

## تحلیل لرزه‌ای اسکله بلوکی گوزپشتی و پیشنهاد مشخصات هندسی بهینه

حسین سعدایی<sup>۱</sup> و خسرو برگی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۶/۱۲/۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۲/۲۶، تاریخ تصویب ۸۸/۸/۱۰)

### چکیده

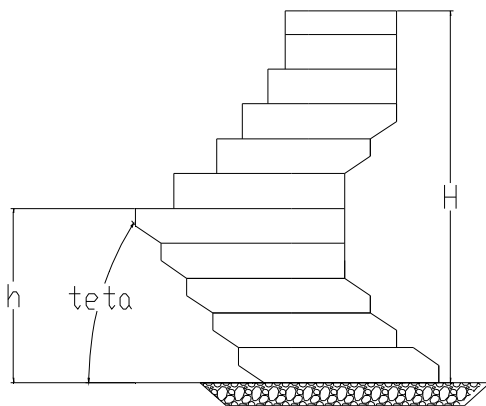
اسکله‌های بلوکی متشکل از بلوک های بتنی پیش‌ساخته مستقر بر یک لایه نازک بسترسازی می‌باشند. در مناطق لرزه‌خیز، برای کاهش فشار خاک به دیوار در هنگام وقوع زلزله، بلوک‌ها به طوری روی بلوک زیرین قرار داده می‌شوند که با خط قائم زاویه منفی ایجاد کنند و مقطعی گوزپشتی تشکیل شود. در این شرایط فشار خاک هنگام زلزله کاهش می‌یابد و فشار وارده بر خاک در تراز پی، به دلیل افزایش لنگر مقاوم، به طور یکنواخت‌تری در مقایسه با چینش ساده خواهد شد. برای طراحی هندسی مقطع گوزپشتی، دو متغیر «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار» و «زاویه گوز» اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق، برای دستیابی به مقادیر بهینه این دو متغیر، با تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار FLAC و مطالعه پارامتری، «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار» و «زاویه گوز» بهینه، برای لحاظ در طراحی هندسی اسکله بلوکی گوزپشتی پیشنهاد شده است.

**واژه‌های کلیدی:** دیوارهای بلوکی گوزپشتی، مدل‌سازی عددی، تحلیل دینامیکی، نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل

دیوار، زاویه گوز

### مقدمه

در نتیجه کاهش میزان بتن مصرفی شود. برای دستیابی به مقادیر مناسب این دو متغیر، با تحلیل دینامیکی رفتار لرزه‌ای چندین دیوار مختلف با استفاده از نرم‌افزار FLAC 2D و مطالعه اثر پارامترهای ذکر شده به طور جداگانه، ابتدا «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار» مناسب به دست آورده شده و سپس با توجه به آن، «زاویه گوز» مناسب نیز پیشنهاد شده است. [۴، ۳، ۲، ۱، ۵] در شکل (۱) متغیرهای مطالعه شده در این تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۱: زاویه گوز، ارتفاع گوز و ارتفاع کل دیوار.

اسکله‌های بلوکی به عنوان یکی از متداول‌ترین اسکله‌های وزنی، متشکل از بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته مستقر بر یک لایه نازک بسترسازی هستند که با استفاده از وزن زیاد خود در برابر فشار محرک خاک و سربارهای جانبی و ثقلی مقاومت می‌کنند. اگر این نوع اسکله‌ها روی بستر سخت احداث شوند، سازه‌ای با طول عمر بالا هستند که به نگهداری چندانی نیاز نخواهند داشت. روش‌های مختلفی برای چیدن بلوک‌های بتنی بر روی یکدیگر وجود دارد. در مناطق لرزه‌خیز برای کاهش فشار خاک به دیوار هنگام وقوع زلزله، بلوک‌ها به نحوی روی هم چیده می‌شوند که در نهایت مقطعی گوزپشت مانند تشکیل می‌شود. در این روش بلوک‌ها به طوری بر روی بلوک زیرین قرار داده می‌شوند که با خط قائم زاویه منفی ایجاد کنند. در این شرایط فشار خاک هنگام زلزله کاهش می‌یابد. علاوه بر این، فشار وارده بر خاک در تراز پی به دلیل افزایش لنگر مقاوم، به نسبت چینش پلکانی به طور یکنواخت‌تری وارد می‌آید. برای طراحی هندسی مقطع گوزپشتی، دو پارامتر «زاویه گوز» و «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار»، اهمیت بسیار زیادی دارد. انتخاب مقادیر مناسب برای این دو متغیر می‌تواند منجر به کاهش هر چه بیشتر فشار جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار و

www.SID.ir

## فرضیات مورد استفاده در محاسبات

### ترازهای جزر و مدی

نظر به این که ترازهای جزر و مدی منطقه عسلویه در محاسبه های انجام شده مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ترازهای جزر و مدی این منطقه به شرح جدول (۲) ارایه شده‌اند.

جدول ۲: ترازهای جزر و مدی منطقه عسلویه.

MSL (m CD)	MHHW (m CD)	MLLW (m CD)
1.2	1.83	0.57

مرجع: سازمان نقشه‌برداری کشور

### مشخصات ژئوتکنیکی منطقه

در طراحی اسکله‌های وزنی، مشخصات خاک بستر به ویژه از نقطه نظر تامین باربری مناسب پی اهمیت ویژه‌ای دارد. در مدل‌سازی‌های این تحقیق از مشخصات خاک محل احداث اسکله‌های بلوکی در بندر پتروشیمی پارس در عسلویه استفاده شده است. دلیل این انتخاب، مناسب بودن خاک محل برای احداث اسکله وزنی و تجربه موفق احداث اسکله بلوکی با آبخوری به نسبت بالا در محل می باشد. نیمرخ زیرین منطقه مورد نظر به طور عمده از شش لایه خاک دانه‌ای متشکل از شن لای دار که به توالی تکرار شده است و ماسه شنی با میان لایه‌ای به ضخامت کم از سیلت، تشکیل شده است. مشخصات فیزیکی و مکانیکی این لایه‌ها به شرح جدول (۳) است.

جدول ۳: مشخصات خاک استفاده شده در مدل سازی.

Silty/clayey sand & gravel	Gravelly Sand	Silt	Silty Gravel	Soil
28-38	14-21	10-12	0-10 12-14 21-28	Layer depth (m)
2.1	2	2	2.1	$\gamma_{Sat}$ (gr/cm <sup>3</sup> )
60	60	10	80	E (MPa)
0.3	0.3	0.3	0.3	v
37	38	45	45	$\phi$ (degree)

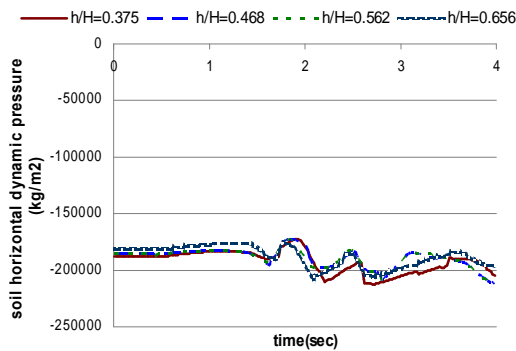
مرجع: مهندسان مشاور ساحل

## روند مدل سازی عددی با نرم‌افزار FLAC

ابعاد دیوارهای بلوکی گوژیستی مدل سازی شده در این تحقیق با استفاده از روش شبه استاتیکی و با افتحاح حداقل ضرایب اطمینان گفته شده در آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن به دست آمده است [۶]. در مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار FLAC، ارتفاع کلیه شبکه‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شده است. ولی عرض شبکه‌ها در مناطق نزدیک به دیوار برابر با ۰/۵ متر و در سایر نقاط دور از مدل ۲ متر لحاظ شده است. مراحل ساخت مدل و بارگذاری اسکله‌های بلوکی گوژیستی به این شرح است:

- مدل سازی خاک و ایجاد شرایط تنش اولیه در آن؛
  - تعریف سطح مشترک (Interface) در مرز بلوک‌های بتنی و مرز میان بلوک‌های بتنی و خاک برای مدل‌سازی رفتار ناپیوسته بلوک‌ها و دنبال کردن تنش‌های به وجود آمده احتمالی در میان بلوک‌ها با استفاده از المان‌های سطح مشترک؛
  - ایجاد مرحله به مرحله بلوک‌ها برای شبیه‌سازی مراحل ساخت و انجام تحلیل استاتیکی در هر مرحله برای شبیه‌سازی تنش‌های به وجود آمده در خاک به هنگام ساخت اسکله بلوکی؛
  - اعمال تاریخچه شتاب با حداکثر شتاب  $g/0.2$ ؛
  - تحلیل دینامیکی به مدت چهار ثانیه؛
  - استخراج و تفسیر نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی.
- برای سنجش درستی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار FLAC، فشار جانبی ناشی از زلزله در یکی از مدل‌ها با روش شبه استاتیکی نیز محاسبه شده و با نتایج ذکر شده مقایسه شده است. با توجه به نتایج اخذ شده در دو حالت استاتیکی و دینامیکی که تفاوت حداکثر ده درصدی را نشان می‌دهند، نزدیکی قابل قبولی میان نتایج نرم‌افزار و روش‌های تحلیلی معمول مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که می‌توان سنجش درستی نرم‌افزار برای سایر پارامترهای مورد مطالعه (از جمله جا به جایی بلوک‌ها) را با استفاده از تحلیل نرم‌افزاری و فرمول‌های تجربی موجود انجام داد که با توجه به توانایی بالای نرم‌افزار در مدل سازی خاک و سازه، این پارامترها نیز از دقت خوبی بهره‌مند خواهند بود. همچنین باید توجه داشت که در این تحقیق، نتایج چندین تحلیل دینامیکی با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت بر اساس آن مقایسه، نتیجه لازم به دست خواهد آمد. در حقیقت مقدار دقیق

زیرین در چهار مدل با زاویه گوژ مختلف ارایه شده است.



شکل ۳: فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین در چهار مدل با نسبت h/H مختلف.

همان گونه که در شکل (۳) ملاحظه می شود، روند تغییرات در هر چهار مدل با تقریب خوبی مشابه به نظر می رسد. بیشترین فشار جانبی دینامیکی خاک ایجاد شده در مدل ها در جدول (۴) ارایه شده است.

جدول ۴: مقدار بیشینه فشار جانبی دینامیکی خاک در بلوک زیرین در مدل های با h/H مختلف.

$\sigma_{xx \max}$ (kg/m <sup>2</sup> )	h/H
-213197	0.375
-213138.5	0.468
-213581.5	0.562
-209153.5	0.656

با نظر به مقادیر مندرج در جدول (۴) و این موضوع که تفاوت مقادیر بیشینه فشار جانبی دینامیکی خاک در مدل ها حداکثر حدود ۸٪ می باشد، می توان نتیجه گرفت که در بلوک زیرین، فشار جانبی دینامیکی خاک بستگی قابل ملاحظه ای به ارتفاع گوژ دیوار ندارد. نسبت فشار جانبی دینامیکی بیشینه به کمینه در مدل های مختلف در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵: نسبت مقدار بیشینه به کمینه فشار جانبی دینامیکی خاک در بلوک زیرین در مدل های با h/H مختلف.

$\sigma_{xx \max} / \sigma_{xx \min}$	h/H
1.29	0.375
1.24	0.468
1.23	0.562
1.15	0.656

متغیرهای مقایسه شونده اهمیت زیادی ندارند و مهم مقایسه نسبی آن مقادیر با یکدیگر است. از این رو اختلاف اندک نتایج مدل سازی عددی و محاسبه بر اساس روش های معمول نمی تواند اثری بر نتیجه های گرفته شده در این تحقیق داشته باشد.

### نتایج حاصل از تحقیق بر نسبت h/H مناسب

نسبت ارتفاع گوژ به ارتفاع کل دیوار در مدل ها برابر با ۰/۳۷۵، ۰/۴۶۸، ۰/۵۶۲ و ۰/۶۵۶ در نظر گرفته شده است. کلیه اسکله ها از ده بلوک با ارتفاع ۱/۵ متر و یک بلوک با ارتفاع یک متر به ارتفاع کلی ۱۶ متر تشکیل شده اند. نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی دیوارهای ذکر شده با استفاده از نرم افزار FLAC در چهار بخش زیر ارایه شده است:

الف) جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی؛

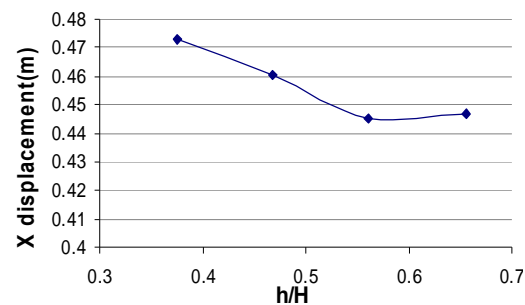
ب) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرینی؛

ج) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی؛

د) نیروی جانبی دینامیکی خاک وارده بر کل دیوار.

#### الف - جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی

شکل (۲) جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی در مدل های با نسبت h/H مختلف را نشان می دهد.



شکل ۲: جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی در مدل های با نسبت h/H مختلف.

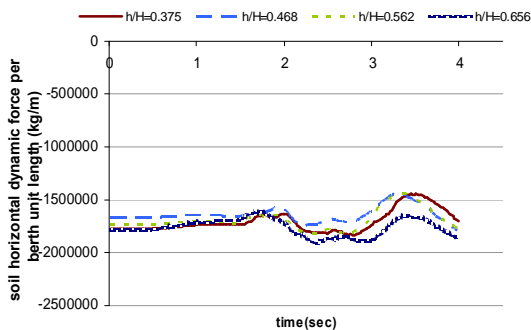
همان گونه که در شکل (۲) ملاحظه می شود، در یک روند کلی با افزایش نسبت h/H، تغییر مکان نهایی بلوک بالایی دیوار کاهش می یابد. ولی این کاهش در نسبت h/H= ۰/۵۶۲ بیشتر به چشم می خورد؛ به نحوی که در میان چهار مدل، مدل با نسبت h/H= ۰/۵۶۲ کمترین تغییر مکان را نسبت به سایر مدل ها داشته است.

#### ب- فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین

شکل (۳) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک

از مقادیر مندرج در جدول (۶) نتیجه می‌شود نسبت فشار جانبی دینامیکی بیشینه به فشار کمینه در پشت بلوک بالایی در کلیه مدل‌ها بیش از ۱۴ برابر است که در مقایسه با نسبت فشار جانبی دینامیکی بیشینه به فشار کمینه در پشت بلوک زیرین (با مقدار حدودا ۱/۲۵ برابر) بسیار بزرگ‌تر است. در حقیقت این نسبت نشان می‌دهد شتاب وارد شده به سازه در بلوک‌های بالایی در مقایسه با بلوک‌های زیرین، تأثیر بسیار شدیدتری از خود بر جای می‌گذارد. این موضوع به طور عمده ناشی از تشدید میزان شتاب وارد شده بر سازه در بلوک‌های بالایی است. به بیان دیگر شتاب وارد شده به سازه به دلیل زمین‌لرزه، با افزایش ارتفاع دیوار دچار تشدید شده و شتاب بیشتری به بلوک‌های بالایی وارد می‌آید. بدیهی است این افزایش شتاب، سبب تأثیرپذیری بیشتر و افزایش نوسانات فشار جانبی دینامیکی خاک وارد شده بر بلوک‌های بالایی در مقایسه با بلوک‌های زیرین اسکله بلوکی می‌شود.

**د - نیروی جانبی دینامیکی خاک وارده بر کل دیوار**  
در شکل (۵) نیروی کل جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در واحد طول اسکله در چهار مدل با نسبت  $h/H$  مختلف ارائه گردیده است.

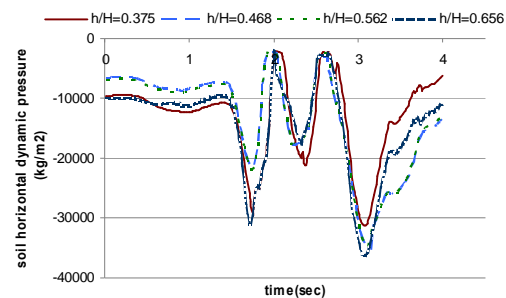


شکل ۵: نیروی کل جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در چهار مدل با نسبت  $h/H$  مختلف.

مطابق شکل (۵)، نیروی جانبی دینامیکی خاک وارده به مدل با  $h/H=0.468$  در اکثر لحظات کمترین مقدار را در بین چهار مدل دارد. بیشترین مقدار نیز در مدل با  $h/H=0.656$  ایجاد شده است. با این وجود تفاوت چندانی بین نیروهای ایجاد شده در مدل‌ها به چشم نمی‌خورد. بیشینه و کمینه نیروی کل جانبی دینامیکی خاک در پشت دیوار در واحد طول اسکله در مدل‌های با نسبت

از جدول (۵) نتیجه می‌شود در تراز زیرین، نوسانات فشار دینامیکی خاک متأثر از شتاب وارده به بلوک زیرین در مدلی که ارتفاع گوز در پایین‌ترین تراز قرار گرفته، بیش از سایر مدل‌ها است و مدل با بالاترین ارتفاع گوز، کمترین نوسانات را در میان چهار مدل دارد؛ گرچه در مجموع در کلیه مدل‌ها این نسبت چندان بزرگ نبوده و فشار جانبی بیشینه و کمینه خاک در بلوک زیرین به هم نزدیک است.

**ج - فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی**  
در شکل (۴) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی در چهار مدل با نسبت  $h/H$  مختلف ارائه شده است.



شکل ۴: فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی در مدل‌های با نسبت  $h/H$  مختلف.

چنانچه از این شکل بر می‌آید، نوسانات فشار جانبی دینامیکی خاک در پشت بلوک بالایی در کلیه مدل‌ها از روندی یکسان پیروی می‌کند. ولی در بعضی زمان‌ها اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین مقدار فشار در میان مدل‌ها وجود دارد. نکته جالب توجه، نزدیکی مقدار فشار در مدل‌های با  $h/H$  برابر با ۰/۴۶۸ و ۰/۵۶۲ در اکثر لحظات است. نسبت فشار جانبی دینامیکی بیشینه به فشار کمینه در پشت بلوک بالایی برای مدل‌های مختلف در جدول (۶) نشان داده شده است.

**جدول ۶: نسبت فشار بیشینه به کمینه فشار جانبی دینامیکی خاک در مدل‌های با  $h/H$  مختلف در بلوک بالایی.**

$\sigma_{xx \max} / \sigma_{xx \min}$	$h/H$
14.6	0.375
16.7	0.468
16.2	0.562
17	0.656

می شود.

### نتایج حاصل از تحقیق بر زاویه گوژ مناسب

کلیه اسکله‌های طراحی شده برای بررسی زاویه گوژ مناسب، از ۱۰ بلوک با ارتفاع ۱/۵ متر و یک بلوک با ارتفاع یک متر به ارتفاع کلی ۱۶ متر تشکیل شده‌اند. تامین زاویه گوژ از راه چینش خاص بلوک‌ها و به صورتی است که در بخش با زاویه گوژ منفی، هر بلوک نسبت به بلوک زیرین به میزان مشخصی بیشتر در دل خاک قرار می‌گیرد و زاویه مورد نظر گوژ دیوار حاصل می‌آید. زوایای گوژ در مدل‌ها برابر با ۳۱، ۴۵، ۵۶، ۶۳ و ۷۳ درجه در نظر گرفته شده‌اند. هم چنین بر اساس نتیجه حاصل از بخش پیش، نسبت ارتفاع گوژ به ارتفاع کل دیوار در مدل‌های این بخش، حدود ۰/۵ در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از مدل سازی دیوارهای بلوکی گوژپشتی در نرم‌افزار FLAC، در چهار بخش زیر ارائه شده است:

الف) جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی؛

ب) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین؛

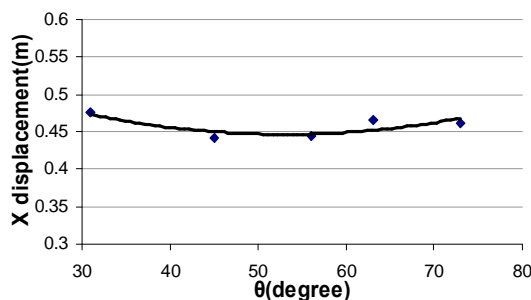
ج) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی؛

د) نیروی جانبی دینامیکی خاک وارده بر کل دیوار.

در ادامه به هر یک از بخش‌های ذکر شده به تفصیل پرداخته می‌شود.

### الف - جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی

در شکل (۷) جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی برای پنج مدل ارائه شده است.



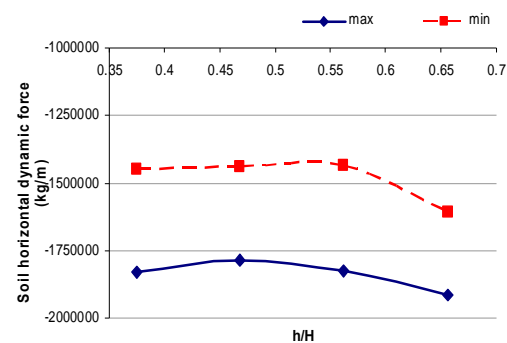
شکل ۷: جا به جایی افقی نهایی بلوک بالایی مدل‌های بر حسب زاویه گوژ.

همان‌گونه که در نمودار (۷) مشاهده می‌شود. تغییر مکان افقی بلوک بالایی در یک روند متغیر در ابتدا با افزایش زاویه گوژ کاهش و سپس دوباره افزایش یافته است. نسبت کاهش تغییر مکان افقی در زاویه گوژ ۴۵

$h/H$  مختلف در جدول (۷) و نمودار شکل (۶) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۷: بیشینه و کمینه نیروی کل جانبی دینامیکی خاک در پشت دیوار در واحد طول اسکله بر حسب نسبت  $h/H$ .

$F_{xx\ min}$ (kg/m)	$F_{xx\ max}$ (kg/m)	$h/H$
-1448127.1	-1832596.4	0.375
-1441341.1	-1788680.1	0.468
-1436103.6	-1824797.2	0.562
-1610896.5	-1914255.5	0.656



شکل ۶: مقادیر بیشینه و کمینه نیروی کل جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در واحد طول اسکله بر حسب تغییر نسبت  $h/H$ .

مطابق شکل (۶)، حداکثر مقدار نیروی بیشینه در میان مدل‌ها به مدل با نسبت  $h/H=0.652$  اختصاص دارد و حداقل این مقدار در مدل با نسبت  $h/H=0.468$  دیده می‌شود. نکته دیگر نداشتن تفاوت زیاد بین بیشینه و کمینه نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در مدل‌های با نسبت  $h/H$  برابر با ۰/۴۶۸ و ۰/۵۶۲ است. بنابراین نتیجه می‌شود در طول وارد آمدن شتاب به مدل‌های با نسبت  $h/H$  برابر با ۰/۳۷۵، ۰/۴۶۸، ۰/۵۶۲ و ۰/۶۵۲، کمترین نیروی بیشینه جانبی دینامیکی در مدل‌های با نسبت  $h/H$  برابر با ۰/۴۶۸ و ۰/۵۶۲ ایجاد شده است.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب نسبت ارتفاع گوژ به ارتفاع کل دیوار برابر با ۰/۵، نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار کمتری در مقایسه با سایر نسبت‌های محتمل ایجاد می‌کند. پس نسبت  $h/H=0.5$  به عنوان مقدار مناسب «نسبت ارتفاع گوژ به ارتفاع کل دیوار» در طراحی اسکله‌های بلوکی گوژپشتی پیشنهاد

داشت. نسبت فشار جانبی دینامیکی خاک بیشینه به کمینه در بلوک زیرین در مدل‌های با زاویه گوز مختلف در جدول (۸) آورده شده است.

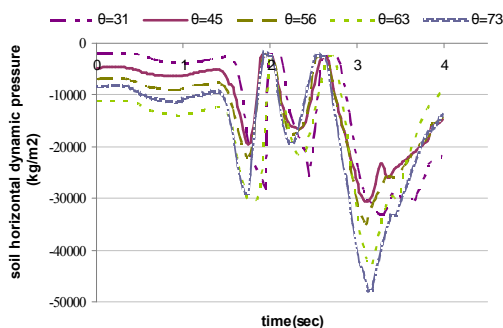
**جدول ۸: نسبت مقدار بیشینه به کمینه فشار جانبی دینامیکی خاک در مدل‌های با زاویه گوز مختلف در بلوک زیرین.**

$\sigma_{xx \max} / \sigma_{xx \min}$	$\theta$
1.3	31
1.2	45
1.2	56
1.3	63
1.3	73

همان‌گونه که در جدول (۸) مشاهده می‌گردد نسبت مقدار بیشینه به کمینه فشار جانبی دینامیکی خاک در مدل‌های با زاویه گوز مختلف در بلوک زیرین بسیار به یکدیگر نزدیک بوده که این موضوع نشان‌دهنده نواسانات اندک در مقدار فشار جانبی دینامیکی خاک در پشت بلوک زیرین در زمان‌های مختلف وارد شدن شتاب است

**ج - فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی**

در شکل (۹) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی در پنج مدل با زاویه گوز مختلف ارایه شده است.



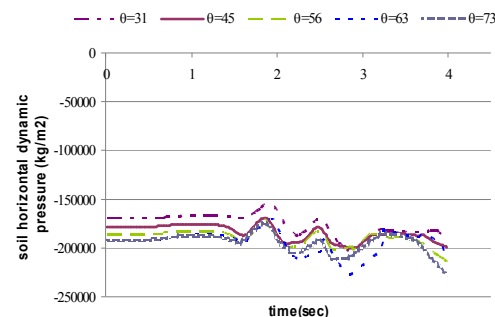
**شکل ۹: فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی در پنج مدل با زاویه گوز مختلف.**

نگاه کلی به نمودارهای رسم شده فشار جانبی دینامیکی خاک در پشت بلوک بالایی، نشان از نواسانات زیاد این متغیر و اختلاف زیاد فشار بیشینه و کمینه آن در طول وارد شدن زلزله است. در جدول (۹) نسبت فشار جانبی دینامیکی خاک در پشت بلوک بالایی در دو حالت بیشینه و کمینه بر حسب زاویه گوز دیوار ارایه شده است.

درجه نسبت به زاویه گوز ۳۱ درجه در حدود ۵٪ است. نسبت این افزایش در زاویه گوز ۵۶ درجه به نسبت زاویه گوز ۴۵ درجه، کمتر از ۱٪ بوده که چندان قابل توجه نیست. ولی نسبت افزایش تغییر مکان در مدل زاویه گوز ۶۳ درجه به نسبت زاویه گوز ۵۶ درجه در حدود ۶٪ به دست می‌آید. با افزایش زاویه گوز از ۶۳ درجه به ۷۳ درجه جا به جایی افقی نهایی در بلوک بالایی حدود ۲٪ کاهش می‌یابد. به طور خلاصه می‌توان گفت مدل با زاویه ۳۱ درجه، بیشترین تغییر مکان و مدل با زاویه گوز ۴۵ و ۵۶ درجه کمترین تغییر مکان را نسبت به سایر مدل‌ها به خود اختصاص داده‌اند که می‌تواند امتیاز مثبتی برای دو زاویه گوز ۴۵ و ۵۶ درجه به شمار آید.

**ب - فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین**

در شکل (۸) فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین در پنج مدل با زاویه گوز مختلف ارایه گردیده است.



**شکل ۸: فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین در مدل‌ها بر حسب زاویه گوز.**

مقایسه روند تغییرات فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین در زمان‌های مختلف در مدل‌های با زاویه گوز متفاوت، نشان از نوعی هماهنگی در روند تغییرات این متغیر با زمان در مدل‌های مختلف دارد. ولی در کلیه زمان‌ها، مقدار عددی این فشار در مدل‌های با زاویه گوز ۳۱ و ۴۵ درجه از سایر مدل‌ها به میزان اندکی کمتر و در مدل با زاویه گوز ۷۳ درجه بیش از سایر مدل‌ها است. بنابراین می‌توان گفت با افزایش زاویه گوز، فشار جانبی دینامیکی خاک در پشت بلوک زیرین افزایش می‌یابد. ولی اختلاف فشار جانبی دینامیکی خاک بین کمترین زاویه و بیشترین زاویه مدل‌سازی شده حدود ۸٪ است که رقم قابل توجهی به نظر نمی‌رسد. این رو نتیجه می‌شود زاویه گوز در میزان فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین تأثیر چندانی نخواهد

را در رده چهارم در میان پنج مدل قرار می‌دهد. در سایر مدل‌ها روند نوسانات نیروی جانبی دینامیکی خاک به صورتی همسان بوده و رده هر مدل در میان مدل‌ها تا حدودی ثابت مانده است. پس می‌توان نتیجه گرفت به طور کلی با کاهش زاویه گوز بلوک‌ها، نیروی جانبی دینامیکی خاک نیز کاهش می‌یابد. لیکن روند کاهشی این نیرو پس از کمتر شدن زاویه گوز، دچار تغییر شده و سیر صعودی به خود می‌گیرد. نسبت مقدار بیشینه به کمینه نیروی جانبی دینامیکی خاک در کل دیوار در مدل‌های با زاویه گوز مختلف در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول ۱۰: نسبت مقدار بیشینه به کمینه نیروی جانبی دینامیکی خاک در کل دیوار در مدل‌های با زاویه گوز مختلف.

$F_{xx \max}/F_{xx \min}$	$\theta$
1.23	31
1.29	45
1.27	56
1.29	63
1.24	73

با مشاهده مقادیر مندرج در جدول (۱۰) می‌توان چنین نتیجه گرفت که در مدل‌های با زاویه گوز مختلف، تغییرات و نوسانات در مقدار نیروی جانبی دینامیکی خاک، بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و تغییرات نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در کلیه مدل‌ها، روند تقریباً یکسانی دارد. با نظر به شکل (۱۰) نیز این موضوع قابل استنباط است.

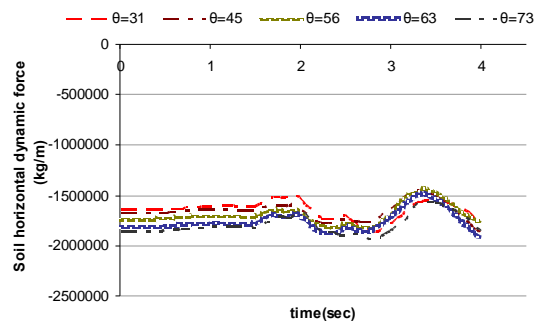
مقادیر بیشینه و کمینه نیروی جانبی دینامیکی خاک در پشت دیوار در واحد طول اسکله در مدل‌های با زاویه گوز مختلف حاصل از مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار FLAC، در نمودار شکل (۱۱) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مطابق شکل (۱۱)، حداکثر مقدار نیروی بیشینه در میان مدل‌ها، به مدل با زاویه گوز ۷۳ درجه اختصاص دارد و حداقل این مقدار در مدل با زاویه گوز ۵۶ درجه دیده می‌شود. همچنین تفاوت چندانی میان این مقدار در مدل‌های با زاویه گوز ۴۵ و ۵۶ درجه وجود ندارد. پس نتیجه می‌شود در طول وارد آمدن شتاب به مدل‌های با زاویه گوز ۳۱، ۴۵، ۵۶، ۶۳ و ۷۳ درجه، کمترین نیروی بیشینه جانبی دینامیکی در مدل‌های با زاویه گوز ۴۵ و ۵۶ درجه ایجاد شده است.

جدول ۹: نسبت مقدار بیشینه به کمینه فشار جانبی دینامیکی خاک در مدل‌های با زاویه گوز مختلف در بلوک بالایی.

$\sigma_{xx \max}/\sigma_{xx \min}$	$\theta$
19.1	31
13.4	45
16.2	56
21.8	63
23.9	73

مقادیر مندرج در جدول (۹) تفاوت زیاد میان فشار جانبی دینامیکی خاک بیشینه و کمینه در پشت بلوک بالایی را نشان می‌دهد. این نسبت در زاویه ۴۵ درجه، کمترین تفاوت و در زاویه ۷۳، درجه بیشترین تفاوت را دارد. نسبت فشار جانبی دینامیکی بیشینه به فشار کمینه در پشت بلوک بالایی در کلیه مدل‌ها بیش از ۱۳ برابر است که در مقایسه با این نسبت در پشت بلوک زیرین (با مقدار حدوداً ۱/۲ تا ۱/۳ برابر) بسیار بزرگ‌تر است. تفاوت این دو نسبت، نشان می‌دهد شتاب وارده به سازه در بلوک‌های بالایی در مقایسه با بلوک‌های زیرین تأثیر بیشتری از خود بر جای می‌گذارد.

د - نیروی جانبی دینامیکی خاک وارده بر کل دیوار در شکل (۱۰) نیروی کل جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در واحد طول اسکله در پنج مدل با زاویه گوز مختلف ارایه شده است.



شکل ۱۰: نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار در واحد طول اسکله در پنج مدل با زاویه گوز مختلف.

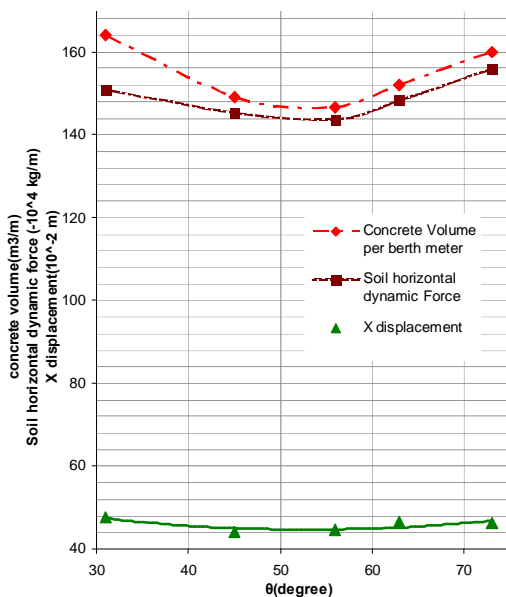
مطابق شکل (۱۰)، از زمان (t=0) تا حدود (t=2.5) کمترین نیروی جانبی دینامیکی ایجاد شده در مدل‌ها متعلق به مدل با زاویه گوز ۳۱ درجه است. ولی این مقدار در مدل ذکر شده پس از زمان (t=2.5) تا زمان انتهایی وارد آمدن شتاب به مدل، افزایش زیادی پیدا کرده و این مدل

در مدل‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند می‌توان نتیجه گرفت:

(الف) دلیل اصلی افزایش حجم بتن در زوایای بیشتر از ۵۰ تا ۵۵ درجه، ناشی از افزایش نیروی جانبی دینامیکی خاک با افزایش زاویه گوز است.

(ب) دلیل اصلی افزایش حجم بتن در زوایای کمتر از ۵۰ تا ۵۵ درجه، ناشی از حاده شدن زاویه گوز و نیاز به بلوک‌های با ابعاد بزرگ برای ایجاد شکل هندسی مورد نظر است.

در شکل (۱۳) ترکیبی از نمودارهای حاصل از این بخش ارائه شده است. با بررسی این نمودار ترکیبی که در آن حجم بتن مورد نیاز در واحد طول اسکله، بیشینه نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار و تغییر مکان افقی نهایی بلوک بالایی در مدل‌های مختلف بر حسب زاویه گوز ارائه شده است.

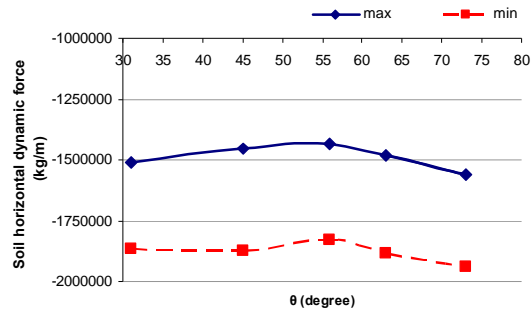


شکل ۱۳: نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی اسکله‌های بلوکی گوز پستی بر حسب زاویه گوز.

همان‌گونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، در موارد مورد بررسی، زاویه گوز ۵۰ تا ۵۵ درجه وضعیت مناسب‌تری در مقایسه با سایر زوایا دارد. از این رو، انتخاب زاویه گوز ۵۰ تا ۵۵ درجه، به عنوان زاویه گوز مناسب برای ساخت اسکله بلوکی گوز پستی پیشنهاد می‌شود.

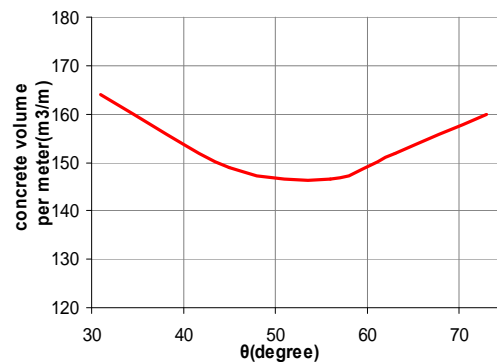
### جمع‌بندی

در این تحقیق، «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل



شکل ۱۱: مقادیر بیشینه و کمینه نیروی جانبی دینامیکی خاک در پشت دیوار در مدل‌های با زاویه گوز مختلف.

مورد دیگری که به انتخاب نهایی زاویه گوز مناسب کمک می‌کند، نحوه چینش بلوک‌ها بر اساس زاویه گوز انتخابی است. همان‌گونه که پیش از این نیز ذکر شد به طور کلی با افزایش زاویه گوز بلوک‌ها، نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار نیز افزایش می‌یابد. ولی هر چه زاویه گوز تندتر شود، برای تأمین زاویه گوز مورد نظر، به بلوک‌های بزرگ‌تری در قسمت‌های بالایی گوز نیاز خواهد بود. جهت بررسی بیشتر این موضوع و بررسی تاثیر توام شکل هندسی دیوار و نیروی خاک پشت دیوار بر میزان بتن مورد نیاز، حجم بتن به کار رفته در مدل‌های با زاویه گوز مختلف در نمودار شکل (۱۲) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل ۱۲: حجم بتن مورد نیاز در هر متر طول اسکله بلوکی بر حسب تغییر زاویه.

همان‌گونه که در شکل (۱۲) مشخص است، اسکله‌های با زاویه گوز ۵۰ تا ۵۵ درجه کمترین حجم بتن واحد طول اسکله را نیاز دارند و افزایش و یا کاهش زاویه گوز نسبت به این مقادیر، افزایش حجم بتن واحد طول اسکله را در پی خواهد داشت. با نگاهی دوباره به شکل (۱۰) که در آن نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار



ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار» در طراحی اسکله‌های بلوکی گوزپشتی پیشنهاد می‌شود.

۴- بررسی تأثیر توأم شکل هندسی دیوار و فشار خاک پشت دیوار بر حجم بتن مورد نیاز نشان می‌دهد که اسکله‌های با زاویه گوز ۵۰ تا ۵۵ درجه، کمترین حجم بتن در واحد طول را نیاز دارد و زاویه گوز در صورت افزایش و یا کاهش نسبت به این مقادیر، افزایش حجم بتن واحد طول اسکله را در پی خواهد داشت. از این رو، انتخاب زاویه گوز ۵۰ تا ۵۵ درجه به عنوان زاویه گوز مناسب برای ساخت اسکله بلوکی گوزپشتی پیشنهاد می‌شود.

یادآور می‌شود در این تحقیق، مشخصات خاک بستر، مشابه خاک منطقه عسلویه که خاکی مناسب از نظر ظرفیت باربری است، در نظر گرفته شده است. همچنین ارتفاع کلیه مدل‌ها برابر با ۱۶ متر اختیار شده است. گرچه ساخت دیوارهای بلوکی در خاک‌های ضعیف‌تر و با ارتفاع‌های متفاوت با ارتفاع ۱۶ متر متصور است، ولی این نوع خاک و این محدوده ارتفاعی به عنوان شرایط معمول و مناسب برای ساخت اسکله بلوکی، برای مطالعه پارامتری انتخاب شده است.

دیوار» و «زاویه گوز» به عنوان دو متغیر تاثیرگذار در طراحی هندسی مقطع گوزپشتی اسکله‌های بلوکی بررسی شده‌اند. برای دستیابی به مقادیر مناسب این دو متغیر برای لحاظ در طراحی هندسی اسکله بلوکی گوزپشتی، با تحلیل دینامیکی چندین دیوار مختلف با استفاده از نرم‌افزار FLAC و مطالعه پارامتری، «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار» و «زاویه گوز» مناسب پیشنهاد شده است.

۱- شتاب وارد به سازه در بلوک‌های بالایی در مقایسه با بلوک‌های زیرین، تأثیر بسیار بیشتری از خود بر جای می‌گذارد و سبب ایجاد نوسانات شدید در مقدار فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک بالایی می‌شود. این موضوع به طور عمده ناشی از تشدید میزان شتاب وارد شده بر سازه در بلوک‌های بالایی است.

۲- مقدار زاویه گوز و نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع دیوار در میزان فشار جانبی دینامیکی خاک پشت بلوک زیرین، تأثیر چندانی نخواهد داشت.

۳- با انتخاب «نسبت ارتفاع گوز به ارتفاع کل دیوار» برابر با ۰/۵، نیروی جانبی دینامیکی خاک پشت دیوار کمتری در مقایسه با سایر نسبت‌های محتمل ایجاد می‌شود. بنابراین نسبت  $h/H=0.5$  به عنوان مقدار مناسب «نسبت

## مراجع

- 1 - Nadim, F. (1982). *A Numerical Model for Evaluation of Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls*, Sc.D. Thesis, Research Report R82-33, Department of Civil engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- 2 - Sung-Ryul Kim, Oh-Soon Kwon, Myoung-Mo Kim. (2004). "Evaluation of force components acting on gravity type quaywalls during earthquakes." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 24, PP. 853–866.
- 3 - Whitman, R. V. (1990). "Seismic design behavior of gravity walls." *Proceedings, ASCE Specially Conference on Design and Performance of Earth Retaining structures*, Geotechnical Specialty Publication 25. ASCE, New York, PP. 817-842.
- 4 - EAU, (2004). *Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbors and Waterway*, Ernst & Sohn, Berlin.
- 5 - PIANC, (2001). "Seismic design guidelines for port structures." *International Navigation Association*, Balkema Publications ISBN 90 265 18188.
- 6 - OCDI, (2002). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan*, Japan, PP. 600.