

منحنی فارسی دگر سنگ آسیای علم

عبدالرسول رنجبران^{۱*}، محمد رنجبران^۲، فاطمه رنجبران^۳، نیکناز نگهدار حقیقت^۴، محمد جواد مسعودی^۵

۱- دانشیار، مهندسی راه - ساختمان و محیط زیست، دانشگاه شیراز

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی پارسیان

۳- دانشجوی مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

۴ و ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد واحد بین الملل، دانشگاه شیراز

* ranjbarn@shirazu.ac.ir; aranjbaran@yahoo.com

ارسال: اسفند ۹۷ پذیرش: فروردین ۹۸

چکیده

همه پدیده های طبیعی به صورت تغییر وضعیت دستگاه از حالت مبداء به حالت مقصد تعریف می شوند. علوم مختلف بشری، در جمله وسایل تغییر حالت در دوشاخه علوم قطعی و علوم تصادفی قرار می گیرند. در هر شاخه ابتدا بر اساس فرضیات لازم، معادلات حاکم گسترش می یابند. سپس با حل معادلات حاکم به صورت تحلیلی برای دستگاه های ساده، و به صورت عددی و به کمک رایانه برای دستگاه های پیچیده، حالت دستگاه در مقصد تعیین می گردد. در شاخه علوم تصادفی نیز کار زیاد انجام و منحنی های احتمالی فراوانی تولید شده و می شود. همواره نتایج کار با آزمایش ها توأم شده تا نقاط ضعف را تا حدودی جبران کند. علی الرغم پیشرفت های چشمگیر، تا رسیدن به تعیین حالت دقیق دستگاه ها راه زیادی مانده است. در جهت بهبود کار، و به کمک استدلال منطقی، منطق ریاضی، و مطالعه طولانی رفتار پدیده ها، تغییر حالت دستگاه به صورت توابعی صریح و دقیق، و تعدادی ضرایب هادی تعریف شده اند. نتایج کار در سه منحنی. بسیار ساده خیاطی، و به اسم "منحنی فارسی" نامگذاری شده است. منحنی فارسی جایگزینی ساده و منطقی برای حالت مقصد اغلب پدیده های طبیعی، چه قطعی و چه تصادفی است. در این مقاله مبانی منطقی و ریاضی منحنی فارسی گسترش یافته، و با کار برد آن برای محاسبه ظرفیت نهایی سازه، تعیین متغیرهای مکانیک شکست، تهیه منحنی های احتمال، منحنی شکنندگی، و موارد دیگر صحت و دقت کار نشان داده می شود.

کلمات کلیدی: منحنی فارسی، فلسفه تغییر حالت، ظرفیت نهایی سازه، مکانیک شکست، منحنی احتمال.

۱- مقدمه

شیوه معمول در بررسی پدیده ها، در شاخه های مختلف علوم بشری، در چند مرحله انجام می گردد. مرحله اول با طرح مجموعه ای از فرض های ساده کننده آغاز می شود، به نحوی که راه برای بیان پدیده بر پایه ریاضی ممکن گردد. مثلا در مکانیک جامدات فرض می شود که تغییر شکل ها کوچک باشند، رابطه بین تنش و کرنش خطی باشد، رفتار کشسان باشد، در خمش صفحات عمود بر صفحه خنثی قبل و بعد از تغییر شکل همچنان به صورت صفحه باقی بماند، و چندین فرض دیگر. از آن جا که فرض ها با عدم قطعیت همراه است و برای سهولت کار انتخاب شده قطعا مقداری به عدم قطعیت نتایج اضافه می کند. در مرحله

دوم، در سایه فرض های مرحله قبل، با استفاده از روش های شناخته تا کنون، نسبت به تشکیل معادلات حاکم اقدام می گردد. به خاطر تنوع روش ها عدم قطعیت های بیشتری وارد می شوند. مرحله سوم شامل حل معادلات حاکم با توجه به شرایط مرزی مساله، امکانات محاسباتی موجود، اعتبارات پشتیبان و غیره، می باشد، که این هم به خطا افزوده می کند. در مرحله آخر به منظور قابل استفاده شدن نتایج حاصل، باید آزمایشات و نمونه گیری های معتبر انجام، و نتایج محاسبات با استفاده از نتایج آزمایش ها تنظیم و از میزان خطاها تا حد امکان بکاهد. علی الرغم تلاش های زیاد، و پیشرفت های چشمگیر در اغلب شاخه های علوم بشری، کار به پایان نرسیده، و در بسیاری از موارد، به علت عدم شناخت دقیق پدیده، مراحل بررسی پدیده همچنان مورد پژوهش است و گاه به نظر می رسد، که با شیوه معمول هیچگاه به جواب قابل قبول منجر نشود.

به عنوان مثال با توجه به خساراتی که همواره زلزله به ساختمان ها، راه ها، و سایر ساخته های بشری وارد می کند، جهت پیش بینی و پیش گیری خسارت ها، برای ساختمان های مهم، محاسبات زیادی انجام و منحنی های شکنندگی، که نمایش دهنده احتمال خرابی ساختمان بر حسب شتاب بیشینه زلزله است، تهیه می گردد. برای تهیه منحنی های شکنندگی طی بیش از پنج دهه گذشته روش های بسیار زیادی توسعه یافته، و گاه با بکار گیری رایانه های بسیار پر قدرت و نرم افزار های مناسب، هزاران هزار تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی انجام، و با استفاده از نتایج و با بکار گیری روش های پیشرفته آماری منحنی های شکنندگی ساخته شده است. پژوهش ها نشان می دهد که منحنی های حاصل باز دارای عدم قطعیت بوده و اعتبار کافی فراهم نمی کنند. هزاران پژوهش در دست انجام در سراسر جهان دلیل این مدعاست. مشکل ناشی از عدم شناخت دقیق پدیده است.

در شاخه هایی از علم که ظاهراً نباید چندان مساله دار باشد باز مشکل پابرجاست. به عنوان مثال طراحی تیر های فولادی بیش از یک قرن سابقه دارد و تحقیقات روی رفتار آن ها در صد سال گذشته در سراسر جهان در حال انجام بوده و هست. نتایج این تحقیقات توسط موسسات مسئول و افراد خبره گردآوری، تنظیم، و حک و اصلاح شده و در آیین نامه های طراحی گنجانده می شود. اغلب کشورهای دنیا خصوصاً کشورهای پیشرفته ای مثل کانادا، آمریکا، اروپا، و استرالیا دارای آیین نامه های طراحی خود هستند، که هر چند سال هم نو سازی می شوند. اخیراً ظرفیت باربری یک تیر مشخص با استفاده از آیین نامه های چهار کشور فوق الذکر محاسبه و با هم مقایسه شدند [۱]. با کمال تعجب مشاهده شد که آیین نامه کانادا بیش از ۵۰ درصد، آیین نامه آمریکا بیش از ۴۰ درصد، اضافه ظرفیت پیش بینی می کنند. وضع آیین نامه های اروپا و استرالیا بهتر بود. بررسی های نویسندگان حاضر نشان می دهد که علت اصلی این خطا ریشه در فرض های اولیه و پایه های بنیادی روش های محاسبه ظرفیت ها دارد. مثلاً در آیین نامه آمریکا فرض شده که ناپایداری و تخریب به صورت کماتش پیچش جانبی اتفاق می افتد، که تنها در آزمایش های هدایت شده صادق است، در حالی که در طبیعت چنین هدایتی وجود ندارد. تا کنون، خصوصاً در ایران، کسی به موارد فوق توجه نکرده است. دلیل آن هم این است که از آیین نامه آمریکا استفاده می شود و خبر از آیین نامه های دیگر نیست. مورد دیگر این است که در طراحی قطعات کششی در آیین نامه آمریکا لاغری تاثیر ندارد، از زمان لئوناردو داوینچی اثر طول در ظرفیت بار بری مطرح بوده و اخیراً هم نشان داده شده که ظرفیت قطعات کششی هم به لاغری آن ها بستگی دارد [۲-۳].

در شاخه روش های احتمالاتی نیز مشکل حاصل از عدم شناخت دقیق، فراوان است. به همین دلیل است که در رشته آمار و احتمال بیش از دو بیست منحنی احتمال گسترش یافته و هنوز هم نسبت به گسترش منحنی های جدید و توسعه منحنی های موجود اقدام می شود. پژوهش کننده برای انتخاب با مشکل روبروست و یا باید چندین منحنی را آزمایش کند و یا از برداشت های دیگران، که لزوماً منطقی نیستند و اغلب تکرار برداشت قبلی هاست، استفاده کنند که به خطا می افزاید.

موارد فوق و مسایل مشابه دیگر، نویسندگان حاضر را بر آن داشت تا پژوهش های خود را در جهت رفع مشکل آغاز کنند. نتایج بیش از ۶۰ هزار ساعت-فرد مطالعه و محاسبه منجر به تولد فلسفه تغییر حالت (فتح) شد، که به علم نگاهی نو دارد [۴-۹]. در فتح هر پدیده به صورت تغییر حالت دستگاه از وضعیت مبداء (سلامت) به حالت مقصد (مرگ) در نظر گرفته می شود. بر اساس استدلال منطقی، و بکار گیری منطق ریاضی، توابع پدیده و توابع حالت به صورت صریح و دقیق گسترش یافته و با استفاده از

آنها حرکت از مبداء به مقصد تسهیل شده است. فتح می تواند در اغلب شاخه های علوم بشری، خصوصا مثل موارد ذکر شده در بالا، جانشینی مناسب باشد. هدف از این مقاله معرفی، گسترش مبانی بنیادی، و بکار گیری فتح در مسایل مشکل دار ذکر شده در فوق می باشد.

۲- تولد و توسعه توابع پدیده و توابع حالت

شناسه رفتاری دستگاه با سختی نشان داده می شود، که در مبداء دارای مقدار محدود k_S و در مقصد برابر صفر است. در هر مرحله از عیب سختی به اندازه سختی عیب k_D کاهش می یابد. معکوس سختی دستگاه برابر نرمی است که در مبداء دارای مقدار محدود f_S و در مقصد بینهایت است. در هر مرحله عیب به اندازه نرمی عیب c_S به نرمی دستگاه افزوده می گردد. رابطه بین نرمی و سختی سازه معیوب در معادله (۱) نشان داده شده است.

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

با حل معادله برای k_D برحسب عوامل دیگر، سختی عیب و سختی دستگاه معیوب $k_{LS} = k_S - k_D$ در معادله (۲) آمده است.

$$k_{LS} = S_R k_S \quad k_{DS} = F_R k_S \quad (2)$$

که در آن F_R تابع مرگ، و S_R تابع پایا است که در معادله (۳) تعریف شده اند. مجموعه دو تابع، توابع پدیده نامیده شدند.

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

نرمی دستگاه بر حسب مقدار بی بعد f_N و مقدار بعد دار F_S ، و نرمی عیب 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:

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

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

به منظور توسعه بعدی، توابع پدیده به صورت زیر برای مقدار $f_N = 1$ خیاطی و با اسم توابع حالت نامگذاری شده اند. تابع پایا به تابع مبداء O ، تابع مرگ به تابع مقصد D ، و تابع نرمی عیب به نسبت حالت R تبدیل شده اند. حاصل در معادله (۶) نمایش داده شده است.

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

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

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

شاخص عیب با متغیر حالت $\xi \in [0 \quad 1]$ ، که در مبداء صفر و در مقصد یک است، نشان داده شده است. در نتیجه توابع حالت به صورت تابعی با حدود مرزی به صورت معادله (۸) در می آید، که در آن \max علامت بیشینه و \min علامت کمینه است. بدنبال مطالعه و بررسی ممتد، توابع مناسب به صورت معادله (۹) حاصل شده است.

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

$$\begin{aligned} O &= 0.25(3 - 6\xi^2 + 4\xi^3 + \cos \pi\xi) \\ D &= 0.25(1 + 6\xi^2 - 4\xi^3 - \cos \pi\xi) \end{aligned} \quad (9)$$

سختی دستگاه بر حسب مقدار بی بعد k_N و مقدار بعد دار K_S ، و مقدار سختی عیب بر حسب مقدار بی بعد c_N و مقدار بعد دار K_S تعریف و در معادله (۱۰) درج شده است. نسبت این دو، با توجه به تعریف، برابر نسبت حالت قرار داده و در نتیجه نرمی عیب به صورت مضربی از نسبت حالت تعریف و در معادله (۱۱) نشان داده شده است.

$$k_S = k_N K_S \quad k_D = c_N K_S \quad (10)$$

$$k_D/k_S = c_N/k_N \quad c_N = k_N R \quad (11)$$

با جاگذاری معادله (۱۱) در معادله (۵)، شکل عمومی توابع پدیده به صورت معادله (۱۲) حاصل می گردد.

$$S_R = \frac{O}{O + k_N^2 D} \quad F_R = \frac{k_N^2 D}{O + k_N^2 D} \quad (12)$$

نظر به این که ضریب k_N فقط برای دستگاه های خاص قابل تعریف است، لذا معادله به صورت کلی معادله (۱۳) نشان داده می شود که در آن ضرایب Q_M و P 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.

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

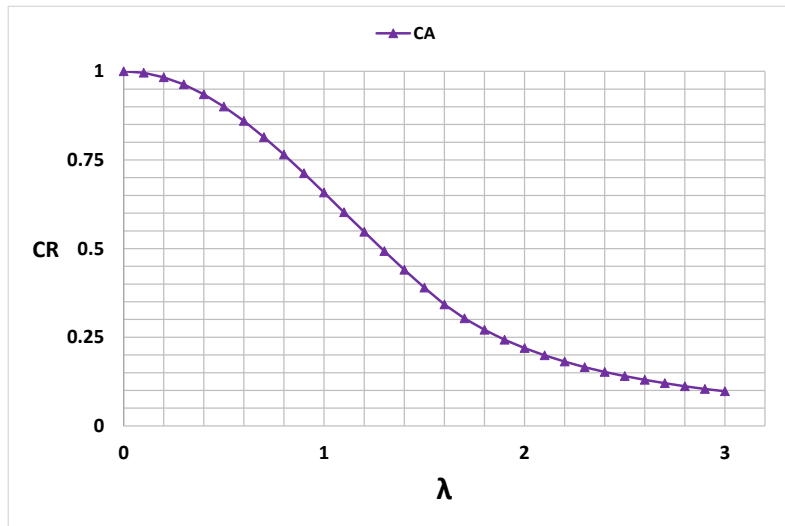
تا این مرحله مبانی بنیادین فتح، بر مبنای منطقی، منطبق ریاضی، و بدون فرض خاص تولید شد. در بخش بعد از مبانی استفاده و فتح برای بررسی پدیده های خاص خیاطی می شود.

۳- منحنی فارسی

شاید با منحنی فرانسوی، که برای ترسیم شکل هایی تولید شده که رسم آن ها به کمک وسایل مرسوم ممکن نیست، آشنا باشید. دقت در گسترش مبانی فتح نشان می دهد که این می تواند همان نقش منحنی فرانسوی را، منتها در تحلیل پدیده ها در شاخه های مختلف علوم که اغلب با روش های سنتی دارای عدم قطعیت قابل توجه اند، 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.

نتایج بررسی پدیده ها در شاخه های مختلف علم (علمی)، مثل شکل ۱، به صورت منحنی های دارای دو محور نشان داده می شود، که محور قائم رفتار پدیده که بین صفر و یک قابل تنظیم است، و محور افقی متغیر شناسه پدیده است که معمولاً محدودیت ندارد. در شکل ۱ محور قائم ظرفیت باربری ستون در آیین نامه آمریکا C_A و محوری افقی ضریب لاغری نسبی λ_r ، به عنوان شناسه ستون، می باشد. در فتح نیز محور قائم بین صفر و یک است و می تواند مستقیماً با علمی مقایسه شود. به منظور انطباق محور افقی فتح و علمی، نقطه انتهایی λ_r برای شناسه انتخاب و به عنوان مقصد فتح منظور می شود. معادله (۱۴) این را نشان می دهد.

$$\xi = \lambda/\lambda_r \quad (14)$$



شکل ۱- منحنی ظرفیت ستون فولادی در آیین نامه آمریکا

حال اگر علاوه بر نقطه انتها $T(\lambda_T, C_T)$ و نقطه ابتدا $O(0,1)$ ، یک نقطه در وسط $M(0.5\lambda_T, C_M)$ و یک نقطه میانی بین سه نقطه پیشین $N(\lambda_N, C_N)$ ، به عنوان نقاط کلیدی، انتخاب شود، محور قائم فتح C_R نظیر علمی، که از نقاط کلیدی می گذرد، در معادله (۱۵) نشان داده شده است، که در آن متغیرهای هادی در معادله (۱۶) محاسبه شده اند.

$$C_R = \frac{O^P + C_T Q_M D^P}{O^P + Q_M D^P} \quad (15)$$

$$Q_M = \frac{1 - C_M}{C_M - C_T} \quad Q_N = \frac{1 - C_N}{C_N - C_T} \quad P = \frac{\text{Log}(Q_N/Q_M)}{\text{Log}(D(\xi_N)/O(\xi_N))} \quad (16)$$

قل دیگر منحنی C_R ، منحنی E_R است، که در معادله (۱۷) تعریف شده است. متغیرهای کلیدی برای این با استفاده از مختصات نقاط کلیدی و مطابق معادله (۱۸) تعیین می گردند. نقاط کلیدی، که از داده های معتبر انتخاب می شوند، عبارتند از نقطه شروع $O(0,0)$ ، نقطه انتها $T(\lambda_T, E_T)$ ، نقطه وسط $M(0.5\lambda_T, E_M)$ ، و نقطه میانی $N(\lambda_N, E_N)$.

$$E_R = \frac{E_T Q_M D^P}{O^P + Q_M D^P} \quad (17)$$

$$Q_M = \frac{E_M}{E_T - E_M} \quad Q_N = \frac{E_N}{E_T - E_N} \quad P = \frac{\text{Log}(Q_N/Q_M)}{\text{Log}(D(\xi_N)/O(\xi_N))} \quad (18)$$

سومین منحنی که بیشتر در محاسبات آماری مطرح است، منحنی چگالی f_R است که در معادله (۱۹) آمده است، که در آن جفت ابروی در بالای راست علامت مشتق نسبت به متغیر حالت ξ است. رابطه بین این منحنی و منحنی های قبل در معادله (۲۰) گنجانده شده است.

$$f_R = PD^{(1)}(S_R F_R / DO) \quad (19)$$

$$C_R^{(1)} = -f_R \quad E_R^{(1)} = +f_R \quad (20)$$

در این جا گسترش و تکمیل میانی فتح و ساخت منحنی فارسی به پایان می رسد. در بخش بعد کاربرد آن در شاخه های مختلف علم به نمایش گذاشته می شود.

۴- محاسبه ظرفیت باربری اعضای فولادی

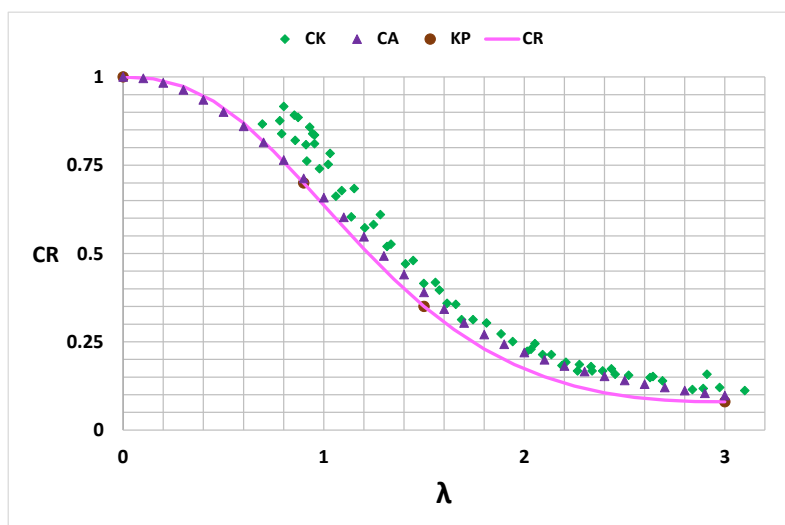
در بخش های قبل نشان داده شد که برای بررسی یک پدیده، وجود مختصات سه نقطه کلیدی قابل اعتماد، بر گرفته از نتایج آزمایشگاهی و غیره، کافی است. در ادامه ظرفیت تیر های ساخته شده از فولاد سرد نورد $CK [01]$ و ظرفیت ستون های

فولادی مطابق آیین نامه فولاد آمریکا CA [۱۱] در شکل ۲ نشان داده شده است. نقاط کلیدی، متغیرهای هادی، و معادله منحنی فارسی پیشنهادی در معادله (۲۱) نمایش داده شده است. منحنی فارسی CR در شکل ۲ با داده ها مقایسه شده است. قضاوت به عهده شماست.

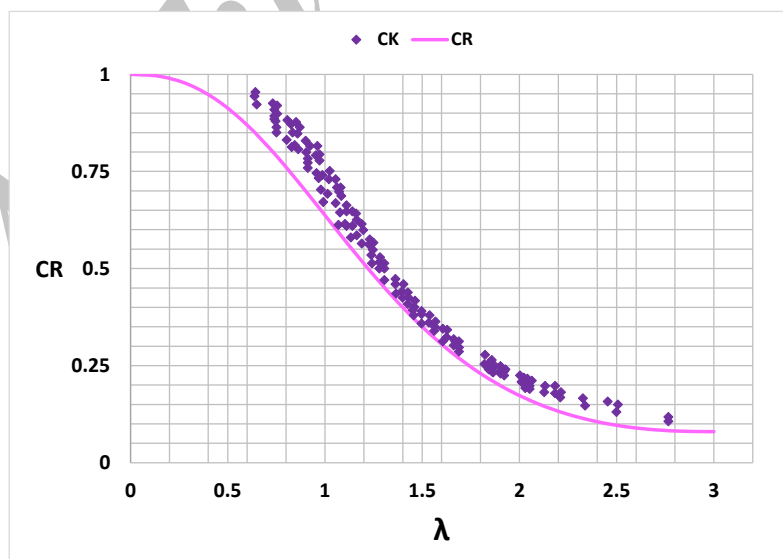
$$O(0 \ 1) \ N(0.9 \ 0.70) \ M(1.5 \ 0.35) \ T(3 \ 0.08) \quad (21)$$

$$Q_M = 2.40 \quad Q_N = 0.484 \quad P = 1.22 \quad C_R = \left(O^{1.22} + 0.19D^{1.22} \right) / \left(O^{1.22} + 2.40D^{1.22} \right)$$

طبق فتح معادله (۲۱) ظرفیت همه قطعات فلزی را بدست می دهد، و انتظار می رود برای همه عضوهای فلزی در هر شرایط و تحت اثر هر نیرویی صادق باشد. به لحاظ تایید برداشت منحنی فارسی در فوق با داده های شکل ۶.۱۷ رساله کانکانامج [۱۱] در شکل ۳ مقایسه شده است. همخوانی نتایج صحت فتح را مورد تاکید قرار می دهد. لازم به ذکر است که از منحنی فارسی در معادله (۲۱) به عنوان آیین نامه قابل اطمینان برای طراحی عضوهای فلزی تحت اثر فشار، خمش، کشش [۲-۳] و غیره می توان استفاده کرد.



شکل ۲- انتخاب نقاط کلیدی



شکل ۳- مقایسه منحنی فارسی با ظرفیت فولاد سرد نورد

۵- تهیه منحنی شکنندگی

زلزله به سازه ها خسارت وارد می کند. به منظور پیش بینی و برنامه ریزی برای کم کردن خسارت ها، برای سازه منحنی ای به نام منحنی شکنندگی تهیه می شود، که در آن محور افقی نمایش دهنده مثلاً شتاب بیشینه زلزله، و محور قائم آن احتمال گذشتن

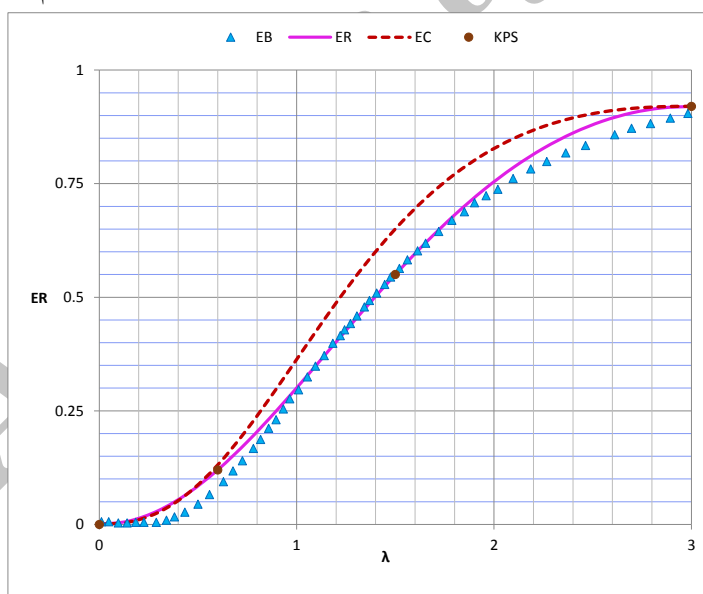
از یک سطح خطر مشخص است. روال مرسوم برای این کار این است که، سازه تحت اثر هزاران شتاب نگاشت زلزله قرار داده، حالات گذشتن از سطح خطر تعیین کرده، و سپس با فرض یک منحنی احتمال ترجیحی، مثلاً لوگ نرمال، داده های بدست آمده را به منحنی احتمال شکنندگی تبدیل می کنند. روش های بسیاری در چند دهه گذشته برای این کار پیشنهاد شده است. علی الرغم بکارگیری تعداد زیاد شتاب نگاشت ها، منحنی های حاصل دارای عدم قطعیت بسیار است، در نتیجه تهیه منحنی های شکنندگی در صدر محاسبات مرتبط با زلزله قرار دارد. با وجود رایانه ها امکان سریع محاسبات فراهم شده، در نتیجه در دهه گذشته نرم افزار هایی تهیه شده که منحنی های شکنندگی را از روی نتایج میلیون ها محاسبه تاریخچه زمانی تحت اثر زلزله بدست می آورند. در شکل ۴، EB یکی از این منحنی هاست که بر اساس میلیون ها شتاب نگاشت تهیه شده است [۱۲]. نشان داده شده [۱۳] که این منحنی هم قطعیت ندارد. پژوهش های زیر نظر نویسندگان حاضر در جهت رفع مشکل انجام گردید.

منحنی دوم فارسی E_R ، که سختی از دست رفته را نشان می دهد، همان منحنی شکنندگی است. در واقع وقتی زلزله به سازه وارد می شود در آن خسارت قطعی وارد می کند که E_R نمایش دهنده آن است، منتها در روش های مرسوم چون شروع با استفاده از منحنی های احتمال بوده، لذا شکنندگی به صورت احتمال مطرح شده است. نقاط کلیدی، متغیر های هادی، و معادله منحنی فارسی پیشنهادی در معادله (۲۲) نمایش داده شده است. منحنی فارسی ER در شکل ۴ با داده ها مقایسه شده است.

$$O(0 \ 0) \ N(0.6 \ 0.12) \ M(1.5 \ 0.55) \ T(3 \ 0.92) \quad (22)$$

$$Q_M = 1.57 \quad Q_N = 0.150 \quad P = 1.52 \quad E_R = (1.42D^{1.52}) / (O^{1.52} + 1.57D^{1.52})$$

سختی از دست رفته EC ، قل دیگر معادله (۲۱) نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. اندک تفاوت موجود به علت این است که در روش مرسوم منحنی ها از بین نقاط می گذرد، در حالی که در فتح با هوشیاری محل منحنی طوری انتخاب می شود که عدم قطعیت را حذف کند. به همین علت است که محل منحنی فارسی در ظرفیت زیر داده ها، و در شکنندگی بالای داده انتخاب شده است. در این مثال صرفه جویی هزاران هزار برابری را مشاهده می کنید، در حالی که دقت هم به مراتب خیلی بالاتر است.



شکل ۴- مقایسه منحنی شکنندگی مرسوم با منحنی فارسی

۶- فتح سنگ آسیای مکانیک شکست

در شاخه ای از علم به نام مکانیک شکست، تلاش برای شناخت اثر ترک خوردگی بر سازه ها انجام می شود. مکانیک شکست از اوائل قرن بیستم شروع شده و همچنان به عنوان یکی از زمینه های بسیار فعال پژوهشی به شمار می آید. یکی از علت های تثبیت نشدن آن باز عدم قطعیت هایی است که در مبانی این رشته موجود است. مثلاً پایه آن تئوری الاستیسیته است، که عدم

صدق آن از بدیهیات است. بر این اساس نیجه گیری شده که تنش در نوک ترک بینهایت است، که این هم قطعاً غلط است، چرا که اگر این درست بود هیچ سازه ترک خورده ای نمی توانست وجود داشته باشد. در حالی که چنین نیست زیرا حتی سازه های سالم مملو از ترک های ریز هستند. این عدم قطعیت ها از اول آشکار بوده ولی معمولاً چون افراد از پیشینیان تقلید می کردند خیلی آشکار نشده اند. در فرهنگ علمی آمده است که گریفیث، یک افسر نیروی دریایی انگلیس که پایه گذاری مکانیک شکست به او نسبت داده می شود، برای یک مطلب علمی دو مقاله یکی در سال ۱۹۲۰ و دیگری در سال ۱۹۲۴ در مجلات معتبر علمی منتشر کرده که جواب یکی دوبرابر دیگری است. این تناقض آشکار شاید تا چند دهه بعد هم مسکوت مانده است. فتح، که تولد آن هم از مکانیک شکست شروع شده، عدم قطعیت ها را از بین برده و مکانیک شکست را به شکلی مثل علوم دیگر بدون عدم قطعیت در آورده است. در مکانیک شکست مرسوم کار با محاسبه ضریب شدت تنش K آغاز می شود. این ضریب سپس در محاسبه میزان انرژی آزاد شده G بکار می رود. در انتها با انجام محاسباتی که پایه محکمی هم ندارند، نرمی محلی ترک c_s ، که ماحصل مکانیک شکست برای استفاده در رشته های دیگر است، تعیین می گردد. با داشتن سابقه بیش از یک قرن تلاش های طاقت فرسا، مکانیک شکست هنوز در اول راه است. در فتح نرمی محلی ترک مستقل از دو ضریب دیگر، مستقیماً از معادله (۲۳) که در واقع بازنویسی معادله (۱۱) است محاسبه می گردد، که در آن c_b ضریب بی بعد برای تیر، c_a ضریب بی بعد برای میله محوری، و c_N ضریب بی بعد عام است.

$$c_N = k_N R(\xi) \quad c_b = 4R(\xi) \quad c_a = R(\xi) \quad (23)$$

با استفاده از تعریف، میزان انرژی آزاد شده، به عنوان مقدار انرژی لازم برای تولید یک واحد سطح ترک، نیز با استفاده از معادله (۲۴) محاسبه می شود، که در آن σ تنش انتهای دور، و E مدول الاستیسیته ماده است.

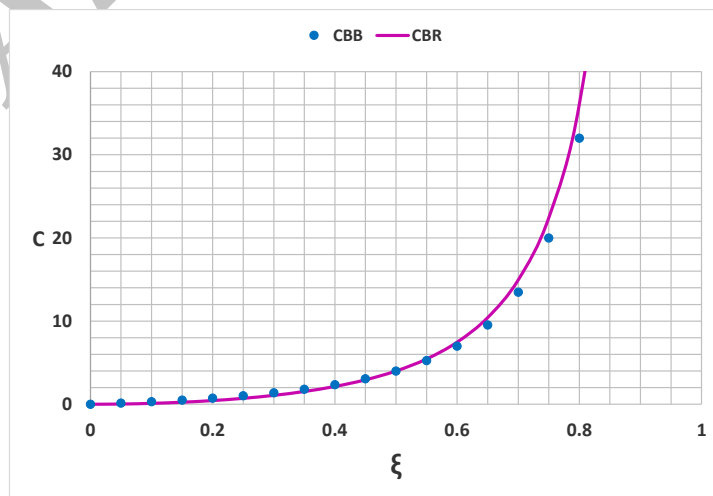
$$G = \sigma^2 R^{(1)}(\xi) / 2E \quad (24)$$

و در مرحله آخر، ضریب شدت تنش G ، از معادله (۲۵) قابل محاسبه است. توجه داشته باشید که این ضریب طوری تنظیم شده که واحد تنش داشته باشد، و از سوالات بی جوابی که از وجود جذر طول، در مکانیک شکست مرسوم حاصل می شود پرهیز گردد.

$$K = \sigma \sqrt{R^{(1)}(\xi) / 2} \quad (25)$$

برای وضوح بیشتر CBR یعنی ضریب c_b در معادله (۲۳)، با ضریب نرمی محلی CBB محاسبه شده در رساله بیللو [۱۴] طبق معادله (۲۶)، در شکل ۵ با هم مقایسه شده اند. همخوانی نتایج صحت فتح در زمینه مکانیک شکست را نیز به اثبات می رساند.

$$c_b = \frac{\xi(2-\xi)}{0.75(1-\xi)^2} \quad (26)$$



شکل ۵- مقایسه منحنی نرمی محلی ترک در تیر بوسیله بیللو و فتح

۷- نتیجه گیری

در این مقاله فلسفه تغییر حالت (فتح)، که در آن پدیده ها به صورت تغییر حالت دستگاه از مبداء به حالت مقصد در نظر گرفته می شود، مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از استدلال منطقی و منطق ریاضی مبانی آن گسترش یافت. حاصل کار در سه منحنی به نام منحنی فارسی تنظیم گردید. صحت و دقت کار با مقایسه نتایج با کار دیگران، در محاسبه ظرفیت سازه های فولادی، ساخت منحنی های شکنندگی در مهندسی زلزله، و مکانیک شکست مورد تایید قرار گرفت.

فتح به دنبال کار پیوسته و بسیار طولانی، با بیش از ۶۰ هزار ساعت تحقیق و مطالعه و به صورت نذری، تولد و گسترش یافته است. به نظر می رسد که فتح بتواند جانشینی مناسب برای بیشتر شاخه های علوم بشری باشد. از همه خوانندگان تقاضا می شود در جهت گسترش فتح، معرفی آن به دیگران، و نقد و بررسی آن اقدام کنند، تا به سایر نقاط جهان صادر گردد. گرچه کار سازندگان فتح تاکنون بیشتر به صورت دفاع از آن در مقابله با انکار کنندگان بوده است، امید می رود پس از آشنایی با آن و بکار گیری و مشخص شدن صرفه جویی های حاصل از آن، فتح را مورد حمایت قرار دهند. نویسنده رابط همواره آماده پاسخ به سوالات شماست.

۸- مراجع

- Galambos, T. V. and Surovek, A. E. (2008). Structural stability of steel: concepts and applications for structural engineers. John Wiley & Sons, Inc.
- Noselli, G. (2011). Structural model experiments revealing bifurcation, instability and localization. PhD Dissertation, University of Trento, Italy.
- Misseroni, D. (2013). Experimental models of elastic structures: tensile buckling and Eshelby-like forces. PhD Dissertation, University of Trento, Italy.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- Kankanamge N. D. (2010). Structural behavior and design of cold-formed steel beams at elevated temperatures. PhD, thesis, Queensland University of Technology, 2010.
- AISC, 2005. Specification for structural steel buildings. Chicago, American Institute of Steel Construction.
- Baltzopoulos, G, Baraschino, R., Iervolino, I., and Vamvatsikos. (2017). SPO2FRAG: software for seismic fragility assessment based on static pushover. Bull Earthquake Eng. 15: 4399-4425.
- Lallemant D., and Kiremidjian A. (2017). Accounting for uncertainty in earthquake fragility curves. 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago Chile.
- Billelo, C. (2001). Theoretical and experimental investigation on damaged beams under moving systems. PhD Dissertation Università degli Studi di Palermo, Palermo.