استخدام المنطق المضبب في تصميم نظام حاسوبي خبير للتنبؤ بقوة مقاومة انضغاط الأسمنت البورتلندي

باسل يونس ذنون الخياط **سفيان سالم الدباغ**

كلية علوم الحاسبات والرياضيات

جامعة الموصل

تاريخ استلام البحث: ٢٠٠٤/٩/٢ **تاريخ قبول البحث: ٢٠٠٥/٤/٥**

ABSTRACT

The present study aims at construction of expert computer model for forecast of compressive strength of the Portland cement. This model is achieved by chemical data input through interface designed by matlab program. This is followed by calculation of the content of phases; namely, C_3S , C_2S , C_3A and C_4AF. Later on , connection with fuzzy logic interface were made. The formentioned phases represent the input to the fuzzy logic interface through the condition rules IF-THEN. After defuzzification, the values of cement compressive strength appeared on the interface. The evaluations were made through calculation of square difference of the results of fuzzy logic (present study) and statistical methods.

الملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تصميم نظام حاسوبي خبير للتنبؤ بقوة مقاومة انضغاط الأسمنت البورتلندي . ويتم ذلك بإدخال بيانات التحليل الكيميائي للأسمنت من خلال واجهة مصممة(GUI) في برنامج MatLab. يعقب ذلك حساب محتوى الأطوار (C3S% ,C2S%,C3A%, C4AF). وبعدها يتم الارتباط بواجهات المنطق المضبب وتمثل الأطوار المذكورة إدخالات إلى واجهات المنطق المضبب ، عن طريق القواعد الشرطية (IF-THEN). وبعد إزالة الضبابية (Defuzzification) تظهر على الواجهة قيمة قوة مقاومة الانضغاط للأسمنت . ويتم تقييم نتائج المنطق المضبب بمقارنتها مع نتائج الطرائق الإحصائية ومن خلال حساب معدل مربع الفرو قات لنتائج كلتا الطريقتين.

١. المقدمة

مهما بلغ التطور الكبير في معدات الإنتاج ووحدات التحكم الإلكترونية و أعمال السيطرة النوعية ، يبقى الأسمنت البورتلندي وصناعته والسيطرة على نوعيته واستخداماته الإنشائية يمثل موضوعا يستقطب اهتمام الكثير من الباحثين والدارسين في مختلف الاختصاصات بما في ذلك مجالات المعرفة الهندسية والكيميائية والجيولوجية فضلا عن اختصاص علوم الحاسبات.تهدف الدراسة الحالية الى تطبيق مفاهيم المنطق المضبب fuzzy logic لغرض التنبؤ بنتائج أحد فحوصات السيطرة النوعية المهمة وهي قوة مقاومة الانضغاط compressive strength للأسمنت المنتج في المعامل العراقية (١٩٩٧\١٩٩٨) وبالاعتماد على بيانات التركيب الكيميائي ومحتوى الأطوار الرئيسة المحسوبة رياضيا في منتوج الأسمنت وكما عرضتها دراسة (الدباغ والمعاضيدي ،٢٠٠٤) و (المعاضيدي والدباغ،٢٠٠١) .

تعتمد صناعة الأسمنت البورتلندي على مواد أولية تتمثل بالأساس من مزيج من نوعين من الصخور ، وهي صخور الكلس والطين ، فضلا عن مضافات صخور الجبس خلال طحن عقد الكلنكر لإنتاج الأسمنت . وبالرغم من وفرة المواد الأولية فإنها تكون بدرجات متفاوتة من النقاوة بالنسبة إلى صخور الكلس والطين. وعليه تجرى عادة فحوصات كيميائية وفيزيائية للوقوف على طبيعة المواد الأولية وتحديد نسب خلطها لتكوين المزيج الخام قبل ضخه إلى الفرن الدوار. إن ظروف الإنتاج وبخاصة ظروف الحرق في الفرن الدوار تؤدي إلى تفاعل مكونات المواد الأولية مع بعضها البعض وتكوين أطوار جديدة تكون مسؤولة عن أداء الأسمنت البورتلندي كمادة إنشائية ، ويمكن أيجاز الأطوار الأساسية بآلاتي :-

أ-الايت :- وتطلق هذه التسمية على الطور غير النقي من سيلكات الكالسيوم الثلاثي أما الطور النقي فيرمز له(c3s) . ولهذا الطور ستة أشكال ومنها ثلاثة بنظام بلوري ثلاثي الميل واثنان أحاديا الميل وشكل بنظام بلوري معيني الأوجه. ويظهر الالايت تحت المجهر بشكل سداسي كامل أو ناقص أو عديم الأوجه وبلون رصاصي فاتح.

ب-البيلايت:-يتميز هذا الطور باحتوائه على سليكات الكالسيوم الثنائي وفي حالة نقائه يرمز له بـ (c2s). ويوجد لهذا الطور أربعة أشكال وهي شكل (α) بنظام سداسي و(β) أحادي الميل و (δ)معين قائم و(α) معين قائم أيضا . غير ان الشكل (β) هو الأكثر شيوعا ، وتظهر تحت المجهر بلورات البيلايت بلون رصاصي فاتح وبحجم اصغر من حجم بلورات الايت وبأشكال مدورة منفردة أو بشكل حشود مفككة أو بشكل تجمع عنقودي.

جـ-الالومينيت :- يحتوي هذا الطور في الأساس على الومينات الكالسيوم الثلاثي ويرمز للحالة النقية منه بالرمز (C3A) . ويشارك الالومينيت في أطوار مادة الحشو التي توجد بأحجام ناعمة جدا. ويتبلور هذا الطور بأشكال مربعة او مستطيلة او موشورية . ويستدل على وجوده تحت المجهر من خلال قابليته العالية على التحفر عند معالجته بالماء.

د- الفيرايت :- يعد هذا الطور وطور الالومينيت أحد الأطوار البينية (أطوار الحشوة). ويمثل الفيرايت الطور الرئيس الحامل للحديد ويتكون من الومينات حديد الكالسيوم الرباعي ويرمز للحالة النقية منه بالرمز (C4AF او C4A2FE2)ويمكن تمييز طور الفيرايت تحت المجهر باللون الرصاصي الفاتح – الأبيض أو بانعكاسية عالية للضوء.

هـ – الأطوار الأخرى :- تشير ملاحظات الفحص المجهري إلى وجود أطوار أخرى بكميات قليلة تشتمل على الكلس الحر (C aO)والمغنيسيا (MgO) والكبريتات القلوية والطور السائل غير المجزء (طور الزجاج) فضلا عن الفراغات الناتجة عن هروب الغازات خلال الحرق.

يتكون الأسمنت البورتلندي من أربعة أطوار رئيسة وتشتمل هذه الأطوار على الايت (C3S) ذي الاماهة السريعة والمسؤول عن القوة المبكرة للتصلب ،والبيلايت (C2S) البطيء الاماهة والمسؤول عن القوة السريعة جدا، وطور الالومينيت (C3A) ذي الاماهة السريعة جدا وطور الفيرايت (C4AF) ذي الاماهة البطيئة جدا. والطوران الأخيران غير مسؤولين عن قوة تصلب الأسمنت بشكل مباشر وكما ذكر(المعاضيدي ،٢٠٠٠) ، وفي حالة التوازن ، يمكن حساب النسبة المئوية للأطوار الأربعة النقية باستخدام معطيات التحليل الكيميائي (تراكيز اكاسيد العناصر بالمائة وزنا :- , SiO2 , Al2O3 , Fe2O3 , CaO , SO3 فضلا عن طور سليكات الكالسيوم الثلاثي) وحسب المعادلات آلاتية ((Bogue (1929) :-

$$C_3S = 4.071(CaO - \text{free lime}) - 7.6\ SiO_2 - 6.71\ Al_2O_3 - 1.43\ Fe_2O_3 - 2.85\ So_3 . \quad (1a)$$

$$C_2S = 2.867\ SiO_2 - 0.754\ C_3S. \quad (1b)$$

$$C_3A = 2.650\ Al_2O_3 - 1.692\ Fe_2O_3 . \quad (1c)$$

$$C_4AF = 3.04\ Fe_2O_3 . \quad (1d)$$

يخضع وبشكل روتيني الأسمنت البورتلندي المنتج في جميع المعامل لفحوصات السيطرة النوعية لضمان أدائه الإنشائي في مختلف المجالات والاستخدامات . وتهدف هذه الفحوصات إلى تحديد كل من التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية . وتقارن نتائج هذه الفحوصات مع الحدود الدنيا او العليا او المديات المسموح بها حسب المواصفة القياسية المعمول

بها . وفي العراق تخضع فحوصات السيطرة النوعية للمواصفة القياسية رقم (٥) لسنة ١٩٨٤. وتشمل هذه المواصفة التحاليل الكيميائية وحساب النسبة المئوية للأطوار الرئيسة وبعض المعاملات الدالة (ذنون ، ١٩٧٩).

تقتصر الدراسة الحالية على الاهتمام بموضوع التنبؤ بقوة مقاومة الانضغاط للإسمنت البورتلندي سواء أكان ذلك باستخدام الطرق الإحصائية (الرياضية) أم بالاعتماد على مفاهيم المنطق المضبب. ويشير مسح المراجع العلمية بهذا الخصوص إلى وجود عدد من المحاولات الرياضية والإحصائية. تجرى المحاولات للتنبوء بقوة مقاومة الانضغاط وذلك لتوفير الزمن اللازم لإجراء مثل هذه الفحوصات وقياسها وتسهيل مهمة اتخاذ القرارات بشأن تغيير ظروف خطوط الإنتاج في مدة زمنية قليلة فضلا عن توفير المعدات والمواد والجهود المبذولة بشان إجراء هذه الفحوصات.

لقد حاول (Kohlhaas , 1983) إيجاد العلاقة الرياضية بين قوة مقاومة الانضغاط ومحتوى الأطوار الرئيسة و أطلق على هذه العلاقة دليل القوة وكما هو موضح في المعادلة آلاتية:- (المعاضيدي ،٢٠٠٠)

F28=(3 alite)+(2 belite)+(aluminate)-ferrite. (2)

ويجدر التنويه هنا بإن تطبيق هذه المعادلة على بيانات الدراسة الحالية يؤدي الى قيم مشوهة من قوة مقاومة الانضغاط للإسمنت البورتلندي العراقي.

يشير مسح المراجع العلمية المحلية إلى شحة أو ندرة الدراسات المعنية بالمعالجات الإحصائية لبيانات الفحوصات الكيميائية والفيزيائية والتنبؤ بقوة مقاومة الانضغاط للإسمنت البورتلندي العراقي (المعاضيدي ،٢٠٠٠). وربما يعود السبب في ذلك إلى محدودية تداول بيانات الإسمنت البورتلندي داخل معامل وشركات الأسمنت العراقية او في المديريات ذات العلاقة في وزارة الصناعة والمعادن.

تعد دراسة (ذنون ،١٩٧٩) من أوائل الدراسات عن المعالجات الإحصائية لبيانات الإسمنت البورتلندي الاعتيادي المنتج في معمل بادوش . وعرضت دراسته بيانات للتنبؤ بقوة مقاومة الانضغاط بتوظيف المعطيات الكيميائية والفيزيائية للإسمنت واستخدام معادلة الانحدار المتعدد ولمدد زمنية تراوحت بين سبعة ايام ولغاية تسعة و أربعين يوما . وتراوح الفرق بين القوة المقاسة والقوة المتوقعة لنموذجين بين(٨,٩%- و ٧,٣%+).

أما دراسة (المعاضيدي،٢٠٠٠) فكانت أول دراسة أكاديمية شاملة للإسمنت البورتلندي المنتج في جميع المعامل العراقية(١٩٩٨/١٩٩٧) وشاملة أيضا لجميع الفحوصات الكيميائية والفيزيائية بما في ذلك الفحوصات المجهرية والمعدنية فضلا عن المعالجات الإحصائية لمعطيات الدراسة . وبسبب هذه الميزات اعتمدت الدراسة الحالية على بيانات ومعطيات دراسة (المعاضيدي ،٢٠٠٠).

٢.المنطق المضبب

إن المنطق المضبب هو تقنية تتمتع بقدرة عالية على إيجاد الحلول للمشاكل المختلفة بما في ذلك الأكاديمية منها أو التطبيقية . وتوجد عشرات الألوف من تطبيقات المنطق المضبب الداخلة ضمن عمليات السيطرة والمعلوماتية . ويوفر المنطق المضبب طريقة بسيطة جدا للحصول على استنتاجات محددة من معلومات غير دقيقة وغامضة ومهمة. وبمعنى أخر ، فان المنطق المضبب يحاكي حالات اتخاذ القرارات لدى الإنسان مقرونة بالمحاولات لإيجاد حلول دقيقة من بيانات غير دقيقة أو تقريبية . ان المنطق المضبب يتضمن العديد من الدوال العضوية ومنها التي يطلق عليها توزيع Gaussian. وهنالك دالتان تبنيان على هذا التوزيع وهما :-النوع البسيط والنوع المركب . ((1986) Kandel)

النوع البسيط ويرمز له بـ (Guassmf) وهي دالة متناظرة وتعتمد على معلمين وهما c و∂ وكما في المعادلة الآتية :-

$$m(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2*\partial^2}}$$

أما النوع المركب ويرمز له بـ (Guass2mf) وهذه الدالة هي دمج لدالتين من نوع (Guassmf).

إن المنطق المضبب يعتمد أساسا على مجموعة من قواعد الأقسام الشرطية بشكل إذا-إذن IF-THEN. ان قاعدة الأقسام هي تلك القاعدة التي يتم احتسابها عن طريق جملة إذا الشرطية ، وتكون مشابهة لتلك القواعد المستخدمة في الأنظمة الخبيرة التقليدية ، ويكون للقواعد الشرطية الشكل العام آلاتي :-

if w is Z then x is Y

حيث إن wو x هي قيم عددية و Z و Y هي متغيرات لغوية . إن الجملة التي تتبع if تسمى بالفرضية المنطقية antecedent أو predicate . أما الجملة التي تتبع then فتسمى الاستنتاج consequent . وعلى هذا الأساس فان تفسير الجملة الشرطية أعلاه يكون :-

تنتمي x إلى Y بنفس درجة عضوية w إلى Z . (حمودات (2002))

إن عملية الترجمة if then تتكون من ثلاثة أجزاء :-
أ.الإدخال المضبب (fuzzy input).
ب.تطبيق عملية مضببة على الأجزاء المتعددة (apply fuzzy operator to multiple parts).
جـ. تطبيق طريقة التضمين (a pply implication methods).

إن الاستدلال المضبب هو صياغة التمثيل من الإدخال المعطى إلى الإخراج بحالة مقبولة باستخدام المنطق المضبب.أن التمثيل يعطي الأساس الذي يتشكل منه القرار الذي سوف يتخذ او النمط الذي سيطبق. ان عملية الاستدلال المضبب تتضمن كلا من دوال الانتماء و العمليات في المنطق المضبب و قواعد if then . هنالك نوعان من نظم الاستدلال المضبب التي يمكن تطبيقها في علبة العدة للمنطق المضبب في برنامج MATLAB وهما Mamdani type & Sugeno type .وهذان النوعان يختلفان في طريقة تمثيل الإخراج بشكل مجا ميع مضببة وقيم ثابتة على التوالي.ان نظم الاستدلال المضببة سبق تطبيقها بنجاح في حقول مختلفة كنظم السيطرة ، تصنيف البيانات ، تحليل القرارات ، النظم الخبيرة.ان نظم الاستدلال المضببة ترتبط مع بعض الأسماء مثل النظم المبنية على القواعد المضببة ، النظم الخبيرة المضببة ، النمذجة المضببة ، الذاكرة المضببة ، مسيطرات المنطق المضبب والنظم المضببة. (Ruan, 1997) و(Zadeh,1995)

إن مميزات نظم الاستدلال من نوع مامداني تكون مقبولة بشكل واسع وملائمة للإدخالات البشرية . أما نظم الاستدلال من نوع سوجينو فتكون كفؤة في الحسابات وخاصة في الطرق الخطية كما تكون ملائمة في حسابات الامثلية وتكون ملائمة جدا للتحليلات الرياضية.

٣. بيانات التحليل الكيميائي و الفحوصات الفيزيائية

تشتمل التحاليل الكيميائية على تحديد النسبة المئوية لمحتوى الأسمنت البورتلندي من اكاسيد العناصر الرئيسة والثانوية (SiO2 ، Al2O3 ، Fe2O3 ، CaO ، MgO ، SO3) باستخدام طرق التحاليل المحدودة في المواصفة العراقية (٧ / ١٩٨١) علاوة على النسبة المئوية للفقدان بالحرق (LOI) والفضالة غير الذائبة (IR) والكلس الحر (FL). وبالاعتماد على هذه البيانات يتم عادة حساب معامل الإشباع الجيري (LSF) ونسبة السيلكا (SR) ونسبة الألمنيوم / الحديد (AR) فضلا عن حساب نسبة الأطوار الرئيسة (C3S ، C2S ، C3A ، C4AF) و حساب مجموع الطورين (C2S + C3s).

تجرى عادة الفحوصات الفيزيائية بموجب المواصفة العراقية (١٩٦٨/٨) وتشمل على القياسات النظامية للخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلندي وهي النعومة (FN) و قلة التجمد الابتدائي والنهائي (I.ST و F.ST) وقوة مقاومة الانضغاط لثلاثة ايام (3D) وسبعة أيام (7D) وثمانية وعشرين يوما (28D).(المعاضيدي (٢٠٠٠))

تجرى فحوصات قوة مقاومة الانضغاط لمدة ثلاثة أيام وسبعة أيام وثمانية وعشرين يوما ، إلا أن الدراسة الحالية تتمحور في التنبؤ بخاصية قوة مقاومة الانضغاط لمدة ثمانية وعشرين يوما وذلك لتوفير الفترة الزمنية (٢٨ يوما) لاتخاذ القرارات بشان خطوط الإنتاج علاوة على توفير الجهود والاجهزة والمختبرات في إجراء هذه الفحوصات .إذ يتم إنجاز ذلك عمليا باستخدام الخطوات المؤشرة في المواصفة القياسية العراقية رقم (٥) لسنة ١٩٨٤.

٤. استخدام المنطق المضبب لتقدير قوة مقاومة انضغاط الأسمنت

تم الاعتماد على بيانات التحليل الكيميائي و الفحوصات الفيزيائية باستخدام الجداول آلاتية:

الجدول (١) مديات تراكيز اكاسيد العناصر

اكاسيد العناصر	المديات
SiO2	٢٣,٧٢-٢١,٢١
Al2O3	٥,٨٨-٥,١٦
Fe2O3	٤,٠١-١,٧٥
CaO	٦٣,٧٤-٥٨,٣٣
SO3	٤,١٨-١,٧٦
Free lime	٢,٩١-٠,٥٦

جدول (٢) مديات محتوى الأطوار الرئيسة

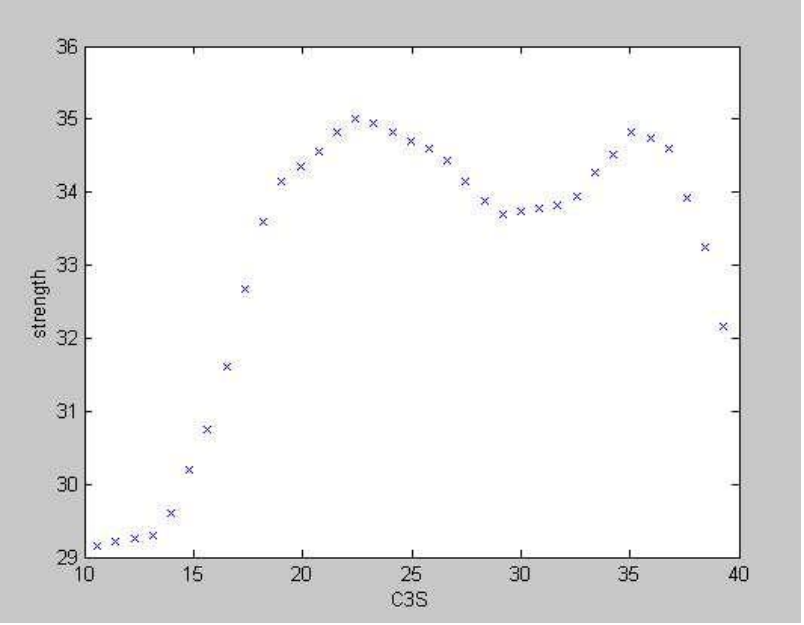
الأطوار الرئيسة	المديات
C3S	٣٩,٣-١٠,٦
C2S	٥٨,٣-٣٤,٩
C3A	١٢,٤-٦,٩
C4AF	١٢,٢-٥,٣

الجدول (٣) مديات نتائج الفحوصات الفيزيائية

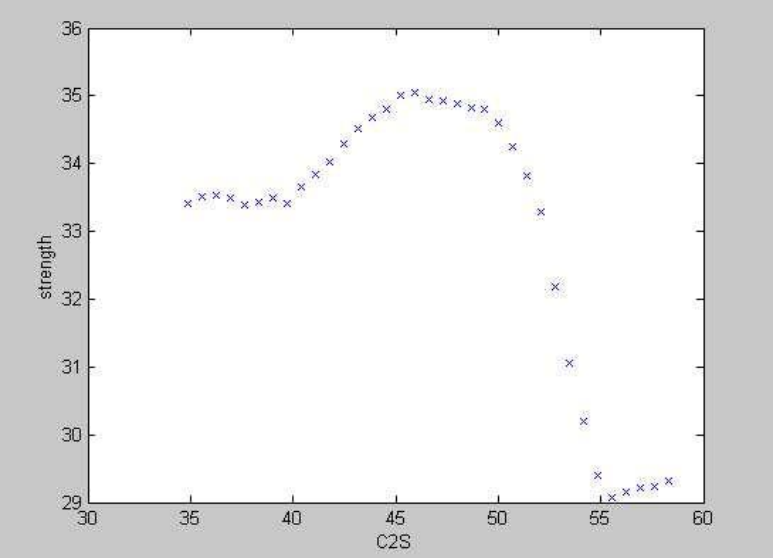
الفحوص الفيزيائية	المديات
قوة مقاومة الأسمنت (٣ أيام)	٢٩,٠-١٤,٥
قوة مقاومة الأسمنت (٧ أيام)	٣٧,٣-٢٣,٠
قوة مقاومة الأسمنت (٢٨ يوماً)	٤٥,٥-٢٥

يتضمن هذا البحث دراسة العلاقة بين كل من الأطوار الأربعة الرئيسة (C3S و C2S و C3A و C4AF) وقوة مقاومة الانضغاط للإسمنت. ومن الأمور المهمة هي الحصول على منحنيات ممهدة smooth curves توضح العلاقة بين كل من الأطوار الرئيسة الأربعة وقوة مقاومة الانضغاط . ومن خلال هذه المنحنيات يمكن تحديد دوال العضوية membership function واللازمة لبناء النظام الحاسوبي المضبب. ومن الامور المهمة التي تمكننا من بناء نظام حاسوبي مضبب هي معرفة شكل العلاقة بين الأطوار الأربعة (C3S و C2S و C3A و C4AF) وقوة مقاومة الانضغاط للإسمنت ، إذ انه من شكل العلاقة يمكن تحديد دالة العضوية المناسبة في كل حالة .

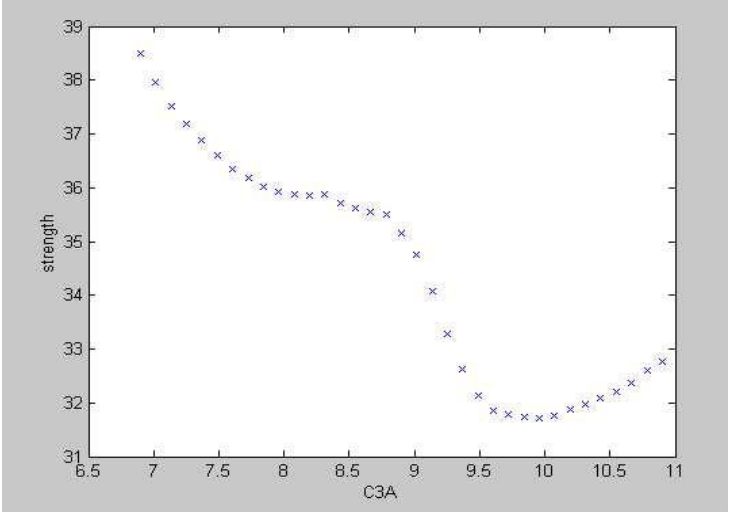
في البداية تم استخدام الأسلوب الكلاسيكي المعروف بشكل الانتشار Scatter Diagram لمعرفة شكل العلاقة وذلك من خلال رسم أزواج النقاط بيانيا. إلا أن العقبة الكبيرة التي واجهتنا هي أن الأشكال الناتجة في شكل الانتشار غير واضحة المعالم ومشوشة Noisly وغير ممهدة Not Smooth. لذا فان الأمر يتطلب معالجة هذه المشكلة للوصول إلى منحنيات ممهدة Smooth Curves . لقد تمت الاستعانة بأسلوب إحصائي بياني حديث لهذا الغرض واستخدمت طريقة التمهيد اللبي Kernal Smoothing للمعالجة وباستخدام الشباك المثلثي Triangular Window (ذنون ،١٩٩٨) .وتم إعداد البرامج اللازمة لهذه الطريقة باستخدام تطبيق MatLab كي يتم ربطها بالنظام المضبب. والأشكال (١ ، ٢ ، ٣ ، ٤) توضح الأشكال الناتجة بعد المعالجة . وكما هو واضح فان الأشكال الناتجة ممهدة Smooth وواضحة المعالم. من ناحية أخرى فان العلاقة بين قوة انضغاط الأسمنت وكل طور من الأطوار الأربعة هي علاقة غير خطية لها شكل خاص بها ، كما ان قوة مقاومة الانضغاط تتأثر بشكل ملحوظ على مدى قيم كل طور مما يعطي المبرر المنطقي لاستخدام نظام رياضي كفوء لمعالجة الأنظمة المعقدة ذوات العلاقات البعيدة عن الأنظمة الخطية.



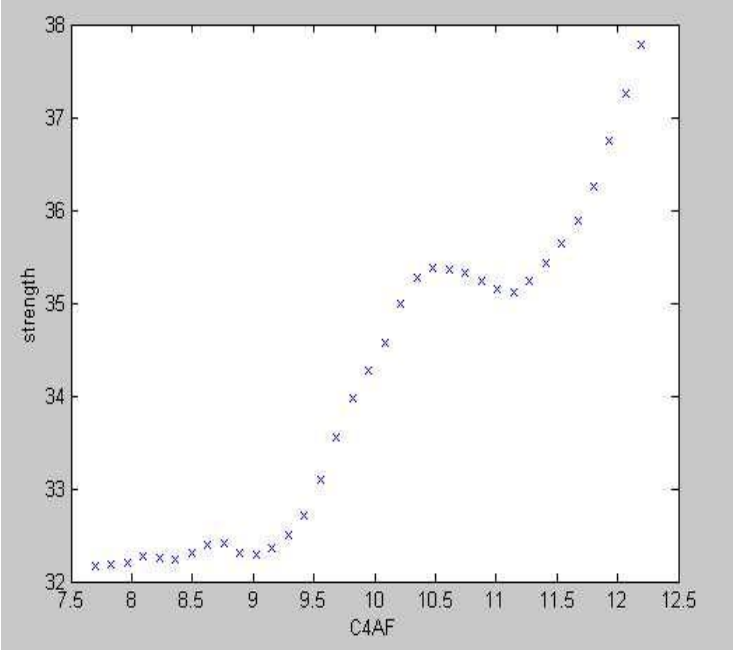
الشكل (١) العلاقة بين C3S وقوة الانضغاط بعد التمهيد



الشكل (٢) العلاقة بين C2S وقوة الانضغاط بعد التمهيد



الشكل (٣) العلاقة بين C3A وقوة الانضغاط بعد التمهيد



الشكل (٤) العلاقة بين C4AF وقوة الانضغاط بعد التمهيد

لقد تم تصميم نظام حاسوبي مضبب يقوم بفحص الخواص الفيزيائية والكيميائية للإسمنت ومطابقة هذه الخواص للمواصفة العالمية ومن ثم تقدير قوة مقاومة انضغاط الأسمنت. وتم الاعتماد على صندوق العدة لتطبيق MatLab من إجراء الحسابات اللازمة فضلاً عن برامج خاصة تم ربطها بالنظام لغرض إكمال عمليات التمهيد اللازمة.

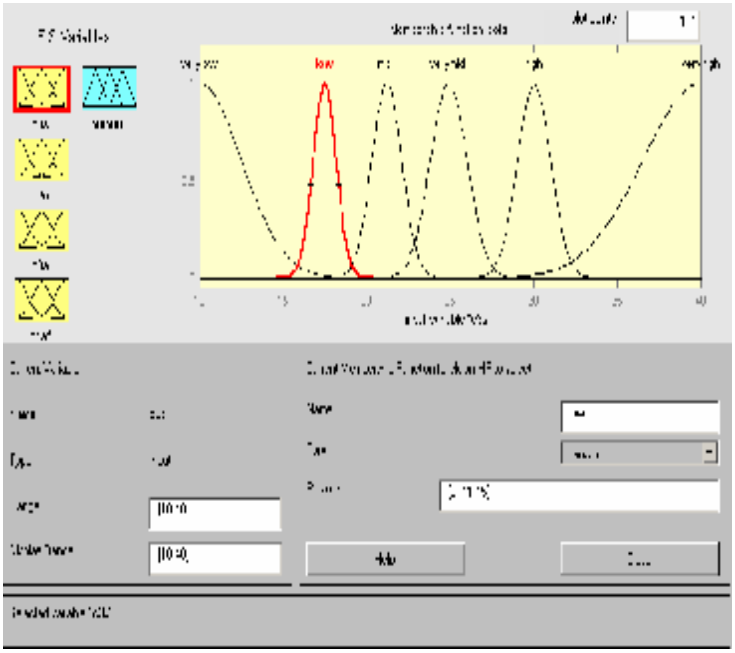
وقد تم اعتماد الخوارزمية الآتية لتصميم النظام :-

الخطوة الأولى :- ندخل البيانات الخام على واجهات مصممة وهذه البيانات تمثل التحاليل الفيزيائية والكيميائية للإسمنت.

الخطوة الثانية :- يتم حساب قيم الأطوار الأربعة باستخدام معادلات تسمى معادلات بوك .

الخطوة الثالثة :- باستخدام البيانات الخاصة بقوة مقاومة انضغاط الأسمنت يتم إيجاد علاقة بين القوة وكل طور من الأطوار الأربعة.

لتوضيح كيفية الاستفادة من المنحنيات الممهدة في الأشكال السابقة في استنتاج الدوال العضوية ، نلاحظ من الشكل الأول وجود علاقة غير خطية بين الطور C3S والقوة ويمكن الاستفادة من الشكل الممهد لتقسيم المنحني إلى قطع لتكوين دوال العضوية. وهذه العملية موضحة في الشكل الآتي :-



الشكل (٥) الدالات العضوية للطور C3S

في الشكل (٥) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (١) ، إذ تم تقسيم المنحني إلى ست قطع اعتمادا على قوة مقاومة انضغاط الإسمنت :-

القطعة الأولى سميت فيها الدالة العضوية (Very Low).

القطعة الثانية سميت فيها الدالة العضوية (Low).

القطعة الثالثة سميت فيها الدالة العضوية (Mid).

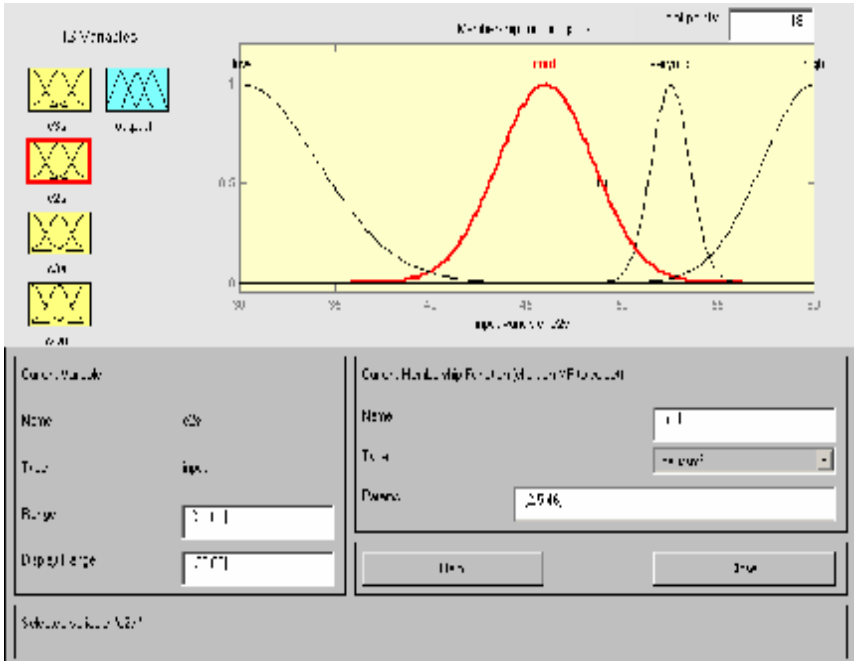
القطعة الرابعة سميت فيها الدالة العضوية (Very Mid).

القطعة الخامسة سميت فيها الدالة العضوية (High).

القطعة السادسة سميت فيها الدالة العضوية (Very High).

إن الدالة العضوية Very Lowعلى سبيل المثال تكون اعظم قيمة لها، أي تكون درجة العضوية تساوي "١" ، عندما تكون قيمة C3S هي ١٠ وعندها تكون الدالة في ذروتها وكلما تزداد قيمة C3S تقل درجة العضوية وهذا هو الأساس الذي يستند إليه عمل دوال العضوية. ان المدى للمتغير C3S بين ١٠ و٤٠ وضمن هذا المدى تم رسم دوال العضوية.ان سبب استخدام دوال العضوية من نوع Gaussmf هو اقتراب المعدل الحسابي من الوسيط للأطوار الأربعة باستثناء طور C4AF .

لننتقل الآن إلى العلاقة بين C2S وقوة مقاومة الانضغاط. نلاحظ من الشكل (٢) وجود علاقة غير خطية بين الطور C2S والقوة ويمكن الاستفادة من الشكل الممهد لتقسيم المنحني إلى قطع لتكوين دوال العضوية . وهذه القطع موضحة في الشكل الآتي :-



شكل (٦) الدالات العضوية للطور C2S

في الشكل (٦) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (٢) ، إذ تم تقسيم المنحنـــي إلى أربع قطع اعتمادا على قوة مقاومة انضغاط الإسمنت :-

القطعة الأولى سميت فيها الدالة العضوية (Low).

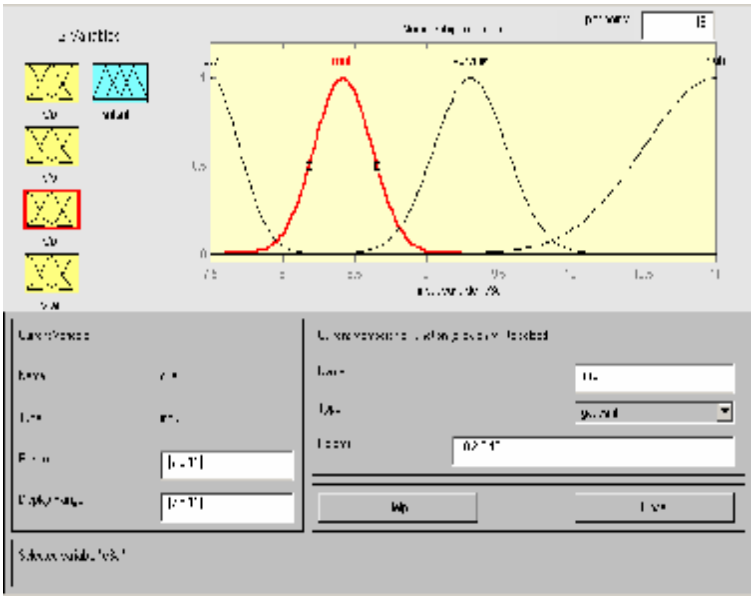
القطعة الثانية سميت فيها الدالة العضوية (Mid).

القطعة الثالثة سميت فيها الدالة العضوية (Very Mid).

القطعة الرابعة سميت فيها الدالة العضوية (High).

إن الدالة العضوية Low على سبيل المثال تكون اعظم قيمة لها أي تكون درجة العضوية تساوي "١" ، عندما تكون قيمة C2S هي ٦٠ وعندها تكون الدالة في ذروتها وكلما تقل قيمـــة C2S تقل درجة العضوية وهذا هو الأساس الذي يستند إليه عمل الدالات العضوية. ان المـــدى للمتغير C2S بين ٣٠ و٦٠ وضمن هذا المدى تم رسم دوال العضوية الأربعة.

لو انتقلنا الآن إلى دراسة العلاقة بين C3A وقوة الانضغاط فأننا نلاحظ من الشكل (٣) انه توجد علاقة غير خطية بين الطور C3A والقوة ويمكن الاستفادة من الشكل الممهد لتقسيم المنحني إلى قطع لتكوين دوال العضوية ، وهذه القطع موضحة في الشكل الأتي :-



الشكل (٧) الدالات العضوية للمتغير C3A

في الشكل (٧) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (٣) إذ تم تقسيم المنحني إلى أربع قطع اعتمادا على درجة القوة :-

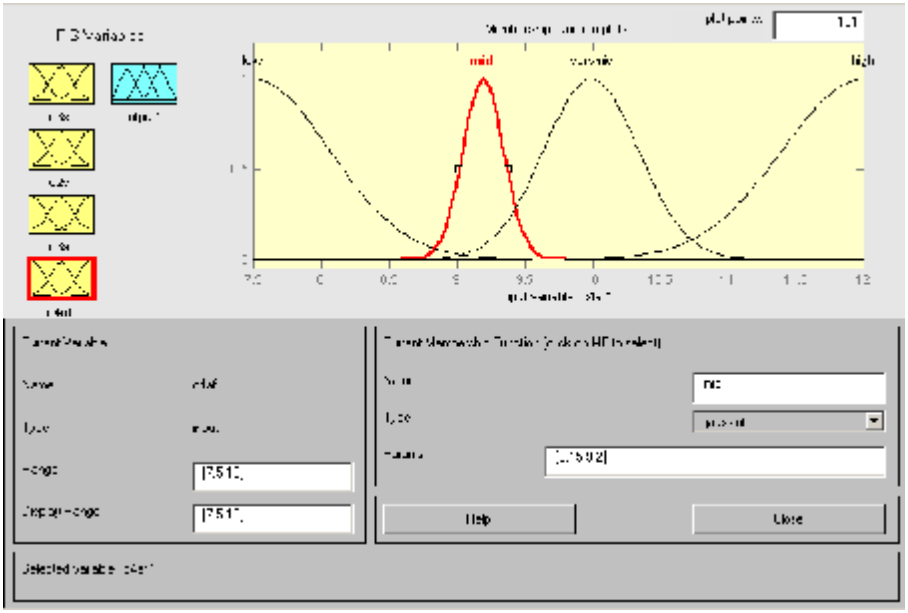
القطعة الأولى سميت فيها الدالة العضوية (Low).

القطعة الثانية سميت فيها الدالة العضوية (Mid).

القطعة الثالثة سميت فيها الدالة العضوية (Very Mid).

القطعة الرابعة سميت فيها الدالة العضوية (High).

ولدراسة العلاقة بين C4AF وقوة الانضغاط فإننا نلاحظ من الشكل (٤) وجود علاقة غير خطية بين الطور C4AF والقوة ويمكن الاستفادة من الشكل الممهد لتقسيم المنحني الى قطع لتكوين الدالات العضوية ، وهذه القطع موضحة في الشكل الأتي :-



الشكل (٨) الدالات العضوية للمتغير C4AF

في الشكل (٨) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (٤) إذ تم تقسيم المنحني إلى أربع قطع اعتمادا على درجة القوة :-

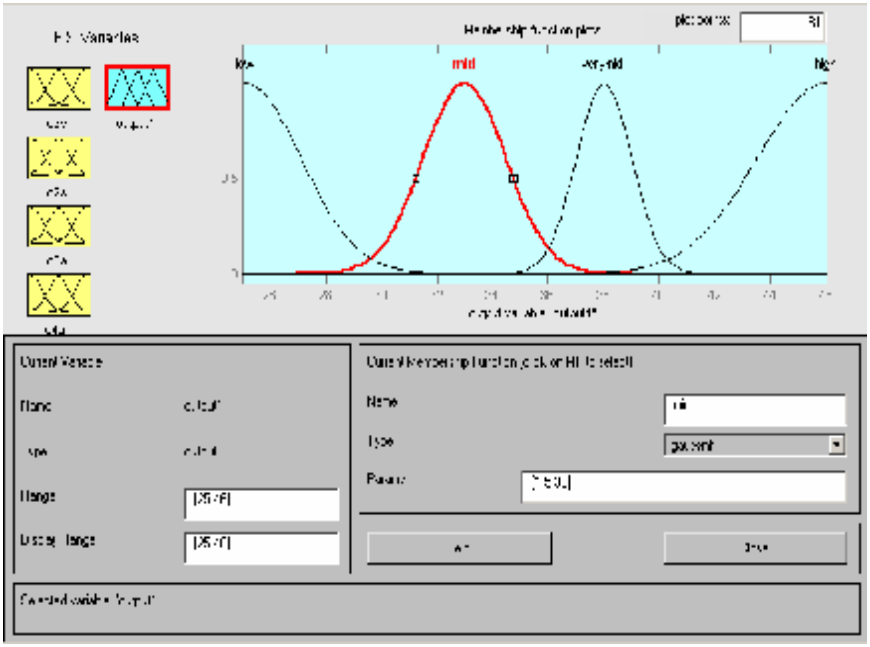
القطعة الأولى سميت فيها الدالة العضوية (Low).

القطعة الثانية سميت فيها الدالة العضوية (Mid).

القطعة الثالثة سميت فيها الدالة العضوية (Very Mid).

القطعة الرابعة سميت فيها الدالة العضوية (High).

أخيرا يتم تقسيم الخارج output إلى عدد من دوال العضوية وحسب ما يقتضيه النظام وكما موضح بالشكل الأتي :-



الشكل (٩) الدالات العضوية لمتغير الإخراج

في الشكل (٩) تم تقسيم المنحني إلى أربع قطع اعتمادا على درجة قوة الانضغاط للإسمنت: -

القطعة الأولى سميت فيها الدالة العضوية (Low).

القطعة الثانية سميت فيها الدالة العضوية (Mid).

القطعة الثالثة سميت فيها الدالة العضوية (Very Mid).

القطعة الرابعة سميت فيها الدالة العضوية (High).

الآن وبعد تصميم دوال العضوية لمتغيرات الإدخال والإخراج ورسمها نبدأ بتكوين القواعد rules (وكما موضح في الملحق) بالاعتماد على البيانات المتوافرة للأطوار الأربعة وقوة مقاومة انضغاط الأسمنت فعلى سبيل المثال إذا كان كل من الأطوار الأربعة على النحو الأتي :-

C3S =23.4
C2S=47.2
C3A = 8.9

C4AF = 11.1

فإننا نحاول الآن ان نجد دالة العضوية التي تنتمي إليها كل قيمة من القيم السابقة.ويمكن الملاحظة بسهولة أن :-

C3S تنتمي إلى دالة العضوية التي اسمها Mid بدرجة معينة و Very Mid بدرجة معينة.

C2S تنتمي إلى دالة العضوية التي اسمها Mid.

C3A تنتمي إلى دالة العضوية التي اسمها Mid بدرجة معينة وكذلك ينتمي إلى Very Mid بدرجة معينة.

C4AF تنتمي إلى دالة العضوية التي اسمها High.

و إما بالنسبة إلى الإستنتاج فمثلا قوة مقاومة انضغاط الأسمنت لقيم الأطوار الأربعة المذكور سابقا تساوي (٣٢) فإننا نقوم بفحص هذه القيمة مع دوال العضوية لمتغير الإخراج ، وتكون النتيجة إنها تقع في دالة العضوية التي اسمها (Mid) وهذا هو الحال مع جميع نماذج البحث البالغة (٣٤) نموذجاً.

إذ أن قيم الأطوار الأربعة وقيمة قوة مقاومة الأسمنت قد تم حسابها من قبل (المعاضيدي ،٢٠٠٠). فبعد معرفة الدوال العضوية لكل من الأطوار الأربعة وقوة مقاومة الانضغاط للإسمنت اصبح بالإمكان استنتاج القواعد وعلى النحو الأتي :-

1. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
2. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
3. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is Very_Mid) (1)
4. If (c3s is Very_Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
5. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is Very_Mid) (1)
6. If (c3s is Very_High) and (c2s is Low) and (c3a is Low) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
7. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is High) (1)
8. If (c3s is High) and (c2s is Low) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
9. If (c3s is High) and (c2s is Low) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
10. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
11. If (c3s is Mid) and (c2s is Very_Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
12. If (c3s is Low) and (c2s is Very_Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
13. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
14. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is Very_Mid) (1)
15. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
16. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Very_Mid) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
17. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
18. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Very_Mid) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
19. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is Very_Mid) (1)
20. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is Very_Mid) (1)
21. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is Very_Mid) (1)
22. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is Very_Mid) (1)
23. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is High) (1)
24. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is High) (1)
25. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is High) (1)
26. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is High) (1)
27. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is Very_Mid) (1)
28. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is Very_Mid) (1)

29. If (c3s is High) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is Very_Mid) (1)
30. If (c3s is High) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is Very_Mid) (1)
31. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is High) (1)
32. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is High) (1)
33. If (c3s is High) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is High) (1)
34. If (c3s is High) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is High) (1)
35. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is High) (1)
36. If (c3s is Low) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is High) (1)
37. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Low) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
38. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
39. If (c3s is High) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
40. If (c3s is Very_Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
41. If (c3s is Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Very_Mid) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
42. If (c3s is Low) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)

43. If (c3s is Low) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
44. If (c3s is Low) and (c2s is Very_Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
45. If (c3s is Mid) and (c2s is Very_Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
46. If (c3s is Very_Low) and (c2s is High) and (c3a is Very_Mid) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
47. If (c3s is Very_Low) and (c2s is High) and (c3a is Very_Mid) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
48. If (c3s is Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is mid) (1)
49. If (c3s is Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is low) (1)
50. If (c3s is Very_Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is low) (1)
51. If (c3s is Very_Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is mid) (1)
52. If (c3s is Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is low) (1)
53. If (c3s is Low) and (c2s is High) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is mid) (1)
54. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Low) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
55. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Low) and (c4af is High) then (output1 is Very_Mid) (1)
56. If (c3s is Very_High) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is mid) (1)
57. If (c3s is Very_High) and (c2s is Low) and (c3a is Mid) and (c4af is High) then (output1 is low) (1)
58. If (c3s is Very_High) and (c2s is Low) and (c3a is Low) and (c4af is High) then (output1 is low) (1)
59. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Mid) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is mid) (1)
60. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is Low) and (c4af is Very_Mid) then (output1 is mid) (1)
61. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is mid) (1)
62. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is low) (1)
63. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Mid) then (output1 is Very_Mid) (1)
64. If (c3s is Very_Mid) and (c2s is Mid) and (c3a is High) and (c4af is Low) then (output1 is High) (1)

بعد تكوين القواعد وإظهار النتائج نعمل على إزالة الضبابية ونحصل على النتيجة النهائية أي نحصل على قوة مقاومة انضغاط الإسمنت وهذه القيمة تتم مقارنتها مع القيمة المحسوبة لإظهار الأسلوب الأفضل وكما موضح في الجدول (٤).

٥. تطبيق النظام والنتائج :-

يتم إدخال البيانات التي تمثل التحاليل الكيمائية للإسمنت إلى النظام وذلك عن طريق الواجهة المصممة لهذا الغرض ، إذ يتم حساب الأطوار الأربعة ، وبعدها يتم الدخول إلى النظام المضبب الذي يكون في ملف اسمه D_C_S.fis و إعطائه إلى متغير معين وليكن Sys ، وبعد ذلك يتم استخدام الدالة (evalfis) وهذه الدالة تحتوي على متغيرين الأول يمثل المدخلات إلى النظام والثاني يمثل المتغير الخاص بالنظام وكما يأتي :-

```
sys =readfis(“ D_C_S.fis “);
```

comp_str=evalfis ([C3S C2S C3A C4AF] , sys);

أن الجملة الأولى هي مجرد إحلال النظام إلى متغير مثل sys الذي يمثل طريقة التعامل مع النظام، أي يتم إدخال البيانات إلى النظام والإخراج منه. أما الجملة الثانية فهي عملية إدخال البيانات إلى النظام واخذ الإخراج منه ، إذ يتم إدخال قيم الأطوار الأربعة واخذ الناتج من المتغير Comp_Str . فعن طريق دالات العضوية والقواعد المكونة يتم اخراج النتائج.ولو أدخلنا مدخلات النماذج (٣٤ نموذجا) فان النتائج تكون بالشكل الأتي :-

كان مقدار الخطأ باستخدام طريقة مامداني هو ١٦,٤٥ بينما باستخدام الطريقة الإحصائية كان ٢١,٩٥ وباستخدام طريقة سوجينو كان٢٩،٢٥وهذا يعني أن النظام المصمم باستخدام طريقة مامداني كان اكفأ من الطريقة الإحصائية وطريقة سوجينو وكما موضح في الجدول القادم.

الجدول (١) يوضح تباين درجة قوة مقاومة انضغاط الإسمنت بالطرائق الثلاثة

تسلسل النموذج	القيم الحقيقية	الطريقة الإحصائية	طريقة مامداني	طريقة سوجينو
١	٣٧,٥	٣١,٤	٣٣	٣٢,٢
٢	٣٨	٣١,٤	٣٥,٥	٣٥,٤
٣	٣٥,٥	٣١,٤	٣٥,٥	٣٥,٤
٤	٣٢	٣٤,٩	٣٤,٥	٣٤,٨
٥	٣٨,٥	٣٥,٢	٤٠,٢	٤١,٩
٦	٤٣	٣٥,١	٤٢,٤	٤٥,٦
٧	٢٥	٣٢,٣	٣٢,٧	٣٠,٧
٨	٣٤,٥	٣٢,٣	٣٥,٥	٣٥,٤
٩	٣٣,٥	٣٢,٣	٣١,٤	٢٩,٦
١٠	٢٨,٥	٣٢,٥	٣٠,٦	٢٩
١١	٢٧,٥	٣٣,١	٣٥,٥	٣٥
١٢	٢٨,٥	٣١,٦	٣٤,١	٣٢
١٣	٣٠	٣١,٥	٣٠,٧	٢٩
١٤	٢٨,٥	٣٢,٤	٣٠,٩	٢٩
١٥	٢٩,٥	٣٢,٣	٣١	٣٥,٤
١٦	٣٥,٥	٣٥,٢	٣٥	٢٩
١٧	٣١,٥	٣٤,٥	٣٠,٦	٣٦,٥
١٨	٣٤,٥	٣٤,٥	٣٦	٣٣
١٩	٣٠,٥	٣٢,٧	٣٣,٨	٣٤,٦
٢٠	٣٧	٣٢,٨	٣٥,٥	٣٥,٤

٢١	٤٥,٥	٣٢,٨	٣٥,٥	٢٩,١
٢٢	٢٨,٥	٣٢,٧	٣١,٧	٢٩,٢
٢٣	٣٠,٥	٣٣,٣	٣٣,٢	٣٢,٩
٢٤	٢٨,٥	٣٢,٧	٣٤	٣١
٢٥	٣٣,٥	٣٢,٧	٣٣,١	٣٠
٢٦	٣٠,٥	٣٢,٧	٣٣,١	٣٠,٢
٢٧	٣٤,٥	٣٣	٣٤,٩	٣٣,٤
٢٨	٣٦,٥	٣٥,٧	٣١,٦	٢٩,٦
٢٩	٤٠	٣٦,٦	٣٠,٧	٢٩
٣٠	٣٣	٣٤	٣٣	٣٢,٩
٣١	٤١	٣٤,٧	٣٧,٧	٣٧,٩
٣٢	٣١,٥	٣٥,٤	٣٧,٩	٣٨,٩
٣٣	٣٤	٣٤,٨	٣٧,٧	٣٩,١
٣٤	٣٢,٥	٣٤,٣	٣٤,٣	٣٤,٢

٦. الاستنتاجات:

١. إن العلاقة بين قوة انضغاط الأسمنت وكل من الأطوار الأربعة C3S و C2S و C3A و C4AF هي علاقة غير خطية ذات طبيعة معقدة مما يستوجب استخدام أساليب رياضية كفؤءة للتعامل مع مثل هذه العلاقات.

٢. إن اختيار أسلوب المنطق المضبب يبدو موضوعيا لان هذا الأسلوب مخصص أصلا لمعالجة النظم المعقدة.

٣. إن النظام الحاسوبي الذي تم إعداده يمكن الاستفادة منه من قبل معامل الإسمنت من خلال السيطرة الآنية على الأسمنت وذلك بمعالجة مكوناته الكيمياوية وخصائصه الفيزياوية مع المواصفات القياسية. كذلك فان النظام يقدم للعاملين في الإسمنت تقديرا مقبولا لقوة مقاومة انضغاط الإسمنت بعد (٢٨) يوما.

٧. التوصيات :

١. يمكن تطوير العمل الحالي باتجاهات مختلفة . ولعل من التوصيات الملحة هو تطوير النظام لتقدير قوة الانضغاط بعد أية مدة زمنية (غير محددة) وبطبيعة الحال فان مثل هذا المشروع يتطلب معلومات وتفاصيل إضافية تحتاج إلى جهود وتخصيصات خاصة .

٢. ومن التوصيات العامة فإننا نوصي بإنشاء مركز تخصصي لدراسة الإسمنت العراقي في جوانبه كافة بما في ذلك استخدامات المنطق المضبب في عمليات التصنيع والسيطرة النوعية.

المصادر

(١) حمودات ، عابدة تحسين توفيق (٢٠٠٢) ، "**استخدام المنطق المضبب في صنع القرار لتخمين تسعير منتوج جديد** " ، رسالة ماجستير ، جامعة الموصل .

(٢) الدباغ ، سالم محمود والمعاضيدي ، ساهرة محمد عثمان (٢٠٠٤) ، "العوامل المؤثرة في الخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلندي العراقي " ، **مجلة علوم الرافدين** العدد (١) المجلد (١٤) ، صفحة ٧٩-٩١.

(٣) ذنون ، باسل يونس (١٩٩٨) ، "التقدير اللبي : أسلوب بياني في التقدير الإحصائي " ، **علوم الرافدين** ، المجلد ٩ ، العدد ١ ، صفحة ٨٩-٩٩.

(٤) ذنون ، باسل يونس (١٩٧٩) ، "**دراسة إحصائية عن تاثير مكونات السمنت والزمن على صلابته** " ، جامعة الموصل ، صفحة ٣-٢٠

(٥) المعاضيدي ، ساهرة محمد عثمان و الدباغ ، سالم محمود (٢٠٠١) ، **مدلولات تقارير البيانات الحسابية للمحتوى الكمي من الأطوار الرئيسية وبعض المعاملات والنسب الدالة للأسمنت البورتلندي العراقي** ، مجلد وقائع المؤتمر العلمي الرابع لوزارة الإسكان والتعمير ، بغداد المحور الرابع ، صفحة ٦٥٣-٦٦٦

(٦) المعاضيدي ، ساهرة محمد عثمان (٢٠٠٠) ، "**الضوابط المعدنية والبتروغرافية والكيميائية للخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلندي العراقي** " ، أطروحة دكتوراه ، جامعة الموصل ، صفحة ١٠٣-١٦٧

[7] Bogue (1929) , In : Lea, F . M. (1965) **The chemistry of cement and concrete** , Edward Arnold (publishers) ltd, London , 2th edition , pp.184-211

[8] Kandel, Abrahams, (1986) , **Fuzzy Mathematical Techniques with Applications** , Addison – Wesley publishing company .

[9] Kohlhaas ,B.et al(1983) , **Cement Engineers Handbook** , Fourth English edition , originated by Otto Labahn , translated by C. van Amerongen from the sixth German edition , Bauverlag Gmbh, Wiesbaden and Berlin , pp.625-653.

[10] Ruan , da, (1997), **Intelligent Hybrid Systems : Fuzzy Logic , Neural Networks and Genetic Algorithms** , Klwer Academic publishers, pp.21-32.

[11] Zadeh Lotfi a., (1995), **Fuzzy Logic Toolbox**, Berkerly , pp.3-82.