

## Evaluation of Electrons Energy Distribution Function by Fuzzy Logic

Nabhan A. Hamdon

College of Education

University of Mosul, Iraq

Received on: 23/04/2009

Accepted on: 04/10/2009

### ABSTRACT

Evaluation of a maxwellian Electrons Energy Distribution Function (EEDF) in plasma glow discharge in air has been done. It includes the design of computerized system which depends on one of the intelligent techniques (Fuzzy logic). Their input and output consists of linguistic variables which describe the fundamental parameters (Energy, Pressure, Discharge current) of glow discharge process in different glow discharge regions (Cathode fall region, positive column region). It is suggested in this study that three different types of Gaussian membership function in different forms for each variable. The results seem to be compatible with other published researches, making use of the MATLAB scientific software version (R2006a).

**keywords:** Fuzzy logic, EEDF, If-then rules, Glow discharge.

استخدام آلية المنطق المضرب في تقييم دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات

نبهان عبد الكريم حمدون

كلية التربية، جامعة الموصل

تاريخ قبول البحث: 2009/10/4

تاريخ استلام البحث: 2009/4/23

### المخلص

تم تقييم ماكسويلية (Maxwellian) دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات في بلازما التفريغ التوهجي للهواء، وقد تضمنت آلية التقييم تصميم نظام حاسوبي مضرب يستند إلى إحدى الطرق الذكية (المنطق المضرب) وقد تألفت مدخلاته من المتغيرات اللغوية التي تصف المعلمات الأساسية (الطاقة، الضغط، تيار التفريغ) لعملية التفريغ الكهربائي في مناطق التفريغ التوهجي المختلفة (منطقة هبوط الكاثود، منطقة العمود الموجب)، كما تم اقتراح ثلاثة دوال عضوية ذات الشكل الكاوسي لكل متغير من متغيرات الإدخال ومتغير المخرج، وقد أظهرت النتائج تطابقاً بين نتائج هذا النموذج المنطقي وبين النتائج التجريبية لمجموعة من الباحثين مستفيدين من بيئة البرنامج العلمي MATLAB Version (R2006a) في تنفيذ العمليات الحاسوبية.

الكلمات الدالة: المنطق المضرب، دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات، قواعد الـ (If-Then)، التفريغ التوهجي الكهربائي.

## المقدمة Introduction

هناك متغيرات فيزيائية (درجة الحرارة، الضغط، الجريان، السرعة) لا تفي المعادلات الرياضية الحدية (Crisp) في وصف سلوكيتها فمثلاً سخونة هواء الغرفة لا تحددها قيمة معينة فقط وإنما مدى واسعاً من درجات الحرارة المقاسة بمقياس معين من القيم [Jeyakody,1996]، الأمر الذي يحتم إعادة التفكير بتوظيف آليات جديدة لتجاوز هذه العقبة. ويزر المنطق المضرب (Fuzzy Logic) حلاً مناسباً لهذه الإشكالية من خلال مواصفاته: المرونة، سهولة الفهم، اعتماده على خبرة الخبير البشري، مبني على أساس اللغة الطبيعية، إمكانية دمجها مع تقنيات السيطرة التقليدية، لذا بات يطلق عليه مصطلح الحوسبة بواسطة الكلمات (Computing with words).

يعد المنطق المضرب نموذجاً بديلاً عن المنطق الكلاسيكي (Conventional logic) (الطرائق الرياضياتية الصرفة) في صياغة نماذج لحل المسائل والمشاكل المعقدة جداً أو الغامضة (Ambiguous) التي لا يمكن حلها باستخدام الطرائق التقليدية سواء أكانت أكاديمية أو تطبيقية، كما يوفر طريقة سهلة وبسيطة جداً في الحصول على استنتاجات وحلول من بيانات غير دقيقة (Imprecision) أو لا محددة (Uncertainty). [Fretea, C., 1994] [Rauch, et. ] [al,1986].

لاحظ الباحثون (Abdoul-Fatah, et. al) إن آلية المنطق المضرب حققت أفضل النتائج في عملية الـ (Coating) لمنظومة البلازما الرذاذية الـ (APS) (Atmospheric Plasma Spray) من خلال موازنة العلاقة بين متغير القدرة لها ومتغيرات المادة المراد تغليفها: كثافة تيار القوس الكهربائي، معدل الجريان لغاز البلازما، تركيز الهيدروجين [Abdoul-Fatah, et. al,2007]. كما استنتج (Rubens) أن الموديل المستند إلى المنطق المضرب كان بسيطاً ومتميزاً في الأداء (Performance) في تركيب الـ (Ranking Function) التي تعد العامل المهم في تحديد نوعية نظام الإرجاع المعلوماتي (Information Retrieval System) [Rubens,2006]، فضلاً عن أن الباحث (Simbolon) استخدم أسلوب المنطق المضرب في دراسة العلاقة بين متغيرات عملية (Nitridation Proess) وهي درجة حرارة النترتة (150-300 C<sup>0</sup>) وزمن العملية (15-75 min) ذاتها على معدل تيار التاكل (Corrosion Current) لمعدن الزنك وكانت النتائج التي حصل عليها ادق من الطرق التقليدية [Simbolon ,2007].

تم توظيف تقنية المنطق المضرب في تقييم ماكسويلية دالة التوزيع الطاقوي للإلكترونات في بلازما التفريغ التوهجي الكهربائي للهواء ضمن مناطق التفريغ التوهجي المختلفة (منطقة هبوط الكاثود، منطقة العمود الموجب) وبالاستناد إلى بعض النتائج التجريبية لمجموعة من الباحثين.

## Theoretical and Logical consideration المفاهيم والأسس النظرية والمنطقية

المنطق المضبب يعتمد الأسلوب اللغوي في معالجة حالات الغموض وفقدان الدقة في مسائل الرياضيات المختلفة، حيث يعتمد في أساسه الرياضي على نظرية المجموعة المضببة. [Ruan ,1997] [Zadeh, 1995]

لنفترض نظاما متعدد المدخلات ومتعدد المخرجات

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T \quad \dots(1)$$

حيث (X) هو متجه المدخلات وأن (x<sub>n</sub>) هو عبارة عن المتغير اللغوي والمعروف على المجموعة الشاملة (U) والذي يوصف بدرجة العضوية (تكون قيمة هذه الدرجة محصورة بين الصفر والواحد [0,1]): [Ress,1999] [Touabi,et. al,2001]

$$W(x) = \{w_x^1, w_x^2, \dots, w_x^k\} \quad \dots(2)$$

ودالة العضوية:

$$\mu(x) = \{\mu_x^1, \mu_x^2, \dots, \mu_x^k\} \quad \dots(3)$$

وأن (k=3) في مجال بحثنا كونها تمثل عدد المتغيرات المدخلة). الدالة العضوية المستخدمة في مجال بحثنا هي توزيع (Gaussian) حيث يقترب فيها المعدل الحسابي من الوسيط. [Jamshidi,1997] [Spagnolo,F.,2003]

أما متجه المخرجات (Y) فيتمثل بالمتغير اللغوي (y<sub>m</sub>) والمعروف على المجموعة الشاملة

(V) وهو:

$$Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)^T \quad \dots(4)$$

والذي يوصف بدرجة العضوية:

$$W(y) = \{w_y^1, w_y^2, \dots, w_y^n\} \quad \dots(5)$$

ودالة العضوية:

$$\mu(y) = \{\mu_y^1, \mu_y^2, \dots, \mu_y^k\} \quad \dots(6)$$

وأن (k=1) في مجال بحثنا كونها تمثل عدد متغيرات الإخراج).

تبدأ المرحلة الأولى من نظام الاستدلال المضبب (Fuzzy Inference System FIS) (نوع النظام مامداني (Mamdani Type)، يكون تمثيل الإخراج بشكل مجاميع مضببة [Mathworks,2006])، بعملية التضبيب (Fuzzification) لقيم المدخلات الحدية إلى النظام وتحولها إلى مجموعات مضببة من خلال افتراض الدوال العضوية وتحديد درجات الانتماء للمتغيرات أو العناصر اللغوية لها، إن عملية التضبيب تنجز التمثيل أو الصياغة (Mapping) من فضاء الإدخال إلى المجاميع المضببة في مجموعة شاملة معينة وهكذا نجد أن القيمة الحدية (x<sub>1</sub>)

تتطابق إلى (Mapped to) المجموعة المضببة ( $w_{x_i}^1$ ) وبدرجة العضوية ( $\mu_{x_i}^1$ ) وهكذا بالنسبة إلى المجموعة المضببة ( $w_{x_i}^2$ ) بدرجة العضوية ( $\mu_{x_i}^2$ )... الخ. وبالإمكان إنجاز هذه العملية لعدة أشكال من دوال العضوية. يتألف مرتكز القاعدة المضببة من مجموعة القواعد المضببة (R) فإذا كان هناك نظاما متعدد المدخلات والمخرجات فإن:

$$R = (R_1, R_2, R_3, \dots, R_i) \quad \dots(7)$$

وفي حالة نظام متعدد المدخلات (Multi Inputs) وبمتغير إخراج واحد (Single output) (كما في مجال بحثنا) وعندما ( $x \in U, y \in V$ ) فإن هناك عدد ( $i^{\text{th}}$ ) من قواعد الـ (If-Then) المضببة والتمثلة بصيغتها العامة:

$$R_i = \text{If } (x_1 \text{ is } w_{x_1}, \text{ and } x_2 \text{ is } w_{x_2}, \dots, x_{p_1}, w_{x_p}) \text{ Then } (y_1 \text{ is } w_y) \quad \dots(8)$$

يتم في هذه المرحلة ربط كل من المجموعات ( $w_{x_1}, w_{x_2}, \dots, w_{x_p}$ ) التي تمثل المقدمة المنطقية (antecedent) لقاعدة الـ (If-Then) وهي جزء الشرط (If) لتكوين مجموعة إخراج مضببة واحدة هي (y) والتي تمثل النتيجة المنطقية (Consequent) والتي تعقب جزء الـ (Then) وتعد هذه المرحلة (مرحلة تكوين قواعد الـ (If-Then) المضببة) الجزء الأساس من مراحل أنظمة الاستدلال المضبب كونها تبنى على قمة تجارب الخبراء وهي على شكل قواعد لغوية مضببة تساعد في اتخاذ القرار وأن لكل قاعدة قيمة وزنية تعبر عن مدى تأثير تلك القاعدة على سلوكية مجموعة الإخراج المضببة وتتراوح هذه القيمة ما بين الصفر والواحد ويمكن تمثيل الصيغة الرياضية هذه بالقيمة:

$$\lambda_i = \min(\mu_{x_1}^i(x_1), \mu_{x_2}^i(x_2)) \quad \dots(9)$$

or

$$\lambda_i = \mu_{x_1}^i(x_1) \mu_{x_2}^i(x_2) \quad \dots(10)$$

حيث ( $\lambda_i$ ) هي قيمة الدالة العضوية للمقدمة المنطقية.

أما المرحلة التالية فهي مرحلة تضمين (Implication) ومعالجة المتغيرات اللغوية المفردة في الجزء (If) (المقدمة المنطقية) لغرض تحديد الشكل النهائي لمجموعة النتيجة المنطقية (مجموعة الإخراج المضببة)، إن الإدخال لعملية التضمين هو قيمة مفردة تمثل بواسطة المقدمة المنطقية للقاعدة أما إخراجها (جزء Then) فهو مجموعة مضببة وهذه العملية تخص كل قاعدة. ومن أكثر الطرق شيوعا (والمستخدمة في مجال بحثنا) هي طريقة تضمين الأصغر - الأعظم (Min-Max Implication Method) حيث يتم تحديد منطقة الإخراج المضببة بأقل درجة عضوية للمقدمة المنطقية، بينما تتغير منطقة الإخراج المضببة بأخذ أعظم قيمة من تلك القيم المصغرة والمعادلتان توضحان الطريقة أعلاه:

$$\mu_y^i(w) \leftarrow \min(\lambda_i, \mu_y^i(w)) \quad \dots(11)$$

حيث  $(\mu_y^i)$  هي قيمة دالة العضوية للمجموعة المضببة لجملة النتيجة المنطقية بينما  $(\lambda_i)$  هي قيمة الدالة العضوية للمقدمة المنطقية وأن  $(w)$  هي القيمة الوزنية لدالة العضوية.

$$\mu_y(w) \leftarrow \max(\mu_y^1(w), \mu_y^2(w)) \quad \dots(12)$$

حيث أن  $(\mu_y)$  هي قيمة دالة العضوية لمجموعة الإخراج المضببة، وينتج عن تطبيق هاتين المعادلتين تقليص ارتفاع مجموعة الإخراج المضببة إلى ما يساوي أعلى قيمة من قيم المقدمات المنطقية. [Kandel,1986] [Cotta,1996]

أما المرحلة التالية فهي عملية تجميع ودمج المجاميع المضببة الخارجة عن كل قاعدة إلى مجموعة مضببة واحدة لكل مخرج وتسمى هذه المرحلة بمرحلة التجميع (Aggregation) وتتجز رياضيًا وفقًا للمعادلة (12).

ولغرض الحصول على القيم الحدية النهائية للنموذج المضبب والمتمثلة بقيمة الإخراج الحدية  $(y)$  فإننا نحتاج إلى مرحلة جديدة هي مرحلة انقشاع أو إزالة الضبابية (Defuzzification) وهي المرحلة النهائية لنظام الاستدلال المضبب حيث يكون مدخل هذه العملية هي المجموعة المضببة الخارجة عن كل قاعدة مضببة ضمن مرحلة التجميع أما إخراجها فهي القيمة الحدية المنفردة حيث يتم تحليل المدخلات لهذه المرحلة باستخدام إحدى طرق التحليل. ومن طرق التحليل وإزالة الضبابية الشائعة (والمعتمدة في هذا البحث) هي طريقة المركز المتوسط (Centroid method) التي تمتاز بالدقة والاداء الأمثل عن غيرها حيث يتم إيجاد نقطة التوازن عن طريق حساب المعدل الموزون (Weighted means) لمنطقة الإخراج المضببة ويعبر عنها رياضيًا [Ruan,1997]:

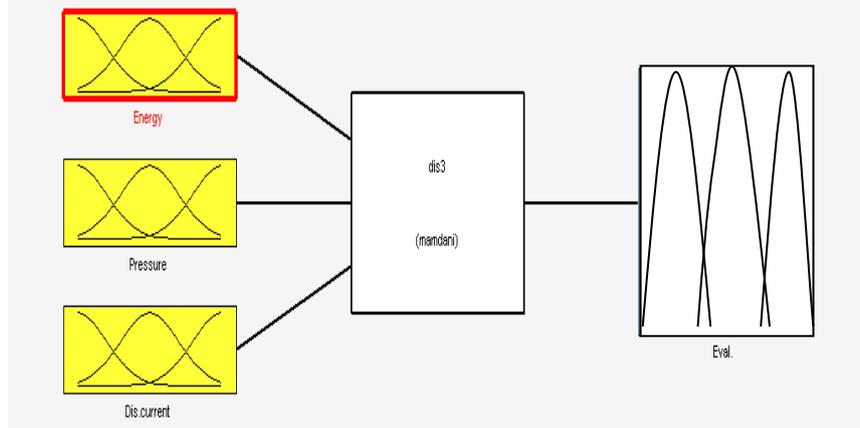
$$y = \frac{\int_s y_1 \mu_B(y) dy}{\int_s \mu_B(y) dy} \quad \dots(13)$$

### النموذج المقترح لتقييم ماكسويلية دالة التوزيع الطاقى للالكترونات

وظّف المنطق المضبب لدراسة وتحليل دالة التوزيع الطاقى للالكترونات (EEDF) على أساس أن التغيرات الحاصلة فيها يمكن أن تمثل بنموذج يتألف من ثلاثة مدخلات (ثلاث مستويات لكل مدخل) ومخرج واحد يحتسب من خلاله تقييم ماكسويلية دالة التوزيع الطاقى.

تم وصف المعلمات الأساسية: الطاقة (Energy)، الضغط (Pressure)، تيار التفريغ الكهربائي (Discharge Current) لعملية التفريغ التوهجي (Glow discharge) للهواء

كمدخلات لنموذج بحثنا، أما الإخراج فهو عبارة عن تقييم لماكسويلية دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات في مناطق التفريغ التوهجي (منطقة هبوط الكاثود، منطقة العمود الموجب) لبلازما الهواء، والشكل (1) يوضح التركيب الأساسي لنموذج البحث المقترح:



الشكل (1): هيكلية النموذج المعلوماتي المقترح

ولتنفيذ هذا النموذج المضيب فإنه تم استخدام الـ (MATLAB) كأداة برمجية كونه يحتوي على مجموعات من الحلول الخاصة ضمن صندوق أدوات المنطق المضيب (Fuzzy Logic Tool Box) فضلا عن استخدام مكتبته (Library) الخاصة بالمنطق المضيب، وتم اعتماد أحد أنواع أنظمة الاستدلال المضيب وهو نموذج مامداني المضيب كونه يعمل بشكل رئيس لإعطاء القيمة اللغوية الأكثر وصفا للعملية قيد البحث فضلا عن كون دوال العضوية الخارجية هي من النوع المتغير وليس الخطي أو الثابت كما ذكر سابقا. [Ruan,1997]

يوضح الجدول (1) القيم اللغوية التي تمثل مستويات الدوال العضوية لثلاثة من معلمات النموذج المقترح (المدخلات) ولمعلمة الإخراج المتمثلة بالتقييم. تم انتقاء هذه البيانات بالاستناد إلى مدياتها وقيمها الحقيقية المعتمدة في تجارب الباحثين موضوع المقارنة في هذا البحث (Chakravarti, et. al, Chen,Dilecce, et. al.,Hassouba, Ostapchenko, et. al, Palop, et. al, Seo, et. al). فقد وجدنا ان دوال التوزيع تكون ماكسويلية في تلك البحوث المعتمدة عند القيم المنخفضة لطاقات الالكترونات والضغطوط الواطنة فضلا عن القيم المعتدلة او القليلة لتيار التفريغ ضمن المدى المستخدم في تلك البحوث وعليه تم تقسيم مدى القيم لطاقة الالكترونات الى ثلاث مديات (مستويات) على شكل منحنيات،الاول يصف مدى القيم اللغوية والمتمثلة بالمنخفضة (Low)، اما المنحنى الثاني فهو لمدى القيم اللغوية المتوسطة

(Mid)، والمنحنى الثالث هو لمدى القيم اللغوية المرتفعة (High) وبنفس الأسلوب تم وصف بقية المتغيرات.

الجدول (1): مستويات دالة العضوية لمداخل النموذج ومخرجه المقترحة

مستويات دالة العضوية			الفئة	المتغير
مرتفعة High	متوسطة Mid	منخفضة Low	مدخل	الطاقة (Energy)
عالي high	وسط mid	واطي Low	مدخل	الضغط (Pressure)
كبير high	معتدل midd	قليل Little	مدخل	تيار التفريغ (Dis-urrent)
ماكسويلي maxwell	شبيه بالماكسويلي semi-m	لا ماكسويلي non-m	مخرج	التقييم (Eval.)

أما الجدول (2) يبين القيم الحقيقية لمستويات الدوال العضوية المستخدمة في نموذج البحث وهي مشتقة ومأخوذة من قيم المتغيرات التجريبية المعتمدة لدى الباحثين. إن طاقة الإلكترونات المنخفضة يمثلها المدى (0-4eV)، والمدى المتوسط (3-12 eV) أما المدى المرتفع جدا من الطاقة فقد اعتمد (10-22 eV) وبنفس الأسلوب اعتمدت مدىات القيم الحقيقية لبقية المتغيرات.

الجدول (2): مدىات القيم الحقيقية لمعاملات النموذج المصمم

القيم المقترحة			الفئة	المتغير
10-22	3-12	0-4	مدخل input	الطاقة Energy(eV)
1.5-3.5	0.5-1.6	0-0.6	مدخل input	الضغط Pressure(torr)
0.55 -1	0.22-0.7	0-0.3	مدخل input	تيار التفريغ Dis.current(mA)
60%-100%	30%-60%	0-30%	مخرج output	التقييم Eval(%)

تم إدخال البيانات في الجدول (1) على الواجهات الموضحة في الأشكال (2,3,4,5) لمتغيرات الطاقة والضغط وتيار التفريغ والتقييم على التوالي وقد شملت هذه البيانات تقسيم الفترة

العديّة إلى ثلاثة مستويات من الدوال العضوية (ثلاثة منحنيات) بقيمها اللغوية المختلفة لكل منهم وبنفس السياق تم تضبيب متغير الإخراج. تضمنت المرحلة الأولى عملية تضبيب المدخلات (Fuzzify inputs) (الطاقة = 17.2، الضغط = 0.034، تيار التفريغ = 0.661) وتحديد انتمائها إلى المجاميع المضببة المناسبة عن طريق الدوال العضوية (high, low, high) على التوالي، يعقبها مرحلة تكوين قواعد الـ (If-Then) المضببة وهي المرحلة التي تحدد النتيجة النهائية من خلال تفاعلات القواعد المضببة جميعا والمستندة إلى السلوكية الفيزيائية لدالة التوزيع الطاقى للإلكترونات بوصفها دالة لمقدار التغير في معلمات الإدخال والمأخوذة من الظروف التجريبية لمجموعة باحثي موضوع بحثنا والشكل (6) يوضح شريحة من هذه القواعد التي عددها (27) قاعدة مضببة (بالإمكان زيادة القواعد بزيادة عدد المدخلات والمخرجات) داخل النظام وأن لكل قاعدة قوة تأثير وزنية على المجموعة المضببة الناتجة والمتمثلة بالقيم المحصورة بين قوسين في نهاية كل قاعدة وأن قيمها تتحصر بين [0, 1]. وقد تم افتراض المتغيرات اللغوية للمقدمة والنتيجة المنطقية للقواعد المضببة بالاستناد إلى القيم المعتمدة في تجارب الباحثين في هذا المجال (Chakravarti, et. al, (Chen, Dilecce, et. Hassouba, Ostapchenko et. al, Palop et. Al, Seo, et. al, ومن خطوات هذه المرحلة تطبيق معامل التضبيب (Apply fuzzy operator) وهو المعامل (And) وكما يوضحها مع الخطوات اللاحقة الشكل (7) ويتم خلال هذه الخطوة تحديد قيمة درجة العضوية (Membership degree value) لجزء المقدمة المنطقية (Antecedent) ولكل دالة وهي ثلاثة قيم (0.4, 0.9, 0.6)، وتعتمد طريقة تطبيق معامل التضبيب (And) على استخدام القيمة الدنيا (Min-Method) والتي سوف يكون ناتجها (0.4) المتمثلة بالدالة العضوية (low). أما الإخراج لهذه الخطوة سيكون على شكل مجموعة مضببة، يعقبها تطبيق طريقة التضمين وهي الخطوة اللاحقة والمتضمنة إعادة تشكيل أو صياغة (reshaping) جزء النتيجة المنطقية (Consequent) للدوال العضوية الخارجة لكل قاعدة اخذين بالاعتبار القيمة الوزنية المؤثرة لتلك القاعدة حيث سيكون الإدخال لهذه المرحلة قيمة عددية واحدة (0.4) متمثلة بواسطة المقدمة المنطقية لكل قاعدة ومن خلال استخدام الـ (Min-Implication Method) فإننا سنحصل على مجموعة مضببة واحدة خارجة لكل قاعدة ذات شكل وهيئة مختلفة. وكون القرار (Decision) حول تقييم (Evaluation) ماكسويلية الدالة يستند إلى جميع القواعد في الـ (FIS) لذا يجب توحيد (unified) وجمع (Aggregation) المجاميع المضببة الخارجة عن كل قاعدة إلى مجموعة مضببة واحدة تمثل الناتج المنطقي النهائي مستخدمين الـ (Max-Aggregation Method) إحدى طرق التجميع في تلك الخطوة وستكون هناك عدد من القواعد المفعلة والنافذة (Fired) والتي تحدد

المجموعة المضطربة الناتجة حسب اوزانها (قوة تأثيرها) ففي حالتنا: كانت القاعدتين (4&11) هي اكثر القواعد المفعلة والنافذة والموضحة لاحقا، ولغرض تحويل مخرج المرحلة السابقة (المجموعة المضطربة الواحدة) إلى القيمة الحدية (Crisp numerical value) فإننا سوف نستخدم طريقة إيجاد المركز المتوسط (Centroid method) ضمن المرحلة الأخيرة من مراحل الاستدلال المضطربة (FIS) وهي مرحلة إزالة او انقشاع الضبابية (Defuzzification) وفيها يتم إيجاد نقطة التوازن (مركز النقل عند تشبيهه بجسم) لمنطقة الإخراج المضطربة عن طريق حساب المعدل الموزون (Weighted mean) لمنطقة الإخراج المضطربة ويعبر عن هذه العملية رياضيا: [Kandel,1986]

$$Center\ of\ Gravity = \frac{\sum_{i=0}^{26} di \cdot \mu_A(di)}{\sum_{i=0}^{26} \mu_A(di)} \quad \dots(14)$$

وهكذا بالامكان اصدار القرار على لا ما كسويلية دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات المعتمدة في هذا البحث كون الـ (Eval.=0.287) اي ان نسبة التقييم (29%) تقريبا. اما آلية عمل القاعدتين المفعلتين (4&11) وفقا لقيم المدخلات المعتمدة في هذا البحث هي كآلاتي وكما موضحة في الشكل (6):

**Rule #4:**

If (Energy is high) and (pressure is low) and (discharge current is high)  
Then (Eval. is non.m) (0.9)

**Rule #11:**

If (Energy is high) and (pressure is low) and (discharge current is midd.)  
Then (Eval. is semi.m) (0.5)

وتعني القاعدة (4): إذا كانت طاقة الإلكترونات عالية وأن الضغط داخل أنبوبة التفريغ الكهربائي منخفضة وكانت قيمة تيار التفريغ الكهربائي كبير ضمن المديات المحددة له فإن دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات سوف يكون تقييمها لا ماكسويلي وباحتمالية (90%). أما القاعدة (11) فإنها تعني: إذا كانت طاقة الإلكترونات عالية وأن الضغط داخل أنبوبة التفريغ الكهربائي منخفض وكانت قيمة تيار التفريغ الكهربائي متوسطا فإن دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات سوف يكون احتمالية تقييمها شبه ماكسويلي وبنسبة (50%) وهكذا لبقية القواعد. اما عملية تطبيق معامل التضمين (And) واعتمادا على المعادلة (14) فإن:

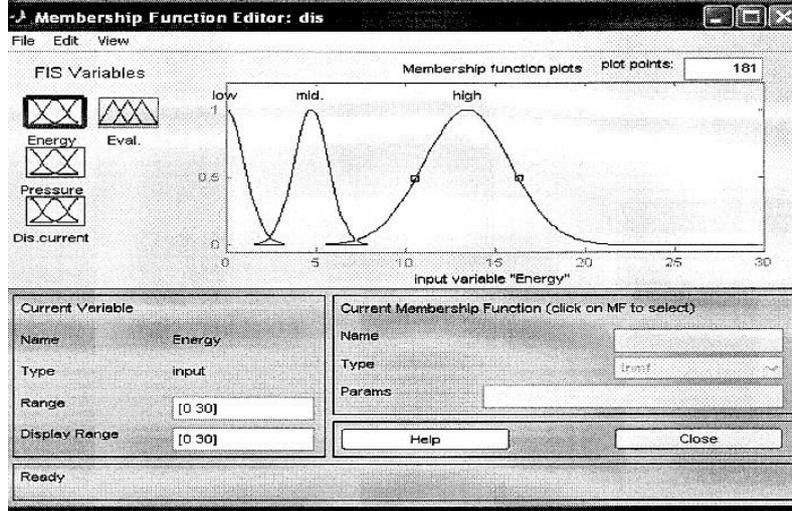
$$Rule\ #4 = \min(\text{high}, \text{low}, \text{high}) = \min(0.7, 0.9, 0.4) = 0.4 \quad \dots(15)$$

$$Rule\ #11 = \min(\text{high}, \text{low}, \text{midd}) = \min(0.7, 0.9, 0.25) = 0.25 \quad \dots(16)$$

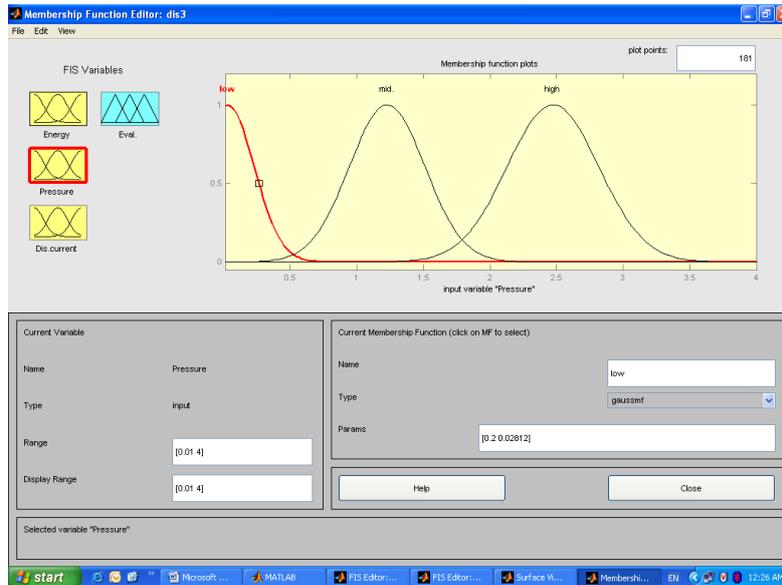
وان ناتج تطبيق طريقة التضمين لهذه القواعد وفقا للمعادلة (15):

$$\max(\text{Rule 4, Rule 11}) = \max(0.4, 0.25) = 0.4 \quad \dots(17)$$

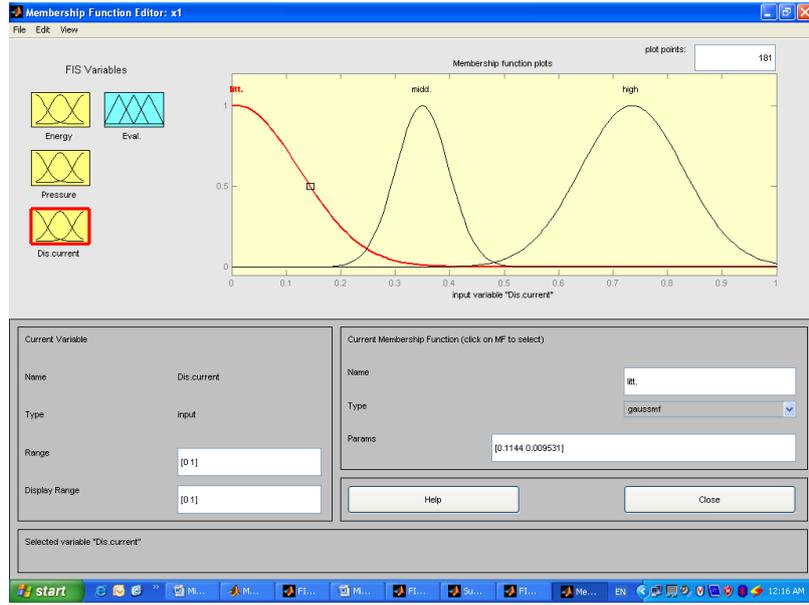
ثم تليها مرحلة التجميع (Aggregation) ومرحلة إزالة الضبابية (Defuzzification) كما ذكرنا سابقاً.



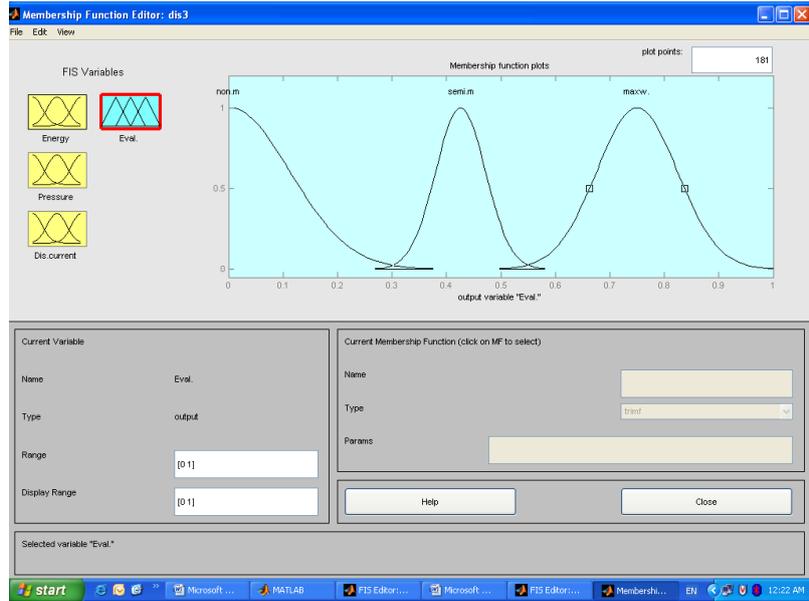
الشكل (2): دالة العضوية لمتغير الطاقة



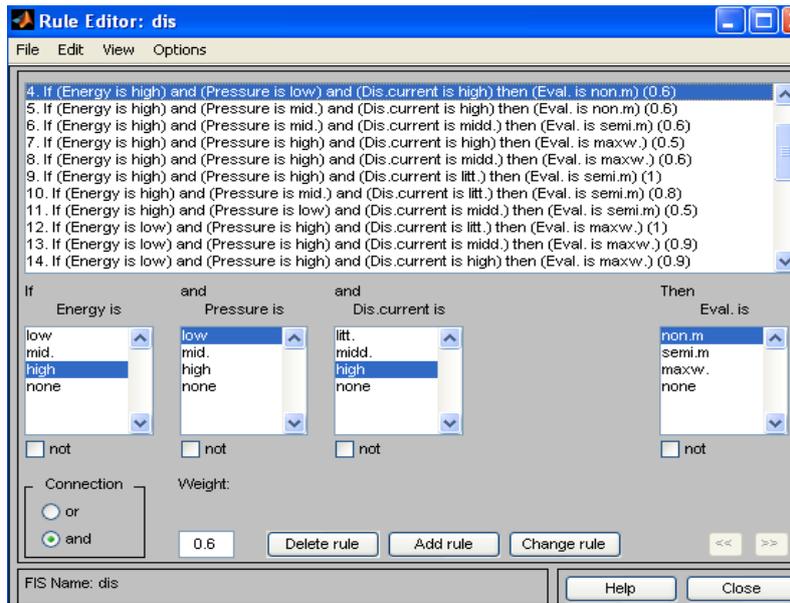
الشكل (3): دالة العضوية لمتغير الضغط



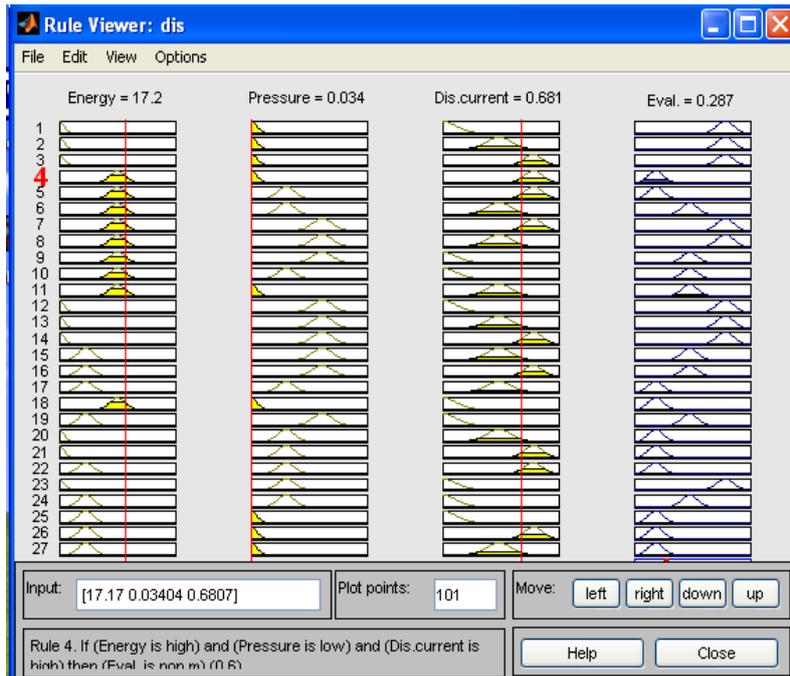
الشكل (4): دالة العضوية لمتغير تيار التفريغ الكهربائي



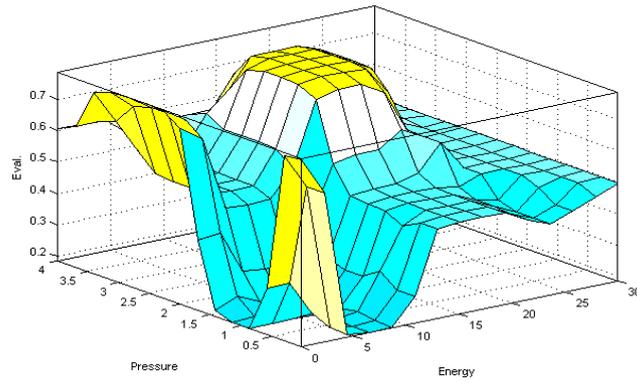
الشكل (5): دالة العضوية لمتغير التقييم



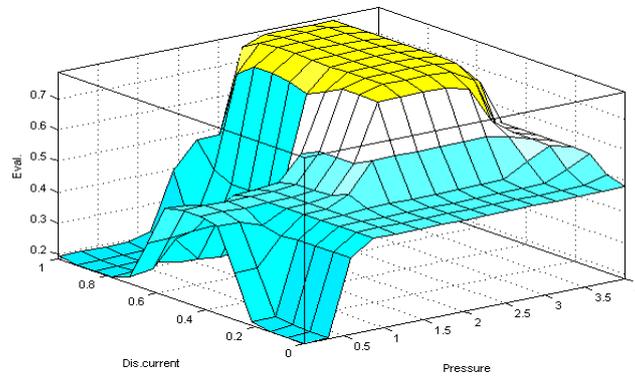
الشكل (6): قواعد الـ(If-Then) المستخدمة في النموذج المقترح



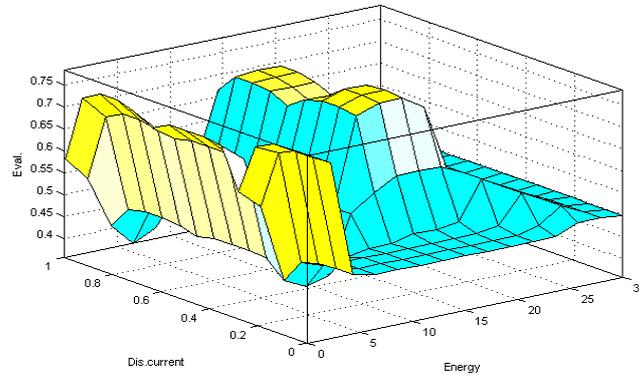
الشكل (7): لوحة حوسبة القواعد المنطقية المستخدمة في تقييم الحالات المطروحة



الشكل (8)



الشكل (9)



الشكل (10)

الأشكال (8-10) وصف ثلاثي الأبعاد (المسطحات) لمتغيرات قواعد النموذج المقترح والمتغيرات المستقلة

## المناقشة

إن دالة التوزيع هي وصف إحصائي للبلازما ضمن فضاء سرعي أو طاقي أو زخمي عند زمن معين وأن حسابها يتضمن الأخذ بالاعتبار جميع عمليات التصادم المحتملة بين مكونات البلازما والهواء خلال عملية التفريغ التوهجي، فضلا عن وصفها تجريبيا كدالة لدرجة الحرارة والضغط وتيار التفريغ وكما في الصيغة العامة التالية:

$$EEDF = f(\text{Energy (Temperature), Pressure, Discharge current})$$

وهذه المتغيرات تمتلك مساحات غير جلية متداخلة لا يمكن تحديدها بواسطة النهج الرياضي التقليدي الصارم.

لذا باتت عملية إحصاء أو حساب دالة التوزيع من العمليات المعقدة والتي يستحيل وصفها من خلال قيم حدية صارمة وإنما توصف من خلال تخمينها أو التنبؤ بتوزيعها أو عن طريق إحدى طرق التقريب، لذا تبرز استخدام أسلوب المنطق المضرب في تقييم دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات خلال عملية التفريغ التوهجي لبلازما الهواء.

وفيما يلي جملة من الملاحظات التفصيلية والتي تمثل التفسير الفيزيائي للنتائج:

1. ظهور قمة عند مدى الضغوط العالية، في الشكل (8) حيث بزيادة الضغط تزداد عدد التصادمات والتي تزيد من فقدان الطاقة ومشاركتها للإلكترونات وبالتالي الوصول إلى الطاقات الحرارية والتي تعكس السلوكية الماكسويلية لدالة التوزيع الطاقي للإلكترونات وهذا يتوافق مع النتائج التي توصل إليها الباحثون (al, Otapchenko, et.

[Otapchenko, et. al, 1968] [Palop, et. al, 1995]. (Palop, et. al.)

2. ظهور قمة أيضا عند مدى الضغوط الواطئة في ذات الشكل (8) وهذه القمة هي بتأثير مجموعة الإلكترونات ذات الطاقات الواطئة (حرارية) وهذه بحد ذاتها يكون توزيعها الإحصائي ماكسويلي في حين لا تأثير لقيم الضغوط الواطئة على أشكال دوال التوزيع وهذا يتوافق مع نتائج الباحثون (Chakravarti, et. al) و (Seo, et. al) بسبب كون احتمالية التصادم تكون قليلة أو حتى

تتعدم وبالشكل التي تجعل الإلكترونات تحافظ على طاقاتها. [Seo, et. al, 2000]

Chakravarti, et. al, 1977]

3. تعدد القمم في الشكل (9) فضلا عن وجود الهضبة الوسطى وهذا يعكس وجود أكثر من مجموعة طاقة في منطقتي هبوط الكاثود ومنطقة العمود الموجب ويتأتى هذا بسبب التهدئة الحرارية (Thermalization) التي تتعرض لها الإلكترونات من خلال التصادمات وهذا ما

لاحظه الباحث (Hassouba). [Hassouba, 2001]

4. لوحظ ارتفاع في قيم التقييم عند مدى الطاقات والضغط العالية والموضحة في الاشكال (8,9) والتي هي دالة لزيادة الفولتية المسلطة لحدوث التفريغ الكهربائي، حيث تزداد احتماليات التصادمات (الكترن-ايون) و(الكترن-ذرة) و(الكترن-جزئية) والتي يحصل خلالها فقدان كبير لطاقة الإلكترونات تقريبا حتى يصل نسبة قليلة منها إلى مدى الطاقات الحرارية والتي يكون توزيعها ماكسويليا وهذا يتوافق مع نتائج الباحث (Dilecce). [Dilecce, et. al, 1991].
5. كما لوحظ في الشكل (9) ايضا إن زيادة تيار التفريغ الكهربائي وهو دالة لزيادة الفولتية المسلطة خلال عملية التفريغ الكهربائي يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية للإلكترونات المسببة في زيادة عدد التصادمات المرنة وغير المرنة مع الجزيئات والذرات مولدة عدد إضافيا من الإلكترونات الثانوية والتي يكون سلوكها ماكسويليا وهذا ما توصل إليه الباحث (Chen). [Chen, 2003].
6. تنخفض قيم التقييم في الشكل (9) الى الصفر تقريبا وهذا يعني اكتساب الإلكترونات طاقات حركية تفوق الطاقات الحرارية بسبب زيادة جهد التفريغ المسلط.
7. ظهور القمم المتعددة في الشكل (10) عند مدى قيم تيار التفريغ تحت تأثير القيم الواطئة للطاقات والذي بالتأكيد يعبر عن ظاهرة فيزيائية وأن التفسير المعقول لها هو أن البلازما يحتوي على عدد كبير من أنواع الأيونات والجزيئات الأيونية الموجبة والسالبة  $(\text{No}^{-2}, \text{O}^{-2}, \text{O}^{-3}, \text{O}^{+2}, \text{No}^{-}, \text{O}^{+}, \text{N}^{+2}, \text{N}^{+})$  ومن المحتمل وعند ظروف معينة يحصل تغير في نسب هذه المكونات باتجاه معين (زيادة عدد الإلكترونات الحرارية) من خلال زيادة احتمالية التفاعل الأيوني لبعض الأيونات وتوليد إلكترونات إضافية عند الضغوط الواطئة لذا فإن عمليات التأين تكون غير فعالة بسبب أن احتمالية التصادمات (الكترن - ذرة متعادلة) تكون صغيرة جدا على عكس احتمالية تصادمات (الأيون - ذرة متعادلة) ولذا فإنها تزيد من فقدان الأيونات إلى جدران أنبوبة التفريغ الكهربائي.
8. إن الإلكترونات المنبعثة من الكاثود تكون بطاقة واحدة وكلما تحركت باتجاه الانود مرورا بمناطق التفريغ التوهجي فإنه يحصل فقدان واكتساب لطاقة الإلكترونات بفعل التصادمات المرنة وغير المرنة التي يتعرض لها وهذا بطبيعة الحال يؤدي إلى زيادة التشتت ويفسر زيادة عرض القمم في الاشكال (8,9,10).

#### الاستنتاجات

- أعطت نتائج عملية التضييب لدالة التوزيع الطاقى للإلكترونات نتائج تفصيلية جيدة حول سلوكية دالة التوزيع ومقدار تأثيرها بمتغيرات الإدخال.

- إن التطبيقات الحاسوبية الحديثة مثل الـ(Matlab) تمكننا من استغلال الحاسوب على الوجه الأكمل لمعالجة العديد من المسائل المعقدة في الحياة الواقعية.
- إن النظام الحاسوبي الذي تم إعداده يمكن الإستفادة منه في التقييم النوعي لدوال التوزيع السريع أو الطاقى للإلكترونات ضمن المديات المحددة والمعتمدة في هذا النظام.
- إن اختيار أسلوب المنطق المضرب يبدو موضوعيا لمعالجة النظم المعقدة ومنها التنبؤ والاستقراء والاحتمالية وأنظمة السيطرة والتحكم وإعطاء القرار وغيرها.
- الطرق الرياضية التقليدية لا يمكنها اعطاء الوصف الدقيق لسلوكية دالة التوزيع الطاقى للإلكترونات من خلال متغيراتها المستقلة قيد لبحث.

### تنويه

أقدم شكري الجزيل إلى السيد (حسن مظفر الرزق) مدير المكتب الاستشاري لكلية الحداية الجامعة لمناقشاته المفيدة والمثمرة والمتعلقة بموضوع البحث.

المصادر

- [1] Abdoul-Fatah kanta, Ghislain Montavor, Marie-Pierre Planche, Christian Coddel.(2007),"Fuzzy logic analysis of Alumina-Titania deposition yield during Atomspheric Plasma Spray(ABS) Process", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 16, No. 5-6, pp:913-918.
- [2] Chakravarti, P. K. Grpta, S. M. (1997), "Determinates of Electron Energy Distribution in a phases", J. Rev. Sci Instrum, 48(10).
- [3] Chen, Francis, F. (2003), "Lecture Notes on Langmuir Probe Diagnostics", Mini-course on Plasma Diagnostic, IEEE-ICO PS Meetingm Jeju, Korea.
- [4] Cotta, A. (1996), "Evolutionary of Fuzzy Logic Controllers", <http://citeseerist.psn.edu/cotta96evolutiionary.html>
- [5] Cox, Earl (1998), "Fuzzy System Handbook", Academic Press, USA.
- [6] Dilecce G, Capitelli M., Debendiat S., (1991), "Electron Energy Distribute Function Measurements in Capacitindy Compiled rf-discharge", J. Applys, 69(1).
- [7] Hassouba M. A., (2001), "Effect of Magnetic Field on Plasma Parameters in Cathode Fall Region of the DC-Glow discharge", Eur. Phys. J. Appl., 14, pp:131-135.
- [8] Jamshidi, Mohammed (1997),"Application of Fuzzy Logic Toward High Machine, "Intelligent Quotient System", Prentice Hall PRT,423p.
- [9] Kandel, Abraham; (1986), "Fuzzy Mathematical Techniques with Applications", Addison Wesley Publishing Company.
- [10] Mathworks,(2006),"Fuzzy Logic Toobox",Users Guide,Version (R2006a).
- [11] Ostapchenko E. P., Odessa O. N. Stepanov V. A., (1968), "The Effect of Striations on the Electron Energy Distribution in a Mercuing-Kryptor Mixture, Soviel Phs-Tech. Phy 14(4).
- [12] Palop J. I. F., Ballesteros J., Colomer V., Hernadez M. A., (1995), "A new Smoothing method for obtaining the electron energy distribution function in plasma by Numeric differentiation of I-vprobe characteristic", Rev. Sci. Instrum., 66(5).

- [13] Rauch-Hindin, Wendy B. (1996), "Artificial Intelligence in Business, Science and Industry", Vol. 1, Prentice-Hall.
- [14] Rress (1999); "Fuzzy Set Theory",  
<http://www.tms.org/pubs/jom/gg08/Rress/Rress-990m.html>
- [15] Ruan Da., (1997), "Intelligent Hybrid Systems: Fuzzy Logic, Neural Network and Genetic Algorithms", Kluwer Academic Publishers, Nowell, MA, U.S.A.
- [16] Rubens, N. O., (2006), "The application of fuzzy logic to the construction of the ranking function of information retrieval systems", Computer Modeling and New Technologies, Vol.10, No.1, pp:20-27.
- [17] Sahat Simbolon, (2007), "Comparison between classic and fuzzy logic method on corrosion rate of zinc metal in diluted sulphuric acid after Nitridation process", <http://digilib.batan.go.id/utamu/wp-content/upto...>
- [18] Seo, Kim, S. S., Hong Chang C. S., Chang H. Y., (2000), "Evaluation of the Electron Energy Distribution Function in Application Inductive Argon discharge", Appl. Phys. Let., 76(2).
- [19] Touabi, Abdelleador, Mehenna (2001), "Fuzzy Couture and using Genetic Algorithms", M. Sc. Thesis Submitted to National Computer Center, Iraq.
- [20] Zadeh Lotfi A, (1995), "Fuzzy Logic Toolbox", Berkerly, p-382.
- [21] Jeyakody Parthiban(jp6)(1996), "Fuzzy logic and its uses", Article 2, SURPRISE 96 Journal, Dept. of computing, Imperial College of Science Technology and Medicine.