب %2	SGSE2	2-1	10	%23	%23	1/92	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + EDTA1%+ لجن فاضلاب %2/5	SGSE2/5	2-1	10	%23	%23	1/92	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + EDTA1%+ لجن فاضلاب %3/5	SGSE3/5	2-1	10	%23	%23	1/92	7-14-28-45
	خاک + چسب + سود + EDTA1%+ لجن فاضلاب %4/5	SGSE4/5	2-1	10	%23	%23	1/92	7-14-28-45

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

مشخصات مصالح برای آزمایش UCS

SKSE	خاک + چسب + پتاس + EDTA1% + لجن فاضلاب %5/1	SKSE1/5	2-1	10	%21	%21	1/9	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + EDTA1% + لجن فاضلاب %2	SKSE2	2-1	10	%21	%21	1/9	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + EDTA1% + لجن فاضلاب %2/5	SKSE2/5	2-1	10	%21	%21	1/9	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + EDTA1% + لجن فاضلاب %3/5	SKSE3/5	2-1	10	%21	%21	1/9	7-14-28-45
	خاک + چسب + پتاس + EDTA1% + لجن فاضلاب %4/5	SKSE4/5	2-1	10	%21	%21	1/9	7-14-28-45
SC	خاک + سیمان %6	SC6	-	-	-	%12/5	1/95	7-14-28-45
	خاک + سیمان %10	SC10	-	-	-	%12/5	1/95	7-14-28-45
SL	خاک + آهک %10	SL10	-	-	-	%15	1/94	7-14-28-45

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

مشخصات مصالح برای آزمایش برش مستقیم

نوع مواد افزودنی	گروه	دانسیته خشک ماکزیمم ($\frac{gr}{cm^3}$)	رطوبت بهینه (%)	دوره عمل آوری (روز)
خاک طبیعی	S	1/95	17	-
خاک طبیعی + چسب + سود	SG	1/93	19	2
		1/93	19	7
خاک طبیعی + چسب + پتاس	SK	1/91	19	2
		1/91	19	7
خاک طبیعی + چسب + سود + لجن فاضلاب	SGS2/5	1/87	23	2
		1/87	23	7
خاک طبیعی + چسب + پتاس + لجن فاضلاب	SKS2/5	1/91	21	2
		1/91	21	7
خاک طبیعی + چسب + سود + لجن فاضلاب + EDTA	SGSE2/5	1/92	23	2
		1/92	23	7
خاک طبیعی + چسب + پتاس + لجن فاضلاب + EDTA	SKSE2/5	1/9	21	2
		1/9	21	7

مقدمه

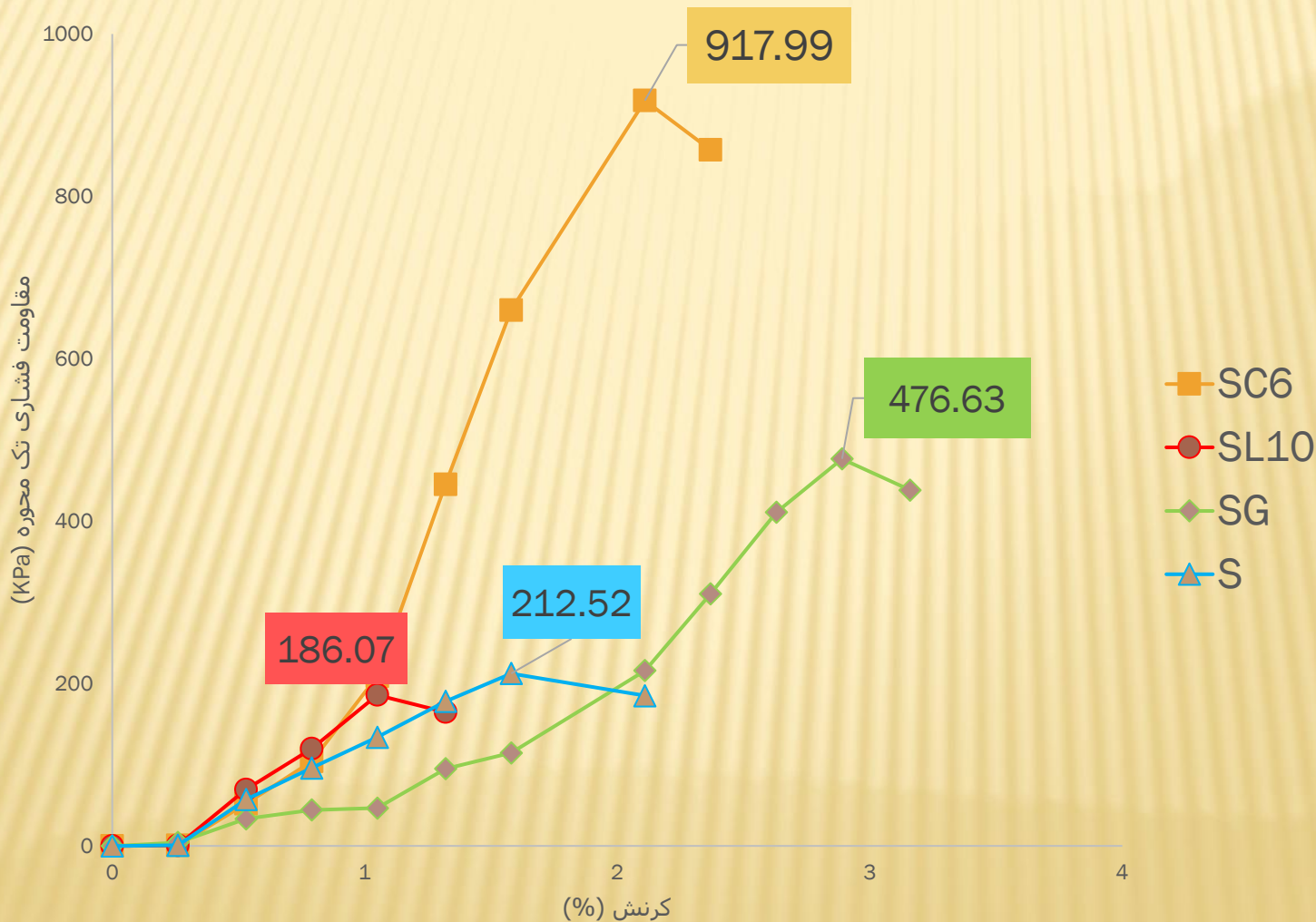
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نمودار نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر (SG) ، خاک طبیعی (S) و نمونه های تثبیت شده با سیمان (SC6) و آهک (SL10) در دوره عمل آوری 7



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

آزمایشات مقامت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر (SG)، خاک طبیعی (S) و نمونه های تثبیت شده با سیمان (SC6) و آهک (SL10) در دوره های عمل آوری 7، 14، 28 و 45 روزه

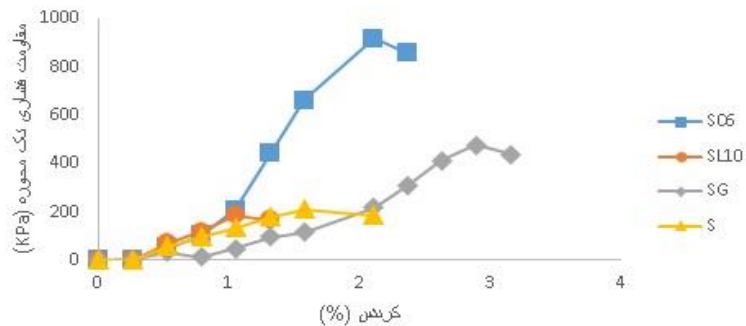
مقدمه

تاریخچه
مطالعات

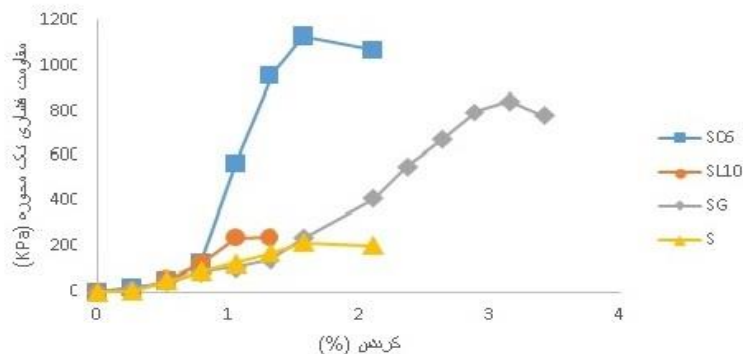
مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

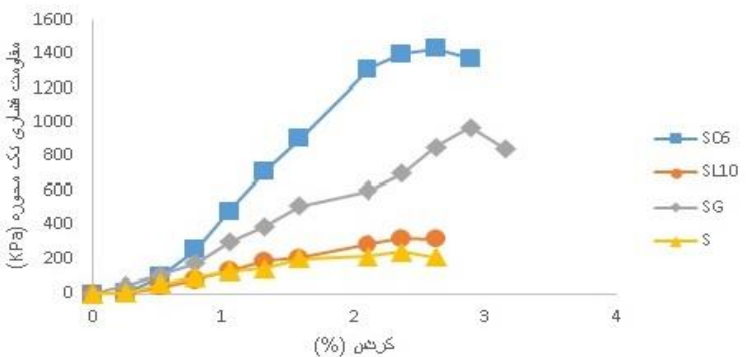
نتیجه گیری و
پیشنهادات



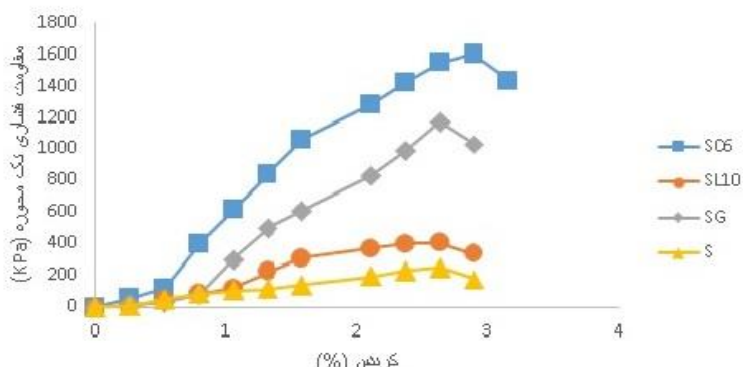
شکل 1-4 الف- عمل آوری 7 روزه



شکل 1-4 ب- عمل آوری 14 روزه



شکل 1-4 ج- عمل آوری 28 روزه



شکل 1-4 د- عمل آوری 45 روزه

آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر (SK)، خاک طبیعی (S) و نمونه های تثبیت شده با سیمان (SC6) و آهک (SL10) در دوره های عمل آوری 7، 14، 28 و 45 روزه

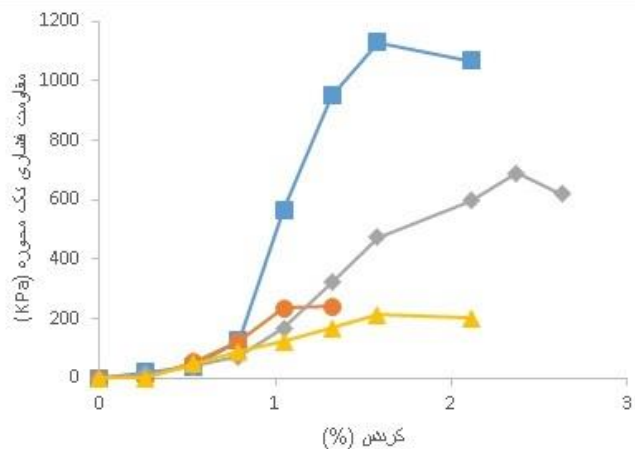
مقدمه

تاریخچه
مطالعات

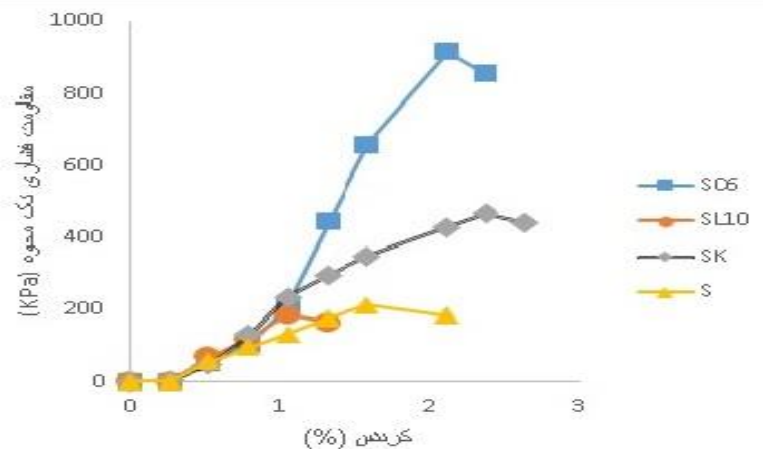
مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

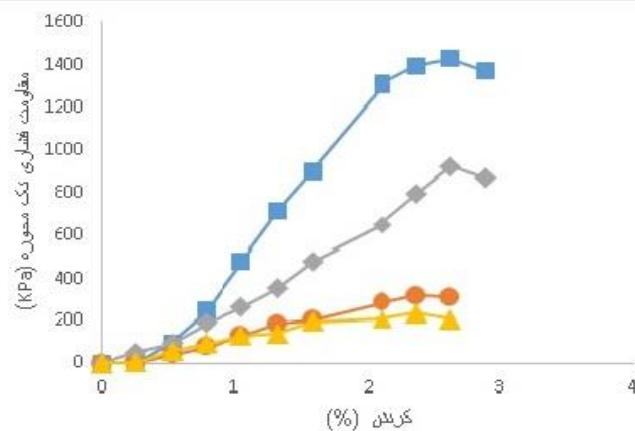
نتیجه گیری و
پیشنهادات



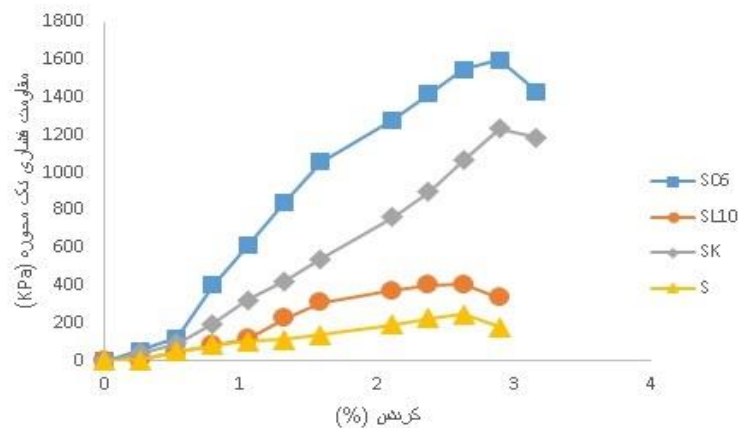
شکل 2-4 ب- عمل آوری 14 روزه



شکل 2-4 الف- عمل آوری 7 روزه

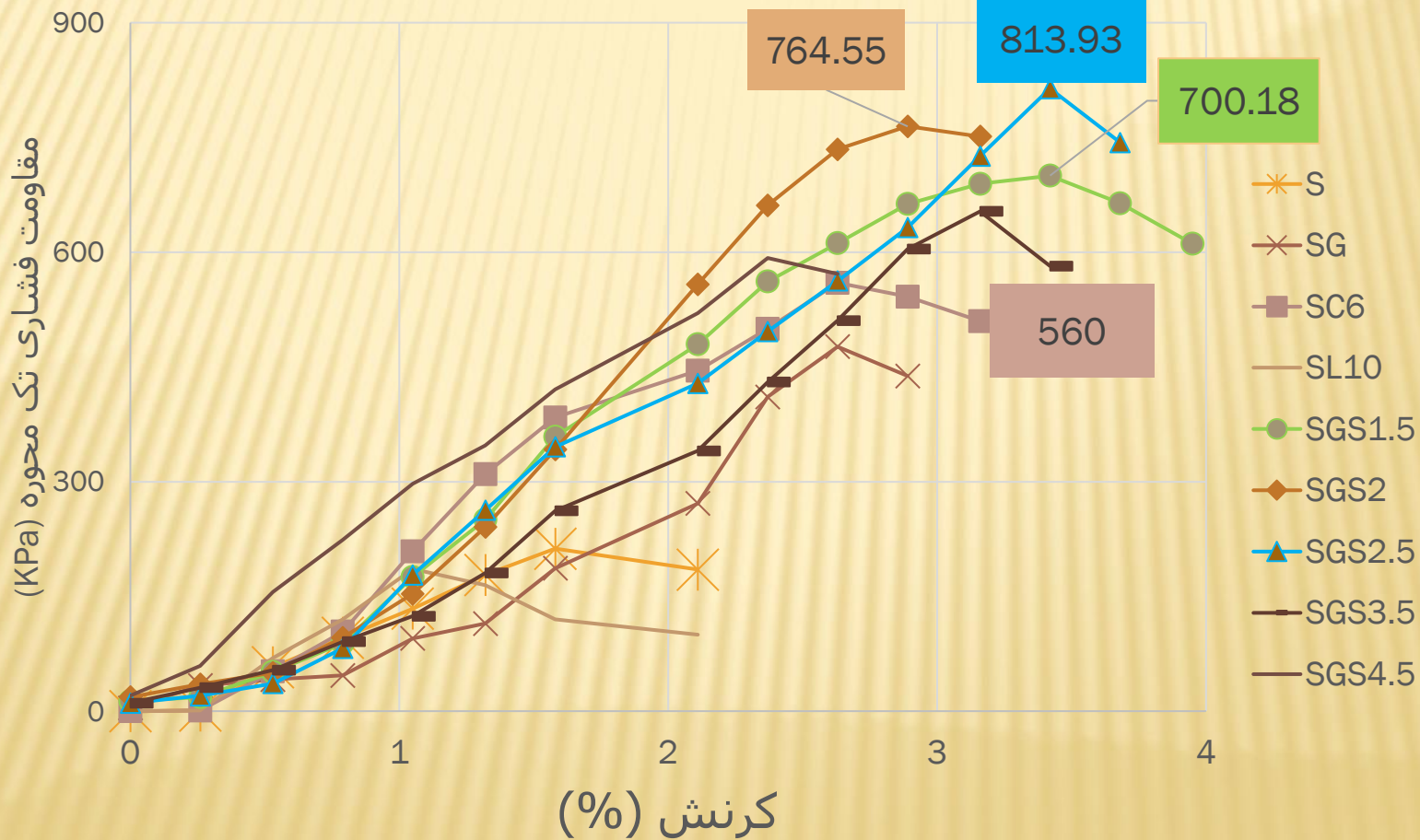


شکل 2-4 ج- عمل آوری 28 روزه



شکل 2-4 د- عمل آوری 45 روزه

نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر با استفاده از لجن فاضلاب و ماده قلیایی سدیم هیدروکسید در دوره عمل آوری 7 روز



مقدمه

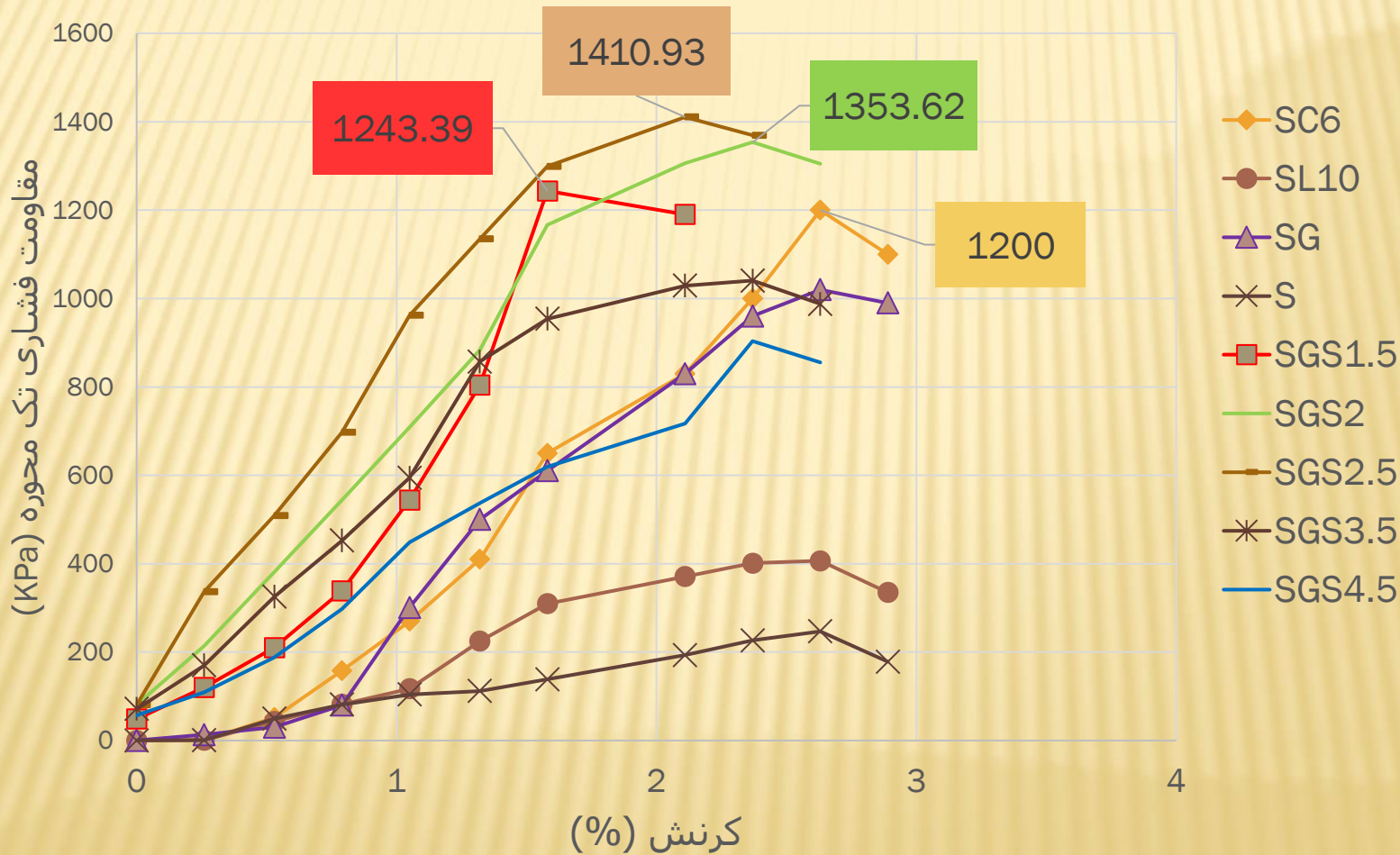
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر با استفاده از لجن فاضلاب و ماده قلیایی سدیم هیدروکسید در دوره عمل آوری 45 روز



مقدمه

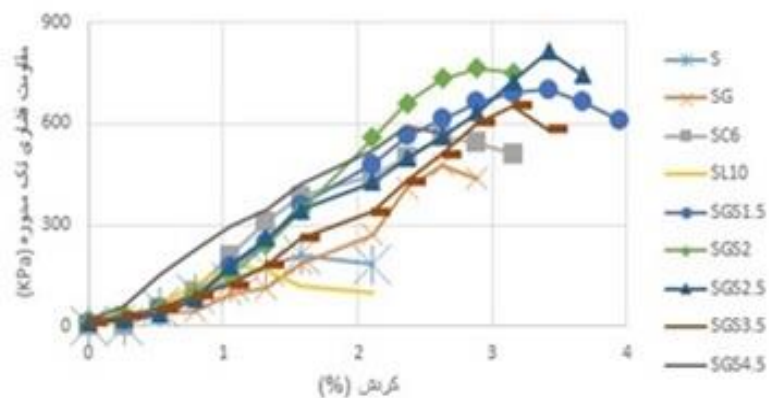
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

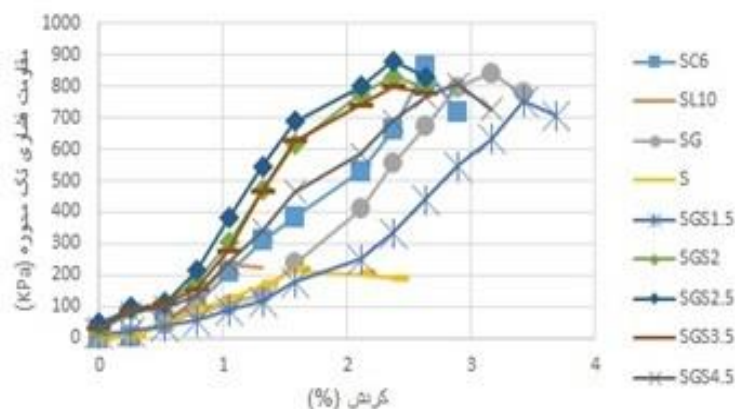
نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

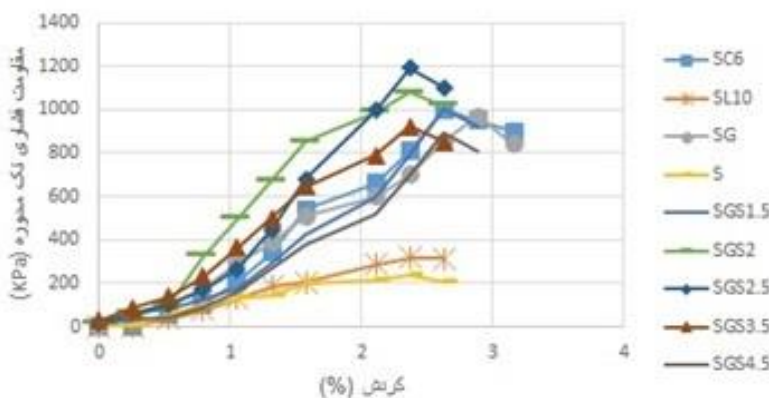
نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر با استفاده از لجن فاضلاب و ماده قلیایی سدیم هیدروکسید در دوره های عمل آوری 7، 14، 28 و 45 روز



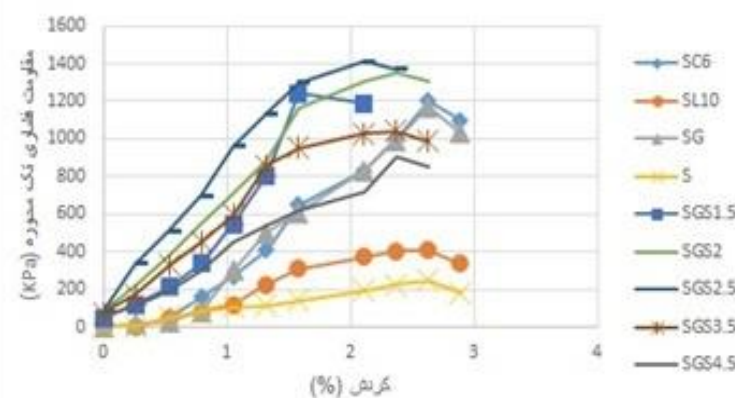
شکل 3-4 الف) عمل آوری 7 روزه



شکل 3-4 ب) عمل آوری 14 روزه



شکل 3-4 ج) عمل آوری 28 روزه



شکل 3-4 د) عمل آوری 45 روزه

مقدمه

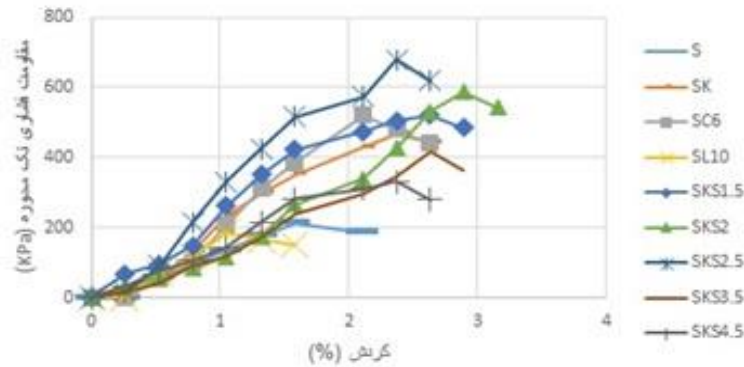
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

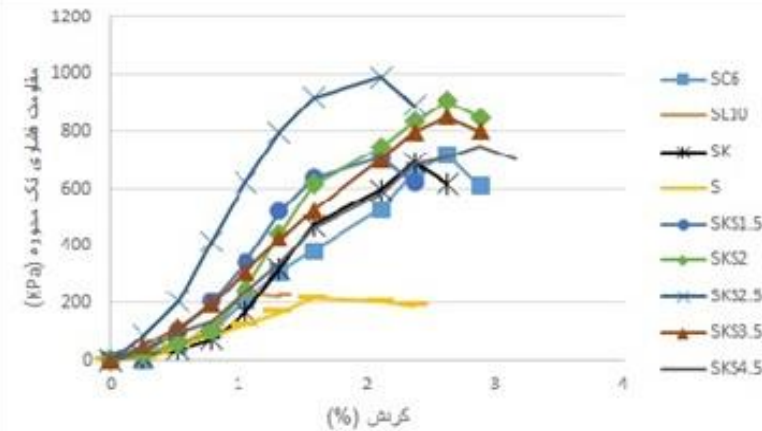
نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

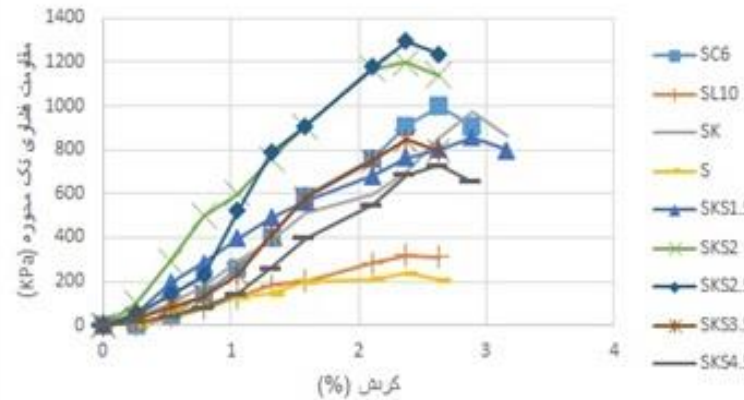
آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه های تثبیت شده به روش ژئوپلیمر با استفاده از لجن فاضلاب و ماده قلیایی پتاسیم هیدروکسید در دوره های عمل آوری 7، 14، 28 و 45 روز



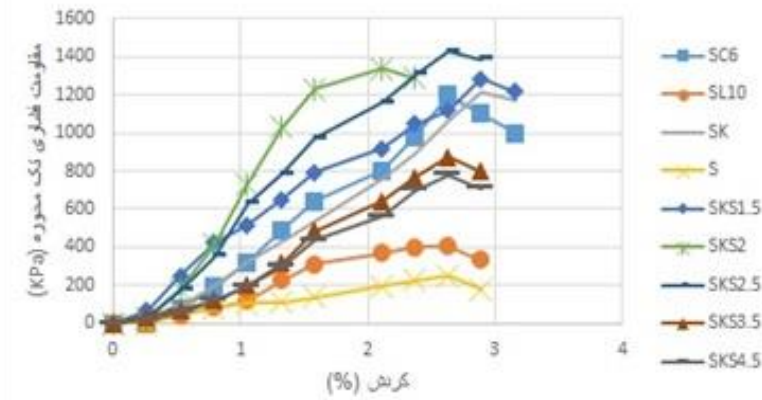
شکل 4-4 (الف) عمل آوری 7 روزه



شکل 4-4 (ب) عمل آوری 14 روزه



شکل 4-4 (ج) عمل آوری 28 روزه



شکل 4-4 (د) عمل آوری 45 روزه

مقدمه

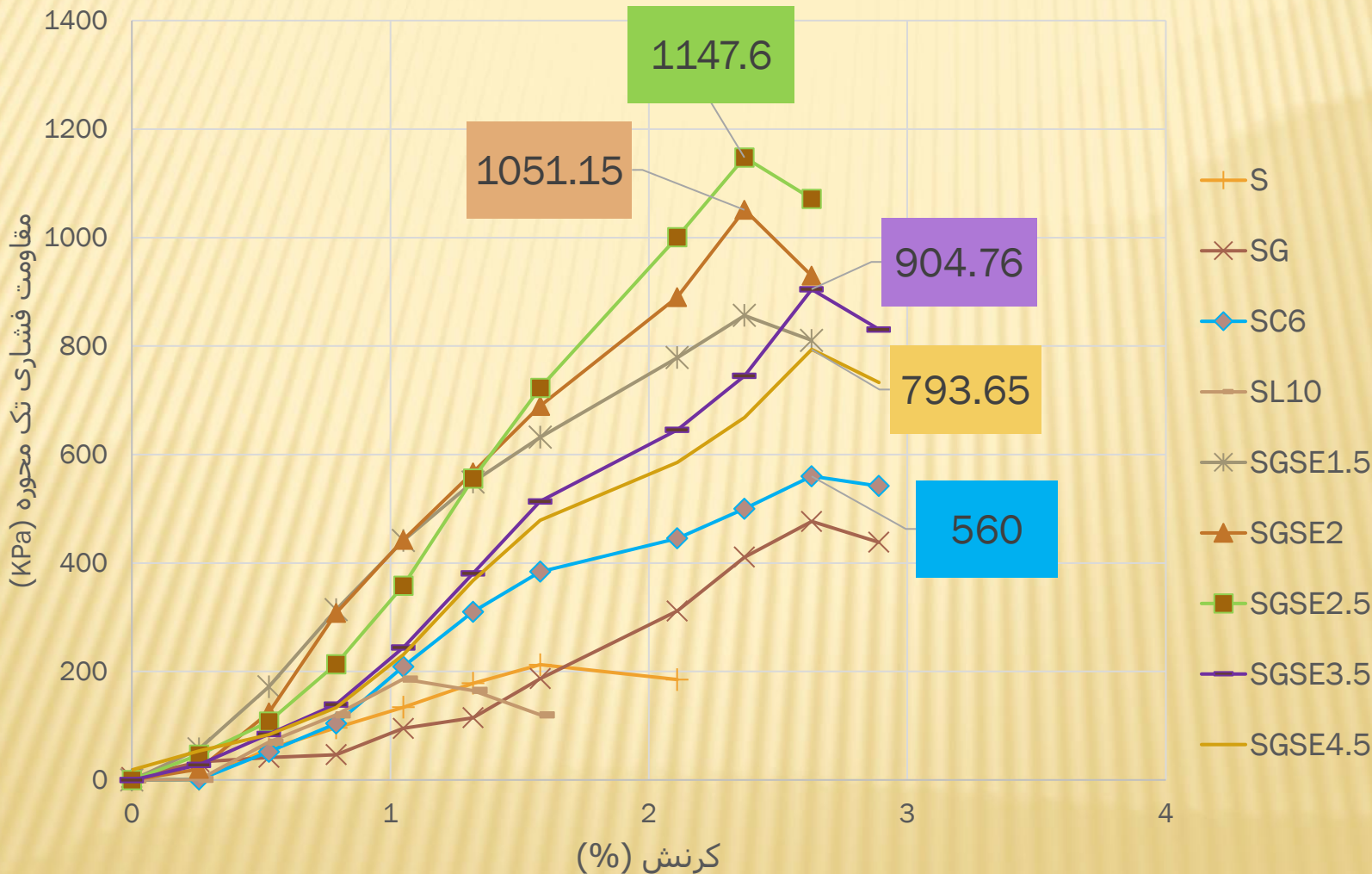
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه های تثبیت شده با EDTA و لجن فاضلاب با استفاده از سدیم هیدروکسید در دوره عمل آوری 7 روز



مقدمه

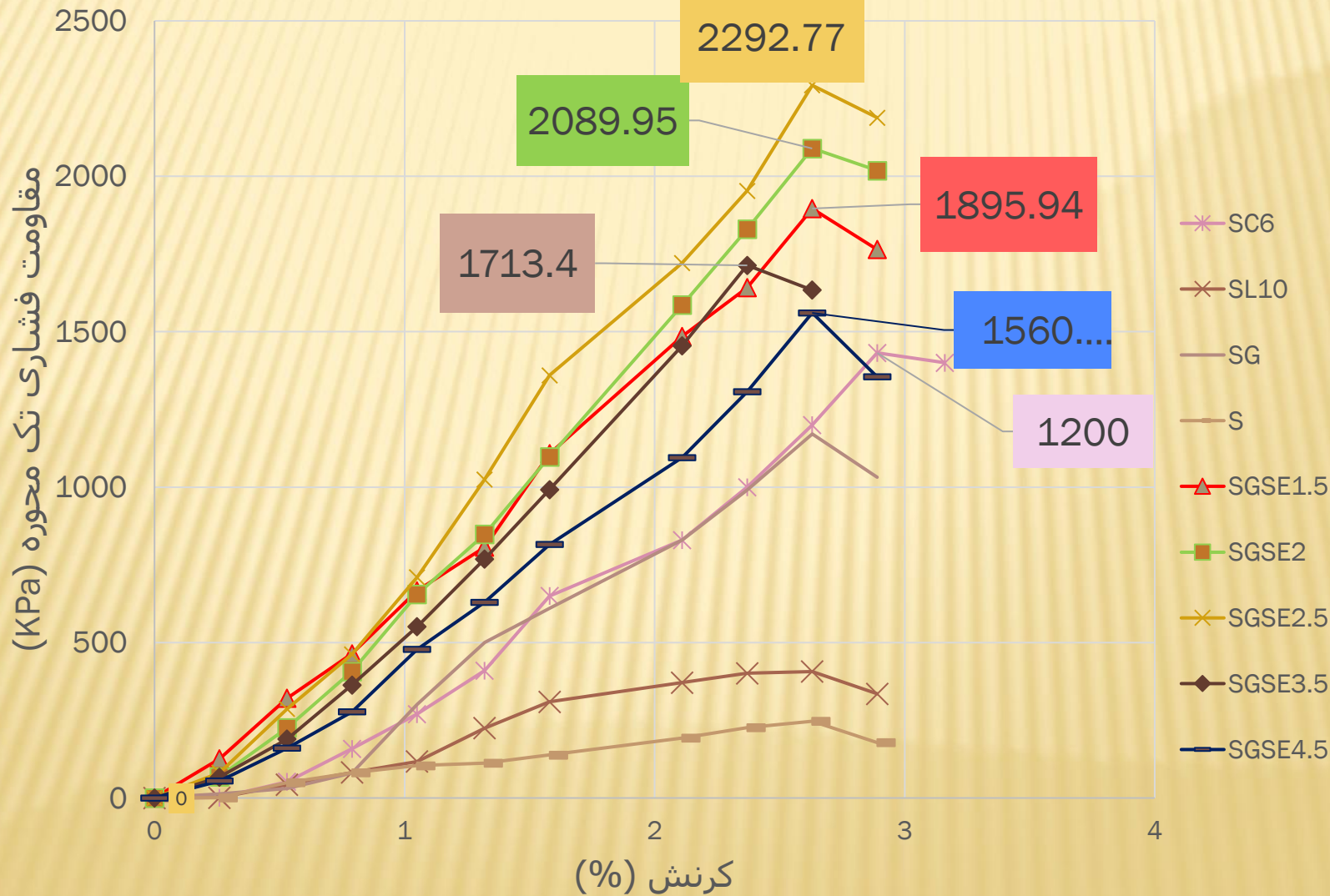
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه های تثبیت شده با EDTA و لجن فاضلاب با استفاده از سدیم هیدروکسید در دوره عمل آوری 45 روز



مقدمه

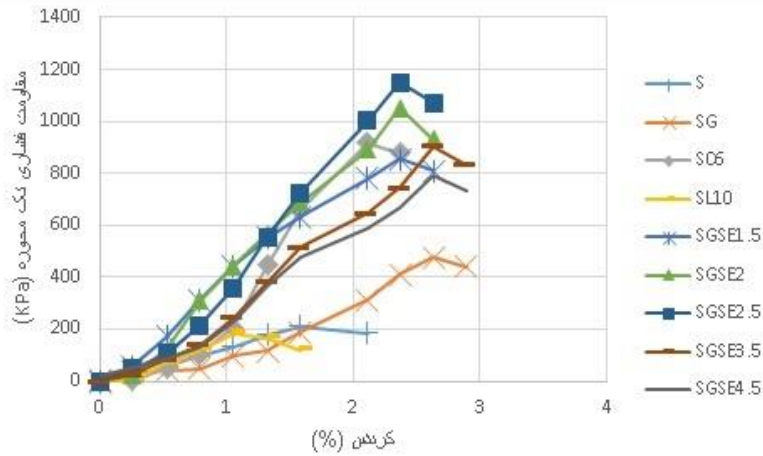
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

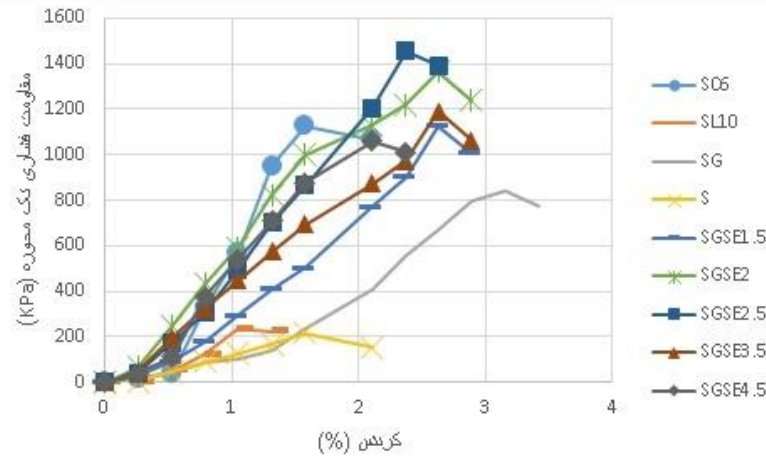
نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

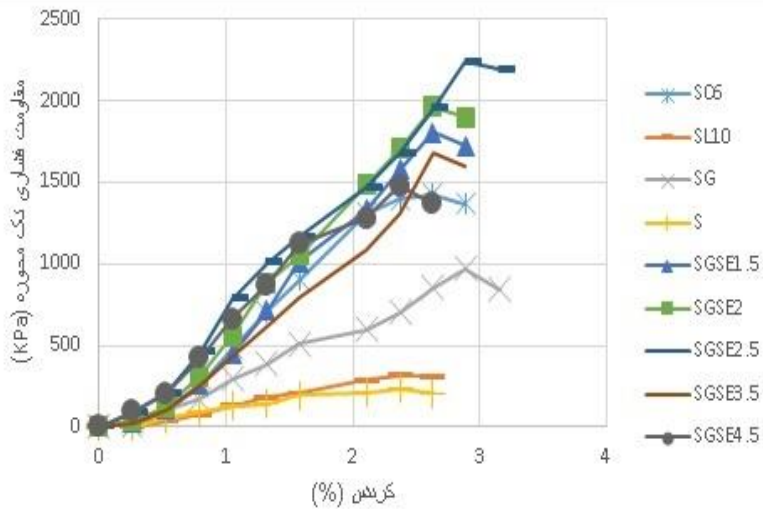
نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه های تثبیت شده با EDTA و لجن فاضلاب با استفاده از سدیم هیدروکسید در دوره های عمل آوری 7، 14، 28 و 45 روز



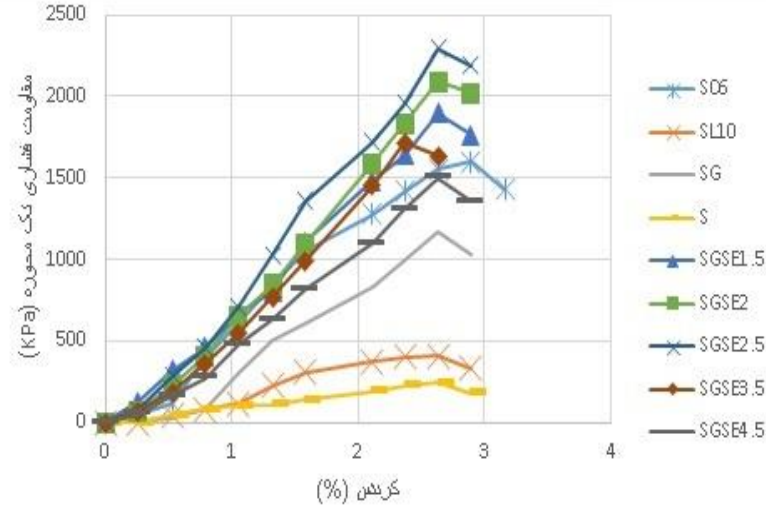
شکل 5-4 الف- عمل آوری 7 روزه



شکل 5-4 ب- عمل آوری 14 روزه



شکل 5-4 ج- عمل آوری 28 روزه



شکل 5-4 د- عمل آوری 45 روزه

مقدمه

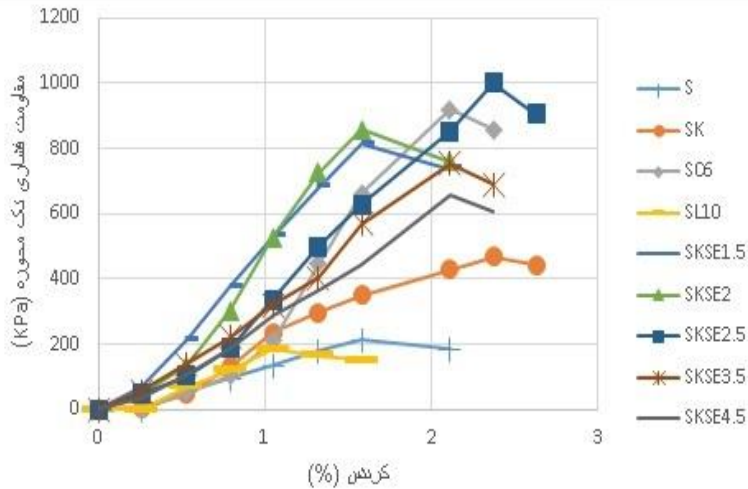
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

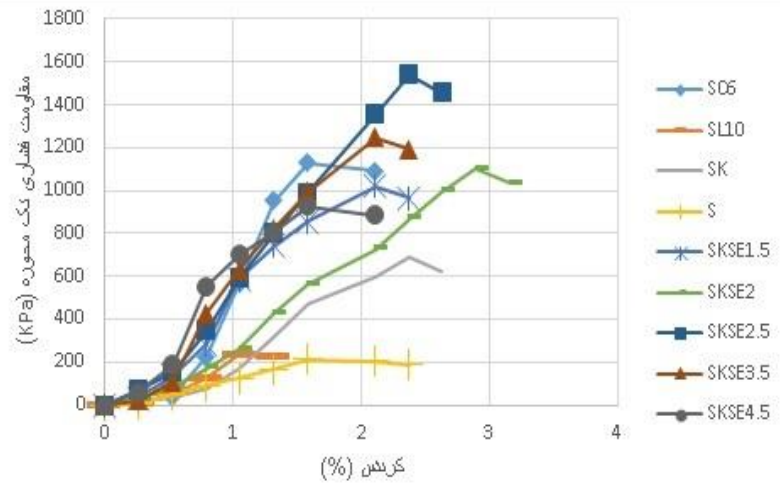
نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

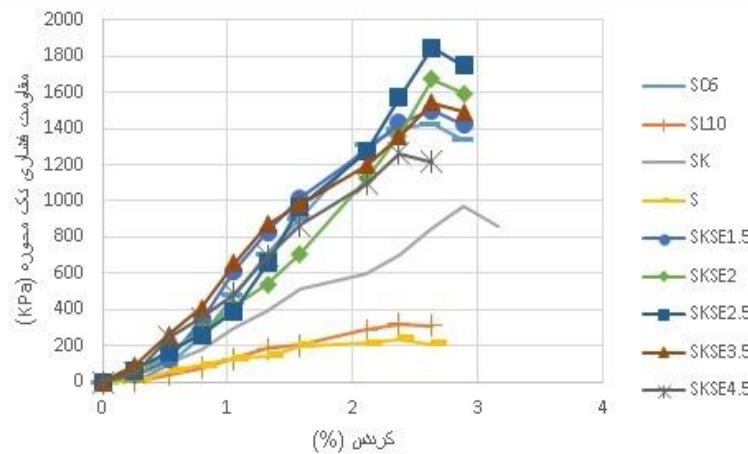
نمودار آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه های تثبیت شده با EDTA و لجن فاضلاب با استفاده از پتاسیم هیدروکسید در دوره های عمل آوری 7، 14، 28 و 45 روز



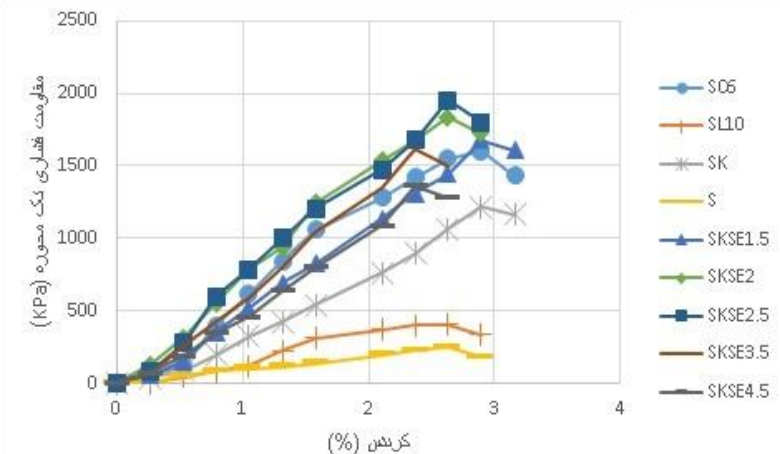
شکل 4-6 الف- عمل آوری 7 روزه



شکل 4-6 ب- عمل آوری 14 روزه



شکل 4-6 ج- عمل آوری 28 روزه



شکل 4-6 د- عمل آوری 45 روزه

مقدمه

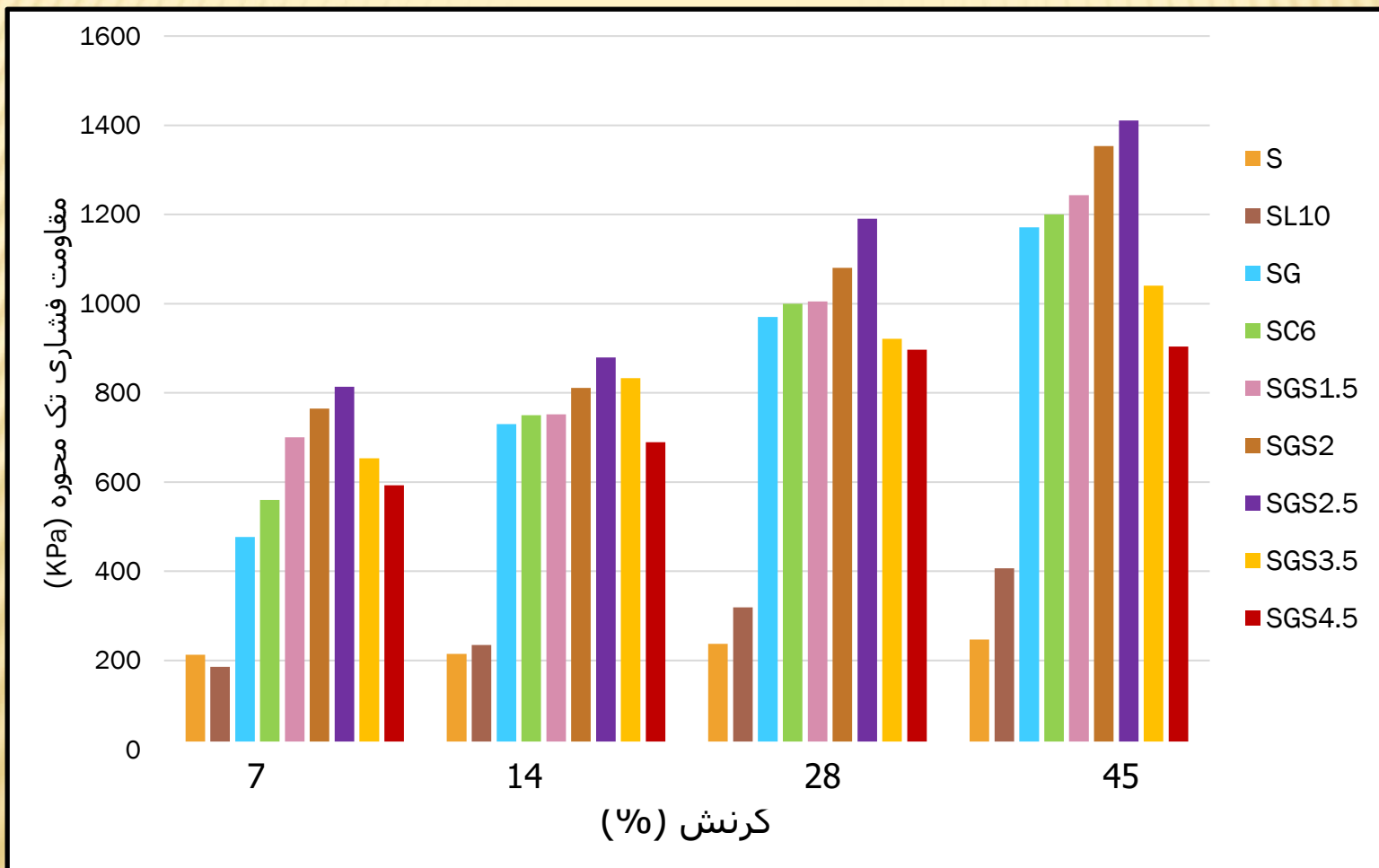
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نمودار عمل آوری استفاده از لجن فاضلاب به همراه سدیم هیدروکسید در روش ژئوپلیمر (گروه SGS)



مقدمه

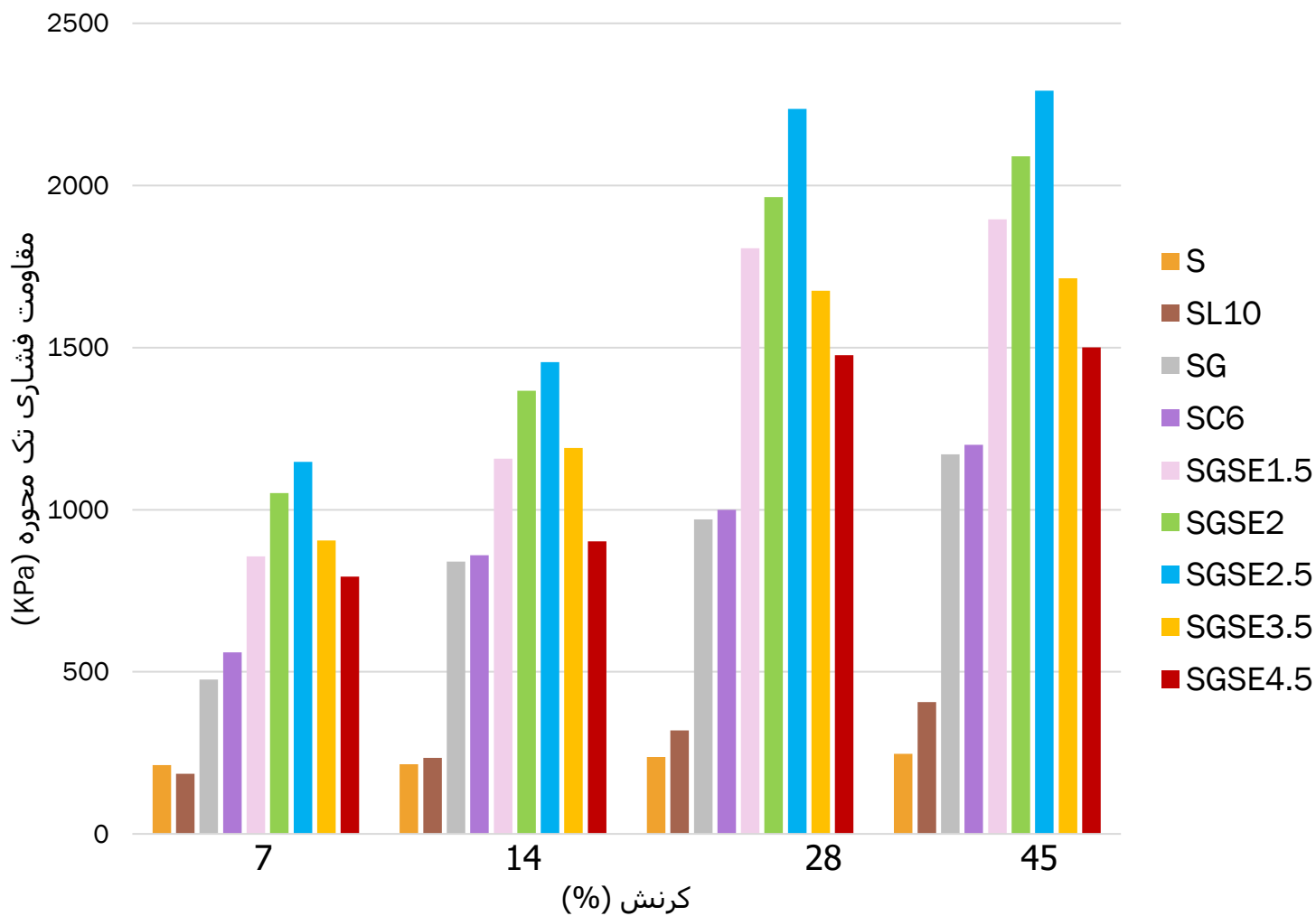
تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نمودار عمل آوری استفاده از EDTA و لجن فاضلاب در روش ژئوپلیمر (گروه SGSE)



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

نتایج آزمایش برش مستقیم

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

29/35

نوع مواد افزودنی	گروه	دانسیته خشک ماکزیمم ($\frac{gr}{cm^3}$)	رطوبت بهینه (%)	چسبندگی ($C \frac{kg}{cm^2}$)	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	دوره عمل آوری (روز)
خاک طبیعی	S	1/95	17	25	16/2	-
خاک طبیعی + چسب + سود	SG	1/93	19	29	18/8	2
		1/93	19	30	20/3	7
خاک طبیعی + چسب + پتاس	SK	1/91	19	26	18/5	2
		1/91	19	28	19/8	7
خاک طبیعی + چسب + سود + لجن فاضلاب	SGS2/5	1/87	23	31	23/1	2
		1/87	23	32	24/3	7
خاک طبیعی + چسب + پتاس + لجن فاضلاب	SKS2/5	1/91	21	29	22	2
		1/91	21	30	23/4	7
خاک طبیعی + چسب + سود + لجن فاضلاب + EDTA	SGSE2/5	1/92	23	33	26/3	2
		1/92	23	35	28/2	7
خاک طبیعی + چسب + پتاس + لجن فاضلاب + EDTA	SKSE2/5	1/9	21	32	25/4	2
		1/9	21	33	27/1	7

تصویر SEM خاک طبیعی

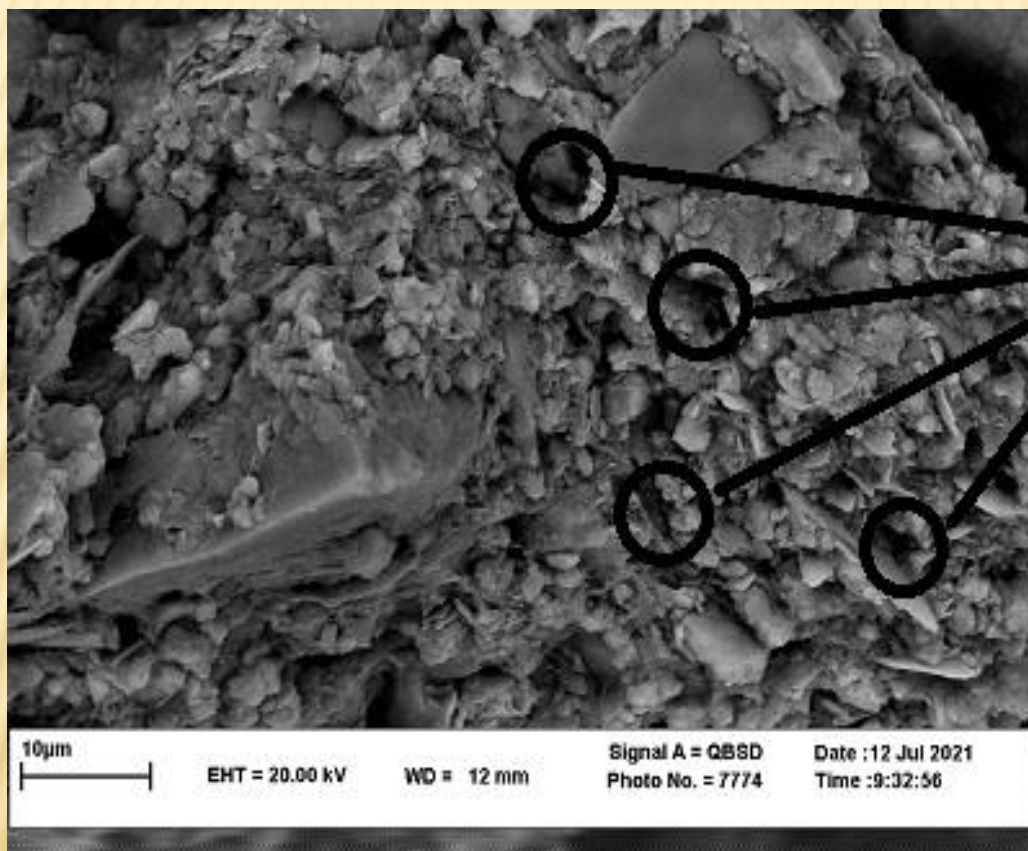
مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات



حفرات موجود
در خاک طبیعی

10µm

EHT = 20.00 kV

WD = 12 mm

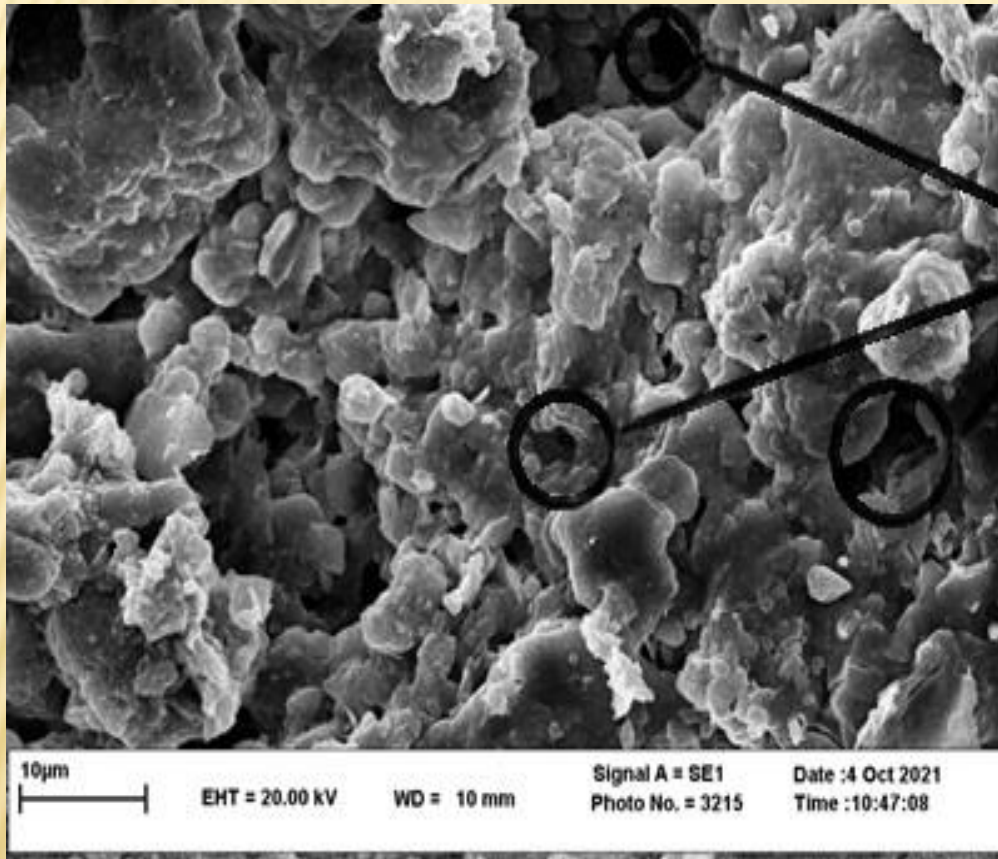
Signal A = QBSD

Photo No. = 7774

Date : 12 Jul 2021

Time : 9:32:56

تصویر SEM خاک به همراه چسب و سود به عنوان فعال کننده بازی



حفرات موجود در خاک تثبیت شده با چسب و سود

مقدمه

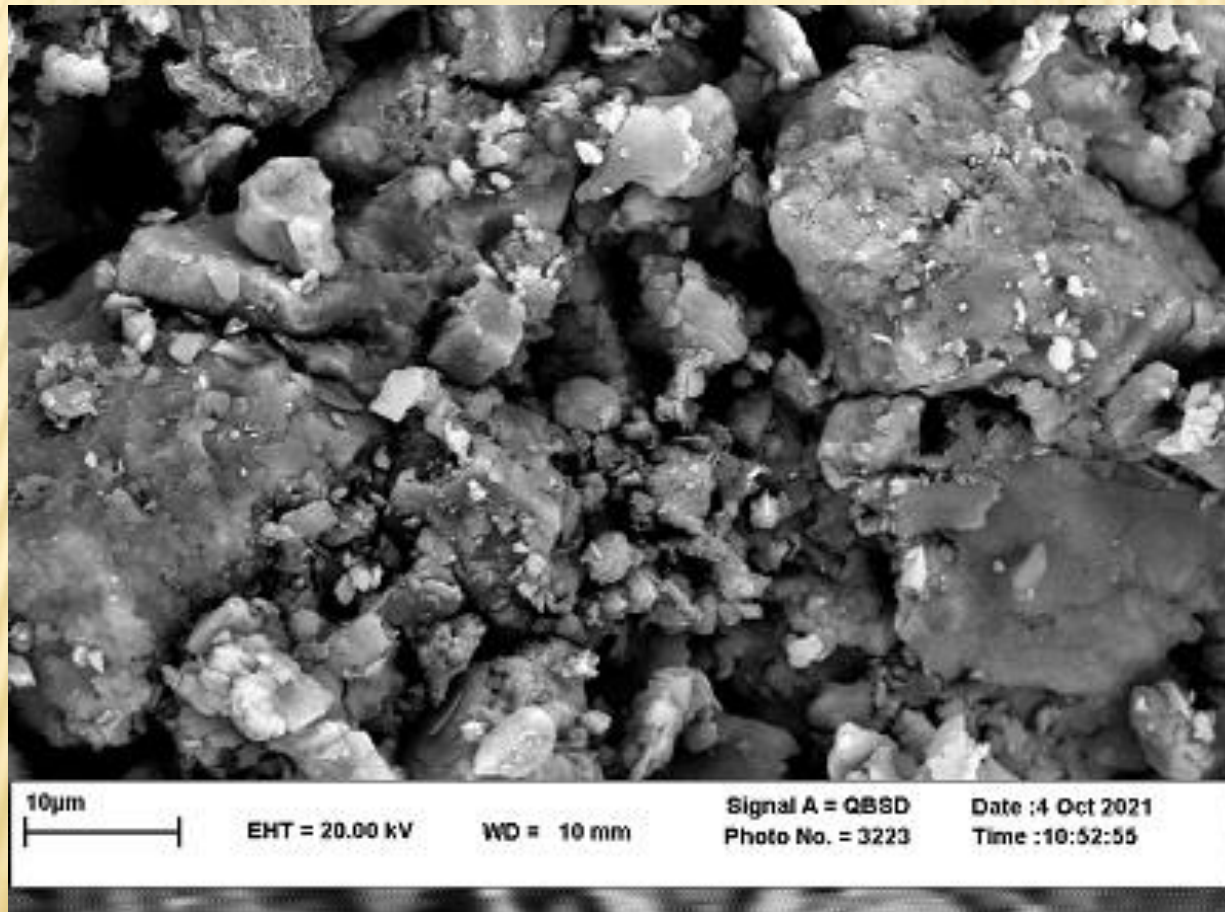
تاریخچه مطالعات

مشخصات مصالح

نتایج آزمایشات

نتیجه گیری و پیشنهادات

تصویر SEM خاک تثبیت شده با لجن فاضلاب به همراه سدیم هیدروکسید به عنوان فعال کننده بازی



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

تصویر SEM خاک تثبیت شده با لجن فاضلاب به همراه EDTA و سدیم هیدروکسید به عنوان فعال کننده بازی

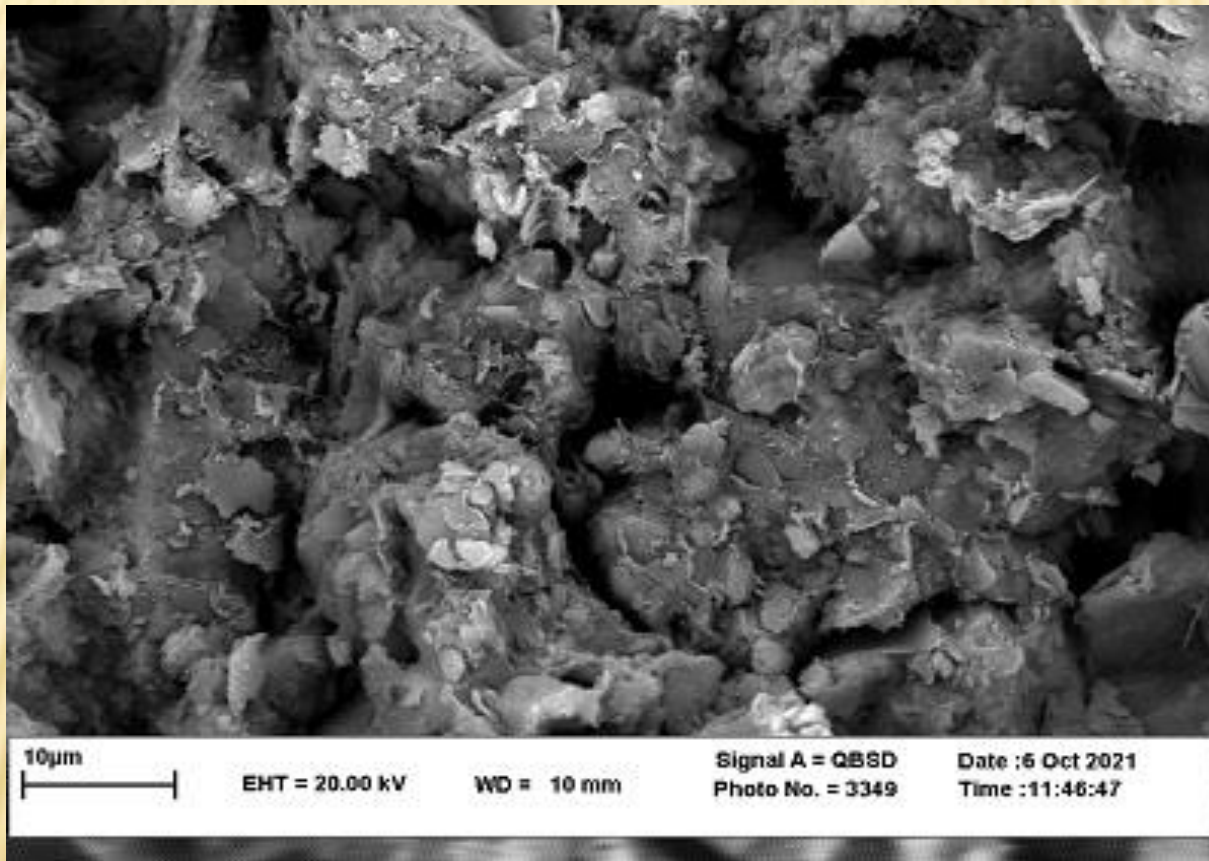
مقدمه

تاریخچه
مطالعات

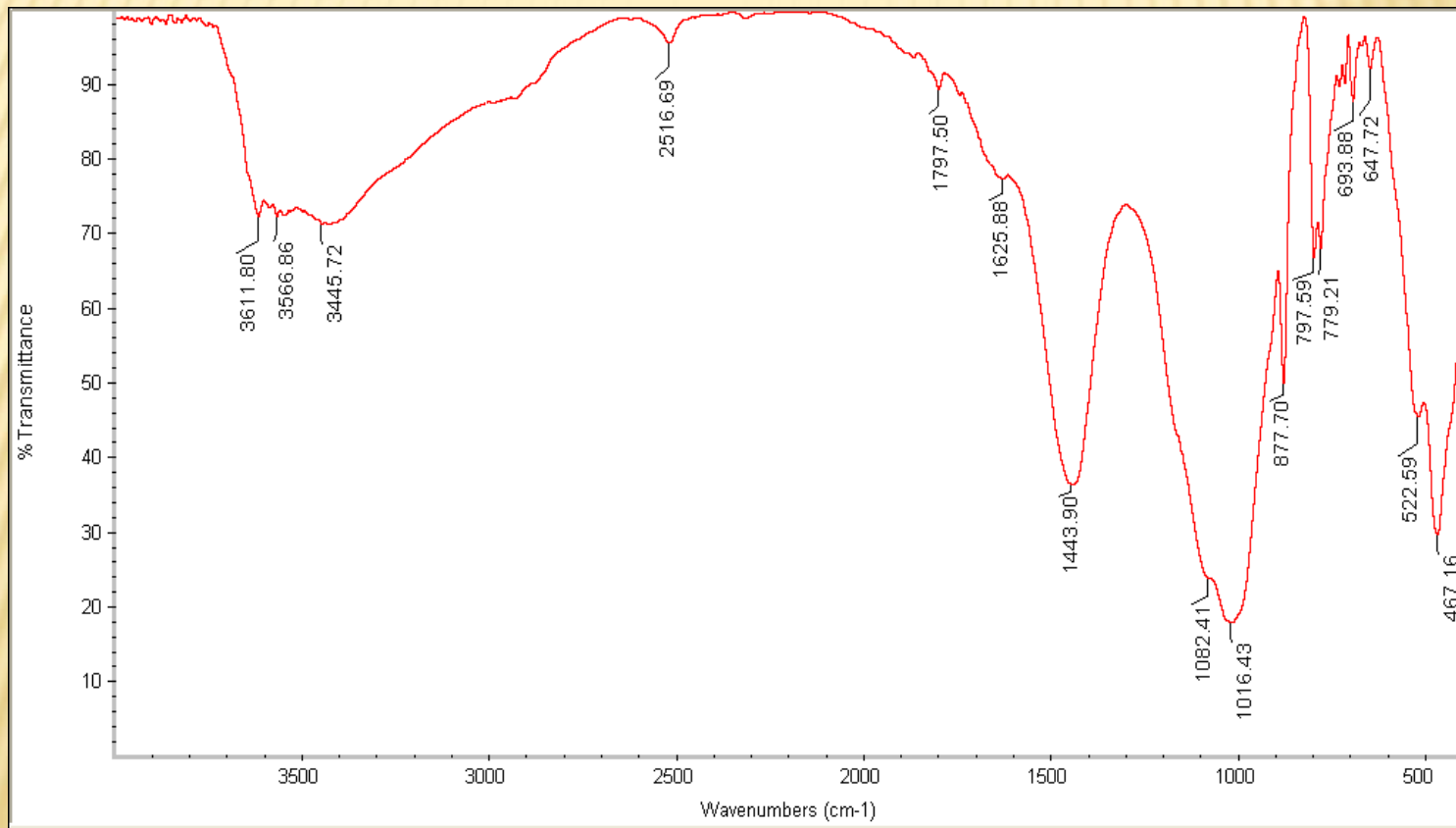
مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات



نتایج مربوط به FTIR خاک تثبیت شده با لجن فاضلاب به همراه ماده قلیایی سدیم هیدروکسید به روش ژئوپلیمر



مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

✓ استفاده از لجن فاضلاب باعث افزایش مقاومت در عمل آوری 45 روزه، به مقدار 1/46 MPa و 1/39 Mpa به ترتیب در نمونه های ساخته شده با سود و پتاس می شود.

✓ لجن فاضلاب باعث می شود که زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در تمامی مواد افزایش یابد.

✓ نتایج SEM نشان می دهد که خاک یکپارچه تر شده است

✓ نتایج FTIR نشان می دهد که باندهای ژئوپلیمری شکل گرفته است.

مقدمه

تاریخچه
مطالعات

مشخصات
مصالح

نتایج
آزمایشات

نتیجه گیری و
پیشنهادات

✓ تاثیر استفاده از لجن فاضلاب در روش ژئوپلیمر بر فرسایش پذیری انواع خاک ها

✓ استفاده از روش ژئوپلیمر جهت تثبیت خاک های نباتی

✓ بررسی استفاده از لجن فاضلاب در روش ژئوپلیمر در دوره های عمل آوری 90 و 180 روز

✓ بررسی نفوذپذیری خاک رسی تثبیت شده در روش ژئوپلیمر

✓ استفاده از الیاف بازیافتی جهت تثبیت نمونه های خاکی در روش ژئوپلیمر

با تشکر و سپاس