اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

HN10104420444

آنالیز احتمالاتی پرده های سپری در مقایسه با روشهای عددی

سید مهدی موسوی، ناصر عرفاتی، فوزیه روزمهر، حسین فضلی

کارشناس ارشددانشگاه تفرش

استادیار دانشگاه تفرش

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه گیلان

دانشجوی کارشناسی دانشگاه تفرش

moosavismm@yahoo.com

خلاصه

روشهای متعددی برای آنالیز سپریها وجود دارند که هرکدام شامل یک سری مزایا و معایب میباشند.تحلیلهایی که در آنها از اعداد ثابت برای داده های ورودی استفاده میشود،تحلیلهای قطعی نام دارند. اما به دلیل وجود عدم قطعیت های ذاتی در خاک استفاده از روشهای آماری در هنگام طراحی و تحلیل سازه های خاکی از جمله سپری هااهمیت فراوانی دارد. در آنالیزهای احتمالاتی برای داده های ورودی یک بازه از اعداد محتمل در نظر گرفته میشود.نتیجتا داده های خروجی نیز شامل بازه ای خواهند بود که بسیار به رفتار طبیعی خاک و یازه نزدیک است.

در این مقاله یک نمونه ی واقعی سپری مدل و با روشهای مختلف احتمالاتی و قطعی تحلیل و نتایج آنها با هم مقایسه شده است.برای این امر از برنامه های *Phase2* و *Risk@* بهره برده شد. برای آنالیز اختمالاتی از سه شیوه ی متفاوت (هر کدام با دو تابع توزیع احتمال متفاوت) استفاده شده است. در ابتدا از روش نقطه ای،سپس روش مونت کارلو و در انتها روش لاتین هایپرکیوب مورد استفاده قرار گرفته و نتایج هریک مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. در پایان مناسب ترین روش در تحلیلهای احتمالتی سپریها پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: پرده سپری، تحلیل احتمالاتی،*Phase2* ،

۱. مقدمه

برایطراحیوآنالیزدیوارهایحائلروشهایمتعددیازدیربازمورداستفادهقرار گرفتهاندکهازجملهیآنهامیتوانبهروشهای ناتاراج و هادلی،پک، روش ساده شده ی نمودار فشار و ... اشاره کرد.

تحلیل های مرسوم سپریها، شیوه هایی قطعی هستند به این معنا که فرض میشود که تمام متغیرهای مقادیر ویژه ای داشته باشند و در نتیجه در پایان تحلیل نیز یک ضریب اطمینان مشخص ارائه می دهند بدون این که نامعینیهای حین تحلیل و یا خاک را وارد محاسبات کنند. شیوه های احتمالی علم قطعیت های در مقادیر متغیرها را در نظر می گیرد و تأثیرات این عدم قطعیت ها را بر مقادیر محاسبه شده یFS ارزیابی می کنند.*[1]*

این روشها مفهومضریب ایمنی را گسترش میدهند کهشامل تاثیر دادن عدم قطعیت درپارامترهای مساله است .این عدم قطعیتمی تواندتوسطتجزیهوتحلیلآماریداده های موجودیا باقضاوت مهندسیاندازهگیریشدهباشد .حتی اگرقضاوتمهندسیاستفاده شود،نتایجمعنی دارترازتجزیهوتحلیلقطعیخواهد بودزیرامهندسعامل تغییرهرپارامتربراساسعدم قطعیتآن بر اساس نتایج تجربی خواهد بود .عدم قطعیت درخواصخاک وعدم قطعیت درمدلمی تواند به بهترین شکل توسط متغیرهایتصادفی آنها،یعنی انحرافمعیاریاضریب تغییرات (وتوابعتوزیعاحتمالشانشرح داده شود .در

عمل،یکمهندس ژئوتکنیکبا تجربهمشخصاتخاکبه صورتقطعیمشخص نخواهد کرد بلکه بر اساس نتایج موجود و باقضاوتمهندسی،نوعتجزیه و تحلیل وآزمایش، بازه ی مناسبی برای هر مقدار انتخاب میکند.

در این مقاله یک شیت پایل نمونه برای مقایسه ی نتایج روش عددی و روشهای مختلف احتمالاتی مورد بررسی قرار گرفته است.برای روش عددی از روش کاهش مقاومت برشی با استفاده از نرم افزار *Phase2* استفاده شد.برای روشهای احتمالاتی ۳ روش انتخاب شد: ۱.روش *Point Estimate Method*با استفاده از ۸ گروه متغیر به صورت دستی ۲.روش *Monte Carlo*با استفاده از ۱۰۰ گروه متغیر ۳. روش *Latin Hypercube* با استفاده از ۱۰۰ گروه متغیر. در هر ۳ روش (با متغیر در نظر گرفتن وزن مخصوص،زاویه اصطکاک و چسبندگی) یکبار از تابع توزیع نرمال و یکبار از تابع لگاریتم نرمال استفاده شد.برای در نظر گرفتن ارتباط متغیرها از دو ضریب تغییر متفاوت بین چسبندگی و اصطکاک استفاده شد. برای تولید اعداد تصادفی از برنامه ی *Risk@* و برای هر کدام از تحلیلها از نرم افزار *Phase2*استفاده شد.

۲. مروری سپری ها و تحلیل آنها

پرده های سپری نوعی دیوار حائل هستند که اغلب برای احداث دیوارهای ساحلی و یا سازه های موقت مورد استفادهقرار می گیرند. مزیت سپری بر دیوارهای حایل، عدم نیاز به تمهیدات خاص در محل اجراست و سپری ها حتی در داخل آب هم قابلاجرا هستند. سپرها دارای انواع مختلف هستند که عبارتند از (الف) سپرهای چوبی، (ب) سپرهای بتنی پیش ساخته و (پ) سپرهای فولادی. سپرهای آلومینیومی نیز برای حالات خاص ساخته می شوند.*[2]*

اهمیت طراحی صحیح سپریها بسیار حیاتی است. بسیاری از سپریها برای محافظت سازه هایی با اهمیت بالا همچونسایتهای اجرای پی، جاده ها و بزرگراهها و سازه های در مجاورت آب ساخته میشوند تا خطر زمین لغزش و آسیبهای مالی و جانی را از بین ببرند.بنابر این بسیار مهم است که چه در هنگام طراحی و چه در طول عمر این سازه ها با انجام تحلیلهایی دقیق میزان اطمینان سازه بررسی گردد.

از سپریها در ۳ طرح استفاده میشود:۱.سپرهای طره ای:برای ارتفاعات متوسط حدود ۶ متر از خط لایروبی استفاده می شود ۲.سپر های مهار شده:در ارتفاعات بالاتر از ۶ متربرای کاهش عمق نفوذ و لنگر وارده و اقتصادی تر شدن طرح استفاده میشود ۳.ترانشه مهار شده:برای حفاظت از سازه های اطراف در هنگام اجرای پروژه (نظیر مترو و تونل)استفاده می شوند.

آنالیز و طراحی سنتی سپریها عموما شامل مراحل زیر است:

۱.اندازه گیری دقیق توزیع فشار اطراف سپری(روش پای مفصلی،پای گیردار،پک و ...)
۲.بدست آوردن عمق نفوذ سپری در خاک با توجه به توزیع فشار
۳.انتخاب نوع سپری و پشت بند و قید فشاری

تحلیلهایمرسومپایداریسپری،شیوه هایقطعیهستند؛بهاینمعناکهفرضمیشود،تمامتغیرها،مقادیرویژه ایداشته باشند .شیوه هایاحتمالاتی،عدمقطعیتهایموجوددرمقادیرمتغیرهارادرنظرمیگیرندوتأثیراتاینعدمقطعیتهارابر مقادیرمحاسبهشده یضریبایمنیارزیابیمیکنند .
روشهایاحتمالاتیمیتوانندبههمراهشیوه هاپایداریتعادلحدی مورداستفادهقرار گیرند؛بدینصورت
کهازمفاهیمآماریواحتمالاتیبرایتشریحوتوصیفتغییرپذیریپارامترهایدروناد انتخابشدهاستفادهمیکنند .
مزیتاینروشتأکیدبرعدمقطعیتهاییاستکهدرتحلیلهاپایداریوجوددارند.مراحل روشهای احتمالاتی عموما بدین صورت است

۱.اخذاطلاعاتدروناد
۲.انتخابتابعتوزیعمناسببرایاطلاعات
۳.تعیینمدل
۴.انتخابمعیار گسیختگی؛برایخاکها،معیار گسیختگیموهر-کولمبوبرایسنگها،معیار گسیختگیتجربیهوکوبراون مناسب است.

۵.انتخابیکیازروشهایقطعیتحلیلپایداریبرایانجاممحاسباتاحتمالاتیبرروی آن

۳. مطالعه و تحلیلیک سپری نمونه مقیاس کامل به روش های عددی و احتمالاتی

در سال ۱۹۹۳ روی سایت هوچستتن[1] دانشگاه کارلسروهه[2] آلمان یک شیت پایل مقیاس کامل (شکل ۱) به اجرا درآمد که شامل حفاری یک حفره در برابر یک شیت پایل در خاک شنی بود. از این نمونه در تعداد زیادی از آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی استفاده شده و آن را به یک مثال خوب برای اعتبار سنجی مدل های المان محدود تبدیل کرده است. شیت پایل مورد نظر از نوع *"KRUPPKDVI"* به طول ۷ متر و عرض ۴ متر می باشد که به روش لرزه ای تا عمق ۶ متری درون زمین فرو رفته در خاک ماسه ای غیراشباع که به وسیله ی تعدادی استرات در فواصل ۲.۴ متری ساپورت می شود. سطح آب در سطح ۵.۵ متری از سطح قرا رگرفته. در این پایان نامه از این نمونه برای اجرای مدلسازی های کامپیوتری و تحلیل های احتمالاتی استفاده شده است.*[3]*

شکل ۱ –شیت پایل مورد مطالعه

مراحل اجرای این شیت پایل به صورت زیر است که در تمامی مدلسازی ها نیز به همین ترتیب اجرا شده است:

مرحله ی اوّل: حفاری تا ارتفاع $1.75m$

مرحله ی دوم: نصب ۳ استرات در فواصل افقی ۲۴ متری در عمق ۱.۲۵ متری. نیروی پیش کششی $10N$ (برابر با $4.5\frac{KN}{m}$) به این استرات ها وارد می شود.

مرحله ی سوم: ادامه ی حفاری تا $5m$

مرحله ی چهارم: وارد کردن یک نیروی kpa ۱۰ روی سطح در مساحتی بین ۱ تا ۵ متری پشت شیت پایل. این نیرو به وسیله ی یک مخزن آب ایجاد شده است.

مرحله ی پنجم: کاهش نیروی درون استرات ها تا جایی که در حالت حدی قرار گیرد. (ثابت ماندن یا حذف نیروی استرات ها).*[4]*

[1]- *Hochstetten*
[2]- *vniversity of Karlsruhe*

ویژگی های خاک از طریق آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی (ون ولترسدورف[1] ۱۹۹۴) مشخص شد.

بالای سطح آب، خاک دارای چگالی متوسط $16.5\frac{KN}{m^3}$ و زیر سطح آب دارای چگالی متوسط $19.8\frac{KN}{m^3}$ می باشد.

مقادیر زاویه اصطکاک بین ۴۰.۵ تا ۴۲.۵ درجه متفاوت بود. چسبندگی نیز در مقادیر بین ۱ تا $5kpa$ قرار داشت.

در جدول ۱ مقادیر مختلف ویژگی های خاک شامل مدول الاستیسیته ضریب پواسون، زاویه اتساع، زاویه اصطکاک و چسبندگی می باشد . *[19]*

جدول ۱- ویژگیهای خاک اطراف سپری

Z	E (MPa)	ν	C (kPa)	φ (°)	Ψ(°)
0 < z < 5.5 m	30	0.25	3	41.6	11.6
5.5m < z	45	0.25	0	41.6	11.6

شیت پایل استفاده شده از نوع *KRUPP KDVI* می باشد.

برای مدلسازی شیب پایل نیاز به ضخامت معادل بود. برای این موضوع معادلات سختی خمش (EI) و محوری (EA) سپری نوشته شد:

$$E_{sheet} I_{sheet} = E_{eq} \frac{teq^3}{12} \quad (۱)$$

$$E_{sheet} A_{sheet} = E_{eq} t_{eq} \quad (۲)$$

که نتایج محاسبات در جدول (۲) آمده است. *[19]*

جدول *2*- ویژگیهای سپری

Z	E (MPa)	ν	C (kPa)	φ (°)	Ψ(°)
0 < z < 5.5 m	30	0.25	3	41.6	11.6
5.5m < z	45	0.25	0	41.6	11.6

استرات اجرا شده دارای مشخصات $E = 2.1\times10^8 kpa$ و سطح مقطع $A = 0.02m^2$ می باشد. نیروی پیش فشاری وارد به آن که در مدلسازی به دو انتها به صورت نیروی منفرد وارد می شود برابر $4.5\frac{KN}{m}$ می باشد. در مراحل مدلسازی در مرحله ی آخر بار برداری استرات با حذف نیروی آن مدل شده است. *[4],[5]*

۴. نتایج:

نتایج تحلیل با شیوه*FEM-SSR*

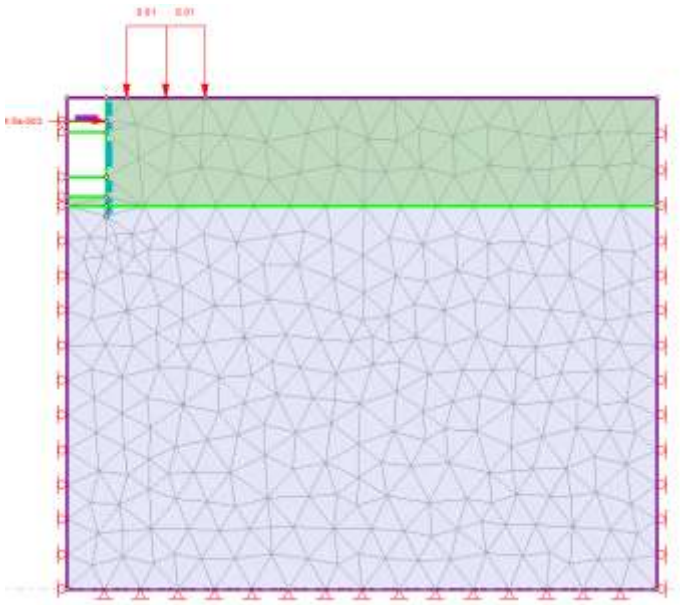
شیوه ی کاهش مقاومت برشی[2] (*SSR*) به عنوان شیوه ای با گسترده ترین کاربرد مورد توجه است. در این روش نیز مقاومت برشی مصالح تا زمانی که مدل ناپایدار گردد، کاهش داده می شود. [*21*] نقطه ی پایداری به عنوان ضریب ایمنی در نظر گرفته می شود .این روش تحلیل توسط نرم افزار *Phase* انجام شده است. *Phase* یک برنامه اجزای محدود الاستوپلاستیک دو بعدی برای محاسبه ی تنش ها و تغییر مکان ها در اطراف حفاری های زیر زمینی است و می تواند برای حل بسیاری از مسائل ژئوتکنیک به کار رود. [*6*]

[1]- *Von Wolffersdorff*
[2]- *shear strength reduction method*

در این تحلیل از شبکه یکنواخت با المان های مثلثی سه گره ای استفاده گردید. نسبت تنش کل از رابطه ی $K = 1 - Sin\varphi = 0.336$ محاسبه شد (مقدار k بر ضریب ایمنی بی تأثیر است و تنها بر کرانه های تنش، کرنش و تغییر مکان تأثیر دارد). [7]

روش ایمنی با این روش برابر ۲.۴ بدست آمد.

مدل سپری در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2–مدل تحلیل در نرم افزار *Phase*

نتایج تحلیل با شیوه *FEM-SSR-PEM*

در روش بر آورد نقطه ای تابع توزیع احتمال متغیرهای تصادفی به وسیله ی نقاط قرار گرفته در مجموع و تفاضل یک انحراف معیار از مقدار میانگین به صورت دستی شبیه سازی می شود.در این روش ، گشتاورهای تابع عملکرد با ارزیابی آن در مجموعه ای از ترکیب های مقادیر زیاد و کم پارامتری، تعیین می شوند.از آن جایی که ۳ متغیر تصادفی ($\boldsymbol{\gamma, C, \varphi}$) در تحلیل در نظر گرفته شد، ارزیابی PEM از گشتاورهای ضریب ایمنی ^{۲۳} برآورد نقطه ای با استفاده از شیوه کاهش برشی نرم افزار $Phase$ انجام شده است.ترکیبات یگانه ی مورد استفاده در جدول 3 فهرست شده اند.

- برای هر متغیر تصادفی معین مقدار وزنی (میانگین + یک انحراف معیار) با نماد " + " و مقدار وزنی (میانگین – یک انحراف معیار) با نماد " – " نشان داده شده است.
- از سمت چپ، نماد اوّل مربوط به C، نماد دوم مربوط به φ و نماد سوم مربوط به γ است.

در شیوه ی PEM ، میانگین و واریانس از روابط زیر بدست می آیند. [8]

$$E(F) = \sum_{i=۱}^{۸} P_i F_i \qquad (3)$$ میانگین

که در آن P_i ها، وزن ها هستند. در این تحلیل، وزن ها دارای مقدار یکسان ۰.۱۲۵ در نظر گرفته شده اند.

$$Var(F) = E(F^{۲}) - [E(F)]^{۲} \qquad (4)$$

که در آن

$$E(F^2) = \sum_{i=1}^{8} P_i F_i^2 \quad (5)$$

انحراف معیار، ریشه ی دوم واریانس خواهد بود.

جدول 3- ترکیبات یگانه *PEM* و ضرایب متناظر آنها

No	Uniquecombinations	Safety Factor
1	+++	۱.۲
2	-++	۱.۲۵
3	+-+	۱.۳۹
4	--+	۱.٤
5	++-	۱.۲
6	+-+	۱.٤۱
7	+--	۱.۳۹
8	---	۱.۳۹

شاخص اطمینان با فرض توزیع نرمال لگاریتمی برای ضریب ایمنی برای ۳.۸۹ می شود با احتمال لغزشی برابر 0.5% خواهد بود.

لازم به ذکر است که ترکیبات تولیدی برای تحلیلهای احتمالاتی در بعضی حالات تطبیق دقیقی با واقعیت موجود خاک ندارند .به طور مثال ترکیب اولیه +++ به صورتی که تمام متغیرها افزایش میابند غیر محتمل است(عموما با کاهش اصطکاک،چسبندگی کاهش میابد و بالعکس).

نتایج تحلیل با شیوه *FEM-SSR-MONTE CARLO*

شیوه های مونت کارلو الگوریتمهای محاسبه گری می‌باشند که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه گیری‌های تکرار شونده ی تصادفی اتکاء می‌کنند. این متد ها محاسباتی کامپیوتری‌ستند که از نمونه‌گیری‌تصادفی بر اساس توابع توزیع متغیرها و ضرایب ارتباط آنهابرای محاسبه نتایج استفاده می‌کنند.

در این بخش نتایج حاصل از ۱۰۰ تحلیل *FEM-SSR* با استفاده از ۱۰۰ شبیه سازی مونت کارلو ارائه می شود. برای انجام شبیه سازی از نرم افزار *@Risk* استفاده شد. این نرم افزار به *Excel* افزوده شده و قابلیت انجام شبیه سازی مونت کارلوولاتین هایپرکیوب را بر روی متغیرهای درونداد با توزیع های مختلف از جمله توزیع نرمال، نرمال لگاریتمی، یکنواخت، نمایی، پواسون و ... با در نظرگیری همبستگی میان آن ها دارد.

به علت آن که هیچ گونه آزمایش ژئوتکنیکی روی خاک شیت پایل انجام نگرفته است، ضریب همبستگی C و φ از طریق روابط موجود قابل محاسبه نیست. برای در نظر گرفتن تأثیر ضریب همبستگی بر نتایج آنالیز یک بار از ضریب همبستگی ۰.۵- و یک بار هم ۰ (بدون همبستگی) استفاده شد. علت استفاده از ضریب همبستگی منفی این است که مصالحی که ازمعیار موهر کلمب تبعیت می کنند در صورت داشتن مقدار چسبندگی کم، اغلب دارای زاویه اصطکاک بالا هستند و برعکس. [9]

نتایج با ضریب همبستگی ۰.۵-: ضریب ایمنی میانگین = ۱.۳۴

با فرض توزیع نرمال برای تابع عملکرد **β** برابر ۱.۳۸ است. احتمال خرابی برابر ۹ درصد بدست آمد.

با در نظر گرفتن توزیع نرمال لگاریتمی **β**برابر ۲ می شود که احتمال خرابی برابر ۳٪ دارد.

نتایج با ضریب همبستگی صفر : ضریب ایمنی میانگین = ۱.۳۹۸

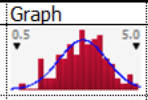
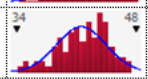
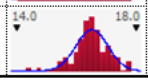
با فرض توزیع نرمال برای تابع عملکرد **β** برابر ۰.۹۵ است. احتمال خرابی برابر ۱۷.۱ درصد بدست آمد.

با در نظر گرفتن توزیع نرمال لگاریتمی **β**برابر ۱.۳۹۸ می شود که احتمال خرابی برابر ۸.۱٪ دارد.

به عنوان نمونه در جدول۴ توابع و مشخصات متغیرها با در نظر گرفتن توزیع نرمال و ضریب همبستگی ۰.۵- در برنامه *@Risk* دیده می شود.

جدول *4*- مشخصات محاسبات مونت کارلو برای ضریب*0.5*- درتوزیع نرمال*@Risk*

@RISK Input Results
Performed By: ici
Date: Sunday, July 22, 2012 6:40:43 PM

Name	Cell	Graph	Min	Mean	Max	5%	95%	Errors
C	A2		0.8101181	3.029014	4.970298	1.535686	4.248101	0
Phi	B2		34.67219	41.89668	47.11135	36.66233	45.72588	0
Gama	C2		14.46215	16.48995	17.74268	15.56681	17.30791	0

نتایج تحلیل با شیوه *FEM-SSR-LATIN HYPERCUBE*

در این تحلیل تمامی مشخصه ها مانند تحلیل پیش است به استثنای این که در این تحلیل از روش لاتین هایپرکیوب برای نمونه گیری تصادفی استفاده شده است. این روش نمونه گیری، روش بهینه ی نمونه گیری مونت کارلو است.

این روش نمونه گیری "سازمان یافته "ای دارد که به طور قابل توجه ای تعداد شبیه سازی های مورد نیاز برای توزیعی مطمئن از متغیر را کاهش میدهند.به گونه ای که تعداد نمونه گیریها را به تقریباً *20 %*شبیه سازی مونت کارلوکاهش میدهد. زمان محاسبات با این روش کمتر و دقت آن بیشتراز روشی است که در آن از نمونه گیری مونت کارلو استفاده می شود.

نتایج با ضریب همبستگی ۰.۵- : ضریب ایمنی میانگین =۱.۲۹

با فرض توزیع نرمال برای تابع عملکرد **β** برابر ۰.۹۵است. احتمال خرابی برابر ۱۷.۱ درصد بدست آمد.

با در نظر گرفتن توزیع نرمال لگاریتمی **β**برابر ۱.۴۶۵ می شود که احتمال خرابی برابر ۷.۱۳٪ دارد.

نتایج با ضریب همبستگی صفر : ضریب ایمنی میانگین =۱.۳۴

با فرض توزیع نرمال برای تابع عملکرد**β** برابر ۰.۹است. احتمال خرابی برابر ۱۸.۳درصد بدست آمد.

با در نظر گرفتن توزیع نرمال لگاریتمی **β**برابر ۱.۴۵ می شود که احتمال خرابی برابر ۷.۳٪ دارد.

۵. نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحلیل های انجام شده در تحلیل های فوق در جدول زیر مشخص شده اند.

جدول ۵- نتایج نهایی

	Average SF	β Normal distribution	β log-Normal distribution	Failure Probability Normal distribution	Failure Probability Log-Normal distribution
FEM- SSR	1.2	-	-	-	-
FEM- SSR- PEM	1.32875	3.49	3.89	1%	0.5%
FEM- SSR- Monte Carlo$\rho(\mathbf{C}, \varphi)$=-0.5	1.34	1.38	2	9%	3%
FEM- SSR- Monte Carlo$\rho(\mathbf{C}, \varphi)$=0	1.4	0.95	1.4	17.1%	8.1%
FEM- SSR- Latin Hypercube $\rho(\mathbf{C}, \varphi)$=-0.5	1.29	0.95	1.46	17.2%	7.13%
FEM- SSR- Latin Hypercube $\rho(\mathbf{C}, \varphi)$=0	1.371	0.9	1.45	18.3%	7.3%

در روشهای احتمالاتی ابتدا روش تحلیلی ،نقطه ای(PEM) استفاده شد. در این روش تابع چگالی احتمال متغیرهای تصادفی به وسیله ی نقاط قرار گرفته در مجموع و تفاضل یک انحراف معیار از مقدار میانگین شبیه سازی می شود در بین روشهای احتمالاتی در روش PEMاز آنجاییکه تعداد نتایج مورد استفاده در تحلیل در مقابل دو روش دیگر محدود بود(۸ عدد در برابر ۱۰۰ عدد) میزان انحراف معیار این ۸ پاسخ بسیار کم شد، احتمال خرابی کمی را به دست میدهد . وقتی تعداد نتایج تحلیل به میزان قابل قبولی در روشهای مونت کارلو و لاتین هایپرکیوب میرسد میتوان به نتایج تحلیل و در نتیجه احتمال خرابی سپری با اطمینان بیشتری نگریست.

روش مورد استفاده ی بعدی روش شبیه سازی احتمالاتی مونت کارلو بود. در شبیه سازی مونت کارلو، مقادیر متغیرهای تصادفی به صورت سازگار با توزیع احتمالاتی آنها ایجاد می شوند، و تابع عملکرد برای هر مجموعه ی ایجاد شده محاسبه می شود . این تحلیل با ۱۰۰ گروه متغیرهای تصادفی(۳۰۰ مقدار متفاوت) انجام گرفت.

سپس روش شبیه سازی احتمالاتی لاتین هایپرکیوب مورد استفاده قرار گرفت.این روش به نوعی همان مونت کارلوی بهینه است که دارای نمونه گیری های دقیق تر است.

در این دو روش وقتی ضریب همبستگی را بین متغیرها در نظر میگیریم احتمال خرابی به میزان ای هر چند اندک کاهش میابد و ضریب ایمنی افزایش میابد. در نظر نگرفتن این ارتباط به نوعی موجب بیش اطمینانی میشود که نیاز نیست.

در هر دو ی این روشها مشخصا با در نظر گرفتن تابع لگاریتم نرمال احتمال خرابی در مقایسه با تابع توزیع نرمال پایین می آید. دلیل عمده ی این موضوع این است در تابع توزیع لگ نرمال احتمال این که اعداد تصادفی تولیدی بیش از مقدار میانگین باشند(به دلیل شکل این تابع) بیشتر است که نتیجه ی طبیعی آن بالاتر رفتن مقدار پارامترهای تصادفی و نتیجتا احتمال خرابی کمتر است.

از طرف دیگر مشخص است که در روش لاتین هایپرکیوب نسبت به روش مونت کارلو ضرایب ایمنی کمتر بدست آمده و در نتیجه احتمال خرابی بیشتری نیز به دست میدهد. از آن جا که این روش در انتخاب و تولید متغیرها روند منطقی تری نسبت به متد مونت کارلو دارد،نتایج این روش محتمل ترین پاسخ به رفتار واقعی سازه است.

به عنوان جمع بندی نهایی باید اشاره کرد کهروش های احتمالاتی هم می توانند به همراه شیوه های پایداری تعادل حدی مورد استفاده قرار گیرند هم با روشهایعددی نظیر تفاضل محدود و اجزا محدود .در روشهای عددی، نیازی به فرض شکل و نوع خرابی وجود نداردبنابراین این روشها از شیوه های تعادل حدی صرف برترند . با توجه به این موضوع،میتوان نتیجه گرفت که تحلیل سپری ها با استفاده از روشهای عددی -احتمالاتی، کاملترین روش تحلیل سپری هاست.

۶. مراجع

1. *BS 6349-2 British Standards Institute, M. S. (1999). British Standards Institute, Maritime Structures Design of Quay Walls, Jetties and Dolphins.Atluri, S.N. and Shen, S. (2002),"The Meshless Local Petrov–Galerkin (MLPG) Method", Tech Science Press, USA.*
2. *Gedeon, G. (1994). Design of Sheet Pile Walls. Washington: U.S. Army Corps of Engineers.*
3. *Wol, P.-A. v. (1994). The Results of the Sheetpile Wall Field Test in Hochstetten.*
4. *Arafati, M. (1998). Modélisation par éléments finis du comportement du rideau de palplanches expérimental de Hochstetten. BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES .*
5. *(2010). Sheet Piling Handbook. Essen: ThyssenKrupp GfT Bautechnik.*
6. *Phase2, R. (2008). Phase2 v 7.0 Two-Dimensional Finite Element Slope Stability.*
7. *Morsi, Y. (2003). Berms for stabilizing earth retaining structures. Cairo: Cairo University.*
8. *Hammah, R. Y. (2009). Probabilistic Slope Analysis with the Finite Element Method.*
9. *Slide, R. (2003). Slide v5.0 – Two-Dimensional Limit-Equilibrium Analysis of Soil and Rock Slopes.*