

## باز بینی، کشف و اصلاح خطای معرفتی در آئین نامه های طراحی سازه های فولادی کانادا، ایالات متحده آمریکا و ایران

عبدالرسول رنجبران<sup>۱\*</sup>، مرتضی فتاحی<sup>۲</sup>، محمد رنجبران<sup>۳</sup>، فاطمه رنجبران<sup>۴</sup>

۱- دانشیار مهندسی عمران، دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی ارشد مهندسی عمران واحد بین الملل، دانشگاه شیراز

۳- دکترای مهندسی شیمی از دانشگاه شریف

۴- دانشجوی مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

\*ranjbarn@shirazu.ac.ir

ارسال: آذر ماه ۹۸ پذیرش: آذر ماه ۹۸

### چکیده

بازنگری نتایج آزمایش های لئوناردو داوینچی و مشاهده اثر مخرب زلزله بر سازه هایی که بر اساس آیین نامه های روز طراحی شده بودند، نیاز به پژوهش در اعتماد پذیری آئین نامه های طراحی فولاد را ضروری ساخت. علی الرغم وجود نتایج آزمایش های لئوناردو که در آن عضوهای کششی بلند ضعیف تر از عضوهای کششی کوتاه هستند، در آئین نامه های کانادا، ایالات متحده آمریکا، و ایران اثر لاغری، به دلایل غیر منطقی، در محاسبه ظرفیت منظور نشده است. علاوه بر آن محاسبه ظرفیت تیر های فولادی در آئین نامه های این سه کشور بر مبنای ناپایداری به صورت پیچشی قرار گرفته، که فرض نابجایی است. مورد دوم سبب شده که ظرفیت تیر تا بیش از ۵۰ درصد بیشتر از ظرفیت واقعی پیش بینی شود، و خطر و عدم قطعیت جدی وارد کار کند. گروه پژوهشی هنر شامل نویسندگان حاضر، در دو دهه گذشته، پژوهش ممتد و هدف داری در جهت شناخت پدیده های طبیعی به راه انداختند. نتیجه کار به کشف و گسترش نگاه و منطقی متفاوت با روال معمول منجر و در قالب فلسفه تغییر حالت (فتح) ثبت شد. ساخت فتح بر اساس استدلال منطقی، استفاده از اصول بدهی، بدور از فرض های نامطمئن، و با استفاده از ریاضی پایه انجام شده است. این نحوه ساخت سبب شده تا فتح به صورت روشی دقیق، صریح، و جامع برای همه پدیده های طبیعی درآید. حاصل فتح در قالب منحنی های فارسی ریخته شده است. منحنی های فارسی توابعی صریح از متغیر حالت و دو ضریب هادی هستند. بر اساس داده های معتبر موجود در فرهنگ علمی، ضرایب هادی برای محاسبه ظرفیت سازه های فولادی محاسبه شده است. ظرفیت پیشنهادی برای عضوهای فولادی، در هر درجه حرارت، هر هندسه، و غیره صادق است. هدف اصلی این مقاله شرح کشف و اصلاح کاستی ها و خطاهای موجود در آیین نامه های طراحی سازه های فولادی رایج در ایران، ایالات متحده آمریکا، و کانادا، با استفاده از فتح، می باشد. برای این کار ابتدا مبانی کار توسعه یافته و سپس با مقایسه نتایج با داده های معتبر، صحت و دقت آن به تایید رسیده است.

کلید واژه: فلسفه تغییر حالت، آئین نامه طراحی، سازه فولادی، عضو کششی، تیر، ستون، ظرفیت باربری، توابع حالت، توابع پدیده، طول عمر، پدیده.

## ۱- مقدمه

تلاش های بشر در سینه های گذشته، منجر به تولید آئین نامه های طراحی برای سازه های فولادی، در کشور های مختلف از جمله کشور های کانادا، ایالات متحده آمریکا و ایران (سه کشور) شده است [۱]. بازنگری نتایج آزمایش های لئوناردو داوینچی [۲ و ۳]، و مشاهده اثر مخرب زلزله بر سازه هایی که بر اساس آئین نامه های روز طراحی شده بودند، نیاز به پژوهش در اعتماد پذیری آئین نامه های طراحی فولاد را ضروری ساخت. علی الرغم وجود نتایج آزمایش های لئوناردو، که در آن عضو های کششی بلند ضعیف تر از عضو های کششی کوتاه هستند، در آئین نامه های سه کشور اثر لاغری، به دلایل نه چندان منطقی، در محاسبه ظرفیت عضو کششی به طور موثر منظور نشده است. مثلاً در آئین نامه های سه کشور برای عضو های کششی حد بالای ضریب لاغری در نظر گرفته شده، که آن هم خارج از محدوده کاربردی این عضو هاست! علاوه بر آن محاسبه ظرفیت تیر های فولادی در آئین نامه های این کشورها بر مبنای ناپایداری به صورت پیچشی قرار گرفته، که فرض نایجابی است و دلیلی بر صحت آن وجود ندارد. کاملاً واضح است که وقتی سازه ای ناپایدار می شود، همه چیز از هدایت خارج می شود، در نتیجه نمی توان تغییر شکل و رفتار مشخصی برای آن منظور کرد. مثلاً وقتی شخصی مرد، دیگر رفتار و شکل خاصی برای او متصور نیست! منظور کردن شکل خاص ناپایداری پیچشی برای تیر ها سبب شده که ظرفیت تیر تا بیش از ۵۰ درصد بیشتر از ظرفیت واقعی پیش بینی شود و خطر و عدم قطعیت جدی وارد کار گردد [۴]. گروه پژوهشی هنر (معادل فارسی Abdolrasoul Ranjbaran Team) شامل نویسندگان حاضر، در دو دهه گذشته، پژوهش ممتد و هدف داری در جهت شناخت پدیده های طبیعی به راه انداختند. رنجبران و همکاران [۵ و ۶] ابتدا مشتق در محل ناپیوستگی را، برای اولین بار تعریف کرده و آن را مشتق طلایی نامیدند. مشتق جدید به این علت طلایی نامیده شد، که برای اولین بار تشکیل معادله دیفرانسیل حاکم بر رفتار سازه های دارای ناپیوستگی را ممکن می ساخت. این امکان، از طریق کاهش چند برابری هزینه های معمول محاسبات و در عین حال بالا بردن دقت، خدمت شایسته ای به بشریت کرد (اگر چه در ابتدا ممکن است درک نشود ولی بزودی قبول خواهد شد، چنین رفتار ها در تاریخ علم کم نیست!). مشتق طلایی سپس در تشکیل معادلات حاکم بر سازه های ترک دار بکار گرفته شد و تحلیل ساده و دقیقی برای آن ها ارائه گردید. تحلیل عناصر محدود عضو های ترک دار تحت اثر نیروی محوری، به کمک تبدیل رنجبران انجام شد [۷]، که در آن ابتدا عضو ترک خورده با یک عضو سالم با خواص مکانیکی و شرایط مرزی معادل تعویض گردید، و معادله عناصر محدود عضو جانشین طبق روش مرسوم ساخته شد. در پی موارد فوق، مشتق طلایی و معادله حاکم عضو ترک دار در تحلیل پایداری دینامیکی عضو های خمشی و عضو های محوری ترک دار بکار رفت [۸ و ۹]. پس از کسب تجربه های بالا، تمرکز روی تهیه معادله عناصر محدود سازه های ترک دار گذاشته شد. تا آن زمان تحلیل سازه های ترک دار به کمک عناصر محدود "توسعه یافته"، که بر اساس روش های سنتی ساخته شده بود انجام می گرفت، و در عین سختی و گرانی، دقت خوبی هم نداشت. روش مانده های وزن دار [۱۰] که برای تبدیل معادله دیفرانسیل به معادله عناصر محدود بکار می رود، نمی توانست در تبدیل معادله حاکم بر سازه ترک دار کار آیی داشته باشد، چون بر اساس پیوستگی و مشتق زنجیره ای ساخته شده بود، در حالی که معادله سازه ترک دار حاوی ناپیوستگی است (این موضوع برای اولین بار در گروه هنر کشف و تدوین گردید). رنجبران و همکاران [۱۱ و ۱۲] طی محاسبات بسیار زیاد، روش مانده های وزن دار را اصلاح کردند، بطوری که قابلیت استفاده در سازه های ترک دار هم داشته باشد. در جریان این کار توابع پدیده متولد شدند، که مبنای پژوهش های بعدی قرار گرفتند. در مراحل بعد، تولید این توابع بر مبنای منطقی و منطق ریاضی قرار گرفت و در زمینه های متنوعی بکار گرفته شد [۱۳-۱۶]. تا این مرحله گسترش برای ترک انجام گردید. نحوه گسترش و نتایج، به صورت منطقی و مستقل از هندسه و یا رفتار خاص ترک، حاصل شد. تنها اثر ترک به صورت تغییر در وضعیت سازه (دستگاه)، که می توانست از هر منبعی باشد، وارد کار شد. علاوه بر آن کشف شد که، این تغییر از جمله خواص دستگاه است و به عامل به وجود آورنده آن وابسته نیست. در نتیجه از این جا به

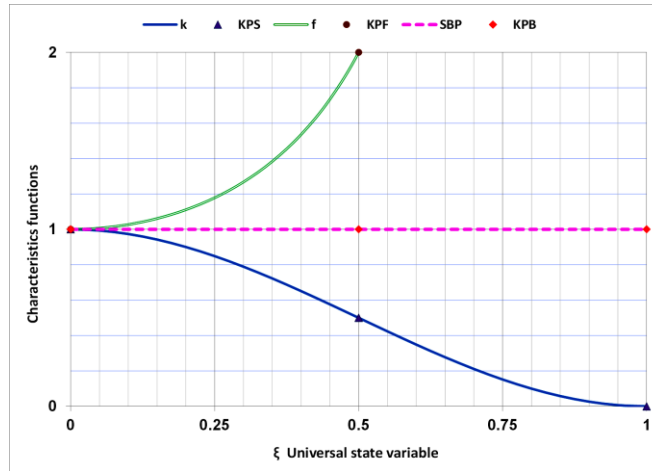
بعد تمرکز روی گسترش بر مبنای تغییر در وضعیت دستگاه گذاشته شد [۱۶-۲۶]. نتیجه به کشف و گسترش فلسفه تغییر حالت (فتح) منجر شد، که در آن هر پدیده به صورت تغییر در شاخص دستگاه منظور می شود. با استفاده از استدلال منطقی و منطق ریاضی، چگونگی تغییر به صورت توابعی دقیق و صریح از متغیر حالت (شناسه طول عمر پدیده) و دو ضریب هادی بیان شدند. برای تکمیل بررسی هر پدیده، وجود چهار نقطه کلیدی معتبر از رفتار پدیده، یعنی ابتدا، ربع اول، وسط، و انتها کفایت می کند، و همه متغیرها با استفاده از مختصات این نقاط به سادگی محاسبه می شوند. لازم به ذکر است که انتخاب به معنی برداشت مستقیم داده نیست بلکه مختصات طوری تعیین می شوند که نتیجه به رفتار طبیعی دستگاه نزدیک تر باشد. مثلاً با توجه به مفهوم، منحنی ظرفیت باید زیر داده های آزمایشگاهی باشد، تا هیچ جا ظرفیت بیش از ظرفیت واقعی پیش بینی نشود. نتایج به هندسه، اندازه، و دستگاه خاصی محدود نمی شود. فتح شرایط لازم و کافی به عنوان مبنای دقیق دانش تجربی برای بررسی تمام پدیده های طبیعی را دارد. در این مقاله در لوای فتح به نقد و بررسی دانش موجود در آیین نامه های طراحی سازه های فولادی کشورهای کانادا، ایالات متحده آمریکا و ایران پرداخته شده است.

بر مبنای فتح نشان داده می شود، که ظرفیت همه عضوهای فولادی با یک قاعده محاسبه می شوند. متغیرهای هادی با استفاده از نتایج آزمایش روی ستون ها و تیرهای فولادی (داده های مربوط به پدیده شکست) تنظیم و برای همه عضوها بکار می روند. قاعده حاصل، ظرفیت مطمئن تیر را بیش از ۵۰ درصد کمتر از آئین نامه های کشورهای مورد نظر بدست می دهد، در حالی که با آیین نامه های اروپا، و استرالیا همخوانی بالایی دارد. حاصل کار با آزمایش انطباق کامل دارد، در نتیجه توصیه می شود، که دست آورد های فتح، با اعتماد کامل جایگزین آئین نامه های همه کشورها شود. در این مقاله مبانی فتح توسعه یافته، نتایج با داده های معتبر موجود در فرهنگ علمی مقایسه شده، و از همخوانی نتایج برای حصول اطمینان و صحت سنجی به کار رفته است.

## ۲- مبانی منطقی و ریاضی فلسفه تغییر حالت

هر پدیده را می توان گذر یک دستگاه از وضعیت مبداء به وضعیت مقصد منظور کرد. فاصله بین مبداء و مقصد، طول عمر نامیده پدیده می شود. همه علم بشری چیزی جز هموار کردن مسیر حرکت در طول عمر و هدایت در راستای آن نیست. در روش علمی مرسوم کار با انجام فرض های ساده کننده، تشکیل معادلات حاکم و حل آن ها صورت می گیرد. چون معمولاً 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 تقریبی 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. جالب است بدانید بر خلاف ظاهر، روش های تصادفی قابل اعتماد تر از روش های قطعی موجود هستند. نویسندگان حاضر و همکاران پژوهشی هنر با دقت زیاد در پدیده های طبیعی، و مطالعه پیوسته و طولانی در زمینه مکانیک 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 رفتاری به نام سختی معرفی می شود (این نامگذاری به علت آشنایی کامل اغلب مهندسين با مفهوم سختی می باشد، این در حالی است که شناسه می تواند هر کمیتی باشد و جایگزین سختی شود)، که در مبداء دارای مقدار محدود  $k_{\gamma}$  و در مقصد برابر صفر است. در هر مرحله از تغییر، سختی دستگاه به اندازه سختی تغییر  $k_c$  کم می شود. معکوس سختی دستگاه نرمی نامیده شده، که در مبداء دارای مقدار محدود  $f_{\gamma}$  و در مقصد بینهایت است. در هر مرحله از تغییر، به اندازه نرمی تغییر  $C_{\gamma}$  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 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 (کمیت ها یا خیلی بزرگ شده و یا زیاد کوچک می شوند!) می شود. این در حالی است که دقت فتح در تمام طول پدیده یکسان مانده و همه متغیر های دخیل در محدوده باقی می ماند. دست آوردهای فتح از ب بسم اله تا نون پایان پدیده دقیق و کار آمد هستند. هدف اصلی فتح، محاسبه مستقل (بی نیاز از مثلا مکانیک شکست)  $k_C$  و  $c_S$  است. این محاسبات به طوری که به دنبال می آید، در دو مرحله انجام می گیرد. در مرحله اول سختی تغییر بر حسب عوامل دیگر تعریف می شود. و در مرحله دوم، با توجه به مطالعات ممتد، توابع مربوط به تغییر، تحت عنوان توابع حالت، به طور هنرمندانه بر حسب متغیر حالت (شناسه طول عمر پدیده) تعریف می گردد. بفرمایید، این گوی و این میدان.



شکل ۱- مبنای منطقی فلسفه تغییر حالت

کار با استفاده از این اصل بدیهی، که حاصل ضرب یک کمیت در عکس آن برابر یک است، شروع می شود. حاصل ضرب سختی و نرمی تغییر یافته دستگاه، در معادله (۱) مساوی یک قرار داده شده است.

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

حال معادله (۱) برای  $k_C$ ، بر حسب 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.

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

که در آن  $F_R$  تابع تخریب، و  $S_R$  تابع پایا است، که در معادله (۳) تعریف شده اند. مجموعه این 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 [۲۶-۵].

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

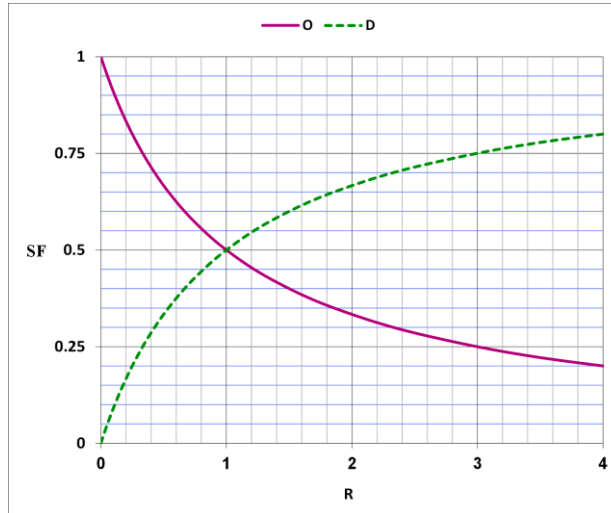
به منظور توسعه بعدی، نرمی دستگاه بر حسب مقدار بی بعد  $f_N$  و مقدار بعد دار  $F_S$ ، و نرمی تغییر بر حسب مقدار بی بعد  $c_N$  و مقدار بعد دار  $F_S$  در معادله (۴) آمده است. با جا گذاری معادله (۴) در معادله (۳) توابع پدیده به صورت بی بعد مندرج در معادله (۵) در می آید:

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

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

توسعه توابع پدیده  $(S_R \& F_R)$  بر حسب دو تابع دیگر  $(f_N \& c_N)$ ، بهتر از شکل فوق، در این مرحله، 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 (محل تولد توابع حالت). تابع پایا به تابع مبداء  $O$ ، 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.

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



شکل ۲- توابع حالت بر حسب R

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

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

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  $\max$  علامت بیشینه و  $\min$  علامت کمینه است.

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

تغییرات توابع حالت نسبت به  $R$  در شکل ۲ نشان داده شده است. شیب توابع در مبداء غیر صفر و در مقصد نامعلوم است! علاوه بر آن طبق آخرین اطلاع، 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 تعریف توابع حالت بر حسب  $R$ ، چندان کارآمد 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. نتیجه این شد که تضمین ابتدای توابع در مبداء و انتهای آن ها در مقصد شرط لازم و کافی است، و این که از چه متغیری استفاده شود مهم نیست. هر چه ساده تر بهتر. با توجه به این کشف متغیر جدیدی به نام متغیر حالت  $k \in [0 \quad 1]$  تعریف شد که در مبداء مقدار آن

برابر صفر  $\xi = 0$  و در مقصد مقدار آن برابر یک  $\xi = 1$  است. این ابتکار مشکل را حل کرد. در نتیجه توابع حالت به صورت تابعی از متغیر حالت با مقادیر مرزی، و به صورت معادله (۹) در می آید.

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

در ابتدا توابع حالت به صورت چند جمله ای (تابع هرمیت) [۲۷]، به شکل زیبایی که در معادله (۱۰) آمده است، تعریف شدند.

$$D = (\xi)^2(1 + 2(1 - \xi)) \quad (10)$$

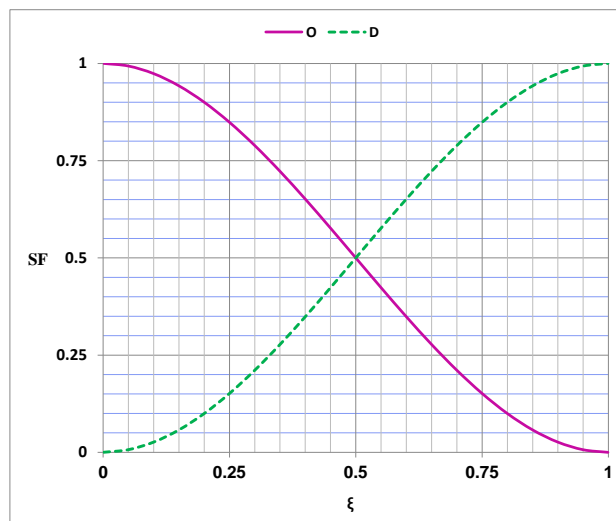
$$O = (1 - \xi)^2(1 + 2(\xi))$$

تابع ساخته شده به صورت زیبای فوق، با سابقه تولید بیش از دوقرن توسط هرمیت (۱۸۲۲-۱۹۰۱) [۲۷]، از طرف داوران مقالات ارسالی و همکاران، با مخالفت (بنی اسرائیلی)، 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 با شرایط فوق، به صورت معادله (۱۱)، شد.

$$D = 0.5(1 - \cos \pi \xi) \quad (11)$$

$$O = 0.5(1 + \cos \pi \xi)$$

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 توابع مثلثاتی، به عنوان توابع حالت تایید، و در معادله (۱۲) درج شده است. (به علاقمندان توصیه می شود که خود تابع چند جمله ای و تابع مثلثاتی را تهیه و متوسط آن را بدست آورده و با معادله (۱۰) مقایسه کنند، و اگر می توانند توابع دیگری نیز تهیه کنند تا به صحت و دقت معادله (۱۲) اطمینان حاصل شود).



شکل ۳- توابع حالت بر حسب  $\xi$

$$D = 0.25(1 + 6\xi^2 - 4\xi^3 - \cos \pi \xi) \quad (12)$$

$$O = 0.25(3 - 6\xi^2 + 4\xi^3 + \cos \pi \xi)$$

توابع حالت تولیدی در شکل ۳ نشان داده شده اند. شیب توابع در مبداء و در مقصد صفر است، علاوه بر آن ابتدا و انتهای آن ها هم به ترتیب در مبداء و در مقصد قرار دارند، یعنی همه شرایط لازم به عنوان توابع مینا (مثل توابع مثلثاتی) را دارند، و می توانند در گسترش های بعدی با اطمینان مورد استفاده قرار گیرند. ساخت توابع حالت، امکان 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 تعریف می شد. این در فرهنگ علمی تعریف نشده بود. مطالعه ممتد در منابع مکانیک شکست نشان داد که، بر خلاف متغیرهای دستگاه (که برای آن سختی و نرمی بر عکس یکدیگرند)، سختی تغییر و نرمی آن با هم متناسب و هر دو کمیته افزایشی و متناسب با کمیته افزایشی  $c_N$  هستند. به دنبال این کشف بزرگ، مقدار سختی تغییر بر حسب مقدار بی بعد  $C_N$  و مقدار بعد دار  $K_S$  تعریف و در معادله (۱۳) درج شده است. نسبت این دو، با توجه به تعریف، برابر نسبت حالت  $R = D/O$  قرار داده و در نتیجه نرمی تغییر به صورت مضربی از نسبت حالت تعریف و در معادله (۱۴) نشان داده شده است. این پایان موفقیت آمیز تعیین  $c_S$  و  $k_C$  تغییر بود.

$$k_S = k_N K_S \quad k_C = c_N K_S \quad (13)$$

$$k_C/k_S = c_N/k_N \quad c_N = k_N D/O \quad (14)$$

با جاگذاری معادله (۱۴) در معادله (۵)، شکل عمومی توابع پدیده به صورت معادله (۱۵) حاصل می گردد.

$$F_R = \frac{k_N^2 D}{O + k_N^2 D} \quad S_R = \frac{O}{O + k_N^2 D} \quad (15)$$

همانند نسبت حالت، ضریب  $k_N$  نیز فقط برای دستگاه های خاص قابل محاسبه است، لذا توابع پدیده تعمیم داده و به صورت عام در معادله (۱۶) نشان داده می شود (به طوری که بتواند برای همه پدیده ها به کار گرفته 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.

$$F_R = \frac{a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad S_R = \frac{O^b}{O^b + a_M D^b} \quad (16)$$

مشق توابع پدیده نسبت به متغیر حالت، به نام تابع چگالی  $f_R$  نامگذاری و در معادله (۱۷) درج شده است.

$$\frac{dS_R}{d\xi} = -f_R \quad \frac{dF_R}{d\xi} = +f_R \quad f_R = \frac{ba_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (17)$$

تا این مرحله مبانی بنیادین فتح، بر مبانی منطقی، منطق ریاضی، و بدون فرض خاص تولید شد. در بخش بعد از این مبانی استفاده شده، 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 فتح می تواند همان نقش منحنی فرانسوی را، منتها در دنیای علم داشته باشد. با توجه به این که عمده گسترش فتح در خطه فارس (ایران زمین) 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.

توابع پدیده بر حسب متغیر حالت تعریف شدند. در پدیده های طبیعی لازم است مشخصه مناسبی از آن (طول عمر)،  $\lambda$ ، انتخاب و روی متغیر حالت تصویر شود. طول عمر محدود نیست، در نتیجه برای هر پدیده طول عمر در بازه معینی منظور  $\lambda \in [0, \lambda_T]$ ، و این بازه طبق معادله (۱۸) روی متغیر حالت تصویر می گردد، که در آن  $\lambda_0$  طول عمر در مبداء، و  $\lambda_T$  طول عمر در انتها است.

$$\xi = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_T - \lambda_0} \quad (18)$$

در بازه مورد نظر، تابع پایا  $S_R$  به منحنی فارسی (شیراز)  $P_S$ ، تابع تخریب  $F_R$  به منحنی فارسی (فسا)  $P_F$ ، و تابع چگالی  $f_R$  به منحنی فارسی (زاهدان)  $P_Z$ ، تغییر نام می دهند. با انتخاب بازه طول عمر، و با توجه به مبانی ریاضی فتح، در کل چهار نقطه کلیدی، از بین داده های معتبر (آزمایشگاهی)، برای تکمیل محاسبات لازم و کافی است. نقاط کلیدی عبارتند از ابتدا (مبداء)  $O(0.0, P_O)$ ، بینی  $N(\xi_N, P_N)$  (این نقطه می تواند هر نقطه ای غیر از سه نقطه دیگر باشد)، وسط  $M(0.50, P_M)$ ، و انتها  $T(1.0, P_T)$ . با در دست داشتن نقاط کلیدی ضرایب هادی و تابع شیراز  $P_S$  از معادله (۱۹) محاسبه می شود، که در آن  $O_N$  و  $D_N$  به ترتیب مقادیر  $D(\xi_N)$  و  $O(\xi_N)$  در نقطه  $N$  هستند. لازم به ذکر است که در این حالت داده معتبر به صورت نزولی مرتب شده است.

$$a_M = \frac{1-P_M}{P_M-P_T} \quad a_N = \frac{1-P_N}{P_N-P_T} \quad b = \frac{\text{Log}(a_N/a_M)}{\text{Log}(D_N/O_N)} \quad P_S = \frac{O^b + P_T a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad (19)$$

به طریق مشابه ضرایب هادی و تابع فسا  $P_F$  از معادله (۲۰)، بر حسب متغیرهای مربوطه، که از روی داده های صعودی مرتب شده معتبر انتخاب می گردد، محاسبه می شود.

$$a_M = \frac{P_M}{P_T-P_N} \quad a_N = \frac{P_N}{P_T-P_N} \quad b = \frac{\text{Log}(a_N/a_M)}{\text{Log}(D_N/O_N)} \quad P_F = \frac{P_T a_M D^b}{O^b + a_M D^b} \quad (20)$$

پس از محاسبه هر یک از توابع شیراز و یا فسا در فوق، تابع توزیع مربوطه را می توان، با استفاده از متغیرهای کلیدی آنها، با نام منحنی زاهدان  $P_Z$ ، از معادله (۲۱) محاسبه کرد.

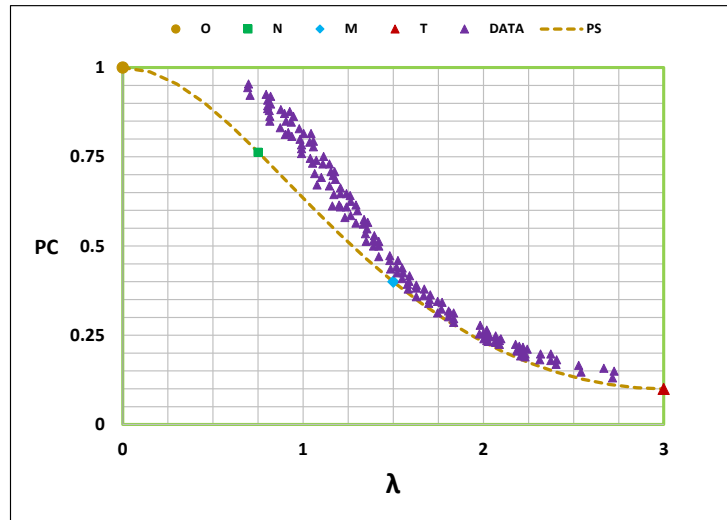
$$P_Z = \frac{b a_M D^{b-1} O^{b-1}}{(O^b + a_M D^b)^2} \times \frac{dD}{d\xi} \quad (21)$$

و اما در صورتی که داده به صورت توزیع تکرر (Histogram) در دسترس باشد، ابتدا داده ها به صورت صعودی یا نزولی تجمع و ضرایب مربوطه به ترتیب از معادلات (۱۷) یا (۱۸) محاسبه شده و معادله تابع منحنی زاهدان به سادگی از معادله (۲۱) حاصل می شود. مجموعه توابع شیراز، فسا، و زاهدان به نام منحنی فارسی نامگذاری شده اند.

#### ۴- بررسی منحنی های (آیین نامه ها) طراحی سازه های فولادی

منحنی های فارسی می توانند برای بررسی همه پدیده های طبیعی بکار گرفته شوند. یکی از این پدیده ها ظرفیت باربری سازه ها به عنوان عامل کلیدی و پایه در طراحی مطمئن آن هاست. در این بخش به مساله تعیین ظرفیت باربری عضوهای فولادی، شامل عضوهای تحت اثر مجزا و یا ترکیبی از نیروهای کششی، فشاری، خمشی، برشی، و غیره پرداخته می شود. منحنی های فارسی به صورت تابعی از متغیر حالت تعریف شدند. برای کاربرد عملی در طراحی سازه ها باید مشخصه ای از سازه (مثل ضریب لاغری نسبی مرسوم) روی متغیر حالت تصویر شود. چون ضریب لاغری محدود نیست، لذا بازه محدودی مورد استفاده قرار می گیرد،  $\lambda \in [0, \lambda_T]$ ، که در آن لاغری انتهایی  $\lambda_T$  است، و طوری انتخاب می شود که سازه های معمول و کارآمد را شامل شود. بر اساس بررسی های فراوان ضریب لاغری انتهایی طوری انتخاب شده که سازه ده درصد (یک دهم) ظرفیت پایه را داشته باشد  $P_T = 0.10$ . در نتیجه برای محاسبه ضرایب هادی  $a_M$  و  $b$ ، و تکمیل محاسبات انتخاب مقادیر ظرفیت نسبی در نقاط کلیدی وسط  $P_M$  و بینابین  $P_N$ ، و انتخاب  $\lambda_T$  نظیر  $P_T = 0.1$  شرط لازم و کافی است. ضریب لاغری نسبی  $\lambda$  در معادله (۲۲) تعریف شده، که در آن،  $F_y$  تنش خمیری،  $kL$  طول موثر،  $r$  ضریب لاغری، و  $E$  مدول الاستیسیته است.



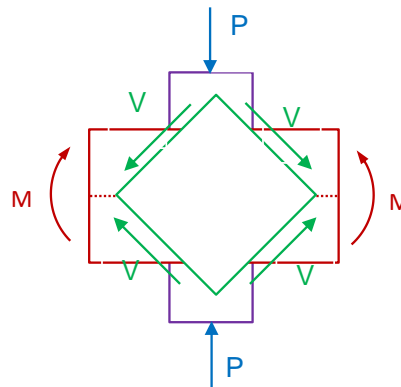


شکل ۴- انتخاب نقاط کلیدی از داده های معتبر

$$\lambda = (kL/r)\sqrt{F_y/\pi^2 E} \in [0, \lambda_T] \quad (22)$$

برای انتخاب نقاط کلیدی و  $\lambda_T$  منابع زیادی مورد مطالعه قرار گرفت [۲۸ و ۲۹]. ظرفیت تعداد قابل توجهی تیر و ستون در درجه حرارت های بالا در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، مختصات نقاط کلیدی، بر حسب ضریب لاغری، در معادله (۲۳) نشان داده شده است.

$$O(0, 1.0) \quad N(0.75, 0.765) \quad M(1.5, 0.40) \quad T(3, 0.10) \quad (23)$$



شکل ۵- وضعیت تنش در نقطه

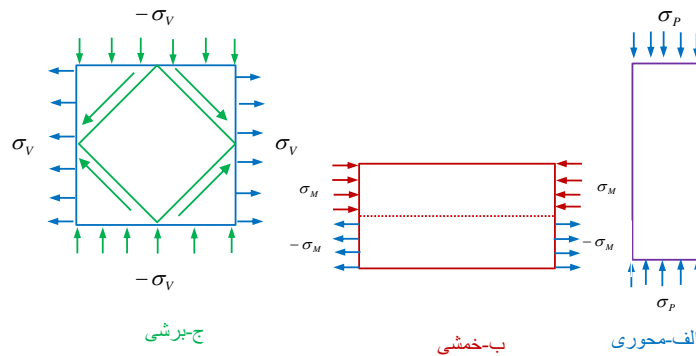
با استفاده از داده های مندرج در معادله (۲۳) متغیرهای هادی و منحنی های فارسی به صورت معادله (۲۴) حاصل شد.

$$a_M = 2 \quad a_N = 0.353 \quad b = 1 \quad (24)$$

$$P_S = \frac{1-0.8D}{1+D} \quad P_F = \frac{1.8D}{1+D} \quad P_Z = \frac{2}{(1+D)^2} \times \frac{dD}{d\xi}$$

منحنی های فارسی در معادله (۲۴)،  $P_S$  منحنی ظرفیت در طراحی،  $P_F$  منحنی شکنندگی در اعتماد پذیری، و  $P_Z$  منحنی تکرار داده ها را نشان می دهند. تغییر درجه حرارت باعث تغییر در حد خمیری  $F_{yT} = P_S F_y$ ، و مدول الاستیسیته  $E_T = P_S E$  می شود. مقدار

این کمیّت ها در یک درجه حرارت داده شده  $T$  از ضرب مقدار آن در درجه حرارت معمولی ضرب در منحنی فارسی (شیراز) می گردد که در آن متغیّر حالت بر حسب درجه حرارت سانتیگراد تعریف به صورت  $\xi = T/800$  نشان داده می شود [۳۱]. وضعیت تنش در نقطه در شکل ۵ نشان داده شده است. تنش معادل وضعیت فوق در شکل ۶ بطور مجزاً نشان داده شده است. با توجه به شکل می توان دریافت که، در نهایت همه انواع تنش ها به نوعی معادل تنش محوری هستند. در نتیجه وضعیت تنش از یک نوع بوده و می تواند با یک معادله محاسبه شود! با استفاده از مطالب بالا، معادله (۲۵) به عنوان آیین نامه جامع برای طراحی عضوهای فولادی معرفی شده است. در این معادله زیر نویس  $O$  نشان دهنده ظرفیت پایه یا ظرفیت مقطع است. مثلاً برای میله محوری  $P_O = A_S F_Y$  است، که در آن  $A_S$  سطح مقطع و  $F_Y$  تنش خمیری فولاد است.



شکل ۶ - تنش معادل وضعیت تنش در نقطه

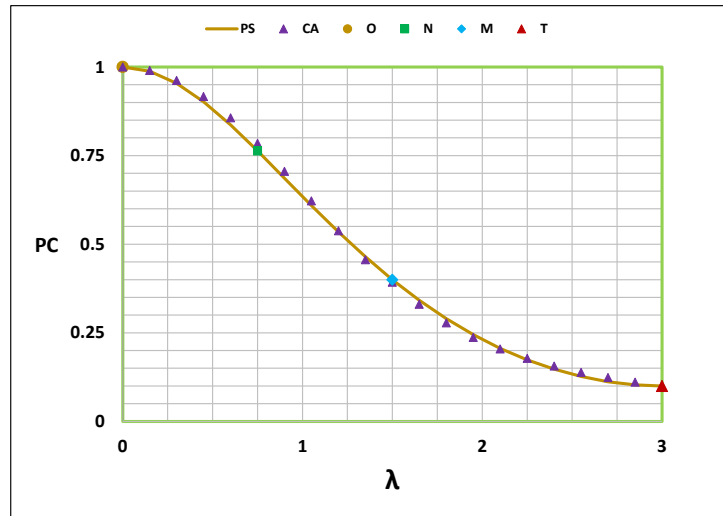
$$\frac{P}{P_O} + \frac{M}{M_O} + \dots \leq P_S \quad (25)$$

در تهیه معادله (۲۵) شرط خاصی منظور نشده، در نتیجه می تواند به عنوان ضابطه دقیق برای طراحی و آزمایش سازه ها به کار گرفته شود. در زیر با مقایسه معادله (۲۵) با داده های معتبر در سازه های فولادی، به روال مرسوم هم (مبانی ریاضی فتح درست و منطقی هستند) کار راست آزمایی می گردد. این کار در پنج مثال ارائه شده است.

**مثال اول:** به منظور راست آزمایی، و با توجه به این که آیین نامه طراحی ستون فولادی ایالات متحده آمریکا بر مبنای آزمایش های معتبر ساخته شده، در اولین اقدام تابع فارسی (شیراز) با معادله ظرفیت ستون در این آیین نامه که در معادله (۲۶) تعریف شده، مقایسه می شود.

$$C_A = \begin{cases} 0.687\lambda^2 & \text{for } \lambda \leq 1.5 \\ 0.877/\lambda^2 & \text{for } \lambda > 1.5 \end{cases} \quad (26)$$

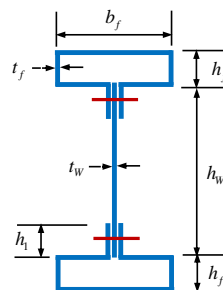
تابع شیراز  $PS$  و ظرفیت ستون آیین نامه آمریکا  $CA$  در شکل ۷ با هم مقایسه شده اند. همخوانی نتایج نشانه درستی کار در نظر گرفته می شود.



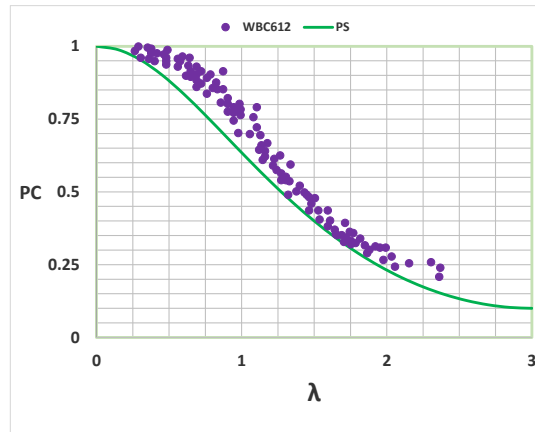
شکل ۷- مقایسه منحنی فارسی (شیراز) با منحنی ظرفیت ستون آمریکا

جهت اطمینان بیشتر، در این قسمت منحنی فارسی با تعدادی از منحنی های ارایه شده در چند رساله دکتری مقایسه می شود.

**مثال دوم:** وانیارچی (۲۰۰۵) [۳۰]، در رساله دکترای خود، تعیین ظرفیت عضوهای ساخته شده از فولاد سرد نورد از طریق انجام آزمایش روی نمونه های با اندازه واقعی، و محاسبات عددی به کمک روش عناصر محدود مورد مطالعه قرار داد. او عضوهای با شکل مقطع خاصی که دارای دو بال به شکل مستطیل و یک جان به شکل صفحه که توسط پیچ به هم وصل شده اند، مثل شکل ۸ را انتخاب کرد. او کار خود را در دو قسمت آزمایشگاهی و محاسبات عددی تنظیم کرد. در قسمت اول تعداد ۲۲ نمونه برای اندازه گیری ظرفیت خمشی به صورت مهار کردن حرکات خارج از صفحه، و تعداد ۳۰ نمونه برای محاسبه ظرفیت حاصل از شکل های مختلف ناپایداری، مثل کمانش موضعی، کمانش پیچشی، و غیره با انجام تمهیدات لازم جهت هدایت آزمایش به سمت ناپایداری مورد نظر، را آزمایش کرد. در قسمت دوم با استفاده از روش عناصر محدود ظرفیت عضوهای آزمایش شده را محاسبه کرد و با مقایسه نتایج محاسبات خود را راست آزمایی کرد. پس از حصول اطمینان از صحت روش محاسباتی از آن برای مطالعه تغییر اندازه ها و خواص مکانیکی روی ظرفیت عضوهای با مقطع مورد نظر بکار گرفت. در این قسمت یکی از نتایج وی با نتایج فتح مقایسه شده است. ظرفیت خمشی گزارش شده در شکل 6.12 (a) منبع مورد نظر برای بررسی انتخاب شده است. در شکل ۹ ظرفیت خمشی عضوها WBC612 بر گرفته از منبع فوق با منحنی فارسی (شیراز) *PS* مقایسه شده است. کار آبی فتح در محاسبه ظرفیت عضوهای ساخته شده از فولاد سرد نورد از این نتایج آشکار است.

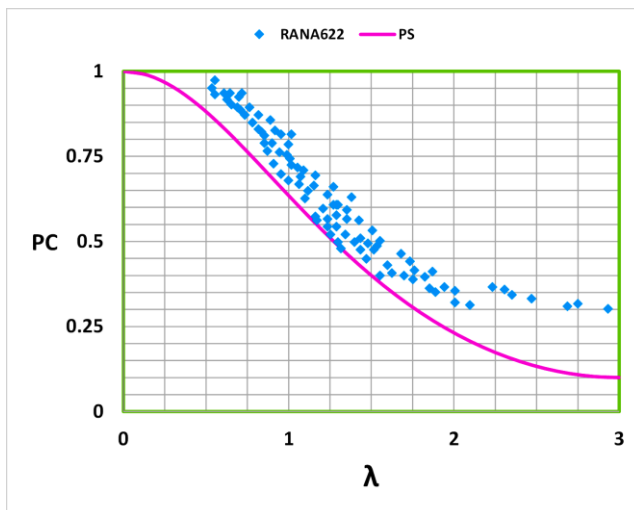


شکل ۸- شکل مقطع عضو با بال مستطیلی توخالی

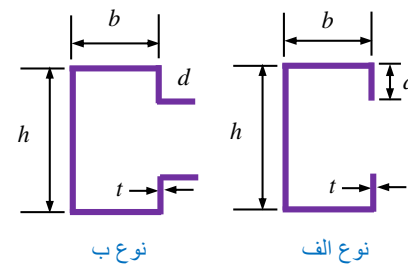


شکل ۹- مقایسه ظرفیت خمشی و انبساطی با منحنی فارسی

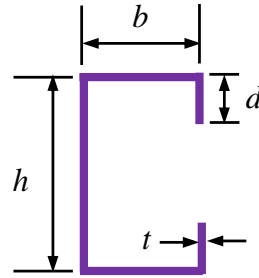
**مثال سوم:** رساله دکتری راناواکا (۲۰۰۶) [۳۱]، شرح آزمایش ها و محاسبات عددی است که برای تعیین ظرفیت نهایی عضوهای فشاری ساخته شده از فولاد سرد نورد جدار نازک با مقاومت زیاد در درجه حرارت های مختلف از معمولی تا بالا انجام شده است. ابتدا تعداد ۱۷۰ عضو متشکل از دو شکل مقطع، شکل ۱۰، با ضخامت های ۰.۶، ۰.۸، و ۰.۹۵ میلی متر و دو حد خمیری ۲۵۰ و ۵۵۰ مگاپاسکال در شش درجه حرارت بین ۲۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد مورد آزمایش قرار گرفت. در مرحله بعد با استفاده از محاسبه عددی بر مبنای روش عناصر محدود ظرفیت عضوها محاسبه گردید و با مقایسه نتایج با نتایج آزمایش ها صحت محاسبه عددی به تایید رسید. سپس با استفاده از محاسبه عددی و با تغییر در ابعاد و مشخصات مکانیکی ظرفیت های زیادی محاسبه و در مخزن داده ذخیره گردید. در انتها از داده های مخزن برای اصلاح و معرفی آیین نامه جدید برای محاسبه ظرفیت فشاری عضوهای سرد نورد جدار نازک تحت فشار استفاده شده است. ظرفیت عضوهای زیاد با دو حد خمیری ۲۵۰ و ۵۵۰ مگاپاسکال در درجه حرارت های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، و ۵۰۰ درجه سانتی گراد محاسبه و در شکل ۶.۲۲ منبع فوق گزارش شده است. این نتایج RANA622 در شکل ۱۱ با منحنی فارسی (شیراز) *PS* مقایسه شده است. همخوانی خوب نتایج صحت و دقت منحنی فارسی و فتح در محاسبه ظرفیت فشاری عضوهای ساخته شده از فولاد سرد نورد جدار نازک را به تایید می رساند.



شکل ۱۱- مقایسه ظرفیت فولاد سرد نورد جدار نازک در درجه حرارت بین ۲۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد با منحنی فارسی



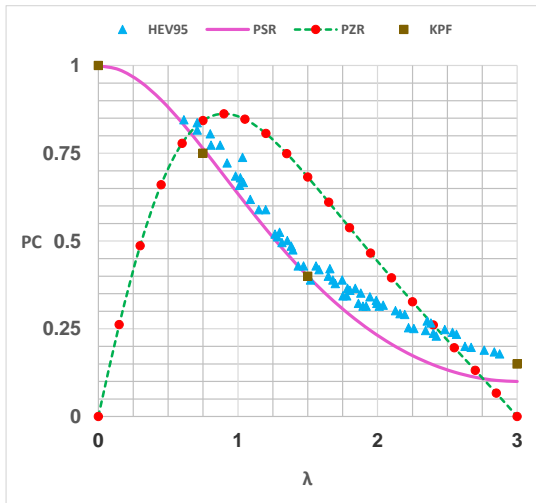
شکل ۱۰- مقطع مورد استفاده توسط راناواکا



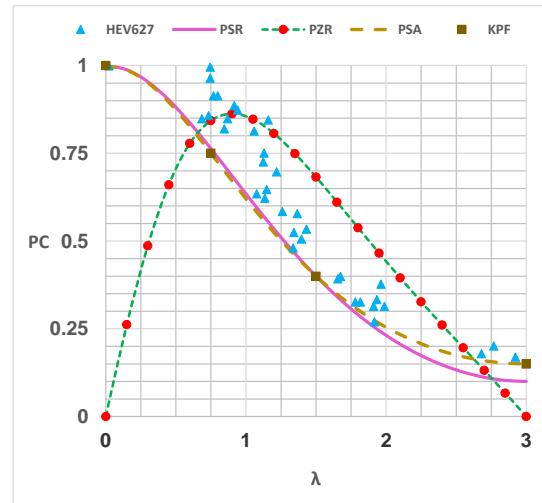
شکل ۱۲ - مقطع مورد استفاده هوا

**مثال چهارم:** هوا (۲۰۰۹) [۳۲]، در رساله دکتری خود پایداری موضعی و پایداری جانبی عضوهای ساخته شده از فولاد سرد نورد پرمقاومت با مقطع به شکل ناودانی لبه دار، مثل شکل ۱۲، را از طریق آزمایش و محاسبه عددی مطالعه کرده است. او ابتدا تعداد ۹۱ عضو را مورد آزمایش قرار داده است. در مرحله دوم با استفاده از روش عناصر محدود ظرفیت عضوهای آزمایش شده را محاسبه کرده و با مقایسه نتایج محاسبه با نتایج آزمایش درستی روش عناصر محدود را تایید نموده است. در مرحله بعد اثر تغییر اندازه ها و مشخصات مکانیکی بر ظرفیت عضوها را مورد بررسی قرار داده است. در نهایت نتایج بدست آمده را با آیین نامه استرالیا و انگلیس مقایسه کرده و اصلاحات لازم را توصیه نموده است. ظرفیت عضوهای آزمایش شده *HEV627* با منحنی فارسی *PSR* در شکل ۱۳ مقایسه شده است. انطباق خوب نتایج آزمایش با منحنی شیراز کارآیی منحنی فارسی را نشان می دهد. توجه داشته باشید که در شکل ۱۳ منحنی *PSA* که در انتها انطباق بهتری دارد هم اضافه شده تا نشان داده شود که اگر داده قابل اعتماد موجود باشد به سادگی می توان آن را در نظر گرفت و در فتح به آسانی از آن استفاده کرد! در شکل ۱۴ ظرفیت عضوهای سرد نورد در درجه حرارت بالا که با روش عناصر محدود محاسبه شده با منحنی شیراز مقایسه و نتایج خوبی حاصل شده است.

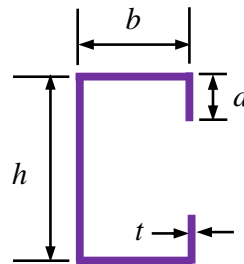
**مثال پنجم:** کانکانامیج (۲۰۱۰) [۲۸ و ۲۹]، در رساله دکترای خود اقدام به محاسبه ظرفیت و تولید روش محاسباتی قابل اعتماد برای عضوهای ساخته شده با فولاد سرد نورد نموده است. او ابتدا تعداد ۸ عضو با مقطع به شکل ۱۵ برای مطالعه ناپایداری از نوع پیچش جانبی، در درجه حرارت معمولی، را مورد آزمایش قرار داد. عضوها به صورت تیر با تکیه گاه ساده و بار در یک چهارم و سه چهارم طول دهانه مورد آزمایش قرار گرفتند. در مرحله بعد ظرفیت تیرها با استفاده از نرم افزار تجارتي که بر مبنای روش عناصر محدود تهیه شده محاسبه گردیدند. نتایج آزمایش ها با نتایج محاسباتی مقایسه و صحت نتایج محاسباتی به تایید رسید. پس از تایید محاسبات، با استفاده از نرم افزار اثر تغییر در اندازه و مشخصات مکانیکی و اثر درجه حرارت بالا روی ظرفیت تیرها مورد بررسی قرار گرفت. وی اثر خواص مکانیکی روی ظرفیت خمشی تیر در شکل 6.12 گنجانده است. در شکل ۱۶ این نتایج *KAN612* با منحنی فارسی (شیراز) *PS* مقایسه شده است.



شکل ۱۴- مقایسه ظرفیت عضو های سرد نورد در حرارت بالا محاسبه شده توسط هوا با منحنی فارسی

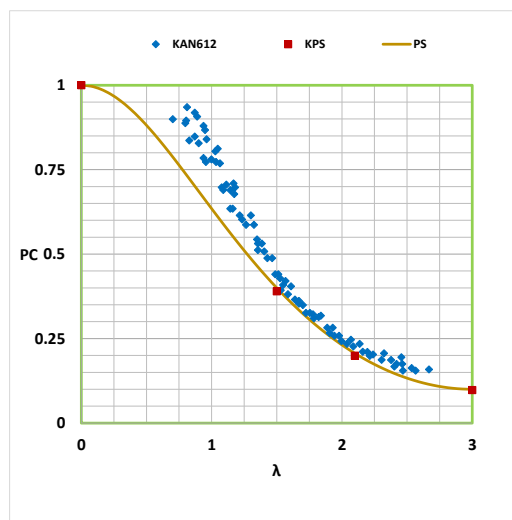


شکل ۱۳- مقایسه ظرفیت عضو های سرد نورد آزمایش شده توسط هوا با منحنی فارسی



شکل ۱۵- مقطع مورد استفاده توسط کانکناماج

سخنی با خوانندگان: مطالب ارائه شده در این مقاله از فتح که دارای بنیان منطقی است گرفته شده، در نتیجه مورد تایید نویسندگان است و صحت مطالب تضمین می گردد. جهت اطمینان بیشتر به منابع [۳۲ تا ۴۰] هم مراجعه شود. عدم تضمین و گذاشتن مسئولیت بر دوش خواننده، که در فرهنگ علمی معمول است، آدم را به یاد نوشته طنزی که قدیما در حمام های عمومی نصب بود می اتدازد، یعنی "هر که دارد امانتی موجود، بسپارد به بنده وقت ورود، گر شود یا نشود مفقود، بنده مسئول آن نخواهم بود!"، می اندازد.



شکل ۱۶ تاثیر خواص مکانیکی روی ظرفیت خمشی

## ۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر خلاصه می شود.

هر پدیده به صورت تغییر حالت یک دستگاه از مبداء به مقصد در نظر گرفته می شود. بر پایه استدلال منطقی، و منطق ریاضی، توابع حالت، و توابع پدیده تولید شدند، و برای کار بری در مورد تغییر حالت پدیده های خاص در قالب منحنی فارسی گنجانده شدند. در این مقاله منحنی های فارسی برای محاسبه ظرفیت عضو های فولادی به کار گرفته شده است. منحنی های فارسی برای تکمیل نیاز به محاسبه دو ضریب هادی  $a_M$  و  $b$  و متغیر انتهای طول عمر  $\lambda_T$  دارند که با استفاده از داده های معتبر و به صورت زیر تعیین می گردند. داده ها در تعدادی بازه مرتب می شوند. تعداد داده در بازه تعیین، به صورت نزولی تجمع شده و بی بعد می شوند و به عنوان ظرفیت منظور می شوند. متغیر طول عمر  $\lambda_T$  طوری انتخاب می شود که ظرفیت نظیر برابر ۰.۱ باشد. به این ترتیب متغیر حالت تعریف می شود. با انتخاب اندازه ظرفیت در وسط و یک نقطه دیگر ضرایب هادی محاسبه می گردند. با معلوم شدن متغیر حالت و ضرایب هادی معادله ظرفیت به طور صریح بدست می آید. در این مقاله بر اساس منحنی فارسی آیین نامه جامع طراحی برای عضو های فولادی در کشش، فشار، خمش، و برش و ترکیب آنها ارائه گردید. ظرفیت چند عضو ساخته شده از فولاد گرم نورد و سرد نورد بر اساس منحنی فارسی محاسبه شده و نتایج با نتایج موجود در فرهنگ علمی مقایسه شده و صحت کار از طریق مرسوم هم به تایید رسید. بررسی روش محاسبه ظرفیت عضوها در آیین نامه های کانادا، ایالات متحده آمریکا، و ایران نشان می دهد که آیین نامه های مذکور برای عضو های کششی و خمشی و در نتیجه در ترکیب آنها هم با خطا همراه هستند. در نتیجه آیین نامه ارائه شده در این مقاله به عنوان جانشین آن ها معرفی می گردد. لازم به ذکر است که فتح بر خلاف روش های موجود در محاسبات علمی مرسوم دارای عدم قطعیت معرفتی نیست. تنها عدم قطعیت در داده های معتبر است که با زیاد شدن آن ها به تدریج کم می شود.

## ۶- مراجع

1. AISC, (2005). Specification for structural steel buildings. Chicago, American Institute of Steel Construction.
2. Leonardo Da Vinci (1972). I Libri Di Meccanica, reconstructed from the original notes by Arturo Uccelli, Kraus Reprint, Nendeln, Liechtenstein.
3. Parsons, William B. (1939). Engineers and Engineering in the Renaissance, MIT Press, Cambridge, MA, 661 pp.
4. Galambos T. V., Surovek A. E. (2008). Structural stability of steel: concepts and applications for structural engineers. John Wiley & Sons, Inc., 2008.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Ranjbaran, A., Rousta, H., Ranjbaran, Mo., Ranjbaran, Ma., (2013) Dynamic stability of cracked columns; the stiffness reduction method. Scientia Iranica, 20(1), 57-64.
9. Ranjbaran, A., Rousta, H. (2013). Interaction diagram for dynamic stability by Laplace transform. NED University Journal of Research 10(1), 31-38.
10. Finlayson B. A. (1972). The method of weighted residuals and variational principles. Academic Press, New York and London.
11. 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.
12. Ranjbaran, A., Rousta, H. (2013) Finite element analysis of cracked beams innovative weak form equations. NED University Journal of Research 10(1), 39-46.
13. 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).

14. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., (2017) State based damage mechanics. NED University Journal of Research 14(1), 13-26.
15. 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.
16. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) State-base fracture mechanics. Journal of Science and Engineering Elites, 1397; 3(6): 79-87. (in Persian).
17. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) State-based stability. Journal of Science and Engineering Elites, 1397; 3(6): 106-113. (in Persian).
18. Ranjbaran, A., Ranjbaran, M., Ranjbaran, F. (2019) A new look at the dynamic stability of structures. Journal of Science and Engineering Elites, 1397; 3(6): 114-121. (in Persian).
19. 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).
20. 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).
21. 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).
22. 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).
23. 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).
24. 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).
25. 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).
26. 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).
27. Hermite, Charles. Mathematician, 1822-1901, Paris France.
28. Kankanamge N. D. (2010). Structural behavior and design of cold-formed steel beams at elevated temperatures. PhD, thesis, Queensland University of Technology, 2010.
29. Kankanamge N. D., Mahandran M. (2012). Behavior and design of cold-formed steel beams subjected to lateral-torsional buckling. Thin Walled Structures, 2012; 51(1): 25-28.
30. Wanniarachchi, S. (2005). Flexural behavior and design of cold-formed steel beams with rectangular hollow flanges. PhD thesis, School of Urban Developments, Queensland University of Technology, Australia.
31. Ranawaka, T. (2006). Distortional buckling behavior of cold-formed steel compression members at elevated temperatures. PhD thesis, School of Urban Developments, Queensland University of Technology, Australia.
32. Heva, Y. B. (2009). Behavior and design of cold-formed steel compression members at elevated temperatures. PhD thesis, School of Urban Developments, Queensland University of Technology, Australia.
33. Badari, B. (2016). New design method for the stability problems of steel beams and beam-columns. PhD thesis, Department of Structural Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary.
34. Pi, Y. L. (1998). Lateral buckling strengths of cold-formed channel section beams. Journal of Structural Engineering, ASCE, 124: 1182-1191.
35. Chen, Y. (2003). Ultimate strength analysis of stiffened panels using a beam-columns method. PhD thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
36. Gunalan S. (2011). Structural behavior and design of cold-formed steel wall systems under fire conditions. PhD thesis, School of Urban Developments, Queensland University of Technology, Australia.
37. Afshan S. (2013). Structural behavior of cold-formed stainless steel tubular members. PhD thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, UK.
38. Agarwal, A., Choe, L., and Varma, A. H. (2014). Fire design of steel columns : effects of thermal gradients. Journal of Constructional Steel Research, 93: 107-118.



39. Cheng, S. (2015). Fire performance of cold-formed steel sections. PhD thesis, School of Marine Science and Engineering, University of Plymouth, UK.
40. Memari, M. (2016). Performance of steel structures subjected to fire following earthquake. PhD thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, USA.