

بهینه سازی دیوارهای حائل خاک مسلح با استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی

مرتضی جیریایی¹، اسد الله رنجبر کرکانکی²، ایمان رئیسی زاده³، حمیدرضا غفاری⁴

1- دکتری مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی، استادیار دانشگاه قم

2- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران

3- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی اراک

4- کارشناس ارشد مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی اراک

jiryaei@qut.ac.ir
ranjbar.iau@gmail.com
i-raeisi92@iau-arak.ac.ir
hr.ghafari63@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق سعی شده که با استفاده از بهینه سازی به کمک الگوریتم ژنتیک (GA)، پارامترهای اقتصادی دیوار به گونه ای ارائه شود که شرایط پایداری خارجی دیوار حائل خاک مسلح از قبیل: واژگونی، لغزش، ظرفیت باربری و نشست به طور کامل کنترل شود و همچنین از لحاظ پایداری داخلی، (کنترل پاره شدگی و بیرون کشیدگی) عناصر مسلح کننده در مقابل نیروهای وارده به خوبی مقاومت کنند. برای بدست آوردن نیروهای وارد بر دیوار از روش شبه استاتیکی مونونوبه- اکابه استفاده شده است. همچنین یک برنامه کامپیوتری ارائه شده که قادر است دیوارهای حائل را با توجه به مشخصات مختلف مصالح خاکریز، خاک زیر پایه، شرایط مختلف زلزله خیزی طرح، وجود سر بار بر روی خاکریز و حتی در صورت محدودیت داشتن در انتخاب پارامترهای دیوار، از لحاظ هزینه، عناصر مسلح کننده را بهینه کند و پارامترهای بهینه شده دیوار را ارائه دهد، به گونه ای که شرایط پایداری داخلی و خارجی دیوار کاملاً کنترل شود. در این تحقیق برای استفاده آسانتر مهندسان از ابعاد پیشنهادی، با استفاده از چند نوع خاک در پشت و کف دیوار و شرایط لرزه ای مختلف، برای ارتفاع های متفاوت آنالیز صورت گرفته و نتایج به صورت روابط و جداول ارائه شده است. با استفاده از این روابط می توان ابعاد و هزینه بهینه دیوار را بدون مراجعه مستقیم به برنامه بدست آورد. همچنین در این تحقیق آنالیز دینامیکی دیوار حائل خاک مسلح به روش تحلیل تنش - کرنش غیر خطی بوسیله نرم افزار PLAXIS نیز انجام شده و ابعاد بهینه با ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک محاسبه شده است تا با مقایسه ای که بین نتایج دو روش می شود بتوان درصد اختلاف در محاسبه هزینه و ابعاد بهینه از تحلیل شبه استاتیکی (روش مونونوبه اکابه) و تحلیل دینامیکی را بدست آورد.

واژه های کلیدی: دیوار حائل خاک مسلح؛ الگوریتم ژنتیک؛ شبکه عصبی؛ بهینه سازی؛ تئوری مونونوبه- اکابه؛ نرم افزار

PLAXIS

1- مقدمه

هنگام طراحی دیوارحائل مسلح باید ابعاد اولیه ای برای عناصر مسلح کننده آن حدس زده شود. با انجام کنترل های پایداری، این ابعاد باید آنقدر تغییر یابند تا شرایط مناسب برای طراحی حاصل گردد. طراح برای انتخاب ابعاد اولیه منطقی دیوار حائل خاک مسلح که با توجه به تجربیات گذشته به دست آمده، استفاده می کند. ابعاد پیشنهادی فقط می تواند جوابگوی یک حالت خاص از مشخصات مصالح خاکریز، کف دیوار و شرایط لرزه خیزی منطقه باشند. بررسی ها نشان می دهد که با تغییر شرایط طرح از قبیل: مشخصات مصالح، شرایط

زلزله خیزی، ارتفاع دیوار و داشتن محدودیت در انتخاب ابعاد به صورت دلخواه و سایر موارد به هیچ عنوان این ابعاد نمی توانند جوابگوی یک طرح اقتصادی باشند. ارائه یک طرح اقتصادی و بهینه در دیوارهای حائل مسلح عمدتاً بر اساس تجربه مهندس طراح می باشد. روشهای بهینه سازی را می توان به دو روش محاسباتی و روشهای غیراستدلالی (جستجوی تصادفی) دسته بندی کرد. معمولاً روشهای دقیق محاسباتی بر اساس محاسبه راه حلهای بهینه با استفاده از تکنیک های تکراری برنامه ریزی خطی استوار هستند [2,1]. این روشها زمانی موثرند که تعداد متغیرهای مساله کم باشد زمانیکه تعداد متغیرها افزایش می یابد این روشها بسیار وقت گیر می شوند. برای نمونه می توان به تحقیق ساریاس و آرباتوراشاره کرد، در این تحقیق از برنامه ریزی غیر خطی برای بهینه سازی دیوار استفاده شده است [3]. دومین دسته از روشهای بهینه سازی روشهای جستجوی تصادفی هستند که اخیراً توسعه یافته اند. از جمله روشهای جدید بهینه سازی که امروزه در حل بسیاری از مسائل مختلف مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: الگوریتم ژنتیک (GA)؛ سرد شدن فلزات مذاب (SA)؛ کلونی مورچه.... [5,4]. از این روشها بدون توجه به نوع محاسبات، می توان در سطوح مختلف مهندسی استفاده کرد [6]. در این روشها از الگوریتم های ساده ای برای محاسبات پیچیده استفاده می شود.

الگوریتم ژنتیک که بر پایه تئوری تکامل داروین استوار است اولین باز توسط هولند مطرح شد [7]. بعد از آن گلدبرگ معرفی کامل و دقیقی از این روش ارائه داد [8]. از اولین مطالعات در بهینه سازی سازه ها می توان به تحقیقات جنکینز و همکاران اشاره کرد [9]. به طور مشابه محققین دیگری از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی دیوار ساختمان ها استفاده کردند [10-14]. درباره بهینه سازی دیوارهای حائل مسلح بادهر و همکاران با روش بهینه سازی بدون قید (SUMT)، به روش تکراری، طول و فاصله ژئوگرید را برای یک لایه در دیوار و برای یک سختی مشخص ارائه داده اند این تحقیق یک مطالعه پارامتری است و هیچ گونه نتیجه کلی و عمومی را در بر ندارد [15]. این روش زمانی موثر است که تعداد متغیرهای مساله کم باشد زمانیکه تعداد متغیرها افزایش می یابد این روش بسیار وقت گیر می شود. در ادامه نتایج این تحقیق با تحقیق حاضر مقایسه شده است.

بنابراین در تحقیق حاضر سعی می شود تا ابعاد عناصر دیوار حائل خاک مسلح به صورت روابط و گراف به گونه ای ارائه شوند تا این ابعاد اولاً جوابگوی شرایط مختلف و محدودیت های موجود در طرح باشد ثانیاً از لحاظ طراحی داخلی و خارجی، اجزاء دیوار بتوانند در مقابل نیروهای وارده به خوبی مقاومت کنند و ثالثاً هزینه دیوار حائل خاک مسلح از لحاظ اقتصادی بهینه باشد.

2- نحوه عملکرد برنامه الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی دیوار حائل خاک مسلح

مونونوبه و ماتسو[16] و اکابه[17] مبانی یک تحلیل شبه استاتیکی رانش لرزه ای خاک بر سازه های حائل را پایه ریزی کردند که در مقیاس وسیعی به نام روش مونونوبه و اکابه معروف گردیده است در واقع این روش بسط مستقیم تئوری استاتیکی کولمب برای شرایط شبه استاتیکی می باشد.

در تحقیق حاضر برای محاسبه نیروهای وارده ناشی از خاکریز وارد بر پشت دیوار و ضرایب اطمینان خارجی از روش کولمب استفاده شده است. همچنین برای محاسبه نیروها و بررسی پایداری داخلی دیوار از روش رانکین استفاده می شود زیرا فرضیات بکار گرفته شده در این روش ها به نحوه رفتار و عملکرد دیوار تحت نیروهای وارده نزدیکتر است. برای اینکه بتوان محاسبات را سریعتر انجام داد، یک برنامه کامپیوتری براساس تئوری مونونوبه اکابه نوشته شده است که در واقع این برنامه آنالیزگر الگوریتم ژنتیک خواهد بود. در این برنامه از فرضیات زیر برای طراحی دیوار حائل خاک مسلح استفاده شده است:

1- استفاده از نیروی وارد شده توسط خاکریز برای محاسبه ضرائب اطمینان واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری که توسط روش کولمب تعیین می شود.

2- محاسبه ضرائب اطمینان داخلی عناصر مسلح کننده شامل: مقاومت در برابر پاره شدگی و بیرون کشیدگی مصالح مسلح کننده، که این نیروهای داخلی توسط روش رانکین تعیین می شود.

3- استفاده از روش الاستیک برای محاسبه نشست دیوار.

4- استفاده از حداقل ضریب اطمینان 2 برای کنترل واژگونی دیوار، ضریب اطمینان 1/5 برای کنترل لغزش و ضریب اطمینان 3/5 برای کنترل ظرفیت باربری و کنترل نشست و مینیمم تنش زیر دیوار.

5- استفاده از حداقل ضریب اطمینان 1/5 برای کنترل ضرائب اطمینان پاره شدگی و بیرون کشیدگی مصالح مسلح کننده.

به طور کلی در این تحقیق تقریباً کلیه محدودیتهای ارائه شده در آئین نامه (FHWA) در محاسبات در نظر گرفته شده است.

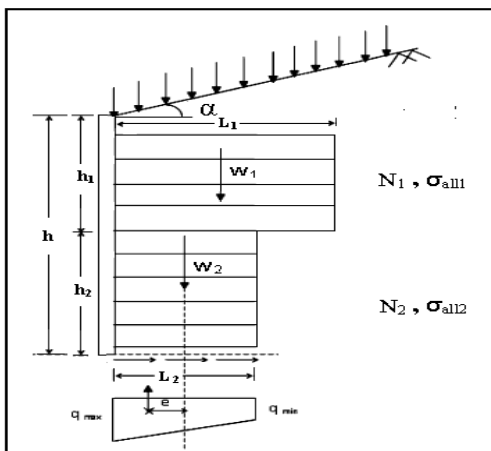
این برنامه قادر است با دریافت ابعاد و مشخصات مختلف ژئوگرید یا ژئوتکستایل بکار رفته شده در دیوار حائل خاک مسلح و مشخصات ژئوتکنیکی و ضرائب زلزله مختلف، ضرائب اطمینان داخلی و خارجی را ارائه دهد. بعد از محاسبه ضرائب اطمینان توسط برنامه، برای محاسبه ابعاد بهینه ابتدا باید تعریفی از دیوار حائل خاک مسلح بهینه ارائه شود.

به دیواری، حالت بهینه گفته می شود که مقدار ژئوگرید یا ژئوتکستایل مصرفی در بدنه دیوار (هزینه دیوار) حداقل باشد به گونه ای که شرایط پایداری خارجی دیوار کنترل شود و از حد مجاز تجاوز نکند و همچنین دیوار از لحاظ پایداری داخلی بتواند در مقابل نیروهای وارده مقاومت کند. بنابراین برای محاسبه هزینه، یک تابع هدف تعریف می شود، که این تابع هدف با توجه به پارامترهای ورودی (شامل: طول، فاصله و سختی عناصر مسلح کننده) می تواند هزینه دیوار حائل خاک مسلح را محاسبه کند. در این تحقیق با توجه به ارزش ژئوگرید، تابع هزینه بر اساس

سختی و ابعاد و تعداد لایه های ژئوگرید به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{هزینه} = L_1 * N_1 * (.1 * (\sigma_{all1}) + 1) + L_2 * N_2 * (.1 * (\sigma_{all2}) + 1)$$

حال با مشخص شدن تابع هدف، نیاز به وارد کردن ابعاد مختلف به تابع هدف و بدست آوردن هزینه های مختلف هستیم (تا بتوانیم از بین هزینه های مختلف کمترین هزینه را بدست آوریم) برای رسیدن به این منظور از الگوریتم ژنتیک استفاده شد، در این حالت با مشخص کردن حداقل و حداکثر پارامترها و ابعاد، به برنامه اجازه داده می شود تا به طور تصادفی ابعاد مختلف را از مقادیر مشخص شده انتخاب کند.



شکل 1: پارامترهای تاثیر گذار بر روی ابعاد بهینه دیوار

جدول 1: معرفی پارامترها و نشانه های تاثیر گذار بر روی ابعاد بهینه دیوار

واحد	نشانه	پارامتر
m	L	طول ژئوگرید
-	N	تعداد لایه ها
KN/m ²	σ_{all}	سختی ژئوگرید
m	h	ارتفاع دیوار
° درجه	α	شیب خاکریز
° درجه	ϕ_1	زاویه اصطکاک داخلی خاکریز
KN/m ³	γ_1	وزن مخصوص خاکریز
KN/m ²	$C_1=0$	چسبندگی خاکریز
° درجه	ϕ_2	زاویه اصطکاک داخلی خاک زیر پایه
KN/m ³	γ_2	وزن مخصوص خاک زیر پایه
KN/m ²	C_2	چسبندگی خاک زیر پایه
Kg/m	W	وزن دیوار مسلح شده
KN/m ²	q	سربار گسترده
m	S_v	فاصله بین مسلح کننده ها

$$(5 < \sigma_{all1} < 100), (0 < L_2 < 15), (0 < L_1 < 15)$$

$$(.3 < S_v < 1), (5 < \sigma_{all2} < 100)$$

به دلیل محدودیت های اجرایی در تمام محاسبات:

1- مقدار sv مضربی از $0/1$ می باشد.

2- فرض شده است که دیوار 5 متری به 2 لایه $2/5$ متری، دیوار 6 متری به 2 لایه 3 متری، دیوار 7 متری به 2 لایه 3 و 4 متری و دیوار 8 متری به 2 لایه 4 متری تقسیم شده است که هر لایه دارای سختی، طول و فاصله ژئوگرید متفاوتی می باشد.

حال برنامه الگوریتم ژنتیک از بین مقادیر مشخص شده، به طور تصادفی مقادیر را انتخاب می کند در واقع هر سری از مقادیر انتخاب شده یک ورودی برای محاسبه ضرایب اطمینان و هزینه ژئوگرید به کار رفته در دیوار، برای برنامه ارائه شده می باشند.

انتخاب تصادفی ابعاد دیوار به صورت 300 نسل و هر نسل شامل 400 جمعیت می باشد. در این حالت تعداد زیادی هزینه (خروجی) خواهیم داشت که تعدادی از این هزینه ها مینیمم می باشند، اما ممکن است از لحاظ شرایط پایداری داخلی و خارجی، دیوارها جوابگوی حداقل مقادیر مجاز نباشند. بنابراین برای خارج کردن این دیوارها از محاسبات از توابع جریمه استفاده شده است. در واقع توابع جریمه قید های مسئله براساس ضرایب اطمینان و حداقل ابعاد سازه ای مجاز می باشند.

محاسبه تابع هدف در مراحل قبل در واقع از ترکیب دو برنامه جداگانه بدست آمد که یکی قابلیت محاسبه ضرایب اطمینان و دیگری قابلیت محاسبه تابع هدف (هزینه) و اعمال توابع جریمه، برای محاسبه حداقل هزینه را دارد. به عنوان نمونه برای یک دیوار با مشخصات ژئوتکنیکی زیر مقادیر بهینه برای 4 ارتفاع مختلف بدست آمد:

$$(\varphi_2=30^\circ, \gamma_2=18, \varphi_1=35^\circ, \delta=2/3\varphi_1, K_v=0, \alpha=5^\circ, \gamma_1=19, C_1=0, C_2=25, q=0, K_h=0/05)$$

$K_h, K_v =$ ضرایب شتاب های قائم و افقی زلزله.

نتایج بدست آمده از روش الگوریتم ژنتیک و نتایج بدست آمده توسط بادر و همکاران در جداول 2 و 3 آورده شده است. [15]

جدول 3: ابعاد پیشنهادی توسط بادر و همکاران برای 4 ارتفاع مختلف [15]

h (m)	L (m)	$\sigma_{all}(KN/m)$	sv (m)	N
5	4.55	45.66	1.25	4
6	5.39	47.96	1.2	5
7	6.23	51.19	1.17	6
8	7.07	54.88	1.14	7

جدول 2: ابعاد محاسبه شده توسط الگوریتم ژنتیک برای 4 ارتفاع مختلف

h(m)	L1 (m)	L2 (m)	$\sigma_{all}(KN/m)$	sv(m)	N
5	2.49	2.32	46	0.9	6
6	3.01	2.77	47	0.9	7
7	3.53	3.3	51	0.8	9
8	4.05	3.76	55	0.8	10

درباره بهینه سازی دیوارهای حائل مسلح بادر و همکاران با روش بهینه سازی بدون قید (SUMT)، به روش تکراری، طول و فاصله ژئوگرید را برای یک لایه در دیوار و برای یک سختی مشخص ارائه داده اند این تحقیق یک مطالعه پارامتری است و هیچ گونه نتیجه کلی و عمومی را در بر ندارد [15].

نتایج ارائه شده در جدول 2 با ثابت گرفتن مقادیر سختی محاسبه شده اند تا بتوان نتایج را با نتایج بدست آمده

توسط بادره و همکاران مقایسه کرد.

همچنین برای یک دیوار حائل خاک مسلح با مشخصات ژئوتکنیکی زیر پارامترهای بهینه دیوار برای 4 ارتفاع مختلف بدست آمد:

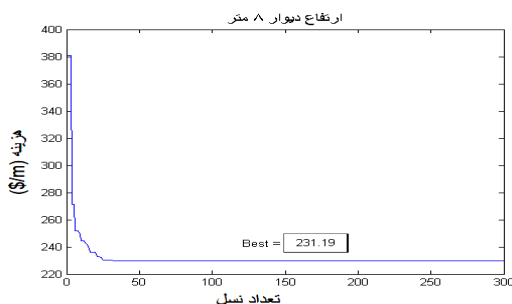
$$(\varphi_2=25, \gamma_2=19, \varphi_1=30, \delta=.8\varphi_1, K_v=0, \alpha=5^\circ, \gamma_1=18, C_1=0, C_2=30, K_h=.15, q=0)$$

K_h = ضریب شتاب افقی زلزله.

جدول 4: مقادیر پارامترهای بهینه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک برای 4 ارتفاع مختلف

ارتفاع دیوار (m)	5	6	7	8
هزینه (\$/m)	60.36	113.9	180.15	231.19
L_1 (m)	3.39	3.96	4.58	5
L_2 (m)	3.93	4.52	5.08	6.47
N_1	3	4	5	5
N_2	3	4	6	5
σ_{all1} (KN/m ²)	11.97	15.84	14.88	19.77
σ_{all2} (KN/m ²)	23.76	31.8	31.94	39.96
S_{v1} (m)	0.7	0.7	0.7	0.7
S_{v2} (m)	0.7	0.7	0.6	0.7
پاره شدگی FS_{min}	1.52	1.51	1.55	1.51
کشیدگی بیرون FS_{min}	3.47	3.45	3.96	3.01
واژگونی FS_{min}	2	2	2	2
لغزش FS_{min}	2.63	2.49	2.32	2.24
باربری ظرفیت FS_{min}	6.95	5.32	4.47	6.26
q_{min} (KN/m ²)	4.78	0	0	13.41
نشست (cm)	0.8	1.22	1.65	2.07

در شکل 2 می توان چگونگی کاهش هزینه توسط برنامه و همگرایی به جواب بهینه (کمترین هزینه) را ملاحظه کرد.



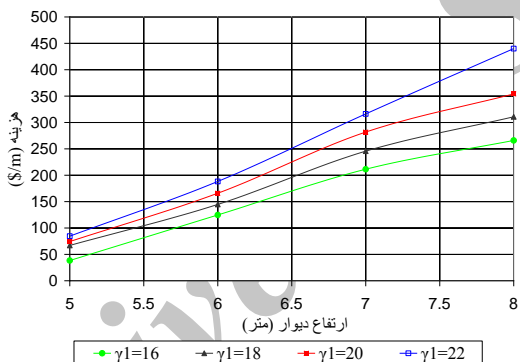
شکل 2: چگونگی کاهش هزینه و همگرایی به جواب بهینه (کمترین مقدار)

حال با مشخص شدن مکانیزم و عملکرد برنامه، آنالیزهای مختلفی برای مشخصات مختلف ژئوتکنیکی مصالح خاکریز، با توجه به ارتفاع های گوناگون دیوار انجام شد.

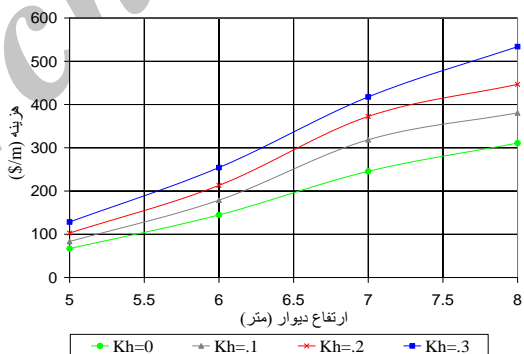
3- بررسی اثر تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی و شرایط لرزه ای مختلف بر روی مقدار هزینه حداقل.

با توجه به اینکه تعداد پارامترهای تاثیر گذار در بدست آوردن مقادیر بهینه دیوار خاک مسلح زیاد می باشند، در این تحقیق سعی شده است ابتدا پارامترهایی که تاثیر گذاری بیشتری دارند شناسایی شوند. بنابراین بر اساس پارامترهای مختلف، حالت بهینه برای ارتفاع های مختلف دیوار محاسبه شده و نتایج زیر حاصل شده است. با توجه به حجم زیاد داده ها فقط پارامترهایی که تاثیر گذارتر هستند در جداول و نمودارها ارائه خواهند شد. بنابراین در هر قسمت سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شده اند. مقادیر ثابت پارامترها به صورت زیر می باشند:

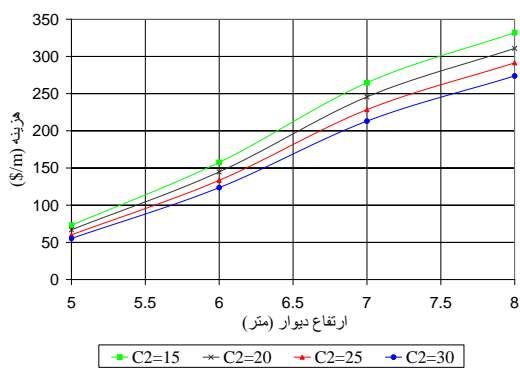
$$\varphi_2=25, \gamma_2=19, \varphi_1=30, \delta=2/3\varphi_1, \alpha=5^\circ, \gamma_1=18, C_1=0, C_2=20, Kh=15$$



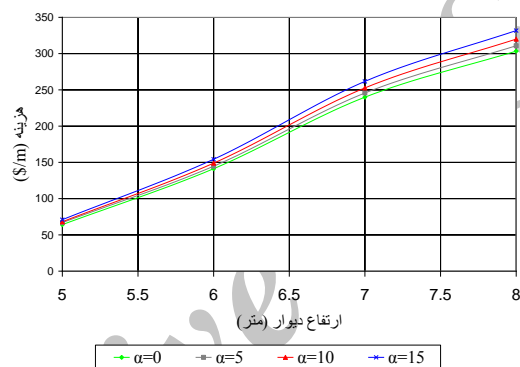
شکل 3: تغییرات هزینه حداقل نسبت به تغییرات وزن مخصوص خاکریز (γ_1)



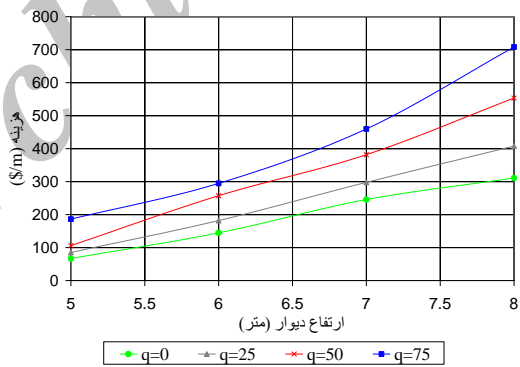
شکل 4: تغییرات هزینه حداقل نسبت به تغییرات شتاب افقی زلزله (Kh)



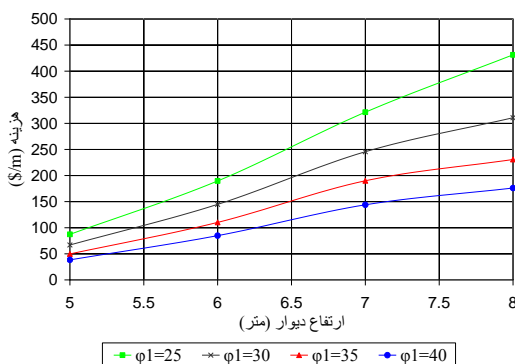
شکل 5: تغییرات هزینه حداقل نسبت به چسبندگی خاک زیر دیوار (C2)



شکل 6: تغییرات هزینه حداقل نسبت به تغییرات شیب خاکریز (alpha)



شکل 7: تغییرات هزینه حداقل نسبت به تغییرات سربار گسترده خاکریز (q)



شکل 8: تغییرات هزینه حداقل نسبت به زاویه اصطکاک داخلی خاکریز (ϕ)

جدول 5: درصد تغییرات حداقل هزینه با تغییرات پارامترهای تاثیر گذار

ارتفاع دیوار (متر)	γ_1	C_2	α	ϕ_1	q	K_h
5	120%	32%	11%	127%	178%	92%
6	51%	27%	9%	124%	104%	76%
7	50%	24%	9%	123%	87%	70%
8	65%	21%	9%	145%	128%	72%

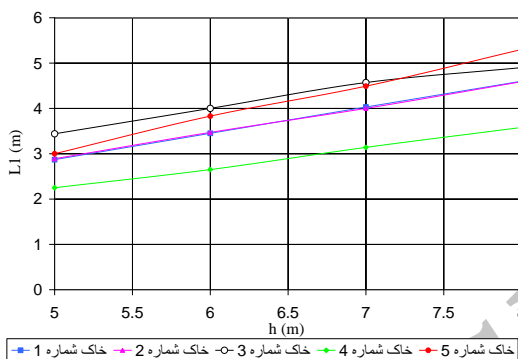
4- بدست آوردن روابط و جداول مورد نیاز برای محاسبه حداقل هزینه دیوار و همچنین ابعاد و پارامترهای متناظر با آن

در این تحقیق برای استفاده راحت مهندسان از نتایج، سعی شده است که نتایج به صورت جداول و گراف ارائه شود تا استفاده کنندگان بتوانند بدون مراجعه مستقیم به برنامه اصلی، مقادیر بهینه را بدست آورند. در این قسمت با توجه به نتایج بدست آمده از قسمت های قبل و شناسایی پارامترهای تاثیر گذار، برای بدست آوردن هزینه حداقل، نمونه ها به گونه ای انتخاب شده اند که اولاً مشخصات خاک واقعی را داشته و ثانیاً شامل تغییراتی در پارامترهای تاثیر گذار باشند تا بتوانند شرایط مختلف طرح را تامین کنند. بنابراین نمونه ها به صورت جدول 6 انتخاب شده اند.

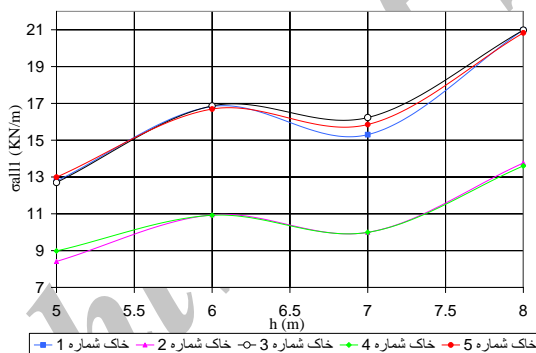
جدول 6: 10 نوع خاک انتخاب شده با توجه به پارامترهای تاثیر گذار

شماره نمونه خاک	γ_1	K_h	C_2	ϕ_1
1	17	0	25	30
2	17	0.15	25	40
3	17	0.15	35	30
4	17	0	35	40
5	17	0.15	25	30
6	19	0.15	25	40
7	19	0.15	35	30
8	19	0	35	40
9	19	0	25	30
10	19	0.15	35	40

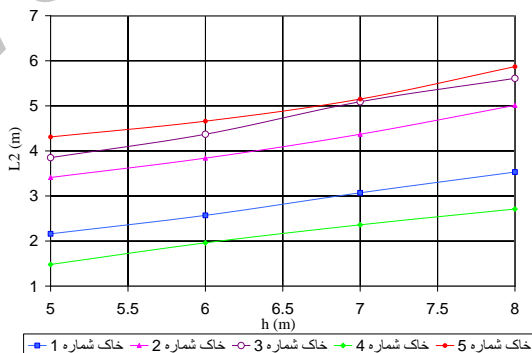
با توجه به جدول 3 برای هر نمونه، محاسبات برای ارتفاع های مختلف دیوار صورت گرفت و مقادیر و هزینه بهینه دیوار برای چند نوع خاک محاسبه شده و نتایج به صورت نمودار ها ارائه شده است.



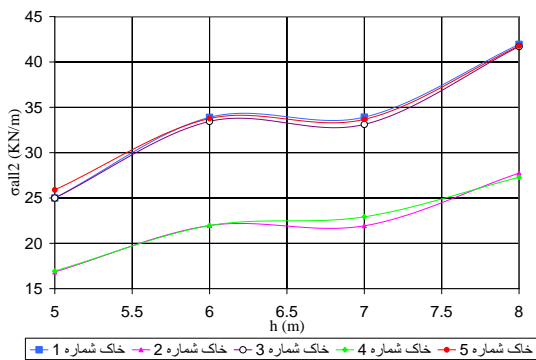
شکل 9: تغییرات L_1 با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



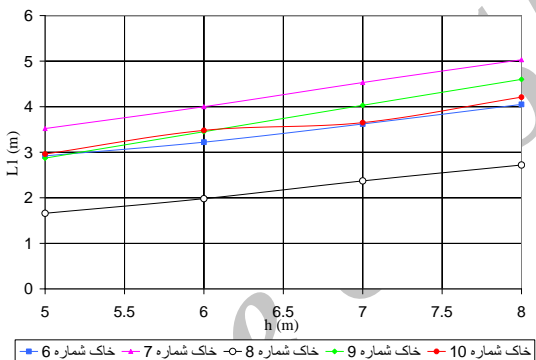
شکل 10: تغییرات σ_{III} با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



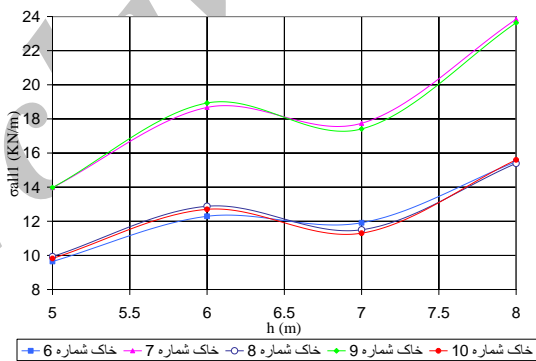
شکل 11: تغییرات L_2 با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



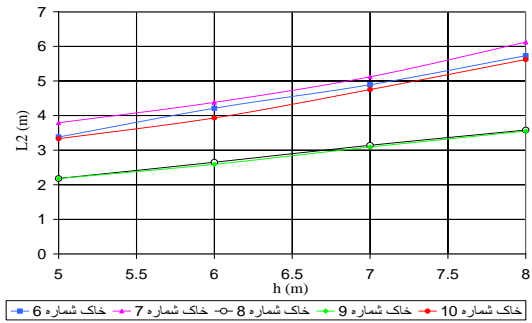
شکل 12: تغییرات σ_{all2} با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



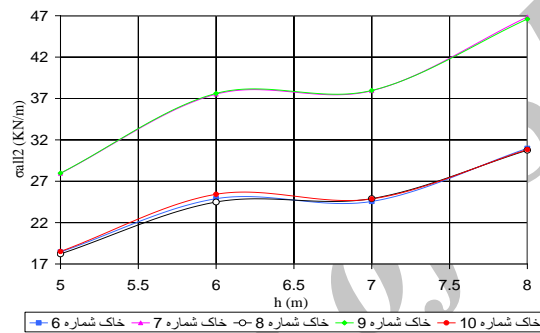
شکل 13: تغییرات L_1 با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



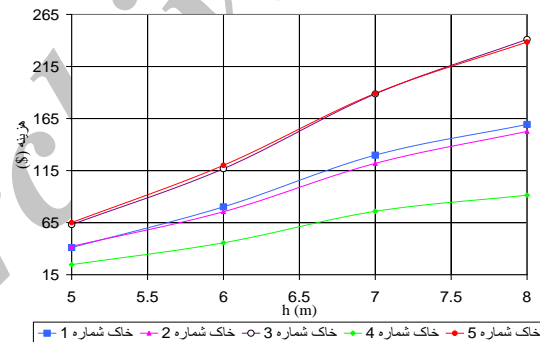
شکل 14: تغییرات σ_{all3} با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



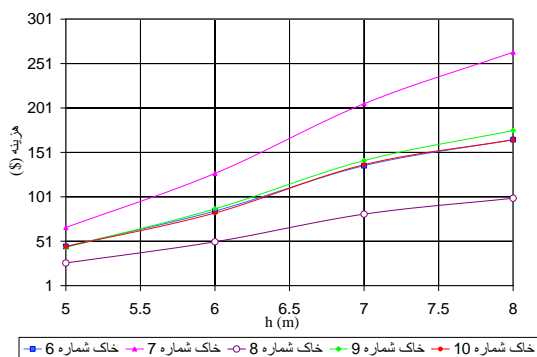
شکل 15: تغییرات L_2 با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



شکل 16: تغییرات σ_{all2} با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



شکل 17: تغییرات هزینه با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه



شکل 18: تغییرات هزینه با تغییرات ارتفاع در حالت بهینه

با توجه به تغییرات مقادیر بهینه هزینه و ابعاد دیوار و همچنین جداول و نمودار های ارائه شده، می توان از روابط زیر برای تعیین مقادیر بهینه دیوار استفاده کرد.

$$\text{هزینه} = ch + d$$

$$L_1 = ch + d$$

$$L_2 = ch + d$$

$$\sigma_{all1} = ah^3 + bh^2 + ch + d$$

$$\sigma_{all2} = 2 * \sigma_{all1}$$

a, b, c, d ضرائب ثابت معادلات که با استفاده از جداول با توجه به نوع خاک در ادامه به دست می آیند. در تمامی حالات بالا برای دیوار با ارتفاعات 5 و 6 و 8 متر فاصله بین عناصر مسلح کننده 0/7 و برای ارتفاع 6 متر این فاصله 0/6 بدست آمد.

5- طریقه استفاده از روابط و ارائه ضرائب معادلات:

برای استفاده از روابط، از جداول 7 و 8 که برای 10 نوع خاک که با پارامترهای ژئوتکنیکی مختلف بدست آمده اند استفاده می کنیم که استفاده از این جداول و معادلات براحتی و با درصد خطای بسیار کم نسبت به محاسبات مستقیم با برنامه الگوریتم ژنتیک، امکان پذیر است.

جدول 7: ضرائب ثابت ارائه شده مربوط به 10 نوع خاک

نوع خاک	L ₁ (m)		L ₂ (m)		هزینه (\$/m)	
	c	d	c	d	c	d
خاک شماره ۱	0.5767	-0.0133	0.4567	-0.1233	39.4267	-156.10
خاک شماره ۲	0.5667	0.0567	0.5333	0.7433	36.8000	-141.76
خاک شماره ۳	0.4867	1.0067	0.5867	0.9167	59.3033	-233.39
خاک شماره ۴	0.4433	0.0333	0.4100	-0.5700	22.2333	-86.48
خاک شماره ۵	0.7667	-0.8333	0.5200	1.7100	57.8067	-223.96
خاک شماره ۶	0.3767	1.0367	0.7833	-0.5367	40.0833	-155.35
خاک شماره ۷	0.5033	1.0033	0.7787	-0.0933	65.7700	-262.43
خاک شماره ۸	0.3533	-0.1067	0.4667	-0.1533	24.2967	-95.03
خاک شماره ۹	0.5767	-0.0133	0.4567	-0.1033	43.8600	-175.26
خاک شماره ۱۰	0.4167	0.8767	0.7633	-0.4867	40.0733	-155.44

جدول 8: ضرائب ثابت ارائه شده مربوط به 10 نوع خاک

σ_{all1}	a	b	c	d
خاک شماره ۱	2.13333	-41.19	263.007	-539.17
خاک شماره ۲	1.36667	-26.34	167.903	-343.44
خاک شماره ۳	1.695	-32.905	211.87	-435.9
خاک شماره ۴	1.235	-23.665	149.87	-303.12
خاک شماره ۵	1.72667	-33.35	213.423	-436.21
خاک شماره ۶	1.165	-22.485	143.97	-293.71
خاک شماره ۷	2.11	-40.795	261.435	-537.08
خاک شماره ۸	1.6	-30.965	197.965	-405.77
خاک شماره ۹	2.37	-45.9	294.19	-605.73
خاک شماره ۱۰	1.66333	-32.08	204.397	-418.08

6- مقایسه نتایج بدست آمده از روش الگوریتم ژنتیک و روابط ارائه شده

نتایج به دست آمده از معادلات دارای حداکثر خطای کمتر از 3٪ نسبت به محاسبات مستقیم (با استفاده از برنامه الگوریتم ژنتیک) می باشند.

همچنین می توان با استفاده از این معادلات با خطای کمتر از 5٪ مقادیر بهینه را برای دیگر ارتفاع های میانی محاسبه کرد. همچنین در صورت انتخاب حالتی به غیر از 10 نمونه خاک، می توان با استفاده از درونیابی با خطای حدود 10٪ مقادیر بهینه را با توجه به نمودارها و جداول ارائه شده بدست آورد.

7- استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی دیوارهای حائل

روش مونونوبه-اکابه یک تحلیل شبه استاتیکی برای محاسبه رانش لرزه ای خاک بر سازه های حائل می باشد در

تحلیل های شبه استاتیکی معرفی اثرات دینامیکی پیچیده و گذرای لرزش های زلزله بوسیله یک شتاب ثابت و منفرد یک بعدی شبه استاتیکی صورت می گیرد که قطعا محاسبات بسیار تقریبی خواهد بود. بنابراین در این تحقیق بهینه سازی دیوار حائل خاک مسلح به روش تحلیل تنش - کرنش غیر خطی بوسیله نرم افزار PLAXIS و شبکه عصبی نیز انجام شده تا با مقایسه ای که بین نتایج دو روش می شود بتوان اختلاف در محاسبه مقادیر بهینه را در مقایسه با روش مونونوبه اکابه بدست آورد، تا بتوان با آسودگی خاطر از نتایج بدست آمده استفاده کرد. نرم افزار PLAXIS قادر به محاسبه حداکثر جابجایی افقی و قائم خاکریز و همچنین تعیین نیروی داخلی می باشد، بنابراین برای کنترل پایداری دیوار خاک مسلح بجای استفاده از ضرایب اطمینان از حداکثر نشست قائم و افقی مجاز دیوار و نیروی داخلی ژئوگرید استفاده می شود. برای مدل کردن دیوار حائل خاک مسلح و خاکریز آن از مشخصات ژئوتکنیکی خاک نمونه 3 استفاده شده است.

8-مدل سازی عددی اجزاء محدود در نرم افزار PLAXIS

در این تحقیق از 36 مدل کامپیوتری برای آموزش شبکه استفاده شد. آنالیز دینامیکی با نگاهت-شتاب، زلزله آپلند (1990) و با زمان 20 ثانیه صورت گرفت.

المان های مورد استفاده از نوع المان مثلثی 15 گره ای که از پایدارترین و دقیقترین نوع المان ها می باشند. همچنین در اطراف ژئوگریدها از المان های واسط استفاده شده تا رفتار واقعی سازه دقیقتر نشان داده شود. برای مدل کردن دیوارها، پارامترها، به شکل جدول 6 انتخاب شدند.

با توجه به این مقادیر، با استفاده از یک نوع مصالح خاکریز و مصالح خاکی زیر پایه (خاک نمونه 3) برای ارتفاع 5 متر، مدل سازی و آنالیز دیوارهای حائل خاک مسلح با استفاده از نرم افزار PLAXIS انجام شده و نتایج به صورت جابجایی ها قائم و افقی و نیروهای وارد بر دیوار گزارش شده است.

پس از محاسبه جابجایی ها و نیروها، برای بهینه سازی دیوارها با توجه به اینکه تعداد داده ها برای بهینه سازی بسیار کم می باشند، بنابراین نیاز به افزایش بیشتر آنالیزها داریم و چون مدل کردن و آنالیز دیوار حائل خاک مسلح با نرم افزار PLAXIS حدود 120 دقیقه طول می کشد برای افزایش آنالیزها مثلا به 1000 آنالیز، نیاز به 2000 ساعت زمان داریم تا بتوانیم مدل سازی و آنالیز را انجام دهیم که مدت زمان زیادی است، بنابراین برای افزایش داده ها از شبکه عصبی استفاده می کنیم. در واقع از شبکه عصبی برای یافتن ارتباط منطقی بین ورودی ها و خروجی ها استفاده می شود تا با آموزش دیدن شبکه بدون مراجعه مستقیم به نرم افزار PLAXIS بتوانیم محاسبات را انجام دهیم. در واقع در این قسمت شبکه عصبی آنالیزگر الگوریتم ژنتیک می باشد.

برنامه شبکه عصبی در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شده و برای آموزش شبکه از 36 مدل آنالیز شده در PLAXIS استفاده می کنیم. (البته از 30 داده برای آموزش و 6 داده برای تست شبکه استفاده می شود تا صحت عملکرد شبکه را بتوانیم بسنجیم). برنامه شبکه عصبی شامل یک شبکه Feedforward یک لایه است. این شبکه با توجه به داده های ورودی و خروجی به خوبی آموزش دید و درصد خطای بدست آمده برای 6 مدل تست شده به صورت جداول 7، 8 می باشد.

جدول 7: نتایج 6 مدل تست شده با استفاده از شبکه و نرم افزار plaxis

شماره مدل	31	32	33	34	35	36	نتایج PLAXIS
نشت (cm)	2.99	3.36	2.28	2.41	1.32	1.4	
جابجایی افقی (cm)	4.49	5.04	3.42	3.62	1.98	2.12	
نیروی داخلی ژنوگرید	2.87	3.33	2.64	2.97	2.5	2.68	
بارء شدقی fs	3.42	1.58	3.57	1.73	3.7	1.89	نتایج شبکه
نشت (cm)	2.99	3.58	2.13	2.46	1.34	1.49	
جابجایی افقی (cm)	4.48	5.38	3.19	3.7	2.02	2.24	
نیروی داخلی ژنوگرید	2.8	3.36	2.66	3.08	2.52	2.8	
بارء شدقی fs	3.57	1.49	3.76	1.62	3.97	1.79	

جدول 8: درصد خطای بدست آمده برای 6 مدل تست شده

درصد خطای بین نتایج شبکه و نرم افزار PLAXIS			
بارء شدقی fs	نیروی داخلی ژنوگرید	جابجایی افقی	نشت
6%	4.29%	5%	6%
7%	0.79%	2%	2%
7%	3.57%	2%	2%
5%	1%	7%	7%
6%	0.0	6%	6%
4.24%	3%	0%	0%

ضریب اطمینان بیان شده در جدول از تقسیم سختی ژنوگرید بر نیروی داخلی آن محاسبه شده است. حال با آموزش دیدن شبکه می توان با وارد کردن ابعاد دیوارهای مختلف به شبکه، جابجایی ها و نیروهای وارد بر دیوار را محاسبه کرد بدون آنکه نیاز به محاسبه مستقیم توسط نرم افزار PLAXIS را داشته باشیم. حال برنامه الگوریتم ژنتیک با مشخص شدن ورودی ها و با توجه به رنج ابعاد مجاز، ابعاد را به طور تصادفی انتخاب کرده و از بین آنها دیواری که کمترین مقدار هزینه را دارد برمی گزیند. می توان فرآیند بهینه سازی دیوار و تعیین ابعاد دیوار را به صورت فلوجارت نشان داد:



مقایسه ابعاد و حجم بهینه بدست آمده از نرم افزار PLAXIS و روش مونونوبه اکابه

با توجه به جدول 9 ملاحظه می شود که مقادیر بدست آمده از روش مونونوبه اکابه و نرم افزار plaxis دارای حداکثر اختلاف حدود 10٪ برای ارتفاع 5 متر می باشد که این اختلاف را می توان در محدودیت های روش شبه استاتیکی دانست. اما به دلیل پیچیدگی مفاهیم و پیچیدگی در انجام روشهای دینامیکی و با توجه به طولانی بودن مدت زمان آنالیز دینامیکی، استفاده از روش شبه استاتیکی علیرغم داشتن محدودیت های موجود، برای بهینه سازی دیوارهای حائل خاک مسلح و ارائه مقادیر بهینه بسیار معقول و مناسب می باشد. در واقع می توان در روش شبه استاتیکی با انتخاب ضرائب لرزه ای مناسب (با توجه به شرایط لرزه ای منطقه) درصد خطا را به خوبی کاهش داد.

این نتایج نشان می دهد که شبکه عصبی همواره دارای خطا می باشد و این خطا اجتناب نا پذیر است اما خطای محاسبات با شبکه و الگوریتم ژنتیک به حدی نیست که منجر به این شود که ضرائب اطمینان ما از حد مجاز تجاوز کنند.

جدول 9: مقادیر و هزینه بهینه بدست آمده از روش مونونوبه اکابه و نرم افزار plaxis

h (m)	نتایج ترکیب الگوریتم ژنتیک و روش مونونوبه اکابه					نتایج ترکیب شبکه عصبی و نرم افزار PLAXIS				
	L1(m)	L2 (m)	cost(KN/m)	cv(m)	هزینه (#/m)	L1(m)	L2(m)	cost(KN/m)	cv(m)	هزینه (#/m)
5	3.5	3.85	12 . 25	0.7	65	2.5	5	17.4	0.6	70.2

نتیجه گیری

1- در این تحقیق روابطی برای بدست آوردن ابعاد بهینه دیوارهای خاک مسلح ارائه شده تا مهندسان بتوانند بدون

انجام آنالیزهای تکراری و مراجعه مستقیم به برنامه، ابعاد بهینه را بدست آورند.

2- نتایج بدست آمده از برنامه با نتایج بدست آمده از معادلات مقایسه شده و حداکثر خطا حدود 3٪ بدست آمد.

3- با توجه به اینکه پارامترهای تاثیر گذار در بدست آوردن ابعاد بهینه دیوار حائل خاک مسلح زیاد می باشند، در این تحقیق سعی شد ابتدا پارامترهایی که تاثیر گذارتر هستند شناسائی شوند، بنابراین بر اساس پارامترهای ژئوتکنیکی مختلف حالت بهینه برای ارتفاع های مختلف دیوار محاسبه شد.

4- نتایج نشان می دهد از لحاظ پایداری خارجی واژگونی و لغزش بیشترین تاثیر را در افزایش هزینه دیوار دارد. از لحاظ پایداری داخلی نیز، گسیختگی مسلح کننده ها با افزایش سختی کنترل می شود که باعث افزایش هزینه می شود.

5- علیرغم فرضیات ساده کننده و محدودیت های روش شبه استاتیکی، بهینه سازی به روش مونونوبه اکابه نتایج بسیار مطلوبی برای محاسبه اجزای بهینه دیوار ارائه می دهد.

6- بهر حال همواره این موضوع باید مد نظر باشد که دقت روش شبه استاتیکی تحت الشعاع دقت در نظر گرفتن ضرایب شبه استاتیکی خواهد بود که با آن نیروهای اینرسی ساده، که معرف نیروهای اینرسی پیچیده واقعی موجود در یک زلزله هستند، را معرفی و جایگزین می نمایم.

7- نتایج بدست آمده نشان داد با توجه به اینکه برای بهینه سازی نیاز به تحلیل های دینامیکی زیادی داریم و هر تحلیل دینامیکی نیاز به مدت زمان زیادی است بنابراین برای افزایش داده ها، به عنوان یک راه حل، برای یافتن ابعاد بهینه می توان از شبکه عصبی برای کاهش مدت زمان آنالیزها استفاده کرد. در واقع از شبکه عصبی به عنوان تحلیل گر الگوریتم ژنتیک استفاده می شود.

8- مقایسه ابعاد و هزینه بهینه بدست آمده از نرم افزار PLAXIS و روش مونونوبه اکابه نشان داد که اختلاف در مقادیر، مربوط به خطای روش الگوریتم ژنتیک و یا شبکه عصبی نیست بلکه این اختلاف مربوط به تقریب روش شبه استاتیکی در مقایسه به روش دینامیکی می باشد.

9- باید توجه کرد که تمام مقادیر و اجزای بهینه محاسبه شده در این تحقیق، با فرض یک تابع هزینه مشخص که تابعی از سختی و حجم عناصر مسلح کننده می باشد محاسبه شده است، که در صورت تغییر در قیمت و ارزش این عناصر مسلح کننده ممکن است نتایج دچار تغییر شود، اما روند بهینه سازی تغییری نمی کند.

مراجع:

- [1] Hernandez S, Fontan A. Practical applications of design optimization. Southampton (UK): WIT Press; 2002.
- [2] Fletcher R. Practical methods of optimization. Chichester: Wiley; 2001.
- [3] Saribas A, Erbatur F. Optimization and sensitivity of retaining structures. ASCE Journal of Geotechnical Engineering 1996;122(8):649-56.
- [4] Jones T. Artificial intelligence application programming. Hingham (MA): Charles River Media; 2003.
- [5] Glover F, Laguna M. Tabu search. Boston: Kluwer Academic Publishers; 1997.
- [6] Yepes V, Medina JR. Economic heuristic optimization for heterogeneous fleet VRPHESTW. ASCE Journal of Transportation Engineering 2006; 132(4):303-11.

- [7] Holland JH. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: University of Michigan Press; 1975.
- [8] Goldberg DE. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley; 1989.
- [9] Jenkins WM. Plane frame optimum design environment based on genetic algorithm. ASCE Journal of Structural Engineering 1992;118(11): 3103–12.
- [10] Gonzalez-Vidosa F, Yepes V, Alcalá J, Carrera M, Perea C. Simulated annealing optimization of walls, portal and box reinforced concrete road structures. In: Proceedings of the ninth international conference on computer aided optimum design in engineering. 2005. p. 175–86.
- [11] Perea C, Paya I, Yepes V, Gonzalez-Vidosa F. Heuristic optimization of reinforced concrete road bridges and frames. In: Proceedings second FIB congress. 2006.
- [12] Paya I, Yepes V, Gonzalez-Vidosa F, Hospitaler A. Multiobjective simulated annealing optimization of concrete building frames. In: Proceedings of the IABSE symposium. 2006.
- [13] Perea C, Yepes V, Alcalá J, Hospitaler A, Gonzalez-Vidosa F. Heuristic optimization of reinforced concrete road bridge frames. In: Proceedings of the eighth conference on computational structures technology. 2006.
- [14] Paya I, Yepes V, Clemente J, Gonzalez-Vidosa F. Heuristic optimization of reinforced concrete building frames. Revista Internacional de Methods Numéricos para Cálculo y Diseño Ingenieria 2006;22(3):241–59 [in Spanish].
- [15] . Basudhar.P.K., Amol Vashistha, Deb, Kousik and Dey. Arindam, (2007) “Cost Optimization of Reinforced Earth Walls”, Geotechnical and Geological Engineering: an International Journal, Springer, Netherlands (Published Online 16th August, 2007)
- [16] Mononobe N, Matsuo H. On determination of earth pressure during earthquakes. In: Proceedings of the world engineering congress, vol. 9, Tokyo; 1929.
- [17] Okabe S. General theory on earth pressure and seismic stability of retaining walls and dams. J Jpn Soc Civ Eng 1924;10(6): 1277–32