پوهنتون پولی تخنیک کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد۵۲ - شماره ۱
جوزا - سال ۱۴۰۳ - هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲
تاریخ قبـــولی اثر: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
P-ISSN: 2305 - 896X
KPU-JST

بررسی انتخاب بالاست راه آهن با استفاده از تخنیک‌های دانه بندی

انجنیرجلال محبی[۱*]، پوهاند محمد نذیرنجابی[۲]

[۱*] فارغ‌التحصیل برنامه ماستری انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل و متخصص حفظ و مراقبت خطوط و زیرساخت‌های راه‌آهن در اداره خط آهن افغانستان ایمیل آدرس: jalalmohebi89@gmail.com

[۲] استاد دیپارتمنت انجنیری راه‌آهن و رئیس **پوهنځی** انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی، پوهنتون پولی‌تخنیک کابل، ناحیه پنجم، کابل، افغانستان، ایمیل آدرس: mn.nejabi@kpu.edu.af

خلاصه

این تحقیق تأثیر کلیدی مواد سنگ اصلی بر خواص میخانیکی در عملکرد بالاست راه‌آهن را موردمطالعه قرار می‌دهد و نشان می‌دهد بالاست مناسب برای راه‌آهن با استفاده از تخنیک‌های دانه‌بندی چطور ارائه گردد. معمولاً، بالاست به اساس قابل‌دسترس بودن انتخاب می‌شود تا در نظر گرفتن ترکیب معدن شناسی سنگ‌ها. تحقیقات اخیر مزایای بالقوه انواع سنگ‌های خاص را از منظر دوام‌داری نشان می‌دهد. مجموعه‌ای از آزمایش‌های آزمایشگاهی استندرد برای مقایسه مقاومت در برابر سایش (آزمایش سایش لاس آنجلس و مایکرو دوال)، حفظ مقاومت در برابر خرد شدن، ویژگی‌های تغییر شکل و توانایی توزیع بار نمونه‌های بالاست تولید شده از چهار نوع سنگ رایج - گرانیت، بازالت، سنگ‌آهک و کوارتزیت می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که نرخ سایش به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر و مقاومت بالاتر برای گرانیت مگماتیکی و بالاست بازالت در مقایسه با سنگ‌آهک و کوارتزیت رسوبی است. تحقیق به اساس مروری کتابخانه‌ای می‌باشد و هدف این مطالعه ارائه یک مبنای کمی برای درک تأثیر دانه‌بندی است که بتوان بالاست مناسب را انتخاب نمود.انتظار می‌رود نتیجه تحقیق یک بهینه‌سازی خوب در انتخاب مواد بالاست با استفاده از شناسایی بهتر دانه‌بندی‌های بین‌المللی، مواد زائد (slag) که بیش‌تر از آزمایش مقاومت سنگ‌های آتش‌فشانی برای افزایش عمر زیرساخت مسیر مدنظر است نتیجه این مطالعه باشد.

اصطلاحات کلیدی: بالاست، راه‌آهن، تخنیک دانه‌بندی، سایش، عمر زیرساخت مسیر، مواد زائد.

۱* - مولف مسوول

۱. مقدمه

بالاست[1] راه‌آهن طبقه پایدار را در عناصر مسیر در سراسر جهان تشکیل می‌دهد. لازم است در برابر بارهای تکراری سنگین که توسط قطارهای باری و پرسرعت وارد می‌شود، مقاومت نموده و درعین‌حال تاثیر عوامل طبیعی را تحمل و هندسه خود را در طول زمان عمر مفید حفظ کند. با توجه به این خواسته‌های سخت‌گیرانه عملکرد، نوع و انتخاب مناسب مواد بالاست بسیار مهم است که نیازمند استندرد و دانه‌بندی به‌خصوص خود می‌باشد. به‌طورمعمول، سنگ‌های خردشده برای راحتی و در دسترس بودن به‌عنوان بالاست بدون توجه کافی به ترکیب داخلی و پاسخ به بارگذاری پیچیده مسیر مورد استفاده قرارگرفته‌اند. تحقیقات اخیر مزایای بالقوه انواع سنگ‌های خاص را نسبت به سایر سنگ‌ها از منظر میخانیکی نشان می‌دهد. بااین‌حال، داده‌های محدود ازنظر کمی تأثیر معدن شناسی سنگ‌های اصلی را برای دوام خواص کلیدی و ویژگی‌های باربری بالاست را متمایز می‌کند.

هدف این مطالعه ارزیابی مقایسه‌ای انواع استندردهای بین‌المللی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌هاست. به‌طور خاص، بررسی دقیق آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی برای تجزیه و تحلیل سایش، حفظ مقاومت، رفتار تغییر شکل و توانایی توزیع بار انجام می‌شود. این مطالعه به دنبال روشن‌کردن و مقایسه انواع استندردها است که امروزه عملاً استفاده می‌شود و راه‌آهن‌های بین‌المللی از آن به‌عنوان یک راه‌حل در انتخاب بالاست مناسب استفاده می‌کند. انتظار می‌رود که بینش‌های این تحقیق مبنایی علمی برای انتخاب و مشخصات بهینه مواد بالاست فراهم کند.

۲. ارائه مسئله(پرابلم)

بالاست یک جزء مهم مسیر راه‌آهن است که برای توزیع بار از سلیپر به زیر بالاست فرعی و بستر خاکی عمل بار را یک‌نواخت توزیع می‌کند. بااین‌حال، به دلیل بارهای سنگین محوری و افزایش حجم ترافیک و انتخاب نادرست احجار بالاست سریع‌تر خراب می‌شود و عمر مفید بالاست را کاهش می‌دهد. هیچ استندرد بین‌المللی مشترکی برای خواص مواد بالاست وجود ندارد که این‌یک مشکل بزرگ در انتخاب بالاست راه‌آهن می‌باشد. درنتیجه تمام استندردها باید یک مقایسه کلی شود تا در انتخاب بالاست بهتر و مقاوم‌تر کمک کند. روش‌های فعلی مورد استفاده برای ارزیابی بالاست مانند آزمایش‌های لس‌آنجلس[2] و مایکرو دوال[3]، عملکرد بالاست را تحت شرایط بارگذاری پیچیده و محیطی به‌طور کامل نشان نمی‌دهند. بناءً مجبور به انتخاب بالاست مناسب هستیم که با استفاده از مقایسه تمام این آزمایش‌ها در کشورهای که از آزمایش‌های مذکور برای دانه‌بندی انواع سنگ‌های معدنی استفاده می‌کنند می‌باشیم. یک موضوع دیگر که امروز برای حل این مشکل ارائه می‌گردد استفاده از مواد زائد[4] به‌عنوان بالاست استفاده می‌شود مانند مواد زائد کوره زغال‌سنگ و کوره فولاد به‌عنوان مواد اصلی و زائد اما اثربخشی طولانی‌مدت آن‌ها باید بررسی شود.

۳. اهداف تحقیق

۱. ارزیابی دانه‌بندی‌های مختلف سنگ‌دانه‌ها برای تعیین بهینه‌ترین و مناسب‌ترین[5] دانه‌بندی برای انتخاب بالاست راه‌آهن با در نظر گرفتن عواملی مانند پایداری، ظرفیت زهکشی و مقاومت در برابر تخریب.

۲. بررسی مزایا و معایب استفاده از مواد جدید ازجمله مواد زائد به‌عنوان جایگزین‌های بالقوه برای بالاست راه‌آهن و

---

۱ - Ballast سنگ‌دانه‌های شکسته به اساس یک استندرد برای استفاده در طبقه روساخت راه‌آهن می‌باشد.

۲ - Las Angelis Abrasion آزمایش سایش مایکرو دوال برای مقاومت سنگ‌دانه‌های بالاست می‌باشد.

۳ - Micro dual Abrasion

۴ - Slag عبارت از مواد زائد مانند سرباره کوره فولاد یا زغال‌سنگ می‌باشد و من حیث بالاست در راه‌آهن استفاده می‌شود.

۵ - بهینه‌ترین و مناسب‌ترین (سنگ با مقاومت بالاتر و قابل توجیه از سایر سنگ‌ها به لحاظ مقاومت سنگ‌دانه‌ها)

امکان‌سنجی و مزایای بالقوه ترکیب مواد زائد در کاربردهای بالاست، با در نظر گرفتن عواملی مانند در دسترس بودن، مقرون‌به‌صرفه بودن، اثرات زیست‌محیطی و عملکرد بلندمدت است.

۳. بررسی آزمایش بالاست یا جغل‌ها، به روش‌های لس‌آنجلس و مایکرو-دوال از میان آزمایش‌های بیست و هفت گانه انتخاب مواد بالاست، برای مقاومت در برابر سایش به دلیل تمرکز روی هدف محدود و رسیدن به نتیجه مطلوب صرف دو آزمایش موردبررسی قرارگرفته است.

۴. اهمیت تحقیق

تحقیق ارزیابی و انتخاب بهترین بالاست راه‌آهن با استفاده از دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها دارای اهمیت زیادی می‌باشد که چندین دلیل برای اهمیت این تحقیق وجود دارد:

- بهبود عمر مفید بالاست: با انتخاب بهترین دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها و استفاده از مواد زائد، می‌توان عمر مفید بالاست را افزایش داد. این امر بهبود کارایی و پایداری سیستم راه‌آهن را ارتقا می‌دهد و همچنین هزینه‌های ترمیم، حفظ و مراقبت را کاهش می‌دهد.
- بهتر ساختن عملکرد بارگذاری: با توجه به پایداری و مقاومت بالاست در برابر بارگذاری و تخریب، می‌توان بارهای سنگین را به‌طور یکنواخت توزیع کرد و ظرفیت زهکشی را بهبود بخشید. این امر موجب افزایش کارایی و کاهش تأخیر در حمل‌ونقل بارها می‌شود.

استفاده از مواد زائد: این مواد زائد ممکن است عملکرد معادل یا بهتری نسبت به مواد سنتی داشته باشند و همچنین می‌توانند سبب کاهش تأثیرات زیست‌محیطی شوند.

روش‌های آزمایشی لس‌آنجلس و مایکرو دوال به روی انواع سنگ‌ها: امکان ارزیابی دقیق‌تر و معتبرتر مواد بالاست برای کاربردهای راه‌آهن فراهم می‌شود. آزمایش لس‌آنجلس و آزمایش مایکرو-دوال به‌عنوان روش‌های شناخته‌شده برای اندازه‌گیری مقاومت در برابر سایش می‌توانند با بهبود تخنیک‌ها و قراردادهای آزمایشی، نتایج دقیق‌تری ارائه دهند.

با توجه به موارد فوق، این تحقیق اهمیت زیادی در بهبود عملکرد و پایداری عناصر راه‌آهن و همچنین کاهش هزینه‌ها و تأخیرها در حمل‌ونقل بارها دارد.

۵. سؤالات تحقیق

۱. با مقایسه استندردهای مختلف کدام دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها برای انتخاب بالاست راه‌آهن بهینه‌تر و مناسب می‌باشد؟

۲. مزایا و معایب استفاده از مواد زائد بالاست مانند سرباره کوره فولاد یا زغال‌سنگ چگونه است؟

۳. چگونه می‌توان روش‌های آزمایش بالاست یا سنگ‌دانه‌ها را با استفاده از آزمایش لس‌آنجلس و آزمایش مایکرو دوال در مقابل سایش برای انتخاب بالاست مناسب بهبود بخشید؟

۶. فرضیه‌های تحقیق

بررسی دانه‌بندی‌های موجود در مورد انتخاب بالاست که راه‌آهن‌های موجود جهان از آن طبق استندردها با مدنظر داشت دانه‌بندی بهتر و مناسب، عدم شست دانه‌ها با منشأ مختلف، موجودیت مواد زائد؛ موثریت کیفی، کمی و تخنیکی-اقتصادی با عمر بیش‌تر از آن‌ها استفاده می‌نمایند.

۷. پیشینه تحقیق

انتخاب بالاست راه‌آهن بستگی به روش عناصر گسسته، مشخصات تخنیک مدل‌سازی و احتمالاً تأثیر عملکرد مسیر دارد؛ همچنان تجزیه و تحلیل دامنه فرکانس امکان ارزیابی کمی کاهش بار دینامیکی یا ضربه را در طبقه بالاست فراهم می‌نماید. مشخصات کمی و کیفی طبقه بالاست ارتباط مستقیم به‌سختی دینامیکی آن دارد[۱]. پروسه تکرار حرکت قطارها بالای عملکرد واقعی احجار بالاست نیز تاثیر دارد. تخنیک‌های جدید تجزیه‌وتحلیل سه‌بعدی حرکت قطارها بالای بالاست در این اواخر توسعه‌یافته است [۲]. تجارب رسوب ثقلی یا جاذبه‌ای مواد بالاست با پارامترهای میکروسکوپی اختصاصی اجرا و از نتایج این تجارب ملاحظه می‌شود که ویژگی‌های منحنی بار- تغییرمکان با مسائل تئوری در مطابقت می‌باشد[۳]. استفاده از طریقه اجزای محدود یا FEM[1] برای مطالعه عملکرد غیرخطی ماده بالاست دشوار است. این طریقه تنها می‌تواند توزیع تشنجات-تغییر شکل نسبی را بدون موقعیت خاصی از شکستن ذرات، رسوب و تخریب آن حل نماید[۴]. مطالعات نشان داده که تشنجات برشی دانه‌های بالاست افزایش‌یافته و تغییر شکل نسبی نورمال کاهش می‌یابد و درنهایت نقاط تماس ذرات اصلی در یک نوار برشی قرار می‌گیرند.[۵].

از شبیه‌سازی آزمایش ادومتر و فرورفتگی یک بدنه مسیر را در بستر بالاست به ملاحظه می‌رسد که این مدل قادر به توصیف پروسه‌های تنظیم مجدد و آسیب سطحی و همچنین شکستگی کامل سنگ‌ها است [۶]. روش ساده‌شده برای مطالعه رفتار بالاست توصیه نمی‌شود، اگرچه این روش می‌تواند یک ایده کلی از رفتار را ارائه دهد، اما دارای چندین شکل است: الف) خرد شدن در نوارهای زیربدنه بستر خط آهن، ب) فرض سنگ‌های دایره‌ای غیرواقعی و ج) خرد شدن بیش‌ازحد ذرات زیر بستر که منجر به طولانی شدن زمان محاسباتی می‌شود [۷]. به نظر می‌رسد اصطکاک سنگ‌دانه‌ها، در ذرات کروی، برای محاسبات با مقدار زیادی مواد مفید است، زیرا هندسه ذرات تقریبی خواهد بود و همچنین هزینه محاسباتی کمتر خواهد بود. سنگ‌دانه‌های کروی رویکرد خوبی برای نمایش هندسه‌های واقعی با هزینه محاسباتی کم هستند، اما یک‌شکل وجود دارد که بی‌نظمی‌های هر سطح بیرونی ضریب اصطکاک را تغییر می‌دهد. کار اعتبار سنجی بیش‌تری باید توسعه یابد [۸]. در مقایسه با ذرات بالاست مکعبی، ذرات بالاست پوسته‌پوسته یا طویل به‌راحتی حجم بیش‌تری را از دست می‌دهند و گوشه‌های تیز را از دست می‌دهند. ذرات بالاست پوسته‌پوسته یا طویل نسبت به ذرات مکعبی مستعدتر هستند. ازآنجایی‌که هر دو به آلودگی بالاست و تخریب بستر بالاست کمک می‌کنند، استفاده بالاست پوسته‌پوسته و طویل در راه‌آهن مطلوب نیست [۹] .(مجموعه مشتق شده رابر از تایر). به‌طور قابل‌توجهی تشنجات برشی و اثر گسترش می‌دهد. با توجه به معیار شکست Mohr-Coulomb TDA[2] ، قدرت انسجام و زاویه اصطکاک داخلی را کاهش داد [۱۰]. از نتایج گزارش‌شده مشهود است که هم نفوذ ریزدانه‌ها و هم تخریب ذرات می‌توانند بر مقاومت برشی بالاست تأثیر منفی بگذارند. گفته می‌شود، تخریب ذرات به‌تنهایی اثرات قابل‌توجهی بر مقاومت مجموعه بالاست دارد که بانفوذ ذرات ریز قابل‌مقایسه است[۱۱]. نتایج شبیه‌سازی نشان داده که رفتار تخریب چرخه‌ای تحت تاثیرِ شکست ناگهانی است (یعنی شکستگی برجستگی‌های زاویه‌ای کوچک)، که بااتصال گلوله‌های کوچک فولادی به توده‌ها شبیه‌سازی‌شده است. نشان داده‌شده است که شکستن ناهنجاری‌های پیوندی و همچنین پیوندهای موازی ضعیف بین کتله‌ها تحت‌فشارهای محدودکننده مختلف، توضیحی ممکن از میخانیک رفتارها در مناطق مختلف تخریب ارائه می‌دهد. بنابراین نتیجه‌گیری اصلی این است که نتایج شبیه‌سازی به‌خوبی با نتایج تجربی در شرایط بارگذاری متفاوت مطابقت دارد [۱۲]. کره‌ها نسبت به ذرات نامنظم تعداد تماس کمتری با سلیپرها دارند و درنتیجه پایداری مسیر جانبی را کاهش می‌دهند. به دلیل عدم قفل شدن، سنگ‌دانه‌های کروی با سرعت

1 - FEM (Finite Element Methods)

2 - TDA - Tire-Derived Aggregate

بیش‌تری جدا می‌شوند و درنتیجه عیوب در هندسه مسیر را افزایش می‌دهند. کره‌ها دارای مسیرهای بار بسیار متمرکز هستند درحالی‌که ذرات نامنظم دارای مسیرهای بار پراگنده هستند [۱۳]. نتایج طریقه عناصر گسسته یا DEM[1] نشان می‌دهد که تغییر شکل نسبی محوری و شکست در فشار محدود بسیار کم (<۳۰ کیلو پاسکال) به دلیل رفتار فراخی یا گسترش سنگ‌دانه‌ها بسیار زیاد است. با افزایش جزئی در فشار محدود (≤ ۳۰ کیلو پاسکال)، کاهش قابل‌توجهی در تغییر شکل نسبی و تخریب دائمی مشاهده می‌شود. فراتر از فشار محدود ۷۵کیلو پاسکال، تخریب ذرات بدون کاهش قابل‌توجهی در تغییر شکل دائمی افزایش می‌یابد [۱۴]. نشست طولانی‌مدت مسیر بالاست ناشی از شکستگی ذرات و تغییر شکل پلاستیکی دائمی یک موضوع حیاتی در مطالعه رفتار دینامیکی مسیر بالاست است [۱۵]. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تغییر شکل دائمی القایی هنگام در نظر گرفتن خرد شدن ذرات به‌شدت افزایش می‌یابد، حتی اگر تنها چند ذره شکسته شده باشد. علاوه بر این، مشخص شد که خرد شدن در زیر بسترهای شبیه‌سازی‌شده متمرکز می‌شود و بیش‌تر در طول اولین چرخه‌های بار رخ می‌دهد [۱۶]. مورفولوژی ذرات تأثیر قابل‌توجهی بر رفتار سایش بالاست در آزمایش (لاس آنجلش سایش) دارد. ذرات کروی کمتر، مقدار LAA[2] و BBI[3] (شاخص شکست بالاست) بالاتر و نرخ افزایش سریع‌تر کروی متوسط را نشان می‌دهد[۱۷].

آزمایش‌های موجود برای ارزیابی کل بالاست فاقد نمایندگی و توضیح نتایج واضح هستند، و خواستار بهبود استندردهای پیش‌بینی عملکرد صنعتی هستند [۱۸]. عواملی مانند ویژگی‌های بارگذاری، اندازه ذرات و مقاومت ذرات بر تخریب بالاست تأثیر می‌گذارند و بر اهمیت بالاست با دانه‌بندی خوب و زاویه‌دار برای کاهش آن تأکید می‌کنند [۱۹]. دانه‌بندی بالاست به‌طور قابل‌توجهی بر ظرفیت زهکشی تأثیر می‌گذارد و بر اهمیت دانه‌بندی مناسب برای بهبود عملکرد مسیر تأکید می‌کند و رابطه بین دانه‌بندی بالاست و پایداری در مسیر پیچیده است، با بالاست دانه‌بندی شده خوب و زاویه‌ای بالاتر ثبات را افزایش می‌دهد [۲۰]. دانه‌بندی بهینه بالاست به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد قطار پرسرعت تأثیر می‌گذارد و از بالاست با دانه‌بندی خوب با زاویه‌ای بالاتر حمایت می‌کند [۲۱]. خواص سنگ‌دانه بالاست بر اساس مبدأ متفاوت است و بر عملکرد مسیر تأثیر می‌گذارد [۲۲]. آزمون‌ها و روش‌های مختلفی برای ارزیابی بالاست وجود دارد که هرکدام مزایا و محدودیت‌های خود را دارند [۲۳]. شکل ذرات سنگ‌دانه به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد مسیر راه‌آهن تأثیر می‌گذارد و ذرات زاویه‌ای بیش‌تری را برای افزایش ظرفیت زهکشی افزایش می‌دهد [۲۴]. استندردهای دانه‌بندی بالاست به دلیل عوامل مختلف در مناطق مختلف متفاوت است، که نیاز به انتخاب دقیق بر اساس شرایط خاص راه‌آهن دارد [۲۵].

عمر بالاست را می‌توان بر اساس خواص کل و بارگیری ترافیک پیش‌بینی کرد[۲۶]. معیارهای ترمیم،حفظ و مراقبت و تجدید بالاست برای خطوط پرسرعت با مسیرهای معمولی متفاوت است و بر اهمیت معیارهای مناسب تأکید می‌کند [۲۷]. یخبندان و رطوبت در بالاست منجر به افزایش ناپایداری می‌شود که نشان‌دهنده استفاده از بالاست زاویه‌دار و دانه‌بندی شده برای کاهش مقاومت است [۲۸]. مواد رسوبی و رطوبت به‌طور قابل‌توجهی مقاومت و سختی بالاست ریل را کاهش می‌دهند [۲۹]. رسوب بالاست، تحت تأثیر عوامل مختلف، به تخنیک‌های مانند تجزیه‌وتحلیل تصویر و تجزیه‌وتحلیل کیمیاوی برای کمی سازی نیاز دارد [۳۰]. روش‌های مختلف تحلیل ساحوی به ارزیابی رسوب و تخریب بالاست کمک می‌کنند و نیاز به همسویی با نیازهای پروژه خاص دارند [۳۱]. روش عناصر گسسته (Discrete Element Methods) در مدل‌سازی تخریب بالاست تحت بارگذاری تکراری نویدبخش است [۳۲]. بهینه‌سازی دانه‌بندی بالاست شامل در نظر گرفتن توزیع اندازه ذرات و زاویه، همسویی نیازهای خاص با شرایط مسیر دارد [۳۳].

1 - DEM (Discrete Element Methods).
2 - LAA - Los Angeles Abrasion.
3 - BBI - ballast breakage index.

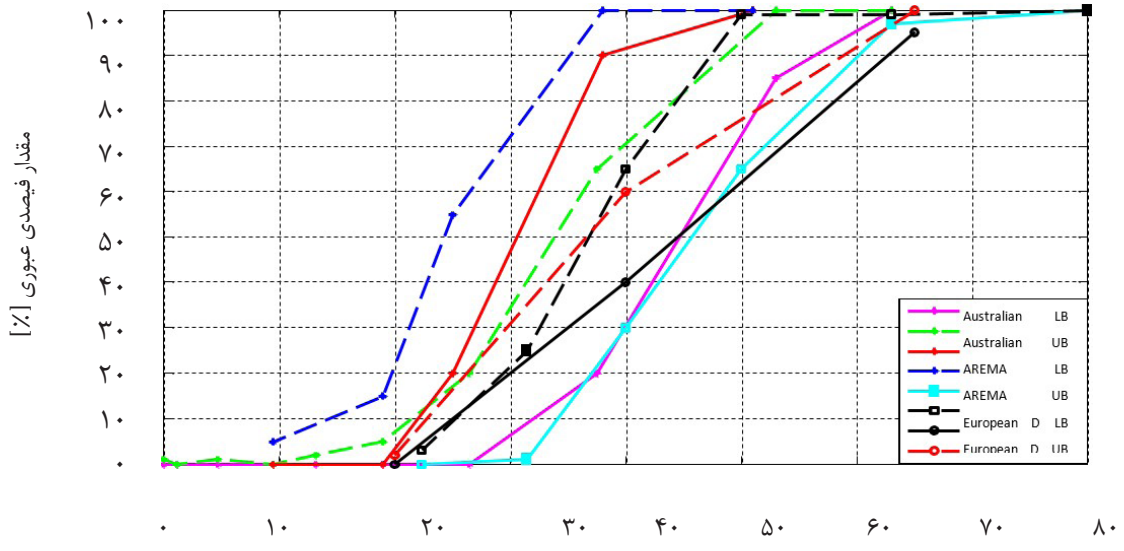
۸. روش‌های تحقیق

این تحقیق از نوع مروری است که به اساس مروری جامع از کارهای تحقیقاتی گذشته و مشخصات آن‌ها از طریق منابع مختلف منتشرشده، مقایسه انواع استندردهای بین‌المللی برای انتخاب بالاست و بررسی انواع آزمایش‌ها روی سنگ‌ها برای بالاست که با استفاده از آزمایش‌های لس‌آنجلس و مایکرو دوال صورت گرفته است.

-بررسی نتایج آزمایش سایش لس‌آنجلس (AASHTO T96)[1] بروی انواع سنگ‌ها؛

- بررسی نتایج آزمایش سایش میکرو دیوال (BS EN 1097-1)[2] بروی انواع سنگ‌ها ؛

دانه‌بندی بالاست با استفاده استندردهای بین‌المللی باهم مقایسه شده، مشخصات توزیع اندازه ذرات را که در استندردهای مختلف بین‌المللی مشخص‌شده است، بررسی و مقایسه می‌کند. این جزئیات دانه‌بندی‌های خاصی را که توسط استندردهای کلیدی توصیه می‌شود، مانند AREMA[3]، استندردهای اروپایی EN ۱۳۴۵۰ یا UIC، مشخصات استرالیایی ARTC، و کد راه‌آهن هند، که اندازه‌های غربال متمایز، مرزهای بالا و پایین، و نوارهای تحمل موجود در هر استندرد را نشان می‌دهد.



شکل-۱ مقایسه دانه‌بندی بالاست راه‌آهن‌های استرالیا، امریکا، روپا و هند [۳۴-۳۵-۳۶-۳۷].

1 - AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials.

2 - BS EN - British Standard European Norm.

3 - AREMA - American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association.

جدول-۱ مقایسه ارزیابی محدودیت سایش مواد بالاست در استندردهای مختلف[۳۸].

کشور/ آزمایش	آزمایشLLA	آزمایشMLA	خورد کردن سنگ دانه Aggregate Crushing	سالم بودن سلفات Sulphate Soundness
آسترالیا(AS 1141)	۲۵	-	۲۵	-
کانادا (CN)	۲۰-۳۰	-	-	۷-۱۰
بریتانیا(BS EN 13450)	۲۰	۷	۲۲	-
ایالات متحدهٔ امریکا (AREMA)	۲۵-۴۰	-	-	۵
جرمنی (BSEN13450)	۸.۷-۲۳	-	-	-
هندوستان (IRS-GE-1)	۳۰-۳۵	-		-

۹. نتایج و مباحثه

آزمایش سایش لس‌آنجلس اوسط تخریبات کتله ۴٫۳٪ برای گرانیت، ۴٫۸٪ برای بازالت، ۷٫۲٪ برای سنگ‌آهک و ۸٫۹٪ برای کوارتزیت بود. آزمون Tukey›s Post-hoc گرانیت و بازالت را جدا از سنگ‌آهک و کوارتزیت گروه‌بندی کرد. الگوهای شکست مشاهده‌شده، تکه‌تکه شدن دانه در سنگ‌های مگماتیکی در مقابل خراش سطحی در انواع سنگ رسوبی بود.

تخریبات کتله برای گرانیت ۴٫۱٪، برای بازالت ۵٫۳٪، برای سنگ‌آهک ۶٫۹٪ و برای کوارتزیت ۹٫۳٪ بود. آزمون t بین هر جفت معنی‌دار بود (۰p<۰۵) به جز گرانیت-بازالت. بررسی زیر میکروسکوپ نشان داد که درزهای کوچک در امتداد صفحات کریستالی در سنگ‌های مگماتیکی و اضمحلال طبقه‌ها در سنگ‌های رسوبی وجود دارد.

آزمایش تکراری پس از ۵۰۰۰ دور استوانه ۳۰-۳۳ دور در دقیقه، برای گرانیت ۲٫۱ میلی‌متر، برای بازالت ۲٫۵ میلی‌متر، برای سنگ‌آهک ۵٫۸ میلی‌متر و برای کوارتزیت ۴٫۳ میلی‌متر بود. فیصدی رسوب به ترتیب ۱۲، ۱۵، ۲۸ و ۲۲ فیصد بود. بازرسی کلی سنگ‌های گرانیت و بازالت در آزمایش سایش لاس آنجلس و مایکرو دوال دارای مشخصات سلامتی بهتر، نرخ جریان و رسوب کمتر نشانه دوام بیش‌تر تحت بارهای خدمت بودند.

با توجه به شکل-۱ کشور آسترالیا دارای دانه‌بندی خردتر نسبت به سه استندرد هندی، اروپایی و آمریکایی می‌باشد به همین قسم هند از دانه‌های بزرگ‌تر بین ۲۰ تا ۶۰ میلی‌متر استفاده می‌کند و استندرد آمریکایی مقدار کم دانه‌های خردتر را مجاز می‌داند و الی ۸۰ میلی‌متر سنگ‌دانه نظر به اهمیت خطوط می‌تواند استفاده شود. استندرد اروپایی از حد اوسط بین استندردهای مذکور را استفاده می‌کند که با شرایط استفاده از خطوط می‌توانند اندازه دانه‌ها نظر به فیصدی متفاوت باشند. به‌صورت کل می‌توان گفت که با توجه به منبع سنگ‌های که هر کشور در دسترس دارند اندازه سایش و مقاومت آن‌ها تعیین می‌گردد و هرقدر که سایش زیادتر و مقاومت کمتر باشد به همان اندازه هر استندرد دانه‌بندی‌شان تغییر می‌کند و دانه‌های خردتر را مجاز می‌باشد.

۱. روندهای مشابهی در آزمایش سایش میکرو دیوال مشاهده شد، با سنگ‌های مگماتیکی که اضمحلال کمتری را نشان می‌دهند.

۲. حفظ مقاومت فشاری نامحدود برای بازالت و بالاست است گرانیت پس از بارگذاری تکراری بیش‌تر بود. مقاومت سنگ‌آهک به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت.

۳. بالاست گرانیتی کمترین تغییر شکل پس از چرخه ۱-۲ میلی‌متر را در مقایسه با ۳-۵ میلی‌متر برای سنگ‌آهک در آزمایش بارگذاری صفحه نشان داد.

جدول -۲ مقدار مواد لازم برای بالاست راه‌آهن به اساس آزمایشات[۳۹].

مواد بالاست	آزمایش لاس انجلس	قیمت تاثیرکلی	مقاومت تاثیر	آزمایش دیوال
Basalt(بازالت)	۸,۷–۹,۵	۱۰	۱۱,۷-۱۰,۲	۱۳,۸-۱۰,۳
Porphyry (سنگ ناریه یا آذرین)	۱۰,۳	۱۰	۱۱,۹	۱۱,۱
Sandstone (سنگ ریگی)	۱۲,۵	۱۱	۱۴	۹,۸
Limestone (سنگ چونه)	۱۳,۷	۲۳-۱۵	۲۱,۳-۱۶,۳	۵,۹

۱۰. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس یافته‌ها، توصیه می‌شود که سنگ‌های مگماتیکی مانند گرانیت و بازالت در مقایسه با سنگ‌دانه‌های رسوبی رایج، گزینه‌های ارجح برای بالاست راه‌آهن در نظر گرفته شوند. ساختار معدن شناسی متعادل آن‌ها مقاومت بالاتری در برابر ضربه و بارهای ترافیکی ایجاد می‌کند. بهینه‌سازی مشخصات فعلی برای گنجاندن آزمایش‌هایی که جنبه‌های پویا را ثبت می‌کنند، می‌تواند به انتخاب بالاست مبتنی بر علمی کمک کند.

با توجه به شکل-۱ و جداول ۱،۲ و ۳ سعی شود از جغل‌های با مقاومت بالا و سایش کمتر در خطوط آهن استفاده گردد که به‌راحتی بتوان از دانه‌بندی‌های خردتر نیز استفاده کرد و اندازه بالاست را به اساس دانه‌بندی‌ها و استندردهای مختلف استفاده و تولید کرد بالاست به اندازه‌های خرددانه و بزرگ‌دانه حین استندرد سازی و دانه‌بندی برای استفاده به‌عنوان بالاست در روسازی و زیرسازی کدام مشکل را به وجود نیاورد و آسان‌تر تولید گردد.

آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام‌شده نشان داد که سایش به‌طور قابل‌توجهی کمتر و حفظ مقاومت بالاتری را در نمونه‌های بالاست سنگ مگماتیکی در مقایسه با انواع رسوبی و آهکی نشان می‌دهد. اوسط از دست دادن کتله آزمایش لاس آنجلس برای گرانیت و بازالت ۴-۵٪ در مقابل ۷-۹٪ برای سنگ‌آهک و کوارتزیت بود. روندهای مشابهی در آزمایش MDA[1] مشاهده شد. گرانیت کمترین تغییر شکل پس از تکراری ۱-۲ میلی‌متر را در مقایسه با ۳-۵ میلی‌متر برای سنگ چونه نشان داد که سنگ گرانیت و بازالت دارای کمترین سایش و کمترین تغییر شکل بوده است و برای بالاست راه‌آهن در قدم اول موردتوجه است. از پیشینه تحقیقات نیز شبیه‌سازی‌های روش عنصر گسسته این مشاهدات تجربی را دقیقاً تکرار کردند، که نشان‌دهنده توانایی‌های توزیع بار برتر بالاست‌های مگماتیکی سنگ‌های گرانیتی و بازالتی است. مطالعات ساحوی در مسیرهای عملیاتی نیز زهکشی و کیفیت هندسی بهتر را با بازالت به‌جای مقاطع بالاست سنگ‌آهک منعکس کرد.

درنتیجه می‌توان گفت که استفاده از احجار مگماتیکی گرانیت و بازالت از جمله مواد مناسب در همه استندردهای جهانی به خاطر مقاومت بالا، مداومت زیاد و خواص برتر میخانیکی محسوب گردیده است، متعاقباً احجار آهکی و رسوبی درصورتی‌که احجار مگماتیکی در دسترس نباشد توجیه گردیده است، به هر صورت برای کاربرد سنگ‌دانه‌های بالاست باید منابع محلی یا دسترسی به احجار فوق، آزمایش مداومت، مقاومت و سایر خواص میخانیکی و فزیکی در برابر بارهای ستاتیکی و دینامیکی ،شرایط اقلیمی گرما و یخبندان، دانه‌بندی مواد بالاست و سایر آزمایش‌های توصیه‌شده در استندردها حتمی می‌باشد.

1 - MDA (Micro Deval Abrasions).

جدول-۳ نرخ‌های سایش بالاست انواع سنگ‌های طبیعی[۴۰-۴۱-۴۲-۴۳-۴۴].

Parent rock types انواع سنگ‌های اصلی	Los Angeles Abrasion rate (%) نرخ سایش سنگ‌ها به اساس آزمایش لاس آنجلس به (%)
Basalt (بازالت)	۱۷-۱۰
Dolomite (دولومیت)	۳۰-۱۸
Gneiss (گنایس)	۲۱-۱۶/۵۷-۳۳
Limestone (سنگ چونه)	۴۱-۲۱/۳۰-۱۹
Quartzites (کوارتز)	۳۵-۲۰
Granite(گرانیت)	۳۹-۳۴/۴۹-۲۷
Igneous(ناربه)	۱۸,۹-۱۵,۴
Andesites (سنگ که قشر زمین را تشکیل می‌دهد)	۱۸,۹-۱۵,۴/۲۴,۶-۱۳,۹
natural gravel (جغل طبیعی)	۳۴-۲۷
Sedimentary (سنگ رسوبی)	۴۱,۲-۲۰,۵
Metamorphic (سنگ‌های متحوله با تخریب شده)	۳۶,۳-۲۲,۶
Marble (سنگ مرمر)	۳۶,۳-۲۲,۶
Natural pebbles crushed in a crusher (سنگ‌های خرد شده در سنگ‌شکن)	۲۵-۲۳

۱۱. پیشنهادات

کار آینده همچنین ممکن است شامل ارزیابی ویژگی‌های میخانیکی مخلوط‌های بالاست کامپوزیت با استفاده از هر دو بخش مگماتیکی و رسوبی باشد.

۱. احجار مگماتیکی مانند گرانیت و بازالت را باید گزینه‌های بالاست ترجیحی نسبت به سنگ‌دانه‌های رسوبی رایج در نظر گرفت؛

۲. مشخصات بالاست فعلی را می‌توان توسط آزمایش‌های مبتنی بر عملکرد که جنبه‌های بارگذاری دینامیکی، بهینه کرد؛

۳. نظارت دوره‌ای بر مسیرهای ساخته‌شده در صورت تعویض مواد بالاست از سنگ‌دانه‌های دارای مزایای طولانی‌مدت توصیه می‌شود؛

۴. تحقیقات آینده خواص میخانیکی ترکیبات بالاست کامپوزیت حاوی در هر دو بخش مگماتیکی و رسوبی توصیه می‌شود؛

۵. برای هر مسیر راه‌آهن باید مواد بالاست با رعایت مشخصات یک استندرد جهانی مانند UIC نظر به شرایط اقلیمی، مصارف آزمایش‌های میخانیکی و فزیکی احجار و مدوامت و موثریت اقتصادی بخصوص قابل‌دسترس بودن احجار مادری انتخاب گردد.

۱۲. مآخذ

[1] Aikawa. A. (2013). Determination of dynamic ballast characteristics under transient impact loading. eJSE. Retrieved from aikawa.akira.11@rtri.or.jp

[2] Akira Aikawa, F. (2011). DEM modeling techniques for dynamic analysis of ballasted railway track. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/339089487

[3] Akos Orosz, J. P. (n.d.). Modes, Calibration of railway ballast dem. European Conference. Budapest University of Technology and Economics: ECMS.

[4] Chayut Ngamkhanong, S. K. (2017). A review on modeling and monitoring of railway ballast. Structural Monitoring and Maintenance, 14, 195-220. doi:doi.org/10.12989/smm.2017.4.3.195

[5] Chen, H. Z. (2020). A Numerical Study of Railway Ballast Subjected to Direct Shearing Using the Discrete Element Method. Hindawi, 2020. doi:https://doi.org/10.1155/2020/3404208

[6] Christian Ergenzinger, R. S. (2012). A Discrete Element App to Model Breakable Railway Ballast. ASME. doi:DOI: 10.1115/1.4006731

[7] Enad Mahmouda, A. P. (2016). Discrete Element Analysis of Railway Ballast under Cycling Loading. International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016). Volume 143, pp. 1068–1076. United States: Procedia Engineering.

[8] González, J. I. (2015). Numerical Modeling of the railway Ballast using the discrete element method. Escola de Camins.

[9] Guo, Y. M. (2018). Ballast degradation: Effect of particle size and shape using Los Angeles Abrasion test and image analysis. 169, 414-424. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.170

[10] Hongren Gong a, W. S. ((2019)). Direct shear properties of railway ballast mixed with tire derived aggregates: Experimental and numerical investigations. Elsevier, 465–473.

[11] Luyu Wang, M. M. (2021). Impact of Ballast Fouling on the Mechanical Properties of Railway Ballast: Insights from Discrete Element Analysis. MDPI. doi:doi.org/10.3390/pr908133

[12] McDOWEL, M. L. (2010). Discrete element modeling of railway ballast under monotonic and cyclic triaxial loading. 6,, 459–467. doi:doi: 10.1680/geot.2010.60.6.459

[13] Mehdi Ahmadian, C. R. (2019). Discrete Element Modeling of Railway Ballast for Studying Railroad Tamping Operation. Blacksburg, Virginia.

[14] P.K. Thakur, B. I. (2009). DEM simulation of the effect of confining pressure on ballast behavior. Wollongong: University of Wollongong. Retrieved from https://ro.uow.edu.au/engpapers

[15] S, J. E. (2013). Dem Simulation of Railway Ballast using Polyhedral elemental shapes. Brno University of Technology. doi:http://www.fce.vutbr.cz/STM/elias.j

[16] Vallejo, e. L.-G. (2006). Discrete element method analysis of Railtrack ballast degradation during cyclic loading. Granular Matter, 195-204. doi:DOI 10.1007/s10035-006-0006-2

[17] Yangzepeng Liu, J. C. (2021). A new DEM model to simulate the abrasion behavior of irregularly shaped coarse granular aggregates. doi:DOI: 10.1007/s10035-021-01130-5

[18] Al-Qadi, I. L., El-Sharnouby, A., & El-Sherif, M. (2014). Tests and standards for ballast aggregate evaluation - A review. Rail Engineering, 4(3), 117-130.

[19] Indartna, B., & Salim, W. (2004). Factors influencing ballast particle degradation under loading. Canadian Geotechnical Journal, 41(4), 657-671.

[20] Indartna, B., Shang, J., & Salim, W. (2011). Effect of ballast grading on track drainage capacity. Journal of Transportation Engineering, 137(10), 858-865.

[21] Li, Y., Shang, J., & Indraratna, B. (2019). Relationship between ballast gradation and in-track stability.

Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Engineering, 172(2), 103-112.
[22] Al-Qadi, I. L., Shang, J., & Indraratna, B. (2017). Optimizing ballast gradation for high-speed rail lines. Railway Engineering, 7(2), 61-71.
[23] Aderoju, A. O., Al-Qadi, I. L., & Indraratna, B. (2020). Physical and mechanical properties of ballast aggregates in different countries. Construction and Building Materials, 248, 118676.
[24] Al-Qadi, I. L., El-Sharnouby, A., & El-Sherif, M. (2014). Laboratory evaluation methods for ballast aggregate toughness and abrasion resistance. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Engineering, 167(4), 185-194.
[25] Indartna, B., Salim, W., & Kuruppu, P. (2007). Effect of aggregate particle shape on railway track performance. Canadian Geotechnical Journal, 44(4), 583-593.
[26] Zhang, Y., Shang, J., & Indraratna, B. (2022). Comparison of ballast gradation standards in Europe, North America, and Asia. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Engineering, 185(1), 19-28.
[27] Ramunas, V., Indraratna, B., & Shang, J. (2017). Predicting ballast life based on aggregate properties and traffic loading. Ballast Technology and Management, 12(2), 31-39.
[28] Al-Qadi, I. L., Shang, J., & Indraratna, B. (2018). Ballast maintenance and renewal criteria in high-speed rail tracks. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Engineering, 171(3), 167-176.
[29] Akagawa, T., Hori, M., & Sugawara, S. (2017). Effect of freezing and moisture on ballast heaving and track stability. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2672, 178-185.
[30] Qian, Z., Shang, J., & Indraratna, B. (2016). Effect of fouling and moisture on strength and stiffness of rail ballast. Journal of Materials in Civil Engineering, 28(10), 04016121.
[31] Moaveni, M., Indraratna, B., & Shang, J. (2014). Ballast fouling mechanisms and quantification techniques. Railway Engineering, 5(1), 19-28.
[32] Al-Qadi, I. L., Shang, J., & Indraratna, B. (2019). Field monitoring methods for evaluating ballast fouling and degradation. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2672, 170-177.
[33] Li, Y., Shang, J., & Indraratna, B. (2019). Optimizing ballast gradation for drainage versus stability. Railway Engineering, 10(1), 1-10.
[34] Bold, R. D. (2011). Non-Destructive Evaluation of Railway Trackbed Ballast (Doctoral Thesis).
[35] Australian Rail Track Corporation LTD (ARTC). (2007, January 4). Australian Rail Truck Corporation LTD (ARTC). Retrieved April 20, 2011, from http://extranet.artc.com
[36] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA). (2000). Ballast.
[37] Das, B. M. (2010). Geotechnical engineering handbook. J. Ross Publishing.
[38] Fathali, M., Chalabi, J., Astaraki, F., Esmaeili, M. (2020). A new degradation model for life cycle assessment of railway ballast materials. Construction and Building Materials.
[39] Das, B. M. (2010). Geotechnical engineering handbook. J. Ross Publishing.
[40] Raymond, G. P. (1985). Research on railroad ballast specification and evaluation. Transportation Research Record, 1006, 1–8.
[41] Ozcelik, Y. (2011). Predicting Los Angeles abrasion of rocks from some physical and mechanical properties. Scientific Research and Essays, 6(7), 1612–1619.
[42] Mohajerani, A., Nguyen, B. T., Tanriverdi, Y., Chandrawanka, K. (2017). A new practical method for determining the LA abrasion value for aggregates. Soils and Foundations, 57(5), 840–848.

[43] Pacana, A., Siwiec, D., Bednarova, L., Sofranko, M., Vegsoova, O., Cvoliga, M. (2021). Influence of Natural Aggregate Crushing Process on Crushing Strength Index. Sustainability, 13(15).
[44] Ajagbe, W., Tijani, M., Oyediran, I. (2015). Engineering and geological evaluation of rocks for Concrete Production. LAUTECH Journal of Engineering and Technology, 9(2), 67–79.

بیوگرافی مولفان

دیپلوم انجنیر جلال محبی متخصص در حوزه انجنیری راه‌آهن و ساختمان‌های ترانسپورتی افغانستان

محترم انجنیر جلال محبی، باشنده اصلی ولایت غزنی و متخصص در حوزه انجنیری راه‌آهن و ساختمان‌های ترانسپورتی می‌باشد. وی دارای سند لیسانس انجینری راه‌آهن در سال ۱۳۹۹ و فوق لیسانس انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی در سال ۱۴۰۲ از پوهنتون پولی‌تخنیک کابل می‌باشد. محبی به عنوان متخصص حفظ و مراقبت خطوط و زیرساخت‌های راه‌آهن در اداره خط آهن افغانستان مشغول به کار است. ساحه اصلی تحقیقات و فعالیت‌های وی، بخش‌های مختلف راه‌آهن و ساختمان‌های حمل و نقل ریلی است. با تجربه و تخصص ارزش‌مند، محبی در ارائه راهکارهای نوآورانه و کارآمد در این حوزه پیشگام است. وی با تعهد و پشتکار بالا، نقش مهمی در توسعه شبکه ریلی افغانستان ایفا می‌کند و چشم انداز روشنی را برای این صنعت مهم متصور است.

پوهاند دیپلوم انجنیر محمد نذیر نجابی استاد دیپارتمنت انجنیری راه‌آهن و رییس پوهنځی انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل

محترم پوهاند دیپلوم انجنیر محمد نذیر نجابی استاد دیپارتمنت انجنیری راه‌آهن و رییس پوهنځی انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل می‌باشد. موصوف فارغ التحصیل انجنیری سرک‌سازی پوهنتون پولی‌تخنیک به سویه ماستری است. ساحه تحقیق پوهاند نجابی انجنیری شاهراه، انجنیری راه‌آهن، انجنیری میدان هوایی و بخش پیداگوژی برای تحصیلات عالی است.