استفاده از تئوری منطق فازی برای انتخاب فولاد ابزار مناسب

ناصر توحیدی
استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
رضا توکلی‌مقدم
استادیار گروه مهندسی صنایع - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
سید ابراهیم وحدت
دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی

(تاریخ دریافت ۸۰/۴/۳۰ ، 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[1] 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 متغیّر 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

عوامل مؤثر در انتخاب فولادهای ابزار، مشخصات فنی، قیمت، در دسترس بودن و غیره می‌باشد. این عوامل توسط متقاضی i ام فولاد ابزار به شکل عبارات گفتاری و یا در محدوده‌ای از ارقام بیان می‌شود. با بررسی‌های انجام شده در طبیعت انتخاب فولاد ابزار j ام مناسب برای متقاضی i ام و طبیعت مشخصات فنی از سه متغیّر عددی سختی خام (k=۲)، سختی پس از عملیات حرارتی(k=۳)، حداکثر درجه حرارت کار (k=۴) و متغیّر وصفی چقرمه‌گی (k=۱) برای انتخاب فولاد ابزار استفاده شد [۳-۱]. 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 i ام بر اساس 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 jام با عددی پیوسته بین صفر و یک نشان داده می‌شود. عدد صفر یعنی فولاد ابزار jام به هیچوجه نمی‌تواند نیاز مشتری iام را تأمین نماید و عدد یک یعنی فولاد ابزار j ام کاملاً می‌تواند نیاز مشتری i ام را تأمین نماید و قس علی هذا. در جدول (۱) علامت IASC مربوط به فولاد آلیاژی اصفهان، علائم IS، IW و IK مربوط به شرکت فولاد آلیاژی ایران و علامت 1.2313 متعلق به فولاد اسفراین است.

توابع عضویت عوامل مؤثر در انتخاب فولاد ابزار

در این مقاله برای تعیین تابع عضویت متغیّر وصفی

چقرمه‌گی (k=۱)، 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 [۳-۱]. 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) ردیف۱، مقادیر درجه عضویت اولیه محاسبه می‌شود. با توجه به مسایل آماری [۶] و طبیعت چقرمه‌گی و با الگو قراردادن تابع LR جدول (۲) ردیف۲[۷ و ۸]، توابع عضویت بهسازی شده مجموعه‌ها در جدول (۲) ردیف۳، 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 j 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[۲] 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 a۱ و b۱ محدوده‌ای از درصد کربن است که درجه عضویتی غیر از یک یا صفر دارد.

$$F_{(i\text{ و }1)}(Gj) = \frac{(\text{۱ × متوسط تابع عضویت}) + (\text{۱ × تعداد دفعات تکرار}) + (\text{۰ × تعداد دفعات تکرار درجه عضویت صفر})}{\text{۱ + تعداد دفعات تکرار درجه عضویت یک + تعداد دفعات تکرار درجه عضویت صفر}} \quad (۱)$$

$$\text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت یک} = \frac{\text{محدوده‌ای از درصد کربن با درجه عضویت یک}}{۰/۰۱} \quad (۲)$$

$$\text{تعداد دفعات تکرار درجه عضویت صفر} = \frac{\text{محدوده‌ای از درصد کربن با درجه عضویت صفر}}{۰/۰۱} \quad (۳)$$

$$\text{متوسط تابع عضویت بهسازی شده} = \frac{\int_{a_1}^{b_1} \text{تابع عضویت بهسازی شده}\, dx}{b_1 - a_1} \quad (۴)$$

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 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 $F_{(i,k)}(Gj)$ را بصورت زیر تعیین نمود [۶]:

$$k= ۲ ،۳ \text{ و } i=۱،۲،...،N \text{ و } j=۱ ،۲،...،M$$

$$F_{(i,k)}(Gj) = prob(m_{(i,k)} \le X_{(j,k)} \le M_{(i,k)}) \quad (۵)$$

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

ردیف	نام فولاد	کربن درصد	سختی خام** برینل $X_{(۲ وز)}$	حداکثر دمای کار** درجه کلوین $X_{(۴ وز)}$	سختی پس از عملیات حرارتی راکول‌سی $X_{(۳ وز)}$** حالتهای (درجه حرارت‌های) بازگشت								قیمت پایه کیلو(ریال)
					۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	
۱	IASC2067	۱/۱-۰/۹۵	۲۳۰	۴۵۳	۶۴	۶۳	۶۰						
۲	IASC2080	۲/۲-۱/۹	۲۵۰	۵۲۳	۶۳	۶۲	۶۰	۵۸					
۳	IASC2210	۱/۲۵-۱/۱	۲۲۰	۵۲۳	۶۴	۶۱	۵۸						
۴	IASC2379	۱/۶-۱/۵	۲۵۰	۵۲۳	۶۴	۶۳	۶۰	۵۸					۲۰۴۷۵
۵	IASC2436	۲/۲۵-۲	۲۵۰	۵۲۳	۶۴	۶۳	۶۰	۵۸					۱۹۲۰۰
۶	IASC2510	۱/۰۵-۰/۹	۲۱۵	۵۲۳	۶۴	۶۲	۵۷	۵۳					۲۰۰۰۰
۷	IASC2542	۰/۵-۰/۴	۲۲۵	۵۷۳	۵۷	۵۶	۵۴	۵۲					۲۱۰۰۰
۸	IASC2550	۰/۶۵-۰/۵۵	۲۲۵	۵۷۳	۶۰	۵۹	۵۶	۵۲	۴۷				۱۸۵۰۰
۹	IASC2842	۰/۹۵-۰/۸۵	۲۲۰	۵۲۳	۶۴	۶۲	۵۸						۱۱۰۰۰
۱۰	IASC2601	۱/۷۵-۱/۵۵	۲۵۰	۵۲۳	۶۳	۶۱	۵۹	۵۸					
۱۱	IASC2721	۰/۵۵-۰/۴۵	۲۵۰	۵۷۳	۵۹	۵۶	۵۲	۴۸	۴۴				
۱۲	IASC2767	۰/۵-۰/۴	۲۶۰	۵۲۳	۵۶	۵۴	۵۱	۴۸	۴۲				
۱۳	IASC2343	۰/۴۲-۰/۳۶	۲۳۵	۹۲۳	۵۴	۵۵/۶	۵۳/۴	۴۸/۵	۳۹/۶	۳۲			۲۴۶۰۰
۱۴	IASC2344	۰/۴۳-۰/۳۷	۲۳۵	۹۲۳	۵۴/۸	۵۴	۵۵/۶	۵۴	۵۰/۲	۴۲/۲	۳۷		۲۱۲۰۰
۱۵	IASC2365	۰/۳۵-۰/۲۸	۲۳۰	۹۴۳	۵۰/۲	۴۹/۴	۴۸/۵	۴۷/۶	۴۲/۲	۳۴			
۱۶	IASC2367	۰/۴-۰/۳۵	۲۳۵	۹۷۳	۵۵/۶	۵۲/۷	۴۵/۵	۳۷					۲۰۴۷۵
۱۷	IASC2567	۰/۳۵-۰/۲۵	۲۴۰	۹۵۳	۵۱/۲	۴۹/۴	۴۹/۸	۵۰/۲	۴۹/۴	۴۶/۷	۳۵/۵		
۱۸	IASC2713	۰/۶-۰/۵	۲۴۰	۹۲۳	۵۲/۷	۴۸/۵	۴۶/۷	۴۴/۴	۴۲/۲	۳۹/۶	۳۴	۲۷/۵	۲۴۰۰۰
۱۹	IASC2714	۰/۶-۰/۵	۲۵۰	۹۲۳	۵۵/۶	۵۱/۲	۴۹/۴	۴۷/۶	۴۴/۴	۴۲/۲	۳۸/۴		۱۵۱۴۰
۲۰	IASC1545	۱/۱-۱	۱۹۰	۵۷۳	۶۵								
۲۱	IASC1645	۱/۱-۱	۱۹۰	۵۷۳	۶۵								
۲۲	IASC1730	۰/۵-۰/۴	۱۹۰	۵۷۳	۵۸								۱۸۰۰۰
۲۳	IASC1740	۰/۶۵-۰/۵۵	۲۰۷	۵۷۳	۵۸								۱۸۵۰۰
۲۴	IASC3207	۱/۳۵-۱/۲	۲۷۰	۸۴۳	۶۵								
۲۵	IASC3255	۰/۸۳-۰/۷۵	۲۷۰	۸۵۳	۶۴								
۲۶	IASC3343	۰/۹۴-۰/۸۶	۲۵۲	۸۳۳	۶۴								
۲۷	IW100	۰/۳۵-۰/۲۵	۲۴۰	۹۷۳	۵۱/۲	۴۹/۴۵	۵۰/۲	۵۱/۲	۴۹/۴	۴۵/۵	۳۵/۵		
۲۸	IS300	۰/۸-۰/۷۲	۲۷۰	۸۵۳	۶۴								
۲۹	IS706	۱/۱۵-۱/۰۵	۲۷۰	۸۴۳	۶۴								
۳۰	IK305	۱/۰۵-۰/۹	۲۳۰	۶۷۳	۶۳	۶۲	۶۰	۵۷					۲۰۶۰۰
۳۱	1.2313	۰/۲۳-۰/۱۶	۲۰۰	۹۲۳	۴۹/۴	۴۴/۴	۴۳/۳	۴۰/۷	۳۸/۴	۳۵/۵	۳۲	۲۷/۵	

* برخی از داده‌های فوق از کتاب کلید فولاد استخراج شده است.

** انحراف معیار حداکثر دمای کار برحسب درجه کلوین ($S_{(۴ وز)}$)، انحراف معیار سختی خام برحسب برینل ($S_{(۲ وز)}$) و انحراف معیار سختی پس از عملیات حرارتی برحسب راکول‌سی ($S_{(۳ وز)}$) به ترتیب حدوداً ۵ درجه کلوین، حدوداً ۵ برینل و حدوداً ۰/۵ 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، شکننده و خیلی شکننده.

ردیف	نوع	نام‌داده	نام مجموعه				
			خیلی چقرمه	چقرمه	کمی چقرمه	شکننده	خیلی شکننده
۱	تابع درجه عضویت اولیه چقرمه‌گی (اولین سختی پس از عملیات حرارتی) بر حسب راکول‌سی	۴۹/۴≤سختی	۱				
		۴۹/۴≥سختی	$\frac{\text{سختی}-۶۵}{۶۵-۴۹/۴}$				
		۵۴≤سختی		$\frac{\text{۴۹/۴-سختی}}{۵۴-۴۹/۴}$			
		۵۴≥سختی		$\frac{\text{سختی}-۶۵}{۶۵-۵۴}$			
		۶۰≤سختی			$\frac{\text{۴۹/۴-سختی}}{۶۰-۴۹/۴}$		
		۶۰≥سختی			$\frac{\text{سختی}-۶۵}{۶۵-۶۰}$		
		۶۴≤سختی				$\frac{\text{۴۹/۴-سختی}}{۶۴-۴۹/۴}$	
		۶۴≥سختی				$\frac{\text{سختی}-۶۵}{۶۵-۶۴}$	
		۶۵≤سختی					$\frac{\text{۴۹/۴-سختی}}{۶۵-۴۹/۴}$
		۶۵≥سختی					۱
۲	الگو تابع LR تابع درجه	x∉[sl,su]	۰				
		sl≤x≤a	$\frac{۱}{۲}(\frac{(x-sl)}{(a-sl)})^e$				
		a≤x≤b	$۱-\frac{۱}{۲}(\frac{(b-x)}{(b-a)})^e$				
		b≤x≤c	۱				
		c≤x≤d	$۱-\frac{۱}{۲}(\frac{(x-c)}{(d-c)})^e$				
		d≤x≤su	$\frac{۱}{۲}(\frac{(su-x)}{(su-d)})^e$				
۳	عضویت چقرمه‌گی بهسازی شده برحسب درصد کربن حدود تابع LR	x∉[sl,su]	۰	۰	۰	۰	۰
		sl≤x≤a	۱	$۵۵۳/۸(x-۰/۳)^{۲/۳۳}$	$۱۰۹/۳(x-۰/۴)^{۲/۳۳}$	$۶۳/۹(x-۰/۷۵)^{۲/۳۳}$	$۲۹/۵۳(x-۱/۱۵)^{۲/۳۳}$
		a≤x≤b	۱	$۱-۵۵۳/۸(۰/۴-x)^{۲/۳۳}$	$۱-۱۰۹/۳(۰/۶-x)^{۲/۳۳}$	$۱-۶۳/۹(۱-x)^{۲/۳۳}$	$۱-۲۹/۵۳(۱/۵-x)^{۲/۳۳}$
		b≤x≤c	۱	۱	۱	۱	۱
		c≤x≤d	$۱-۱۰۹/۳(x-۰/۴)^{۲/۳۳}$	$۱-۵۵۳/۸(x-۰/۶)^{۲/۳۳}$	$۱-۱۰۹/۳(x-۱)^{۲/۳۳}$	$۱-۶۳/۹(x-۱/۵)^{۲/۳۳}$	۱
		d≤x≤su	$۱۰۹/۳(۰/۶-x)^{۲/۳۳}$	$۵۵۳/۸(۰/۷-x)^{۲/۳۳}$	$۱۰۹/۳(۱/۲-x)^{۲/۳۳}$	$۶۳/۹(۱/۷۵-x)^{۲/۳۳}$	۱
۴	برای تابع درجه عضویت چقرمه‌گی بهسازی شده	sl	۰	۰/۳	۰/۴	۰/۷۵	۱/۱۵
		a	۰	۰/۳۵	۰/۵	۰/۸۷۵	۱/۳۲۵
		b	۰	۰/۴	۰/۶	۱	۱/۵
		c	۰/۴	۰/۶	۱	۱/۵	۲/۳
		d	۰/۵	۰/۶۵	۱/۱	۱/۶۲۵	۲/۳
		su	۰/۶	۰/۷	۱/۲	۱/۷۵	۲/۳

*X درصد کربن در فولاد ابزار است.

یعنی احتمال شلال آنکه در محدودهٔ 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.

$i=۱،۲،...،M$ و $j=۱،۲،...،N$ و $k=۴$

$$F_{(i,k)}(Gj) = prob\,(M_{(i,k)} \le X_{(j,k)})$$

(۶)

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

$$F_{pi}(Gj) = \frac{\text{قیمت فولاد ابزار مطلوب مشتری } i \text{ ام - گرانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری } i \text{ ام}}{\text{ارزانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری } i \text{ ام - گرانترین فولاد ابزار مطلوب مشتری } i \text{ ام}}$$

(۷)

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

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

(۸)

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

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	۱	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۱	۰/۵۴۷۷	دوم
۱۳	۲	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۱	۰/۵۴۷۷	دوم
۱۳	۳	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۱	۰/۵۴۷۷	دوم
۱۴	۱	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	۰/۵	سوم
۱۴	۲	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	۰/۵	سوم
۱۴	۳	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	۰/۵	سوم
۱۴	۴	IASC2344	۰/۵	۰/۸۶۸۶	۰/۹	۰/۵	سوم
۱۶	۱	IASC2367	۰/۸۰۸	۰/۹۵۶۲	۱	۰/۸۰۸	اول

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

$$F_i(Gj) = 0 \Rightarrow F_{fi}(Gj) = 0 \quad (9\text{-}1)$$

$$F_i(Gj) \neq 0 \Rightarrow F_{fi}(Gj) = (B_{1i} \times F_i(Gj)) + (B_{2i} \times F_{pi}(Gj)) \quad (9\text{-}2)$$

(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.

ردیف	حالت بازگشت	نام فولاد	درجه نهایی مطلوبیت فولادابزار مطلوب برای مشتری اول F_{f1}			درجه نهایی مطلوبیت فولادابزار مطلوب برای مشتری دوم F_{f2}			درجه نهایی مطلوبیت فولادابزار مطلوب برای مشتری سوم F_{f3}			کمینه درجات نهایی مطلوبیت فولادابزار مطلوب برای هر سه مشتری			اولویت‌ها		
			درصد افزایش قیمت فولادابزار IASC2367 حالت ۱ بازگشت														
			٪۰	٪۱۸	٪۴۴	٪۰	٪۱۸	٪۴۴	٪۰	٪۱۸	٪۴۴	٪۰	٪۱۸	٪۴۴	برای مشتری سوم	برای مشتری دوم	برای مشتری اول
۱۳	۱	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۵۴۷۷	۰/۷۲۴۶	۰/۸۸۳۴	۰/۸۸۳۴	۰/۸۹۳۲	۰/۹۷۱	۰/۹۹۵۸	۰/۸۹۳۲	۰/۵۴۷۷	۰/۵۴۷۷	۰/۷۲۴۶	دوم	دوم	اول
۱۳	۲	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۵۴۷۷	۰/۷۲۴۶	۰/۸۸۳۴	۰/۸۸۳۴	۰/۸۹۳۲	۰/۹۷۱	۰/۹۹۵۸	۰/۸۹۳۲	۰/۵۴۷۷	۰/۵۴۷۷	۰/۷۲۴۶	دوم	دوم	اول
۱۳	۳	IASC2343	۰/۵۴۷۷	۰/۵۴۷۷	۰/۷۲۴۶	۰/۸۸۳۴	۰/۸۸۳۴	۰/۸۹۳۲	۰/۹۷۱	۰/۹۹۵۸	۰/۸۹۳۲	۰/۵۴۷۷	۰/۵۴۷۷	۰/۷۲۴۶	دوم	دوم	اول
۱۴	۱	IASC2344	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۸۷۹۵	۰/۹	۰/۹۶۹	۰/۸۷۹۹	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	سوم	سوم	دوم
۱۴	۲	IASC2344	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۸۷۹۵	۰/۹	۰/۹۶۹	۰/۸۷۹۹	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	سوم	سوم	دوم
۱۴	۳	IASC2344	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۸۷۹۵	۰/۹	۰/۹۶۹	۰/۸۷۹۹	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	سوم	سوم	دوم
۱۴	۴	IASC2344	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	۰/۸۶۸۶	۰/۸۶۸۶	۰/۸۷۹۵	۰/۹	۰/۹۶۹	۰/۸۷۹۹	۰/۵	۰/۵	۰/۶۹۴۸	سوم	سوم	دوم
۱۶	۱	IASC2367	۰/۸۰۸	۰/۵۵۴۸	۰/۵	۰/۹۵۶۲	۰/۸۸۵۷	۰/۸	۱	۱	۰/۸	۰/۸۰۸	۰/۵۵۴۸	۰/۵	اول	اول	سوم

استنتاج مطلوبترین فولاد ابزار برای مشتری یا مشتری‌ها

همانطور که در جدول (۳) نشان داده شده است در این تحقیق برای سه مشتری که هرکدام 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، کمینه درجات 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.

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 (۹-۲) 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

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 نتیجه‌گیری

از مطالب گفته‌شده و جداول (۳)، (۴) و (۵) نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- نیکل و منگنز در محدوده مشخصی روی چقرمه‌گی فولاد ابزار مؤثرند [۳،۲،۱]. 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 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. چراکه فولادهای ابزار در جدول (۴) بر اساس مطلوب‌بودن برای مشتری‌ها از صفر تا یک درجه‌بندی 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، IASC 2080 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

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 قسیمی)، "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 steresses 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].

$$\text{erf}(z)=\frac{۲}{\sqrt{\pi}}\sum_{n=۰}^{\infty}\frac{(-۱)^n z^{(۲n+۱)}}{n!_x(۲n+۱)} \quad ، \quad \text{erf}(-z)=-\text{erf}(z) \quad ، \quad z\geq ۳ \quad \text{یا} \quad z\leq -۳ \Rightarrow \text{erf}(z)=۱$$

۲- مقدار میانگین و انحراف معیار از رابطه زیر محاسبه می‌شود که x مقدار متغیّر مشخصه فنی k ام فولاد ابزار jام 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 j ام هستند.

$$\bar{X}_{(j,k)}=\frac{\sum_{p=۱}^{n} X_p}{n} \qquad k=۲،۳،۴$$

$$S_{(j,k)}=\sqrt{\frac{\sum_{p=۱}^{n}(\bar{X}_{(j,k)}-X_p)^۲}{n-۱}} \qquad k=۲،۳،۴$$

۳- اگر c, b, a و غیره درجات عضویت یک عضو به ترتیب در مجموعه‌های C, B, A و غیره باشد. t درجه عضویت ترکیب آنها است [۸ و ۷].

کمینه =t ,(a, b, c, ...) عملگر"و" , قانون عطف منطق شلال

بیشینه =t , (a, b, c, ...) عملگر"یا" , قانون فصل منطق شلال