بررسی رفتار دیوارهای حائل طره ای تحت اثر بار های دینامیکی بروش المانهای محدود

توحید اخلاقی، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه
پست الکترونیکی **t.akhlaghi@mail.urmia.ac.ir**
علی نخودچی،کارشناس ارشد خاک وپی، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه
پست الکترونیکی **anakhodchi@yahoo.com**

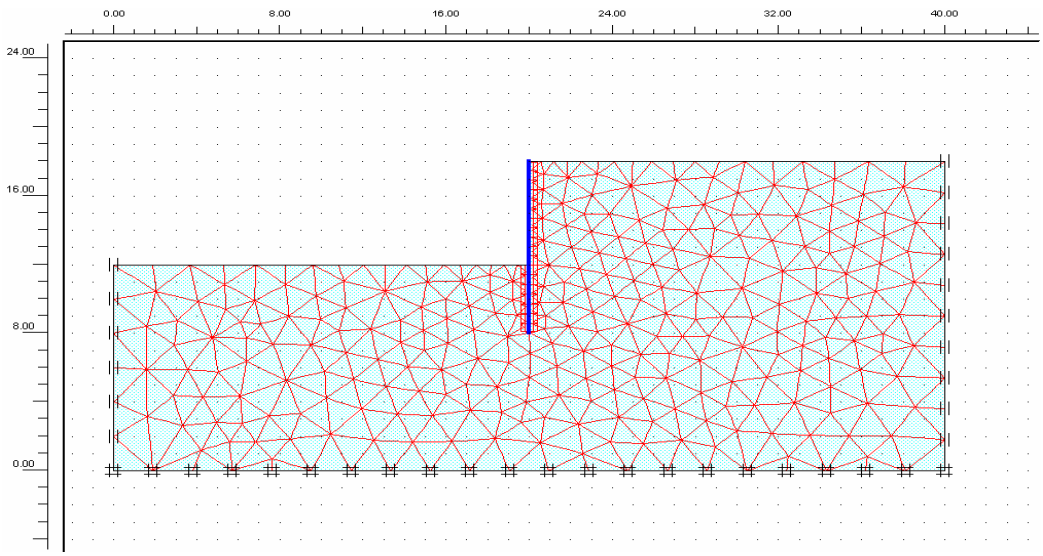
چکیده

در این مقاله به کمک روش المانهای محدود و با استفاده از نرم افزار Plaxis رفتار دیوار حائل و خاک اطراف آن تحت اثر بارهارمونیک بررسی شده است. بدین منظور برای دیوار حائل رفتار بصورت الاستیک و برای خاک مدل الاستو پلاستیک موهر– کولمب در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه اندرکنش خاک و دیوار اثر مهمی بر رفتار دیوار بویژه رفتار یک دیوار انعطاف پذیر دارد جهت اعمال این اثر، جدا شدگی و لغزش خاک نسبت به دیوار توسط المانهای Interface مدلسازی شده و برای رفتار خمشی دیوار از المانهایBeam استفاده گردیده است. مرزهای جاذب انرژی نیز در طرفین توده خاک به منظور ارضاء شرایط جذب انرژی ناشی از امواج فشاری و برشی در مدل بکار گرفته شده اند. تحلیل در حوزه زمان و بکمک انتگرالگیری مستقیم معادلات با استفاده از روش نیومارک انجام می گیرد. در این تحقیق تاثیر پارامترهای هندسی، سختی دیوار، سختی خاک اطراف، میرائی خاک و نیز پارامترهای بار گذاری نظیر دامنه ها و فرکانسهای مختلف بر پاسخ دیوار مورد ارزیابی واقع و نتایج حاصل تجزیه و تحلیل شده ومورد بحث و بررسی قرار میگیرند.

کلید واژه ها : دیوار حائل، اندرکنش خاک ودیوار، مرز جاذب انرژی، میرائی خاک، سختی خاک

۱- مقدمه

دیوارهای نگهبان معمولاً با توجه به وزن، شکل پذیری و نحوه مهارشان به انواع مختلفی طبقه بندی می شوند. چنانچه جهت احداث، فضای کمی در اختیار باشد ویا تغییر مکانهای خاک ودیوار محدود ومقدار آنها مهم باشد، معمولا از دیوار حائل طره ای استفاده می شود. پایداری و مقاومت این دیوارها در برابر رانش جانبی خاک و سایر نیروهای خارجی توسط مقاومت خمشی آنها و عمق نفوذشان در خاک تأمین می شود. در شرایط دینامیکی رفتار این دیوارها به مشخصات هندسی و مکانیکی خاک و دیوار، اثرات اندرکنش خاک ودیوار و همچنین طبیعت حرکات ورودی بعنوان عوامل دینامیکی، بستگی دارد که پیش بینی پاسخ سیستم خاک ودیوار را مشکل میسازد. روشهای کلاسیکی که تاکنون در زمینه تحلیل دینامیکی دیوارهای حائل ارائه شده نظیر روش مونونوبه–اکابه، مستقیما قابل کاربرد برای تمامی دیوارهای حائل نبوده و بایستی در آنها تغییراتی اعمال شود که اینکار باعث ایجاد تقریبات قابل ملاحظه و تخمینهای متفاوتی خواهد شد. از سوی دیگر کارهای متفرقه و محدودی روی مدلهای آزمایشگاهی انجام شده است که در آنها پارامترهای اساسی خاک و دیوار لحاظ نشده و لذا جامع و فراگیر نمی باشند.**[1]** امروزه روشهای عددی نظیر روش المانهای محدود، جایگزین مناسبی برای تحلیلهای کلاسیک و مطالعات آزمایشگاهی بشمار میآیند و نرم افزارهائی که در این زمینه عرضه



شکل ۱- شبکه اجزای محدود در مدلهای تحلیل شده

شده اند، قادرند مسائل پیچیده مانند اثرات اندرکنش محیطهای نمایند و نتایج مطمئن تری ارائه دهند. در این مقاله سعی شده به نحو مطلوبی اندرکنش دینامیکی دیوارهای حائل طره ای و خاک اطراف آن تحت اثر بارهای دینامیکی، بروش عددی المانهای محدود و بکمک نرم افزار Plaxis مورد بحث وبررسی قرار گیرد.

۲- تعریف مسئله و روش تحقیق

۲-۱- فرضیات اساسی

۱- خاک بصورت محیطی نیمه بینهایت، همگن و همسان درنظر گرفته شده است .

۲- با توجه به طول زیاد دیوار درمقایسه با ارتفاع آن، از مدل دوبعدی کرنش مسطح استفاده شده است و رفتار آن در واحد طول بررسی می شود.

۳- برای خاک مدل الاستوپلاستیک موهر- کولمب بکاررفته و از المانهای مثلثی ۱۵ گرهی استفاده شده است. برای دیوار رفتار بصورت الاستیک فرض شده و از المانهای Beam با سه درجه آزادی در هر گره، که بر اساس تئوری Mindlin مدل می شوند، استفاده شده است.[2]

۴- جهت مدلسازی اندرکنش خاک ودیوار از المانهای Interface،که بیانگرلغزش وجداشدگی دیوار نسبت به خاک هستند و بر اساس قانون اصطکاک موهر-کولمب عمل می کنند، مختلف بر هم را در نظر گرفته، مدلها رابه نحو دقیقتری تحلیل استفاده شده است. پارامترهای این المانها توسط یک ضریب کاهنده به پارامترهای مکانیکی خاک وابسته اند.[۳]

۵- با توجه به اینکه ماکزیموم تغییر مکان دیوار در بالاترین نقطه آن رخ میدهد و بنا بر توصیه A.S.Veletsos (۱۹۹۷) تغییر مکان این نقطه بعنوان پاسخ دینامیکی سیستم خاک- دیوار مورد مطالعه قرار گرفته است.[4]

۶- میرایی خاک از نوع میرایی مصالح بوده و از مدل میرایی رایلی استفاده شده است. لازم بذکر است در میرایی رایلی، ماتریس میرایی به ماتریسهای جرم و سختی سیستم وابسته است. در این تحقیق میرائی خاک بطور متوسط ۸٪ در نظر گرفته شده است.[5]

۷- در شکل۱ مدل المانهای محدود سیستم خاک-دیوار نشان داده شده است.

۳- روش تحقیق

۳-۱- اعمال شرایط اولیه

قبل از شروع تحلیل لازمست شرایط اولیه مشخص گردند.معمولا شرایط اولیه شامل شرایط سطح آب زیرزمینی و شرایط تنشهای مؤثر است. در این تحقیق با فرض عدم وجود اثر آب زیر زمینی ،تعادل محیط خاک، تنها با اعمال شرایط تنش اولیه، بکمک ضریب فشار جانبی در حالت سکون (k_0)برقرار می

شود. برای آنکه تمامی مدلها از شرایط اولیه یکسانی برخوردار شوند، مقدار k_0 برابر ۵/. فرض می شود.

۳-۲- بارگذاری

در این تحقیق با توجه به پارامتری بودن مطالعات و فلسفه طراحی، از یک تحریک دینامیکی هارمونیک استفاده شده است. بررسی خواص زلزله های ایران، متوسط شتاب حداکثر را در محدوده **g**۱/. الی **g**۴/. نشان می دهد. لذا با توجه به نتایج مطالعات لرزه خیزی برای پروژه های بزرگ در نقاط مختلف کشور که شتاب سطح طراحی را در محدوده **g** ۲/. و **g**۳/. نشان می دهند، یک بارگذاری سینوسی با دامنه حداکثر**g**۲۵ /. و فرکانس متغیر۵/. تا۱۰ هرتز در نظر گرفته می شود.

۳-۳- مرزهای جاذب انرژی

در این تحقیق جهت مدلسازی مرزهای جاذب انرژی از روش لایسمر، کوهلایمر استفاده شده است در این روش مرزهای جاذب انرژی شامل تعدادی میراگر بمنظور استهلاک افزایش تنشهای ناشی از امواج و جلوگیری از انعکاس آنها بدرون محیط انتشار هستند. مولفات تنشهای نرمال و برشی جذب شده توسط یک میراگر در جهت بصورت زیر است:

$$\sigma_n = -c_1 \rho v_p \dot{u}_x$$
$$\tau = -c_2 \rho v_s \dot{u}_y$$

ρ دانستیه مصالح محیط انتشار، v_s سرعت موج برشی، v_p سرعت موج فشاری و $\dot{u}_y, \dot{u}_x$ سرعت حرکت ذرات بترتیب در جهات Y, X که در داخل محیط با عبور موج بحرکت در می آیند، است.

c_2, c_1، ضرایب استهلاک بمنظور بهبود و اصلاح اثرات جذب تنشها هستند. ضریب c_1 پراکندگی و استهلاک در جهت عمود بر مرز و ضریب c_2 در جهت مماس بر مرز را اصلاح می کنند. پژوهشها و تحقیقات بسیاری در زمینه انتخاب این ضرایب انجام شده، که مقادیر $c_2 = 0.25, c_1 = 1$ را بطور منطقی و معقولانه تائید می نمایند. در این تحقیق نیز از مقادیر $c_2 = 0.25, c_1 = 1$ استفاده شده است.**[6]**

۳-٤- تحلیل دینامیکی

جهت حل عددی معادلات دینامیکی حرکت و انتگرالگیری از آنها در حوزه زمان، از آنالیز دینامیکی گام به گام بروش نیومارک استفاده شده است.در این روش بمنظور اطمینان از جوابها و دقت انتگرالگیری از پارامترهای α, β نیومارک استفاده می شود. و برای بدست آوردن یک پاسخ پایدار، بایستی شرایط زیر اعمال گردد:

$$\alpha \geq \frac{1}{4}(\frac{1}{2} + \beta)^2, \beta \geq 0.5$$

برای روش شتاب متوسط نیومارک :

$$\alpha = 0.25, \beta = 0.5$$

برای طرح میرائی نیومارک :

$$\alpha = 0.3025, \beta = 0.6$$

در این تحقیق از ضرایب فوق با توجه به شرایط مقتضی استفاده شده است.[۳]

۴- مطالعات پارامتریک

در این تحقیق مطالعات پارامتریک روی دیوارهای حائل طره ای بصورت زیر انجام شده است:

الف- اثر پارامترهای مختلف خاک نظیر مدول یانگ E، زاویه اصطکاک ϕ، چسبندگی c، وزن مخصوص γ و نسبت میرائی D، بر پاسخ سیستم.

ب- اثر پارامترهای هندسی و مکانیکی دیوار نظیر سختی خمشی EI وسختی محوری EA در واحد عرض دیوار و همچنین ضریب پواسون υ بر پاسخ سیستم. برای این منظور از چهار نوع دیوار با سختی های مختلف بشرح جدول 1 استفاده می شود.

جدول ۱- دیوارها با مشخصات مختلف

جنس دیوار	صلب بتنی	دیافراگم بتنی	سپر فولادی	دیوارنرم فولادی
مشخصه دیوار(بدون بعد)	4	3	2	1
$EI(KN.m^2/m)$	1.5×10^9	2×10^6	8×10^4	2×10^4
$EA(KN/m)$	2.5×10^{10}	4×10^7	4×10^6	4×10^6
υ	0.17	0.17	0.3	0.3

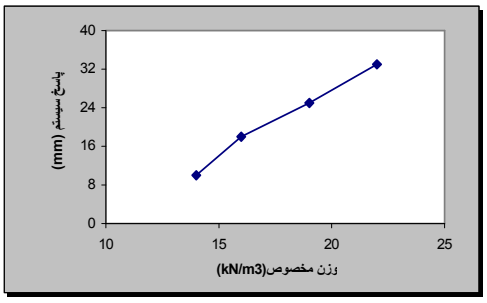
ج : اثر پارامترهای مختلف بار هارمونیک بصورت تغییر فرکانسها وتغیر دامنه های بارگذاری، بر پاسخ دینامیکی سیستم خاک و دیوار.

۵- نتایج وبحث

با انجام مطالعات پارامتریک، اثرات پارامترهای مختلف روی پاسخ دینامیکی سیستم بررسی شده است. در شکل۲ اثر دانسیته خاک نشانداده شده است. مشاهده می شود افزایش وزن مخصوص خاک منجر به افزایش پاسخ دیوار می شود.

اثر اصطکاک داخلی خاک در خاکهای دانه ای در شکل۳ نشانداده شده است. با افزایش زاویه اصطکاک، پاسخ سیستم ش یافته است. لذا جهت کاهش تغییر مکانها ونیروهای داخلی در خاک لازمست با تمهیداتی، سختی خاک را افزایش داد. این موضوع لازمست در طراحی مد نظر قرار گیرد.

در شکل۶ اثر تغییرات میرایی در خاک نشانداده شده است. بعلت کاهندگی واستهلاک انرژی در طول تحلیل، با افزایش میرایی پاسخ دینامیکی سیستم کاهش می یابد.



شکل ۲ - اثر وزن مخصوص بر پاسخ سیستم

کاهش می یابد. علت آن بخاطر وجود اصطکاک بین ذرات خاک می باشد که تغییرمکانها در توده خاک را محدود ساخته است.

اثر پارامتر چسبندگی در خاکهای ریز دانه در شکل۴ نشانداده شده است. با افزایش چسبندگی بعلت محدود شدن تغییر مکانها پاسخ سیستم کاهش می یابد.

اثر مدول یانگ خاک بر پاسخ سیستم در شکل(۵) نشانداده شده است. مشاهده می شود با افزایش سختی خاک، تغییرمکان دیوار کاه

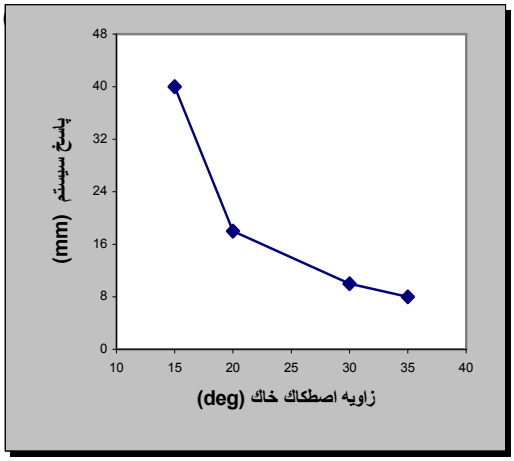
در شکل۷ اثرجنس وسختی دیوار بر پاسخ سیستم نشانداده شده است.همانطوریکه مشاهده می شود با افزایش سختی دیوار، پاسخ دینامیکی سیستم کاهش می یابد.

از تحلیل یک مدل با مشخصات ثابت خاک و دیوار، تحت بارگذاری با فرکانسهای مختلف وبررسی پاسخ دینامیکی سیستم خاک و دیوار، مشاهده شد،در حدود فرکانس ۴ هرتز پاسخ سیستم شدیدا افزایش و پس از این فرکانس، پاسخ سیستم کاهش یافته است، لذا با توجه به تعریف پدیده تشدید، نتیجه می شود فرکانس طبیعی سیستم (که در آن پدیده تشدید رخ می دهد) تقریبا ۴ هرتز است. این موضوع در شکل۸ نشانداده شده است.

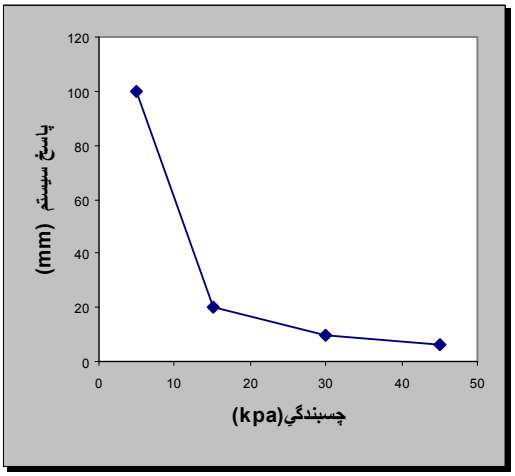
با توجه به روابط زیر و با تغییر پارامتر دامنه بارگذاری واعمال شتابهای مختلف به سنگ بستر، اثر این پارامتر بر پاسخ سیستم در شکل۹ نشانداده شده است.

تغییر مکان :

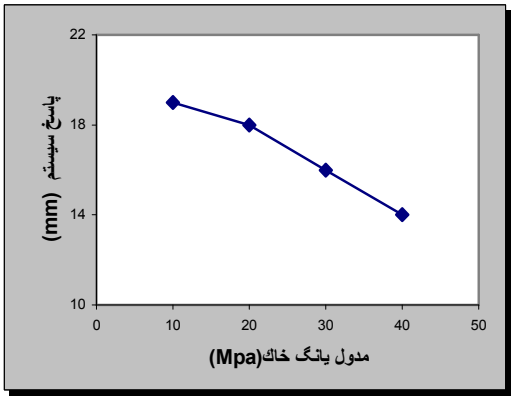
$$Y = r\sin(\omega t + \theta_0)$$



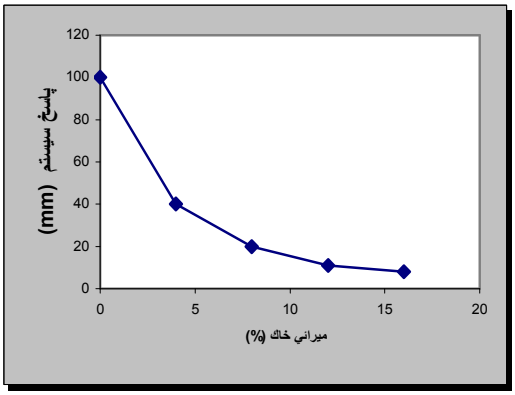
شکل۳ - اثر زاویه اصطکاک خاک بر پاسخ



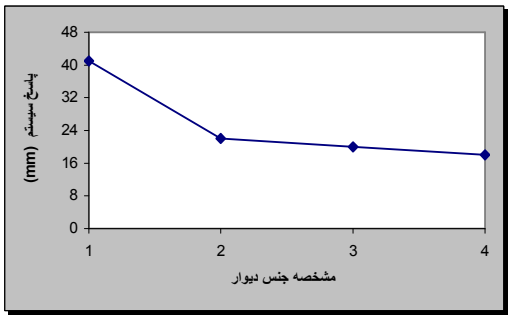
شکل۴ - اثر چسبندگی خاک بر پاسخ سیستم



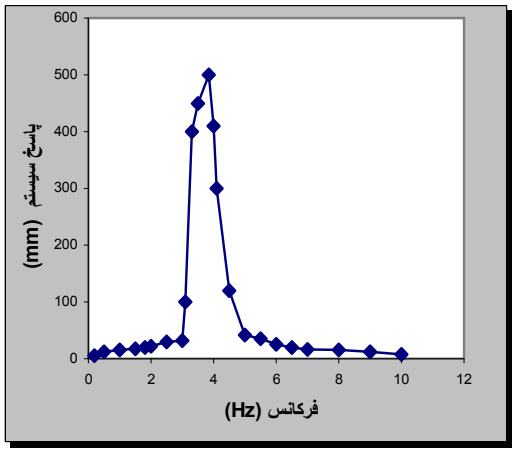
شکل۵- اثر سختی خاک بر پاسخ سیستم



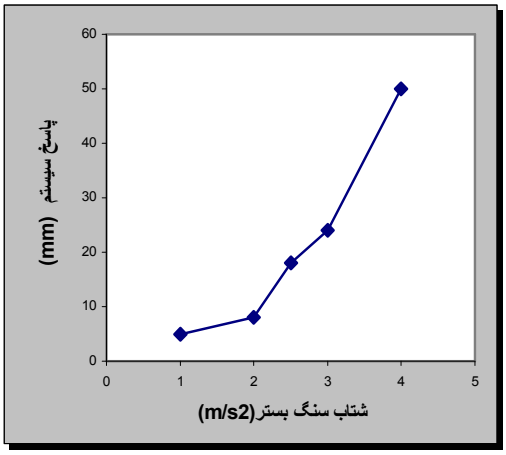
شکل۶- اثر میرایی خاک بر پاسخ سیستم



شکل۷- اثر جنس دیوار بر پاسخ سیستم



شکل۸- اثر فرکانس بارگذاری بر پاسخ سیستم



شکل۹- اثر دامنه بارگذاری بر پاسخ سیستم

شتاب :

$$a = -r\omega^2 \cos(\omega t + \theta_0)$$

همانطوریکه مشاهده می شود هر چه شتاب وارد بر سنگ بستر بیشتر باشد، تغییرمکان ماکزیمم دیوار نیز بیشتر خواهد شد.

۶-خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله رفتار دیوارهای حائل طره ای تحت اثر بارهای دینامیکی بروش المانهای محدود، با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و دیوار، توسط نرم افزار **Plaxis** بررسی وتاثیر پارامترهای مختلف خاک، دیوار وبارگذاری مطالعه شده است. نتایج مطالعات نشان می دهند، با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، چسبندگی خاک، میرائی خاک وهمچنین مدول یانگ خاک، ماکزیموم تغییرمکان دیوار حائل کاهش یافته است. در حالیکه افزایش وزن مخصوص خاک باعث افزایش پاسخ دینامیکی سیستم خواهد شد. همچنین در محدوده فرکانس طبیعی سیستم، بعلت وقوع پدیده تشدید، پاسخ سیستم به شدت افزایش می یابد وپس از مقذار مشخصی تغییرات فرکانس بر پاسخ دیوار، کم اثر خواهد شد. لذا مطالعه این پدیده در روند طراحی از اهمیت بسزایی برخوردار است. از سوی دیگر هرچه شتاب حرکت سنگ بستر افزایش یابد، ماکزیموم تغییرمکان دیوار نیز افزایش می یابد.

۷- مراجع

[1]Kramer, S. L., "Geotechnical earthquake engineering", Prentice–Hall, University of washington, 1996.

[2]Bathe, K. J., " Finite element analysis in engineering analysis", Prentice–Hall, New Jersey, 1982.

[۳] نخودچی، علی، " بررسی رفتار دینامیکی دیوارهای حائل طره ای بروش المانهای محدود،" پایان نامه کارشناس ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۲ .

[4]Veletsos, A.S., Younan, A.H., "Dynamic Response of Cantilever Retaining walls, ," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 2, 1997, pp. 161-172.

[5]Zerwer , A., Cascante , G., and Hutchinson, J., " Parameter Estimation in Simulations of Finite Element Rayleigh Waves," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 128, No. 3, 2002, pp. 250-261.

[6]Lysmer , J., and Kuhlemeyer, R. L., " Finite Dynamic Model for Infinite Media," Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 95, No. EM4, Proc. Paper 6719, Aug., pp. 859-877, 1969.

Investigation of contilever retaining walls behavior under dynamic loads using FEM

Tohid Akhlagi
Assistant Professor, Engineering Faculty, Urmia University
t.akhlaghi@mail.urmia.ac.ir

Ali Nokhodchi
anakhodchi@yahoo.com

In this paper, the behavior of retaining walls and it's backfill have been investigated harmonic load with the help of finite element method using plaxis software. The wall has been considered to behave elastically and the elastoplastic Mohr-Coulomb model has been used for the soil behavior. Interface elements are placed around the wall to model the interaction between the wall and the soil. Beam elements has also been employed to model the flexural behavior of the wall. Absorbent boundaries are specified at the right and left hand side boundaries in order to avoid the spurious reflections of the compressional and shear waves. The analysis is conducted in the time domain using the Newmark step-by-step method to numerically solve the equation. In this research, the effects of the geometric parameters, wall rigidity, backfill rigidity and soil damping have been investigated. Furthermore, the effects of loading parameters such as amplitude and frequency of the load on the response of the wall have also been studied and the results have been analyzed, assessed and discussed.

Key Words: retaining walls, interaction between the wall and the soil, wall rigidity