

قابلیت رادار نفوذی زمین در شناخت خرابی ناشی از رطوبت در لایه‌های مخلوط آسفالتی

حسن زیاری، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمود رضا کی‌منش*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
کیوان کیانفر، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mrkeymanesh@pnu.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱۲/۰۵ - پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۰

صفحه ۱۴-۱

چکیده

از جمله خرابی‌های که اغلب در روسازی‌های آسفالتی مشاهده می‌گردد، خرابی‌هایی است که ناشی از رطوبت بوده یا توسط رطوبت تشدید شده‌اند. که عریان شدگی یکی از مهمترین آنهاست. اما از آنجا که منشأ بروز پدیده عریان شدگی از حساسیت رطوبتی بوده و موجب ایجاد خرابی‌های زودرس و صرف هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری می‌شود. تشخیص مناطق عریان در اثر رطوبت از اهمیت بالایی برخوردار است از متداولترین روشهای شناخت حساسیت رطوبتی، مغزه‌گیری در مخلوطهای آسفالتی، محاسبه تنش کششی غیر مستقیم در ۲ حالت اشباع و خشک و پیدا کردن نسبت تنش اشباع به خشک می‌باشد. این روش مخرب است، چاله‌های حاصل از مغزه‌گیری باید وصله و مرمت شوند، همچنین دارای سختی کار و زمانبر است. از روشهای دیگر، دستگاه رادار نفوذی به زمین از روشهای الکترومغناطیسی است که امروزه کاربردهای آن در راهسازی به سرعت در حال گسترش می‌باشد. در این پژوهش پس از ارزیابی چشمی بخشی از شبکه راههای منطقه ۲۲ واقع در استان تهران و انتخاب قطعاتی از محور مورد نظر، اقدام به ارزیابی مکانیزه بکمک دستگاه رادار نفوذی زمین گردید. همچنین از محل‌های مشکوک به وجود عریان شدگی نمونه‌های مغزه گرفته شده و تحت آزمایشات، تنش کششی غیر مستقیم در صد فضای خالی، چگالی و..... قرار داده شدند. در مقایسه بین پارامترهای خصوصیات فیزیکی آسفالت از جمله میزان فضای خالی و میزان خرابی ناشی از حساسیت رطوبتی و پارامتر خروجی ثابت دی الکتریک بدست آمده از رادار نفوذی زمین ارتباط معنی داری وجود دارد. در اعماق مختلف مغزه گرفته شده، با افزایش درصد فضای خالی، افزایش نسبت تنش کششی غیرمستقیم اشباع به خشک، تشدید خرابی ناشی از رطوبت و کاهش مقدار ثابت دی الکتریک مشاهده گردید. در نهایت با کمک نتایج بدست آمده، به بیان ارتباط مقادیر ناشی از ارزیابی مخرب با غیرمخرب در نقاط مشخص شده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حساسیت رطوبتی، مغزه‌گیری، آزمایشات مخرب، رادار نفوذی زمین

۱- مقدمه

معمولاً عریان شدن از زیر لایه آسفالتی شروع می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند تا ساختمان روسازی ضعیف شود. اغلب این موضوع، در شرایط جوی مرطوب و تبخیر ناشی از گرم شدن هوا در سطح آسفالت، شکل می‌گیرد با ازدیاد

عریان شدگی، یک خرابی در مخلوط آسفالتی می‌باشد که در این پدیده، چسبندگی بین قیر و سنگدانه در اثر رطوبت از بین می‌رود. محل ایجاد خرابی رطوبتی اغلب، در زیر چرخها و در محل‌هایی که سطح آبهای زیرزمینی بالاست پدید می‌آید.

۲- ارزیابی غیرمخرب با دستگاه رادار نفوذی به

زمین

امروزه روش رادار نفوذی زمین، از جمله روشهای ارزیابی غیرمخرب است که در مهندسی راه جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در این روش از امواج الکترومغناطیس با استفاده از محاسبه زمان رفت و برگشت امواج و محاسبه ضریب دی‌الکتریک مواد، جهت کاوش لایه‌های مختلف زمین و روسازی استفاده می‌شود که مشخصاتی از لایه مورد ارزیابی را در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد. از سال ۱۹۷۰ ارزیابی روسازی و زیرسازی جاده‌ها و ابنیه پل‌ها باروش رادار آغاز گردید.

اتحادیه مدیریت بزرگراههای کشور آمریکا در اوایل دهه ۱۹۸۰ امکانپذیری رادار را جهت ارزیابی برای بررسی وضعیت روسازی تونل‌ها و پس از آن در ارزیابی وضعیت پل‌ها را مورد آزمایش قرار دادند. اولین پیمایش رادار در ۱۹۸۶ در کانادا نیز آغاز شد. بعد از آن آزمایشهای بیشتری در فنلاند انجام گردید، بدینگونه روش رادار به سرعت به یک ابزار پیمایشی معمول در طراحی و ساخت جاده و پروژه‌های ترمیم و نوسازی در فنلاند تبدیل شد. در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰، اکثر کاربردها در مطالعات زیرسازی، اندازه‌گیری ضخامت آسفالت، تعیین فضاها خالی زیر قالبهای بتنی و تعیین نواحی در حال تخریب در پل‌ها در آمریکای (Christina and Andreas, 2013) شمالی، متمرکز شد.

در مطالعه‌ای در تگزاس، Scullion و Roimela دریافتند که از خصوصیت رادار می‌توان برای تشخیص عریان‌شدگی در آسفالت نیز استفاده کرد. چون در لایه آسفالتی عریان شده در اثر رطوبت، یا درصد هوای اضافی یا درصد رطوبت محبوس و یا هر دو این مقدار بالا است، که در نهایت منجر به تغییر سرعت امواج منتشر شده می‌گردد.

همچنین آنان دریافتند که در صورت خرابی ناشی از رطوبت هم چگالی و هم مقدار ثابت دی‌الکتریک هر دو کاهش می‌یابد (Scullion et al., 1997).

در سال ۲۰۰۵ پژوهشگران در ایالت جرجیا با مقایسه مغزه‌های گرفته شده و آزمایشهای مخرب با سایر روشهای آزمایشات غیر مخرب نظیر رادار و ارزیابی لرزه‌ای دریافتند که ثابت دی‌الکتریک بدست آمده از امواج الکترو مغناطیسی که از

ترافیک، ترکها ظاهر می‌شوند و خرابی‌های دیگری مانند شن زدگی و ایجاد چاله را موجب می‌شود" (عامری، ۱۳۹۴). مغزه‌گیری در مخلوطهای آسفالتی و بدست آوردن نسبت تنش کششی غیر مستقیم در ۲ حالت اشباع و خشک از جمله آزمایشات مخرب متداول جهت شناخت حساسیت رطوبتی می‌باشد (khodaeii and mehrara 2013). درصد فضای خالی زیاد در لایه های آسفالتی به آب اجازه می‌دهد در این حفره‌ها حرکت نماید. اکثر طرح اختلاط ها ۳ تا ۵ درصد فضای خالی را پیشنهاد می دهند. وقتی درصد فضای خالی کمتر از ۵ درصد باشد، مواد مخلوط آسفالتی اکثرا در برابر رطوبت غیرقابل نفوذ می باشند.

اگر درصد فضای خالی بیشتر از ۸ درصد باشد، رطوبت می‌تواند به راحتی در داخل مصالح نفوذ کند. (Kandhal, P.S., and et all, ۱۹۹۲).

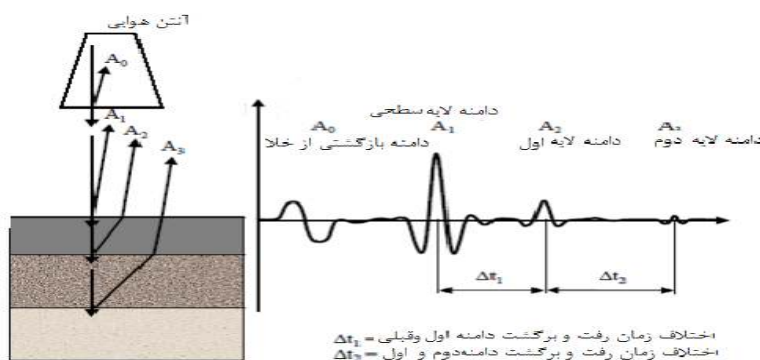
از روشهای دیگر، دستگاه رادار نفوذی به زمین از روشهای الکترومغناطیسی است که امروزه کاربردهای آن در راهسازی به سرعت در حال گسترش می باشد. آسفالتی که در نقاطی دچار خرابی ناشی از رطوبت می‌گردد، دارای درصد فضای خالی زیاد بوده و در آن نقاط دارای کمترین مقدار چگالی است. با ارزیابی رابطه درصد فضای خالی اضافی و ضریب ثابت دی الکتتریک، قابلیت تشخیص سریع میزان و وسعت حساسیت رطوبتی را می‌توان بدست آورد (Dar-Hao Chen and et all, 2014).

در این پژوهش، پس از ارزیابی شبکه چشمی شبکه راههای منطقه ۲۲ واقع در استان تهران و ارزیابی محورهای انتخابی با دستگاه رادار نفوذی به زمین، از نقاط مشکوک به وقوع عریان شدگی مغزه گیری شد و پس از بدست آوردن چگالی واقعی نمونه‌ها در اعماق مختلف ۵ سانتی‌متری از سطح مغزه، بدست آوردن نسبت تنش کششی غیر مستقیم در ۲ حالت اشباع و خشک و بدست آوردن فضای خالی توسط آزمایش رایس انجام گردید.

در ادامه به بررسی نتایج آزمایشات مخرب با روش غیر مخرب پرداخته شده و ارتباط مقادیر ثابت دی الکتتریک با پارامترهای چگالی، درصد فضای خالی و نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم در آزمایشات مخرب مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

رطوبت محبوس شده داخل مصالح آسفالت را تشخیص دهد
(Hammons et al., 2005).

ارزیابی مکانیزه با رادار بدست می‌آید دارای مقادیر کمیته
می‌باشند که قادر خواهند بود جنس مصالح و مقدار درصد



شکل ۱. مکانیسم عملکرد آنتن دو تایی هوایی (Yuejian Cao, et al., 2008)

که در این رابطه D ضریب دی الکتریک، A_1 دامنه سطح اولیه
آسفالت، A_m دامنه صفحه فلزی دستگاه می‌باشد. در واقع
مهمترین عامل جهت تشخیص حساسیت رطوبتی، ثابت
دی الکتریک می‌باشد. هرچه قدر حساسیت رطوبتی در لایه‌ای
بالا باشد ثابت دی الکتریک عدد کمتری را نشان می‌دهد.

(Kyle Hoegh, et al 2015)

۲-۱- تعیین مقادیر دامنه لایه‌های آسفالتی

مقادیر دامنه لایه‌های آسفالتی، مقادیر بازتاب عددی هر کدام از
لایه‌های به آنتن می‌باشند شکل (۱) نشان‌دهنده مکانیسم
عملکرد آنتن دو تایی هوایی را نشان می‌دهد. (Yuejian
Cao, et al., 2008)، همانگونه که در شکل (۲) مشاهده
می‌شود، A_1 و A_2 و A_3 برترتیب بازتاب‌های لایه‌های سطحی
و اول و دوم آسفالت می‌باشند.

۳- روش پژوهش

۳-۱- انتخاب محورهای مورد مطالعه

مسیر رفت و برگشت بلوار بیگدلی از سمت شرق به غرب
حداقل بزرگراه آزادگان در شرق، تا بلوار امیر کبیر (متاهی به
دریاچه چیتگر) و بالعکس جهت انجام این پژوهش انتخاب
گردید. جدول مشخصات مسیر و طول آن را نشان می‌دهد.

۳-۲- پیمایش مکانیزه با رادار

با توجه به پیمایش مسیر با دستگاه رادار نفوذی به زمین،
مقادیر توسط دستگاه برداشت گردیده (آنتن هوایی با دقت ۲
گیگاهرتز) و پس از آن توسط نرم افزارهای تحلیل دستگاه
مورد آنالیز و بررسی قرار می‌گیرد پس از برداشت مقاطع
مشکوک وجود عریان شدگی، به تفسیر پروفیل‌های آن پرداخته
می‌شود و مقادیر دامنه و مقادیر دی الکتریک طبق رابطه ۱ در
نقاط خواسته شده بدست می‌آیند.

۲-۲- تعیین ضریب دی الکتریک لایه‌های آسفالت

هر کدام از انعکاس‌های و بازگشت‌های ناشی از رادار دارای
یک ضریب خاص دی الکتریک می‌باشد. مقدار دی الکتریک
لایه بازتابنده اگر پایین باشد، بدین معنا است که لایه متشکل از
سنگدانه‌های ماسه‌ای و ریز دانه است؛ جهت محاسبه
ضریب دی الکتریک در لایه اول آسفالت از رابطه شماره (۱)
استفاده می‌گردد.

(۱)

$$D 1 = \frac{\left(1 + \frac{A_1}{A_m}\right)}{\left(1 - \frac{A_1}{A_m}\right)}$$

۳-۳- انتخاب محل جهت انجام مغزه گیری

و در این نقاط مغزه گیری انجام می شود. شکل ۲ خرابی سطح روسازی به ترتیب از راست به چپ شدت کم و زیاد می باشد.

بر اساس بازدید چشمی سطح روسازی، سطوحی از سطح راه که از نظر چشمی مشکوک به خرابی هستند را دسته بندی کرده

جدول ۱. مشخصات محور مورد ارزیابی در بلوار بیگدلی

نام محور	طول محور	مشخصات محور
شرق به غرب بیگدلی	۲۳۵۰ متر	دارای ۲ خط عبور بلوار اصلی درجه ۱
غرب به شرق بیگدلی	۲۳۵۰ متر	دارای ۲ خط عبور بلوار اصلی درجه ۱



الف) خرابی با شدت کم ب) خرابی با شدت زیاد

شکل ۲. شدت خرابی سطوح روسازی

مشخصات مسیرهایی که جهت ارزیابی چشمی مورد استفاده قرار گرفتند را نشان می دهد.

هرکدام از این نقاط نام گذاری شده، مورد بررسی چشمی قرار گرفته و درصد خرابی آن مشخص گردید. جدول ۲

جدول ۲. مشخصات مسیرهای مورد ارزیابی

شماره نقطه	مشخصات نقطه
۱	۱۵۰ متری از مسیر غرب به شرق بلوار بیگدلی
۲	۷۵۰ متری از مسیر غرب به شرق بلوار بیگدلی
۳	۱۸۷۰ متری از مسیر غرب به شرق بلوار بیگدلی
۴	۲۲۳۰ متری از مسیر غرب به شرق بلوار بیگدلی
۵	۳۲۰ متری از مسیر شرق به غرب بلوار بیگدلی
۶	۲۰۲۰ متری از مسیر شرق به غرب بلوار بیگدلی
۷	۳۱۵ متری از مسیر شرق به غرب بلوار بیگدلی
۸	۷۱۵ متری از مسیر شرق به غرب بلوار بیگدلی

۳-۴- نتایج پژوهش

مقاومت کششی (TSR) محاسبه گردیده و مقادیر میزان درصد فضای خالی همه نمونه‌ها از طریق آزمایش رایس (ASTM 2041) پس از انجام AASHTO-T283 حاصل می‌گردد. جدول شماره ۳ خلاصه نتایج آزمایشات مخرب و غیر مخرب را در ۵ سانت سطح مغزه، ۵ سانت دوم، سوم و چهارم را نشان می‌دهد.

پس از برداشت با دستگاه رادار در کل مسیر، از نقاط مشخص شده اقدام به مغزه گیری (هر نقطه دو عدد) می‌شود. در ابتدا هر کدام از ۲ مغزه استخراج شده از هر نقطه، به ضخامت ۵ سانتی متر بریده می‌شوند پس از برش هر کدام از مغزه‌ها، ۲ به ۲ جهت ارزیابی در ۲ حالت خشک و اشباع با یکدیگر مقایسه می‌شوند. پس از آن چگالی واقعی Gmb بر اساس روش استاندارد ASTM 1188 هرکدام از نمونه‌ها بدست می‌آید. در مرحله بعد با استاندارد AASHTO-T283 نسبت

جدول ۳. خلاصه نتایج آزمایشات مخرب و غیر مخرب

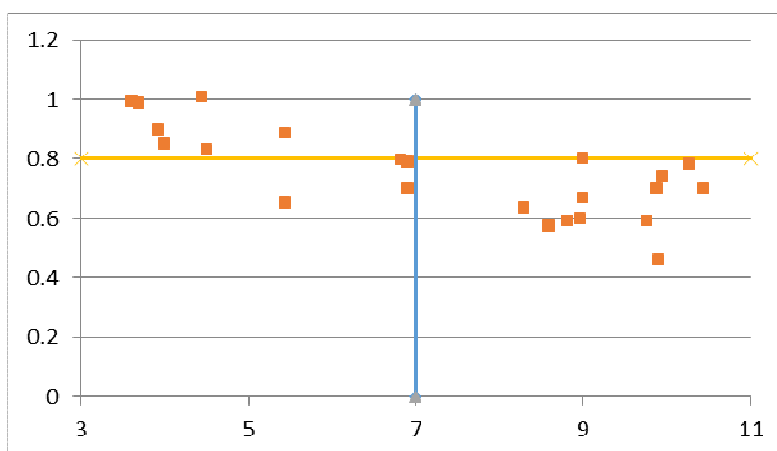
کیلومتر	عمق (سانتی متر)	شماره نقاط	دی الکتریک	چگالی	TSR	درصد فضای خالی
0+150	5	1	5.09	2.17	0.74	9.94
0+750	5	2	4.94	2.26	0.79	6.90
0+1870	5	3	4.87	2.15	0.70	10.43
2+230	5	4	4.91	2.18	0.60	8.96
0+320	5	5	4.94	2.17	0.70	9.87
2+020	5	6	5.76	2.30	0.99	3.61
0+315	5	7	6.25	2.23	0.90	3.93
0+715	5	8	4.91	2.16	0.78	10.27
0+150	10	1	5.33	2.23	0.70	6.90
0+750	10	2	5.35	2.30	0.83	4.50
0+1870	10	3	4.59	2.19	0.64	8.28
2+230	10	4	4.3	2.25	0.57	8.60
0+320	10	5	4.94	2.21	0.59	8.81
2+020	10	6	6.25	2.30	0.85	4.00
0+315	10	7	7.44	2.42	0.99	3.70
0+715	10	8	4.97	2.17	0.65	5.43
0+1870	15	3	5.09	2.21	0.80	9.00
0+320	15	5	4.94	2.22	0.59	9.77
2+020	15	6	4.87	2.08	0.46	9.90
0+715	15	7	6.25	2.23	0.89	5.43
0+750	20	2	5.33	2.39	0.80	6.82
0+1870	20	3	5.09	2.40	0.67	9.00

۴-بحث و بررسی

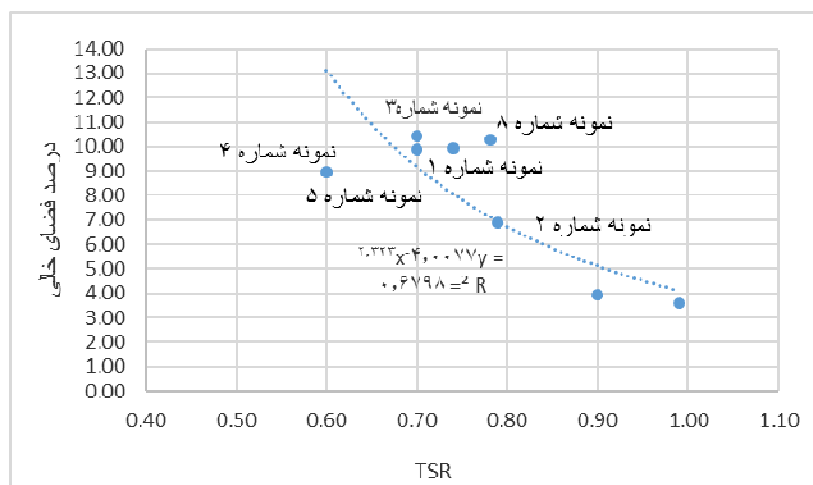
۴-۱-ارتباط در صد فضایی خالی با حساسیت رطوبتی

بر اساس استاندارد AASHTO-T283 در نقاطی که مقدار نسبت مقاومت کششی (TSR) کمتر از ۰.۸ باشد، حساسیت رطوبتی وجود داشته که به پدیده عریان شدگی منجر خواهد شد. مطابق جدول ۳ از مجموع ۲۲ مغزه، در ۱۴ مغزه مقادیر TSR کمتر از ۰.۸ بوده و نشان از حساسیت رطوبتی دارند. شکل ۳ رابطه بین حساسیت رطوبتی و درصد فضای خالی مغزه ها را نشان می دهد. نقاطی که پایین تر از خط قرمز هستند، نمونه های دچار حساسیت رطوبتی می باشند که همانطور که در شکل ۳ مشخص است، با بالا رفتن درصد

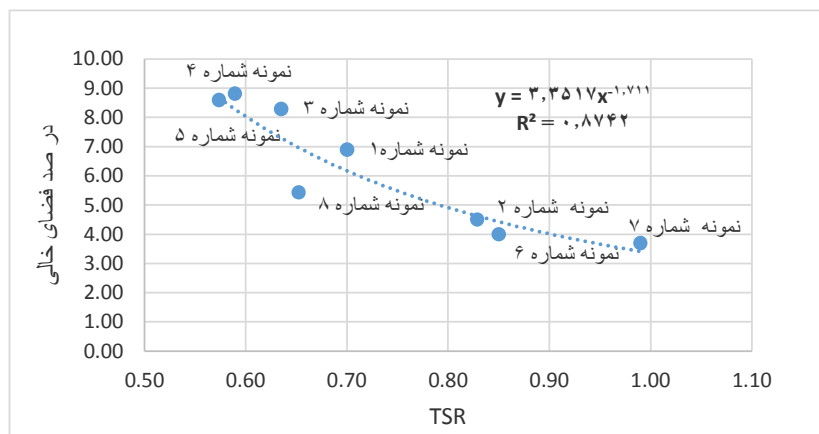
فضای خالی آسفالت مقادیر TSR نیز کاهش پیدا کرده به طوری که در ۶۸٪ نمونه هایی که درصد فضای خالی آنها بیشتر از ۷ درصد است، مقدار TSR آنها کمتر از ۰.۸ می باشد. به دلیل رفتار متفاوت مخلوط آسفالتی نسبت به رطوبت در عمقهای مختلف، در شکلهای ۴ و ۵ ارتباط TSR و درصد فضای خالی آسفالت در اعماق مختلف نشان داده شده و رابطه جداگانه ای برای آنها ارائه شده است. هر چقدر عمق نمونه ها بیشتر می شود، شیب خطوط برازش داده شده نیز افزوده می شود که بیانگر آن است که تاثیر زیاد بودن درصد فضای خالی در اعماق کمتر، بیشتر می باشد.



شکل ۳. نمودار رابطه TSR و درصد فضایی خالی نمونه های آسفالتی



شکل ۴. نمودار رابطه TSR و درصد فضایی خالی نمونه های آسفالتی ۰ تا ۵ سانتیمتری از سطح



شکل ۵. نمودار رابطه TSR و درصد فضایی خالی نمونه‌های آسفالتی ۵ تا ۱۰ سانتیمتری از سطح

۴-۲- ارتباط چگالی واقعی آسفالت با حساسیت رطوبتی

بر اساس استاندارد AASHTO-T283 در نقاطی که مقدار نسبت مقاومت کششی (TSR) کمتر از ۰.۸ باشد، حساسیت رطوبتی وجود داشته که به پدیده عریان شدگی منجر خواهد شد. مطابق جدول ۳ از مجموع ۲۲ مغزه، در ۱۴ مغزه مقادیر TSR کمتر از ۰.۸ بوده و نشان از حساسیت رطوبتی دارند. شکل ۶ رابطه بین حساسیت رطوبتی و چگالی واقعی آسفالت را نشان می‌دهد. نقاطی که پایین تر از خط قرمز هستند، نمونه های دچار حساسیت رطوبتی می باشند که همانطور که در شکل ۷ مشخص است، با بالا رفتن میزان چگالی واقعی آسفالت مقدار TSR افزایش یافته به طوریکه در ۶۴٪ نمونه هایی که چگالی واقعی آسفالت آنها کمتر از ۲.۲۵ درصد است، مقدار TSR آنها کمتر از ۰.۸ می‌باشد. همچنین با مقایسه نمودارهای شکل ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، نمونه‌های شماره ۳، ۲، ۴ و ۵ در عمق ۵ سانتی متری از سطح روسازی دارای TSR کمتر از ۰.۸ بوده و میزان فضای خالی در نمونه‌ها نیز از ۷٪ بالاتر است، همچنین در نمودار شکل ۷ نمونه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ کمترین میزان چگالی واقعی آسفالت را دارد. با مقایسه نمودارهای شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، نمونه های ۴، ۳، ۱، ۵ و ۸ نیز دارای مقادیر TSR کمتر از ۰.۸ در ۵ سانتی متری دوم (از ۵ سانتی متر تا ۱۰ سانتی متر) بوده و نشان از حساسیت رطوبتی دارند. درصد فضای خالی نمونه‌های شماره ۴، ۳، ۱، ۵ و ۸ نیز از ۷٪ بالاتر است. همچنین بررسی نمودار ۸ نشان می‌دهد

در عمق ۵ سانتی متری دوم از مغزه در نقاط ۱، ۳، ۵ و ۸ نیز میزان چگالی کمترین میزان را به خود اختصاص داده است.

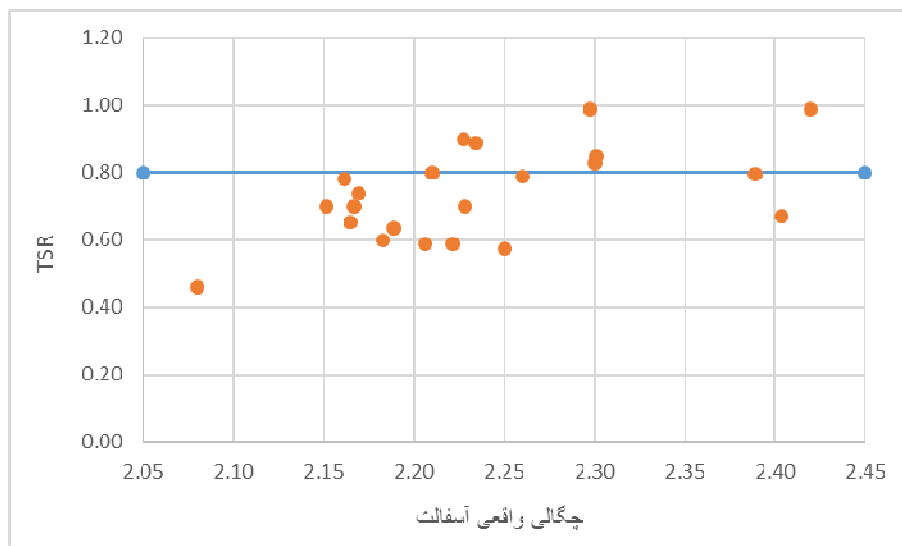
۴-۳- ارتباط مقدار ثابت دی الکتریک آسفالت ناشی

از امواج رادار با حساسیت رطوبتی

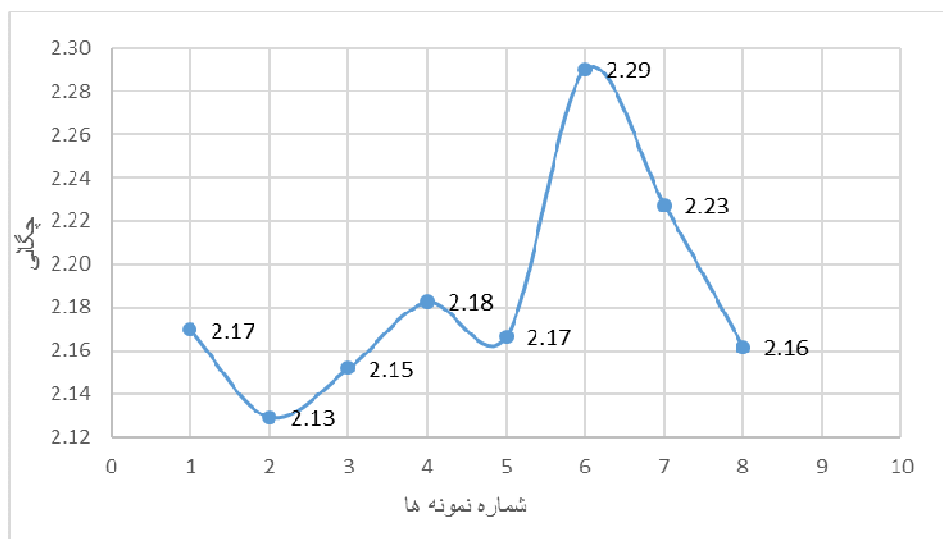
بر اساس استاندارد AASHTO-T283 در نقاطی که مقدار نسبت مقاومت کششی (TSR) کمتر از ۰.۸ باشد، حساسیت رطوبتی وجود داشته که به پدیده عریان شدگی منجر خواهد شد. مطابق جدول ۳ از مجموع ۲۲ مغزه، در ۱۴ مغزه مقادیر TSR کمتر از ۰.۸ بوده و نشان از حساسیت رطوبتی دارند. شکل ۱۰ رابطه بین حساسیت رطوبتی و ثابت دی الکتریک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نقاطی که پایین تر از خط شاخص هستند، نمونه‌های دچار حساسیت رطوبتی می باشند که همانطور که در شکل ۹ مشخص است، با کاهش یافتن مقدار ثابت دی الکتریک (کمتر از ۵.۵) مقادیر TSR نیز کاهش پیدا کرده به طوریکه در ۳۳٪ نمونه هایی که ثابت دی الکتریک آنها کمتر از ۵.۵۰ است، مقدار TSR آنها کمتر از ۰.۸ می‌باشد. به دلیل رفتار متفاوت مخلوط آسفالتی نسبت به رطوبت در عمقهای مختلف، در شکلهای ۱۰ تا ۱۱ ارتباط بین شماره نمونه‌ها و مقدار ثابت دی الکتریک در اعماق مختلف نشان داده شده و رابطه جداگانه‌ای برای آنها ارائه شده است. همچنین با مقایسه نمودار شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، نمونه‌های شماره ۳، ۲، ۴، ۵ و ۸ در ۵ سانتی متری از سطح

و ۸ نیز دارای مقادیر **TSR** کمتر از ۰.۸ در ۵ سانتی متری دوم (از ۵ سانتی متر تا ۱۰ سانتی متر) بوده و نشان از حساسیت رطوبتی دارند.

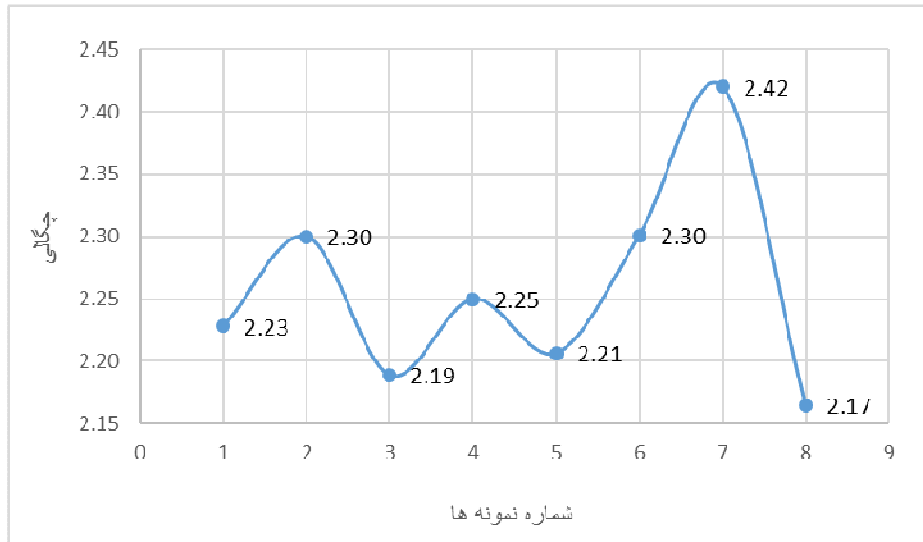
روسازی دارای **TSR** کمتر از ۰.۸ بوده در این نمودار، مقدار ثابت دی الکتریک در این نمونه‌ها نیز از سایر اعداد در نمودار کمتر بوده و در نقاط بیان گردیده این مقدار از ۵ کمتر است، همچنین در نمودار شکل ۱۱ نمونه های ۳، ۴، ۵ و ۸ کمترین میزان ثابت دی الکتریک را نسبت به سایر اعداد واقع در نمودار در عمق ۵ سانتی متر دوم آسفالت را دارد. همچنین با مقایسه اعداد نمودارهای شکل ۱۱ مشاهده می شود، نمونه‌های ۳، ۴، ۵



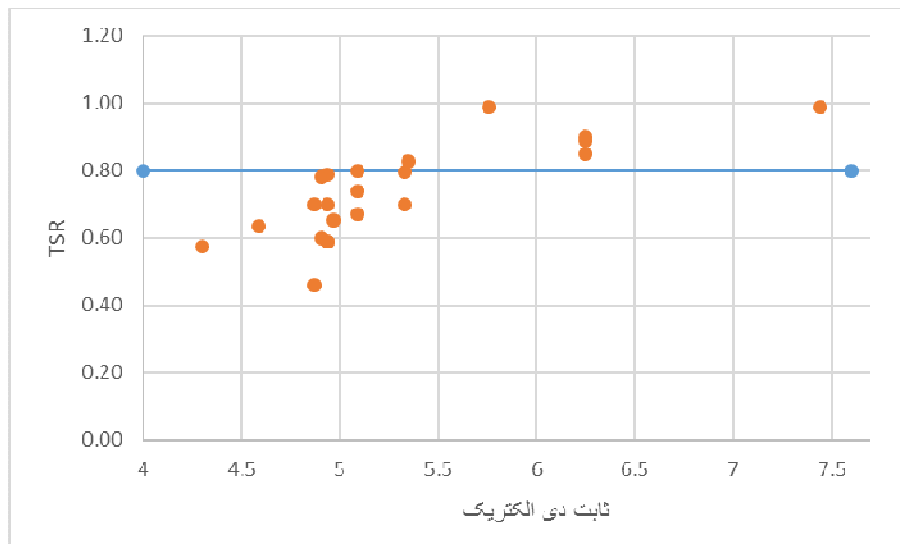
شکل ۶. نمودار رابطه **TSR** و چگالی واقعی نمونه‌های آسفالتی



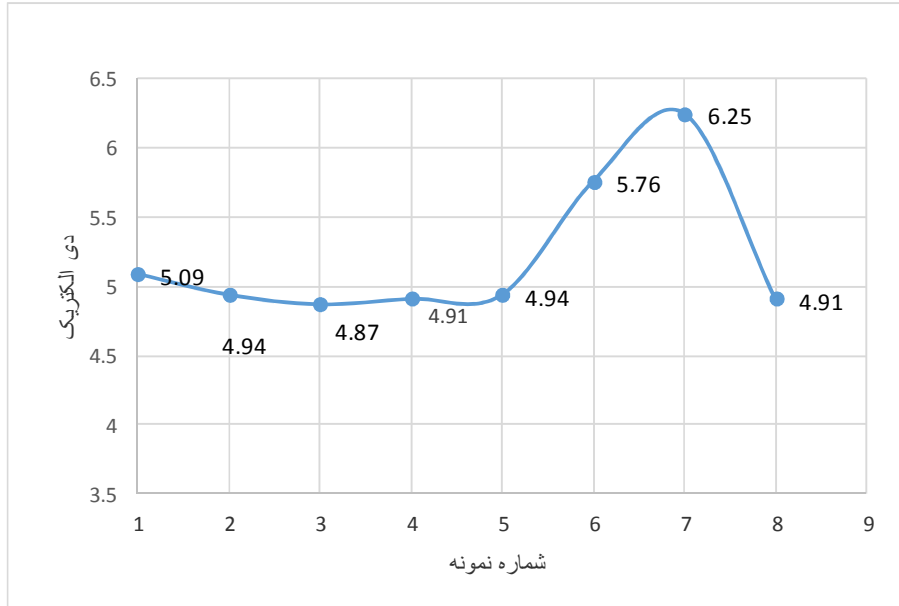
شکل ۷. نمودار رابطه چگالی واقعی آسفالت و شماره نمونه های آسفالتی ۰ تا ۵ سانتیمتری از سطح



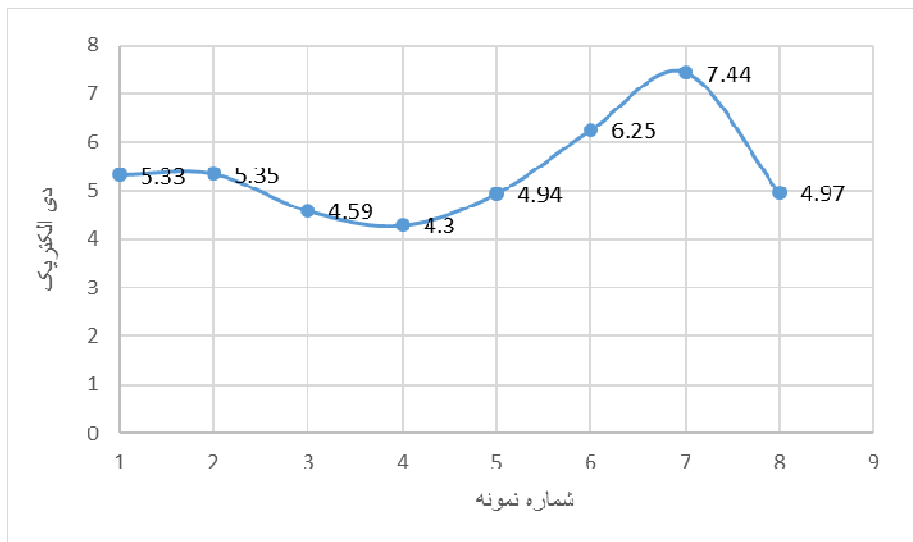
شکل ۸. نمودار رابطه چگالی واقعی آسفالت و شماره نمونه‌های آسفالتی ۵ تا ۱۰ سانتیمتری از سطح



شکل ۹. نمودار رابطه TSR و ثابت دی الکتریک



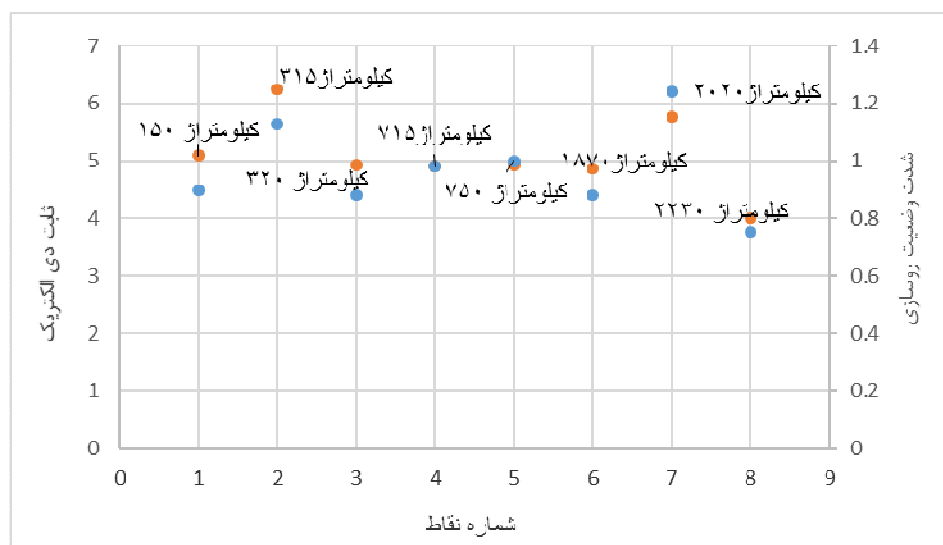
شکل ۱۰. نمودار رابطه شماره نمونه و ثابت دی الکتریک در ۵ سانتی متری سطح روسازی



شکل ۱۱. نمودار رابطه شماره نمونه و ثابت دی الکتریک در ۱۰ سانتی متری سطح روسازی

جدول ۴. خلاصه نتایج آزمایشات مخرب و غیر مخرب

POINT NO	KM	TSR	CORE CONDITION		DELICTRIC
1	0+150	0.74	0.9	عریان شده متوسط	5.09
2	0+315	0.9	1.13	خوب	6.25
3	0+320	0.7	0.88	عریان متوسط	4.94
4	0+715	0.78	0.98	مرز عریان شدگی	4.91
5	0+750	0.79	1	مرز عریان شدگی	4.94
6	0+1870	0.7	0.88	عریان متوسط	4.87
7	2+020	0.99	1.24	سالم	5.76
8	2+230	0.6	0.75	عریان شدید	4.91



شکل ۱۲. مشخصات شدت وضعیت خرابی و ثابت دی الکتریک در نقاط

متوسط) و از (۰.۸ تا ۰.۷ را عریان شدگی شدید) نامیده شود، همچنین (عدد بین ۱ تا ۱.۱۰ مغزه خوب) و (عدد بین ۱.۰ تا ۱.۴۰ مغزه سالم، مغزه مقاوم) می‌نامند. در نمودار شکل ۱۳، همچنین ارتباط شدت وضعیت روسازی با مقدار ثابت ضریب دی الکتریک را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود در نقاطی که ضریب دی الکتریک بالای ۵.۴۰ باشد سالم و زیر ۵.۴۰ عریان شده در اثر رطوبت می‌باشد. نمودار شکل ۱۴ مشخصات وضعیت خرابی و نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم در نقاط را نشان می‌دهد.

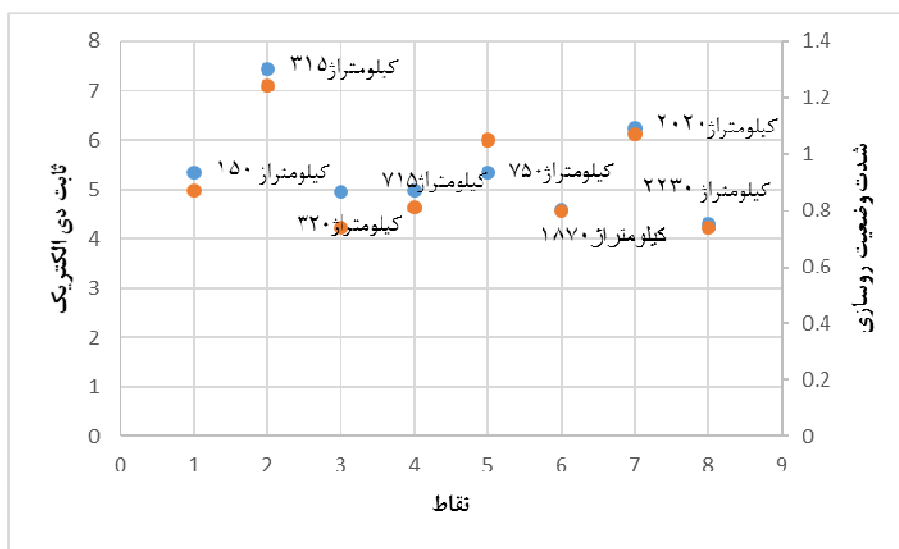
بررسی عریان شدگی در عمق ۵ سانتی متری دوم از

سطح روسازی

با مقایسه نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم با مقدار دی الکتریک می‌توان ارتباط بین نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم و مقدار دی الکتریک را توسط جدول شماره ۵ در ۵ سانتی متری دوم سطح روسازی نشان داد. اگر مرز نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم (TSR) طبق استاندارد ASSHTO T283 ۰.۸۱ باشد و همچنین شاخص وضعیت شدت خرابی را عدد ۱ فرض کنیم، یعنی عدد ۱ مرز عریان شدگی، کمتر از ۱ را عریان شده (عدد بین ۱ تا ۰.۸ را عریان شدگی با شدت

جدول ۵. خلاصه نتایج آزمایشات مخرب و غیرمخرب

POINT NO	KM	TSR	CORE CONDITION		DELICTRIC
1	0+150	0.7	0.87	عریان متوسط	5.33
2	0+315	0.99	1.24	سالم	7.44
3	0+320	0.59	0.74	عریان شدید	4.94
4	0+715	0.65	0.81	عریان متوسط	4.97
5	0+750	0.83	1.05	مرز عریان شدگی	5.35
6	0+1870	0.64	0.8	عریان متوسط	4.59
7	2+020	0.85	1.07	خوب	6.25
8	2+230	0.57	0.74	عریان شدید	4.3



شکل ۱۳. مشخصات شدت وضعیت خرابی و ثابت دی الکتریک در نقاط

۵- نتیجه گیری

۵-۱- بررسی عریان شدگی در ۵ سانتی متری از سطح

روسازی

اگر شدت وضعیت خرابی را ۱ فرض کنیم یعنی عدد ۱ مرز عریان شدگی، کمتر از ۱ را عریان شده (عدد بین ۰.۸ تا ۰.۸) را عریان شدگی با شدت متوسط) و از ۰.۷ تا ۰.۸ را عریان شدگی شدید) نامیده شود، همچنین (عدد بین ۱ تا ۱.۲۰ مغزه خوب) و (عدد بین ۱.۲۰ تا ۱.۴۰ مغزه سالم، مغزه مقاوم) نامیده

شود. در جدول ۴ ارتباط شدت وضعیت روسازی با مقدار ثابت ضریب دی الکتریک را نشان می دهد.

همانطور که در شکل دیده می شود در نقاطی که ضریب دی الکتریک بالای ۵ باشد سالم و زیر عدد ۵ عریان شده در اثر رطوبت می باشد. نمودار ۱۲- مشخصات متناظر وضعیت شدت خرابی و نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم در نقاطی از کیلومتر از مسیر را نشان می دهد.

• با مقایسه نسبت شدت وضعیت روسازی با مقدار دی الکتریک می‌توان ارتباط بین نسبت شدت وضعیت روسازی و مقدار دی الکتریک را توسط نمودارهای شماره ۱۲ و ۱۳ در ۵ عمق و ۱۰ سانتی متری از سطح روسازی نشان داد.

در این نمودارها ثابت دی الکتریک با مقدار ۵، مرز عریان شدگی در عمق ۵ سانتی متری از سطح روسازی و ثابت دی الکتریک با مقدار ۵.۴۰، مرز عریان شدگی در عمق ۱۰ سانتی متری از سطح روسازی بدست آمد.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1-Ground Penetrating Radar
- 2-Federal Highway Association
- 3-CoreCondition

-Kandhal, P.S., N.A.P. Association, and N.C.f.A. (1992), "Technology, "Moisture susceptibility of HMA mixes: identification of problem and recommended solutions", National Asphalt Pavement.

-Christina Plati, Andreas Loizos., (2013), "Estimation of in-situ density and moisture content in HMA pavements based on GPR trace reflection amplitude using different frequencies", Journal of Applied Geophysics, pp. 3-10.

-Scullion, T., et al. (1997), "Detection of stripping in asphalt concrete layers using ground-penetration radar" Texas Transportation Institute.

Hammons, M.I., Maser, K., Nazarian, S., (2005), "Detection of Stripping In Hot -Mix Asphalt, Final Report", ARA Project No.16355.

-Yuejian Cao, et.al.(2008), "Pavement Evaluation Using Ground Penetrating Radar",

در این پژوهش مقادیر چگالی، درصد فضای خالی، نسبت تنش کششی غیر مستقیم (TSR) و... با انجام آزمایشات مخرب با نتایج حاصل از ارزیابی با دستگاه رادار نفوذی به زمین در ۲ عمق ۵ سانتی متر اولیه و ۵ سانتی متر دوم از سطح روسازی، مقایسه گردید و نتایج زیر بدست آمد.

• با کم شدن درصد فضای خالی اضافی، چگالی واقعی آسفالت افزایش یافته، مقدار ثابت دی الکتریک ناشی از ارزیابی غیر مخرب با دستگاه رادار نیز افزایش یافته و در نهایت مغزه در مقابل آسیب ناشی از رطوبت مقاوم خواهد بود.

• در صورت زیاد شدن درصد فضای خالی اضافی به بالاتر از مقدار ۷ درصد، مقدار چگالی واقعی کاهش یافته، ثابت دی الکتریک ناشی از ارزیابی غیر مخرب با دستگاه رادار نیز کاهش می‌یابد و در نهایت مغزه در مقابل رطوبت آسیب پذیر و عریان شده خواهد بود.

۷-مراجع

-زیاری، ح.، دیواندری، ح.، کیانفر، ک.، (۱۳۹۴)، "ارتباط درصد فضای خالی با عریان شدگی در عمق مخلوط‌های آسفالتی"، هفتمین همایش قیر و آسفالت ایران.

- عامری، م.، جراحی، الف.، صادقی آواز، م.، (۱۳۹۴)، "تخمین بصری میزان عریان شدگی مخلوط آسفالتی با استفاده از روش پردازش تصویر"، مجله علمی پژوهشی زیرساختهای حمل و نقل، شماره اول، بهار.

-محمدی ویژه، م.، کامکار روحانی، الف. ق.، (۱۳۹۲)، "آشکارسازی تأسیسات زیرسطحی و تحلیل مشخصه‌های پالس GPR: مجله ژئوفیزیک ایران"، جلد ۷، شماره ۴، ص. ۱۱۷-۱۳۳.

- عبدی، ع.، کاووسی، الف.، (۱۳۸۳)، "بررسی پدیده عریان شدگی مصالح سنگی در مخلوط‌های آسفالتی"، دومین همایش قیر و آسفالت.

-Reynolds, J.M., (2011), "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics", 2nd Edition: John Wiley.

-Dar-Hao Chen, et.al, (2014), " Estimating the hotmix asphalt air voids from ground penetrating radar "NDT&EInternational68, pp.120–127.

Department of Civil Engineering University of Minnesota 500.

-Kyle Hoegh, et.al, (2015), "Evaluating asphalt concrete air void variation via GPR antenna array data "Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation 3, pp. 27–33.