Journal of Al Azhar University-Gaza (Natural Sciences), **2013, 15 : 25-48**

An application on Fractional Factorial Designs

تطبيق عملي على التصاميم العاملية الجزئية

عبدالله محمد الهبيل ، حسام عثمان الخطيب

Al-Azhar University, Gaza – Palestine

E-mail: abdalla20022002@yahoo.com

Received 17/12/2012 Accepted 18/6/2013

ملخص البحث:

تهدف التجارب العاملية ذات العوامل المتعددة لتقدير التأثير الرئيسي لكل عامل بالإضافة إلى تأثيرات التفاعل، لكن من أهم عيوب التجارب العاملية زيادة عدد المعالجات عند زيادة عدد العوامل، مما يجعل التجربة كبيرة ومكلفة وتحتاج جهد أكثر ووقت أطول ويصبح من الصعب المحافظة علي التجانس بين الوحدات التجريبية وبالتالي يقل التحكم في الخطأ التجريبي ويصعب تفسير النتائج، ولمعالجة تلك المشكلة فإنه تم التركيز في هذه الورقة البحثية علي مفهوم التكرار الجزئي وكيفية بناء تصاميم التجارب العاملية الجزئية لتجربة عاملية كاملة، فالتكرار الجزئي عبارة عن تقنية يمكن بواسطتها الحصول علي معلومات مفيدة باستخدام جزء فقط من معالجات التكرار الكامل وهي تحقق تقديراً للتأثيرات الرئيسية والتفاعلات المهمة، ولتحقيق ذلك تم استخدام بيانات تجربة عاملية كاملة مكونة من ست عوامل وكل عامل بمستويين، وتم تحليل بيانات التكرار الكامل والذي يحتوي علي معالجات التجربة كاملة، ثم جرى تطبيق تقنية التكرار الجزئي مستخدمين تصميم نصف تكرار وربع تكرار للتجربة العاملية الكاملة.

وكان من أهم نتائج مخرجات جداول تحليل التباين للحالات (التصميم العاملي الكامل والتصميم العاملي الجزئي بنصف تكرار والتصميم العاملي الجزئي بربع تكرار) أن مجموع المربعات الكلي للتباين كان متساويا للحالات الثلاث، وكذلك المجموع الكلي لدرجات الحرية كان متساويا دون أن نفقد أي من المعلومات الرئيسية المهمة في التجربة، وبناء عليه يمكننا استنتاج أنه يكفينا لتحليل تجربتنا 2^6 استخدام التصميم العاملي الجزئي بربع تكرار، لذا نؤكد علي استخدام تقنية التكرار الجزئي في التجارب العاملية الكبيرة والتي تمكننا من الحصول علي نتائج دقيقة بأقل التكاليف وبأقل وقت ممكن.

Abstract: *Factorial experiments aims to study the effects of two or more factors simultaneously and identify the interactions among these factors. However, increasing factors in the experiment will lead to increasing the number of experimental treatments, reduces controlling of the experimental error, increases the interactions among factors, and the interpretation of the results will be difficult. Also, it becomes difficult to maintain the homogeneity between the experimental units. So, a complete replication is considered too large or is not feasible, and we need to decrease the number of those treatments by using a fractional replication instead of full replication in such a way that loss of information is minimum. To ascertain of that, we used real data in a full factorial experiment, it consists of six factors. In this experiment, we found that the totals sum of squares for full factorial design with 64 treatments, ½ fraction design with 32 treatments, and ¼ fraction design with 16 treatments are equal.*

So, we conclude that we can use ¼ fraction design to get the same result of the experiments analysis with a full factorial design. This will lead to saving money, time, and efforts. Therefore, we recommend for using fractional replication to solve the problem of treatments increasing as factors increasing in factorial design.

Key words: Fractional Replication, Aliases, Half and Quarter Replicate, Factorial Design, Treatments, Defining Contrast.

1. مقدمة

إن أحد المشاكل التي نواجهها عند تنفيذ التجارب العاملية والتي تحتوي على كل المعالجات الممكنة في التصميم العاملي الكامل أن عدد المعالجات تزداد بسرعة كبيرة بزيادة عدد العوامل، فمثلاً التجربة العاملية 2^6 تحتوي علي 64 معالجة أما التجربة العاملية 2^8 تحتوي على 256 معالجة وهكذا. بالاضافة إلى أن التجارب العاملية تؤدي إلى زيادة كل من المصادر التجريبية المطلوبة للتجربة، عدد درجات حرية الخطأ، وكذلك الخطأ غير التجريبي. وهذه الزيادة الكبيرة في عدد المعالجات تتطلب كمية هائلة من المادة التجريبية وهذا يعني زيادة كبيرة في التكاليف، مع العلم أن الهدف الأساسي من تصميم وتحليل التجارب هو الحصول على معلومات دقيقة بأقل التكاليف وأقل وقت ممكن وهذا لا يتحقق تماماً عند الزيادة الكبيرة في عدد

المعالجات. وقد تمكن (Finney,1945) من حل هذه المشكلة وذلك من خلال تعديل التصميمات للتجارب العاملية الكاملة بحيث يمكن إجراء التجربة علي جزء فقط من التكرار الكامل باستخدام نصف تكرار أو ربع تكرار أو ثمن تكرار لتجربة عاملية 2^k ، وذلك بافتراض أن التفاعلات ذات الرتب العليا غير مهمة ويمكن تجاهلها، وقد أطلق Finney علي هذه التقنية اسم التكرار الجزئي أو التصميمات العاملية الجزئية وذلك من خلال الاهتمام بالمعالجات الضرورية التي تضمن لنا الحصول علي المعلومات الضرورية عن التأثيرات العاملية المهمة. وعرف (الطاهر،1994) التكرار الجزئي بأنه عبارة عن إجراء التجربة العاملية علي جزء فقط من التكرار الكامل مع الحصول علي معلومات عن التأثيرات الرئيسية والتفاعلات ذات الدرجات الدنيا ، وذكر(عبد المنعم،2004) بأنه يمكن الحصول علي معلومات جزئية وذلك باستخدام جزء من المعلومات باستخدام تصميم يسمي التصميم العاملي الجزئي (Fractional Factorial Design) والذي يؤدي إلي اختزال حجم التجربة الكلي والحصول علي المعلومات المهمة التي تخص العوامل. وقد اعتمد Ranjan Pritam (2009) على بناء تصاميم أكثر كفاءة من التصميم العاملي الكامل الذي يفترض جملة من القيود التي قد لا تتوفر في كل التجارب وذلك عن طريق استخدام العديد من النظريات لدي تطبيق فكرة التكرار الجزئي بدل الاعتماد على الأخذ بكل العوامل في التجربة العاملية الكاملة، وقام Ramírez José G. (2009) باستخدام التكرار الجزئي لتصميم تجارب صناعية متلافيا لكثير من القيود المفروضة على تصميم التجارب الصناعية حيث تم الاعتماد على عينة من الوحدات التجريبية أخذت بطريقة عشوائية لتجربة عاملية كاملة وأعطت نفس النتائج لو تم أخذ كل الوحدات التجريبية وبهذا تم توفير الوقت والجهد، واستخدم Von Eye Alexander (2008) فكرة التكرار الجزئي في تصميم التجربة وأثبت أنه لا يتم فقدان للمعلومات نتيجة استخدام التكرار الجزئي.

وللتحقق من فائدة استخدام تقنية التكرار الجزئي وللوصول إلى الهدف المرجو وهو الحصول على معلومات دقيقة من تجربة عاملية بأقل وقت وأقل تكاليف سوف يتم تطبيق حالة عملية من خلال تحليل بيانات تجربة عاملية كاملة وتطبيق تقنية التكرار الجزئي مستخدمين نصف تكرار وربع تكرار علي نفس بيانات التجربة.

لذا سيخصص القسم الثاني من هذه الورقة البحثية للمفهوم النظري والقسم الثالث للحالة العملية والقسم الرابع للخاتمة.

2. المفهوم النظري المتعلق بنصف تكرار وربع تكرار

إن بناء تجربة عاملية بنصف تكرار (عبد المنعم،2004) يكافئ وضع التجربة العاملية الكاملة 2^k في قطاعين وكل قطاع يحتوي علي 2^{k-1} من المعالجات، ثم بعد ذلك يتم اختيار أحد هذين القطاعين للتجربة العاملية. لنأخذ مثلاً تجربة عاملية 2^4 بمعني انه يوجد أربعة عوامل وكل عامل له مستويين وسوف نأخذ نصف تكرار هذه التجربة، عوامل التجربة A,B,C,D وسوف نعطي الإشارة السالبة (−) لتمثيل المستوى المنخفض للعامل، والإشارة الموجبة (+) لتمثيل المستوى المرتفع للعامل. ذكر Shalabh (2009) أنه قد يتطلب نصف التكرار في بعض التجارب العاملية العديد من الوحدات التجريبية ويصبح من الصعب تنفيذه في قطاع واحد وتحت ظروف متجانسة، لذلك يتحتم علي الباحث توزيع معالجات نصف التكرار إلي قطاعات متجانسة للحفاظ علي دقة التجربة، وتتم هذه العملية بواسطة الاستعانة بكل من التجزئة (Fractionation) والإدماج (Confounding) معا في نفس التجربة. ويعرف الإدماج بأنه التضحية بأحد التأثيرات العاملية غير المهمة أو بعضها مثل التفاعلات من الدرجة العليا في سبيل تصغير الخطأ التجريبي عن طريق استخدام قطاعات متجانسة وصغيرة الحجم.

لتوضيح الطريقة العامة لترتيب المعالجات إلي قطاعات نفرض أن لدينا تجربة عاملية 2^6 أي تحتوي علي 64 معالجة، نبدأ بتقسيم هذا العدد من المعالجات إلي قطاعين عن طريق علاقة التقسيم التالية I = ABCDEF حيث يحتوي القطاع الأول علي 32 معالجة ولها الإشارة الموجبة (+) للتفاعل ABCDEF أي القطاع الذي يحتوي علي المعالجات التي لها عدد زوجي من الحروف بالإضافة إلي المعالجة (1)، والقطاع الثاني يحتوي علي 32 معالجة ولها الإشارة السالبة (−) للتفاعل ABCDEF أي القطاع الذي يحتوي علي المعالجات التي لها عدد فردي من الحروف Hinkelmann and Kempthorne (2005) . لو افترضنا أن المعالجات الناتجة من نصف تكرار والتي عددها 32 معالجة يراد توزيعها علي قطاعين وذلك لصعوبة تنفيذ التجربة العاملية 2^6 بنصف تكرار في قطاع واحد، أو لتوفر قطاعات متكونة من 16 معالجة متجانسة، لذلك نقوم بتقسيم التكرار السابق إلي قطاعين وسوف نختار علاقة تقسيم أخرى غير التي استخدمت في تقسيم المعالجات إلي نصفي تكرار وسوف تكون علاقة التقسيم الثانية وتفاعلاتها العامة (Generalized Interaction) مدمجة مع القطاعات.

بفرض أننا اخترنا التفاعل ABC لإدماجه مع القطاعات، لذلك سيكون التفاعل كالتالي :

$$(ABC)(ABCDEF) = DEF$$

حيث يتم توزيع المعالجات 32 معالجة إلي قطاعين الأول والثاني كما في الجدول التالي:

جدول (2−1) : تقسيم نصف تكرار تجربة عاملية 2^6 إلي قطاعين

القطاع الأول				القطاع الثاني			
(1)	ab	ac	Bc	ae	af	ad	bd
abef	ef	de	Df	df	be	ce	cf
acde	acdf	abdf	Acef	cd	abcd	abcf	abce
bcdf	bcde	bcef	Abde	abcdef	cdef	bdef	adef

ونلاحظ أن التأثيرات الرئيسية مترادفة مع التفاعلات ذات الرتبة الخامسة والتفاعلات ذات الرتبة الثانية مترادفة مع التفاعلات ذات الرتبة الرابعة والتفاعلات ذات الرتبة الثالثة سوف تكون مترادفة تبادليا كما يلي :

التأثير	المترادف
ABC	DEF
ABD	CEF
ABE	CDF

إن أسلوب ربع تكرار لتجربة عاملية 2^k يعتمد علي توزيع المعالجات التي عددها 2^k علي أربعة قطاعات، وفي هذه الحالة يتم إدماج تفاعلين مع التفاعل العام، أي إدماج ثلاث تفاعلات مع واحد من القطاعات الأربعة التي تستخدم في إجراء التجربة . وعليه سيكون لكل تأثير ثلاث تأثيرات مترادفة Mead(1990).

3. الحالة العملية

لتحقيق الهدف من الدراسة سوف نقوم بتطبيق حالة عملية ومقارنة النتائج المتحصل عليها من خلال تحليل البيانات كتجربة عاملية كاملة وكذلك تطبيق تقنية التكرار الجزئي باستخدام نصف تكرار وربع تكرار علي نفس بيانات التجربة.

التجربة: تغذية صناعية لطوائف النحل ببدائل العسل في بداية فصل الربيع.

الهدف من التجربة: دراسة العوامل التي تؤثر علي عملية إجراء تغذية صناعية (كمتغير تابع) من المحاليل السكرية المستخدمة في تغذية طوائف النحل في بداية فصل الربيع.

أجريت بدايات هذه التجربة بمنحل معهد البحوث التابع لكلية الزراعة – جامعة الموصل، من تاريخ 2007/3/1 وحتى 2007/4/16، اشتملت الدراسة علي 64 معاملة هي التوافيق بين ست عوامل بمستويين لكل عامل (2^6)، وفيما يلي العوامل تحت الدراسة:

A : الفترات الزمنية (بمستويين الأول من 9–10 صباحا والثاني من 3–4 عصرا)

D : تراكيز المحلول السكري (بمستويين الأول 16% والثاني 33%)

B : درجات الحرارة (بمستويين الأول والثاني كقراءتين وتؤخذ الحرارة في المتوسط) E : نوع الصحون (بمستويين بلاستيك وحديد)

C : نسبة الرطوبة (بمستويين الأول والثاني كقراءتين وتؤخذ نسبة الرطوبة في المتوسط)

F : اليوم (اليوم الأول من كل أسبوع و اليوم الرابع من نفس الأسبوع)

القائمين علي التجربة لم يتعاملوا مع تحليل البيانات وفق نظام التكرار الكامل، بل تم تحليل البيانات علي ثلاث مراحل باستخدام كل مرة عاملين أو ثلاث عوامل، ويرجع ذلك حسب الأهداف الفنية من إجراء التجربة في دراستهم.

في بحثنا هذا سيتم التعامل مع بيانات التجربة وفق نظام التجارب العاملية للتكرار الكامل ثم نطبق التصميم العاملي الجزئي بنصف تكرار والتصميم العاملي الجزئي بربع تكرار.

التجربة العاملية في التكرار الكامل:

تم استخدام بيانات التجربة العاملية لدراسة العوامل التي تؤثر علي عملية إجراء تغذية صناعية من المحاليل السكرية المستخدمة في تغذية طوائف النحل المكونة من ست عوامل 2^6 وكل عامل له مستويين وبناء عليه تحتوي هذه التجربة علي 64 معالجة (معاملة).

تصميم التجربة العاملية في التكرار الكامل :

جدول رقم (3–1) : جدول الإشارات لتصميم تجربة عاملية 2^6 في التكرار الكامل

Treatments	F	E	D	C	B	A	Exp. Number
I	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
F	1	-1	-1	-1	-1	-1	2
E	-1	1	-1	-1	-1	-1	3
Ef	1	1	-1	-1	-1	-1	4
D	-1	-1	1	-1	-1	-1	5
Df	1	-1	1	-1	-1	-1	6
De	-1	1	1	-1	-1	-1	7
Def	1	1	1	-1	-1	-1	8
C	-1	-1	-1	1	-1	-1	9
Cf	1	-1	-1	1	-1	-1	10
Ce	-1	1	-1	1	-1	-1	11
Cef	1	1	-1	1	-1	-1	12
Cd	-1	-1	1	1	-1	-1	13
Cdf	1	-1	1	1	-1	-1	14
Cde	-1	1	1	1	-1	-1	15
Cdef	1	1	1	1	-1	-1	16
B	-1	-1	-1	-1	1	-1	17
Bf	1	-1	-1	-1	1	-1	18
Be	-1	1	-1	-1	1	-1	19
Bef	1	1	-1	-1	1	-1	20
Bd	-1	-1	1	-1	1	-1	21
Bdf	1	-1	1	-1	1	-1	22
Bde	-1	1	1	-1	1	-1	23
Bdef	1	1	1	-1	1	-1	24
Bc	-1	-1	-1	1	1	-1	25
Bcf	1	-1	-1	1	1	-1	26
Bce	-1	1	-1	1	1	-1	27
Bcef	1	1	-1	1	1	-1	28
Bcd	-1	-1	1	1	1	-1	29
Bcdf	1	-1	1	1	1	-1	30
Bcde	-1	1	1	1	1	-1	31
Bcdef	1	1	1	1	1	-1	32
A	-1	-1	-1	-1	-1	1	33
Af	1	-1	-1	-1	-1	1	34
Ae	-1	1	-1	-1	-1	1	35
Aef	1	1	-1	-1	-1	1	36
Ad	-1	-1	1	-1	-1	1	37

Adf	1	-1	1	-1	-1	1	38
Ade	-1	1	1	-1	-1	1	39
Adef	1	1	1	-1	-1	1	40
Ac	-1	-1	-1	1	-1	1	41
Acf	1	-1	-1	1	-1	1	42
Ace	-1	1	-1	1	-1	1	43
Acef	1	1	-1	1	-1	1	44
Acd	-1	-1	1	1	-1	1	45
Acdf	1	-1	1	1	-1	1	46
Acde	-1	1	1	1	-1	1	47
Acdef	1	1	1	1	-1	1	48
Ab	-1	-1	-1	-1	1	1	49
Abf	1	-1	-1	-1	1	1	50
Abe	-1	1	-1	-1	1	1	51
Abef	1	1	-1	-1	1	1	52
Abd	-1	-1	1	-1	1	1	53
Abdf	1	-1	1	-1	1	1	54
Abde	-1	1	1	-1	1	1	55
Abdef	1	1	1	-1	1	1	56
Abc	-1	-1	-1	1	1	1	57
Abcf	1	-1	-1	1	1	1	58
Abce	-1	1	-1	1	1	1	59
Abcef	1	1	-1	1	1	1	60
Abcd	-1	-1	1	1	1	1	61
Abcdf	1	-1	1	1	1	1	62
Abcde	-1	1	1	1	1	1	63
Abcdef	1	1	1	1	1	1	64

يتبين من الجدول السابق أن تصميم التجربة العاملية في التكرار الكامل يحتوي علي جميع المعالجات وأخذنا الإشارة السالبة (−) لتمثيل الحالة العادية للعامل والإشارة الموجبة (+) لتمثيل التغير في حالة العامل. تم تحليل البيانات المتحصل عليها من التجربة باستخدام برنامج R وحصلنا على النتائج التالية:

جدول رقم (3−2) : جدول تحليل التباين العاملي للتكرار الكامل لتجربة 2^6

S.V.	Df	Sum of Squares	Mean Squares	F-value	P-value
A	1	5603.9	5603.9	607.4119	≤ 0.001***
B	1	164.5	164.5	17.8317	≤ 0.001***
C	1	0.1	0.1	0.0134	>0.05

D	1	667.0	667.0	72.3014	≤ 0.001***
E	1	1.1	1.1	0.1150	>0.05
F	1	246.2	246.2	26.6900	≤ 0.001***
AxB	1	63.4	63.4	6.8751	≤ 0.05 *
AxC	1	2.2	2.2	0.2433	>0.05
BxC	1	94.1	94.1	10.1977	≤ 0.05
AxD	1	275.2	275.2	29.8261	≤ 0.001 ***
B:D	1	107.8	107.8	11.6863	≤ 0.001***
C:D	1	7.0	7.0	0.7536	>0.05
A:E	1	0.1	0.1	0.0156	>0.05
B:E	1	7.4	7.4	0.7985	>0.05
C:E	1	11.2	11.2	1.2109	>0.05
D:E	1	0.2	0.2	0.0198	>0.05
A:F	1	89.9	89.9	9.7457	≤ 0.001**
B:F	1	69.5	69.5	7.5344	≤ 0.001**
C:F	1	1.3	1.3	0.1447	>0.05
D:F	1	261.8	261.8	28.3785	≤ 0.001***
E:F	1	1.8	1.8	0.1932	>0.05
A:B:C	1	3.4	3.4	0.3735	>0.05
A:B:D	1	27.6	27.6	2.9897	>0.05
A:C:D	1	17.5	17.5	1.8930	>0.05
B:C:D	1	17.4	17.4	1.8880	>0.05
A:B:E	1	1.2	1.2	0.1281	>0.05
A:C:E	1	0.2	0.2	0.0186	>0.05
B:C:E	1	14.2	14.2	1.5367	>0.05
A:D:E	1	0.2	0.2	0.0184	>0.05
B:D:E	1	2.4	2.4	0.2571	>0.05
C:D:E	1	0.2	0.2	0.0198	>0.05
A:B:F	1	0.1	0.1	0.0078	>0.05
A:C:F	1	15.4	15.4	1.6745	>0.05
B:C:F	1	14.3	14.3	1.5497	>0.05
A:D:F	1	77.1	77.1	8.3569	≤ 0.001**
B:D:F	1	31.7	31.7	3.4318	>0.05
C:D:F	1	2.6	2.6	0.2828	>0.05
A:E:F	1	2.3	2.3	0.2450	>0.05
B:E:F	1	7.7	7.7	0.8340	>0.05
C:E:F	1	0.0	0.0	0.0012	>0.05
D:E:F	1	6.2	6.2	0.6705	>0.05
A:B:C:D	1	7.0	7.0	0.7621	>0.05
A:B:C:E	1	0.3	0.3	0.0360	>0.05

A:B:D:E	1	15.9	15.9	1.7207	>0.05
A:C:D:E	1	2.9	2.9	0.3144	>0.05
B:C:D:E	1	3.4	3.4	0.3695	>0.05
A:B:C:F	1	5.0	5.0	0.5464	>0.05
A:B:D:F	1	0.4	0.4	0.0458	>0.05
A:C:D:F	1	4.9	4.9	0.5312	>0.05
B:C:D:F	1	10.2	10.2	1.1103	>0.05
A:B:E:F	1	14.8	14.8	1.6060	>0.05
A:C:E:F	1	0.0	0.0	0.0000	>0.05
B:C:E:F	1	10.5	10.5	1.1363	>0.05
A:D:E:F	1	8.9	8.9	0.9687	>0.05
B:D:E:F	1	2.4	2.4	0.2608	>0.05
C:D:E:F	1	5.9	5.9	0.6400	>0.05
AxBxCxDxE	1	16.5	16.5	1.7927	>0.05
A:B:C:D:F	1	2.2	2.2	0.2438	>0.05
A:B:C:E:F	1	0.0	0.0	0.0014	>0.05
A:B:D:E:F	1	20.3	20.3	2.2020	>0.05
A:C:D:E:F	1	0.0	0.0	0.0014	>0.05
B:C:D:E:F	1	21.2	21.2	2.3012	>0.05
A:B:C:D:E:F	1	6.6	6.6	0.7199	>0.05
Residuals	98	904.1	9.2		
Total	161	88980.			

*Significant at $P < 0.05$; **Significant at $P < 0.01$; ***Significant at $P < 0.001$

أوضحت نتائج جدول تحليل التباين للتجربة العاملية ذات التكرار الكامل أن :

- التأثيرات الرئيسية للعوامل الست المدخلة في التجربة منها A,B,D,F معنوية بينما العوامل C,E غير معنوية، أما التفاعلات من الدرجة الأولي بين العوامل والتي عددها 15 تفاعل منها 7 تفاعلات معنوية و8 تفاعلات غير معنوية، أما التفاعلات من الدرجة الثانية بين العوامل والتي عددها 20 تفاعل منها 3 تفاعلات معنوية و17 تفاعل غير معنوي، أما التفاعلات من الدرجة الثالثة عددها 15 تفاعل جميعها غير معنوي، أما التفاعلات من الدرجة الرابعة وعددها 6 تفاعلات جميعها غير معنوية، أما التفاعلات من الدرجة الخامسة عددها واحد تفاعل وهو غير معنوي كما في الجدول الآتي:

جدول رقم (3–3): التأثيرات الرئيسية والتفاعلات التي توجد لها فروق معنوية دالة إحصائياً 2^6

Sig.	P-value	العامل المعنوي	P-value	Sig.	العامل المعنوي
***	≤ 0.001	B	≤ 0.001	***	A
***	≤ 0.001	F	≤ 0.001	***	D
**	≤0.01	B x C	≤ 0.05	*	A x B
***	≤ 0.001	B x D	≤ 0.001	***	A x D
**	≤ 0.01	B x F	≤ 0.01	**	A x F
NS	>0.05	A x B x D	≤ 0.001	***	D x F
NS	>0.05	B x D x F	≤ 0.01	**	A x D x F

*Significant at $P < 0.05$; **Significant at $P < 0.01$; ***Significant at $P < 0.001$; NS = non-significant.

- نلاحظ أنه تم تقدير التفاعلات ذات الرتب العليا وكان أغلبها غير معنوية وأن هذه التأثيرات للتفاعلات ذات الرتب العليا صغيرة مقارنة بالتأثيرات الرئيسية والتفاعلات الثنائية.
- عدد الوحدات التجريبية بالتجربة يساوي 162 وحدة، وعليه ستكون درجات الحرية الكلية 162–1=161.
- مجموع المربعات الكلي (Total Sum of Squares) = مجموع مربعات A+مجموع مربعات B+……+ مجموع مربعات المتبقي Residuals

مجموع المربعات الكلي = 5603.9 + 164.5 +……+ 904.1 = 8980.6

ولمعرفة النموذج الرياضي الملائم تم استخراج معاملات النموذج بواسطة برنامج R وكانت النتائج كالتالي:

جدول رقم (3–4): معاملات النموذج الرياضي للتجربة العاملية الكاملة 2^6

جدول معاملات التحليل العاملي الكامل

العامل	المعامل	العامل	المعامل	العامل	المعامل
Intercept	1162.029748	A:D	358.0156965	DxF	79.40145182
A	-804.5957745	B:D	53.31254097	ExF	83.23027253
B	-110.4067201	C:D	6.96768642	AxBxC	-0.86846628
C	-15.88789115	A:E	388.8358858	A:B:D	-29.85715172
D	-519.9614441	B:E	50.0856584	A:C:D	-4.48438774
E	-558.1004589	C:E	7.53487962	B:C:D	-0.7760817
F	-232.4972259	D:E	259.8392541	A:B:E	-29.18317605
AxB	63.55513514	A:F	171.1786001	A:C:E	-4.91553054
AxC	10.43327996	B:F	22.65863408	B:C:E	-0.73138035
B:C	1.63060212	C:F	2.58285305	A:D:E	-184.5485366
B:D:E	-24.2737378	A:D:F	-70.98473703	C:E:F	-0.8285045
C:D:E	-3.36056604	B:D:F	-8.87355291	D:E:F	-31.22762477
A:B:F	-13.88150227	C:D:F	-0.74692918	A:B:C:D	0.39905257
A:C:F	-1.95725895	A:E:F	-73.80936244	A:B:C:E	0.39212594
B:C:F	-0.28515727	B:E:F	-7.81445193	A:B:D:E	14.23833732
A:C:D:E	2.24749776	B:C:D:F	0.10541185	B:D:E:F	3.06165256
B:C:D:E	0.34173797	A:B:E:F	5.46273675	C:D:E:F	0.21790352
A:B:C:F	0.16800032	A:C:E:F	0.79351705	A:B:C:D:E	-0.18463705
A:B:D:F	5.96075542	B:C:E:F	0.09331542	A:B:C:D:F	-0.06804898
A:C:D:F	0.74771073	A:D:E:F	35.9153403	A:B:C:E:F	-0.06299146
A:B:D:E:F	-2.56435618	A:C:D:E:F	-0.35021039	B:C:D:E:F	-0.03089405
A:B:C:D:E:F	0.02690968				

وسيتم إدخال المعاملات المعنوية في النموذج كما يلي:

Y= 1162.029 - 804.596A - 110.407B - 519.96 D -232.497F+ 63.555 AxB + 1.6306 BxC + 358.0157AxD + 53.312BxD + 171.18AxF + 22.658 BxF + 79.401DxF - 29.857 AxBxD - 70.98 AxDxF - 8.87 BxDxF .

ويمكن تلخيص العوامل التي دخلت في النموذج في الجدول التالي:

جدول رقم (3-5) : التأثيرات الرئيسية والتفاعلات التي دخلت في نموذج التجربة العاملية الكاملة 2^6

العوامل المؤثرة علي عملية إجراء تغذية صناعية من محاليل السكرية في التحليل العاملي الكامل	
درجات الحرارة	الفترات
اليوم	تركيز السكر
تفاعل الحرارة مع درجة الرطوبة	تفاعل الفترة مع درجة الحرارة
تفاعل درجة الحرارة مع تركيز السكر	تفاعل الفترة مع تركيز السكر
تفاعل درجات الحرارة مع اليوم	تفاعل الفترة مع اليوم
الفترة مع درجة الحرارة مع تركيز السكر	تفاعل تركيز السكر مع اليوم
درجة الحرارة مع السكر مع اليوم	الفترة مع تركيز السكر مع اليوم

التجربة العاملية الجزئية في نصف تكرار

هنا نطبق النصف تكرار في التجارب العاملية الجزئية 2^{6-1} علي التكرار الكامل للتجربة العاملية الكاملة، ونعمل على تقسيم معالجات التكرار الكامل 64 معالجة إلي قطاعين، حيث سيتم دمج التفاعل الأعلى رتبة (ABCDEF) والذي يعتبر مصدر التقسيم ومن خلاله يتم تقسيم المعالجات إلي قطاعين، وعلاقة التقسيم تكون I = ABCDEF وعليه سوف تتقلص المعالجات إلى النصف أي 32 معالجة في القطاع الواحد، وبالرجوع لجدول (3-1) وهو جدول الإشارات لتصميم تجربة عاملية 2^6 في تكرار كامل ومن خلاله سوف نوزع المعالجات إلى قطاعين، القطاع الأول سوف يأخذ الإشارة السالبة (-) للتفاعل ABCDEF والقطاع الثاني سوف يأخذ الإشارة الموجبة (+) للتفاعل ABCDEF كما هو موضح في الجدول (3-6).

جدول رقم (3-6) : تقسم معالجات التكرار الكامل إلي قطاعين حسب إشارة التفاعل ABCDEF

القطاع الأول (-)

def	De	Df	D	Ef	e	F	I
cdef	Cde	Cdf	Cd	Cef	ce	cf	C
bdef	Bde	Bdf	Bd	Bef	Be	bf	B
bcdef	Bcde	Bcdf	bcd	Bcef	bce	bcf	bc

القطاع الثاني (+)

adef	Ade	Adf	Ad	Aef	ae	af	A
acdef	Acde	Acdf	Acd	Acef	ace	acf	Ac
abdef	Abde	Abdf	Abd	Abef	abe	abf	Ab
abcdef	abcde	Abcdf	abcd	Abcef	abce	abcf	Abc

وليس هناك فرقاً في استخدام أي من القطاعين ففي كليهما يفقد تأثير التفاعل من الدرجة الخامسة ABCDEF كليا، فالتكرار الجزئي بنصف تكرار يمدنا بمعلومات لاختبار تأثيرات العوامل الرئيسية والتفاعلات من الدرجة الأولي والثانية والثالثة والرابعة، بينما التفاعل من الدرجة الخامسة يتم دمجه وضمه ضمن قيمة الخطأ التجريبي.

تصميم التجربة العاملية الجزئية في نصف تكرار

جدول رقم (3-7) : جدول تحليل التباين لتجربة عاملية جزئية نصف تكرار 2^{6-1}

S.O.V	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
A	1	5603.9	5603.9	461.1167	≤ 0.001***
B	1	164.5	164.5	13.5369	≤ 0.001***
C	1	0.1	0.1	0.0101	0.9199605
D	1	667.0	667.0	54.8876	≤ 0.001***
E	1	1.1	1.1	0.0873	0.7681179
A x B	1	65.1	65.1	5.3561	≤ 0.05*
A x C	1	10.2	10.2	0.8431	0.3602210
B x C	1	75.5	75.5	6.2135	≤ 0.05*
A x D	1	292.0	292.0	24.0265	≤ 0.001***
B x D	1	87.1	87.1	7.1685	≤ 0.01**
C x D	1	10.6	10.6	0.8691	0.3529226
A x E	1	0.0	0.0	0.0040	0.9493575
B x E	1	0.1	0.1	0.0057	0.9401660
C x E	1	53.0	53.0	4.3600	≤ 0.05*
D x E	1	0.1	0.1	0.0047	0.9453916
A x B x C	1	6.7	6.7	0.5506	0.4593970
A x B x D	1	31.7	31.7	2.6095	0.1086492
A x C x D	1	15.2	15.2	1.2472	0.2661568
B x C x D	1	3.1	3.1	0.2529	0.6158876

A x B x E	1	0.4	0.4	0.0339	0.8541877
A x C x E	1	21.7	21.7	1.7891	0.1833663
B x C x E	1	94.4	94.4	7.7704	≤ 0.01**
A x D x E	1	1.1	1.1	0.0930	0.7608741
B x D x E	1	0.1	0.1	0.0097	0.9216625
C x D x E	1	47.2	47.2	3.8827	0.0509099 .
A x B x C x D	1	21.2	21.2	1.7434	0.1890272
A x B x C x E	1	39.8	39.8	3.2717	0.0727967 .
A x B x D x E	1	0.2	0.2	0.0172	0.8957568
A x C x D x E	1	6.4	6.4	0.5282	0.4686602
B x C x D x E	1	70.7	70.7	5.8191	≤ 0.05*
A x B x C x D x E	1	10.8	10.8	0.8849	0.3486081
Residuals	130	1579.9	12.2		
Total	161	8980.8			

*Significant at $P < 0.05$; **Significant at $P < 0.01$; ***Significant at $P < 0.001$

تبين من جدول تحليل التباين لتجربة عاملية جزئية بنصف تكرار 2^{6-1} :

- دمج العامل F لأنه يكافئ العوامل A*B*C*D*E وعليه تم ضم تفاعلات العامل F جميعها ضمن البواقي وبذلك فقدنا تأثير التفاعل ABCDEF .
- التأثيرات الرئيسية للعوامل المدخلة في التجربة منها A,B,D معنوية بينما العوامل C,E غير معنوية ، أما التفاعلات الثنائية بين العوامل والتي عددها 10 تفاعل منها 5 تفاعلات ثنائية معنوية و5 تفاعلات ثنائية غير معنوية، أما التفاعلات الثلاثية بين العوامل والتي عددها 10 تفاعل منها 2 تفاعلات ثلاثية معنوية و8 تفاعل ثلاثي غير معنوي ، أم التفاعلات بين أربع عوامل عددها 5 تفاعلات منها 2 تفاعلات رباعية معنوية و 3 تفاعلات رباعية غير معنوية ، أما التفاعلات بين خمس عوامل عددها واحد تفاعل وهو غير معنوي ، وتم تلخيص التفاعلات المعنوية كما هو موضح في الجدول (3-8) .

جدول رقم (3–8) : التأثيرات الرئيسية والتفاعلات التي توجد لها فروق معنوية دالة إحصائياً 2^{6-1}

العامل المعنوي	Signif.	Pr(>F)	العامل المعنوي	Signif.	Pr(>F)
A	0.00	≤ 0.001***	**B**	0.00	≤ 0.001***
D	0.00	≤ 0.001***	**A x B**	0.01	≤ 0.05*
B x C	0.00	≤ 0.05*	**A x D**	0.00	≤ 0.001***
B x D	0.001	≤ 0.01**	**C x E**	0.01	≤ 0.05*
B x C x E	0.001	0≤ 0.01**	**C x D x E**	0.05	0.0509099.
A x B x C x E	0.05	0.0727967.	**B x C x D x E**	0.01	≤ 0.05*

- قيم تأثيرات العوامل الرئيسة في التحليل العاملي الجزئي نصف تكرار لم تتغير وبقيت كما هي بالتحليل العاملي الكامل.
- نلاحظ أن التفاعل A:B:D كان معنوياً في التحليل العاملي الكامل وكانت قيمة P-value=.05 وكذلك قيمة مجموع المربعات =27.6 وقيمة F=2.9897 ولكن في التحليل العاملي الجزئي نصف تكرار أصبح هذا التفاعل غير معنوي رغم كبر قيمة مجموع المربعات حيث أصبح 31.7 وهذا الكبر عائد لدمج التفاعل F مع العلم أنه يمكن تجاهل التفاعلات الثلاثية، وبذلك نجد أن هذا التغير من المعنوية إلى عدم المعنوية لم يؤثر في النتيجة الإجمالية حيث تم الحصول على التأثيرات الرئيسية للعوامل والتفاعلات الثنائية المهمة وتم تجاهل التفاعلات ذات الرتب العليا وضمها إلي الخطأ التجريبي.
- قيمة مجموع مربعات الأخطاء زادت في التحليل العاملي الجزئي بنصف تكرار وأصبحت 1579.9 بينما كانت قيمتها904.1 في التحليل العاملي الكامل، ومع ذلك نلاحظ أن مجموع المربعات الكلي للتباين في تحليل النصف تكرار يساوي مجموع المربعات الكلي للتباين في تحليل التكرار الكامل = 8980.8.
- عدد درجات الحرية للأخطاء زادت في التحليل العاملي الجزئي نصف تكرار وأصبحت 130 بينما كانت قيمتها 98 في التحليل العاملي الكامل، ومع ذلك نلاحظ أن مجموع عدد درجات الحرية

الكلي في تحليل النصف تكرار يساوي مجموع عدد درجات الحرية الكلي في تحليل التكرار الكامل = 161.

- تم استخدام عدد معالجات أقل في تصميم النصف تكرار وأعطي معلومات كافية عن التأثيرات الرئيسية والتفاعلات الثنائية المهمة.

جدول رقم (3 -9) : **معاملات النموذج الرياضي لتجربة نصف تكرار** 2^{6-1}

جدول معاملات التحليل العاملي نصف تكرار

العامل	المعامل	العامل	المعامل	العامل	المعامل
Intercept	-78.83239160	A:D	-168.35219337	A:C:D	1.97207143
A	119.80024363	B:D	-9.59512908	B:C:D	0.11097404
B	3.12562227	C:D	-1.85158462	A:B:E	1.58035855
C	0.68317927	A:E	-38.78772210	A:C:E	0.36054124
D	161.27922595	B:E	0.97256944	B:C:E	-0.02851121
E	4.20458702	C:E	0.18416009	A:D:E	63.14169399
A:B	-5.78506247	D:E	-49.53843791	B:D:E	2.58819257
A:C	-1.24515922	A:B:C	0.06072435	C:D:E	0.49274872
B:C	-0.02285984	A:B:D	9.65888266	A:B:C:D	-0.11287678
A:B:C:E	-0.01194870	A:B:D:E	-3.38346651	A:C:D:E	-0.70976257
B:C:D:E	-0.02513604	A:B:C:D:E	0.03806443		

وسيتم إدخال المعاملات المعنوية في النموذج كما يلي:

Y= -78.83 + 119.80A + 3.125B + 161.28D -5.785A:B - 0.0229B:C - 168.35A:D -9.595B:D + 0.184C:E - 0.0285B:C:E + 0.4927C:D:E - 0.012 A:B:C:E -0.025 B:C:D:E .

ويمكن تلخيص العوامل التي دخلت في النموذج كما هو موضح بالجدول (3−10).

جدول رقم (3–10) : التأثيرات الرئيسية والتفاعلات التي دخلت في نموذج التجربة 2^{6-1}

العوامل المؤثرة علي عملية إجراء تغذية صناعية من محاليل السكرية في التحليل العاملي بنصف تكرار	
درجات الحرارة	الفترات
تفاعل الفترة مع درجة الحرارة	تركيز السكر
تفاعل الفترة مع تركيز السكر	تفاعل درجة الحرارة مع الرطوبة
تفاعل الرطوبة مع نوع الصحن	تفاعل درجة الحرارة مع تركيز السكر
الرطوبة مع تركيز السكر مع نوع الصحن	درجات الحرارة مع الرطوبة مع نوع الصحن
الحرارة مع الرطوبة مع تركيز السكر مع نوع الصحن	الفترة مع الحرارة مع الرطوبة مع نوع الصحن

التجربة العاملية الجزئية في ربع تكرار :

هنا نطبق الربع تكرار في التجارب العاملية الجزئية 2^{6-2} علي جزء فقط من التجربة الأساسية السابقة في التكرار الكامل، وعليه سوف تتقلص المعالجات إلى الربع أي 16 معالجة في القطاع الواحد، كذلك بفرض أننا نريد توزيع المعالجات الناتجة من نصف تكرار للتجربة 2^6والتي عددها 32 معالجة ونريد توزيعها على قطاعين وذلك لصعوبة تنفيذ التجربة العاملية 2^6 بنصف تكرار في قطاع واحد و سوف نوزع المعالجات إلى قطاعين كما هو موضح في الجدول **(3–11)**.

جدول رقم (3–11) : تقسيم التجربة العاملية 2^6 بنصف تكرار إلي قطاعين

القطاع الأول (–)			
De	Df	Ef	I
Cdef	Cd	Ce	Cf
Bdef	Bd	Be	Bf
Bcde	Bcdf	Bcef	Bc

القطاع الثاني (+)			
Adef	Ad	Ae	Af
Acde	Acdf	acef	Ac
Abcf	Abdf	abef	Ab
Abcdef	Abde	abcd	Abce

ويمكن استخدام أي من القطاعين ففي كليهما يفقد تأثير التفاعلين الأعلى رتبة ABCDEF و ABCDE كليا، فالتكرار الجزئي بربع تكرار يمدنا بمعلومات التأثيرات الرئيسية والتفاعلات ذات الرتبة الثانية، و التفاعلات ذات الرتب العليا يمكن تجاهلها وضمها إلي الخطأ التجريبي.

جدول رقم (3–12) : جدول الإشارات لتصميم تجربة عاملية جزئية بربع تكرار 2^{6-2}

Treatments	**F**	**E**	**D**	**C**	**B**	**A**	**Exp.Number**
(1)	-1	-1	-1	-1	-1	-1	**1**
Def	1	1	1	-1	-1	-1	**2**
Cef	1	1	-1	1	-1	-1	**3**
Cd	-1	-1	1	1	-1	-1	**4**
Be	-1	1	-1	-1	1	-1	**5**
Bdf	1	-1	1	-1	1	-1	**6**
Bcf	1	-1	-1	1	1	-1	**7**
Bcde	-1	1	1	1	1	-1	**8**
Af	1	-1	-1	-1	-1	1	**9**
Ade	-1	1	1	-1	-1	1	**10**
Ace	-1	1	-1	1	-1	1	**11**
Acdf	1	-1	1	1	-1	1	**12**
Abef	1	1	-1	-1	1	1	**13**
Abd	-1	-1	1	-1	1	1	**14**
Abc	-1	-1	-1	1	1	1	**15**
Abcdef	1	1	1	1	1	1	**16**

ومن خلال نتائج التصميم في الشكل (3–2)[أنظر الملحق] سيتم دمج العامل E لأنه يكافئ B*C*D ، وكذلك سيتم دمج العامل F لأنه يكافئ العوامل A*C*D ، ويترتب عليه ضم تفاعلات كلا من العاملين F&E ضمن بند البواقي Residuals في جدول تحليل التباين .

جدول رقم (3-13) : جدول تحليل التباين لتجربة عاملية جزئية بربع تكرار 2^{6-2}

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
A	1	5603.9	5603.9	421.517	≤ 0.001***
B	1	164.5	164.5	12.3744	≤ 0.001***
C	1	0.1	0.1	0.0093	0.9234471
D	1	667	667	50.174	≤ 0.001***
A x B	1	64.4	64.4	4.8431	≤ 0.05*
A x C	1	11.4	11.4	0.855	0.3566686
B x C	1	74.7	74.7	5.618	≤ 0.05*
A x D	1	293.4	293.4	22.0724	≤ 0.001***
B x D	1	86.9	86.9	6.5357	≤ 0.05*
C x D	1	10.5	10.5	0.7931	0.374638
A x B x C	1	8.3	8.3	0.6258	0.4301662
A x B x D	1	22.8	22.8	1.7156	0.1923224
A x C x D	1	17.2	17.2	1.2944	0.2570945
B x C x D	1	3.2	3.2	0.2396	0.6252174
A x B x C x D	1	11.5	11.5	0.8631	0.3544146
Residuals	146	1941	13.3		
Total	161	8980.8			

*Significant at $P < 0.05$; **Significant at $P < 0.01$; ***Significant at $P < 0.001$

تبين من جدول تحليل التباين لتجربة عاملية جزئية بربع تكرار 2^{6-2} :

- دمج العامل F لأنه يكافئ العوامل A*C*D وكذلك العامل E لأنه يكافئ العوامل B*C*D ، وعليه تم دمج تفاعلات العاملين F&E جميعها ضمن البواقي وبذلك فقدنا تأثير التفاعل ABCDEF وكذلك تأثير التفاعل ABCDE.
- التأثيرات الرئيسية للعوامل المدخلة في التجربة منها A,B,D معنوية بينما العامل C غير معنوي ، أما التفاعلات الثنائية بين العوامل والتي عددها 6 تفاعلات منها 4 تفاعلات ثنائية معنوية و2 تفاعلات ثنائية غير معنوية، أما التفاعلات الثلاثية بين العوامل والتي عددها 4 تفاعلات وجميعها تفاعلات غير معنوية ، أم التفاعلات بين أربع عوامل عددها 1 تفاعل وهو تفاعل غير معنوي، وتم تلخيص التفاعلات المعنوية كما هو موضح في الجدول (3-14) .

جدول (3-14) : التأثيرات الرئيسية والتفاعلات التي توجد لها فروق معنوية مؤكدة إحصائياً 2^{6-2}

العامل المعنوي	Signif.	Pr(>F)	العامل المعنوي	Signif.	Pr(>F)
A	0	≤ 0.001***	**B**	0	≤ 0.001***
D	0	≤ 0.001***	**A:B**	0.01	≤ 0.05*
B:C	0.01	≤ 0.05*	**A:D**	0	≤ 0.001***
B:D	0.001	≤ 0.05*			

- قيم تأثيرات العوامل الرئيسة في التحليل العاملي الجزئي ربع تكرار لم تتغير وبقيت كما هي بالتحليل العاملي الكامل.
- قيمة مجموع مربعات الأخطاء زادت في التحليل العاملي الجزئي ربع تكرار وأصبحت 1941 بينما كانت قيمتها904.1 في التحليل العاملي الكامل، ومع ذلك نلاحظ أن مجموع المربعات الكلي للتباين في تحليل الربع تكرار يساوي مجموع المربعات الكلي للتباين في تحليل التكرار الكامل = 8980.8.
- عدد درجات الحرية للأخطاء زادت في التحليل العاملي الجزئي ربع تكرار وأصبحت 146 بينما كانت قيمتها 98 في التحليل العاملي الكامل، ومع ذلك نلاحظ أن مجموع عدد درجات الحرية الكلي في تحليل الربع تكرار يساوي مجموع عدد درجات الحرية الكلي في تحليل التكرار الكامل = 161.
- تم استخدام عدد معالجات أقل في التصميم العاملي الجزئي ربع تكرار وأعطى معلومات كافية عن التأثيرات الرئيسية والتفاعلات الثنائية المهمة بشكل أدق من التصميم العاملي الجزئي نصف تكرار.

ولمعرفة النموذج الرياضي الملائم تم استخراج معاملات النموذج كالتالي:

جدول رقم (3-15) : معاملات النموذج الرياضي لتجربة نصف تكرار 2^{6-2}

جدول معاملات التحليل العاملي ربع تكرار			
العامل	**المعامل**	**العامل**	**المعامل**
Intercept	-53.82696710	A:B:C	0.02299971
A	34.13958634	A:B:D	2.34024112

0.41635797	A:C:D	3.56210565	**B**
0.04423727	B:C:D	0.73412838	**C**
-0.02575029	A:B:C:D	52.67226503	**D**
		-1.88381569	**A:B**
		-0.36147134	**A:C**
		-0.05248878	**B:C**
		-35.84490181	**A:D**
		-3.54431594	**B:D**
		-0.67021720	**C:D**

وسيتم إدخال المعاملات المعنوية في النموذج كما يلي:

$$Y= -53.827+ 3.56B +34.134A + 52.67D - 1.88A:B - 0.052B:C -35.85A:D - 3.544B:D .$$

ويمكن تلخيص العوامل التي دخلت في النموذج كما في الجدول (3−17):

جدول رقم (3−16) : التأثيرات الرئيسية والتفاعلات التي دخلت في نموذج التجربة 2^{6-2}

العوامل المؤثرة علي عملية إجراء تغذية صناعية من محاليل السكرية في التحليل العاملي بربع تكرار	
درجات الحرارة	الفترات
تفاعل الفترة مع درجة الحرارة	تركيز السكر
تفاعل الفترة مع تركيز السكر	تفاعل الحرارة مع درجة الرطوبة
	تفاعل درجة الحرارة مع تركيز السكر

4. الخاتمة

في هذا البحث قمنا باستخدام بيانات تكرار كامل لتجربة عاملية 2^6 ، ثم عملنا علي تطبيق تقنية بناء التصاميم العاملية الجزئية بنصف تكرار وربع تكرار حيث رأينا كيف ساهمت التصاميم العاملية الجزئية في تقليص عدد المعالجات إلي النصف في كل تصميم جزئي من خلال معرفة مترادفات العوامل الرئيسة حيث تم ضم البعض منها وتجاهل التفاعلات ذات الرتب العليا وضمها للخطأ التجريبي، وبعد ذلك قمنا بتحليل بيانات التصاميم العاملية الجزئية من خلال استخدام برنامج (R)، وأظهرت النتائج مايلي:

- التصميم العاملي الكامل احتوى علي جميع معالجات التجربة 64 معالجة بينما التصميم العاملي الجزئي بنصف تكرار أظهر أنه يحتاج إلى 32 معالجة وأما التصميم العاملي الجزئي بربع تكرار أظهر أنه يحتاج إلى 16 معالجة فقط.
- التصميم العاملي الجزئي بنصف تكرار ساعد علي دمج العامل F لأنه يكافئ العوامل A*B*C*D*E وعليه تم ضم تفاعلات العامل F جميعها ضمن البواقي وبذلك فقدنا تأثير التفاعل ABCDEF . أما التصميم العاملي الجزئي بربع تكرار ساعد في دمج العامل F لأنه يكافئ العوامل A*C*D وكذلك العامل E لأنه يكافئ العوامل B*C*D ، وعليه تم دمج تفاعلات العاملين F&E جميعها ضمن البواقي وبذلك فقدنا تأثير التفاعل ABCDEF وكذلك تأثير التفاعل ABCDE.
- قيم تأثيرات العوامل الرئيسية في التصميم العاملي الجزئي نصف تكرار والربع تكرار بقيت كما هي في التصميم العاملي الكامل بنفس القيم وحافظت علي تأثيرها المعنوي من الناحية الإحصائية.
- تم الحصول على التفاعلات الثنائية المهمة وتجاهل التفاعلات ذات الرتب العليا وضمها إلي الخطأ التجريبي في التصميم العاملي الجزئي بنصف تكرار والتصميم العاملي الجزئي بربع تكرار.
- نلاحظ أن مجموع المربعات الكلي للتباين في التحليل العاملي الكامل يساوي مجموع المربعات الكلي للتباين في التحليل العاملي الجزئي بنصف تكرار والتحليل العاملي الجزئي بربع تكرار.
- عدد درجات الحرية للخطأ التجريبي في التحليل العاملي الكامل كانت 98 وأصبحت عددها 130 في التحليل العاملي الجزئي بنصف تكرار و146 في التحليل العاملي الجزئي بربع تكرار، مع ذلك نلاحظ أن مجموع عدد درجات الحرية الكلي في التحليل العاملي الكامل يساوي مجموع عدد درجات الحرية في التحليل العاملي الجزئي بنصف تكرار والتحليل العاملي الجزئي بربع تكرار = 161.
- استخدام التصاميم العاملية الجزئية بنصف تكرار أو ربع تكرار لم تفقدنا أي بيانات مهمة عن التأثيرات الرئيسية والتفاعلات الثنائية، بل إن استخدام تقنية التكرار الجزئي سهلت علينا عملية دراسة المعالجات من خلال تخفيض عدد المعالجات إلى النصف في كل مرة.
- نتائج التحليل العاملي الجزئي بربع تكرار أعطت أعلي دقة في تقدير التأثيرات الرئيسية والتفاعلات الثنائية وكان الأفضل في توفير الوقت والجهد والتكلفة (أنظر النتائج).

وبناء علي ما تقدم فإنه تحققت لنا العديد من المزايا من خلال استخدام التصاميم العاملية الجزئية حيث تم تقليل عدد معاملات التجربة وبالتالي تقليل عدد المعالجات وأيضا التخلص من جميع

التفاعلات ذات الرتب العليا التي كانت ستسبب لنا صعوبة في تفسير النتائج، ولعلنا في هذا الخصوص قد ساهمنا في التأكيد علي استخدام تقنية التصاميم العاملية الجزئية لحل مشكلة زيادة عدد المعالجات في التجارب العاملية الكبيرة.

المراجع

أولاّ : المراجع العربية

الطاهر، محمد محمد، تصميم وتحليل التجارب، دار المريخ للنشر،1994م.

عبد المنعم، ثروت محمد، تصميم وتحليل التجارب، مكتبة الأنجلو المصرية،2004م.

ثانياّ : المراجع الأجنبية (References)

Finney, D.J. (1945), "The Fractional Replication of Factorial Arrangements", Ann. Eugen.

Hinkelmann, K. and Kempthorne, O. (2005), " Design and Analysis of Experiments " , Volume 2, Advanced Experimental Design, Wiley.

Mead R., (1990), "The Design of Experiments: Statistical Principles for Practical Applications", Cambridge University Press.

Ramírez José G., Weisz Jon T., (2009) "Designing Multi-Step Fractional Factorial Split-Plots: A Combined JMP® and SAS® User Application", Statistics and Data Analysis. SAS Global Forum.

Ranjan Pritam, Bingham Derek R., Dean Angela M., (2009), "Existence and construction of randomization defining contrast subspaces for regular factorial designs" , Institute of Mathematical Statistics, The Annals of Statistics.

Shalabh Helge Toutenburg, (2009), "Statistical Analysis of Designed Experiments", 3th Edition, Springer Science Business media LLc.

Von Eye Alexander, (2008) "Fractional Factorial Designs in the Analysis of Categorical Data" Michigan State University.