



## بررسی تأثیر خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ دانه ها بر تراکم پذیری

شیرین سامانی، علی ارومیه ای\*، ممدرضا نیکودل

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

uromeiea@modares.ac.ir

(\* عهده دار مکاتبات

دریافت: ۹۳/۸/۸؛ دریافت اصلاح شده: ۹۳/۱۷/۵؛ پذیرش: ۹۳/۱۲/۵؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۹/۱۵

### چکیده

تراکم پذیری یکی از روش های بهسازی زمین به شمار می آید که کاربرد گسترده ای در بسیاری از طرح های عمرانی و زیربنایی دارد. عوامل متعددی در تراکم پذیری خاک تأثیر دارند که می توان به میزان انرژی تراکم و نوع مصالح خاک اشاره کرد. در جائیکه مصالح خاکی مورد نیاز برای اجرای برخی طرح های عمرانی در دسترس نباشد می توان با خرد کردن سنگ و تولید سنگ دانه آن ها را به عنوان مصالح جایگزین مورد استفاده قرار داد. جنس ریز سنگ دانه ها به ویژه ترکیب کانی شناسی و بافت می توانند به عنوان عامل تأثیرگذار در تراکم پذیری نقش مؤثر داشته باشند. جهت ارزیابی تأثیر جنس سنگ دانه ها در تراکم پذیری، در این مقاله از ده نمونه سنگ با خصوصیات سنگ شناسی متفاوت مصالح سنگ دانه تهیه گردید و آزمایش پروکتور استاندارد بر روی آن ها انجام پذیرفت. نمودارهای تراکم ترسیم شده از نتایج به دست آمده، حالت های متفاوتی از رفتار تراکم پذیری را نمایان می سازند. نتایج به دست آمده نشان داده است که مصالح تولیدی از سنگ های نیمه سخت با ترکیب کانی شناسی متفاوت مانند شیل، اسلیت و ماسه سنگ قرمز بیشترین تراکم پذیری را دارد. تأثیر افزایش درصد رطوبت در تراکم پذیری مصالح تولیدی از سنگ های بلورین و سیلیکاته مانند گرانیت، آندزیت، بازالت و ماسه سنگ کوارتزی محدود است. خردشدگی مصالح سنگی توف در حین عمل تراکم، زیاد و تراکم پذیری خیلی کم است و در نتیجه برای رسیدن به تراکم حداکثر، درصد رطوبت بهینه خیلی زیادی لازم دارد. مصالح تولیدی از سنگ آهک سخت تراکم پذیری نسبتاً مطلوب داشته و افزایش درصد رطوبت، تأثیر مستقیم در تراکم پذیری آن دارد. در مقابل، این ویژگی در تراکم پذیری سنگ دانه های تولیدی از تراورتن ناچیز است.

واژه های کلیدی: خاک، منحنی تراکم، پروکتور استاندارد، کانی شناسی، رطوبت بهینه

### ۱- مقدمه

به بهبود خصوصیات مهندسی آن می شود. تراکم پذیری، کاربرد گسترده ای در طرح های زیر بنایی از جمله سدهای خاکی، خاکریز راه ها، ساخت دیوارهای حائل و دیگر فعالیت ها دارد. جهت

عمل تراکم یکی از روش های مکانیکی بهسازی زمین به شمار می آید که طی آن با اعمال انرژی، فضاهای خالی خاک کاهش یافته و منجر

ارزیابی تراکم پذیری خاک در محیط آزمایشگاه از دستگاه تراکم که توسط پروکتور در دهه ۳۰ قرن گذشته ابداع شد، استفاده می گردد.

## ۲- ویژگی های سنگ شناسی نمونه ها

در این تحقیق ده نمونه سنگ با ماهیت سنگ شناسی متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته اند. سنگ ها از واحدهای زمین شناسی متفاوت و از نقاط مختلف استان تهران، استان مرکزی و استان لرستان تهیه گردیدند. تهیه نمونه های سنگ به صورت بلوکی بوده و پس از خرد کردن توسط سنگ شکن و عبور از الک ۴، خصوصیات تراکم پذیری نمونه ها با آزمایش تراکم (پروکتور استاندارد) مورد بررسی قرار گرفتند. خلاصه ای از خصوصیات نمونه ها و محل برداشت آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

ترکیب کانی شناسی نمونه ها و خصوصیات بافتی آنها با تهیه مقاطع میکروسکوپی و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین درصد فراوانی کانی ها و نوع آنها با انجام آزمایش XRD تعیین شده است. خلاصه ای از نتایج مطالعات انجام شده در تصویرهای ۱ و ۲ نمایش داده شده اند.

## ۳- ارزیابی خصوصیات فیزیکی

از آن جا که خصوصیات فیزیکی نقش مؤثر در شناخت رفتار تراکم پذیری مصالح تولید شده از سنگ ها دارند، برخی از این خصوصیات شامل محاسبه چگالی، میزان تخلخل، درصد جذب آب و وزن مخصوص ذرات جامد (Gs) مطابق استاندارد ISRM تعیین شدند. نمودار ۱ تصویر ۳ مقایسه اجمالی بین خصوصیات فیزیکی نمونه ها را نشان می دهد. تغییرات وزن مخصوص ذرات جامد برای نمونه ها محدود و مقدارهای حداقل و حداکثر برای توف و بازالت به ترتیب بین ۲/۰۵ تا ۲/۸۲ است. در مقابل، میزان تخلخل برای انواع نمونه ها تغییرات قابل توجهی را نشان می دهد. به نحوی که حداکثر تخلخل ۲۲/۶٪ برای توف سبز (سازند کرج) و حداقل ۳/۲٪ برای سنگ

(Terzaghi et al. 1996). البته محققین مختلف برای تکمیل روش های اندازه گیری، گسترش مدل ها و بسط معادلات ریاضی تلاش های زیادی انجام داده اند تا بتوانند تخمین درستی از درصد رطوبت بهینه، جهت رسیدن به تراکم حداکثر به دست آورند. به عنوان مثال بررسی تغییرات درصد رطوبت در تراکم پذیری خاک و پیش بینی درصد رطوبت بهینه توسط بولتز و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت (Boltz et al. 1998) رفتار تراکم پذیری خاک ها با توجه به انرژی تراکم توسط (Gurtug & Sridharan (2004) بررسی شد. مطالعه رابطه شکل نمودار تراکم با نوع و خصوصیات خاک توسط Lee & Suedkamp (1972) انجام پذیرفت. الحتماله و همکاران مطالعه ساخت و بافت سنگ دانه ها و تأثیر آنها بر رفتار تراکم پذیری با استفاده از آزمایش XRD را بررسی کردند (Al-Hattamleh et al. 2008). خصوصیات تراکم پذیری خاک های شن دار و فاقد شن توسط Chinkulkijniwat et al. (2010) مورد مطالعه قرار گرفت. مدل های نظری الگوی نمودارهای تراکم به وسیله Kurucuk et al. (2008) بررسی شد. عوامل متعددی در تراکم پذیری خاک ها تأثیر گذارند که به نظر Das (2006) نوع خاک و انرژی تراکم از مهم ترین آنها به شمار می آیند. در این تحقیق خصوصیات زمین شناسی مهندسی مصالح مورد استفاده در عمل تراکم نیز مورد توجه قرار گرفته اند. در این راستا نمونه هایی از سنگ با جنس متفاوت تهیه شد و پس از خرد کردن، آزمایش تراکم بر روی آنها انجام پذیرفت. هر چند آزمایش تراکم برای ارزیابی تراکم پذیری خاک ها طراحی شده است ولی می توان این آزمایش را بر روی مصالح سنگ دانه ای به کار گرفت. در بسیاری از طرح های عمرانی کمبودهایی در رابطه با تأمین منابع قرضه مطلوب وجود دارد، بنابراین جهت تأمین مصالح مورد نیاز، از مصالح سنگ دانه که محصول خرد

جدول ۱- نام گذاری و نوع نمونه های سنگ مورد مطالعه

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نام گذاری نمونه	Sno-1	Sno-2	Sno-3	Sno-4	Sno-5	Sno-6	Sno-7	Sno-8	Sno-9	Sno-10
جنس سنگ	شیل	ماسه سنگ کوارتزی	ماسه سنگ قرمز	توف سبز	سنگ آهک	سنگ تراورتن	گرانیت	اسلیت	آندزیت	بازالت
نام سازند	زایگون	میلا	لالون	کرج	لار	-	-	-	-	-
محل برداشت	جاده میگون- گرم آبدر			میگون	پلور	محلات	بروجرد		پلور (جاده هراز)	

شماره نمونه	نام سنگ	ترکیب کانی شناسی و بافت سنگ		تصویر مقطع میکروسکوپی با نور پلاریزان
		آزمایش	مطالعه میکروسکوپ پلاریزان	
S <sub>80</sub> -01	شیل	کوارتز مسکویت آلبیت کلینوکلر	کوارتز ریزدانه + موسکویت + فلدسپات (در حدود ۵% فلدسپات ها به کانی های رسی تجزیه شده اند). سیمان تشکیل شده از مواد کانی های رسی است	
S <sub>80</sub> -02	ماسه سنگ کوارتزی	کوارتز میکروکلین مسکویت	کوارتز درشت دانه + فلدسپات (کمتر از ۵% با خاموشی موجی و مستقیم) دارای سیمان سیلیسی هم محور و دانه ای و به مقدار کم سیمان کلریتی می باشد	
S <sub>80</sub> -03	ماسه سنگ قرمز	کوارتز میکروکلین مسکویت	کوارتز ریزبلور + پلاژیوکلاژ (آلبیت، لیکولاژ) و پیگمنت های اکسید آهن دارای سیمان سیلیسی هم محور و دانه ای و رو رشدی می باشد مرز دانه ها اکسید شده و رنگ سنگ قرمز است	
S <sub>80</sub> -04	توف سبز	شیشه کوارتز موسکویت	گلریت مقدار خیلی کم کوارتز ریزبلور، و شیشه آتشفشانی	
S <sub>80</sub> -05	سنگ آهک	کلسیت کوارتز	کلسیت با بافت دانه ای، سیمان کلسیت درشت بلور و پر کننده سطوح شکستگی نوارهایی از دولومیت آهن دار به صورت رگه ای در متن سنگ دیده می شود	

تصویر ۱- خلاصه خصوصیات کانی شناسی و بافت سنگ های مورد مطالعه

تصویر مقطع میکروسکوپی با نور پلاریزان	ترکیب کانی شناسی و بافت سنگ		نام سنگ	شماره نمونه
	مطالعه میکروسکوپ پلاریزان	آزمایش XRD		
	کلسیت ریزبلور و دوباره تبلور یافته در بافت دندان سگی	کلسیت کوارتز	تراورتن	S80-06
	کوارتز + پلاژیوکلاژ + فلدسپات (کارتوز) به مقدار کمتر آمفیبول و بیوئیت	کوارتز، ارتوز، مسکویت، آلبیت، گلینوکلر، کلسیت	گرانیت	S80-07
	کوارتز (یا خاموشی موجی و دارای ریز ترک) + گرافیت + بیوئیت + مسکویت (اپک) و مقدار کم زیرکن. بافت پورفیری (کوارتز پروفیر و پلاست احاطه شده توسط گرافیت و بیوئیت آلبیت)	کوارتز، ارتوز، مسکویت، آلبیت، گلینوکلر	اسلیت	S80-08
	کلینوپیروکسن + آمفیبول + پلاژیوکلاژ + عناصر اپک	آلبیت دیوپسید، فرواکتیولیت، فلوگوپیت، ارتوز و کوارتز	آندزیت	S80-09
	آمفیبول (آپاسیت) + پلاژیوکلاژ + بلورهای ریزپیروکسن	آندزین، مسکویت، دیوپسید، فرواکتیولیت، کائولینیت	بازالت (لاتیت)	S80-10

تصویر ۲- خلاصه خصوصیات کانی شناسی و بافت سنگ های مورد مطالعه

اندازه گیری شده و میزان حداکثر برای ماسه سنگ کوارتزیتی به دست آمده است.

### ۵- دانه بندی نمونه ها

منحنی دانه بندی سنگدانه های مورد استفاده در این مطالعه و اندازه آنها جهت انجام آزمایش پروکتور مطابق استاندارد (ASTM) C 136-01 تعیین شدند. دانه بندی نمونه ها در معیار طبقه بندی یونیفاید در محدوده ماسه خوب دانه بندی شده SW تهیه گردیدند. نمودارهای دانه بندی نمونه ها پیش و پس از انجام آزمایش تراکم در تصویر ۴ نشان داده شده اند. همان طور که ملاحظه می شود تغییرات نمودارهای دانه بندی پیش و پس از تراکم، برای سنگ هایی مانند توف و تراورتن که تخلخل بالایی دارند خیلی زیاد است و برای سنگ های با ترکیب کانیشناسی یکنواخت و سخت مانند گرانیت و سنگ آهک خیلی کم است.

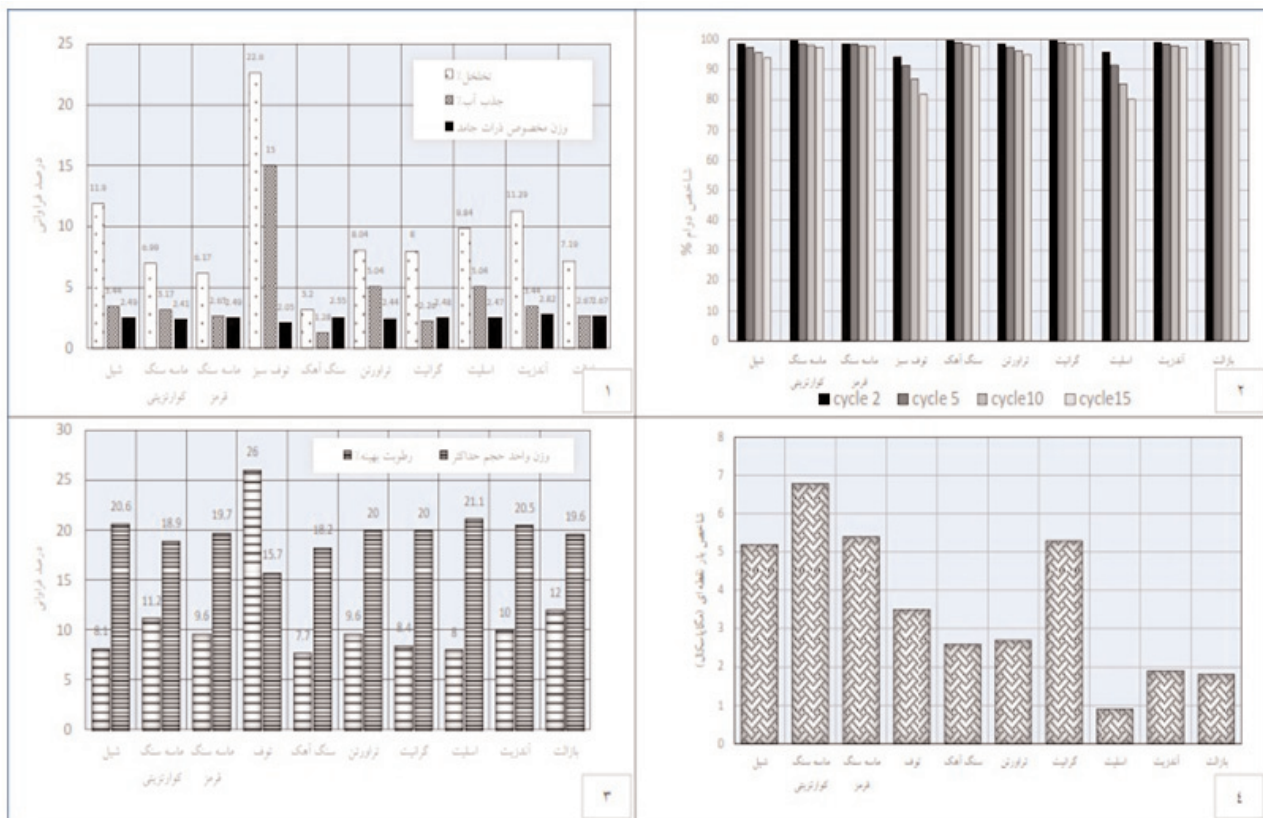
### ۶- آزمایش تراکم (پروکتور استاندارد)

آزمایش پروکتور استاندارد مطابق دستور کار (ASTM D698) و با

آهک (سازند لار) به ثبت رسیده است. به همین ترتیب درصد جذب آب برای دو سنگ یاد شده، به ترتیب ۱۵ و ۷/۲۸ بوده است. تأثیر این خصوصیات در تراکم پذیری سنگ دانه های حاصل از آنها متعاقباً مورد بررسی واقع خواهند شد.

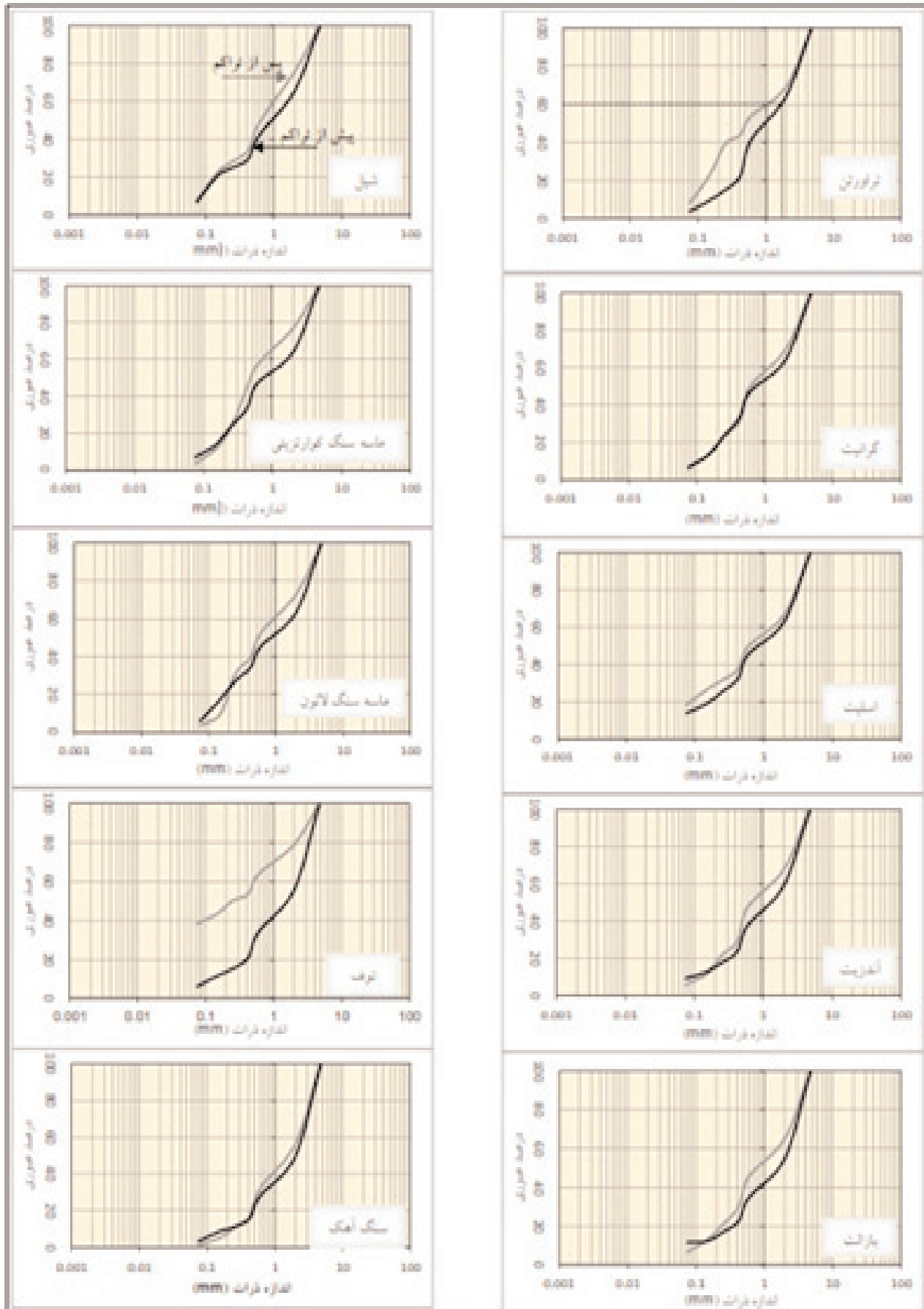
### ۴- ارزیابی خصوصیات مهندسی

ارزیابی خصوصیات مهندسی نیز می تواند در بررسی رفتار تراکم پذیری سنگ دانه ها تأثیر گذار باشد. در این رابطه دو آزمایش بارگذاری نقطه ای و آزمایش دوام بر روی نمونه ها انجام پذیرفت و نتایج آنها با نتایج آزمایش تراکم مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج آزمایش دوام انجام شده بر روی نمونه ها در نمودار ۲ تصویر ۳ نمایش داده شده است. اختلاف شاخص دوام برای سیکل های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ برای انواع مختلف نمونه ها نتایج متفاوتی را نشان می دهند. تغییرات شاخص دوام برای سنگ هایی مانند توف و اسلیت خیلی زیاد، برای اسلیت تقریباً زیاد ولی برای دیگر نمونه سنگ ها این تغییرات بسیار محدود بوده است. نتایج آزمایش بار نقطه ای در نمودار ۴ تصویر ۳ منعکس شده است. حداقل شاخص بار نقطه ای برای اسلیت



تصویر ۳- نمودارهای خصوصیات فیزیکی و تراکم پذیری انواع مختلف سنگ دانه

۱- خصوصیات فیزیکی ۲- شاخص دوام پذیری ۳- خصوصیات تراکم پذیری ۴- شاخص بار نقطه ای



تصویر ۴- نمودارهای دانه بندی انواع مختلف سنگ دانه ها پیش و پس از عمل تراکم

آندزیت، بازالت و کوارتزیت مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به ترکیب سیلیکاته و بلورین این مجموعه سنگ ها، افزایش درصد رطوبت تأثیر کمی در روند تراکم پذیری سنگ دانه ها دارد. شیب نمودارها کم و درصد رطوبت بهینه در یک گستره باز جهت رسیدن به تراکم حداکثر ظاهر می شود. در این گروه، سنگ گرانیت در مقایسه با دیگر نمونه ها، روند تراکم پذیری مناسبتری با تغییرات درصد رطوبت نشان می دهد. در این خصوص می توان چنین بیان داشت که فراوانی کانی های ورقه ای در گرانیت (مانند موسکویت و بیوتیت) باعث اینگونه نمودار برای این سنگ شده است.

#### ۴- گروه چهارم، سنگ های آذر آوری (نمودار ۴ تصویر ۶):

در این گروه سنگ توف سبز سازند کرج مورد مطالعه قرار گرفته است. این سنگ به خاطر ساختمان متخلخل و سست در اثر اعمال نیروی تراکم خیلی سریع خرد می شود. نمودار تراکم در مراحل اولیه شیب تند دارد و سپس به تدریج کاهش یافته و مسیر نسبتاً ملایمی پیش و پس از نقطه اوج طی می کند. میزان جذب آب خیلی زیاد (درصد رطوبت بهینه ۳۰٪) ولی میزان تأثیرگذاری درصد رطوبت در تراکم پذیری کم است.

البته می توان دو گروه دیگر را بر مبنای شکل نمودار تراکم (نمودارهای تصویر ۷) معرفی کرد که خصوصیات آنها به شرح زیر بیان می شود:

#### ۵- گروه پنجم، سنگ های سخت (نمودار ۱ تصویر ۷):

در این گروه سنگ های سخت گرانیت و آهک مورد بررسی قرار می گیرند. نمودارهای تراکم روند مشابهی را دنبال می کنند و تا قبل از رسیدن به نقطه اوج (رطوبت بهینه) تغییرات درصد رطوبت و تراکم پذیری به صورت تدریجی سیر تصاعدی را دنبال می کنند. پس از نقطه اوج، شیب نمودار کم شده و افزایش درصد رطوبت تغییر آشکاری بر تراکم پذیری نشان نمی دهد.

#### ۶- گروه ششم، سنگ های متخلخل (نمودار ۲ تصویر ۷):

در این گروه نمودارهای تراکم دو سنگ تراورتن و توف که دارای تخلخل اولیه زیاد می باشند، مورد مقایسه قرار گرفته اند. وجه غالب در هر دو نمودار تأثیر کم تغییرات رطوبت بر تراکم پذیری و خردشدگی سریع نمونه ها در اثر اعمال نیروی تراکم است. بنابراین نمودارها شیب ملایم و درصد رطوبت بهینه در پهنه گسترده ای قابل پیش بینی می باشد.

استفاده از چکش تراکم مکانیکی خودکار بر روی نمونه ها انجام پذیرفت. تعداد ۴ تا ۵ آزمایش با درصد رطوبت های متفاوت بر روی مصالح هر نوع سنگ صورت گرفت. نمودارهای تراکم حاصل از این آزمایش برای نمونه های مورد مطالعه در تصویر ۵ ارائه شده اند. همان طور که ملاحظه می شود رفتار متفاوت نمونه ها در عمل تراکم، منجر به شکل گیری نمودارهای متفاوت شده است. این نمودارها را می توان با توجه به شکل و خصوصیات زمین شناسی سنگ دانه ها مطابق تصویر ۶ در چهار گروه طبقه بندی کرد. خصوصیات هر کدام از این گروه ها به شرح زیر مورد بررسی قرار می گیرند:

#### ۱- گروه اول، سنگ های نیمه سخت، (نمودار ۱ تصویر ۶):

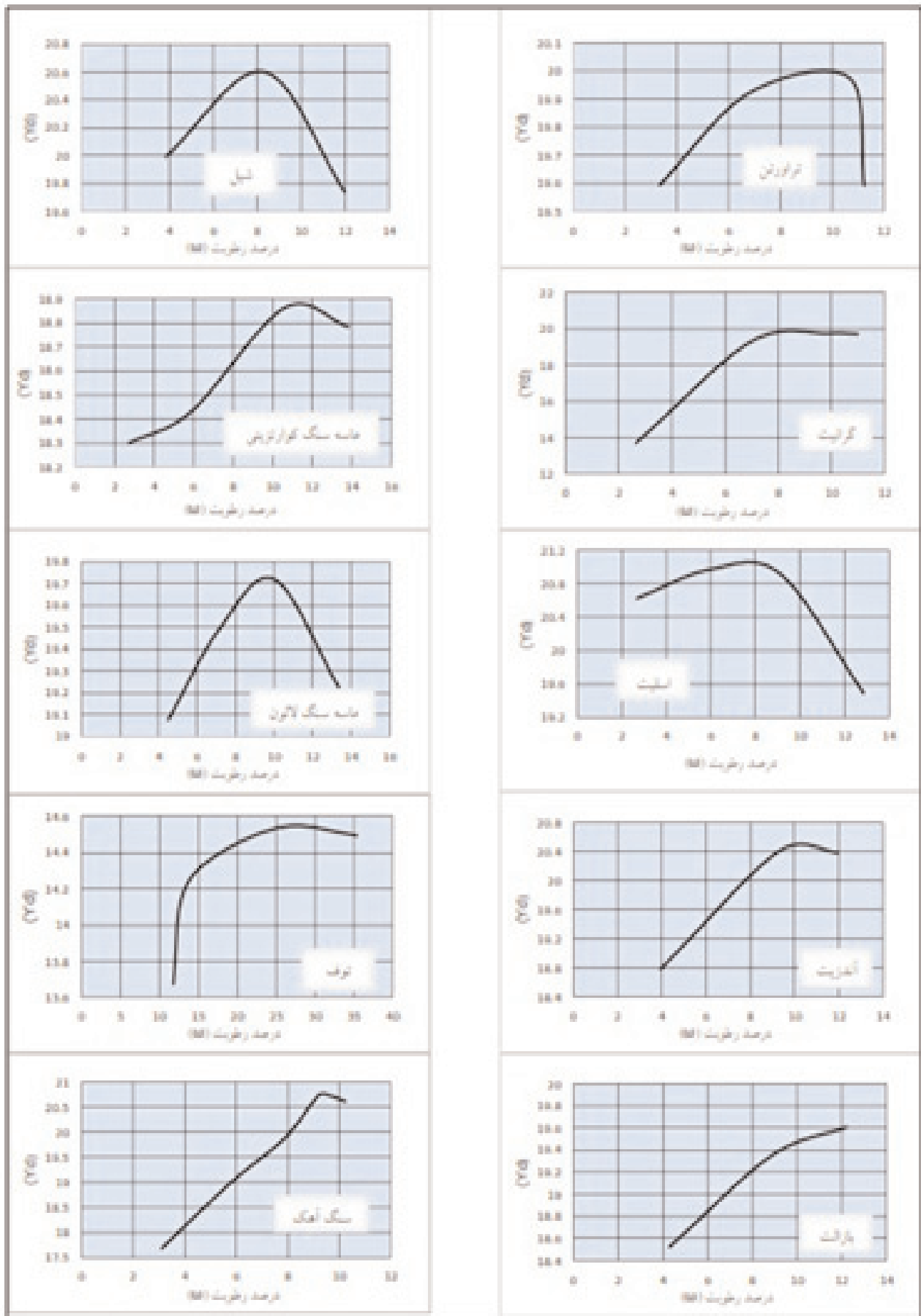
این گروه شامل سنگ های شیل، ماسه سنگ قرمز و اسلیت می شود. نمودار تراکم حالت زنگوله ای دارد و با افزایش درصد رطوبت به تدریج افزایش یافته و پس از گذر از نقطه اوج (درصد رطوبت بهینه) سیر نزولی با کاهش تدریجی دنبال می شود. از میان سه نوع سنگ قرار گرفته در این گروه، اسلیت بیشترین تراکم پذیری را با درصد رطوبت بهینه کمتر نشان می دهد. پس از آن ماسه سنگ قرمز و سپس شیل قرار می گیرند. رفتار این گروه مشابه رفتار خاک های دربرگیرنده کانی های ورقه ای (بیوتیت و موسکویت) و همچنین کانی های رسی می باشد.

#### ۲- گروه دوم، سنگ های کربناته، (نمودار ۲ تصویر ۶):

در این گروه دو نمونه سنگ کربناته شامل سنگ آهک سخت و تراورتن با ساختمان متخلخل قرار دارند. نمودار تراکم با افزایش درصد رطوبت به تدریج افزایش یافته و پس از نقطه اوج به طور آنی کاهش می یابد. هر چند دو نمونه سنگ، آهکی می باشند ولی ساختار متخلخل تراورتن، خردشدگی شدید آن را به هنگام تراکم به همراه دارد، به نحوی که تغییرات درصد رطوبت تأثیر زیادی روی تراکم پذیری آن نشان نمی دهد و نمودار تراکم با شیب ملایم سیر صعودی و نزولی خود را دنبال می کند. این حالت برای سنگ آهک متفاوت است و افزایش درصد رطوبت تأثیر زیاد روی تراکم پذیری دارد. این مطلب را می توان با توجه به سطح شکست تقریباً نرم سنگ آهک نسبت به سطح نسبتاً خشن تراورتن توجیه کرد.

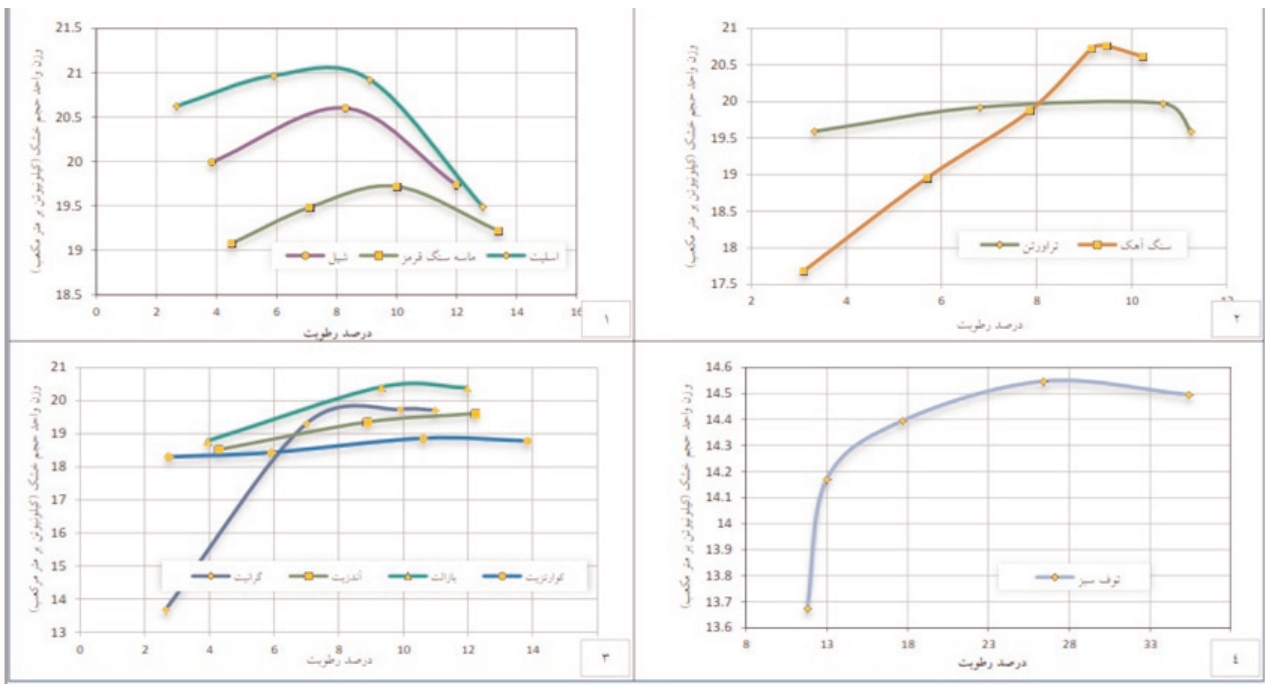
#### ۳- گروه سوم، سنگ های بلورین، (نمودار ۳ تصویر ۶):

در این گروه ویژگی تراکم پذیری سنگ های بلورین از جمله گرانیت،



تصویر ۵- نمودارهای تراکم انواع مختلف سنگ دانه





تصویر ۶- مقایسه و گروه بندی نمودارهای تراکم برای انواع مختلف سنگ دانه ها

۱- گروه اول (سنگ های نیمه سخت) ۲- گروه دوم (سنگ های سخت) ۳- گروه سوم (سنگ های بلورین) ۴- گروه چهارم (سنگ های متخلخل)

مقایسه با سنگ های سخت و بلورین، باعث تنوع دانه بندی شده و در نتیجه تراکم پذیری مصالح افزایش می یابد. این تفسیر برای سنگ تراورتن نیز قابل توجیه است. برای دیگر سنگ ها رابطه مستقیم بین شاخص دوام و تراکم پذیری دیده نمی شود.

#### ۲- رابطه شاخص بار نقطه ای و تراکم پذیری:

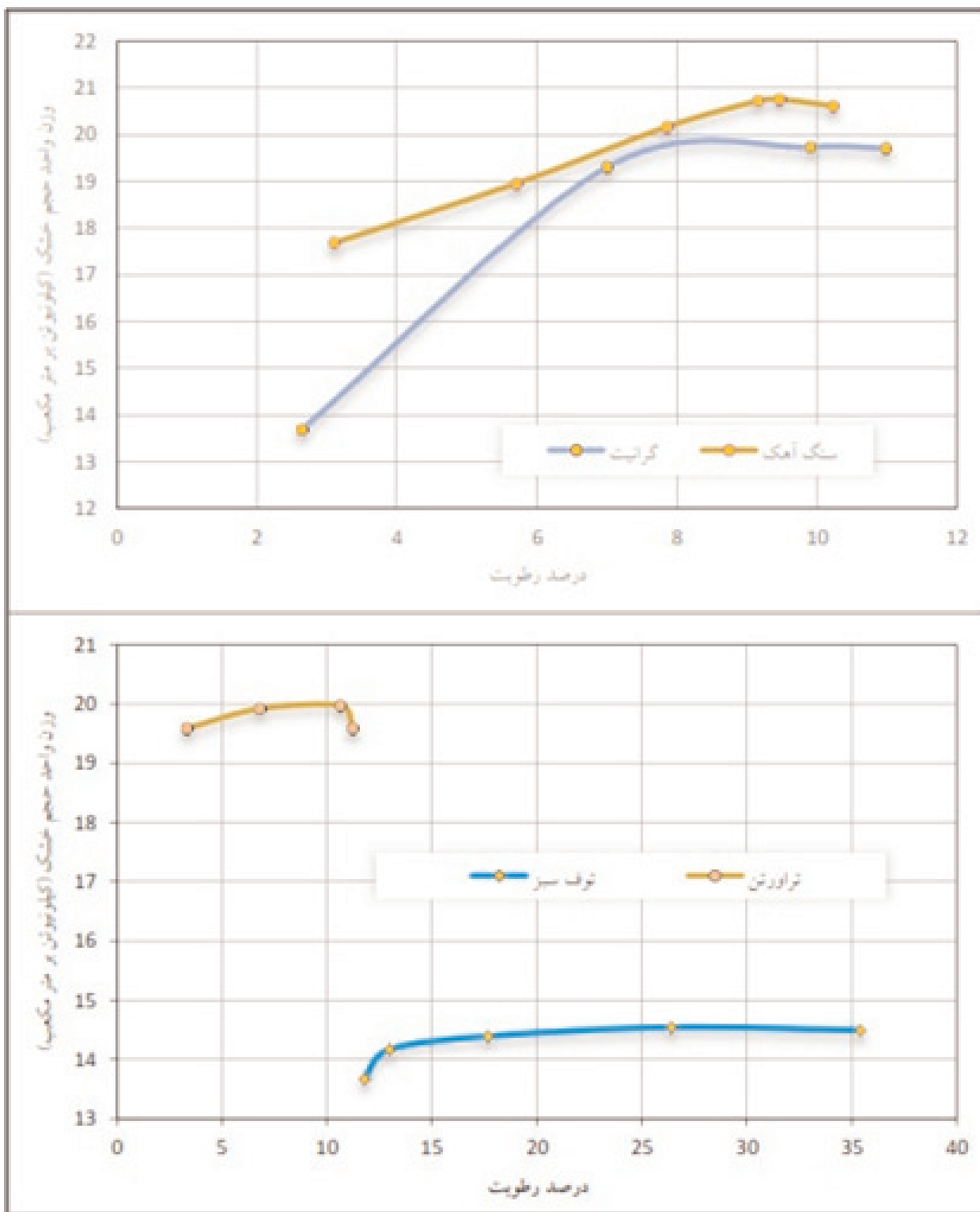
شاخص بار نقطه ای یکی از معیارهایی است که مقاومت سنگ را مورد ارزیابی قرار می دهد. تغییرات شاخص بار نقطه ای و تراکم پذیری سنگ دانه ها در نمودار ۲ تصویر ۸ ارائه شده است. عموماً سنگ های با شاخص بار نقطه ای بالا مانند شیل، ماسه سنگ قرمز و گرانیت که تنوع کانی شناسی فراوان دارند، تراکم پذیری بالا نشان می دهند. هر چند شاخص بار نقطه ای ماسه سنگ کوارتزیتی بالاترین است ولی با توجه به ترکیب کانی شناسی یکنواخت تر نسبت به سه مورد سنگ های یاد شده، دارای تراکم پذیری پایین تری است. سنگ های با شاخص بارگذاری نقطه ای پایین مانند اسلیت، آندزیت و بازالت تراکم پذیری بالایی را نشان می دهند. بنابراین، همان طور که در نمودار دیده می شود، تغییرات کاملاً متنوع بوده و نمی توان الگوی واحدی را برای کلیه سنگ ها ارائه داد.

## ۷- تجزیه و تحلیل داده ها

جهت بررسی روابط مختلف مورد مطالعه در این مقاله، به موارد زیر اشاره می شود:

#### ۱- رابطه شاخص دوام و تراکم پذیری:

عموماً میزان پایداری سنگ در مقابل اعمال نیروهای فرسایشی تناوبی، با شاخص دوام نشان داده می شود. هرچه اختلاف وزن نمونه های پیش و پس از انجام آزمایش بیشتر باشد شاخص دوام سنگ کمتر می شود. افزایش تعداد سیکل های چرخش نیز تأثیر منفی در شاخص دوام دارد. رابطه بین شاخص دوام در سیکل پانزدهم و تراکم پذیری نمونه های ده گانه سنگ دانه در نمودار ۱ تصویر ۸ نمایش داده شده است. کمترین شاخص دوام و تراکم در نمونه سنگ توف دیده می شود. این سنگ با توجه به ساختار سست و حجم فضاهای خالی فراوان، شاخص دوام خیلی پایینی نشان می دهد. در اثر عمل تراکم، ساختار سنگ دانه ها با اعمال نیروی مکانیکی بیشتر تخریب شده و تراکم پذیری پایینی نشان می دهد. اما شاخص دوام سنگ هایی مانند شیل و اسلیت هر چند که پایین است اما تراکم پذیری بالایی را نمایان می سازند. این موضوع را می توان چنین تفسیر کرد که فراوانی کانی های ورقه ای و قابلیت خردشدگی بالای این سنگ ها، در



تصویر ۷-مقایسه تراکم پذیری سنگ دانه ها بر مبنای شکل نمودار تراکم

تصویر بالا: گروه پنجم (سنگ های سخت) تصویر پایین: گروه ششم (سنگ های متخلخل)

۳- رابطه میزان تخلخل و تراکم پذیری: تراکم پذیری سنگ دانه ها در نمودار ۴ تصویر ۸ ارائه شده است. سنگ تخلخل، میزان فراوانی حجم فضاهای خالی سنگ را نشان می دهد که توف به عنوان یک سنگ آذرآواری بیشترین تخلخل و سنگ آهک لار تابعی از شرایط زمین شناسی محل تشکیل می باشد. رابطه تخلخل و با منشأ شیمیایی کمترین تخلخل را در میان ده نمونه مورد مطالعه



تصویر ۸-نمایش روابط خصوصیات مختلف سنگ دانه ها و تراکم پذیری

بررسی قرار گرفته شده است. نتایج تحقیق را می توان به شرح زیر مورد بررسی قرار داد:

خصوصیات فیزیکی از قبیل میزان تخلخل و وزن واحد حجم، تأثیر مستقیم بر تراکم پذیری نشان می دهند. در مقابل تأثیر وزن مخصوص ذرات جامد خیلی کم و محدود است. بنابراین تأثیرگذاری بافت سنگ دانه ها بر جنس ارجحیت نشان می دهد.

خصوصیات مهندسی سنگ دانه ها از قبیل شاخص دوام و شاخص بار نقطه ای متفاوت می باشند. به استثنای توف، هرچه تغییرات شاخص دوام در سیکل های متفاوت بیشتر باشد تراکم پذیری به دست آمده نیز بیشتر است. به عنوان مثال اسلیت و شیل در مقایسه با دیگر نمونه ها تراکم پذیری بیشتری را نشان می دهند. تأثیر شاخص بار نقطه ای در تراکم پذیری متغیر است. به عنوان مثال اسلیت با کمترین شاخص بار نقطه ای بیشترین تراکم پذیری را نشان می دهد. همچنین سنگ هایی مانند گرانیت، شیل، ماسه سنگ قرمز و ماسه سنگ کوارتزی که شاخص بار نقطه ای بالا دارند نیز تراکم پذیری بالا را منعکس می کنند. نمودارهای تراکم بر مبنای جنس و شکل به ۶ گروه طبقه بندی شدند که هر کدام از این گروه ها خصوصیات تراکم

دارند. بیشترین تراکم در سنگ هایی مانند اسلیت و شیل دیده می شود و این نشان دهنده قابلیت خردشدگی آنها در حین عمل تراکم می باشد.

#### ۴- رابطه دانه بندی و تراکم پذیری:

با ترسیم منحنی دانه بندی سنگ دانه ها پیش و پس از تراکم و تعیین اندازه دانه ها برای عدد D60 می توان رابطه دانه بندی و تراکم پذیری را مطابق نمودار ۳ تصویر ۸ مورد بررسی قرار داد. اختلاف اندازه ذرات در سنگ توف بیشترین است و این نشانه خردشدگی شدید آنها در حین عمل تراکم است و بدین ترتیب کمترین میزان تراکم پذیری نیز حاصل می شود. اما در مورد سنگ هایی مانند شیل و اسلیت، هرچند اختلاف اندازه ذرات زیاد است ولی تراکم پذیری زیاد حاصل شده است. خرد شدن ذرات در حین عمل تراکم باعث تنوع دانه بندی شده و تراکم پذیری خاک را افزایش می دهد.

#### ۸- نتیجه گیری

در این تحقیق خصوصیات تراکم پذیری سنگ دانه های حاصل از ده نمونه سنگ با خصوصیات زمین شناسی مهندسی متفاوت مورد

**Terzaghi, K., Peck, R.B., & Mesri, G. 1996.** Soil mechanics in engineering and practice. 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley and Sons, 549 pages.

پذیری یکسانی را نمایان می سازند. سنگ های با قابلیت تولید دانه بندی متنوع در حین عمل ضربه، تراکم پذیری بالایی دارند (مانند اسلیت، شیل و ماسه سنگ قرمز). تأثیر افزایش درصد رطوبت در تراکم پذیری سنگ های متخلخل مانند توف و تراورتن ناچیز و شیب نمودار تراکم نیز پیش و پس از نقطه اوج کم می باشد. تأثیر افزایش درصد رطوبت برای تراکم پذیری سنگ های بلورین مانند آندزیت، بازالت و ماسه سنگ کوارتزیتی نیز ناچیز بوده و شیب نمودار تراکم کم است. در این مجموعه سنگ گرانیات تراکم پذیری مطلوب تری را با افزایش درصد رطوبت نشان می دهد.

### سپاسگزاری

از مسئولین آزمایشگاه زمین شناسی مهندسی بخش زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس که ما را در انجام آزمایش ها یاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### مراجع

**Al-Hattamleh, O., Razavi, M.R. & Muhunthan, B., 2008.** Study of soil compaction using x-ray computed tomography. *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 2, no.2, pages: 111-123.

**Boltz, L.R., Benson, C. & Boutwell, G., 1998.** Estimating optimum water content and maximum dry unit weight for compacted clays. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 124*, vol. 9, pages: 907-912.

**Chinkulkinjinwat, A., Man-Koksung, E., Uchaipichat, A. & Horpibulsuk, S., 2010.** Compaction characteristics of non-gravel and gravelly soils using small compaction apparatus. *Journal of ASTM International*, vol. 7, no. 7, pages: 32-47.

**Das, B.M., 2006.** Principles of geotechnical engineering, 5<sup>th</sup> edition. Thomson Canada Limited, 592 pages.

**Gurting, Y., & Sridharan, R.J., 2004.** Compaction behavior and prediction of its characteristics of fine grained soils with particular reference to compaction energy. *Journal of Soils and Foundations*, vol. 44(5), pages: 27-36.

**Kurucuk, N., Kodikara, J.K. & Fredlund, D.G. 2008.** Theoretical modelling of the compaction curve', in Unsaturated Soils: Advances in Geo- Engineering, Proceedings of the First European Conference on Unsaturated Soils. Eds. D.T. Toll et al, CRC Press/Balkema, The Netherlands, pp. 375-379

**Lee, P.Y., & Suedkamp, R.J., 1972.** Characteristics of irregularly shaped compaction curves of soils. *Journal of Highway Research Record*, no. 381, National Academy of Sciences, Washington. D.C., pages: 1-9.