استخدام طريقة سطح الاستجابة RSM للتصميم العاملي 2^k في تحسين العمليات وتحقيق الامثلية بالتطبيق على مصنع الفتائح للاسمنت في مدينة درنة – ليبيا

ميعاد فاضل عليـــوي[١] ، عبيد محمود الزوبعي[٢]
[١] كلية الاداب والعلوم, جامعة عمر المختار, القبة, ليبيا
[٢] رئيس قسم ادارة الاعمال, جامعة جيهان, السليمانية, العراق

الملخص:
يتناول البحث بالدراسة والتحليل مسألة تحسين العمليات الانتاجية وتحقيق الامثلية في انتاج منتج الاسمنت الذي يعتبر من الصناعات المهمة والحيوية في اقتصاد اي دولة, وذلك عن طريق استخدام اساليب احصائية حديثة في ضبط جودة العمليات الانتاجية من اجل تحديد الانحرافات الحاصلة في العملية الانتاجية واخاذ الاجراءات التصحيحية المناسبة في الوقت المناسب. تم استخدام طريقة سطح الاستجابة في تحقيق امثلية التجارب العاملية 2^k في تحسين قوة مقاومة الانضغاط للاسمنت من خلال فحص تاثير الاطوار الاربعة المكونة للكلنكر في منتج ألاسمنت اذ بينت النتائج ان الطورين الاول C_2S والثاني C_3S , لهما الاثر الاكبر في تحسين قوة مقاومة الاسمنت عند المستويين العلويين لكل منهما ، كما بينت النتائج ان امثلية العملية تتحقق عند التركيز(٣٦) للطور الاول والتركيز (٦٧) للطور الثاني عند قوة مقاومة للانضغاط هي (٢٧,٧٥).

الكلمات المفتاحية: تصميم 2^k ، قوة مقاومة الانضغاط ، امثلية العملية, طريقة الصعود الحاد.

پوختە :

تۆێژینەوەکە مەسەلەی باشکردنی پرۆسەکانی بەرهەمهێنان و گەیشتن بە بەرهەمهێنانی نمونەیی لە بەرهەمی چیمەنتۆدا دەتۆێژێتەوە و شی دەکاتەوە، کە بە یەکێك لە پێشەسازییە گرنگ و بایەخدارەکانی ئابووریی هەر وڵاتێك دادەنرێت، ئەویش لە رێگەی بەکارهێنانی شێوازی ئاماریی مۆدێرن، لە رێکخستنی کوالیتیی پرۆسەکانی بەرهەمهێناندا، لە پێناو دیاریکردنی ئەو لادانانەی لە پرۆسەکانی بەرهەمهێناندا ڕوویان داوە، و گرتنەبەری ڕێوشوێنەکانی ڕاستکردنەوەی گونجاو لە کاتی گونجاودا.

ڕێگەی ڕووکەشی وەڵامدانەوە (سە تحی ئیستیجابە) بە کارهێنراوە بۆ بەدەستهێنانی (أمپلیە التجارب العامليه 2^k = نمونەیی تاقیکردنەوەهاوکۆلکەییەکان2_K) بۆ باشترکردنی توانای خۆگرتنی چیمەنتۆ بۆ فشارخستنەسەر، ئەویش لە رێگەی لێنۆڕین کردن (فەحس)ی کاریگەرریی هەر چوار شێوەکەی (کیلنکەر) بەسەر بەرهەمی چیمەنتۆوە، تۆێژینەوەکە دەری خست دوو شێوەی یەکەم (C2S) و (C3S)کاریگەریی گەورەریان هەیە بۆ پتەوکردنی چیمەنتۆ بەرامبەر فشارخستنەسەر، هاوکات دەرکەوت کە نمونەییبوونی کرداریی ئەوکاتە دێتەدی، کە فۆکەسی شێوەی یەکەم (٣٦) و هی شێوەی دووەم (٦٧) بێ، لەکاتێکدا هێزی فشارخستنەسەرەکە (٢٧,٧٥) بێ.

Abstract:

Research study and analysis of the question of improving the production processes and optimize the production of cement that is considered important and vital industries in the economy of a State. Through the use of modern statistical methods in quality control of production processes in order to identify deviations in the productive process and structure appropriate corrective action in time. Response surface method was used in optimizing factorial design 2^k on improving compressive strength of cement by examining the effect of the four phases in clinker cement product , as the results showed that the phases C_2S and C_3S , have the greatest impact in improving the strength of cement resistance at high levels to each of them, also the results showed that the optimization process is recognized when the focus (36) for the first phase and the concentration (67) for the second one when the power of resistance to compression is (27.75)

المقدمة

ان تطبيق طرق تصميم وتحليل التجارب له دور كبير في تحسين العمليات وما ينعكس ذلك على ضبط جودة المنتجات حيث من المعلوم ان تحسين العمليات الانتاجية يؤدي الى ضبط جودة المنتج وتقليل كلف تصنيعه ومن ثم تقليل الضائع من الوقت والجهد وبالتالي اتخاذ القرارات السليمة الخاصة بالانتاج والتصنيع وتعتبر العمليات الاحصائية الخاصة بضبط جودة التصميم العاملي $\mathbf{2^k}$ من الاساليب الحديثة المستخدمة في ضبط جودة المنتجات الصناعية(Montgomery,1997),حيث نستطيع من خلال هذه الاساليب ان نقوم بفحص العملية الانتاجية باستمرار وبمراحلها المختلفة ويكون اجراء التصحيحات انيا وعلى مدار سير العملية ومن ثم ضبط جودتها والقيام بتغييرات في بعض الخصائص المهمة للجودة من اجل الوصول بها نحو الامثلية ,وتعتبر هذه العملية من الطرق الحديثة في ضبط جودة المنتجات الصناعية للنهوض باقتصاد الدول من اجل تقديم منتجات عالية الجودة باقل التكاليف .

اهمية البحث واهدافه :

ان هدف الوصول الى مستوى عالي بالتنافس في الاسواق الدولية تتطلب ضرورة تمتع المنتجات بجودة عالية تلبي متطلبات التنافس الدولي من خلال المواصفات الجيدة للسلع وباقل التكاليف , ومن هنا تاتي اهمية البحث باستخدام اساليب منخفضة الكلفة ومضمونة النتائج باجراء التحليل الاحصائي المستمر في العملية الانتاجية لتحسين اداء المنتج وتخفيض تكاليف انتاجه. وتبرز اهمية البحث بالتطبيق العملي على واحد من المنتجات المهمة في دولة ليبيا وهو منتج الاسمنت نظرا للنهضة العمرانية الكبيرة التي تقوم بها هذه الدولة والاحتياج المستمر لمنتج خالي من العيوب وبمواصفات مرضية.

مشكلة البحث:

تفتقر اكثر المنشآت الصناعية الى الاساليب الحديثة في ضبط الجودة وتحسين والعمليات بمعنى انها تفتقر الى الاساليب العلمية في تحديد الانحرافات التي تمر بها اي عملية انتاجية وبالتالي يصعب تصحيحها في الوقت المناسب, وتقليل كلفة الانتاج المخالف للمواصفات .

فرضيات البحث :

1- يفترض البحث ان هناك ارتباط كبير بين تطبيق ضبط العمليات الاحصائية ورفع جودة المنتج وتحسين العمليات.
2- هناك علاقة وثيقة بين تحسين المنتج وتخفيض التكاليف الانتاجية له ومن ثم تحقيق الربحية المطلوبة للمؤسسة الانتاجية والخدمية والقدرة على تحقيق التنافس في الاسواق العالمية.
3- ان استخدام اسلوب تصميم التجارب في ضبط الجودة يعمل على رفع كفاءة المنتج وتحقيق التشخيص المبكر للانحرافات داخل العملية الانتاجية ومن ثم تحقيق الامثلية لها.

منهجية البحث :

استخدم في هذه الورقة الاسلوب التحليلي الاستنتاجي من خلال تطبيق طرق تصميم وتحليل التجارب على البيانات الماخوذة من واقع الانتاج الفعلي للمصنع وذلك بتطبيق منهجية *Montgomry* وتعزيزها بوسائل الملاحظة والمراقبة في المراحل المختلفة للانتاج

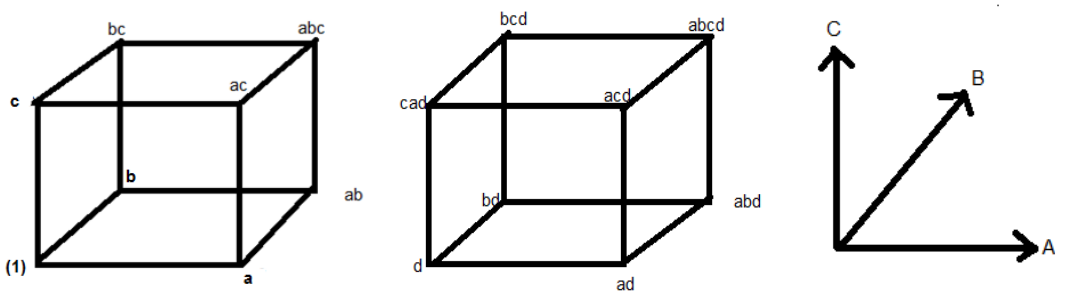
مواد وطرق العمل

التجارب العاملية $\mathbf{2^k}$

هي من النماذج المهمة في التجارب العملية التي تستخدم في تحسين وتطوير العمليات حيث يكون هنا عاملين لكل منهم مستويان منخفض وعال تتميز بتحليل مبسط وتعتبر الأساس لكثير من التصميمات المهمة الأخرى **.**(Montgomery,1997)

التصميم العاملي $\mathbf{2^k}$ مع ($\boldsymbol{k \geq 3}$)

في هذه التجارب يكون لدينا K عامل لكل منهما مستويان منخفض وعالي (+ ، -) وسنختار هنا k = ٤ عوامل كل منهما بمستويين فسيكون لدينا تجربة 2^4 (Davies,1956)تضم ١٦ معالجة يمكن تمثيلها بالشكل (١) التالي:



c **b** **a**

شكل(١) تصميم 2^4

يضم هذا التصميم (٤) تأثيرات رئيسية للعوامل (A, B, C, D) مع (٦) تفاعلات ثنائية AB , AC, AD , BC , BD , BC) وأربع تفاعلات ثلاثية$(ABC, ABD, \ldots\ldots)$ وتفاعل رباعي واحد $(ABCD)$ ... النموذج الخاص بهذا التصميم هو:

$$y = \mu + A + B + C + D + AB + AC + AD + BC + BD + CD + ABC + ABD + ACD + BCD + ABCD + \varepsilon \quad (1)$$

حيث μ المتوسط العام ε الخطأ العشوائي الذي يتوزع طبيعي (NID (o, σ^2 يمكن تقدير التأثيرات الرئيسية بسهولة حيث التأثير الرئيسي يحسب كما يلي :

$$Effect = \frac{contrast}{n2^{k-1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

مجموع المربعات تكون

$$S.S = \frac{(contrast)^2}{n2^K} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

التأثيرات الرئيسية والتفاعلات للعوامل (A, B, C, D) كما يلي :

التأثيرات الرئيسية ل A, B :

$$A = 1/8n[a + ab + ac + abc + ad + abd + acd + abcd - (1) - b - c - ac - d - bc - bd - cd - bcd] \quad (4)$$

$$B = 1/8n[b + ab + bc + abc + bd + abd + bcd + abcd - (1) - a - c - ac - d - ad - cd - acd] \quad (5)$$

$$AB = 1/8n[ab + c + abc + d + abd + cd + abcd + (1) - a - b - ac - bc - ad - bd - acd - bcd] \quad (6)$$

و التفاعل الثلاثي

$$ABC = 1/8n[a + ab + c + bc + d + bd + acd + abcd - (1) - b - ac - abc - ad - abd - cd - acd] \quad (7)$$

$$BCD = 1/8n[b + ab + c + ac + d + ad + bcd + abcd - (1) - a - bc - abc - bd - abd - cd - acd] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

وهكذا لبقيه التفاعلات ...ثم التفاعل الرباعي:

$$ABCD = 1/8n[(1) + ab + ac + bc + ad + bd + cd + abcd - a - b - c - abc - d - abd - acd - bcd] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

يتم استخدام الجدول (١) التالي لتحديد الإشارات الموجبة و السالبة لتصميم 2^4 :

جدول (١) الاشارات الموجبة والسالبة لتصميم 2^4

Run	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD	ABCD
(١)	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+
a	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
b	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-
ab	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
c	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-
ac	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+
Bc	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
d	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-
Ad	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
Bd	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+
Abd	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
Cd	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
acd	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
bcd	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Abcd	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

هناك طريقة إضافية للحكم على معنوية التأثيرات إضافة إلى طريقة ANOVA (Fisher ,1935) هى نحسب الأخطاء القياسية للتأثيرات ونقارن قيمة التأثير إلى خطأه المعياري ,الخطأ المعياري لأي تأثير في تصميم 2^k بحسب الاتي:

$$s.e\,(\,effect\,) = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n\,2^{k-2}}} \qquad \text{..... } (\text{١٠})$$

حيث $\hat{\sigma}^2$ تقدير تباين الخطا التجريبي $\text{M.S.E} = \hat{\sigma}^2$

حيث نستفيد من هذا الاختبار في بيان اهمية تاثير العامل وذلك اذ كانت حدود الثقة للعامل تتضمن الصفر يدل على ان العامل غير مؤثر بالشكل المطلوب والعكس صحيح ...اما حساب حدود الثقة للتأثيرات و تفاعلاتها كالتالي:

$$(\text{ effect} \pm 2\text{SE effect }) \qquad \text{.....} \qquad (11)$$

تحليل البواقي Residual Analysis

البواقي هي الفرق بين القيمة المقدرة $\hat{y}_{ij}$ والقيمة الحقيقة y_{ij} من بيانات العينة في النموذج الخطي في تحليل التباين, هذه الفروق هي الأخطاء في النموذج او ما يسمى بالبواقي , الوسط الحسابي للبواقي والتباين لها كما يلي :

$$\sigma^2 = mse \qquad \bar{\varepsilon} = 0$$

ينبني تحليل التباين وصحة نتائجه على عدة فرضيات (كما ذكرنا) ولابد من توافرها وإلا كانت النتائج غير ذات جدوى , فنلجأ لدراسة البواقي من خلال رسمها وفحص انتشار نقاطها فلاختبار تجانس التباينات نرسم البواقي مقابل مستويات العامل فيجب ان لا نلاحظ اتجاه لزيادة او نقصان البواقي مع تغير قيمة العامل , ولاختبار الاستقلالية للمشاهدات نرسم البواقي مقابل القيم الاصلية البيانات فينبغي ان لا يظهر اتجاه متزايد او شكل دوري متكرر للبواقي حيث يكون تسلسل الإشارات السالبة والموجبة بشكل مبعثر بدون تشكل منحنى او شكل محدد، في حين ان الرسم البياني للبواقي مقابل القيم المقدرة $\hat{y}_{ij}$ يمكن ان يفسر لنا بصورة عامة فيما اذا كانت فروض التحليل متوفرة ام لا ، تحسب قيم البواقي كما يلي (Cochran & Kamenev,2004)

$$eij = yij - \hat{y}ij \qquad \text{……..} \qquad (\text{١٢})$$

امثلية العملية Optimization

بعد تحديد العوامل الأكثر أهمية وتأثيرا في متغير الاستجابة وسير العملية ككل تكون الخطوة التالية أمثلية العملية أو إيجاد الشروط المناسبة لمتغيرات العملية لتحسين العملية وجعلها الأفضل في الإنتاج , وسنحاول هنا توضيح كيفية استخدام تصميم التجارب في تعظيم وتحسين العملية الإنتاجية.

طريقة سطح الاستجابة Response Surface Method

منهجية السطح (منهجية مونتغومري التي ذكرت سابقا)هي مجموعة من التقنيات الرياضية والإحصائية المهمة للنمذجة والتحليل في التطبيقات حيث الاستجابة المطلوبة تتأثر بعدة متغيرات يكون الهدف هنا تعظيم هذه الاستجابة وقد زاد الاهتمام والتركيز بشكل كبير على هذه التقنية المهمة التي اوضحت نتائجها الفائدة الكبيرة في هذا المجال (Myer & Montgomery, 1995).

بفرض أن مهندس النوعية يرغب إيجاد المستويات المطلوبة للمتغيرين (x_1, x_2) التي تؤثر على تعظيم ناتج العملية (y) فسيكون y هو دالة لمستويات (x_1, x_2) كما يلي:

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \qquad (١٣)$$

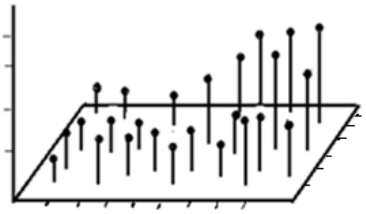
ε يمثل الخطأ المشاهد في متغير الاستجابة y , إذا كانت القيمة المتوقعة له y هي E (y) فسيكون السطح كما يلي:

فسيكون السطح هو

$$E(y) = f(x_1, x_2) \qquad (14)$$

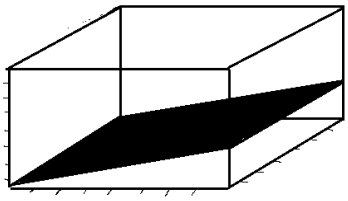
الذي يسمى سطح الاستجابة (Response Surface) حيث ترسم الاستجابة على مستوى ثلاثي الأبعاد (Montgomery,1999) ولغرض تحليل وفهم هذا السطح نقوم برسم شكل ابتدائي للسطح كما في الشكل (2) الذي يتضمن المرحلة الاولى وذلك بتعويض قيمx_1, x_2 في متغير الاستجابة y ثم بايصال هذه النقاط مع بعض يتكون الشكل b الذي هو نموذج السطح اما الشكل C فهو الشكل المحيطي Contours باتجاهين لسطح الاستجابة حيث الخطوط هنا مستقيمة لان النموذج من الدرجة الأولى يحتوى التأثيرات الرئيسية فقط ,الرسم المحيطي هذا يساعد في دراسة مستويات $X'S$ التي تنتج من التغيرات في شكل أو ارتفاع سطح الاستجابة RSM :

شكل المستوي ثلاثي الابعاد قبل توصيل النقاط



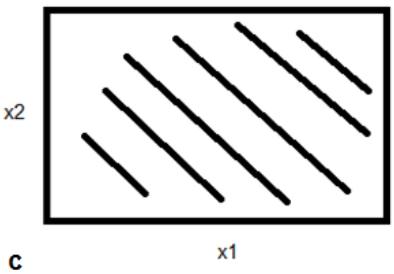
a

شكل سطح الاستجابة بعد توصيل النقاط في الشكل السابق



b

الشكل المحيطي باتجاهين لسطح الاستجابة



c

شكل (٢) سطح الاستجابة والشكل المحيطي له

في معظم مشاكل RSM شكل العلاقة بين الاستجابة و المتغيرات المستقلة غير معروف ولهذا فأول خطوة في هذه التقنية إيجاد تقريب ملائم للعلاقة الصحيحة بين y و المتغيرات المستقلة; عادة نستخدم كثير الحدود من الدرجة الأولى كدالة خطية لل y عند $X'S$ فسيكون:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad \ldots\ldots (15)$$

تستخدم طريقة المربعات الصغرى لحساب معلمات النموذج $B'S$ التي تصغر مجموع مربعات الخطأ فيه فتحليل سطح الاستجابة عند ذلك سيكون بدلالة السطح المطابق الذي يكون مساوي تقريبا لتحليل سطح الاستجابة للنموذج الأصلي(٧) .

أن RSM إجراء تعاقبي فعندما نكون في نقطة على سطح الاستجابة بعيدة عن الأمثلية فسيكون هدفنا دفع العملية بكفاءة وسرعة نحو المنطقة القريبة من أمثلية العملية التي عندها تتحقق المواصفات المحددة....

احدث طرق RSM المعروفة طريقة الصعود الحاد The Method of Steepest Ascent حيث قمة المرتفع بالأعلى حيث تقع عندها النقطة التي تمثل أعظم استجابة ... وإذا كان المطلوب اصغر استجابة فتستخدم طريقـــــه النزول الحاد (The Method of Steepest Descent).

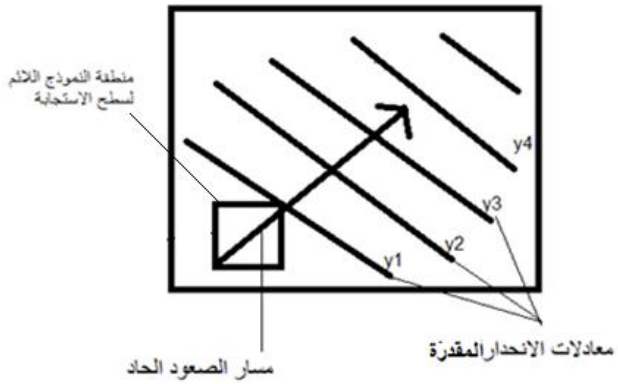
طريقة الصعود الحاد Steepest Ascent Method

غالبا ما يكون التقدير الابتدائي لحالات التشغيل الأمثل للنظام بعيدة عن الحالة المطلوبة .. هدف مهندس الجودة هنا دفع العملية بسرعة و دقة إلى المنطقة التي تمثل الهدف المطلوب هو الدرجة المثلى .. تستخدم طريقة بسيطة و اقتصادية دقيقة عندما نكون بعيدين عن منطقة الامثلية نفترض النموذج من الدرجة الأولى باعتباره التقريب الأفضل للسطح الحقيقي في منطقة صغيرة ل X_2 الطريقة المناسبة تسمى الصعود الحاد أو تمثل حركة تعاقبية على طول مسار هذا الصعود باتجاه أعظم زيادة في الاستجابة .....

النموذج الملائم من الدرجة الأولى

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \hat{\beta}_i x_i \quad \text{..... (16)}$$

ونموذج سطح الاستجابة من الدرجة الأولى بمعنى الشكل التخطيطي ل $\hat{y}$ هو سلسلة من الخطوط المتوازية شكل (٣) حيث اتجاه الصعود الحاد هو باتجاه زيادة $\hat{y}$ بسرعة اكبر, عادة نأخذ مسار الصعود الحاد هو الخط المرسوم من مركز المنطقة المطلوبة في العملية مناظر للشكل المحيطي لسطح الاستجابة و هكذا تكون الخطوات على طول المسار متناسبة لمعاملات الانحدار $\hat{\beta}_i$ المهندس هو من يحدد مقدار الحركة على طول هذا المسار اعتمادا على معرفته بالعملية الإنتاجية أو أي اعتبارات أخرى ,تستمر التجربة بالعمل على طول المسار المذكور حتى الوصول إلى الحد الذي تتوقف عنده الزيادة في الاستجابة .. أو إلى حدود الاستجابة المطلوبة فسنحصل على نموذج جديد من الدرجة الأولى ليتم مطابقته وإذا احتاج الأمر القيام بتجارب جديدة واتخاذ خطوات جديدة على المسار حتى يشعر مهندس النوعية بان العملية اقتربت من الامثلية



شكل (٣) سطح الاستجابة لنموذج من الدرجة الاولى مع مسار الصعود الحاد

النتائج والمناقشة:

يتضمن هذا التطبيق قياس مقاومة الانضغاط للاسمنت C_3D من خلال فحص نسب C3A, C2S ,C3S) C4AF,) التي هي الأطوار الرئيسية للكلنكر(Hedrick & Padovani, 2003) وذلك باختيار مجموعة من المكعبات المصنعة في مختبر الجودة بخلط نسب محددة من الاسمنت والرمل القياسي والماء وتسليط قوة انضغاط عالية من جهاز فحص الضغط بمعدل ١٥ نيوتن/ ملم^2 وتسجل القوة التي تؤدي إلى كسر المكعب , يتضمن الفحص دراسة قياسات الأطوار الأربعة الرئيسية التي يتكون منها ألاسمنت , بمستويين (عالي ومنخفض) لكل طور منها , مستويات العوامل في الجدول التالي:

جدول (٢) مستويات العوامل في فحص مقاومة الانضغاط

Level	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF

Law (-)	٤٠	١٠	٧	١١
High (+)	٦٠	٣٨	١٢	١٥

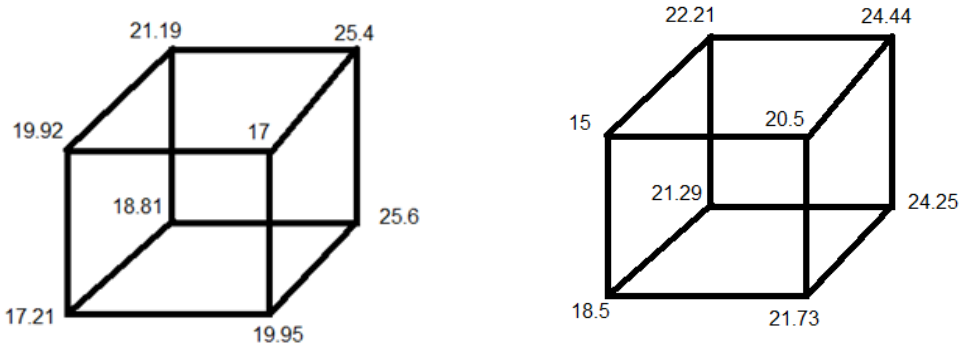
أي C3Dوقياس مقاومة الانضغاط التي يتعرض لها مكعب الاسمنت بعد ٣ أيام من صنعه (نيفل,٢٠٠٥) يرمز لها عند جميع مستويات العوامل المذكورة حيث يمثل الرقم (٤٠) Days الأيام D و Compressive الانضغاط C في الكلنكر وكذلك الرقم (٦٠) المستوى العالي له وهكذا لبقية العوامل, C_3Sمثلا المستوى المنخفض للعامل ملم^2 كما / نت C3Dسحبت بيانات العينة من سجلات المختبر عشوائيا ل ١٦ مكعب وقيست مقاومة الانضغاط يلي :

C_3D جدول (٣) تصميم 2^4 لمقاومة الانضغاط

Run	A(C2S)	B(C3S)	C(C3A)	D(C4AF)	C_3D
١	-١	-١	-١	-١	١٧,٢١
٢	١	-١	-١	-١	١٩,٩٥
٣	-١	١	-١	-١	١٨,٨١
٤	١	١	-١	-١	٢٤,٥
٥	-١	-١	١	-١	١٩,٩٢
٦	١	-١	١	-١	١٧
٧	-١	١	١	-١	٢١,١٩
٨	١	١	١	-١	٢٤,٤
٩	-١	-١	-١	١	١٨,٥
١٠	١	-١	-١	١	٢١,٧٣
١١	-١	١	-١	١	٢١,٢٩
١٢	١	١	-١	١	٢٤,٢٥
١٣	-١	-١	١	١	١٥
١٤	١	-١	١	١	٢٠,٥
١٥	-١	١	١	١	٢٢,٢١
١٦	١	١	١	١	٢٤,٤٤

حيث يمثل (+١) الحد الاعلى للعامل و (-١) الحد المنخفض له, مثلا المستوى C3D =17.21 يمثل المستويات الادنى للعوامل الاربعة المكونة للكلنكر, كذلك المستوى (١٩,٩٥) تمثل المستويات الادنى للعوامل (C3S,C3A,C4AF) والحد الادنى للعامل (C2S) في الكلنكر وهكذا لبقية العوامل. .

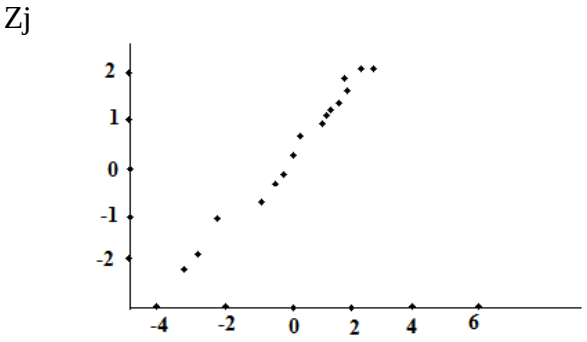
اما تمثيل التصميم هندسيا في الشكل (٤) التالي الذي يمثل التاثيرات الرئيسية للعوامل وتفاعلاتها الثنائية والثلاثية وتفاعل رباعي واحد لبيانات الجدول السابق (اعتمادا على شكل رقم (٢)) كما يلي :



شكل (٤) الشكل الهندسي لتصميم 2^4

حيث تبين القيمة (١٧,٢١) مثلا مقاومة الانضغاط عند المستويات المنخفضة للاطوار الاربعة , كذلك القيمة (١٨,٥) تمثل المقاومة عند الحد المنخفض للاطوار الثلاثة الاولى (A, B, C والحد الاعلى للطور الرابع D) وهكذا ،

لاختبار التوزيع الطبيعي للبواقي كما في الشكل (٥) التالي الذي يبين رسم قيم Z الى قيم البواقي ويشير الى كون البواقي تتبع التوزيع الطبيعي مما يدل على صحة فرضية ان البيانات الاصلية تتبع التوزيع الطبيعي :



شكل (٥) توزيع الاحتمال الطبيعي للبواقي

لتكوين جدول تحليل التباين لهذا التصميم نقوم أولا بحساب التأثيرات الرئيسية للعوامل وحسب المعادلات (٤).....(٩) كما يلي:

جدول (٤) قيم تأثيرات العوامل لفحص مقاومة الانضغاط

A = 3.1	BD = -.067
B = 4.15	ABD = - 1.845
AB = 0.97	CD = -0.66
C = -0.2	ACD = 1.20
AC = -0.83	BCD = 0.44
BC = 1.03	ABCD = -0.78
ABC = 0.005	
D = 0.39	
AD = 0.37	

من الجدول السابق نلاحظ ان العامل A الذي يمثل الطور الأول يزيد من مقاومة الانضغاط بمقدار (٣,١) وكذا العامل B يزيد من قوة المقاومة بمقدار(٤,١٥) بينما العامل C يقلل منها (سالب القيمة) بمقدار ٢% وهكذا , ونلاحظ أيضا أن التفاعلات الثلاثية والرباعية تأثيراتها ضعيفة فيمكن دمجها مع الخطأ العشوائي في جدول تحليل التباين ،اما مجموع المربعات فتحسب كما في المعادلة (٣) فيكون جدول ANOVA كما يلي:

جدول (٥) تحليل التباين لفحص مقاومة الانضغاط

S.O.V	d.f	S.S	M.S	F
A	١	٣٨,٥٠	٣٨,٥	٨,٤٨
B	1	68.64	68.64	15.11
C	١	٠,١٧	٠,١٧	< ١

D	١	٠,٤٦	٠,٤٦	< ١
AB	١	٣,٧٦	٣,٧٦	<4.54
AC	١	٢,٧٥	٢,٧٥	> ١
AD	١	٠,٥٤	٠,٥٤	< ١
BC	١	٤,٢٦	٤,٢٦	< 4.54
BD	١	٠,٠١٨	٠,٠١٨	<١
CD	١	١,٧٨	١,٧٨	< 4.54
Error	٥	٢٢,٧٤	٤,٥٤	
Total	١٥	١٤٣,٦١	٩,٥٧	

جدول ANOVA بعد مقارنة قيمة F المحسوبة للعوامل مع قيمة F الجدولية (1,15,0.05) التي تساوي (٤,٥٤) نجد أن التأثيرات (A , B) لها معنوية عالية في النموذج وبقية التأثيرات غير معنوية وهنا تم دمج التأثيرات الثلاثية و الرباعية مع الخطأ العشوائي (لكونها غير معنوية), نموذج الانحدار لهذا التجربة حسب المعادلة (١) مع حذف التفاعل لأنه غير معنوي كما يلي :

$$\hat{y} = BO + B_1 X_1 + B_2 X_2$$
$$= 20.79 + \frac{3.1}{2} x_1 + \frac{4.15}{2} x_2$$
$$= 20.79 + 1.55 X_1 + 2.075 X_2$$

للحصول على القيم المتوقعة للنموذج بتعويض قيم X_1S ب (١+ , ١-) كما يلي:

$$\hat{y} = 20.79 + 1.55 (+1) + 2.075 (+1) = 24.41$$
$$= 20.79 + 1.55 (-1) + 2.075 (-1) = 17.16$$
$$= 20.79 + 1.55 (+1) + 2.075(-1) = 20.26$$
$$= 20.79 + 1.55 (-1) + 2.075 (+1) = 21.31$$

والآن لحساب البواقي نحسب الفرق بين القيم الفعلية للمقاومة في الجدول (٣) مع القيم المتوقعة السابقة كما يلي:

$\hat{y}$ =(٢٤,٤١) Xj = (+1,+1)

$$e_1 = 24.5 - 24.41 = 0.09$$
$$= 24.4 - 24.41 = -0.01$$
$$= 24.25 - 24.41 = -0.16$$
$$= 24.44 - 24.41 = 0.03$$

و هكذا لبقية التقديرات

عند Xj = (-1,-1) $\hat{y}$ = (١٧,١٦)

$$e_2 = 17.21 - 17.16 = .05$$
$$= 19.92 - 17.16 = 2.76$$

$$= 18.50 - 17.16 = 1.34$$
$$= 15.00 - 17.16 = -2.16$$

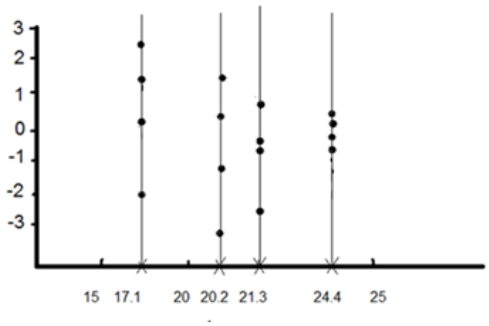
كذلك عند Xj =(+1,-1) $\hat{y}$ = (٢٠,٢٦)

$$e_3 = 19.25 - 20.26 = -1.01$$
$$= 17.00 - 20.26 = -3.26$$
$$= 21.75 - 20.26 = 1.49$$
$$= 20.50 - 20.26 = 0.24$$

Xj =(-1,+1) $\hat{y}$ = (٢١,٣١)

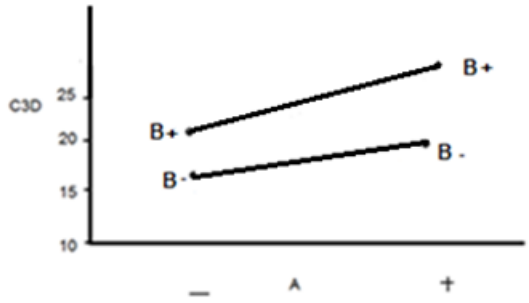
$$e_4 = 18.81 - 21.31 = -2.5$$
$$= 21.29 - 21.31 = -0.12$$
$$= 21.29 - 21.31 = -.02$$
$$= 22.21 - 21.31 = 0.9$$

رسم البواقي إلى $\bar{y}$ i في الشكل (6) التالي :



شكل (6) قيم البواقي الى $\bar{y}_i$

الشكل (٦) السابق يؤشر تغيرية واضحة في المستوى (١٧,١) الذي يمثل المستوى المنخفض للعاملين(A , B) وذلك لتباعد نقاط البواقي وتشتتها عن بعضها , لفحص وجود تفاعل بين العاملين نرسم كل منهما بالمستويين العالي والمنخفض كما في الشكل (٧) التالي الذي يبين عدم وجود تفاعل بين العامليـــــن وذلك لعدم تقاطع المستويين :



شكل (٧) لايوجد تفاعل بين العاملين A , B

إي إن المتغيرين C3S وC2S مستقلين في تأثيرهما على مقاومة الانضغاط للاسمنت وهذا ما أثبته جدول تحليل التباين ويبين أيضا أن تأثير التغير للعامل (A) عند المستوى المنخفض ل B ليس له تأثير بينما الزيادة في A عند المستوى العالي ل B يزيد من قوة المقاومة للاسمنت بشكل كبير , وللحكم على معنوية التأثيرات بطريقة إضافية نحسب الخطأ المعياري بتطبيق المعادلة (١٠) كما يلي :

$$S.e\hat{}_B = \sqrt{\frac{4.54}{2(2^{4-2})}} = 0.75$$

٩٥ % حدود الثقة عند انحرافين معياريين للتأثيرات (٠,٧٥*٢) حسب المعادلة (١١) هي:

$$A : 3.1 \mp 1.5 = (1.6, 4.6)$$
$$B : 4.15 \mp 1.5 = (2.65, 5.65)$$
$$AB : 0.97 \mp 1.5 = (-.53, 2.47)$$
$$C : 0.2 \mp 1.5 = (-1.3, 1.7)$$

$$AC : 0.83 \mp 1.5 = (-.67 , 2.33)$$
$$BC : 1.03 \mp 1.5 = (-.47 , 2.53)$$
$$CD : 0.66 \mp 1.5 = (-.84 , 2.16)$$
$$D : 0.34 \mp 1.5 = (-1.16 , 1.84)$$
$$AD : 0.37 \mp 1.5 = (-1.13 , 1.87)$$
$$BD : 0.067 \mp 1.5 = (-1.43 , 1.56)$$

نجد أن جميع التأثيرات السابقة تتضمن حدود الثقة لها على الصفر عدا التأثيريـــــن A , B مما يدل على أهمية ومعنوية هذين التأثيرين .

نموذج التجربة العاملية 2^4 هو :

$$y = 20.79 + 1.55\,X_1 + 2.075\,X_2$$

يسمى نموذج سطح الاستجابة من الدرجة الاولى....الشكل (٨) يمثل مخطط RSM فيه رسم قيم $\widehat{Y}$ المتوقعة عند مختلف المستويات لX_1, X_2 , مع إهمال التفاعل لكونه غير معنوي .

مثلا عند النقاط التالية (نقاط مفترضة محصورة بين (١,-١)) :

$X_1 = 0.6$ $X_2 = [\ -1 , -.6 , -.2 , .2 , .6 , 1\ ]$

يكون $\hat{y}$ كما يلي :

$$\hat{y}_1 = 19.64$$
$$\hat{y}_2 = 20.47$$
$$\hat{y}_3 = 21.30$$
$$\hat{y}_4 = 22.13$$
$$\hat{y}_5 = 22.96$$
$$\hat{y}_6 = 23.79$$

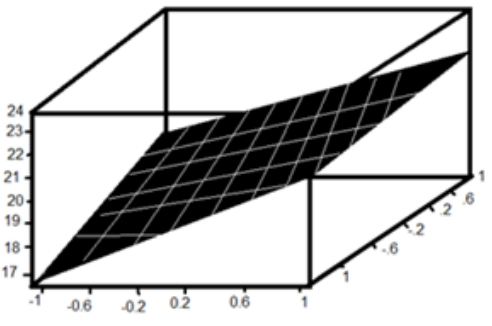
و للنقاط التالية :

$X_1 = -0.2$ $X_2 = [\ -1 , -.6 , -.2 , .2 , .6 , 1\ ]$

تتكون $\hat{y}$ كما يلي :

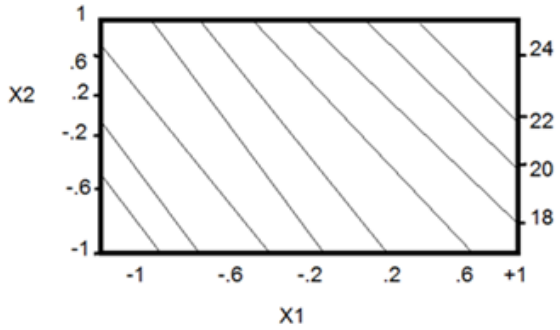
$$\hat{y}_1 = 18.40$$
$$\hat{y}_2 = 19.23$$
$$\hat{y}_3 = 20.06$$
$$\hat{y}_4 = 20.89$$
$$\hat{y}_5 = 21.72$$
$$\hat{y}_6 = 22.55$$

وهكذا لبقية النقاط و بإيصال هذه النقاط بالتعاقب على سطح المستوي يتكون لنا الشكل التالي لسطح الاستجابة (اعتمادا على شكل (٢) السابق :



شكل (٨) يمثل مخطط R S M لتصميم 2^4

أما الشكل المحيطي فيمكن الحصول عليه بالنظر إلى أسفل المسطح ثلاثي الأبعاد وإيصال النقاط للسطح الثابت للاستجابة كما تم تفصيله في الجانب النظري بتعويض قيم X'S في متغير الاستجابة y كما يلي :



شكل (٩) يمثل الشكل المحيطي لتصميم 2^4

وهذا الشكل المحيطي هو الأساس الذي سوف نستخدمه في طريقة الصعود الحاد.

طريقة الصعود الحاد :

للنموذج السابق

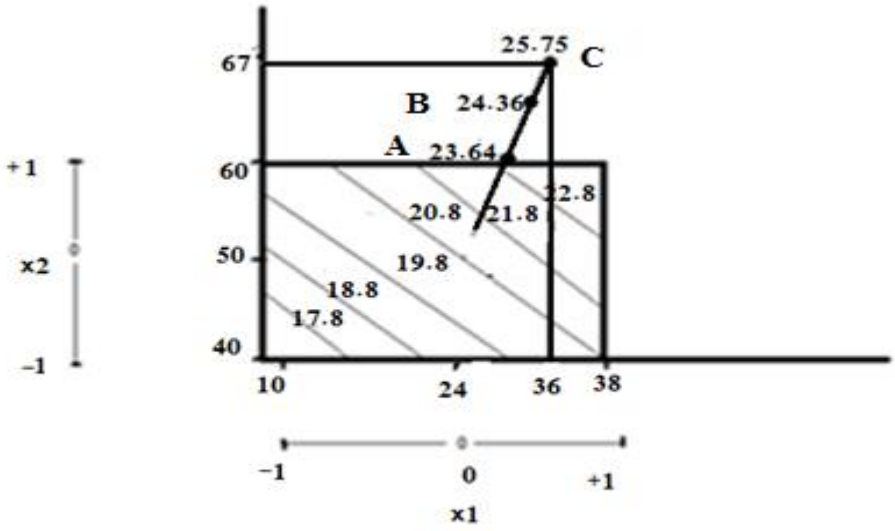
$$y = 20.79 + 1.55\,X_1 + 2.075\,X_2$$

وجدنـــــــــا أن العاملين A و B معنويين بشكل كبير فنقوم الآن برسم هذين العاملين على المستوى واضعين حديهما العالي و المنخفض حيث يكون :

$$A \gg x_1 = [\,10\ \text{-}38]$$

$$B \gg x_2 = [\,40\text{-}\ 60]$$

نرغب في تدوير (تطبيق) هذه الحدود بالنسبة لمقاومة الانضغاط للاسمنت C_3D عند أفضل مستوى (٢٥,٥ – ٢٥) يمكن الوصول إليه (الأمثل) فمن المهم الانطلاق من نقطة الأصل لمنطقة التجربة المحددة بالشكل المحيطي المذكور بمستويات العاملين المذكورة سابقا . الشكل(١٠) التالي يبين هذه المنطقة و النقطة المركزية لها (٠,٠) واتجاه مسار الصعود الحاد .



شكل (10) مسار الصعود الحاد لمقاومة الانضغاط للاسمنت

$$\hat{y} = 20.79 + 1.55\,X_1 + 2.075\,X_2 \Rightarrow \hat{y} = 20.79 + 0 + 0 = 20.79$$

النقطة المركزية عند (X_2 =o ، X_1=o) هي ٢٠,٧٩ منها يبدأ مسار الصعود الحاد .

ميل المسار يحسب بقسمة معامل X_2 على معامل X_1 كما يلي :

$$M = \frac{2.075}{1.55} = 1.33$$

نحن نتحرك على المسار بمقدار ١,٥٥ عند X_1 باتجاه كل ٢,٠٧ عند X_2 , وهكذا مسار الصعود الحاد يبدأ عبر النقطة (٠,٠) وبميل يساوي (١,٣٣) , نرغب أن نستخدم ١٠ وحدات على محور X_2 (العامل B) هي حجم الخطوة التي ننتقل بها على طول المسار وهي مناظرة للتغير في X2 بمقدار ١ (1, ٠ ,١-) كما مبين في الرسم السابق:

$$\Delta X 2 = 1$$

فالخطوات على طول مسار الصعود الحاد هي :

$$\Delta X 2 = 1 \Rightarrow \Delta X 1 = \frac{\Delta X2}{1.33} = \frac{1}{1.33} = 0.75$$

القيمة (٠,٧٥) التي تمثل التغير في X2 تناظر على المحور الافقي حسب مقياس الرسم :

$$24 - 10 = 14 \quad » \quad 14^* \ ٠,٧٥ \quad = \ ١٠,٥$$

اي اننا نتحرك بزيادة ١٠,٥ للطور A وبزيادة ١٠ للطور B للقيم الحقيقية للمشاهدات لقوة مقاومة الانضغاط التي نحصل عليها بتدوير العملية عند كل نقطة..عملية التدوير تكون بتعويض قيم مختلفة لل X'S في معادلة نموذج سطح الاستجابة كما يلي :

$$Y = 20.79 + (1.55^* \ 0 .1) + (2.075^*1.3) = 23.64$$
$$Y= 20.79 + (1.55^* \ 0 .43) + (2.075^* \ 1.4) = 24.36$$
$$Y = 20.79 + (1.55 \ ^*1.86) + (2.075^* \ 1.0) = 25.75$$

والشكل (١٠) السابق يبين موقع هذه النقاط الثلاثة على طول مسار الصعود الحاد والقيم الحقيقية لمقاومة الانضغاط للاسمنت في العملية الإنتاجية عند هذه النقاط ,حيث تبين انه عند النقطة C كانت قيمة مقاومة الانضغاط للاسمنت ٢٥,٧٥ لذلك المسار الحاد يقف عند هذه النقطة حيث تكون قيمة [(٣٦ =X_1) العامل A] وقيمة (٦٧ = X_2) العامل B] وهي المنطقة المطلوب الوصول إليها حيث تتحقق عندها اكبر مقاومة انضغاط للاسمنت .

الاستنتاجات:

نستنتج مما سبق:

1- افتقار اغلب المؤسسات الصناعية للتقنيات الاحصائية الحديثة في ضبط الجودة وعدم الاهتمام بالتغلب على هذه المشكلة.
2- عدم وجود قياسات محددة بشكل دقيق للمواصفات العالمية المفروض اتباعها في انتاج المنتج وبالتالي عدم مطابقته للمواصفات المحددة عالميا.
3- ادى تطبيق طريقة سطح الاستجابة والتي اتبعنا فيها منهجية مونتغومري لتحقيق الامثلية وذلك بعد تحديد العوامل الاكثر تاثير على متغير الاستجابة باتباع طرق تصميم التجارب , الى تحسين العملية ووصولها الى الامثلية من خلال ما يسمى بطريقة الصعود الحاد على مسار يحدد باسلوب احصائي يعتمد على معادلة الانحدار من الدرجة الاولى على سطح الاستجابة .
4- ان الطور الاول C2S والطور الثاني C3S هما الاكثر تاثير على متغير الاستجابة (قوة مقاومة الانضغاط للاسمنت).
5- وجوب تحديد المستويات الافضل في تحسين العملية لان الإنتاج في المستوى المنخفض يختلف عنه في المستوى العالي حيث كان مستويات التراكيز التي يمكن ان تصل فيها العملية الى الامثلية عند هذين الطورين هي عند مستوى العامل (C2S =36) ومستوى العامل (C3S = 67) حيث تحققت عندهما قوة مقاومة انضغاط (C3D = 25.75) .
6- ما توصلنا إليه أثبتته البحوث المتخصصة في تكنولوجيا الخرسانة , من خلال الفحص والتطبيق العملي في المختبرات الهندسية.

التوصيات :

1- استخدام تصميم التجارب كاحد الاساليب الاحصائية في ضبط الجودة وتحسين العملية.
2- تاهيل وتدريب كادر احصائي متخصص في ضبط جودة المنتجات الصناعية الى المؤسسات الانتاجية ووضع برامج تدريبية وتطويرية متخصصة لكل العاملين في هذا المجال .
3- تشجيع المؤسسات الانتاجية والخدمية من التواصل مع مثيلاتها العالمية لتحقيق سبل التكامل مع بعض من اجل التطوير والتفاعل مع احدث ماتوصلت اليه طرق ضبط نوعية المنتجات وتحسنها باقل التكاليف .

المراجع

1) Charley , K.M and Kamenev , N.Y. (2004), *Response Surface Methodology*, CASOS technical report method, CMU-ISRI -04-136 Carnegie Melon University
2) Cochran .W.G. & Cox .G.M.,(1957),Experimental Design , Second Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
3) Davies .D.,(1956) , *Design and Analysis of Industrial Experiments* ,2nd ed., Oliver and Boyd , Edinburgh
4) Fisher .R.A,(1935),*The Design of Experiment* ,London ,Oliver & Boyd
5) Hedrick G. V. Oss & Amy C. Padovani ,(2003), *Cement Manu- factor and the Environment* ,*journal of Industrial Ecology* ,No. 1,Part 2,Vol 7 PP(1-34).
6) Montgomery, D.C. ,(1997),*Introduction to statistical quality control*, Third edition, New York : John Wiley and Sons .Inc
7) Montgomery ,D.C.(1997),*Design & Analysis of Experiments* ,4th ed., John Wiley & Sons, New York.
8) Montgomery, D.C.(1999), *experimental design for product and process design and development*, The statistician No.48,Part 2,PP.(159-170).
9) Myers ,R. Montgomery ,D.C.(1995), *Response Surface methodology: process and product optimization using designed experiment* ,John Wiley & Sons .Inc

١) نيفل.ا.م, (٢٠٠٥)، تقنية الخرسانة، جامعة الملك سعود, النشر العلمي والمطابع, الرياض- السعودية .