

## انتخاب اتوماتیک فرایند و تکنولوژی جوشکاری با استفاده از نرم افزار WELD-EXP.

الیاس حدادی<sup>۱</sup>، محمدرضا شبگرد<sup>۲</sup>  
Elyes\_haddadi@yahoo.com

### چکیده

طی چند دهه اخیر تغییر الگوی مصرف، تنوع و تجددطلبی مصرف کنندگان، تعدد تولیدکنندگان و رقبا، تحولات و نوسانات سریع بازار، لزوم افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید را با استفاده از پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ضروری ساخته است. در این رابطه یکی از راه‌حل‌های ممکن جهت افزایش کیفیت و بهره‌وری استفاده از امکانات نرم‌افزاری در پیاده‌سازی سیستم‌های تولیدی می‌باشد. هدف این مقاله، انتخاب اتوماتیک فرایند و تکنولوژی جوش با استفاده از نرم‌افزار WELD-EXP می‌باشد. در این نرم‌افزار تجارب و دانسته‌های افراد ماهر و خبره، بصورت قواعد و قوانین (Rule) در قالب یک سیستم خبره (Expert System)، پایگاه دانش (Knowledge Base) را تشکیل می‌دهد. این نرم‌افزار پس از تبادل اطلاعات و دریافت داده‌های مورد نیاز از کاربر، با بررسی و تجزیه و تحلیل لازم، بهترین فرایند یا فرایندهای جوشکاری را انتخاب و پیشنهاد می‌نماید و در نهایت جدول دستورالعمل جوشکاری (Welding Process Specification (WPS)) را پس از تأیید کاربر تکمیل و ارائه می‌کند. و بدین طریق موجب صرفه جویی در وقت و هزینه‌های ساخت و تولید قطعات می‌گردد.

### کلیدواژه:

سیستم خبره - پایگاه دانش - مشخصات فرایند جوشکاری - انتخاب فرایند

## The choice of automatic welding process and technology by using WELD-EXP. software

E. Haddadi<sup>1</sup>; M. R. Shabghard<sup>2</sup>

1. Instructor, Technical Higher Education Center of Tabriz
2. Head of Industrial Engineering Group, Mechanical Engineering Department, Tabriz University  
Elyes\_haddadi@yahoo.com

### Abstract

During last ten years, change of consumption pattern, variety and modernity of consumers, variety of producers and competitors, changes and vacillation rates, cause developing and decreasing the amounts of produce expenses by using hardware and software progressing, which are so important. In this respect, one of the possible solutions to increase the quality and enjoy the use of software possibilities is to perform producing systems. The aim of this article is to choose, automatic process and welding technology by using WELD-EXP. software. In this software, experience and knowledge of skilled men and expert form the rules in the expert system and knowledge base. After interchange of information and receive the necessary data from user, this software by studying and analyzing necessary instances, choose and suggest the best welding process or processes. Finally, the users confirm and complete it and present the welding process specification (WPS). Therefore, this way is time-consuming and save the expense of making and producing of weldments.

### Keywords:

Expert System; Knowledge Base; Welding Process Specification; Process Selection

<sup>۱</sup> عضو هیات علمی گروه مکانیک مرکز آموزش عالی فنی تبریز

<sup>۲</sup> عضو هیات علمی گروه مکانیک دانشگاه تبریز

فرایند (Computer Aided Process Planning (CAPP) استفاده شود [۱]، [۲]، [۳]، [۴]. در این بررسی نرم افزار WELD-EXP عمل انتخاب فرایند جوشکاری را در دو مرحله به شرح زیر انجام می دهد.

## ۱-۲- انتخاب فرایند یا فرایندهای مناسب

در این مرحله نرم افزار براساس حقایق (Facts) موجود که در قالب جداول مربوط به مشخصات و پارامترهای طراحی محصول (Product Design Attributes)، مشخصات فرایند، نوع محصول، مشخصات مواد و ضخامت قطعه کار می باشد، و با استفاده از سولاتی که از کاربر می پرسد (شکل ۱)، با آتش (Fire) نمودن قواعد و قوانین پایگاه دانش، فرایندهایی را انتخاب می نماید که در برگزیده تمامی مشخصات محصول مورد نظر است. همچنین در این مرحله جهت تعیین رابطه بین وضعیت جوشکاری، نوع اتصال و ... با نوع فرایند، از دانش موجود در جداول و قواعد و قوانین پایگاه دانش، استفاده می شود (جداول ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶).

## ۲-۲- انتخاب بهترین فرایند از میان فرایندهای انتخابی

اگر در مرحله انتخاب فرایند، چندین نوع فرایند جوشکاری مناسب انتخاب گردد، جهت انتخاب بهترین فرایند از بین فرایندهای انتخابی این بخش از برنامه فعال می شود. در این بخش از نرم افزار با توجه به داده های موجود در پایگاه دانش و با پرسیدن سولاتی از کاربر در ارتباط با امکانات و تسهیلات موجود، قابلیت در دسترس بودن تجهیزات و ... هزینه های هر کدام از فرایندها را محاسبه و در نهایت فرایندی که کمترین هزینه تمام شده را دارد، به عنوان نتیجه تحلیل انتخاب و ارائه می نماید. در این مرحله از روابط مختلفی از جمله رابطه زیر جهت انتخاب بهترین فرایند استفاده می شود [۲]، [۴]، [۵].

$$C = \left[ \frac{C_m}{1-f} + C_w \right] + \left[ \frac{C_T}{n} \right] + \left[ \frac{C_L}{n} \right] \quad [1]$$

C: هزینه تمام شده فرایند به ازاء یک قطعه کار

C<sub>m</sub>: هزینه مواد اولیه مصرفی از قبیل هزینه الکتروود مصرفی، گاز

مصرفی و ... به ازاء یک قطعه کار

C<sub>w</sub>: هزینه انرژی مصرفی به ازاء یک قطعه کار

C<sub>T</sub>: هزینه ابزار و تجهیزات

C<sub>L</sub>: هزینه های سربار

n: نرخ تولید در واحد زمان

f: هزینه ضایعات

در صورتیکه تنها یک فرایند در مرحله نخست انتخاب شود نیازی به تحلیل هزینه در این مرحله نمی باشد بلکه فرایند انتخابی مرحله اول به عنوان مناسب ترین فرایند به کاربر معرفی می گردد.

## ۱- مقدمه

سیستم خبره بخشی از فرایند اتوماتیک سازی هوشمندانه پروسه ها می باشد که ما به عنوان هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) از آن یاد می کنیم. زمانی که جان مک کارتی در سال ۱۹۶۰ در انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) زبان لیسپ (Lisp) را بوجود آورد، اولین گام به سوی سیستم خبره بود. از آن تاریخ به بعد سیستم های خبره مختلفی در زمینه های متفاوت از جمله OPS5، EMYCIN، EXPERT، ROSIE، XI-PLUS، CMS و ... ایجاد و مورد استفاده قرار گرفته اند [۱]-[۲]. یک سیستم خبره شامل پوسته (Shell) یا زبان مهندسی دانش (Knowledge Engineering Language) و پایگاه دانش (Knowledge Base) می باشد. پوسته شامل موتور استنتاج (Inference Engine)، قسمت رابط بین سیستم و استفاده کننده (User Interface)، بانک اطلاعات کاری (Working Database) و امکانات توضیح (Explanation Facilities) است، ولی فاقد پایگاه دانش می باشد. پوسته زمانی به عنوان سیستم خبره مورد استفاده قرار می گیرد که پایگاه دانش آن تکمیل گردد. در پایگاه دانش از روش های مختلفی جهت ارائه دانش استفاده می شود، متداولترین روش ها عبارتند از سیستم های تولیدی (Production Systems)، سیستم های قابی (Frame Systems)، سیستم های منطقی (Logic Systems) و شبکه های مفهومی (Semantic Nets) می باشند [۱].

در این بررسی با استفاده از پوسته VPX، اطلاعات و داده های جوشکاری که پایگاه دانش برنامه را تشکیل می دهند نرم افزاری جهت انتخاب فرایند تکنولوژی جوشکاری طراحی و تهیه گردیده و در یک واحد صنعتی<sup>۱</sup> جهت انتخاب فرایند ساخت قطعات مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب دقیق و آسان فرایند جوشکاری و پارامترهای آن آزمایشی اصلی این نرم افزار می باشد.

## ۲- انتخاب فرایند جوشکاری

در سیستم های سنتی انتخاب فرایند جوشکاری معمولاً مبتنی بر تجربیات افراد خبره می باشد. از معایب عمده این روش این است که، ممکن است به علل مختلف از جمله تنوع پارامترها، خسته بودن فرد خبره و ... نکات جدید و مهم در انتخاب فرایند فراموش گردد. لذا امروزه سعی می گردد از سیستم های خبره جهت انتخاب اتوماتیک

۱- نتایج حاصل از این نرم افزار در شرکت توسعه و گسترش صنعت آذربایجان مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۳- دستورالعمل جوشکاری (WPS)

قبل از هر فرایند جوشکاری باید دستورالعمل جوشکاری مخصوص آن فرایند تهیه گردد. دستورالعمل جوشکاری، یک روش کنترلی جهت تضمین صحت روش جوشکاری و تضمین کننده سلامتی جوش در یک فرایند جوشکاری مشخص می باشد [۶]. این دستورالعمل در بردارنده مشخصات فلز پایه، فلز پرکننده، آماده سازی درز، موقعیت جوشکاری، روش و تکنیک جوشکاری و جریان الکتریکی است. همچنین شرایطی نظیر مشخصات جریان الکتریکی، اندازه الکتروود، سرعت جوشکاری، درجه حرارت پیش گرمایش، درجه حرارت بین پاس ها و درجه حرارت پس گرمایش نیز در این دستورالعمل ارائه می گردد [۶]، [۷]، [۸] (جدول ۷).

### ۴- نرم افزار WELD-EXP و روش کار آن

نرم افزار WELD-EXP شامل پوسته VPX و پایگاه دانشی است که براساس منابع علمی و تخصصی موجود در زمینه جوشکاری و با استفاده از تجارب افراد خبره تهیه گردیده است. این نرم افزار شامل حقایق و قواعد و قوانین مربوط به جوشکاری در قالب سیستم های تولیدی می باشد. روابط، جداول و سوالاتی که از کاربر می شود حقایق پایگاه دانش را تشکیل می دهند و قواعدی که با توجه به تجارب افراد خبره با درجه اطمینان (Confidence Level) مشخصی استخراج شده اند قوانین پایگاه دانش را تشکیل می دهند. به عنوان مثال قاعده شماره ۱۰۰ در صورت آتش شدن، براساس جنس قطعه کار و سایر مشخصات آن الکتروود AWS-E6020 را با درجه اطمینان ۹۰٪ انتخاب می نماید.

```
RULE 100
IF MAT=STEEL AND
CARBON - EQUIVALENT >0.0 AND
CARBON - EQUIVALENT <0.25 AND
QUALITY LEVEL = Acceptable quality AND
THICK >=5 AND
THICK <80
THEN ELECTRODE - STANDARD= AWS-E6020
CNF 90
ELECTRODE - STANDARD= AWS-E6027 CNF 80
```

کار نرم افزار با پرسیدن سوالات تخصصی از کاربر شروع می شود. جواب های کاربر یا از طریق منوهای مناسب انتخاب گردیده و یا بصورت متغیر عددی است. در گام نخست بعد از اتمام سوالات تخصصی، با استفاده از روش استنتاج پیش رونده، فرایند و یا فرایندهای مناسب جوشکاری انتخاب می گردد. در گام بعدی نرم افزار با پرسیدن سوالاتی در ارتباط با هزینه های هر کدام از فرایندها، پایگاه دانش را تکمیل نموده و براساس تحلیل هزینه های مربوط به مواد

اولیه، هزینه های سربار، ضایعات و ...، از بین فرایندهای انتخابی بهترین فرایند را انتخاب می نماید. مرحله سوم نرم افزار، تکمیل و ارائه جدول دستورالعمل جوشکاری می باشد. فلوچارت شکل (۲) الگوریتم نرم افزار WELD-EXP را نمایش می دهد. به عنوان مثال جهت انتخاب فرایند و تکنولوژی جوشکاری مخزن ضربه گیر سیستم هیدرولیک کمباین که در شکل (۳) نمایش داده شده است از این نرم افزار استفاده شده است. جهت جوشکاری این قطعه با توجه به شکل آن یک مکانیزم مخصوص طراحی شده است. این مکانیزم مثل ماشین تراش، قطعه کار را در حین جوشکاری قسمت B دوران داده و نازل جوشکاری مشعل را مثل ابزار در بالای درز جوش ثابت نگه می دارد و جهت جوشکاری قسمت A قطعه کار ثابت نگه داشته شده و نازل جوشکاری ابزار با سرعت پیشروی ثابت حرکت خطی خواهد کرد.

جهت انتخاب نوع فرایند جوشکاری و ارائه جدول WPS طبق الگوریتم نشان داده شده در شکل (۲)، ابتدا براساس مشخصات قطعه کار از قبیل جنس قطعه کار (فولاد کم کربن)، ضخامت قطعه کار (پنج میلیمتر)، نوع اتصال (لب به لب)، وضعیت جوشکاری (تخت)، روش جوشکاری (اتوماتیک) و سطح کیفیت (قابل قبول)، MIG/MAG به عنوان مناسب ترین روش های جوشکاری انتخاب گردیدند و با توجه به اینکه هر دو روش جوشکاری کیفیت قابل قبولی را ارائه می دهند، لذا بخاطر ارزان بودن گاز CO<sub>2</sub> (که قیمت آن حدوداً یک سوم قیمت گاز آرگون می باشد) از روش جوشکاری MAG استفاده می شود.

### ۵- نتیجه

افزایش دقت، سرعت، کیفیت و رقابت در تولید، همزمان با لزوم کاهش هزینه ها، تولیدکنندگان را مجبور نموده است جهت رسیدن به تولید اقتصادی، حداکثر تلاش خویش را به منظور نیل به اتوماسیون و بهره مند شدن از مزایای آن بکار گیرند. در این میان بخاطر وابستگی بیشتر صنعت جوشکاری به تجربیات افراد خبره، تدوین اتوماتیک فرایند و دستورالعمل جوشکاری از اهمیت خاصی برخوردار می باشد که می بایست مورد توجه خاص صاحبان صنایع و تکنولوژی قرار گیرد. در این بررسی، نرم افزار WELD-EXP در راستای نیل به اتوماسیون و انتخاب اتوماتیک فرایند و دستورالعمل جوشکاری تهیه و مورد بهره برداری قرار گرفته است. نرم افزار فوق در مراحل اولیه طراحی بوده و لازم است به تدریج کاملتر گردد، تبدیل مقادیر کیفی به کمی و توسعه و تکمیل جدول دستورالعمل جوشکاری (WPS)، استفاده از منطق فازی و شبکه های عصبی جهت پیش بینی درجه اطمینان برای تمامی فرایندها از مواردی است که می تواند در مراحل توسعه نرم افزار مورد توجه قرار گیرد. کاربرد این نرم افزار در صنعت،

نشان می‌دهد که عمل انتخاب فرایند و ارائه جدول دستورالعمل جوشکاری توسط سیستم خبره WELD-EXP از جنبه سرعت، کیفیت و دقت نسبت به روش‌های سنتی و تجربی از ارجحیت فوق العاده‌ای برخوردار است. همچنین با توجه به کمبود اطلاعات تجربی در زمینه جوشکاری، ضروری به نظر می‌رسد اطلاعاتی که مبتنی بر تجربه افراد خبره می‌باشد (مخصوصاً در ارتباط با جدول دستورالعمل جوشکاری) در فرایندهای MIG و TIG کاملتر شود.

جدول (۱): انتخاب فرایند بر اساس جنس قطعه کار [۴]-[۷]

Material Types	Low carbon steel	Medium carbon steel	High carbon steel	Cast iron	Copper	Stainless steel	Alloy stel
Groups of Welding Process							
Cold welding					×		
Diffusion welding							
Explosion welding	×	×	×		×		
Friction welding	×	×	×		×	×	×
Ultrasonic welding	×	×	×		×		
Forge welding	×	×	×				
Hot pressure welding							
Induction butt	×	×	×		×		
Plasma	×	×	×		×	×	
Gas welding	×	×	×	×	×	×	
Brazing	×	×	×	×	×	×	
Soldering	×	×	×		×	×	
Thermit	×	×	×	×	×	×	×
Seam welding	×					×	×
Falsh welding	×			×	×	×	×
H. f. resistance	×					×	×
Electro-slag	×	×	×				
Projection	×						×
Percussion							
Spot welding	×	×	×		×	×	
Stud arc	×	×				×	×
Plasma arc	×	×	×		×	×	×
Carbon arc	×				×		
Submerged arc welding	×	×	×			×	
Shielded metal arc(MMA)					×		
Flux cored arc	×	×	×			×	
Gas metal arc(MIG/MAG)	×	×	×			×	
Gas tungsten arc(TIG)	×	×	×		×	×	×
Laser beam	×	×	×	×	×	×	×
Electron beam	×	×	×	×	×	×	×

جدول (۲): انتخاب فرایند بر اساس ضخامت قطعه کار [۴]-[۷]-[۸]

Material Thickness	...								
	...1-1.5	1.5-3	3-6	6-10	10-12	12-15	15-25	25-30	30-38mm...
Groups of Welding Process									
Shielded metal arc(MMA)		×	×	×	×	×			
Gas metal arc(MIG/MAG)			×	×	×	×	×	×	×
Gas tungsten arc(TIG)	×	×	×	×					
Submerged arc welding				×	×	×	×		
Electro-slag								×	×
...									

جدول (۳): انتخاب فرایند بر اساس نوع اتصال [۴]-[۷]

Joint Types	...				
	Butt	Comer	Tee	Lap	Edge
Groups of Welding Process					
Shielded metal arc(MMA)	×	×	×	×	×
Gas metal arc(MIG/MAG)	×	×	×	×	×
Gas tungsten arc(TIG)	×	×	×	×	×
Submerged arc welding	×	×	×		
Electro-slag	×	×	×		
...					

جدول (۴): انتخاب فرایند بر اساس وضعیت جوشکاری [۴]-[۷]

Welding Position	...			
	Flat	Horizontal	Vertical	Overhead
Groups of Welding Process				
Shielded metal arc(MMA)	×	×	×	×
Gas metal arc(MIG/MAG)	×	×	×	×
Gas tungsten arc(TIG)	×	×	×	×
Submerged arc welding	×	×	×	×
Electro-slag	×	×	×	×
...				

جدول (۵): انتخاب فرایند بر اساس درجه اتوماسیون [۴]

Methods of Use	...		
	Manual	Semi-automatic	Automatic
Groups of Welding Process			
Shielded metal arc(MMA)	×		×
Gas metal arc(MIG/MAG)	×	×	×
Gas tungsten arc(TIG)	×	-	-
Submerged arc welding	×	×	×
Electro-slag	×		
...			

جدول (۶): سطح کیفیت هر فرایند [۴]

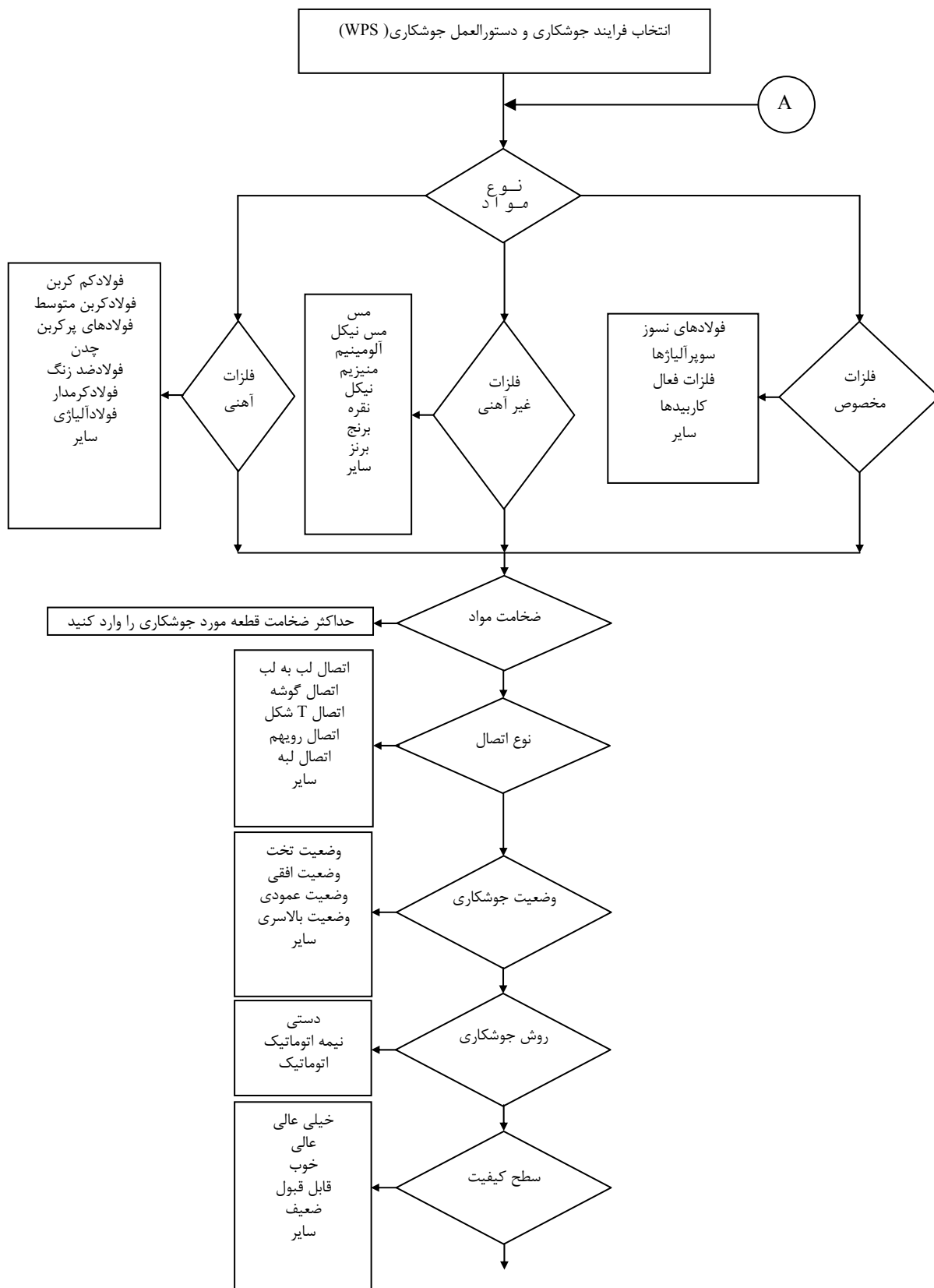
Quality Levels	Very high quality	High quality	Good quality	Acceptabl quality	Poor quality
Shielded metal arc(MMA)				×	×
Gas metal arc(MIG/MAG)				×	×
Gas tungsten arc(TIG)				×	×
Submerged arc welding				×	×
Electro-slag		×	×		
...					

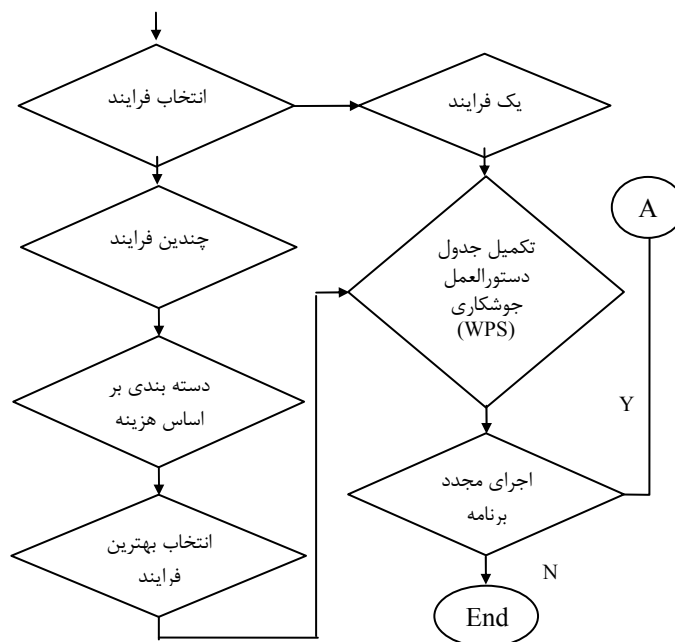
جدول (۷): جدول دستورالعمل جوشکاری [۹]

Typical Procedure Sheet for Manual Welding									
Order No:		Drawing No:		Sheet No:		Joint Ref:			
Process: MAG					Material: Low Carbon Steel				
Joint Preparation 					مخزن ضربه گیر سیستم هیدرولیک کمباین				
Welding Conditions									
Electrode	Consumable	Pass No.	Electrode Size (mm)	Filler Diam. (mm)	A.C. or Polar.	Amps	Volts	Wire Feed Speed M/min	Position
Specification	Filler NO: 5356	1	2.4	2.4	A.C.	350	40	4 - 6	F
Drying Method N.A.	Shielding Gas CO <sub>2</sub>	Flow Rate 7 Lit./min			Fluxe N.A.	Cleaning Vapour Degrease			
Preheat: None		Inspection							
Interpass Temperature None		Standard			Customer Specification			Method	
Post Heat None		Inspecting Authority			Customer's Representative			Visual	<input checked="" type="checkbox"/>
								Ultrasonic	<input type="checkbox"/>
								Dye Penetrant	<input checked="" type="checkbox"/>
								Magnetic Particle	<input type="checkbox"/>

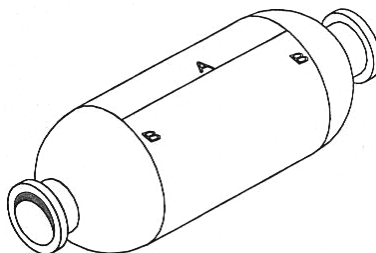
ASK MAT: "WHAT TYPE OF MATERIAL?";  
 MAT CHOICES: STEEL, CASTIRON;  
 ASK THICK: "WHAT IS THE MATERIAL THICKNESS mm?";  
 ASK WORKING- TEMPRATURE: "WHAT IS THE WORKING TEMPRATURE c?";  
 ASK C: "WHAT IS THE QUANTITY OF CARBON?";  
 ASK CR: "WHAT IS THE QUANTITY OF CHROMIUM?";  
 ASK MN: "WHAT IS THE QUANTITY OF MANGANESE?";  
 ASK MO: "WHAT IS THE QUANTITY OF MOLYBDENUM?";  
 ASK NI: "WHAT IS THE QUANTITY OF NICKEL?";  
 ASK TENSILE STRENGTH: "HOW MUCH TENSILE STRENGTH N/mm<sub>2</sub>?";  
 ASK QUALITY\_REQUIRMENT: "QUALITY\_REQUIRMENT:";  
 QUALITY\_REQUIRMENT CHOICES: GOOD, VERY\_GOOD, EXCELENT;  
 ASK STEEL\_GRADE: "TYPE OF STEEL\_GRADE?";  
 STEEL\_GRADE CHOICES: AISI , 301 , 302 , 304 , 308 , 321 , 347 , 304L , 316 , 318, ASTM, A203A, A203D, A302A, A302C, A302D, A353, A553, A533B, A537B, A543, A514, A517, NONE:

شکل (۱): نمونه‌ای از سوالات درخواستی از کاربر





شکل (۲): نمودار انتخاب فرایند و جدول دستورالعمل جوشکاری (WPS)



شکل (۳): مخزن ضربه گیر سیستم هیدرولیک کمباین

- [6] RONALD E. GIACHETTI "A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MATERIAL AND MANUFACTURING PROCESS SELECTION" THE JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING, 2002.
- [7] DR. R. S. PARMAR "WELDING ENGINEERING AND TECHNOLOGY" KHANNA PUBLISHERS 1999.
- [8] O. P. KHANNA "A TEXT BOOK OF WELDING TECHNOLOGY" DHANPAT RAI PUBLISHERS 2001.
- [9] LM GOURD "PRINCIPLES OF WELDING TECHNOLOGY" KHANNA PUBLISHERS, THIRD EDITION, 1998.

## ۶- مراجع

- [1] DONALD A. WATERMAN "A GUIDE TO EXPERT SYSTEMS" ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY 1986.
- [2] A. M. K. ESAWI AND M. F. ASHBY "THE DEVELOPMENT AND USE OF A SOFTWARE TOOL FOR SELECTING MANUFACTURING PROCESSES AT THE EARLY STAGES OF DESIGN" PROCEEDING OF THE THIRD BIENNIAL WORLD CONFERENCE ON (IDPT), BERLIN, GERMANY, 1998, VOLUME 3, PP 210-217.
- [3] S. FRIEDRICH AND M. GARGANO "EXPERT SYSTEMS DESIGN AND DEVELOPMENT" JOHN WILEY & SONS, INC. 1989.
- [4] S. M. DARWISH, A. ALTAMIMI AND S.AL-HABDAN "A KNOWLEDGE BASE FOR METAL WELDING PROCESS SELECTION" INT. J. MACH. TOOLS MANUFACT. VOL. 37, NO. 7, PP. 1007-1023, 1997.
- [5] A. M. K. ESAWI AND M. F. ASHBY "COST- BASED RANKING FOR MANUFACTURING PROCESS SELECTION" PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON (IDMME'98) FRANCE, 1998, VOL 4, PP 1001-1008.