مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية والمعمارية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 4

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص **المدير المسؤول عن المجلة**

أ. د. وليد حمادة	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية**
أ. د. درغام سلوم	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية**

د.محمد فراس رمضان	عضو هيئة التحرير
د. مضر سعود	عضو هيئة التحرير
د. ممدوح عبارة	عضو هيئة التحرير
د. موفق تلاوي	عضو هيئة التحرير
د. طلال رزوق	عضو هيئة التحرير
د. أحمد الجاعور	عضو هيئة التحرير
د. الياس خلف	عضو هيئة التحرير
د. روعة الفقس	عضو هيئة التحرير
د. محمد الجاسم	عضو هيئة التحرير
د. خليل الحسن	عضو هيئة التحرير
د. هيثم حسن	عضو هيئة التحرير
د. أحمد حاج موسى	عضو هيئة التحرير

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الالكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :**

يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

- **اذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :**

يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):**

عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1- مقدمة

2- هدف البحث

3- مواد وطرق البحث

4- النتائج ومناقشتها .

5- الاستنتاجات والتوصيات .

6- المراجع.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسـبة لكليات (الآداب – الاقتصـاد– التربية – الحقوق – السياحة – التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):**
- عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

أ- قياس الورق 17.5×25 B5.

ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 – يمين 2.5- يسار 2.5 سم

ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8

ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20

ـ كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي ـ العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.

8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

9- تقديم أي بحث للنشـر في المجلة يدل ضـمناً على عدم نشـره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة ـ الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة ـ سنة النشر ـ وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة ـ دار النشر وتتبعها فاصلة ـ الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة.

وفيما يلي مثال على ذلك:

–MAVRODEANUS, R1986– **Flame Spectroscopy**. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

ـــ بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة ـــ المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة ـــ أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.

مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases **Clinical Psychiatry News** , Vol. 4. 20 – 60

ج. إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. **دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.**
2. **دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .**
4. **دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.**

المحتوى

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
دراسة مقارنة لنماذج الضرر اللدن للخرسانة	عمار فجلات د.عبد الكريم الجرف د.محمد علي عيسى	44-11
استخدام المواد الإسفلتية المكشوطة في تصميم طبقات الرصف الطرقية	د.أحمد الصالح د.سمير الصالح	70-45
تطوير منهجية منخفضة التكاليف للنمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام التصوير الرقمي وأنظمة المعلومات الجغرافية	مرشد علي د.وسيم موسى د.حنان درويش	104-71
تحليل أثر إدخال دقة النقاط المرجعية على دقة شبكات المثلثات	علا مراد د.أحمد العمر د.فائق شدود	150-105

دراسة مقارنة لنماذج الضرر اللدن للخرسانة

عمار فجلات [1] عبد الكريم الجرف [2] محمد علي عيسى [3]

الملخص : تعتبر نمذجة السلوك الفيزيائي للمواد الخرسانية في العناصر الإنشائية أحد أهم المجالات التي تشكل تحدياً في الهندسة الإنشائية. و قد تم عبر السنوات استخدام مفاهيم مختلفةٍ تتضمن نظرية اللدونة و/أو آليات الضرر المتصلة لمحاكاة السلوك الملاحظ تجريبياً للمواد الخرسانية. و أُجريت العديد من المحاولات من قبل الباحثين لتعديل نظرية اللدونة التقليدية بالإضافة لجعلها أكثر ملاءمةً للمواد الخرسانية بتضمين التطرية مباشرةً في التعبير عن سطح الخضوع اللدن بواسطة توابع تصلب–تطرية. [20]

تمت في هذا البحث محاولة تلخيص و تبسيط نموذج الضرر اللدن للخرسانة بتقديم معادلاتٍ و حساباتٍ و محاكاةٍ لعناصر إنشائيةٍ على برنامج *Abaqus CAE* باستخدام طريقة العناصر المحدودة للتحقق من النموذج.

لوحظ أن النموذج المقدم يعطي نتائج مقبولةً بالمقارنة مع التجارب المخبرية، لكن يبالغ أحياناً في تقييم قدرة التحمل لبعض العناصر الإنشائية الخرسانية. و أيضاً توجد بعض الاختلافات للعناصر الخرسانية المعرضة للشد.

كلمات مفتاحية: نموذج الضرر اللدن – انهيار الخرسانة – الخرسانة غير المطوقة – تحليل عددي – طريقة العناصر المحدودة – معيار انهيار .

[1] طالب دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص.
[2] أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص.
[3] مدرس في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص.

Comparative Study for Damaged Plasticity Models of Concrete

Ammar Fejlat [1] Abdul-Karim Al-Jerf [2] Mohammad Ali Issa [3]

Abstract: Modeling the physical behavior of concrete materials in structural components remains as one of the most challenging fields in structural engineering. Throughout the years, different concepts involving plasticity theory and/or continuum damage mechanics have been used to simulate the experimentally observed behavior of concrete materials. Many efforts were presented by researchers to modify the classical theory of plasticity in order to make it more suitable for concrete materials by including the softening directly in the expression of a plastic yield surface by means of a hardening-softening function [20].

In this research, a trying to summarize and simplify of concrete damaged plasticity model by presenting equations, calculations and simulations of structural elements on *Abaqus CAE* Software using finite element method to verify the model.

It has been observed that the presented model gives an acceptable results comparing with laboratory experiments, but sometimes, overestimate the load carrying capacity for some structural concrete elements. Also there is some differences for concrete elements subjected to tension.

Keywords: Concrete Damaged Plasticity - Concrete Failure - Unconfined Concrete - Numerical Analysis - Finite Element Method (FEM) - Failure Criterion .

(1) Doctorate Student at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Homs University.
(2) Assistant Professor at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Homs University.
(3) Lecturer at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Homs University.

1. مقدمة Introduction

يُعتبر تعيين المتغيرات البنيوية التي توصّف خصائص مادةٍ معينةٍ شيئاً جوهرياً. الأسلوب العددي لحل أي مسألة قيمة حدية موضع التشقق يجب أن يعتبر نموذجاً بنيوياً معقداً. في حالة مادة إنشائية كالخرسانة، يجب تعريف عددٍ كبيرٍ من المتغيرات (البارامترات). الفكرة العامة أن الخرسانة تتكون من مجالٍ واسعٍ من المواد و التي تختلف خصائصها كمياً و نوعياً من أجل الاختبارات النموذجية (الشد و الضغط). و حديثاً أصبحت نمذجة الانهيار و التمزق إحدى المسائل الأساسية في ميكانيك الإنشاءات، و بشكلٍ محددٍ في المنشآت الخرسانية.[10]

يُستخدم نموذج الضرر اللدن لمحاكاة سلوك الخرسانة، أُعيد العمل على معيار Lubliner [12] وإعادة حساب العديد من حالات الإجهاد في المنشآت الهندسية. و تشير الأبحاث أنه من المعقد تمثيل سلوك الخرسانة المسلحة باستخدام نماذج الضرر اللدن [8]، و لذلك لا بدّ من تبسيطه و توصيفه ضمن حدود معقولة.

كلمحةٍ عامةٍ، فقد تم تأسيس معيار انهيار دراكر–براغر (Drucker–Prager) كتعميمٍ لمعيار مور–كولومب (Mohr–Coulomb) من أجل الترب، في عام 1952، و يمكن التعبير عنه كالآتي: [3]

$$\sqrt{J_2} = \lambda I_1' + \kappa \qquad (1)$$

كما يُعتبر تمديداً لمعيار انهيار فون–مايزس (Von Mises) عندما $\lambda = 0$

حيث : λ و κ هي ثوابت المادة

J_2 : الثابت الثاني لتنسور (إما مصفوفة أو شعاع) الإجهاد الديفياتوري (في مستوٍ ثلاثي المحاور)

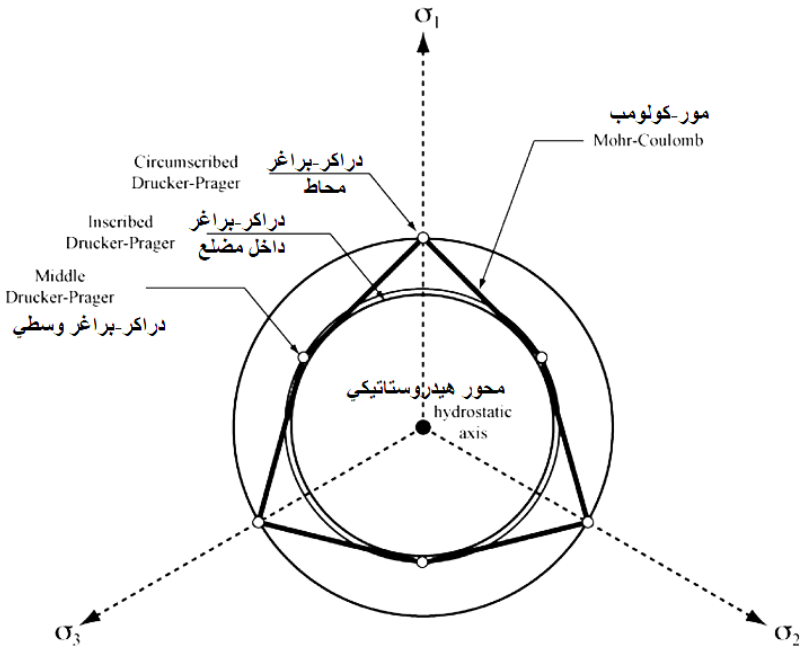
I_1' : الثابت الثاني لتنسور الإجهاد، و تُعرّف كما يلي: [3]

$$I_1' = \sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3' \qquad (2)$$

$$J_2 = \frac{1}{6}[(\sigma_1' - \sigma_2')^2 + (\sigma_1' - \sigma_3')^2 + (\sigma_3' - \sigma_1')^2] \qquad (3)$$

حيث : $\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3'$ الإجهادات الفعالة الرئيسية.

يوصف المعيار الأساسي مخروطاً دائرياً تماماً في فضاء الإجهاد عندما $\lambda > 0$ ، أو اسطوانة دائرية تماماً عندما $\lambda = 0$. كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1) : معيارا انهيار دراكر–براغر و مور–كولومب في فضاء الإجهاد [3]

يمكن تحديد المتغيرين λ و κ من اختبارات ثلاثية المحاور برسم النتائج بيانياً في فضاء I_1' و $\sqrt{J_2}$. وبشكلٍ اختياريٍ يمكن الحصول على البارامترات من خلال اختبارات الضغط ثلاثي المحاور القياسية، و التعبير عنها بمعايير زاوية الاحتكاك الداخلية و التماسك المقيد: [3]

$$\lambda = \frac{2\sin\emptyset}{\sqrt{3}(3-\sin\emptyset)} \qquad (4)$$

$$\kappa = \frac{6c\ \cos\emptyset}{\sqrt{3}(3-\sin\emptyset)} \qquad (5)$$

حيث : c و $\emptyset$ التماسك المقيد و زاوية الاحتكاك الداخلية للصخر. على التوالي.

من أجل التشوه المستوي، يُفترض أن زاوية التمدد للصخر تساوي زاوية الاحتكاك الداخلي، مثل قاعدة التدفق المرافق (المخروط داخل المضلع في الشكل 1): [3]

$$\lambda = \frac{tan\,\emptyset}{\sqrt{9 + 12\ tan^2\,\emptyset}} \qquad (6)$$

$$\kappa = \frac{3c}{\sqrt{9 + 12\ tan^2\,\emptyset}} \qquad (7)$$

2. مشكلة البحث Research Problem:

سلوك الخرسانة معقّدٌ، و هنالك العديد من البارامترات التي يجب اعتبارها في التحليل، كونه مركّبٌ من عدة أنواعٍ مختلفة النوع و الكمية من المواد ذات الخصائص الرئيسية المختلفة على الشد والضغط. و لذلك لا بدّ من توصيف نموذج مادة مفهوم بناءً على الأبحاث السابقة، لاستخدامه في طريقة العناصر المحدودة لتحليل العناصر الإنشائية.

3. أهداف البحث Objectives

- عرض الدراسات السابقة و كيف وصّف الباحثون نموذج الضرر اللدن كمعيار لنمذجة الخرسانة.
- استخلاص و تبسيط المعادلات الهامة المستخدمة في توصيف نموذج الضرر اللدن.
- معايرة النموذج المقترح عبر أمثلة عددية باستخدام برنامج محاكاة بطريقة العناصر المحدودة.

4. منهجية البحث Methodology

تشمل متغيرات البحث مقاومة الضغط و مقاومة الشج للخرسانة، و قيمة التشوه الحدي للخرسانة ε_c' ، و نموذج تطرية الشد بعد الوصول للمقاومة الحدية. كما يتم افتراض معامل المرونة و نسبة بواسون للخرسانة.

يشير الشكل (2) على افتراض أن استجابة الخرسانة على الضغط و الشد تتأثر بالضرر اللدن. و يمكن اعتبار استجابات الضغط و الشد المحورية للخرسانة باعتبار الضرر معطاة بالمعادلتين الآتيتين: [8]

$$\sigma_t = (1 - d_t)E_0\left(\varepsilon_t - \varepsilon_t^{pl,h}\right) \qquad (8)$$

$$\sigma_c = (1 - d_c)E_0\left(\varepsilon_c - \varepsilon_c^{pl,h}\right) \qquad (9)$$

حيث أن:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_c^{pl,h} + \varepsilon_c^{el} \qquad (10)$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_t^{pl,h} + \varepsilon_t^{el} \qquad (11)$$

$\varepsilon_c^{pl,h}$: تشوه التصلب اللدن في الضغط

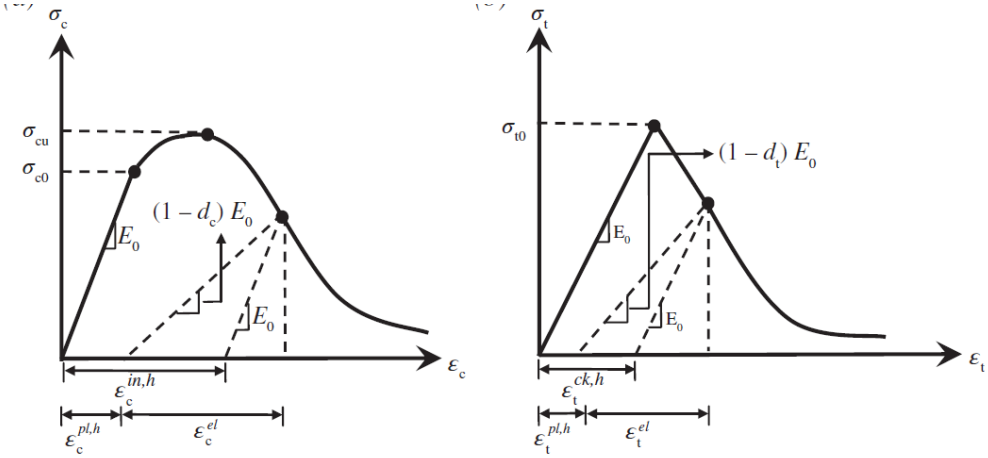
$\varepsilon_t^{pl,h}$: تشوه التصلب اللدن في الشد

ε_c^{el} : تشوه التصلب المرن في الضغط

ε_t^{el} : تشوه التصلب المرن في الشد

ε_c : التشوه الكلي في الضغط

ε_t : التشوه الكلي في الشد



(a) (b)

الشكل (2) : استجابة الخرسانة لظروف التحميل المحوري بافتراض تأثير الضرر اللدن: (a)الضغط ، (b) الشد [8]

سلوك الضغط أحادي المحور: [8]

يمكن ربط العلاقة بين متغيرات الضرر و مقاومة الضغط في الخرسانة كالآتي:

$$\sigma_c = (1 - d_c)E_0\left(\varepsilon_c - \varepsilon_c^{pl,h}\right) \qquad (12)$$

حيث:

d_c : تضرر الضغط، مبني على تشوه التصلب اللامرن $\varepsilon_c^{in,h}$ الذي يحكم ميل منحني إزالة الحمولة (تفريغ التحميل)، يزداد d_c مع زيادة $\varepsilon_c^{in,h}$ ، و يمكن التعبير عنه كالآتي:

$$d_c = 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}} \qquad (13)$$

σ_c : إجهاد الضغط الاسمي (MPa)

σ_{cu} : إجهاد الضغط الحدي (MPA)، مقاومة الخرسانة على الضغط.

E_0 : معامل المرونة الأولي (MPa) حتى قيمة الإجهاد $(0.5\sigma_{cu})$، في المرحلة المرنة للخرسانة. من أجل مصفوفة الصلابة للعناصر المحدودة يُفضّل الحصول عليه من نتائج تجريبية أو استخدام علاقات كودية كقيمة استرشادية في حال عدم توفر التجربة. أما من أجل حسابات الضرر اللدن يُفضّل حسابه من قسمة قيمة الإجهاد على التشوه عند قيمة نصف المقاومة الاسطوانية (نهاية المرحلة المرنة). و يُحسب التشوه اللامرن بالمعادلة (14) والتشوه اللدن بالمعادلة (15):

$$\varepsilon_c^{in,h} = \varepsilon_c - \frac{\sigma_c}{E_0} \qquad (14)$$

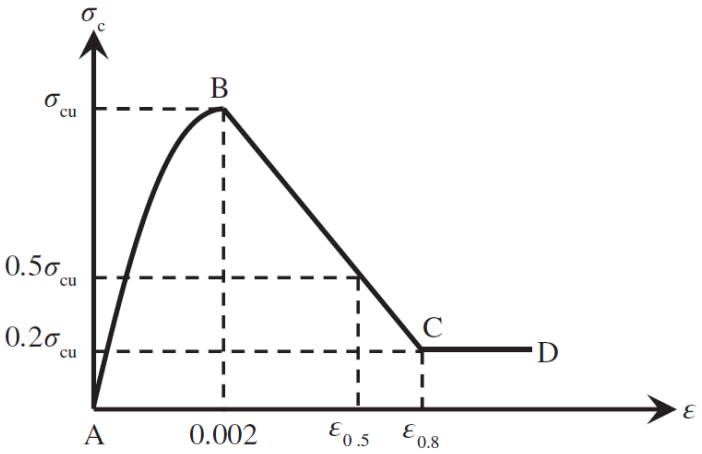
$$\varepsilon_c^{pl,h} = \varepsilon_c - \frac{\sigma_c}{E_0}\left(\frac{1}{1 - d_c}\right) = \varepsilon_c^{in,h} - \frac{d_c}{(1 - d_c)}\frac{\sigma_c}{E_0} \qquad (15)$$

$\varepsilon_c^{pl,h}$: تشوه التصلب اللدن

$\varepsilon_c^{in,h}$: تشوه التصلب اللامرن

بشكلٍ عامٍ، يمكن التعبير عن سلوك الضغط أحادي المحور إما بالاختبارات التجريبية (و تلك هي الحالة الأفضل في حالة الإمكانية و ضبط النتائج)، أو باستخدام نماذج تركيبية موجودة مسبقاً مثل المقترح من قبل Hognestad [9] أو Kent *et al.* [11] من أجل الخرسانة غير المطوقة. نموذج Kent and Park [11] الموضح في الشكل (3) هو

نموذج تكويني قطعي مكافئ (من الدرجة الثانية) من أجل الخرسانة غير المطوقة، و الذي يمكن التعبير عنه كما يلي:



الشكل (3) : نموذج *Kent and Park* من أجل الخرسانة المطوق و غير المطوق [8]

$$\sigma_c = \sigma_{cu}\left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c'}\right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c'}\right)^2\right] \qquad (16)$$

حيث:

σ_c : إجهاد الضغط الاسمي (MPa)

ε_c : التشوه الاسمي

σ_{cu} : مقاومة الضغط الحدية (MPa)، من أجل عينة اسطوانية غير مطوقة

ε_c' : التشوه الحدي، من أجل عينة اسطوانية غير مطوقة. و قد وصّف Park [8] أن $\varepsilon_c' = 0.002$ ، و يمكن افتراض هذه القيمة في الدراسات. يشير الشكل (3) إلى تزايد قطعي مكافئ بين النقطتين (A–B) لمرحلة التصلب، في حين لوحظ سلوك خطي (من B إلى C) لمراحل التطرية، من أجل الخرسانة المطوقة و غير المطوقة. تستمر مرحلة التطرية حتى 20% من مقاومة الضغط لاسطوانة غير مطوقة. [8]

يمكن تحويل المعادلة السابقة إلى الشكل الآتي:

$$\underbrace{\left(-\frac{1}{0.002^2}\right)}_{a}\varepsilon_c{}^2 + \underbrace{\left(\frac{2}{0.002}\right)}_{b}\varepsilon_c + \underbrace{\left(-\frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}}\right)}_{c} = 0 \qquad (17)$$

معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة لـ ε_c ، يمكن حساب الثابتين a و b و حلها باستخدام المميز Δ مع كل تغير للقيمة c .

سلوك الشد أحادي المحور: [8]

لا توجد اختلافاتٌ هامةٌ في نماذج تكوين الخرسانة لمرحلة الشد، بسبب السلوك القصيف للخرسانة. تؤخذ مقاومة الشد (7% ← 16%) من مقاومة الضغط الأعظمية (تفاوت المجال قد يؤثر على النتائج حوالي 30% في العناصر المعرضة للشد).

$$\sigma_t = (1 - d_t)E_0\left(\varepsilon_t - \varepsilon_t^{pl,h}\right) \qquad (18)$$

$$\varepsilon_t^{ck,t} = \varepsilon_t - \frac{\sigma_t}{E_0} \qquad (19)$$

$$\varepsilon_t^{pl,h} = \varepsilon_t - \frac{\sigma_t}{E_0}\left(\frac{1}{1 - d_t}\right) = \varepsilon_t^{ck,h} - \frac{d_t}{(1 - d_t)}\frac{\sigma_t}{E_0} \qquad (20)$$

حيث أن:

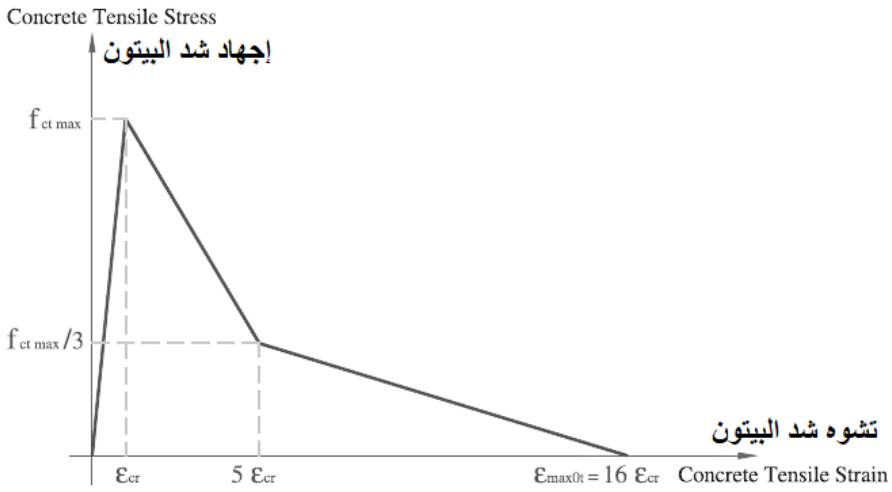
σ_t : إجهاد الشد الاسمي (MPa)

$\varepsilon_t^{pl,h}$: تشوه التصلب اللدن في الشد

d_t : تضرر الشد، يزداد d_t مع زيادة $\varepsilon_t^{tk,s}$ ، و يمكن التعبير عنه كالآتي: [8]

$$d_t = 1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_{tu}} \qquad (21)$$

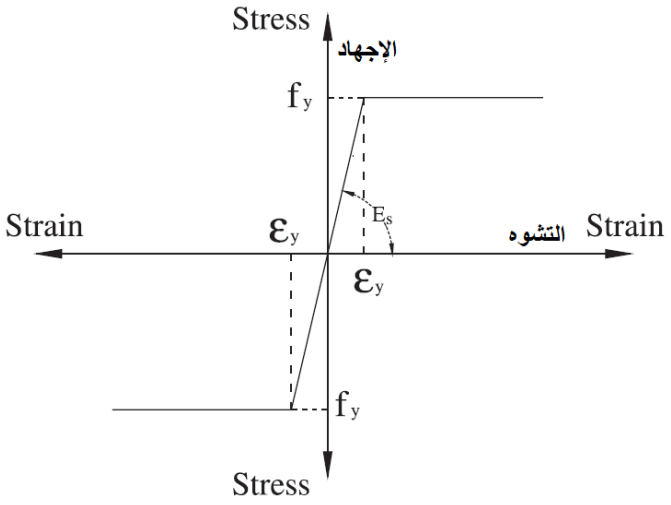
يوجد منحني تطرية معدل للشد مقترح من قبل (Allam et al.) [2] من أجل العناصر الخرسانية المسلحة المعرضة للانعطاف. موضح في الشكل (6).



الشكل (4) : منحني تطرية الشد المقترح من قبل Massicotte et al. [15]

نموذج المادة المقترح كالآتي: [2]

- نمذجة التسليح الفولاذي كمادة خطية مرنة–تامة اللدونة (في الحقيقة هذا معتمد في أغلب نماذج المحاكاة، و قد لا تختلف النتائج كثيراً عن حالة نمذجة السلوك الفعلي لمادة الفولاذ) كما هو مبين في الشكل (5). تتضمن البيانات المدخلة إجهاد الخضوع f_y و معامل المرونة E_s و نسبة بواسون μ_s ($\cong$ 0.3 في درجات الحرارة العادية).



الشكل (5) : علاقة إجهاد تشوه مثالية للفولاذ [2]

- نمذجة الخرسانة في الشد كمادة قصيفة مرنة خطية مع تطرية (تخفيض) للتشوه. صلابة الشد مسموحة بتعديل سلوك التطرية للخرسانة. تكون علاقة إجهاد–تشوه بعد التشقق كالمقترحة من قبل .Massicotte et al [15] و الموضحة في الشكل (4) (تم تعديلها إلى الشكل 6). تفترض هذه العلاقة أن تطرية التشوه بعد التشقق تخفّض الإجهاد للصفر عند تشوه كلي حوالي 16 مرة من التشوه عند أول شق. وتم تخفيض هذا المنحني ليسمح بسلوك استجابة تدريجية نسبياً و بالتالي تخفيض مشاكل التقارب (عند الحل العددي بالعناصر المحدودة) كما يظهر في الشكل 6 (المنحني المقترح). تتضمن بيانات الإدخال مقاومة الشد للخرسانة f_{ctmax} (تتراوح تجريبياً 0.2–0.07 من مقاومة الضغط و تُحسب عادةً بالمعادلة (22) والتشوه عند أول تشقق ε_{cr} =0.0001125 تشوه الخرسانة عند التشقق من أجل f_{cu} = 30 N/mm^2 ، عادةً نسبة مقاومة الشد الأعظمية على معامل المرونة الأولي) و منحني تطرية التشوه.

تُحسب مقاومة الشد للخرسانة بعلاقة من مقاومة الضغط:

$$f_{ctmax} = 0.7\sqrt{f_c'} \qquad (22)$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{f_{ctmax}}{E_0} \qquad (23)$$

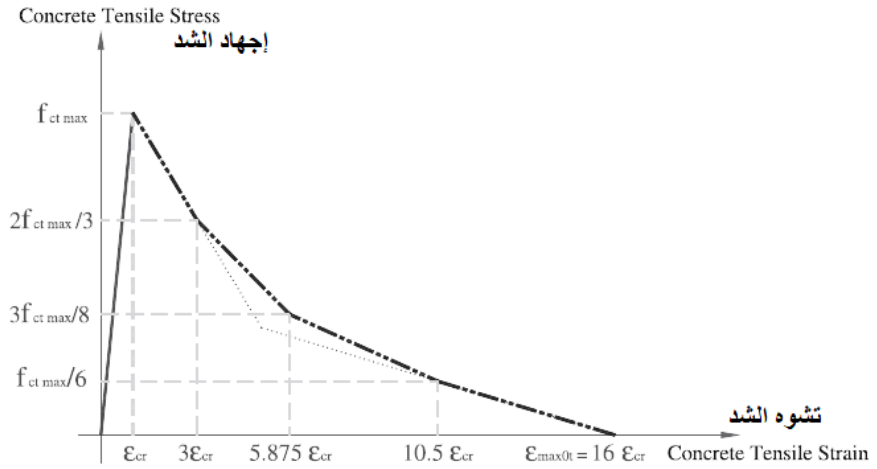
$$E_0 = \frac{0.5\sigma_{cu}}{\varepsilon_c} \qquad (24)$$

يُحسب معامل مرونة للخرسانة وفق الكود العربي السوري بعلاقة من مقاومة الضغط:

$$E_c = 4750\sqrt{f_c'} \qquad (25)$$

أو في حالة الأحمال الديناميكية:

$$E_c = 5700\sqrt{f_c'} \qquad (26)$$

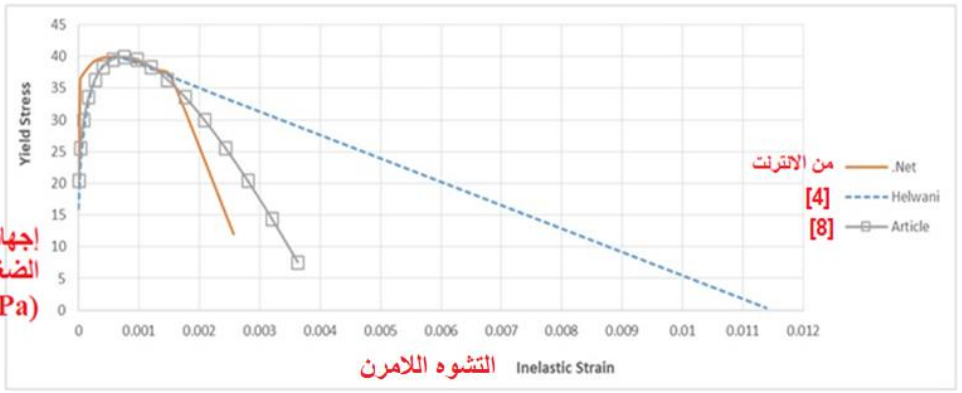


الشكل (6) : منحني تطرية معدل للشد مقترح للعناصر المعرضة للانعطاف [2]

- نمذجة الخرسانة في الضغط مرن–لدن. تتضمن بيانات الإدخال مقاومة الضغط للخرسانة f_c' و معامل المرونة E_c و نسبة بواسون μ_c (تتراوح 0.1~0.2) وعلاقة الإجهاد-التشوه اللدن، و نسب الانهيار الآتية: [2]

- نسبة إجهاد الضغط الحدي ثنائي المحاور إلى إجهاد الضغط الحدي أحادي المحور. و تؤخذ 1.16 .
- القيمة المطلقة لنسبة إجهاد الشد أحادي المحور عند الانهيار إلى إجهاد الضغط الحدي أحادي المحور، و تؤخذ 0.109 .
- نسبة مقدار المكون الرئيسي للتشوه اللدن عند الإجهاد الحدي في الضغط ثنائي المحاور إلى التشوه اللدن عند الإجهاد الحدي في الضغط أحادي المحور، و تؤخذ 1.25 .
- نسبة إجهاد الشد الرئيسي عند التشقق إلى إجهاد تشقق الشد تحت الشد أحادي المحور، في حالة الإجهاد المستوي، و عندما يكون الإجهاد الرئيسي الآخر عند قيمة الضغط الحدية، و تؤخذ 0.2 .

الباحث [4] قام بإعداد تطبيق مبرمج بلغة python يمكن إدخاله إلى برنامج Abaqus، بغرض تشكيل مادة الخرسانة باستخدام نموذج الضرر اللدن. يوضح الشكل (7) الفروق في دقة الحساب و القيم (الاختيارية) حيث الهدف منها تسهيل الحساب (الحل العددي) على البرنامج. في النموذج المبسط [8] تستمر قيمة التشوه اللامرن إلى قيمٍ قريبةٍ من 0.003 وهو أكثر واقعيةً و مقاربةً للتجربة. في حين تستمر قيمة التشوه اللامرن بالزيادة في النموذج المبرمج [4] إلى قيمٍ تتجاوز 0.01 و هي قيمةٌ كبيرةٌ جداً و تبتعد نتائج النمذجة عن التجربة. أحد الباحثين أنشأ نموذجاً مستخدماً منحنياً غير معروف المصدر، تم وضعه للمقارنة فقط.



الشكل (7) : مقارنة منحني إجهاد–تشوه في حالة الضغط للخرسانة وفق عدة مصادر

يحتوي الشكل (8) صوراً توضح طريقة الحساب التفصيلية وفق هذه المقالة على الضغط، يليه الشكل (9) طريقة الحساب على الشد.

Material's parameters	
Concrete elasticity	
E (MPA) for CDP	26460.15511
E (MPA) for FEM	26447
Poisson's ratio	0.2
σcu (Mpa)	31

معامل المرونة
قيمة محسوبة بقسمة الإجهاد في نهاية المرحلة المرنة على التشوه الكلي الناتج من حل معادلة Kent and Park

$E = 0.5\sigma_{cu}/\varepsilon_{total}$

تدخل في حسابات التضرر اللدن

قيمة استرشادية لمعامل المرونة تدخل في حسابات العناصر المحدودة.
يمكن حسابها من علاقات كودية، مثلاً:

$E = 4750\sqrt{f'_c}$

أو:

$E = 5700\sqrt{f'_c}$

في حالة التحميل الديناميكي

ε'c	0.002	A	B	C
	ثابت	-250000	ثابت 1000	متغير -0.5
				-0.526315789
				-0.555555556
				-0.588235294

معادلة Kent and Park

$$\left(-\frac{1}{0.002^2}\right)\varepsilon_c{}^2 + \left(\frac{2}{0.002}\right)\varepsilon_c + \left(-\frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}}\right) = 0$$

			Total Strain	Plastic Strain
Δ	X1	X2	X	
500000	0.000585786	0.003414	0.000585786	0
90909.09091	0.001396977	0.002603	0.001396977	0.000811191
0	0.002	0.002	0.002	0.001414214
166666.6667	0.001183503	0.002816497	0.002816497	0.00223071
285714.2857	0.000930955	0.003069045	0.003069045	0.002483259
375000	0.000775255	0.003224745	0.003224745	0.002638958

هذه قيمة التشوه في نهاية المرحلة المرنة (التشوه المرن)

من أجل حساب التشوه الكلي:
قبل القيمة 0.002 نأخذ أصغر الحلين
بعد القيمة 0.002 نأخذ أكبر الحلين

التشوه اللدن = التشوه الكلي - التشوه المرن

	stress (MPa)	Inelastic strain	Damage parameter C	Inelastic strain
	15.5	0	0	0
	16.31578947	6.88829E-06	0	6.88829E-06
	17.22222222	1.57928E-05	0	1.57928E-05
	18.23529412	2.74616E-05	0	2.74616E-05
	19.375	4.30221E-05	0	4.30221E-05
	20.66666667	6.42509E-05	0	6.42509E-05
	22.14285714	9.41173E-05	0	9.41173E-05
	23.84615385	0.000138021	0	0.000138021
	25.83333333	0.000207193	0	0.000207193
	28.18181818	0.000331911	0	0.000331911
f_c'	31	0.000828427	0	0.000828427
	25.83333333	0.001840186	0.166666667	0.001840186
	22.14285714	0.002232207	0.285714286	0.002232207
	19.375	0.002492512	0.375	0.002492512

قيم متفاوتة للإجهاد

قيم صفرية حتى الوصول إلى القيمة القصوى للإجهاد f_c'

التشوه اللامرن، يُحسب بالمعادلة
$$\varepsilon_c^{in,h} = \varepsilon_c - \frac{\sigma_c}{E_0}$$

بارامتر التضرر على الضغط، يُحسب بالمعادلة:
$$d_c = 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}}$$

الشكل (8) : طريقة الحساب التفصيلي لنموذج الضرر اللدن على الضغط

Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
stress (MPa)	Strain	Cracking strain	Damage parameter T
3.130495168	0.00018338	0	0
2.086996779	0.00055014	0.000427887	0.333333333
1.173935688	0.001077358	0.001008591	0.625
0.521749195	0.001925492	0.001894928	0.833333333

إجهاد الشد الأعظمي، يعتبر عادةً 7-10% من إجهاد الضغط الأعظمي، و يمكن حسابه تجريبياً، أو نظرياً من العلاقة:
$$f_{ctmax} = 0.7\sqrt{f_c'}$$

التشوه الأولي: نسبة إجهاد الشد الأعظمي إلى معامل المرونة الأولي

هذه القيم متدرجة من القيمة القصوى بنسب:
2/3
3/8
1/6
الإجهاد

قيم متدرجة بمضاعفة التشوه الأولي بالقيم:
3.00
5.875
10.50
التشوه الاسمي

يُحسب من المعادلة:
$$\varepsilon_t^{ck,h} = \varepsilon_t - \frac{\sigma_t}{E_0}$$
تشوه التشقق على الشد

يُحسب من المعادلة:
$$d_t = 1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_{tu}}$$
بارامتر التضرر على الشد

الشكل (9) : طريقة الحساب التفصيلي لنموذج الضرر اللدن على الشد

معايرة النموذج:

للتحقق من صحة نموذج الضرر اللدن، نعمد إلى استخدام اسطوانة معيارية قطرها (15 cm) و ارتفاعها (30 cm)، من الخرسانة العادية بدرجاتٍ مختلفةٍ من المقاومة الاسطوانية للنموذج. نتحقق بعدها من الإجهادات المستنتجة بطريقة العناصر المحدودة، بالمقارنة بقدرة تحمل الاسطوانة على الضغط و الشد المدخلتين إلى نموذج الضرر المعتمد.

استخدمنا من أجل تحليل الاسطوانة طريقة العناصر المحدودة (FEM) باستخدام برنامج المحاكاة Abaqus 6.14. و يبين الجدول (1) المدخلات على البرنامج من أجل مقاومات مميزة للخرسانة على الضغط : 40، 30، 20 MPa

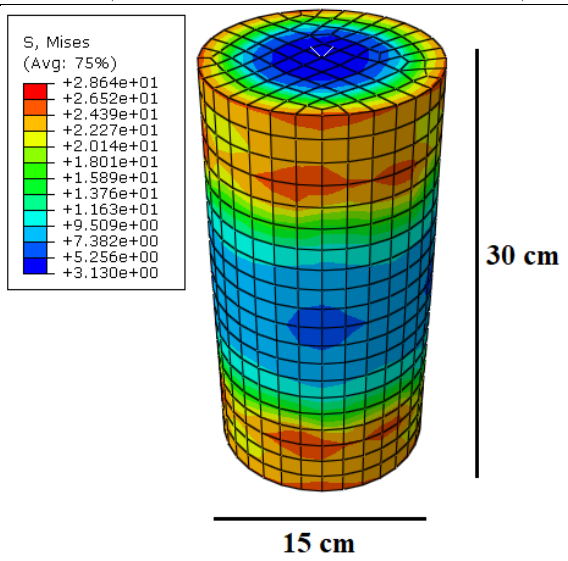
الجدول 1 : المدخلات على برنامج Abaqus من أجل نمذجة بطريقة العناصر المحدودة

المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط	40, 30, 20 MPa
التشوه الحدي في الخرسانة	0.002
معامل مرونة الخرسانة	$4750\sqrt{\sigma_{cu}}$ MPa
نسبة بواسون للخرسانة	0.18 *

* تتراوح نسبة بواسون للخرسانة بشكلٍ عامٍ بين 0.1 و 0.2

و يبين الشكل (10) نموذج الاسطوانة المدروس على برنامج Abaqus 6.14، الأبعاد 30 cm*15، نوع التحليل تحليل ستاتايكي عام (static, general).

باستخدام برنامج Abaqus 6.14 تم استنتاج منحني الحمولة–الانتقال للحصول على الحمولة العظمى، و يظهر المخطط في الشكل (11).



الشكل 10 : نموذج الاسطوانة المدروس على برنامج Abaqus 6.14

ننتقل إلى الخطوة التالية، و هي متغيرات نموذج الضرر اللدن الموضحة في الجدول (2).

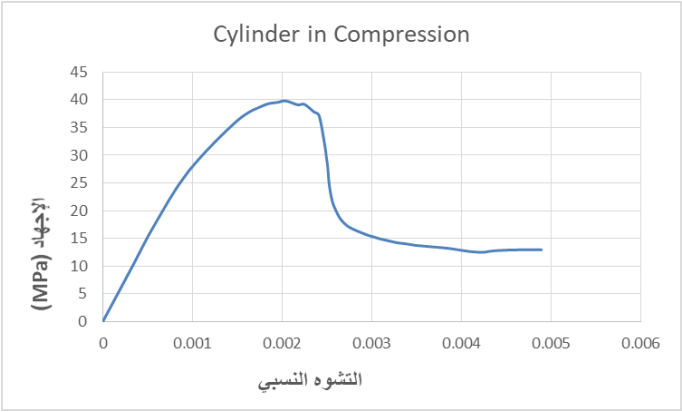
الجدول 2 : متغيرات نموذج الضرر اللدن المستخدمة في نمذجة الاسطوانة الخرسانية

زاوية التمدد	40
fb_0/fc_0	1.16
اللزوجة	0.0002
K	0.667
اللامركزية	0.1

تتعلق زاوية التمدد (dilation angle) بالتشوه الحجمي مع تشوه القص. و التي تتراوح عادةً $20^o - 40^o$ ، و تؤثر على مطاوعة المادة. كما تؤثر على النموذج ككل، حيث زيادة زاوية التمدد تزيد ليونة الجملة (flexibility). [8]

نسبة إجهاد خضوع الضغط المتساوي بمحورين الأولي fb_0 إلى إجهاد خضوع الضغط أحادي المحور الأولي (fc_0)، تُعطى كقيمة افتراضية ($fb_0/fc_0 = 1.16$) . [8]

يظهر في الشكل (11) منحنيي إجهاد–تشوه للاسطوانة الخرسانية على الضغط (f_c'=40MPa).



الشكل 11 : منحني إجهاد–تشوه لنموذج الاسطوانة الخرسانية على الضغط، برنامج Abaqus 6.14

تُجرى تجربة الشد بالتجربة البرازيلية (Bresilien test) أو تجربة الانفلاق على نفس العينة الاسطوانية بطول 300 mm و قطر 150 mm، حيث تتحقق نسبة الارتفاع إلى الفطر $\frac{H}{D} \approx 2$. و توضع العينة على أحد مولديها كما في الشكل (12)، و يظهر منحني إجهاد–تشوه في الشكل (13).

تُعيّن المقاومة على الشد بالعلاقة:

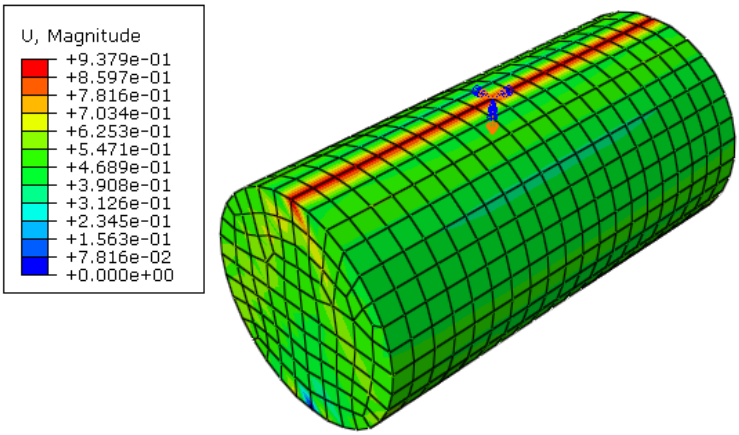
$$\sigma_t = \frac{P_r}{\pi R H} \qquad ()$$

حيث:

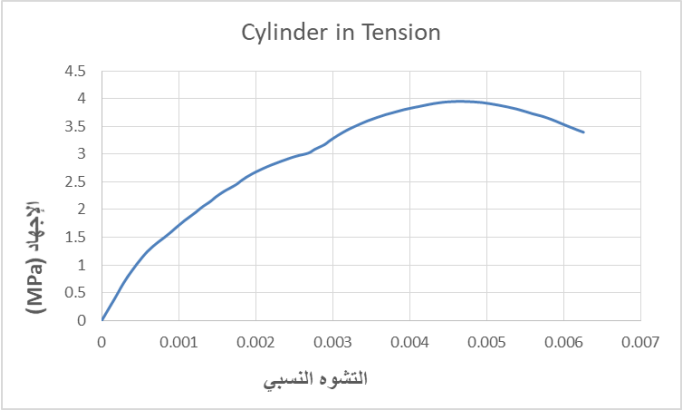
Pr : قوة الانهيار (N)

R: نصف قطر العينة (mm)

H: ارتفاع العينة (mm)



الشكل 12 : محاكاة تجربة الشد بالانفلاق على اسطوانة خرسانية، برنامج Abaqus 6.14



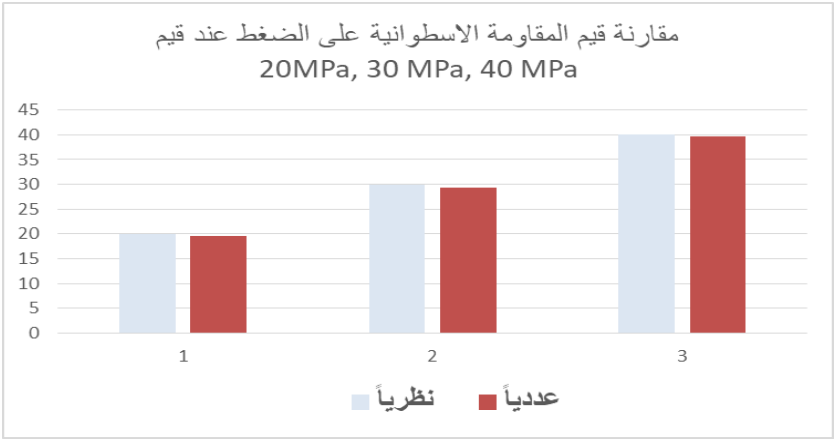
الشكل 13 : منحني إجهاد–تشوه لنموذج الاسطوانة الخرسانية على الشد، برنامج Abaqus 6.14

* نلاحظ أن قيمة إجهاد الضغط على برنامج المحاكاة مساوية تقريباً للقيمة النظرية، و التشوه النسبي 0.002 % كما هو مُدخل في المعطيات النظرية.

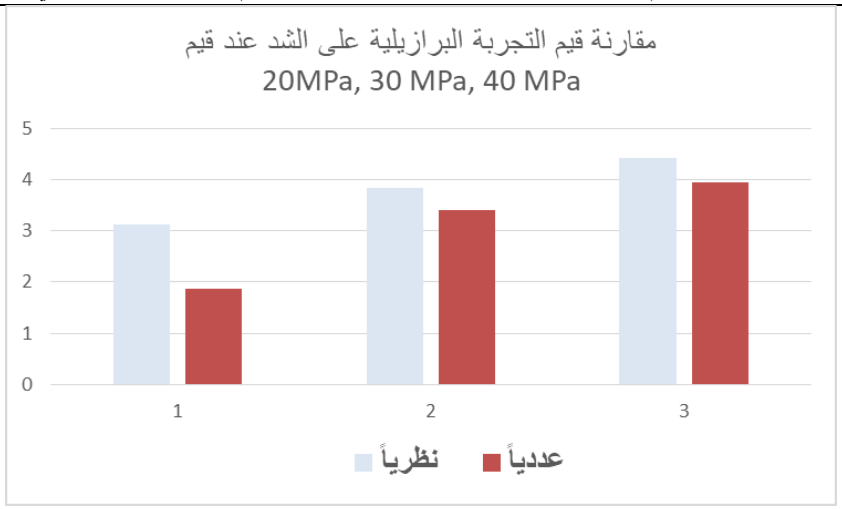
** نلاحظ أن قيمة إجهاد الشد على برنامج المحاكاة تساوي % 9.8 من قيمة إجهاد الضغط، في حين المُدخلة في البيانات النظرية حوالي 11%. أي تختلف مقاومة الشد الفعلية (في النموذج العددي) عن النظرية، و يبين الجدول (3) نسب الاختلاف للمقاومات الثلاثة المدخلة للخرسانة. كما تظهر النتائج تخطيطياً في الشكلين (14 ، 15).

الجدول 3 : نسب اختلاف مقاومات الضغط و الشد في النموذج العددي

المقاومة على الضغط	MPa	MPa	MPa
نظرياً	20	30	40
عددياً	19.63854	29.39073	39.77128
نسبة الاختلاف (%)	1.8	2	0.6
المقاومة على الشد	MPa	MPa	MPa
نظرياً	3.130495	3.834058	4.427189
عددياً	1.87615	3.409355	3.948517
نسبة الاختلاف (%)	40.1	11.1	10.8



الشكل 14 : مقارنة قيم مقاومة الخرسانة على الضغط نظرياً و عددياً



الشكل 15 : مقارنة قيم مقاومة الخرسانة على الشد نظرياً و عددياً

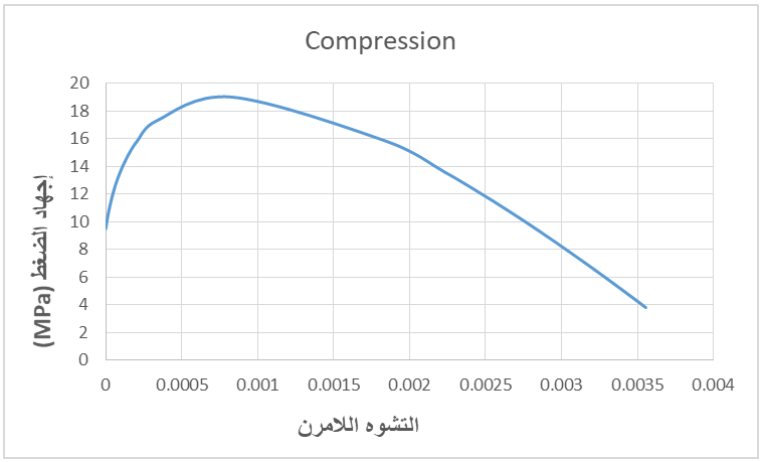
نمذجة عقدة خرسانية:

من أجل التحقق من النموذج، تمت محاكاة نموذج عقدة خرسانية من دراسة Akhaveissy *et al* [1]، معطيات نموذج الضرر المستخدمة موضحة في الجدول (4). منحنيات إجهاد– تشوه لسلوك الخرسانة على الضغط و الشد موضحة في الشكل (16).

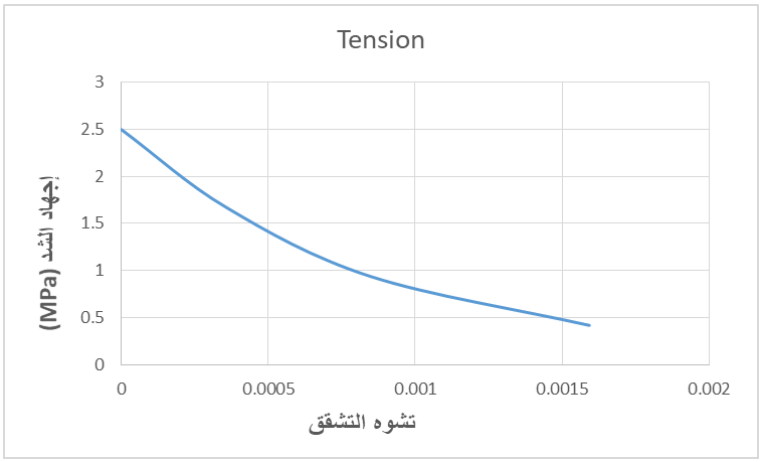
الجدول 4 : متغيرات نموذج الضرر اللدن المستخدمة في نمذجة العقدة الخرسانية

زاوية التمدد	48
fb_0/fc_0	1.16
اللزوجة	0.0175
K	0.667
اللامركزية	0.1

a)



b)



الشكل 16 : منحنيات إجهاد–تشوه لسلوك الخرسانة المستخدمة في نمذجة العقدة الخرسانية المسلحة:

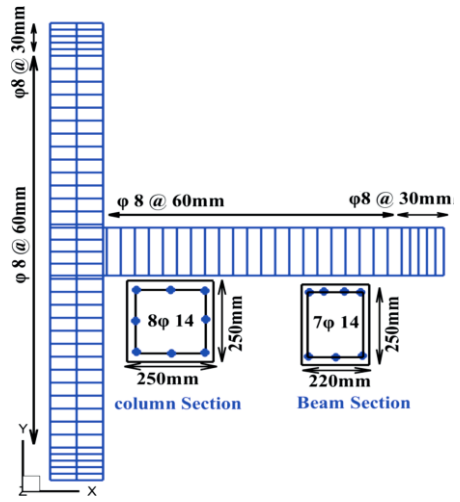
a) على الضغط

(b) على الشد

تفاصيل العقدة المختبرة موضحة في الشكل (17). الشروط الحدية ونموذج العناصر المحدودة موضحة في الشكل (18). يتم ضبط المتغيرات الثلاثة (معامل المرونة، زاوية التمدد، اللزوجة) حتى تتناسب مع نتائج التجربة. علماً أن معامل المرونة العرضي (G)

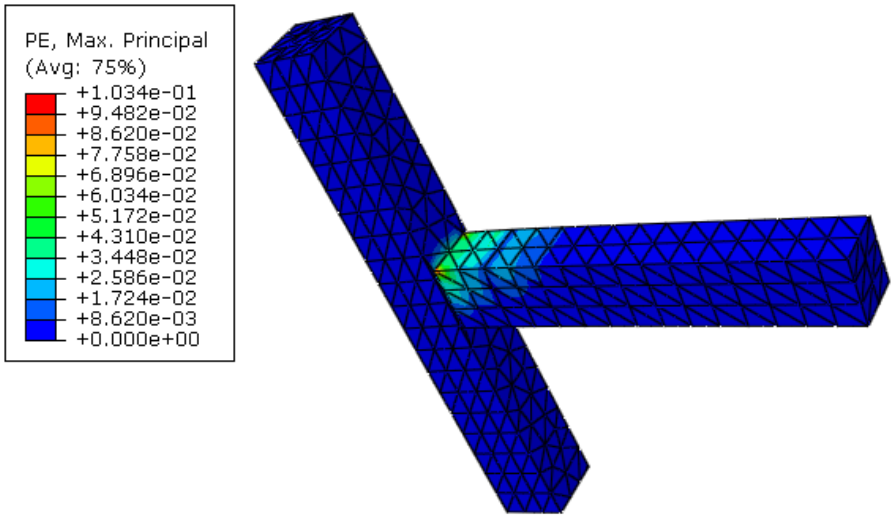
يرتبط مع معامل المرونة الطولي (E) و معامل بواسون (μ) بعلاقة مشهورة من مقاومة المواد:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \qquad (27)$$

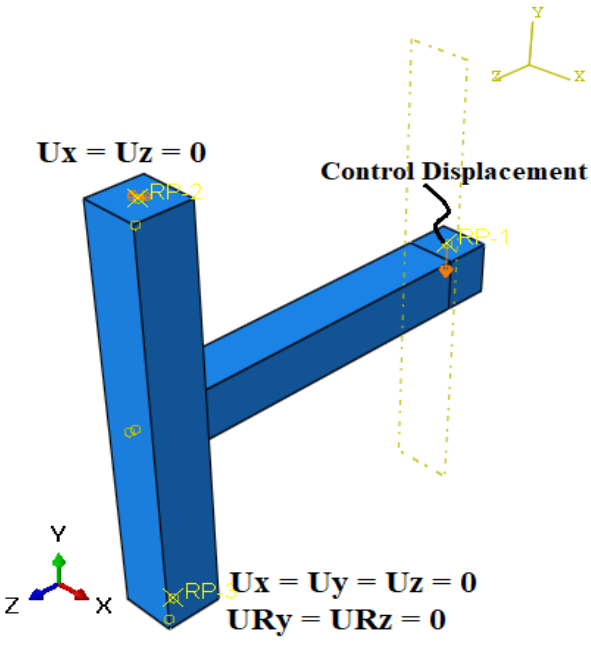


الشكل 17 : النموذج التجريبي للعقدة الخرسانية [1]

(a)



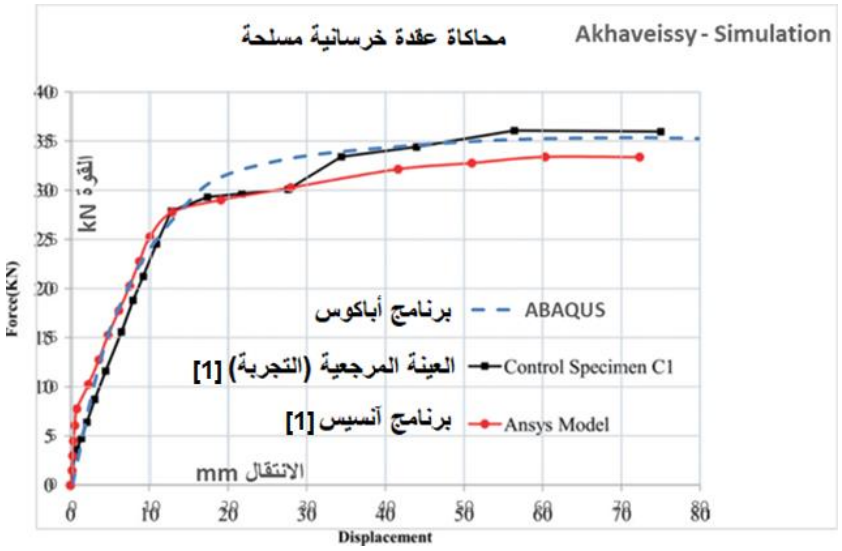
(b)



الشكل 18 : نموذج العناصر المحدودة للعقدة الخرسانية على برنامج *Abaqus* :

(a) التشوهات اللدنة، (b) الشروط الحدية

نلاحظ من الشكل (17) أن نمط انهيار العقدة بالقص عند وجه العمود، حيث تظهر التشوهات اللدنة الأعظمية عند نقطة اتصال العمود بالجائز. و تظهر مقارنة المنحنيين التجريبي و العددي في الشكل (19)، نلاحظ تقارب النتائج للقوة و الانتقال بنسبة لا تزيد على 5%.



الشكل 19 : منحنيات الحمولة–الانتقال للعقدة الخرسانية

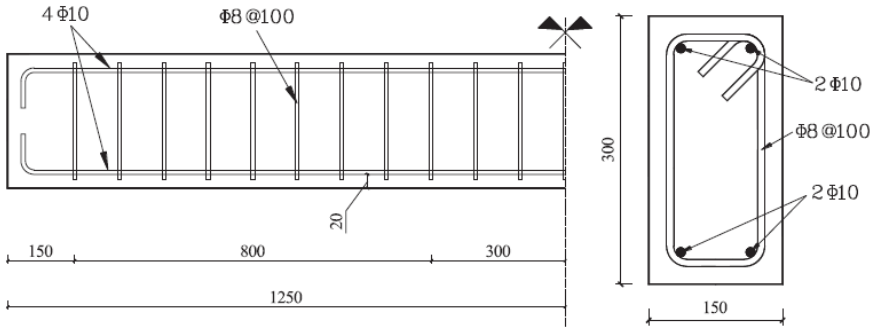
الطريقة المعتمدة: تمت نمذجة الاسطوانة و العقدة بشكلٍ ثلاثي الأبعاد (3D)، أنواع العناصر المحدودة المستخدمة في نمذجة العقدة:

- **(C3D10R)**: عنصر 10 عقد تربيعي موشور رباعي السطوح. و تم استخدامه للخرسانة في العقدة (لعدم انتظام الحواف في نقطة اتصال الجائز بالعمود).
- **(C3D8R)**: عنصر 8 عقد ثلاثي الأبعاد مع تكامل مخفض. و تم استخدامه للخرسانة في الاسطوانة.

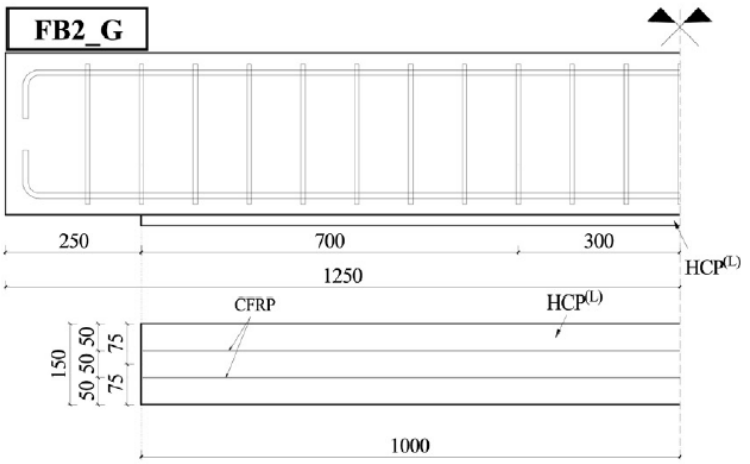
- **(T3D2):** عنصر شبكي ثلاثي الأبعاد بعقدتين. و تم استخدامه من أجل التسليح الفولاذي الطولي و العرضي.

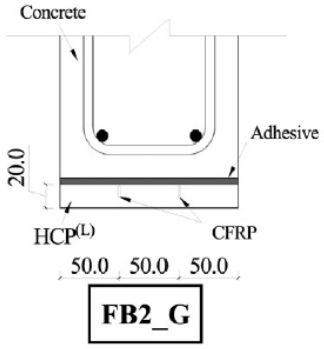
<u>نمذجة جائز خرساني مدعم بألياف الكربون:</u>

كما تمت نمذجة جائز مدعّم بصفيحة مقواة بشريحتين من ألياف الكربون CFRP، واردة في الدراسة [7]. أبعاد الجائز و الصفيحة موضحة في الشكلين (20 ، 21).



الشكل 20 : أبعاد الجائز الخرساني من الدراسة [7]





الشكل 21 : أبعاد صفيحة التقوية الواردة في الدراسة [7]

تم بناء النموذج العددي على برنامج Abaqus 6.14. يظهر في الشكل (22). و تمت مقارنة النتائج كم هو مبين في المنحنيات بالشكل (23). كما يبدو، فإن بعض نماذج الضرر اللدن تعطي تنبؤاً أعلى من المتوقع لقيمة مقاومة العناصر الخرسانية المسلحة.

أنواع العناصر المحدودة المستخدمة في نمذجة الجائز:

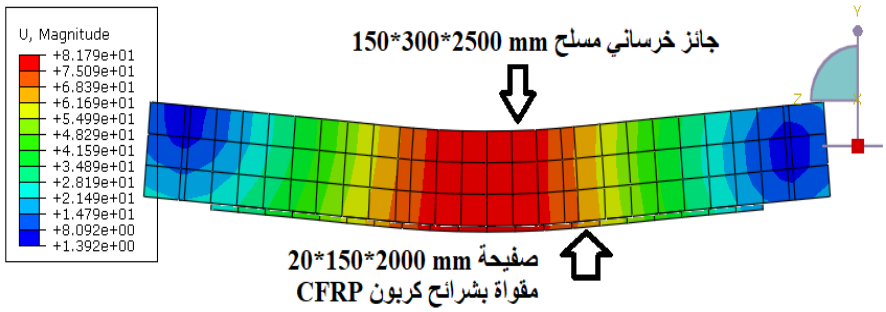
- **(C3D8R)**: عنصر 8 عقد ثلاثي الأبعاد مع تكامل مخفض. و تم استخدامه للخرسانة في الجائز و المادة الرابطة لشرائح التقوية.
- **(S4R)**: عنصر 4 عقد، ثنائي الانحناء، قشرية نحيلة أو سميكة، تكامل مخفض، تحكم مضبوط (Hourglass Control) حيث للعنصر 12 نمط انتقال و ثلاثة أنماط للجسم الصلب، تشوهات غشائية محدودة. و تم استخدامه من أجل شرائح الكربون CFRP.

مقاومة الخرسانة على الضغط 23 MPa (عينة موشورية، يتم ضربها بالقيمة 0.83 لتحويلها إلى اسطوانية) و على الشد 3 MPa . مقاومة الشد لقضبان التسليح الطولي المستخدمة في الجائز و العمود 460 MPa و الأساور 350 MPa ، و يوضح الجدول

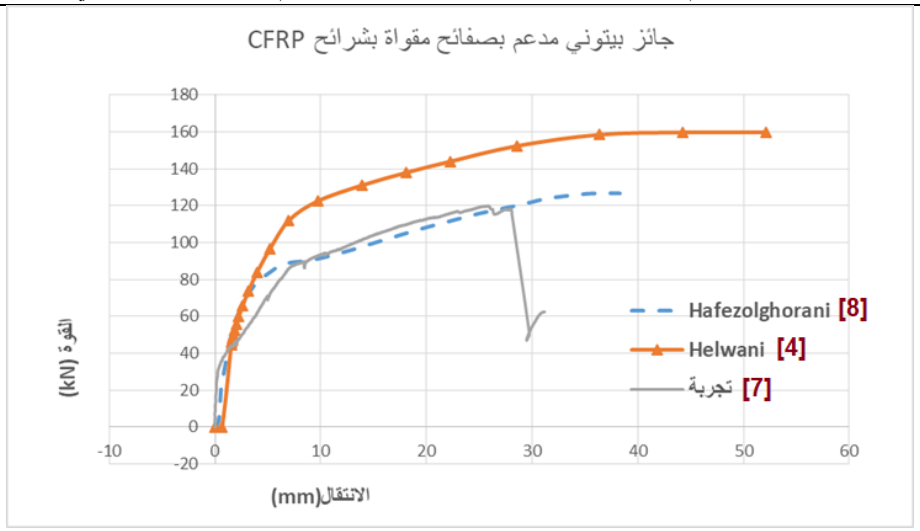
(5) الخصائص الميكانيكية لقضبان التسليح. أبعاد العمود في العقدة المدروسة 250x250 mm ، و الجائز له ارتفاع 250 mm و عرض 220 mm.

الجدول 5 : الخصائص الميكانيكية لقضبان التسليح في العقدة الخرسانية

قطر القضيب	مقاومة الخضوع (MPa)	المقاومة الحدية (MPa)	تشوه الخضوع (%)	التشوه الحدي (%)
8	350	410	0.18	18
14	460	680	0.20	13



الشكل 22 : محاكاة الجائز المدعم من الدراسة [7] على برنامج Abaqus



الشكل 23 : مقارنة منحنيات الحمولة–الانتقال للجائز الخرساني وفق نموذجي تضرر لدن مختلفين

نستنتج من الشكل (23) اختلاف نموذج الضرر في المرجع [4] عن التجربة بأكثر من 33% في الحمولة والانتقال، في حين لا يبتعد النموذج المبسط في المرجع [8] أكثر من 5% عن الحمولة و 20% عن الانتقال، مما يجعله أفضل قبولاً من الناحية البحثية لإجراء محاكاة للتجارب و دراسات بارامترية.

معطيات نموذج الضرر المستخدمة موضحة في الجدول (6).

الجدول 6 : متغيرات نموذج الضرر اللدن المستخدمة في نمذجة العقدة الخرسانية

زاوية التمدد	5°
fb_0/fc_0	1.16
اللزوجة	0.008
K	0.667
اللامركزية	0.1

5. الإستنتاجات و التوصيات Conclusions and Recommendations

يمكن استخلاص النتائج التالية:

1-) يمكن اعتبار نموذج الضرر اللدن للخرسانة معياراً مقبولاً في النمذجة العددية للعناصر الإنشائية الخرسانية و الخرسانية المسلحة باستخدام طريقة العناصر المحدودة.

2-) بعض النماذج للتضرر اللدن تعطي تنبؤاً أعلى من المتوقع لقيمة مقاومة العناصر الخرسانية المسلحة. حيث تبتعد قيمة الحمولة و السهم للعنصر الخرساني في النموذج العددي بشكلٍ كبيرٍ عن التجربة، و بالتالي إعطاء نماذج لا تصلح للمحاكاة و إجراء دراسة بارامترية، و تكون نتائجها غير موثوقةٍ.

3-) لا توجد اختلافاتٌ هامةٌ في نماذج تكوين الخرسانة لمرحلة الشد، بسبب السلوك القصيف للخرسانة، لكن تفاوت المجال لمقاومة الشد قد يؤثر على النتائج في العناصر المعرضة للشد.

4-) يمكن التعبير عن سلوك الضغط أحادي المحور للخرسانة إما بالاختبارات التجريبية (و تلك هي الحالة الأفضل في حالة الإمكانية و ضبط النتائج)، أو باستخدام نماذج تركيبية موجودة مسبقاً.

5-) يمكن افتراض قيمة التشوه الحدي ε_c' في الدراسات، من أجل عينة اسطوانية غير مطوقة. و قد وصّف (Park) أن $\varepsilon_c' = 0.002$ ، لكن تغيير هذه القيمة يؤثر بشكلٍ كبيرٍ على النتائج.

6-) تتم نمذجة التسليح الفولاذي كمادة خطية مرنة–تامة اللدونة، كما هو معتمد في أغلب نماذج المحاكاة، و قد لا تختلف النتائج كثيراً عن حالة نمذجة السلوك الفعلي لمادة الفولاذ.

7-) يوجد منحني تطرية معدل للشد مقترح من قبل (Allam et al.) من أجل العناصر الخرسانية المسلحة المعرضة للانعطاف. و هو يعطي نتائجاً أفضل و أقرب للتجربة.

8-) تختلف مقاومة الشد (في النموذج العددي) عن النظرية (الحسابية) حوالي (10~40%) بشكلٍ عامٍ.

المقترحات و التوصيات:

- استخدام نموذج الضرر المقترح و الذي يعطي نتائجاً قريبةً للواقع التجريبي.
- محاولة تطوير هذا النموذج و تعديله بناءً على اختباراتٍ و أبحاثٍ.
- تبسيط النماذج البنيوية الأخرى المقترحة من قبل الباحثين و تلخيصها للاستخدام في التحليل العددي للعناصر الإنشائية.
- محاولة وضع معايير للمتغيرات البارامترية الخاصة بنموذج الضرر اللدن، لاختصار الزمن على الباحثين وفق منهجية معينة.

6. المراجع References

1-) Akhaveissy ,A & Permanoon ,A & Mirzaei ,M (2017) - **Seismic Retrofit of Defective RC Beam-Column Joints**. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 33p.

2-) Allam et al. (2013) - Evaluation of tension stiffening effect on the crack width calculation of flexural RC members. Faculty of Engineering, Alexandria University, 11p.

3-) Alejano ,L & Bobet ,A (2012) - **Drucker–Prager Criterion**. Rock Mech Rock Eng (2012) 45, 5p.

4-) Al Helwani ,A (2021) - **An application for concrete material creation using Concrete Damaged Plasticity model of *Abaqus***. Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR), Damascus University, 3p.

5-) Cuong-Le ,T & Minh ,H & Sang-To ,T (2022) - **A nonlinear concrete damaged plasticity model for simulation reinforced concrete structures using ABAQUS**. Frattura ed Integrità Strutturale, 59 (2022), 11p.

6-) Doran ,B et al. (1998) - **The Use of "Drucker–Prager Criterion" in the Analysis of Reinforced Concrete Members by Finite Elements**. Digest 98, 6p.

7-) Esmaeeli, E & Barros, J (2015) - **Flexural strengthening of RC beams using Hybrid Composite Plate (HCP): Experimental and analytical study**. Composites Part B 79 (2015), 17p.

8-) Hafezolghorani, M et al. (2017) - **Simplified Damage Plasticity Model for Concrete**. Structural Engineering International Nr. 1/2017, 11p.

9-) Hognestad E. (1951) - **Study of combined bending and axial load in reinforced concrete members.** University of Illinois: Urbana,.

10-) Jankowiak ,T & Łodygowski ,T (2013) - **Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model**. Foundations of Civil And Environmental Engineering, No. 6, 2005, 17p.

11-) Kent ,DC & Park ,R (1971) - **Flexural members with confined concrete**. J Struct Div, ASCE 1971; 97(7):1969-90.

12-) Kmiecik ,P & Kaminski ,M (2011) - **Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration**. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. XI, No. 3, 14p.

13-) Lubliner et al. (1989) - **A Plastic-Damage Model for Concrete**. Int. J. Solids Structures Vol. 25. No. 3., 28p.

14-) Mander ,J & Priestley, M & Park ,R (1988) - **Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete**. Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, August, 1988. ©ASCE, 23p.

15-) Massicotte ,B & Elwi, A E & MacGregor, J G (1990) - **Tension stiffening model for planar reinforced concrete members**. ASCE Journal of Structural Engineering 116 (11).

16-) Michał ,S & Andrzej ,W (2015) - **Calibration of the CDP model parameters in Abaqus**. Advances in Structural Engineering and Mechanics, Korea, 11p.

17-) Park R. (1975) - **Reinforced concrete structures**. John Wiley & Sons: New York.

18-) Shafaei, J & Hosseini ,A & Marefat ,M S (2014) - **Seismic retrofit of external RC beam–column joints by joint enlargement using prestressed steel angles**. Engineering Structures 81 (2014), 23p.

19-) SCOTT ,B (1988) - STRESS - **Strain Relationships for Confined Concrete : Rectangular Sections**. University of Canterbury، New Zealand, 120p.

20-) Truty ,A (2016) - **Elastic-Plastic Damage Model for Concrete**. ZSoilr.PC 160102 report, 51p.

21-) Voyiadjis ,G & Taqieddin ,Z (2009) - **Elastic Plastic and Damage Model for Concrete Materials: Part I - Theoretical Formulation**.

INTERNATIONAL JOURNAL OF STRUCTURAL CHANGES IN SOLIDS – Mechanics and Applications, 29p.

(**In Arabic**)

22-) **Syrian Arab Code** for design and implementation of structures with reinforced concrete (2012). Syrian Engineer Candidate, 404p.

استخدام المواد الإسفلتية المكشوطة في تصميم طبقات الرصف الطرقية

د.م احمد الصالح . دكتوراه في الهندسة المدنية . قسم هندسة المواصلات والنقل بجامعة حمص
د.م سمير الصالح . أستاذ في جامعة حمص . كلية الهندسة المدنية . قسم هندسة المواصلات والنقل

الملخص

يهدف البحث إلى استخدام المواد الاسفلتية المكشوطة في تصميم طبقات الرصف الطرقية بما يحقق أفضل مستوى من الناحتين الفنية والاقتصادية، يتضمن البحث إجراء دراسات نظرية وتجارب مخبرية وفقاً لما نصت عليه المواصفات والتطورات الحديثة في علوم تصميم طبقات الرصف، بحيث يتم تصميمها وتجرى التجارب اللازمة للتأكد من تحقيقها للمواصفات المعتمدة في التصميم، وتحسين خواصها وتقليل كلفتها للوصول إلى الحدود المثلى لاستخدام المواد المكشوطة والحصويات والروابط الاسفلتية المتوفرة محليا، تم في هذا البحث استخدام مواد إسفلتية مكشوطة من أحد مشاريع المنطقة الوسطى في الجمهورية العربية السورية إضافة إلى مواد حصوية من مقالع منطقة حسياء واعتمدت الطرق الهندسية في تصميم طبقات الرصف من المواد المذكورة لطبقة الأساس الحصوية وطبقة الإهتراءالإسفلتية وجميعها تحقق الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور لوزارة المواصلات السورية، من نتائج البحث تبين أن إعادة استخدام المواد المكشوطة يحقق العديد من الفوائد أهمها:

1 . الحفاظ على المواد الأولية الحصوية و التوفير في استخدامها والحفاظ على البيئة من تأثير المواد المكشوطة.

2 . تخفيض كلف إعادة تأهيل الطرق بالكشط وإعادة الاستخدام وتوفير الوقت والجهد و الطاقة.

- تم تصميم خلطة حصوية لطبقة الأساس باستخدام 50 % من المواد الإسفلتية المكشوطة.
- تم تصميم خلطة اسفلتية لطبقة الإهتراء باستخدام 75 % من المواد الاسفلتية المكشوطة وإضافة 1.4 % فقط من الرابط البيتوميني الجديد.

الكلمات المفتاحية :

استخدام المكشوط الإسفلتي ، إعادة تدوير الاسفلت ، الحصويات المدورة من ركام الاسفلت

Study of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Designing Road Pavement Layers

Abstract

The research aims to use reclaimed asphalt pavement in designing road pavement layers in order to achieve the best level of technical and economic aspects. The research includes conducting theoretical studies and laboratory experiments in accordance with what is stipulated in the specifications and modern trends in the design of pavement layers, so that they are designed and the necessary experiments are conducted to ensure that they meet the specifications for these layers, improve their properties, and reduce their cost until reaching the optimum limits for the gravel, and asphalt binders available locally. In the research, reclaimed asphalt pavement were used from a project in the central region of the Syrian Arab Republic, in addition to gravel materials from the quarries of the Hassia region. Engineering methods were used to design paving layers from the aforementioned materials for the gravel base layer and the wearing course layer, all of which fulfill the general technical conditions and specifications for road and bridge works. To the Syrian Ministry of Transportation. Through research, it was found that reusing Reclaimed Asphalt Pavement achieves many benefits, the most important of which are:

- 1 Preserving gravel raw materials and saving on their use through:
  - •A gravel mixture was designed for the base layer using 50% Reclaimed Asphalt Pavement.
  - •an asphalt mixture for the wearing course layer was designed using 75% of Reclaimed Asphalt Pavement and adding only 1.4% of the new bituminous binder.
- -2 Preserving the environment from the effects of Reclaimed Asphalt Pavement.
- -3 Reducing the costs of rehabilitating roads through scraping and reuse.
- -4 Saving time, effort and energy.

In addition, reuse in cities maintains the levels of intersections, water drainage, sidewalks, and other services, where scraping and then rehabilitation are done at the same level.

Keywords: Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)- Asphalt recycling- Pavement recycling - Recycled Materials in Aspalt.

1 . المقدمة introduction :

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق نتيجة الطلب المتزايد على النقل إلى تزايد استهلاك المواد الأولية و خاصة الحصويات، الأمر الذي نتج عنه تناقص متزايد في الكميات المتوفرة من الحصويات الجيدة وبالأخص طبقة التغطية العلوية والتي تكون من المجبول الاسفلتي في حالة الرصف المرن [1]، تؤثر الإجهادات على الأغطية الاسفلتية مما يؤدي إلى تشققها وتخريبها فتنتشر هذه الشقوق و تتداخل بتأثير عوامل عدة [2]، مما يخلق مشكلة جدية تعترض منفذي الطرق تضاف إلى التلوث البيئي الكبير الذي تسببه الكميات الكبيرة من المواد المكشوطة سنوياً نتيجة إعادة تأهيل الأغطية الطرقية هذا فضلاً عن تزايد كلفة المنتجات النفطية و تناقص مخصصات الصيانة ، كل هذه الأسباب مجتمعة أدت إلى خلق تحد لإنجاز عمل أكثر بموارد أقل مما دفع إلى تطوير تقنيات جديدة تخفض التكاليف من جهة و تحقق المواصفات من جهة أخرى، فتم تركيز الجهود على إيجاد تكنولوجيا تحقق الغرض من الصيانة و إعادة التأهيل بكلفة أقل فكان من أهم التكنولوجيات التي حققت نتائج عملية جيدة تكنولوجيا إعادة الاستخدام.

يتضمن البحث إجراء دراسات نظرية وتجارب مخبرية وفق ما تنص عليه المواصفات في تصميم طبقات الرصف، تم تصميم الخلطات وإجراء التجارب اللازمة عليها للتأكد من تحقيقها للمواصفات وتقليل كلفتها حتى الوصول إلى الحدود المثلى بالنسبة للمواد المكشوطة والحصويات والروابط المتوفرة محليا.

وقد أظهرت الكمية المتزايدة من المواد الاسفلتية المكشوطة في جميع أنحاء العالم أنه يجب اتخاذ تدابير فعالة للحد من تأثيرها السلبي على البيئة. إن تجميعها بأكوام أو ردمها في الأرض ليس حلاً، بسبب خطر الترشيح مع احتمال التلوث اللاحق للمياه الجوفية، ومن ناحية أخرى هناك ما هو مهم فوائد الاستدامة المرتبطة باستخدام المواد المعاد تدويرها في صناعة الرصف. إعادة التدوير تساعد البيئة من خلال تقليل استخراج الموارد واستخدام المواد البكر، وبالتالي تقليل استخدام الطاقة والمياه، مما يقلل الضرر انبعاثات الغازات والمساعدة في تقليل النفايات في مدافن النفايات، كما أن شراء المنتجات المعاد تدويرها في بعض الحالات يكون حلاً اقتصادياً في تقليل التكلفة، إضافة إلى استخدام المواد المعاد تدويرها سيمثل فرصة مهمة لحفظ المواد الخام [3].

2- الدراسات المرجعية :

في عام 2018 أنجز الباحث Ujjawal Naulkha ورفاقه دراسة تضمنت مراجعة لاستخدام الاسفلت المكشوط في الرصف المرن ، تبين بأن استخدام المكشوط الاسفلتي المعاد تدويره (RCA) في الخلطات الإسفلتية يعد أمراً فعالاً كمادة تلعب دورًا مهمًا في الأداء النهائي للخليط الإسفلتي [3].

وقد أنجز الباحث Yomiyu RetaYomiyu Reta و مجموعة من العلماء في عام 2018 دراسة تتضمن استخدام المكشوط الاسفلتي في طبقات الرصف وتشير نتائج الدراسة أنه يمكن استخدام مواد المكشوط الاسفلتي بتحسينها بنسبة محددة من المواد الحصوية ، بحيث تحقق الشروط والمواصفات الفنية المعتمدة في تصميم الخلطات الإسفلتية [4].

وفي عام 2015 قام الباحث Brajesh Mishra بإعداد دراسة احتوت على إمكانية استخدام المواد الاسفلتية المكشوطة في طبقات الرصف وتوصل إلى نتائج جيدة للاستخدام وذلك وفقاً لشروط MORTH (Ministry of Shipping, Specification of Road & Bridge Work) Road Transport & Highway–INDIA [5].

وقد تم الشروع بعملية إعادة الاستخدام على الساخن منذ عام 1970 في الولايات المتحدة وعام 1976 في أوروبا، في حين أنه تم استخدام تكنولوجية إعادة الإستخدام على الساخن في المكان باستخدام الخلاطات المتحركة ASPHALT RECYCLING TRAVEL PLANT ((ART)) [6]. وقد استخدمت المواد الإسفلتية المكشوطة (RAP) في الولايات المتحدة لأكثر من 35 عامًا بسبب تخفيض التكاليف والحماية البيئية من التلوث الناتج عنها، إذ أن الزيادات الكبيرة الأخيرة في أسعار الإسفلت دفعت خبراء تكنولوجيا صناعة الإسفلت إلى الزيادة في استخدام RAP. ولذلك فإن تقييم وتحسين أداء الخليط الإسفلتي الذي يحتوي على RAP يعد أولوية بالنسبة لشركات صناعة الإسفلت [7].

إن إعادة استخدام المواد الإسفلتية المكشوطة في إعادة تأهيل الأغطية الإسفلتية المتخربة تتضمن العديد من الخيارات وهي:

. إعادة استخدام المواد المكشوطة على الساخن، إعادة استخدام المواد المكشوطة على البارد، إعادة الإنشاء بحيث تكون جميع المواد جديدة . الترقيع والتغطية السميكة . الترقيع والتغطية الرقيقة [8].

ويمكن تقسيم عملية إعادة الاستخدام على الساخن إلى شكلين أساسين :

1. إعادة الاستخدام على الساخن في المكان HOT IN PLACE RECYCLING

2. إعادة الاستخدام على الساخن في الموقع الثابت HOT RECYCLING IN STATIONARY SITE

وقد ميز استعادة وإعادة استخدام الإسفلت (ARRA) ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION ثلاث طرق وهي:

- إعادة الخلط : REMIXING

وتتكون عملية إعادة الخلط من تسخين شامل لعمق cm(6–7) من الغطاء الحالي حيث تجمع المادة في أكوام بواسطة آليات كشط دورانية ويضاف إليها كميات محددة من خلال الوسائل المعتمدة (طرق إعادة الاستخدام) ثم يتم فرش الخلطة الناتجة كطبقة متجانسة وحيدة وهي تؤمِّن حلاً فعالاً من حيث الأمان والاقتصادية لتفادي تشكل العيوب الطرقية كالتخدد والتشققات والتأكسد حيث يتم تسخين الطبقة السطحية الموجودة بواسطة مشعات بالأمواج تحت الحمراء وتطرية المواد الإسفلتية حتى عمق cm(6–7) ثم تطحن المواد المسخنة ويضاف إليها حصويات جديدة وبيتومين ثم تخلط المواد ويتم فرشها ورصها.

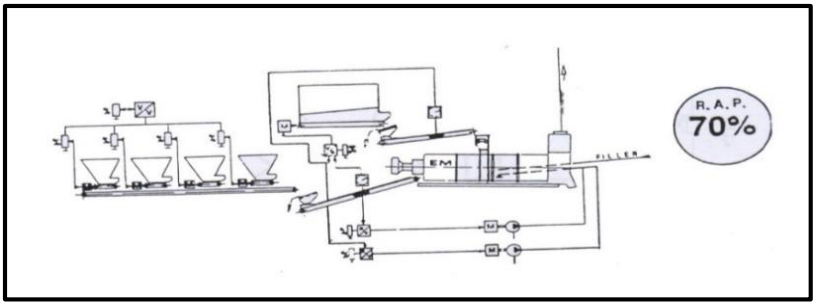
ومن مميزات عملية إعادة الخلط أنها لا تحتاج إلى طبقة سطحية جديدة كما لا تحتاج إلى طبقة لاصقة حيث أن التسخين الأولي للغطاء المتبقي يؤمِّن درجات الحرارة الضرورية للربط الجيد، والطرق المتبعة لإعادة الخلط هي الطرق التي تنحصر فيها المشاكل على عمق إنش ونصف ، وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون هناك حاجة لحصويات إضافية لتحسين ثبات الخلطة [7].

- التسخين والكشط : HEATING AND SCARIFING

وهي عملية أخرى لإعادة تأهيل أخرى وإصلاح الغطاء المتشقق والمتقصِّف وتحويله إلى طبقة اهتراء حيث يتم تسخين سطح الطريق ثم كشطه بواسطة مجموعة من الأسنان الثابتة ثم يتم إضافة وسيط التجديد لتطرية الإسفلت القديم ويتبع ذلك غالباً تنفيذ طبقة جديدة،وهذه الطريقة مناسبة للطرق المستقرة ذات الأساس الجيد إنشائياً.

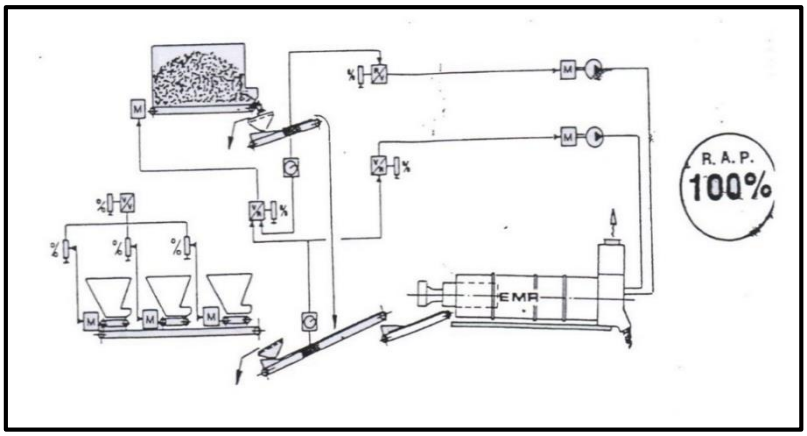
- باستخدام مجابل الخلاطات الاسطوانية :DRUM MIXERS PLANTS

يحتوي مجبل الخلاطة الأسطوانية على مدخل للمادة القديمة في منتصف المسافة تحت الأسطوانة بحيث تسمح بإعادة استخدام (70%) من المادة القديمة كما في الشكل رقم (1).



الشكل (1) الخلاطة الاسطوانية باستخدام 70% مواد مكشوطة

كما يمكن أن تصل نسبة المادة القديمة حتى (100%) في حال استخدام الخلاطة الأسطوانية بحيث يتم إدخال المواد من نفس النقطة التي تستخدم للمواد الجديدة الشكل (2) لكن هذا النمط من المجابل يمكن أن يستخدم من أجل إنتاج ساعي معين نظراً للصعوبات التي يمكن مواجهتها خلال النقل، ويعمل في هذه الحالة الحارق في حجرة احتراق محمية مما يعني أن التسخين يتم فقط عبر الغازات الساخنة وفي هذه الطريقة لا يتأذى البيتومين القديم [8].



الشكل (2) الخلاطة الاسطوانية باستخدام 100% مواد مكشوطة

- طريقة إعادة الإستخدام على الساخن :HOT RECYCLING METHOD

عادةً تتم العملية وفق المراحل التالية:

1- تسخين الغطاء بواسطة مسخنات بالأشعة تحت الحمراء.

2- كشط الغطاء.

3- إضافة حصويات جديدة ووسيط تجديد أو بيتومين للمواد المستعادة وخلطها في الخلاط وفرش المواد وتسويتها ودحلها[11].كما هو مبين في الشكل رقم (3).



الشكل (3) عملية إعادة الاستخدام على الساخن [13]

3 . المواد وطريقة البحث:

تم أخذ عينات من المواد الإسفلتية المكشوطة من أحد لمشاريع إعادة تأهيل شبكة الطرق في المنطقة الوسطى بالجمهورية العربية السورية حيث تجري عمليات الصيانة لشبكة الطرق بكشط الطبقة السطحية من المجبول الإسفلتي و تجميعها و من ثم نقلها إلى مكبات خارج موقع العمل و إعادة تنفيذ طبقة مجبول إسفلتي جديدة . وقد أجرينا عدد من التجارب المخبرية عليها لدراسة إعادة استخدامها في طبقات الرصف بما يتوافق مع الشروط الفنية المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية في تصميم طبقات الرصف الطرقية .والشكل رقم (4) يوضح عمليات كشط المجبول الاسفلتي.



الشكل رقم (4) عمليات كشط طبقة الاسفلت السطحية

3 . 1 التجارب المخبرية المجراة على عينة المواد الاسفلتية المكشوطة :

تم أخذ عينة من المواد الاسفلتية المكشوطة إلى المخبر، ولتحديد خواصها تم إجراء التجارب المخبرية اللازمة وكانت النتائج كما يلي:

3 . 1 . 1 تحديد نسبة الاسفلت ضمن المواد الإسفلتية المكشوطة :

Quantitative Extraction of Bitumin from Bituminous Paving

(ASTM D2172- 67) MixturesAASHTO T 164- 761

تم إجراء تجربة الاستخلاص لتحديد نسبة الإسفلت ضمن المواد المكشوطة والشكل رقم (5) يبين مراحل إجراء التجربة.



الشكل رقم (5) تحضير المواد المكشوطة لإجراء تجربة الاستخلاص

والجدول رقم (1) يبين نتائج التجربة.

جدول (1) تجربة الاستخلاص لتحديد نسبة الرابط الاسفلتي

وزن العينة قبل الغسيل gr	800
وزن العينة بعد الغسيل gr	767
وزن الفلتر قبل التجربة gr	13.67
وزن الفلتر بعد التجربةgr	15.44
وزن البودرة العالقة بالمرشح gr	1.77
الوزن الكلي للمواد الحصوية gr	768.77
وزن الاسفلت gr	31.23
نسبة السفلت %	3.90

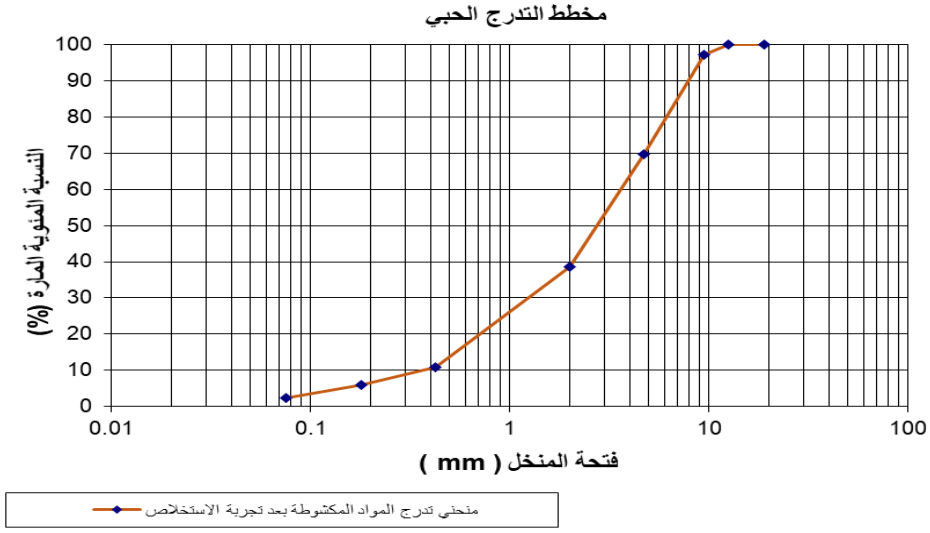
3 . 1 . 2 تجربة التحليل الحبي للمواد الحصوية بعد إجراء تجربة الإستخلاص :

(Sieve Analysis of Aggregate Gradation) (ASTM-D 422-63)

تم إجراء تجربة التحليل الحبي لتحديد التدرج الحبي للمواد المكشوطة بعد إنهاء تجربة الإستخلاص والجدول رقم (2) والشكل رقم (6) يبينان نتائج التجربة .

الجدول (2) التدرج الحبي للمواد المكشوطة بعد إنهاء تجربة الاستخلاص

النسبة المئوية المارة %	النسبة المئوية التكاملية المتبقية %	النسبة المئوية المتبقية على كل منخل %	الوزن الجزئي المحجوز gr	فتحة المنخل	
				mm	in
100	0	0	0	19.05	3 / 4
100	0	0	0	12.5	1 / 2
97.26	2.74	2.74	21	9.51	3 / 8
69.83	30.17	27.43	210	4.75	رقم 4
38.72	61.28	31.11	239	2	رقم 10
10.95	89.05	27.77	213	0.425	رقم 40
5.87	94.13	5.08	39	0.18	رقم 80
2.35	97.65	3.52	27	0.075	رقم 200



الشكل (6) منحني التدرج الحبي للمواد المكشوطة

3 . 2 منهجية البحث:

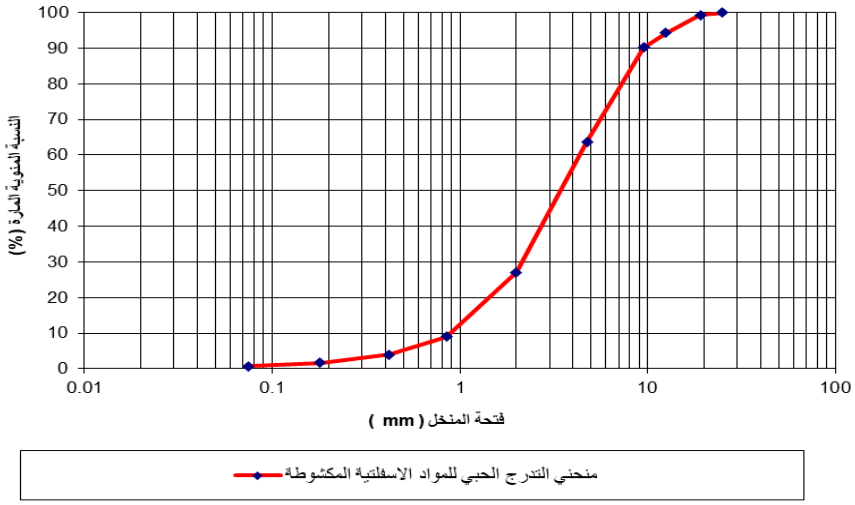
بعد التعرف مخبرياً على خواص المواد الاسفلتية المكشوطة (RAP) تم البحث في طرق استخدام هذه المواد ضمن طبقات الرصف وتم العمل على إعادة استخدامها بالاتجاهات التالية:

3 . 2 . 1 استخدام المواد المكشوطة كطبقة أساس حصوية :

تم إجراء تجربة التحليل الحبي على المواد الإســفلتية المكشــوطة (RAP) والنتائج مبينة في الجدول رقم (3) والشكلين رقم (7–8):

الجدول (3) التدرج الحبي للمواد الاسفلتية المكشوطة (RAP)

النسبة المئوية المارة %	النسبة المئوية التكاملية المتبقية %	الوزن الجزئي التراكمي المحجوز gr	فتحة المنخل	
			mm	in
100.00	0.00	0	25	1"
99.35	0.65	13	19.05	3 / 4
94.30	5.70	114	12.5	1 / 2
90.15	9.85	197	9.52	3 / 8
63.70	36.30	726	4.75	4 رقم
27.10	72.90	1458	2	10 رقم
9.00	91.00	1820	0.85	50 رقم
4.00	96.00	1920	0.42	40 رقم
1.70	98.30	1966	0.18	100 رقم
0.70	99.30	1986	0.075	200 رقم



الشكل (7) منحني التدرج الحبي للمواد الاسفلتية المكشوطة (RAP)

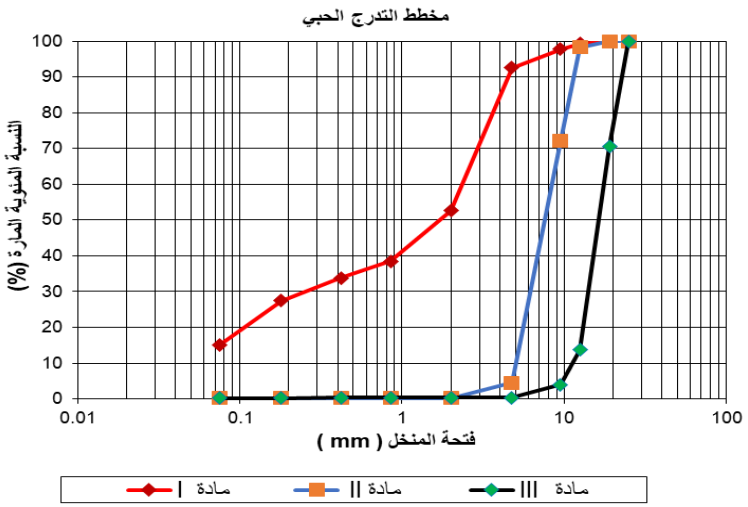


الشكل (8) إجراء تجربة التحليل الحبي للمواد الاسفلتية المكشوطة (RAP)

لقد تبين أن التدرج الحبي للمواد المكشوطة يقع خارج الحزم الثلاث المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الحصوية (طبقة أساس حصوية)، لذلك تم اللجوء إلى تحسين التدرج الحبي لهذه المواد بتشكيل خلطة من المواد الإسفلتية المكشوطة (RAP) ومواد حصوية جديدة عبارة عن حصويات مكسرة من مقالع حسياء حيث كانت تتصف بالتدرجات الحبية المبينة في الجدول (4):

جدول (4) نتائج تجربة التحليل الحبي للحصويات

النسبة المئوية المارة %			فتحة المنخل	
مادة III	مادة II	مادة I		
4-25 mm	2-19 mm	0-12 mm	mm	in
100.00	100.00	100.00	25	1
70.60	100.00	100.00	19.05	3 / 4
13.75	98.25	99.40	12.5	1 / 2
3.95	72.25	97.80	9.52	3 / 8
0.30	4.55	92.60	4.75	رقم 4
0.30	0.25	52.66	2	رقم 10
0.30	0.25	38.43	0.85	رقم 50
0.30	0.25	33.87	0.42	رقم 40
0.25	0.25	27.43	0.18	رقم 100
0.20	0.25	15.13	0.075	رقم 200

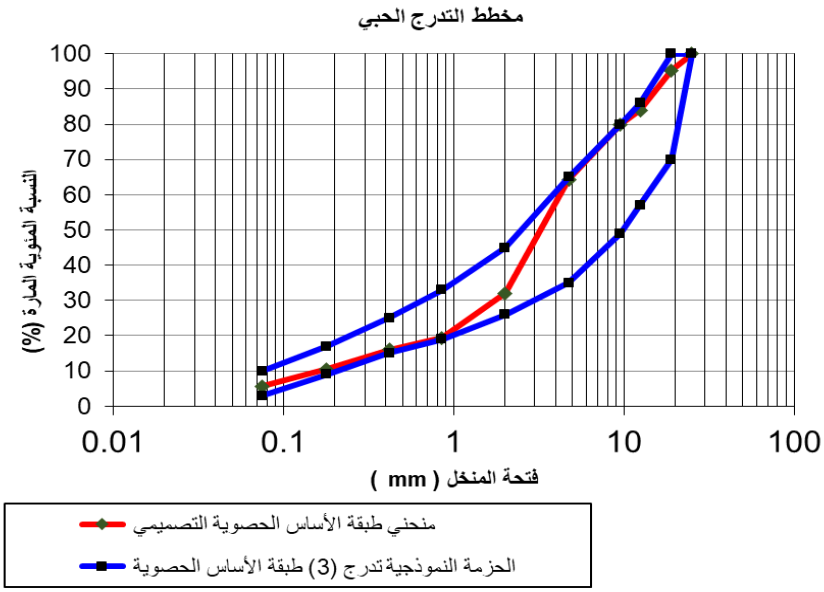


الشكل (9) نتائج تجربة التحليل الحبي للحصويات

من خلال اعتماد الطريقة التخطيطية لتشكيل الخلطة الحصوية [11] ووفقاً للحزمة النموذجية الثالثة المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الحصوية (طبقة أساس) [14]، تم تشكيل الخلطة الحصوية المطلوبة باستخدام المواد السابقة من النسب التالية : 50 % (مواد مكشوطة RAP) + 15 % (مادة حصوية I) + 35 % (مادة حصوية III) ويوضح الجدول رقم (5) والشكل رقم (10) نسب الحصويات المستخدمة والتدرج الحبي لطبقة الأساس الحصوية:

جدول (5) تحديد نسب المزج للتدرجات الحبية التصميمية لطبقة الأساس الحصوية

التدرج التصميمي (النسبة المئوية المارة) %	النسبة المئوية المارة			فتحة المنخل	
	35% مادة III	15 % مادة I	50 % RAP	mm	in
100.00	35.00	15.00	50.00	25	1
95.27	35.00	10.59	49.68	19.1	3 / 4
84.00	34.79	2.06	47.15	12.5	1 / 2
79.90	34.23	0.59	45.08	9.52	3 / 8
64.31	32.41	0.05	31.85	4.75	رقم 4
32.03	18.43	0.05	13.55	2	رقم 10
19.40	14.85	0.05	4.50	0.85	رقم 50
16.00	13.95	0.05	2.00	0.42	رقم 40
10.49	9.60	0.04	0.85	0.18	رقم 100
5.68	5.30	0.03	0.35	0.08	رقم 200



الشكل (10) التدرج الحبي لطبقة الأساس الحصوية التصميمية

بعد تشكيل الخلطة الحصوية المذكورة تم إجراء التجارب المخبرية اللازمة عليها لتأكيد صلاحيتها للإستخدام في طبقات الرصف الطرقية (طبقة أساس حصوية) وفقاً لما نصت عليه المواصفات الفنية المعتمدة من قبل وز–ارة المواصلات السورية: (تجربة CBR، تجربة المكافئ الرملي ، تجربة الفاقد بالاهتراء) وتم إدراج النتائج في الجدول رقم (6):

جدول (6) تحديد صلاحية خلطة المواد لتشكيل طبقة أساس حصوية

الاختبار المجرى	القيمة	الحدود المسموحة
نسبة الفاقد بالاهتراء Los Angeles % AASHTO - 96-77	28.56	min of 45 %
تحديد قيمة المكافئ الرملي Sand Equivalent % ASTM-D 2419-74	82	max of 35 %
تجربة (CBR) California Bearing Ratio % ASTM D1883	86	max of 80 %

نلاحظ من الجدول رقم (6) أن الخلطة الحصوية المشكلة صالحة للاستخدام كطبقة أساس حصوية كونها تحقق الشروط والمواصفات الفنية لوزارة المواصلات السورية طبقة أساس حصوية تدرج رقم(3).

والشكل رقم (11) يوضح إجراء تجارب تحديد الصلاحية للخلطة الحصوية المشكلة :



الشكل رقم (11) يوضح إجراء تجارب تحديد الصلاحية للخلطة الحصوية المشكلة

3 . 2 . 2 استخدام المواد المكشوطة كطبقة مجبول بيتومين ي (طبقة إهتراء) :

نلاحظ من خلال تجربة الإستخلاص التي تم إجراؤها على عينة المواد الإسفلتية المكشوطة والموضحة نتائجها في الجدول رقم (1):

انخفاض نسبة الرابط البيتومين ي إذ انها لا تقع ضمن المجال المسموح به في تركيب الخلطة البيتومينية وهو: (6% –4%) وذلك وفقا لدفتر الشروط والمواصفات الفنية لوزارة المواصلات السورية، ويعود سبب الانخفاض في نسبة الرابط الإسفلتي لأسباب متعددة منها إلى التطاير أثناء عملية الكشط وأسباب أخرى عديدة تتعلق بظروف الاستثمار والتنفيذ وغيرها.

لقد تبين بأن التدرج الحبي للمواد المكشوطة يقع خارج الحزم الثلاث المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الإسفلتية (طبقة اهتراء) [15] ويميل التدرج

إلى الحزمة الثالثة . لذلك تم اللجوء إلى تحسين التدرج الحبي لهذه المواد بتشكيل خلطة من المواد الإسفلتية المكشوطة والمواد الحصوية المذكورة سابقاً في الجدول رقم (3).

3.2.3 تصميم الخلطة الإسفلتية على الساخن (طبقة إهتراء) :

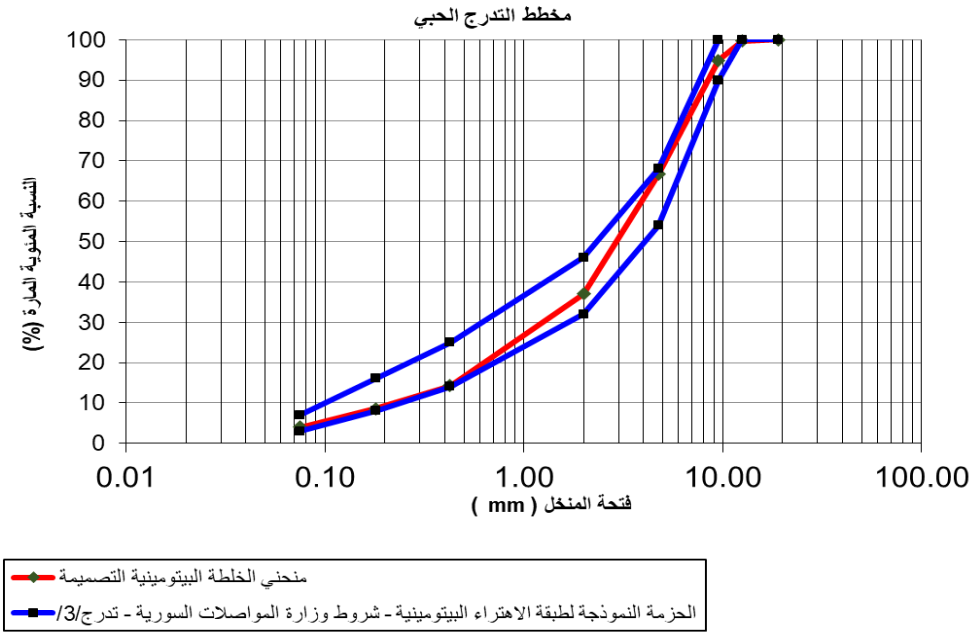
باعتماد الطريقة التخطيطية في تشكيل الخلطة البيتومينية [13] وبالمقارنة مع الحزمة النموذجية الثالثة المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية (طبقة اهتراء) [15]، تم تشكيل الخلطة المطلوبة باستخدام المواد السابقة وفق نسب الخلط التالية:

75 % (مواد مكشوطة RAP) + 10 % (مادة حصوية II) + 15 % (مادة حصوية III)

ويوضح الجدول رقم (7) والشكل رقم (12) نسب الحصويات المستخدمة للخلطة االبيتومينية التصميمية:

جدول (7) تحديد نسب المزج للتدرجات الحبية التص

فتحة المنخل mm		النسبة المئوية المارة			التدرج التصميمي (النسبة المئوية المارة) %	الحزمة النموذجية (طبقة اهتراء تدرج3) %	
in	mm	75 % RAP	10% مادة II	15% مادة III			
3 / 4	19.00	75.00	10.00	15.00	100.00	100	
1/2	12.50	75.00	9.83	14.91	99.74	100	
3 / 8	9.50	72.95	7.23	14.67	94.84	90	100
رقم 4	4.75	52.37	0.46	13.89	66.72	54	68
رقم 10	2.00	29.04	0.03	7.90	36.96	32	46
رقم 40	0.43	8.21	0.03	5.98	14.22	14	25
رقم 80	0.18	4.40	0.03	4.11	8.54	8	16
رقم 200	0.075	1.76	0.01	2.27	4.04	3	7



شكل (12) منحني التدرج الحبي للخلطة البيتومينية التصميمية (طبقة اهتراء)

4 . 2 . 3 تصميم الخلطة البيتومينية (تحديد نسبة البيتومين الأصولية):

من أجل تحديد نسبة البيتومين الأصولية اعتمدت طريقة مارشال وتعد طريقة مارشال من أكثر الطرق انتشاراً واستعمالاً في العالم، وضع اسمها الباحث "BROSS MARSHAL" وقد طورتها المؤسسات العلمية التي تعمل في هذا المجال بعد الحرب العالمية الثانية ومن أهمها "AASHTO" وتعتمد طريقة مارشال على العمل المخبري وتتم وفق المراحل التالية:

1. اختيار المواد الحصوية . 2. اختيار التركيب الحبي المناسب . 3. تحديد نسب الحصويات . 4. تحديد الوزن النوعي للحصويات . 5. تحديد الوزن النوعي للبيتومين المستخدم . 6. تحضير العينات واختبارها . 7. تحديد خصائص العينات. 8. رسم النتائج والمخططات بيانياً . 9. دراسة وتحليل نتائج مارشال . 10. تحديد نسبة البيتومين الأصولية وذلك وفقاً لـ (الثبات الأعظمي ، وكثافة العينات العظمى ، ونسبة الفراغات الهوائية عند القيمة 4%) . حيث تعتمد القيمة الوسطية للمؤشرات الثلاثة .

تم تشكيل عينات مارشال بنسب متعددة للرابط البيتومين %(4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6) [13-16]

مع الأخذ بعين الاعتبار وجود نسبة %(3.9) من الرابط البيتوميني في المواد المكشوطة و التي تشكل %(75) من مزيج المواد الحصوية المشكلة للخلطة الإسفلتية، و نبين في الجدول رقم (8) وزن المواد الحصوية و الرابط البيتوميني عند كل نسبة من الرابط:

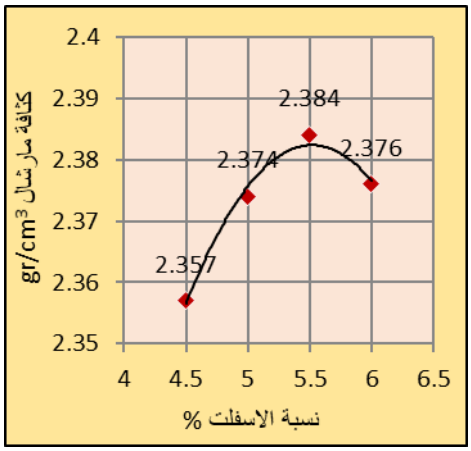
جدول رقم (8) وزن المواد الحصوية والرابط البيتوميني اللازمة لتشكيل عينات مارشال البيتومينية

وزن المواد الحصوية gr			وزن الإسفلت اللازم لتشكيل الخلطة gr	وزن الخلطة الإسفلتية gr	نسبة الإسفلت	
مادة حصوية III	مادة حصوية II	مواد مكشوطة			للمجبول %	للخلطة %
358.13	238.75	1863.75	39.37	2500	4.5	1.57
356.25	237.5	1854.38	51.87	2500	5	2.07
354.38	236.25	1845	64.4	2500	5.5	3.58
352.5	235	1835.6	76.9	2500	6	3.07

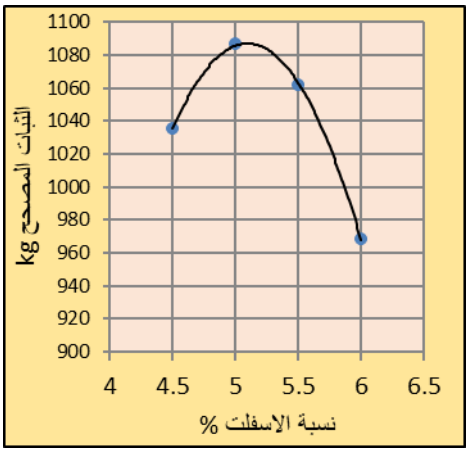
كما يبين الجدول رقم (9) والأشكال (13-14-15-16) نتائج اختبار مارشال المجراة على العينات التي تم تحضيرها بقوالب مارشال النظامية.

جدول رقم (9) نتائج تجربة مارشال الوسطية للخلطة البيتومنية التصميمية

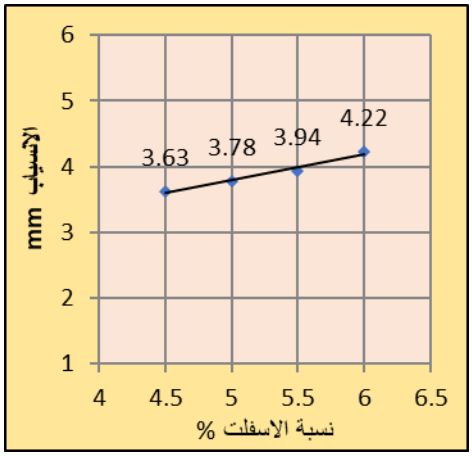
نسبة الرابط الأسفلتي %	الكثافة الحجمية gr/cm^3	النسبة المئوية للفراغات المليئة %	النسبة المئوية للفراغات الهوائية %	ثبات مارشال المصحح kg	السيلان mm
4.5	2.357	61.95	6.78	1035	3.63
5	2.364	68.34	5.82	1087	3.78
5.5	2.385	76.21	4.55	1062	3.93
6	2.376	79.86	3.87	968	4.22



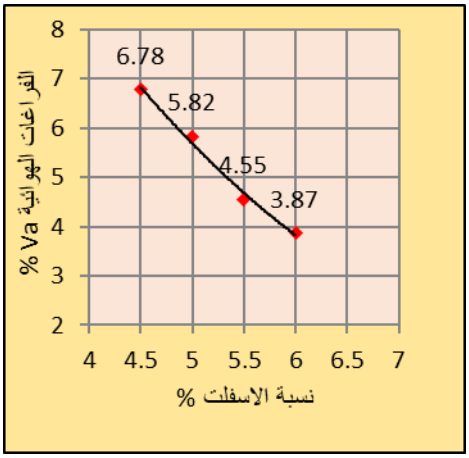
الشكل رقم (13) تغير الكثافة بتغير نسبة الإسفلت



الشكل رقم (14) تغير الثبات بتغير نسبة الإسفلت



الشكل رقم (15) تغير الإنسياب بتغير نسبة الإسفلت



الشكل رقم (16) تغير الفراغات الهوائية بتغير نسبة الأسفلت

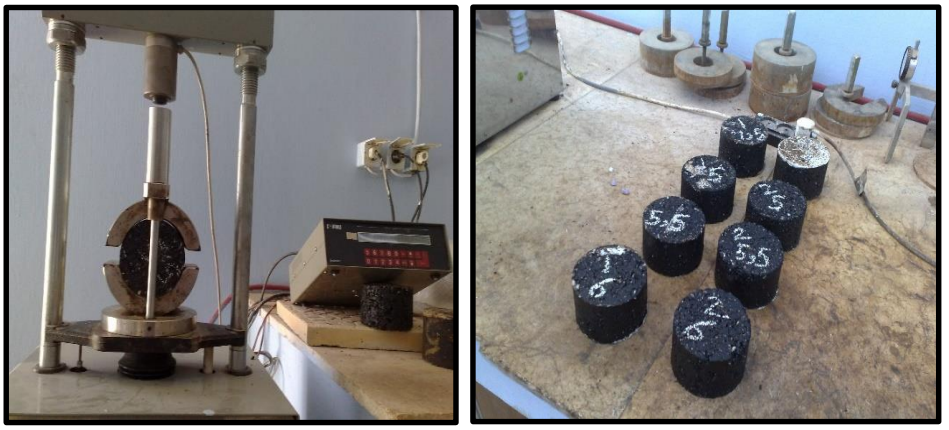
تبين الأشكال (13و14و15و16) بأن نسبة الرابط البيتومينى الأصولية التصميمية للخلطة البيتومينية (طبقة الاهتراء) هي : (% 5.3) .

وقد تم تدوين خصائص الخلطة الإسفلتية التصميمية في الجدول رقم (10):

جدول رقم (10) خواص الخلطة الاسفلتية التصميمية

نسبة الإسفلت (%) Asphalt Content	5. 3
الثبات (Kg) Stability	1080
الإنسياب (mm) Flow	3.85
نسبة الفراغات الهوائية (%) Air Voids	5
وزن واحدة الحجوم (t/m^3) Bluck Unit Weight	2.382

نلاحظ من خلال القيم المذكورة في الجدول رقم (10) بأن الخلطة البيتومينية التصميمية تحقق الشروط والمواصفات المعتمدة من قبل وزارة المواصلات السورية الخاصة بتصميم طبقات الرصف الإسفلتية وفق الحزمة النموذجية الثالثة (طبقة اهتراء).



شكل (17) تشكيل العينات البيتومينية بقوالب مارشال لتصميم الخلطة البيتومينية

3 . 2 . 5 تحديد نسبة الفاقد في الثبات بعد الغمر بالماء بالدرجة °80C لمدة ست ساعات :

تمت المتابعة مخبرياً في تحضير مجموعة من العينات بقوالب مارشال من الخلطة البيتومينية المصممة بالتدرج ونسبة الاسفلت الأصولية ، وبعدها غمرت العينات بالماء بدرجة حرارة **(80°C**) لمدة 6 ساعات ، وحدد قيمة النقص في الثبات . ويبين الجدول رقم (11) قيمة النقص في قيم الثبات للعينات الإسفلتية بعد إجراء اختبار الغمر بالماء بدرجة حرارة (80° C) لمدة 6h.

جدول رقم (11) نتائج تجربة النقص في الثبات للعينات الإسفلتية.

نوع الخلطة الإسفلتية	قيمة الثبات الوسطي المصحح Kg		نسبة النقص في قيمة الثبات بعد الغمر لمدة 6h %
	بعد الغمر بالماء بالدرجة 60°C لمدة 0.5 h	بعد الغمر بالماء بالدرجة 80°C لمدة 6h	
75 % (RAP) + 10 %(II) +15 %(III)	1068	905	15.3

ـ من خلال النتائج المدونة بالجدول رقم (11) أعلاه نلاحظ ما يلي :

ـ بلغت قيمة الثبات الوسطي للعينات المختبرة القيمة (1068 Kg) وهي محققة لشروط وزارة المواصلات السورية لطبقة الإهتراء (التدرج الثالث) كونها أكبر من القيمة الدنيا المسموح بها و البالغة (900 Kg).

ـ احتفظت العينات البيتومينية المشكلة بنسبة ثبات مقداره (84.7 %) بعد اختبار الغمر بالماء بدرجة حرارة (80°C) لمدة 6h ، وبذلك حققت شروط وزارة المواصلات بأنه يجب أن يحقق الثبات لطبقة الإهتراء بالغمر على درجة حرارة (**80°C**) لمدة (6) ساعات نسبة لا تقل عن (80 %) من الثبات النظامي [13] والشكل رقم (18) يوضح التجربة المجراة.



شكل (18) تشكيل قوالب مارشال والغمر على درجة حرارة (**80°C**) لمدة (6) ساعات

4 . النتائج :

من خلال نتائج التجارب المخبرية المجراة على العينات البيتومينية تبين أن إعادة استخدام المواد المكشوطة يحقق العديد من الفوائد أهمها:

1 . الحفاظ على المواد الخام الأولية الحصوية و التوفير في استخدامها وذلك من خلال تصميم خلطة حصوية لطبقة الأساس الحصوية بنسبة 50% من المواد الإسفلتية المكشوطة

وتصميم خلطة بيتومينية لطبقة الإهتراء باستخدام 75% من المواد البيتومينية المكشوطة وإضافة 1.4% فقط من الرابط البيتوميني الجديد.

2 . الحفاظ على البيئة من تأثير المواد المكشوطة.

3 . تخفيض كلف إعادة تأهيل الطرق باستخدام المكشوط البيتوميني.

4 . توفير الوقت و الجهد و الطاقة.

5 . التوصيات :

1 . نوصي بالتوسع في الدراسات والأبحاث في مجال استخدام مخلفات البناء البيتونية و المكشوط الإسفلتي في طبقات الرصف المرنة والصلبة بما يحقق وفر اقتصادي و تخفيف الأثر البيئي لهذه المخلفات ولاسيما في مرحلة إعادة الإعمار .

5 . المراجع References:

المراجع الأجنبية :

3- Alsaleh, Fatima, and Feras Al Adday. "Properties of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Asphalt Pavement of the Aleppo highways." International Journal 8.8 (2020).

4- Ujjawal N, Er. Aman B, " A Review Study on Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Flexible Pavements", International Journal of Scientific Development and Research (IJSDR), Vol 3, Issue 6. June 2018

5- Yomiyu RetaEmer T, QuezonEmer T, QuezonT, Kumala K, "Experimental Study On The Use Of Reclaimed Asphalt Pavement As Base Course Materials Through Blending With Crushed Stone Aggregates, World Journal of Engineering Research and Technology WJERT, vol 4,Issue 2, PP126-167, February 2018

6- Brajesh M, " A Study on Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Flexible Pavements", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology,Vol. 4, Issue 12, DOI:10.15680/IJIRSET.2015.0412088, December 2015

7- Ki Hoon M, Cannone F, Cannone F, Mihai Marasteanu , Mugurel T, " Using recycled asphalt materials as an alternative material source in asphalt pavements" , KSCE Journal of Civil Engineering , , 18(1):149-159, January 2013

8- Xinjun LiMihai O. MarasteanuR. Christopher WilliamsTimothy R, "Effect of Reclaimed Asphalt Pavement (Proportion and Type) and Binder Grade on Asphalt Mixtures", Transportation Research Record

Journal of the Transportation Research Board, DOI: 10.3141/2051-11, December 2008

9- Minnesota Department of Transportation (MN/DOT), Combined 2350/2360 plant mixed asphalt pavement, standard specifications for construction, Minnesota Department of Transportation (MN/ DOT), 2008

10- McNichol, D, Paving the way: Asphalt in America, National Asphalt Association, Lanham, Maryland <http://bit.ly/rJ5UVs>. 2005

11- Button, J. W., Williams, D., and Sherocman, J. A., Roofing Shingles and toner in asphalt pavements, FHWA Research Report, FHWA/TX-96/1344-2F, Texas Transportation Institute. 1996

12- Federal Highway Administration. *Reclaimed Asphalt Pavement User Guideline: Asphalt Concrete (Hot Recycling)*. Web page on the Turner-Fairbanks Highway Research Center web site. http://www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/rap132.htm. Acces sed 16 October 2001.

13- Hot-In-Place Recycling (2016) ,Our MARS® system utilizes the existing asphalt pavement for in-place rehabilitation by recycling 100% of street or road materials and aggregates while also restoring flexibility and quality to the asphalt material. https://dustrol.com/,2016

17- MdRashadulIslama،Mohammad Imran،HossainbRafiqul، A.Tarefder، " A study of asphalt aging using Indirect Tensile Strength test"، Construction and Building Materials، Volume 95، 1، Pages 218-223 October 2015.

18- KaliaAnurag،FeipengXiaoSerji، N.Amirkhanian، " Laboratory investigation of indirect tensile strength using roofing polyester waste

fibers in hot mix asphalt"، Construction and Building Materials journal، Volume 23، Issue 5، ، Pages 2035-2040 May 2009.

المراجع باللغة العربية :

1 . فايز سليمان . "دراسة تأثير الأحمال المحورية الزائدة على طبقات الرصف المرن" ، مجلة جامعة البعث . سوريا . حمص . العدد 40 ،2018 .

2 . غازي خلف ، الياس دبانة ، علي عواد . "تحسين الخصائص الهندسية للخلطات الاسفلتية بإضافة الألياف النباتية " ، مجلة جامعة البعث . سوريا . حمص . العدد 43 ،2021

14 . الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور، " الجزء 2 ،3 طبقات الأساس الحصوية "، وزارة المواصلات السورية، دمشق ، 2002 .

15 . الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور(2002)، " الجزء 4 الأعمال البيتومينية " وزارة المواصلات السورية، دمشق، 2002 .

16 . عبد الكريم الحلبي، "الطرق الجزء الثاني "، منشورات جامعة حلب، حلب، 1981 .

تطوير منهجية منخفضة التكاليف للنمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام التصوير الرقمي وأنظمة المعلومات الجغرافية

طالب الماجستير: مرشد علي– كلية الهندسة المدنية –جامعة حمص

المشرف الرئيسي: د. وسيم موسى المشرف المشارك: د. حنان درويش

الملخص

إن إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد مماثلة للواقع يسمح بتوفير مخرجات مساحية موثوقة لأغراض تخطيط وتنفيذ الأعمال الهندسية، وبشكل خاص لأغراض الحفظ والتوثيق الرقمي لمواقع التراث الثقافي.

يقدم هذا البحث منهجية منخفضة التكاليف للنمذجة ثلاثية الأبعاد للمباني باستخدام التصوير الرقمي ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) وذلك بالاعتماد على تقنيات وبرمجيات مفتوحة المصدر وسهلة الاستخدام. إذ تم استخدام كاميرا هاتف نقال لاستحواذ الصور، والتي تم معالجتها وتوجيها بهدف إعادة الإنشاء الهندسي للمبنى باستخدام برنامج مفتوح المصدر (VisaulSFM). وللحصول على غمامات نقطية كثيفة، تم استخدام برنامج مفتوح المصدر (SURE) لإجراء المواءمة المكثفة للصور. وأخيراً تم إنتاج النموذج ثلاثي الأبعاد المماثل للواقع باستخدام برامج (CloudCompare, SketchUp). ونظراً لدور الـ(GIS) في إظهار البيانات الجغرافية والوصفية للنماذج

ثلاثية الأبعاد، تم تحقيق التكامل بين النمذجة القائمة على الصور والـــ(GIS) من خلال إدخال النماذج ضمن بيئة الـ(GIS) وتحديد البيانات الجغرافية والوصفية الخاصة بها.

تم تطبيق المنهجية المقترحة على حالتين دراســـيتين في ريف حماة بهدف إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد مماثلة للواقع. كما تمّ تقييم دقة النتائج وإمكانية اســـتخدام هذه النماذج في تطبيقات الحفظ والتوثيق الرقمي للتراث الثقافي، فضلاً عن تحديد الموقع الجغرافي للمباني وإدخال السمات من خلال برنامج (ArcGIS).

كلمات مفتاحية: تكامل، النمذجة القائمة على الصور، نظام المعلومات الجغرافية، البنية انطلاقاً من الحركة – غمامات نقطية، الإرجاع الجغرافي.

Developing a Low –cost Methodology for 3D Modeling using Digital photogrammetry and GIS

Abstract

The production of photorealistic 3D models enables the provision of reliable surveying outputs for the planning and execution of

engineering works, particularly for the preservation and digital documentation of cultural heritage sites.

This paper presents a low-cost methodology for 3D modeling of buildings using digital photogrammetry and Geographic Information System (GIS), based on open-source and user-friendly technologies and software. A mobile phone camera was used to capture images, which were processed and oriented to achieve the geometric reconstruction of the building using the open-source software VisualSFM. To obtain dense point clouds, the open-source software SURE was utilized for the dense image matching. Finally, the photorealistic 3D model was produced using CloudCompare and SketchUp software. Given the role of GIS in displaying geographic and descriptive data for 3D models, the integration between image-based modeling and GIS is fulfilled by incorporating the models into the GIS environment and defining their geographic and descriptive data.

The proposed methodology was applied to two case studies in the Hama countryside with the aim of producing photorealistic 3D models. And then evaluating the accuracy of the results and the potential use of these models in the applications of digital preservation and documentation of cultural heritage. The geographic locations of the models were identified, and attributes were entered

using ArcGIS.Keywords: Integration, image-based Modeling, GIS, Structure-from-Motion (SFM), Point Clouds, Georeferencing.

1- مقدمة

تعد عملية إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد أحد أهم المواضيع في تطبيقات المساحة لدورها في إنتاج نماذج تحاكي الواقع. إذ إنها توفر مختلف أنواع المخرجات المساحية التي تستخدم في مختلف التطبيقات والأعمال المساحية. كما أنها تساهم في زيادة دقة أعمال التخطيط عن طريق إنتاج نماذج دقيقة وواقعية للمنشآت والأراضي. وتمنح المهندسين تصوراً فعالاً عن المشاريع قبل القيام بأعمال التنفيذ، فضلاً عن أنّها تسهم في تطوير أعمال التصميم، وتسريعها وتخفيض التكاليف مقارنةً مع أعمال التصميم التقليدية.

إنّ أعمال الحفظ والتوثيق الرقمي لمواقع ومباني التراث الثقافي هي من أهم تطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد. إذ إنّ التراث الثقافي يمثل تاريخ الشعوب، وتطورها الحضاري ويعطى صورة عن الأنماط والطرق العمرانية السائدة. كما إنّ توثيق هذه المواقع يمكن أن يتيح المجال للباحثين في مجال الآثار الحصول على المعلومات الموثوقة بوقت وجهد قليل. إضافةً لما سبق، سيساهم ذلك في تنشيط الحركة السياحية وزيادة الاستثمار السياحي الذي يعتبر من أهم مصادر الاقتصاد الوطني.

تعد عملية إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام الصور هي الطريقة الأكثر تكاملاً، اقتصاديةً ومرونةً واستخداماً على نطاق واسع. إذ تعد تقنيات المساحة التصويرية القريبة تقنيات نموذجية لإعادة الإنشاء الهندسي للمواقع والمباني، فضلاً عن أنها من أهم الطرق المستخدمة لتوفير بيانات هندسية موثوقة من الصور، وبشكل خاص من أجل استعادة نقاط السطوح الهندسية للمباني المعمارية [1]. وذلك من خلال نموذج رياضي يستخدم قياسات الصور ثنائية الأبعاد (2D) للحصول على سطح الكائن ثلاثي الأبعاد [2].

ويمكن أن نحصل على قياسات ثلاثية الأبعاد من صور منفردة أو متعددة عن طريق تطبيق الهندسة الإسقاطية [3]. قدمت دراسة مرجعية مكثفة لتقنية النمذجة باستخدام الصور في [4]. إذ تم علاج المشكلات الرئيسية والحلول المتوفرة للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد من صور أرضية. كما قدمت منهجيات لتقنيات إعادة الإنشاء ثلاثي الأبعاد باستخدام الصور من أجل قياس وإعادة الإنشاء التفصيلي للسطوح [5].

نظام المعلومات الجغرافية (GIS) يقوم بإنشاء وإدارة وتحليل ورسم الخرائط لجميع أنواع البيانات. كما يربط هذا النظام البيانات بالخريطة، وتدمج بيانات الموقع مع جميع أنواع المعلومات الوصفية. وهذا يوفر أساساً لرسم الخرائط والتحليل المستخدم في العلوم والتطبيقات الصناعية. كما يساعد الـ(GIS) المستخدمين على فهم الأنماط، العلاقات والسياق الجغرافي، إذ يتم تقسيم الواقع الحقيقي ونستطيع التعامل مع كل طبقة على حدا. ويساهم في تحسين الاتصال والكفاءة مما يعزز ويحسن صنع القرار [6]. ويقصد عادة بنمذجة البيانات في الـ(GIS) أي تمثيل البيانات باستخدام نموذج محدد يعبر عن العمليات التي تحدث في العالم بشكل رقمي، أي تلخيص الواقع وتوضيح كيف يبدو العالم في نماذج البيانات. في حين أن النمذجة المكانية تقدم نماذج توضح كيف يعمل العالم، وتقترح حلول للمشكلات التي نواجهها، فهي تقدم نموذج يحاكي العالم الحقيقي. تعتمد النمذجة المكانية على درجتي الوضوح المكاني والمؤقتة، إذ يتم من خلالهما تحديد التكلفة الاقتصادية لعملية النمذجة [7].

إنّ عملية تكامل الـ(GIS) مع المساحة التصويرية هي ذات أهمية كبيرة [8]. إذ تقوم أنظمة المعلومات الجغرافية بتنظيم البيانات الناتجة عن تقنيات المسح التصويري في قواعد بيانات مكانية ووصفية [9]، كما يلعب الـ(GIS) دور فعال في تطوير النمذجة والتسجيل الرقمي للتراث [10]، واتخاذ قرارات دقيقة لاستثمار الموارد بشكل أمثل [11]. كما يساعد بناء نموذج نظام المعلومات الجغرافية ثلاثي الأبعاد (3D GIS) في توفير معلومات الموقع الجغرافي للنماذج [12]. لذا تم القيام بدراسة تهدف إلى تشكيل نماذج في

برنامج (SketchUp) وإدخالها إلى برامج نُظُم المعلومات الجُغرافيّة [8]. في [9]، تم بناء قاعدة بيانات مكانية ودلالية للمواقع الأثرية ونمذجتها بالأبعاد الثلاثة اعتماداً على إمكانيات نظم التصميم بمعونة الحاسب ونظم المعلومات الجغرافية. وقدمت دراسة تهدف إلى استكشاف طريقة التصوير الفوتوغرافي ونظم المعلومات الجغرافية لتوثيق التراث الثقافي رقمياً [11]. كما اقترح في [12] استخدام نظام المعلومات الجغرافية ثلاثي الأبعاد (3D GIS) في تخطيط وتطوير المناظر الطبيعية المحيطة بالمباني الموثقة. تم تقديم دراسات عديدة عن مقارنة طرق التصوير الثلاثي الأبعاد لدعم التصور البصري في بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برامج (AutoCAD، SketchUp، ArcGIS) [13]. وأخيرا تم تقديم دراسة تهدف إلى بناء نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات التصوير الفوتوغرافي ورسم الخرائط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية [14].

2- أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية هذا البحث بشكل رئيسي من خلال مناقشة إمكانيات تطبيق طرق المساحة التصويرية الآلية منخفضة التكاليف في الحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد تفصيلية ودقيقة للمباني، وذلك على شكل غمامات نقطية كثيفة من النقاط ثلاثية الأبعاد تسمح ببناء نماذج سطحية وصورية حقيقية. واقتراح منهجية تسمح لغير المختصين في المساحة التصويرية من الحصول على تطبيق عملي سهل الاستخدام وباستخدام برمجيات مفتوحة المصدر. وذلك مع إمكانية تصدير وتكامل النماذج الناتجة مع نظم المعلومات الجغرافية بهدف بناء قاعدة بيانات مكانية وإدخال البيانات الوصفية للموقع.

ويمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط التالية:

- تطوير منهجية منخفضة التكاليف باستخدام مستشعرات منخفضة التكاليف للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد مماثلة للواقع بالاعتماد على برامج مفتوحة المصدر.

- تقييم دقة النماذج ثلاثية الأبعاد الناتجة، وتوضيح التكامل بين برامج المسح التصويري ونظم المعلومات الجغرافية.
- دراسة جدوى استخدام هذه النماذج في تطبيقات محددة مثل الحفظ الرقمي لمواقع التراث الثقافي

3- مواد وطرائق البحث

3-1 استحواذ البيانات

تتطلب إجراء البحث الحصول على نوعين من الصور:

-صور أرضية تم التقاطها باستخدام كاميرا هاتف نقال (Samsung Galaxy J2 2016) لموقعين، الأول قصر قرية خربة القصر ريف حماة، الشكل (1) والموقع الثاني بناء حجري قديم في نفس المنطقة، الشكل (2).



الشكل (1) قصر قرية خربة القصر.



الشكل (2) البناء الحجري القديم.

تم التقاط الصور بالاعتماد على طريقتي تصوير:

1- القواعد 3X3 (3x3rules):

تم تحديد قواعد هذه الطريقة من قبل (CIPA) وهي اللجنة الدولية للتصـــوير المعماري للتعامل مع التقنيات المتعلقة بالتصوير الفوتوغرافي من الكاميرات والتي ترتكز على ثلاث قواعد وهي [15]:

i. قواعد هندسية تشمل تحضير معطيات الضبط، تغطية تجسيمية، تغطية تجسيمية مفصلة.
ii. قواعد تصـويرية تشـمل مواصـفات آلة التصـوير، معايرة آلة التصـوير، التقاط الصور.
iii. قواعد تنظيمية تشمل الرسم، بيانات مساعدة، الأرشفة.

2- بانوراما في كل خطوة (one panorama each step):

يعبر التصـــوير البانورامي عن عملية التقاط الصـــور من زوايا عريضـــة بحيث تعطي الصورة الواحدة تغطية شاملة للموقع، ويتم التقاط الصور البانورامية في عدة مواقع، وعلى ارتفاعات مختلفة. ويجب التأكد من أنّ الأجزاء التي قد تكون محجوبة مرئية في ثلاث صور على الأقل، وضمان تداخل بين لقطات البانوراما حوالي (80%) ، والتأكد من توفر إضاءة موزعة بشكل جيد وتحقيق تباعد بين محطات التصوير كحد أقصى لحجم الخطوة يساوي (20%) من عرض السطح في الصورة السابقة. وكما يفضل إجراء معايرة للكاميرا المستخدمة، إن أمكن [16].

تم وضع خطة التصوير التالية:

$$S_{Map}=5*S_{Photo}$$

$$S_{Photo}= 1/250 \quad \leftarrow \quad S_{Map}=1/50$$

$$S_{Photo}=1/500 \quad \leftarrow \quad S_{Map}=1/100$$

حيث (S_{Map}): مقياس المخطط المطلوب

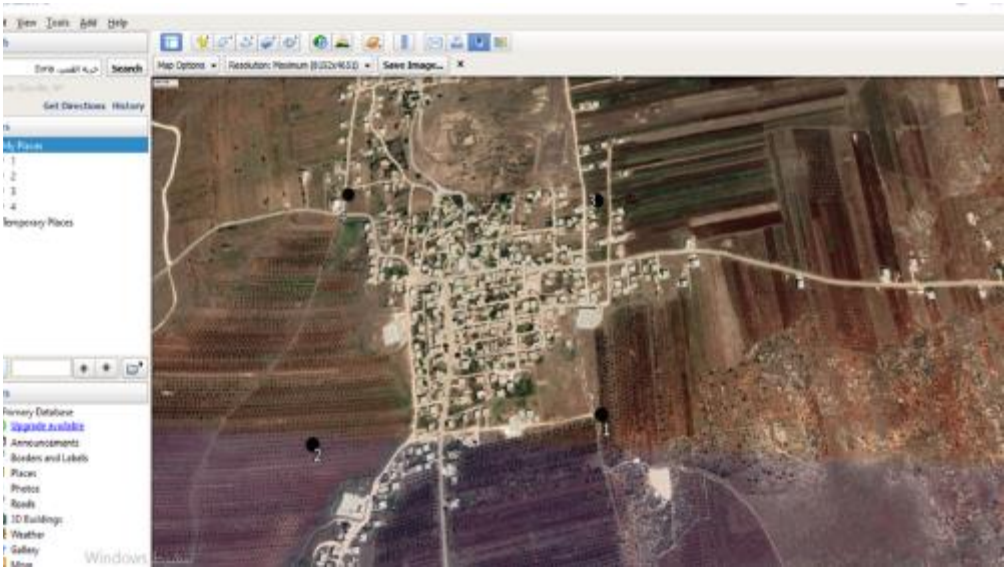
(S_{Photo}): مقياس الصورة

تم تحديد مسافة التراجع الأفقية عن الواجهة (D): $S_{Photo} =F/D$

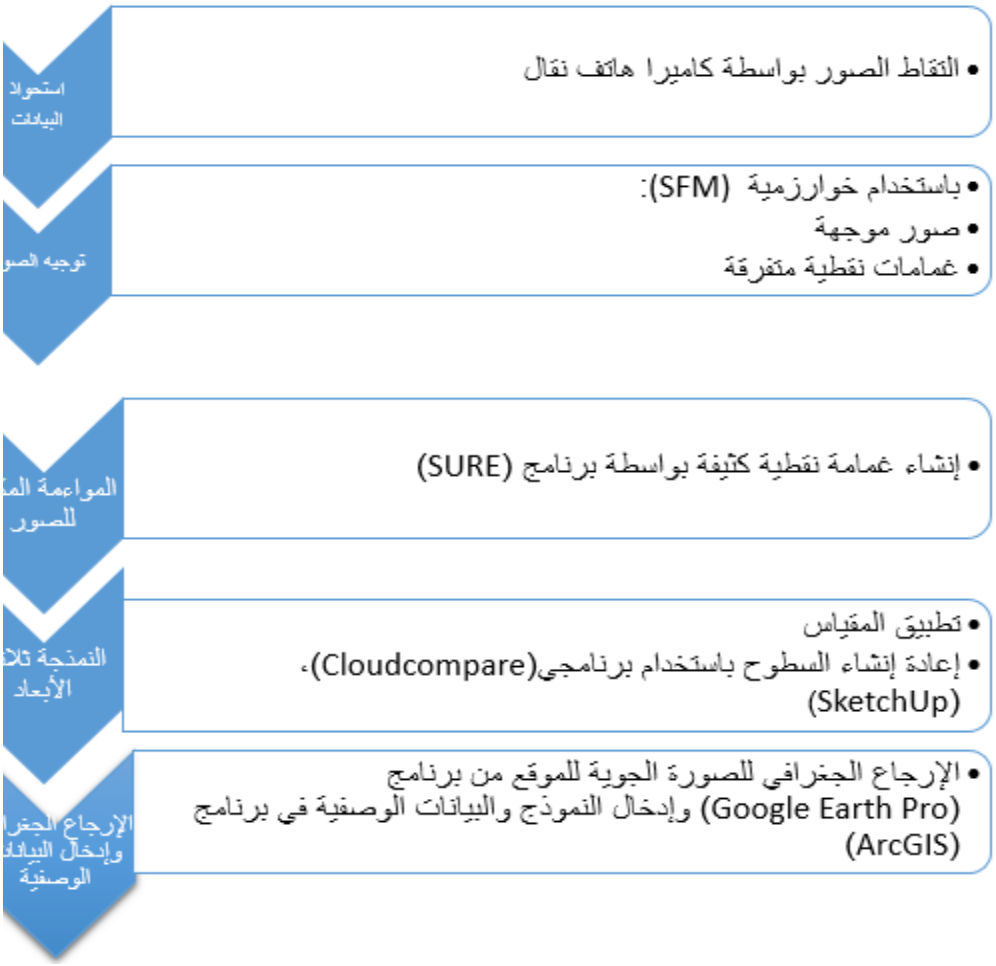
من مواصفات الكاميرا وخصائص الصور نجد (F=3.31mm) وبالتالي:

D=0.827m, D=1.655m

- صـــورة فضـــائية للمنطقة مأخوذة من برنامج (Google Earth Pro)، الشـــكل (3).



الشكل (3) صورة فضائية للموقع المدروس، خربة القصر، حماه.



الشكل (4) المخطط التدفقي للمنهجية المقترحة.

3-2 منهجية البحث

تعتمد منهجية البحث على التقاط الصور بواسطة كاميرا هاتف نقال، ثم توجيه الصور بخوارزمية (SFM) مفتوحة المصدر ثم إجراء مواءمة مكثفة للصور باستخدام برنامج مفتوح المصدر (SURE)، ثم النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام عدد من البرامج المفتوحة

المصدر (SketchUP،CloudCompare). كما تم الإرجاع الجغرافي وإدخال البيانات الوصفية باستخدام برامج (ArcGIS, Google Earth Pro)، كما هو موضح في المخطط التدفقي في الشكل (4).

3-3 البرامج المستخدمة

-برنامج (VisaulSFM) هو برنامج مفتوح المصدر يقوم بإعادة الإنشاء الهندسي، وتحديد عناصر التوجيه للكاميرات من خلال الصور الملتقطة للمبنى، وذلك باعتماد خوارزمية(SFM). تم تطوير وتصميم هذا البرنامج وتوفيره مجاناً من قبل الباحث الصيني (Changchang Wu) اعتماداً على خوارزمية (SFM) التي صممها (Snavely) [17].

- برنامج (SURE) هو حل برمجي يقوم بإعادة بناء تلقائية كاملة ثلاثية الأبعاد بالاعتماد على الصور وتوجيهاتها يسمح باشتقاق غمامات نقطية كثيفة من مجموعة معينة من الصور وتوجيهاتها فنحصل من خلاله على نقطة واحدة ثلاثية الأبعاد لكل بكسل [5].

- برنامج (CloudCompare)هو تطبيق مفتوح المصدر لإدارة ومقارنة الغمامات ثلاثية الأبعاد، ويعد من أفضل البرامج للتعامل مع الغمامات النقطية حيث يوفر الكثير من خيارات المعالجة.

- برنامج (SketchUP) هو برنامج رسم هندسي ثلاثي الأبعاد يوفر خيارات بسيطة في العمل بهدف إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية تحاكي الواقع، مع إمكانية نقل النماذج إلى بيئة (GIS) دون الحاجة لإمكانيات حاسوبية ضخمة تكمن أهمية استخدام برنامج (SketchUp) لدوره في إبراز التفاصيل، وتوفير خيارات عديدة في الإكساء وإمكانية نقل النماذج إلى بيئة (GIS).

-برنامج (Google Earth Pro) هو نموذج برمجي ثلاثي الأبعاد للأرض. يستخدم لاستكشاف جغرافية العالم، ويعرض صور الأقمار الصناعية ذات دقة متفاوتة للأرض. له استخدامات عديدة للبحث عن المدن والمناطق بالاسم، أو الإحداثيات، وتتبع تطور المناطق مع مرور الوقت، وقياس المسافات والمساحات.

- برنامج (ArcGIS) تم في هذا البحث استخدام برنامجي (ArcScene, ArcMap). تم استخدام برنامج (ArcMap) بهدف عرض البيانات المكانية وترقيمها وتحريرها والقيام بعمليات الإرجاع الجغرافي وإنشاء الخريطة الرقمية. أما برنامج (ArcScene) فتم من خلاله عرض النماذج ثلاثية الأبعاد وإدخال البيانات الوصفية لها.

4- النتائج والمناقشة

4-1 حالة دراسية 1: القصر

- توجيه الصور:

تم توجيه (160) صورة باستخدام برنامج (VisaulSFM) حيث يقوم البرنامج بحساب عناصر التوجيه الخارجي والداخلي وتشكيل غمامة نقطية متفرقة للقصر كما هو موضح في الشكلين (5)، (6).



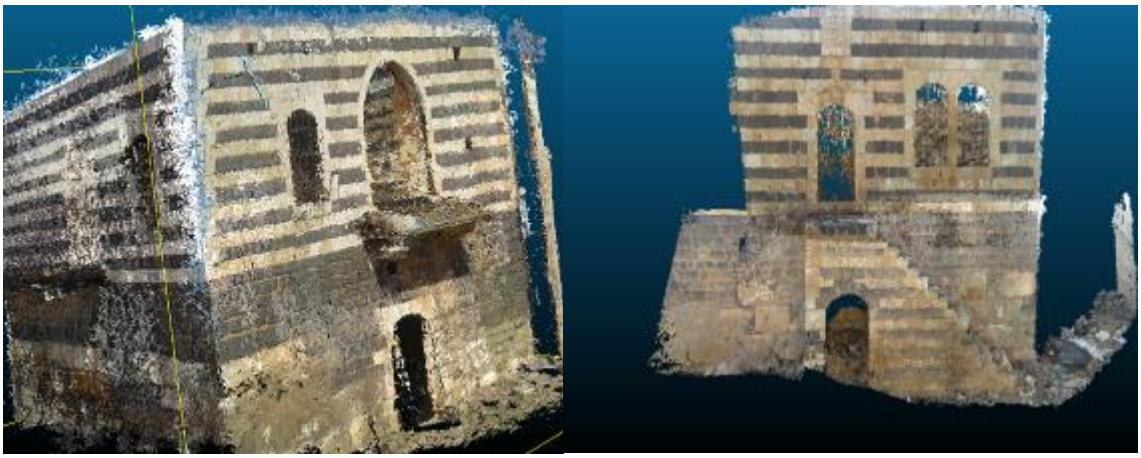
الشكل (5) غمامة نقطية متفرقة للقصر مرحلة 1.



الشكل (6) غمامة نقطية لواجهة الدرج مرحلة 2.

-المواءمة المكثفة للصور:

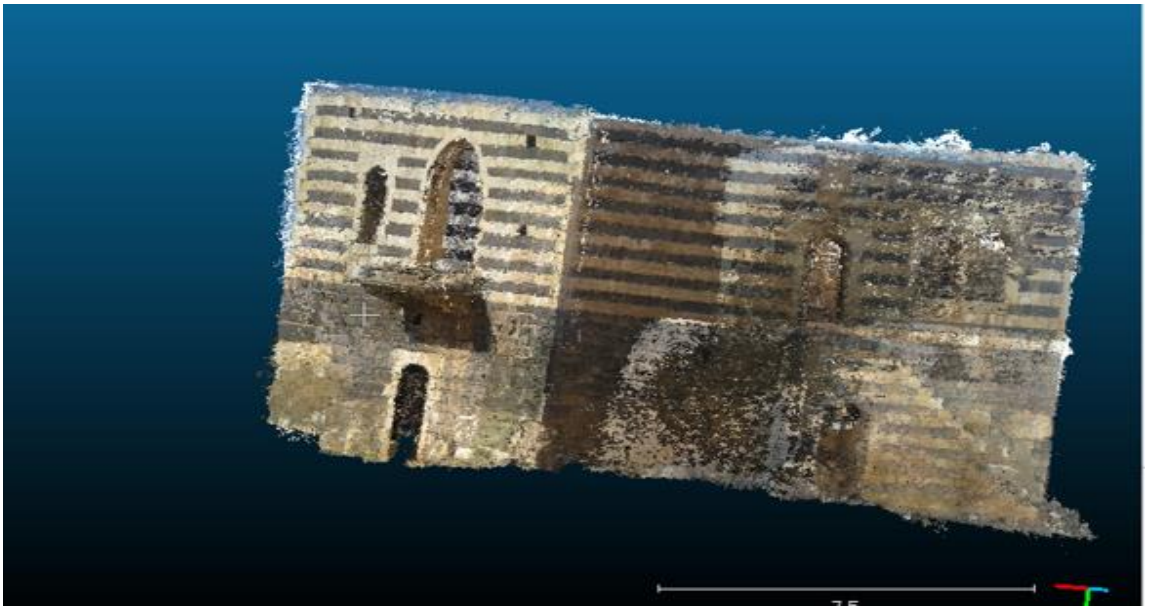
تتم عملية المواءمة المكثفة للصور باستخدام برنامج (SURE) للحصول على غمامات نقطية كثيفة الشكل (7).



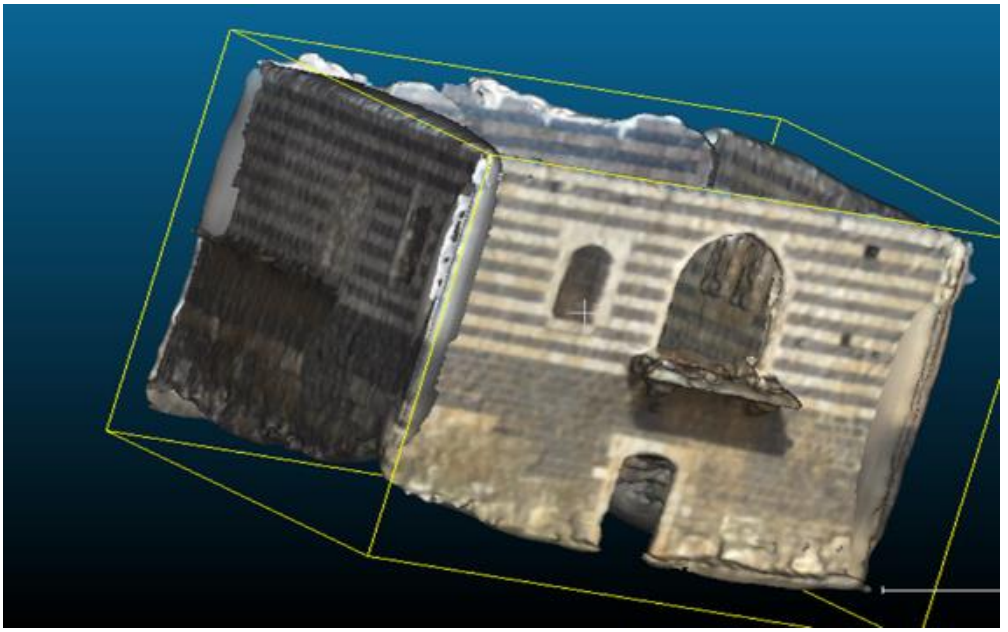
الشكل (7) الغمامة النقطية الكثيفة للقصر وواجهة الدرج.

-النمذجة ثلاثية الأبعاد:

1-تجرى عمليات معالجة للغمامات النقطية باستخدام برنامج (CloudCompare) تسجيل الواجهات، تصفية الضجيج في القياسات، إجراء عملية تطبيق المقياس للغمامات النقطية، الشكل (8). إنشاء سطوح من الغمامات النقطية، الشكل (9).



الشكل (8) الغمامة النقطية الكثيفة للقصر بعد القيام بعمليات المعالجة.



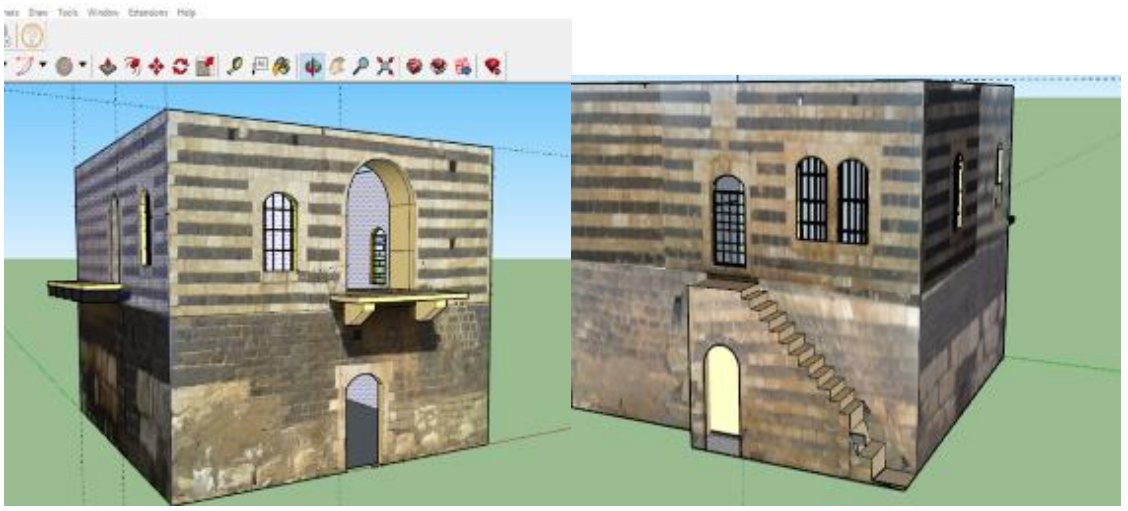
الشكل (9) النموذج السطوحي ثلاثي الأبعاد في برنامج (CloudCompare).

2- إعادة إنشاء نموذج القصر النهائي باستخدام برنامج (SketchUP)، الشكل (10) وفق الخطوات التالية:

1- إعادة إنشاء وتدقيق النموذج باستخدام الأبعاد المقاسة من النموذج السابق.

2- تدقيق وتصحيح تفاصيل القصر بشكل أوضح (الأظفار، النوافذ...الخ).

3- تصحيح النسجة من خلال إعادة إكساء النموذج بنسيج قائم على صور القصر الموجهة.



الشكل (10) نموذج القصر في برنامج (SketchUP).

-تقييم الدقة:

-الدقة الهندسية: لتقييم الدقة الهندسية للنموذج تم حساب الفرق بين بعض الأبعاد في النموذج والواقع كما هو

موضح في الجدول (1).

العنصر	الأبعاد على النموذج بعد تطبيق المقياس (م)	الأبعاد الحقيقية (م)	فرق البعدين (م)	الدقة في المتر الطولي
ارتفاع باب القصر	2.392	2.39	−0.002	0.001
عرض باب القصر	0.997	1	0.003	0.003
عرض باب الدرج	1.053	1.05	−0.003	0.003
ارتفاع باب الدرج	2.394	2.39	−0.004	0.002
طول الواجهة الجنوبية	9.7	9.68	−0.02	0.002
طول الواجهة الغربية	10.25	10.28	0.03	0.003

الجدول (1) المقارنة بين أبعاد القصر الحقيقية والأبعاد في النموذج بعد تطبيق المقياس.

من الجدول السابق، بأخذ المتوسط الحسابي لقيم الدقة في المتر الطولي نجد أن الدقة تساوي تقريباً 2ملم في المتر الطولي. وهذه الدقة تشير إلى إمكانية استخدام هذا النموذج الحفظ الرقمي والتطبيقات السياحية لمواقع التراث الثقافي.

-الكمالية: من خلال شكل وتفاصيل النموذج الناتج، يمكن أن نلاحظ ما يلي:

1-النموذج يوضح كامل التفاصيل المعمارية في القصر بشكل محاكي للواقع.

2-الربط بين ثلاث واجهات في زوايا القصر متين ومحاكي للواقع.

3-الربط في إحدى الزوايا لواجهة الدرج ضعيف لوجود بناء يحجب التصوير، إذ تم التغلب على ذلك من خلال نمذجة الواجهة على حدا، ومن ثم تسجيلها مع الواجهات الثلاثة.

4-عدم ظهور الأظفار في النموذج النقطي بشكل واضح لذا تم إعادة نمذجة الأظفار في برنامج (SketchUp).

4-2 حالة دراسية 2: البناء الحجري القديم

-توجيه الصور:

تم توجيه الصور باستخدام برنامج (VisaulSFM) على مرحلتين باستخدام (138) صورة الشكل (11)، (12).



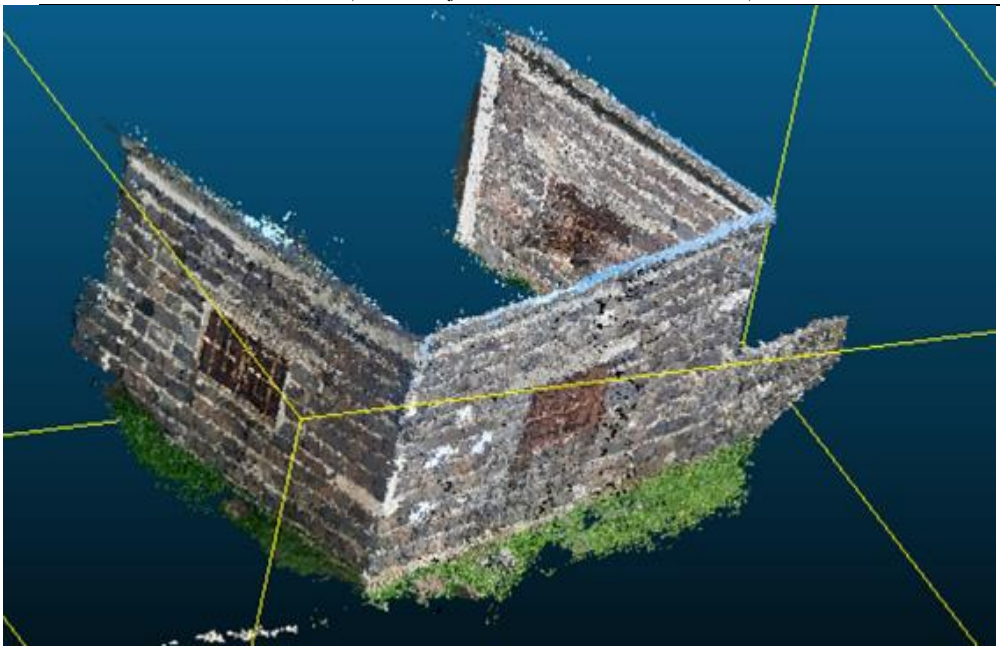
الشكل (11) غمامة نقطية متفرقة للغرفة مرحلة1.



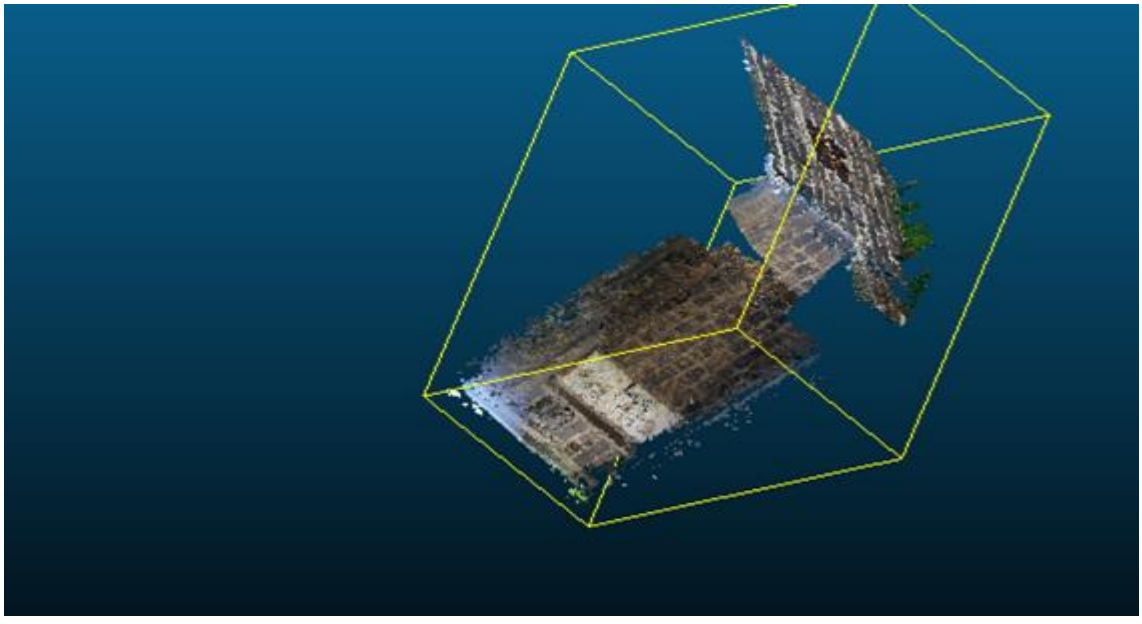
الشكل (12) غمامة نقطية متفرقة مرحلة2.

-المواءمة المكثفة للصور:

تتم باستخدام برنامج (SURE)، الشكل (13)، (14).



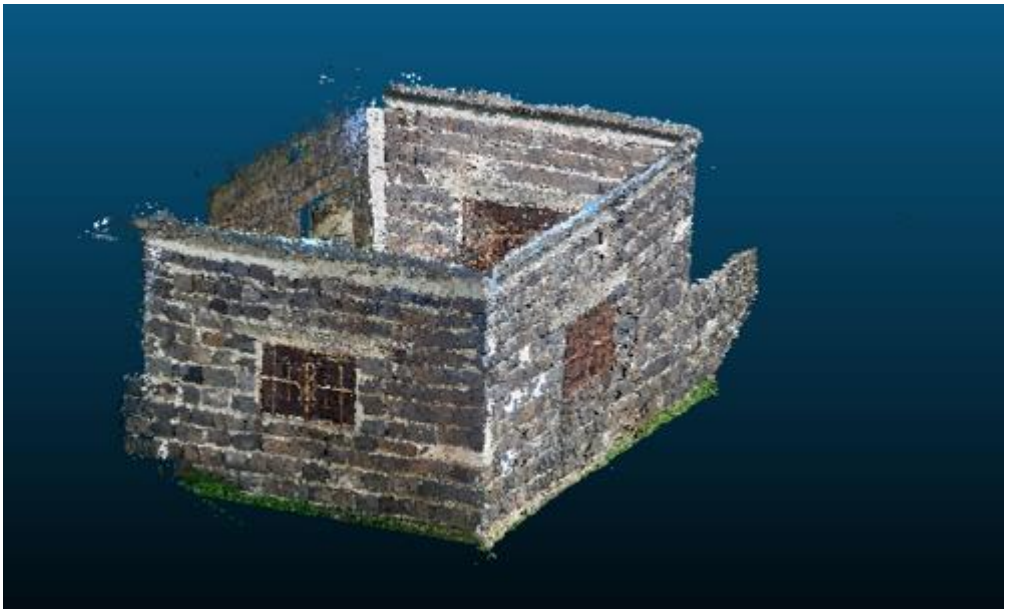
الشكل (13) غمامة نقطية كثيفة مرحلة1.



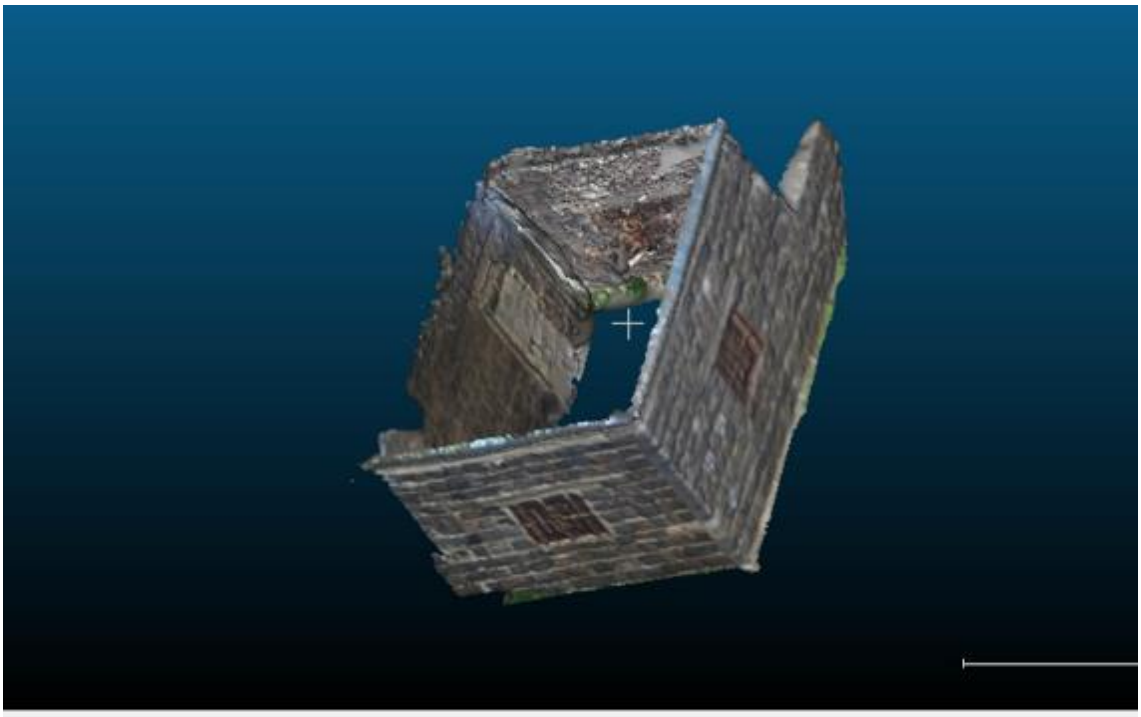
الشكل (14) غمامة نقطية كثيفة مرحلة2.

النمذجة ثلاثية الأبعاد:

1- تجرى عمليات معالجة للغمامات النقطية في برنامج (CloudCompare) تسجيل الواجهات، تصفية الضجيج في القياسات، إجراء عملية تطبيق المقياس للغمامات النقطية، الشكل (15). إنشاء السطوح من الغمامات النقطية، الشكل (16).

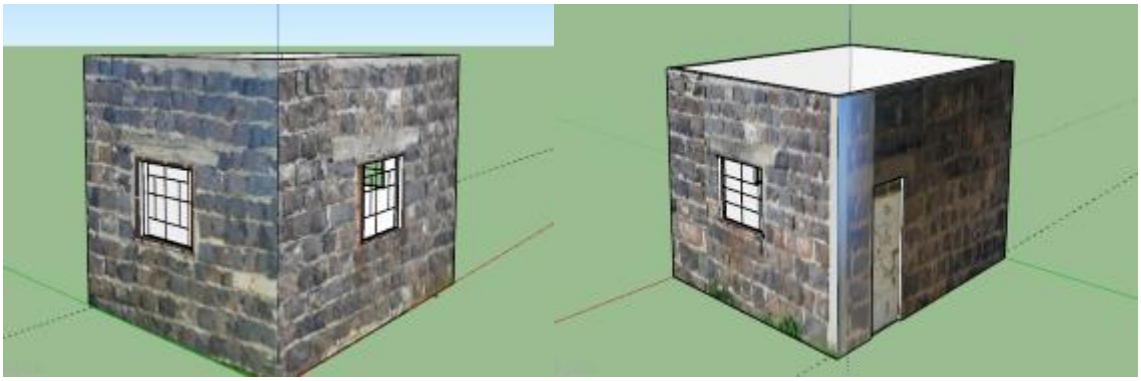


الشكل (15) غمامة نقطية كثيفة لكامل الغرفة.



الشكل (16) نموذج الغرفة السطوحي ثلاثي الأبعاد في برنامج (CloudCompare).

2-إعادة إنشاء نموذج المبنى الحجري النهائي باستخدام برنامج (SketchUP)، الشكل (17).



الشكل (17) نموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى الحجري في برنامج (SketchUP).

تقييم الدقة:

-الدقة الهندسية: لتقييم الدقة الهندسية للنموذج تم حساب الفرق بين بعض الأبعاد في النموذج والواقع كما هو موضح في الجدول (2).

العنصر	الأبعاد على النموذج بعد تطبيق المقياس (م)	الأبعاد الحقيقية (م)	فرق البعدين (م)	الدقة في المتر الطولي
عرض النافذة	1.149	1.15	0.001	0.001
ارتفاع النافذة	0.898	0.9	0.002	0.002
عرض الباب	0.898	0.9	0.002	0.002
طول الواجهة الجنوبية	5.00	5.03	0.03	0.006
طول الواجهة الغربية	4.06	4.08	0.02	0.005

جدول (2) المقارنة بين أبعاد الغرفة الحقيقية والأبعاد في النموذج بعد تطبيق المقياس.

من الجدول السابق، بأخذ المتوسط الحسابي لقيم الدقة في المتر الطولي نجد أن الدقة تساوي تقريباً 3ملم في المتر الطولي. وهذه الدقة تشير إلى إمكانية استخدام هذا النموذج الحفظ الرقمي والتطبيقات السياحية لمواقع التراث الثقافي.

-الكمالية:

من خلال شكل وتفاصيل النموذج الناتج، يمكن أن نلاحظ ما يلي:

1-النموذج يوضح كامل التفاصيل في الغرفة بشكل محاكي للواقع.

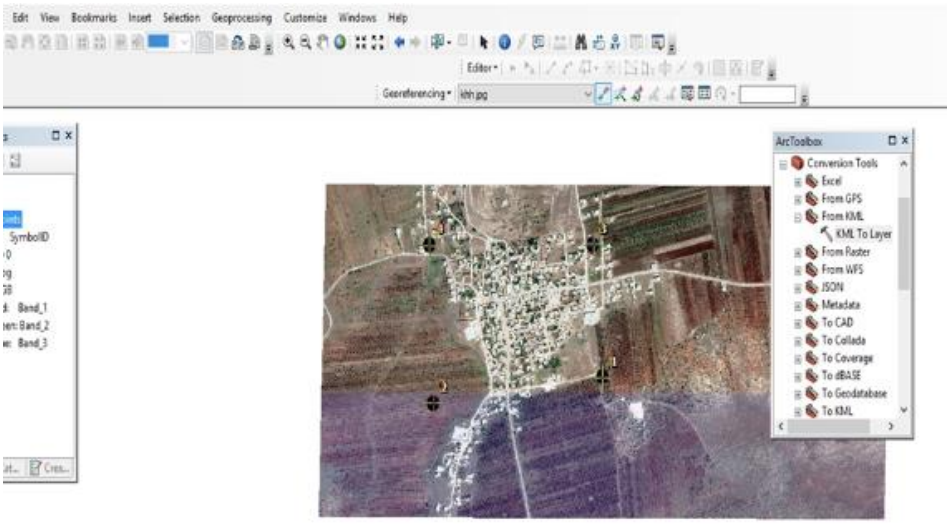
2-الربط بين ثلاث واجهات ا في زوايا الغرفة متين ومحاكي للواقع.

3–الربط في إحدى الزوايا ضعيف كونها ذات نسيج عمراني ضعيف تم التغلب على ذلك من خلال نمذجة الواجهة على حدا، وتسجيلها مع الواجهات الثلاثة.

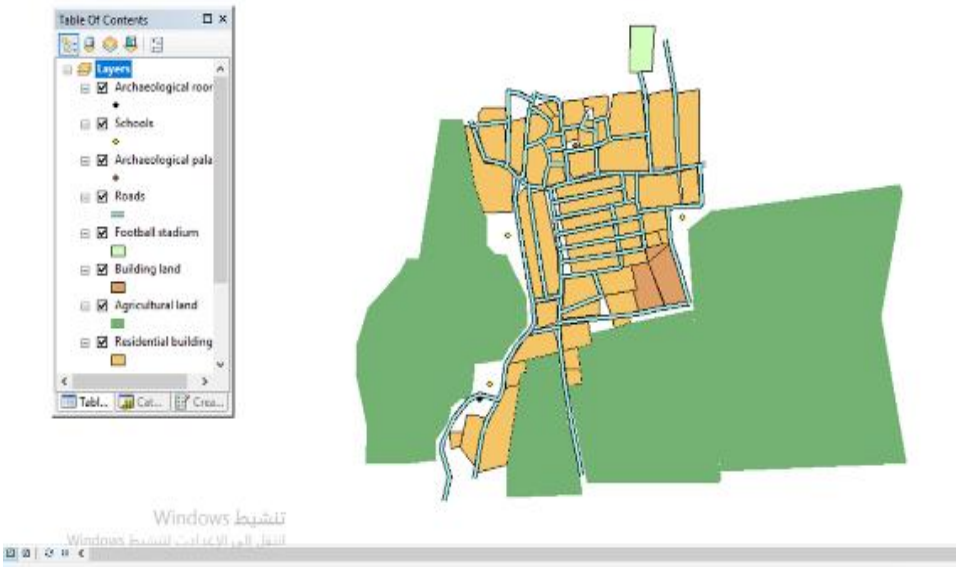
4–وجود نقص في تفاصيل إحدى الواجهات تم نمذجت هذه التفاصيل في برنامج (SketchUp).

3-4 الإرجاع الجغرافي للحالات الدراسية السابقة

تقع الحالات الدراسية السابقة في حماة، مصياف، قرية خربة القصر. تم استيراد صورة فضائية للموقع باستخدام برنامج (Google Earth Pro) تم القيام بعملية الإرجاع الجغرافي في برنامج (ArcMap)، الشكل (18)، ثم إعادة رسم الصورة المرجعة جغرافياً للحصول على خريطة مساحية رقمية للموقع، الشكل (19).



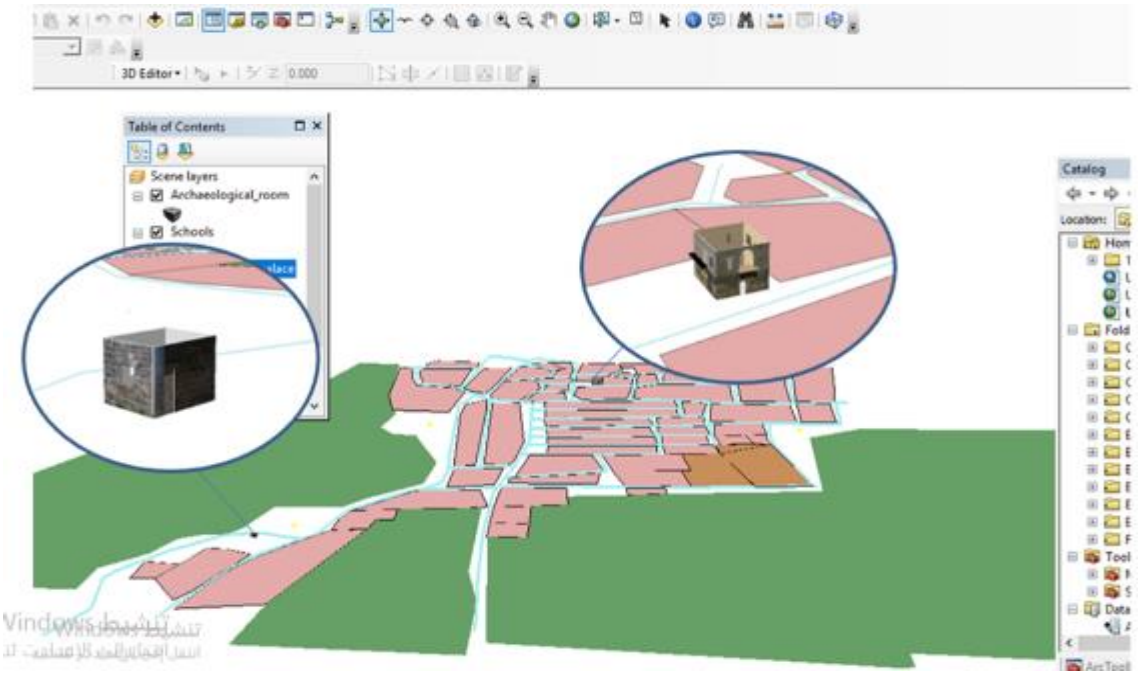
الشكل (18) الإرجاع الجغرافي للصورة الفضائية للموق



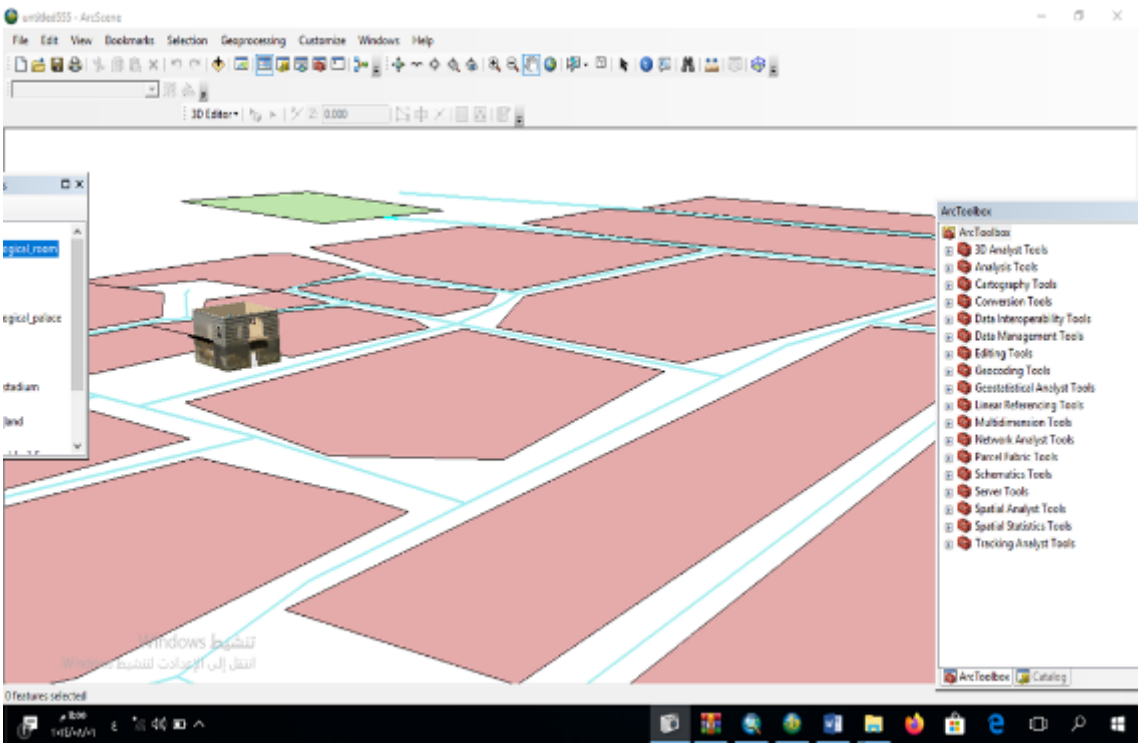
الشكل (19) الطبقات المرسومة في الخريطة المساحية الرقمية للموقع.

4-4 إدخال البيانات الوصفية والمكانية للنماذج باستخدام برنامج (ArcScene)

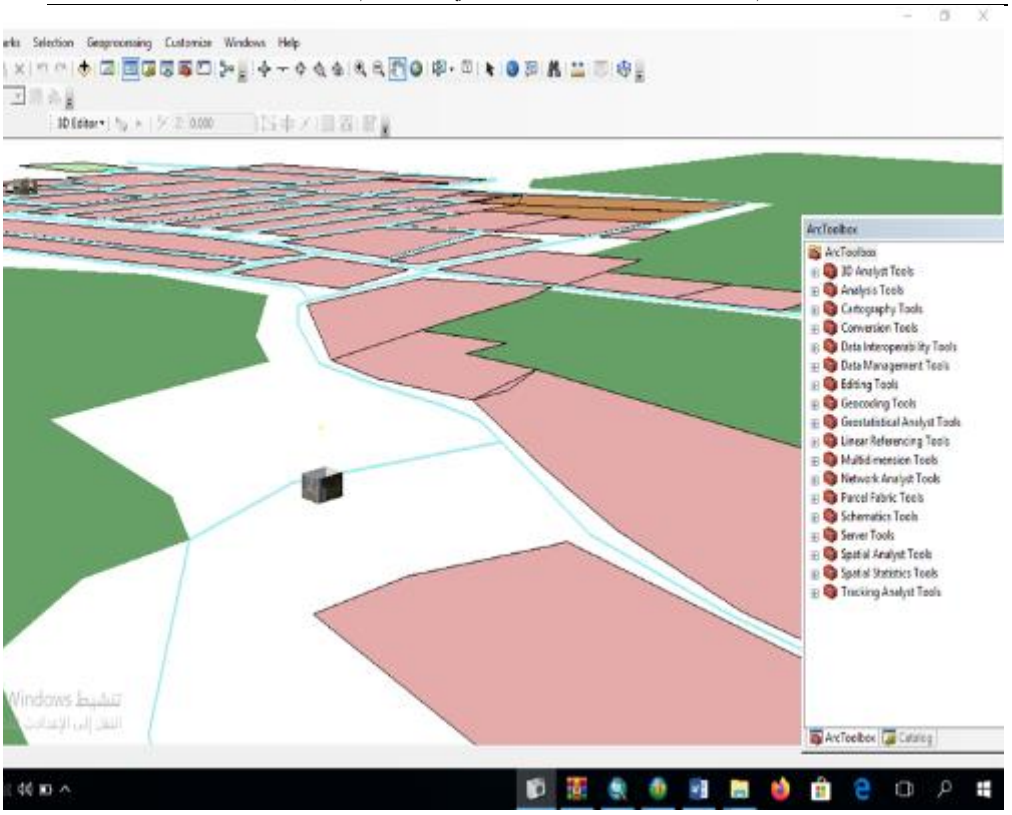
يتم نقل الطبقات المرسومة للموقع إلى برنامج (ArcScene) للقيام بإدخال البيانات المكانية والوصفية للنماذج السابقة ثم استيراد النماذج من برنامج (SketchUp) إلى برنامج (ArcScene) الشكل (20)، (21)، (22).



الشكل (20) الطبقات في برنامج (ArcScene).



الشكل (21) نموذج القصر في برنامج (ArcScene).



الشكل (22) نموذج الغرفة في برنامج (ArcScene).

يتم إدخال البيانات الوصفية من خلال الإجراءات التالية:

1–النقر على اسم الطبقة.

2–فتح جدول السمات عبر الأمر (Open Attribute Table).

3–إدخال البيانات الوصفية لطبقة القصر والغرفة. الشكل (23)، (24).



الشكل (23) البيانات الوصفية للقصر.



الشكل (24) البيانات الوصفية للغرفة الحجرية.

5- الاستنتاجات والتوصيات

في هذه المقالة تم تقديم منهجية منخفضة التكاليف لنمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام التصوير الرقمي ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). إذ تم تطبيق هذه المنهجية على حالتين دراسيتين بهدف تقييم النتائج وتحليلها. بناءاً على ذلك تم الوصول إلى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات.

يمكن أن نلخص أهم الاستنتاجات في ما يلي:

1- يمكن اعتبار تقنيات المساحة التصويرية الآلية منخفضة التكاليف مصدراً هاماً للبيانات اللازمة لقواعد بيانات نظم المعلومات المعمارية ومواقع التراث الثقافي.
2- تعد البرمجيات مفتوحة المصدر التي تؤتمت عمليات توجيه الصور، ومعالجة الغمامات النقطية وإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد حلاً بديلاً ورخيصاً مقارنةً بالأساليب التقليديّة والتي تعتبر ذات كلفة مادية ومعرفية عالية.
3- يمكن أن يساهم هذا البحث في تبسيط أعمال الحفظ والتوثيق الرقمي وتوفير نماذج رقمية موثقة وقابلة للاستخدام من خلال حفظ المعلومات المكانية والتفاصيل العمرانيّة.
4- يسمح التكامل بين المساحة التصويرية ونظم المعلومات الجغرافية بربط النماذج الناتجة بالموقع الجغرافي وإدخال البيانات الوصفية بهدف إجراء التحليلات المكانية اللاحقة.
5- يستطيع المهتمون بعلوم الآثار والتطبيقات السياحية تشكيل بنك من المعلومات الموثوقة من خلال النماذج ثلاثية الأبعاد والتي تساهم في توفير الوقت والجهد.
6- إن استخدام المنهجية المقترحة لا يتطلب معدات وتقنيات مكلفة، كما يمكن تطبيقها من قبل غير المختصين بالمساحة التصويرية.

من خلال هذا البحث يمكن أيضاً أن نوصي بما يلي:

1- إنّ إجراء عملية معايرة لكاميرا الهاتف النقال يمكن أنّ يؤدي إلى زيادة دقة النماذج الناتجة من الصور.

2- إنّ توفر رافعة أو أداة لالتقاط الصور في المناطق الصعبة للتصوير يمكن أن يسمح بتفادي حدود مسافة التراجع التصميمية ومشاكل الظلال.

3- إنّ وجود شبكة مساحية ونقاط تحكم أرضية سيرفع من دقة الإرجاع الجغرافي، ودون الحاجة لتطبيق مقياس.

4- دراسة الزمن الذي تستغرقه معالجة الصور مع إمكانيات المعالجة للحاسوب المستخدم الذي يمكن أن يسرع من عملية إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام البرامج المفتوحة المصدر.

6- المراجع العلمية

1- Moussa, W. (2018). 3D Digital Modeling by Integrating Surveying Data and Modern Techniques- Case Study: 3D Digital Preservation of Cultural heritage.

Al-Baath University Journal –Engineering Science Series 40 (35), 11-32.

2-Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., and Hartley, I. (2007). In Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications, (Whittles, Dunbeath, UK), pp. 266–292, 449.

3-Nister, D. (2004a). Automatic passive recovery of 3D from images and video. In Proc. 2nd Int. Symp. 3D Data Processing, Visualisation and Trans- Mission, (Thessaloniki, Greece), pp. 438–445.

4-Remondino, F., and El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. Photo¬gramm. Rec. 21, pp. 269–291.

5-Moussa, W. (2014). Integration of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Data Recording.

Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 725, München 2014, ISBN 978-3-7696- 5137-9, 162 S.

6- درويش، ح.، محمد، ع.، (2017). نظم المعلومات الجغرافية، منشورات جامعة البعث، كلية الهندسة المدنية، الجمهورية العربية السورية.

7- داود، جمعة محمد، (2014). مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

8- Gao,Y.L., Hu,B.L., & Jia,Y.H. (2013). 3D GIS Model Building Based on SketchUp. Applied Mechanics and Materials, 353, 3507-35010.

9- الخليل، ع.، زوباري، ع.، (2015). النمذجة ثلاثية الأبعاد للمواقع الأثرية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، منشورات مجلة جامعة تشرين، سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2)،

10-Toz, G., & Duran, Z. (2004). Documentation and analysis of cultural heritage by photogrametric methods and GIS: A case study. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 1-5.

11- Doğan, Y., & Yakar, M. (2018). GIS AND THREE-DIMENSIONAL MODELING FOR CULTURAL HERITAGES.Internation. Journal of Engineering and Geosciences, 3(2), 50-55.

12- Subiyanto, S., Prastyo, A. D., & Suprayogi, A. (2019). Application of geographical information system for the 3d modelling of close-range photogrammetry for documentation and landscape development of historical monuments. Journal of Pysics: Conference Series, 1321(3), p.032024.

13- CENGIZ, A., & GUNEY, Y. (2013). COMPARISON OF 3D CONSTRUCTION VISUALIZATION METHODS TOPROVIDE VISUAL SUPPORT IN GIS ENVIRONMENT FOR THE CONSTRUCTION PROJECTS.

14- Budiharto, W., Irwansyah, E., Suroso,J.S., Chowanda, A., Ngarianto, & H., Gunawan, A. A. S. (2021). Mapping and 3D

modelling using quadrotor drone and GIS. Journal of Big Data, 8, 1-12.

15-Waldhausl, P., & Ogleby,C. L. (1994). 3*3 rules for simpale photogrammetric documentation of architecture. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 30, 426-429.

16-Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., and Haala, N. (2013). Image Acquisition and Model Selection for Multi-View Stereo. (Trento, Italy: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences), pp. 251–258.

17-Snavely, K.N. (2008). Scene reconstruction and visualization from internet photo collections. PhD thesis, Uni. of Washington, USA, 210p.

تحليل أثر إدخال دقة النقاط المرجعية على دقة شبكات المثلثات

إعداد الطالبة المهندسة

عُلا عبد العزيز مُراد

جامعة حمص - كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الطبوغرافية

بإشراف:

د.م. أحمد العمر د.م. فائق شدود

المُلخص

تُعتبر شبكات التثليث الهيكل الأساسي الذي تستند إليه الأعمال المساحية، أو بمعنى آخر تُعد قاعدة الاستناد الأساسية للقياسات الأفقية وهي عبارة عن مجموعة من النقاط المثبتة ذات مواقع متباعدة تشكل رؤوس شبكة من المثلثات وتسمى هذه النقاط بنقاط المثلثات" Triangulation Points".

تتكون شبكات المثلثات من سلسلة chain من الأشكال الهندسية الأساسية، كالمثلث البسيط Single Triangles، أو رباعي مرصود القطرين Braced Quadrilatera، أو الشكل ذو النقطة

المركزية Central-Point Figure. حيث يتوقف شكل شبكات المثلثات وطريقة إنشاءها على عدة عوامل منها (الدقة المطلوبة، طبيعة الأرض..)

كما أنها تعد الأساس المساحي لشبكة المضلعات من أجل الوصول بالشبكات إلى الكثافة اللازمة لأعمال المسح للتفصيلات الطبيعية والاصطناعية كافةً.

ومن المعلوم أن دقة الأعمال المساحية بشكل عام، ترتبط إلى حد كبير بدقة الأساس المساحي المستخدم لها، وحيث يتم عادةً تعديل الشبكات باعتبار نقاط الإسناد لها ثابتة ولا يؤخذ بالحسبان دقتها باعتبارها قياسات تمت معالجتها مسبقاً وبالتالي تحوي مقداراً من الخطأ.

من هنا كانت أهمية تحليل دقة الإحداثيات لنقاط المثلثات ومعرفة مدى تأثيرها على الشبكات الجديدة التي ستبنى عليها.

حيث أنه تم في هذا البحث مناقشة بعض المسائل المتعلقة بتأسيس وإنشاء الشبكات الجيوديزية، ومن ثم تم تحليل عدد من الشبكات المنفذة سابقاً باستخدام جهاز (SOKIA 510K,TOPCON GTS 601) بحالتين : الأولى إدخال باعتبار النقاط المرجعية في الشبكة صحيحة وثابتة لاتحوي أخطاء، والثانية باعتبار دقة النقاط المرجعية، وذلك باستخدام برنامج MicroSurvey StarNet" 9" الذي يعتمد على نظرية التربيعات الصغرى في عملية التعديل وتمت المقارنة بين الحالتين ومناقشة نتائج التعديل (حيث كان أكبر فرق في إحداثيات النقاط في الحالتين 4 cm) وتم اقتراح بعض التوصيات بناءً على ذلك.

الكلمات المفتاحية: الشبكات الجيوديزية، النقاط المرجعية، الدقة، تعديل الشبكات.

Abstract

Triangulation networks are considered the basic structure on which surveying work is based. In other words, they are the basic reference base for horizontal measurements. They are a set of fixed points with widely spaced locations that form the vertices of a network of triangles. These points are called "Triangulation Points".

Triangle networks consist of a chain of basic geometric shapes, such as a simple triangle, a braced quadrilateral, or a central-point figure. The shape of the triangle networks and the method of creating them depend on several factors, including (the required accuracy, the nature of the ground...)

It is also the cadastral basis for the polygon network in order to reach the density necessary for surveying of all natural and artificial details.
It is known that the accuracy of surveying work in general is largely related to the accuracy of the cadastral basis used for it, as grids are usually modified considering their reference points as fixed and their accuracy is not taken into account as they are measurements that have been pre-processed and thus contain some amount of error.
Hence the importance of analyzing the accuracy of the coordinates of the triangle points and knowing the extent of their impact on the new networks that will be built on them
In this research, some issues related to the establishment and establishment of geospatial networks were discussed, and then a number of previously implemented networks were analyzed using a device.(SOKIA 510K,TOPCON GTS 601) In two cases: the first was introduced considering the reference points in the network were correct and stable and did not contain errors, and the second was based on the accuracy of the reference points, using the "MicroSurvey StarNet 9" program, which relies on least squares theory in the modification process. The two cases were compared and the results of the modification were discussed (as the largest difference was in The coordinates of the points in both cases are 4 cm, and some recommendations were proposed based on this.

Keywords: Geodesic Networks, Reference Points, Accuracy, Network Adjustment.

1- مقدمة:

إن تنفيذ الأعمال المساحية في أي مكان كان ولأي هدف كان، يتطلب دوماً وجود مجموعة من النقاط معلومة الإحداثيات والثابتة والدائمة من سطح الأرض بحيث تعتبر نقاطاً مرجعية تستند إليها هذه الأعمال. لهذا فإن الجهات الحكومية المختصة والمؤسسات المساحية في أي دولة في العالم تسعى دوماً إلى تغطية كامل مساحة أراضيها بشبكة من النقاط والمراصد المساحية والجيوديزية وتثبيتها في الأرض وحساب قيم إحداثياتها في جملة الإحداثيات

المعتمدة في هذا الدولة، وذلك بغية جعلها كنقاط أساس مساحي ثابتة ودائمة تربط بها كافة الأعمال المساحية المنفذة في أي بقعة من أراضي الدولة المعنية وعلى كامل امتدادها.

بهذا الشكل يمكننا أن نعرّف شبكات النقاط المساحية أو الجيوديزية على أنها مجموعة النقاط من سطح الأرض التي حددت مواقعها في أماكن ثابتة ومعروفة ويحكم العلاقة بين بعضها البعض أساس رياضي واضح واشتراطات مساحية محددة.

يمكن تعيين أضلاع هذه الشبكة بقياس خط يسمى خط القاعدة (Base Line) بدقة عالية ويربط بشبكة المثلثات، ومن ثم تقاس الزوايا الأفقية بين الأضلاع وتصحح. ومن خط القاعدة والزوايا الأفقية المصححة سابقاً تُحسب أطوال الأضلاع وانحرافاتها ثم نحسب إحداثيات النقاط لتكون مرجعاً للأعمال الطبوغرافية [1].

إن أهمية الشبكات الجيوديزية باعتبارها ركيزة أساسية لمُجمل الأعمال المساحية تحتم العناية والدقة في مراحل إنشاءها ابتداءاً من أعمال المراقبة واختيار مواقع نقاطها مع مراعاة كافة الشروط المذكورة في دفتر الشروط الفنية في سوريا ووصولاً إلى مرحلة التنفيذ وتثبيت نقاط الشبكة[4].

عند تنفيذ مشاريع هندسية ذات أهمية خاصة وتتطلب دقة عالية في التنفيذ، تُؤسس لهذا الغرض شبكات جيوديزية محلية (شبكة مثلثات أو مختلطة وشبكة تسوية) وتكون حرة مستقلة أو مربوطة.

إن عملية تكثيف نقاط الشبكة تكون عن طريق إجراء الكثير من القياسات الفائضة عن عدد القياسات اللازم للتعديل (زوايا، مسافات، سموت...) بالاعتماد على نقاط مرجعية سابقة ومن المعروف أنه مهما تمت مراعاة الدقة في القياس واستخدام أدق الأجهزة وأمهر المساحين بالرغم من ذلك نتائج القياسات حُكماً ستكون حاملة لأخطاء ولذلك يتم اعتماد نظرية الأخطاء ونظرية التربيعات الصغرى والتي منها يتم تحديد القيمة الأكثر احتمالا للقيم المقيسة بعدة طرق (مباشرة، غير مباشرة، شرطية..) [6] ,[5].

عادةً عند تعديل الشبكات المُكثفة الحديثة يتم اعتبار نقاط الإسناد المثلثية لها صحيحة وثابتة بالرغم من أنها قياسات قديمة وتم إجراء التعديل عليها وبما أننا نسعى لزيادة الدقة الناتجة من العمل المساحي والذي يرتبط بدقة النقاط المرجعية المسنود إليها كان لابد من

دراسة أثر دقة النقاط المرجعية على دقة ونتائج الشبكات المرتبطة بها لمعرفة ما إذا كان الفرض السابق يمكن اعتباره صحيحاً وذلك حسب دقة العمل المطلوب ودرجة أهميته ,[3] [2].

2- أهمية وأهداف البحث:

يعتمد إنتاج الخرائط والمخططات وكذلك كافة الأعمال المساحية على الأساس الجيوديزي الذي يتكون من شبكات مثلثاتية مختلفة تعاني من عدم الانسجام الهندسي وموثوقية الإحداثيات ودقتها حيث إن دقة هذه الخرائط المساحية والأعمال المرتبطة بها تتوقف بشكل أساسي على دقة نقاط المثلثات بالإضافة إلى تقنيات القياس والمعالجة وبالتالي لزيادة دقة العمل المطلوب لابد من زيادة دقة نقاط الشبكة المثلثاتية المستندة إليها.

يهدف البحث إلى دراسة وتحليل مدى تأثير إدخال أخطاء البدائيات على دقة حساب وتعديل شبكات التكثيف المساحية وما ينجم عن ذلك من أثر على جودة الأعمال الهندسية المستندة إليها.

3- طرائق البحث ومواده:

3-1 إنشاء وتأسيس شبكات المثلثات:

آ- المبادئ العامة لإنشاء الشبكات المساحية:

يتطلب إنشاء شبكات الإحداثيات بكافة أنواعها الأخذ بعين الاعتبار أموراً أساسية عدة منها:

1-اختيار الشكل الهندسي العام لها 2- كيفية توزع نقاطها على المساحة الممتدة عليها 3- تحديد متانة هذا الشكل 4- معرفة قيم الدقة النسبية لتعيين مواقع نقاطها فيما بينها.

إن القاعدة الأساسية في إنشاء شبكات النقاط المساحية والجيوديزية يمكن إنجازها بالعبارة التالية:

" من العام إلى الخاص أو من الكلي إلى التفصيلي". أي أن هذا الإنشاء يتم عموماً وفق الترتيب التالي:

يتم في البداية زرع نقاط مساحية على امتداد كامل مساحة الدولة وبأبعاد كبيرة نسبياً فيما بينها قد يصل إلى عشرات الكيلومترات وتقاس لهذه النقاط سموتها الفلكية عبر ربطها بما يعرف بنقاط (لابلاس) في كل دولة، بحيث تشكل هذه النقاط شبكة مثلثات واحدة تعرف بالشبكات الجيوديزية –الفلكية أو شبكات لدرجة الأولى والذي يعد منطلقاً ومستنداً لإنشاء شبكات المثلثات الأقل دقة وذلك عبر ما يدعى بعملية تكثيف الشبكات الجيوديزية.

ب– النقاط الواجب مراعاتها في اختيار نقاط المثلثات:

1–متانة الأشكال.

2–اختيار النقاط بحيث تكون في مواقع مرتفعة ومشرفة على مناطق واسعة.

3–يجب أن نرى من كل نقطة جميع النقاط التي حولها بوضوح.

4–يجب أن تكون الزوايا بين الأضلاع لا تقل عن 30ولا تزيد عن 120 بقدر المستطاع.

5– أن تكون عملية إزالة العوائق من أشجار والعقبات الأخرى التي تعترض خطوط المثلثات أقل ما يمكن.

6– تجنب لنقاط القريبة من سطح الأرض ما أمكن وخصوصاً المجاورة للمدن، حيث انكسار الضوء شديد في تلك المناطق.

7–أن توضع النقاط في أماكن ثابتة غير معرضة للعبث فيها أو الضياع مع سهولة الوصول إليها.

8–ألا تكون الخطوط طويلة جداً أكثر من اللازم وألا تكون قصيرة جداً أكثر من اللازم.

9–يجب أن يؤخذ بالاعتبار تكاليف المشروع فلا نتوخى دقة أكبر من الضرورية ولا داعي لها.

10– تجنب الأرصاد غير المركزية بقدر الإمكان لتقليل العمليات الحسابية

ج– الطرق الرئيسة لإنشاء شبكات المثلثات:

تستخدم في إنشاء الشبكات المساحية طرائق متعددة، يحدد اختيار أي منها عوامل عدة أهمها: الدقة المطلوبة من شبكة الإحداثيات المُقامة والجدوى الاقتصادية منها وطبيعة

الغاية أو الهدف الذي تخدمه هذه الشبكة وأهم هذه الطرق التي تعتمد على الأجهزة التقليدية:

(a) طريقة التثليث الزاوي:

تستند هذه الطريقة في مبدأها على عملية تثبيت نقاط مساحية فوق قمم المرتفعات وفي الأماكن المكشوفة والمطلة على بعضها البعض بحيث تحقق رؤية متبادلة فيما بينها وتؤلف في شكلها الهندسي مجموعة أو سلسلة من المثلثات المتصلة بعضها ببعض.

- **من أهم مزايا هذا النوع من الشبكات:**

1- إمكانية إنشاءها في كافة أنواع التضاريس الطبيعية والظروف الجغرافية.
2- العدد الوفير من القياسات المساحية الفائضة فيها مما يسمح بإجراء التحقيقات الحسابية الضرورية على النتائج.
3- الدقة العالية في تعيين إحداثيات نقاطها.

(b) طريقة التثليث الخطي:

إن الشبكات المشكلة بهذه الطريقة تشبه تماماً من حيث الشكل والتصميم شبكات لتثليث الزاوي، ولكن مع وجود فارق واحد بينهما يتعلق بطبيعة وأبعاد العناصر المقاسة فيها، حيث يتم الاستعاضة عن قياس الزوايا الداخلية في مثلثات الشبكة بقياس كافة أطوال أضلاع هذه المثلثات مع المحافظة على تعيين قيم سموت هذه الأضلاع، تستخدم عادةَ عند إنشاء شبكات التثليث من الدرجتين الثالثة والرابعة

(c) طريقة التثليث المشترك:

تقاس في هذه الطريقة كافة أطوال أضلاع المثلثات وجميع الزوايا الداخلية الواقعة بينها ويصار إلى تعيين قيمة سمت (لابلاس) لأحد الأضلاع لكل مجموعة مثلثات متجاورة على حدى.

إن الوقت والجهد الكبيرين المبذولين لإنشاء مثل هذا النوع من الشبكات تبررهما الدقة العالية التي نحصل عليها في تعيين قيم إحداثيات نقاطها، وذلك بسبب العدد الكبير من القياسات الفائضة فيها.

وخاصة عندما تساوي قيمة الدقة النسبية لقياس الاتجاهات مقدرة بالراديان بالدقة النسبية لقياس أطوال الأضلاع .($\frac{m_\alpha}{\rho} = \frac{m_s}{S}$)

د- **درجات المثلثات:**

يلجأ عادة إلى تأسيس الشبكة على مراحل فتنشأ شبكة من المثلثات ذات التباعد الكبير بين نقاطها تعتبر هيكلاً أساسياً تستند عليها شبكة ثانية ذات أطوال أضلاع أقل، وتكون بدورها هيكلاً لشبكة ثالثة وهكذا. ويصطلح على تسمية الشبكة الأساسية بشبكة الدرجة الأولى والتي تليها بشبكة الدرجة الثانية وهكذا. وتقل دقة القياسات اللازمة للوصول إلى دقة محددة لمواقع النقاط من الدرجة الأولى إلى الثانية فالثالثة؛ بسبب تناقص أطوال الأضلاع، وبذلك يتم الوصول إلى نتيجة اقتصادية ضمن الدقة والتجانس المطلوبين.

ولكل دولة من دول العالم شبكة جيوديزية متكاملة تغطي أراضي الدولة بأكملها والتي تتكون من عدة نقاط جيوديزية ترتبط ببعضها البعض بسلسلة من المثلثات أو المضلعات، تنقسم هذه الشبكة عادة إلى أربع درجات تختلف فيما بينها بطول الأضلاع ودقة قياس الزوايا والأضلاع، وتصنف الشبكات الجيوديزية في سورية إلى:

1. مثلثات الدرجة الأولى (المثلثات الجيوديزية):

وهي من أهم وأدق أنواع الشبكات المثلثية ويجب عند إجراء التنفيذ والحسابات من أخذ الشكل الحقيقي للأرض في الاعتبار وتعتبر مثلثات الدرجة الأولى هي الحكم والربط لضبط مثلثات الدرجات الأخرى.

ونظراً لعدم وجود نقاط ربط سابقة لهذا النوع من المثلثات فإن إنشاء هذه المثلثات يجب ان يُراعى فيه الآتي:

- الدقة العالية جداً في قياس خط القاعدة.
- إتباع أدق الطرق في أخذ الأرصاد.
- إجراء عمليات تحقيق داخل الشبكة نفسها بحساب الإحداثيات الجغرافية لبعض نقاط الشبكة وذلك في الإرصادات الفلكية.
- الربط على نقط الأساس إن وجدت مع الضرورة بأن تكون إحدى النهايات كل خط قاعدة نقطة أساس.

2. مثلثات الدرجة الثانية:

وهي تنشأ بين نقاط مثلثات الدرجة الأولى وترتبط عليها وذلك بغرض تكثيف المنطقة ، ولذلك فإن نقاطها تكون أكثر تقارباً من نقاط الدرجة الأولى، وهي تعتبر مرجعاً وضابط لمثلثات الدرجتين الثالثة والرابعة.

3. مثلثات الدرجة الثالثة:

تنشأ بين نقاط الدرجة الثانية بغرض تكثيف وتقسيم المنطقة بين نقاط المثلثات ، ويتم ربط نقاط مثلثات الدرجة الثالثة على نقاط مثلثات الدرجتين الأولى و الثانية.

4. مثلثات الدرجة الرابعة:

تستعمل غالباً في الأراضي الجبلية أو عندما يراد إنشاء نقاط مثلثات جديدة وتنشأ بالربط على مثلثات الدرجة الثالثة، وهي أقل أنواع المثلثات دقة، وأطوال أضلاعها حسب ما تسمح به الظروف وطبيعة الأرض، ولا تستعمل مثلثات الدرجة الرابعة في الأراضي المستوية وإنما تشكل منها مضلعات دقيقة.

– تحدد القياسات الجيوديزية المواقع النسبية للنقاط على سطح الأرض ،حيث أن هذه النقاط ترتبط مع بعضها البعض بزاوية أفقية أو زاوية شاقولية أو مسافة، في هذا البحث تم إجراء القياسات بالطرق التقليدية باستخدام جهاز المحطة المتكاملة(Topcon GTS 601, SOKIA 510K) وجهاز النيفو، يوفر أصغر تدريجة قدرها 1^{cc}.

3-2 تعديل القياسات:

أي قياسات تجري بغرض إيجاد كميات مجهولة تحتوي على أخطاء وبعد حذف ما يمكن حذفه من الأخطاء سواءً أكانت منتظمة أو غير منتظمة تبقى هناك أخطاء أخرى لم تصحح هذا يكون السبب في لجوء الراصد إلى رصد كميات إضافية بحيث يكون العدد الكلي للأرصاد أكثر من العدد الضروري وهذا يؤدي إلى تناقض الأرصاد وبالتالي لابد من طريقة نستطيع من خلالها تحسين هذه الأرصاد وهذا بإضافة تصحيحات لها حيث:

- أن تكون هذه التصحيحات صغيرة.
- أن تُزال التناقضات الناشئة من الأرصاد الزائدة.
- أن نحصل على قيم للمجاهيل المطلوبة الأكثر احتمالاً من أي قيم أخرى.

ونجد أن هناك أكثر من طريقة ولكن أفضل الطرق هي طريقة غاوص والتي استنبطها من نظرية الإحصاء على أساس أن التوزيع التكراري للأخطاء يعتبر توزيع عادي وتسمى بطريقة " التربيعات الصغرى"، والتي تنص على أن التصحيحات المعطاة للكميات المرصودة تكون بحيث أن مجموع مربعاتها أقل مايمكن.

3-2-1 تعديل الشبكات بطريقة التربيعات الصغرى: (adjustment of networks by least squares)

إن طرق تعديل القياسات المساحية وفق مبدأ التربيعات الصغرى تسمح بالحصول على مُقدرات المجاهيل المعينة بقياسات، حيث أن هذه القياسات تكون أدق من القياسات.
وأن القياسات (الأرصاد) المساحية تحوي دوماً على قياسات فائضة عن الحاجة، وهي مطلوبة دائماً في الأعمال الجيوديزية الدقيقة وغيرها، وذلك بهدف الحصول على الإحداثيات المعدلة للنقاط المجهولة.

إن عملية تعديل الشبكات بطريقة التربيعات الصغرى تسعى إلى إيجاد قيم المجاهيل والتي تمثل بشعاع المجاهيل $(x_1, x_2, \dots \dots x_n)$ بشكل مباشر أو غير مباشر بواسطة الأرصاد (L) الممثلة بالشعاع $(L_1, L_2, \dots . . L_N)$.

3-2-2 تطبيقات نظرية التربيعات الصغرى:

يمكن حصر تطبيقات نظرية التربيعات الصغرى في الآتي:

1. الرصد المباشر لمجهول واحد.
2. الرصد غير المباشر .
3. الطريقة الشرطية.

➢ **طريقة معادلات الرصد(الرصد غير المباشر) :**

هي الطريقة غير المباشرة أو الوسيطة وفيها تكتب معادلات الرصد بعد الكميات المقاسة في الشبكة أو المشروع حيث نجد أن هذه إحدى مشاكل هذه الطريقة حيث يكون عدد المعادلات التي يجب كتابتها كبيرة جداً في حالة الشبكات التي تمتد إلى مساحات طويلة أو تلك التي تحتوي على عدد كبير من النقاط حيث نجد أن حل هذه المعادلات

بالحاسوب يخلق أو يسبب الكثير من المشاكل الحسابية أو الإحصائية (مثل تكوين المصفوفات الصفرية أو صعوبة تكوين كل معادلات الأرصاد مكتملة)

- **المعادلات الشرطية:**

هي الطريقة غير الوسيطية وتعطي عدد أقل من المعادلات حيث يساوي عدد هذه المعادلات عدد حالات الشروط الهندسية التي لابد من تحقيقها وهذه الطريقة يطلق عليها أيضاً طريقة الروابط.

- **النقاط التي يجب مراعاتها في الطريقة الشرطية:**

1. يجب التأكد من كتابة المعادلات الكاملة المستقلة للشكل وإلا لن يكون الشكل صحيحاً من الناحية الهندسية بعد إجراء عملية الضبط.
2. يجب أن تكون المعادلات كلها في صورة خطية بالنسبة للمجاهيل حيث نلاحظ أن المعادلات المثلثية والمحلية قد أمكن كتابتها في الصورة الخطية مباشرةً أما المعادلات الضلعية فتحتاج إلى تحويلات.
3. الطريقة الشرطية مبنية على الأساس الرياضي لنظرية أقل مجموع المربعات حيث أنها تعطي حلاً وحيداً مهما اختلفت خطوات الحل.

3-2-3 نماذج التوابع الخطية لتعديل الشبكات الثنائية:

تعتبر طريقة (التغيير في الإحداثيات) الطريقة البارامترية إحدى الطرق الأساسية المتبعة في تعديل الشبكات المثلثاتية وشبكات التضليع حيث تقاس فيها الزوايا المحصورة بين الأضلاع وأطوال الأضلاع، وتعتبر من أهم الطرق المفضلة والمستخدمة في الحواسيب في أعمال التعديل المساحي.

وتعتمد هذه الطريقة على تشكيل معادلات الرصد والتي تشمل التغيير الحاصل في إحداثيات نقاط الشبكة نتيجة للفروق الناتجة من مقارنة العناصر المقيسة فيها (أطوال وزوايا) مع العناصر المحسوبة في الشبكة من الإحداثيات التقريبية والتي تحدد دون التقيد بالدقة العالية لها.

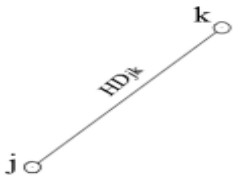
ويتم تكوين المعادلات على أساس نظرية التربيعات الصغرى بدلالة المجاهيل والتي بحلها يتم الحصول على القيم الأكثر احتمالاً لقيم المجاهيل.

وفي الشبكات المستوية تشكل إحداثيات النقاط المجهولة عناصر لا يمكن قياسها قياساً مباشراً، تصنف العناصر التي يمكن قياسها قياساً مباشراً عند إنشاء الشبكات المستوية إلى: قياسات طولية، وقياسات زاوية والتي تصنف بدورها إلى ثلاثة أنواع: (زوايا، اتجاهات والسموت).

- **العناصر الطولية (المسافات):**

إن العنصر الرئيسي المقاس هو المسافة والمجاهيل المرتبطة هي إحداثيات النقاط.

تعطى المسافة الأفقية HD_{jk} بين نقطتين j,k بدلالة الإحداثيات المستوية بالعلاقة:



$$HD_{jk} = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}$$

$HD_{jk}^{(0)}$ القيمة التقريبية للمسافة الأفقية المقاسة تعطى بالعلاقة:

$$HD_{jk}^{(0)} = \sqrt{(X_k^{(0)} - X_j^{(0)})^2 + (Y_k^{(0)} - Y_j^{(0)})^2}$$

وباعتبار أن $HD_{jk} = HD_{jk}^{'} + v_{jk}$ حيث أن:

$HD_{jk}^{'}$ القيمة المقاسة للمسافة، v_{jk} قيمة التصحيح الواجب إدخاله على القياس.

تعطى العلاقة التفاضلية في نموذج الأرصاد للمسافات المقاسة.

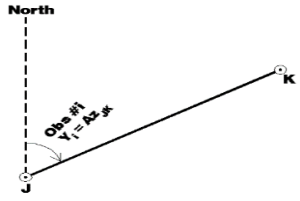
$$v_{jk} = a_{jk} \times dX_j + b_{jk} \times dY_j - a_{jk} \times dX_k - b_{jk} \times dY_k - w_{jk}$$

حيث:

$$a_{jk} = \frac{X_j^{(0)} - X_k^{(0)}}{HD_{jk}^{(0)}} \; ; \; b_{jk} = \frac{Y_j^{(0)} - Y_k^{(0)}}{HD_{jk}^{(0)}} \; ; w_{jk} = HD_{jk}^{'} - HD_{jk}^{(0)}$$

السموت المقاسة:

يعطى السمت الاعتباري G_{jk} للاتجاه jk بدلالة إحداثيات الرؤوس بالعلاقة:



$$\hat{X}_i = X_i + v_i = arctg \frac{X_k - X_i}{Y_k - Y_i} + ct$$

$$v_i = arctg \frac{X_k - X_i}{Y_k - Y_i} + ct - X_i$$

باعتماد الرموز التالية:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^{(0)} = \frac{y_j^0 - y_k^0}{(HD_i^0)^2}\,\rho = c_{jk}$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial y_j}\right)^{(0)} = -\frac{x_j^0 - x_k^0}{(HD_i^0)^2}\,\rho = d_{jk}$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x_k}\right)^{(0)} = -\left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^{(0)} = -c_{jk}$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial y_k}\right)^{(0)} = -\left(\frac{\partial f}{\partial y_j}\right)^{(0)} = -d_{jk}$$

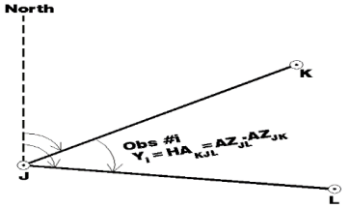
تعطى العلاقة التفاضلية للسموت في نموذج الأرصاد:

$$v_{jk} = c_{jk} \times dX_j + d_{jk} \times dY_j - c_{jk} \times dX_k - d_{jk} \times dY_k - w_{jk}$$

- **الزوايا الأفقية المقاسة:**

ترتبط الزاوية الأفقية HA_{kjl} بسموت ضلعيها G_{jk} و G_{jl} من خلال العلاقة:

$$HA_{kjl} = G_{jl} - G_{jk}$$



وبالتالي يمكننا التعبير عن الزاوية الأفقية بدلالة إحداثيات رؤوس النقاط بالعلاقة:

$$\hat{X}_i = X_i + v_i = arctg\,\frac{X_L - X_j}{Y_L - Y_j} - arctg\,\frac{X_k - X_j}{Y_k - Y_j} + ct$$

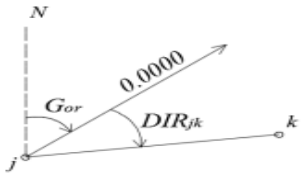
$$v_i = arctg\,\frac{X_L - X_j}{Y_L - Y_j} - arctg\,\frac{X_k - X_j}{Y_k - Y_j} + ct - X_i$$

العلاقة التفاضلية للزوايا الأفقية في نموذج الأرصاد:

$$v_{jk} = c_{jk} \times dX_k + d_{jk} \times dY_k + (c_{jl} - c_{jk}) \times dX_j + (d_{jl} - d_{jk}) \times dY_j - c_{jl} \times dX_l - d_{jl} \times dY_l - w_{kjl}$$

- **الاتجاهات المقاسة:**

يعطى الاتجاه المقاس DIR_{jk} بالعلاقة :



$$DIR_{jk} = G_{jk} - G_{or}$$

$$DIR_{jk} = f(X_j, Y_j, X_k, Y_k, G_{or}) = arctg\ \frac{(X_k - X_j)}{(Y_k - Y_j)} + const - G_{or}$$

بنشر العلاقة وفق تايلور والاشتقاق الجزئي بالنسبة للإحداثيات نحصل على العلاقة التفاضلية للاتجاهات الأفقية في نموذج الأرصاد:

$$v_{jk} = -dG_{or} + c_{jk} \times dX_j + d_{jk} \times dY_j - c_{jk} \times dX_k - d_{jk} \times dY_k - w_{jk}$$

2-3 المعايير الإحصائية المستخدمة في البحث:

- الخطأ المتوسط التربيعي (M_x) على الإحداثي X.
- الخطأ المتوسط التربيعي (M_y) على الإحداثي Y.
- الخطأ المتوسط التربيعي (M_{xy}) لموقع النقطة الأفقي (X,Y) في حال كانت الأرصاد تتبع للتوزيع الطبيعي يحسب من العلاقة:

$$M_{xy} = \frac{\sum v_i}{n} \ldots . (1)$$

حيث v_i هي قيمة الرواسب (التصحيحات) وهي مقدار الفرق بين قيمة القياسات المعدلة والقياسات الحقلية المجراة.

4- التطبيق العملي لفكرة البحث:

عادةً يتم اعتبار نقاط الشبكة الجيوديزية ثابتة لا تحوي أخطاءً في هذا البحث سيتم مناقشة فكرة تأثير إدخال الخطأ المتوسط التربيعي للنقاط المرجعية لمعرفة الفرق بين الحالتين (اعتبار نقاط شبكة الإسناد ثابتة، وعند إدخال الخطأ المتوسط التربيعي لها) ومدى تأثير أخطاء البدايات على التوزيع الطبيعي لأخطاء القياسات.

تم دراسة 5 حالات مختلفة من الشبكات الجيوديزية كما هي موضحة في الجدول (1) وتم التعديل حسب نظرية التربيعات الصغرى باستخدام برنامج MicroSurvey StarNet V9 وفق الحالتين:

1- اعتبار نقاط الأساس الجيوديزي ثابتة (الخطأ المتوسط التربيعي لها يساوي الصفر).
2- إدخال دقة نقاط الأساس الجيوديزي.

وفي معظم المشاريع المساحية تكون دقة النقاط المرجعية غير مذكورة في إضبارة المشروع (لافتراضها نقاط ثابتة) لذلك في الحالة الثانية المدروسة في هذا البحث سيتم اعتبار الدقة المكانية لتموضع النقاط المرجعية لشبكة المثلثات كما هو وارد في دفتر الشروط الفنية لدقة نقاط المثلثات.

$$M_{x,y} = \pm 4\ cm$$

وبفرض أن $M_x = M_y$ يمكن استنتاج:

$$M_{x,y} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \sqrt{2M_x^2} = \pm 4\ cm$$

$$\rightarrow M_x = M_y = \pm 2.8\ cm$$

4-1 لمحة عن الشبكات المدروسة:

- **الشبكة الأولى:**

- مشروع الرفع الطبوغرافي لقطعة الأرض المخصصة للقسم النباتي في مزرعة كلية الزراعة بجامعة البعث، شبكة المثلثات مؤلفة من النقاط (HO1، T9، T3) نقاط عقارية، وتم زرع وتثبيت نقطة مثلثات جديدة هي النقطة: /TZ1/ بحيث تغطي النقاط مساحة منطقة العمل /100/ هكتار، توزيع النقاط موضح في الشكل (1) في الجدول (1).

- **الشبكة الثانية:**

- مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة بسيرين في محافظة حماه، تم قياس شبكة مثلثات مؤلفة من (6) نقاط، منها ثلاث نقاط جديدة ونقطة مساعدة واحدة هي النقطة (MA) بحيث

تغطي منطقة المسح والتي تبلغ /150/ هكتار، أخذت النقاط الجديدة الأسماء (T3,T2,S1)، توزيع النقاط موضح في الشكل (2) في الجدول (1).

- **الشبكة الثالثة:**

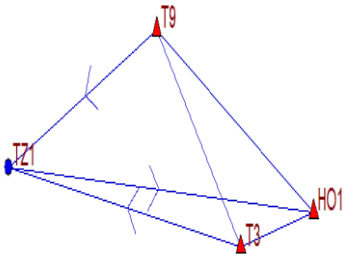
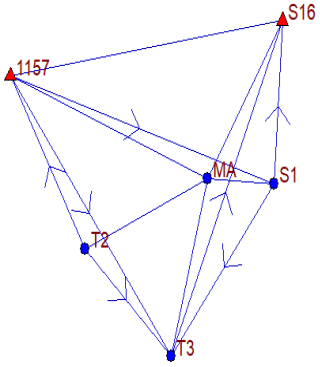
- مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة اللطامنة في محافظة حماه، تم قياس شبكة مثلثات مؤلفة من (11) نقطة. منها (3) نقاط قديمة ,(S3 , S1, 4626) و(8) نقاط جديدة ,S42) (S6, M, S2,S5,S66, 4749,S8 بحيث تغطي منطقة المسح (575) هكتار، توزيع النقاط موضح في الشكل (3) في الجدول(1).

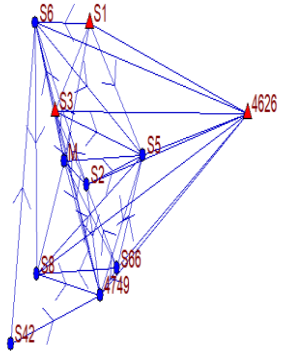
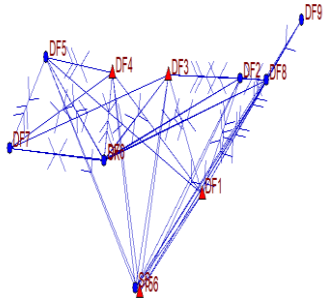
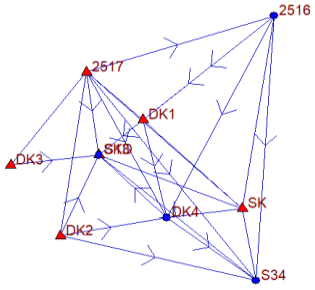
- **الشبكة الرابعة:**

- مشروع الرفع الطبوغرافي لقرية فاحل في محافظة حمص، تم قياس شبكة مثلثات مؤلفة من عشر نقاط. منها أربع نقاط قديمة هي النقاط ,F1,F3,F4 و ست نقاط جديدة هي النقاط F2,F5,F6,F7,F8, F9، بحيث تغطي منطقة المسح (215) هكتار، تم تثبيت نقطتي مثلثات مساعدتين أعطيتا الأسماء SS,SK، توزيع النقاط موضح في الشكل (1) في الجدول(1).

- **الشبكة الخامسة:**

- مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة كفربهم في محافظة حماه، تم قياس شبكة مثلثات مؤلفة من (10) نقاط. منها (4) نقاط جديدة (DK4,1516,S13,S34) و (6) نقاط قديمة (DK1,DK2,DK3,SK,2517,SKD) بحيث تغطي النقاط مساحة منطقة العمل (490) هكتار، توزيع النقاط موضح في الشكل (1) في الجدول (1).

اسم المشروع	الشبكة	عد النقاط المرجعية	عدد النقاط الجديدة
مشروع الرفع الطبوغرافي في كلية الزراعة بجامعة البعث	 الشكل (1)	3	1
مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة بسيرين	 الشكل (2)	2	4

مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة اللطامنة	 الشكل (3)	3	8
مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة فاحل	 الشكل (4)	4	6
مشروع الرفع الطبوغرافي لقرية كفربهم	 الشكل (5)	6	4

الجدول (1)

4-2 تعديل الشبكات وتقييم النتائج:

تم إجراء عملية التعديل وفق المراحل التالية:

- إجراء القياسات الحقلية.
- تصفية القياسات الحقلية واستبعاد القياسات الشاذة منها.
- تجهيز بيانات القياسات بالصيغة المناسبة لإدخالها إلى البرنامج.
- ضبط إعدادات البرنامج بما يتوافق مع خصائص الجهاز المستخدم في عملية قياس الشبكات.

في هذا البحث تم تعديل الشبكات المدروسة في الحالتين (اعتبار النقاط المرجعية ثابتة/ إدخال أخطاءها) وفق المراحل المذكورة سابقاً، وكانت إحداثيات النقاط بعد التعديل والخطأ الناتج عنها وفق ما هو موضح في الجداول للحالة الأولى الجدول (2,4,6,8,10) على الترتيب، وللحالة الثانية في الجداول (3,5,7,9,11)

1-الشبكة الأولى (مشروع الرفع الطبوغرافي في كلية الزراعة بجامعة البعث):

بيانات الشبكة (إحداثيات النقاط والقياسات) كما هي موضحة في الجدول(a)

POINT	X(m)	Y(m)		DIS(m)	ANG
T3	-223823	56386.35	T3-HO1-TZ1	222.5814	1442.96391
T9	-224339	56968.67	T9-HO1-TZ1	145.6248	982.051025
HO1	-223376	56479.5	TZ1-T3-HO1	394.6212	1877.37362
			TZ1-T3-T9	---	366.05815
			T3-HO1-T9	---	266.90195

الجدول (a)

- **الحالة الأولى:**

❖ **تعديل الشبكة:**

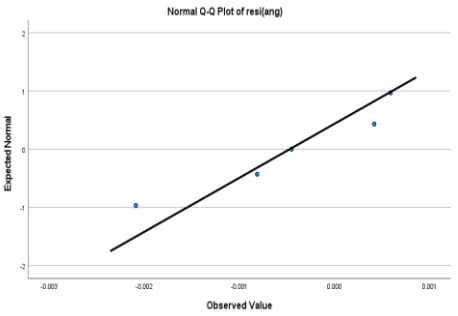
تم إجراء التعديل باعتبار النقاط المرجعية ثابتة وكانت إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (2).

Station	X(m)	Y(m)
T3	−223822.7973	56386.3533
T9	−224339.2978	56968.6707
HO1	−223376.2949	56479.4961
TZ1	−225249.7699	56600.6418

الجدول (2)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

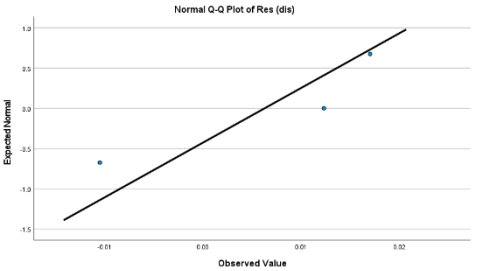
- رواسب الزوايا:



Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (ang)	.928	5	.584

- رواسب المسافات:



Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.874	3	.306

مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي وفق العلاقة (1)

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
T3	0	0	0
T9	0	0	0
HO1	0	0	0
TZ1	0.008154	0.018168	0.019914

الجدول (3)

- **الحالة الثانية:**

❖ **تعديل الشبكة:**

تم إجراء عملية التعديل بافتراض قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لإحداثيات النقاط كما في العلاقة (1)

$$M_x = M_y = \pm 2.8 \text{ cm}$$

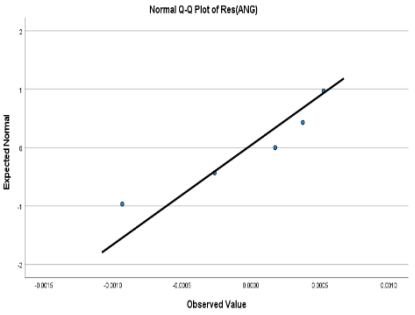
وكانت إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (4).

Station	X(m)	Y(m)
T3	−223822.803	56386.36
T9	−224339.2824	56968.66
HO1	−223376.3047	56479.5
TZ1	−225249.7686	56600.64

الجدول (4)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

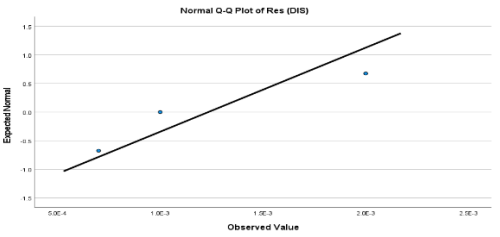
- **رواسب الزوايا:**



Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (ang)	.912	5	.478

- **رواسب المسافات:**



Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.912	3	.424

مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (5).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
T3	0.020274	0.017116	0.026532858
T9	0.022074	0.024314	0.03283949
HO1	0.01994	0.02326	0.030637089
TZ1	0.018132	0.054234	0.057184755

الجدول (5)

تم إجراء عملية التعديل للحالتين في بقية الشبكات وفق المراحل المتبعة في الشبكة الأولى.

2–الشبكة الثانية (مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة بسيرين):

بيانات الشبكة (إحداثيات النقاط والقياسات) كما هي موضحة في الجدول(b).

POINT	X(m)	Y(m)	DIS(m)	
S1	-219096	93683.79	1157-S16	1467.795
1157	-220500	94119.73	1157-S1	1470.819
S16	-219050	94343.2	1157-T3	1417.78
N	-220500	95811	S1-S16	660.9
			S1-T3	884.901
			T3-S16	1478.413
			T2-1157	802.59
			T2-T3	630.659

الجدول (b–1)

الجدول (b–2)

DIR						ANG	
1157	S16	0	S16	S1	0	N-1157-S16	100
	S1	28.8827		T3	21.9199		
	MA	33.6163		MA	31.286		
	T3	68.4581		1157	85.84		
S1	S16	0	T2	1157	0		
	T3	238.1473		MA	106.8873		
	MA	299.5481		T3	181.133		
	1157	314.7241					
T3	1157	0					
	MA	58.1243					
	S16	67.6211					
	S1	83.8468					

- **الحالة الأولى:**

❖ **تعديل الشبكة:**

إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (6).

Station	X(m)	Y(m)
1157	−220500.44	94119.73
S16	−219049.66	94343.2
S1	−219095.6441	93683.9019
T3	−219644.3089	92989.6282
T2	−220103.0024	93422.4444
MA	−219450.0789	93706.0785

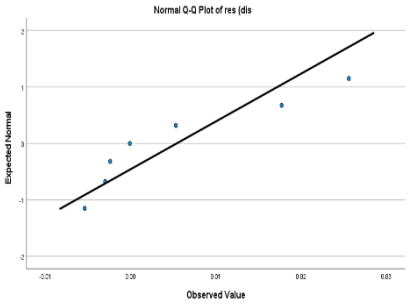
الجدول (6)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

- رواسب الزوايا:

Tests of Normality

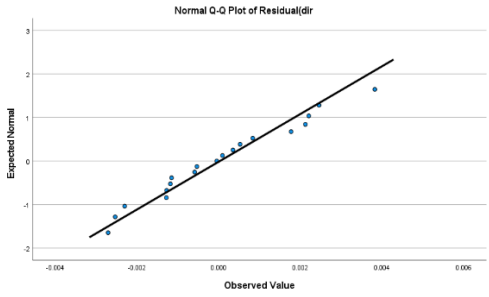
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (ang)	.850	7	.122



- رواسب المسافات:

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.963	19	.632



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (7).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
1157	0	0	0
S16	0	0	0
S1	0.012376	0.0125	0.01759
T3	0.017061	0.011311	0.02047
T2	0.018476	0.014033	0.023201
MA	0.023506	0.016083	0.028481

الجدول (7)

- **الحالة الثانية:**

❖ **تعديل الشبكة:**

إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (8).

Station	X(m)	Y(m)
1157	−220500.4074	94119.74
S16	−219049.6926	94343.2
S1	−219095.6427	93683.89
T3	−219644.3013	92989.62
T2	−220102.9856	93422.44
MA	−219450.0785	93706.07

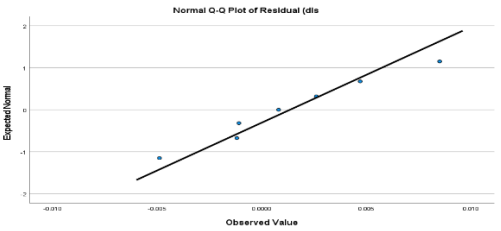
الجدول (8)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

- **رواسب الزوايا:**

Tests of Normality

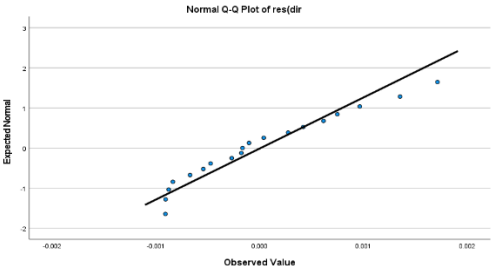
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (ang)	.981	7	.966



- **رواسب المسافات:**

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.929	19	.166



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتويط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (9).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
1157	0.022567	0.027883	0.035871035
S16	0.022567	0.027883	0.035871035
S1	0.027633	0.029825	0.040658496
T3	0.04256	0.023418	0.048577323
T2	0.035191	0.025836	0.043656676
MA	0.033844	0.027252	0.043452133

الجدول (9)

3–الشبكة الثالثة(مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة اللطامنة):

بيانات الشبكة (إحداثيات النقاط والقياسات) كما هي موضحة في الجدول(c).

Point	X(m)	Y(m)
DK1	-223492.845	98756.365
DK2	-224165.077	97761.393
DK3	-224569.076	98368.508
2516	-222430.66	99648.05
2517	-223953.18	99166.65
SK	-222686.969	97993.044
SKD	-223853.609	98454.277
1051	-226451.17	97333.99

الجدول (c-1)

DIS(m)		DIR			DIR		
2517-2516	1596.803	DK3	2517	0	2516	S34	0
2517-DK1	616.62894		SKD	50.563		SK	5.72065
2517-S34	2258.8283		S13	50.6457		DK4	25.6277
2517-DK4	1409.2649	DK2	2517	0		DK1	51.4818
2517-S13	720.24185		SKD	17.3652		S13	51.4452
2517-DK2	1421.1246		S13	17.5161		SKD	51.5008
2517-DK3	1008.1539		DK4	79.135		2517	76.4431
DK1-DK4	860.99058		SK	80.5767	S34	2516	0
DK1-S13	469.75293		S34	105.607		DK2	311.069
2516-S34	2276.2168	DK1	DK4	0		DK4	336.657
2516-DK4	1938.2105		S13	69.615		SKD	340.548
2516-DK1	1386.8026		SKD	69.836		S13	340.566
2516-S13	1856.5523		2517	160.558		2517	354.189
DK2-S13	759.67066		2516	269.761		SK	384.581
DK2-DK4	876.77281		SK	362.491	S13	2517	0
DK2-S34	1635.26	2517	2516	0		2516	64.4851
DK3-S13	722.15706		DK1	65.8361		DK1	64.3769
DK4-S34	905.34607		SK	67.0779		SK	132.94
DK4-S13	768.378		S34	77.7467		S34	153.606
S13-S34	1670.0109		DK4	88.9227		DK4	158.214
			S13	110.516		DK2	236.02
			SKD	110.652		DK3	301.46
			DK2	129.02	DK4	S34	0
			DK3	161.334		DK2	147.94
		DK4	DK1	245.064		SKD	208.465
			2516	288.971		S13	208.518
			SK	351.422		2517	228.709

الجدول (c-2)

- **الحالة الأولى:**

❖ **تعديل الشبكة:**

إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (10).

Station	X(m)	Y(m)
4626	-226204.31	127901.63
S1	-229470.16	128812.72
S3	-230181.73	127920.9
4749	-229252.9338	126059.6269
S5	-228370.7981	127481.8071
S6	-230592.0051	128820.7112
S66	-228908.7339	126331.2867
S8	-230563.9099	126270.609
S2	-229533.2631	127175.9387
S42	-231098.8151	125568.543
M	-229999.1805	127414.7877

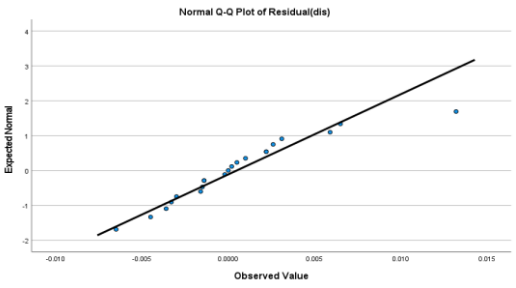
الجدول (10)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

- رواسب المسافات:

Tests of Normality

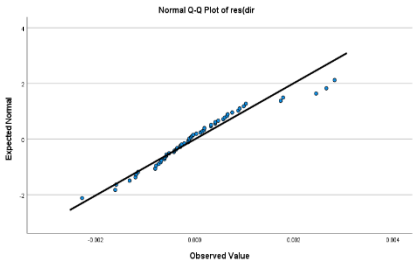
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.924	21	.103



- رواسب الاتجاهات:

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dir)	.952	58	.072



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (11).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
4626	0	0	0
S1	0	0	0
S3	0	0	0
4749	0.014144	0.008681	0.016595557
S5	0.008804	0.010184	0.013461956
S6	0.008269	0.008758	0.012044871
S66	0.013144	0.009736	0.016357091
S8	0.014592	0.013949	0.020186656
S2	0.009246	0.007866	0.012139295
S42	0.023996	0.020271	0.031412123
M	0.010857	0.013819	0.017573822

الجدول (11)

- **الحالة الثانية:**

❖ **تعديل الشبكة:**

إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (12).

Station	X(m)	Y(m)
4626	−226204.3147	127901.6263
S1	−229470.1783	128812.7176
S3	−230181.7069	127920.9061
4749	−229252.9103	126059.6334
S5	−228370.7826	127481.8174
S6	−230592.001	128820.7084
S66	−228908.7116	126331.2943
S8	−230563.8878	126270.6091
S2	−229533.2429	127175.9446
S42	−231098.789	125568.5385
M	−229999.1614	127414.7938

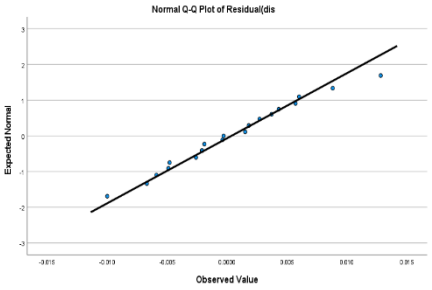
الجدول (12)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

- **رواسب المسافات:**

Tests of Normality

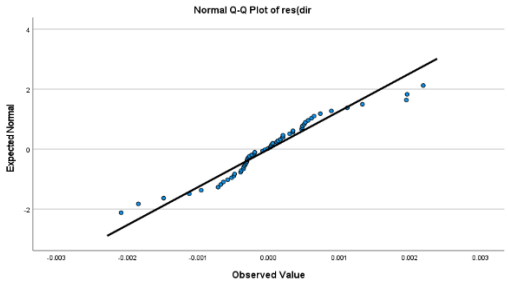
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.988	21	.994



- **رواسب الاتجاهات:**

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dir)	.949	58	.066



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (13).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
4626	0.026601	0.027377	0.038172
S1	0.020523	0.019117	0.028047
S3	0.020668	0.022276	0.030387
4749	0.033799	0.019259	0.038901
S5	0.023278	0.01961	0.030437
S6	0.021113	0.025835	0.033365
S66	0.031512	0.01916	0.03688
S8	0.032455	0.027821	0.042747
S2	0.02499	0.019889	0.031939
S42	0.041738	0.034514	0.05416
M	0.024404	0.024828	0.034814

الجدول (13)

4-الشبكة الرابعة (مشروع الرفع الطبوغرافي لبلدة فاحل):

بيانات الشبكة (إحداثيات النقاط والقياسات) كما هي موضحة في الجدول(d).

Point	X(m)	Y(m)
DF1	-249787.1	74823.66
156	-250449.08	74353.14
DF3	-250144.54	75393.65
DF4	-250739.15	75403.96

الجدول (d-1)

DIS(m)		DIR			DIR		
DF1-DF2	687.1244	DF1	156	0	DF6	DF5	330.1509
DF1-DF8	873.2035		SS	3.3266		DF4	0
DF2-DF1	687.1098		DF4	74.1861	DF7	DF5	0
DF2-156	1479.9201		DF3	103.6809		DF4	33.8954
DF2-DF6	1493.6735		DF2	179.3923		DF3	41.2305
DF2-DF3	761.9421		DF8	196.2915		DF6	57.8691
DF2-DF8	276.8721		156	0		SK	58.1123
DF2-DF1	687.0949	DF2	DF1	0		DF5	0
DF3-DF2	761.9369		156	11.1736	DF8	DF1	0
DF3-DF8	1038.8198		SS	13.1758		156	1.7882
DF3-DF6	791.7691		SK	42.8946		SS	3.449
DF3-DF2	761.9355		DF6	43.0497		SK	28.9594
DF4-DF6	425.181		DF3	61.1593		DF6	29.0922
DF4-DF7	1144.0535		DF8	262.0371		DF3	44.493
DF4-DF5	707.2713		DF1	0		DF2	45.1353
DF5-DF4	707.2712	DF3	DF2	0		DF1	0
DF5-DF1	1781.1652		DF8	0.2352	156	DF5	0
DF5-DF6	791.458		DF1	63.1329		DF4	28.7929
DF5-156	1503.3313		156	116.9175		DF3	64.0668
DF5-DF7	582.0045		SS	119.8924		DF2	97.1628
DF5-DF4	707.2709		SK	164.229		DF8	104.6781
DF6-DF4	425.1996		DF6	164.4822		DF1	106.5993
DF6-DF3	791.7664		DF2	0		DF5	0
DF6-DF2	1493.6388	DF4	156	0	DF9	DF1	0
DF6-DF8	1760.2101		SS	2.3587		156	1.2317
DF6-DF7	1002.356		SK	29.8655		SS	2.5342
DF6-DF5	791.467		DF6	29.9381		DF8	0.811
DF6-DF4	425.1996		DF7	96.7196		DF1	0
DF7-DF5	582.0025		DF5	124.1533			
DF7-DF4	1144.0538		156	0			
DF7-DF3	1716.5097	DF5	DF4	0			
DF7-DF6	1002.3448		DF1	17.0844			
DF7-DF5	582.0039		DF6	35.9381			
DF8-DF1	873.1858		SK	36.1925			

DF8-156	1684.7368		156	47.0561
DF8-DF6	1760.1856		SS	47.9777
DF8-DF3	1038.7904		DF7	138.6728
DF8-DF2	276.8763		DF4	0
DF8-DF1	873.1714		DF4	0
DF9-DF1	1344.5488		DF3	52.899
DF9-156	2156.1435	DF6	DF2	70.3085
DF9-DF8	471.4127		DF8	73.2529
DF9-DF1	1344.5479		DF7	290.7552

الجدول (d-2)

-الحالة الأولى:

❖ تعديل الشبكة:

إحداثيات النقاط كما هو موضح بالجدول (14).

Station	X(m)	Y(m)
DF1	-249787.1	74823.66
156	-250449.08	74353.14
DF3	-250144.54	75393.65
DF4	-250739.15	75403.96
DF2	-249382.8646	75379.133
DF8	-249106.1834	75370.0512
DF6	-250823.9834	74987.3866
DF7	-251824.612	75043.1652
DF5	-251442.0114	75481.6009
DF9	-248732.848	75657.7602
SS	-250495.4812	74373.9388
SK	-250824.2705	74983.5383

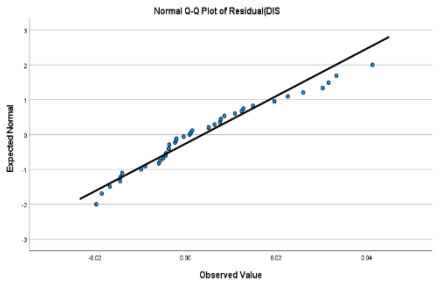
الجدول (14)

❖ التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:

- **رواسب المسافات:**

Tests of Normality

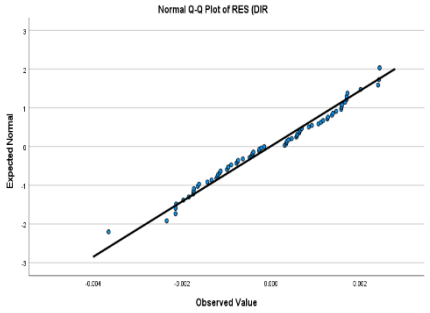
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.953	43	.074



- **رواسب الاتجاهات:**

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dir)	.973	71	.131



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول(15).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
DF1	0	0	0
156	0	0	0
DF3	0	0	0
DF4	0	0	0
DF2	0.004502	0.005833	0.007368
DF8	0.004917	0.007672	0.009112
DF6	0.004767	0.004942	0.006866
DF7	0.006236	0.014208	0.015516
DF5	0.005051	0.009392	0.010664
DF9	0.014508	0.018291	0.023346
SS	0.018604	0.021451	0.028395
SK	0.012386	0.013923	0.018635

الجدول (15)

- **الحالة الثانية:**

❖ **تعديل الشبكة:**

إحداثيات النقاط بعد التعديل كما هو موضح بالجدول (16).

Station	X(m)	Y(m)
DF1	−249787.1276	74823.68
156	−250449.0782	74353.17
DF3	−250144.5422	75393.63
DF4	−250739.122	75403.93
DF2	−249382.8696	75379.14
DF8	−249106.1883	75370.05
DF6	−250823.976	74987.37
DF7	−251824.6014	75043.17
DF5	−251441.9922	75481.6
DF9	−248732.8473	75657.75
SS	−250495.4857	74373.96
SK	−250824.2507	74983.53

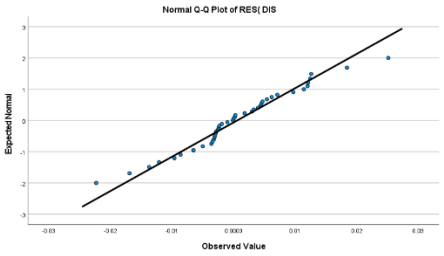
الجدول (16)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

- **رواسب المسافات:**

Tests of Normality

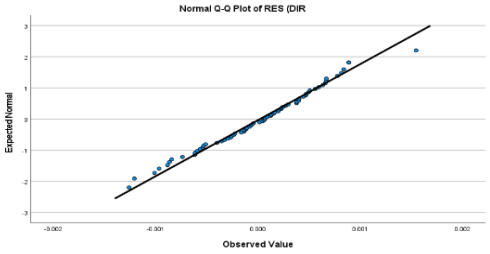
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.979	43	.594



- **رواسب الاتجاهات:**

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dir)	.988	71	.732



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (17).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
DF1	0.014959	0.018869	0.024079262
156	0.021384	0.015221	0.026247939
DF3	0.017402	0.014973	0.022956923
DF4	0.017666	0.018499	0.025579299
DF2	0.017336	0.026736	0.031864566
DF8	0.017245	0.032926	0.03716869
DF6	0.01441	0.01994	0.024601864
DF7	0.014697	0.042173	0.044660539
DF5	0.019004	0.032814	0.037919792
DF9	0.024207	0.043234	0.049549547

SS	0.02457	0.021362	0.032557947
SK	0.016961	0.021899	0.027699129

الجدول (17)

5-الشبكة الخامسة (مشروع الرفع الطبوغرافي لقرية كفربهم):

بيانات الشبكة (إحداثيات النقاط والقياسات) كما هي موضحة في الجدول(e).

Point	X(m)	Y(m)
DK1	-223493	98756.365
DK2	-224165	97761.393
DK3	-224569	98368.508
2516	-222431	99648.05
2517	-223953	99166.65
SK	-222687	97993.044
SKD	-223854	98454.277
1051	-226451	97333.99

الجدول (e-1)

DIS(m)		DIR			DIR		
2517-2516	1596.803	DK3	2517	0	S34	2516	0
2517-DK1	616.6289		SKD	50.56299		DK2	311.0688
2517-S34	2258.828		S13	50.6457		DK4	336.6575
2517-DK4	1409.265	DK2	2517	0		SKD	340.5477
2517-S13	720.2418		SKD	17.36523		S13	340.566
2517-DK2	1421.125		S13	17.51611		2517	354.1891
2517-DK3	1008.154		DK4	79.13501		SK	384.5807
DK1-DK4	860.9906		SK	80.57669	S13	2517	0
DK1-S13	469.7529		S34	105.6068		2516	64.48514
2516-S34	2276.217	DK1	DK4	0		DK1	64.37693
2516-DK4	1938.21		S13	69.615		SK	132.9401
2516-DK1	1386.803		SKD	69.83603		S34	153.6061
2516-S13	1856.552		2517	160.5577		DK4	158.2135
DK2-S13	759.6707		2516	269.7607		DK2	236.0202
DK2-DK4	876.7728		SK	362.4905		DK3	301.4598
DK2-S34	1635.26	2517	2516	0	DK4	S34	0

DK3-S13	722.1571		DK1	65.83612		DK2	147.9398
DK4-S34	905.3461		SK	67.07794		SKD	208.4653
DK4-S13	768.378		S34	77.74671		S13	208.5183
S13-S34	1670.011		DK4	88.92269		2517	228.709
			S13	110.5156		DK1	245.0637
			SKD	110.652		2516	288.9706
			DK2	129.0202		SK	351.4224
			DK3	161.3339	2516	DK1	51.48183
		2516	S34	0		S13	51.44521
			SK	5.72065		SKD	51.50081
			DK4	25.62765		2517	76.44313

الجدول (e-2)

-الحالة الأولى:

❖ تعديل الشبكة:

إحداثيات النقاط عد التعديل كما هو وضح بالجدول (18).

Station	X(m)	Y(m)
DK1	−223492.845	98756.365
DK2	−224165.077	97761.393
DK3	−224569.076	98368.508
2517	−223953.18	99166.65
SK	−222686.969	97993.044
SKD	−223853.609	98454.277
2516	−222430.6273	99647.947
S34	−222575.8057	97376.3409
DK4	−223302.1762	97916.7464
S13	−223851.9624	98453.5458

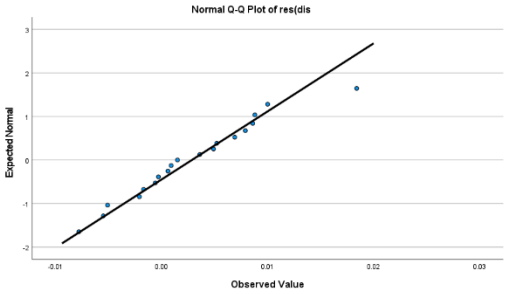
الجدول (18)

❖ **التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:**

- **رواسب المسافات:**

Tests of Normality

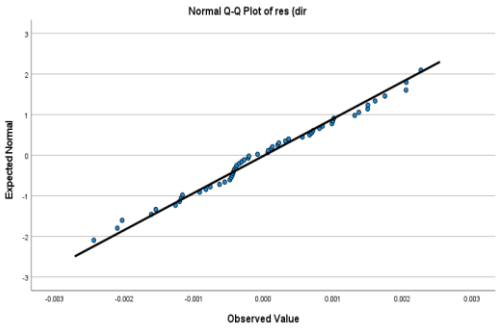
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.970	19	.783



- **رواسب الاتجاهات:**

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dir)	.985	54	.715



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (19).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
DK1	0	0	0
DK2	0	0	0
DK3	0	0	0
2517	0	0	0
SK	0	0	0
SKD	0	0	0
2516	0.010166	0.010631	0.014709
S34	0.008461	0.009843	0.01298
DK4	0.005986	0.00504	0.007825
S13	0.004393	0.004419	0.006231

الجدول (19)

- **الحالة الثانية:**

❖ **تعديل الشبكة:**

إحداثيات النقاط بعد التعديل كما هو موضح بالجدول (20).

Station	X(m)	Y(m)
DK1	-223492.8333	98756.37
DK2	-224165.0653	97761.4
DK3	-224569.0838	98368.5
2517	-223953.1661	99166.64
SK	-222686.9869	97993.05
SKD	-223853.6206	98454.28
2516	-222430.6184	99647.94
S34	-222575.7945	97376.35
DK4	-223302.1679	97916.75
S13	-223851.9535	98453.54

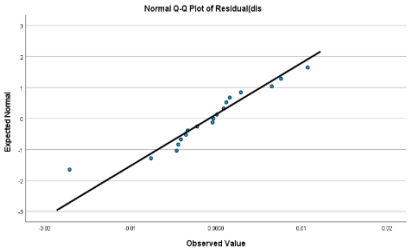
الجدول (20)

❖ التحليل الإحصائي لرواسب القياسات:

- رواسب المسافات:

Tests of Normality

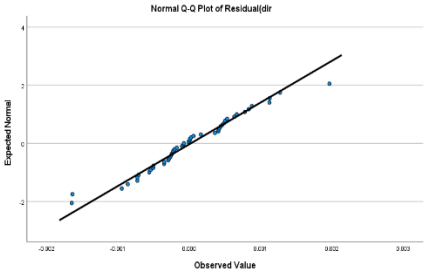
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dis)	.939	19	.257



- رواسب الاتجاهات:

Tests of Normality

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	sig
Residual (dir)	.987	54	.803



مما سبق تبين أن رواسب القياسات تتبع للتوزيع الطبيعي حسب اختبار Shapiro–Wilk (> 5%) وبالتالي يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لنقاط الشبكة موضحة بالجدول (21).

Station	Mx(m)	My(m)	M_{xy}(m)
DK1	0.013424	0.013153	0.018794
DK2	0.016007	0.014138	0.021357
DK3	0.013042	0.01825	0.022431
2517	0.016978	0.012695	0.021199
SK	0.015689	0.021101	0.026294
SKD	0.014834	0.016266	0.022014
2516	0.02355	0.025281	0.03455
S34	0.020843	0.023289	0.031254
DK4	0.014643	0.014317	0.020479
S13	0.012119	0.012211	0.017204

الجدول (21)

- **مناقشة النتائج:**

بعد إجراء عملية التعديل بالحالتين والتأكد من التوزيع الطبيعي لرواسب القياسات كانت فروق الإحداثيات (إحداثيات نقاط المثلثات وهي ثابتة باعتبارها الحالة المرجعية وإحداثيات النقاط بعد عملية التعديل بالحالة الثانية) كما هي موضحة بالجدول (22)

Networks	Station	ΔX(m)	ΔY(m)	$M_x\Delta$(m)	$M_y\Delta$(m)	$M_{xy}\Delta$(m)
الشبكة الأولى	T3	0.0057	−0.0054	-0.02027	-0.01712	-0.02653
	T9	−0.0154	0.0109	-0.02207	-0.02431	-0.03284
	HO1	0.0098	−0.0055	-0.01994	-0.02326	-0.03064
	TZ1	−0.0013	0.0006	-0.00998	-0.03607	-0.03727
الشبكة الثانية	1157	−0.0326	−0.005	-0.02257	-0.02788	-0.03587
	S16	0.0326	0.005	-0.02257	-0.02788	-0.03587
	S1	−0.0014	0.0072	-0.01526	-0.01733	-0.02307
	T3	−0.0076	0.0126	-0.0255	-0.01211	-0.02811
	T2	−0.0168	0.0017	-0.01672	-0.0118	-0.02046

	MA	−0.0004	0.0122	-0.01034	-0.01117	-0.01497
الشبكة الثالثة	4626	0.0047	0.0037	-0.0266	-0.02738	-0.03817
	S1	0.0183	0.0024	-0.02052	-0.01912	-0.02805
	S3	−0.0231	−0.0061	-0.02067	-0.02228	-0.03039
	4749	−0.0235	−0.0065	-0.01966	-0.01058	-0.02231
	S5	−0.0155	−0.0103	-0.01447	-0.00943	-0.01698
	S6	−0.0041	0.0028	-0.01284	-0.01708	-0.02132
	S66	−0.0223	−0.0076	-0.01837	-0.00942	-0.02052
	S8	−0.0221	−0.0001	-0.01786	-0.01387	-0.02256
	S2	−0.0202	−0.0059	-0.01574	-0.01202	-0.0198
	S42	−0.0261	0.0045	-0.01774	-0.01424	-0.02275
	M	−0.0191	−0.0061	-0.01355	-0.01101	-0.01724
الشبكة الرابعة	DF1	0.0276	−0.0197	-0.01496	-0.01887	-0.02408
	156	−0.0018	−0.0309	-0.02138	-0.01522	-0.02625
	DF3	0.0022	0.0228	-0.0174	-0.01497	-0.02296
	DF4	−0.028	0.0277	-0.01767	-0.0185	-0.02558
	DF2	0.005	−0.0031	-0.01283	-0.0209	-0.0245
	DF8	0.0049	−0.0004	-0.01233	-0.02525	-0.02806
	DF6	−0.0074	0.0204	-0.00964	-0.015	-0.01774
	DF7	−0.0106	−0.0062	-0.00846	-0.02797	-0.02914
	DF5	−0.0192	−0.0002	-0.01395	-0.02342	-0.02726
	DF9	−0.0007	0.0053	-0.0097	-0.02494	-0.0262
	SS	0.0045	−0.0224	-0.00597	8.9E-05	-0.00416
	SK	−0.0198	0.01	-0.00458	-0.00798	-0.00906
الشبكة الخامسة	DK1	−0.0117	−0.001	-0.01342	-0.01315	-0.01879
	DK2	−0.0117	−0.011	-0.01601	-0.01414	-0.02136
	DK3	0.0078	0.0109	-0.01304	-0.01825	-0.02243
	2517	−0.0139	0.0107	-0.01698	-0.0127	-0.0212
	SK	0.0179	−0.007	-0.01569	-0.0211	-0.02629
	SKD	0.0116	−0.002	-0.01483	-0.01627	-0.02201
	2516	−0.0089	0.004	-0.01338	-0.01465	-0.01984
	S34	−0.0112	−0.007	-0.01238	-0.01345	-0.01827

	DK4	−0.0083	−0.002	-0.00866	-0.00928	-0.01265
	S13	−0.0089	0.0022	-0.00773	-0.00779	-0.01097

الجدول (22)

إن أكبر فرق في إحداثيات النقاط في الحالتين كان من مرتبة ≈ 4 cm

الشبكة	عدد النقاط الثابتة	عدد النقاط الجديدة	ΔXmax(cm)	ΔYmax(cm)	M_{xy}Δmax(cm)
1	3	1	1.5	1.1	4
2	2	4	3.3	1.3	2
3	3	8	2.6	1	2
4	4	8	2.8	3.1	3
5	6	4	1.8	1.1	2

نلاحظ أنه بازدياد عدد النقاط الثابتة مقارنةً مع الجديدة فإن الفرق بين قيم الإحداثيات بالحالتين سيكون أقل.

الخلاصة:

- بما أن نتائج التعديل تتبع التوزيع الطبيعي بالتالي فإن القياسات خالية من الأغلاط والقيم الشاذة وتوافق عملية التعديل في تصحيح الأخطاء بشكل طبيعي.
- من خلال فرق الإحداثيات بين النقاط في الحالتين تبين أن أكبر فرق في الإحداثيات لا تتجاوز 4cm وهي أقل من الحد المسموح به في دفتر الشروط وبالتالي عملية التعديل وفق الحالة الثانية مقبولة فنياً.
- إن الخطأ المتوسط التربيعي في الحالة الأولى أقل من قيمته بالحالة الثانية وفي الحالتين أقل من الحد المسموح به في دفتر الشروط الفنية.
- نلاحظ أنه بازدياد عدد النقاط الثابتة مقارنةً مع الجديدة فإن الفرق الإحداثيات لنقاط الشبكة بالحالتين سيكون أقل.

التوصيات:

- ✓ تطبيق فكرة البحث على شبكات المضلعات ونقاط المسح التفصيلي ودراسة تأثير إدخال أخطاء البدايات على مواقع النقاط المحسوبة.
- ✓ إن التغير في قيمة الخطأ المتوسط التربيعي للنقاط نتيجة التعديل وفق الحالة الثانية "باعتبار أن الحالة الأولى هي الحالة المرجعية المستخدمة في عمليات التعديل" له تأثير كبير على إجراء عملية التحقق من الأساس الجيوديزي ويجب أخذ هذا الأمر بعين الاعتبار في دفاتر الشروط.

المراجع العلميّة (REFERENCES):

المراجع الأجنبية:

1-"STANDARDS AND SPECIFICATIONS FOR GEODETIC CONTROL NETWORKS" Rear Adm. John D. Bossler. 1984.
2- "ACCURACY CHARACTIRISTICS OF THE SELECTED DIAGNOSTICS AND THE ADJUSTMENT OF GEODETIC OBSERVATIONS “Martyna KULUPA , Paulina MAGDA , MRÓWCZYŃSKA. 2021.
3-" Investigation and Analysis of the Precision Criteria in Free and Fixed Levelling Networks“ Dr. ing. Hisham Abou Halima. 2021

المراجع العربية:

4- المساحة الهندسية (2) / كلية الهندسة المدنية / جامعة تشرين / د.م أديب محمود القاموع /2015-2016
5-نظرية الأخطاء/1/ كلية الهندسة المدنية/ جامعة تشرين / د.م محسن أحمد/2011-2012
6-محاضرات طرائق تعديل الشبكات، د. م. أحمد العمر، منشورات جامعة البعث.