Using Fuzzy Logic to Construction of Expert Computer Model for Forecast of Compressive Strength of the Portland Cement

Basil Y. Al-Khayyat

Sufyan S. Al-Dabbagh

*College of Computer Science and Mathematics
University of Mosul, Iraq*

Received on: 02/09/2004

Accepted on: 05/04/2005

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.

Keywords: fuzzy logic, expert computer model.

استخدام المنطق المصنوب في تصميم نظام حاسوبي خبير للتنبؤ

بقوة مقاومة انضغاط الأسمنت البورتلاندي

سفیان سالم الدباغ

باسل یونس ذنون الخياط

كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل

تاريخ قبول البحث: 2005/04/05

تاريخ استلام البحث: 2004/09/02

الملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تصميم نظام حاسوبي خبير للتنبؤ بقوة مقاومة انضغاط الأسمنت البورتلاندي. ويتم ذلك بإدخال بيانات التحليل الكيميائي للأسمنت من خلال واجهة مصممة (GUI) في برنامج MatLab. يعقب ذلك حساب محتوى الأطوار (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF). وبعدها يتم الارتباط بواجهات المنطق المصنوب وتمثل الأطوار المذكورة إدخالات إلى واجهات المنطق المصنوب، عن طريق القواعد الشرطية (IF-THEN). وبعد إزالة الضبابية (Defuzzification) تظهر على الواجهة قيمة قوة مقاومة الانضغاط للأسمنت. ويتم تقييم نتائج المنطق المصنوب بمقارنتها مع نتائج الطرائق الإحصائية ومن خلال حساب معدل مربع الفروقات لنتائج كلتا الطريقتين.

الكلمات المفتاحية: المنطق المصنوب، نظام حاسوبي خبير.

1. المقدمة

مهما بلغ التطور الكبير في معدات الإنتاج ووحدات التحكم الإلكترونية و أعمال السيطرة النوعية ، يبقى الأسمنت البورتلاندي 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 المضرب fuzzy logic لغرض التنبؤ بنتائج أحد فحوصات السيطرة النوعية المهمة وهي قوة مقاومة الانضغاط compressive strength للأسمنت المنتج في المعامل العراقية (1997\1998) وباعتماد على بيانات التركيب الكيميائي ومحتوى الأطوار الرئيسة المحسوبة رياضيا في منتج الأسمنت وكما عرضتها دراسة (الدباغ والمعاضيدي، 2004) و (المعاضيدي والدباغ، 2001) .

تعتمد صناعة الأسمنت البورتلاندي 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 تجري 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 البورتلاندي كمادة إنشائية ، ويمكن أيجاز الأطوار الأساسية بالآتي :-

أ-الايث :- 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 الاايث تحت المجهر بشكل سداسي كامل أو ناقص أو عديم الأوجه وبلون رصاصي فاتح.

ب-البيلايث:- 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 البيلايث بلون رصاصي فاتح وبحجم اصغر من حجم بلورات الاايث وبأشكال مدورة منفردة أو بشكل حشود مفككة أو بشكل تجمع عنقودي.

ج.-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 أو مستطيلة أو موشورية . ويستدل على وجوده تحت المجهر من خلال قابليته العالية على التحفر عند معالجته بالماء .

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

هـ. - الأطوار الأخرى :- تشير ملاحظات الفحص المجهرى 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 ،والبيلاييت (C2S) البطيء الاماهة والمسؤول عن القوة السريعة جدا، وطور الالومينيت (C3A) ذي الاماهة السريعة جدا وطور الفيراييت (C4AF) ذي الاماهة البطيئة جدا. والطوران الأخيران غير مسؤولين عن قوة تصلب الأسمنت بشكل مباشر وكما ذكر (المعاضيدي ،2000) ، وفي حالة التوازن ، يمكن حساب النسبة المئوية للأطوار الأربعة النقية باستخدام معطيات التحليل الكيميائي (تراكيز اكاسيد العناصر بالمائة وزنا :- ، SO3 ، CaO ، Fe2O3 ، Al2O3 ، SiO2 فضلا عن طور سليكات الكالسيوم الثلاثي) وحسب المعادلات الآتية (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 أو العليا أو المديات المسموح بها حسب المواصفة القياسية المعمول بها . وفي العراق تخضع

فحوصات السيطرة النوعية للمواصفة القياسية رقم (5) لسنة 1984. وتشمل هذه المواصفة التحاليل الكيميائية وحساب النسبة المئوية للأطوار الرئيسية وبعض المعاملات الدالة (ذنون ، 1979).
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 للتنبؤ 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 بشأن إجراء هذه الفحوصات.

لقد حاول (Kohlhaas , 1983) إيجاد العلاقة الرياضية بين قوة مقاومة الانضغاط ومحتوى الأطوار الرئيسية و أطلق على هذه العلاقة دليل القوة وكما هو موضح في المعادلة الآتية:- (المعاضدي ،2000)

$$F_{28} = (3 \text{ alite}) + (2 \text{ belite}) + (\text{aluminate}) - \text{ferrite.} \quad (2)$$

ويجدر التنويه هنا بأن 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 (المعاضدي ،2000). وربما يعود السبب في ذلك إلى محدودية تداول بيانات الإسمنت البورتلندي داخل معامل وشركات الأسمنت العراقية او في المديریات ذات العلاقة في وزارة الصناعة والمعادن.

تعد دراسة (ذنون ،1979) 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(8.9% - و 7.3% +).

أما دراسة (المعاضدي،2000) فكانت أول دراسة أكاديمية شاملة للإسمنت البورتلندي المنتج في جميع المعامل العراقية(1997/1998) 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 (المعاضدي، 2000).

2. المنطق المضرب

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

النوع البسيط ويرمز له بـ (Guassmf) وهي دالة متناظرة وتعتمد على معلمين وهما c

و θ وكما في المعادلة الآتية :-

$$\mu(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2*\theta^2}}$$

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

(Guassmf) .

إن المنطق المضرب 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 الآتي :-

if w is Z then x is Y

حيث إن w و 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 بالاستنتاج consequent . وعلى هذا الأساس فإن 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 المضبيب (fuzzy input).

ب. تطبيق عملية مضببة على الأجزاء المتعددة (apply fuzzy operator to multiple parts).

ج. تطبيق طريقة التضمين (apply implication methods).

إن الاستدلال المضبيب هو صياغة التمثيل من الإدخال المعطى إلى الإخراج بحالة مقبولة باستخدام المنطق المضبيب. أن التمثيل يعطي الأساس الذي يتشكل منه القرار الذي سوف يتخذ أو النمط الذي سيطبق. ان عملية الاستدلال المضبيب تتضمن كلا من دوال الانتماء و العمليات في المنطق المضبيب و قواعد if then . هنالك نوعان من نظم الاستدلال المضبيب التي يمكن تطبيقها في علبه العدة للمنطق المضبيب في برنامج MATLAB وهما Mamdani type & Sugeno type . وهذان النوعان يختلفان في طريقة تمثيل الإخراج بشكل مجاميع 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 المضبيب 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.

3. بيانات التحليل الكيميائي و الفحوصات الفيزيائية

تشتمل التحاليل الكيميائية على تحديد النسبة المئوية لمحتوى الأسمنت البورتلاندي من اكاسيد العناصر الرئيسية والثانوية (SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، CaO ، MgO ، SO_3) باستخدام طرق التحاليل المحدودة في المواصفة العراقية (7 / 1981) 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 الرئيسية (C_3S ، C_2S ، C_3A ، C_4AF) و حساب مجموع الطورين ($C_2S + C_3S$).

تجرى عادة الفحوصات الفيزيائية بموجب المواصفة العراقية (8/1968) وتشمل على القياسات النظامية للخواص الفيزيائية للأسمنت 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 (2000))

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 (28 يوما) لاتخاذ القرارات بشأن 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 (5) لسنة 1984.

4. استخدام المنطق المضرب لتقدير قوة مقاومة انضغاط الأسمنت

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

الجدول (1) مديات تراكيز اكاسيد العناصر

المديات	اكاسيد العناصر
23.72-21.21	SiO ₂
5.88-5.16	Al ₂ O ₃
4.01-1.75	Fe ₂ O ₃
63.74-58.33	CaO
4.18-1.76	SO ₃
2.91-0.56	Free lime

جدول (2) مديات محتوى الأطوار الرئيسية

المديات	الأطوار الرئيسية
39.3-10.6	C ₃ S
58.3-34.9	C ₂ S
12.4-6.9	C ₃ A
12.2-5.3	C ₄ AF

الجدول (3) مديات نتائج الفحوصات الفيزيائية

المديات	الفحوص الفيزيائية
29.0-14.5	قوة مقاومة الأسمنت (3 أيام)
37.3-23.0	قوة مقاومة الأسمنت (7 أيام)
45.5-25	قوة مقاومة الأسمنت (28 يوماً)

يتضمن هذا البحث دراسة العلاقة بين كل من الأطوار الأربعة الرئيسية (C2S و C3S و C3A و C4AF) وقوة مقاومة الانضغاط للإسمنت. ومن الأمور المهمة هي الحصول على منحنيات ممهدة smooth curves توضح العلاقة بين كل من الأطوار الرئيسية الأربعة وقوة مقاومة الانضغاط . ومن خلال هذه المنحنيات يمكن تحديد دوال العضوية membership function واللازمة لبناء النظام الحاسوبي المضرب. ومن الأمور المهمة التي تمكننا من بناء نظام حاسوبي مضرب 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 في معرفة شكل العلاقة وذلك من خلال رسم أزواج النقاط بيانياً. إلا أن العقبة الكبيرة التي واجهتنا هي أن الأشكال الناتجة في شكل الانتشار غير واضحة المعالم ومشوشة Noisly وغير ممهدة Not Smooth. لذا فإن 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، 1998). وتم إعداد البرامج اللازمة لهذه الطريقة باستخدام تطبيق MatLab كي يتم ربطها بالنظام المضرب. والأشكال (1 ، 2 ، 3 ، 4) توضح الأشكال الناتجة بعد المعالجة . وكما هو واضح فإن الأشكال الناتجة ممهدة Smooth وواضحة المعالم. من ناحية أخرى فإن 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 (1) العلاقة بين C3S وقوة الانضغاط بعد التمهيد

الشكل (2) العلاقة بين C2S وقوة الانضغاط بعد التمهيد

الشكل (3) العلاقة بين C3A وقوة الانضغاط بعد التمهيد

الشكل (4) العلاقة بين C4AF وقوة الانضغاط بعد التمهيد

لقد تم تصميم نظام حاسوبي مضبيب 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 (5) الدالات العضوية للطور C3S

في الشكل (5) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (1) ، 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 Low على سبيل المثال تكون اعظم قيمة لها، أي تكون درجة العضوية تساوي "1" ، عندما تكون قيمة C3S هي 10 وعندها تكون الدالة في ذروتها وكلما ازداد قيمة C3S تقل درجة العضوية وهذا هو الأساس الذي يستند إليه عمل دوال العضوية. ان المدى للمتغير C3S بين 10 و 40 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 (2) 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 (6) الدالات العضوية للطور C2S

في الشكل (6) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (2) ، إذ تم تقسيم المنحني 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 "1" ، عندما تكون قيمة C2S هي 60 وعندها تكون الدالة في ذروتها وكلما تقل قيمة C2S تقل درجة العضوية وهذا هو الأساس الذي يستند إليه عمل الدالات العضوية. ان المدى للمتغير C2S بين 30 و60 وضمن هذا المدى تم رسم دوال العضوية الأربعة.

لو انتقلنا الآن إلى دراسة العلاقة بين C3A وقوة الانضغاط فإننا نلاحظ من الشكل (3) 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 الآتي :-

الشكل (7) الدالات العضوية للمتغير C3A

في الشكل (7) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (3) 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 (4) 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 الآتي :-

الشكل (8) الدالات العضوية للمتغير C4AF

في الشكل (8) تم رسم دوال العضوية اعتمادا على الشكل (4) 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 الآتي :-

الشكل (9) الدالات العضوية لمتغير الإخراج

في الشكل (9) 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 المتوفرة للأطوار الأربعة وقوة مقاومة

انضغاط الأسمنت فعلى سبيل المثال إذا كان كل من الأطوار الأربعة على النحو الآتي :-

$$C3S = 23.4$$

$$C2S = 47.2$$

$$C3A = 8.9$$

$$C4AF = 11.1$$

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 فمثلاً قوة مقاومة انضغاط الأسمنت لقيم الأطوار الأربعة المذكور سابقاً تساوي (32) 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 (34) نموذجاً.

إذ أن قيم الأطوار الأربعة وقيمة قوة مقاومة الأسمنت قد تم حسابها من قبل (المعاضدي، 2000). فبعد معرفة الدوال العضوية لكل من الأطوار الأربعة وقوة مقاومة الانضغاط للأسمنت أصبح بالإمكان استنتاج القواعد وعلى النحو الآتي :-

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_High) 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 (4).

5. تطبيق النظام والنتائج :-

يتم إدخال البيانات التي تمثل التحاليل الكيميائية للإسمنت إلى النظام وذلك عن طريق الواجهة المصممة لهذا الغرض ، إذ يتم حساب الأطوار الأربعة ، وبعدها يتم الدخول إلى النظام المضرب 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 (34 نموذجاً) فان النتائج تكون بالشكل الآتي :-

كان مقدار الخطأ باستخدام طريقة مامداني هو 16.45 بينما باستخدام الطريقة الإحصائية كان 21.95 وباستخدام طريقة سوجينو كان 29،25 وهذا يعني أن النظام المصمم باستخدام طريقة مامداني كان اكفاً من الطريقة الإحصائية وطريقة سوجينو وكما موضح في الجدول القادم.

الجدول (1) يوضح تباين درجة قوة مقاومة انضغاط الإسمنت بالطرائق الثلاثة

تسلسل النموذج	القيم الحقيقية	الطريقة الإحصائية	طريقة مامداني	طريقة سوجينو
1	37.5	31.4	33	32.2
2	38	31.4	35.5	35.4
3	35.5	31.4	35.5	35.4
4	32	34.9	34.5	34.8
5	38.5	35.2	40.2	41.9
6	43	35.1	42.4	45.6
7	25	32.3	32.7	30.7
8	34.5	32.3	35.5	35.4
9	33.5	32.3	31.4	29.6
10	28.5	32.5	30.6	29
11	27.5	33.1	35.5	35
12	28.5	31.6	34.1	32
13	30	31.5	30.7	29
14	28.5	32.4	30.9	29
15	29.5	32.3	31	35.4
16	35.5	35.2	35	29
17	31.5	34.5	30.6	36.5
18	34.5	34.5	36	33
19	30.5	32.7	33.8	34.6
20	37	32.8	35.5	35.4
21	45.5	32.8	35.5	29.1
22	28.5	32.7	31.7	29.2
23	30.5	33.3	33.2	32.9
24	28.5	32.7	34	31
25	33.5	32.7	33.1	30

30.2	33.1	32.7	30.5	26
33.4	34.9	33	34.5	27
29.6	31.6	35.7	36.5	28
29	30.7	36.6	40	29
32.9	33	34	33	30
37.9	37.7	34.7	41	31
38.9	37.9	35.4	31.5	32
39.1	37.7	34.8	34	33
34.2	34.3	34.3	32.5	34

6. الاستنتاجات:

1. إن العلاقة بين قوة انضغاط الأسمنت وكل من الأطوار الأربعة C2S و C3S و C3A و C4AF هي علاقة غير خطية ذات طبيعة معقدة مما يستوجب استخدام أساليب رياضية كفؤة للتعامل مع مثل هذه العلاقات.
2. إن اختيار أسلوب المنطق المضرب يبدو موضوعيا لان هذا الأسلوب مخصص أصلا لمعالجة النظم المعقدة.
3. إن النظام الحاسوبي الذي تم إعداده يمكن الاستفادة منه من قبل معامل الإسمنت من خلال السيطرة الآتية على الأسمنت وذلك بمعالجة مكوناته الكيميائية وخصائصه الفيزيائية مع المواصفات القياسية. كذلك فان النظام يقدم للعاملين في الإسمنت تقديرا مقبولا لقوة مقاومة انضغاط الإسمنت بعد (28) يوما.

7. التوصيات :

1. 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 .
2. ومن التوصيات العامة فإننا نوصي بإنشاء مركز تخصصي لدراسة الإسمنت العراقي في جوانبه كافة بما في ذلك استخدامات المنطق المضرب في عمليات التصنيع والسيطرة النوعية.

المصادر

- (1) حمودات ، عابدة تحسين توفيق (2002) ، "استخدام المنطق المضرب في صنع القرار لتخمين تسعير منتج جديد " ، رسالة ماجستير ، جامعة الموصل .

- (2) الدباغ ، سالم محمود والمعاضيدي ، ساهرة محمد عثمان (2004) ، "العوامل المؤثرة في الخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلندي العراقي " ، مجلة علوم الرافدين العدد (1) المجلد (14) ، صفحة 79-91.
 - (3) ذنون ، باسل يونس (1998) ، "التقدير اللبي : أسلوب بياني في التقدير الإحصائي " ، علوم الرافدين ، المجلد 9 ، العدد 1 ، صفحة 89-99.
 - (4) ذنون ، باسل يونس (1979) ، "دراسة إحصائية عن تأثير مكونات السمنت والزمن على صلابته " ، جامعة الموصل ، صفحة 3-20
 - (5) المعاضيدي ، ساهرة محمد عثمان و الدباغ ، سالم محمود (2001) ، مدلولات تقارير البيانات الحسابية للمحتوى الكمي من الأطوار الرئيسية وبعض المعاملات والنسب الدالة للإسمنت البورتلندي العراقي ، مجلد وقائع المؤتمر العلمي الرابع لوزارة الإسكان والتعمير ، بغداد المحور الرابع ، صفحة 653-666
 - (6) المعاضيدي ، ساهرة محمد عثمان (2000) ، "الضوابط المعدنية والبتروغرافية والكيميائية للخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلندي العراقي " ، أطروحة دكتوراه ، جامعة الموصل ، صفحة 103-167
- [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** , Kluwer Academic publishers, pp.21-32.
 - [11] Zadeh Lotfi a., (1995), **Fuzzy Logic Toolbox**, Berkerly , pp.3-82.