بسم الله الرحمن الرحيم

١١٠٨٨٤

۸۷/۱۱۰۹۹۷۳
۸۷/۱/۱۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی- بخش مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مکانیک خاک و پی

بهینه سازی پایداری لزره ای شیروانی های خاکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

۱۳۸۷/۱۲/۲۷

استاد راهنما:
دکتر محمد حسین باقری پور

مولف:
حامد نظری رباطی

شهریور ۸۷

۱۱۰۸۸۴

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنرکرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: حامد نظری رباطی

استاد راهنما: دکتر محمد حسین باقری پور

داور۱: دکتر سید مرتضی مرندی

داور۲: دکتر محمد محسن توفیق

معاونت پژوهشی ونماینده تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر علی اکبر مقصودی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر است.

حاصل تلاشم را تقدیم میکنم به

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدر دانی

برای خدا، با یاد خدا و به نام خدا

حمد وسپاس خدای تعالی را که با دمیدن روح دانش و معرفت در انسان او را از جهالت به سمت تعالی راهنمایی کرد.

با تشکر و سپاس فراوان از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر باقری پور که در طول انجام این پایان نامه راهنما و یار بنده بوده و از هیچ لطفی دریغ ننموده اند. از ایزد منان برای ایشان موفقیت، سعادت و سلامت را خواهانم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر مرندی و جناب آقای دکتر توفیق و تمامی اساتید محترم به خاطر زحماتی که در این دوره متحمل شده اند، تشکر وقدر دانی می نمایم.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و اهداف تحقیق..... ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف پایان نامه ۳

۱-۳- ساختار پایان نامه ٤

فصل دوم: بررسی روشهای پایداری شیروانی های خاکی ٥

۲-۱- مقدمه..... ٦

۲-۲- تحلیل استاتیکی شیروانی های خاکی..... ٦

۲-۲-۱- مقدمه..... ٦

۲-۲-۲- سطوح گسیختگی دایره ای..... ٦

۲-۲-۳- تحلیل پایداری استاتیکی شیروانی های خاکی با استفاده از نمودار های تحلیلی..... ۷

۲-۲-٤-تحلیل استاتیکی شیروانی های خاکی با استفاده از روشهای باریکه ها..... ۹

۲-۲-٥- تحلیل تعادل حدی..... ۱٤

۲-۲-٦- تحلیل های تنش – تغییر شکل..... ۱۷

۲-۳- پایداری لرزه ای شیروانی های خاکی..... ۱۷

۲-۳-۱-مقدمه..... ۱۷

۲-۳-۲- تحلیل شبه استاتیکی پایداری لرزه ای شیروانی های خاکی..... ۱۸

۲-۳-۲-۱-مقدمه..... ۱۸

۲-۳-۲-۲-تحلیل شبه استاتیکی پایداری لرزه ای شیروانی های خاکی..... ۱۹

۲-۳-۳- روش تحلیل بلوک لغزان نیومارک..... ۲۲

۲-۳-٤- تحلیل دینامیکی..... ۲۳

۲-۳-٥- روشهای دیگر..... ۲٦

فصل سوم: بررسی روشهای بهینه سازی..... ۲۸

۳-۱- مقدمه..... ۲۹

۳-۲- روشهای کلی یافتن سطح لغزش بحرانی در شیروانی ها..... ۲۹

۳-۲-۱-روش عددی حساب تغییرات..... ۲۹

۳-۲-۲- روشهای توده..... ۳۰
۳-۲-۲-۱- روش کمترین ضریب اطمینان محلی..... ۳۰
۳-۲-۲-۲- روش کاهش مقاومت برشی..... ۳۱
۳-۲-۳- روشهای بهینه سازی نا مقید..... ۳۱
۳-۲-۳-۱- روش یک متغیره..... ۳۲
۳-۲-۳-۲- روش سیمپلکس..... ۳۲
۳-۲-۳-۳- روش بیشترین شیب..... ۳٤
۳-۲-۳-٤- روش گرادیان مزدوج (روش فلچر ریویس) ۳۵
۳-۲-۳-۵- روش متریک متغیر..... ۳۵
۳-۳- روشهای بهینه سازی مقید..... ۳٦
۳-۳-۱- روش تابع جریمه (روش غیر مستقیم) ۳۷
۳-٤- بهینه سازی چند هدفه..... ۳۸
۳-٤-۱- روش تابع مطلوبیت..... ۳۹
۳-٤-۲- روش تابع مطلوبیت معکوس شده..... ۳۹
۳-٤-۳- روش تابع هدف کراندار..... ٤۰
۳-٤-٤- روش برنامه ریزی آرمانی..... ٤۰
۳-۵- روشهای بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت..... ٤۱
۳-٦- مزایای کاربرد روشهای بهینه سازی در تحلیل شیروانی ها..... ٤۲

فصل چهارم: الگوریتم ژنتیک..... ٤۳
٤-۱- مقدمه..... ٤٤
٤-۲- الگوریتم ژنتیک..... ٤۵
٤-۲-۱- مقدمه ای بر الگوریتم ژنتیک..... ٤۵
٤-۲-۲- تاریخچه الگوریتم ژنتیک..... ٤٦
٤-۲-۳- آشنایی با روش الگوریتم ژنتیک..... ٤۷
٤-۲-٤- مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک..... ۵۰
٤-۳-عملگرهای ژنتیکی..... ۵۱
٤-۳-۱- عملگر انتخاب..... ۵۲

٤-٣-٢- عملگر پیوند..... ٥٥
٤-٣-٣- عملگر جهش..... ٥٧
٤-٤- تعیین مراحل اولیه قبل از اجرای الگوریتم ژنتیک..... ٥٨
٤-٥- نمودار گردشی اجرای الگوریتم ژنتیک..... ٥٩
٤-٦- تئوریهای اساس در زمینه الگوریتم ژنتیک..... ٦١
٤-٦-١- اثر مکانیزم انتخاب بر روی شماها و همگرایی الگوریتم..... ٦٤
٤-٦-٢- اثر عملگر پیوند بر روی شماها..... ٦٦
٤-٦-٣- اثر عملگر جهش بر روی شماها..... ٦٧
٤-٦-٤- تئوری شماها..... ٦٧
٤-٦-٥- نقش توام مکانیزم انتخاب و عملگر پیوند و جهش در همگرایی الگوریتم ژنتیک..... ٦٨
٤-٧- تعیین عدد برازندگی رشته ها بر اساس تابع هدف..... ٦٩
٤-٨- تغییر مقیاس برازندگی..... ٧١
٤-٩- تاثیر روش کد بندی در همگرایی الگوریتم ژنتیک..... ٧٣
٤-١٠- همگرایی الگوریتم ژنتیک..... ٧٤
٤-١١- همگرایی زودرس الگوریتم ژنتیک..... ٧٥
٤-١٢- انتخاب نخبگرا..... ٧٧
٤-١٣- کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی سطح لغزش شیروانی ها..... ٧٨

فصل پنجم: معرفی و بررسی نرم افزار نوشته شده در این تحقیق..... ٧٩
٥-١- مقدمه..... ٨٠
٥-٢- روش بیشاپ اصلاح شده برای پایداری لرزه ای به روش شبه استاتیکی..... ٨٠
٥-٣- آشنایی با برنامه GASSLOPE..... ٨٤
٥-٣-١- مراحل تعریف پارامتر های مورد نیاز برنامه GASSLOPE و روش استفاده از برنامه..... ٨٤
٥-٣-٢- مراحل اجرای برنامه GASSLOPE..... ٨٨
٥-٤- برتری های برنامه تهیه شده نسبت به نمونه های مشابه..... ٩٣

فصل ششم: بررسی و اعتبار سنجی روش ارئه شده با ارائه مثال..... ۹٤
۶-۱- مقدمه..... ۹۵
۶-۲- تحلیل و بررسی یک شیروانی خاکی همگن..... ۹۵
۶-۳- تاثیر تعداد دفعات اجرای برنامه..... ۹۸
۶-۴- تحلیل و بررسی یک شیروانی خاکی با ۳ لایه خاک ناهمگن..... ۱۰۰
۶-۵- بررسی شیروانی خاکی تحت تاثیر احتمال پیوند الگوریتم ژنتیک..... ۱۰۲
۶-۶- بررسی یک شیروانی خاکی تحت تاثیر ترازهای مختلف آب زیر زمینی..... ۱۰٤
۶-۷- بررسی پارامترهای موثر بر ضریب زلزله شبه استاتیکی..... ۱۰٦
۶-۸- روشهای ارائه شده توسط محققین مختلف برای انتخاب ضریب زلزله شبه استاتیکی..... ۱۰۷
۶-۹- اثر تغییرات ضریب شبه استاتیکی بر پایداری لرزه ای ۱۰۸
۶-۱۰- توصیه هایی برای تعیین مقدار ضریب زلزله شبه استاتیکی..... ۱۰۹
۶-۱۱- مقایسه سطوح لغزش استاتیکی و شبه استاتیکی بهینه شده..... ۱۱۰
۶-۱۲- مقایسه روش های مختلف بهینه سازی..... ۱۱۲
۶-۱۳- بررسی روش استفاده شده در محاسبه ضریب اطمینان ۱۱۵

فصل هفتم: نتیجه و پیشنهادات..... ۱۲۱
۷-۱- نتیجه گیری..... ۱۲۲
۷-۲- پیشنهادات..... ۱۲۳

منابع و مراجع..... ۱۲٤

پیوست ۱: برنامه تهیه شده..... ۱۲۹
پیوست ۲: نمونه فایل خروجی برنامه..... ۱٤۱

چکیده

تحلیل پایداری لرزه ای شیروانی های خاکی برای تعیین ضریب اطمینان پایداری و سطح لغزش احتمالی یکی از مباحث مهم مهندسی ژئوتکنیک می باشد. برای پایداری لرزه ای شیروانیها روشهای متفاوتی توسط محققین ارائه شده است که روش شبه استاتیکی یکی از کاربردی ترین آنها می باشد. در این روش پارامتر مهم در محاسبه ضریب اطمینان لرزه ای، ضریب زلزله است که با تغییر آن میزان نیروی افقی زلزله تغییر وبه تبع آن ضریب اطمینان و هندسه سطح لغزش تغییر میابد. در این پایان نامه از روش الگوریتم ژنتیک (GENETIC ALGORITHM) یا اختصاراً GA که یکی از روشهای بهینه سازی غیر کلاسیک می باشد، برای یافتن سطح لغزش بحرانی دایره ای شیروانی های خاکی استفاده شده است. در این تحقیق یک نرم افزار به نام GASSLOPE و به زبان C#.NET تهیه گردیده است، که نه تنها قادر به تحلیل پایداری شیروانی های خاکی و تشخیص سطح لغزش می باشد بلکه قادر به بهینه یابی سطح لغزش و یا ضریب اطمینان کمینه متناظر با آن سطح نیز می باشد. برنامه تهیه شده توانایی تحلیل استاتیکی و شبه استاتیکی شیروانی های خاکی را دارا بوده و برای تحلیل شبه استاتیکی میتواند ضریب زلزله را به دو شکل ثابت و یا یک بازه دریافت کرده و مقدار موثر در بهینه سازی را اعمال کند. نکته قابل توجه در این پایان نامه بررسی عمیق ضریب زلزله شبه استاتیکی و تاثیر آن بر پایداری شبه استاتیکی شیروانی های خاکی بوده و با استفاده از برنامه تهیه شده به بهینه یابی سطح لغزش شیروانی خاکی در حالت شبه استاتیکی پرداخته به شکلی که علاوه بر استفاده از نتایج سایر محققیق در مورد ضریب زلزله شبه استاتیکی مقدار مناسب این ضریب برای هر شیروانی خاکی محاسبه و در جهت بهینه یابی لرزه ای سطح لغزش اعمال گردد. در ادامه دقت روش پیشنهادی با مثالهای مختلف از شیروانی های خاکی همگن و ناهمگن جهت بررسی و تحلیل بهینه سطح لغزش بحرانی به روش الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است و پارامترهای مختلف الگوریتم ژنتیک و شیروانی های خاکی مورد تحلیل حساسیت قرار گرفته است.

فصل ۱

مقدمه و معرفی اهداف تحقیق

۱-۱- مقدمه

پایداری شیروانی ها از مباحث مهم مورد توجه مهندسین می باشد. یکی از دلایل اهمیت این موضوع خسارات ناشی از لغزش شیروانیهای خاکی است بطوری که لغزش یک شیب باعث از بین رفتن جان انسانها و یا به طور مثال باعث خرابی جبران ناپذیر یک سد خاکی میشود. لذا با توجه به اهمیت شیروانیهای خاکی تاثیر نیروی زلزله در پایداری آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. از دیدگاه اقتصاد مهندسی همچنین بدست آوردن ضریب اطمینان و سطح لغزش بهینه باعث کاهش حجم خاکبرداری و یا خاکریزی با تغییر اندک شیب شیروانی در سازه های بزرگ می شود.

برای بررسی پایداری لرزه ای شیروانیها روشهای مختلفی ارائه شده است که میتوان به ۳ روش بلوک لغزان، تحلیل دینامیکی و روشهای شبه استاتیکی تقسیم بندی کرد. روش بلوک لغزان نیومارک مبتنی بر تاریخچه زمانی شتاب زمین بر روی یک بلوک صلب روی یک سطح شیب دار می باشد که نیروی زلزله را به شکل مناسبی به توده لغزان وارد میشود. در روش تحلیل دینامیکی تاریخچه کامل شتاب زمین بر شیر وانی وارد می شود و در صورت استفاده از روشهای اجزاء محدود میتوان لحظه به لحظه پاسخ شیروانی را در برابر نیرو های وارده در تمامی نواحی آن به طور مجزا بررسی کرد.

با توجه به اهمیت ذکر شده لزوم بهینه سازی پایداری شیروانی های خاکی مشخص می گردد. برای بهینه سازی سطوح لغزش شیروانی های خاکی روشهای گوناگونی توسط محققین مختلف بیان شده است که میتوان روشهای گرادیان مزدوج(که با استفاده از روش مشتق مرتبه اول تابع هدف بوده که روشی وقت گیر است)، سیمپلکس (که احتمال بدست آوردن بهینه محلی زیاد می باشد) و مونت کارلو ذکر کرد.

در این تحقیق از روش نوین الگوریتم ژنتیک که یک روش بهینه سازی با تعداد سعی و خطای کم و دور از بهینه محلی می باشد. با انتخاب صحیح پارامتر های لغزش شیروانی های خاکی و پارامتر های الگوریتم ژنتیک سطح لغزش غیر استاتیکی شیروانی های خاکی را میتوان به شکلی مناسب و با دقت قابل قبول بررسی کرد.

۱-۲- اهداف پایان نامه

در این تحقیق به بررسی روشهای مختلف پایداری استاتیکی و غیر استاتیکی شیروانی های خاکی پرداخته شده و با توجه به کاربرد زیاد روش پایداری لرزه ای شبه استاتیکی که آشنا و مورد استفاده اکثر مهندسین جهان می باشد. در این تحقیق در مورد آن بحث می گردد و به بررسی مهمترین عامل تاثیر گذار در این روش یعنی ضریب زلزله شبه استاتیکی پرداخته می شود.

با توجه به اینکه پیدا کردن سطح لغزش و ضریب اطمینان بهینه از اهمیت برخوردار است به معرفی روشهای مختلف بهینه سازی و روش الگوریتم ژنتیک که از روشهای بهینه یابی نوین است پرداخته میشود. که با استفاده از این روش بهینه سازی می توان مقدار بهینه تابع هدف که در این تحقیق مقدار ضریب اطمینان و سطح لغزش است با تعداد سعی و خطا کمتر و دور از بهینه محلی با دقتی مناسب بدست آورد.

لزوم برآورد دقیقتر مقدار ضریب اطمینان پایداری شبه استاتیکی شیروانی های خاکی و موثر ترین عامل آن یعنی ضریب زلزله شبه استاتیکی مشخص است در نتیجه برای بررسی وتعیین این ضریب و ضریب اطمینان پایداری لرزه ای سطح لغزش برنامه ای تهیه شده است. که می توان با استفاده از برنامه طراحی شده ضریب اطمینان پایداری لرزه ای به صورت یک تابع هدف درالگوریتم ژنتیک تعریف کرد و سطح لغزش بحرانی، مرکز و شعاع سطح لغزش مشخص کرد و نیز یک بازه را برای ضریب زلزله شبه استاتیکی بیان کرده و همزمان با بهینه کردن پایداری لرزه ای شیروانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ضریب زلزله شیروانی خاکی را تحلیل حساسیت کرده و مقداری که بهینه ترین ضریب اطمینان را میدهد در پایداری تاثیر داد. این برنامه که برای بررسی دقیق تر اثر نیروی زلزله بر روی شیروانی ها و ارائه روشی برای اعمال مناسب ضریب زلزله شبه استاتیکی طراحی شده است.کاملا گرافیکی و به زبان C#.NET در محیط Microsoft visual studio تهیه شده است.

همچنین در ادامه به بررسی نتایج بدست آمده و مقایسه نتایج با محققین دیگر پرداخته و عوامل تاثیر گذار بر روی مقدار ضریب اطمینان پایداری شبه استاتیکی بررسی میگردد.و دقت نتایج بدست آمده از برنامه با سایر محققین و برنامه های تجاری مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۳- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در هفت فصل و دو پیوست تنظیم شده است. فصل اول که فصل حاضر می باشد مقدمه، اهداف تحقیق و ساختار پایان نامه را معرفی می کند. در فصل دوم روشهای مختلف پایداری استاتیکی و غیر استاتیکی شیروانی های خاکی مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل سوم به بررسی روشهای مختلف ارائه شده جهت بهینه سازی مسائل مختلف مهندسی پرداخته می شود. با توجه به اینکه الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای نوین وغیر کلاسیک است در فصل چهارم تئوری الگوریتم ژنتیک و ساختار ونحوه همگرایی آن مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین در فصل پنجم به بررسی ساختار برنامه نوشته شده(GASSLOPE) به زبان C#.NET در محیط Microsoft visual studioپرداخته و روش مورد استفاده در پایداری شیروانی خاکی ومراحل برنامه نوشته شده مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل ششم به بررسی مثال هایی از پایداری غیر استاتیکی شیروانی های خاکی پرداخته می شود و پارامترهای مختلف موثر بر الگوریتم ژنتیک وپایداری شبه استاتیکی مورد بررسی قرار می گیرد و نیز مقدار ضریب زلزله شبه استاتیکی شیروانی خاکی بررسی شده و نیز نتایج بدست آمده با محققین دیگر و برنامه های تجاری مورد مقایسه قرار می گیرد. فصل هفت شامل نتیجه گیری و پیشنهادات می باشد. مراجع و منابع نیز بعد از فصل هفت آورده شده است. پیوست یک شامل معرفی و source برنامه تهیه شده می باشد. پیوست دوم شامل نمونه هایی از خروجی برنامه تهیه شده در این تحقیق است.

فصل ۲

بررسی روشهای پایداری شیروانی های خاکی

۲-۱مقدمه

پایداری شیروانیهای خاکی متاثر از عوامل مختلفی است وبرای یک ارزیابی کامل پایداری شیروانیها لازم است تمامی این عوامل در نظر گرفته شوند. خصوصیات زمین شناسی، هیدرولوژیکی، توپوگرافی، هندسه ومصالح، همگی بر پایداری یک شیروانی اثر می گذارند. اطلاعاتی در خصوص این مشخصات جهت انجام و تفسیر واقعی نتایج تحلیل های استاتیکی و لرزه ای پایداری شیروانیها مورد نیاز می باشد مروری بر مدارک موجود، اکتشافات محلی، اندازه گیریهای صحرایی، تحقیقات زیر زمینی وآزمایشات برروی مصالح جهت بدست آوردن این اطلاعات، همگی قابل استفاده می باشند. تنها پس از دستیابی به این اطلاعات، تحلیل پایداری قابل انجام است. در بخشهای این فصل به بررسی روشهای مختلف پایداری شیروانیهای خاکی پرداخته شده است. لیکن روشهای تحلیل پایداری شیروانی ها تنها بخشی از بررسی کامل شیروانیهاست و بررسی تاثیر کامل تمامی عوامل نیاز به تحقیقات مجزا برای هر یک از عوامل موثر بر روی پایداری شروانیها دارد.

۲-۲ تحلیل استاتیکی شیروانی های خاکی

۲-۲-۱ مقدمه

شیروانیهای خاکی در شرایطی که تنشهای برشی ایجاد شده درروی صفحات دایره ای و یا غیر دایره ای مساوی یا بزرگتر از مقاومت برشی در روی آن صفحات گردند، دچار ناپایداری می شوند. با توجه به اینکه متداولترین روشهای قابل استفاده جهت تحلیل پایداری لرزه ای متکی بر تحلیلهای پایدری استاتیکی می باشند، در این بخش به بررسی روشهای مختلف تحلیل پایداری استاتیکی شیروانیهای خاکی پرداخته میشود.

۲-۲-۲ سطوح گسیختگی دایره ای

سطح لغزش بررسی شده در تعداد زیادی از گسیختگی های شیروانی های خاکی به شکل صفحه ای نبوده ومنحنی می باشد. این بررسی ها باعث شد تا محققین مختلف به بررسی سطوح گسیختگی منحنی شکل شیروانی ها بپردازند. اگر چه سطح گسیختگی واقعی در بسیاری از موارد سه بعدی است، اما ارائه سطح گسیختگی به صورت یک منحنی مسطح (در دو بعد)، تحلیل را بسیار ساده تر می کند ونیز نتایج بدست آمده برای تحلیل های ۲ بعدی بسیار نزدیک به واقعیت بوده است. از طرفی در غالب موارد روش های غیر دایره ای را می توان برای سطوح لغزش دایره ای بکار برد. راه حل های اولیه برای سطوح لغزش دایره ی توسط فلینوس (۱۹۲۷)[1] و تیلور (۱۹۳۷ ، ۱۹۴۸) [2] بررسی

شد. تیلور با استفاده از روش دایره اصطکاک نمودارهایی را برای عدد پایداری ارائه کرد. در این نمودار ها با داشتن عدد پایداری می توان ضریب اطمینان گسیختگی شیب را بدست آورد. بیشتر روشهای جدید دایره لغزش از روش باریکه ها استفاده می کنند و تفاوت عمده آنها در روشی است که با کمیت های مجهول در تحلیل برخورد می شود. تفاوت روش های مختلف تحلیل پایداری در پیچیدگی راه حل و سیستم نیروهای آنهاست در همگی آنها یک پیکر آزاد تحت تاثیر نیروی وزن ونیروهای خارجی در نظر گرفته می شود و تنشهای عمودی و مماسی درامتداد سطح گسیختگی مفروض توزیع می شوند.

۲-۲-۳ تحلیل پایداری استاتیکی شیروانی های خاکی با استفاده از نمودار های تحلیلی

نمودار های مختلفی برای ارزیابی پایداری شیب های ساده ، بدون نیاز به انجام محاسبات تهیه شده است. این نمودار ها معمولا به عنوان راهنما برای طرحهای مقدماتی یا به عنوان کنترل تقریبی راه حل های پیچیده تر بکار میروند و به محاسب کمک می کند که تاثیر تغییر پارامترهای مختلف که در این نمودارها آورده شده است بپردازد. نمودارهای ارائه شده توسط محققین مختلف دارای محدودیت های متفاوتی هستند، این محدودیت ها ممکن است در شکل هندسی مساله یا پارامتر های مقاومتی خاک یا مقدار شیب باشد. نمودار های پایداری شیب های ساده عموماً با استفاده از سطح لغزش دایره ای تهیه شده اند. با توجه به این که در نظر گرفتن تعداد زیادی متغیر از جمله خواص متفاوت مصالح، هندسه شیب وسطوح پیزومتری دشوار است، بیشتر از این نمودارها محدود به حالت های کلی هستند.
نمودار های اولیه توسط تیلور (۱۹۴۸) تهیه شده اند که فقط برای تحلیل تنش کل مناسبند. بیشاپ و مرگنسترن(۱۹۶۰) نمودار هایی را براساس روش ساده شده بیشاپ تهیه کردند، این نمودار ها را می توان برای آنالیز تنش موثر بکار برد، اما فشار آب باید به صورت مقدار متوسط نسبت فشار منفذی برای شیب در نظر گرفته شود. بیشاپ و مرگنسترن روشی را نیز برای بدست آوردن مقدار متوسط فشار منفذی ارائه کردند. این روش شامل تقسیم منطقه مورد نظر به مناطق کوچکتری است که در آنها نسبت فشار منفذی محاسبه میشود. سپس یک متوسط وزنی از این نسبت ها گرفته می شود. وزن داده شده بستگی به مساحت منطقه ای دارد که نسبت در آن محاسبه شده است.
هنگام استفاده از این نمودار ها باید مقدار پارامتر بدون بعد $\frac{C'}{\gamma H}$ (C' چسبندگی و γ وزن مخصوص مصالح و H عمق شیب است) و ضریب عمق D محاسبه شوند. ضریب عمق D برابر است با نسبت عمق تا لایه سخت به عمق شیب است. D بایستی بزرگتر یا مساوی یک باشد وهنگامیکه که در لایه سخت

شیب را قطع میکند D=1 خواهد بود . گسترش این نمودار ها برای در نظر گرفتن مقادیر $\frac{C'}{\gamma H}$ معادل توسط اکائر و میچل (۱۹۷۷) انجام شده است.

مرگنسترن (۱۹۸۳) نمودار هایی را نیز (باروش ساده بیشاب) برای استفاده در طراحی سدها بدست آورد که فشارهای منفذی باقی مانده پس از تخلیه سریع را در نظر می گیرند. در تهیه این نمودار فرضیات بسیاری در مورد هندسه مسئله و وزن مخصوص مصالح انجام شده است. اسپنسر (۱۹۶۷) نمودار هایی را براساس روش تحلیل خود ارائه نمود و در تهیه آنها مانند روش بیشاب و مرگنسترن از پارامتر فشار منفذی متوسط استفاده کرد. برخلاف نمودار های بیشاب، مرگنسترن در این نمودار ها ضریب اطمینان را نمی توان مستقیماً برای یک زاویه شیب خاص تعیین کرد، بلکه با روش آزمون و خطا چند Fs متفاوت انتخاب میشود، تا زاویه شیب مساوی با زاویه شیب مسئله شود.

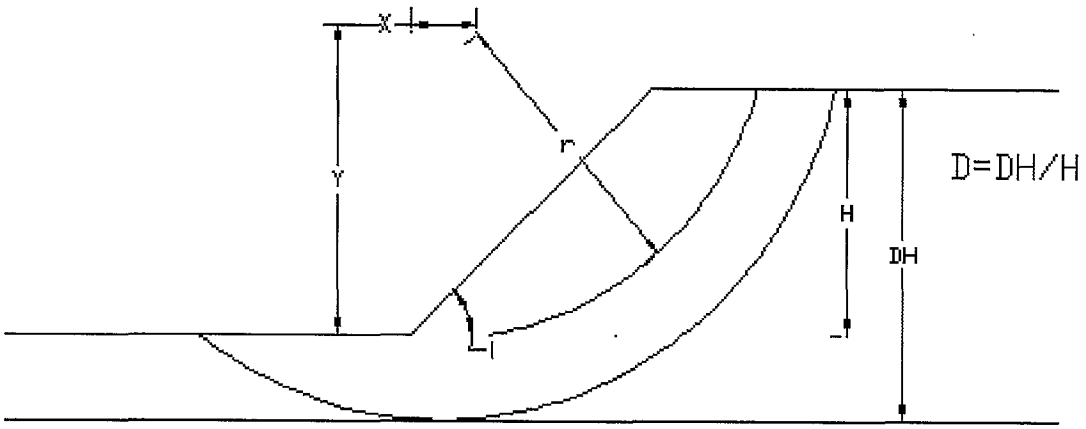
نمودارهای کازنز (۱۹۷۸)[3] براساس روش دایره اصطکاک بدست آمده اند. این نمودار ها برای شیب های تا ۴۵ درجه مناسب اند واز نسبت فشار منفذی استفاده می کنند. این نمودار ها در چهار دسته برای تحلیل دایره های بحرانی پنجه و قاعده و تعیین موقعیت آنها تهیه شده اند. دراین نمودار ها عدد پایداری حداقل N_f برحسب زاویه شیب i فاکتور $\lambda_{c\Phi}$، ضریب عمقD و نسبت فشار منفذی r_u تعیین میشود. عدد پایداری عبارتست از:

$$N_f = \frac{\gamma H(F_s)}{C'} \qquad (۱-۲)$$

فاکتور $\lambda_{c\Phi}$ جملات مربوط به خواص خاک و ارتفاع شیب را گروه بندی میکند :

$$\lambda_{c\Phi} = \frac{\gamma H \tan\Phi}{C'} \qquad (۲-۲)$$

فاکتور عمقD در گسیختگی های قاعده ای بکار می رود وبه عنوان نسبت فاصله قائم DHاز بالای شیب تا قوس گسیختگی ، به ارتفاع شیب H (شکل ۳-۱) تعریف می شود .



شکل ۲-۱ معرفی پارامترهای بکاررفته در نمودارهای کاوزنر

نسبت فشار منفذی r_u به عنوان نسبت فشار آب منفذی به فشار روبار کل در یک عمق خاص که معمولاً روی سطح گسیختگی گرفته می شود ، تعریف شده است:

$$r_u = \frac{U}{\sigma v} = \frac{\gamma_w h}{\gamma_t d} \qquad (۳-۳)$$

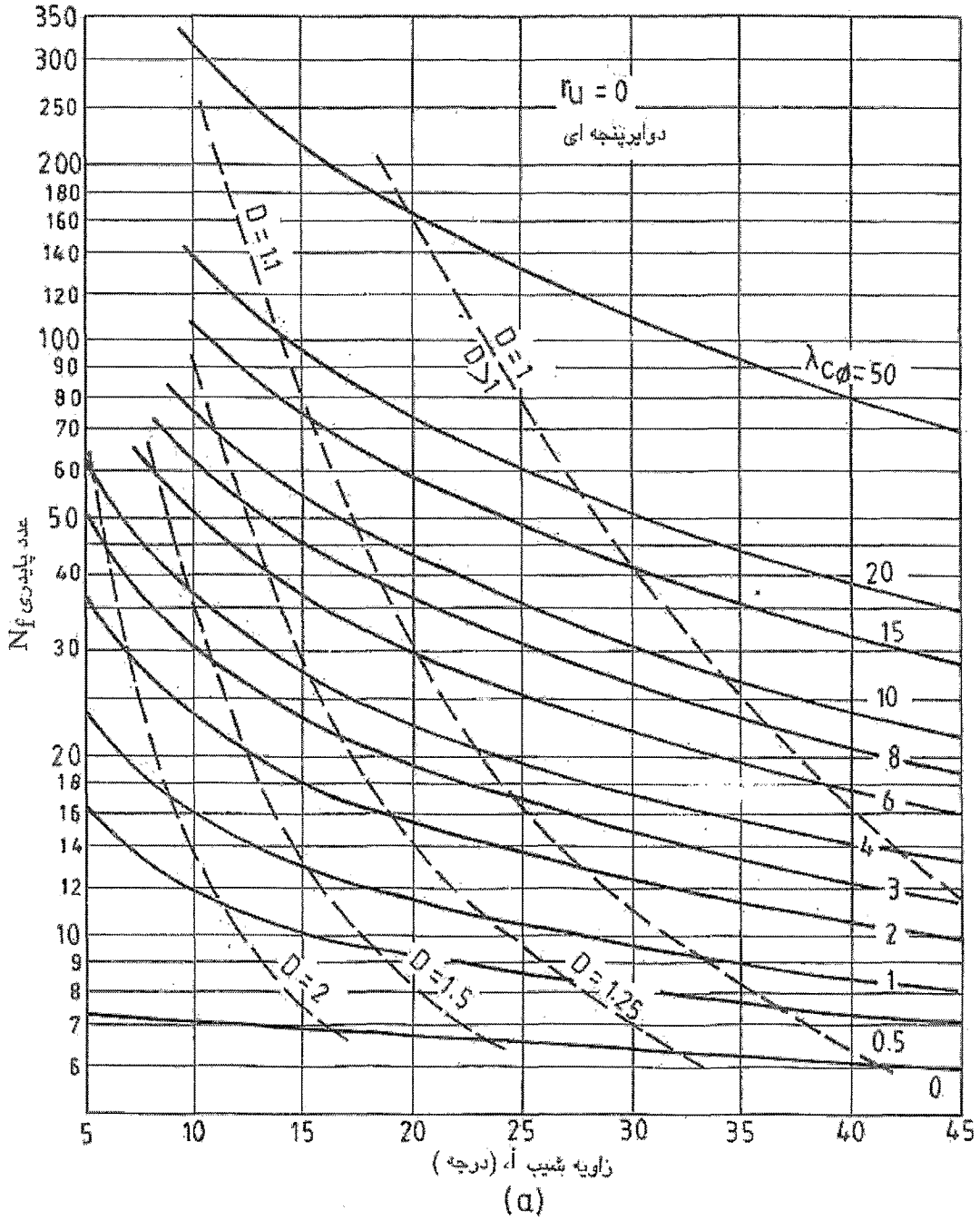
نمودار های پنجه دایرهای که به عنوان نمونه یکی در شکل ۳-۲ نشان داده اندکه برای سه مقادیر متفاوت r_u داده شده اند. برای استفاده از نمودار ها، در ابتدا مقادیر $\lambda_{c\Phi}$ و r_u محاسبه شده و سپس نمودار های با r_u مورد نظر برای شیب داده شده جهت یافتن عدد پایداری N_f مورد استفاده قرار میگیرد. نتایج حاصل شده حساسیت زیادی به r_u دارند ومقادیر N_f برای رسیدن به مقدار مورد نظر r_u باید درون یابی (انترپوله) شوند . مقدار حداکثر D از هندسه مسئله تعیین می شود .

ضریب اطمینان نیز از رابطه زیر تعیین می شود :

$$F_s = \frac{N_f C'}{\gamma H} \qquad (٤-٢)$$

۲-۲-۴ تحلیل استاتیکی شیروانی های خاکی با استفاده از روش های باریکه ها

در این روش ها توده گسیختگی محتمل به چند باریکه قائم تقسیم می شود وتعادل هر باریکه به طور جداگانه در نظر گرفته می شود .همان طور که شکل ۲-۳ دیده می شود، در روش معمولی باریکه ها سیستم نیروی موثربر امتداد سطح گسیختگی محتمل شامل وزن باریکه، نیروی عمودی، نیروی فشار منفذی و مقاومت برش است.



شکل ۲-۲ نمونه ای از نمودارهای کاوزنر جهت تعیین عدد پایداری[4]