



## تاثیر انتخاب ضرایب زلزله در عملکرد لرزه‌ای اسکله‌های وزنی بلوکی

حمید علی الهی<sup>\*</sup>، اکبر خلیلی

گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۲  
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲  
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷  
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹

### کلمات کلیدی:

اسکله‌های وزنی  
طراحی عملکرد لرزه‌ای  
آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن  
ضریب شتاب افقی زلزله

**خلاصه:** اسکله‌های وزنی بلوکی در شرایطی که بستر دریا ظرفیت باربری مناسبی داشته باشد جزو اصلی‌ترین گزینه مطرح می‌باشند. امروزه، طراحی اسکله‌ها بر اساس عملکرد لرزه‌ای بوده و روش شبه استاتیکی رایج‌ترین روش طراحی آن‌ها به شمار می‌آید. در این روش، نیروی ناشی از زلزله به صورت حاصل ضرب ضریب شتاب معادل زلزله در جرم موثر سازه در نظر گرفته می‌شود. انتخاب مقدار این ضریب، متشکل از مولفه‌های افقی ( $k_H$ ) و قائم ( $k_V$ ) از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. لذا در این مقاله به بررسی تاثیر انتخاب ضریب شتاب معادل زلزله در عملکرد لرزه‌ای اسکله گوژپستی بندر پتروشیمی پارس به عنوان مطالعه موردی پرداخته شده است. در این راستا، توصیه‌ها و روابط منعکس شده در ویرایش قدیم (OCDI, 2002) و جدید (OCDI, 2009) آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن نسبت به سایر مراجع به ویژه در طراحی لرزه‌ای اسکله‌ها جامع و کامل‌تر می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بر اساس ویرایش قدیم آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن به ازای هر تاریخچه زمانی شتاب حاصل از مطالعات لرزه‌خیزی در منطقه مورد نظر، مستقل از ویژگی‌های زلزله‌ها نظیر محتوی فرکانسی، مقدار ضریب  $k_H$ ، یک مقدار واحد بوده در حالی که بر اساس رویکرد ویرایش جدید این آیین‌نامه با توجه به ویژگی‌های زلزله‌های طرح، مقادیر متفاوت و واقع بینانه‌تری حاصل شده است. همچنین در این مطالعه با بهره از نرم افزار FLAC2D، روابط ارائه شده ویرایش جدید آیین‌نامه ژاپن برای تعیین ضریب  $k_H$  مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۱- مقدمه

اسکله‌ها بخش مهمی از شبکه حمل و نقل را تشکیل می‌دهند و تاثیر بسزایی در اقتصاد کشورها دارند. در این بین، اسکله‌های وزنی بلوکی با توجه به مزیت‌هایی مانند دوام مناسب در برابر خوردگی، سادگی، سرعت بالای اجرا و هزینه نگهداری پایین به ویژه در نقاطی که ظرفیت باربری خاک مناسب باشد، از مقبولیت خاصی برخوردار می‌باشند. یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین ابعاد این اسکله‌ها، برآورد فشار جانبی خاک است که معمولاً با استفاده از روابط کلاسیک مانند روش مونونوبه-اکابه<sup>۱</sup> ارزیابی می‌شود. در این راستا، مطالعات انجام شده در مورد شکل اسکله نشان داده است که اسکله گوژپستی دارای عملکرد مناسب‌تری به ویژه در هنگام زلزله بوده به گونه‌ای که باعث ایجاد تعادل مناسبی بین فشار خاک به عنوان نیروی محرک و وزن بلوک‌ها به عنوان نیروی مقاوم می‌شود [۵]. در این شرایط

فشار قائم در محل انتقال بارهای وارد شده به بستر با توجه به مرکز ثقل وزن بلوک‌ها، متعادل‌تر می‌شود. صدرکریمی و همکاران، تاثیر مثبت شکل گوژپستی اسکله را در کاهش فشار خاک در شرایط دینامیکی بررسی نمودند [۱۳]. در ادامه، صدرکریمی با استناد به آزمایش‌های میز لرزه انجام شده روی دو اسکله گوژپستی و اسکله با شیب پستی ثابت، به این نتیجه رسید که فشار خاک در قسمت بالایی پشت اسکله گوژپستی افزایش و در قسمت پایینی با شیب منفی کاهش می‌یابد [۱۴]. علی الهی و رابطی مقدم با استفاده از نرم افزار FLAC2D و نتایج آزمایشات میز لرزه به بررسی عملکرد لرزه‌ای اسکله‌های گوژپستی پرداختند. در این تحقیق، عملکرد لرزه‌ای دیوار اسکله‌هایی که مقطع گوژپستی بزرگ‌تری دارند دارای عملکرد بهتری بوده و احتمال آسیب‌پذیری در آن‌ها کمتر می‌باشد [۲]. در ادامه، علی الهی و سیدی به ارزیابی رفتار لرزه‌ای اسکله گوژپستی بندر پتروشیمی پارس با استفاده از روش‌های تعادل حدی و عددی به کمک نرم افزار PLAXIS پرداختند. نتایج نشان داد که مقطع طراحی شده از پایداری قابل قبول برخوردار بوده و

1 Mononobe-Okabe Method

<sup>\*</sup> نویسنده عهده‌دار مکاتبات: h.alielahi@iauw.ac.ir



نتایج حاصل از دو روش با یکدیگر تطابق خوبی داشته‌اند [۱۹].

پس از زلزله‌های سهمگین دهه ۱۹۹۰، رویکرد طراحی لرزه‌ای اسکله‌ها تغییر اساسی یافته و بر مبنای عملکرد لرزه‌ای در برابر زلزله ارائه شده است. به طور کلی، تحلیل‌ها به منظور طراحی لرزه‌ای اسکله‌ها در روش طراحی بر مبنای عملکرد به سه دسته اصلی: روش‌های شبه استاتیکی، شبه دینامیکی و دینامیکی کامل تقسیم بندی می‌شوند. روش شبه استاتیکی به دلیل سادگی و کاربرد فراوان آن در طراحی، رایج‌ترین روش به شمار می‌آید. در این روش، نیروی ناشی از زلزله به صورت حاصل ضرب یک ضریب شتاب معادل زلزله به صورت افقی ( $k_h$ ) و قائم ( $k_v$ ) در جرم موثر سازه در نظر گرفته می‌شود. در این راستا، انتخاب درست و منطقی ضرایب مذکور از اهمیت خاصی برخوردار است که روابط و شیوه‌های مختلفی برای محاسبه آن‌ها ارائه شده است. به عنوان نمونه، بر مبنای توصیه آیین‌نامه آشتو<sup>۱</sup> ۲۰۱۷ می‌توان از ضریب مولفه عمودی زلزله ( $k_v$ ) در طراحی صرف نظر نمود به شرطی که منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر زلزله‌های میدان نزدیک (نزدیک گسل) نبوده و یا شتاب عمودی بالایی هم‌زمان با شتاب افقی ایجاد نشده باشد [۱]. همچنین نودا و همکارانش<sup>۲</sup> بر اساس مطالعه ۱۲۹ مورد از نحوه عملکرد دیوارهای حایل ساحلی در ۱۲ زلزله مختلف روابطی برای محاسبه ضریب شتاب افقی زلزله ( $k_h$ ) بر پایه شتاب حداکثر سطح زمین (PGA) ارائه نمودند [۱۰]. یکی از ایرادهای اصلی به این روابط، عدم در نظرگیری تاثیر تغییر شکل‌های جانبی و ویژگی‌های زلزله نظیر بزرگای زلزله، فاصله از گسل، تاثیر پراکنش و بزرگ‌نمایی امواج و غیره می‌باشد که در این روابط صرفاً شتاب حداکثر ملاک عمل قرار گرفته است. در این راستا، اولین روش توسط کاوازانجان<sup>۳</sup> و همکاران معرفی شده است. در این روش به طور مستقیم به پدیده پراکنش امواج اشاره نشده و با توجه به اینکه پراکنش امواج به کاهش شتاب تمایل دارد، این روش کاملاً محافظه‌کارانه می‌باشد [۷]. با توجه به تخمین اثر پراکنش امواج، دومین روش توسط اندرسون و همکارانش<sup>۴</sup> ارائه شده است که از یک مدل ساده شده استفاده نموده و جرم خاک در محاسبات لحاظ می‌شود ولی از طرفی اثر دیوار به طور خاص به عنوان یک سازه در نظر گرفته نمی‌شود. در واقع مقدار تغییر شکل به وقوع پیوسته در دیوار را برای شتاب گسیختگی ورودی، شتاب بیشینه زمین و بیشینه سرعت زمین تخمین زده می‌شود [۳]. سومین روش که توسط بری و همکارانش<sup>۵</sup> توسعه

پیدا نمود، با ارائه یک طیف پاسخ ساده برای دیوار، آن را به عنوان یک سازه با پرپود اساسی در نظر می‌گیرد. این روش کاهش شتاب،  $k_h$  را برای یک تغییر شکل معین و شتاب طیفی را در یک پرپود معین تخمین می‌زند [۴]. لازم به ذکر است که این روش‌ها نباید به هیچ وجه با یکدیگر ترکیب شوند [۱]. در سال‌های اخیر نیز مون-جیو لی و همکاران<sup>۶</sup> به اختلاف نظرهای وارده در مورد ضریب  $k_h$  پرداختند و با استفاده از آزمایشات ساترئیفیوژ بر روی دیوار کیسونی وزنی در ارتفاع‌های مختلف (حداکثر ۱۵ متر) نشان دادند که باید ضریب تصحیح برای  $k_h$  با توجه به درجه عملکرد لرزه‌ای در نظر گرفته شود تا طراحی دیوارهای وزنی اقتصادی باشد [۸]. در تحقیق دیگری از مون-جیو لی و همکاران با استفاده از آزمایشات ساترئیفیوژ به ارزیابی مفهوم رابطه ضریب  $k_h$  منتشر شده در ویرایش جدید آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن (OCDI, ۲۰۰۹) پرداختند. این رابطه در برگزیده تغییر شکل دیوار اسکله، ارتفاع دیوار، تأثیر ویژگی‌های فرکانس، مدت زمان موج زلزله و پرپود طبیعی زمین بوده و برای دیوارهای وزنی ارائه شده است. نتایج آزمایشات ساترئیفیوژ نشان داد که این رابطه برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای دیوار اسکله در شرایط مختلف مورد تایید می‌باشد [۹].

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان ذکر نمود که برای تعیین ضریب  $k_h$ ، یکی از رایج‌ترین آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای اسکله‌ها و سازه‌های ساحلی، آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن (OCDI) می‌باشد. ویرایش قدیمی این آیین‌نامه در سال ۲۰۰۲ و ویرایش جدید آن در سال ۲۰۰۹ ارائه شده است. یکی از کمبودهای اصلی ویرایش قدیم آیین‌نامه دریایی ژاپن که مبنای نشریه ۶۳۱ با عنوان "دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی" نیز می‌باشد [۲۲]، محاسبه ضریب افقی زلزله ( $k_h$ ) صرفاً بر مبنای شتاب حداکثر زلزله بدون توجه به ویژگی‌های زلزله نظیر محتوی فرکانسی و اثر بزرگ‌نمایی خاک و غیره است، در صورتی که در ویرایش جدید این آیین‌نامه تمامی مولفه‌های موثر در تاریخچه زمانی شتاب در محاسبه  $k_h$  لحاظ شده است. از این رو، هدف از این مقاله بررسی تاثیر انتخاب ضریب شتاب افقی زلزله ( $k_h$ ) برای اسکله‌های وزنی با توجه به رویکرد دو ویرایش قدیم و جدید آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن (OCDI, 2002 ; 2009) [۱۶ و ۱۵] بر مبنای مطالعه موردی اسکله وزنی بلوکی با مقطع گوزپشتی بندر پتروشیمی پارس می‌باشد. همچنین با مدل‌سازی دینامیکی کامل اسکله توسط نرم افزار تفاضل محدود FLAC2D و بر مبنای تاریخچه‌های

- 1 AASHTO
- 2 Noda et al
- 3 Kavazanjian et al.
- 4 Anderson et al.
- 5 Bray et al.

6 Moon-Gyo lee

7 Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan (OCDI)

### ۳-۲- ضریب شتاب افقی معادل زلزله ( $k_h$ )

۳-۲-۱- توصیه ویرایش قدیم آیین‌نامه ژاپن (OCDI, 2002) [۱۵]

در این آیین‌نامه، روابط ۱ و ۲ برای تعیین ضریب شتاب افقی زلزله بر اساس بیشینه شتاب زلزله روی سطح زمین ارائه شده است.

$$k_h = \frac{a_{\max}}{g} \quad a_{\max} \leq 200 \quad (1)$$

$$\left( 1Gal = 1 \frac{cm}{s^2} \right)$$

$$k_h = \frac{1}{3} \left( \frac{a_{\max}}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad a_{\max} > 200 \quad G \quad (2)$$

در این روابط  $k_h$ : ضریب شتاب افقی زلزله،  $a_{\max}$ : بیشینه شتاب افقی زلزله در سطح زمین (گال) و  $g$ : شتاب جاذبه زمین (برابر ۹۸۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه) می‌باشد. در استفاده از روابط فوق باید توجه داشت که مقادیر ضریب شتاب افقی به دست آمده از این طریق برای سازه‌های ویژه ( $S_2$ )،  $S_1$ ، و درجه اهمیت ۱/۵ قابل استفاده می‌باشند. درجه اهمیت سازه‌ها بر اساس کلاس و سطح عملکرد سازه مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. به این ترتیب، در صورتی که سازه مورد بررسی از نظر حساسیت در کلاسی پایین‌تر از سازه‌های فوق ویژه و ویژه باشد (کلاس A، B یا C) بایستی عدد به دست آمده برای ضریب شتاب افقی زلزله ( $k_h$ ) از روابط فوق در یکی از ضرایب کاهش طبق جدول ۲ ضرب شود [۲۰ و ۱۱].

### ۳-۲-۲- توصیه ویرایش جدید آیین‌نامه ژاپن (OCDI, ۲۰۰۹) [۱۶]

در ویرایش جدید آیین‌نامه دریایی ژاپن [۱۶]، برای محاسبه ضریب شتاب افقی زلزله، مطابق اشکال ۱ و ۲ بایستی عمل شود. شکل ۱ روش به دست آوردن پریود طبیعی زمین ( $T_b$ ) و پریود طبیعی بستر دریا ( $T_u$ ) را با استفاده از رابطه ۳ نشان می‌دهد. برای محاسبه  $T_u$  لایه خاکریزی پشت دیوار اسکله و لایه سنگ‌ریزی زیر دیوار اسکله در نظر گرفته نمی‌شود و فقط لایه‌های زیر بستر دریا ملاک عمل می‌باشد. برای محاسبه  $T_b$  کل لایه‌های زیر سطح زمین (خاکریزی پشت دیوار اسکله، لایه سنگ‌ریزی زیر دیوار اسکله و لایه‌های زیر بستر دریا) در نظر گرفته می‌شود.

زمانی شتاب حاصل از مطالعات لرزه‌خیزی در منطقه مورد نظر، تغییر مکان تاج دیوار اسکله به دست آمده و با مقادیر مجاز توصیه شده ویرایش جدید آیین‌نامه مذکور بر مبنای روش شبه استاتیکی مورد مقایسه قرار گرفته است.

### ۲- طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ای

در دهه‌های اخیر، روش طراحی سازه‌های ژئوتکنیکی به سمت بهینه شدن گام برداشته است، به طوری که دیگر طراحی این سازه‌ها برای بار گسیختگی نبوده، بلکه به عملکرد سازه قبل از گسیختگی و تغییر شکل‌های آن در طول عمر بهره‌برداری از آن نیز توجه می‌شود. در این نوع طراحی، سطوح مختلفی برای زلزله‌های طرح مشخص شده و برای هر یک مقدار خرابی مجاز تعیین می‌گردد. معمولاً با توجه به اهمیت اسکله‌های متداول بندری، دو سطح لرزه‌ای به عنوان زلزله‌های طرح استفاده می‌شوند که عبارتند از: الف) سطح یک ( $L_1$ ): به زمین لرزه‌ای اطلاق می‌گردد که در طول عمر مفید سازه احتمال وقوع آن ۵۰ درصد بوده و دوره بازگشت آن ۷۵ سال می‌باشد. ب) سطح دو ( $L_2$ ): به زمین لرزه‌ای اطلاق می‌گردد که در طول عمر مفید سازه احتمال وقوع آن ۱۰ درصد بوده و دوره بازگشت آن ۴۷۵ سال می‌باشد. به طور کلی مطابق آیین‌نامه‌های مذکور، گام‌های اصلی در طراحی بر مبنای عملکرد شامل موارد زیر است: ۱) انتخاب یک سطح عملکرد برای سازه مورد نظر با توجه درجه اهمیت آن ۲) تعیین معیار خرابی با مشخص کردن تراز خرابی مجاز به وسیله متغیرهایی همچون جابجایی، شرایط تنش حدی یا ضرایب شکل‌پذیری ۳) ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه که این ارزیابی عموماً با مقایسه نتایج تحلیل لرزه‌ای با معیار خرابی صورت می‌گیرد. در صورتی که نتایج تحلیل، معیار خرابی را تامین نکند، طرح مفروض یا سازه موجود باید اصلاح شود [۲۰ و ۱۱].

### ۳- محاسبه ضرایب شتاب معادل زلزله

#### ۳-۱- ضریب شتاب قائم معادل زلزله ( $k_v$ )

مطابق ویرایش قدیم آیین‌نامه ژاپن (OCDI, 2002) [۱۵] و راهنمای طراحی لرزه‌ای سازه‌های بنادر (PIANC) [۱۱]، مقدار ضریب شتاب قائم معادل زلزله ( $k_v$ ) برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. عملاً بسیاری از مشاهدات صورت گرفته در مورد زمین‌لرزه‌های رخ داده در گذشته نشان می‌دهد که مقدار این ضریب قائم ( $k_v$ ) خصوصاً در ساختگاه‌هایی که به کانون وقوع زلزله نزدیک نیستند، نسبت به ضریب شتاب افقی ( $k_h$ ) بسیار پایین و در طراحی قابل صرف نظر کردن است [۲۰].

جدول ۲. ضرایب کاهش برای ضریب افقی زلزله [۲۰ و ۱۱]

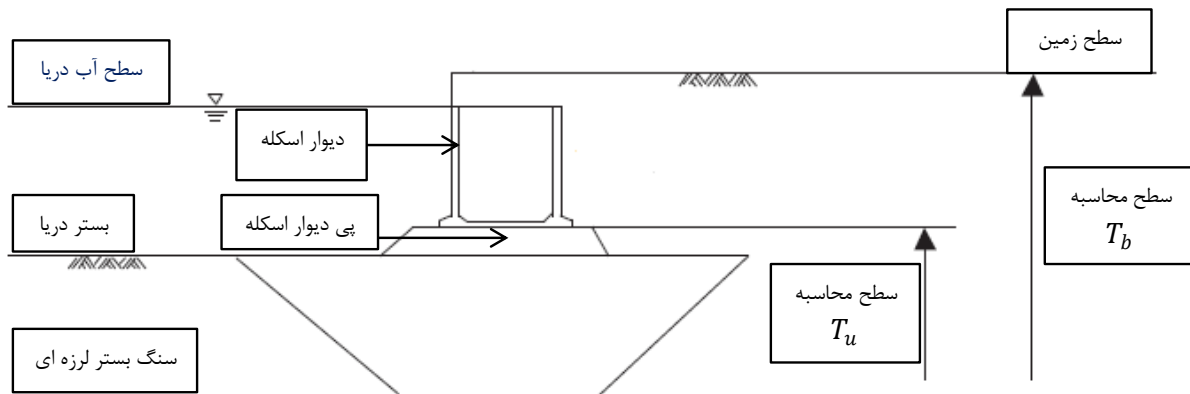
Table 2. Decreasing factors for horizontal earthquake coefficient [11] and [20]

ضریب کاهش	کلاس سازه
۰/۸	A
۰/۶۷	B
۰/۵۳	C

جدول ۱. ضریب اهمیت سازه بر اساس مشخصات سازه [۲۰ و ۱۱]

Table 1. Structure importance coefficient based on structure specifications [11] and [20]

ضریب اهمیت	نوع سازه
۱/۵	S1 (کلاس فوق ویژه)
۱/۵	S2 (کلاس ویژه)
۱/۲	A
۱/۰	B
۰/۸	C



شکل ۱. روش محاسبه پریود طبیعی زمین و بستر دریا ( $T_b$ ) و ( $T_u$ ) [۱۶]

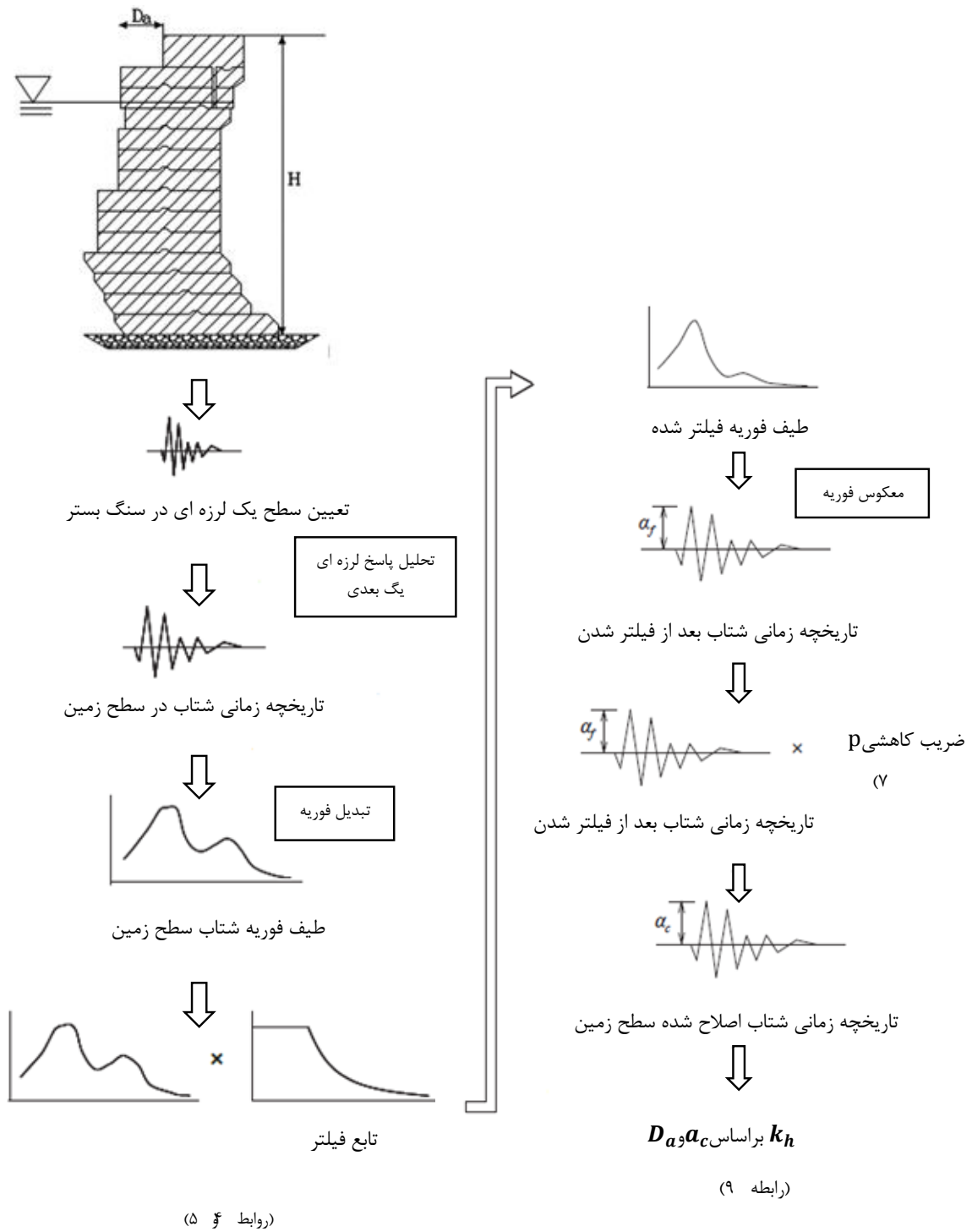
Fig. 1. Calculating method of the natural period of ground and seabed ( $T_b$ ) and ( $T_u$ ) [16]

مطالعاتی لرزه‌خیزی در محل باشد. همچنین بایستی بر اساس مطالعات لرزه‌خیزی در محل، سطح ۱ لرزه‌ای معین شود. سپس از تاریخچه‌ی زمانی شتاب نگاشت‌های مشخص شده تبدیل فوریه گرفته می‌شود تا طیف فوریه شتاب سطح زمین به دست آید. با استفاده از روابط ۴ و ۵ تابع فیلتر محاسبه شده، از اعمال تابع فیلتر بر طیف فوریه شتاب سطح زمین و با استفاده از معکوس فوریه، تاریخچه زمانی شتاب اصلاح شده (فیلتر شده) به دست می‌آید. در واقع با انجام موارد اشاره شده، بیشینه مقدار شتاب در سطح زمین یعنی  $\alpha_r$ ، تعیین می‌شود. در ادامه با استفاده از روابط ۶ تا ۸ مقدار شتاب حداکثر تصحیح شده ( $\alpha_c$ ) از حاصل ضرب بیشینه‌ی شتاب از تاریخچه

$$T = 4 \sum_i \frac{H_i}{V_{si}} \quad (۳)$$

در رابطه فوق،  $T$ : پریود طبیعی سطح زمین (بر حسب ثانیه)،  $H_i$ : ضخامت لایه  $i$  (بر حسب متر)،  $V_{si}$ : سرعت موج برشی در لایه  $i$  ام (بر حسب متر بر ثانیه) می‌باشد.

بر اساس شکل ۲، تاریخچه‌های زمانی شتاب باید طوری انتخاب شوند که بتوانند شرایط مشخصات زمین را در محل مورد نظر به درستی لحاظ نمایند، به بیان دیگر طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها باید منطبق بر طیف



شکل ۲. نمودار روش محاسبه  $k_h$  [۱۶]

Fig. 2. Diagram of  $k_h$  calculation method [16]

$$S = \sqrt{\sum acc^2} \quad (۸)$$

در روابط فوق  $\alpha_c$ : بیشینه شتاب تصحیح شده (بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه)،  $\alpha_f$ : بیشینه شتاب بعد از اعمال تابع فیلتر (بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه)،  $p$ : ضریب کاهش ( $p \leq 1$ )،  $S$ : ریشه مجموع مربعات تاریخچه زمانی شتاب (بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه)،  $acc$ : شتاب تبدیل شده بر اساس سطح ۱ لرزه‌ای (بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه) می‌باشد.

$$K_h = 1.78 \left( \left( \frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.55} \right) \frac{\alpha_c}{g} + 0.04 \quad (۹)$$

در رابطه ۹،  $k_h$ : ضریب شتاب افقی زلزله،  $D_a$ : تغییر مکان مجاز بالای دیوار در محدوده ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر (توصیه برابر ۱۰ سانتی‌متر)،  $D_r$ : تغییر شکل استاندارد (برابر ۱۰ سانتی‌متر) و  $g$ : شتاب جاذبه زمین (برابر ۹۸۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه) می‌باشد. مقدار ضریب شتاب افقی لرزه‌ای ( $k_h$ ) به دست آمده از رابطه ارائه شده نباید کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است روش فوق برای شرایط عدم وقوع روانگرایی تصریح شده است.

#### ۴- اسکله بلوکی بندر پتروشیمی پارس به عنوان مطالعه موردی

بندر پتروشیمی پارس در منطقه‌ی ویژه‌ی انرژی اقتصادی پارس (عسلویه) برای استخراج منابع نفت و گاز و صادرات تولیدات پتروشیمی احداث شده است. عسلویه در جنوب ایران در خلیج فارس و در ۲۷۵ کیلومتری شرق بوشهر واقع شده است. این بندر از نظر سطح لرزه‌خیزی، در منطقه پرخطر طبق مطالعات لرزه‌خیزی انجام شده قرار گرفته است [۲۱]. در این پروژه از دیوارهای بلوکی به دلیل دوام و سهولت احداث استفاده گردیده و با توجه به بالا بودن سطح لرزه‌خیزی منطقه، مقطع آن از نوع گوزپشتی طراحی شده که تاثیر بسزایی در کاهش فشار خاک دارد [۱۸].

اسکله‌های ساحلی مشتمل بر هفت اسکله با کاربری‌های متفاوت و دارای ۱۴ متر عمق آبخوری بوده به نحوی که تراز لایروبی در آن‌ها برابر CD -۱۴/۰ و تراز روی عرشه برابر CD +۶/۰ می‌باشد. در این مقاله به مطالعه پست ۱۱ اسکله به عنوان مطالعه موردی پرداخته شده است. پلان

زمانی فیلتر شده ( $\alpha_f$ ) در ضریب کاهش ( $p$ ) حاصل می‌شود. در نهایت مقدار ضریب شتاب افقی لرزه‌ای ( $k_h$ ) از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$a(f) = b \quad 0 < f \leq 1 \quad (الف)$$

$$a(f) = \frac{b}{1 - \left( \frac{f-1}{0.34} \right)^2 + 6.8 \left( \frac{f-1}{0.34} \right)^i} \quad 1 < f \quad (ب) \quad (۴)$$

$$b = 1.05 \frac{H}{H_R} - 0.88 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.23 \quad (ج)$$

در این روابط،  $a(f)$ : فیلتر با توجه به فرکانس موج زلزله،  $f$ : فرکانس (بر حسب هرتز)،  $H$ : ارتفاع دیوار (بر حسب متر)،  $H_R$ : ارتفاع دیوار استاندارد (برابر ۱۵ متر)،  $T_b$ : پریود طبیعی سطح زمین (بر حسب ثانیه)،  $T_{bR}$ : پریود استاندارد طبیعی سطح زمین (برابر ۰/۸ ثانیه)،  $T_u$ : پریود طبیعی بستر دریا (بر حسب ثانیه)،  $T_{uR}$ : پریود استاندارد طبیعی بستر دریا (برابر ۰/۴ ثانیه) و  $i$ : واحد موهومی می‌باشد.

مقدار  $b$  بر اساس رابطه ۵ تعیین می‌شود. صرف نظر از بازه مشخص شده در این رابطه، مقدار  $b$  نباید کمتر از ۰/۲۸ در نظر گرفته شود.

$$0.04H + 0.08 \leq b \leq 0.04H + 0.44 \quad (۵)$$

در این رابطه  $H$ : ارتفاع دیوار (بر حسب متر) می‌باشد.

$$\alpha_c = \alpha_f P \quad (۶)$$

$$P = 0.36Ln \left( \frac{S}{\alpha_f} \right) - 0.29 \quad (۷)$$



شکل ۳. موقعیت اسکله‌های بندر پتروشیمی به عنوان مطالعه موردی

Fig. 3. Location of the quay walls of the Petrochemical Port as a case study

#### ۴-۲- مشخصات مصالح سنگی

به منظور پر کردن پشت دیوار اسکله و جلو پنجه آن، از مصالح سنگی حاصل از معادن سنگ استفاده شده است. جدول ۴ نشان دهنده پارامترهای مصالح به کار گرفته شده می‌باشد [۲۰].

#### ۴-۳- تحلیل خطر لرزه‌ای [۲۱]

تحلیل خطر لرزه‌ای می‌تواند با دو رویکرد مبنایی تعینی و احتمالاتی صورت پذیرد. جهت تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه از این دو رویکرد بهره گرفته شده است.

#### ۴-۳-۱- رویکرد تعینی

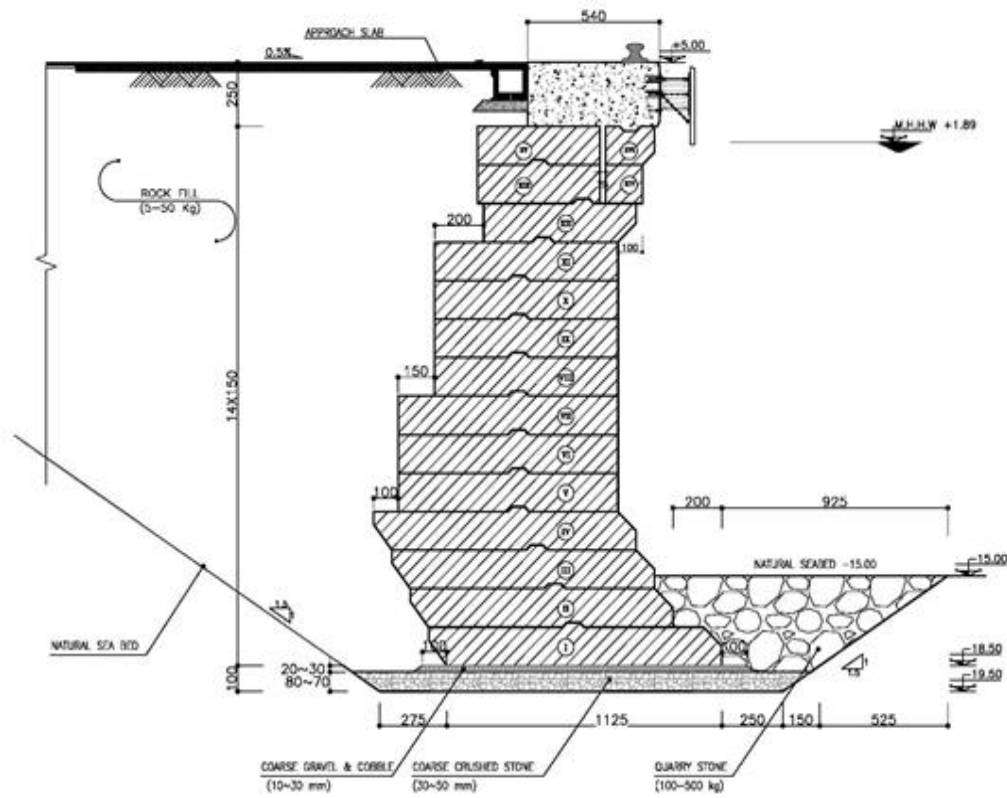
تحلیل‌های تعینی به آن دسته تحلیل‌هایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها مدل‌ها یا رخدادهای تک مقداره مجزا جهت تعریف خطر لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. انجام این تحلیل مستلزم تعریف سه پارامتر مبنایی، منبع زلزله (گسل)، یک زلزله کنترل کننده (Controlling Earthquake) با اندازه مشخص و شتاب حداکثر سطح زمین در فاصله معینی از سایت می‌باشد.

این بندر و مقطع اسکله بلوکی پست ۱۱ به ترتیب در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده است.

#### ۴-۱- شرایط ژئوتکنیکی منطقه [۲۰]

جهت شناخت بافت تحت الارزی در محدوده اسکله ساحلی در بندر پتروشیمی، مطالعات ژئوتکنیک توسط مهندسین مشاور ساحل و فوگرو به طور جداگانه انجام شده است. این مطالعات نشان دهنده متغیر بودن بافت خاک در طول اسکله‌های ساحلی این بندر می‌باشد. بر اساس این مطالعات، لایه اول شامل شن بسیار متراکم به همراه لای، ماسه و قلوه سنگ بوده و لایه دوم مشتمل بر یک لایه ماسه لای‌دار بسیار متراکم می‌باشد که زیر این لایه، یک لنز سیلتی سفت قرار دارد. لایه چهارم تا انتهای گمانه‌ها، از شن و ماسه رس و لای‌دار متراکم تشکیل شده است. در اعماق مختلف، آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) انجام شده و همچنین بر روی نمونه‌های دست خورده اخذ شده از اعماق مختلف، آزمایش‌های شناسایی فیزیکی خاک و آزمایش برش مستقیم انجام گرفته است. پروفیل طراحی ژئوتکنیکی در این محدوده با رعایت جوانب احتیاط لازم به صورت جدول ۳ پیشنهاد شده است.





شکل ۴. مقطع عرضی اسکله بلوکی پست ۱۱ بندرپتروشیمی [۲۰]

Fig. 4. The cross-section of block baken-back quay wall of the Petrochemical Port

جدول ۳. پروفیل طراحی ژئوتکنیکی در محل اسکله [۲۰]

Table 3. Geotechnical design profiles for wharf location [20]

$\nu$	E (MPa)	$\phi$ (deg)	C (kPa)	$\gamma_{Sat}$ ( $\frac{kN}{m^3}$ )	وضعیت تراکم یا سفتی	ضخامت (متر)	تراز نسبت به CD* (متر)	توصیف لایه
۰/۳	۸۰	۴۵	۰	۲۱	بسیار متراکم	۱۲	-۱۱ ~ -۲۳	شن لای دار به همراه قلوه سنگ
۰/۳	۶۰	۳۸	۰	۲۰	متراکم	۳	-۲۳ ~ -۲۶	شن و ماسه به همراه لای
۰/۳	۱۰	۳۴	۰	۲۰	سفت	۱	-۲۶ ~ -۲۷	لنز لای و رس ماسه دار
۰/۳	۱۲۰	۴۵	۰	۲۱	بسیار متراکم	-	>-۲۷	شن لای دار به همراه ماسه و قلوه سنگ

\*: مبنا برای تراز سطح آب دریا



جدول ۴. پارامترهای به کار گرفته شده برای مصالح سنگی [۲۰]

Table 4. Parameters used for stone materials [20]

$\nu$	E (MPa)	$\delta$ (deg)	$\phi$ (deg)	C (kPa)	$\gamma_{dry}$ ( $\frac{kN}{m^3}$ )	$\gamma_{Sat}$ ( $\frac{kN}{m^3}$ )	اندازه دانه‌ها	مصالح
۰/۳	۵۰۰	۲۰	۴۰	۰	۱۸	۲۰	۵-۵۰ کیلوگرم	سنگریز پشت دیوار (Backfill)
۰/۳	۵۰۰	۳۱	۴۵	۰	۱۸	۲۰	۳۰-۵۰ میلی متر	سنگریز زیر پی دیوار
۰/۳	۵۰۰	۳۱	۴۵	۰	۱۸	۲۰	۱۰۰-۵۰۰ کیلوگرم	سنگریز جلوی پنجه دیوار
۰/۲	۲۰۰۰۰	-	-	-	-	۲۴/۵	-	بلوک‌های بتنی

۴-۳-۲- رویکرد احتمالاتی

بر خلاف تحلیل تعیینی که در آن مدل‌ها یا رخدادهای تک مقدره مجزا جهت تعیین خطر لرزه‌ای مورد استفاده است در رویکرد احتمالاتی از مقادیر چندگانه یا رخدادهای پیوسته استفاده می‌شود. در گام اول جهت تحلیل خطر احتمالاتی منابع لرزه‌زا که قادر به تاثیرگذاری در موقعیت مد نظر جهت ارزیابی خطر هستند مورد شناسایی قرار می‌گیرد. یک زون لرزه‌زا در تحلیل خطر احتمالاتی ترکیبی (نقطه، خط یا سطح) است که در آن فرض بر آن است که زلزله با نرخ یکسانی از لحاظ اندازه یا بزرگا بر روی آن صورت می‌پذیرد.

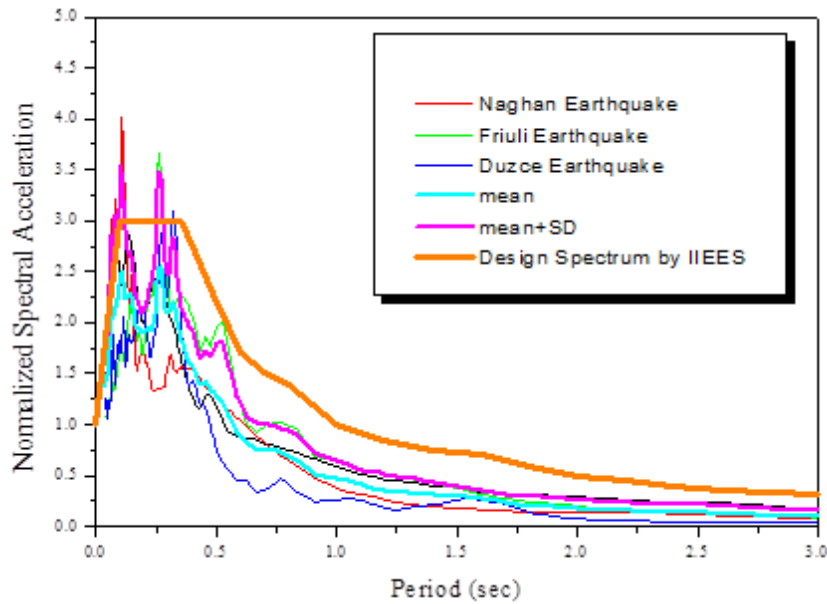
بر این اساس با استفاده از روش تعیینی و روابط کاهندگی ارائه شده توسط زارع و همکاران (۱۹۹۹)، برای ناحیه زاگرس و در نظر گرفتن ۳۷٪ و ۵۰٪ طول گسل به عنوان طول‌های شکست احتمالی حداکثر شتاب‌های زلزله ممکن برابر با  $g/48$  و  $g/61$  تخمین زده شده است. PGA تخمین زده شده افقی و قائم برای احتمالات مختلف وقوع زلزله مورد محاسبه قرار گرفته است. این مقادیر برای اهداف مختلف طراحی قابل استفاده می‌باشد. مقادیر PGA افقی برای دوره‌های بازگشت ۷۵ و ۴۷۵ ساله به ترتیب به میزان  $g/23$  و  $g/42$  برآورد شده است.

۴-۴- مطالعات لرزه خیزی منطقه [۲۱]

جهت تعیین پاسخ لرزه‌ای سطح زمین، مطالعات کامل ژئوتکنیکی و ژئوسایزیمیک توسط پژوهشگاه زلزله در سال ۱۳۸۰ در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است. برای تعیین مشخصات کلی لایه‌های تحت الارضی ساختگاه، داده‌های گمانه‌های ژئوتکنیکی حفر شده در منطقه (۱۳ لوگ) به همراه پروفیل‌های ژئوسایزیمیک در ۱۲ نقطه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مطالعات ژئوسایزیمیک بیانگر آن است که به جز یک لایه ۲ متری در سطح زمین (متوسط سرعت موج برشی ۲۵۰ متر بر ثانیه)، سرعت موج برشی اغلب لایه‌ها بالاتر از ۸۰۰ متر بر ثانیه و میانگین سرعت موج برشی ۳۰ متر اول بیش از ۱۲۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد.

۴-۵- طیف طراحی منطقه [۲۱]

طیف طراحی پیشنهادی برای سایت عسلویه بر مبنای منابع لرزه‌زای غالب واقع در نزدیکی سایت و با استفاده از رکوردهای میدان نزدیک ارائه شده است. با این حال، علیرغم اینکه منابع لرزه‌زای میدان دور موجود صرفاً قابلیت ایجاد شتاب‌های حداکثر سطحی پایین در منطقه داشته اما با توجه به اثرات احتمالی آن‌ها در محدوده پرونده‌های بالای طیف، آثار محتمل آن‌ها نیز در محاسبات طیف طرح ساختگاه در نظر گرفته شده است. یادآور می‌شود که در کلیه واحدهای مش پایه و نیز کلیه محدوده‌های فرکانسی شتاب‌های



شکل ۵. طیف پاسخ نرمال شده زلزله‌های انتخابی جهت تحلیل دینامیکی در مقایسه با طیف طراحی ساختمان‌گاه عسلویه [۲۱]

Fig. 5. Normalized response spectra of selected earthquakes for dynamic analysis in comparison with the design spectrum of Assaluyeh site [21]

به ذکر است که در تمامی شتاب‌نگاشت‌ها اصلاح خط مبنا (Baseline Correction) و اعمال فیلتر پائین گذر (Low pass) انجام شده است. منحنی‌های طیف پاسخ شتاب برای هر یک از این زلزله‌ها محاسبه شده است. در شکل ۵ طیف‌های مربوط به زلزله‌های فریولی<sup>۱</sup> (۱۹۷۶)، ناغان<sup>۲</sup> (۱۹۷۷) و دوزجی<sup>۳</sup> (۱۹۹۹) و طیف پیشنهادی برای سایت عسلویه نشان داده شده است. همچنین تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده با سطح ۱ لرزه‌ای و طیف فوریه زلزله‌های انتخابی در شکل ۶ نشان داده شده است.

#### ۵- محاسبه ضریب شتاب افقی ( $k_h$ ) اسکله بلوکی بندر پتروشیمی پارس

۱- روش ویرایش قدیم آیین‌نامه ژاپن (OCDI, 2002) [۱۵]

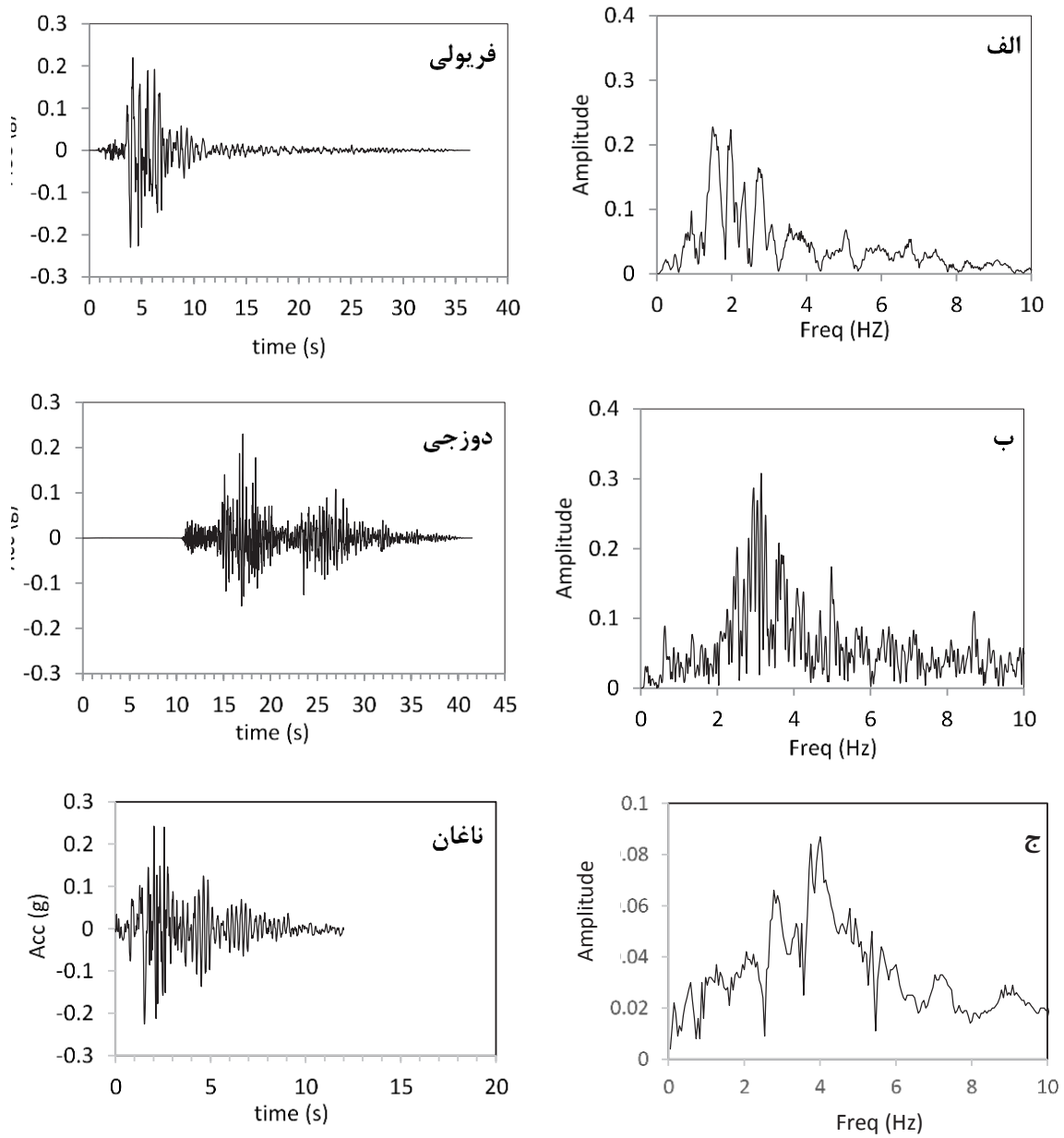
با توجه به اهمیت بندر پتروشیمی پارس، سطح عملکرد در نظر گرفته شده برای طراحی اسکله، سطح، با معیار خرابی "قابل استفاده" برای زلزله سطح ۱ می‌باشد [۱۵]. بر این اساس، مقدار ضریب  $k_h$  از رابطه ۲ محاسبه شده و نتیجه در جدول ۵ ارائه شده است.

- 1 Friuli
- 2 Naghan
- 3 Duzce

طیفی محاسبه شده میدان دور کمتر از آنچه در طیف طرح پیشنهادی ارائه شده می‌باشد. طیف طرح پیشنهادی علاوه بر این با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و UBC (۱۹۹۷) اروپا نیز مورد مقایسه قرار گرفته است. در پرونده‌های کمتر از ۰/۴ ثانیه مقادیر طیف طرح پیشنهادی نزدیک به نتایج آیین‌نامه (۱۹۹۷) UBC می‌باشد. حال آن که در محدوده پرونده‌های بیش از ۰/۴ ثانیه مقادیر آن ما بین طیف‌های پیشنهادی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و UBC (۱۹۹۷) اروپا واقع شده است.

#### ۴-۶- انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها [۲۱]

شتاب‌نگاشت‌های ورودی مورد نیاز جهت تحلیل دینامیکی هر نوع سازه یا ساختمان باید به گونه‌ای انتخاب شوند که با خصوصیات لرزه‌خیزی و نیز شرایط محلی ساختمان متناسب باشند. در انتخاب این شتاب‌نگاشت‌ها عواملی از قبیل: نوع گسل و شرایط ساینموتکتونیکی محل، عمق کانونی زمین‌لرزه، فاصله رومرکزی، بزرگای زمین‌لرزه، زمان تداوم حرکت توامند زمین، خصوصیات خاک و حداکثر شتاب منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. بر این اساس جهت انتخاب شتاب‌نگاشت‌های منطبق بر شرایط لرزه‌خیزی منطقه عسلویه از چندین بانک اطلاعاتی موجود استفاده شده است. لازم



شکل ۶. شتاب‌نگاشت‌های انتخابی مقیاس شده سطح ۱ لرزه‌ای (۰/۲۳ g) و طیف‌های فوریه (الف- فریولی، ب- دوزجی، ج- ناغان)

Fig. 6. Selective scaled acceleration time history of seismic level 1 (0.23g) and Fourier spectra (a-Friuli, b-Duzcy, c-Naghan)

جدول ۵. مقدار ( $k_h$ ) اسکله بندر پتروشیمی پارس بر اساس ویرایش قدیم آیین نامه ژاپن [۱۵]

Table 5.  $k_h$  values of Pars Petrochemical Port quay wall based on the old version of Japanese maritime code [15]

$k_h$	ضریب کاهش (سطح) (A)	کلاس سطح عملکرد	$a_{max}$	سطح لرزه‌ای	زلزله‌های انتخابی
۰/۱۶۳	۰/۸	A	۰/۲۳g	۱	فریولی، دوزجی و ناغان

جدول ۶. مقدار ( $k_h$ ) اسکله بندر پتروشیمی پارس بر اساس ویرایش جدید آیین نامه ژاپن [۱۶]

Table 6.  $k_h$  values of Pars Petrochemical Port quay wall based on the new version of Japanese maritime code [16]

$k_h = 1.78 \left( \left( \frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.55} \frac{\alpha_c}{g} + 0.04 \right)$ رابطه (۹)				فرکانس غالب	$a_{max}$	سطح لرزه‌ای	زلزله‌های انتخابی
$D_a$ (cm)				زلزله‌های انتخابی			
۲۰	۱۵	*۱۰	۵	(هرتز)			
۰/۱۴۸	۰/۱۶۷	۰/۱۹۹	۰/۲۷۲	۱/۹۸	۰/۲۳g	۱	فریولی
۰/۰۹۶	۰/۱۰۶	۰/۱۲۳	۰/۱۶۱	۳/۱۵	۰/۲۳g	۱	دوزجی
۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۱۰	۰/۱۲۸	۴	۰/۲۳g	۱	ناغان

\*مقدار مجاز برای محاسبه ضریب شتاب افقی ( $k_h$ )

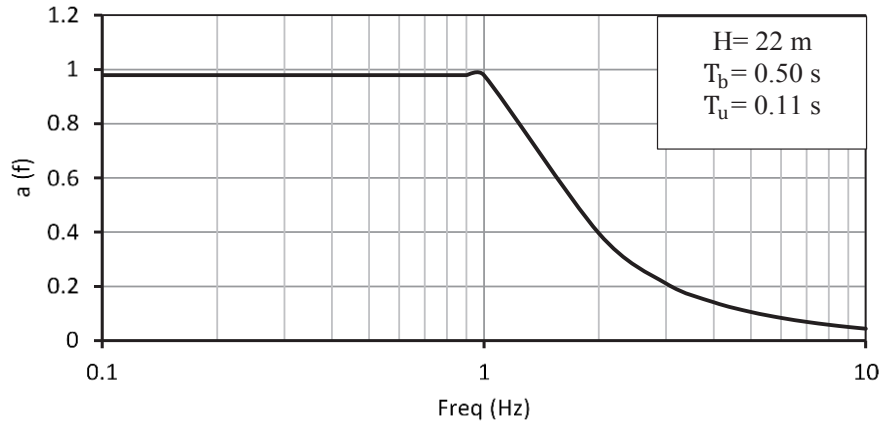
۱۰ سانتی‌متر) حاصل می‌شود. شکل ۸ نمودارهای ضریب افقی لرزه‌ای در فرکانس‌های مختلف بر اساس زلزله‌های انتخابی و  $D_a$  برابر ۱۰ سانتی‌متر را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. مقادیر ضریب  $k_h$  محاسبه شده بر اساس ویرایش جدید آیین نامه ژاپن [۱۶] در جدول ۶ نشان داده شده است.

۵-۳- مقایسه نتایج بر اساس ویرایش قدیم و جدید آیین نامه ژاپن [۱۵] و [۱۶]

نتایج حاصل شده نشان می‌دهند که برای هر سه شتاب‌نگاشت انتخابی بر اساس ویرایش قدیم [۱۵] یک ضریب  $k_h$  به مقدار ۰/۱۶۳ به دست آمده در حالی که بر اساس ویرایش جدید [۱۶] هر شتاب‌نگاشت دارای یک ضریب  $k_h$  مربوط به خود بوده و انجام دقیق مطالعات لرزه‌خیزی در محل و انتخاب صحیح شتاب‌ها می‌تواند در این خصوص تعیین کننده باشد. بر طبق رابطه ارائه شده در ویرایش قدیم [۱۵] تنها عامل شتاب‌نگاشت‌های انتخابی

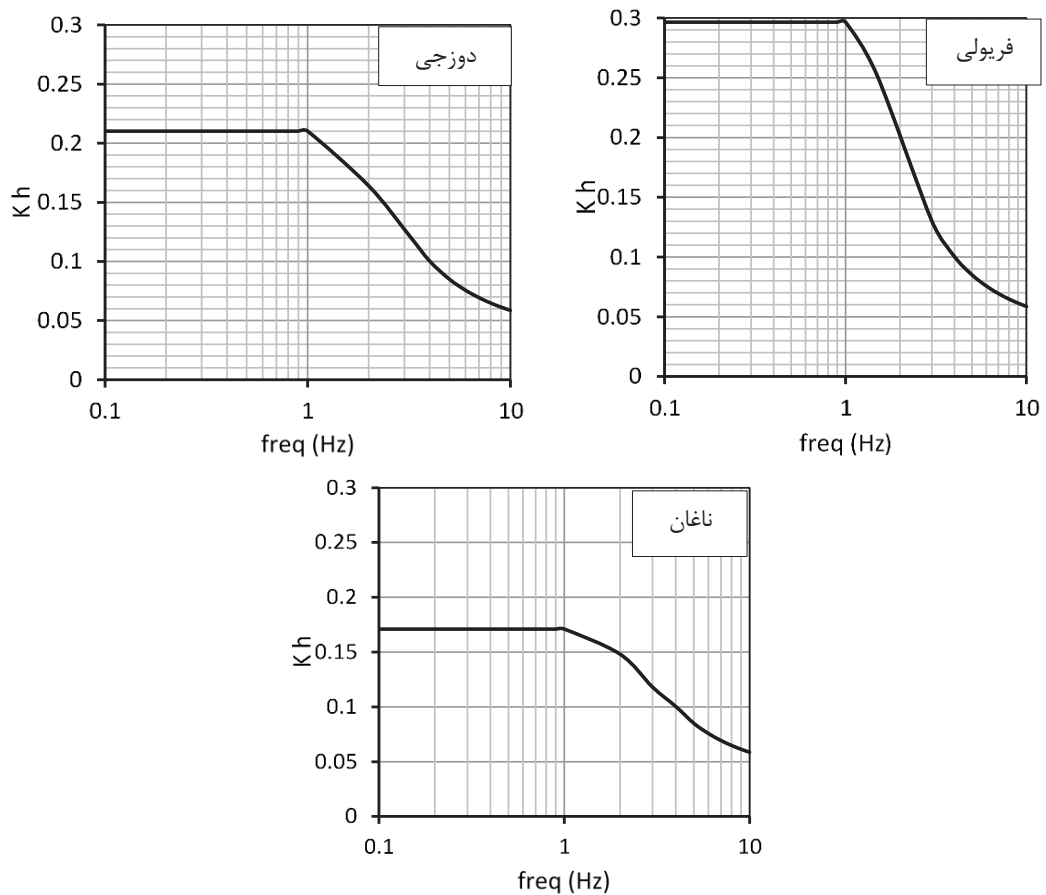
۵-۲- روش ویرایش جدید آیین نامه ژاپن (OCDI,2009) [۱۶]

بر پایه گزارش مطالعات ژئوتکنیکی منطقه، میانگین سرعت موج برشی از بین داده گمانه‌های ژئوتکنیک و ژئوسایزیمیک حفر شده در منطقه (۱۳ لوگ) در ۳۰ متر اول سطح زمین برابر ۱۲۰۰ متر بر ثانیه [۲۱] و سرعت موج برشی در لایه‌های خاکریز پشت دیوار اسکله و لایه سنگ‌ریزی زیر دیوار اسکله مطابق توصیه ویرایش جدید آیین نامه ژاپن [۱۶] به ترتیب برابر ۲۲۵ و ۳۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد. بر این اساس مقادیر  $T_b$  و  $T_u$  از رابطه ۳ به دست می‌آید و با استفاده از روابط ۴ و ۵ تابع فیلتر رسم می‌شود. شکل ۵ تابع فیلتر اسکله بندر پتروشیمی را نشان می‌دهد. با توجه به روابط ۶ تا ۸ تاریخچه زمانی شتاب اصلاح شده سطح زمین محاسبه می‌شود. ضریب شتاب افقی ( $k_h$ ) مطابق رابطه ۹ و بر اساس محدوده مقدار تغییر مکان افقی ( $D_a$ ) بالای دیوار اسکله برابر ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر (مقدار مجاز



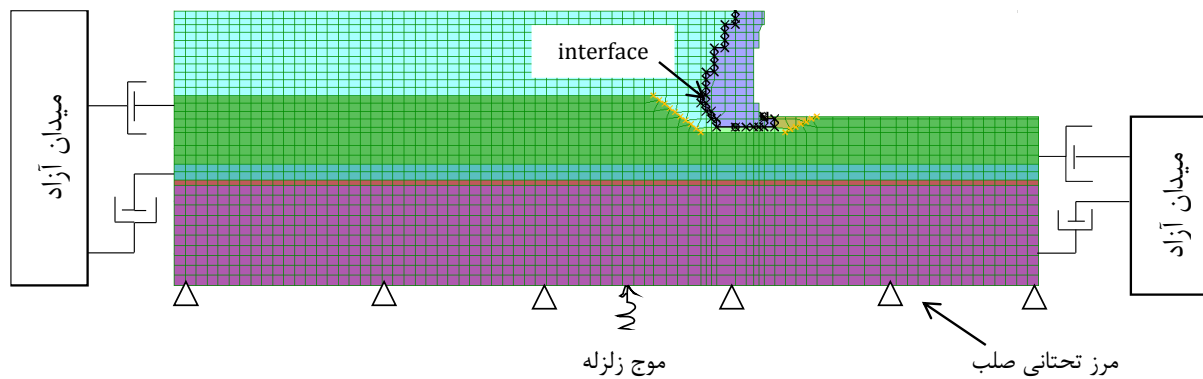
شکل ۷. تابع فیلتر اسکله بندر پتروشیمی پارس

Fig. 7. Filter function of Pars Petrochemical Port



شکل ۸. نمودارهای ضریب افقی لرزه‌ای بر اساس شتاب‌نگاشت‌های انتخابی سطح ۱ لرزه‌ای و  $D_a = 10\text{cm}$  بر مبنای ویرایش جدید آیین‌نامه ژاپن (OCDI, ۲۰۰۹) [۱۶]

Fig. 8. Horizontal seismic coefficient diagrams based on selected accelerations of seismic level 1 and  $D_a = 10\text{cm}$  according to the new version of the Japanese maritime code (OCDI, 2009) [16]



شکل ۹. مدل هندسی اسکله بلوکی گوزپشته بندر پتروشیمی پارس در نرم افزار FLAC2D

Fig. 9. 2D modeling of Pars Petrochemical Port broken-back quay wall in FLAC2D

برای محاسبه ضریب  $k_n$ ، حداکثر شتاب سطح زمین (PGA) می‌باشد و مابقی خصوصیات (ارتفاع دیوار، تأثیر ویژگی‌های فرکانس، مدت زمان موج زلزله و پریرود طبیعی زمین) را شامل نمی‌شود. بر این اساس، می‌توان ذکر نمود که رابطه پیشنهادی در ویرایش جدید [۱۶] کامل‌تر از ویرایش قدیم [۱۵] می‌باشد.

### ۶- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

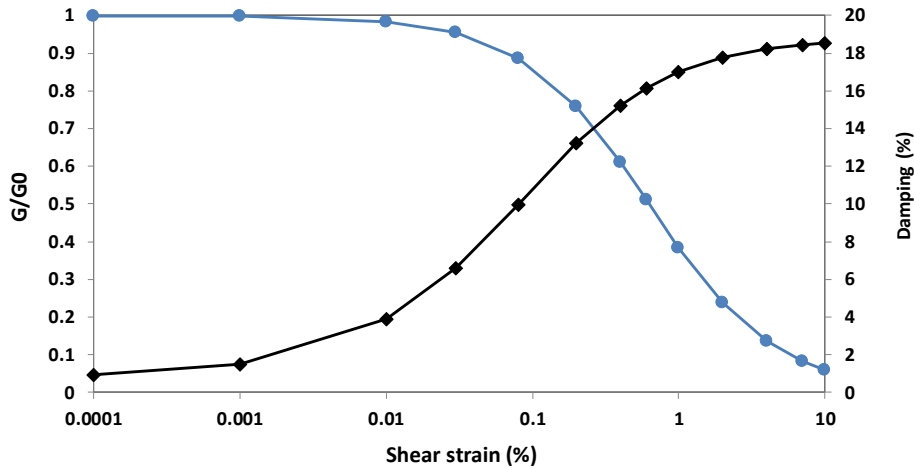
هدف از انجام تحلیل دینامیکی با استفاده از نرم افزار تفاضل محدود FLAC2D، تعیین تغییر مکان افقی بالای اسکله و بررسی آن با روابط و مقدار مجاز ویرایش جدید آیین‌نامه ژاپن [۱۶] برای محاسبه ضریب شتاب افقی ( $k_n$ ) می‌باشد. در این مقاله مدل‌سازی اسکله با توجه به طول زیاد اسکله و رفتار کرنش مسطح (Plane Strain) آن، بر اساس مقطع عرضی (شکل ۴) صورت گرفته است. مدل ساخته شده در نرم افزار FLAC2D در شکل ۹ و مشخصات مصالح دیوار و خاک پیرامون آن در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. در مدل‌سازی، مدل رفتاری خاک پیرامونی اسکله موهر-کولمب در نظر گرفته شده است. ارتفاع اسکله ۲۲ متر و عرض آن ۱۱/۲۵ متر متشکل از قطعات بتنی بوده و در مدل‌سازی، رفتار الاستیک فرض شده است. زاویه اصطکاک بین دیوار و پی ۴۰ درجه و زاویه بین خاکریز و دیوار ۱۵ درجه می‌باشد. نظر به این که این دیوار امکان جابجایی و لغزش نسبت به محیط خاکی اطراف خود دارد، اندرکنش بین خاک و دیوار با استفاده از المان‌های فصل مشترک (Interface) شبیه‌سازی می‌شود. در برنامه

$$K_s = 10 \max \left[ \frac{K + \left( \frac{4}{3} G \right)}{\Delta_{z \min}} \right] \quad (10)$$

$$K_n = 10 \max \left[ \frac{K + \left( \frac{4}{3} G \right)}{\Delta_{z \min}} \right] \quad (11)$$

در این روابط  $k_n$  و  $k_s$  مقادیر سختی معادل در راستای برشی و نرمال،  $K$  مدول بالک،  $G$  مدول برشی و  $\Delta_{z \min}$  کوچک‌ترین بعد مش‌بندی در راستای قائم بر سطحی است که پارامتر فصل مشترک بر آن معرفی می‌شود.

باید توجه داشت که در حین تحلیل استاتیکی مرزهای مدل در راستای افقی، در دو جهت X و Y و در راستای قائم، در جهت X بسته می‌باشند. با



شکل ۱۰. منحنی کاهش مدول برشی و میرایی برای خاک شنی [۱۲]

Fig. 10. Shear modulus reduction and damping curves for sandy soil layer [12]

دو دسته میرایی هستریزیس و میرایی رایلی تقسیم‌بندی نمود [۶].

#### ۶-۱-۱- میرایی هستریزیس

این نوع از میرایی در واقع میرایی طبیعی مصالح ژئوتکنیکی بوده و به نوعی در واقعیت جزئی از خصوصیات آن محسوب می‌شود. زمانی که از میرایی هستریزیس استفاده می‌شود، نیازی به استفاده از میرایی رایلی نبوده و یا اینکه حداکثر به ۰/۲ درصد (معادل ۰/۰۰۲) محدود شود. میرایی هستریزیس را می‌توان از طریق تعریف یک سری توابع پیش فرض برای ایجاد منحنی کاهش مدول برشی در زمان تحلیل دینامیکی به مدل رفتاری افزود. در این حالت لازم است برای تعیین پارامترهای این توابع از داده‌های واقعی جهت تطبیق منحنی کاهش مدول برشی و افزایش میرایی استفاده نمود [۶]. به عنوان نمونه شکل ۱۰، منحنی کاهش مدول برشی و افزایش

میرایی برای خاک شنی [۱۲] بر حسب کرنش برشی را نشان می‌دهد.

منحنی مذکور دلالت بر نمودار تنش-کرنش به شکل غیرخطی دارد. اگر فرض کنیم خاک ایده آل، خاکی است که تنش آن فقط به کرنش (تحت تعداد سیکل یا زمان) بستگی داشته باشد در آن صورت خواهیم داشت [۶]:

$$\tau = \gamma G_0 \quad (12)$$

$$\bar{\tau} = \gamma = \frac{\tau}{G_0} \quad (13)$$

توجه به اینکه سرعت موج برشی اغلب لایه‌ها بالاتر از ۸۰۰ متر بر ثانیه و میانگین سرعت موج برشی ۳۰ متر اول بیش از ۱۲۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد [۲۱]، مرز تحتانی مدل صلب در نظر گرفته شده است. بر اساس توصیه مرجع ۶، ابعاد المان‌ها به اندازه محدوده یک هشتم تا یک دهم حداقل طول موج ورودی انتخاب شده و به منظور حذف اثرات ناشی از امواج برگشتی، مرزهای جانبی از نوع مرز محیط آزاد (Free-field) در فاصله‌ای از دیوار انتخاب شده‌اند تا در اثر میرایی مصالح خاکی، امواج ساطع شده از دیوار قبل از رسیدن به مرزها زایل گردند. هم‌چنین از شتاب‌نگاشت‌های اشاره شده در قبل بر اساس سطح ۱ لرزه‌ای (g/۰/۲۳) به عنوان موج‌های ورودی استفاده شده است.

#### ۶-۱- میرایی مصالح در تحلیل دینامیکی

بخش عمده‌ای از انرژی گسترش یافته در یک محیط ژئوتکنیکی صرف غلبه بر اصطکاک بین ذرات و بخشی دیگر سبب پیدایش کرنش‌های برگشت ناپذیر (پلاستیک) می‌شود. لذا با انتشار موج در درون یک محیط ژئوتکنیکی به تدریج از انرژی آن کاسته شده و به عبارتی میرا می‌گردد. چرا که در غیر این صورت، اعمال یک نیرو بر یک سیستم، سبب نوسان آن تا مدت نامحدودی می‌گردد. بدین ترتیب میرایی مصالح به عنوان جزء لاینفکی از ذات مصالح ژئوتکنیکی تلقی می‌گردد. عدم توجه به این پارامتر در تحلیل‌های دینامیکی می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار داده و پاسخ‌های غیرقابل قبولی را ارائه نماید. به طور کلی در یک تحلیل دینامیکی، میرایی را می‌توان به



جدول ۷. پارامترهای لازم برای ایجاد میرایی هستریزیس از نوع sig3

Table 7. The parameters for creating hysteresis damping of sig3 type

مقادیر ورودی به نرم افزار FLAC2D			نوع مصالح
$X_0$	b	a	
-۰/۲	-۰/۳۷۹۲	۱	شن (رولینز و همکاران، ۱۹۹۸) [۱۲]
-۱/۲۴۹	-۰/۴۷۹۲	۱/۰۱۴	ماسه (سید و ادريس، ۱۹۷۰) [۶]
-۰/۶۳۳	-۰/۵۸۷	۱/۰۱۷	لای و رس (سان و همکاران، ۱۹۸۸) [۶]
-۲/۱۲	-۰/۷۸۹۲	۱/۰۵	خاکریز پشت دیوار (ژو و همکاران، ۲۰۱۷) [۱۷]

رولینز<sup>۱</sup> و همکاران برای خاک شنی [۱۲]، سید و ادريس<sup>۲</sup> برای خاک ماسه‌ای [۶]، سان و همکاران<sup>۳</sup> برای خاک لای و رسی [۶]، ژو و همکاران<sup>۴</sup> برای خاکریز پشت دیوار اسکله [۱۷] به عنوان منحنی‌های کاهش مدول برشی و افزایش میرایی استفاده شده است. به علاوه اینکه، برای حذف نویز<sup>۵</sup> در فرکانس‌های بالا از میرایی رایلی به مقدار ۰/۰۰۲ درصد نیز به کارگیری شده است [۶]. پارامترهای مدل sig3 در جدول ۷ ارائه شده و شکل ۱۱ نمونه‌ای از انطباق مدل sig3 با رابطه تجربی رولینز برای خاک شنی [۱۲] را نشان می‌دهد.

#### ۶-۲- فشار هیدرودینامیکی آب

در هنگام وقوع زلزله، آب دریا یک نیروی اضافی به دیوار اعمال می‌کند. در حالت بحرانی، این نیرو به صورت اضافه فشار ناشی از فشار هیدرودینامیکی آب ( $P_{dw}$ ) بر دیوار اعمال می‌شود. محاسبه فشار هیدرودینامیکی آب ( $P_{dw}$ ) به کمک رابطه ۱۷ صورت می‌پذیرد [۲۰ و ۶].

$$P_{dw} = \frac{7}{8} K_h \gamma_w (H_w y)^{0.5} \quad (17)$$

$$M_s = \frac{\tau}{\gamma} \rightarrow \bar{\tau} = M_s \gamma \quad (14)$$

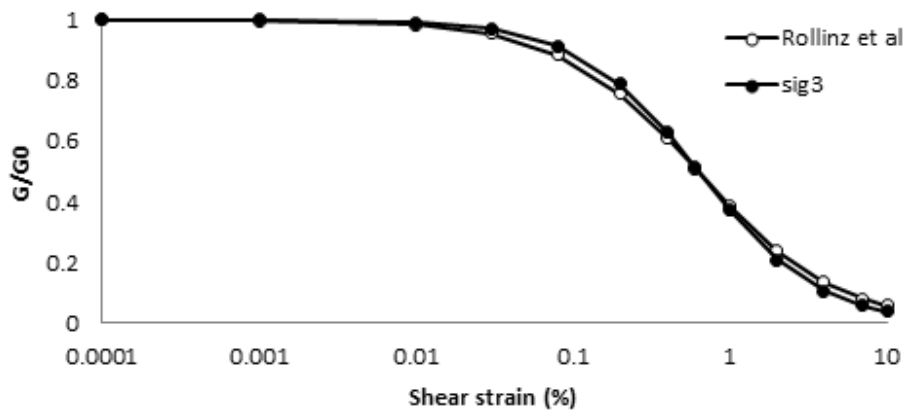
$$M_t = \frac{d\bar{\tau}}{d\gamma} = M_s + \gamma \frac{dM_s}{d\gamma} \quad (15)$$

در روابط فوق،  $\tau$ : تنش برشی،  $G_0$ : مدول برشی کرنش‌های کم،  $\gamma$ : کرنش برشی،  $\bar{\tau}$ : تنش برشی نرمالایزه،  $M_s$ : مدول وتري نرمالایز شده که به کرنش برشی بستگی دارد و  $M_t$ : مدول مماسی نرمالایز شده می‌باشند. در نرم افزار FLAC2D چهار نوع مدل (default, sig3, sig4 و Hardin) به عنوان توابع مدول وتري نرمالایز شده ( $M_s$ ) گنجانده شده است. برای نمونه، رابطه ۱۶ برای مدل sig3 ارائه شده است [۶].

$$M_s = \frac{a}{1 + \exp\left(\frac{L - x_0}{b}\right)} \quad L = \log_{10}(\gamma) \quad (16)$$

در این رابطه مقادیر  $x_0$ ,  $a$ ,  $b$  بر اساس منحنی کاهش مدول برشی مصالح و به صورت آزمون سعی و خطا توسط کاربر تعیین می‌شوند. در این مقاله برای ایجاد مدل sig3 میرایی هستریزیس از روابط تجربی

- 1 Rollinz et al
- 2 Seed & Adris
- 3 Sun et al
- 4 Zhou et al
- 5 noise



شکل ۱۱. انطباق منحنی کاهش مدول برشی برای خاک شنی [۱۲] با مدل sig3

Fig. 11. Matching of shear modulus reduction curve for sandy soil layer [12] with sig3 model

دست آوردن ضریب  $k_{H_1}$  در ویرایش جدید آیین‌نامه ژاپن نسبت به ویرایش قدیم آن کامل‌تر بوده و می‌تواند به پیش‌بینی عملکرد لرزه‌ای و طراحی بهتر اسکله‌های وزنی بر مبنای مطالعات دقیق لرزه‌خیزی در محل مورد نظر، کمک شایانی نماید.

### ۷- نتیجه‌گیری

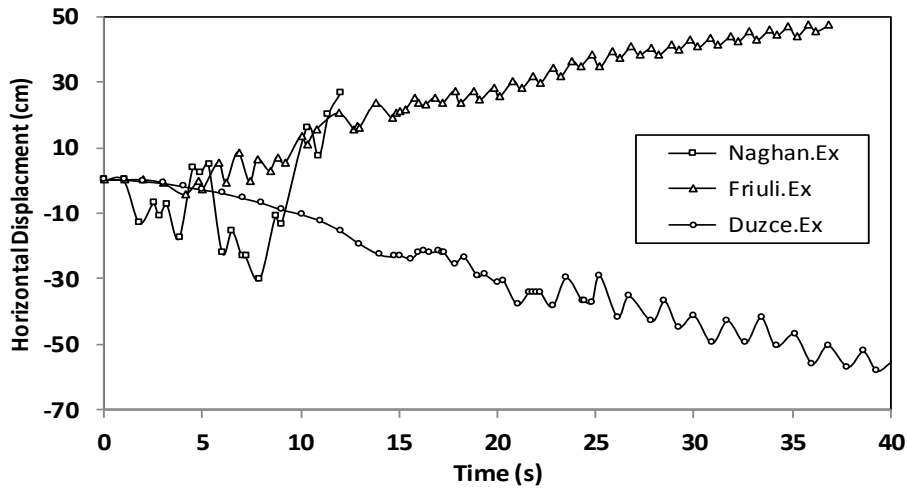
در این مقاله به بررسی تاثیر انتخاب ضریب شتاب افقی زلزله ( $k_{H_1}$ ) بر اساس رویکرد دو ویرایش قدیم و جدید آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن بر عملکرد لرزه‌ای اسکله‌های وزنی بلوکی به روش شبه استاتیکی پرداخته شده است. در واقع، یکی از کمبودهای اصلی ویرایش قدیم آیین‌نامه دریایی ژاپن که مبنای نشریه ۶۳۱ با عنوان "دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی" نیز می‌باشد، محاسبه ضریب افقی زلزله ( $k_{H_1}$ ) صرفاً بر مبنای شتاب حداکثر زلزله بدون توجه به ویژگی‌های زلزله نظیر محتوی فرکانسی و اثر بزرگ‌نمایی خاک و غیره است، در صورتی که در ویرایش جدید این آیین‌نامه تمامی مولفه‌های موثر در تاریخچه زمانی شتاب در محاسبه ضریب  $k_{H_1}$  لحاظ شده است. بدین منظور اسکله پست ۱۱ بندر پتروشیمی پارس از نوع دیوار بلوکی با مقطع گوشه‌پشتی به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. در این راستا، بر اساس مطالعات لرزه‌خیزی انجام شده در محل، از سه شتاب‌نگاشت پیشنهادی به منظور محاسبه ضریب  $k_{H_1}$  استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده ضریب  $k_{H_1}$  از روابط ویرایش قدیم و جدید آیین‌نامه ژاپن با یکدیگر متفاوت می‌باشند.

در این رابطه،  $k_{H_1}$ : ضریب شتاب افقی زلزله،  $\gamma_w$ : وزن مخصوص آب (بر حسب کیلونیوتن بر متر مکعب)،  $H_w$ : ارتفاع دیوار زیر سطح آب در سمت بررسی (بر حسب متر)،  $y$ : عمق مورد بررسی از سطح آب برای تعیین فشار هیدرودینامیکی آب وارد بر دیوار در آن تراز (بر حسب متر) می‌باشد. در نرم افزار FLAC2D بر اساس معادله موج برای سیال<sup>۱</sup> به کمک عدد رینولدز<sup>۲</sup>، فشار هیدرودینامیک آب بر اساس رابطه ۱۷ در نظر گرفته می‌شود [۶].

### ۳-۶ بررسی نتایج تحلیل دینامیکی

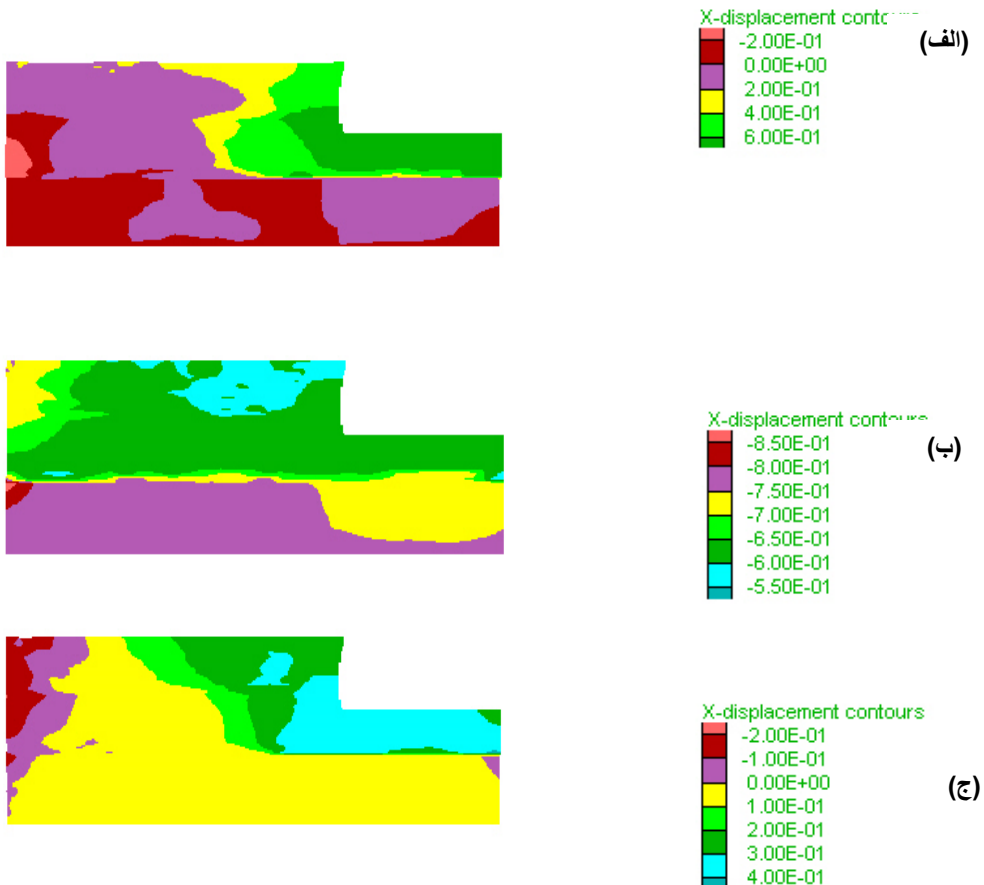
مقادیر تغییر مکان افقی دیوار ( $D_a$ ) و کانتورهای حاصل از تحلیل دینامیکی به ترتیب در اشکال ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. مقادیر ضریب  $k_{H_1}$  برای هر سه تاریخچه زمانی شتاب بر اساس مقادیر تغییر مکان‌های افقی به دست آمده و به کمک رابطه ۹ محاسبه و نتایج در جدول ۸ ارائه شده است. شکل ۱۴ مقادیر ضرایب  $k_{H_1}$  حاصل از تحلیل دینامیکی در مقایسه با مقادیر منتج شده از روش شبه استاتیکی بر اساس ویرایش جدید آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن که در جدول ۴ آمده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر ضرایب  $k_{H_1}$  به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی نسبت به روش شبه استاتیکی کمتر می‌باشند. در واقع، روش شبه استاتیکی ضریب  $k_{H_1}$  را با توجه به تغییر شکل‌های پیشنهادی به‌طور محافظه‌کارانه ارائه می‌دهد. بر این اساس، می‌توان ذکر نمود که رابطه پیشنهادی برای به

- 1 Equation of motion for a fluid
- 2 Reynold's number



شکل ۱۲. تغییر مکان افقی بالای دیوار حاصل از تحلیل دینامیکی بر اساس شتاب‌نگاشت‌های انتخابی

Fig. 12. Horizontal displacement above the quay wall resulting from dynamic analysis based on selected acceleration time histories



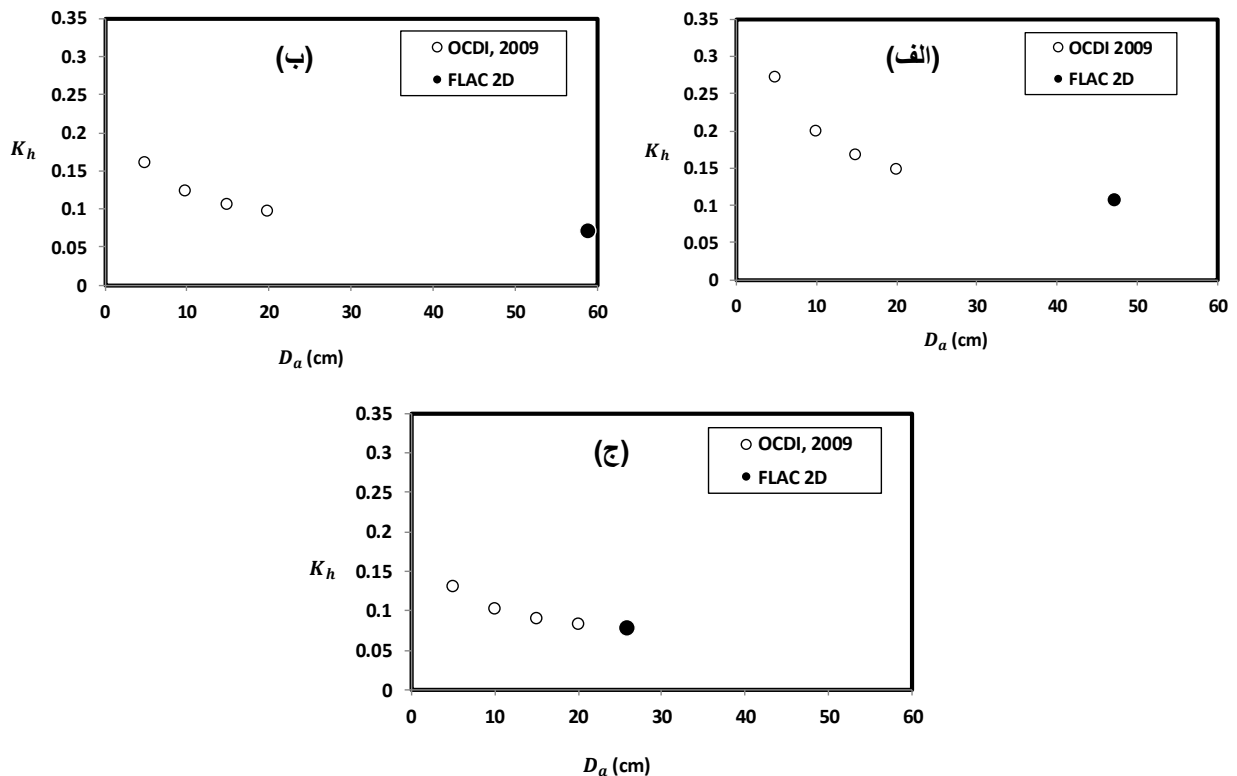
شکل ۱۳. کانترهای تغییر مکان افقی مدل دیوار در اثر زلزله‌های انتخابی (الف- فریولی، ب- دوزجی و ج- ناغان)

Fig. 13. Horizontal displacement contours of the quay wall model due to selected earthquakes (a- Friuli, b- Duzcy and c- Naghan)

جدول ۸. مقدار  $(k_h)$  اسکله بندر پتروشیمی پارس بر اساس تغییر مکان افقی  $(D_a)$  حاصل شده از تحلیل دینامیکی

Table 8.  $k_h$  values of Pars Petrochemical Port quay wall based on horizontal displacement  $(D_a)$  obtained from dynamic analysis

(رابطه ۹)	$D_a$ (cm)	فرکانس غالب زلزله‌های انتخابی (هرتز)	$a_{max}$	سطح لرزه‌ای	زلزله‌های انتخابی
۰/۱۰۸	۴۷/۲	۱/۹۸			فریولی
۰/۰۷	۵۹/۱	۳/۱۵	۰/۲۳g	۱	دوزجی
۰/۰۷۶	۲۶	۴			ناغان



شکل ۱۴. ضرایب  $k_h$  به دست آمده برای اسکله بندر پتروشیمی بر اساس رابطه ۹ و تغییر مکان افقی  $(D_a)$  حاصل شده از تحلیل دینامیکی (الف- فریولی، ب- دوزجی، ج- ناغان)

Fig. 14. The obtained  $k_h$  coefficients for the quay wall of the Petrochemical Port based on Equation 9 and the horizontal displacement  $(D_a)$  obtained from the dynamic analysis (a-Friuli, b-Duzjy, c-Naghan)

گذاشتن اطلاعات مربوطه برای انجام این تحقیق کمال تشکر را دارند.

### منابع

- [1] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC, (2017).
- [2] Alielahi, H., Rabeti Moghadam, M, Fragility Curves Evaluation for Broken-Back Block Quay Walls, Journal of Earthquake Engineering, 21(2017), 1-22.
- [3] Anderson, D.G., Martin, G.R., Lam, I., Wang, J. N, Seismic analysis and design of retaining walls, buried structures, slopes, and embankments. National Cooperative Highway Geotech. Geol. Eng. 33(4) (2008) 795-812.
- [4] Anderson, D. G., Martin, G.R., Lam, I., Wang, J. N, Pseudo static Coefficient for Use in Simplified Seismic Slope Stability Evaluation. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 135(9) (2009) 1336-1340.
- [5] Berlin, Ernst, Sohn, Recommendation of Committee for Waterfront Structures Harbors and Water Ways, E.A.U, 7th ed, (1996).
- [6] Itasca, FLAC User's Guide, Version 7 (2008).
- [7] Kavazanjian, E., Matasovic, N., Hadj-Hamou, T and Sabatini, P.J, Design Guidance: Geotechnical Earthquake Engineering for Highways, Geotechnical Engineering Circular No.3, Report No.FHWA-SA-97-076. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, (1997).
- [8] Lee MG, Jo SB, Ha JG, Park HJ, Kim DS, Assessment of horizontal seismic coefficient for gravity quay walls by centrifuge tests, Geotech Lett 7 (2017) 1-7
- [9] Lee, M.G., Jo, S.B., Ha, J.G., Park, H.J., Kim, D.S, Evaluation of performance-based seismic coefficient for gravity-type quay wall via centrifuge tests, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 123 (2019) 292-303.
- [10] Noda, S., Uwabe, T. Chiba, T, Relation between seismic coefficient and ground acceleration for gravity quay wall. Report of Port and Harbour Research Institute. 14(4)

مقدار ضریب  $k_H$  بر اساس روابط ویرایش قدیم این آیین‌نامه برای هر سه شتاب‌نگاشت (فریولی، ناغان و دوزجی) بدون توجه به ویژگی‌های آن‌ها برابر  $0/163$  به دست آمده است. این ضریب بر پایه ویرایش جدید برای هر شتاب‌نگاشت با توجه به ویژگی‌های مربوطه، کاملاً متفاوت بوده و برابر  $0/199$ ،  $0/123$ ،  $0/10$  حاصل شده است. به بیان دیگر، بر اساس ویرایش جدید آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن هر تاریخچه زمانی شتاب یک ضریب  $k_H$  منحصر بفرد با توجه به خصوصیات مربوط به آن و ویژگی‌های اسکله را ارائه می‌دهد. همچنین در رابطه پیشنهادی برای محاسبه ضریب  $k_H$  بر اساس ویرایش جدید، علاوه بر انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها بر پایه مطالعات دقیق لرزه‌خیزی در محل، به مقدار تغییر مکان افقی تراز فوقانی اسکله ( $D_a$ ) نیز تاکید شده است؛ به طوری که بر اساس توصیه ویرایش جدید محدوده مقادیر  $5$  تا  $20$  سانتی‌متر (مجاز برابر  $10$  سانتی‌متر) تعیین شده است. در واقع، در رابطه پیشنهادی بین ضریب  $k_H$  و  $D_a$  ارتباط معکوسی برقرار است. به عبارت دیگر، هر قدر  $D_a$  بیشتر باشد، ضریب  $k_H$  کمتر خواهد شد و بالعکس. در ادامه، دیوار اسکله مورد نظر به کمک نرم افزار تفاضل محدود FLAC2D تحلیل دینامیکی غیرخطی شده و سپس میزان تغییر مکان افقی تراز فوقانی دیوار اسکله ( $D_a$ ) بر اساس هر سه شتاب‌نگاشت به دست آمده است. ضریب  $k_H$  حاصله از تحلیل‌های دینامیکی بر اساس تغییر مکان افقی بالای دیوار ( $D_a$ ) و استفاده از رابطه ۹، برای تاریخچه زمانی شتاب‌نگاشت‌های فریولی، ناغان و دوزجی به ترتیب برابر  $0/108$ ،  $0/076$  و  $0/07$  می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهند که مقدار ضریب  $k_H$  به دست آمده از تحلیل دینامیکی بر مبنای تغییر مکان واقعی محاسبه شده کمتر از روش شبه استاتیکی بر اساس ویرایش جدید بوده که حاکی از محافظه‌کارانه بودن ویرایش جدید آیین‌نامه دریایی ژاپن است.

در انتها بایستی خاطرنشان نمود که رویکرد جدید در ویرایش جدید آیین‌نامه ژاپن نسبت به ویرایش قدیم آن برای به دست آوردن ضریب  $k_H$  کامل‌تر بوده و می‌تواند به پیش‌بینی عملکرد لرزه‌ای و طراحی بهتر اسکله‌های وزنی بر مبنای مطالعات دقیق لرزه‌خیزی در محل مورد نظر، کمک شایانی نماید. البته نتایج این مقاله صرفاً برای یک مطالعه موردی اسکله‌های وزنی بوده و برای بررسی بیشتر نیاز به انجام مطالعات جامع‌تری برای انواع اسکله‌ها با شرایط و هندسه‌های مختلف می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله مولفین از موسسه مهندسين مشاور ساحل جهت در اختيار

- shape of concrete block quay walls in seismic areas, 6th International Conference on Coasts and Ports (2005). (in Persian).
- [19] Seyed Hosseinia., E., Alielahi., H, Evaluation of seismic behavior of block quays using limit and numerical equilibrium methods, 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, (2007). (in Persian).
- [20] Seyed Hosseinia., E., Alielahi., H, An overview of the block quay wall Design, Khatam Al-Anbia Construction Camp Publications - Noah (AS), (2013). (in Persian).
- [21] International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Seismic Hazard Zoning and Seismic Geotechnical Studies of Assaluyeh Region (910 hectares. Geotechnical Engineering and Seismological Research Institute, (2001) Volumes I to III. (in Persian).
- [22] Publication No. 631, Instructions for Designing Coastal Structures, Vice President for Strategic Planning and Supervision, (2013). (in Persian).
- (1975) 67 -111.
- [11] PIANC, Seismic Design Guidelines for Port Structures, International Navigation Association, Balkema Publications, ISBN 9026518188, (2001).
- [12] Rollins, K.M., Evans, M.D., Diehl, N.B., Daily, W.D, Shear modulus and damping relationships for gravels, J.Geotech, Geoenviron. Eng, 124(5) (1998) 396–405.
- [13] Sadrekarimi A., Ghalandarzadeh A., Sadrekarimi J, Static and dynamic behavior of hunchbacked gravity quay walls, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28 (2008) 99–117.
- [14] Sadrekarimi A, Pseudo-static lateral earth pressures on broken-back retaining walls, Canadian Geotechnical Journal, 47 (2010) 1247–1258.
- [15] Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan(OCDI),(2002).
- [16] Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan(OCDI), (2009).
- [17] Zhou, W., Gang, Y., Ma, G., Yang, L., Chang, X, A modified dynamic shear modulus model for rockfill materials under a wide range of shear strain amplitudes, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 92 (017) 229–238.
- [18] Davari, M., Ali Asgari, A., Fakher, A, Appropriate

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. Alielahi, A. Khalili, *The Effect of Selecting Earthquake Coefficients on The Seismic Performance of Block Gravity Quay Walls*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 54(3) (2022) 959-980.

DOI: 10.22060/ceej.2021.19166.7090



