

## بررسی آزمایشگاهی کاربرد رویه های آسفالتی دانه سنگی نرم به عنوان لایه حفاظتی در خاکریزهای ساحلی

عطاله نجفی جیلانی<sup>۱\*</sup>، مرتضی منشی زاده<sup>۲</sup>

۱- بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر  
۲- پژوهشکده مهندسی هیدرولیک و محیطهای آبی، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو

### چکیده

خصوصیت چسبناکی - کشسانی مخلوطهای آسفالتی، استفاده از آنها را به عنوان لایه حفاظتی در خاکریزهای ساحلی، امکان پذیر می سازد. در این تحقیق با ایجاد یک نمونه آزمایشگاهی از خاکریز ساحلی، به بررسی خصوصیات لایه آسفالتی دانه سنگی نرم به عنوان لایه حفاظتی خاکریز ساحلی، پرداخته شده است. بیش از ۱۰۰ آزمون آزمایشگاهی با در نظر گرفتن شرایط مختلفی از الگوی بارگذاری بر رویه آسفالتی حفاظتی اجرا گردیده است. متغیرهای اصلی آزمایشات عبارت از ارتفاع و پریود موج نزدیک شونده به خاکریز، زاویه شیب رو به دریای خاکریز، عمق آب آرام و تعداد سیکل های موج برخوردی به خاکریز ساحلی می باشند. اندازه گیری ها و مشاهدات اصلی آزمایشات شامل مقاومت مکانیکی و چگونگی فرسایش لایه حفاظتی، الگوی فرسایش بستر خاکی مجاور پاشنه آسفالتی خاکریز و فرآیندهای اندرکنشی موج و سازه شامل بالاروی موج و روگذری آن از خاکریز می باشد.  
کلمات کلیدی: خاکریز ساحلی، رویه آسفالتی، آسفالت دانه سنگی نرم، بالاروی موج

## LABORATORY INVESTIGATIONS ON LEAN STONE ASPHALT LAYERS APPLIED IN COASTAL PROTECTION

A. Najafi-Jilani<sup>1</sup>, M. Monshizadeh<sup>2</sup>

1- Civil Eng. Dept., Islamic Azad University, Islamshahr Branch.

2- Hydro-Environmental Dept., Water Research Institute.

### Abstract

The visco-elastic properties of asphaltic layers make it appropriate for application in coastal protection in embankments. In this research, an experimental set up of a coastal embankment is developed to investigate the characteristics of lean stone asphalt layer on coastal embankments. More than 100 laboratory tests were carried out considering various loading conditions on the asphalt protective layer. The main variables in the tests are the incident wave height and period, front slope angle of embankment, still water depth, and the wave cycles incoming to the structure. The main measurements and observations in the experiments are the mechanical strength and damage pattern in the asphaltic protection, erosion pattern on the movable bed adjacent to the asphaltic heel, and wave-structure interaction such as wave run-up and overtopping.

**Keywords:** Coastal Embankment, Asphaltic Layer, Lean Stone Asphalt, Wave Run-up

## ۱- مقدمه

مخلوطهای آسفالتی به دلیل داشتن خصوصیت چسبناکی - کشسانی<sup>۱</sup>، گزینه مناسبی برای کاربرد در لایه های حفاظتی و پوششی در سازه های ساحلی، محسوب می شوند. به کمک رویه آسفالتی، می توان سطحی انعطاف پذیر و محافظ را در مقابل انواع بارگذاریها، خصوصاً بارگذاریهای ناشی از برخورد موج با خاکریزهای ساخته شده در کرانه های ساحلی، ایجاد نمود. برخی خصوصیات اصلی که به عنوان مزیت، قابلیت های کاربردی این نوع رویه را تشدید می نماید عبارتند از خمش پذیری این لایه خصوصاً در بارگذاری های بلندمدت، مقاومت سایشی بالا در برخورد با اثر جریانهای سطحی و ناتراوایی و خصوصیت آب بندسازی سطوح پوشش یافته. مخلوطهای آسفالتی غالباً نسبت به اثرات محیطی رفتاری خنثی داشته و در شرایط عمومی، ایستایی و ثبات مناسبی را از خود نشان می دهند [۱]. مرور سابقه مطالعات و تجربیات در دسترس از کاربرد رویه های آسفالتی برای محافظت کرانه های ساحلی نشان می دهد که اگرچه نخستین کاربردهای آن دارای سابقه طولانی بوده لیکن بررسی انواع این نوع پوشش با اعمال برخی تغییرات از حیث نوع مصالح سنگی مورد استفاده و یا نوع مخلوط آسفالتی، هم اکنون نیز به عنوان یکی از موضوعات پژوهش کاربردی در سطح بین المللی محسوب می گردد.

سابقه مطالعات نشان می دهد که بررسی مکانیزم رفتار برخی از انواع مخلوطهای آسفالتی همچون بتن آسفالتی و خمیر (ماستیک) آسفالتی به حدود سال ۱۹۵۹ باز می گردد [۱]. لیکن نخستین جنبه های تحقیقی و ارزیابی الگوی ایجاد ترک در این نوع رویه و برداشت برخی داده های میدانی از عملکرد این نوع رویه های حفاظتی کرانه های ساحلی عمدتاً در سال ۱۹۸۷ انجام شده است [۲]. در آن سال محققین با مطالعه بر روی مخلوطهای بتن آسفالتی که با ترکیب شن یا ماسه و مصالح ریز دانه (پرکننده) و درصد وزنی قیر بین ۶ تا ۹ درصد به عنوان محافظ خاکریزهای ساحلی به کار رفته بودند، شرایط عملکردی این نوع

مخلوط محافظتی را بررسی نموده و آن را برای حالت های غیرغرقابی و یا مقابله با نوسانات کمتر از ۲ متر در ترازهای جزر و مدی، قابل توصیه تشخیص دادند. بررسی رویه های آسفالتی پس از آن توسط برخی محققین [۳] برای خمیر آسفالتی<sup>۲</sup> انجام و چنین نتیجه گرفته شد که استفاده از ۶۰ تا ۶۵ درصد ماسه، ۱۵ تا ۲۵ درصد ذرات ریز دانه و ۲۰ درصد وزنی قیر، می تواند منجر به شرایط بهینه در ساخت این نوع رویه محافظتی گردد. لیکن استفاده از این نوع رویه را عمدتاً برای کاربرد در پاشنه خاکریز ساحلی توصیه نمودند. دیگر انواع رویه های آسفالتی همچون یکپارچه سازی قطعات سنگی رویه با ملات قیری<sup>۳</sup> توسط برخی محققین [۴] مورد بررسی قرار گرفته و داده های میدانی در خصوص رفتار مکانیکی، دوام، پایداری و همچنین میزان بالاروی موج از کرانه های ساحلی حفاظت شده با این نوع رویه آسفالتی، تحلیل گردیده است. ایشان با دسته بندی میزان قیر مصرفی و نفوذپذیری سطح حاصل از حفاظت، خواص رویه را مورد مطالعه قرار دادند. لیکن توصیه نمودند که استفاده از مصالح ریزدانه برای ایجاد مخلوطی بینابینی در قالب آسفالت دانه سنگی، می تواند در بهبود خواص کشسانی رویه و دوام و پایداری آن، موثر واقع شوند. اعمال این روند اصلاحی و بهبود خواص مکانیکی و هیدرولیکی رویه حفاظتی آسفالتی در ادامه منجر به ارائه آسفالت های دانه سنگی<sup>۴</sup> گردید. آسفالت دانه سنگی ناتراوا یا اختصاراً DSA، ترکیبی است از سنگدانه، ماسه، مصالح ریزدانه و قیر. در این ترکیب وجود قیر اضافی بخشی از فضای خالی بین ذرات ریزتر را انباشته می سازد. لذا مخلوط حاصل نسبت به نفوذ آب مقاوم و نسبتاً سنگین خواهد بود [۵].

در ادامه و در سال ۲۰۰۶ برخی محققین [۶] به بیان مقایسه ای مشخصات مکانیکی و هیدرولیکی رویه های حفاظتی آسفالتی پرداختند. ایشان ضمن مرور خواص گونه های مختلف این نوع رویه ها، رویه آسفالتی دانه سنگی تراوا را به عنوان گزینه ای برای افزایش نفوذپذیری لایه حفاظتی آسفالتی و کاهش بالاروی

تشخیص دادند. ضمن اینکه حفظ خواص کشسانی و دوام این لایه، در نوع خاصی از دانه بندی و طرح اختلاط، توسط ایشان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتیجه این تحقیق، رویه حفاظتی آسفالت دانه سنگی تراوا<sup>۵</sup> یا اختصاراً OSA به عنوان یکی از گزینه های مناسب برای کاربرد در پاشنه، بدنه و تاج سازه های حفاظت ساحلی معرفی شده است. مطابق آخرین توصیه های محققین، این نوع لایه حفاظتی آسفالتی ضمن سادگی اجرا و آشنایی مجریان با مراحل ساخت و اجرای آن، شرایطی مشابه با نمونه های نوین از مصالح کشسانی و ارتجاعی داشته لیکن نیازمند به تحقیق در خصوص رفتار مکانیکی و هیدرولیکی این نوع رویه تحت شرایط مختلف بارگذاری امواج می باشد [۷].

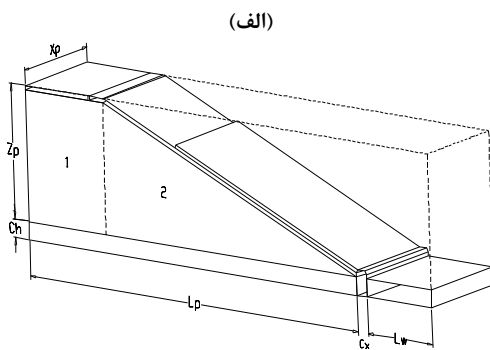
در تحقیق حاضر، مطالعات آزمایشگاهی با هدف شناخت رفتار مکانیکی و هیدرولیکی رویه های حفاظت آسفالتی از نوع آسفالت دانه سنگی تراوای ریزدانه یا نرم<sup>۶</sup> که اصطلاحاً LSA نامیده می شود، با هدف ارائه برخی دستاوردهای کاربردی انجام گرفته است. این در حالی است که بر اساس مرور انجام شده بر روی سابقه مطالعات، تاکنون رویکرد پژوهشی برای ارزیابی توانمندی و کارایی این نوع پوشش خاص آسفالتی برای خاکریزهای ساحلی، انجام نشده و لذا نیاز به انجام آزمایشاتی این چنین احساس می گردد. در این تحقیق با ایجاد یک نمونه آزمایشگاهی از خاکریز ساحلی و حفاظت آن با شرایط مختلف حاکم با رویه آسفالتی از نوع دانه سنگی تراوا یا دانه سنگی نرم، به انجام آزمایش های لازم پرداخته شده است. مطالعات با اهداف مشخصی شامل تحلیل مقاومت مکانیکی لایه محافظ آسفالتی در معرض ضربه امواج طرح، تحلیل الگوی بالاروی امواج از خاکریز حفاظت شده با رویه آسفالتی و روگذری موج در شرایط حدی به عنوان شاخصهای رفتار هیدرولیکی این نوع رویه حفاظتی، انجام شده است.

## ۲- مشخصات آزمایشات انجام شده

آزمایشات در فلوم آزمایشگاهی به عرض ۸۰ و ارتفاع ۱۳۰ سانتیمتر و طولی برابر ۳۵ متر مجهز به سیستم موج ساز منظم، انجام گرفته است. شکل

۱- الف، ابعاد اصلی خاکریز ساحلی انتخابی برای ساخت در فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است. شمایی از خاکریز ساحلی ساخته شده در آزمایشگاه که برای ارزیابی عملکرد رویه های حفاظتی آسفالتی ایجاد شده بر روی خاکریز ساحلی ایجاد گردیده، در شکل ۱(ب) نمایش داده شده است. در شکل ۱- الف،  $L_p$  برابر است با طول بدنه خاکی خاکریز ساحلی که معادل ۴۰۰ سانتیمتر انتخاب گردیده است،  $C_h$  عبارت است از بستر ثابت دیواره ساحلی معادل ۱۵ سانتیمتر،  $Z_p$  ارتفاع خاکریز معادل ۱۰۰ سانتیمتر،  $X_p$  عرض دیواره معادل عرض فلوم یعنی ۸۰ سانتیمتر،  $C_x$  عرض پاشنه آسفالتی خاکریز ساحلی برابر با ۱۳ سانتیمتر و نهایتاً  $L_{sp}$  طول بستر متحرک خاکی مجاور با شیار پاشنه آسفالتی معادل ۱۵۰ سانتیمتر است. بخش های شماره ۱ و ۲ از این شکل نشان دهنده مصالح خاکی بدنه خاکریز ساحلی هستند. بر اساس آزمایش حدود اتربرگ انجام شده بر روی مصالح خاکی بدنه مدل، حد روانی این مصالح برابر ۲۴٪ و حد خمیری آن برابر ۱۵٪ می باشد. سایر مشخصات خاک بدنه شامل دانه بندی و میزان تراکم متناسب با محدوده های توصیه شده از سوی راهنمای مهندسی سواحل از حیث بازه تغییرات اندازه دانه ها، انتخاب گردیده و برای تمامی آزمایشات با بازسازی مداوم به صورت ثابت نگاه داشته شده است [۸]. لذا مشخصات بدنه در این تحقیق جزء متغیرهای آزمایش نبوده و پارامترهای گسترده دیگری، به نحوی که در جدول شماره ۱ فهرست گردیده، به عنوان متغیرهای آزمایشات در تحقیق حاضر انتخاب گردیده است. همانگونه که در شکل ۱- الف نشان داده شده است، دو لایه رویه آسفالتی از نوع آسفالت دانه سنگی نرم (LSA) هریک به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر به عنوان رویه حفاظتی در مدل ایجاد شده اند. نوع قیر مصرفی در ساخت این رویه محافظ، محصول قیر 60/70 پالایشگاه تهران بوده که به صورت رقیق شده با استفاده از حلال نفت برای ساخته رویه حفاظتی آسفالتی مورد استفاده قرار گرفته است. رقیق سازی قیر با افزودن حدود ۱۱ تا ۱۳ درصد نفت بر اساس درصد وزنی انجام شده است. درصد قیر در رویه آسفالتی برابر با ۸

حاکم بر کرانه های کشور بوده و لذا اندازه و مشخصات هندسی انتخابی برای بدنه مدل و همچنین مشخصات موج تابیده شده به آن، به اندازه کافی بزرگ بوده تا اثرات مقیاسی تاثیر تعیین کننده بر قابلیت تعمیم داده های آزمایشگاهی و روابط حاصله از آن به شرایط واقعی نداشته باشد. ضخامت معمول برای بکارگیری هر لایه از این نوع رویه های حفاظتی در حدود ۱۵ تا ۵۰ سانتیمتر بوده و به همین ترتیب، سعی شده تا مقادیر انتخابی برای کمیتهای مختلف در مدل آزمایشگاهی، معقول بوده و لذا نتایج به طور منطقی قابل تعمیم و استناد برای کاربرد در ابعاد واقعی توصیه شده در نمونه های کاربردی مورد اشاره در مراجع می باشد.



(ب)



شکل ۱- الف- ابعاد انتخابی برای بدنه و پاشنه خاکریز، و ب- شمایی از خاکریز ساحلی ساخته شده در فلوام آزمایشگاهی

بر این اساس، ارتفاع موج تابیده شونده به خاکریز در محدوده ۱۷ تا ۳۲ سانتیمتر، پیوند موج نزدیک شونده در محدوده ۱/۴۶ تا ۲/۳۳ ثانیه، عمق آب آرام در محدوده ۱۷ تا ۷۳ سانتیمتر و تعداد دفعات برخورد

درصد، دمای اختلاط قیر و مصالح سنگی بین ۱۱۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد، دمای اجرای آسفالت بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه و ضخامت هر لایه حفاظتی آسفالتی برابر با ۲/۵ سانتی متر بوده است. مشخصات منظور شده برای قیر از حیث نوع و درصد افزوده به مخلوط رویه، بر اساس توصیه استانداردهای مرتبط برای ایجاد آسفالت دانه سنگی نرم، انتخاب گردیده است [۹]. در هر مرحله از آزمون های متوالی نیز، دقیقا با رعایت همین مشخصات ثابت رویه بازسازی شده است. لذا بررسی رفتار مکانیکی رویه و تقابل با موج نزدیک شونده برخوردی، فقط برای موضوع این تحقیق یعنی مخلوط آسفالتی دانه سنگی نرم استاندارد، انجام شده است. فلوام در نظر گرفته شده دارای سیستم موجساز پارویی نوع پیستونی است که با حداکثر شعاع جابجایی ۰/۴۵ متر، ظرفیت تولید امواجی تا ارتفاع ۰/۳۵ متر را در عمق آب حداکثر ۰/۷۵ متر داراست. همچنین بسامد امواج تولیدی از طریق موتور الکتریکی فرعی تعبیه شده بر روی الکتروموتور اصلی قابل تنظیم بوده به گونه ای که بازه ای از امواج آزمایشگاهی با مقادیر مختلف  $(H, T)$  توسط موجساز مزبور قابل بازسازی می باشد. متغیرهای اصلی آزمایشات عبارتند از شیب دیواره رو به موج خاکریز ساحلی، ارتفاع و پیوند موج نزدیک شونده به خاکریز حفاظت شده با رویه آسفالتی، عمق آب آرام و تعداد دفعات برخورد موج به خاکریز.

این متغیرها بر اساس داده های در دسترس از کرانه های ساحلی کشور و به گونه ای که با مقیاس منطقی قابل تعمیم به نمونه واقعی باشد، انتخاب گردیده اند. همچنین با رعایت معیارهای ساخت نمونه های آزمایشگاهی از حیث عدم کاهش ارتفاع موج، عمق آب یا میزان بالاروی از مقادیر حداقل مربوطه، سعی در حذف اثرات مقیاسی بر قابلیت تعمیم نتایج آزمایشگاهی به شرایط واقعی گردیده است. تنظیم محدوده پارامترهای انتخاب شده به عنوان متغیرهای آزمایش، به گونه ای است که با ضریب مقیاس حدود ۱:۱۵ تا ۱:۲۰، که مقیاسهای منطقی و متعارف انجام مطالعات آزمایشگاهی در این زمینه می باشد، قابل تعمیم به مقادیر واقعی این پارامترها در شرایط واقعی

ایربارن، تشخیص نوع شکست موج بر روی سازه انجام و نتیجه در جدول ۲ ارائه گردیده است.

(الف)



(ب)



شکل ۲- الف- نمایی از رویه آسفالتی تحت بارگذاری موج،  
و ب- الگوی شکست موج روی خاکریز و تاثیر بر پاشنه

### ۳- اندازه گیری های آزمایشگاهی

در آزمایشات انجام شده، اندازه گیری مشخصات موج با استفاده از تجهیزات موج نگار با قابلیت داده برداری لحظه ای و حسگرهای نوع مقاومتی انجام گرفته است. این اندازه گیری از طریق ۲ مسیر ورودی مستقل (بر اساس نیاز)، مشخصات لحظه ای سطح آب را در ۲ نقطه از طول کانال امواج ثبت و تعیین نموده است. دقت اندازه گیری این تجهیزات  $\pm 1 \text{ mm}$  می باشد. همچنین اندازه گیری مقادیر فشار ناشی از برخورد امواج با بدنه سازه با استفاده از حسگرهای الکترونیکی فشارنگار از نوع داده بردار لحظه ای صورت گرفته است.

در آزمایشهای ارزیابی مقاومت لایه محافظ، مقادیر فشار از طریق ۳ حسگر اندازه گیری فشار دینامیکی نصب شده در بدنه سازه ثبت و اندازه گیری

موج به خاکریز محافظت شده از حدود ۳۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ دفعه، متغیر بوده است. قابل ذکر اینکه تعداد دفعات برخورد موج در آزمونهایی که در آنها هدف ارزیابی مقاومت لایه رویه یا پاشنه آسفالتی و فرسایش بستر خاکی مجاور پاشنه بوده است، در محدوده مورد اشاره انتخاب گردیده است. در جدول ۱، فهرست مشخصات آزمایشهای انجام شده در این تحقیق را ارائه شده است.

در این جدول، شاخص AS برای نماد آزمونهای مربوط به مقاومت لایه آسفالتی رویه، شاخص AH به عنوان نماد آزمونهای مربوط به سنجش میزان آسیب در بستر خاکی مجاور پاشنه، شاخص WR برای آزمونهایی که در آنها، هدف بررسی میزان بالاروی موج رخ داده بر روی سازه بوده است و نهایتاً شاخص WO برای نامگذاری آزمونهایی که در آنها، هدف اصلی سنجش میزان روگذری موج از تاج سازه بوده، انتخاب گردیده است.

با توجه به اینکه آزمایشها برای سه مقدار شیب مختلف خاکریز ساحلی شامل ۱:۳، ۱:۵ و ۱:۷ انجام گرفته است، لذا در مجموع تعداد ۱۰۲ آزمون انجام و نتایج مورد اندازه گیری و ثبت قرار گرفته است. در شکل ۲- الف، نمایی از رویه آسفالتی دانه سنگی نرم که بر روی خاکریز ساحلی در فلوم آزمایشگاهی اجرا شده، نشان داده شده است.

در شکل ۲- الف، الگوی شکست موج بر روی خاکریز محافظت شده نشان داده شده است. چنین شرایطی عمدتاً برای ارزیابی عملکرد پاشنه آسفالتی ایجاد شده برای خاکریز و همچنین الگوی فرسایش در بستر خاکی مجاور این پاشنه، مورد توجه واقع شده است. چراکه بر اساس توصیه مراجع، عملکرد پاشنه به عنوان عامل موثر بر پایداری رویه و عدم فروپاشی آن خصوصاً در اطراف پاشنه، یکی از محورهای اصلی کاربردی در نتایج تحقیق و قابل بهره مندی در ساخت ایمن این نوع رویه های محافظتی است [۶]. قابل ذکر اینکه بر اساس مقادیر انتخابی برای مشخصات موج، عمق آب داخل فلوم و شیب بدنه خاکریز ساحلی و با استناد به معیار

به عنوان یکی از اصلی ترین یافته‌های آزمایشگاهی در این تحقیق، برداشت شده و مورد تحلیل قرار گرفته است.

چگونگی ایجاد فرسایش سایشی در لایه محافظتی و یا فرسایش بستر خاکی در مجاور پاشنه آسفالتی سازه، از جمله مشاهداتی است که در شرایط مختلف حاکم بر سازه، برداشت و مورد تحلیل واقع شده است.

شکل ۳- الف، نشانگر الگوی نصب سه حساسه فشار دینامیکی در بدنه خاکریز بوده و شکل ۳- ب نیز، شرایط آماده شده برای سنجش میزان بالاروی موج از خاکریز را نشان می‌دهد.

گردیده است. دقت اندازه گیری این تجهیزات ۱/۲۲ میلیمتر آب می باشد.

اتصالات بکار رفته برای ثبت فشار موج روی رویه آسفالتی در سه حساسه نصب شده در بدنه خاکریز در زیر لایه رویه، در شکل ۲- الف مشخص می‌باشد.

ثبت مقادیر بالاروی موج نیز با استفاده از خط کش مدرج انجام شده و اندازه گیری مدت زمان تابش امواج در آزمایشگاه نیز با استفاده از زمان سنج (کرونومتر) دقیق، صورت گرفته است.

علاوه بر ثبت داده‌های اندازه‌گیری شده، مشاهدات لایه رویه آسفالتی دانه‌سنگی نرم تحت تاثیر بارگذاری موج،

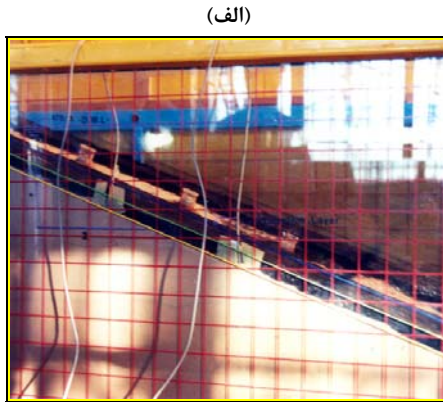
جدول ۱- مشخصات کامل آزمونهای انجام شده برای ارزیابی عملکرد لایه محافظتی آسفالت دانه سنگی نرم در آزمایشگاه

ردیف	شماره آزمون	ارتفاع موج (cm)	پریود موج (s)	عمق آب (cm)	تعداد سیکل موج (No.)	پارامتر مورد بررسی
۱	AS-1	17	1.46	64	4000	مقاومت رویه محافظتی آسفالتی
۲	AS-2	21	1.63	64	5000	مقاومت رویه محافظتی آسفالتی
۳	AH-1	17	1.46	17	12000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۴	AH-2	21	1.63	21	10000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۵	AH-3	32	2.33	32	5000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۶	AH-4	17	1.46	25	12000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۷	AH-5	21	1.63	31	10000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۸	AH-6	32	2.33	47	5000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۹	AH-7	17	1.46	33	12000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۰	AH-8	21	1.63	42	10000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۱	AH-9	32	2.33	58	5000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۲	AH-10	17	1.46	17	4000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۳	AH-11	21	1.63	21	5000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۴	AH-12	17	1.46	25	3000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۵	AH-13	21	1.63	31	4000	فرسایش پاشنه آسفالتی و بستر شکل پذیر مجاور
۱۶	WR-1	17	1.46	64	-	بالاروی موج
۱۷	WR-2	21	1.63	64	-	بالاروی موج
۱۸	WR-3	17	1.46	17	-	بالاروی موج
۱۹	WR-4	21	1.63	21	-	بالاروی موج
۲۰	WR-5	31	2.33	31	-	بالاروی موج
۲۱	WR-6	17	1.46	25	-	بالاروی موج
۲۲	WR-7	21	1.63	31	-	بالاروی موج
۲۳	WR-8	31	2.33	47	-	بالاروی موج
۲۴	WR-9	17	1.46	33	-	بالاروی موج
۲۵	WR-10	21	1.63	42	-	بالاروی موج
۲۶	WR-11	31	2.33	62	-	بالاروی موج
۲۷	WR-12	17	1.46	64	-	بالاروی موج
۲۸	WR-13	21	1.63	64	-	بالاروی موج
۲۹	WR-14	31	2.33	64	-	بالاروی موج
۳۰	WR-15	21	1.63	73	-	بالاروی موج
۳۱	WR-16	31	2.33	73	-	بالاروی موج
۳۲	WO-1	31	2.33	62	-	روگذری موج
۳۳	WO-2	31	2.33	64	-	روگذری موج
۳۴	WO-3	31	2.33	73	-	روگذری موج

نکته: تمامی آزمونها به ازای سه مقدار مختلف از زاویه شیب رو به موج خاکریز ساحلی (مقادیر ۱:۳، ۱:۵ و ۱:۷) اجرا شده‌اند.

جدول ۲- معرفی نوع شکست موج بر روی خاکریز ساحلی

Test No.	Breaking Type		
	$\beta = 1:7$	$\beta = 1:5$	$\beta = 1:3$
AS-1	Plunging	Surg./Coll.	Surg./Coll.
AS-2	Plunging	Surg./Coll.	Surg./Coll.
AH-1	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-2	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-3	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-4	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-5	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-6	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-7	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-8	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-9	Plunging	Surg./Coll.	Surg./Coll.
AH-	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-	Plunging	Plunging	Surg./Coll.
AH-	Plunging	Plunging	Surg./Coll.



(الف)



(ب)

شکل ۳- الف- نصب سه حساسه فشار دینامیکی در بدنه، و  
 ب- آماده سازی مدل برای سنجش بالاروی بلندتر از  
 تاج سازه

بررسی نتایج نشان می‌دهد که حداکثر فشار وارده بر رویه حدود ۴۶ سانتیمتر آب بوده که این وضعیت در شرایطی رخ داده است که ارتفاع موج نزدیک شونده حداکثر مقدار خود یعنی ۳۲ سانتیمتر را اتخاذ نموده است. مشاهدات انجام شده از آزمایشات نشان داد که رویه آسفالتی دانه سنگی نرم ساخته شده با مشخصات توصیف شده در این تحقیق، توانسته است این افزایش فشار موضعی بیش از ۴۰ درصدی را برای شیب‌های ۱:۵ و ۱:۷ بر روی خود تحمل نموده و هیچگونه آثار تخریب ناشی از خمش بر سطح رویه ایجاد نگردد. قابل ذکر اینکه منظور از فشار دینامیکی مضاعف، فشاری است که ناشی از برخورد موج بر سطح رویه، نسبت به شرایط آب آرام و برقراری الگوی فشار هیدرواستاتیک، به صورت افزوده بر سطح رویه آسفالتی وارد آمده است.

قطعه افزوده شده به خاکریز که در این شکل نمایان است، تنها برای ارتفاع بالاتر از تاج خاکریز نصب گردیده تا امکان سنجش مقادیر بالاروی موج بالاتر از تاج سازه نیز فراهم گردد.

برای مقادیر کوچکتر بالاروی، کل بالاروی موج بر روی سطح آسفالتی صورت خواهد گرفت و لذا مقادیر اندازه‌گیری شده نمادی از رفتار هیدرولیکی این نوع رویه حفاظتی برای سازه‌های ساحلی خواهد بود.

علاوه بر اندازه‌گیری‌ها، مشاهدات آزمایشگاهی شامل برداشت پروفیل بستر فرسایش یافته در مجاورت پاشنه، اثرات فرسایشی بر روی رویه آسفالتی و الگوی شکست موج روی سازه و نوع آن، با برداشت منظم تصویر از شرایط مختلف آزمونها، صورت گرفته است.

#### ۴- بررسی و تحلیل نتایج

نتایج اندازه‌گیری شده از مقادیر فشار وارد بر رویه آسفالتی در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل برای هر یک از سه حساسه فشار دینامیکی نصب شده در زیر لایه رویه آسفالتی، سری زمانی تغییرات فشار ناشی از موج منظم در بیشترین حالت ارتفاعی موج، ارائه گردیده است.



ادامه این وضعیت آسیب و رخداد فرآیند آبشستگی مصالح بدنه، شرایط تخریب را بوجود خواهد آورد.

به عبارت دیگر فشار دینامیکی مضاعف نسبت به تراز متوسط آب آرام یعنی MSL اندازه گیری شده است.

(الف)



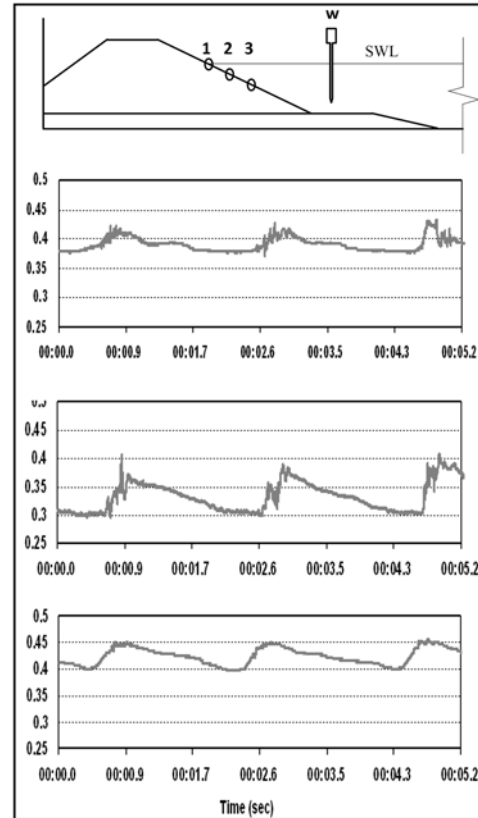
(ب)



شکل ۵- الف- ایجاد آسیب در رویه آسفالتی به ازای شیب خاکریز ۱:۳ و شستگی مصالح زیر رویه، ب- ترک ایجاد شده در رویه آسفالتی

ایجاد آسیب در رویه آسفالتی، به تدریج موجب آشتگی مصالح زیرین رویه شده و روند اعمال آسیب بر بدنه خاکریز، تشدید گردید. در شرایط آزمایشگاهی، رخداد ترک در رویه و آسیب پذیری رویه آسفالتی، مجدداً با برجیدن رویه و بخش‌های آسیب دیده از بدنه خاکریز، تکرار گردید و نتیجه مشابه با حالت قبل، تکرار شد. ابعاد نسبی عرض ترک ایجاد شده در این حالت در شکل مشهود است.

ارزیابی تاثیر بارگذاری موج بر بستر خاکی مجاور پاشنه، نشان می‌دهد که تنها در شرایطی که شکست موج در مقابل پاشنه رخ می‌دهد یعنی زمانی که نسبت ارتفاع موج به عمق آب آرام از حدود ۰/۷ فراتر می‌رود و عمق آب نیز از حدود ۱/۵ برابر ارتفاع پاشنه کمتر است، فرسایش قابل توجهی در بستر ایجاد شده به



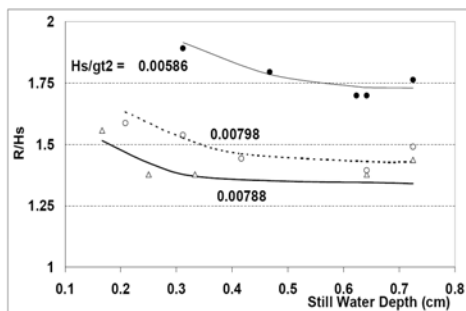
شکل ۴- سری زمانی فشار دینامیکی وارد بر رویه حفاظتی آسفالتی بر حسب متر آب، به ترتیب از بالا به پایین برای حساسه های شماره ۱، ۲ و ۳

اما در شرایطی که شیب دیواره رویه موج خاکریز برابر با ۱:۳ انتخاب گردیده بود، آثار ایجاد تخریب ناشی از عدم تحمل بارگذاری موج بر رویه آسفالتی مشاهده گردید.

شکل ۵، شمایی از الگوی آسیب ایجاد شده در این حالت را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل نشان داده شده است، منظور از آسیب، تغییر شکل رویه است به گونه‌ای که امکان عدم کارایی آن به عنوان محافظ مصالح بدنه، فراهم شده و فرآیند آبشستگی مصالح ریزدانه زیرین ناشی از ایجاد الگوی جریان زهاب در اثر نفوذ، فراهم گردد.



تخمین بالاروی موج از روی خاکریز ساحلی حفاظت شده با رویه آسفالتی دانه سنگی نرم به ازای شرایط مختلف ارتفاع و پرپود موج نزدیک شوند به ساحل، مورد استفاده قرار گیرد.

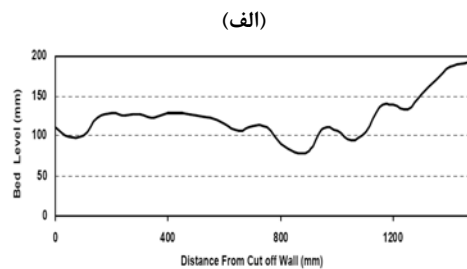


شکل ۷- تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده از بالاروی موج ناشکنا بر روی رویه آسفالتی دانه سنگی نرم

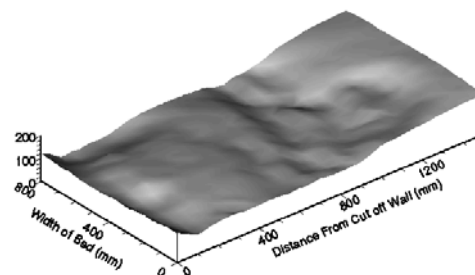
با توجه به اینکه آزمایشات در فلوم دوبعدی امواج صورت گرفته لذا جزئیات رفتار سه بعدی قابل بحث در بخش نتایج نبوده است. اگرچه این نوع آزمایشات و انتخاب فلوم دوبعدی در مقطع امواج، شیوه استاندارد و مورد استفاده تمامی مراجع مرتبط بوده که در مقاله نیز به آن اشاره شده است و لذا نتایج در این حد کاملاً قابل کاربرد و استناد در طرح ایمن این نوع رویه‌های آسفالتی خواهد بود.

به منظور بررسی بیشتر داده‌های اندازه‌گیری شده از بالاروی موج از بدنه خاکریز حفاظت شده با رویه آسفالتی دانه سنگی نرم، به ارائه یک رابطه تجربی مناسب بر اساس یافته آزمایشگاهی این تحقیق پرداخته شده است. به جهت قابلیت استناد رابطه تجربی و همچنین انتخاب الگوی صحیح برای فرم کلی این رابطه، الگوی معادله تجربی با استناد به برخی روابط تجربی واسنجی شده ارائه شده در سابقه مطالعات [۸] انتخاب گردیده است. آنگاه با مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده در این تحقیق با مقادیر بالاروی موج در شرایط استاندارد یعنی بالاروی موج از رویه کاملاً نفوذناپذیر مسطح، اصلاح و تدقیق مورد نیاز در روابط کلی تقریبی ارائه شده در سابقه مطالعات، اعمال و در نهایت رابطه (۱) حاصل گردیده است.

نحوی که عمق فرسایش به بیشتر از ۵۵٪ عمق بستر متحرک مجاور پاشنه می‌رسد. شکل ۶، وضعیت بستر فرسایش یافته خاکی در مجاورت پاشنه آسفالتی سازه را در نامناسبترین شرایط نشان می‌دهد.



(الف)



شکل ۶- الف- پروفیل طولی فرسایش در بستر خاکی مجاور پاشنه آسفالتی، ب- شمای سه بعدی فرسایش

بررسی الگوی فرسایش نشان می‌دهد که عمده فرسایش در بخش‌های میانی بستر رخ داده که در این ناحیه یعنی در فاصله حدود سه برابر ارتفاع پاشنه، عمق فرسایش یافته به حداکثر مقدار خود رسیده است. در بخش‌هایی از بستر خاکی مجاور پاشنه آسفالتی که کاملاً متصل به پاشنه است، فرسایش کمتری نسبت به بخش‌های میانی این محدوده مشاهده می‌شود. لیکن الگوی فرسایش نشان می‌دهد که با انتخاب ارتفاع مناسب برای پاشنه، احتمال گسترش آسیب به پشت پاشنه و ایجاد ناپایداری در آن وجود دارد.

داده‌های اندازه‌گیری شده از مقادیر بالاروی موج از خاکریز، در مواردی که موج به صورت ناشکنا به بدنه خاکریز رسیده، انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفته است. شکل ۷ الگوی تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده را به ازای شرایط مختلف تیزی موج و ارتفاع موج نشان می‌دهد. این الگوی تحلیل می‌تواند مبنایی برای

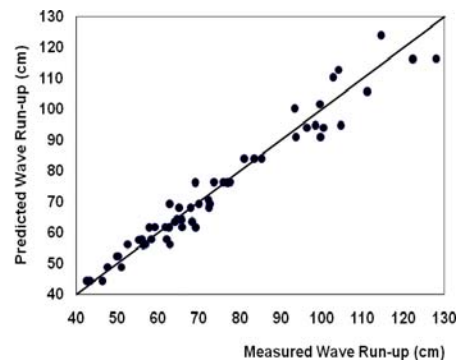
خصوص نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی انجام شده بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده موید این موضوع است که می‌توان با ضریب اطمینان مناسب، روابط تجربی ارائه شده در سابقه مطالعات که برای سطوح کاملاً نفوذناپذیر و برای موج ناشکنا برخوردکننده به سازه تعریف گردیده است، در خصوص خاکریزهایی که رویه آنها با لایه‌های حفاظتی آسفالتی دانه سنگی نرم پوشیده شده است نیز با منظور نمودن حداکثر ۳٪ بیش تخمین، مورد استفاده قرار داد. مناسبترین همخوانی بین داده‌های اندازه‌گیری شده از روگذری موج با روابط ارائه شده در راهنمای مهندسی سواحل [۸] مشاهده گردید.

#### ۵- نتیجه‌گیری

طی تحقیق انجام شده به بررسی آزمایشگاهی عملکرد رویه آسفالتی دانه سنگی نرم به کاررفته به عنوان پوشش آسفالتی خاکریزهای ساحلی پرداخته شده است. با انجام بیش از ۱۰۰ آزمون و در الگوهای مختلف بارگذاری بر رویه حفاظتی و شرایط مختلف هندسی سازه خاکریز و عمق آب آرام، به بررسی مقومت مکانیکی لایه حفاظتی، الگوی فرسایش بستر خاکی مجاور پاشنه آسفالتی خاکریز، بالاروی و روگذری موج از سازه پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصله، افزایش فشار وارد بر رویه ناشی از برخورد دینامیک موج بر سطح، به حدود ۴۰٪ می‌رسد که به ازای شیب‌های ملایمتر، تحمل این افزایش فشار مضاعف امکان پذیر است. لیکن در شیب‌های تندتر وجه رو به موج خاکریز، ترک در رویه آسفالتی نرم و متعاقب آن آبشستگی مصالح زیرلایه، رخ داده که می‌بایست به آن در استفاده از این نوع رویه‌های حفاظتی، توجه گردد. بررسی مقادیر بالاروی موج و مقایسه آن با روابط تجربی ارائه شده در برخی مراجع مرتبط، منجر به ارائه رابطه تجربی خاص برای تخمین مقادیر بالاروی بر روی خاکریزهای حفاظت شده با این نوع رویه آسفالتی گردید. ارزیابی الگوی فرسایش بستر متحرک برای بخش مجاور پاشنه آسفالتی نیز نشان داد که در شرایطی که بیشترین تهدید برای فرسایش این ناحیه

$$R = 2.1h_0 \left( \frac{H_s}{h_0} \right)^{1.25} \cdot \sqrt{\cot \beta} \quad (1)$$

که در این رابطه R مقدار بالاروی موج از خاکریز،  $h_0$  عمق آب آرام، H ارتفاع موج نزدیک شونده به خاکریز در محل پاشنه خاکریز و  $\beta$  زاویه وجه رو به موج خاکریز با افق می‌باشد. شکل ۸، مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه را با آنچه از رابطه (۱) حاصل می‌شود برای شرایط آزمایشگاهی این تحقیق، نشان می‌دهد. میزان بالاروی موج بر روی رویه مورد مطالعه در این تحقیق، با شرایط بالاروی موج از بستر شیب دار کاملاً مسطح و کاملاً نفوذناپذیر انجام شده است. این شرایط بستر که در عمده مراجع خاص مربوط به مطالعه بالاروی موج، به شرایط استاندارد نام گذاری می‌شود، به عنوان مبنای مقایسه انتخاب گردیده است. حاصل این مقایسه، رابطه (۱) حاصل شده که با اصلاح شرایط استاندارد به شرایط خاص مورد بررسی در این تحقیق، به دست آمده است.



شکل ۸- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده از بالاروی موج با مقادیر متناظر حاصل از رابطه تجربی ارائه شده

تبعیت و همگرایی مناسب داده‌های آزمایشگاهی با رابطه تخمین بالاروی به طور خاص برای شرایطی که سطح خاکریز با رویه آسفالتی دانه سنگی نرم پوشیده شده است، در این شکل مشهود است. ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۸۳ می‌باشد.

داده‌های اندازه‌گیری شده از میزان دبی روگذری سازه خاکریز در تعداد محدود آزمون انجام شده در این

3-Asakawa, T., and Hamaguchi, N., (1991), Recent developments on shore protection in Japan, Journal of Structures and Breakwaters, Vol.91, p 456-467.

4-Mai, S., Schwarze, H., and Zimmermann, C., (1997), Influence of the assembly of coastal defense systems on their safety, In Proc. of the 11th Intl. Conf. of Port and Coast Environment, Bulgaria.

5-TAW, (2003), Technical guidelines for asphalt water defense, Ministry of Public Works, Delft, Netherlands, p 190.

6-Looff, A., Hart, R., Montauban, K., and Van de ven, M., (2006), A model to determine impact on dike structures with an asphaltic concrete layer, In Proc. Of 30th International Conference on Coastal Engineering, San Diego, USA, pp5106-5115.

7-Dehua, G., (2009), Introduction of a new coastal protection method as elastometric revetments, In Proc. Of Queensland Coastal Conference, Australia, pp321-327.

8-CEM, (2002), Coastal Engineering Manual, USACE, Engineering Manual EM-1-11102, part II, chap. 7, pp 505-5011.

9-British (European) Standard (1999), BS EN 13108-5, Bituminous mixtures - Part 5: Lean Stone Asphalt, BSI, London, p 84.

زمانی است که نسبت ارتفاع موج به عمق آب آرام از حدود  $0.7$  بیشتر شده و عمق آب نیز از حدود  $1/5$  برابر ارتفاع پاشنه کمتر باشد. در چنین شرایطی فرسایش قابل توجهی در بستر ایجاد شده به نحوی که عمق فرسایش به بیشتر از نیمی از عمق بستر متحرک مجاور پاشنه می‌رسد.

#### ۶- کلیدواژگان

- 1-Visco-Elastic Properties
- 2-Mastic Asphalt
- 3-Bituminous Mortar
- 4-Stone Asphalt
- 5-Dense Stone Asphalt, (DSA)
- 6-Open Stone Asphalt, (OSA)
- 7-Lean Stone Asphalt, (LSA)

#### ۷- مراجع

- 1-Van Asbeck, B., (1959), Bitumen in hydraulic Engineering, Shell International Petroleum Company, Vol.I, p 92,
- 2-Griggs, B. G., and Fulton, K. W., (1987), Failure of coastal protection at seaciff state beach, Journal of Environmental Management, Vol.11, No.2, p 175-182.