



## بررسی پایداری شیب های خاکی با منحنی فارسی

عبدالرسول رنجبران<sup>۱\*</sup>، محمد رنجبران<sup>۲</sup>، فاطمه رنجبران<sup>۳</sup>

۱- دانشیار مهندسی عمران، دانشگاه شیراز

۲- استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه شهید مدنی

۳- دانشجوی مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

\*ranjbarn@shirazu.ac.ir

ارسال: شهریور ماه ۹۸ پذیرش: مهر ماه ۹۸

### چکیده

پایداری شیب ها از جمله مسایل مهم مهندسی است که به دو روش قطعی و احتمالی انجام می شود. روش قطعی ساده است ولی نمی تواند، عدم قطعیت های موجود در داده های مربوط به مشخصات هندسی و مکانیکی شیب را در خود منظور نماید. در روش احتمالی، امکان منظور کردن عدم قطعیت ها، البته با صرف وقت و هزینه بیشتر امکان پذیر است. در مورد دوم، با استفاده از آزمایش در آزمایشگاه و یا در محل شیب، مشخصات اندازه گیری شده و داده های حاصل برای ساخت منحنی چگالی و تجمعی احتمال مورد استفاده قرار می گیرد. منحنی های احتمال در بررسی پایداری شیب، عامل اصلی به حساب می آیند. با توجه به این که شکل منحنی از قبل معلوم نیست، در نتیجه روش های مختلف، متنوع، و اغلب مفصل و گرانی برای انطباق منحنی احتمال قابل قبول به جامعه علمی معرفی شده و می شود. علی الرغم کار های زیاد، در روش های موجود اعتماد کامل وجود ندارد. تحقیقات گروه هنر در دو دهه گذشته منجر به کشف و تولید منحنی های فارسی برای ساخت منحنی های احتمال شده، که می تواند برای هر داده منحنی احتمال مربوطه را به سادگی و به طور دقیق تهیه نماید، و به عنوان جانشین روش های موجود معرفی کند. در این مقاله مبانی منطقی و دقیق منحنی های فارسی معرفی شده، و با بکار گیری آن در ساخت منحنی احتمال برای سه دسته داده معتبر مربوط به پایداری شیب، صحت، و کارآیی تحقیق به تأیید رسیده است.

کلید واژه: فلسفه تغییر حالت (فتح)، توابع حالت، توابع پدیده، منحنی فارسی، زمین لغزه، پایداری، شيروانی خاکی، شیب، قطعی، احتمالی.

### ۱- مقدمه

همه ساله در نقاط مختلف جهان، لغزش زمین، جان عده بیشماری را می گیرد. این در حالی است که در دانشگاه ها و سایر موسسات پژوهشی، پایداری شیب و زمین لغزه از موضوع های داغ پژوهشی به حساب می آید [۱-۲۰]. اغلب این پژوهش ها مبنای قطعی دارند. در روش های قطعی، اثر عدم قطعیت های موجود در متغیر هایی مثل، فشار آب زیر زمینی، جرم سنگ، ناپیوستگی ها، مقاومت برشی، و

غیره، در نظر گرفته نمی شود. این عدم قطعیت ها باعث می شوند، که برای رسیدن به یک ضریب اطمینان معین، احتمال لغزش و خرابی مختلفی حاصل گردد. برای رفع نقیصه، جوامع علمی به روش های احتمالاتی، که تا حدودی توان منظور کردن عدم قطعیت ها در کار را دارند، روی آورده اند. نتایج حاصل از روش های احتمالاتی هم چندان قابل اطمینان نیستند، چرا که باز انتخاب منحنی احتمال از میان و یا از ترکیب صدها منحنی موجود در فرهنگ علمی، به عهده محقق است، که می تواند عدم قطعیت وارد کار کند. به منظور روشن شدن موضوع و با تاسی از روال مرسوم در دنیای علم، در این بخش تعدادی از پژوهش های اخیر در زمینه پایداری شیب ها مرور می گردد. فادل سیت (۲۰۰۷) [۱]، چند شیوه احتمالاتی برای زمین لغزه هایی به شکل صفحه و گوه گسترش داد. او تسهیلاتی فراهم کرد که به کمک آن می توان از بین شش منحنی احتمال، نرمال، یکنواخت، مثلث متقارن، مثلث بالا، و مثلث پایین، برای کار انتخاب نمود. او پیشنهاد کرده که برای محاسبه شاخص اعتماد مثلث متقارن خوب نیست، و منحنی لوگ نرمال بر منحنی نرمال برتری دارد. برای شیب های گوه ای، روش محاسبه اعتماد بر روش های قطعی برتری دارد. کریستانو (۲۰۰۸) [۲]، پایداری شیروانی ها در نواحی کوچک، بر اساس روش های قطعی، را مورد بررسی قرار داد. از نرم افزار های در دست استفاده کرد. در انتها اذعان نموده که به علت کمبود داده ها، کوچک و خاص بودن محل تحقیق، کار بری نتایج محدود به ناحیه تحت بررسی است و نباید برای جاهای دیگر تعمیم داده شود! معادله ای برای محاسبه ضریب اطمینان در سخره های دوخته شده شیبدار، توسط حسین (۲۰۱۱) [۳]، ساخته و معرفی شد. او نشان داد که برای دستیابی به ضریب اطمینان بالاتر سخره، نیاز به مقاومت برشی و نیروی پایدار کننده بیشتر است. رحمان (۲۰۱۲) [۴]، توجه خود را معطوف به محاسبه پایداری شیروانی های طبیعی و دست ساز نمود. در این کار از نرم افزار هایی که بر اساس روش تعادل حدی، و روش عناصر محدود تهیه شده بودند استفاده کرد. او دریافت که در محاسبه پایداری، مقاومت برشی خاک از اهمیت ویژه برخوردار است. علاوه بر آن وضعیت زه کشی در پایداری اهمیت دارد. یک روش احتمالاتی برای محاسبه پایداری شیروانی های خاکی توسط اکستراند (۲۰۱۳) [۵] طراحی شد. در این روش فرضیاتی که در محاسبه احتمالاتی پایداری شیروانی ها انجام می شود، مورد سوال و بررسی قرار گرفت. فرضیات در اطراف، اندازه بار ترافیکی، سطح آب زیر زمینی، و اثر زیر ساخت می چرخند. این تحقیق نشان داد که زیر ساخت، و رفتار غیر یکنواخت خاک رسی، که اغلب در محاسبه پایداری شیروانی ها از آن صرف نظر می شود، از اهمیت ویژه ای برخوردارند. یکی از روش های بررسی احتمالاتی پایداری شیب ها روش تحلیلی است، که در آن توابع چگالی متغیر ها با هم ترکیب شده و برای ضریب اطمینان یک تابع چگالی به صورت ریاضی محاسبه می شود. جوهری و همکاران (۲۰۱۵) [۶]، از این تابع استفاده کرده و روشی احتمالاتی برای بررسی پایداری شیب در اثر زلزله بر مبنای روش بیشاپ ساختند. متغیر های دخیل در کار، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، و وزن مخصوص خاک انتخاب شدند. آنها نشان دادند که در پایداری شیب ها زاویه اصطکاک خاک موثر ترین متغیر به حساب می آید. لیم (۲۰۱۶) [۷]، با استفاده از تحلیل حدی به روش عناصر محدود، به بررسی پایداری شیب های لایه ای پرداخته است. مهمترین دست آورد او مطالعه اثرات سه بعدی متغیر ها و ارائه منحنی هایی برای استفاده آسان و سریع در طراحی شیب هاست. وی یک عدد پایداری جدید معرفی کرده که برای تنظیم آن از تحلیل احتمال با در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیر های دخیل بهره برداری کرده است. کانوار (۲۰۱۸) [۸]، روش جایگزینی برای محاسبه اعتماد پذیری در تحلیل پایداری شیروانی ها ارائه نموده که در آن بطور منظم عدم قطعیت های مختلف را منظور و در بررسی پایداری بکار گرفته می شود. تمرکز روش پیشنهادی روی تحلیل انعطاف پذیری بر مبنای انتروپی است. او روش پیشنهادی خود را در مورد زمین لغزه عظیمی که در سال ۱۹۹۰ در شهر نیپینگون، در ایالت اونتاریو کانادا اتفاق افتاده بکار گرفته و صحت سنجی می نماید. در تحقیقی مشابه کانوار (۲۰۱۸)، سینگ (۲۰۱۸) [۹]، روشی دقیق برای تحلیل رفتار خاک در محاسبه پایداری شیروانی های خاکی، در اطراف رودخانه نیپینگون در کانادا، ارائه داده که در آن از نتایج آزمایش برشی خاک، بیشینه انتروپی، و انطباق منحنی احتمال بر داده ها استفاده کرده، و قاعده ای برای تعیین مقاومت خاک تدوین کرده است. هیو واج (۲۰۱۸) [۱۰]، از یک مطالعه موردی لغزش شیروانی ها استفاده کرده، و به کمک آن به نمایش اهمیت کاربرد روش های احتمالاتی، که در آن

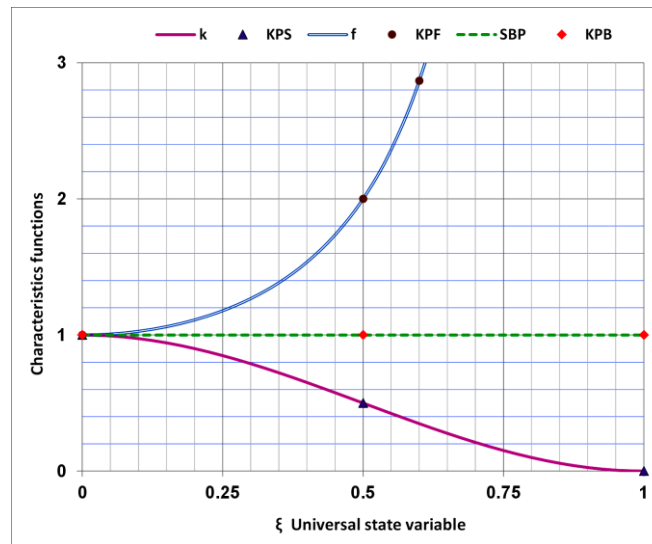
اثر تغییر در خواص مواد منظور می شود، می پردازد، و روش های قطعی و احتمالاتی را با هم مقایسه می کند. او زمین لغزه لودالان در شهر اسلو در کشور نروژ را مورد مطالعه قرار داده و نتایج روش های مختلف، در تعیین ضریب اطمینان، احتمال لغزش، و سطح بحرانی شکست، را باهم مقایسه می کند. نتایج کار او دید نسبت به رفتار لغزش شیروانی ها را وسیع تر می کند. توجه به عناوین مرور شده و آن هایی که فقط دیده شد، نتیجه می شود که کار هنوز به پایان نرسیده و نیاز به تحقیق بیشتر است.

روش های مرسوم دانش بشری به دودسته قطعی و احتمالی تقسیم می گردند. در روش قطعی، بر اساس شناخت پدیده فرضیاتی انجام و معادلات حاکم تهیه شده و در مرحله بعد با استفاده از شرایط اولیه و شرایط مرزی نسبت به حل معادلات اقدام می شود. حل معادلات در موارد ساده به صورت تحلیلی و در سایر موارد به صورت عددی انجام می شود. قسمت عمده دانش بشری در شاخه قطعی توسعه یافته است. در روش های قطعی امکان بررسی اثر عدم قطعیت وجود ندارد. در روش های احتمالاتی امکان منظور کردن عدم قطعیت متغیر ها فراهم است، ولی مساله انتخاب منحنی احتمال مناسب، خود عدم قطعیت معرفی وارد کار می کند. پژوهش های گروه پژوهشی رنجبران و همکاران (هنر، معادل فارسی (Abdolraoul Ranjbaran Team (ART) در دو دهه گذشته منجر به تولد و توسعه روشی جدید برای بررسی پدیده های طبیعی، تحت عنوان فلسفه تغییر حالت (فتح) گردید و در زمینه های مختلف بکار گرفته شد [۲۱-۴۱]. در فتح هر پدیده به صورت تغییر در وضعیت دستگاه، بین مبداء و مقصد، منظور می گردد. مبداء شروع پدیده و مقصد انتهای آن است. فاصله بین مبداء و مقصد طول عمر نامیده شده است. در گسترش مبانی فتح متغیر حالت نقش بی بعد طول عمر را دارد. همه دانش بشری چیزی جز مسیری برای حرکت بین مبداء و مقصد نیست. برتری فتح نسبت به روش های مرسوم در این است که، مبانی آن بدون فرض خاص و صرفا بر اساس استدلال منطقی و منطقی ریاضی تهیه شده و در نتیجه دقیق است. برای کار برد آن در پدیده خاص کافی است داده های قابل قبول (نتایج آزمایش) در نقاط ابتدا، انتها، وسط، و یک نقطه دیگر غیر از آن سه موجود باشد، تا با محاسبه بسیار ساده متغیر های هادی تعیین، و نتیجه به صورت معادله ای ساده و صریح ساخته شود. در نتیجه مختصات چهار نقطه، یعنی مقادیر احتمال در مبداء، احتمال در مقصد (انتهای عمر پدیده)، احتمال نظیر نصف عمر، و بالاخره احتمال نظیر یک نقطه دیگر در طول عمر برای تکمیل محاسبات و اعلام پایداری شیب به صورت معادله ریاضی صریح کفایت می کند. هدف نویسندگان در این مقاله، گسترش مبانی فتح، و کاربرد آن در بررسی پایداری شیروانی هاست. روش پیشنهادی روشی منطقی و دقیق است، و در حالی که محسّنات روش های قطعی و احتمالی را دارد از همه عیوب آن ها مبرا است. در بخش های بعد ابتدا مبانی منطقی فتح ارائه شده و سپس به کار برد آن در بررسی پایداری شیب ها پرداخته می شود.

## ۲- مبانی منطقی فلسفه تغییر حالت (فتح)

هر پدیده در واقع گذر یک دستگاه از وضعیت مبداء به وضعیت مقصد است. مبداء شروع پدیده و مقصد انتهای آن است. فاصله بین مبداء و مقصد، طول عمر پدیده نامیده می شود. همه علم بشری چیزی جز هموار کردن حرکت در مسیر طول عمر و هدایت در راستای آن نیست. روش های علمی به دو دسته قطعی و تصادفی تقسیم می شوند. در روش قطعی کار با انجام فرض های ساده کننده، تشکیل معادلات، و حل آن ها صورت می گیرد. چون معمولا پدیده ها از ابتدا شناخته شده نیستند، در نتیجه هر یک از سه مرحله فوق، عدم قطعیت هایی را وارد کار می کنند. در مواردی که بشر توانسته پدیده را تا حدودی بشناسد، و رفتار آن را از حل معادلات حاکم بدست آورد، روش علمی را قطعی نامیده اند. از طرف دیگر در مواردی که تشکیل معادلات حاکم مقدور نبوده، و نتیجه به صورت تجربی و استفاده از آزمون و خطا حاصل شده، روش علمی تصادفی نامیده شده است. نویسندگان حاضر در هنر با دقت زیاد در پدیده های طبیعی، و مطالعه پیوسته و طولانی در زمینه شکست سازه ها، به کشف و تدوین نگاهی نو به علم، تحت عنوان فلسفه تغییر حالت (فتح) دست یافتند. مبانی ریاضی و منطقی فتح در این بخش تشریح می گردد. گسترش فتح به دنبال شناخت دقیق پدیده صورت گرفته و دست آوردها

دقیق هستند، در نتیجه فتح یک مسیر بیشتر ندارد، و آن مسیر دقیق پدیده است، و در آن دسته بندی به صورت تصادفی و قطعی جایی ندارد. در فتح هر دستگاه با شناسه ای کاهنده رفتاری به نام سختی معرفی می شود، که در مبداء دارای مقدار محدود  $k_S$  و در مقصد برابر صفر است. در هر مرحله از تغییر، سختی دستگاه به اندازه سختی تغییر  $k_C$  کاهش می یابد. معکوس سختی دستگاه نرمی، شناسه رفتاری افزایشنده، نامیده شده، که در مبداء دارای مقدار محدود  $f_S$  و در مقصد بینهایت است. در هر مرحله از تغییر، به اندازه نرمی تغییر  $C_S$  به نرمی دستگاه افزوده می گردد. رابطه بین نرمی و سختی سازه تغییر یافته در معادله (۱) و در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱ منحنی بالایی، که به تدریج زیاد شده و به سمت بینهایت می رود، نشان دهنده روش های نرمی، مثل مثلاً مکانیک شکست، است. از طرف دیگر منحنی زیرین، که به تدریج کم شده و به صفر میل می کند، شاخص روش های سختی، مثل عمده روش های موجود در مکانیک جامدات، می باشد. در این شکل، خط افقی وسط، که در تمام طول عمر پدیده برابر یک باقی می ماند، مسیر فتح را به نمایش می گذارد. در روش های مرسوم در حوالی مقصد دقت بسیار کم می شود. این در حالی است که دقت فتح در تمام طول پدیده یکسان مانده و همه متغیرهای دخیل در محدوده باقی می ماند. هدف اصلی فتح، محاسبه مستقل (بی نیاز از مثلاً مکانیک شکست)  $C_S$  و  $k_C$  است. این محاسبات به طوری که به دنبال می آید، در دو مرحله انجام می گردد. در مرحله اول سختی تغییر بر حسب عوامل دیگر تعریف می شود. در مرحله دوم، با توجه به مطالعات ممتد، توابع مربوط به تغییر، تحت عنوان توابع حالت، به طور هنرمندانه بر حسب طول عمر پدیده تعریف می گردد. بفرمایید، این گوی و این میدان.



شکل ۱- مبناى منطقی فلسفه تغییر حالت

$$(k_S - k_C)(f_S + c_S) = 1 \quad (1)$$

در این مرحله معادله (۱) برای  $k_C$ ، برحسب سه عامل دیگر، حل شده و به کمک آن سختی دستگاه تغییر یافته  $k_{CS} = k_S - k_C$  و سختی تغییر  $k_C$  محاسبه و در معادله (۲) نشان داده شده است.

$$k_{CS} = S_R k_S \quad k_C = F_R k_S \quad (2)$$

که در آن  $F_R$  تابع تخریب، و  $S_R$  تابع پایا است که در معادله (۳) تعریف شده اند. مجموعه دو تابع، توابع پدیده نامیده می شوند. لازم به ذکر است که ساخت معادلات به شکلی که می بینید، حاصل چندین سال مطالعه و تحقیق و هزاران محاسبه عددی است.

$$S_R = \frac{f_S}{f_S + c_S} \quad F_R = \frac{c_S}{f_S + c_S} \quad (3)$$

به منظور توسعه بعدی، نرمی دستگاه بر حسب مقدار بی بعد  $f_N$  و مقدار بعد دار  $F_S$ ، و نرمی تغییر بر حسب مقدار بی بعد  $c_N$  و مقدار بعد دار  $F_S$  در معادله (۴) آمده است. با جا گذاری معادله (۴) در معادله (۳) توابع پدیده به صورت بی بعد مندرج در معادله (۵) در می آید:

$$f_S = f_N F_S \quad c_S = c_N F_S \quad (4)$$

$$S_R = \frac{f_N}{f_N + c_N} \quad F_R = \frac{c_N}{f_N + c_N} \quad (5)$$

در این مرحله توسعه توابع پدیده ( $S_R$  &  $F_R$ ) بر حسب دو تابع دیگر ( $f_N$  &  $c_N$ )، بیشتر از شکل فوق، ممکن نیست. در نتیجه به منظور ممکن ساختن توسعه بعدی، توابع پدیده به صورت زیر برای مقدار  $f_N = 1$  خیاطی و با اسم توابع حالت نامگذاری شده اند (توگد توابع حالت). تابع پایا به تابع مبدا  $O$ ، تابع تخریب به تابع مقصد  $D$ ، و تابع نرمی تغییر به نسبت حالت  $R$  تبدیل شده اند. حاصل در معادله (۶) نمایش داده شده است.

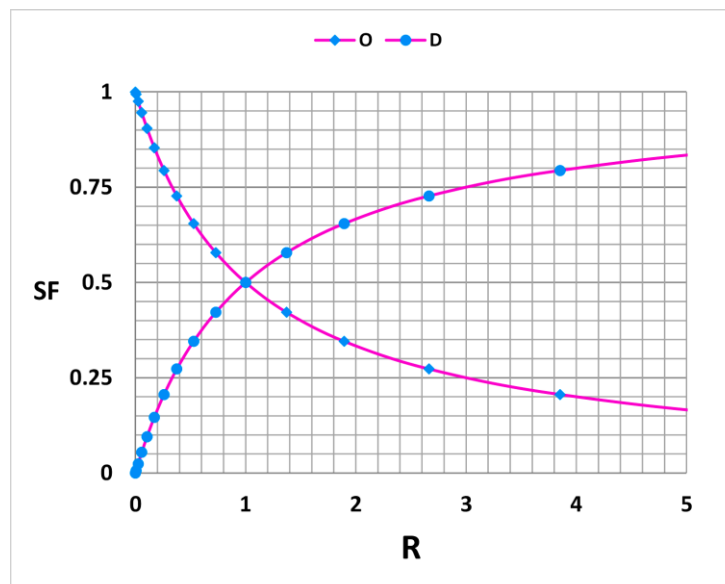
$$O = \frac{1}{1+R} \quad D = \frac{R}{1+R} \quad R = \frac{D}{O} \quad (6)$$

با توجه به تعریف توابع حالت، حدود تغییرات آن ها در معادله (۷) نشان داده شده است.

$$R \in [0 \quad \infty] \quad O \in [1 \quad 0] \quad D \in [0 \quad 1] \quad (7)$$

در این مرحله هدف ساخت توابع حالت است. با استفاده از حدود تغییرات در معادله (۷)، مساله به صورت یک مساله ریاضی معمول، یعنی پیدا کردن توابع حالت با شرایط مرزی مندرج در معادله (۸) تعریف می شود، که در آن علامت بیشینه و  $\min$  علامت کمینه است. تغییرات توابع  $O$  و  $D$  به صورت توابع  $R$  در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$O = \begin{cases} \max = 1 & @ R = 0 \\ \min = 0 & @ R = \infty \end{cases} \quad D = \begin{cases} \min = 0 & @ R = 0 \\ \max = 1 & @ R = \infty \end{cases} \quad (8)$$



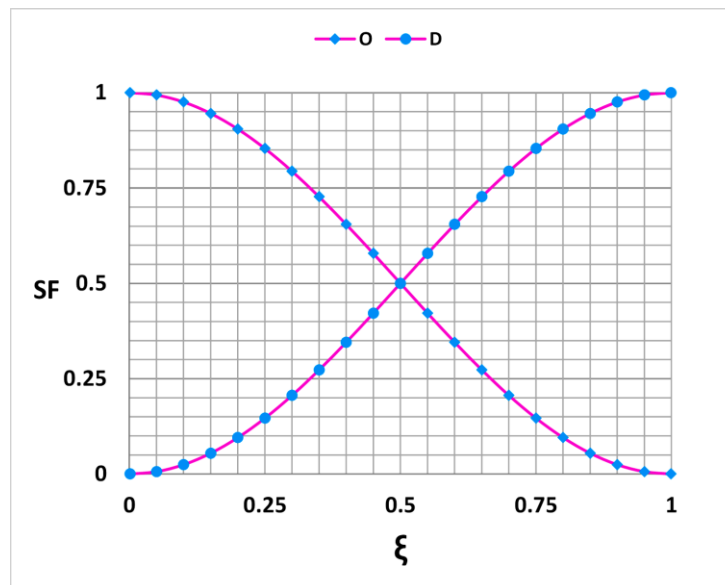
شکل ۲- توابع O و D به صورت توابع R

طبق آخرین اطلاع نویسندگان، نسبت حالت  $R$ ، فقط برای یک یا دو عضو ساده در دسترس است (این چیزی شبیه نرمی ترک در مکانیک شکست می باشد). در نتیجه ساخت توابع حالت بر حسب آن، فراتر از معادله (۶)، فعلا ممکن نیست. جهت حل مشکل، تغییرات نسبت حالت در طول عمر پدیده مورد مطالعه قرار گرفت، و کشف شد که ابتدای منحنی  $R=0$  منطبق بر مبداء پدیده و انتهای آن  $R=\infty$  روی مقصد پدیده است. با توجه به این کشف متغیر جدیدی به نام متغیر حالت  $\xi \in [0, 1]$  تعریف شد که در مبداء مقدار آن برابر صفر  $\xi=0$  و در مقصد مقدار آن برابر یک  $\xi=1$  است. این ابتکار با توجه به این موضوع ساخته شد که ابتدا و انتهای توابع حالت می بایستی در مبداء و مقصد باشند، متغیر رابط بین آن ها همین که ارتباط را برقرار کند کافی است. این ابتکار مشکل را حل کرد. در نتیجه توابع حالت به صورت توابعی از متغیر حالت با مقادیر مرزی، و به صورت معادله (۹) در می آید.

$$O = \begin{cases} \max = 1 & @ \xi = 0 \\ \min = 0 & @ \xi = 1 \end{cases} \quad D = \begin{cases} \min = 0 & @ \xi = 0 \\ \max = 1 & @ \xi = 1 \end{cases} \quad (9)$$

در ابتدا توابع به صورت چند جمله ای (تابع هرمیت) تعریف شدند. تابع هرمیت، با سابقه تولید بیش از دو قرن [۴۲]، با مخالفتی، مبنی بر این که با شرط معادله (۹) هزار و یک معادله می توان تولید کرد، روبرو شد. خوشبختانه پیگیری ها منجر به کشف تابعی مثلثاتی در مقاومت مصالح شد. معادله جدید در مقاومت مصالح جا افتاده بود و دیگر کسی نمی توانست روی آن حرف بزند! این کشف به فال نیک گرفته شد و متوسط توابع هرمیت و مثلثاتی، به عنوان توابع حالت تایید، و در معادله (۱۰) درج شده است. توابع  $O$  و  $D$  به صورت توابع متغیر حالت  $\xi$  در شکل ۳ درج شده است.

$$\begin{aligned} O &= 0.25(3 - 6\xi^2 + 4\xi^3 + \cos \pi\xi) \\ D &= 0.25(1 + 6\xi^2 - 4\xi^3 - \cos \pi\xi) \end{aligned} \quad (10)$$



شکل ۳- توابع  $O$  و  $D$  به صورت توابع  $\xi$

ساخت توابع حالت، تولید مستقل توابع پدیده را کلید زد. بدنبال آن سختی دستگاه بر حسب مقدار بی بعد  $k_N$  و مقدار بعد دار  $K_S$  نشان داده شد. در این مرحله باید سختی تغییر نیز تعریف می شد. این در فرهنگ علمی تعریف نشده بود. مطالعه ممتد در منابع مکانیک شکست نشان داد که، بر خلاف متغیرهای دستگاه، تغییرات سختی تغییر همانند (متناسب با، و دارای ضرایب بی بعد مساوی با) نرمی آن

است. به دنبال این کشف، مقدار سختی تغییر بر حسب مقدار بی بعد  $c_N$  و مقدار بعد دار  $K_S$  تعریف و در معادله (۱۱) درج شده است. نسبت این دو، با توجه به تعریف، برابر نسبت حالت قرار داده و در نتیجه نرمی تغییر به صورت مضربی از نسبت حالت تعریف و در معادله (۱۲) نشان داده شده است. این انتهای موفقیت آمیز تعیین  $k_C$  و  $c_S$  تغییر بود.

$$k_S = k_N K_S \quad k_C = c_N K_S \quad (11)$$

$$k_C/k_S = c_N/k_N \quad c_N = k_N R \quad (12)$$

با جاگذاری معادله (۱۲) در معادله (۵)، شکل عمومی توابع پدیده به صورت معادله (۱۳) حاصل می گردد.

$$S_R = \frac{O}{O + k_N^2 D} \quad F_R = \frac{k_N^2 D}{O + k_N^2 D} \quad (13)$$

همانند نسبت حالت، ضریب  $k_N$  نیز فقط برای دستگاه های خاص قابل محاسبه است، لذا توابع پدیده تعمیم داده شده و به صورت عام در معادله (۱۴) نشان داده می شود، که در آن ضرایب  $a_M$  و  $b$  ضرایب هادی هستند، که با استفاده از داده های معتبر و به طریقی که در بخش های بعد توضیح داده می شود، تعیین می گردند.

$$S_R = \frac{O^b}{O^b + a_M D^b} \quad F_R = \frac{a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad (14)$$

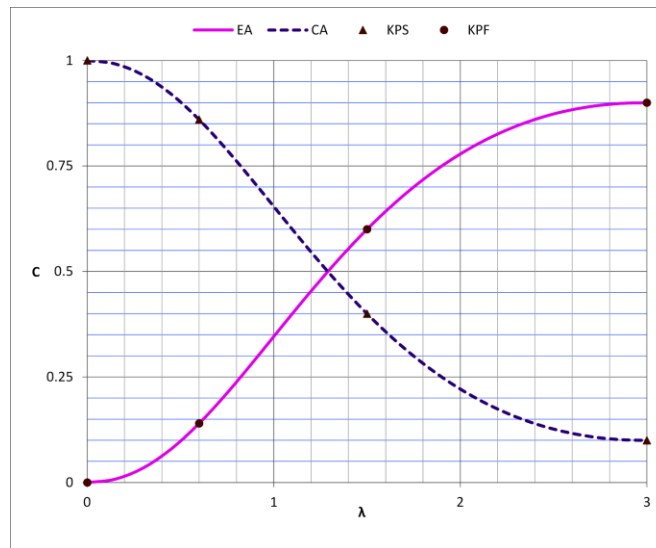
مشتق توابع پدیده نسبت به متغیر حالت، به نام تابع چگالی  $f_R$  نامگذاری و در معادله (۱۵) درج شده است.

$$\frac{dS_R}{d\xi} = -f_R \quad \frac{dF_R}{d\xi} = +f_R \quad f_R = \frac{ba_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (15)$$

بارها در جای جای دنیای علم خواننده اید و شنیده اید که رفتار در پدیده مستقل از مختصات، فرض ها و غیره هستند. ولی با تعجب می بینید که در بررسی پدیده ها اول مختصات ساخته شده، و سپس به فرضیات پرداخته شده، و در آخر روش های بررسی بر اساس فرضیات و بر حسب مختصات ساخته می شود. در مراحل بعدی سعی می شود که مشکلات حاصل از این ارتباط ساختاری بر طرف گردد. برای اولین بار در تاریخ علم روشی مستقل از مختصات، فرض ها و سایر، به نام فتح معرفی شده است که فاقد همه مشکلات روش های مرسوم است. تا این مرحله مبانی بنیادین فتح، بر مبنای منطقی، منطق ریاضی و بدون فرض خاص تولید شد. در بخش های بعد از این مبانی استفاده شده، و فتح برای بررسی پدیده های خاص خیاطی می شود.

### ۳- منحنی فارسی

احتمالاً با منحنی فرانسوی، که برای ترسیم شکل هایی تولید شده که رسم آن ها به کمک وسایل مرسوم ممکن نیست، آشنا هستید. دقت در گسترش مبانی فتح نشان می دهد، که این می تواند همان نقش حتی پررنگ تر از منحنی فرانسوی را، منتها در دنیای علم داشته باشد. با توجه به این که عمده گسترش فتح در خطه فارس انجام شده نام "منحنی فارسی" برای آن انتخاب شد. مبانی فتح به نحوی که در این بخش شرح داده می شود به صورتی زیبا در قالب سه معادله تجمیع و با نام منحنی فارسی نام گذاری شده است.



شکل ۴- منحنی ظرفیت ستون فولادی در آیین نامه آمریکا

نتایج بررسی پدیده‌ها در شاخه‌های مختلف علم (علمی)، مثل شکل ۴، به صورت منحنی‌های دارای دو محور نشان داده می‌شود، که محور قائم نمایش دهنده رفتار پدیده، که همیشه بین صفر و یک قابل تنظیم است  $C_A \in [0, 1]$ ، و محور افقی متغیر شناسه دستگاه، مؤثر در تغییر حالت، است که معمولاً محدودیت ندارد  $\lambda \in [0, \infty]$ . مثلاً در شکل ۴ محور قائم ظرفیت باربری ستون در آیین نامه آمریکا،  $C_A$ ، و محوری افقی ضریب لاغری نسبی به عنوان شناسه ستون،  $\lambda$ ، می‌باشد. در فتح نیز محور قائم بین صفر و یک است و می‌تواند مستقیماً با علمی مقایسه شود. در فتح محور افقی نیز بین صفر و یک است  $\xi \in [0, 1]$ . برای این که بتوان از تولیدات فتح مستقیماً استفاده کرد، کافی است که محور افقی فتح نیز با محور افقی پدیده تنظیم شود (مقایسه شکل ۳ و شکل ۴). چون در پدیده‌های طبیعی محور افقی محدودیت ندارد، گذاشتن انتهای محور افقی فتح بر انتهای محور افقی پدیده، مستقیماً ممکن نیست. برای حل مشکل منحنی طبیعی در نقطه ای معین  $T$ ، بریده شد و آن نقطه  $T$  به عنوان انتهای پدیده منظور گردید. با انتخاب انتها، و با توجه به مبانی ریاضی فتح، در کل چهار نقطه کلیدی، از بین داده‌های معتبر (آزمایش گاهی) کافی است. نقاط کلیدی عبارتند از ابتدا  $O(\lambda_O, P_O)$ ، انتها  $T(\lambda_T, P_T)$ ، وسط  $M(\lambda_M, P_M)$ ، ربع اول  $N(\lambda_N, P_N)$  (این نقطه می‌تواند هر نقطه ای غیر از سه نقطه دیگر باشد). با داشتن نقاط کلیدی متغیرهای هادی و تابع پایا که حالا به نام تابع شیراز  $P_S$  نامگذاری شده از معادله (۱۶) محاسبه می‌شود، که در آن  $O_N$  و  $D_N$  به ترتیب مقادیر  $O(\xi_N)$  و  $D(\xi_N)$  در نقطه  $N$  هستند.

$$a_M = \frac{1-P_M}{P_M-P_T} \quad a_N = \frac{1-P_N}{P_N-P_T} \quad b = \frac{\text{Log}(a_N/a_M)}{\text{Log}(D_N/O_N)} \quad P_S = \frac{O^b + P_T a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad (16)$$

به طریق مشابه تابع تخریب که حالا به نام تابع فسا  $P_F$  نامگذاری شده از معادله (۱۷)، بر حسب متغیرهای مربوطه، محاسبه می‌شود.

$$a_M = \frac{P_M}{P_T-P_M} \quad a_N = \frac{P_N}{P_T-P_N} \quad b = \frac{\text{Log}(a_N/a_M)}{\text{Log}(D_N/O_N)} \quad P_F = \frac{P_T a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad (17)$$

قابل ذکر است، که سادگی محاسبه متغیرهای هادی در معادله‌های (۱۶) و (۱۷) از خواص خاص و شاخص توابع حالت حاصل شده است. پس از محاسبه هر یک از توابع شیراز و یا فسا در فوق، تابع توزیع مربوطه را می‌توان، با استفاده از متغیرهای کلیدی آنها، با نام منحنی زاهدان  $P_Z$ ، از معادله (۱۸) محاسبه کرد. در شکل ۴ نمونه‌ای از نقاط کلیدی روی  $P_S$  با علامت  $KPS$  و روی  $P_F$  با علامت  $KPF$  نشان داده شده است.



$$P_Z = \frac{ba_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (18)$$

و اما در صورتی که داده به صورت چگالی توزیع در دسترس باشد، متغیرهای مربوطه از حل معادله غیر خطی (۱۹) حاصل می شود، که در آن متغیرهای مربوطه در معادله های (۲۰) و (۲۱) تعریف شده اند. لازم به ذکر است که در این حالت مختصات ابتدا و انتهای منحنی صفر است، و مختصات نقطه وسط  $M(\lambda_M, P_M)$ ، و محل نقطه اوج  $P(\lambda_P, P_P)$  منحنی داده شده است.

$$a_M(\xi_P) = -\frac{O_P^{(1)} - \bar{R}O_P}{\bar{D}_P^{(1)} - \bar{R}\bar{D}_P} \quad b = \frac{P_M}{(\pi + 3)} \times \frac{(1 + a_M)^2}{a_M} \quad \bar{R} = \frac{1}{2} \times \frac{\bar{D}_P^{(2)}O_P^{(0)} - \bar{D}_P^{(0)}O_P^{(2)}}{\bar{D}_P^{(1)}O_P^{(0)} - \bar{D}_P^{(0)}O_P^{(1)}} \quad (19)$$

$$O_P = O^b \quad O_P^{(1)} = bO^{(1)}O^{b-1} \quad O_P^{(2)} = b(O^{(2)}O^{b-1} + (b-1)O^{(1)}O^{(1)}O^{b-2}) \quad (20)$$

$$\bar{D}_P = D^b \quad \bar{D}_P^{(1)} = bD^{(1)}D^{b-1} \quad \bar{D}_P^{(2)} = b(D^{(2)}D^{b-1} + (b-1)D^{(1)}D^{(1)}D^{b-2}) \quad (21)$$

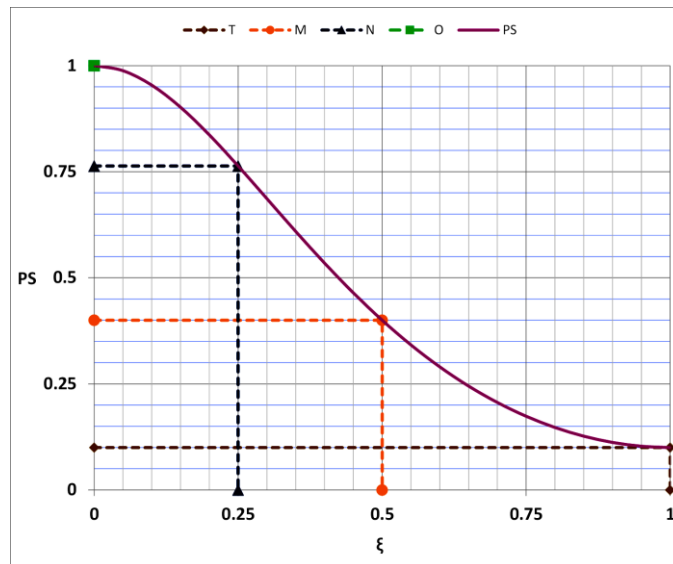
البته همیشه می توان، به جای حل معادله غیر خطی فوق، ابتدا داده چگالی را تجمیع و به داده تجمعی تبدیل کرد، و سپس متغیرهای مربوطه را همانند فوق (تابع فسا) با استفاده از داده تجمعی محاسبه نمود. با معلوم شدن متغیرهای کلیدی، می توان از آن ها برای محاسبه تابع توزیع از معادله (۱۵) استفاده کرد، و یا مستقیماً بر حسب متغیر  $\lambda$  پدیده از معادله (۲۲) کمک گرفت.

$$P_Z(\lambda) = \frac{1}{\lambda_T} \times \frac{ba_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (22)$$

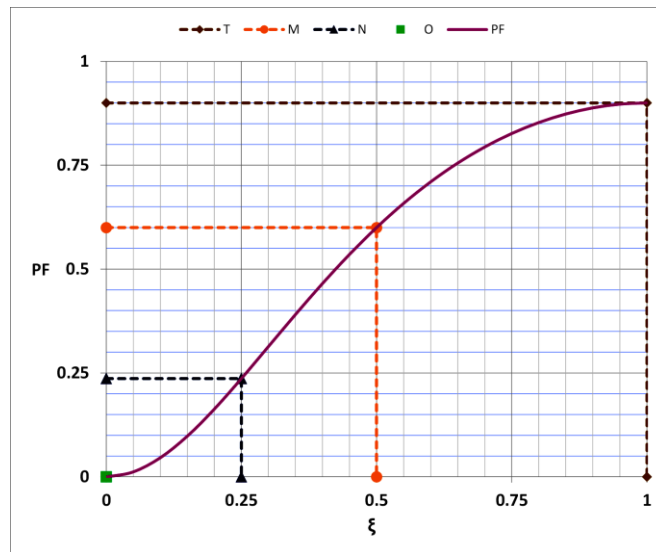
در تمام معادلات بالا، متغیر حالت  $\xi$  از معادله (۲۳) تعیین می شود.

$$\xi = \frac{\lambda - \lambda_O}{\lambda_T - \lambda_O} \quad (23)$$

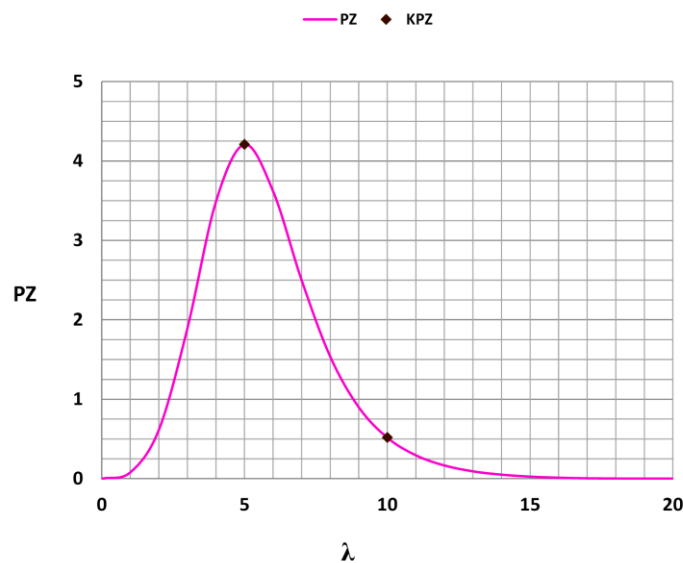
مجموعه توابع شیراز، فسا، و زاهدان به نام منحنی فارسی نامگذاری شده اند. نمونه هایی از شیوه ساخت منحنی های شیراز، فسا و زاهدان به ترتیب در شکل های ۵، ۶، و ۷ نشان داده شده اند.



شکل ۵ - شیوه ساخت منحنی شیراز



شکل ۶ - شیوه ساخت منحنی فضا



شکل ۷ - شیوه ساخت منحنی زاهدان

#### ۴- پایداری شیب ها

مهندس های خاک وپی، باید هنر تصمیم گیری در حضور عدم قطعیت ها را کسب کنند. مولر (۲۰۱۳) [۱۱] بر این باور است که، علی الرغم این که در نیم قرن گذشته، مهندسی خاک و پی پیشرفت زیادی کرده است، ولی هنوز مهندس ها مجبورند از قضاوت شخصی، تجربه خود و دیگران استفاده کنند. از جمله مسائلی که یک مهندس خاک و پی با آن روبروست، این است که او باید محاسبه کند که آیا یک سازه (شیب) پایدار است یا خیر. علاوه بر آن باید قضاوت کند که سازه چقدر پایدار است، به بیان دیگر او چقدر به محاسبات پایداری خود اطمینان دارد. چندین نوع عدم قطعیت با طبیعت متفاوت روی نتایج محاسبات مرسوم تاثیر می گذارند. با توجه به این که فتح در قالب منحنی های فارسی، که بر مبنای استدلال منطقی گسترش یافته، دقیق و میرا از عدم قطعیت معرفتی است، در نتیجه کار برد آن در محاسبه پایداری شیب می تواند کمک مؤثری به بالا بردن دقت محاسبات، کاهش خطا، و سادگی تصمیم گیری باشد. در این قسمت چند نمونه از کاربردهای منحنی فارسی گنجانده شده است.

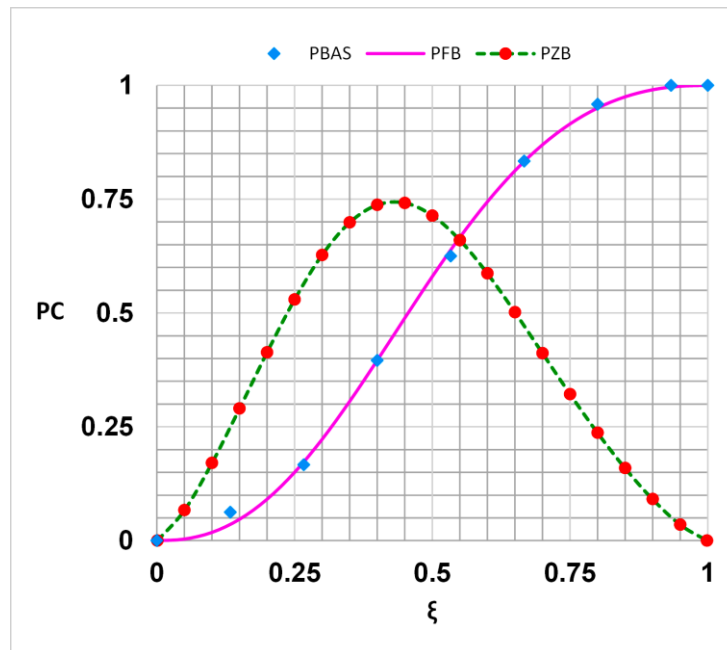
کاربرد اول: تعداد ۴۸ نمونه سنگ بازالتی توسط کیو و همکاران (۲۰۱۷) [۱۹]، مورد آزمایش مقاومت فشاری تک محوری قرار گرفته، که نتایج آن در جدول ۱ گنجانده شده است. این نتایج توسط کانوار (۲۰۱۸) [۸] نیز تحلیل شده است که برای مقایسه با نتایج فتح جالب خواهد بود. داده ها برای محاسبه احتمال، تنظیم و به شرح زیر در جدول ۲ گنجانده شده است. در این جدول ستون  $C01$  حاوی بازه مقاومت، ستون  $C02$  حاوی مقاومت در بازه، ستون  $C03$  مقاومت در بازه بی بعد (متغیر حالت  $\xi$ )، ستون  $C04$  تعداد مقاومت در بازه، ستون  $C05$  تعداد تجمعی مقاومت در بازه، و ستون  $C06$  تعداد تجمعی مقاومت در بازه بی بعد (ضریب احتمال) است. منحنی ضریب احتمال بر حسب متغیر حالت با علامت  $PBAS$  در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به داده ها نقاط کلیدی انتخاب و در معادله (۲۴) گنجانده شده است.

جدول ۱- مقاومت فشاری (مگا پاسکال) تک محوری نمونه های سنگ بازالتی

Uniaxial compressive strength of 48-OP basalt rock									
No.	$S_U$	No.	$S_U$	No.	$S_U$	No.	$S_U$	No.	$S_U$
۱	۶۱.۲	۱۱	۱۰۶.۴	۲۱	۱۲۵.۸	۳۱	۱۴۰.۷	۴۱	۱۶۲.۶
۲	۶۳.۲	۱۲	۱۰۹.۷	۲۲	۱۲۸.۹	۳۲	۱۴۲.۲	۴۲	۱۶۵.۳
۳	۶۶.۶	۱۳	۱۱۲	۲۳	۱۲۹.۲	۳۳	۱۴۲.۶	۴۳	۱۶۵.۵
۴	۸۶.۵	۱۴	۱۱۲	۲۴	۱۲۹.۶	۳۴	۱۴۴.۴	۴۴	۱۶۷.۹
۵	۹۰.۸	۱۵	۱۱۴.۶	۲۵	۱۲۹.۶	۳۵	۱۴۷.۵	۴۵	۱۷۴.۷
۶	۹۷.۷	۱۶	۱۱۴.۹	۲۶	۱۳۱.۸	۳۶	۱۴۸.۹	۴۶	۱۷۷.۲
۷	۹۸	۱۷	۱۱۵	۲۷	۱۳۶.۴	۳۷	۱۵۰.۹	۴۷	۱۹۱.۷
۸	۹۹.۷	۱۸	۱۱۸.۷	۲۸	۱۳۷.۴	۳۸	۱۵۲.۵	۴۸	۱۹۱.۹
۹	۱۰۲.۴	۱۹	۱۱۹.۷	۲۹	۱۳۹	۳۹	۱۵۲.۹	۴۹	-
۱۰	۱۰۴.۳	۲۰	۱۲۳.۲	۳۰	۱۴۰	۴۰	۱۵۹.۱	۵۰	-

جدول ۲- داده آماری مربوط به مقاومت نمونه های سنگ بازالتی

Statistical calculation for OP-basalt rock					
C01	C02	C03	C04	C05	C06
$INTS_U$	$S_U$	$\xi$	$n$	$N$	$PBAS$
0	0	0	0	0	0
0-20	10	0	0	0	0
21-40	30	0	0	0	0
41-60	50	0	0	0	0
61-80	70	0.133	3	3	0.623
81-100	90	0.267	5	8	0.167
101-120	110	0.400	11	19	0.396
121-140	130	0.533	11	30	0.625
141-160	150	0.667	10	40	0.833
161-180	170	0.800	6	46	0.958
181-200	190	0.933	2	48	1
200	200	1.000	0	48	1



شکل ۸ - نتیجه تحلیل ۴۸ نمونه سنگ بازالتی

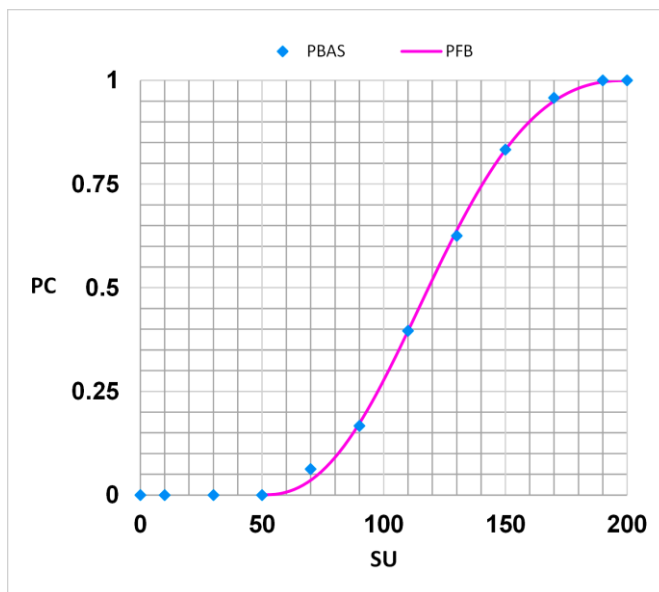
$$O(0.0, 0.0) \quad N(0.25, 0.15) \quad M(0.50, 0.58) \quad T(1.0, 1.0) \quad (24)$$

با استفاده از مختصات نقاط کلیدی، متغیرهای هادی و منحنی احتمال فارسی، و منحنی چگالی احتمال فارسی مربوطه محاسبه و در معادله (۲۵) درج گردیده است.

$$a_M = 1.38 \quad b = 1.19 \quad P_F = \frac{a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad P_Z = \frac{b a_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (25)$$

منحنی احتمال فارسی  $PFB$ ، و منحنی چگالی فارسی  $PZB$  در شکل ۸ با داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است. برای تکمیل کار منحنی احتمال بر حسب مقاومت در شکل ۹ گنجانده شده است. این همان منحنی احتمال در شکل ۸ است که مقیاس محور افقی آن با مقاومت تنظیم گردیده است. کانوار (۲۰۱۸) [۸]، برای تهیه منحنی احتمال، در شکل ۳.۲ چهار منحنی درجه ۲ تا ۵ را بر تعداد داده در بازه منطبق، با هم مقایسه و از بین آنها تشخیص داده که منحنی درجه ۲ برتر است. سپس منحنی ها را در شکل های ۳.۳ تا ۳.۶ با جزئیات ترسیم کرده، و با محاسبه خطا و مقایسه درجه انطباق در مقاومت های مختلف سعی در تصمیم نهایی برای انتخاب نموده است. پس از انتخاب درجه منحنی و تعیین معادله منحنی چگالی توزیع، تهیه منحنی احتمال باید از طریق انتگرال گیری انجام شود.

**کاربرد دوم:** داده های مربوط به بار زنده انبار که توسط بیکر (۱۹۹۰) [۲۰] محاسبه شده در جدول ۳ نمایش داده شده است. کانوار (۲۰۱۸) [۸] نیز در پایان نامه خود این داده را مورد بررسی قرار داده است. در این قسمت داده های انبار با استفاده از فتح تحلیل گردیده است. داده ها برای محاسبه احتمال تنظیم و به شرح زیر در جدول ۴ آمده است. در این جدول ستون  $C01$  حاوی بازه بار، ستون  $C02$  حاوی بار در بازه، ستون  $C03$  بار در بازه بی بعد (متغیر حالت  $\xi$ )، ستون  $C04$  تعداد بار در بازه، ستون  $C05$  تعداد تجمعی بار در بازه، و ستون  $C06$  تعداد تجمعی بار در بازه بی بعد (ضریب احتمال) است. منحنی ضریب احتمال بر حسب متغیر حالت با علامت  $PWLL$  در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به داده ها نقاط کلیدی انتخاب و در معادله (۲۶) گنجانده شده است.



شکل ۹- نتیجه تحلیل ۴۸ نمونه سنگ بازالتی

$$O(0.0, 0.0) \quad N(0.25, 0.25) \quad M(0.50, 0.80) \quad T(1.0, 1.0) \quad (۲۶)$$

جدول ۳- داده های ۲۲۰ نمونه بار زنده انبار

Data 220 sample warehouse live Load									
0	7.8	36.2	60.6	64.0	64.2	79.2	88.4	38.0	72.7
72.2	72.6	74.4	21.8	17.1	48.5	16.8	105.9	57.2	75.7
225.7	42.5	59.8	41.7	39.9	55.5	67.2	122.8	45.2	62.9
55.1	55.9	87.7	59.2	63.1	58.8	67.7	90.4	43.3	55.2
36.6	26.0	90.5	23	43.5	52.1	102.1	71.7	4.1	37.3
129.4	66.4	138.7	127.9	90.9	46.9	197.5	151.1	157.3	197.0
134.6	73.4	80.9	53.3	80.1	62.9	150.8	102.2	6.4	45.4
121.0	106.2	94.4	139.6	152.5	70.2	111.8	174.1	85.4	83.0
178.8	30.2	44.1	157.0	105.3	87.0	50.1	198.0	86.7	64.6
78.6	37.0	70.7	83.0	179.7	180.2	60.6	212.4	72.2	86.0
95.4	24.1	87.3	80.6	74.8	72.4	131.1	116.1	53.6	99.1
40.2	23.4	8.4	42.6	43.4	27.4	63.8	18.4	16.2	58.7
92.2	49.8	50.9	116.4	122.9	132.3	105.2	160.3	28.7	46.8
99.5	106.9	55.9	136.8	110.4	123.5	92.4	160.9	45.4	96.3
88.5	48.4	62.3	71.3	133.2	92.1	111.7	67.9	53.1	39.7
93.2	55.0	80.8	143.5	122.3	184.2	150.0	57.6	6.8	53.3
96.1	54.8	63.0	228.3	139.3	59.1	112.1	50.9	158.6	139.1
213.7	65.7	90.3	198.4	97.5	155.1	163.4	155.3	229.5	75.0
137.6	62.5	156.5	154.1	134.3	81.6	194.4	155.1	89.3	73.4
79.8	68.7	85.6	141.6	100.7	106.0	131.1	157.4	80.2	65.0
78.5	118.2	126.4	33.8	124.6	78.9	146.0	100.3	97.8	75.3
24.8	55.6	135.6	56.3	66.9	72.2	105.4	98.9	101.7	58.2

جدول ۴- داده آماری مربوط به ۲۲۰ نمونه بار زنده انبار

Statistical calculation for 220 sample warehouse live Load					
C01	C02	C03	C04	C05	C06
$INTS_U$	$S_U$	$\xi$	$n$	$N$	$PBAS$
0	0	0	1	1	0
0-20	10	0.0384	5	6	0.0228
21-40	30	0.1154	12	18	0.0776
41-60	50	0.1923	25	43	0.1918
61-80	70	0.2692	45	88	0.3973
81-100	90	0.3461	40	128	0.5799
101-120	110	0.4231	29	157	0.7123
121-140	130	0.5000	16	173	0.7854
141-160	150	0.5769	17	190	0.8630
161-180	170	0.6538	15	205	0.9315
181-200	190	0.7308	5	210	0.9543
201-220	210	0.8077	5	215	0.9772
221-240	230	0.8846	5	220	1
241-260	250	0.9615	0	220	1

با استفاده از مختصات نقاط کلیدی، متغیرهای هادی و منحنی احتمال فارسی و منحنی چگالی احتمال فارسی مربوطه محاسبه و در معادله (۲۷) درج گردیده است.

$$a_M = 4 \quad b = 1.16 \quad P_F = \frac{a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad P_Z = \frac{b a_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (27)$$

منحنی احتمال فارسی  $PFWL$ ، و منحنی چگالی فارسی  $PZWL$  در شکل ۱۰ با داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است. برای تکمیل کار منحنی احتمال بر حسب بار در شکل ۱۱ گنجانده شده است. این همان منحنی احتمال در شکل ۱۰ است که مقیاس محور افقی آن با بار تنظیم گردیده است. به منظور مقایسه اعمال کانوار برای این کاربرد در زیر مرور شده است. ابتدا در شکل ۳.۷ اتروپی های نظیر درجات مختلف منحنی را با هم مقایسه کرده تا حدود درجه منحنی قابل قبول را بدست آورد. سپس در شکل ۳.۸ منحنی چگالی درجه های ۲ تا ۵ را برای تعداد بار در بازه منطبق کرده و درجه ۳ را به عنوان درجه برتر تعیین نموده است. سپس در شکل های ۳.۹ تا ۳.۱۲ منحنی های چگالی با درجات مختلف را بر داده منطبق کرده تا میزان انطباق را با جزئیات بیشتر و در نواحی مختلف بار بررسی نماید. از این مقایسه منحنی ۳ و ۵ نسبت به بقیه برتر بوده اند. در انتها منحنی درجه ۳ انتخاب نهایی برای چگالی بار انبار انتخاب شده است.

کاربرد سوم: در ۲۳ آوریل ۱۹۹۰، زمین لغزه بزرگی، در ناحیه شمال شهر نیپیگون واقع در ایالت اونتاریوی کانادا اتفاق افتاد. بنا به گفته کانوار (۲۰۱۸) [۸] خاک ناحیه مذکور توسط دانشجویان دانشگاه لیک هد تحت آزمایش مقاومت برشی بی زهکش قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. در این قسمت داده های مقاومت برشی نیپیگون با استفاده از فتح تحلیل گردیده است. داده ها برای محاسبه احتمال تنظیم، و به شرح زیر در جدول ۶ آمده است. در این جدول ستون C01 حاوی بازه مقاومت برشی، ستون C02 حاوی مقاومت برشی در بازه، ستون C03 مقاومت برشی در بازه بی بعد (متغیر حالت  $\xi$ )، ستون C04 تعداد مقاومت برشی در بازه، ستون C05 تعداد تجمعی مقاومت برشی در بازه، و ستون C06 تعداد تجمعی مقاومت برشی در بازه بی بعد (ضریب احتمال) است. منحنی

ضریب احتمال بر حسب متغیر حالت با علامت  $PNIFI$  در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به داده ها نقاط کلیدی انتخاب و در معادله (۲۸) گنجانده شده است.

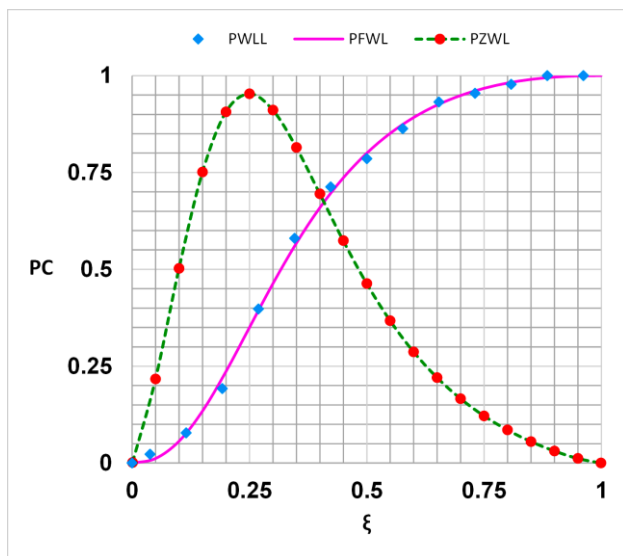
جدول ۵- داده های ۱۲۱ نمونه مقاومت بدون زهکشی در شیب کنار رودخانه نیپگون

Undrained shear strength (kPa) at the Nipigon river slope									
60.8	56.05	52.25	41.8	80.75	38.95	18.05	23.75	32.3	35.15
61.75	56.05	52.25	41.75	81.7	39.9	18.05	25.65	33.25	36.1
61.75	57.0	52.25	44.65	84.55	39.9	19.0	26.6	33.25	37.05
62.7	57.0	52.2	44.65	85.5	39.9	۱۹.۰	26.6	33.25	37.05
63.65	57.0	53.2	45.6	87.4	39.9	19.0	27.55	33.25	38.0
64.6	57.0	53.2	46.55	95.0	39.9	20.9	28.5	33.25	38.0
64.6	57.95	54.15	47.5	95.0	39.9	20.9	29.45	33.25	38.0
64.6	57.95	54.15	49.4	95.0	40.85	22.8	29.45	33.25	38.0
64.6	57.95	55.1	49.4	96.9	40.85	22.8	30.4	34.2	38.0
65.55	58.9	55.1	51.3	104.5	41.8	23.75	32.3	35.15	38.0
68.4	68.4	68.4	71.25	71.25	74.1	77.9	77.9	80.75	104.5
65.55	66.5	66.5	66.5	66.5	67.45	67.45	68.4	68.4	114.0
68.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

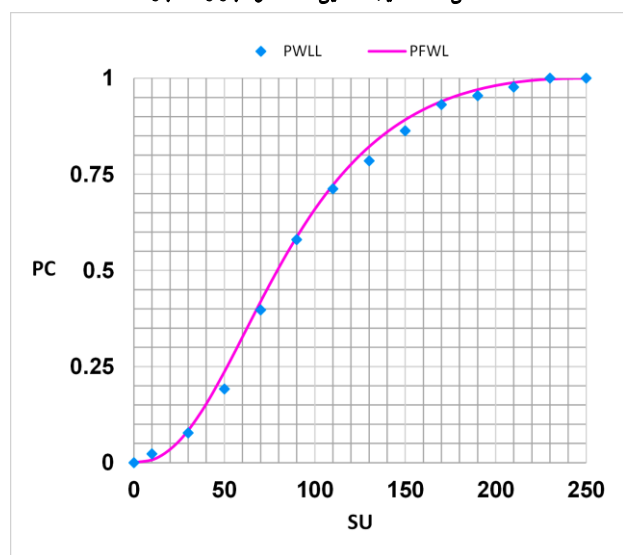
جدول ۶- داده آماری ۱۲۱ نمونه مقاومت بدون زهکشی در شیب کنار رودخانه نیپگون

Statistical calculation undrained shear strength (kPa) at the Nipigon river slope					
C01	C02	C03	C04	C05	C06
$INTS_U$	$S_U$	$\xi$	$n$	$N$	$PBAS$
0	0	0	0	0	0
0-20	10	0.0714	1	1	0.0082
21-40	30	0.2143	18	19	0.1557
41-60	50	0.3571	41	60	0.4918
61-80	70	0.500	44	104	0.8525
81-100	90	0.6429	11	115	0.9426
101-120	110	0.7857	6	121	0.9918
121-140	130	0.9286	1	122	1
140	140	1	0	122	1

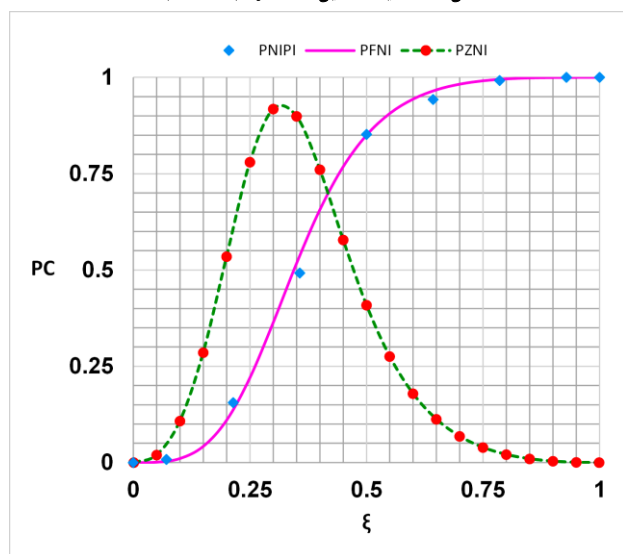
$$O(0.0, 0.0) \quad N(0.25, 0.22) \quad M(0.50, 0.85) \quad T(1.0, 1.0) \quad (28)$$



شکل ۱۰- نتیجه تحلیل ۲۲۰ نمونه بار زنده انبار



شکل ۱۱- نتیجه تحلیل ۲۲۰ نمونه بار زنده انبار



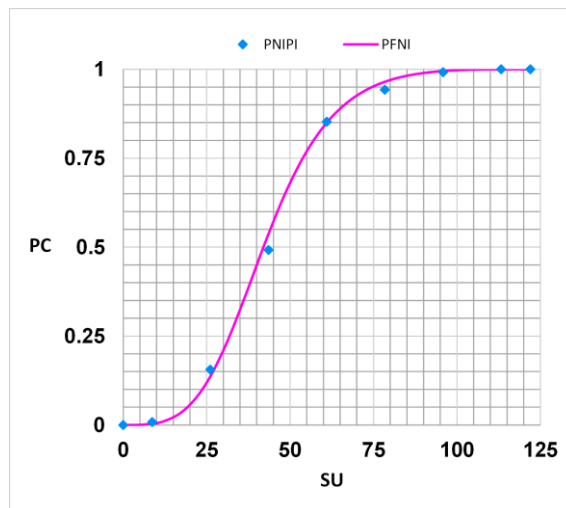
شکل ۱۲- نتیجه تحلیل ۱۲۲ نمونه مقاومت برشی شیب رودخانه نییگون



با استفاده از مختصات نقاط کلیدی، متغیرهای هادی و منحنی احتمال فارسی و منحنی چگالی احتمال فارسی مربوطه محاسبه و در معادله (۲۹) درج گردیده است.

$$a_M = 5.67 \quad b = 1.74 \quad P_F = \frac{a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad P_Z = \frac{b a_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (29)$$

منحنی احتمال فارسی  $PFNI$ ، و منحنی چگالی فارسی  $PZNI$  در شکل ۱۲ با داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است. برای تکمیل کار منحنی احتمال بر حسب مقاومت برشی در شکل ۱۳ گنجانده شده است. این همان منحنی احتمال در شکل ۱۲ است که مقیاس محور افقی آن با مقاومت برشی تنظیم گردیده است. کانوار (۲۰۱۸) [۸]، داده های نیپیگون را برای رسیدن به منحنی احتمال به شرح زیر بررسی نموده است. در شکل ۵.۳ تعداد شش منحنی چگالی، درجه ۲، ۳، ۵، ۸، نرمال، و لوگ نرمال را بر داده تعداد مقاومت در بازه منطبق کرده، و آنها را برای انتخاب بهترین با هم مقایسه نموده است. او دریافت که برای مقاومت های ۰ تا ۲۵ و ۶۰ تا ۱۰۰ درجه ۲ برتر است، در حالی که در کل درجه ۳ برتری دارد. وی تک تک شش منحنی فوق را بطور مجزا در شکل های ۵.۴ تا ۵.۸ بر داده منطبق نموده و با جزئیات مورد بررسی قرار داده و در نهایت منحنی چگالی و منحنی احتمال نظیر درجه ۳ را به عنوان منحنی برتر برگزیده است. به سادگی می توان در یافت که دو معادله ساده فوق (منحنی فارسی) بیش از هشتاد درصد محتوی پایان نامه کانوار را پوشش داده و جایگزین مناسب برای آن است. این بدان معنی است که منحنی فارسی در عین دقیق بودن، صدها برابر کار تهیه منحنی احتمال مورد نیاز در بررسی پایداری شیب را آسان کرده است و به عنوان بهترین گزینه به جامعه علمی معرفی می شود!



شکل ۱۳ - نتیجه تحلیل ۱۲۲ نمونه مقاومت برشی شیب رودخانه نیپیگون

## ۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق به صورت زیر خلاصه می شود. مرور بر تحقیقات گذشته نشان داد که پایداری شیب ها به دو روش قطعی و احتمالی انجام می شود. روش قطعی ساده است ولی نمی تواند، عدم قطعیت های موجود در داده های مربوط به مشخصات هندسی و مکانیکی شیب را در خود منظور نماید. در روش احتمالی، امکان منظور کردن عدم قطعیت ها، البته با صرف وقت و هزینه بیشتر امکان پذیر است. در مورد دوم، با استفاده از آزمایش در آزمایشگاه و یا در محل شیب، مشخصات اندازه گیری شده و داده های حاصل برای ساخت منحنی چگالی و تجمعی احتمال مورد استفاده قرار می گیرد. منحنی های احتمال در بررسی پایداری شیب، عامل اصلی به حساب می آیند. با توجه به این که منحنی احتمال مربوطه از قبل معلوم نیست، در نتیجه روش های مختلف، متنوع، و اغلب مفصل و گرانی برای

انطباق منحنی احتمال قابل قبول به جامعه علمی معرفی شده و می شود. علی الرغم کار های زیاد، در روش های موجود اعتماد کامل وجود ندارد. تحقیقات گروه هنر در دو دهه گذشته منجر به کشف و تولید منحنی های فارسی برای ساخت منحنی های احتمال شده، که می تواند برای هر داده دلخواه منحنی احتمال مربوطه را به سادگی و به طور دقیق تهیه نماید و به عنوان جانشین روش های موجود معرفی کند. در این مقاله مبانی منطقی و دقیق منحنی های فارسی معرفی شد و با بکار گیری آن در ساخت منحنی احتمال برای سه دسته داده معتبر مربوط به پایداری شیب، صحت و کارآیی تحقیق به تأیید رسید.

#### ۶- سخنی با خوانندگان

مقاله در دست حاصل ده ها هزار ساعت- فرد مطالعه و تحقیق گروه هنر است. روش ارائه شده جدید و با روش های مرسوم تفاوت راه دارد. از آن جا که کار بر اساس استدلال منطقی، منطق ریاضی و بدون فرض محدود کننده تهیه شده، هم منطقی و هم دقیق است. بر خلاف روال موجود در فرهنگ علمی، نویسندگان صحت کار را تضمین می کنند. مبانی کار طوری تنظیم شده، که همه نتایج، به سادگی و صراحت، توسط همه قابل باز تولید است. از خوانندگان تقاضا می شود، نظرات انتقادی در له یا علیه کار و کمک های خود را به نویسندگان اعلام دارند.

#### ۷- مراجع

1. Fadlseed M. M. F. (2007). Probabilistic modeling of failure in rock slopes. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Middle East Technical University, Turkey.
2. Christanto N. (2008). Hydrological slope stability modeling for landslide hazard assessment by means of GIS and remote sensing. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Gadjra Mada University, Indonesia.
3. Hossain M. M. (2011). Stability analysis of anchored rock slopes against plane failure subjected to surcharge and seismic loads. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Edith Cowan University, Australia.
4. Rahman M. Z. (2012). Slope stability analysis and road safety evaluation. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Lulea University of Technology, Sweden.
5. Ekstrand D. (2013). Probabilistic approach to slope stability. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden.
6. Johari A., Mousavi S., and Hooshmand Nejad A. (2015). A seismic slope stability probabilistic model based on Bishop's method using analytical approach. *Scientia Iranica A*, 22(3): 728-741.
7. Lim K. K. W. (2016). Slope stability assessment of layered soil. PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, Deakin University, Australia.
8. Kanwar N. S. (2018). Entropy-based reliability analysis and design in slope engineering. MSc. Thesis, Department of Civil Engineering, Lakehead University, Canada.
9. Singh S. (2018). Quantile-based reliability analysis and design in slope stability. MSc. Thesis, Department of Civil Engineering, Lakehead University, Canada.
10. Huvaj N. and Oguz E. A. (2018). Probabilistic slope stability analysis: a case study. *Sakarya University Journal of Science*, 22(5): 1458-1465.
11. Muller R. (2013). Probabilistic stability analysis of embankments founded on clay. PhD. Thesis, Department of Civil and Architectural Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden.
12. Goedecke W. (2013). Efficacy of mathematical models using physical soil factors in determining landslide hazard. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, San Francisco State University, USA.

13. Li L. (2014). Reliability based design for slope stabilization using drilled shafts and anchors. PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, The University of Akron, USA.
14. Cederstrom E. (2014). Application of probabilistic methods in slope stability calculations. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden.
15. Schlogl R. (2015). Quantitative landslide hazard assessment with remote sensing observations and statistical modelling. PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Strasbourg, France.
16. Wolebo A. P. (2016). Advanced probabilistic slope stability analysis on Rissa Slope.. MSc. Thesis, Department of Civil Engineering, NTNU Norwegian University of Science and Technology, Norway.
17. Prastings A. (2016). Aspects and probabilistic approach to design: from uncertainties in pre-investigation to final design. MSc. Thesis, Department of Civil Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden.
18. Hernvall H. (2017). Clay slopes and their stability: an evaluation of different methods. MSc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden.
19. Cui J., Jiang Q., Li S, Feng X., Zhang M., and Yang B. (2017). Estimation of the number of specimens required for acquiring reliable rock mechanical parameters in laboratory uniaxial compression test. *Engineering Geology*, 222: 186-200.
20. Baker R. (1990). Probability estimation and information principles. *Structural Safety*, 92(2): 97-116.
21. Ranjbaran, A., Hashemi, S., Ghaffarian, A.R. (2008), A new approach for buckling and vibration analysis of cracked column. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 21(3), 225-230.
22. Ranjbaran, A., (2010), Analysis of cracked members the governing equations and exact solutions. *Iranian Journal of Science & Engineering, Transactions B: Engineering*. 34(B4), 407-417.
23. Ranjbaran, A., Shokrzadeh, A.R., Khosravi, S. (2011), A new finite element analysis of free axial vibration of cracked bars. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*. 27(10), 1611-1621.
24. Ranjbaran, A., Rousta, H., Ranjbaran, Mo., Ranjbaran, Ma., (2013) Dynamic stability of cracked columns; the stiffness reduction method. *Scientia Iranica*, 20(1), 57-64.
25. Ranjbaran, A., Rousta, H. (2013). Interaction diagram for dynamic stability by Laplace transform. *NED University Journal of Research* 10(1), 31-38.
26. Ranjbaran, A., Rousta, H., Ranjbaran, M.O., Ranjbaran, M.A., Hashemi, M., Moravej, M.T. (2013) A necessary modification for the finite element analysis of cracked members detection, construction, and justification. *Archive of Applied Mechanics*, 83(7), 1087-1096.
27. Ranjbaran, A., Rousta, H. (2013) Finite element analysis of cracked beams innovative weak form equations. *NED University Journal of Research* 10(1), 39-46.
28. Ranjbaran, A., and Ranjbaran, M., (2014) New finite-element formulation for buckling analysis of cracked structures. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, 140(5), 04014014(1-10).
29. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., (2017) State based damage mechanics. *NED University Journal of Research* 14(1), 13-26.
30. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., (2017) State-base buckling analysis of beam-like structures. *Archive of Applied Mechanics*, 87(9), 1555-1565. DOI 10.1007/s00419-017-1273-6.
31. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) State-base fracture mechanics. *Journal of Science and Engineering Elites*, 1397; 3(6): 79-87. (in Persian).
32. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) State-based stability. *Journal of Science and Engineering Elites*, 1397; 3(6): 106-113. (in Persian).

33. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. Negahdar Haghighat N, Masoudi M. J. (2019). Persian Curve the other milestone of science. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(1): 31-39. (in Persian).
34. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Masoudi M. J. (2019). Construction of state based design curve for steel columns. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(1): 53-58. (in Persian).
35. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Negahdar Haghighat N. (2019). Construction of state based design curve for steel beams. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(1): 65-72. (in Persian).
36. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) Universal design code for steel members. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(1): 80-88. (in Persian).
37. Ranjbaran, A., Baharvand A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) Universal Persian probability curve. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(1): 100-110. (in Persian).
38. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) Universal analysis of infectious diseases. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(1): 124-132. (in Persian).
39. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) Persian Curve: New alphabets for decision making in analysis of natural phenomena. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(2): 34-51. (in Persian).
40. Ranjbaran, A., Baharvand A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) Fragility curve and the state based philosophy. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(2): 34-51. (in Persian).
41. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) One God, one universe, one philosophy, the state based philosophy. Journal of Science and Engineering Elites, 1398; 4(3): 60-84. (in Persian).
42. Hermite, Charles. Mathematician, 1822-1901, Paris France.