

ارتقاء ارزش صیقل پذیری (PSV) سنگدانه‌ها

محمدرضا سلیمانی کرمانی، عضو هیئت علمی، پژوهشکده حمل و نقل، تهران، ایران

E-mail: rezakermani@hotmail.com

چکیده

کاربرد و جایگاه سنگهای مورد استفاده در روسازی جاده‌ها توسط ارزش صیقل پذیری سنگدانه^۱ مشخص می‌شود. با توجه به رشد روزافزون کاربرد سنگهای مناسب در نقاط دنیا که به افزایش قیمت هر متر مکعب این مصالح می‌انجامد، این باور وجود دارد که اگر در فرآیند تولید سنگدانه‌ها تغییراتی ایجاد شود و یا برای شکستن سنگدانه‌ها از روشهای دیگر استفاده شود که به سطح زیرتر سنگدانه منتهی شود، نهایتاً ارزش صیقل پذیری سنگدانه‌ها ارتقاء یافته و استفاده بهینه مصالح حاصل می‌شود. در این مقاله، دو روش مختلف در شرایط آزمایشگاهی بکار گرفته شده‌اند. در مرحله اول ۲۹ نوع سنگدانه از ۳۵ معدن مختلف استخراج شده و این سنگدانه‌ها از نظر زمین شناسی گروه بندی شدند. تعداد چهار سری نمونه و به تعداد ۳۰۰ قطعه طبق استاندارد BS 812 Part: 114 ساخته شدند. این نمونه‌ها توسط ماشین شتاب صیقل ۲ و طبق دستورالعمل آزمایش شدند و ارزش صیقل پذیری (PSV) آنها تعیین شد. در مرحله دوم، بازیافت بافت صیقل یافته (توسط ماشین شتاب صیقل) به دو روش متفاوت یعنی روشهای سند بلاست ۳ و چکشی کردن ۴ در شرایط آزمایشگاهی بازسازی شد. ارزش صیقل پذیری نمونه‌های بازیافت شده طبق استاندارد BS 812 Part: 114 1989 برآورد شد. در مرحله سوم کیفیت سطوح ایجاد شده با روش‌های متداول شکستن سنگها مورد مقایسه قرار گرفت. ارزش صیقل پذیری جدید (باز یافتی) آنها به دست آمده و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. در این راستا ارزش صیقل پذیری تعداد زیادی از سنگدانه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت. مشخص شد که ارتقاء ارزش صیقل پذیری سنگدانه‌ها به نوع سنگدانه و روش بکار گرفته بستگی دارد و این نتیجه به دست آمد که با بکارگیری روش مناسب برای هر گروه از سنگها، ارزش صیقل پذیری آنها افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سنگدانه‌ها، ارزش صیقل پذیری، روسازی، فرسایش

۱. مقدمه

باعث تصادفات در جاده‌ها، به ویژه در هنگام خیس بودن سطح می‌شود. مقاومت در برابر لغزیدن تایر بر روی سطح جاده را

با صیقلی شدن سطح جاده‌ها توسط تایر، بافت ریز دچار فرسایش شده و مقاومت لغزشی در سرعت‌های کم کاهش می‌یابد. این امر

۲۵-۳۵ میلیمتر) نصف شود، ضریب مقاومت لغزشی کناری (SFC) آنها به اندازه ۰/۰۸ واحد افزایش می یابد [3]. این اثر از این واقعیت سرچشمه می گیرد که ذرات ریز و کوچک تر، لبه های تیز بیشتری تولید می کنند و در نتیجه سطح زبرتری را در تماس بین تایر و جاده به وجود می آورند. چنین به نظر می رسد که برای ایجاد مقاومت لغزشی بهتر است از سنگدانه های کوچک تر استفاده شود، ولی به دلیل این که سنگدانه های کوچک تر در زیر فشار وسایل نقلیه سنگین خرد شده و در آسفالت فرو می روند، در نتیجه استفاده از سنگهای کوچک تر عملی نیست. با سنگین شدن روزافزون ترافیک و گسترش شبکه راهها، استفاده از سنگهای لایه رویه با ارزش صیقل پذیری زیاد رو به افزایش است. تحقیقات جهت فراهم کردن چنین مصالحی هم از طریق تولید مصنوعی و هم از طریق استخراج از منابع طبیعی جدید ادامه دارد. اگر چه تولیدات مصنوعی نتایج بهتری در خصوص مقاومت در برابر صیقل پذیری و فرسایش دارند، ولی از آنجایی که سنگهای طبیعی بسیار ارزان تر هستند مورد استقبال بیشتری قرار می گیرند.

۲. پارامترهای مؤثر در انتخاب سنگدانه های

روسازی جاده ها

جایگاه سنگدانه های روسازی بر روی سطح جاده علاوه بر موقعیت و شرایط استفاده از چپینگ به کیفیت سنگدانه نیز بستگی دارد که بر اساس معیارهای به دست آمده از آزمایشهای AAV, AIV و PSV سنگدانه ها طبقه بندی شده و موارد استفاده آنها مشخص می شود. چگونگی انجام این تستها در BS 812 توسط TRM موجود است [4].

۲-۱ ارزش صیقل پذیری (PSV)

در این مرحله نمونه های ساخته شده بر طبق استاندارد، توسط ماشین شتاب صیقل آزمایش می شوند. در این آزمایش، عمل سایش توسط یک چرخ با تایر لاستیکی صورت می گیرد. زمان لازم برای این آزمایش ۶ ساعت است که در پایان آن اعداد آونگی سطح توسط آونگ انگلیسی اندازه گیری می شود (طبق روش ارایه شده در (BS 812. Part 114 1989) [4].

ارزش صیقل پذیری (PSV) از رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$PSV=S+52/5-C \quad (1)$$

سنگهای روسازی آن تأمین می کنند و زبری موجود سطح سنگدانه ها از فرآیند خرد کردن سنگدانه ها تأثیر می پذیرد. وقوع حوادث ترافیکی در جاده های خیس به علت کمبود مقاومت لغزشی آنها یک امر ثابت شده است. می توان گفت که بر روی یک جاده با مقاومت لغزشی کم تصادفات بیشتر در سطح با مقاومت لغزشی زیاد رخ می دهند. حدوداً یک سوم سوانح رانندگی در جاده ها بر اثر لغزش وسیله نقلیه بر روی سطح خیس اتفاق می افتد [۱]. هنگامی که محل این تصادفات مورد آزمایش قرار می گیرد، در اغلب موارد عدم مقاومت لغزشی مناسب حتی به طور عینی نیز مشاهده می شود. امروزه تصادفات در جاده ها جان تعداد بسیاری از انسانها را تهدید می کند و در کشور ما سالانه حدود ۲۵ هزار نفر قربانی دارد [۱]. اگر گفته شود تأمین ۹/۹۹ درصد مقاومت لغزشی سطح جاده به عنوان هدف اصلی تلقی شود به این معنا خواهد بود که در هر هزار وسیله نقلیه، یک وسیله لغزش خواهد داشت که این غیر قابل قبول است [۱]. از دیدگاه فنی رسیدن به بیشینه مقاومت لغزشی تعریف شده در استانداردهای جهانی برای جلوگیری از تصادفات ناشی از لغزش، به علت سنگین بودن هزینه ها غیر ممکن است و با توجه به وابستگی شدید زندگی انسانها به حمل و نقل و توسعه راهها، نیاز به منابع سنگی افزایش می یابد. امروزه افزایش تقاضای سنگهای با کیفیت مناسب در روسازی کاملاً مشهود بوده و باعث افزایش ارزش ریالی آنها نیز شده است. نتایج تجربی توسط (Hosking and Tubey 1972) نشان داد که کلسین بوکسیت (گرید RASC) از کشور گایانا بهترین نوع سنگ، با درجه ارزش صیقل پذیری زیاد (PSV=75) و دارای ارزش فرسایشی (AAV=2) است. این نوع سنگ بسیار گرانبه (با ارزشی حدود ۲۰ برابر سنگهای طبیعی) است و برای اصلاح و پوشش های ویژه (مانند Shellgrip) در نقاط حادثه خیز و جاده های پر ازدحام بکار می رود [۲]. کشورهای اروپایی که دارای منابع محدودند، سالانه مبالغ هنگفتی به واردات سنگهای با کیفیت مرغوب اختصاص می دهند. کشور انگلستان سالانه مقادیر زیادی از این مواد را از کشور گایانا و دیگر کشورها وارد می کند. در گذشته در کشورهای پیشرفته اکثر سنگدانه های لایه رویه جاده ها، به ویژه در جاده های ارزان قیمت، و مکانهایی که امکان استفاده از سنگهای محلی به طور بهینه وجود داشت از سنگهای طبیعی تهیه می شدند. Hosking نشان داد که اگر اندازه سنگدانه ها (محدوده استاندارد

می‌شود. درصد کاهش وزن نسبت به ۳۳ میلی‌لیتر حجم سنگدانه ارزش فرسایشی سنگدانه نامیده می‌شود. مقاومت در برابر فرسایش بستگی به مقاومت موجود ذرات تشکیل دهنده آن سنگدانه و مقاومت برشی آن دارد. مقدار فرسایش سنگدانه از هر نمونه آزمون توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود [۵].

$$AAV=3(A-B)/d \quad (2)$$

A= وزن نمونه قبل از فرسایش (g)

B= وزن نمونه‌ها بعد از فرسایش (g)

d= وزن مخصوص نسبی نمونه (براساس اشباع بودن و سطح خشک داشتن) همان طور که در بند ۵ BS 812 Part 2 مشخص شده است.

۲-۳ ارزش ضربه پذیری سنگدانه (AIV) ^۶

آزمون ضربه‌پذیری براساس استاندارد (BS 812 Part 112:1990) است که اندازه نسبی مقاومت ضربه‌پذیری یک سنگدانه را تعیین می‌کند. (ضربه وزنی است که توسط وسایل نقلیه بر سنگدانه‌های روی جاده برخورد می‌کند و بزرگی آن بستگی به ناهمواری سطح جاده دارد). در آزمایش AIV سنگدانه استاندارد (۱۴-۱۰ میلی‌متر) در برابر تعداد ۱۵ ضربه که با چکش و یا پیستون (۱۴-۱۳/۵ کیلوگرم) از ارتفاع ۳۸۰ میلی‌متر با دامنه تغییرات مجاز ۵-+ میلی‌متر در هر ثانیه رها می‌شود قرار می‌گیرد. نمونه پس از آن در الک BS 2.4mm سرنده شده و مقدار درصد ذرات عبور کننده از الک محاسبه می‌شود. حداقل، تعداد نتیجه دو آزمون در این آزمایش مورد نیاز است و عددی که نزدیک‌تر به یک عدد صحیح باشد به عنوان ارزش ضربه‌پذیری انتخاب می‌شود. باید توجه داشت که اختلاف عددی بین دو آزمون باید کمتر از عدد ۱ باشد [۶].

۳. رابطه بین بافت درشت و بافت ریز سطح

بافت سطح جاده دارای دو جزء است که متأثر از مقاومت لغزشی جاده در حالت خیس‌اند. جزء اول در مقیاس بزرگ وابسته به اندازه سنگدانه‌ها و فضای خالی بین آنهاست و جزء دوم (بافت ریز)، متأثر از لبه‌های تیز سنگ برجسته از سطح است. در سرعت 50km/hr تعداد و میزان لبه‌های تیز سنگ نسبت به

S- میانگین اعداد آونگی اندازه گرفته شده توسط آونگ انگلیسی از چهار نمونه (دو تا از هر آزمایش) با تقریب ۰/۱ واحد
C- میانگین اعداد آونگی اندازه گرفته شده توسط آونگ انگلیسی از نمونه‌های سنگ کنترل (دو تا برای هر آزمایش) و با تقریب ۰/۱ واحد

PSV- ارزش صیقل پذیری سنگدانه با نزدیک‌ترین عدد صحیح مقدار میانگین نمونه‌های آزمایش شده و نمونه‌های سنگ کنترل (دو عدد) برآورد می‌شود [۴]. کمینه مقدار مقاومت لغزشی قابل قبول (استاندارد) به علت استفاده در نقاط گوناگون به شرایط مختلف قسمتهای یک جاده بستگی دارد. پیشنهاد AASHTO این است که هرگز نباید در ساخت رویه‌های آسفالتی از سنگهایی که دارای خاصیت صیقل پذیری خارج از استانداردهای جدول ۱ باشند استفاده شود [۱].

جدول ۱. کمینه ارزش صیقل‌پذیری (PSV) مورد نیاز نقاط مختلف با سطح خیس [۱].

محل اجرا	حد اقل ارزش صیقل‌پذیری (PSV) مورد نیاز سطح خیس	ملاحظات
A	۶۵	مکانهای مشکل زا مانند: میدان‌ها، پیچهای با شعاع کمتر از ۱۵۰ متر، جاده‌های بدون در نظر گرفتن سرعت مجاز شیبهای: ۱:۲۰ و یا کمتر طول بیشتر از ۱۰۰ متر نزدیک به چراغ راهنما برای جاده‌های بدون در نظر گرفتن سرعت مجاز
B	۵۵	در بزرگراه‌ها، جاده‌های اصلی، جاده‌های درجه ۱ و جاده‌ها با ترافیک سنگین شهری (تردد بیشتر از ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در روز)
C	۴۵	برای بقیه مکانها

۲-۲ ارزش فرسایشی سنگدانه ^۵

ارزش فرسایشی سنگدانه‌ها (AAV) توسط نمونه‌های استاندارد BS 812 Part 113 و با استفاده از دستگاه چرخ فرساینده انجام

۲- تعداد چهار سری (برای اجرای هر روش ۲ سری) از ۳۰ نوع سنگدانه که حدوداً ۳۰۰ نمونه است طبق استاندارد BS 812 Part: 114 ساخته شد.

۳- مقاومت لغزشی (عدد آونگی) سنگدانه‌ها توسط آونگ انگلیسی به دست آمد (جدول ۳).

۴- ارزش صیقل‌پذیری سنگدانه‌ها (طبق دستورالعمل BS 812 Part: 114 1989) مشخص شد (جدول ۳).

۵- رویه‌های صیقل‌یافته (در فرآیند ماشین شتاب صیقل) به وسیله روش‌های مکانیکی یادشده بازیافت شد.

۶- مقاومت لغزشی (عدد آونگی) توده‌های بازیافت‌شده، توسط آونگ انگلیسی به دست آمد (جدول ۳).

۷- "ارزش صیقل‌پذیری بازیافت" (PSVR) طبق دستورالعمل BS 812 Part: 114 1989 مشخص شد (جدول ۳).

۸- تفاوت بین ارتقای ارزش صیقل‌پذیری دو روش محاسبه و مقایسه شد.

۹- خروجیها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

مقاومت لغزشی قابل اهمیت است، در حالی که در سرعت‌های بیشتر انرژی هدر رفته در تایر و تغییر شکل آن از اهمیت برخوردار است [۱].

۴. دستگاه آزمایشگاهی

نمونه‌های ساخته شده در حالت کنترل شده توسط دو روش بازیافت مکانیکی در شرایط آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفتند. روش اول روش چکشی کردن توسط تفنگ سوزنی و روش دوم روش سند بلاست است [۱].

۴-۱ روش چکشی کردن توسط تفنگ سوزنی

تفنگ سوزنی 3D ترلاونی با سوزنهایی به قطر ۳ میلیمتری به یک کمپرسور هوا که فشار معادل $345 - 690 \text{ Kn/m}^2$ را تولید می‌کند متصل است [۷]. اندازه قطر سوزنهای مورد استفاده ۱ میلیمتر است که در مدت زمان بهینه ۱۰ ثانیه سطح نمونه را مورد بازیافت قرار می‌دهد.

۴-۲ روش سند بلاست

افشانه به طول $31/75$ سانتیمتر و دهانه افشانه مناسب $(7 \frac{3}{4})$ اینچ برابر با $19/69$ سانتیمتر) به یک کمپرسور مولد فشار هوای $345 - 690 \text{ KN/m}^2$ متصل شد. حجم لازم هوای محاسبه شده $147 \text{ ft}^3 / \text{min}$ (تقریباً $4 \text{ m}^3 / \text{min}$) است. برای خروج آسان مواد فرساینده، افشانه‌ای به قطر $(1/5 - 2/5)$ میلیمتر انتخاب شد. پیشینه زمان بهینه جهت سند بلاست کردن ۴۰ ثانیه در نظر گرفته شد. مواد فرساینده توسط هوای فشرده به طور عمودی بر روی سطح نمونه‌های آزمایشی از فاصله ۱۳۰ میلیمتری پرتاب شدند. برای پوشش دادن کل سطح نمونه‌ها توسط افشانه سند بلاست، فاصله بهینه دهانه افشانه از سطح مورد بازیافت حداقل ۱۲ اینچ یا $(30/48 \text{ cm})$ در نظر گرفته شد [۷].

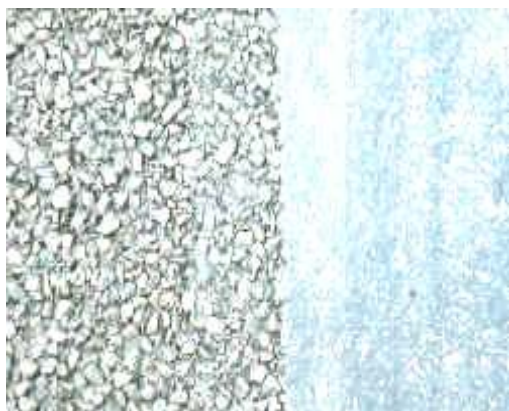
۵. روش تحقیق

در این تحقیق مراحل زیر به ترتیب انجام شده‌اند:

۱- ۳۰ نوع سنگدانه که از ۳۵ معدن مختلف تهیه شده بود، از نظر زمین شناسی گروه بندی شدند (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲. طبقه بندی زمین شناسی سنگهای مورد استفاده در تحقیقات

شماره سنگدانه	گروه زمین شناسی
۱ الی ۸	بازالت (Basalt)
۹ الی ۱۶	گرانیت (Granite)
۱۷ الی ۲۱	سنگ گریت (Gritstone)
۲۲ الی ۲۴	سنگ آهکی (Limestone)
۲۵ الی ۳۰	گابرو (Gabbro)

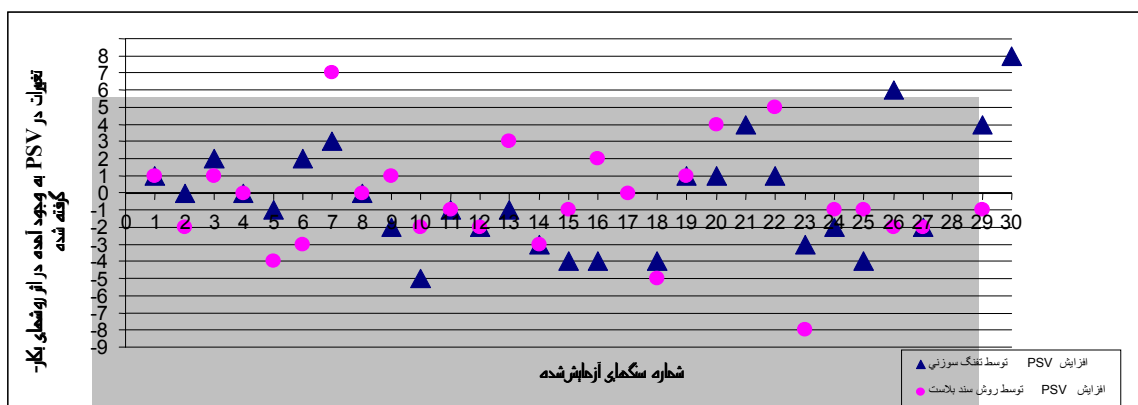


شکل ۱. سطح قبل از بازیافت (سمت راست) و بعد از بازیافت (سمت چپ) را نشان می‌دهد.

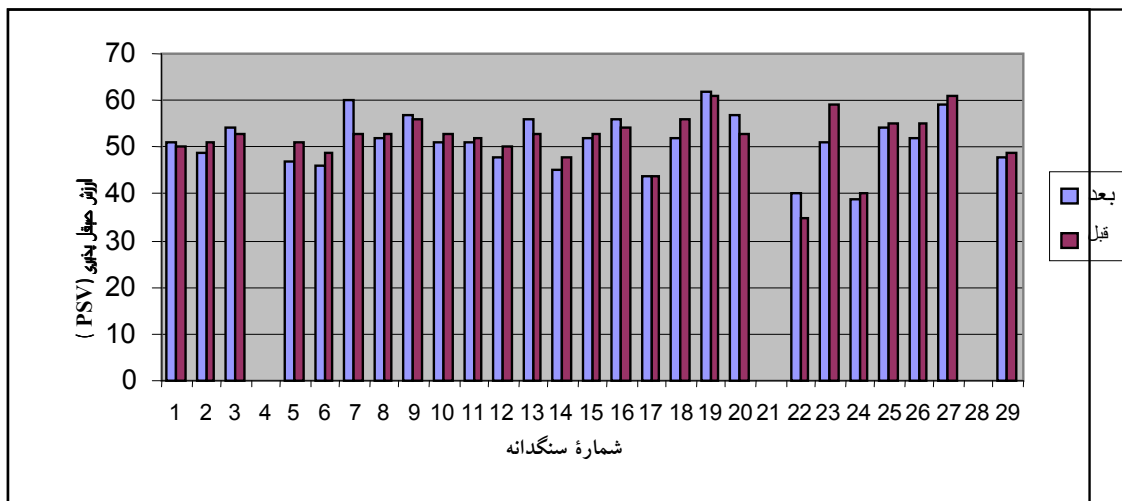
ارتقاء ارزش صیقل پذیری (PSV) سنگدانه‌ها

جدول ۳. مقایسه ارزش صیقل پذیری سنگدانه‌های گزیده که رویه آنها توسط روش سند بلاست و چکشی کردن احیا شده است.

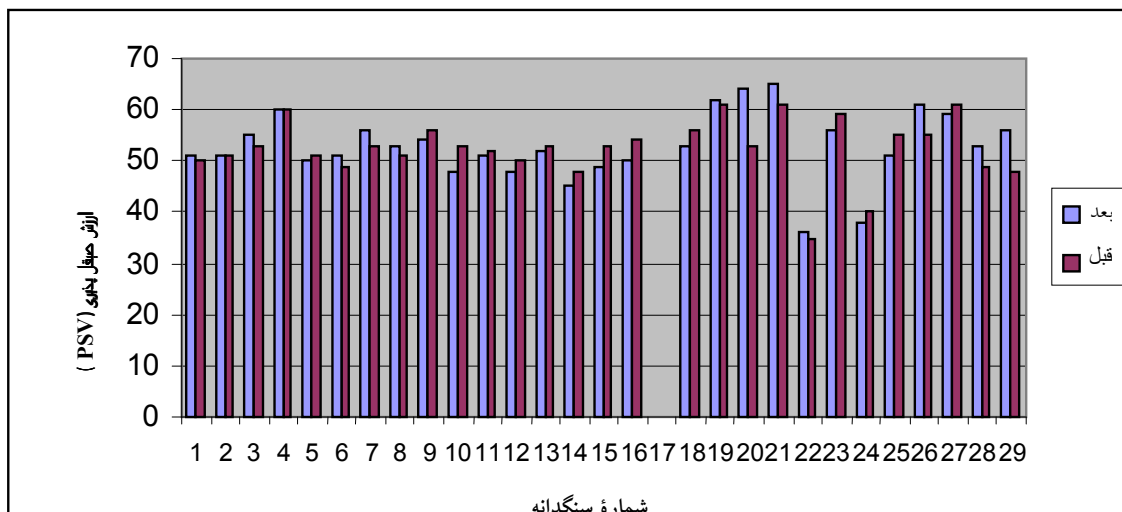
شماره سنگدانه	سند بلاست		چکشی کردن		PSV ارتقاء
	قبل PSV	بعد PSV	قبل PSV	بعد PSV	
بازالت Basalt	1	50	51	1	1
	2	51	49	-2	2
	3	53	54	1	3
	4	0	0	0	0
	5	51	47	-4	5
	6	49	46	-3	6
	7	53	60	7	3
8	سنگ کنترل				
گرانیت Granite	9	56	57	1	9
	10	53	51	-2	10
	11	52	51	-1	11
	12	50	48	-2	12
	13	53	56	3	13
	14	48	45	-3	14
	15	53	52	-1	15
سنگ گریت Gritstone	16	54	56	2	16
	17	44	44	0	17
	18	56	52	-3	18
سنگ اهک Limestone	19	61	62	1	19
	20	53	57	4	20
گابرو Gabbro	21	0	0	0	21
	22	35	40	5	22
	23	59	51	-8	23
	24	40	39	-1	24
	25	55	54	-1	25
	26	55	52	-3	26
	27	61	59	-2	27
	28	0	0	0	28
	29	49	48	-1	8



نمودار ۱. تغییرات ایجاد شده در ارزش صیقل پذیری سنگدانه (PSV) در اثر بکارگیری روشهای مختلف ایجاد بافت ریز



نمودار ۲. تغییرات ایجاد شده در ارزش صیقل پذیری سنگدانه (PSV) در اثر بکارگیری روش سند بلاست



نمودار ۳. تغییرات به وجود آمده در ارزش صیقل پذیری سنگدانه (PSV) در اثر بکارگیری روش چکشی کردن

جدول ۴. سنگدانه‌هایی که حداکثر ارتقاء PSV را با استفاده از روش سند بلاست کسب کرده‌اند

شماره سنگدانه	واحد ارتقاء ارزش صیقل پذیری (PSV)
۷	۷
۲۰	۴
۲۲	۵

جدول ۵. مقایسه ارزش صیقل پذیری نمونه‌های آزمایش شده سنگدانه شماره ۷ که بیشینه

ارتقاء PSV را با استفاده از روش سندبلاست کردن کسب کرده است.

تعداد نمونه های سنگدانه ها				آنالیز آماری					
۱	۲	۳	۴	\bar{X}	$\sum x$	$\sum x^2$	Sd	-t تست	تغییرات PSV
۵۴	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳	۲۱۳	۱۱۳۴۵	۰٫۹۶	+۶٫۵۵	۷۸
۵۸	۵۹	۶۲	۶۱	۶۰	۲۴۰	۱۴۴۱۰	۱٫۸		

ارتقاء ارزش صیقل پذیری (PSV) سنگدانه‌ها

جدول ۶. سنگدانه‌هایی که بیشینه ارتقاء PSV را با استفاده از روش چکشی کردن به دست آمده‌اند.

شماره سنگدانه	واحد، ارتقاء ارزش صیقل پذیری (PSV)
۲۱	۴
۲۶	۶
۲۹	۴
۳۰	۸

جدول ۷. مقایسه ارزش صیقل پذیری نمونه‌های آزمایش شده سنگدانه شماره ۳۰ که بیشینه

ارتقاء PSV را با استفاده از روش چکشی کردن کسب کرده است.

تعداد نمونه‌های سنگدانه‌ها				آنالیز آماری					تغییرات PSV
۱	۲	۳	۴	\bar{X}	$\sum x$	$\sum x^2$	Sd	t - تست	
۴۸	۴۸	۴۹	۴۸	۴۸	۱۹۳	۹۳۱۳	۰.۵	+۷.۵۲	
۵۷	۵۸	۵۵	۵۴	۵۶	۲۲۴	۱۲۵۵۴	۱.۸۳	۸+	

۶. تحلیل

روشهای یاد شده را نشان می‌دهد می‌توان به کمک آنها مقایسه بین تغییرات را مشاهده کرد.

- سنگدانه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۲۷ سنگدانه‌هایی هستند که نتایج هر دو روش بکار گرفته شده (روش سند بلاست و تفنگ سوزنی) زیر محور X قرار گرفته است و نشان می‌دهد که زبری ایجاد شده در اثر شکستن معمول، مؤثرتر از کیفیت سطح حاصل از بکارگیری روشهای دیگر (سند بلاست و چکشی کردن) است.

- سنگدانه‌های ۱ و ۱۹ سنگدانه‌هایی هستند که نتایج هر دو روش بکار گرفته شده (روش سند بلاست و چکشی کردن) بالای محور X قرار گرفته است و نشان می‌دهد که هر دو روش نتایج یکسانی داشته و همچنین کیفیت خروجی به دست آمده از حالت شکستن معمول مؤثرتر است.

- روش سند بلاست در مورد سنگدانه‌های ۷، ۹، ۱۳، ۱۶، ۲۰ و ۲۲ از روش شکستن معمول و چکشی کردن در ارتقاء PSV مؤثرتر است. با توجه به نمودار شماره ۱ مشخص شد که از میان تعداد ۲۹ سنگدانه مورد استفاده، بکارگیری روش سند بلاست باعث ارتقاء بیشتر مقدار PSV سنگدانه‌های شماره ۷، ۲۰ و ۲۲ شده است. این مقادیر در جدول ۴ نمایش داده شده است.

برای باز یافت بافت به وسیله تفنگ سوزنی (مدل سازی روش چکشی کردن)، دستگاه به کمپرسور تولیدکننده فشار $345 - 690 N/m^2$ متصل شد. مقطع (نوک) سوزنی به قطر انتهایی ۱ میلی‌متر، زمان عملکرد حداکثر ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شد. تعداد دو سری از نمونه‌های هر سنگدانه برای قابلیت تکرار پذیری و همانند سازی بکار گرفته شدند. حجم لازم هوای محاسبه شده $147 ft^3/min$ (که تقریباً برابر $4m^3/min$ است) در نظر گرفته شد. فاصله دهانه افشانه از سطح ۱۲ اینچ (۳۰/۴۸ cm) بود. افشانه از آلیاژ بور با طول مناسب $31/75$ سانتیمتر انتخاب شد تا دستگاه را با دهانه افشانه مناسب $7\frac{3}{4}$ اینچ (۱۹/۶۹ سانتیمتر) هماهنگ کند. دوسری نمونه از هر سنگدانه مورد باز یافت قرار گرفتند. پارامترهای متغیر (به طور مثال، فشار هوا، جریان هوا، سنگریزه و غیره) از قبل تعیین و مشخص شدند.

خلاصه نتایج جدول (۳) و نمودار ۱ نشان می‌دهد که:

- سنگدانه‌هایی که نتایج هر دو روش بکار گرفته شده (روش سند بلاست و تفنگ سوزنی) بر روی محور X قرار گرفته است مانند سنگدانه‌های شماره ۴، ۸ و ۱۷ هیچ تغییر مثبت و یا منفی در مقایسه با خرد کردن معمولی سنگدانه نداشته‌اند. نمودارهای ۲ و ۳ که تغییرات ایجاد شده بر اثر بکارگیری

۲- نتایج حاصل در تحقیقات انجام شده در این مقاله نشان دادند که تغییرات در فرآیند شکستن سنگدانه‌ها منجر به ارتقای ارزش صیقل پذیری آنها می‌شود. در نتیجه، استفاده بهینه از این مصالح ارزشمند نه تنها باعث سرویس دهی بهتر آنها می‌شود بلکه مرمت روسازی جاده را به تعویق انداخته که در امر صرفه جویی در منابع بسیار مؤثر است.

۳- واکنش سنگدانه‌ها به روش اتخاذ شده تأثیر پذیر از موقعیت آنها در طبقه بندی زمین شناسی سنگها نیست.

۴- نوع و روش بکار گرفته شده، به ارتقای ارزش صیقل پذیری وابسته است.

۵- از آنجایی که سنگدانه‌ها به واسطه داشتن ساختار تشکیل دهنده مواد معدنی (در صد ونوع مواد تشکیل دهنده)، با یکدیگر متفاوت اند، برای ارتقاء کیفیت ارزش صیقل پذیری هر سنگدانه و در نظر گرفتن روش مناسب، وضعیت هر سنگدانه باید به صورت جداگانه در نظر گرفته شود.

۶- ارزش صیقل پذیری سنگدانه‌های با ارزش صیقل پذیری کمتر را می‌توان با روشهای مؤثر و منحصر به فرد افزایش داد.

۷- با در نظر گرفتن روش مناسب برای هر سنگدانه، می‌توان سنگدانه‌های با ارزش صیقل پذیری کمتر را بر حسب ارزش صیقل پذیری جدید (ارتقاء یافته) طبقه بندی کرده و در نقاط حادثه خیز، پیچهای خطرناک و محدوده عبور عابران پیاده مورد استفاده قرار داد.

۸- کمینه ارزش صیقل پذیری ارایه شده در استانداردها را می‌توان با بکارگیری روشهای یاد شده ارتقاء داد.

۹- روش بهینه‌سازی ارزش صیقل پذیری سنگدانه‌ها با هم متفاوت بوده و باید برای هر کدام روش مناسبی در نظر گرفته شود، به عبارت دیگر نمی‌توان یک روش را برای کلیه سنگدانه‌ها عمومیت داد.

- سنگدانه‌های ۲۰، ۱۳، ۷، ۲۲، سنگدانه‌هایی هستند که به طور قابل ملاحظه‌ای از روش سند بلاست بهره گرفته و ارزش صیقل پذیری آنها ۱ الی ۷ واحد ارتقاء یافته است.

- سنگدانه‌های ۲۱، ۲۶، ۲۹ و ۳۰ سنگدانه‌هایی هستند که به طور قابل ملاحظه‌ای از روش چکشی کردن بهره گرفته‌اند و ارزش صیقل پذیری آنها ۱ الی ۸ واحد ارتقاء یافته است (جدول ۶).

- روش چکشی کردن در مورد سنگدانه‌های ۳، ۶، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۲۹ و ۳۰ از روش شکستن معمول و سند بلاست در ارتقاء PSV مؤثرتر بوده است. با توجه به نمودار شماره ۱ مشخص شد که از میان تعداد ۲۹ سنگدانه روش چکشی کردن باعث ارتقاء بیشترین مقدار در سنگدانه‌های شماره ۲۱، ۲۶، ۲۹ و ۳۰ شده است. مقادیر ارتقاء در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۵ اعداد آونگی ۴ نمونه ساخته شده شماره ۷ در رابطه با افزایش PSV است. جدول ۵ مقایسه ارزش صیقل پذیری نمونه‌های آزمایش شده سنگدانه شماره ۷ که بیشینه ارتقاء PSV را با استفاده از روش سند بلاست به دست آورده است، این جدول افزایش اعداد آونگی یکایک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. جدول ۷ اعداد آونگی ۴ نمونه ساخته شده از سنگدانه شماره ۳۰ را در رابطه با افزایش PSV نشان می‌دهد، این جدول افزایش اعداد آونگی یکایک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. اگر چه در مورد سنگدانه‌هایی مانند ۳، ۱۹، ۲۰ و ۲۲ نتیجه نهایی هر دو روش باعث ارتقاء ارزش صیقل پذیری آنها شده است، اما همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود فقط یکی از روشها مؤثرتر از سایرین واقع شده است. نتیجه نهایی این است که برای انواع مختلف سنگها باید روشهای منحصر به فرد در نظر گرفته شود که کیفیت سنگدانه‌ها را به بیشینه ارزش صیقل پذیری برساند.

۷. نتیجه گیری

۱- از آنجا که عملکرد هر سنگدانه رابطه مستقیم با روش بکار گرفته دارد، از این رو برای بکارگیری روش مناسب بازیافت بافت هر سنگدانه باید در ابتدا پارامترهای متغیر، تعیین و مشخص شوند (به طور مثال، فشار هوا، جریان هوا، سنگریزه و غیره).

۸. منابع

1. Soleymani Kermani, M.R. (1995) "Mechanical re-texturing of road surface aggregates", Ph. D Thesis, Department of Civil Engineering, Queen Mary and Westfield College, University of London.

6. British Standards Institute "Method for determination of aggregate impact value (AIV)", BS 812: Part 112, London.

۷. سلیمانی کرمانی، محمد رضا (۱۳۸۵) "کنترل کیفی بازیافت مقاومت لغزشی سنگدانه‌ها"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره ۱.

پانویس‌ها

1. Polished Stone Value (PSV)
2. Accelerated Polishing Machine
3. Sand Blasting
4. Bush Hammering
5. Aggregate Abrasion Value (AAV)
6. Aggregate Impact Value (AIV)

2. Hosking J.R and Tubey L.W. (1972) "Aggregate for resin-bound skid resistant road surfaces" TRRL Report LR466, Crowthorne.

3. Hosking, J. R and Woodford, G. C. (1983) "Measurement of skidding resistance, Part II, Factors affecting slipperiness of road surface", TRRL Report LR738, Crowthorne.

4. British Standards Institute (BSI) (1990) "Method for determination of polished stone value (PSV)", BS 812: Part 114, London.

5. British Standards Institute (1990) "Method for determination of aggregate abrasion value (AAV), BS 812: Part 113, London.