

استاندارد سازي جوش مقاومتی نقطه ای

تیم سرپرستی :

سرپرست علمی : دکتر امیر حسین کوبی (دانشگاه صنعتی شریف / دانشکده مهندسی و علم مواد)

سرپرست اجرایی : مهندس کاظم مجید نسب (معاونت اجرایی خودرو سواری / مدیریت بدنه سازی)

سرپرست تخصصی : مهندس محمدرضا دهقانی

تیم دانشجویی :

مهیار اسدی / کارشناسی ارشد / مهندسی علم و مواد

سید حسین میر باقری / کارشناسی ارشد / مهندسی علم و مواد

محسن دانایی / کارشناسی / مهندسی علم و مواد

پروژه استاندارد سازي جوش مقاومت نقطه ای گان شماره 38 و 39 خط تولید بدنه

چکیده :

در این تحقیق ابتدا مقدار استحکام جوش برشی که یک تست عملکردی جوش با گستردگی کاربرد بالا بوده و بیانگر میزان قابلیت جوش در تحمل نیروهای اعمالی روی جوش می باشد ، به عنوان پاسخ رفتار سیستم در خروجی فرایند شکل گیری جوش نقطه ای ، در نظر گرفته می شود و چون وجود قابلیت پیاده سازی نتایج روی خط تولید ایران خودرو لازم است لذا ابتدا شرایط خط تولید بدنه با شرایط آزمایشگاه بررسی می گردد و ارتباط آنها مشخص می گردد . سپس با مشخصه استحکام برشی ، عوامل اثر گذار روی آن شناسایی و دسته بندی می گردند . از بین این عوامل، پارامترهای دستگاه جوش مقاومت نقطه ای انتخاب و مابقی عوامل ثابت در نظر گرفته می شود . در ادامه برای هر یک از این متغیرها محدوده تغییرات مجاز ، تعیین شده و برای مدل کردن رفتار استحکام نسبت به تغییرات این فاکتورها از یک ماتریس کسر عاملی کامل با سه سطح برای هر متغیر در محدوده مجاز آنها که ابتدا تعیین شده بود ، استفاده شده و نهایتاً استحکام برشی بصورت یک تابع از این متغیرها که شامل اثرات اصلی و متقابل توان های اول و دوم ، آنها می باشد ، حاصل می آید ، نتایج حاصل مورد تحلیل قرار می گیرد و نهایتاً یک حالت بهینه برای متغیرها پیشنهاد می گردد .

کلمات کلیدی : جوش مقاومت نقطه ای (Spot Resistance Welding) ، استحکام

(Strength) ، متغیرهای جوشکاری (Parameters Of Welding) ، سختی

(Hardness) ، ساختار جوش (Structure Of Weld) ، طراحی آزمایشات

(Design Of Experiment) و...

1) مقدمه

جوشکاری مقاومتی آن دسته از عملیات جوشکاری را در بر می گیرد که در آنجا محل جوش با گرم کردن سطوح تماس رویهم قرار گرفته بوسیله عبور جریان همراه فشردن آنها با فشار خارجی زیاد ، انجام می شود . مقدار حرارتی که در سطوح تماس قطعات تولید می شود بوسیله قانون ژول محاسبه و تعیین میگردد [1].

$$Q_{(j)} = RI^2 t$$

که در آن μ : راندمان ، R مقاومت بر حسب اهم ، I جریان بر حسب آمپر و t زمان عبور جریان بر حسب ثانیه است .

ماشینهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای که گسترده ترین کاربرد را دارند ، هم بصورت دستی و هم خودکار استفاده می گردند و همچنین قابلیت‌های برنامه ریزی نحوه اعمال جریان ، فشار و ... نیز برای آنها ایجاد می گردد . دستگاههای نقطه جوش با شدت جریانی حداقل 120 A در ازای هر میلیمتر مربع ، ولتاژ ثانویه 1 تا 12 ولت و فشاری 2 تا 12 کیلوگرم بر میلیمتر مربع ساخته و استفاده می گردند. [1]

2) روش تحقیق

یک نقطه جوش علاوه بر این که می بایست از نظر ظاهری و با توجه به محل قرار گیری از دید زیبایی و یا عملیات تکمیلی مثل رنگ و لعاب و ... دارای یک سری ویژگی‌هایی باشد تا قابل قبول گردد ، باید خواص مکانیکی مورد نیاز را نیز تامین کند . اینگونه خواص در شکل‌های مختلف به عنوان تست نقطه جوش مطرح و اندازه گیری می گردد .

در این تحقیق بطور اخص رفتار مکانیکی جوش را با تست کشش سه تایی از نوع برش در جوش با ترتیب قرار گیری مشابه طرح اتصال خط تولید (شکل 1) تحلیل و بررسی شده .

ماده اولیه مورد استفاده با توجه به کاربرد بالا در صنایع مختلف ، از نوع فولاد $st-14$ (معادل $A620$ یا 1008 در استاندارد $ASTM/SAE/AISI$ با $0/08$ درصد کربن می باشد).

الکتروود مورد استفاده از نوع کلاس A استاندارد $ASTM$ [1] با قطر متوسط معادل 7 mm و از جنس آلیاژ مس حاوی کرم ، می باشد .

تجهیزات اصلی مورد استفاده یک دستگاه جوش مقاومت نقطه ای با قابلیت برنامه ریزی نحوه اعمال متغیرها و یک دستگاه کشش برای انجام تست‌های جوش می باشد . شرایط کشش تحت سرعت کرنش ثابت 1 cm/min و مقادیر ثبت شده به عنوان استحکام ماکزیم نیروی تحمیلی جوش پس از پارگی یا شکست می باشد .

با توجه به اینکه هدف بررسی رفتار استحکام برشی جوش با تغییر متغیرها می باشد. متغیرهایی که نحوه اثرگذاری آنها روی استحکام بررسی می شوند عبارتند از: جریان جوشکاری، فشار جوشکاری و زمان جوش و چون این متغیرها دارای اثرات همزمان می باشند لذا بررسی اثرگذاری هر یک از این متغیرها به تنهایی روی خروجی صحیح نمی باشد و برای بدست آوردن مدل تحلیلی رفتار استحکام جوش یا تغییر متغیرها که در آن اثرات متقابل و همزمان پارامترها با هم نیز دخیل باشد، استفاده از ماتریسهای آزمایشات طراحی شده خاص¹ (DOE) [3] می باشد.

برای این منظور چهار مرحله کلی لازم است که در این پروژه نیز بدین منوال عمل گردیده:

مرحله اول) تعیین شرایط آزمایشگاه و خط تولید

مرحله دوم) تعیین محدوده مجاز تغییرات متغیرها

مرحله سوم) بدست آوردن مدل

مرحله چهارم) صحت گذاری مدل

در این تحقیق کلیه محاسبات آماری و طراحی ماتریس آزمایشات با کمک نرم افزار قدرتمند و تخصصی Echip Ver.6.4 و همکاری متخصصین این امر در شرکت خدمات علمی صنعتی تهران² صورت گرفته است.

(3) نتایج

3-1) تعیین شرایط آزمایشگاه و خط تولید

با توجه به اینکه هدف بکارگیری نتایج حاصل از این تحقیق روی خط ایران خودرو می باشد لذا لازم است شرایط آزمایشگاه و خط شناسایی و ارتباط آنها جهت قابلیت تعمیم نتایج معلوم گردد.

برای این منظور روی دو گان شماره 38 و 39 تحت شرایط جدول 1 از خط ایران خودرو 6 نمونه کششی تهیه و تست کششی روی آنها انجام گردید (قطر الکترودها ثابت و برابر 7 mm)

با تحلیلهای صورت گرفته روی این نتایج به عنوان نمونه هایی از یک جامعه نرمال تولید خط ایران خودرو مقدار متوسط و انحراف معیار به شرح جدول 2 می باشد با توجه به مقدار متوسط ولتاژ 2/2 ولت در دستگاه جوشکاری مقاومتی نقطه ای در دانشگاه شرایط ایران خودرو معادل مقادیر بیان شده در جدول 3 برای دانشگاه می باشد.

جهت صحت گذاری ضریب 2/2 تحت شرایط گان شماره 38 تست کشش انجام شده که متوسط آن برای نتایج آزمایشگاه (سه نمونه) برابر 1300 kg/spot می باشد که تقریباً می توان معادل مقدار استحکام نمونه های خط ایران خودرو دانست.

2-3) تعیین محدوده مجاز تغییرات متغیرها

ابتدایی ترین کار در شروع آزمایشات تعیین محدوده تغییرات متغیرها به معنی تعیین کمیت و بیشینه آنها می باشد. برای این منظور از روشهای مختلف در جهت تعیین هر یک از متغیرها با توجه به ماهیت آنها همراه با قضاوتهای مهندسی، استفاده می گردد که در زیر برای هر متغیر دیده می شود.

متغیرهای فشار از متغیرهای جوشکاری می باشد که وجود آن برای کاهش مقاومتهای ناخواسته مسیر جریان لازم است. ولی از یک حد که افزایش یابد باعث لهیدگی کار و الکتروود میگردد. بنابراین برای این متغیر در استانداردها به تفکیک شرایط مختلف، مقادیر مختلف بیان گردیده و با تقریب قابل قبول بازه 1 تا 3 بار فشار (کمی گسترده تر از ردیف استاندارد) در نظر گرفته می شود.

محدوده متغیرهای جریان و زمان جوشکاری با منحنی Lobe تعیین می گردد. برای رسم منحنی های Lobe در زمانهای ثابت مقادیر جریان از یک مینیمم شروع به افزایش می یابد تا زمانی که یک جوش با کمترین استحکام شکل گیرد (با دست نتوان آنرا جداکرد) این مقدار را به عنوان جریان حداقل ثبت می کنیم، افزایش جریان را ادامه داده تا به یک شرایط نامتعادل در جوش برسیم و با لهیدگی، بیرون زدن ذوب و پاشش مواجه شویم که آنرا به عنوان حد بالای جریان ثبت می کنیم. با این منظور نتایج که در برگیرنده مقادیر جریان و زمان گان های شماره 38 و 39 می باشد. به صورت منحنی در شکل 2 همراه با بهترین منحنی انطباقی دیده می شود.

با توجه به شکل 2 (منحنی Lobe) و این نکته که مقادیر استحکامهای مطلوب در حوالی یک سوم منطقه بین دو خط منحنی Lobe و در طرف خط حد بالایی قرار می گیرد محدوده معقول را برای زمان جوشکاری از 7 تا 15 سیکل و برای جریان جوشکاری از 25 تا 35 KVA % در نظر می توان گرفت.

3-3) بدست آوردن مدل

با توجه به تعداد 3 متغیر و گرفتن سه سطح برای هر یک جهت تقریب غیر خطی روی محدوده در نظر گرفته شده از یک ماتریس طرح عاملی کامل (Full Factorial) شامل 27 آزمایش (3^3) در قالب ماتریس جدول 4 استفاده می گردد که نتایج آزمایشات کشش نیز در جدول 4 لحاظ شده است و همانطور که دیده می شود ترتیب تصادفی انجام آزمایشات وارد گردیده تا اثرات حاصل از دقت تنظیم متغیرها نیز مورد توجه باشد.

سطوح 1و01- متغیرها در جدول 4 به ترتیب برای، جریان (25و30و35)- زمان (7و11و15)- فشار (3و2و1) می باشد.

با تحلیل پراکنندگی (ANOVA) و تحلیل برگشت چند متغیره (Multiple Variable Regresson) این داده ها با نرم افزار Echip Ver.6.4 ، نتایج به شرح جدول 5 حاصل گردید .

ضریب همبستگی تعدیل یافته حاصل برابر 0/977 بوده و از نظر آماری قابل قبول است . این بدین معنی است که مدل منطبق شده به نقاط آزمایش با تقریب قابل قبول ، نتایج واقعی را تخمین می زند که در جدول 6 مقادیر پیش بینی مدل را می توان با مقادیر واقعی مقایسه کرد .

در جدول 5 اگر بجای I مقدار واقعی جریان بر حسب KVA % منهای 30، بجای T مقداری واقعی زمان بر حسب سیکل منهای 11، بجای P مقدار واقعی فشار بر حسب با منهای 2، قرار دهیم و حاصل ستون عوامل را یک به یک در ستون ضرایب ضرب کنیم ، مجموع جبری مقادیر حاصل بعلاوه مقدار ثابت برابر مقدار استحکام جوش بر حسب kg/spot می باشد که بعنوان خروجی پیش بینی مدل در نظر گرفته می شود .

نکته مهم این است که این مدل در محدوده تعریف شده برای متغیرها قابل قبول است و نسبت به مقادیر خارج از محدوده نمی توان اظهار نظر نمود . هر چند ممکن است جواب قابل قبول حاصل آید .

3-4) صحه گذاری مدل

برای اینکه بتوان به مدل فوق اطمینان حاصل نمود چند نمونه به صورت تصادفی بجز مقادیر ماتریس انتخاب کرده و شرایط آنرا در معادله مدل قرار میدهیم و نتیجه مدل را با نتیجه تست واقعی با همان شرایط مقایسه می کنیم که در جدول 7 دیده می شود و مدل نتیجه قابل قبولی در مقایسه با مقادیر واقعی دارد .

4) بحث

برای بررسی از دو نوع گراف استفاده می گردد .
الف) رویه سه بعدی شامل استحکام جوش به عنوان محور عمودی (Z) و دو متغیر جوشکاری به عنوان محور های افقی (Y,X) که به ازای یک مقدار ثابت برای متغیر سوم رسم می گردد.

ب) منحنی های دو بعدی شامل خطوط استحکام ثابت روی صفحه با محورهای شامل متغیرهای جوشکاری به ازای یک مقدار ثابت متغیر سوم

1-4) بررسی منحنی ها و رویه های جریان – زمان

شکل 3 نحوه اثر گذاری جریان و زمان در فشار ثابت 2 بار (مقدار وسط در محدوده) را نشان می دهد . دیده می شود با افزایش جریان از مقادیر کم آن ، با افزایش استحکام روبرو هستیم تا رسیدن به یک حد بالایی که از آن به بعد افت

استحکام رخ می دهد. این امر به دلیل افزایش بیش از حد عمق نفوذ در دگمه جوش و له شدن قطعه کار زیر الکترودها، پدیدار می گردد.

مقادیر جریان برای رسیدن به حداکثر استحکام در زمانهای مختلف، تغییر می کند و دیده می شود با زمان این جریان مربوط به استحکامهای بیشینه به سمت مقادیر کمتر خود میل می کند. اگر بخواهیم اثر زمان را در جریانهای مختلف بررسی کنیم دیده می شود در جریانهای کم افزایش زمان باعث افزایش استحکام می گردد و مانند جریان به یک مقدار بیشینه می رسد. با افزایش مقادیر جریان شیب افزایش استحکام با تغییرات زمان، کاهش می یابد و مقدار بیشینه به سمت مقادیر کمتر جریان میل می کند.

نکته که از خطوط استحکام ثابت دیده می شود فشردگی آنها در مقادیر زمان و جریانهای کم به نسبت زمان و جریانهای بالا می باشد که نشان دهنده حساسیت بالاتر تغییرات استحکام با تغییرات جریان و زمان در مقادیر کم نسبت به مقادیر زیاد، می باشد یا به عبارت دیگر اثر گذاری زمان و جریان روی استحکام با تفرانس بسته تر در زمانها و جریانهای کم به نسبت زمانها و جریانهای بالا.

2-4) بررسی منحنی ها و رویه های جریان - فشار
شکل 25 نحوه اثر گذاری جریان و فشار در زمان ثابت 11 سیکل (مقدار وسط در محدوده) را نشان می دهد. دیده می شود اثر گذاری جریان حالت نرمال دارد و استحکام، با افزایش جریان زیاد می شود. برای فشارهای بالا رسیدن به حالت بیشینه برای استحکام با افزایش جریان ظاهر شده است و افت استحکام با ادامه افزایش جریان را داریم.

3-4) بررسی منحنی ها و رویه های زمان - فشار
با توجه به بررسی های صورت گرفته در قسمتهای قبل اثر این دو متغیر بررسی گردیده ولی برای داشتن شکلهای مربوط به این دو متغیر به ازای مقادیر ثابت جریان KVA30 % شکل 5 را میتوان در نظر گرفت.
نکته مهم این است که افزایش فشار تا یک حد باعث کاهش مقاومتها و ناخواسته مسیر می گردد که استحکام افزایش می یابد ولی از یک حد به بعد افزایش فشار باعث لهیدگی کار و فرورفتن الکترودها می گردد که نازک شدن مقطع کار و افت استحکام داریم.

4-4) بهینه مدل
مفهوم بهینه در داشتن همزمان معیارهای مختلف در حد مطلوب تعریف می گردد در این پروژه نیز رسیدن به یک چیدمان بهینه با توجه به مدل حاصل شامل سه معیار می باشند که عبارتند از:

الف) بیشترین استحکام قابل حصول برای نقطه جوش اتصال
ب) يك منطقه با تفرانس باز تغییرات متغیرها برای قرارگیری در شرایط مطلوب
روی خط تولید که يك استحکام یکنواخت حاصل گردد .
ج) ظاهر مناسب جوش از نظر لهیدگی و فرورفتگی الکترودها
با توجه به این معیارها چیدمانی از مدل استخراج گردیده که کلیه سه معیار فوق را
در حدود قابل قبول خود داراست و این چیدمان برای مقدار جریان برابر 35 KVA
% تقریباً معادل 16 کیلوآمپر ، مقدار زمان برابر 11 سیکل و فشار معادل 1/8 بار
است و استحکامی برابر 1472/67 با حدود 10% ± تفرانس حاصل می گردد .

5) تشکر و قدردانی

هیات نگارنده لازم می داند کمال تشکر و سپاس را از آقای دکتر کوکبی ریاست
محترم دانشکده مهندسی و علم مواد و دیگر اساتید دانشگاه صنعتی شریف ، دست
اندر کاران دانشکده متالورژی خصوصاً آقایان یوسفی و رحیمی ، دوستان و
همکاران شرکت خدمات علمی صنعتی تهران بویژه آقای مهندس شاه محمدی و
سرکار خانم مهندس فضل مشهدی همچنین کلیه عزیزان شرکت رایکا سیستم ابراز
دارد .

6) مراجع

- 1) Metal Hand Book , Vol.6.PP 483-489,1986
- 2) Welding Hand Book , “Spot, Seam and Projection Welding” , vol .2,edition 8, Welding Processes American Welding Society, Miami, Florida PP 532-579, 1996
- 3) Montgomery D.C.,”Design and analysis of Experiments ,” John wiley , New York , 1991
- 4) An American National Standard , ANSI/AWS/SAE/D8.9-97,”Recommended Practices for test Methods for evaluating the Resistance Spot Welding behavior of Automotive Sheet Materials” , AWS, 1997.
- 5) Norme Vehicules, APS, B 131216, “ Resistance Spot Welding quality of Assembly”, Peugeot- Citroen, 1997
- 6) Doty A.W.D, W.J .Childs , “Recommended Conditions for Spot Welding”, Welding Journal , October 1946
- 7) دکتر امیر حسین کوکبی " تکنولوژی جوشکاری " انتشارات جامعه ریخته گران
1373 ،

- (8) اسدي - مهيار " بررسي اثر گذاري شرايط جوشكاري مقاومت نقطه اي در گستره ضخامتهاي مختلف ورق " پروژه كارشناسي ارشد دانشكده متالورژي ، دانشگاه صنعتي شريف ، استاد پروژه ، دكتور امير حسن كوڪبي پاييز 80
- (9) مير باقري - حسين " بررسي شرايط جوشكاري مقاومت نقطه اي فولاد ST-37 و CK45 " پروژه كارشناسي ارشد دانشكده متالورژي ، دانشگاه صنعتي شريف ، استاد پروژه ، دكتور امير حسن كوڪبي پاييز 80
- (10) مهندس محمدرضا شاه محمدي ، "طراحي آزمايشها " ، شركت خدمات علمي صنعتي تهران ، 1378

(جدول 1: شرايط جوشكاري خط ايران خودرو)

شماره گان	جريان (KA)	زمان (cycle)	نيرو (kg/cm ²)
38	10/3	7	1/3
39	11/4	14	1/4

جدول 2: مقادير متوسط و انحراف معيار جامعه جوشهاي خط توليد

شماره گان	مقدار متوسط استحکام (kg/spot)	مقدار انحراف معيار
38	1397/5	100
39	1285	60

جدول 3: شرايط جوشكاري آزمايشگاه معادل خط توليد ايران خودرو

شماره گان	حرارت (%kV)A	زمان (cycle)	فشار (Bar)
38	23	7	1/4
39	25	14	1/5

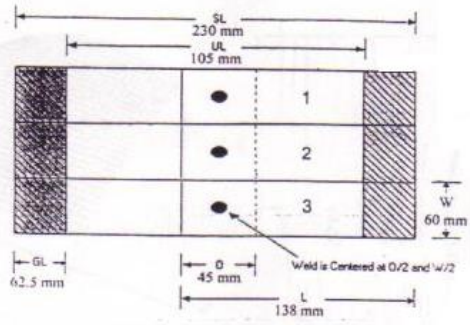
(جدول 4: ماتريس مدل)

اجرا	جریان (KA)	زمان (cycle)	فشار (Bar)	استحکام (kg/ spot)
23	1	0	0	1465
11	0	-1	0	1410
17	0	1	0	1430
26	1	1	0	1435
8	-1	1	0	1425
7	-1	1	-1	1400
6	-1	0	1	1400
9	-1	1	1	1425
13	0	0	-1	1445
14	0	0	0	1450
22	1	0	-1	1440
21	1	-1	1	1330
4	-1	0	-1	1390
1	-1	-1	-1	1290
3	-1	-1	1	1190
27	1	1	1	1445
20	1	-1	0	1410
2	-1	-1	0	1235

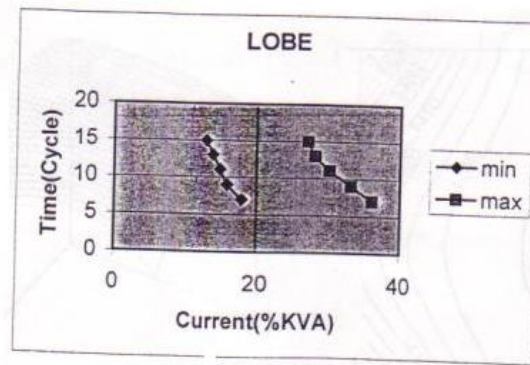
15	0	0	1	1440
10	0	-1	-1	1350
5	-1	0	0	1410
18	0	1	1	1420
16	0	1	-1	1410
12	0	-1	1	1290
25	1	1	-1	1360
19	1	-1	-1	1310
24	1	0	1	1390

(جدول: مقایسه مقادیر مدل با نتایج واقعی در حالتی غیر از ماتریس مدل)

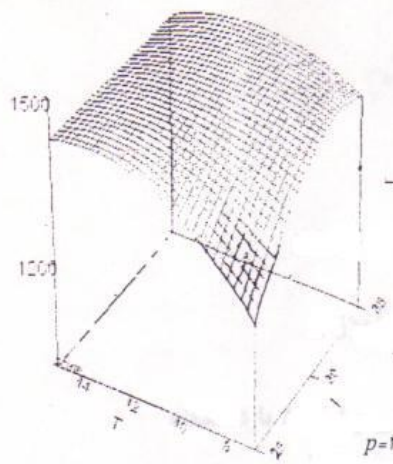
جریان	زمان	فشار	استحکام پیش بینی	استحکام واقعی
28	9	1/5	1409/31	1380
26	14	2/5	1439/52	1450
23	10	2	1334/94	1321



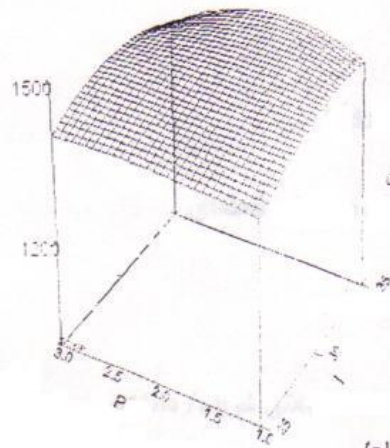
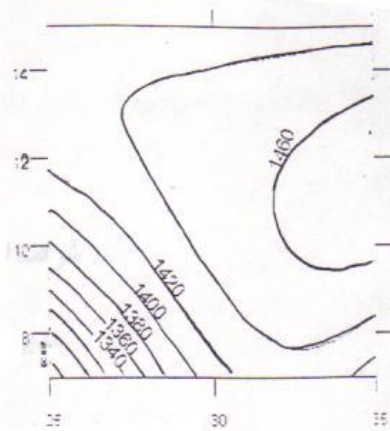
شکل (۱) ابعاد نمونه کششی



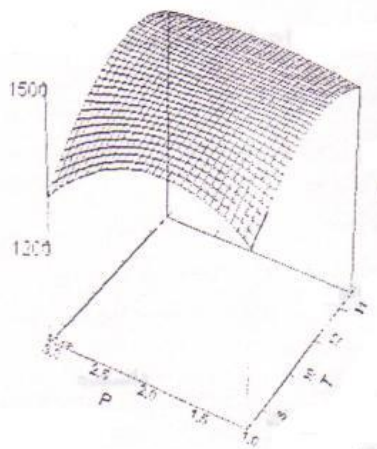
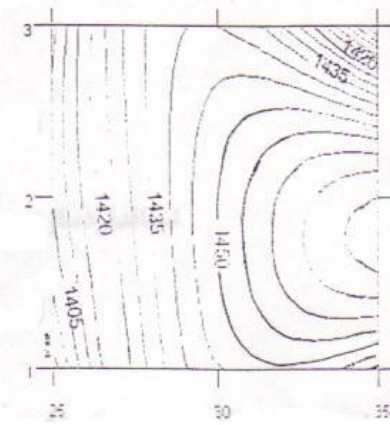
شکل (۲) منحنی Lobe



شکل ۳) منحنی $i=2$ در $p=2$



شکل ۴) منحنی $i=11$ در $p=11$



شکل ۵) منحنی $i=30$ در $p=30$

