

تشخیص میزان آلودگی بالاست با استفاده از تفسیر نتایج آزمایش GPR بمنظور حفظ ایمنی خطوط ریلی

مرتضی اسماعیلی، مهرداد قاسمی زاده، محمد مهدی روزبهانی

استادیار، دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ m_esmaeili@iust.ac.ir
دانشجوی مهندسی برق، دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ pajuhaan@gmail.com
دانشجوی مهندسی راه آهن، دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ mahdi_roozbeh@yahoo.com

چکیده

استفاده از رادار نفوذی زمین (GPR) از روشهای نوینی است که جهت شناسایی عیوب و وضعیت زیر سازی خطوط ریلی مورد استفاده قرار می گیرد. مبنای این روش ارسال امواج رادیویی و دریافت امواج منعکس شده از بستر و اجزاء زیر سازی خط می باشد. از آنجا که خروجی دستگاه GPR تصاویر مبتنی بر امواج بازگشتی است تفسیر این تصاویر و تعیین ارتباط آن با شرایط زیر سازه دارای اهمیت کلیدی می باشد. در پروژه‌های حاضر با تمرکز بر شرایط بالاست در خط ریلی با افزودن مقادیر مختلف آب و ریزدانه رسی به بالاست در شرایط آزمایشگاهی تصویر خروجی ثبت و با تهیه یک برنامه کامپیوتری در محیط MATLAB تصاویر پردازش شده است. نتایج این تصاویر پردازش شده در قالب روابط رگرسیون میان پارامترهای کیفی ناشی از ریزدانه و میزان آب با مشخصات تصویر ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: GPR، خطوط بالاستی، پردازش تصاویر

۱ مقدمه

هدف از انجام این آزمایش، انجام تست‌های غیر مخرب و به صورت پیوسته برای تشخیص خرابی‌های خط می باشد، که از این خرابی‌ها می توان به تغییر کردن ضخامت خط، از جمله بالاست و زیر بالاست، تغییر کردن درصد کثیفی به خاطر آلوده شدن با رس یا ماسه و ...، ساییده شدن بستر و اضافه شدن خاک آن به روسازی، تشخیص آب جمع شدگی در درون زیرسازی و تعیین درصد رطوبت خاک اشاره کرد. که این خرابی‌ها ایمنی خط را پایین می آورد. در کشور ما تشخیص خرابی‌ها به صورت سنتی انجام می شود، یعنی طبق راه های گفته شده در ذیل متوجه می شوند که خط احتیاج به تعمیر و نگهداری دارد:

۱. رشد کردن گیاهان روی بالاست
۲. بلند شدن گردو خاک هنگامی که قطار از روی خط عبور می کند
۳. سفیده زدن روی بالاست
۴. چسبیدن سنگدانه ها به هم

۵. ایجاد گمانه در فاصله های مشخص برای دیدن خرابی های داخل زیرسازی و...

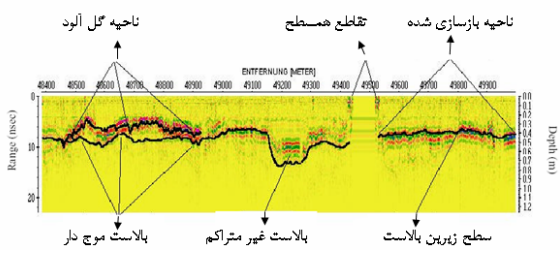
ولی اشکال بزرگ در این روش های سنتی این است، که این خرابی ها به وجود آمده، سپس تشخیص داده می شوند، این خرابی ها عمر مفید یک خط را پایین می آورد.

پس اهمیت انجام پروژه برای این است که بتوان، تست های غیر مخرب (یعنی بدون اینکه روسازی یا زیر سازی را به خاطر تست هایمان تخریب کنیم) و به صورت پیوسته (با سرعت زیاد، طوری که جای جای خط مورد بررسی قرار گرفته شود) انجام داد. و در این امر، وسیله ای جدیدی که در بیشتر دنیا استفاده می شود، به GPR می توان اشاره کرد، که بسیاری از راه های تشخیص خرابی در زیر سازی را برای ما امکان پذیر می کند.

از مزایای GPR در راه آهن می توان به سرعت زیاد در تصویر برداری، تست های غیر مخرب و اندازه گیری شرایط مختلف زیرسازی از روی خط با تاثیر پذیری کم از عملکرد قطار روی ریل اشاره کرد. GPR می تواند دلیل ضعیف شدن بستر و خاک ها با پایداری کم را به راحتی به ما نشان بدهد، همچنین این دستگاه می تواند به پشت قطار (EM120) یا هر وسیله نقلیه دیگری که بتواند روی ریل حرکت کند وصل شود و تا سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت تصویر برداری کند. در GPR می توان از آنتن های مختلف استفاده کرد، مثلا دو آنتن ۲ گیگا هرتز در شانه ها و یک آنتن ۵۰۰ مگاهرتز در میان دو ریل، که با این عمل می توان شرایط مختلفی از تغییرات زیرسازی را در پهنای بیشتر نشان داد و تصمیم گیری ما را در انجام عملیات تعمیر و نگهداری راحت تر می کند.

در این مقاله با انجام آزمایش های کنترل شده در شرایط مشخص، نمونه هایی از محیط شبیه سازی شده ی خط به وسیله دستگاه GPR تهیه گشته است. با انجام پردازش روی تصاویر خروجی، تاثیرات رطوبت و کثیفی روی بالاست مشخص شده است. با تحلیل ریاضی تصاویر دیجیتال، روابط معنا دار و کاربردی برای آشکار سازی خرابی ها در بالاست، زیر بالاست و بستر بدست آمده است.

۲ شناسایی عیوب زیرسازی خط به کمک GPR

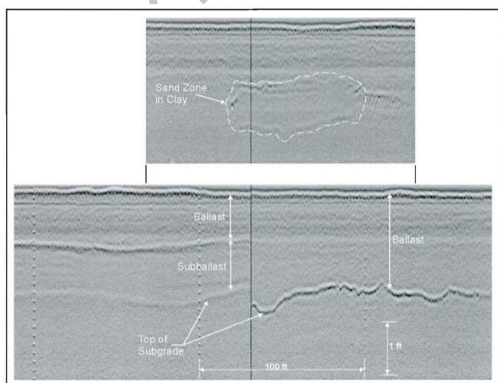


شکل ۲: اثرات ناشی از وجود خاک سست و فاقد استحکام کافی

در کشور آمریکا در ایالت های غربی آن حدود ۳۶۰ کیلومتر از خط راه آهن را با GPR برداشت کردند که از این نمونه برداری ها قصد داشتند به خطوط زغال سنگ درون بالاست که باعث کثیف شدن بالاست بود برسند. در حین انجام این پروژه نیز به خرابی های که از زمان قدیم در خط بود رسیدند و خط را بهبود بخشیدند. این برداشت ها در ایالات میسی سی پی و آرکانساس بود و از این داده ها نمونه هایی نیز هست ، که ما را در تشخیص خرابی های درون بالاست کمک می کند. [۱]

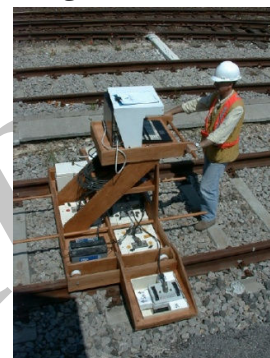
در شل ۳ دو برش را که از یک مکان یکسان گرفته شده است و تصویری که از قسمت چپ ریل و قسمت راست ریل است دیده می شود. در تصویر اول ملاحظه می کنید که در درون بستر ما یک ناحیه ای از ماسه به وجود آمده ، که همین امر باعث نشست بستر می گردد و اگر به این قسمت آب نیز وارد شود خرابی را بدتر می کند.

در شکل دوم ۳ دیده می شود که در ناحیه ای زیر بالاست داریم و در قسمت دیگر مرز، زیر بالاست دیده نمی شود که باعث این امر SHEAR KEY بوده است، این خرابی با حفر یک چال مانند چال زهکش درون زمین، بالاست و زیر بالاست را به سمت خود می کشاند و در ناحیه ای مشاهده می شود که اصلا زیر بالاست وجود ندارد. تمام این خرابی های ذکر شده را با چشم مسلح در داده های GPR می توان مشاهده کرد ، که تصمیم گیری برای چنین داده هایی به تجربه ی فرد بستگی دارد، ولی در پروژه نرم افزاری تهیه شده است، که دیگر بدون در نظر گرفتن تجربه، بتوان با داده های GPR خرابی ها را تشخیص داد. [۳]، [۴]



شکل ۳: پدیده ی shear key و ناپدید شدن زیر بالاست

ایتالیا یکی از کشورهایی است که ظرف ۵ سال گذشته ، آزمایشات زیادی برای انجام بازبینی های خطوط سریع خود با استفاده از GPR ترتیب داده است. یکی از این آزمایشات ، که بصورت مقدماتی و ابتدایی ترتیب داده شد ، در سال ۱۹۹۹ و بر روی خط آهن سریع السیر رم- ارت صورت گرفت. سیستم GPR بکار رفته در این آزمایش در شکل ۱ دیده می شود. این سیستم از یک ارابه چوبی برای حمل آنتن و تعدادی گیرنده و فرستنده تشکیل شده است که توسط یک اپراتور بر روی خط کشیده می شود و همانطور که گفته شد برای یک تست ابتدایی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱: ترکیب بکار رفته برای آزمایشات ابتدایی در خط آهن رم- ارت.

و اما آزمایشی که در سال ۲۰۰۱ صورت گرفت آغازی بود برای استفاده انبوه کشورهای دارای خطوط سریع السیر در بهره گیری از GPR در زمینه اکتشاف و بازبینی خطوط. علاقه این کشورها به استفاده از چنین تکنیکی بخاطر کشف سریع محل خرابی زیرسطحی بصورت غیرمخرب و کاهش تعداد نقاط سوراخکاری برای انجام نمونه برداری به کمترین مقدار ممکن می باشد. با چنین شیوه ای می توان یک برنامه بازسازی و بهسازی هدفمند را دنبال کرد. طبیعی است با داشتن چنین برنامه ای که منتهی به تعیین شرایط زیرسازی خط بصورت پیوسته و کنترل تغییرات حاصل در این شرایط می گردد ، می توان تا حد زیادی هزینه های نگهداری خط را کاهش داد. در زیر ، برخی از نتایجی که با استفاده از ترکیب مورد شرح بدست می آیند مورد اشاره قرار می گیرند. در شکل ۲ اثرات ناشی از وجود خاک سست و فاقد استحکام کافی قابل ملاحظه می باشد. با دقت در این تصویر ، می توان تشخیص داد که بین کیلومترهای ۴۸۴۰ تا ۴۹۴۰۰ قسمت زیرین لایه بالاست دارای موج خوردگی است و با وضوح خوبی ، ناحیه گل آلود و نیز ناحیه همسطح ، سطح زیرین لایه بالاست نشان دهنده یک مسیر افقی است که ناشی از بازسازی صورت گرفته در این قسمت می باشد.

۳ آزمایشات آزمایشگاهی GPR به منظور شناسایی آلودگی و رطوبت در بالاست

در بررسی آزمایشگاهی کارکرد دستگاه GPR بر روی بالاست، برای تشخیص رطوبت و کثیفی بالاست، ابتدا یکسری آزمایشات اولیه بر روی بالاست انجام شده است. از جمله آزمایشات می‌توان به دانه‌بندی، تعیین وزن مخصوص و آزمایش جذب آب اشاره کرد.

آزمایش دانه‌بندی بالاست

آزمایش دانه‌بندی طبق استاندارد ASTM-C136 انجام شده است؛ در این راستا ۳۰ کیلوگرم بالاست و این آزمایش روی این نمونه انجام گرفته است.

آزمایش تعیین وزن مخصوص

آزمایش تعیین وزن مخصوص طبق استاندارد ASTM-C127 انجام شده است. در این آزمایش علاوه بر بدست آوردن وزن مخصوص بالاست، وزن مخصوص رس نیز بدست آورده شده است (به خاطر درصد کثیفی که در آزمایشات به وسیله دستگاه GPR به بالاست زده می‌شود). آزمایش تعیین وزن مخصوص برای بالاست و رس فشرده به وسیله استوانه‌ای با حجم مشخص، بدست آورده شده است، که محاسبات آن در زیر قرار دارد.

$$\text{وزن ظرف} = 1145 \text{ gr}$$

$$\text{وزن خاک رس + وزن ظرف} = 5000 \text{ gr}$$

$$\text{حجم ظرف} = V = \pi r^2 h = 2528.9$$

$$\gamma_r = \frac{m}{V} = \frac{3855}{2528.9} = 1.52 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\gamma_t = 1.49 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \text{ بالاست}$$

آزمایش جذب آب

آزمایش جذب آب طبق استاندارد ASTM-C127 انجام شده است. آزمایش جذب آب به این دلیل انجام گرفته که مشاهده شود بالاست رطوبت زیاد جذب می‌کند یا نه، چون اگر رطوبت زیاد جذب شود، در راستای انجام آزمایش، درصد رطوبتی که زده می‌شود ممکن است در راستای نمونه برداری ایجاد مشکل کند.

برای انجام این کار از ۱۲ کیلوگرم بالاست استفاده شده و به وسیله سبد معلق، این آزمایش انجام گرفته است. این نکته باید ذکر شود که ۱۲ کیلوگرم بالاست ۲۴ ساعت درون آب قرار گرفته، بعد از آن وارد آون^۱ شده است.

وزن بالاست بعد از بیرون آوردن از آون ۱۱۹۵۷ بود.

$$\frac{12000 - 11957}{12000} = 0.36 \% < 1 \% \text{ ASTM - C127}$$

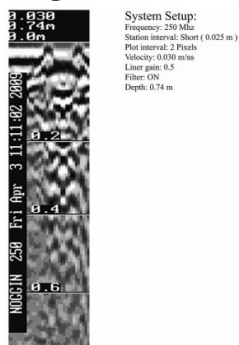
انجام آزمایش :

در راستای انجام دادن این آزمایش از یک محفظه فلزی به حجم ۰/۳ مترمکعب استفاده شده است، همچنین از یک اسکلت فلزی برای اینکه GPR، روی آن قرار گیرد، استفاده شده است.

برای انجام آزمایش، ابتدا بالاست‌ها باید شسته شود، تا گردو خاک بالاست در روند آزمایش مشکلی ایجاد نکند (گردو خاک‌ها اگر زیاد شوند درصد کثیفی را بالا می‌برد). سپس بالاست‌های شسته شده که خشک شده اند بعد از ریختن درون اسمبلی وزن می‌شود، بعد از آن، بالاست‌ها درون محفظه فلزی ریخته می‌شود. در هر لایه از محفظه ۴۰ کیلوگرم بالاست جای می‌گیرد و محفظه با ۴۰۰ کیلوگرم بالاست پر می‌شود.

اولین نمونه‌ای که به وسیله دستگاه گرفته شد، بالاست تمیز است تا بتوان به وسیله آن عکس‌های گرفته شده از بالاست تمیز و رطوبت‌دار را با هم مقایسه کرد.

تصویر گرفته شده از بالاست تمیز در شکل ۴ قابل مشاهده است. در این تصویر، نمودارهای عکس‌ها و تعداد پیکسل‌های عکس‌ها که با بالاست تمیز مقایسه می‌شود، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.



شکل ۴: بالاست تمیز گرفته شده به وسیله دستگاه NOGIN

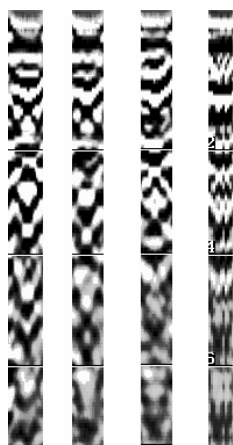
در آزمایشات بعدی، از آب برای نمونه برداری استفاده شد؛ آزمایش در دو حالت ۵۰ لیتر و ۱۰۰ لیتر آب انجام شده است.

۵۰ لیتر آب تا ارتفاع ۲۱،۳ سانتی‌متر و ۱۰۰ لیتر آب تا ارتفاع ۴۲،۶ سانتی‌متر بالا آمد، برای آنکه بتوان تشخیص داد چه مقدار آب بالا آمده است از نسبت گیری استفاده شده است، به این صورت که بعد از انجام آزمایش، با پر شدن کل محفظه و آگاهی به اینکه، محفظه با ۱۳۵ لیتر آب پر می‌شود، می‌توان ارتفاع آزمایشات قبلی که با آب انجام گرفته شده است را بدست آورد.

¹ Owen

جدول ۱: بدست آوردن ارتفاع آب در رطوبت های مختلف

۱۳۵ لیتر	۵۷,۵ سانتیمتر
۵۰ لیتر	۲۱,۳ سانتیمتر
۱۰۰ لیتر	۴۲,۶ سانتیمتر



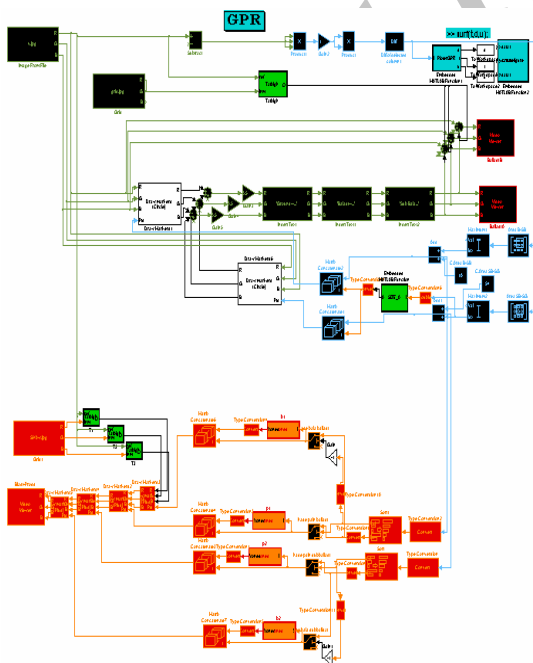
شکل ۶: به ترتیب از راست به چپ بالاست کثیف شده با درصد آلودگی

۲-۵-۲۱

۴ توسعه نرم افزار پردازش تصاویر GPR در محیط MATLAB

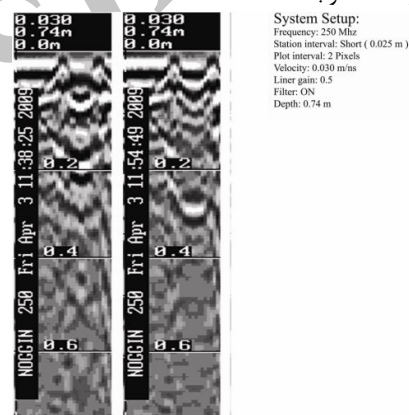
با توجه به تصاویر بدست آورده از آزمایش های انجام شده روی خط واقعی، نرم افزاری درون محیط Matlab ایجاد شده است که با پردازش تصاویر GPR مرزهای بالاست و زیر بالاست و بستر و میزان تغییر سطح هر لایه (بالاست و زیر بالاست) را نشان می دهد. روند پردازش تصویر GPR در محیط Simulink شبیه سازی گشته است که در شکل ۷ مشاهده می شود.

با توجه به تصویر ۷ و شبیه سازی انجام شده می توان در محیط Matlab با پردازش تصاویر GPR به اهداف فوق دست پیدا کرد.



شکل ۷: روند پردازش دستگاه GPR در محیط SIMULINK

و عکس های بدست آمده از ۵۰ لیتر و ۱۰۰ لیتر آب در شکل ۵ مشاهده می شود، با دقت به عکس ها و مقایسه چشمی با بالاست تمیز مشاهده می شود که قسمت های پایین که با آب مخلوط شده رنگ آن بیشتر به کدوری رفته و می توان متوجه شد که نسبت به بالاست کثیف تغییراتی داشته است، البته اینکه این تغییرات مربوط به آب است، با کثیفی که توسط رس برای آن اتفاق افتاده باید از تغییرات رنگ ها متوجه شد.



شکل ۵: به ترتیب از راست به چپ ۱۰۰ لیتر و ۵۰ لیتر آب

آزمایشات دیگری که انجام شده است در راستای کثیفی با رس است، در این حالت رس ها از الک نمره ۲۰ عبور داده شده اند. و رس عبوری در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفته است.

اصولا در کثیفی هم از رس استفاده می کنند و هم از ماسه؛ ولی در این آزمایش فقط از رس استفاده شده است، این آزمایشات با کثیفی های ۲۱ درصد، ۱۵ درصد، ۷ درصد و ۲ درصد مطابق شکل ۶ انجام شده است. با دقت در شکل ها می توان متوجه شد که با افزایش کثیفی مقدار کدر شدگی رنگ هم افزایش پیدا می کند.

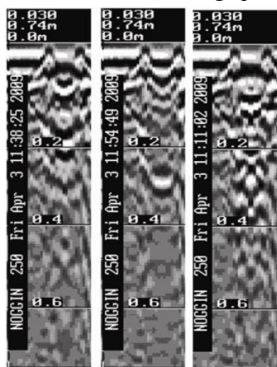
با شبیه سازی انجام شده در Matlab ، تصاویر بدست آمده از GPR در شرایط آزمایشگاهی مورد تحلیل قرار گرفته است.

هدف از تحلیل ، بررسی تاثیر افزودن درصد کیفی مشخص به بالاست و تجمع آب در زیرسازی بر روی پراکندگی رنگ های تصویر خروجی GPR می باشددر ادامه نمونه هایی از خروجی تغییرات پراکندگی رنگ ها آورده شده است.

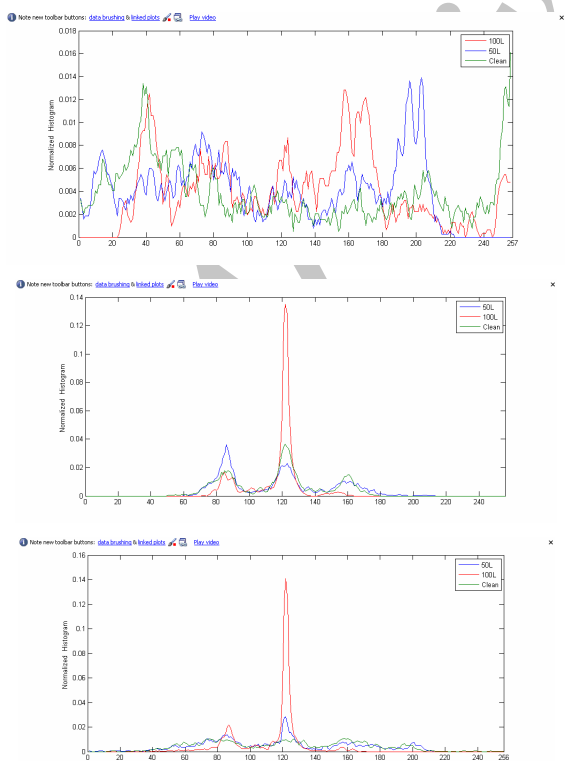
پردازش داده ها در رطوبت های مختلف

نمونه خام تجمع آب در بالاست :

در نمونه های زیر بالاست تمیز و بالاستی که با ۵۰ لیتر و ۱۰۰ لیتر آب پر شده است را می توان مشاهده کرد و این نمونه های خام (شکل ۹) با شبیه سازی انجام شده، مورد تحلیل قرار گرفته و نمودارهای شکل ۱۰ از آن بدست آمده است.



شکل ۹: زیر بالاست تمیز و بالاستی که با ۵۰ لیتر و ۱۰۰ لیتر آب پر شده است



شکل ۱۰: نمودارهای بدست آمده از شبیه سازی انجام شده در محیط

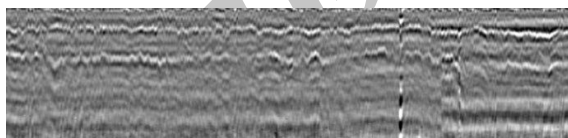
MATLAB

در شکل ۸ نتایج به دست آمده از نرم افزار فوق را می توان مشاهده کرد، که در آن مرز بالاست با رنگ قرمز و مرز زیر بالاست با رنگ آبی مشخص شده است.

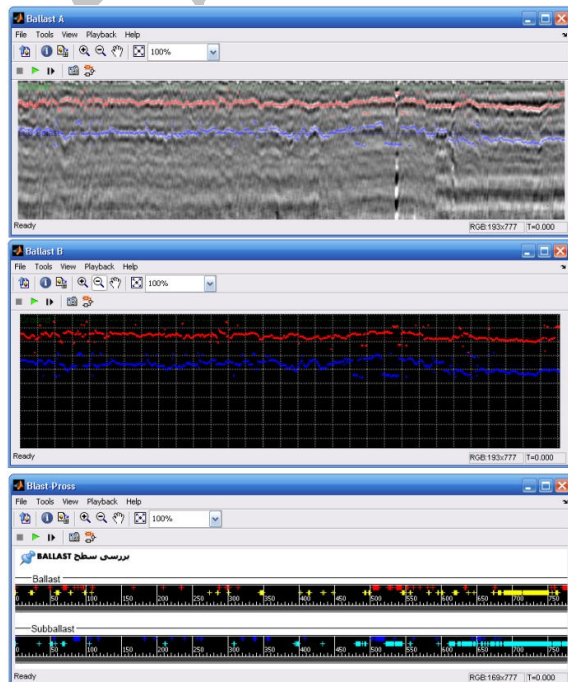
در بخش سوم شکل ۸ خروجی سطح بالاست و زیر بالاست، از محدوده های تعیین شده و استاندارد زیر سازی، مشاهده می شود. خروجی از بالاترین سطح استاندارد برای بالاست به رنگ قرمز و پایین ترین سطح مطلوب با رنگ زرد و همچنین برای زیر بالاست نیز بالاترین و پایین ترین سطح مطلوب به ترتیب با رنگ آبی پر رنگ و آبی کم رنگ مشخص شده است.

البته تصاویر زیر از سایت های مرتبط به این دستگاه و دانشگاه های مختلف که در این زمینه کار کرده اند جمع آوری شده است. به کمک این شکل ها می توان خروجی های بدست آمده از شبیه سازی در SIMULINK را مشاهده کرد.

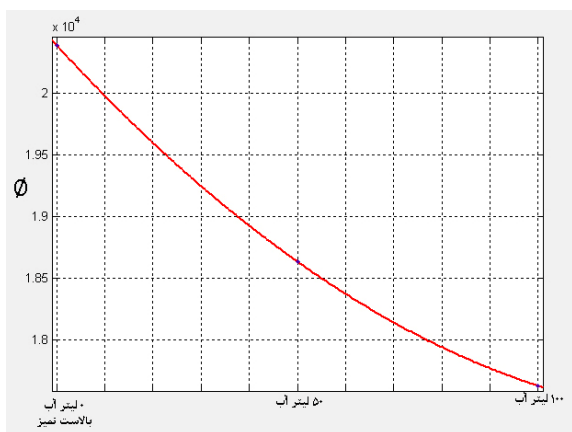
نمونه ی اول - تصویر خام GPR :



خروجی پردازش شده :



شکل ۸: خروجی های به دست آمده از تصویر حاصل از GPR در محیط SIMULINK



شکل ۱۲: نمودار حاصل از وزن دهی در شکل ۵-۱۱

که در شکل ۱۲ منحنی درجه ۲ منطبق می شود. فرمول بدست آمده از نمودار در معادله ۱ ملاحظه می شود.

$$\Phi = p_1 \times x^2 + p_2 \times x + p_3$$

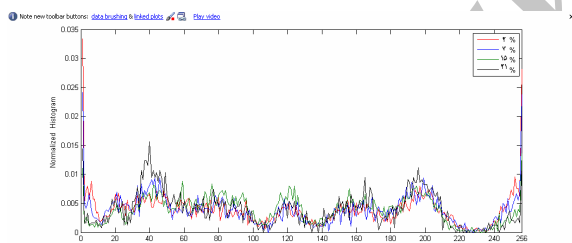
$$p_1 = 371.5$$

$$p_2 = -2863$$

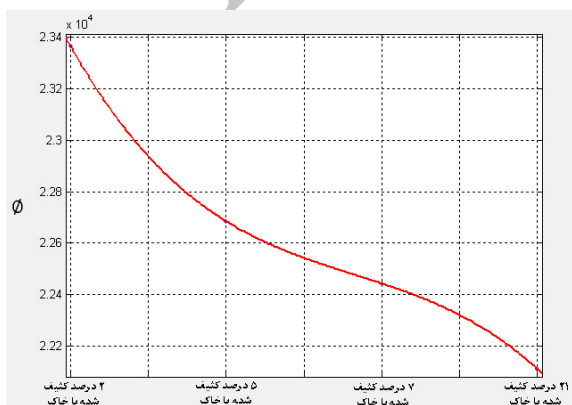
$$p_3 = 2.288 \times 10^4$$

(معادله ۱)

تمام مراحل که برای یافتن رابطه باید انجام داد دقیقاً مانند آزمایش بالا است ، به جز اینکه مشاهده می شود ، بهترین نموداری که می توان منطبق کرد از درجه ۳ می باشد.



شکل ۱۳: نمودار بدست آمده از نرم افزار MATLAB برای کل عمق بالاست در کثیفی های مختلف



شکل ۱۴: نمودار حاصل از وزن دهی در شکل ۱۳

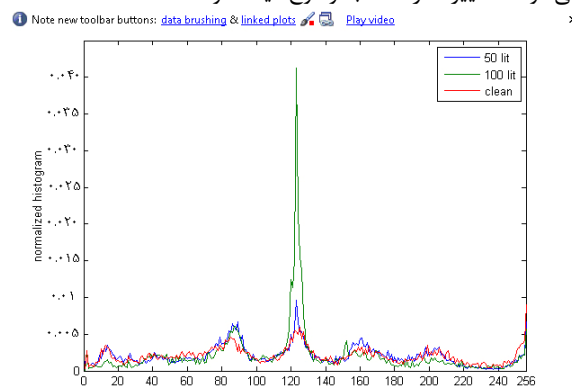
نمودار های شکل ۱۰ حاصل نمونه برداری سه محدوده عمقی از تصاویر بدست آمده از آزمایشگاه می باشد.

در نمودارهای فوق در نمونه های برداشته شده، در عمق هایی که آب، در آن ارتفاع قرار دارد جمع شدگی پراکندگی رنگ ها به وضوح دیده می شود. تصویر نمونه اول عمق ۲۰ سانتیمتری ، تصویر نمونه ی دوم عمق ۲۰ الی ۴۰ سانتی متری و تصویر نمونه ی سوم عمق ۴۰ الی ۶۰ سانتیمتری از سطح بالاست را نشان می دهد.

همانطور که دیده می شود بر اثر تجمع آب در بالاست، پراکندگی رنگ ها به سمت خاکستری بیشتر می شود. در تصویر اول آب روی تمام سطح نمونه ریخته شده است (شرایط بعد از ریزش باران) به علت خیس شدگی پوسته بالاست در سطوح فوقانی پراکندگی رنگ ها به سمت مرکز حرکت کرده است اما میزان پیک نمودار تغییر نکرده است. بسته به میزان رطوبت بالاست میزان شیفت نمودار فوق تغییر می کند. که معیاری از میزان رطوبت در بالاست می باشد. در نمودارهای دوم و سوم ارتفاع تجمع آب وارد نمونه های دوم و سوم شده است. همانگونه که مشاهده می شود به علت تجمع آب در بخش هایی از نمونه، پیک نمودار بسته به میزان تجمع آب در هر بخش رشد چشمگیری نسبت به بالاست تمیز را نشان می دهد.

رابطه ایجاد شده ناشی از رطوبت زده شده

با توجه به شکل ۱۱، رنگ ها از مقدار صفر شروع شده و تا ۲۵۶ خاتمه پیدا می کند. برای اینکه بتوان فرمول خروجی برای نمودار شکل ۱۱ پیدا کرد، باید تمام مقادیر رنگ ها وزن دهی شوند، که اگر عدد هر رنگ با x نمایش داده شود ، وزن دهی با مقدار x^2 اعمال می شود تا تغییرات رنگ ها به وضوح دیده شود.



شکل ۱۱: نمودار بدست آمده از نرم افزار MATLAB برای کل عمق بالاست در رطوبت های مختلف

با این عمل نمودار شکل ۵-۱۲ از درصد رطوبت های زده شده و اعمال وزن گفته شده استخراج می شود

- [8] Finnish Rail Administration , 1999. Finnish Railway Statistics 1999.
- [9] Skolnik , M.I. (1980) Introduction to Radar System. New York, NY: McGraw-Hill.
- [10] www.Infrasense.com
- [12] www.groundcontrol-online.de
- [13] www.selig.com
- [14] Track Substructure Characterization Using 500 MHz and 2 GHz Ground Penetrating Radar: Results from over 250 Miles of Track in Wyoming and Alaska Roger Roberts1, Imad Al-Qadi2, and Erol Tutumluer3
- [15] ground penetrating radar: theory and application : editor hary M.Jol

با توجه به وزن دهی گفته شده و نمودار تطبیق شده در شکل معادله ۲ بدست می آید.

$$\Phi = p_1 \times x^3 + p_2 \times x^2 + p_3 \times x + p_4$$

$$p_1 = -88.15$$

$$p_2 = 748.4$$

$$p_3 = -2309$$

$$p_4 = 2.502 \times 10^4$$

(معادله ۲)

۵ نتیجه گیری

با انجام آزمایش های کنترل شده و دقیق و پردازش داده های خروجی دستگاه GPR برای اولین بار در ایران قابلیت تحلیل این داده ها برای آشکارسازی خرابی های بالاست، زیربالاست و بستر در ایران بومی سازی شده است. گسترش این خرابی ها در زیرسازی راه آهن موجب نشست و افتادگی خط، uplift خط در اثر یخ زدگی آب های به دام افتاده در زیرسازی، تغییر هندسه خط به علت ضعف زیر سازی در تحمل بارهای وارده و همچنین تغییر دانه بندی ذرات و در نتیجه تغییر در الاستیسیته ی خط می شود. عدم تشخیص به موقع این خرابی ها، ایمنی خطوط را پایین آورده و موجب بروز صوانح ریلی می شود.

منابع

- [1] DEVELOPMENT OF GROUND PENETRATING RADAR FOR RAILWAY INFRASTRUCTURE CONDITION DETECTION Theodore R. Sussmann, Hull, MA Kenneth R. Maser, Infrasense, Arlington, MA Doria Kutrubes, Radar Solutions International, Waltham, MA Francois Heyns, Africon (Asia), Kuala Lumpur, MALAYSIA Ernest T. Selig, Ernest T. Selig, Inc., Hadley, MA
- [2] Ground penetrating radar for railroad track substructure evaluation; u.s. department of transportation, federal railroad, administration; office of research and development , Washington DC, 20590
- [3] Uzarski , D. & McNeil , S. (1994) Technologies for planning railroad track maintenance and renewal , Journal of Transportation Engineering , Vol. 120, No. 5, pp. 807-820, September - October 1994.
- [4] Daniel , D.J. (1996) Surface Penetrating Radar. London , UK: Institution of Electrical Engineers.
- [5] www.saferailsystem.com
- [6] Dr Clark & Professores DM McCann & MC Forde , GPR As A tool For The Characterisation of Ballast , Railway Engineering Conference , 2002 , London.
- [7] A Smekal & E Berggren & K Hrubec , Track – Substructure Investigations Using Ground Penetrating Radar And Track Loading Vehicle , Railway Engineering Conference , 2002 , London.