



بررسی اعتبار روش معمول تحلیل غیرخطی جریان در سنگریزها برای شرائط غیرماندگار

Investigating validity of ordinary method of analyzing nonlinear flow through porous media for unsteady condition

صدف نظافت خواه¹، دکتر احمدطاهرشمسی²

1- تهران-فرمانیه- خیابان مهدی زاده- پلاک 1- طبقه دوم کد پستی 197613113

2- تهران- خیابان حافظ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر کدپستی 15914

Sadafnez@yahoo.com

چکیده:

بطور معمول، برای تحلیل غیرخطی جریان در درون سنگریزهای درشت دانه از یکی از معادلات نمائی یا دوجمله ای درجه دوم استفاده می شود. از آنجا که در این روشها تغییرات بلندا در محیط متخلخل غیروابسته به زمان می باشد، لذا در شرائط غیرماندگار که تحلیل ها وابسته به زمان می باشند، ممکن است آن روشها فاقد اعتبار بوده و نتایج تحلیل از دقت کافی برخوردار نباشد. این پژوهش با اتکاء به یکی از دو مدل غیر خطی متداول (معروف به فورس هایمر) و با نگرشی بدیع بر پیامدهای هیدرولیکی نوسانات جزر و مدی سعی بر آن داشته است تا پایه ای نظری برای تعیین بلندای مؤثر در سنگریزها را ارائه کند. با آزمایش هائی گسترده بر روی مدل های فیزیکی ساخته شده در یک مجموعه آزمایشگاهی سازگار شده با شرائط جریان غیرماندگار، و پس از تجزیه و تفسیرهای لازم نشان داده شده که معادله دوجمله ای درجه دومی که برای تعیین بلندا در سنگریزها در شرائط ماندگار بکار گرفته می شود، کافی بمقصد برای شرائط غیرماندگار نبوده و بایستی با افزودن یک ترم سوم به آن اصلاح شود تا به مدلی دست یافت که بتواند با دقت تغییرات بلندا در سنگریزها را محاسبه کند. در پایان معادله سه جمله ای جایگزین، ارائه گردیده و دشواری ها/ برتری های آن در کاربری های سنگریزها، تبیین گردیده است.

کلیدواژگان: سازه های سنگریزی، جریان سینوسی، تحلیل غیر خطی

Keywords: Rockfill structures, Oscillatory flow, Non-linear analysis

پیشینه:

گسترده‌گی استفاده از سنگریزهای حجیم در سازه های دریائی پیشینه ای دراز داشته و زمینه ای فراگیر برای شمار زیادی از پژوهش های گوناگون بوده است. جایگاه ویژه این گونه از سازه های دریائی در نزد مهندسان مشاور و کارفرمایان در این کشور با سواحل طولانی در شمال و جنوب، ایجاب می کند تا برای دستیابی به دقت بیشتر در طراحی ها/ آنالیزها، کارهای ویژه ای انجام گیرد. از اینرو پژوهش حاضر با تمرکز بر روی یکی از پارامترهای مؤثر در تحلیل های استاتیکی/ شبه استاتیکی/ دینامیکی پایداری سازه های دریائی که بلندای مؤثر در محیط متخلخل سنگریز تحت شرائط نوسانی سطح آب دریا در اثر جزرومد می باشد، تلاش می کند تا برخی ابهامات موجود در این زمینه را برطرف سازد. یکی از گزینه های با توجیه پذیری اقتصادی خوب و بسیار متداول برای اسکله سازی، گزینه دیوار باراندازی وزنی (Gravity quay wall) است که از روی هم قراردادن بلوک های صلب بتنی و پشتیبانی چنان مجموعه ای از بلوک ها با سنگریز درشت دانه، ساخته می شود. برتری اقتصادی این گزینه در برابر گزینه های دیگری چون شمع/ تابلیه، سپرکوبی، سازه های سلولی، ... در طول عمر بیشتر در شرائط فیزیکوشیمیائی دشوار و خوردنده آب دریا که پیامد کاهش هزینه های بهره برداری و نگهداری را دارد، می باشد. در برخی ساختمانهای ویژه که پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح دریا مناسب برای برپاداری این گونه باراندازها باشد، سادگی در طراحی/ اجرا نیز از برتری های این روش خواهد بود [1]. شایان ذکر است که متناسب با ظرفیت باربری مصالح بستر دریا و آهنگ تغییر شکلها در آن، شیوه های اجرائی مختلفی بکار گرفته می شود که پیوستگی بهره برداری ساده و کم هزینه از بارانداز را ممکن سازد. از آنجا که بحث در این زمینه ها در ورای اهداف مقاله پیش رو می باشد، لذا خواننده علاقمند به آگاهی بیشتر در چنان زمینه هائی می تواند به کتاب های درسی ای چون [2] مراجعه کند.

¹ دانشجوی کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

² دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



زیرساخت تئوریک برای تحلیل:

برای تحلیل هندسه ای مفروض از یک دیوار بارانداز وزنی، لازم است الگوهای بارگذاری بر آن تعریف شود. از آنجا که دو مد ناپایداری بارز لغزش و واژگونی می تواند زیرساختی آغازین برای تحلیل های بعدی باشد، لذا معمولاً در فضائی دو بُعدی با در نظر گیری وزن مرده بلوک ها و رانش سنگریز پشتیبان آن می توان تحلیل را آغاز کرد [3]. در این راستا و برای ارزیابی پایداری اسکله در شرائط زمین لرزه بطور متعارف از روش شبه استاتیک استفاده می شود که در آن بارهای دینامیکی با افزایش بزرگی بارهای استاتیکی متناسب با شتاب زمین لرزه در نظر گرفته می شود [4]. پیچیدگی رفتار دیوارهای بارانداز وزنی و ابهاماتی که به روش شبه استاتیک وارد است موجب شده تا در سالهای اخیر روشهای پیشرفته و دقیقی جایگزین روش های قدیمی تر شود [5]. متناسب با هندسه های متداولی که برای دیوارهای بارانداز وزنی تعریف می شود، معمولاً کج شدگی (Tilting) دیوار نسبت به جابجائی (Displacement) مخاطره آمیزتر بوده و بهمین جهت هم لازم است تا ضریب اطمینان بزرگتری در برابر واژگونی - درمقایسه با لغزش - انتخاب گردد [5]. در یک تلقی ساده، ممکن است از تئوری کلاسیک کُلمب (Coulomb) بصورت زیر برای برآورد اینرسی ناشی از ارتعاش سنگریز پشتیبان دیوار استفاده کرد. بر اساس این تئوری، نیروی رانشی اعمال شده از سوی سنگریز پشتیبان (P_{ae}) با رابطه (1) تعیین می شود:

$$P_{ae} = K_{ae} \left(\frac{g_e \cdot H^2}{2} \right) \quad (1)$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(f-y)}{\cos y \cdot \cos(y+d)} \times \left[1 + \sqrt{\left(\frac{\sin(f+d)\sin(f-y)}{\cos(d+y)} \right)^2} \right] \quad (2)$$

$$y = \arctan\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right) \quad (3)$$

که در آن: K_{ae} ضریب فشار فعال سنگریز

g_e وزن واحد مؤثر مصالح سنگریز چندلایه، H ارتفاع دیوار بارانداز، f زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگریز، d زاویه اصطکاک بین سنگریز و دیوار وزنی، k_h ضریب شتاب افقی زمین لرزه، k_v ضریب شتاب قائم زمین لرزه، می باشد.

ضریب یاد شده اثرات بارگذاری استاتیک و دینامیک را لحاظ کرده و تراز تأثیرگذاری ای در حدود 0/4 تا 0/45 ارتفاع دیوار دارد [6]. از آنجا که در رابطه (2) فشار هیدرواستاتیک بطور جداگانه محاسبه می شود، لذا مؤلفه استاتیک، بادر نظرگیری "وزن واحد مستغرق" سنگریز محاسبه می شود. این در حالی است که مؤلفه دینامیک، کل وزن مجموعه در حال ارتعاش را لحاظ می کند. از طرفی چون در تحلیل مصالح دانه ای اشباع، فرض می شود که آب حفره ای همراه و هماهنگ با دانه های مصالح سنگریز حرکت می کند، لذا ناگزیر بایستی از یک ضریب تصحیح ضریب شتاب افقی بصورت زیر استفاده کرد [7].

$$k'_h = \frac{g_{sat}}{g_b} k_h \quad (4)$$

رابطه (4) با فرض وجود یک شرائط اشباع شدگی یکنواخت در تمام عمق سنگریز پشتیبان اعتبار خواهد داشت که این فرض عموماً صادق نمی باشد. برای برطرف کردن این ابهام پیشنهاد شده است [9] تا از یک رابطه تعمیم یافته که در آن تغییرات بلندا در سنگریز لحاظ شود، بصورت زیر استفاده گردد:

$$k'_h = \frac{1 + g_1 H_1 + g_{sat} H_2}{1 + g_1 H + g_b H_2} \quad (5)$$

که در آن: I شارژ استاتیک طراحی دیوار با در نظر گیری ضریب 1/5 برای اثرات زمین لرزه بر آن

H_1 عمقی از سنگریز پشتیبان که در بالای تراز اشباع قرار دارد، H_2 عمقی از سنگریز پشتیبان که در زیر تراز اشباع قرار دارد، g_1 وزن واحد مصالح سنگریز پشتیبان در بالای تراز اشباع، g_b وزن واحد مصالح سنگریز پشتیبان در زیر تراز اشباع، g_{sat} وزن واحد مصالح سنگریز پشتیبان در شرائط شناوری می باشد.

شایان ذکر است که با تفکیک محیط سنگریز به بخشهای اشباع و غیراشباع، لازم است تا g_b (وزن واحد مؤثر) نیز بصورت زیر تصحیح شود:

$$g_b = g_1 \left[1 - \left(\frac{H_2}{H} \right)^2 \right] + g_b \left(\frac{H_2}{H} \right)^2 \quad (6)$$

بطوریکه در مدل ارائه شده مشاهده می شود، برای افزایش دقت محاسبات لازم است تا در هر گام زمانی مفروضی، با دقت مناسبی برآوردی از تراز واقعی سطح آب در محیط متخلخل سنگریز در اختیار داشت. حجمیم بودن سنگریز پشتیبان ایجاب می کند که اثرات آفت انرژی جریان گذری از درون خُئل و فُرج سنگریز بعنوان تابعی از درازای مسیر در نظر گرفته شود [8]. بنابراین در هر گام زمانی مفروضی در هر مقطع مفروض از سنگریز یک سطح ایستایی قابل در نظرگیری است که برای تعیین آن ممکن است از مدل های غیر خطی تلفات انرژی در محیط های متخلخل استفاده کرد. دو رابطه متداول در این راستا عبارتند از [9]:

$$i = m \cdot v^n \quad (7)$$



$$i = a \cdot v + b \cdot v^2 \quad (8)$$

که در آن a, b, m, n به ترتیب توان و ضرایبی هستند که با مشاهدات آزمایشگاهی قابل تعیین می باشند [9]. از طرفی بعلاوه جزر و مدی بودن تغییرات سطح آب در محیط اسکله، شرائط از دیدگاه هیدرولیکی شرائط غیر ماندگار با طبیعت سینوسی خواهد بود. بنابراین هیچ یک از دو رابطه (7) و یا (8) را نمی توان مستقیماً برای تعیین تلفات انرژی در محیط سنگریز پشتیبان دیوار بارانداز مورد استفاده قرار داد. برای برطرف کردن این محدودیت، پژوهشی در ایالات متحده انجام شده [10] و با بهره گیری از یافته های آن پژوهش، پیشنهاد گردیده است که با افزودن یک ترم سوم به رابطه (8)، دقت لازم برای بکارگیری این رابطه در شرائط غیرماندگار، تأمین شود. لیکن از آنجا که مشاهدات پژوهش یاد شده در یک سیستم تحت فشار و لوله ای انجام گرفته بوده، لذا تعمیم یافته های آن به شرائط متعارف در اسکله ها منطقی به نظر نمی رسد [11]. بنابراین در پژوهشی بنیادین، بر رفع ابهاماتی که در بالا به آن اشاره شد، تجهیزات منحصر بفردی در کشور طراحی گردید و با مشاهدات کنترل شده ای که شرح آن ذیل از نظر می گذرد، تلاش شد تا شکل اصلاح شده رابطه (8) برای کاربری های دریایی، ارائه گردد.

زیرساخت های آزمایشگاهی:

اهدافی که در طراحی مفهومی تجهیزات آزمایشگاهی مناسب برای بررسی جریان های غیرداریسی غیر ماندگار مطرح می باشد، بسیار پیچیده تر و دشوار تر از آنهایی است که برای جریان های آشفتده ولی ماندگار تعیین می گردد. در طراحی مفهومی اولیه، اهداف عملکردی زیر مدنظر بوده اند.

1. جریان در تمام شرایط با سطح آزاد باشد
 2. برای ساده سازی اندازه گیری ها با ابزار دقیق، تراز سطح آب در بالادست محیط متخلخل در تمام شرایط، دقیقاً ثابت باقی بماند.
 3. دبی عبوری ثابت و یا متغیر باشد.
 4. تراز سطح آب در پائین دست محیط متخلخل ثابت و یا متغیر باشد.
 5. آهنگ تغییرات تراز سطح آب در پائین دست محیط متخلخل (در شرایط متغیر) قابل تنظیم باشد.
 6. امکان اندازه گیری همزمان بلندای پیژومتریک در شمار زیادی از پیژومترهای نصب شده در طول محیط متخلخل، وجود داشته باشد.
 7. اندازه گیری همزمان دبی عبوری در بالادست و پائین دست محیط متخلخل، ممکن باشد.
 8. پایداری لازم برای تحمل وزن یک توده نسبتاً بزرگ از مصالح دانه ای برای فلوم تأمین شود.
 9. برای صرفه جوئی در مصرف آب، سیستم بصورت مدار بسته کار کند.
- در راستای تحقق هدف اول و چون در آن دسته از مدل های هیدرولیکی که برای مطالعه جریان با سطح آزاد طراحی می شوند، از فلوم هائی با دیواره شیشه ای و اسکلت فلزی یا بتنی استفاده می کنند، لذا در این سیستم نیز از یک فلوم با دیوارهای شیشه ای استفاده شده امکان مشاهده محدودۀ مورد آزمایش را فراهم می کند.

در راستای تحقق هدف دوم، دو سرریز جانبی با آستانه لبه تیز در طرفین بخش ورودی فلوم قابل پیش بینی است. این سرریزهای جانبی با دقت زیادی می توانند یک سطح ثابت از جریان در بالادست محیط متخلخل را ایجاد کنند.

در راستای تحقق هدف سوم از یک پمپ گریز از مرکز سه فاز استفاده شده که دبی خروجی از آن به طور تقریبی با شیر فلکه ای کنترل می شود. شایان ذکر است که با نوسانات متداول در ولتاژ برق شبکه، دبی خروجی از پمپ تغییر کرده و دقت کنترل دبی با شیر فلکه ای اندک است. به همین جهت سرریزهای جانبی یاد شده پیش بینی گردیده اند. برای پرهیز از کار کردن پمپ در مقابل شیر کمی تا قسمتی باز که منجر به داغ کردن پمپ و استهلاک سریع آن می شود، بر روی لوله رانش پمپ یک کنارگذر مجهز به شیر فلکه دومی، پیش بینی شده که درصد باز شدگی شیر دوم عکس درصد باز شدگی شیر اول می باشد. به دیگر سخن در شرایطی که شیر اول 20% باز است، شیر دوم 80% باز خواهد بود. به همین ترتیب در دیگر درصدهای باز شدگی، انجام این مهم با نصب دو چرخ دنده بر روی شافت شیرها و عبور دادن یک زنجیر از روی چرخ دنده ها امکان پذیر می گردد.

در راستای تحقق هدف چهارم و پنجم دریچه ای از نوع باله ای در انتهای فلوم قابل پیش بینی شده که با کمک یک موتور الکتریکی مستقل به حرکت در آید. این بخش پیچیده ترین فاز طراحی حاضر بوده و انجام آن فقط با پشتیبانی یک گروه از مهندسين برق و مکانیک امکان پذیر شده است. در عمل، مقرر گردید از یک موتور الکتریکی 12 ولت و 25 آمپر DC استفاده شود که دور موتور با کمک یک روستا قابل تنظیم باشد. یک مکانیزم متشکل از پولی/تسمه/چرخ دنده/اهرم، نیرو را به دریچه منقل کرده و آن را با یک حرکت سینوسی باز و بسته می کند.

در راستای تحقق هدف ششم می توان از روش های نوری متکی به عکس برداری/فیلم برداری با سرعت زیاد بهره جست. تصاویر بزرگ شده برداشتی، بعداً در حالت ساکن مورد بررسی با ذره بین قرار گرفته و بلندای هریک از پیژومترها مستقیماً تعیین می شود.

در راستای تحقق هدف هفتم از یک سرریز مثلثی (V-notch weir) و اسنچی شده در انتهای فلوم استفاده شود. اندازه گیری دبی در بالادست محیط متخلخل با میکرومولینه و یا دبی سنج های پروانه ای امکان پذیر می باشد.

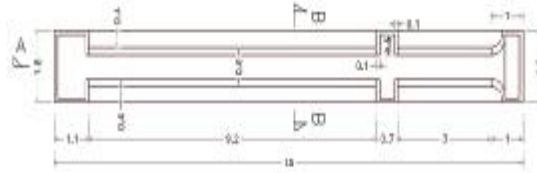
در راستای تحقق هدف هشتم زه ها و لچکی های ننگه دارنده فلوم شیشه ای جهت تحمل بار جانبی تعبیه شده و بار قائم نیز از طریق دال درپوش آب انبار به دیواره های آب انبار منتقل شده و توسط دال کف تحمل می شود.



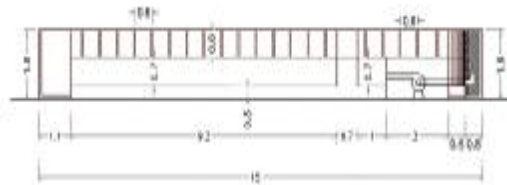
در راستای تحقق هدف نهم آب انباری متصل به حوضچه خروجی، در زیر فلوم تعبیه شده که آب خروجی از سیستم در آن جمع شده و سپس به حوضچه ورودی پمپ و مجدد وارد فلوم می شود.

در جمع بندی از آنچه که در بالا به آن اشاره شد، می توان چکیده ای از ویژگی های تجهیزات آزمایشگاهی در پژوهش حاضر، بر اساس طراحی مفهومی ارائه شده توسط جناب آقای دکتر بیات استاد سازه های هیدرولیکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و طراحی نهائی آن با بهره گیری از نظرات اساتید و کارشناسان دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان اتمام یافته است. برای نشان دادن برخی جزئیات هندسی دستگاه یاد شده به صورت شماتیک در پلان و مقطع، ترسیم هایی از آن نیز ذیلاً از نظر می گذرد.

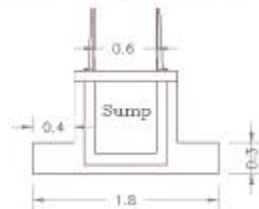
الف - پلان



ب - برش A-A :



ج - برش B-B :



شکل 1- پلان و برش های طولی و عرضی فلوم و آب انبار زیرین آن (مقادیر به متر است)

یافته های آزمایشگاهی:

تجزیه و تحلیل یافته های آزمایشگاهی با تکیه بر این اصل که در شرایط آشفته رابطه گرادیان هیدرولیکی با سرعت جریان به صورت دو جمله ای سهمی شکل (رابطه فرشه ایمر) می باشد، انجام گردیده است. ولی از آنجا که در جریان های غیر لایه وار/ غیر دائمی می بایست اثر زمان نیز در نظر گرفته شود، بنابراین افزودن ترم سوم به معادله فرشه ایمر، ارائه شکل ریاضی مناسبی از این ترم سوم و نیز ضریب ترم سوم از اهمیت ویژه برخوردار بوده و باید مورد بررسی قرار گیرد. از اینرو "ارزیابی ترم سوم در معادله فورس هایمر"، هدف آنالیزهائی است که ذیلاً از نظر می گذرد.

در دبی های مورد آزمایش، تراز سطح آب در پیژومترها نسبت به سطح مقایسه قرائت شده و با عنایت به دمای آب، مقدار افت انرژی بر حسب ارتفاع ستون آب بدست آمده است. از تقسیم مقادیر یاد شده بر طول متناظری از نمونه که بین دو پیژومتر متوالی قرار دارد، گرادیان هیدرولیکی قابل محاسبه است. عبارتی اگر ΔH ارتفاع ستون آب، در دو پیژومتر متوالی و L طول نمونه در بین دو پیژومتر باشد، می توان نوشت:

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad (9)$$

برای برآورد سرعت واقعی در داخل خلل و فرج سنگدانه ها از رابطه احمد و سونادا [9] استفاده شده است:

$$v_a = v \cdot n^{-2/3} \quad (10)$$

که در آن (v) سرعت ظاهری در بالادست محیط متخلخل و n تخلخل می باشد. با در دست داشتن گرادیان هیدرولیکی و سرعت واقعی جریان، می توان معادله فورس هایمر را برای آنالیزهای متعارف مورد استفاده قرار داد. این آنالیزها با کمک روش های آماری و ضمن استفاده از نرم افزار SPSS10.0(for win) انجام شده است.

پس از شبیه سازی جریان غیر ماندگار با حرکت درجه بصورت سیکلی در فواصل زمانی 5 دقیقه، سری زوجهای مرتب (i, v) برای هر سیزده پیژومتر، در گام های زمانی 5 دقیقه تهیه شده است. سپس عملکرد رابط پیشنهادی توسط شکری [12] که می توان آنرا به شکل زیر باز نویسی کرد:

$$i = av + bv^2 + c'(t) \quad (11)$$

و رابط پیشنهادی توسط قاسمی [13] که می توان آنرا به شکل زیر باز نویسی کرد:



$$i = av + bv^2 + c \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right) \quad (12)$$

مورد بررسی قرار داد. بموازات دو رابطه (11) و (12) رابطه پیشنهادی حنورا [11] را می توان به شکل زیر باز نویسی کرد:

$$\begin{cases} i = av + bv^2 + c \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right) \\ c'' = \frac{1 + \left[\frac{1-n}{n} \right] C_{am}}{g \cdot n} \end{cases} \quad (13)$$

که در آن n تخلخل، g شتاب ثقل و C_{am} ضریب اینرسی است که مقداری بین صفر تا $1/5$ دارد ($0 \leq C_{am} \leq 1.5$). شایان ذکر است که در آزمایش هایی که از یافته های آنها در این پژوهش استفاده شده، به برخی ویژگی های فیزیکی مصالح محیط متخلخل شامل: ضریب یکنواختی ($C_u = d_{60} / d_{10}$)، تخلخل (n)، ضریب انحاء مصالح دانه ای تشکیل دهنده محیط متخلخل ($C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$)، سطح ویژه مصالح دانه ای (S_i)، مقادیر نظری منحنی دانه بندی سنگدانه ها ($d_{30}, d_{20}, d_{15}, d_{10}, d_0, \dots$)، منظور از d_i به میلیمتر اندازه الکی است که $i\%$ از مصالح از آن عبور می کند، و دما (T) به تفکیک هر یک از مصالح نخودی و بادامی ذیلاً از نظر می گذرد:

ویژگی های فیزیکی شن نسبتاً درشت (مصالح نخودی)

منحنی دانه بندی این مصالح، که از نوع کوهی شکسته و با نام تجاری نخودی (Semi Coarse Rock) بوده و مشخصات فیزیکی آن چنین است:

$$C_u = 1.62, \quad n = 42.13\%, \quad T = 22^\circ c, \quad C_c = 1.02$$

و ویژگی های سیال مورد استفاده در سری آزمایش های مربوط به این مصالح عبارت بوده اند از:

$$m = 9.56 * 10^{-4} N.S / m^2 \quad r = 997.6 Kg / m^3 \quad d = 9786.4 N / m$$

جدول 1- چگونگی توزیع دانه بندی مصالح نخودی [12]

100	90	80	70	60	50	40	30	20	15	10	0	% عبوری
19/05	12/31	11/58	10/88	10/20	9/51	8/82	8/08	7/26	6/80	6/27	3/61	اندازه به mm

ویژگی های فیزیکی مصالح بادامی

منحنی دانه بندی این مصالح، که از نوع کوهی شکسته و بانام تجاری بادامی (Coarse Rock) بوده و مشخصات فیزیکی چنین است:

$$C_u = 1.32, \quad n = 44.96\%, \quad T = 20^\circ c, \quad C_c = 0.98$$

و ویژگی های سیال مورد استفاده در سری آزمایش های مربوط به این مصالح عبارت بوده اند از:

$$m = 1.02 * 10^{-3} N.S / m^2 \quad r = 998 Kg / m^3 \quad d = 9790.4 N / m$$

جدول 2: چگونگی توزیع دانه بندی مصالح بادامی [13]

100	90	80	70	60	50	40	30	20	15	10	0	% عبوری
24	21/2	19/9	19/3	18/4	17/6	16/1	15/8	14/6	14/2	13/9	3/3	اندازه به mm

تفسیر یافته های آزمایشگاهی:

همان طور که پیش تر اشاره شد، پس از برازش منحنی هایی با روابط 11، 12 و 13 با استفاده از زوج های مرتب (i, v) که توسط [13] و [12] اندازه گیری و گزارش شده، ضریب های معادلات یاد شده بشرح زیر به دست آمده اند:

برای مصالح نخودی ضرائب فروش هایمر بر پایه رابطه 11 عبارتنداز:

$$\bar{a} = 2.19 \quad \bar{b} = 71.47 \quad \bar{c}' = 0.052E - 5$$

بنابراین می توان رابطه 11 را برای مصالح نخودی بصورت کاربردی نمایش داد:

$$i = 2.19v + 71.475v^2 + (0.052E - 5)t \quad (14)$$

که در آن t زمان بر حسب ثانیه، v سرعت واقعی جریان برحسب متر بر ثانیه و i گرادیان هیدرولیکی (بی بعد) است.

برای مصالح بادامی ضرائب فروش هایمر بر پایه رابطه 12 و حرکت دریچه پایاب، به ترتیب بسمت بالا و پائین، عبارتنداز:

$$\bar{a}_{up} = 0.889 \quad \bar{b}_{up} = 26.043 \quad \bar{c}''_{up} = 494.28$$

$$\bar{a}_{do} = 1.595 \quad \bar{b}_{do} = 20.254 \quad \bar{c}''_{do} = 461.7$$



بنابراین می توان رابطه 12 را بصورت کاربردی نمایش داد:

برای نیم سیکل رفت

$$i = 0.889v + 26.043v^2 + 494.28 \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (15 \text{ الف})$$

برای نیم سیکل برگشت

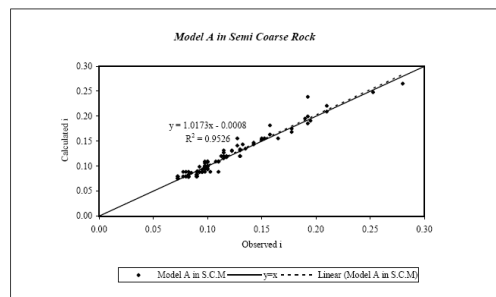
$$i = 1.595v + 20.254v^2 + 461.7 \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (15 \text{ ب})$$

که در آن Δv تغییرات سرعت واقعی جریان در فاصله زمانی Δt (برابر 300 ثانیه) می باشد.

شایان ذکر است که مقادیر گزارش شده برای ضرائب سه گانه بالا با میانگین گیری حسابی از مقادیری که برای هر یک از سری های آزمایشی بدست آمده بوده، نتیجه شده اند.

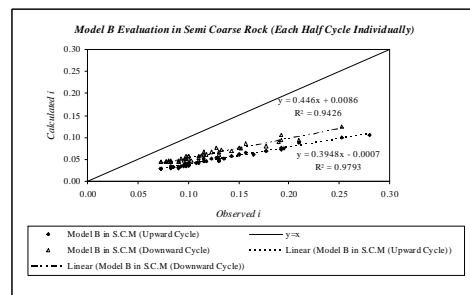
اینک برای ارزیابی حدود اعتبار یافته های مشاهداتی، لازم است منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از روابط 14 و 15) به ازای هر مقدار مفروضی از سرعت جریان در محیط متخلخل، ترسیم شود.

برای مصالح نخودی و در صورت بکارگیری رابطه 14 داریم:

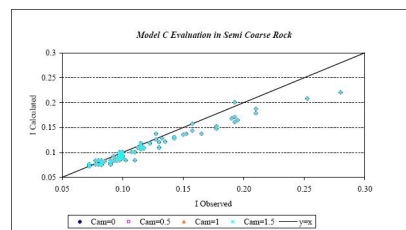


شکل 4: منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از رابطه 14) در همان مصالح نخودی

و در صورت استفاده از روابط 15 الف و ب داریم:



شکل 5: منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از روابط 15- الف و ب)



شکل 6: منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از رابطه 13 و برای مقادیر مختلف ضریب

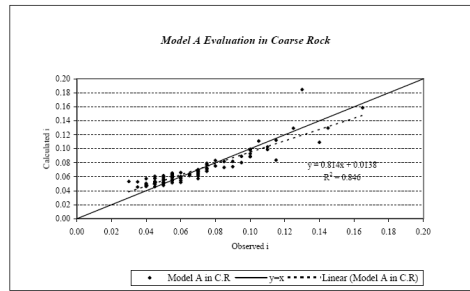
اینرسی)

از بررسی شکل های 4 الی 6 ممکن است به موارد زیرهم دست یافت:

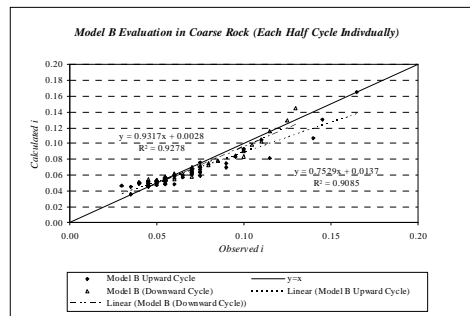
- سازگاری خوبی که بین داده های مشاهداتی و محاسباتی در شکل 4 وجود دارد حاکی از دقت قابل قبول آن رابطه برای برآورد تغییرات بلندا در محیط های متخلخل نسبتاً درشت دانه است. از طرفی چون ضریب ترم سوم عددی بسیار کوچک ($c' = 0.052E - 5$) است می توان تأثیر شرایط غیرماندگار بر جریان غیرخطی در این آزمایش ها را ناچیز تلقی کرده و برای کاربری های مهندسی، از جمله سوم صرف نظر کرد.



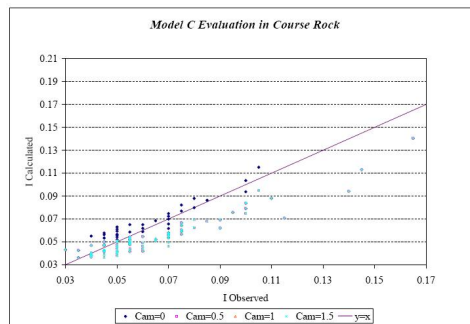
- شکل 5 نشان می دهد که بین یک برازش منطقی و قابل قبول که با خط $y = x$ قابل تعریف است و آنچه که با استفاده از رابطه 15 الف و ب بدست آمده تفاوتی چشم گیر وجود دارد. این جدائی داده ها از خط میانه $y = x$ را ممکن است بعنوان نشانه ناکارائی ساختار ترم سوم رابطه 15 - الف و ب برای برآورد تغییرات بلندا در شرایط آزمایش شده دانست.
 - دقت رابطه 13 برای برآورد گرادیان هیدرولیکی را بر پایه شکل 6 و ضرائب همبستگی آنها می توان مشابه رابطه 14 دانست. نکته با اهمیت در این نمودار، بی تأثیری تغییرات ضریب اینرسی برای داده های مورد استفاده در برازش می باشد که این خود مؤید قابل صرف نظر بودن ترم سوم برای شرائط آزمایشی گزارش شده است.
- در دومین بخش از آزمون مدل های انتخابی، داده های مصالح بادامی مورد استفاده قرار گرفته و منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی ترسیم شده اند. این منحنی ها در شکل های 7 الی 9 ذیل از نظر می گذرند:



شکل 7: منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از رابطه 14)



شکل 8: منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از رابطه 15- الف و ب)



شکل 9: منحنی تغییرات گرادیان هیدرولیکی مشاهداتی در مقابل گرادیان هیدرولیکی محاسباتی (با استفاده از رابطه 13 و بازاء مقادیر مختلف ضریب اینرسی)

از بررسی شکل های 7 الی 9 می توان به نتایجی مشابه آنچه که برای مصالح نخودی گزارش گردید، دست یافت. این تشابه بین نتایج تحلیل های آماری را ممکن است ناشی از قابلیت تعمیم یافته های پژوهشی حاضر برای دامنه ای گسترده تر از اندازه های سنگدانه های آزمایش شده تلقی کرد. اگرچه نگارندگان این مقاله بر این باورند که انجام آزمایش های بیشتر با استفاده از دیگر انواع مصالح دانه ای قطعاً ضرورت دارد.

نتیجه گیری:

اگرچه تحقیقات پیشین پیرامون جریان های آشفته غیر ماندگار در محیط متخلخل، بیانگر لزوم در نظرگیری اثر زمان در برآورد گرادیان هیدرولیکی می باشند که این اثر در رابطه دوجمله ای فورشهیمر دیده نشده است [10]، لیکن پژوهش حاضر با استفاده از یافته های گزارش شده [13 و 12]، افزودن ترم



سوم به معادله فورشه‌ایم جهت اعمال اثر زمان را برای کاربری های متداول در سازه های سنگریزی حجیم دریائی که تحت تأثیر نوسانات سطح آب با جزر و مد هستند، ضروری نشان نمی دهد. بررسی های حاضر همچنین حاکی از آنست که:

- رابطه 14 در هر دو نوع مصالح (نخودی و بادامی) گرادیان هایی نزدیک به مقادیر مشاهداتی در آزمایشگاه و غالباً با خطایی کمتر از 10 درصد در اختیار گذاشته است. درحالی که گرادیان های محاسبه شده به کمک رابطه 15، در مصالح نخودی مورد دقت مناسبی نداشته ولی در مصالح بادامی نتایجی نزدیک به واقعیت در اختیار می گذارد. خطای رابطه 15 در مصالح بادامی غالباً کمتر از 30 درصد است.
- آزمون رژیم جریان در مصالح نخودی با استفاده از روش پیشنهادی احمد و سونادا [9] نشان می دهد که شرایط آزمایشی حاکم برای توسعه رابطه 14 با عدد رینولدزی در حدود 0/152 رژیمی بینابینی (Transitional Zone) بوده است. درحالیکه بیشینه مقدار عدد رینولدز در آزمایش هایی که به روابط 15 - الف و 15 - ب انجامیده در حدود 0/034 بوده که اگرچه در محدوده جریان بینابینی قرار دارد ولی بعلاوه نزدیک بودن مقدار آن به عدد رینولدز در جریان لایه وار، دقتی کمتر داشته باشد. همچنین سبب شده رابطه (15 الف و ب) قادر به برآورد گرادیان در شرایط آزمایش شگری [12] که منجر به رابطه (14) شده نباشد ولی رابطه (14) نتایج قابل قبولی در شرایط آزمایشی قاسمی در اختیار می گذارد. بررسی ها حاضر می تواند اینگونه تفسیر شود که قابل نظر دیده شدن اثر ترم سوم در آزمایش های گزارش شده توسط [13 و 12] ناشی از رژیم خاص جریان در آن مشاهدات بوده و بهمین جهت برای رژیم های کاملاً آشفته و غیرماندگار نیاز به داده های بیشتری می باشد.

- ناچیز دیده شدن ترم سوم در صورت تعریف ضریب آن با $1 + \left[\frac{1-n}{n} \right] C_{am}^{gn}$ ناشی از شرائطی است که در آن داده های آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش تولید شده بوده و احتمالاً در رژیم های کاملاً آشفته و غیرماندگار نتایجی متفاوت را بدست خواهد داد.

- نگارندگان این مقاله براین باورند که شکل عمومی تر رابطه فورشه‌ایم پس از افزودن ترم سوم که به صورت $i = av + bv^2 + c \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)$ در می آید، برای کلیه کاربری های تحلیل خطی/ غیرخطی جریان در محیط های متخلخل مناسب تر می باشد

مراجع و مأخذ:

1. US Department of the Navy, 1984. "Harbors Design Manual", DM 26.1, Alexandria, VA.
2. Quinn, A. D. 1961, "Design and Construction of Ports and Marine Structures" McGraw-Hill Book Co. N Y
3. Overseas Coastal Area Development Institute (OCADI), 2001, "Design Standard for Port & Harbor Facilities and Commentaries" (English Edition), Original Text by Japan Ministry of Transport, 1999. (In Japanese), 1181 pp.
4. Iai, S., Ichii, K., Sato, Y. and Liu, H. 1999. "Residual Displacement of Gravity Quay Walls; Parameter Study Through Effective Stress Analysis" Proceedings, 7th US-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction, MCEER-99- 0019, Seattle, WA, pp. 549-563.
5. Tsinker, G. P., 2004. "Port Engineering; Planning, Construction, Maintenance and Security", John Wiley & Sons, Inc, N J.
6. Okabe, N. 1924. "General Theory on Earth Pressure and Seismic Stability of Retaining Wall and Dam", J. Japanese Society of Civil Engineers, Vol. 10, No. 6, pp.1277-1323.
7. PIANC, 2001. "Seismic Design Guidelines for Port Structures", Rep. Work. Group 34, AA Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
8. Memos, C. D., Kiara, A. and Vardanikas, C. 2001. "Hydrodynamic Loading on Rubble-mound Breakwaters Due to Seismic Shaking" Proceedings 24th IAHR Congress, Beijing, China, pp. 134-140.
9. Ahmed, N. and Sunada, D. K. 1969. "Non-linear Flow in Porous Media", J. Hydra. Enging. ASCE, Vol. 95, No. 6, pp. 1847-1857.
10. Hall, K., Smith, G. M. and Turcke, D. J., 1994. "Development of a Non-linear Porous Media Relationship for Oscillatory Unsteady Flow, J. Coastal Research, Vol. 10, No. 1, pp. 158-169
11. Hannoura, A. A. and McCorquodale, J. A. 1985, "Rubble Mounds: Hydraulic Conductivity Equation", J. Waterway, Port, Costal and Ocean Engineering, ASCE, 111 (5), pp. 783-799
12. شُکری، مرتضی، 1383 "بررسی پارامترهای مؤثر بر جریان غیردائم و غیر خطی در محیط های متخلخل" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر
13. قاسمی عباس، 1385 "بررسی پارامترهای مؤثر بر جریان غیردائم و غیر خطی در محیط های متخلخل" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر