

## استفاده از تئوری منطق فازی برای انتخاب فولاد ابزار مناسب

ناصر توحیدی

استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

رضا توکلی مقدم

استادیار گروه مهندسی صنایع - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

سید ابراهیم وحدت

دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی

(تاریخ دریافت ۰۸۰/۴۳۰، تاریخ تصویب ۸۲/۹/۸)

### چکیده

انتخاب جنس فولادهای ابزار برای تأمین نیازهای مشتری منحصر به یک نوع فولاد نیست. در واقع هر مشتری نیازهای خود را در یک محدوده بیان می‌کند. از طرف دیگر مشخصات فنی فولادهای ابزار مطلق نیست و همواره از میانگین، مقداری انحراف دارد. به همین دلیل در این مقاله از تئوری منطق فازی<sup>۱</sup> یا شلال برای انتخاب مناسب فولاد ابزار استفاده شد. مراحل به شرح زیر انجام شد: در انتخاب فولاد ابزار از چهار مشخصه فنی سختی خام، سختی پس از عملیات حرارتی، حداکثر درجه حرارت کار و چقرمه‌گی و همچنین از متغیر قیمت، استفاده شد. مشخصات فنی و قیمت فولادهای ابزار ساخت داخل از سازندگان دریافت شد. مقدار میانگین و انحراف معیار برخی از مشخصه‌های فنی محاسبه شد. توابع عضویت برای قیمت و مشخصه‌های فنی فوق تعریف شد. فولادهای ابزار بر اساس مطلوب بودن برای مشتری‌ها درجه‌بندی شدند. از منطق شلال برای انتخاب فولادهای ابزار درجه‌بندی شده برای هر مشتری استفاده شد. با استفاده از منطق شلال فولادهای ابزار مطلوب مشتری‌ها معین شد و نهایتاً مطلوبترین فولاد ابزار برای مشتری‌ها انتخاب شد. همچنین تأثیر گران شدن یکی از فولادهای ابزار منتخب در انتخاب مناسب فولاد ابزار بررسی شد. در این مقاله علاوه بر آنکه انتخاب فولاد ابزار فرموله شد امکان کاهش تنوع جنس فولاد ابزار برای تولیدکننده به وجود آمد که ماحصل آن کاهش قیمت تمام شده فولاد ابزار برای تولیدکننده است.

**واژه‌های کلیدی:** منطق شلال یا فازی، تابع عضویت، انتخاب مواد مهندسی، چقرمه‌گی، سختی خام، سختی پس از عملیات حرارتی، حداکثر درجه حرارت کار

### مقدمه

ارزانی قیمت درجه‌بندی شدند. علاوه بر آن با توجه به طبیعت انتخاب مواد مهندسی برای استنتاج، از قانون عطف و فصل منطق شلال یا فازی استفاده شد. در این منطق، میزان مطلوبیت فولاد ابزار  $Z$ ام با عددی پیوسته بین صفر و یک نشان داده می‌شود. عدد صفر یعنی فولاد ابزار  $Z$ ام به هیچوجه نمی‌تواند نیاز مشتری  $Z$ ام را تأمین نماید و عدد یک یعنی فولاد ابزار  $Z$ ام کاملاً می‌تواند نیاز مشتری  $Z$ ام را تأمین نماید و قس علی هذا. در جدول (۱) علامت IASC مربوط به فولاد آلیاژی اصفهان، علامت IS، IW و IK مربوط به شرکت فولاد آلیاژی ایران و علامت 1.2313 متعلق به فولاد اسفراین است.

عوامل مؤثر در انتخاب فولادهای ابزار، مشخصات فنی، قیمت، در دسترس بودن و غیره می‌باشد. این عوامل توسط متقاضی  $Z$ ام فولاد ابزار به شکل عبارات گفتاری و یا در محدوده‌ای از ارقام بیان می‌شود. با بررسی‌های انجام شده در طبیعت انتخاب فولاد ابزار  $Z$ ام مناسب برای متقاضی  $Z$ ام و طبیعت مشخصات فنی از سه متغیر عددی سختی خام ( $k=2$ )، سختی پس از عملیات حرارتی ( $k=3$ )، حداکثر درجه حرارت کار ( $k=4$ ) و متغیر وصفی چقرمه‌گی ( $k=1$ ) برای انتخاب فولاد ابزار استفاده شد [۱-۳]. مشخصه‌های فنی و قیمت فولادهای ابزار ساخت داخل از سازندگان دریافت شد و انحراف معیار و مقدار میانگین برخی از آنها برای هر فولاد ابزار محاسبه و در جدول (۱) ثبت شد. همچنین فولادهای ابزار مطلوب متقاضی  $Z$ ام بر اساس

### توابع عضویت عوامل مؤثر در انتخاب فولاد ابزار

در این مقاله برای تعیین تابع عضویت متغیر وصفی

ردیف ۲] ۷ و ۸]، توابع عضویت بهسازی شده مجموعه‌ها در جدول (۲) ردیف ۳، محاسبه و ثبت شد. کمیت  $e$  برای عملیات مهندسی متالورژی بین ۱/۷ تا ۲/۵ متغیر است [۷ و ۸] که در این مقاله با توجه به تابع درجه عضویت اولیه، ۲/۳۴ قرار داده شد. همینطور با توجه به طبیعت پدیده چقرمه‌گی و تابع درجه عضویت اولیه، حدود تابع LR در جدول (۲) ردیف ۴ تعیین و ثبت شد. در حالتی که درصد کربن فولاد ابزار در محدوده‌ای از درصد کربن معین شود درجه عضویت فولاد ابزار  $z$  ام برای مشتری  $i$  ام در مجموعه‌های فوق با توجه به مسایل آماری [۶] و داده‌های جدول (۱) از رابطه (۱) با استفاده از روش شلال‌زدایی<sup>۱</sup> محاسبه می‌شود [۸،۷]:

برای محاسبه تعداد دفعات تکرار درجات عضویت یک یا صفر از رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده شد همچنین متوسط تابع عضویت از رابطه (۴) محاسبه می‌شود به طوری که  $a_1$  و  $b_1$  محدوده‌ای از درصد کربن است که درجه عضویتی غیر از یک یا صفر دارد.

$$F_{(i,1)}(G_j) = \frac{(1 \times \text{تعداد دفعات تکرار}) + (0 \times \text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت صفر})}{1 + \text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت یک} + \text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت صفر}} \quad (1)$$

$$\text{محدوده‌ای از درصد کربن با درجه عضویت یک} = \frac{\text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت یک}}{0.1} \quad (2)$$

$$\text{محدوده‌ای از درصد کربن با درجه عضویت صفر} = \frac{\text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت صفر}}{0.1} \quad (3)$$

$$\text{متوسط تابع عضویت بهسازی شده} = \frac{\int_{a_1}^{b_1} dx}{b_1 - a_1} \quad (4)$$

متوسط و انحراف معیار باشد. برای هر نیاز مشتری  $i$  ام در نظر بگیرید  $m_{(i,k)}$  و  $M_{(i,k)}$  به ترتیب مقادیر حداقل مجاز و حداکثر مجاز باشد. سپس می‌توان درجه عضویت  $F_{(i,k)}(G_j)$  را بصورت زیر تعیین نمود [۶]:

$$k = 2, 3 \text{ و } i = 1, 2, \dots, N \text{ و } j = 1, 2, \dots, M$$

$$F_{(i,k)}(G_j) = \text{prob}(m_{(i,k)} \leq X_{(j,k)} \leq M_{(i,k)}) \quad (5)$$

چقرمه‌گی ( $k=1$ )، به پنج مجموعه خیلی چقرمه، چقرمه، کمی چقرمه، شکننده و خیلی شکننده تقسیم شد. طبق بررسیهای انجام شده با افزایش درصد کربن چقرمه‌گی کاهش و سختی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد کروم به خصوص بیش از ۱۰ درصد چقرمه‌گی فوق‌العاده کم و سختی فوق‌العاده زیاد خواهد شد [۱-۳]. بر این اساس و با استفاده از مقادیر اولین سختی پس از عملیات حرارتی در جدول (۱) حالت ۱، می‌توان به طور نسبی در نظر گرفت:

فولاد ابزار با سختی ۴۹/۴ راکول‌سی، خیلی چقرمه، فولاد ابزار با سختی ۵۴ راکول‌سی، چقرمه، فولاد ابزار با سختی ۶۰ راکول‌سی، کمی چقرمه، فولاد ابزار با سختی ۶۴ راکول‌سی، شکننده و فولاد ابزار با سختی ۶۵ راکول‌سی، خیلی شکننده است. با استفاده از مفاهیم شلال [۴ و ۵] توابع عضویت اولیه تعریف و در جدول (۲) ردیف ۱، ثبت شد. از داده‌های جدول (۱) حالت ۱ و توابع عضویت اولیه در جدول (۲) ردیف ۱، مقادیر درجه عضویت اولیه محاسبه می‌شود. با توجه به مسایل آماری [۶] و طبیعت چقرمه‌گی و با الگو قراردادن تابع LR جدول (۲)

برای تعیین درجه عضویت چقرمه‌گی از قانون فصل شلال استفاده شد. زیرا در انتخاب فولاد ابزار، چقرمه‌گی حداکثر مورد نیاز است. بنابراین وقتی مشتری می‌گوید «فولاد ابزاری مورد نیاز است که کمی چقرمه باشد» یعنی فولادهای ابزار خیلی چقرمه یا چقرمه یا کمی چقرمه می‌توانند نیاز او را تأمین نمایند.

برای تعیین تابع عضویت سختی خام و سختی پس از عملیات حرارتی فرض کنید  $X_{(j,k)}$  و  $S_{(j,k)}$  به ترتیب مقدار

جدول ۱: مقادیر مشخصه‌های فنی و قیمت فولادهای ابزار ساخت داخل \*

ردیف	نام فولاد	گرمین درصد	سختی بریتل (روان)	حداکثر دمای کار (X درجه کلوین (روان)	سختی پس از عملیات حرارتی راکولسی (روان)									
					۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸		
۱	IASC2067	۰/۹۵-۱/۱	۲۳۰	۴۵۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲	IASC2080	۱/۹-۲/۲	۲۵۰	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۳	IASC2210	۱/۱-۱/۲۵	۲۲۰	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۴	IASC2379	۱/۵-۱/۶	۲۵۰	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۵	IASC2436	۲-۲/۲۵	۲۵۰	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۶	IASC2510	۰/۹-۱/۰۵	۲۱۵	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۷	IASC2542	۰/۴-۰/۵	۲۲۵	۵۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۸	IASC2550	۰/۵۵-۰/۶۵	۲۲۵	۵۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۹	IASC2842	۰/۸۵-۰/۹۵	۲۲۰	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۰	IASC2601	۱/۵۵-۱/۷۵	۲۵۰	۵۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۱	IASC2721	۰/۴۵-۰/۵۵	۲۵۰	۵۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۲	IASC2767	۰/۴-۰/۵	۲۶۰	۵۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۳	IASC2343	۰/۲۶-۰/۴۲	۲۳۵	۹۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۴	IASC2344	۰/۳۷-۰/۴۳	۲۳۵	۹۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۵	IASC2365	۰/۲۸-۰/۳۵	۲۳۰	۹۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۶	IASC2367	۰/۳۵-۰/۴	۲۳۵	۹۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۷	IASC2567	۰/۲۵-۰/۳۵	۲۴۰	۹۵۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۸	IASC2713	۰/۵-۰/۶	۲۴۰	۹۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۱۹	IASC2714	۰/۵-۰/۶	۲۵۰	۹۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۰	IASC1545	۱-۱/۱	۱۹۰	۵۷۳	۶۵	۶۵	۶۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۱	IASC1645	۱-۱/۱	۱۹۰	۵۷۳	۶۵	۶۵	۶۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۲	IASC1730	۰/۴-۰/۵	۱۹۰	۵۷۳	۶۵	۶۵	۶۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۳	IASC1740	۰/۵۵-۰/۶۵	۲۰۷	۵۷۳	۶۵	۶۵	۶۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۴	IASC3207	۱/۲-۱/۳۵	۲۷۰	۸۴۳	۶۵	۶۵	۶۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۵	IASC3255	۰/۷۵-۰/۸۳	۲۷۰	۸۵۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۶	IASC3343	۰/۸۶-۰/۹۴	۲۵۲	۸۳۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۷	IW100	۰/۲۵-۰/۳۵	۲۴۰	۹۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۸	IS300	۰/۷۲-۰/۸	۲۷۰	۸۵۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲۹	IS706	۱/۰۵-۱/۱۵	۲۷۰	۸۴۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۳۰	IK305	۰/۹-۱/۰۵	۲۳۰	۶۷۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۳۱	I.2313	۰/۱۶-۰/۲۳	۲۰۰	۹۲۳	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰

\* برخی از داده‌های فوق از کتاب کلید فولاد استخراج شده است.  
\*\* انحراف معیار حداکثر دمای کار بر حسب درجه کلوین (روان) (S) انحراف معیار سختی خام بر حسب بریتل (روان) (S) انحراف معیار سختی پس از عملیات حرارتی بر حسب راکولسی (روان) (S) به ترتیب حدوداً ۵ درجه کلوین، حدوداً ۵ بریتل و حدوداً ۵/۰ راکولسی محاسبه شده است.

جدول ۲: تابع درجه عضویت اولیه چقرمگی، الگو تابع LR، تابع درجه عضویت چقرمگی بهسازی شده و حدود تابع LR برای مجموعه‌های خیلی چقرمه، چقرمه، کمی چقرمه، شککنده و خیلی شککنده.

ردیف	نوع	نام داده	نام مجموعه				
			خیلی چقرمه	چقرمه	کمی چقرمه	شککنده	
۱	تابع درجه عضویت اولیه چقرمگی (اولین سختی پس از عملیات حرارتی) بر حسب راکولسی	نام داده	خیلی چقرمه	چقرمه	کمی چقرمه	شککنده	
			۱				
			$\frac{65 - \text{سختی}}{60 - 49/4}$				
			$\frac{52 - \text{سختی}}{52 - 49/4}$				
			$\frac{65 - \text{سختی}}{65 - 52}$				
			$\frac{60 - \text{سختی}}{60 - 49/4}$				
			$\frac{65 - \text{سختی}}{65 - 60}$				
			$\frac{64 - \text{سختی}}{64 - 49/4}$				
			$\frac{65 - \text{سختی}}{65 - 64}$				
			$\frac{65 - \text{سختی}}{65 - 49/4}$				
۲	الگو تابع LR	تابع درجه	$x \notin [sl, su]$				
			$sl \leq x \leq a$	$\frac{1 - \frac{(x-sl)^e}{2(a-sl)^e}}$			
			$a \leq x \leq b$	$1 - \frac{1 - \frac{(b-x)^e}{2(b-a)^e}}$			
			$b \leq x \leq c$	۱			
			$c \leq x \leq d$	$1 - \frac{1 - \frac{(x-c)^e}{2(d-c)^e}}$			
			$d \leq x \leq su$	$\frac{1 - \frac{(su-x)^e}{2(su-d)^e}}$			
			۳	عضویت چقرمگی بهسازی شده بر حسب درصد کرن	حدود تابع LR	$x \notin [sl, su]$	
$sl \leq x \leq a$	$\frac{29/53(x-1/10)^{2/33}}$	$\frac{62/9(x-0/75)^{2/33}}$				$\frac{10/92(x-0/2)^{2/33}}$	$\frac{502/8(x-0/3)^{2/33}}$
$a \leq x \leq b$	$\frac{1-29/53(1/5-x)^{2/33}}$	$\frac{1-62/9(1-x)^{2/33}}$				$\frac{1-10/92(0/2-x)^{2/33}}$	$\frac{1-502/8(0/3-x)^{2/33}}$
$b \leq x \leq c$	۱	۱				۱	۱
$c \leq x \leq d$	$\frac{1-62/9(x-1/5)^{2/33}}$	$\frac{1-10/92(x-1)^{2/33}}$				$\frac{1-502/8(x-0/2)^{2/33}}$	$\frac{1-10/92(x-0/3)^{2/33}}$
$d \leq x \leq su$	$\frac{62/9(1/5-x)^{2/33}}$	$\frac{10/92(1-x)^{2/33}}$				$\frac{502/8(0/2-x)^{2/33}}$	$\frac{10/92(0/3-x)^{2/33}}$
۴	برای تابع درجه عضویت چقرمگی بهسازی شده	LR				sl	۱/۱۵
			a	۱/۳۲۵	۰/۸۷۵	۰/۵	۰/۳۵
			b	۱/۵	۱	۰/۶	۰/۴
			c	۲/۳	۱/۵	۱	۰/۶
			d	۲/۳	۱/۶۲۵	۱/۱	۰/۶۵
			su	۲/۳	۱/۷۵	۱/۲	۰/۷

\*X درصد کرن در فولاد ابزار است.

$F_{pi}(Gj) -$

قیمت فولاد ابزار مطلوب مشتری  $i$  ام - گرانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری  $i$  ام  
ارزانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری  $i$  ام - گرانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری  $i$  ام  
(۷)

ترکیب توابع عضویت مشخصات فنی برای هر فولاد ابزار به صورت زیر تعریف می‌شود [۵-۸].  $F_i(Gj)$  کمینه درجات عضویت مشخصات فنی برای مشتری  $i$  ام و فولاد ابزار  $j$  ام است.

$$F_i(Gj) = \min\{F_{(i,k)}(Gj)\} \quad (۸)$$

ممکن است که مشتری  $i$  ام بخواهد میزان مطلوبیت فولاد ابزار مطلوب را تعیین نماید. در این صورت باید  $a_i \leq F_i(Gj)$  باشد.  $a_i$  محدوده‌ای است که توسط مشتری معین می‌شود و درجه عضویت کمتر از  $a_i$  (جدول (۳) ردیف ۵) مورد قبول مشتری نام نخواهد بود.

یعنی احتمال شلال آنکه در محدوده مورد نظر مشتری  $i$  ام، فولاد ابزار  $j$  ام نیاز مشتری  $i$  ام را تأمین نماید مقدار درجه عضویت  $F_{(i,k)}(Gj)$  فولاد ابزار  $j$  ام برای مشخصه فنی  $k$  ام است.

تابع عضویت حفظ سختی در درجه حرارت کار به صورت زیر تعریف می‌شود زیرا طبیعت مشخصه حداکثر درجه حرارت کار به نحوی است که می‌تواند نیاز مشتری  $i$  ام را در کمتر از درجه حرارت  $X_{(j,k)}$  کاملاً تأمین نماید و چنانچه درجه حرارت  $M_{(i,k)}$  بیشتر از  $X_{(j,k)}$  باشد تا حدی مقبول مشتری  $i$  ام است.  
 $k=۴$  و  $i=۱,۲, \dots, N$  و  $j=۱,۲, \dots, M$

$$F_{(i,k)}(Gj) = \text{prob}(M_{(i,k)} \leq X_{(j,k)}) \quad (۹)$$

تابع عضویت قیمت،  $F_{pi}(Gj)$  یعنی درجه ارزیابی قیمت تابعی است که میزان انحراف از گرانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری  $i$  ام را در بازه صفر تا یک نشان می‌دهد.

جدول ۳: نیازهای مشتری اول، دوم و سوم.

ردیف	نام داده	مشتری اول $i=۱$	مشتری دوم $i=۲$	مشتری سوم $i=۳$
۱	سختی خام	۱۷۰ تا ۲۵۰ برینل	۲۰۰ تا ۲۵۰ برینل	۱۷۰ تا ۲۶۰ برینل
۲	سختی پس از عملیات حرارتی	۵۲ تا ۶۰ راکولسی	۵۱ تا ۶۷ راکولسی	۵۰ تا ۵۸ راکولسی
۳	حداکثر درجه حرارت کار	۳۲۳ درجه کلوین	۵۲۳ درجه کلوین	۸۷۳ درجه کلوین
۴	چقرمه‌گی	چقرمه باشد	کمی چقرمه باشد	خیلی چقرمه باشد
۵	درجه اطمینان $a_i$	۹۹٪	۹۸٪	۹۹٪
۶	درجه اهمیت مشخصات فنی $B_{1i}$	۰/۵	۰/۸	۰/۸
۷	درجه اهمیت قیمت $B_{2i}$	۰/۵	۰/۲	۰/۲

جدول ۴: درجه نهایی مطلوبیت فولادهای ابزار مطلوب مشتری‌ها.

ردیف	نام فولاد				اولویت
۱۳	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۱	دوم
۱۳	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۱	دوم
۱۳	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۱	دوم
۱۴	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	سوم
۱۴	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	سوم
۱۴	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	سوم
۱۴	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	سوم
۱۶	IASC2367	۰/۸۰۸	۰/۹۵۶۲	۱	اول

$$F_i(G_j) = 0 \Rightarrow F_{\bar{ii}}(G_j) = 0$$

(۱-۹)

$$F_i(G_j) \neq 0 \Rightarrow F_{\bar{ii}}(G_j)$$

$$= (B_{\bar{1i}} \times F_i(G_j)) + (B_{\bar{2i}} \times F_{pi}(G_j))$$

(۲-۹)

در آخر، تابع درجه نهایی مطلوبیت یعنی  $F_{\bar{ii}}(G_j)$  برای مجموعه شلال فولادهای ابزار مطلوب مشتری  $i$  ام به صورت زیر تعریف می‌شود. درجه اهمیت قیمت ( $B_{\bar{1i}}$ ) همواره کوچکتر از درجه اهمیت مشخصات فنی ( $B_{\bar{2i}}$ ) است که این با طبیعت انتخاب فولاد ابزار همخوانی دارد. همچنین  $(B_{\bar{1i}} + B_{\bar{2i}}) = 1$  است.

(درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار، درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار، درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار) کمینه = درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار  
برای مشتری سوم      برای مشتری دوم      برای مشتری اول      برای هر سه مشتری

(۱۰)

جدول ۵: تأثیر گران شدن فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت بر درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار مطلوب هر مشتری و مشتری‌ها.

اولویت‌ها	کمیته درج‌های نهایی مطلوبیت فولاد ابزار مطلوب برای هر سه مشتری			درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار مطلوب برای مشتری سوم $F_{\bar{3i}}$			درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار مطلوب برای مشتری دوم $F_{\bar{2i}}$			درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار مطلوب برای مشتری اول $F_{\bar{1i}}$			نام فولاد	حالت بازگشت	ردیف		
	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم					
درصد افزایش قیمت فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت																	
۴۴٪	۱۸٪	۰٪	۴۴٪	۱۸٪	۰٪	۴۴٪	۱۸٪	۰٪	۴۴٪	۱۸٪	۰٪	۴۴٪	۱۸٪	۰٪	IASC2343	۱	۱۳
اول	دوم	دوم	۰/۷۲۴۶	۰/۵۲۷۷	۰/۵۲۷۷	۰/۸۹۳۲	۰/۹۹۵۸	۰/۹۷۱	۰/۸۹۳۲	۰/۸۸۳۴	۰/۸۸۳۴	۰/۷۲۴۶	۰/۵۲۷۷	۰/۵۲۷۷	IASC2343	۲	۱۳
اول	دوم	دوم	۰/۷۲۴۶	۰/۵۲۷۷	۰/۵۲۷۷	۰/۸۹۳۲	۰/۹۹۵۸	۰/۹۷۱	۰/۸۹۳۲	۰/۸۸۳۴	۰/۸۸۳۴	۰/۷۲۴۶	۰/۵۲۷۷	۰/۵۲۷۷	IASC2343	۳	۱۳
اول	دوم	دوم	۰/۷۲۴۶	۰/۵۲۷۷	۰/۵۲۷۷	۰/۸۹۳۲	۰/۹۹۵۸	۰/۹۷۱	۰/۸۹۳۲	۰/۸۸۳۴	۰/۸۸۳۴	۰/۷۲۴۶	۰/۵۲۷۷	۰/۵۲۷۷	IASC2343	۴	۱۳
دوم	سوم	سوم	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	۰/۸۷۹۹	۰/۹۶۹	۰/۹	۰/۸۷۹۵	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	IASC2344	۱	۱۴
دوم	سوم	سوم	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	۰/۸۷۹۹	۰/۹۶۹	۰/۹	۰/۸۷۹۵	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	IASC2344	۲	۱۴
دوم	سوم	سوم	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	۰/۸۷۹۹	۰/۹۶۹	۰/۹	۰/۸۷۹۵	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	IASC2344	۳	۱۴
دوم	سوم	سوم	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	۰/۸۷۹۹	۰/۹۶۹	۰/۹	۰/۸۷۹۵	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۶۹۴۸	۰/۵	۰/۵	IASC2344	۴	۱۴
سوم	اول	اول	۰/۵	۰/۵۵۴۸	۰/۸۰۸	۰/۸	۱	۱	۰/۸	۰/۸۸۵۷	۰/۹۵۶۲	۰/۵	۰/۵۵۴۸	۰/۸۰۸	IASC2367	۱	۱۶

## تأثیر افزایش قیمت فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت بر انتخاب مناسب فولاد ابزار

جدول (۴) از فولادهای ابزار مطلوب سه مشتری را ارایه می‌کند که اگر فقط قیمت فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت بنا به دلایل خاصی بعنوان مثال هزینه‌های کنترل کیفی یا عرضه و تقاضا در دو مرحله به ترتیب به مقدار هر کیلوگرم ۲۴۵۰۰ ریال و ۳۰۰۰۰ ریال افزایش یافته باشد از رابطه (۷) درجه ارزانی فولادهای ابزار برای مشتریهای اول، دوم و سوم محاسبه می‌شود. بر اساس رابطه (۲-۹) درجه نهایی مطلوبیت فولادهای ابزار برای مشتریهای اول، دوم و سوم در جدول (۵) محاسبه و ثبت شد. با استفاده از رابطه (۱۰) فولادهای ابزار

## استنتاج مطلوبترین فولاد ابزار برای مشتری یا مشتری‌ها

همانطور که در جدول (۳) نشان داده شده است در این تحقیق برای سه مشتری که هر کدام نیازهای منحصر به فرد دارند فولاد ابزار انتخاب شد. با استفاده از روابط ۱ تا ۸، فولادهای ابزار مطلوب مشتری‌ها درجه‌بندی و با استفاده از قانون عطف شلال، کمیته درج‌های نهایی عضویت فولادهای ابزار مطلوب مشتری اول و دوم و سوم یعنی هر سه مشتری در جدول (۴) محاسبه و ثبت شد. نهایتاً فولاد ابزار IASC2367، حالت ۱ بازگشت با درجه عضویت ۰/۸۰۸ مطلوبترین فولاد ابزار مابین فولادهای ابزار مطلوب هر سه مشتری است.

انتخاب فولاد نیز همین است) زیرا هر فولاد ابزار برای یک کاربرد خاص مطلوبتر از دیگری است. با این روش این مفهوم مقدار گرفت و فرموله شد. چرا که فولادهای ابزار در جدول (۴) بر اساس مطلوب بودن برای مشتری‌ها از صفر تا یک درجه بندی شدند.

۵- اگر چه تابع عضویت چقرمه‌گی بر اساس درصد کربن تعریف شد اما تأثیر مقدار کروم در آن لحاظ شده است. به طور مثال فولادهای ابزار 2601، 2436، 2379، 2080 IASC که مقادیر خیلی زیاد کربن دارند دارای مقادیر خیلی زیاد کروم نیز هستند که در نتیجه آن، این فولادها خیلی شکننده می‌شوند. علاوه بر آن فولادهای ابزار 1.2313، IW100، 2365، IASC 2567 که مقادیر خیلی کم کربن دارند مقدار کروم در حدی نیست که موجب شکنندگی فولاد ابزار شود و فولاد ابزار چقرمه‌گی خوبی دارد.

۶- از جدول (۵) نتیجه می‌شود چنانچه یکی از فولادهای ابزار منتخب گران شود به علت گران شدن و درجه اهمیت قیمت بوسیله مشتری، درجه نهایی مطلوبیت فولادهای ابزار مطوب مشتری‌ها تغییر خواهد کرد و ممکن است فولاد ابزار مناسب را تغییر دهد. در اینجا مشاهده شد وقتی قیمت فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت به میزان ۴۴ درصد افزایش می‌یابد. فولاد ابزار مناسب برای هر سه مشتری به جای IASC2367 حالت ۱ بازگشت، فولاد ابزار IASC2343 حالت‌های ۱، ۲ و ۳ بازگشت است.

۷- با توجه به رابطه (۲-۹) ملاحظه می‌شود که هرچه درجه اهمیت قیمت بیشتر باشد، گران شدن فولاد ابزار یعنی کوچک شدن درجه ارزانی فولاد ابزار در رابطه (۷) در کاهش درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار، اثر بیشتری می‌گذارد. این مطلب از جدول (۵) براحتی قابل مشاهده است. توجه کنید که درجه اهمیت قیمت برای مشتری اول ۰/۵ و درجه اهمیت قیمت برای مشتری‌های دوم و سوم، ۰/۲ است لذا گران شدن فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت در کاهش درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت برای مشتری اول بسیار محسوس‌تر از مشتری‌های دوم و سوم است.

۸- در جداول (۴) و (۵) درجات عضویت برابر مشاهده می‌شوند دلیل این امر در نظر نگرفتن هزینه‌های عملیات بازگشت برای

مطلوب هر سه مشتری در جدول (۵) محاسبه و ثبت شد. بدین ترتیب مطلوبترین فولاد ابزار مابین فولادهای ابزار مطلوب مشتری‌های اول و دوم و سوم یعنی هر سه مشتری، در این حالت و مرحله اول یعنی ۱۸ درصد افزایش، فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت است. توجه شود که کمینه درجه نهایی مطلوبیت در مرحله اول یعنی افزایش ۱۸ درصد فولاد ابزار IASC2367 به کمینه درجه نهایی مطلوبیت در مرحله اول یعنی افزایش ۱۸ درصد فولاد ابزار IASC2343 بسیار نزدیک است. در مرحله دوم یعنی افزایش ۴۴ درصد کمینه درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار IASC2367 بسیار کمتر از کمینه درجه نهایی مطلوبیت فولاد ابزار IASC2343 می‌باشد لذا مطلوبترین فولاد ابزار مابین فولادهای ابزار مطلوب مشتری‌های اول و دوم و سوم یعنی هر سه مشتری، در این حالت و مرحله دوم یعنی افزایش ۴۴ درصد، فولاد ابزار IASC2343 حالت‌های بازگشت ۱، ۲ و ۳ است. بنابراین، مشاهده می‌شود با افزایش قیمت در یکی از فولادهای ابزار منتخب هر سه مشتری، در این حالت مرحله دوم یعنی افزایش ۴۴ درصد، فولاد مناسب برای سه مشتری به جای فولاد ابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت، فولاد ابزار IASC2343 حالت‌های ۱، ۲ و ۳ بازگشت است.

## بحث و نتیجه گیری

از مطالب گفته شده و جداول (۲)، (۴) و (۵) نتایج زیر حاصل می‌شود:

- ۱- نیکل و منگنز در محدوده مشخصی روی چقرمه‌گی فولاد ابزار مؤثرند [۱، ۲، ۳]. در این مقاله به دلیل کمی داده‌ها، امکان تعریف توابع عضویت نیکل و منگنز وجود نداشت.
- ۲- رضایت متقاضی جلب شد مطابق جدول (۳) ردیف ۵، درجه اطمینان برای هر مشتری لحاظ شد.
- ۳- تنوع فولاد ابزار برای تولیدکننده کاهش یافت بنابراین تولید اقتصادی‌تر شد. مطابق جدول (۴) برای سه مشتری با در خواست‌های متفاوت تنها یک فولاد ابزار انتخاب شد به طوری که مناسب هر سه مشتری است.
- ۴- به ندرت فولادهای ابزار یافت می‌شوند که برای یک کاربرد خاص به طور یکسان مطلوب باشند (دلیل استفاده از جداول

فولاد ابزار است. به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و صحیح این کار انجام نشد.

## مراجع

- ۱- "مشخصات عملیات حرارتی و کاربرد فولادهای ابزار". گروه مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۶۰).
- ۲- لارس آکه، ن. و بوریه، ی. (مترجم محمود دانایی). "انتخاب فولاد برای ابزارهای سردکار (قسمت اول و دوم)". جامعه قالبسازان ایران، شماره ۱۸ و ۱۷، صص ۳۰-۲۷ و صص ۳۷-۳۴، (۱۳۷۹).
- 3 - Charles, J. A. (1984). *Selection and use of engineering materials*. Butter Worth & Co., UK.
- ۴- بارت، ک. (مترجمین علی غفاری، عادل مقصودپور، علیرضا پورممتاز و جمشید قسیم)، "تفکر فازی". دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، (۱۳۷۷).
- ۵- طاهری، س. م. "آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی". چاپ دوم، جهاددانشگاهی دانشگاه مشهد، (۱۳۷۸).
- ۶- اروین، ک. س. (مترجمین عبدالله شیدفر و حسین فرمان). "ریاضیات مهندسی پیشرفته". چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاهی، (۱۳۶۹).
- 7 - Giorler, G., Minutoto, F. M. C. and Sergi, V. (1997). "Fuzzy logic modeling and control of steel rod quenching after hot rolling." *Material Engineering and Performance*, Vol. 6, PP. 599-604.
- 8 - Ali, Y. M. and Zhang, L. C. (1997). "Estimation of residual stresses induced by grinding using a fuzzy logic approach." *Materials Processing Technology*, Vol. 63, PP. 875-880.

## ضمیمه

۱- تابع erf یک تابع ریاضی است که به صورت زیر تعریف می‌شود [۶].

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n z^{(2n+1)}}{n!(2n+1)}, \quad \operatorname{erf}(-z) = -\operatorname{erf}(z), \quad z \geq 3 \text{ یا } z \leq -3 \Rightarrow \operatorname{erf}(z) = 1$$

۲- مقدار میانگین و انحراف معیار از رابطه زیر محاسبه می‌شود که  $x$  مقدار متغیر مشخصه فنی  $k$  ام فولاد ابزار زام و  $n$  تعداد نمونه‌ها از یک جنس و حالت (درجه حرارت) بازگشت است [۶].  $\bar{X}_{(j,k)}$  و  $S_{(j,k)}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مشخصه فنی  $k$  ام فولاد ابزار زام هستند.

$$\bar{X}_{(j,k)} = \frac{\sum_{p=1}^n X_p}{n} \quad k = 2, 3, 4$$

$$S_{(j,k)} = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^n (\bar{X}_{(j,k)} - X_p)^2}{n-1}} \quad k = 2, 3, 4$$

۳- اگر  $a, b, c$  و غیره درجات عضویت یک عضو به ترتیب در مجموعه‌های  $A, B, C$  و غیره باشد.  $t$  درجه عضویت ترکیب آنها است

[۷ و ۸]

(...)  $t =$  عملگر "و"، قانون عطف منطق شلال

(...)  $t =$  عملگر "یا"، قانون فصل منطق شلال