

## کنترل کیفی بازیافت مقاومت لغزشی سنگدانه‌ها\*

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

E-mail: rezakermani@hotmail.com

### چکیده

تاکنون ۱۴ روش بازیافت سطوح صیقل یافته، طراحی و معرفی شده اند. این روشها به علت کم هزینه بودن و سرعت اجراء، وقفه در جریان ترافیک را به هنگام بازسازی سطوح<sup>۱</sup> به حداقل می رسانند. ماشین های مکانیکی که براساس این روش ها ابداع شده اند از دو روش سندبلاست<sup>۲</sup> و چکشی کردن<sup>۳</sup> استفاده می کنند، اما تاکنون نه تنها هیچ گونه کیفیت سنجی رویه های بازیافت شده با روش های مذکور انجام نشده و وسیله و یا دستورالعملی نیز انتخاب و برای بکارگیری این روشها ارایه نگردیده است. در این مقاله با آزمایش هایی که توسط دستگاه طراحی و ساخته شده توسط نویسندۀ مقاله، بر روی سطوح مستعمل و صیقل یافته انجام شده است دو روش احیا کردن سنگدانه ها در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی، مدل شده و پارامترهایی که در بهبود کیفیت این تکنیک ها موثرند، تعیین شده اند. ارزیابی نهایی کیفیت سنگدانه و عدم وجود ترکها پس از عملیات بازیافت با تجزیه و تحلیل مقطع نازک عمودی توسط میکروسکوپ<sup>۴</sup> انجام شده و کیفیت زبری حاصل از عمل بازیافت توسط میکروسکوپ الکترونی اسکن کننده<sup>۵</sup> صورت گرفت. تصاویر مقطع نازک عمودی هیچ ترک خوردگی یا آسیبی را در سنگدانه های مورد استفاده نشان نداد، به جز دو مورد که نشان دهنده مخرب تر بودن روشهای مورد استفاده است.

واژه های کلیدی: بازیافت مکانیکی، سند بلاست کردن، چکشی کردن

### ۱. مقدمه

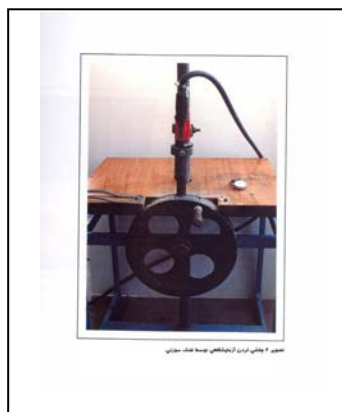
روشهای بازیافت بافت (احیا) که توسط این کشورها گزارش شدند عبارتند از: چکشی کردن، سندبلاست (ماسه پاشی)، نرم کردن، شیارزنی، پخش کردن اسید هیدروکلرید، لایه زدایی شعله ای، برداشت لایه، گرمادهی مجدد و روکش کردن، رویه کاری قیری با پخش خرده سنگ (چپینگ)، بکارگیری لایه رزینی به همراه پخش کردن سنگدانه، روکش سطح چسبندگی قیری به همراه پخش سنگدانه، درزگیری دوغاب، پخش و غلتک کاری مواد دانه ای، پخش الکل سفید و رویه کاری مجدد با مواد قیردار (تا حداکثر ۲ سانتیمتر) [2 و 3].

روش چکشی کردن به طور آزمایشی بر روی سطوح بتن سیمانی در بلژیک، فرانسه و سوئیس به ترتیب (۲۰۰۰، ۵۰۰، ۵۵۰۰

در سالهای اخیر روشهای بازیافت مکانیکی برای استفاده بهینه از سطح رویه، مورد توجه و استقبال قرار گرفته است. در سال ۱۹۷۳ تحقیقاتی در مورد بازیافت بافت سطحی بوسیله PIARC به صورت مکاتبه ای و با استفاده از پرسشنامه انجام شد [1]. در ابتدای سال ۱۹۷۴ مطالعات جامع تری، با همکاری «هیأت تحقیقاتی شبکه حمل و نقل»، در واشنگتن، ۵۰ ایالت از ایالات متحده امریکا، مناطق کلمبیا و پورتوریکو انجام گرفت [2].

۱۵ کشور دیگر نیز به پرسشنامه ها پاسخ دادند، درحالی که برخی از کشورها اطلاعات کامل تری را عرضه کردند. این کشورها شامل، استرالیا، بلژیک، چکسلواکی، آلمان، فنلاند، فرانسه، انگلستان، هند، ایتالیا، ژاپن، هلند، لهستان، اسپانیا، سوئد و سوئیس بودند [1].

تعیین کرد. به این منظور دستگاهی طراحی و ساخته شد تا بازیافت سنگدانه ها را از طریق مدل های آزمایشگاهی انجام دهد. برای دستیابی به این هدف در این بخش به معرفی تفنگ سوزنی که همان عمل چکشی کردن را الگوسازی می کند و دستگاه سندبلاست می پردازیم [2].



شکل ۱. چکشی کردن آزمایشگاهی توسط تفنگ سوزنی

### ۳-۱ انتخاب نوک مناسب سوزن

برای تعیین مناسب ترین اندازه نوک سوزن ها، آزمایشهایی در سه بخش انجام شدند. اولین سری آزمایش ها با استفاده از سوزنهای تیز بر روی سنگدانه های A, B, C و D صورت گرفتند. نمونه های آزمایش شده با این سوزن ها پیشرفت نسبتاً ناچیزی را در افزایش اعداد آونگی نشان می دهد (جدول ۱).

جدول ۱. آزمایش اول بر روی سنگدانه های

A, B, C و D با استفاده از نوک تیز

سنگدانه	عدد آونگی قبل از بازیافت	عدد آونگی بعد از بازیافت	افزایش عدد آونگی
A	۵۱	۶۱	۱۰
B	۴۸	۵۸	۱۰
C	۵۱	۶۶	۱۵
D	۵۰	۶۲	۱۲

افزون بر این، نوک تیز سوزن ها در اثر فرسایش، به سرعت از بین می رود. دومین آزمایش که با استفاده از نمونه های ساخته شده از همان سنگدانه ها و با سوزنهایی با نوک های متفاوت انجام شد، مشخص کرد که بهترین اندازه نوک، سوزنهایی با قطر ۱ میلیمترند که باعث افزایش مقادیر آونگی قابل ملاحظه ای می شوند (نمودار ۱ و جدول ۲).

مترمربع) به کار گرفته شد. همچنین این روش در انگلستان بر روی سطوحی با مساحت ۱۱,۳۰۰ مترمربع از بتن سیمانی و قیری مورد استفاده قرار گرفت و هم اکنون نیز در کشور هلند به عنوان یک روش رایج بکار می رود [4].

از آنجا که تا کنون کیفیت سنجی رویه های بازیافت شده انجام نشده و هیچ وسیله و یا دستورالعمل آزمایشگاهی نیز برای انتخاب و بکارگیری این تکنیک ها ارایه نشده است، نیاز به طراحی و ساخت وسیله آزمایشگاهی همراه با دستورالعمل دقیقی که بتواند این روشها را در شرایط آزمایشگاهی مدل سازی کرده و پارامترهای موثر در انجام موفقیت آمیز عملیات را قبل از اعمال روش بر روی سطح جاده تعیین کند به شدت احساس شد. این مقاله به نتایج تحقیقات انجام شده بر روی بافت ریز بازیافت شده که در شرایط آزمایشگاهی مدل شده و پارامترهای آن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند می پردازد.

### ۲. روش تحقیق

ابتدا دستگاهی بر اساس عملکرد ماشینهای بازیافت طراحی شده و دو روش سند بلاست و چکشی کردن به وسیله سند بلاست موضعی و تفنگ سوزنی مدل سازی شدند. پارامترهای موثر در عملکرد بهینه انجام روش به صورت آزمایشگاهی از قبیل: نوک سوزن، فشار هوای مناسب در مورد تفنگ سوزنی و نوع مواد فرساینده، فشار هوای مناسب و اندازه افشانه در خصوص سند بلاست کردن تعیین شدند و دستور العمل انجام روشها به صورت جداگانه تدوین گردیدند. سپس ۲ سری نمونه برای آزمایش به وسیله هر روش جهت تکرار پذیری به کار گرفته شده و خروجی های به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. نهایتاً مخرب نبودن روشهای به کار گرفته شده توسط تجزیه و تحلیل مقطع نازک عمودی به اثبات رسیده و کیفیت زبری سطوح به دست آمده با استفاده از روشهای مذکور به وسیله SEM ارزیابی شد.

### ۳. دستگاه آزمایشگاهی

برای مدل سازی روشهای بازیافت مکانیکی در شرایط آزمایشگاهی بررسی هایی انجام شد تا از طریق آزمایشها بتوان پارامترهای مهم و موثر برای بهبود کیفیت روشهای بازیافت را

جدول ۴. آزمایش بر روی سنگدانه های

A, B, C و D با استفاده از نوک‌های مختلف

نوک	نوک اسکنه‌ای	نوک ۱ میلیمتری	نوک تیز
تجزیه	$\bar{X}_1 = 52/75$	$\bar{X} = 70/75$	$\bar{X}_1 = 61/75$
تحلیل آماری	$Sd = 3/202$	$Sd = 2/63$	$Sd = 3/304$

### ۳-۲ تجزیه و تحلیل آماری واریانس<sup>۶</sup> (دو عامل)

در این مرحله ارزیابی آماری در خصوص انتخاب بهترین نوک (مقطع) سوزن مناسب بر اساس مقایسه بین میانگین‌های جدول ۴ انجام شد (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴).

سه آزمون (SS, MS & F) را می‌توان بر روی خروجی‌ها انجام داد. جدول (۶) نشانگر ردیفها (مقادیر بعد از بازیافت)، تاثیر ستونها (در اینجا تفاوت بین مقاطع نوک سوزنهای مختلف) و این که آیا این دو عامل دارای عمل متقابل هستند یا نه، را نشان می‌دهد. [6].

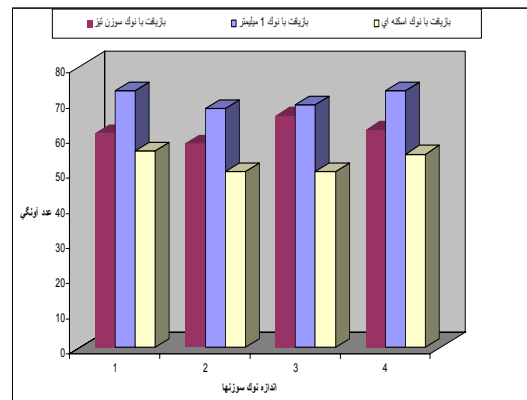
در مورد این که آیا تفاوت قابل ملاحظه ای بین عداد آونگی گروه‌ها قبل از بازیافت وجود دارد یا خیر، آزمون‌هایی انجام پذیرفته است (ستون ۲، جداول ۱، ۲ و ۳).

### جدول ۶. تجزیه و تحلیل تغییرات قبل از عمل بازیافت

میزان	DF Degree of Freedom	SS Sum of the Square due to source	MS Mean Square	F-test آزمون کی
سنگدانه	۳	۱۶/۲۵	۵/۴۱۷	$F(3,6)=21/67$
گروه‌ها	۲	۵/۱۶۷	۲/۵۸۳	$F(2,6)=10/33$
خطا	۶	۱/۵	۰/۲۵	
مجموع	۱۱	۲۲/۹۱۷		

توجه: با فرض این که بر هم کنش (عمل متقابل) سنگدانه و گروه‌ها صفر باشد [۱]، به منظور بررسی این موضوع که آیا تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مقدار آونگی گروه‌ها قبل از بازیافت وجود دارد، عامل F- محاسبه می‌شود.

$$F = \frac{MS(\text{گروه‌ها})}{MS(\text{خطا})} = \frac{2/583}{0/25} = 10/33$$



نمودار ۱. مقایسه عداد آونگی با نوک‌های مختلف

### جدول ۲. آزمایش دوم بر روی سنگدانه‌های

A, B, C & D با استفاده از نوک ۱ میلیمتری

سنگدانه	عدد آونگی قبل از بازیافت	عدد آونگی بعد از بازیافت	افزایش عدد آونگی
A	۵۲	۷۳	۲۱
B	۵۰	۶۸	۱۸
C	۵۳	۶۹	۱۶
D	۵۱	۷۳	۲۲

آزمایش سوم، مقاطع سوزنی با انتهای پهن است، این آزمایش‌ها همچون آزمایش‌های ۱ و ۲ بر روی نمونه‌های ساخته شده از همان سنگدانه‌ها انجام شده و نتیجه حاصل این بود که اعداد آونگی به دست آمده در مقایسه با آزمایش‌های ۱ و ۲ کاهش یافته است. (جداول ۳ و ۴).

### جدول ۳. آزمایش سوم بر روی سنگدانه‌های

A, B, C و D با استفاده از نوک پهن (پیچ‌گوشتی)

سنگدانه	عدد آونگی قبل از بازیافت	عدد آونگی بعد از بازیافت	افزایش عدد آونگی
A	۵۱	۵۶	۵
B	۴۹	۵۰	۱
C	۵۲	۵۰	۲
D	۴۹	۵۵	۶

و همچنین در حالت تماس با سطح سنگدانه‌ها قرار داشته باشند تا عمل بازیافت بافت به گونه‌ای بهینه انجام شود.

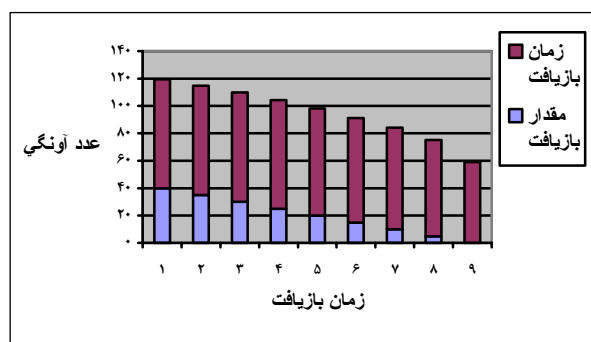
### ۳-۳ تاثیر مدت زمان مناسب عملیات بازیافت نسبت به بازیافت، توسط تفنگ سوزنی

چندین نمونه ساخته شده از سنگدانه‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند تا زمان مناسب جهت بازیافت بافت تعیین شود. جدول ۸ برخی از سنگدانه‌های بکار رفته جهت دستیابی به این هدف و اعداد آونگی به دست آمده در زمان‌های مختلف در نظر گرفته شده جهت بازیافت بافت را نشان می‌دهد [زمان در معرض قرار گرفته از ۵ الی ۴۰ ثانیه]. زمان بازیافت باید به حداقل برسد تا کاهش وزن سنگدانه محدود شده و در نهایت سنگدانه به قطعات کوچک شکسته نشود.

جدول ۸، راهنمایی‌هایی را در انتخاب زمان مناسب برای قرار دادن نمونه‌های آزمایشگاهی در معرض تفنگ سوزنی ارائه می‌کند. نتیجه آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مدت زمان مناسب عملیات، حداکثر تا ۱۰ ثانیه برای تمام سنگدانه‌ها و برای سنگ آهک (سنگدانه ضعیف) به مدت ۵ ثانیه است. (جدول ۸ و نمودار ۲).

جدول ۸ بازیافت بافت با زمانهای مختلف (۵ الی ۴۰ ثانیه) با استفاده از تفنگ سوزنی

عدد آونگی بعد از بازیافت									سنگدانه
S <sub>۴۰</sub>	S <sub>۳۵</sub>	S <sub>۳۰</sub>	S <sub>۲۵</sub>	S <sub>۲۰</sub>	S <sub>۱۵</sub>	S <sub>۱۰</sub>	S <sub>۵</sub>	S <sub>۰</sub>	
۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۷۴	۷۲	۶۵	۴۹	سنگ کنترل ۱
۸۱	۸۲	۸۲	۸۲	۸۰	۷۶	۷۴	۶۶	۵۱	سنگ کنترل ۲
۸۱	۸۲	۸۲	۸۲	۸۱	۷۹	۷۹	۷۴	۵۰	سنگ کنترل ۳
۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۲	۷۲	۷۰	۶۹	۶۵	A
۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۷۶	۷۳	۷۲	B
۸۰	۸۰	۸۰	۷۷	۷۷	۷۶	۷۵	۷۴	۶۷	C



نمودار ۲. بازیافت بافت با زمانهای مختلف (۵ الی ۴۰ ثانیه) با استفاده از تفنگ سوزنی

مقدار جدول برای (۶ و ۲) F معادل ۱۰/۹۲ و برای  $\alpha = 0.01$  و ۲۷/۰۰ برای  $\alpha = 0.001$  است. از آنجا که ۱۰/۳۳ از مقادیر در جدول آماری تجاوز نمی‌کند، بنابراین هیچ دلیل آماری دال بر وجود اختلاف بین گروه‌های قبل از بازیافت (سطح اطمینان ۹۹ درصد) مشاهده نمی‌شود (جدول ۶).

جدول (۷) تجزیه و تحلیل بر روی نمونه‌هایی است که مورد عمل بازیافت قرار گرفته‌اند.

برای پی بردن به این که آیا اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین سنگدانه‌های اعمال شده با سوزن نوک تیز وجود دارد بررسی‌هایی به شرح ذیل انجام شدند (ستون ۳ جداول ۱، ۲ و ۳).

جدول ۷. تجزیه و تحلیل تغییرات بعد از عمل بازیافت

مؤثر	DF	Degree of Freedom	SS	Sum of the square of error	MS	Mean square of variance	F	آزمون کای
سنگدانه	۳		۴۳/۵۸۳		۱۴/۵۲۸		F(۳و۶)=۲/۱۴	
گروه‌ها	۲		۶۴۸		۳۲۴		F(۲و۶)=۴۷/۸	
خطا	۶		۴۰/۶۶۷		۶/۷۷۸			
مجموع	۱۱		۷۳۲/۲۵					

این تحلیل‌ها با این فرض انجام شدند که بر هم کنش (عمل متقابل) سنگدانه و سوزن‌ها صفر باشد. به منظور بررسی این موضوع که آیا اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین سنگدانه‌ها بعد از بازیافت با مقاطع مختلف وجود دارد نسبت F را محاسبه می‌کنیم:

$$(MS \text{ سوزن‌ها}) \div (MS \text{ خطای}) = ۳۲۴ \div ۶/۷۷۸ = ۴۷/۸۰$$

مقدار جدول برای F(۲،۶) معادل ۵/۱ برای  $\alpha = 0.05$  و ۱۰/۹۲ برای  $\alpha = 0.01$  است. با توجه به این که ۴۷/۸۰ از این مقادیر از جدول آماری فراتر می‌رود، این امر دلیل بر اختلاف عمل بین دو روش است. برای بررسی این موضوع که کدام یک از مقاطع نتایج بهتری دارد، میانگین مقادیر در نظر گرفته شده‌اند. میانگین‌هایی که در جدول ۴ محاسبه شده است نشان می‌دهند که انجام آزمایش با مقطع ۱ میلی‌متر باعث افزایش قابل توجه عدد آونگی شده است. مدت زمان یکسانی برای بازیافت هر یک از این آزمایش‌ها در نظر گرفته شده و در این تحقیق نشان داده شد که مناسب‌ترین نوک سوزن با مقطع ۱ میلی‌متر است (جدول ۱ و ۲ و ۳). سوزن‌ها باید با زاویه ۹۰ درجه نسبت به سطح نمونه‌ها قرار گیرند

## ۴. مراحل بازیافت بافت سنگدانه‌ها به وسیله

### تفنگ سوزنی

- ۱- شستن چرخ جاده (Road Wheel BS812) پس از ۶ ساعت صیقل دادن (طبق دستورالعمل (BS812Part:114 1989) [7])،
- ۲- محکم کردن چرخ جاده بر روی شافت (محور) دستگاه،
- ۳- قرار دادن آونگ در جای تعیین شده و کالیبره کردن آن (تصویر ۳)،

۴- اندازه گیری اعداد آونگی قبل از بازیافت بافت،

۵- نصب تفنگ سوزنی در جای تعبیه شده (تصویر ۱)،

- ۶- اندازه گرفتن قطع سوزن (توسط یک خط‌کش)، فشار هوا، زاویه تفنگ سوزنی، فاصله سوزن‌ها از سطح نمونه (یعنی فقط در حال تماس با سطح) سنجش موقعیت محلی و سرانجام حصول اطمینان از این که چرخ در وضعیت آزاد (چرخیدن) است،

- ۷- شروع عمل بازیافت بافت از شماره ۱۳ (سنگ کنترل ۱) و رها کردن سنگدانه شماره ۱۴ (سنگ کنترل ۲) تا مرحله آخر [۷]. کیفیت و کاربرد سنگ کنترل در BS 812 Part:114 1989 به تفصیل آمده است [7]. استفاده از یک زمان سنج (کرونومتر) جهت اندازه‌گیری زمان بازیافت بافت (۱۰ ثانیه برای همه سنگ‌ها بجز سنگ های آهکی ۵ ثانیه) [1]،

- ۸- برداشتن تفنگ سوزنی از روی میز و شستن چرخ با آب و استفاده از یک برس نرم،

- ۹- قرار دادن چرخ در وضعیت ثابت و تنظیم آونگ بر روی نمونه سنگدانه و خواندن درجه (عدد آونگی)، شروع از شماره ۱۳ و سپس ۱۴ طبق دستورالعمل BS 812Part:114 1989.

ادامه اندازه‌گیری مقدار آونگی، تنها زمانی مجاز است که مقادیر آونگی پس از بازیافت نمونه‌های سنگ کنترل ۱ و ۲ (شماره‌های ۱۳-۱۴) بین (۷۳-۶۹) برای تفنگ سوزنی و بین (۸۱-۷۸) برای روش سندبلاست باشد. در غیر این صورت آزمایش باید تکرار شود. ابتدا فشار هوا، وضعیت نوکهای سوزن، میزان جریان هوا، و مستقر کردن تفنگ سوزنی بررسی می‌شود.

- ۱۰- به منظور کسب اطمینان از کیفیت محصول نهایی و این که آیا سنگ‌ها بعد از عمل بازیافت تخریب شده‌اند یا نه، از روش تهیه لایه نازک (مورد استفاده در سنگ شناسی) استفاده شده است (تصویر ۴ و ۵). محصول نهایی توسط ساختن یک لایه

نازک عمود بر سطح نمونه و تحلیل آن به وسیله میکروسکپ الکترونیکی جهت احتمال وجود ترک‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [1]. اگر هیچ گونه ترکی در سنگدانه‌ها وجود نداشته باشد و عدد آونگی مطلوب، بین محدوده ذکر شده در بالا (مورد ۹د) باشد، پارامترهای به دست آمده برای بازیافت بافت ریز مناسبند و می‌توانند جهت بازیافت بقیه سنگدانه‌ها به کار گرفته شوند. مشاهده ترک، نشانگر آن است که روش بکار گرفته شده مخرب بوده و در نتیجه پارامترها باید دوباره مورد بررسی قرار گیرند و در صورت لزوم، فشار هوا با توجه به مقدار تخریب پدید آمده کاهش یابد و عملیات تکرار شوند.

## ۵. روش سندبلاست

برای استفاده از روش سندبلاست باید چندین پارامتر مشخص شوند. این پارامترها عبارتند از: اندازه سنگریزه‌ها، اندازه افشانه<sup>۷</sup>، زمان مورد نیاز برای عملیات، میزان جریان سنگریزه داخل افشانه و فشار هوا [8].

واژه «شن و ماسه» به جای ذرات ساخته شده از پسماندهای صنعتی<sup>۸</sup> استفاده شده است. اندازه شعاع سنگریزه ۱/۵-۲/۰ میلی‌متر است، این مواد توسط هوای فشرده به طور عمودی بر روی سطح نمونه‌های آزمایشی از فاصله ۱۳۰ میلی‌متری پرتاب می‌شوند. نمونه‌ها بر روی چرخ جاده‌ای که به آرامی گردانده می‌شوند قرار می‌گیرند تا شرایطی فراهم آورند که عملیات سندبلاست تاثیر یکنواختی بر روی سطح نمونه‌ها با حداقل تخریب (در ارتباط با کاهش وزن) را داشته باشند [9 و 10].

از آنجا که ساخت نمونه‌ها کاری بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است بهتر است که چندین پارامتر قبل از شروع آزمایش بررسی شوند. در وهله اول نمونه آزمایشی بر روی چرخ جاده قرار داده شده و سندبلاست می‌شود. این کار برای اطمینان از این که گرفتگی و انسدادی در جریان هوا وجود نداشته و همچنین برای پخش یکنواخت مواد فرساینده انجام می‌شود. همچنین باید از صحیح قرار گرفتن سوزن‌ها بر روی سطح که عمل بازیافت هموار و یکسانی را انجام می‌دهند، اطمینان حاصل شود.

از آنجا که تعداد زیادی نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند شرایط پاشیدن (یعنی، فشار هوای حمل‌کننده مواد، دامنه سطح مورد پوشش) باید عملکرد یکسانی در مورد کلیه نمونه‌ها داشته باشند. از این رو آزمایش‌هایی بر روی تعدادی از نمونه‌ها با فشار هوا،

شده یکسان نباشد در این صورت آن آزمایش مردود بوده و باید دوباره تکرار شود،

۱۰- ارزیابی نهایی کیفیت انجام کار به وسیله ساختن قطعه نازک عمود بر سطح نمونه انجام می گیرد [11 و 1].

با بررسی قطعه نازک در زیر میکروسکوپ و در صورت مشاهده نکردن هیچ گونه شیار و یا ترک خوردگی، مقدار آونگی به دست آمده مطلوب است که این امر، نشانگر مناسب بودن پارامترهای بکار گرفته شده در عملیات است، با در نظر گرفتن همین پارامترها باید این روش در مورد بقیه نمونه‌ها اعمال شود. مشاهده هر نوع ترک خوردگی نشانگر نامناسب بودن پارامترهای به کار گرفته می باشد، در این صورت، متغیرها باید بررسی و تجدیدنظر شوند [1].

#### تذکر اول:

(a) تنظیم فشار هوا در جدول ۹ نشان داده شده که  $(m^3 / min)$  است که نه تنها فقط هوای آزاد، بلکه مواد فرساینده را نیز عبور می دهد.

(b) انتخاب کمپرسور مناسب با تولید فشار  $345 - 690 KN / m^3$  [۸]. افشانه انتخاب شده جهت انجام این هدف از آلیاژ (بورن) طراحی و ساخته شده است [8].

#### تذکر دوم:

منطقه قابل پوشش با زیاد شدن قطر دهانه افشانه افزایش می یابد، همان گونه که مصرف مواد مورد استفاده و حجم هوای لازم افزایش می پذیرد. از این رو، دهانه افشانه چنان انتخاب شده است که سطح نمونه‌ها را پوشش دهد.



تصویر ۶. سند بلاست کردن آزمایشگاهی توسط سند بلاست کننده موضعی

جریان مواد و قطر دهانه افشانه‌های متفاوت جهت بهینه‌سازی روش‌های مدل‌سازی شده، انجام یافته است [1].

### ۱-۵ فرآیند روش سندبلاست

مراحل مختلف دربرگیرنده عملیات سندبلاست نمونه‌ها به قرار زیرند:

۱- مشخص نمودن فشار لازم  $(N/m^2)$ ، حجم هوای متغیر  $m^3/mm$  و مواد فرساینده، مقدار این متغیرها طوری تعیین شدند تا کنترل و هدایت عملیات به سهولت بیشتری انجام گیرد [8 و 1]، (نوع نامناسب فرساینده و فشار زیاد منجر به کاهش وزن زیاد و شکافتن سنگ‌های خواهد شد و فقدان فشار و درجه لازم بازیافت بافت زمان بر بوده و به اتلاف وقت منجر می شود).

۲- هوای متراکم نیز برای لوازم فرعی، کلاهک تغذیه شده هوا ضروری است و توصیه می شود که کمپرسور تولید هوای متراکم از قابلیت مناسب برخوردار باشد (کمپرسور فشار  $345 - 690 KN / m^3$  [8]).

۳- تعیین دهانه افشانه مناسب از جدول ۹،

۴- انتخاب افشانه مناسب،

۵- قرار دادن نمونه‌های صیقلی شده بر روی چرخ جاده (بر طبق دستورالعمل BS 812 [7])،

۶- قرار دادن چرخ جاده در موقعیت توقف و اندازه‌گیری اعداد آونگی قبل از عملیات سندبلاست،

۷- ثابت کردن دهانه افشانه سند بلاست در جای خود و کنترل فشار هوا  $(N/m^2)$  و همچنین میزان هوا  $(m^3 / min)$ ، فاصله افشانه از سطح نمونه و در نهایت حصول اطمینان از زاویه دهانه (افشانه) نسبت به سطح (یعنی ۹۰ درجه)،

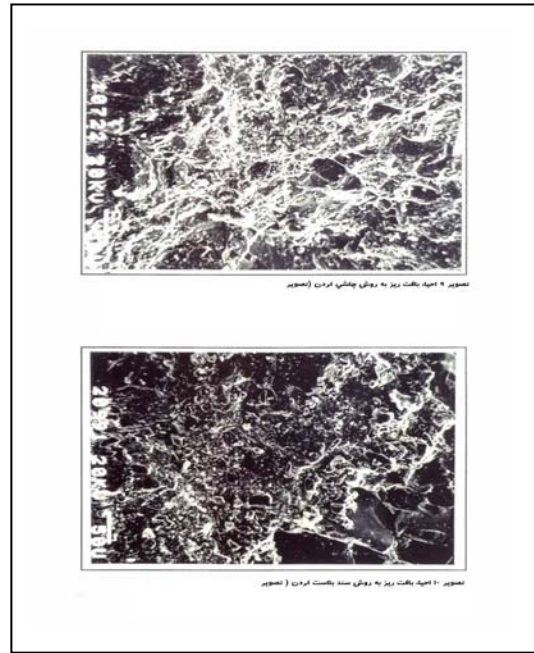
۸- قرار دادن چرخ در موقعیت گردش و شروع عملیات سند بلاست و به حرکت درآوردن چرخ به طوری که برای هر نمونه ۲ ثانیه عمل سندبلاست انجام شود که از نمونه ۱۳ شروع شده و با شماره ۱۴ پایان می یابد [1]،

۹- پس از اتمام عمل بازیافت، اندازه‌گیری اعداد آونگی توسط آونگ انگلیسی انجام می گیرد، در ابتدا با بررسی نمونه‌های شماره ۱۳ و ۱۴ (سنگ کنترل ۱ و ۲) شروع می شود تا این اطمینان به دست آید که اعداد آونگی آنها مشابه بوده که خود نشانگر یکنواخت بودن عملکرد است. اگر اختلاف اندازه‌گیری

بر روی سنگدانه مشابه است، تا مقطع نازکی از آن تهیه شده و در زیر میکروسکوپ مورد بررسی قرار گیرد.

تصاویر ۴ و ۵ از موفقیت آمیز بودن روش‌های بازیافت حکایت می‌کنند. هیچ ترک طولی یا ترک بین بلوری (محدوده‌های دانه) مشاهده نشده است. در هر حال ترکها در برخی نمونه‌ها ظاهر شدند. از آنجا که تمام این ترکها نسبت به سطح موازی هستند، در نتیجه کنده شدن آنها از طریق رفت و آمد خودروها می‌تواند باعث افزایش مقاومت لغزشی شود.

سرانجام سطوح نمونه‌ها پس از انجام روشهای بازیافت توسط میکروسکوپ الکترونی اسکن‌کننده<sup>۴</sup> مورد بررسی قرار گرفته و برای ارزیابی‌های نهایی و مقایسه بین دو روش، تصاویری تهیه شده اند (تصاویر ۷ و ۸).



تصاویر ۷ و ۸. سطح بازیافت بافت ریز به روش چکشی کردن در بالا و سند بلاست کردن در پایین

## ۶. نتایج

از مطالعات و تحقیق انجام شده برای ساخت دستگاه آزمایشگاهی نتایج زیر حاصل شدند:

- برای بازیافت بافت به وسیله تفنگ سوزنی (مدلسازی روش چکشی کردن) به کمپرسور تولیدکننده فشار هوای  $(345 - 690 \text{ KN} / \text{m}^2)$  نیاز است.
- آزمایش‌ها نشان دادند که بهترین مقطع (نوک) سوزن، قطر انتهایی ۱ میلی‌متر است که در مقایسه با نوکهای دیگر بازیافت بهینه توسط آن انجام شده و اعداد آونگی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.
- زمان بهینه عملکرد چکشی کردن نمونه‌ها حداکثر ۱۰ ثانیه است.
- آزمایشها نشان دادند که شرایط بازیافت (فشار هوا، مقدار سنگریزه، قطر افشانه، سطح سندبلاست شده و غیره ....)
- به روش سند بلاست باید قبل از اعمال سند بلاست بر سطح جاده توسط دستورالعمل مذکور معین شوند.
- آزمایش‌ها نشان دادند که فشار هوای تولید شده توسط کمپرسور باید مناسب با سنگدانه مورد استفاده باشد. حجم مورد نیاز هوای محاسبه شده  $147 \text{ ft}^3 / \text{min}$  (تقریباً  $4 \text{ m}^3 / \text{min}$ ) است.
- فاصله دهانه افشانه از سطح مورد بازیافت حداقل باید ۱۲ اینچ یا  $(30/48 \text{ cm})$  باشد تا پوشش کافی را به نمونه‌ها برای سندبلاست شدن به وجود آورد.

افشانه‌ای به طول مناسب که بتواند به خوبی به دستگاه متصل شود با دهانه مناسب  $7\frac{3}{4}$  اینچ یا  $19/69$  سانتیمتر مربع انتخاب شد. فشار  $345 \text{ KN} / \text{m}^3$  برای انجام عملیات بازیافت کافی است. حجم هوایی که مواد فرسایشی را حمل می‌کند، از جدول ۹ یعنی مقدار  $147 \text{ ft}^3 / \text{min}$  یا حدود  $4 \text{ m}^3 / \text{min}$  انتخاب شد [8].

## ۵. ارزیابی

متغیرهایی چون مقاطع سوزن، فشار هوا، (جهت استفاده از روش تفنگ سوزنی) و اندازه، سختی فرساینده، فشار هوا، اندازه افشانه، فاصله افشانه از سطح نمونه، (جهت استفاده از روش سندبلاست) ارتباط مستقیم با ساز و کار فرسایش دارند. بکار بردن فشار زیاد در عمل بازیافت، به شکافتن و به ازین رفتن سنگدانه می‌انجامد. در انتخاب مواد فرساینده، مقاطع سوزنی و فشار هوای مناسب توجه زیادی لازم است تا عمل بازیافت بافت به درستی انجام شود. ماده فرساینده سنگین یا فشار هوای بسیار زیاد ممکن است عمل تخریب را به جای عمل ترمیم انجام دهد (تصاویر ۴ و ۵). از این رو بهترین روش در انتخاب این مواد بکارگیری روش گزیده



3. Specification for skid resistance investigation and treatment selection, TNZ T10:2002.
  4. James Informational Media, Inc (2003) Better Roads Magazine, October 2003.
  5. Soleymani Kermani, M.R. "Mechanical re-texturing of road surface aggregates", Ph.D Thesis in the Department of Civil Engineering, Queen Mary and Westfield College, University of London, 1995.
  6. Ryan, B.F., Joiner, B.L. and Ryan, T.A. (1992) "Minitab handbook, Minitab statistical software, Second edition", PWS-Kent publishing company, Boston. USA.
  7. British Standards Institution (1990) "Method for determination of polished stone value (PSV), BS 812: Part 114, London. UK.
  8. Hodge Clemco Ltd. Bulletin (2004) "Sandblasting equipments and methods".
  9. Hockey, B.J and Wiederhorne, S.M.(1979) "Erosion by liquid and solid state impact", 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Erosion by Liquid and Solid State Impact, US National Bureau of Standards, USA.
  10. Hutchings, M. (1979) "Some comments of the theoretical treatment of erosion particle impacts", Paper 36, p.6.
  11. Glagolve, A.A. (1984) "The microscope by point method", Engineering Mineralogy Journal, vol.135.
- طول مناسب افشانه ۳۱/۷۵ سانتیمتر و دهانه افشانه مناسب (  $7\frac{3}{4}$  اینچ برابر با ۱۹/۶۹ سانتیمتر) است.
  - زمان بهینه عملکرد سند بلاست کردن نمونه‌ها حداکثر ۴۰ ثانیه است.
  - دوسری نمونه هر سنگدانه مورد استفاده قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که خروجی حاصل از دستگاه به طور مطلوبی قابل تکرار است.
  - تجزیه و تحلیل مقطع نازک عمودی جهت ارزیابی انسجام سنگدانه پس از بازیافت با استفاده از میکروسکوپ<sup>۱۱</sup> انجام گرفت.
  - سنجش کیفیت زبری سطح بعد از عملیات بازیافت به وسیله الکترون اسکن‌کننده انجام شد.
  - تصاویر مقطع نازک عمودی هیچ ترک خوردگی یا آسیبی را در سنگدانه‌های مورد استفاده با روش‌های بکار گرفته نشان نمی‌دهند، بجز دو مورد (یک مورد از هر روش) که نشانگر مخرب بودن روش‌های مورد استفاده (ناشی از افزایش فشار هوا) است (تصاویر ۷ و ۸).
  - عملکرد هر سنگدانه در انتخاب روش‌های مختلف، منحصر به فرد است، از این رو بکارگیری هر روش خاصی برای بهسازی و بازیافت بافت برای سنگدانه، باید با دقت انجام شود و پارامترهای متغیر، تعیین شده و مورد استفاده قرارگیرند (به طور مثال، فشار هوا، جریان هوا، سنگریزه و غیره).
  - هنگام انتخاب مناسب ترین روش جهت حفظ و نگهداری سطح، انجام تحقیقی جامع با در نظر گرفتن تمام عوامل چون آسیب و زیان مشاهده شده، نوع جاده، ترافیک و غیره، ضروری است.

#### پانویس‌ها:

- 1- Re-texturing
- 2- Sand blasting
- 3- Bush hammering
- 4- Optical microscope
- 5- Scanning electron microscope (SEM)
- 6- Analysis of variance (ANOVA)
- 7- Blasting nozzle
- 8- J blast supa
- 9- Scanning electron microscope (SEM)
- 10- Optical microscope

#### ۷. مراجع

1. Roe, P.G. and Hartshorn, S.A. (1994) "The mechanical re-texturing of roads part 1: Initial studies and early results" (Unpublished Report), Project Report PR/CE/29, Transport Research Laboratory, Crowthorne,
2. O.E.C.D. (1978) "Road research maintenance techniques for road surfacing"; Paris, OECD.