

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 15

1445 هـ - 2023 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
م. هلا معروف

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-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.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا 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.
 - إذا 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 بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - 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 25×17.5 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
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . 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 للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره 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 . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . 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:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . 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 (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) 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 (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
50-11	م. وسيلة كشكية د. ناديا بصير	منهجية تقييم دورة الحياة (LCA) والآثار البيئية للخرسانة التقليدية والخرسانة البيئية
92-51	م. فادي حرفوش د. لؤي مرهج	اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية (مشافي مدينة طرطوس مثلاً)
118-93	د. فايز جراد د. سماح مكية م. علي أحمد	استخدام تقنيات التنقيب عن البيانات لتحسين عملية اختيار الموردين في إدارة تشييد المشاريع الصناعية
158-119	م. بلال علي د. محمد تقلا	استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية

منهجية تقييم دورة الحياة (LCA) والأثار البيئية للخرسانة التقليدية والخرسانة البيئية

م. وسيلة عدنان كشكية¹

د. ناديا بصير²

الملخص

تعتبر الخرسانة واحدة من أكثر مواد البناء شيوعاً، حيث يتم إنتاج ما يقارب طن واحد من الخرسانة كل عام لكل انسان على هذا الكوكب، وبسبب استخدامها العالمي الواسع فمن الضروري إجراء تقييم صحيح للتأثيرات البيئية لهذه المادة، مع الأخذ بعين الاعتبار انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري والتأثيرات التي تولدها على تغير المناخ. هنا يظهر نهج تقييم دورة الحياة (LCA) كأداة مبتكرة تعمل على تحسين الاستدامة في صناعة البناء والمواد.

تتناول هذه المقالة نهج LCA ومراحله بشكل تفصيلي، ثم تنتقل لدراسة دورة حياة الخرسانة التقليدية، وتعرض الأدبيات التي تناولت الإضافات والمواد البديلة لإنتاج ما يسمى بالخرسانة البيئية أو الخرسانة الخضراء، بغية تحسينها وتقليل أثرها البيئي. يمكن أن يساعد ذلك في تطوير صناعة الخرسانة المستدامة في المستقبل واستخدامها في إعادة الإعمار في سورية.

الكلمات المفتاحية: تقييم دورة الحياة، LCA، تقييم تأثير دورة الحياة، LCAI، الخرسانة التقليدية، الخرسانة البيئية، نفايات الهدم والبناء.

¹طالبة دكتوراه في كلية الهندسة المعمارية، قسم علوم البناء والتنفيذ، جامعة دمشق.
²دكتورة في كلية الهندسة المعمارية، قسم علوم البناء والتنفيذ، جامعة دمشق.

Life Cycle Assessment (LCA) Methodology and Environmental Impacts of Conventional Concrete and ecological Concrete

Wasela.A.Keshkiah¹

Dr.Nadia Basir²

Abstract

Concrete is one of the most common building materials. About one ton of concrete is produced each year for every person on the planet. Because of its wide global use, a proper assessment of the environmental impacts of these materials is necessary, taking into account greenhouse gas emissions and their impacts on climate change. Here the Life Cycle Assessment (LCA) approach emerges as an innovative tool that improves sustainability in the construction and materials industry.

This article deals with the LCA approach and its phases. It then studies the life cycle assessment of conventional concrete, reviews the literature dealing with additives and alternative materials for the production of the so-called environmental concrete or green concrete, in order to improve it by reducing its environmental impact. This can help develop the sustainable concrete industry in the future and use it in reconstruction in Syria .

Keywords: Life Cycle Assessment, LCA, Life Cycle Impact Assessment, LCAI, Conventional Concrete, Ecological Concrete, Construction and Demolition Waste

¹ PhD Candidate in Faculty of Architecture, University of Damasc

² Professor in Faculty of Architecture, University of Damascus.

1. مقدمة:

تم التعرف على إنشاء وتشغيل البيئة المبنية كمصدر مهم لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري (GHG). عالمياً يُعزى 40% من انبعاثات غازات الدفيئة و40% من استخدام المواد الخام إلى المباني. وعليه يجب أن تتبنى عملية إعادة الإعمار مفهوم البيئة والتنمية المستدامة كمسألة أساسية تتجنب السلبيات وتتغرز الحفاظ على البيئة. لا يمكن تصور السعي لتحقيق الاستدامة إلا إذا كنا قادرين على تقييم الآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية لبيئتنا المبنية وأنماط استهلاكنا والتزمنا بالتحسين المستمر. العناصر المهمة لهذا التقييم في البيئة المبنية هي أداء وميزات منتجات مواد البناء. [12]

المادة الأساسية لإنشاء المباني في سورية، ابتداءً من النصف الثاني للقرن العشرين، هي الخرسانة، حيث تشكل حالياً المخزون الأكبر من المباني [19]. يرجع استخدام الخرسانة على نطاقٍ واسعٍ إلى العديد من السمات الإيجابية التي تشمل التكلفة المنخفضة نسبياً للإنتاج والنقل، المتانة، المقاومة الجيدة للحريق، وسهولة تشكيلها بأحجام وأشكال مختلفة. من ناحية أخرى، فإن الآثار البيئية لإنتاجها كبيرة، حيث يسبب إنتاج الخرسانة العالمي سنوياً أكثر من 5% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ، ويعزى معظمها إلى إنتاج كلنكر الأسمنت. في عام 2011، تم عالمياً إنتاج حوالي 3 جيجا طن من الأسمنت البورتلاندي، مما أدى إلى حوالي 2.6 جيجا طن من انبعاثات CO₂ سنوياً لمتوسط ظروف الإنتاج، ما يقرب من نصف هذه الانبعاثات ناتج عن

احتراق الوقود الأحفوري لأن الأسمنت البورتلاندي مادة كثيفة الاستخدام للطاقة، وتتطلب

4-5 جيجا جول/طن. النصف المتبقي يرجع إلى تكليس الحجر الجيري [5][6][14].

إن العبء البيئي للخرسانة لا يقتصر فقط على انبعاثات CO₂ التي تحدث في

مرحلة دورة حياة محددة. يتطلب تحليل وتقدير التأثيرات البيئية الإجمالية لإنتاج الخرسانة

نهج تحليلي شامل. الأنسب هو نهج تقييم دورة الحياة (LCA) [5].

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى التعريف بمكونات الخرسانة التقليدية باعتبارها مادة أساسية في

إنشاء وعمارة المباني في سورية، والتعرف على إجراءات تقييم دورة الحياة (LCA)

كمنهجية تقييم للآثار البيئية للمواد، من خلال النظر في دورة حياة مادة الخرسانة التقليدية،

والإضافات البديلة لتحويلها لخرسانة بيئية أو خضراء بغية اختيار الأفضل في عملية

إعادة الإعمار عبر الموازنة بين الآثار البيئية للبدائل.

3. منهجية البحث:

تعتمد المقالة على المنهج الوصفي التحليلي عبر وصف الخرسانة ومكوناتها، ثم

استعراض مفهوم دورة حياة المواد بشكل عام ومراحلها، والتعريف بالمصطلحات ذات

الصلة للمساعدة في فهم واستخدام أفضل للمنهجية، وجعل صناعة البناء أكثر تقبلاً

للطريقة العالمية الجديدة في تقييم العمل وأثره البيئي. ثم استعراض دورة حياة مادة

الخرسانة التقليدية والدراسات التي تناولت البدائل الممكنة للحصول على خرسانة بيئية أو خضراء.

4. مكونات الخرسانة ومراحل التصنيع:

الخرسانة عبارة عن مزيج من كميات مختلفة من الأسمنت البورتلاندي، الركام الخشن، الركام الناعم، الماء، المواد والإضافات المعدنية. عندما يتم ترطيبها بالماء، يشكل الأسمنت معجون مقاوم يترابط مع شظايا الركام، ويشكل كتلة متجانسة. أهم جزء في الخرسانة هو الأسمنت، حيث يعمل كمادة ترابط. يتكون الأسمنت البورتلاندي المصنَّع اليوم من الكلنكر (clinker)، وهو مادة ناتجة عن التكليل عند 1450 درجة مئوية تقريباً لمزيج من الحجر الجيري والطين والمصحَّحات الكيميائية النهائية ذات الطبيعة السليكونية أو الألومينية أو الحديدية. [11][13][14].

بالنسبة للأسمنت، تشمل عمليات إنتاج الأسمنت البورتلاندي التقليدية ما يلي:
(1) استخراج المواد الخام من المحاجر وتكسيرها، (2) تحضير الدقيق الخام والمزج، (3) المعالجة الحرارية، (4) الطحن النهائي، (5) تغليف ومناولة وشن المنتج النهائي.
[14].

في سورية، ينتج الأسمنت حسب المواصفات القياسية السورية، التي تحدد الأنواع التالية للأسمنت [20]:

- الأسمنت البورتلاندي.

- الأسمنت البورتلندي البوزولاني.

- الأسمنت البورتلندي الكلسي.

- الأسمنت البورتلندي المخلوط بالكلس والبوزولانا.

الأسمنت المستخدم في المباني في سورية هو غالباً الأسمنت البورتلندي العادي

الذي يتكون من 95% كلنكر، 5% إضافات معدنية وجبس. يتم إنتاجه من قبل معامل

القطاع الحكومي، وهي المعامل التابعة للمؤسسة العامة للأسمنت (شركة عدرا لصناعة

الأسمنت، شركة الرستن لصناعة الأسمنت، شركة طرطوس لصناعة الأسمنت، الشركة

السورية للأسمنت ومواد البناء بحماة، وشركة الشهباء للأسمنت ومواد البناء بحلب،

المعملان الأخيران متوقفان حالياً)، أو معامل القطاع الخاص (شركة أسمنت البادية في

عدرا، وشركة لافارج في الشمال السوري قرب مدينة عين العرب، الأخيرة متوقفة منذ عام

[2014م]. [20]

عدا عن الأسمنت، عامل مهم آخر في تحضير الخرسانة هو الاهتمام بنوعية

وكمية المياه المستخدمة لأن الماء مسؤول عن تنشيط التفاعل الكيميائي الذي يحول

الأسمنت إلى عجينة كتلية. إذا كانت الكمية صغيرة جداً، فلن يحدث التفاعل تماماً، وإذا

كانت أكبر من المثالية، فإن المقاومة تنخفض بسبب المسام التي ستظهر عندما يتبخر

الماء الزائد. يتكون ترطيب الأسمنت من تحويل المزيد من المركبات اللامائية القابلة

للذوبان إلى مركبات رطبة أقل قابلية للذوبان [14]. نحتاج ما يقرب من 343 لتر من

المياه لتصنيع 1طن من الأسمنت. بالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة إلى حوالي 284 لتر

من الماء في المتوسط لإنتاج 1م³ من الخرسانة. [6]

الركام عبارة عن مواد حبيبية ليس لها شكل أو حجم محدد، وهي خاملة بشكل عام، وذات أبعاد وخصائص مناسبة للاستخدام في البناء. بالنظر إلى أن الركام مترابط في جسم متآلف بواسطة عجينة الأسمنت، فإنها تمنح خصائص تقنية مفيدة للغاية للخرسانة، من حيث ثبات أفضل في الأبعاد ومتانة أكبر فيما يتعلق بعجينة الأسمنت. يستخدم مصطلح الركام الخشن لوصف الركام الأكبر من 4.8 مم، ويستخدم مصطلح الركام الناعم لوصف الجسيمات الأصغر من 4.8 مم. يمكن تصنيف إنتاج الركام على أنه طبيعي أو صناعي. الركام الطبيعي، الأكثر استخداماً بشكل عام، مشتق من الرمل والحصى والبحص. بينما ينتج الركام الصناعي من المخلفات والنفايات الصلبة الناتجة عن الأنشطة الصناعية. [14]

بالنسبة لحالات استخدام محددة للخرسانة، من الضروري استخدام المواد المضافة، وهي مواد تمت إضافتها عن قصد أثناء عملية الخلط، بكميات لا تزيد عن 5٪ من كتلة الأسمنت لتعزيز أو تحسين خصائص معينة، وكذلك المساعدة في تحضير الخرسانة واستخدامها وتعديلها. بينما يشير مصطلح المضافات المعدنية إلى أي مادة بخلاف الماء والركام والأسمنت الذي يتم استخدامه كمكون في خليط الخرسانة مباشرة قبل أو أثناء الخلط كبديل جزئي للأسمنت أو الركام الطبيعي. المضافات المعدنية الأكثر

شبيوع عالمياً لاستبدال جزء من الأسمنت هي خبث فرن الصهر (blast furnace slag)، والرماد المتطاير (fly ash)، والميتاكوين (metakaolin)، ورماد قشر الأرز (rice husk ash)، ومواد أخرى قيد الدراسة. بينما لاستبدال الركام جزئياً، يمكن استخدام مواد مألوفة طبيعية مثل الحجر الجيري (limestone) ومسحوق الكوارتز (quartz powder) وبقايا الصخور (rock residues). [5][6][11][13][14].

في سورية، هناك تجارب محدود لاستخدام الإضافات مثل تجارب سابقة للشركة العامة للأسمنت لإنتاج أسمنت بوزلاني A (نسبة 20%) وأسمنت بوزلاني B (نسبة 30%). وتقتصر هذه التجارب على طلب السوق [20]. وبشكل عام، تعتبر الإضافات المعدنية مهمة بشكل أساسي لاستدامة وتحسين دورة حياة الخرسانة لأنها بدائل جزئية للأسمنت البورتلاندي والركام، حيث توفر هذه المواد خفض كبير في الطاقة والتكلفة [14].

5. تقييم دورة الحياة (LCA) (Life Cycle Assessment):

5.1. تعريف تقييم دورة الحياة (LCA)

يوجد في الطبيعة دائماً دورة حياتية للنباتات، حيث تنمو وتُؤكل ثم بطريق مباشر أو غير مباشر تُخلق من جديد وتتحوّل إلى شكلها الأول، حيث تصبح نواة لنبات جديد، وخلال هذه العملية الطويلة يتم استهلاك طاقة. بنقل هذه الصورة البيئية إلى مواد البناء تكون لمادة البناء دورة حياتية من الاستخراج إلى الاستخدام، ثم مرحلة الهدم. في كل مرحلة من مراحل حياة المادة هناك تحميل على المحيط واستخدم طاقة وفرز مخلفات [17].

تصف مدونة الممارسات الصادرة عن جمعية علم السموم البيئية والكيمياء

(SETAC) (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) تقييم دورة



شكل رقم 1: دورة حياة المنتجات [2].

الحياة (LCA) على أنه "عملية لتقييم

الأعباء البيئية المرتبطة بمنتج أو عملية أو

نشاط من خلال تحديد وقياس الطاقة

والمواد المستخدمة والنفايات المنبعثة في

البيئة، لتقييم تأثير تلك الطاقة والمواد

المستخدمة والمنبعثة في البيئة، ولتحديد

وتقييم فرص التحسين البيئي". كما تشير

وكالة حماية البيئة (EPA) (Environmental Protection Agency) إلى LCA على

أنه "تهج من المهد إلى اللحد لتقييم الأنظمة الصناعية التي تقيم جميع مراحل حياة

المنتج". تخضع عملية تقييم دورة الحياة إلى ISO 14000، وهي سلسلة المعايير الدولية

التي تتناول الإدارة البيئية. وفقاً للمعيار الدولي ISO 14040، يُعرف LCA بأنه "تجميع

وتقييم للمدخلات والمخرجات والآثار البيئية المحتملة لنظام المنتج طوال دورة

حياته". [2][5][14]. انظر الشكل رقم 1.

نظراً لعولمة اقتصادنا، أصبحت المزيد من دورات حياة المنتج معقدة بشكل

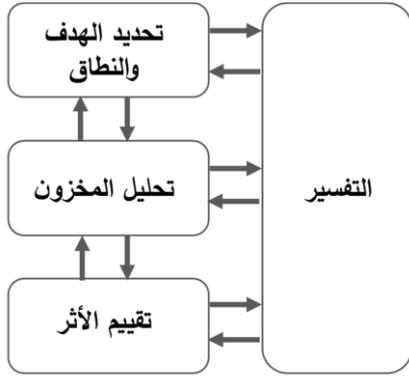
متزايد مع المدخلات من البيئة والمخرجات إلى البيئة التي تغطي العديد من الشركات

عبر العديد من الأميال. ستكون دورة حياة المواد المثالية عبارة عن تدفق دائري مغلق الحلقة حيث تكون النفايات الناتجة عن عملية أو منتج ما مادة أولية لآخرى، ولا توجد نفايات مطلقة في البيئة [3].

5.2. دورة الحياة تاريخياً (History of Life-cycle Assessment):

تعود منهجية تقييم دورة الحياة إلى الستينيات، عندما أدت المخاوف بشأن التوافر المحدود للمواد الخام وموارد الطاقة إلى طرق جديدة لحساب استخدام الطاقة وعواقب هذه الاستخدامات. وفي أوائل التسعينيات، تم استخدام تقييم دورة الحياة لأغراض خارجية، مثل التسويق. اتسع نطاق تطبيقه في العقد الحالي ليشمل مواد البناء، والمواد الكيميائية، والسيارات، والإلكترونيات. كان هذا في المقام الأول بسبب إضفاء الطابع الرسمي على معايير LCA في سلسلة ISO 14000 (1997 حتى 2002) وإطلاق مبادرة دورة الحياة، وهي جهد مشترك من قبل برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) وجمعية علم السموم البيئية والكيمياء (SETAC) بهدف وضع تفكير دورة الحياة موضع التنفيذ وتحسين الأدوات الداعمة من خلال بيانات ومؤشرات أفضل. عام 2012، أصدرت اللجنة الفنية TC-71 (من ISO)، المسؤولة عن وضع المبادئ التوجيهية والمعايير الفنية، المعيار (ISO 13.315-1)، الذي يوفر إطار وقواعد أساسية بشأن الإدارة البيئية المتعلقة بالخرسانة. [2][7]

5.3. خطوات عملية تقييم دورة الحياة (Steps of the LCA Process):



[13][7][6][4][2]

تعتمد منهجية تقييم دورة الحياة على متطلبات المعيار الدولي لسلسلة ISO 14.040 و ISO 14.044، ويتكون من 4 مراحل تحليل متميزة هي: تعريف الهدف والنطاق، مخزون دورة الحياة (LCI) إنشاء

شكل رقم 2: راحل LCA وفق ISO 14040. [2]

وتحليل وتقييم أثر دورة الحياة (LCIA) وتفسير النتائج. انظر الشكل رقم 2.

5.3.1. تعريف الهدف والنطاق (Goal and scope definition):

يجب أن يذكر الهدف من دراسة تقييم دورة الحياة التطبيق المقصود والغرض من الدراسة والجمهور المستهدف، أي لمن سيتم إبلاغ نتائج الدراسة. في تعريف النطاق، يجب النظر في الوظيفة والوحدة الوظيفية (لتر، م²، م³، إلخ)، وحدود النظام، ومتطلبات جودة البيانات، والمقارنة بين الأنظمة، وأنواع التأثير المقيّم، ومتطلبات جودة البيانات مع الفترة الزمنية للتجميع والمنطقة الجغرافية المشمولة، وأخيراً مصدر البيانات التي تم جمعها.

5.3.2. مخزون دورة الحياة (LCI) (Life Cycle Inventory):

يتضمن إنشاء وتحليل جرد دورة الحياة (LCI) تجميع وتقدير المدخلات والمخرجات، عبر جمع وتحليل البيانات فيما يتعلق بنظام الإنتاج. وهذه المرحلة هي المرحلة التي تتطلب معظم الوقت، حيث يجب أن يحتوي LCI على بيانات حول جميع المدخلات والمخرجات لكل عملية فردية في النظام المدروس، بما في ذلك تدفقات الملوثات والمواد والموارد في مراحلها المختلفة (استخراج المواد الخام، نقل المدخلات، تصنيع المنتج، نقل المنتج، مراحل الاستخدام والتخلص وإعادة التدوير وإعادة الاستخدام). في مرحلة تحليل المخزون، تعتبر أدوات البرمجيات وقواعد البيانات بالغة الأهمية. لا يمكن تحليل كل مادة على حدة وإجراء العملية من الصفر في كل مرة يتم فيها إجراء تقييم دورة الحياة. بدلاً من ذلك، يتم استخدام أدوات البرامج المرتبطة بقواعد بيانات المنتج والعملية الشاملة لإكمال تحليل المخزون. كما يمكن الحصول على المعلومات الضرورية مباشرة من الصناعات المعنية باستخدام استبيانات مفصلة أو من التقارير البيئية السنوية المتاحة للجمهور (ERs) (Environmental Reports) وإعلانات المنتجات البيئية (EPDs) (Environmental Product Declarations).

5.3.3. تقييم تأثير دورة الحياة (LCIA) (Life cycle impact assessment):

يذكر المعيار الدولي لتقييم تأثير دورة الحياة (ISO 14042) بأن تقييم الأثر يهدف إلى: فحص نظام المنتج من وجهة نظر بيئية باستخدام فئات التأثير ومؤشرات

الفئات المرتبطة بنتائج LCI. حيث يترجم تقييم أثر الانبعاثات من منتج أو عملية معينة إلى تأثيرات على مختلف النظم البيئية البشرية والأرضية. للمساعدة في فهم التأثيرات، يتم تجميع تأثيرات استخدام الموارد والانبعاثات المتولدة وتحديدها كمياً في عدد محدود من فئات التأثير، والتي يمكن بعد ذلك ترجيحها من حيث الأهمية.

يمكن تحديد فئات التأثير (Impact Categories) من المعايير المعترف بها التي وضعتها وكالات مثل وكالة حماية البيئة، وإدارة الصحة والسلامة المهنية (OSHA) (Occupational Safety and Health Administration)، والمعاهد الأمريكية للصحة. عادة ما يتم إعطاء التأثير كنسبة من كمية التأثير لكل وحدة وظيفية من المنتج. كل فئة هي مؤشر على مساهمة المنتج في مشكلة بيئية معينة. تختلف فئات تأثير منهجيات تقييم دورة الحياة من نظام إلى آخر. وعادة ما تتضمن إمكانية الاحترار العالمي (GWP) - احتمالية استنفاد الأوزون (Ozone Depletion Potential) - القدرة على التحمض¹(AP) - إمكانية التخثث² (EP) (Eutrophication) - نضوب الوقود

¹ المركبات الحمضية المنبعثة في حالة غازية إما تنوب في الماء الجوي أو مثبتة على جزيئات صلبة. تصل إلى النظم البيئية من خلال الاتحلل في المطر. المركبان اللذان يشاركان بشكل أساسي في التحميض هما مركبات الكبريت والنيتروجين.

² الثراء المفرط للمغذيات في بحيرة أو أي جسم مائي آخر، غالباً بسبب الجريان السطحي من الأرض، مما يتسبب في نمو كثيف للحياة النباتية وموت الحياة الحيوانية بسبب نقص الأكسجين.

الأحفوري (Fossil Fuel Depletion) - إمكانية تكوين الضباب الدخاني³ - السمية البيئية⁴ (Ecological Toxicity) - استخدام المياه.

يمكن الحصول على التأثيرات في درجة واحدة عبر استخدام نهج المؤشر البيئي 99 (The Eco-indicator 99 approach)(EI99⁵)، الذي يجمع بين سلسلة من الدرجات التي تمثل تأثيرات بيئية مختلفة في درجة واحدة من خلال الوزن بواسطة لجنة من المتخصصين.

5.3.4. التفسير (Interpretation):

تفسير النتائج هو المرحلة التي تجمع بين ملاحظات تحليل المخزون وتقييم الأثر، بطريقة تتسق مع الهدف والنطاق المحددين للوصول إلى الاستنتاجات، وتوضيح القيود التي يمكن أن تكون عقبة أمام الأهداف الأولية، وتحديد مراحل الدورة التي تساهم في التأثيرات البيئية، وتقديم التوصيات النهائية. غالباً ما يتم تقديم النتائج في شكل جداول أو رسوم بيانية، وهو أمر مفيد بشكل خاص عند مقارنة خيارين أو منتجين متنافسين. تعتبر مرحلة التفسير مهمة للغاية لأنها المفتاح لجعل نتائج تقييم الأثر قابلة للمقارنة ومفهومة.

³ في ظروف مناخية معينة، يمكن احتجاز الانبعاثات الهوائية من الصناعة والنقل بالوقود الأحفوري على مستوى الأرض، حيث تتفاعل مع ضوء الشمس لإنتاج الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي.

⁴ يقيس تأثير السمية البيئية إمكانية إطلاق مادة كيميائية في البيئة لإلحاق الضرر بالنظم الإيكولوجية الأرضية والمائية.

⁵ يعد المؤشر البيئي 99 (EI99) نموذج من أعلى إلى أسفل يحدد في البداية ثلاث نقاط نهاية للضرر البيئي: صحة الإنسان وجودة النظام البيئي والموارد.

5.4. قواعد بيانات LCA (LCA databases): [1]

نظراً للكثافة الهائلة من البيانات المطلوبة لأداء دراسة تقييم دورة الحياة، من الضروري استخدام البرامج التي تجعل الدراسة أكثر كفاءة، مع الأخذ في الاعتبار أن حزم البرامج هذه تتكامل مع قواعد بيانات المخزون ومنهجيات تحليل التأثير. تحتوي حزم برامج LCA على قواعد بيانات وطرق LCA مدمجة في نظامها، مما يقلل الوقت المطلوب لجمع بيانات المخزون وإجراء تقييم الأثر، وإنشاء جداول ورسوم بيانية تساعد في تفسير النتائج. تم تصميم جميع البرامج لمساعدة المستخدم أثناء مرحلة جرد تقييم دورة الحياة، وبالتالي يجب أن تكون سهلة الاستخدام، ولديها قدرة معالجة البيانات، وتنتج نتائج سريعة ودقيقة، مع الأخذ في الاعتبار أن كل حزمة برامج لها مزايا وعيوب.

عام 2016، أجريت دراسة من أجل مقارنة قواعد بيانات LCA المختلفة، تم اختيار القواعد التي تعمل مع مواد البناء من ضمن أكثر من 40 قاعدة بيانات LCA. تم إجراء تقييم بناءً على 6 ميزات افترضتها الدراسة هي: النطاق (scope)، الاكتمال (completeness)، الشفافية (transparency)، الشمولية (comprehensiveness)، التحديث (update) والترخيص (licence).

حيث يعبر نطاق قاعدة البيانات عن المنطقة التي تتم فيها عمليات التصنيع، بينما يُظهر الاكتمال كيفية تغطية عائلات المواد. في الشفافية سيتم تقييم إمكانية التتبع والمخطط الصريح للعملية المنهجية التي يتم من خلالها تحديد دورة حياة المادة. وتقيس

الشمولية سلامة المعلومات المقدمة لكل مادة. يقيس التحديث القرب بين آخر تحديث للإدخالات في قاعدة البيانات والمشروع قيد التقييم، وتشير ميزة الترخيص إلى ما إذا كان الترخيص مدفوع أم مجاني. (انظر الجدول 1). تشير الرموز في الجدول إلى ما يلي:

-: لم يتم إنجاز الميزة.

+: تم إنجاز الميزة جزئياً أو في بعض الأحيان.

++: تم إنجاز الميزة ولكن يمكن أن تصل إلى مستوى أعلى من الاكتمال.

+++ : تم إنجاز الميزة بالكامل.

NA: غير متاح.

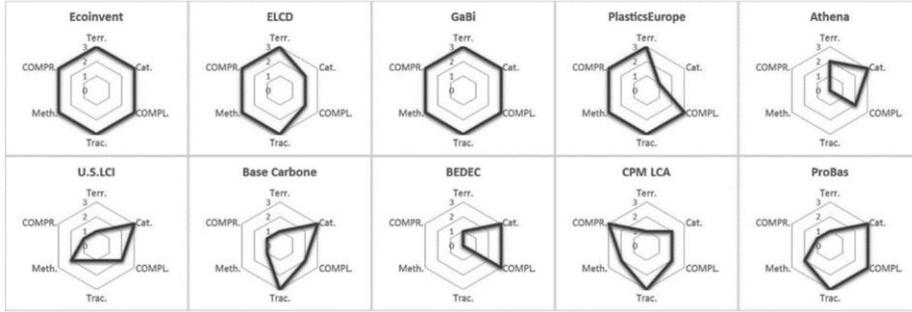
جدول رقم 1: مقارنة قواعد بيانات LCA بالاستناد إلى السمات الست المختارة. [1]

Ecoinvent	ELCD	GaBi	Plastics Europe	Athena	U.S.L.CI	Base Carbone	BEDEC	CPM LCA	ProBas	المعايير	الميزات
+++	+++	++ +	+++	++	+	+	+	+	+	الاقليم	النطاق
+++	++	++ +	+	+++	+++	+++	+++	++	+++	الفتات	
+++	++	++ +	+++	++	++	++	+++	++	+++	التنوع	الاكتمال
+++	+++	++ +	+++	N.A.	+	+++	-	+++	+++	التتبع	الشفافية
+++	+++	++ +	+++	N.A.	++	+	-	++	++	المنهجية	
+++	+++	++ +	+++	N.A.	+	+	-	++ +	+	التوثيق	الشمولية
2012	2012	2012	2012	2012	2012	2013	2013	2008	2012	آخر تحديث	التحديث
Yes	No	Yes	No	Yes	No		No	No	No	مطلوب	الترخيص

كما تم تمثيل كل قاعدة بيانات في مخطط عنكبوتي (شكل رقم 3) من أجل تحديد قواعد البيانات التي تحقق المزيد من الميزات، وبالتالي قد تعتبر أكثر اكتمالاً ومناسبة من غيرها. يُلاحظ أنه لم يتم النظر في ميزات الترخيص والتحديث في تصميم المخطط حيث لا يمكن تقييمها من 0 إلى 3. في حالة معايير الإقليم، تشير نقطة واحدة إلى أن قاعدة البيانات موجهة لبلد واحد، ونقطتين لبلدين وثلاث نقاط لأكثر من بلدين أو قارات كاملة.

تم تحديد Ecoinvent و GaBi Database على أنها أكثر قواعد بيانات LCA

اكتمالاً وفقاً للميزات المحددة للدراسة. واعتبرت ELCD أفضل قاعدة بيانات مجانية.



شكل رقم 3 : مخططات العنكبوت لقواعد بيانات LCA بالاستناد إلى السمات الست المختارة [1]

الدليل: Terr: Territory, Cat: Categories, Compl: Completeness, Trac: Traceability, Meth: Methodology Outlining, Compr: Comprehensiveness. [1].

أوصت الدراسة بأن على ممارسي LCA الذين لم يتم تطوير قاعدة البيانات وفق

لخصائص التصنيع لبلدهم (كما في سورية)، أن يعملوا على تكيف البيانات، أو أن يتم ببساطة افتراض الأخطاء التي سينتج عنها.

6. دورة حياة الخرسانة التقليدية:

بعد أن تم استعراض منهج دورة الحياة بشكل عام، سنتناول هذه الفقرة كيفية

تطبيق منهج دورة الحياة على مادة الخرسانة والأمور الواجب مراعاتها، حيث سيعتمد

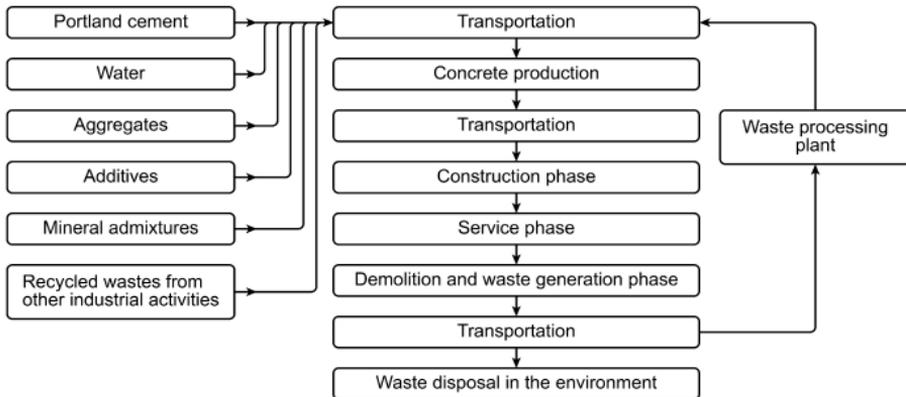
LCA لخرسانة معينة على النسبة المئوية للأسمنت المتضمن في الخرسانة وما إذا كان

يتم استخدام بديل للأسمنت. بالإضافة إلى ذلك، سيكون لموقع إنتاج الأسمنت بالنسبة

إلى موقع البناء تأثير كبير على نتائج تقييم دورة الحياة، فلإجراء تقييم بيئي كامل لإنتاج

الخرسانة، من الضروري تحديد العمليات الرئيسية التي تحدث في إنتاج الخرسانة ومكوناتها. [2].

يوضح الشكل رقم 4 دورة حياة الخرسانة مع المراحل التي تشكل سلسلة إنتاجها. أولاً، يتم نقل المواد الأصلية المكونة للخليط (الأسمنت والماء والركام والمواد المضافة والمواد المضافة) إلى مصنع إنتاج الخرسانة (مرحلة الإنتاج) حيث يتم خلطها ونقلها مرة أخرى في شاحنات خلط الخرسانة إلى مواقع البناء أو خلطها مباشرة في الموقع (مرحلة البناء). بعد تشكيل الخرسانة وإخضاعها لعملية المعالجة، يبدأ استخدامها (مرحلة الخدمة). بعد سنوات، عندما تكون المادة قد تعرضت للإرهاق بفعل الزمن أو لم تعد مفيدة بعد الآن أو تعرضت للانحيار بسبب الكوارث الطبيعية أو الحروب (كما في الحالة السورية)، عندها يمكن هدمها (مرحلة الهدم)، مما ينتج عنه كمية كبيرة من النفايات. ثم يتم التخلص من النفايات الناتجة. ومع ذلك، فهي تتمتع بإمكانية إعادة تدوير كبيرة ويمكن معالجتها وإعادتها إلى بداية دورة حياة الخرسانة الجديدة أو منتج آخر. [6][14].



شكل رقم 4: دورة حياة الخرسانة [14]

6.1. تعريف الهدف والنطاق:

الوحدة الوظيفية الشائعة المستخدمة في الخلطات الخرسانية والخرسانة هي متر مكعب واحد. بالمقارنة مع بعض مواد البناء الرئيسية الأخرى، فإن الخرسانة هي مركب يمكن تصنيعه في مجموعة كبيرة ومتنوعة من نسب المكونات. اعتماداً على متطلبات المصمم ونوع تطبيق الخرسانة، يقدم التباين في تصاميم الخلطات العديد من المنتجات الخرسانية، كل منها سينتج عنه تأثيرات بيئية محددة وخصائص مختلفة، لذلك يجب في مرحلة تعريف الهدف والنطاق تحديد تصميم الخرسانة بشكل دقيق. [5]

من الممكن تصنيف دراسات تقييم دورة الحياة على الخرسانة إلى 3 حدود للنظام: من المهد إلى البوابة، ومن المهد إلى اللحد، ومن المهد إلى المهد. على الرغم من أن الحدود الأكثر استخداماً هي من المهد إلى البوابة، إلا أن الاتجاه العالمي هو التقدم نحو نهج المهد إلى المهد. [14]

6.2. تحليل المخزون: ^[1]

من أجل تحليل المخزون تم الاعتماد على دراسة (مارتينيز وأخرون)، حيث استعرضت الدراسة عدد من أمثلة مواد البناء منها الخرسانة. حيث تم جمع البيانات من خمس قواعد بيانات مختلفة. انظر الجدول رقم 2.

جدول رقم 2: الطاقة المجسدة، الانبعاثات ومزيج الطاقة لانتاج الخرسانة من عدة قواعد بيانات LCA. [1]

مزيج الطاقة	الانبعاثات (kgCO ₂ /kg)	الطاقة المجسدة (MJ/kg)	قواعد البيانات
-	0.088	-	Base Carbone
-	0.0745	0.437	BEDEC
وقود أحفوري %75.00 طاقة نووية %19.20 الطاقة الكهرومائية %1	0.112	0.618	Ecoinvent
وقود أحفوري %84.60 طاقة نووية %13.20 طاقة رياح %1.33	0.121	0.658	ELCD (PE Int.)
وقود أحفوري %83.11 طاقة نووية %10.62 الطاقة الكهرومائية %5.34	0.118	0.635	GaBi

تأتي البيانات في قاعدة بيانات ELCD من PE International، وهو نفس المصدر في قاعدة بيانات GaBi، لذا يمكن اعتبار كلاهما متماثلًا. قاعدة بيانات BaseCarbone تعطي انبعاثات أقل من ثاني أكسيد الكربون لكل كيلوغرام، وربما يرجع ذلك إلى مزيج الطاقة المستخدم في فرنسا المعتمد على الطاقة النووية (بلد المنشأ لقاعدة البيانات). تمتلك كل من Ecoinvent و GaBi-ELCD مصادر مختلفة وبالتالي فهي تتعكس في مزيج الطاقة. في سورية الطاقة المستخدمة هي الغاز الحيوي، وبشكل عام في حالة ما إذا كانت عملية البناء بأكملها عبارة عن دراسة بدائية، فيمكن استخدام قاعدة بيانات Ecoinvent أو GaBi لأنها الأكثر اكتمالاً من حيث الفئات وتنوع المواد.

6.3. تأثيرات دورة حياة الخرسانة التقليدية (LCI):

تُعزى الانبعاثات المرتبطة بخطط الخرسانة في الغالب إلى استخدام الطاقة أثناء عمليات الخلط. في مصنع الخرسانة، هناك حاجة للكهرباء والوقود لخلط ونقل وضخ

مكونات وخلائط الخرسانة، بالإضافة إلى تدفئة وتبريد المنشأة. تتولد النفايات الصلبة أثناء إنتاج الأسمنت، في الغالب على شكل غبار قمائن الأسمنت (CKD) (Cement Kiln Dust)، وكذلك أثناء معالجة الركام والإضافات (SCMs) (Supplementary cementitious materials)، وعمليات خط الخرسانة. [5]

في LCAs للخرسانة، يجب أخذ تأثيرات استهلاك المياه وسحبها أثناء إنتاج الأسمنت والخرسانة في الاعتبار. يتم استخدام الكهرباء عند ضخ المياه قبل استخدامها في الخرسانة. وعليه تتطلب التأثيرات البيئية المرتبطة بسحب المياه تحليل منهجي. [5].

بالنسبة للأسمنت، تستهلك المعالجة الحرارية في إنتاجه حوالي 90% من إجمالي الطاقة. ويؤدي استخراج المواد إلى انبعاث كبير لجسيمات دقيقة (PM). بينما تستهلك مراحل تحضير المواد الخام والطحن ومراحل النقل، طاقة منخفضة نسبياً، 2-5% من إجمالي الإنتاج. أثناء عملية إنتاج الأسمنت، يتم استهلاك الطاقة بشكل كبير. يجب العمل مع مصنعي الأسمنت في القطاعين العام والخاص الذين يمكنهم توفير بيانات الاختبار اللازمة حول هذه الخصائص، مثل التحليل الكيميائي لمواد الأسمنت الخام التي يمكن أن تعطي نظرة ثاقبة على محتوى المعادن الثقيلة في بعض المواد. [5][9][10][11][13]

يتم تضمين انبعاثات غازات الدفيئة، ومعظمها في شكل CO₂، في قوائم جرد جميع LCAs لإنتاج الأسمنت. هناك نوعان من المصادر الرئيسية لانبعاثات CO₂

المباشرة من الإنتاج: احتراق الوقود والتكلس. في معظم LCAs للأسمنت، تُحسب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عموماً على أساس المتوسطات الوطنية دون مراعاة تقنيات الأفران المختلفة وتكوين المواد ووقود الفرن. من المهم ملاحظة أن كمية ثاني أكسيد الكربون وانبعاثات الهواء الأخرى ستعتمد على مزيج الوقود المستخدم لتوليد الكهرباء وستختلف على المستوى الوطني والإقليمي. سيكون إدراج تأثيرات سلسلة التوريد للوقود والمواد ضروري لنهج شامل لتحليل دورة الحياة. مثل أي عملية إنتاج أخرى لحرق الوقود، ينتج عن إنتاج الأسمنت ملوثات هواء شائعة رئيسية: SO_2 و NO_x و CO و PM و VOC و CH_4 بالإضافة إلى انبعاثات CO_2 . يتم إنتاج الجسيمات الدقيقة (PM) خلال جميع المراحل الرئيسية لعملية إنتاج الأسمنت البورتلاندي. يمكن أن تسبب انبعاثات الجسيمات من المحاجر حوالي 90% من إجمالي انبعاثات الجسيمات من عملية إنتاج الأسمنت. يبلغ استهلاك المياه أثناء أعمال المحاجر حوالي 60% من إجمالي الاستخدام. عندما نفكر في الأحجام العالمية لإنتاج الأسمنت، يمكن أن يصبح حجم الانبعاثات واستخدام المياه من المحاجر كبيراً جداً. [5][9][13]

يمكن أن تكون المواد الكيميائية المستخدمة في مضافات الخرسانة مصدر قلق عند النظر في خصائصها السامة، حيث يعتبر ترشيح المواد مصدر قلق كبير، بسبب القلويات التي تحتوي على آثار من المعادن الثقيلة (الرصاص Pb ، الكاديوم Cd ، الكروم Cr ، الزئبق Hg ، الثاليوم $thallium$ ، والزنك Zn)، بالإضافة إلى المكونات العضوية في

العوامل المضافة. لكن نادراً ما يتم تناول المواد المضافة في الأدبيات نظراً لوجود القليل من البيانات البيئية أو عدم وجودها على الإطلاق وذلك فيما يتعلق بإنتاج المواد المضافة، ومعالجتها وخلطها مع المكونات الخرسانية الأخرى، والمصير بعد تصلب الخرسانة. بشكل عام، يمكن إهمالها نظراً لكميات الصغيرة من المواد المضافة في الخرسانة (أقل من 1% من كتلة الخرسانة). قد تكون الشركات المصنعة مصدر جيد للمعلومات، لكن بياناتها سرية بشكل عام، كما أن الصناعة مترددة في نشر مثل هذه البيانات. [5].

7. LCA لتحديد بدائل الاسمنت والركام في الخرسانة (الخرسانة البيئية):

كما ذكرنا سابقاً، فإن عملية إعادة الاعمار يجب أن تتبنى مفاهيم الاستدامة وتعزز الحفاظ على البيئة، فعند إعادة بناء وعمارة المدن والمباني يعد استخدام المواد المستدامة وتقليل التأثيرات على البيئة أمر ضروري. أدى تطبيق LCA على إنتاج الخرسانة إلى العديد من الدراسات بهدف زيادة استدامة المادة، مع الأخذ في الاعتبار أهميتها الاجتماعية والاقتصادية في جميع أنحاء العالم. تتم حالياً دراسة العديد من النقاط في دورة حياة الخرسانة لجعل المادة أكثر استدامة، حيث تركز الدراسات حول الخلطات الخرسانية على إنشاء بدائل لاستبدال كمية كبيرة من الأسمنت البورتلاندي والركام الطبيعي بمضافات معدنية ونفايات معاد تدويرها من الصناعات الأخرى (كمية متزايدة من الخلطات وأقل من الكلنكر)، دائماً بحذر حتى يتم الحفاظ على جودة المواد، مما

يضمن أطول عمر إنتاجي ممكن في مرحلة الخدمة. في الجزء اللوجستي من العملية، يجب القيام بتحليل أنواع النقل والمسافات والمواقع الجغرافية للعثور على أقل تأثير ممكن. في نهاية دورة الحياة، يتم تحليل النفايات المتولدة لتعزيز استخدامها وتصحيح مرة أخرى مدخلات في إنتاج المزيد من الخرسانة أو سلسلة إنتاج صناعي أخرى. [14]

يعد تقليل كمية الأسمنت في خليط الخرسانة عملية استراتيجية لها عدد من الفوائد المحتملة. يمكن استبدال الرماد المتطاير وخبث أفران الصهر (كلاهما لهما خصائص اسمنتية) جزئياً على الأقل بالإسمنت مما يؤدي إلى زيادة أداء الخرسانة. يمكن استبدال الرماد المتطاير بسهولة بأكثر من 30% من حجم الأسمنت، وخبث أفران الصهر لأكثر من 35%. تتمتع هذه البدائل بميزة الاستفادة من النفايات الصناعية مع تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بإنتاج الخرسانة في نفس الوقت. يمكن أيضاً مزج الرماد المتطاير وخبث الأفران العالية مع الأسمنت في عملية تصنيع الأسمنت، مما يؤدي إلى تقليل انبعاث ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الطاقة وزيادة القدرة الإنتاجية. يمكن استخدام الخرسانة المكسرة كقاعدة فرعية للطرق والأرصفة ومواقف السيارات. في هولندا مثلاً، يمكن أن يحل الركام الخرساني المعاد تدويره محل ثلث الركام البكر في الخلطات الخرسانية. [8]

تعتبر نفايات الهدم والبناء (C&D) (Construction & Demolition Waste) واحدة من أكبر مجاري النفايات الصلبة، حيث يتم إنتاج أكثر من 450 مليون

طن من هذه النفايات سنوياً في الاتحاد الأوروبي، 67-40% منها تتكون من الخرسانة[13].

في سورية، يعتبر قطاع الإسكان أكثر القطاعات تضرر نتيجة الحرب والزلازل الذي ضرب شمال وشرق غرب البلاد العام الماضي. وبالتالي تستوجب الكميات الكبيرة من نفايات الهدم والبناء (C&D) التفكير في إمكانية إعادة تدويرها، مع التأكيد على أنه لا يتم تحقيق الجدوى البيئية من استخدام الركام المعاد تدويره إلا عند وجود محطات إعادة التدوير بالقرب من مصانع الخرسانة [9]. حان الوقت الآن للنظر إلى النظام من منظور مختلف، أي بدلاً من النظر إلى كومة النفايات على أنها مشكلة، يجب اعتبارها مورداً عظيماً، والذي يمكن أن يؤدي إلى تطوير وتنفيذ مواد مستدامة في البناء. تتمثل إحدى تحديات وجود كمية كبيرة من نفايات C&D في إعادة استخدامها/إعادة تدويرها في منتجات أو خدمات جديدة وبالتالي توفير حل مستدام في ممارسات البناء لتحسين البيئة. إن ركام الخرسانة المعاد تدويره يعد خياراً قابلاً للتطبيق لتلبية الطلب. تتمثل مزاياه الرئيسية في تقليل استخدام الركام البكر الذي يوفر الاستكشاف والنقل والتكاليف البيئية ذات الصلة وتقليل الحمل على مكب النفايات. يمكن غرلة الخرسانة المهدامة لفرز الشوائب وتخزينها بجانب موقع البناء، ومن ثم يمكن استخدامها بسهولة كركام خشن للخرسانة الجديدة. يجب إجراء أي قدر من معالجة الحطام الخام، مثل التقطيع أو الطحن، لتقليل تكلفة النقل عن طريق تقليل الحجم. بالإضافة لفصل يتضمن في الغالب

استرداد الخرقة المعدنية أو إزالة أي مادة قد تزيد بشكل كبير من تكلفة التخلص، مثل المواد الخطرة.[5].

في دراسة أجراها (زيديا وآخرون)، تم جرد مواد بناء المباني السكنية في مدينة سورية واحدة فقط هي حمص، والتي تعتبر أول مدينة وثالث أكبر مدينة متضررة من الحرب. أنشأت الدراسة خريطة رقمية لكل المدينة على مستوى الكتل وصنفت المباني السكنية إلى فئات مختلفة. بلغ عدد المباني المتضررة والمدمرة 13،778 مبنى. باستخدام معلومات المساحة الطابقية المنشأة في الخطوة السابقة تم تحديد مخزون مواد البناء في المدينة، ثم حساب كميات نفايات هدم المباني عبر ضرب المساحة الطابقية بأحدث بيانات الضرر (النسب المئوية). أظهرت نتائج تحليل جرد المواد وجود 17 نوع من مواد البناء، تسعة منها مواد أسمنتية. بينت النتيجة أن أكبر مكون هو الخرسانة المسلحة والتي تبلغ 20.7 مليون طن. بلغ إجمالي مخزون مواد البناء قبل الحرب حوالي 85.3 مليون طن. في حين قدرت كمية المواد التالفة بـ 3.07 مليون طن. بعد ذلك، تم تقدير حجم المكب المطلوب في حال لم يتم إعادة التدوير والاستخدام بـ 2.34 كيلومتر مربع والذي يمكن تخفيضه إلى 0.02 مليون طن إذا تم تطبيق سيناريو إعادة التدوير وإعادة الاستخدام الأمثل.[12].

من جهة أخرى، يجب الانتباه إلى أنه في حال استخدام الركام الخشن المعاد تدويره فإن الطلب المرتفع المحتمل على الأسمنت بسبب السطح الكبير للركام يتحدى

الفوائد البيئية لإعادة تدوير الخرسانة. لذلك قامت دراسة بتحليل تأثيرات دورة الحياة لـ 12 مزيج من الخرسانة المعاد تدويرها (RC) (Recycled Concrete) بنوعين مختلفين من الأسمنت ومقارنتها بالخرسانة التقليدية المقابلة (CC) (Conventional Concrete). أظهرت النتائج فوائد بيئية واضحة (30%) لجميع خيارات RC عند مستوى نقطة النهاية (مؤشر البيئة 99 والندرة البيئية). يرجع الاختلاف بشكل أساسي إلى الأعباء التي تم تجنبها المرتبطة بإعادة تدوير حديد التسليح وتجنب التخلص من نفايات الهدم والبناء (C&D). أما فيما يتعلق بإمكانيات الاحترار العالمي (GWP)، فإن الخرسانة المعاد تدويرها تتسبب في إحداث احترار عالمي مماثل، وذلك إذا كان الأسمنت الإضافي ونقل RC محدود. لا يزال إنتاج الأسمنت هو المساهم الرئيسي، ولكن النظر في الفوائد من خردة الفولاذ المستعاد وتجنب نقل نفايات C&D إلى موقع الطمر وتجنب آثار التخلص من نفايات C&D يغير التوازن لصالح RC. على الطرف الأخر، النقل الإضافي لـ RC فوق 15 كم يبدأ في تغيير التوازن مرة أخرى بالنسبة لإمكانية الاحترار العالمي [9]. وهذا ما يمكن تجنبه في حال تم استخدام نفايات البناء والهدم من الموقع نفسه في حال إعادة اعمار المدن والبلدات السورية المتضررة.

المواد الخام الواعدة الأخرى لإنتاج "الخرسانة الخضراء" هي أنواع مختلفة من النفايات الصناعية، إما في دور الركاب أو كعامل رابط. مع الأخذ في الاعتبار الإدارة المستدامة لهذه المواد، يمكن أن تعمل المواد الثانوية من صناعة ما بشكل مثالي كمورد

لصناعة أخرى. ومع ذلك، فإن الشرط الأساسي لاستخدامها كبديل للمواد الطبيعية هو قبولها البيئي وملاءمتها التقنية [13].

في دراسة أجراها (ترك وآخرون) عام 2015، تم إجراء محاولة لتطوير خرسانة خضراء ذات قوة ضغط بالإضافة إلى متانة (أي مقاومة اختراق الماء) مماثلة لتلك الخاصة بالخرسانة التقليدية. تم استخدام ثلاثة أنواع مختلفة من المنتجات الثانوية الصناعية لتحضير الخرسانة الخضراء. رمل المسبك (⁶foundry sand)، الخبث الفولاذي (EAF S) (⁷EAF S slag) كمنتج ثانوي يحدث أثناء تصنيع الفولاذ المقاوم للصدأ، الرماد المتطاير (FA) (Fly Ash) الذي ينشأ من عمليات احتراق الفحم. يعد استخدام الرماد المتطاير في الخلطات الخرسانية كبديل جزئي للأسمنت البورتلاندي ممارسة شائعة جداً لأنه قد يحسن قوة ومتانة الخرسانة، وهناك هي أيضاً بعض الفوائد الاقتصادية. تمت في هذه الدراسة مقارنة الخصائص البيئية لجميع الخرسانات الخضراء الجاهزة للاستخدام مع بعضها البعض، ومع تلك الخاصة بالخرسانة التقليدية المقابلة. كان الهدف الرئيسي هو تقييم الفوائد البيئية المحتملة لإعادة التدوير، وتحديد أي من

⁶ Foundry sand: رمل المسبك المستعمل (UFS) عبارة عن مادة مهمة تأتي من صناعة صب المعادن الحديدية (الحديد والصلب) وغير الحديدية (النحاس والألمنيوم والنحاس الأصفر) لإنشاء القوالب والقلب. يتم استخدام حوالي 1 طن من رمل المسبك لكل طن من الحديد أو الفولاذ المصبوب. عادةً ما يكون مورد صناعة السيارات وأجزائها هم المولدات الرئيسية لرمل المسبك (حوالي 95٪ من UFS المقدرة). المصدر: مقالة في كتاب (Utilization of industrial by-products and natural ashes in mortar and concrete - R. Siddique, Kunal, in Nonconventional and Vernacular Construction Materials, 2016

الموقع: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/foundry-sand>

⁷ EAF slag: مادة شبيهة بالصخور تتولد أثناء عملية صناعة الفولاذ.

الخلطات الخرسانية كانت أكثر أو أقل استدامة نسبياً من وجهة نظر بيئية. جاءت النتائج

أن نسبة تقليل الآثار البيئية مقارنة بتأثيرات الخرسانة التقليدية وصلت إلى: [13]

- حوالي 75% في حالة سيناريو الرماد المتطاير.

- حوالي 85% في حالة سيناريو رمل المسبك.

- وما بين 65% و95% في حالة سيناريو الخبث الفولاذي EAF S.

يُظهر سيناريو خبث EAF S تحسناً طفيفاً (غير مهم) فيما يتعلق بانبعاثات

ثاني أكسيد الكربون، ولكنه تحسن كبير جداً فيما يتعلق بالمغذيات (مقارنة بالسيناريو التقليدي).

في دراسة كل من (تشن وآخرون)(بلانكيندال وآخرون)، التي قيمت البدائل لتقليل

الآثار البيئية باستخدام طريقة نقطة نهاية LCIA تسمى ReCiPe⁸. تم مقارنة 10

سيناريوهات لخليط الخرسانة لتحديد الأفضل. خلصت الدراسة إلى أن أفضل طريقة لتقليل

الآثار البيئية للخرسانة هي استبدال جزء من الأسمنت البورتلاندي بمضافات معدنية معاد

تدويرها أو مستعادة، وأبرزت أن استخدام خبث فرن الصهر والرماد المتطاير يمكن أن

يقلل من التأثيرات البيئية في دورة حياة الخرسانة بنسبة 39% [14].

كما قام كل من فلور وسانجيان (Flower and Sanjayan) عام 2007 أيضاً

بالتحقيق في إمكانية بعض المكونات الأسمنتية (مثل الرماد المتطاير وخبث أفران

⁸ ReCiPe هي طريقة منسقة لتقييم أثر دورة الحياة عند نقطة المنتصف ومستوى نقطة النهاية.

الصهر، وكلاهما منتج ثانوي صناعي) لتقليل الانبعاثات في صناعة إنتاج الخرسانة. وجد أن الرماد المتطاير قادر على تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الخرسانية بحوالي 15% وخبث فرن الصهر بحوالي 22% في الخلطات الخرسانية النموذجية. [13].

في دراسة (كولانجيلو وآخرون، 2018) تم استخدام منهجية تقييم دورة الحياة (LCA) لإجراء تحليل مقارنة لأربعة خلطات خرسانية مختلفة، مثل نفايات البناء والهدم (CDW)، الرماد المتطاير، حمأة الرخام، وخبث فرن الصهر. كانت المساهمة الرئيسية للدراسة أنها اقترحت استخدام الركام المعاد تدويره "الأخضر" في إنتاج الخرسانة من أجل تقييم الحد من الآثار السلبية المحتملة، من منظور البيئة والطاقة. أظهرت النتائج الرئيسية للبحث أن الركام المعاد تدويره الذي تم تحليله كان أفضل من الخرسانة التقليدية. [4].

في دراسة كيتينين (Kuittinen) عام 2016، حاول الإجابة على سؤال: هل مواد البناء المعاد تدويرها بيئية أكثر من المواد البكر؟، تم حساب البصمة الكربونية باستخدام منهجية تقييم دورة الحياة لخمسة بدائل مختلفة للهيكال الخرساني وخمسة خلطات أسمنتية مختلفة. بالإضافة إلى ذلك، تم حساب امتصاص ثاني أكسيد الكربون من خلال كربنة الخرسانة خلال 50 عام. وكانت النتائج أنه يمكن أن تكون البصمة الكربونية للمواد المعاد تدويرها الخيار الأفضل أو الأسوأ، اعتماداً على كيفية استخدام المواد. هناك اختلافات كبيرة بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الهياكل الخرسانية المعاد تدويرها.

إن إعادة تدوير الركام الخرساني إلى أقفاص (Gabions⁹) لا يقلل من انبعاثات CO₂، بل ثبت أنه الخيار الأسوأ من البدائل المدروسة، حيث تحتاج إلى تقوية إضافية (شبكة وأربطة فولاذية) لتلبية معايير المتانة، كما إن البصمة الكربونية لصناعة الفولاذ عالية. بالإضافة إلى ذلك، فإن كمية ملاط البناء المطلوبة في هذا البديل عالية جداً، لأن قطع الأنقاض غير متساوية في شكلها وقد تحتاج إلى ملاط أكثر من الكتل الخرسانية الموحدة. على العكس من ذلك، فإنه باستخدام خرسانة خبث الأفران (BFS - Blast Furnace Slag) يمكن خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير وزيادة امتصاص ثاني أكسيد الكربون. وبينت الدراسة أنه إذا كانت هناك احتياجات لدفن النفايات أو بناء السد أو غيرها من الاستخدامات النهائية المماثلة، فقد تكون الأنقاض الخرسانية المعاد تدويرها أكثر ملاءمة لمثل هذه الاستخدامات من تشييد المباني. خاصة إذا كان من الممكن تعريض الأنقاض للهواء، فإن تأثير الكربنة (Carbonation¹⁰ Effect) سيحول الركام الخرساني إلى بالوعة كربون [10].

جميع المواد التي تمت مناقشتها أعلاه، والتي تُستخدم في إنتاج الخرسانة، تفي بمتطلبات أن محتواها من الملوثات منخفض نسبياً (جميعها غير خطيرة، باستثناء نفايات

⁹ Gabions: هو شبكة في الغالب من أسلاك حديدية غير قابلة للصدأ مملوءة بالصخور أو الخرسانة المكسورة أو غيرها من المواد المستخدمة في بناء السدود والجدران الاستنادية وما إلى ذلك.
¹⁰ كربنة الخرسانة: هي نتيجة تفاعل كهروكيميائي بين ثاني أكسيد الكربون والرطوبة وهيدروكسيد الكالسيوم الموجود في الأسمنت، مما ينتج كربونات الكالسيوم. تعمل كربونات الكالسيوم على خفض قلوية الخرسانة من الرقم الهيدروجيني 12-13 إلى حوالي الرقم الهيدروجيني 9. يؤدي ذلك إلى تصلب الخرسانة وزيادة قوة ضغطها، ولكن عند هذا المستوى المنخفض من الأس الهيدروجيني تبدأ طبقة التخميل الواقية المحيطة بالفولاذ التسليح في الانهيار، مما يجعل الفولاذ عرضة للتآكل، وبما أن الصدأ (أكسيد الحديد) له حجم يصل إلى 6 أضعاف حجم الفولاذ الأصلي، لذلك فإن الصدأ يتسبب في تكسير الخرسانة وتشققها. يمكن أن تتقدم بمعدل 1 مم إلى 5 مم في السنة، اعتماداً على مسامية الخرسانة ونفاذيتها. تعتبر الكربنة السبب الأكثر شيوعاً لتآكل التعزيزات في الهياكل فوق الأرض ولكن يمكن منعه أو إيقافه باستخدام نظام طلاء وقائي مضاد للكربنة.

(C&D)، كما أن تجميد المكونات السامة في مصفوفة الأسمنت، يجعل احتمال تسربها إلى البيئة ضئيل. علاوة على ذلك، تلبى هذه المواد البديلة أيضاً المتطلبات فيما يتعلق بالأداء الفني والمتانة [13]. بشكل عام، تحتاج هذه الإضافات إلى إجراء التجارب للتحقق من فعاليتها على المقاومة والديمومة والتشوهات.

8. النتائج:

- الخرسانة هي واحدة من أكثر مواد البناء استخداماً، وبسبب هذا الاستخدام الواسع فمن الضروري تقييم التأثير البيئي لهذه المادة بشكل صحيح، خاصة لمرحلة إعادة الإعمار.
- LCA هي منهجية لتقييم الأحمال البيئية للعمليات والمنتجات خلال دورة حياتها الكاملة. يشمل التقييم دورة الحياة الكاملة للمنتج أو العملية أو النظام بدءاً من استخراج المواد الخام ومعالجتها، التصنيع والنقل والتوزيع، الاستخدام وإعادة الاستخدام والصيانة وإعادة التدوير والتخلص النهائي.
- أصبح تقييم دورة الحياة منهجية مستخدمة على نطاق واسع، بسبب طريقتة المتكاملة في معالجة وتقييم الأثر وجودة البيانات، حيث يُنظر إلى LCA بشكل متزايد على أنه أداة لتقديم دورات حياة أكثر كفاءة من الناحية البيئية.

- تعتمد منهجية تقييم دورة الحياة على معايير ISO 14040 وتتكون من أربع خطوات متميزة: تحديد الهدف والنطاق، وإنشاء جرد دورة الحياة، وتقييم التأثير وأخيراً تفسير النتائج.
- تتكون دورة حياة المنتج من مئات وآلاف من عمليات الوحدة، وسيستغرق جمع هذه البيانات الكثير من الوقت والموارد، مما يجعل بعض الدراسات غير عملية. لذلك، فإن البديل الأكثر واقعية هو استخدام قواعد بيانات دورة الحياة التي تخزن بيانات الجرد لعمليات الإنتاج المختلفة الخاصة ببلد المنشأ.
- تساهم قواعد البيانات في تحسين وقت تطبيق LCA وتتألف من عدة قواعد بيانات تحتوي على معلومات بيئية مختلفة، وهو أمر مهم لمعالجة البيانات وجمعها؛ وإلا ستصبح الدراسات بطيئة وغير دقيقة ويمكن أن تصبح قديمة قبل معالجة البيانات. عندما تكون هناك حاجة إلى معلومات ليست جزء من أي قاعدة بيانات، يمكن إجراء تقدير، بشرط أن يعتمد هذا التقدير على البيانات الموجودة. تعد Ecoinvent و GaBi Database أكثر قواعد بيانات LCA اكتمالاً، بينما تعتبر ELCD أفضل قاعدة بيانات مجانية.
- نظراً لأهمية وملاءمة قواعد البيانات في LCI، هناك حاجة واضحة وعالمية لتطويرها لدعم دراسات تقييم دورة الحياة، مما يتطلب تعاون المؤسسات البحثية

لإنشاء قواعد البيانات، والحكومة لتحديد السياسات العامة، والشركات لتوفير البيانات عن عمليات الإنتاج.

- هناك حاجة كبيرة لدمج النفايات المعاد تدويرها في بداية دورة حياة الخرسانة، بالإضافة إلى الحاجة لتحويل النفايات المتولدة في نهاية دورة حياتها إلى مدخلات لنظام إنتاج آخر أو حتى لنظام إنتاج الخرسانة، فهذا لا يؤمن فقط الحفاظ على موارد الحصى الطبيعية والحد من تيارات النفايات في مدافن النفايات ولكن أيضاً يخفف من الآثار البيئية الأوسع.
- الحاجة إلى مزيد من التجارب ودراسات تقييم دورة الحياة حول معالجة وإعادة استخدام نفايات البناء لمنع التخلص منها في البيئة ودمجها في دورة حياة جديدة. ويجب التأكيد على أن استخدام النفايات المعاد تدويرها لا يرتبط بأي تأثير بيئي عندما يتم تضمينها في نظام إنتاج جديد. كما يجب إيلاء اهتمام كبير لأنواع النقل المستخدمة في العملية والمسافة من مكان معالجة النفايات لضمان مكاسب كبيرة في أكبر عدد من فئات التأثير البيئي.
- النهج الجديد للخرسانة البيئية هو تقييم الأداء الفني للخلطات المعدنية البديلة، مما يدل على أنه بالإضافة إلى تحليل الخواص الميكانيكية للمادة، فإن تحليل دورة حياتها مناسب أيضاً لتحديد التأثير البيئية للخرسانة الناتجة.

- تم العثور على منهجية LCA لتكون أداة ممتازة لمقارنة السيناريوهات مع الخلائط الخرسانية المختلفة في البحث عن الكمية المثلى من الخلطات المعدنية البديلة، سعياً وراء أقل تأثير بيئي.
- إذا أعيد استخدام الركام الخرساني، فقد يكون ذلك خيار أكثر كفاءةً من الناحية البيئية يمكن تطبيقه عند إعمار البلدات السورية بعد انتهاء الحرب، حيث أن إعادة تدوير الأنقاض في الموقع بدلاً من التخلص منها قد تجلب لسورية فوائد بيئية إضافية.

قائمة الاختصارات مرتبة أبجدياً (List of Abbreviations)

الاسم بالإنكليزي	الاسم بالعربي	الرمز
Acidification Potential	إمكانية التحمض	AP
blast-furnace slag	خبث أفران الصهر	BFS
Conventional Concrete	الخرسانة التقليدية	CC
Construction & Demolition Waste	مخلفات البناء والهدم	C&D
Eco-indicator 99	المؤشر البيئي 99	EI99
Economic Input Output – Life Cycle Assessment	مخرجات المدخلات الاقتصادية – تقييم دورة الحياة	EIO-LCA
Eutrophication Potential	إمكانية التخثث	EP
Environmental Protection Agency	وكالة حماية البيئة	EPA
Environmental Product Declarations	بيانات المنتج البيئية	EPD
fly-ash	الرماد المتطاير	FA
Life Cycle Assessment	تقييم دورة الحياة	LCA
Life Cycle Costing	تكلفة دورة الحياة	LCC
Life Cycle Energy Analysis	تحليل طاقة دورة الحياة	LCEA
Life Cycle Inventory	جرد دورة الحياة	LCI
Life Cycle Impact Assessment	تقييم تأثير دورة الحياة	LCIA
Life Cycle Management	إدارة دورة الحياة	LCM
Global Warming Potential	إمكانية الاحترار العالمي	GWP
International Organization for Standardization	المنظمة الدولية للمقاييس	ISO
Photochemical Smog Potential	إمكانية الضباب الدخاني	POCP
Recycled Concrete	الخرسانة المعاد تدويرها	RC
Society of Environmental Toxicology and Chemistry	جمعية علم السموم البيئية والكيمياء	SETAC
United Nations Environment Programme	برنامج الأمم المتحدة للبيئة	UNEP

9. References

- MARTÍNEZ-ROCAMORA A , SOLÍS-GUZMÁN J, & MARRERO M
(2016). **LCA databases focused construction materials: A Review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 565–573. doi:10.1016/j.rser.2015.12.243
1. BAYER C., GAMBLE M., GENTRY R., & JOSHI S. (2010). **A Guide to Life Cycle Assessment of Buildings.** 1735 New York Avenue NW: The American Institute of Architects.
 2. CALKINS M. (2012). **The Sustainable Sites Handbook: A Complete Guide to the Principles, Strategies and Practices for Sustainable Landscapes.** Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
 3. COLANGELO, F., FORCINA, A., FARINA, I., & PETRILLO, A. (2018, May 11). **Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction.** Buildings. doi:10.3390/buildings8050070
 4. GURSEL A. P., MASANET E, HORVATH A, & STADEL A. (2014, August). **Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review.** Cement & Concrete Composites, 51, 38–48. doi:10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005
 5. HEEDE, P. V., & BELIE, N. D. (2012, January 3). **Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and**

- theoretical calculations.** Cement & Concrete Composites, 34, 431–442. doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004
6. KHASREEN M. M, BANFILL P. F, & MENZIES, G. F (2009, September 18). **Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review.** Sustainability, 1, 674-701. doi:10.3390/su1030674
7. KIBERT, C. J. (2013). **Sustainable Construction - Green Building Design and Delivery-**. New Jersey, Hoboken, Canada: JOHN WILEY & SONS, INC.
8. KNOERI, C., SANYÉ-MENGUAL, E., & ALTHAUS, H.-J. (2013, January 23). **Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications.** BUILDINGS AND BUILDING MATERIALS, 18, 909–918. doi:10.1007/s11367-012-0544-2
9. KUITTINEN, M. (2016, March 29). **Does the use of recycled concrete lower the carbon footprint in humanitarian construction?** International Journal of Disaster, 7 No. 5, 2016, 472-488. doi:10.1108/IJDRBE-04-2015-0016
10. REDDY, B. V., & JAGADISH, K. (2003). **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies.** Energy and Buildings, 35, 129–137.
11. SCHRYNMAKERS, P. d. (2009, March 24). **Life Cycle Thinking in the Aluminium Industry.** The International Journal of Life Cycle Assessment, 14, 2-5. doi:10.1007/s11367-009-0072-x

12. TURK, J., COTIC, Z., MLADENOVIC, A., & ŠAJNA, A. (2015, June 23). **Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA.** Waste Management, 1-12. doi:10.1016/j.wasman.2015.06.035
13. VIEIRA, D. R., CALMON, J. L., & COELHO, F. Z. (2016, July 25). **Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review.** Construction and Building Materials, 124, 656–666.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125
14. YEHEYIS, M., HEWAGE, K., ALAM, M. S., ESKICIOGLU, C., & SADIQ, R. (2013). **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability.** Clean Techn Environ Policy, 15, 81–91. doi:10.1007/s10098-012-0481-6
15. ZYDIA, S., ALBITAR, G., & KUBOTA, T. (n.d.). **Material Inventory Analysis of Residential Buildings in Homs, Syria for Rehabilitation.** Retrieved from
https://nws.stage.ac/3rincs2021/docs/abstracts/K-3_096_Samer_Zydia-210219.pdf
10. المراجع (In Arabic)
16. Basir N, 2004, **Principles of selection of environmental building materials.** Basil Al-Assad Journal, 1-25.

17. ENGINEERS ASSOCIATION. (1998). **General technical conditions and specifications for the implementation of buildings**, (Volume 1). Damascus, Syria: Association of Engineers publications.
18. ENGINEERS ASSOCIATION. (2012). **Guidelines for inspecting and monitoring engineering buildings and facilities to ensure their structural safety**. Damascus: Engineers Syndicate.
19. The General Corporation for Cement, Damascuss, Syria.

اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية (مشافي مدينة طرطوس مثالاً)

*إشراف: د. لؤي مرهج

** المهندس: فادي آصف حرفوش

المخلص

الموضوع بحث اعتبارات تصميم أقسام الأشعة المركزية في المشافي السورية ومطابقتها للمعايير الدولية وذلك بالاستناد إلى علاقات القسم الوظيفية الداخلية وترابط عناصره ومكوناته الخدمية والتقارب المكاني لعناصره وموقع القسم ومساحته وعلاقته مع باقي أقسام المستشفى وتقاربه المكاني مع كل قسم فيه بالاعتماد على دراسة نظرية عامة عن المشافي، ثم تفصيلية عن قسم الأشعة المركزي، يليها دراسة تحليلية لعدد من المشافي السورية وذلك للوصول إلى أسباب انخفاض جودة الخدمة في المشافي السورية وعلاقة قسم الأشعة المركزي بذلك ومدى مطابقتها للمواصفات العالمية، ومحاولة الوصول لتصورات لتصميم هذا القسم وطرق تطويره ليستطيع المهندسون السوريون الاعتماد عليها بدراسة المستشفيات الحديثة المراد تنفيذها أو القديمة المراد تأهيلها، وبالتالي تحديث وإعادة صياغة ما يوجد من أسس ومواصفات قياسية سورية للمشافي بالاعتماد على المواصفات القياسية العالمية.

كلمات مفتاحية: مستشفى، تصميم، أشعة، معايير، سوريا.

* أستاذ في قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة البعث

** : طالب دكتوراه في قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة البعث.

Design considerations of central Radiology Department In Syrian hospitals and its conformity with international standards (Tartous city hospitals as an example)

Summary :

The topic was discussed considerations for the design of central radiology departments in Syrian hospitals and their compliance with international standards, based on the department's internal functional relationships, the interconnectedness of its elements and service components, the spatial proximity of its elements, the department's location and area, its relationship with the rest of the hospital's departments, and its spatial proximity with each department in it,

based on:

- A general theoretical study of hospitals and then a detailed study of the central radiology department.

- An analytical study of a number of Syrian hospitals.

This is to reach the reasons for the low quality of service in Syrian hospitals, the relationship of the central radiology department to that, and the extent of its compliance with international specifications, and to try to arrive at visions for the design of this department and ways to develop it so that Syrian engineers can rely on them by studying the modern hospitals to be implemented or rehabilitated, and thus updating and reformulating the existing foundations and Syrian standard specifications. For hospitals based on international standards.

.Key words: Hospital, Design, Radiology , Standards, Syria.

المقدمة:

كافحت الإنسانية المرض منذ أقدم العصور، ولقد ساهمت الخدمات الصحية وأهم مقدميها المستشفيات في تخفيف الآلام ودفع المرض عن المرضى، والمتأمل في تطور دور المستشفيات يسعى لتطوير الوضع القائم بالأقسام التشخيصية والعلاجية بها إلى ما يجب أن تكون عليه وفقاً لمقتضيات الزمان والمكان. تاريخياً تطور العلم بصورة فائقة حتى العصر الحاضر بطرق تسامت على كل تصور، في عام ١٨٩٥ م اكتشف العالم الألماني "رونجن" أشعة اكس، حيث أعلن في نهاية العام عن إمكانية تطبيق هذا النوع من الأشعة في التشخيص، ومن ذلك الحين بدأ العمل بهذه الأشعة في دور الشفاء وخاصة لتشخيص حالة العظام بالجسم، وعقب هذا الاكتشاف ظهرت الأشعة الفلورسكوبية على يد عالمين إيطالي وأمريكي، وفي عام ١٨٩٨ م قام العالمان "ماري" و"بير كوري" باكتشاف أشعة الراديوم والتي ساهمت بشكل أساسي في علاج السرطان، وتسارعت الاختراعات لتصل إلى نهاية القرن العشرين حيث تم إدخال الجيل الأول من أجهزة التشخيص الالكترونية (باستخدام الكمبيوتر) وأهم ملامح هذا الجيل تمثل في جهاز الأشعة المقطعية وأشعة الرنين المغناطيسي، وبالرغم من التطور السريع لأجهزة الأشعة التشخيصية إلا أن الباب مازال مفتوحاً نحو ظهور أجهزة ومعدات تعمل عن بعد بكافة الوسائل، ويعد هذا التطور المفاجئ والمستمر إشكالية تحتاج إلى رصد ومعالجة ومتابعة تصميم هذا القسم وسرعة تطوره والحاجة لتطويره ومدى التزامه بالمعايير العالمية.

مشكلة وهدف ومنهجية البحث:

مشكلة البحث: عدم مطابقة أقسام الأشعة المركزية في المشافي السورية للمعايير العالمية وصعوبة تطويرها وهذا يؤثر على رفع سوية الخدمات المقدمة.
هدف البحث: دراسة مدى ملائمة ومطابقة أقسام الأشعة في المستشفيات السورية للمعايير والاعتبارات العالمية لإيجاد سبل تطويرها ورفع سوية وجودة الخدمات المقدمة للمرضى.

منهجية البحث: وتتضمن:

أولاً: دراسة نظرية لاعتبارات تصميم أقسام المشافي فنبدأ بتصنيفها ثم الأساليب المتبعة لتصميمها والأقسام الرئيسية للمستشفى ثم دراسة مفصلة لقسم الأشعة المركزي من حيث عناصر القسم ومساحة القسم والعلاقة الوظيفية بينه وبين عناصر المستشفى.
ثانياً: دراسة تحليلية لنماذج من المشافي السورية ومثالا عنها في مدينة طرطوس الساحلية ومدى مطابقتها للمواصفات والمعايير العالمية وبعدها وضع مقترحات لهذا القسم وأخيرا النتائج والتوصيات.

1- اعتبارات تصميم المستشفى وأقسامها (قسم الأشعة للدراسة):

1-1 : تصنيف المستشفيات: تصنف المستشفيات بطرق مختلفة منها طبقاً لمستوى الرعاية أو طبقاً لحجم المستشفى: مستشفى صغير الحجم حتى 50 سرير أو مستشفى متوسط الحجم حتى 250 سرير أو مستشفى كبير الحجم حتى 500 سرير أو مستشفى ضخم (أكبر من 500 سرير). أو طبقاً للتخصصات الطبية: مستشفى تخصصي: كمستشفى العيون أو الأطفال.... الخ أو مستشفى عام أو شامل. [7] ص 5.
أو طبقاً لملكية المستشفى : - مستشفى قطاع خاص أو عام :

- مستشفى حكومي (مستشفيات وزارة الصحة و التعليمية والجامعية والمستشفيات العسكرية وهيئة الشرطة . . الخ) . - مستشفيات تابعة للتأمين الصحي.
- مستشفى تابع لهيئة أو شركة كبرى أو تابعة للنقابات المهنية والعمالية.

1-2: أساليب تقسيم عناصر وأقسام المستشفى: المستشفى مبنى متعدد العناصر وتتشعب وظائف هذه العناصر بدرجة شديدة التعقيد، لذا كان لا بد من تقسيم عناصر المستشفى إلى أقسام رئيسية يندرج تحتها عناصر أخرى أقل حجماً الشكل رقم (1)، وهناك أساليب أتبع لتقسيم المستشفى إلى أقسام مختلفة ، و تتشابه في أغلب تفاصيلها وتختلف بشكل بسيط بينها، وسنكتفي بذكر ثلاثة أساليب لتقسيم المستشفى إلى أقسام ثم لعناصر فرعية:

*الأسلوب الأول: أسلوب التقسيم طبقاً للتقارب الداخلي للأقسام: [7] ص 6.

طرح هذا الأسلوب المهندس إيزادور روزينفيلد (Isadore Roseinfeld) وهو مخطط أمريكي للمستشفيات وفيه تقسم المستشفى إلى خمسة أقسام كالتالي:

أ: مناطق رعاية المرضى الداخليين: وتشمل أسرة النقاهاة، أسرة الأطفال، أسرة الرعاية الذاتية، أسرة الرعاية المركزة، أسرة الإقامة الطويلة، أسرة الأمراض الباطنية.

ب: القسم التشخيصي-العلاجي: ويشمل العيادات الخارجية، المخابر والأشعة، العلاج الطبيعي، الإسعاف، بنك الدم، أسرة الجراحة، مكاتب الأطباء، الخدمات الاجتماعية.

ج: قسم الدعم و الإمداد الفني: المهمات، المشتريات، التوزيع، المغسلة المركزية، خدمات التعقيم المركزي، صيدلية، المطبخ المركزي، مشرحة، خدمة غرف، المستودعات العامة، كهرباء، محرقة، صيانة، خدمات ميكانيكية.

د: القسم الإداري: ويشمل الإدارة الطبية (سجلات طبية، تعليم طبي) والإدارة غير الطبية (شئون عاملين، مالية (محاسبية)، علاقات عامة ... الخ).

ه: قسم التعليم والأبحاث.

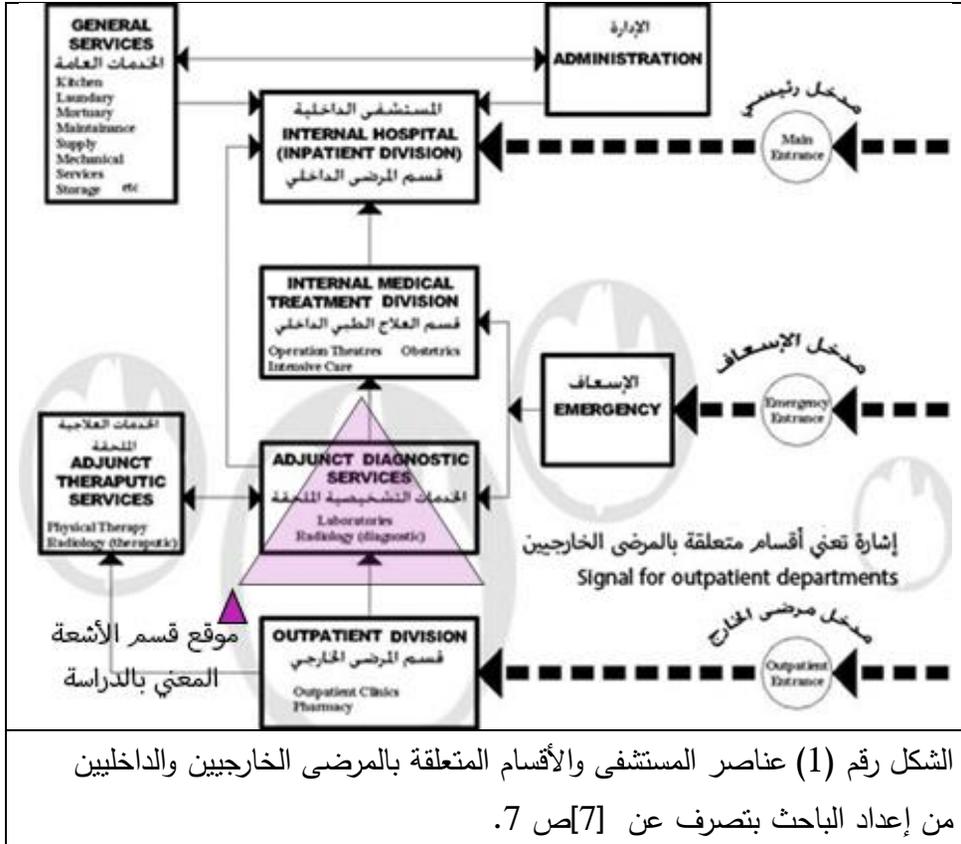
*الأسلوب الثاني: أسلوب التقسيم طبقاً لنوعية النشاط وقد طرح هذا الأسلوب المهندس إبراهيم كريم . وفيه تنقسم المستشفى إلى سبعة أقسام [7] ص6. كالتالي:

أ- قسم المرضى الخارجيين: (outpatients' division) ويشمل العيادات الخارجية و الإسعاف والصيدلية الشكل رقم (16) . ب- قسم إدارة المستشفى administration .()

ج- قسم الخدمات التشخيصية: (diagnostic services) ويشمل المخابر والأشعة التشخيصية. د - قسم الخدمات العلاجية : (therapeutic services) ويشمل العلاج الطبيعي و الأشعة العلاجية (بالإضافة للكلية الصناعية).

هـ - قسم العلاج الداخلي : (internal medical services) ويشمل جناح العمليات

اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)



ووحدة الرعاية المركزة وقسم الولادة والتعقيم المركزي. و - قسم المرضى الداخليين: ويشمل أجنحة المرضى ومحطات التمريض وخدمات المرضى الداخليين.

ي- قسم الخدمات العامة: ويشمل (المطبخ والغسيل والمستودعات) المركزية والورش والمحرق والمشرحة والخدمات الميكانيكية والكهربائية.

* الأسلوب الثالث: أسلوب التتابع الفراغي لخط الحركة: [7] ص 6.

وقد طرح هذا الأسلوب فريق عمل من منظمة الصحة العالمية وفيه تم تقسيم أقسام المستشفى من أكثرها توجها للخارج إلى أكثرها توجها للداخل حيث تم مراعاة كلاً من أسلوب التقارب الداخلي وأسلوب تصنيف الأنشطة، وفي هذا الأسلوب تم تقسيم المستشفى لخمس مناطق من الخارج للداخل كالتالي:

أ- المنطقة الموجهة نحو الخارج : وتشمل العيادات الخارجية ، الصيدلية ، استقبال الإسعاف ، الإدارة.

ب- المنطقة الخارجية الثانية : وتشمل المخابر وبنك الدم ، الأشعة ، العلاج الطبيعي .

ج- الجزء الأوسط : وتشمل العمليات ، العناية المركزة، الولادة، والأطفال المبتسرين .

د- المنطقة الداخلية : وتشمل قسم إقامة المرضى الداخليين .

هـ- منطقة الخدمات العامة : وتشمل خدمات المطبخ و المغسلة والتعقيم المركزي وخدمة الغرف، الصيدلية، المستودعات، الصيانة، المشرحة ، الخدمات الميكانيكية والكهربائية ، اتصالات ، أمن، سيارات إسعاف وانتظار سيارات، بالإضافة لسكن الطاقم الخ .

مما سبق يمكن اعتبار أن اقسام الأشعة قسم متعلق بالمرضى الخارجيين بالمستشفى على حد سواء مع المرضى الداخليين.

1-3: الأساليب المتبعة لتصميم مباني المستشفيات وتشكيلها العام:

المفتاح إلى تخطيط المستشفى وتصميمه هو باستغلال ومعالجة ثلاث مناطق وعلاقاتها لإنتاج مستشفى متكاملة ووظيفية بالكامل:

* منطقة رعاية المرضى الداخليين (قسم الأسرة): هنا يتم رعاية المرضى أثناء إقامتهم في المستشفى، ويؤمن لهم في كافة أنحاء المستشفى المناخ المعتدل الذي يُشبه الطبيعي، مع بيئة ملائمة لرعاية المرضى في المستشفى.

* المنطقة السريرية (التشخيصية): تشمل وسائل التشخيص والمعالجة، في أغلب الأحيان التهوية تتم بشكل اصطناعي وترتبط الأجهزة التقنية أولاً بالإجراءات التي تتم على المرضى. تتطلب المنطقة السريرية مخطط وحجم عالي الدقة والجودة، فراغات ومرتبّة وصحية بشكل كامل لتناسب الأجهزة المتطورة وأنظمة الدعم الفني.

* منطقة الدعم والإمداد الفني: تشمل المطبخ، الغسيل ، والتعقيم المركزي ، المستودعات، القسم الميكانيكي والكهربائي ومحطة الغازات الطبية، ورشات الصيانة، الخ

ويقدم كُلاً خدمات الإسناد الضرورية للمستشفى، كُلاً منطقة يَجِبُ أَنْ تَكُونَ قابلة للنمو والتغيير بدون تأثير على سلامة المناطق الأخرى. إضافة لما سبق هناك منطقة هامة قد تختلط بما سبق لها علاقة بالمرضى الخارجيين والذين يرتادون العيادات الخارجية والإسعاف والطوارئ وأقسام سبق ذكرها كالأشعة والمخبر والصيدلية والعلاج الطبيعي. يمكن لمبنى المستشفى أن يتخذ تشكيلاً معمارياً تبعاً لما يلي [6] ص 15-16.:

1- أسلوب التوزيع الرأسي. 2- أسلوب التوزيع الأفقي. 3- تكوين الزهرة.

1-4: أقسام المستشفى : عموماً يمكن اعتبار أن الأقسام الرئيسية بالمستشفى الشكل رقم (1) يمكن أن تكون كالتالي: (العيادات الخارجية- الصيدلية-الإسعاف - الأشعة - المخابر -الأشعة العلاجية - قسم العمليات. قسم العناية المشددة (المركزة)- التعقيم المركزي-قسم المرضى الداخليين (الأسرة)- المشرحة- المحرقة-. العلاج الطبيعي- الإدارة - قسم الحروق-المطبخ المركزي- الغسيل المركزي- المستودعات المركزية- الصيانة (قسم الورش) - خدمات التحكم- الخدمات الميكانيكية والكهربائية) .

2- قسم الأشعة المركزي:

1-2 : مقدمة حول موضوع التصوير بالأشعة والتصوير التشخيصي الطبي :

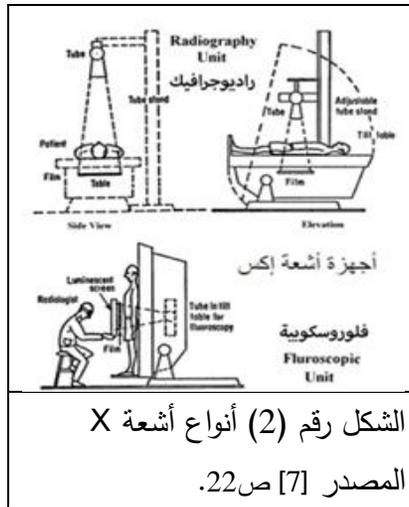
أخصائيو التصوير بالأشعة جزء من الطاقم الطبي وقطاع الرعاية الصحية في المؤسسة الطبية وأهمها المستشفيات، وكجزء من عملهم يقوم أخصائي الأشعة بشكل مستقل بإجراءات تشخيصية وأحياناً علاجية معقدة للغاية تتطلب خلفية نظرية واسعة وتدريب سريري مُثبت وقدرات تقنية عالية. وللتتويه من مهام طبيب الأشعة (Radiologist) والكادر الطبي بقسم الأشعة ما يلي :

- تقييم السجل الطبي للمرضى لضمان عدم إلحاق الأذى أو الضرر بهم بسبب التصوير الطبي والأشعة وأخذ الاحتياطات اللازمة.
- اقتراح تقنيات تصوير طبي بديلة عند اللزوم.
- إخبار المرضى بإجراءات وعمليات التصوير الطبي. حيث أن اختبارات التصوير تقدّم صورة للجزء الداخلي للجسم من الجسم كله أو جزء منه، ويساعد التصوير الأطباء على

تشخيص أحد الاضطرابات، وتحديد مدى خطورة الاضطراب، ومراقبة المرضى بعد التشخيص. ومعظم اختبارات التصوير غير مؤلمة، وأمنة نسبياً، وغير باضعة (أي أنها لا تتطلب شقاً في الجلد أو إدخال أداة في الجسم).

2-2 : فروع التصوير التشخيصي الطبي المختلفة:

2-2-1- فحوصات الأشعة السينية (X-RAY) الشكل رقم (2) الأشعة السينية هي وسيلة للتصوير تسمح بالحصول على صورة غير واضحة لأعضاء الجسم الداخلة باستخدام الأشعة السينية أشعة (X) ، الفحص بأشعة إكس يجرى بواسطة وحدات (Radiographic) راديو جرافيك أو بواسطة وحدات (Fluoroscopic) فلوروسكوبية والتي ظهرت على يد العالمين الإيطالي "ساليفوني" والأمريكي "أديسون" حيث كان لها دور فعال في دراسة الأوعية الدموية. [3] ص 83. أو وحدات مدمجة من كلا النوعيتين السابقتين ، ويتواجد هكذا أجهزة في أي مستشفى مهما كانت صغيرة الحجم ، حيث يمكن لجهاز أشعة إكس واحد أن يؤدي 40-50 فحص بالأشعة يوميا (على اعتبار أن ساعات العمل ايومي 6 ساعات) ، وأغلب هذه الفحوصات يقوم بها فني أشعة متدرب [7]ص 22،



اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)

ويمكن تقدير النسبة المتوقعة من فحوصات الأشعة طبقاً لعدد مرضى العيادات الخارجية وعدد أسرة المستشفى طبقاً لما هو موضح بالجدول التالي: رقم (1)

جدول رقم (1) : عدد فحوصات الأشعة إكس المطلوبة في مستشفى ما، إعداد الباحث بتصرف [7] ص 23.

تقدير النسب المئوية لفحوصات الأشعة المطلوبة في مستشفى		
نسبة الفحوصات يومياً لكل زيارة مريض بالعيادات الخارجية	نسبة الفحوصات يومياً لكل سرير بالقسم الداخلي	التخصص الطبي
النسبة مئوية	النسبة مئوية	جراحة (عامة وعظام)
90-60 %	50 %	داخلية
تقريبية	تقريبية	أطفال
30 %	15 %	نساء وولادة
30 %	30 %	
90-80 %	5 %	

2-2-2- CT (التصوير المقطعي): التصوير المقطعي هو طريقة التصوير التي تستند إلى الأشعة السينية من أجل إنتاج صور مفصلة ودقيقة للأعضاء الداخلية. تقوم أجهزة الاستشعار الموجودة حول جسم المريض بمعالجة الإشعاع باستخدام برنامج كمبيوتر للحصول على صور تفصيلية للأعضاء المختلفة المعروضة على مختلف المستويات والمقاطع المتقاطعة التي تسمح بالتصوير ثلاثي الأبعاد.

2-2-3- تصوير الثدي الشعاعي: تصوير الثدي بالأشعة هو عبارة عن تصوير الثدي باستخدام الأشعة السينية منخفضة الكثافة.

2-2-4- US الموجات فوق الصوتية: يخلق نظام الموجات فوق الصوتية صوراً لأعضاء الجسم الداخلية باستخدام موجات صوتية عالية التردد. هذه التكنولوجيا لا تستخدم الإشعاع المؤين، الفحص بالموجات فوق الصوتية يخدم بشكل أساسي مرضى الداخلية والولادة، وعلى ذلك يمكن أن تتواجد أجهزة الموجات فوق الصوتية في قسم الأشعة لخدمة مرضى العيادات الخارجية والطوارئ بالإضافة إلى إمكانية تواجدها في قسم الولادة، متوسط فترة الفحص بالموجات فوق الصوتية من 10-15 دقيقة وعلى ذلك فإن الجهاز الواحد يمكن أن يفحص 30 مريضاً يومياً (إذا كان عدد ساعات العمل اليومي 6 ساعات)، لا يمكن الاستغناء عن طبيب للفحص بالموجات فوق الصوتية حيث أن فحوصات الموجات فوق صوتية يؤديها إما طبيب أو فني بالاشتراك مع

الطبيب، [7] ص23. ولا تحتاج غرفة الفحص بالموجات فوق الصوتية إلى عزل الجدران والأسقف بالرصاص كما في غرف الأشعة تماما.

2-2-5- الطب النووي (حقيقة التسمية ترجع الى كون مصدر الاشعة هو نواة العناصر المشعة المستخدمة): وهو فحص بالأشعة باستخدام مادة مشعة تحقن في الوريد وتسمح بتشخيص أنواع مختلفة من الأمراض.

2-2-6- PET CT التصوير المقطعي المحوسب: التصوير المقطعي المحوسب هو فحص الذي يحصل فيه المريض على المادة المشعة التي ترتبط بالأنسجة حيث يكون معدل الأيض أسرع، مثل الأورام الخبيثة، أو المناطق التي توجد بها عدوى أو التهاب. فحص PET CT هو فحص متطور الذي يجمع بين فحوصات التصوير المقطعي والتصوير المقطعي المحوسب ويستخدم بشكل أساسي لتشخيص الأورام السرطانية.

2-2-7- MRI التصوير بالرنين المغناطيسي: التصوير بالرنين المغناطيسي هو فحص غير جراحي للأعضاء الداخلية عن طريق التصوير بالرنين المغناطيسي الذي ينتج صوراً واضحة (وثلاثية الأبعاد) للأعضاء التي تم فحصها والأوعية الدموية، هذه التكنولوجيا لا تستخدم الإشعاع المؤين. [4] ص100-105.

2-2-8- الأشعة التداخلية: الأشعة التداخلية هي مجال تصوير بالأشعة حيث يتم إجراء فحوصات تصوير طبي مثل قسطرة الأوعية الدموية، إدخال إبر لغرض إجراء فحوصات إلى أعضاء الجسم أو أخذ الخزعات لمختلف العلاجات المستهدفة، وإدخال الانابيب لغرض إجراء غسيل الكلى، والعلاج الكيميائي، وأكثر من ذلك. علما ان كافة أنواع التصوير المقطعي والذي يعتبر طريقة جيدة للتصوير وهو عبارة عن تقسيم الجسم إلى مقاطع وهمية وتصويرها بشكل منفصل، يحتاج عادة إلى قسم مستقل مع غرفة تحكم خاصة لجهاز الكمبيوتر.

2-3: الطرق والمواد والإجراءات المستخدمة باختبارات التصوير ما يلي:

•الإشعاع، كما هي الحال في الأشعة السينية، والتصوير المقطعي المحوسب، والمسح بالنوكليدات المشعة.

•الموجات الصوتية، كما في التصوير بالموجات فوق الصوتية. ultrasonography.

• المجالات المغناطيسية، كما هي الحال في التصوير بالرنين المغناطيسي.

• المواد التي يجري ابتلاعها، أو حقنها، أو إدخالها لإظهار أو تحديد حواف الأنسجة أو العضو لفحصه (تسمى عوامل التباين). لذلك هناك بعض مخاطر الإشعاع في التصوير الطبّي. وعند تصميم قسم التصوير الشعاعي يفضل أن يكون مسار المريض منفصل عن مسار الفنيين (للتوضيح لاحقاً شكل رقم 8)) ويجب أن يراعى في التصميم سهولة وصول المرضى المحمولين على الأسرة، وأن تكون المسافة التي يقطعها التقني بين غرفة التصوير وعملية تحميص الأفلام قريبة جداً. غرفة الأشعة يجب أن تكون معزولة عن باقي أقسام المستشفى بطبقة معدنية من ألواح الرصاص أو معدن الباريوم، ارتفاع غرفة الأشعة من 3-4 م والباب يجب أن يكون من درفتين أبعداً 90 و50 سم. أن لقسم التشخيص الشعاعي عدة أشكال فيمكن أن يكون على شكل متصلب أو على شكل حرف U أو على أشكال مختلفة.

2-4: فرق بين قسم الأشعة التشخيصي والعلاجي:

بما أنه هناك فرق بين قسم الأشعة التشخيصي والعلاجي فلا بد من شرح ما يلي:

* **العلاج الشعاعي** : يتواجد في مشافي 500 سرير وما فوق [8] ص 10. وهو القسم المخصص للعلاج بالأشعة وبسبب الكمية الكبيرة للأشعة المنطلقة للعلاج وجب أن يكون القسم معزول بشكل مطلق وبعض القوانين تفرض وجوده في القبو وتكون مصممة من البيتون المسلح (السقف الجدران الأرضية) وأن تزود بتصريف خاص للفضلات وأن إغلاق وفتح الأبواب يجب أن يتم التحكم بها بشكل مركزي من غرفة مجاورة.

* **الطب النووي** : هو عبارة عن مكان للتشخيص المرضى الذي يتم بحقن المريض بمواد مشعة ومتابعة سيرها بواسطة أجهزة تليفزيونية متطورة. وغرف هذا القسم يجب أن تكون معزولة وكبيرة لمرور الأسرة وهي لا تأخذ مساحة كبيرة كبقية الأقسام ففي هذا القسم يمكن وضع عدة مرضى في آن واحد ويجب مراعاة وجود غرف تخزين ملحقه بهذا

القسم، ويعتبر التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني ويرمز له اختصاراً PET من (Positron Emission Tomography) هي تقنية تصوير في الطب النووي تبين صور ثلاثية الأبعاد لبعض أعضاء الجسم وما قد يكون فيها من ورم سرطاني أو نواقل سرطانية ، كما يمكن بواسطتها تفقد مختلف العمليات الوظيفية في الجسم، مثل العمليات الحيوية للجهاز الهضمي. ويعمل الجهاز المصوّر على أساس اكتشاف أزواج من أشعة غاما المنبثقة بشكل غير مباشر من نظير مشع يكون مصدراً للبويزيترونات (إلكترونات موجبة الشحنة) ، يتم حقن المادة المشعة في جسم المريض بعد ربطه بجزء حيوي فعال (مثل جزيء سكر) ، فتتركز المادة المشعة بالعضو المراد فحصه، مثل الدماغ أو الكلى أو الكبد . ثم يتم تسجيل القياسات لأشعة غاما الصادرة من العضو واستنباء صورة ثلاثية الأبعاد لها بواسطة الحاسوب، فيمكن رؤياها على شاشة متصلة بالحاسوب.

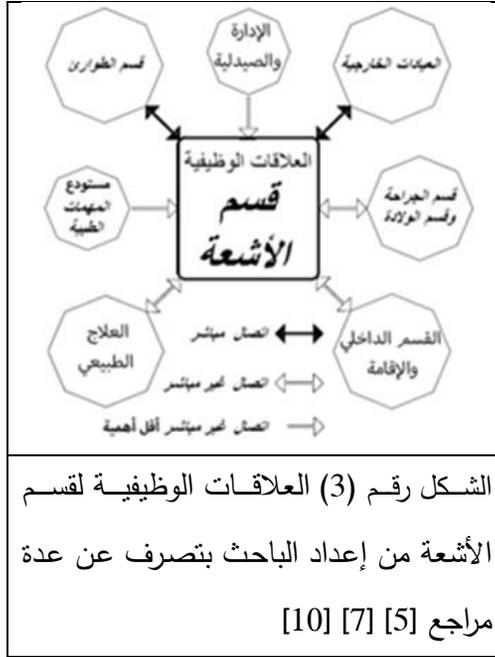
وفيما يلي ستم دراسة قسم الأشعة المركزي من ناحية:

2-5 - المتطلبات التصميمية لقسم الأشعة المركزي:

2-5-1: الموقع و العلاقات الوظيفية :

يقدم قسم الأشعة في المستشفى بشكل أساسي الخدمة إلى المرضى الخارجيين والداخليين . كما يجب العمل على سهولة وصول المرضى منه إلى أقسام العيادات الخارجية والإسعاف والعلاج الطبيعي والأقسام الداخلية للمستشفى، ولموقع قسم الأشعة بعض المحددات تتوقف على أسلوب تصميم القسم والحاجة للتوسع في المستقبل ونوع الأجهزة وعددها. [8] ص 10. وبناء على ذلك فإن تصمم قسم الأشعة يجب أن يراعي النقاط الآتية: الشكل رقم (3). [1] ص 68-99. [2] ص 241-261.

اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)



* يفضل أن يوجد قسم الأشعة في الطابق الأرضي وعلى اتصال مباشر بالمدخل الرئيسي للمستشفى.

* يفضل أن يكون قسم الأشعة قريباً جداً من العيادات الخارجية وقسم الإسعاف.

* يفضل أن يكون قسم الأشعة قريباً جداً من عناصر الاتصال الشاقولي (المصاعد) بحيث يسهل الوصول إليها من الأقسام الداخلي للمستشفى.

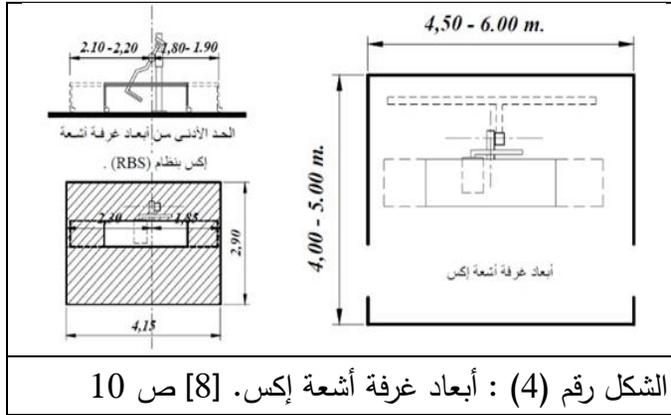
* لا يشترط سهولة الوصول إليه من قسمي العمليات الجراحية والولادة حيث تم توفير أجهزة متنقلة صغيرة الحجم بكلا القسمين ويكتفى بوجود اتصال رأسي (شاقولي) أو أفقي.

* من أسباب وجود قسم الأشعة بالطابق الأرضي أولهما تواجده قريبا من الاستقبال والعيادات والإسعاف والثاني يفضل أن تكون غرفه مسلحة ولا يوجد شيء تحتها وذلك للحماية من أشعة إكس رغم ضرورة عزل الجدران والأرضية بطبقات عازلة من الرصاص منعا لتسرب الأشعة.

- بما أنه لا يوجد مستشفى نموذجي، يفترض عدم وجود قسم أشعة نموذجي، ولذلك على كل مستشفى أن يوجد نمط قسم الأشعة الخاصة به وذلك حسب البرنامج الوظيفي للمستشفى ونوع وعدد الأجهزة المطلوبة به، مع الالتزام بالمعايير المقبولة والمتطلبات للتصميم الأمثل ل فراغات القسم وعلاقاته الوظيفية، وإمكانية التوسع المستقبلي. [5] ص 95.

2-5-2 : عناصر قسم الأشعة: يتكون قسم الأشعة من الغرف الآتية (ويلعب البرنامج الوظيفي دورا أيضا): غرفة/غرف أشعة إكس /الشكل رقم (4) وأجهزة الأشعة الأخرى، غرفة/غرف تحكم في الأجهزة ومنطقة انتظار واستقبال المرضى، غرفة/غرف تحميم ومكتب طبيب للاستشارة وغرفة مشاهدة أشعة غرفة/غرف تغيير ملابس ، دورات مياه للجنسين للمرضى والعاملين، وغرف للطاقم و الفنيين ، مستودع خدمات والمواد الطبية. وفي المستشفيات الكبرى فقط (أكبر من ٥٠٠ سرير) يمكن وجود غرف لكل من الأشعة المقطعية، وأجهزة الرنين المغناطيسي، والفحص بالنظائر المشعة (جاما كاميرا) في قسم الأشعة التشخيصية حيث ان هذه الأجهزة مكلفة جدا سواء في تكلفة الجهاز أو تكلفة تشغيله أو درجة تخصص الطاقم الطبي. وفي هذه الحالة يخصص لكل غرفة فحص من تلك الغرف انتظار المرضى الخاص بها ومكتب طبيب وغرفة تغيير ملابس وغرفة فنيين وغرفة تحكم ، يجب أن يتم تصميم المناطق والعناصر لتؤمن سهولة الوصول للمرضى وحركتهم ومراقبتها وعمل الطاقم وجودته وسرعته.

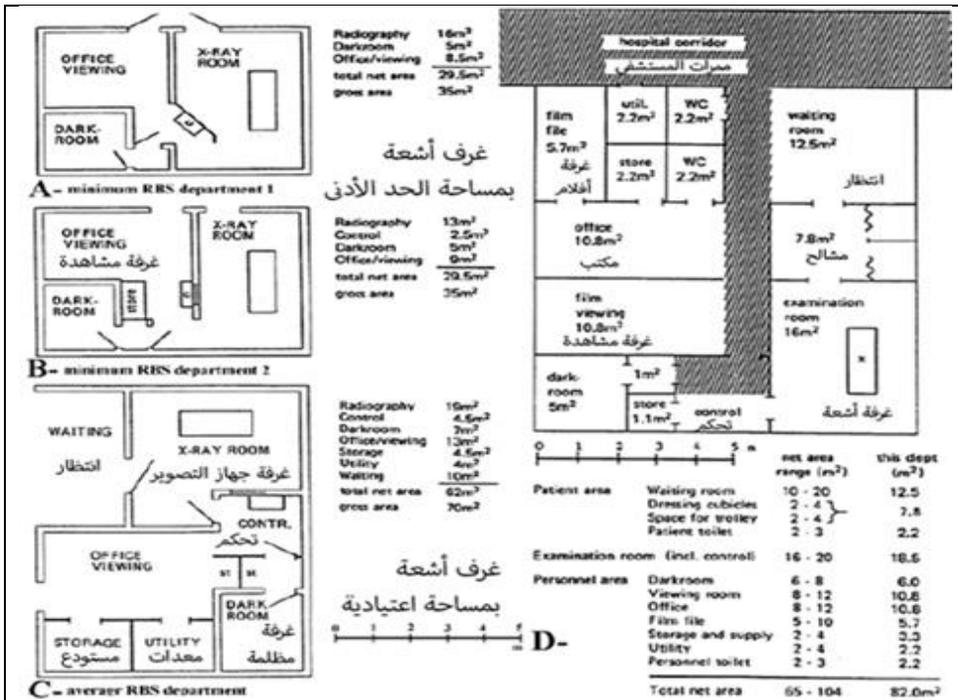
اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)



3-5-2 : مساحة قسم الأشعة: يمكن حساب مساحة قسم الأشعة بعد حساب

مساحات الغرف المكونة له كما في الشكل رقم (5) .

- في مستشفى صغير (50-100 سرير) أو مركز صحي يمكن أن يكون قسم الأشعة من 65 إلى 104 متر مربع في حال كان هناك جهاز واحد أما في مستشفى 100 سرير به جهازين أشعة وجهاز متنقل يكون قسم الأشعة في حدود 155 متر مربع، وبإضافة جهاز موجات فوق صوتية تصل المساحة إلى 175 متر مربع ، وفي مستشفى 200 سرير بها 4 أجهزة أشعة وجهاز متنقل يكون قسم الأشعة في حدود 220 متر مربع، وبإضافة جهاز موجات فوق صوتية تصل المساحة إلى 240 متر مربع الشكل رقم (6)، وهذا في حال عدم وجود أجهزة تصوير طبقي محوري أو رنين مغناطيسي و التي تحتاج إلى خدماتها و فراغات تناسب الأجهزة علما أنه في سوريا يوجد مشافي صغيرة تحتوي على الطبقي المحوري وأما أجهزة الرنين المغناطيسي فلا توجد إلا في المستشفيات الكبيرة 500 سرير أو تكون مركزية في مدينة أو محافظة. : [7] ص 23-24.



الشكل رقم (5): أبعاد قسم أشعة إكس لمستشفى من 50-100 سرير. [7] ص 24.



الشكل رقم (6): مثالين عن أبعاد قسم أشعة إكس في مستشفى من 100 ثم 200 سرير [7] ص 23.

2-5-4 : الاعتبارات البيئية لتصميم قسم الأشعة : - ليس ضروريا توفير التهوية

والإضاءة الطبيعية لقسم الأشعة وخصوصا غرف أجهزة التصوير ويفضل إبعاد القسم عن مصادر الضجيج والتلوث مع تفضيل تركيب مكيف بغرف الأشعة.

- يجب ألا تزيد درجة حرارة غرف الأشعة عن 30 درجة مئوية والرطوبة عن 60%.

- يزود قسم الأشعة بالمياه ومن المفضل فصل الصرف الصحي له عن الصرف الصحي العمومي للمستشفى.

- تزود جدران وسقف وأرضية قسم الأشعة (غرف الأجهزة تحديدا) بطبقات من الرصاص لحماية العامة والكادر الطبي من الإشعاعات الناتجة ويفضل وجوده في الطابق الأرضي وأن تكون الجدران مسلحة. [9] ص 406.

2-5-5 : مواد الإكساء :- جميع الإكساءات الداخلية والأسقف المعلقة والقواطع

الداخلية والستائر معالجة ضد الحريق ولا ينتج عنها غازات خانقة أو سامة في حال الحريق.

-أرضيات غرف أجهزة لتصوير من مواد تتحمل الأحمال والخدوش (pvc) لأن أجهزة التصوير ثقيلة وغالبا هذه المواد يكون تحتها طبقة من الرصاص.

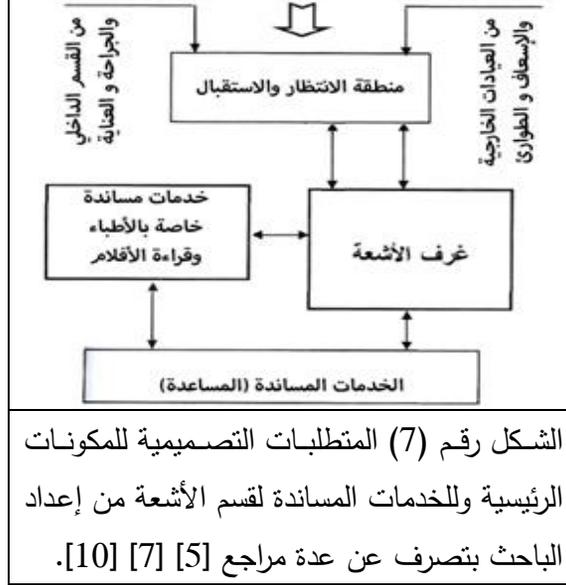
- دهان السقف والجدران تكون مقاومة للبكتريا أو من ألواح اللاتيه المعالج والذي يكون تحته طبقة من الرصاص للحماية من الأشعة.

- يجب أن يكون مواد إكساء الأرضيات والنحلة محكمة وغير مسربة للمياه.

- يفضل أن تكون الأرضيات قابلة للتنظيف ومانعة للانزلاق ولا تتأثر بمواد التنظيف المضادة للجراثيم والبكتريا ويفضل أن تكون الجدران قابلة للتنظيف والتطهير.

2-6: المتطلبات التصميمية للمكونات الرئيسية لقسم الأشعة: كما يوضح الشكل رقم

(7)



2-6-1 : الفراغات الخاصة بالمرضى عموما :

✚ **المداخل:** يفضل أن يكون الدخول من منطقة واحدة حتى يسهل التحكم في مسارات الحركة بالقسم إلا في حالات الأقسام الكبيرة يمكن توفير عدة مداخل طبقا لنوعية المستخدمين مع إمكانية وصول المرضى على أسرة متحركة أو كراسي.

✚ **منطقة الاستقبال:** يجب أن تكون مصممة بطريقة تسهل الدخول والتحكم بها ، وتحتوي على كراسي الإنتظار (وعادة تمثل ثلثي مساحة الاستقبال) مع الأخذ بعين الاعتبار إمكانية وجود مرافقين للمرضى ودورات مياه للجنسين.

✚ **مناطق انتظار مرضى فرعية:** لإمكانية وجود المريض لفترات طويلة لعمل مجموعة من الفحوصات ، وتكون بجوار غرف الأشعة المختلفة.

2-6-2: الفراغات التشخيصية : يشترط أن جدرانها محمية من تسرب الإشعاع بارتفاع لا يقل عن 2 م ويفضل للسقف، ومراعاة طرق التثبيت الخاصة للألواح المرصوفة طبقاً للمواصفات الفنية للمواد المستخدمة وحسب اشتراطات الأجهزة المستعملة، وأن تتحمل بلاطة الأرضيات ثقل الجهاز (حسب مواصفات الجهاز الفنية) ويجب أن يكون باب

الغرف مرصوفاً من دون فتحات أو مناطق لتسرب الأشعة عند إغلاقه ويجب أن يغلق ذاتياً، [5] ص 96-98. وأن يكون عرضه الصافي لا يقل عن 1.2 م ومن قسمين (30+90) سم ، وأن يكون الباب في أحد جوانب الغرفة واتجاه الدخول موازياً لطاولة الجهاز لإتاحة سهولة الدخول والحركة، مع وجوب أن يكون بغرفة التحكم فتحة لزجاج مرصص (مسلح مقاوم للأشعة) لا تقل عن (30*30) سم وارتفاع أسفله 1.3م مع عدم وجود مناطق لتسريب الأشعة ،مع وجود إشارات على مدخل باب الغرفة تحذر من خطر الدخول بسبب الأشعة الناتجة عن تشغيل جهاز التصوير، ويراعى وجود كيبينة أو غرفة لتبديل ملابس المريض أو خلع جزء منها عند الحاجة أو غرفة ملحقة لإعداد المريض في حال قدومه من قسم الإسعاف و الطوارئ. وهذه الفراغات تكون متعددة الأغراض كما يلي:

❖ **غرفة تصوير بالأشعة السينية** كما وضح سابقاً الشكل رقم (5): أقل مساحة لغرفة بها جهاز واحد 18 متر مربع (4*4.5 متر) ولا يقل أي ضلع عن 4 م، وأن لا يقل الارتفاع الصافي عن 2.7 م ويمكن أن يصل إلى 4.25 م ، والمساحة الأفضل 30 متر مربع (5*6 متر) ، ويذكر أن هناك أجهزة أشعة (RBS) تحتاج لمساحة أقل من ذلك (16-20 متر2) ولا تشمل المساحات السابقة مساحة جهاز التحكم. ولا الغرفة المظلمة (غرفة التحميص): وأقل مساحة لها 4.5 متر 2 للتحميص اليدوي، والتحميص بأجهزة تحميص 3.0 متر 2، ومكتب الطبيب ومشاهدة الأشعة : أقل مساحة 8 متر 2. لمستشفى

50-100 سرير مع نماذج لغرف أشعة إكس، فراغ الانتظار من 10-20 متر لكل غرفة أشعة، وهناك غرف لتغيير الملابس لكل غرفة أشعة مساحة الغرفة 3-4 متر مربع.

❖ **غرفة أشعة فلوروسكوبي:** يستخدم التشخيص بالأشعة باستخدام صبغة الفلورسين ويجب أن لا تقل مساحة الغرفة عن 24 م².

❖ **غرفة الأشعة المقطعية:** يجب أن لا تقل عن 30م² عرض نافذة غرفة التحكم لا يقل عن 1.2م وبمساحة لا تقل عن 6م² مع وجود تكييف بغرفة التحكم.

❖ **غرفة فحص الثدي :** بمساحة لا تقل عن 9 متر مربع و يراعى تطبيق ما سبق حول الحماية من تسرب الأشعة . [5] ص 97.

❖ **غرفة أشعة الرنين المغناطيسي:** بمساحة لا تقل عن 50 متر مربع مع لحظ خزانات خاصة للمرضى لحفظ المتعلقات الشخصية والتي قد تتأثر بعضها بالحقل المغناطيسي، مع ضرورة دراسة الحقل المغناطيسي و تأثيره على الغرف المجاورة، و وجود نافذة كبيرة بغرفة التحكم تسمح بالرؤية الجيدة للمريض ، مع الأخذ بعين الإعتبار ثقل الجهاز و تأثيره على الأرضية، وأن تكون الغرفة بعيدة عن المصنوعات الحديدية كمواقف السيارات و طفايات الحريق الخ.

❖ **غرفة تصوير الأوعية:** وهي غرفة تصوير الأوعية عن طريق الحقن ومساحتها لا تقل عن 40 متر مربع، مع وجود غرفة تحكم لا تقل عن 6م² وفتحة التحكم عن 1.2م * 0.8م مع مراعاة معايير الأمان طبقاً لنوع الجهاز.

❖ **غرفة الموجات الصوتية :** بمساحة لا تقل عن 9م² وأن تحتوي على حوض غسل أيدي داخلها ، ووجودها جانب دورات المياه مع سهولة الوصول.

7-2: **المتطلبات التصميمية للخدمات المساعدة (المساعدة):** كما وضح سابقا الشكل رقم

(7)

7-2-1: **الخدمات الخاصة بالأطباء :** وتحتوي هذه المنطقة على غرفة رئيس القسم واستراحة الأطباء ودورات مياه خاصة ، ويفضل أن تكون بعيدة عن حركة المرضى وقريبة من غرفة المشاهدة و كتابة التقارير الشعاعية.

2-7-2 : غرفة المشاهدة وكتابة التقارير الشعاعية: يجب توفير شاشة خاصة بقراءة

أفلام الأشعة وكتابة التقارير وأمن تكون بمكان هادى بعيدا عن الضجيج، مع إمكانية استخدام الغرفة من قبل الأطباء لإجراء المداولات للرأي وبيان حالة المريض.

2-7-3: الفراغات المساندة الخدمية:

غرفة التحميص: في حال وجودها والتي يفضل وجودها بمكان مركزي لغرف الأشعة لسهولة وصول الأفلام لها وأن يكون لها باب واحد وألا يفتح على غرفة الأشعة ويجب أن لا يكون هناك إضاءة طبيعية وأن يغلق الباب ذاتيا ،وأن تهوى الغرفة عن طريق شفاط غير منفذ للضوء مع إمكانية تكييف مكيف وأن تحتوي الفرفة على حوض لا يقل عرضه عن 60 سم ومكان رفوف جافة وأن يكون هناك مكان لتخزين الأحماض مع وضع لمبة تحذيرية تضاء أثناء التحميص.

مستودع الأفلام : يجب وجود مستودع خاص بحفظ الأفلام طبقا للمدة القانونية لها قبل أن يتم إتلافها ، مع مراعاة طرق حفظها و أن تكون درجة الحرارة مناسبة بالغرفة ، مع إمكانية وجود جزء خاص بتخزين الأفلام الرقمية. [5] ص 100.

الغرفة النظيفة : يجب أن يكون هناك غرفة خاصة بتخزين الأدوات النظيفة والمعقمة.

الغرفة الغير النظيفة : يجب أن يكون هناك غرفة خاصة بتخزين الأشياء المستعملة.

حفظ النقالات والكراسي المتحركة: يجب توفير أماكن لتخزينها مع سهولة الوصول إليها.

مناطق تغيير الملابس للفنيين: يراعى وجود أماكن خاصة بها خزانات ومشالح ودورات مياه للفنيين والكادر الطبي من الجنسين.

دورات مياه : يجب توفير دورات مياه للجنسين ودورة للمعاقين داخل قسم الأشعة بمناطق الانتظار ويجب أن تفتح أبوابها للخارج. [10] ص 65-66.

2-8 : أساليب تصميم قسم الأشعة: هناك أربعة أساليب وهي: 1- ممرات مفردة:

تتميز بممر مشترك لكل من الكادر والمرضى وتكون الفعاليات موجودة إما من جهة واحدة وهذا الأسلوب مستخدم أو من جهتين وهذا الأسلوب مستخدم بشكل واسع الشكل رقم (8).

المستشفيات الكبيرة من 500 سرير وما فوق أو التي تحتوي على أقسام تعليمية أي
المستشفيات التعليمية الكبيرة 500 إلى 1000 سرير. الشكل (8).

4-تخطيط الكتلة : الأسلوب الرابع حيث يوجد غرف للكادر يحيط بها غرف الفحص
ويحيط بها ممرات و خدمات المرضى وبالتالي القسم كتلة ممكنة التكرار الشكل رقم (8).

3: بعض العوامل المؤثرة في تطوير أقسام الأشعة في المستشفيات :

مقدمة عن أقسام الأشعة الحديثة الحديثة: تتميز أقسام الأشعة في المستشفيات الحديثة
بتطورها التكنولوجي واستخدامها لأحدث الأجهزة والمعدات الطبية، مما يسهل على
الأطباء والمرضى تشخيص الحالات الصحية للمرضى وتوفير الرعاية الصحية
اللازمة. وتعتبر أقسام الأشعة أحد الأماكن الحيوية داخل المستشفيات حيث يتم إجراء
العديد الصور الطبية الضرورية للتشخيص الدقيق للمرضى، كما أنها تعتبر مصدرًا
للمعلومات الهامة لأطباء المستشفى ومرضاه ويجب على المصممين والمهندسين
المعماريين العمل بشكل وثيق مع طاقم قسم الأشعة والأطباء للتأكد من أن تصميم قسم
الأشعة يلبي الاحتياجات المحددة للمستشفى ومرضاه، وعادة ما يكون لأقسام الأشعة في
المستشفيات الحديثة متطلبات ومعايير محددة لتصميمها وبنائها، من أجل ضمان سلامة
وكفاءة ودقة إجراءات عملية التشخيص والتصوير الشعاعي.

3-1: بعض المعايير المعمارية لقسم الأشعة في المستشفيات الحديثة ما يلي:

مساحة كافية: يجب أن يكون لقسم الأشعة في المستشفى الحديث مساحة كافية
لاستيعاب جميع المعدات المطلوبة والموظفين وتخزين الصور، فضلاً عن توفير مساحة
عمل كافية لموظفي قسم الأشعة وخدمات لهم.

سير العمل الفعال: يجب أن يدعم تصميم قسم الأشعة سير عمل فعال يمكن من تصوير
المرضى و تشخيص وضعهم بالوقت المناسب وتسليم النتائج إلى الأطباء والأقسام

الأخرى. بشكل يعزز الكفاءة والتدفق السلس للمرضى والعاملين حيث ينبغي تحديد مناطق مختلفة للاستقبال والانتظار والفحص وتقديم الخدمات الداخلي.

التصميم الداخلي والتقسيم إلى مناطق: ينبغي توزيع المساحة الداخلية بشكل منطقي وفعال، مع توفير غرف فحص واستشارات خاصة ومناطق للتخصيص وتخزين المعدات. يجب أن تكون هذه الأقسام متصلة ببعضها البعض بطريقة تسهل التنقل والتنسيق بينها وينبغي أن يكون تصميم قسم الأشعة سهل الاستخدام وعملياً للموظفين، ويجب أن يتم توزيع المعدات والأدوات بشكل يسهل الوصول إليها واستخدامها، ويجب أن يكون هناك تنسيق جيد بين الغرف والأجهزة لتحقيق كفاءة العمليات.

الألوان والتصميم الداخلي: يمكن استخدام الألوان والتصميم الداخلي بشكل استراتيجي لخلق بيئة مريحة ومهدئة للمرضى والعاملين. قد تستخدم الألوان الناعمة والمريحة، وتصميم الأثاث الذي يوفر الراحة والاسترخاء.

الأمان والحماية (السلامة من الحوادث والكوارث): يجب أن يكون التصميم متوافقاً مع المعايير واللوائح المحلية والدولية للأمان الإشعاعي. ينبغي وضع الأدوات والمعدات بحيث توفر حماية كافية للمرضى والعاملين من التعرض المفرط للإشعاع، ويجب وضع خطط للسلامة من الحوادث والكوارث في تصميم قسم الأشعة. ينبغي توفير طرق الهروب الآمنة ونظام إنذار واضح وفعال للتعامل مع أي طارئ.

الإضاءة والتهوية: ينبغي توفير إضاءة طبيعية واصطناعية كافية في قسم الأشعة، بالإضافة إلى نظام تهوية جيد للحفاظ على الهواء نقياً ومنع تجمع الروائح غير المرغوب فيها.

الخصوصية والسرية: ينبغي توفير مساحات خاصة ومنفصلة لضمان خصوصية المرضى وسرية معلوماتهم الطبية. يجب أن تكون هناك إجراءات صارمة لحماية البيانات الشخصية وضمان عدم وصولها إلى أطراف غير مخولة.

المرونة والتوسعة المستقبلية: ينبغي أخذ المرونة والتوسعة المستقبلية في الاعتبار عند تصميم قسم الأشعة. يجب أن يكون التصميم قابلاً للتعديل والتوسعة لمواكبة التطورات التكنولوجية واحتياجات المستشفى في المستقبل.

المواد وعملية إكساء قسم الأشعة: يجب استخدام مواد سهلة التنظيف والصيانة والتعقيم في قسم الأشعة المركزي مع مراعاة عزل غرف الأشعة بشكل محكم.

إمكانية الوصول: ينبغي أن يكون التصميم متوافقاً مع مبادئ إمكانية الوصول، حيث يجب توفير مسارات واسعة وسهلة الوصول للمرضى ذوي الاحتياجات الخاصة وكبار السن. وينبغي توفير مصاعد وممرات واسعة ومرافق ملائمة لضمان سهولة وسلامة حركتهم في قسم الأشعة.

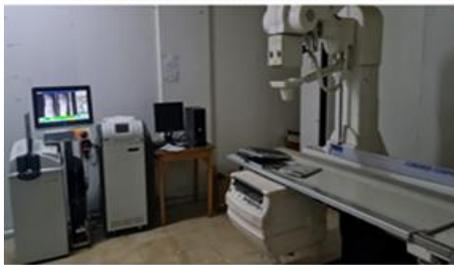
التكامل مع التكنولوجيا الجديدة: يجب تصميم قسم الأشعة بطريقة تمكن التكامل المثلى مع التكنولوجيا الجديدة والابتكارات الطبية. ينبغي أن يتم توفير بنية تحتية قوية لاستيعاب التحسينات والتحديثات المستقبلية في مجال التصوير الطبي والمعدات الأخرى.

2-3 : وهناك بعض العوامل الحديثة بالعمارة تؤكد الاعتبارات التصميمية و تؤدي لتطورها: كالعمارة الذكية والعمارة الخضراء و الاستدامة و استخدام نظام اللين وهو عبارة عن مجموعة من فلسفات التشغيل والأساليب التي تساعد في إنشاء أقصى قيمة للمرضى من خلال تقليل الهدر والانتظار والقضاء على النفايات ، (LEAN)وهو مختصر من كلمات (Never) (Act now) (Eliminate waste) (Leadership) (ending). إضافة لتأثير التطور التكنولوجي والذي تعاني منه سوريا بنقص الإمدادات بالأجهزة الطبية الحديثة و التقنيات المتطورة ، إضافة أيضا لنظم إيجاد الطريق و الاسترشاد في المستشفيات (wayfinding) الذي يخفف وقت انتظار المرضى و يساعد لوصولهم للقسم المراد التشخيص أو العلاج به، والتطور الهندسي بالمواد والتزام

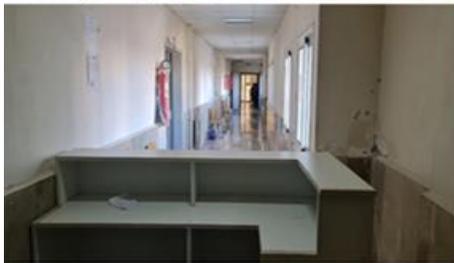
المرونة و إمكانية التوسع المستقبلي بأشكاله المختلفة المؤقتة و الدائمة والتي لا مجال لذكرها في البحث.

4: الدراسة التحليلية: بعد أن تم بيان شرح مفصل لقسم الأشعة المركزي، واعتبارات تصميمه وكيفية و إمكانية تطويره فكان لا بد من تحليل عدة نماذج من المشافي اختيرت بدقة وبشكل متوازن حيث اختير مشافي مختلفة الاختصاص والحجم والتخصص والملكية مثال **النموذج الأول** مستشفى الباسل بطرطوس الشكل رقم (9-10) وهو مستشفى كبير الحجم عام ويحتوي 530 سرير ويوجد في مدينة طرطوس ، ويزيد عمره عن 25 سنة ويجدد في هذه الأثناء ، **والنموذج الثاني** مستشفى عام صغير الحجم وهو مستشفى الشيخ بدر الشكل رقم (9-11) وعدد اسرته 60 سرير وهو مستشفى عمره حوالي 15 سنة ، **والنموذج الثالث** مستشفى التوليد في طرطوس مستشفى تخصصي قديم ومعاد تأهيله ويضم (70) سرير اختصاص نسائية (التوليد والجراحة النسائية) الشكل رقم (12)، **والنموذج الرابع** مستشفى خاص يحتوي أغلب الاختصاصات وهو مستشفى الكندي الشكل رقم (13) افتتح حديثا بعد 2020 ويضم (102) سرير، هذا وتم الاستعانة بمخططات مديرية صحة طرطوس في الدراسة، وسيتم التحليل وفق الجداول ذوات الارقام (2 و 3 و 4) المدرجة بعد المخططات للمشافي المراد تحليلها.

اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)



صور لقسم الأشعة على اليمين مستشفى الباسل بطرطوس
وعلى اليسار مستشفى الشيخ بدر في طرطوس (الباحث)



الشكل رقم (9) صورة لقسمي أشعة من مستشفيات طرطوس (الباسل والشيخ بدر).

لقد تم زيارة المستشفيات الأربعة ميدانياً وتفريغ كل المعلومات في الجداول اللاحقة بطرق مستندة إلى الدراسة النظرية وإلى المخططات الموجودة لاحقاً أيضاً والتي مصدرها مديرية صحة طرطوس، ففي الجدول رقم (2) تمت دراسة تحليلية جزئية للنماذج المدروسة من حيث العناصر والمكونات الرئيسية لقسم الأشعة وهي (غرف أشعة إكس -انتظار المرضى

واستقبال أشعة مقطعية -أشعة رنين مغناطيسي -غرف للكادر والإدارة والسجلات- غرف أشعة متنوعة) ومن ثم المكونات المساعدة لقسم الأشعة المركزي (حيز مواد طبية ونظيفة -دورات مياه للعاملين ومشالغ - غرف للمواد غير النظيفة النفايات - مستودع وغرف تحميص -غرف إدارية ومشاهدة و تقارير-حفظ نقالات وكراسي متحركة) بالاستناد على القسم النظري، وإضافة ملاحظات وتقدير تدابير السلامة والطوارئ المتواجدة بهذه النماذج،

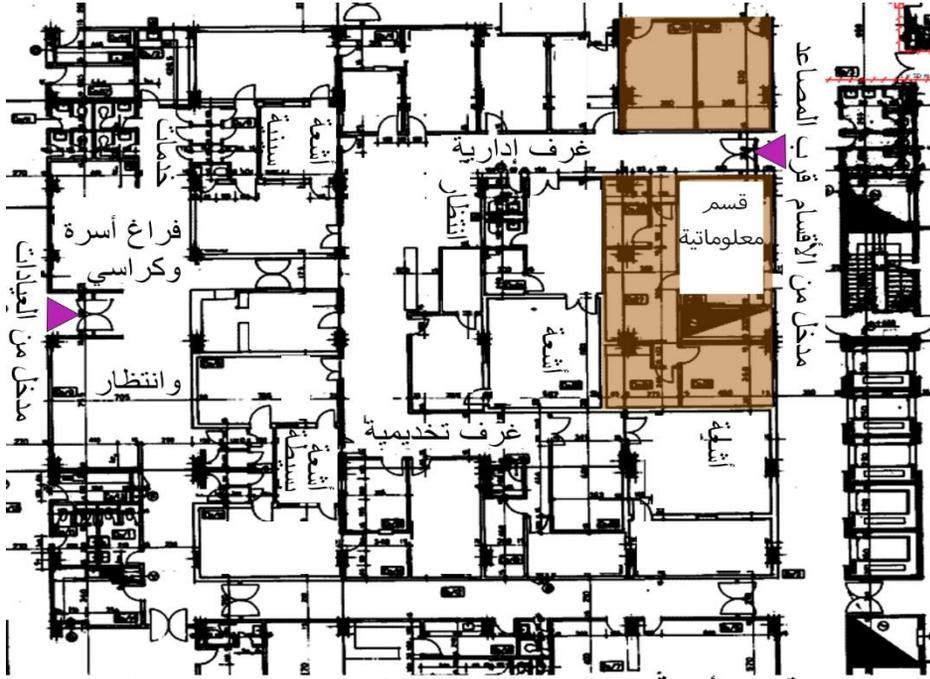
وبالتالي وضع إشارة صح أو خطأ في حال وجود العنصر أو عدمه.

وتم في الجدول رقم (3) الدراسة التحليلية العامة للنماذج المدروسة من حيث (مكونات القسم -موقع القسم - مساحة القسم -علاقات داخلية ضمن القسم نفسه - علاقات خارجية((علاقة مع أقسام المشفى الأخرى-علاقة مع الأقسام التي تحتاجه مباشرة - علاقات مع قسم السكن))- اتصال القسم أفقياً وشاقولياً - اعتبارات بيئية - مواد الإكساء -ملاحظات). وهذا الجدول يعطي التزام المستشفى بالمعايير العامة ومدى ذلك إضافة أن كل ذلك يعتمد على المخططات من مديرية صحة طرطوس وحساب مساحة الأقسام منها وما سبق منها من خلال قراءة المخططات والتعمق بالعلاقات الداخلية ضمن القسم نفسه و الخارجية أي علاقة الأقسام ببعضها البعض، حيث تم وضع 3

تقييمات من جيد إلى مقبول إلى سيء حسب وضع العنصر وملائمته في الواقع و المخططات.

وتم في الجدول رقم (4) الدراسة التحليلية العامة لتأثير بعض المحددات على النماذج المدروسة ومنها بعض محددات قسم الأشعة الحديثة وهي (مساحة كافية - سير العمل الفعال - تصميم داخلي وتقسيم المناطق - الأمان والحماية - إمكانية الوصول - الإضاءة و تهوية وكهرباء وصحية - التكامل مع التكنولوجيا الجديدة - نوعية مواد الإكساء) ومن ثم دراسة تأثير الأنظمة الحديثة وبعض المحددات الحديثة الأخرى ومنها (نظام الإرشاد والدلالة - مرونة القسم الخارجية - مرونة القسم الداخلية - أنظمة العمارة الذكية - أنظمة العمارة الخضراء نظام استدامة - نظام اللين) ، حيث تم وضع إشارتي صح وخطأ في حال توفر العنصر من عدمه مع شرح بسيط إن لزم الأمر ، علماً أن هذه المحددات تؤثر على مستوى الخدمة و تقلل من الوقت المهدور ونوعية الفراغ وتؤثر على نفسية المريض وتحسنها هي و محددات الجداول الأخرى من اعتبارات بيئية و مواد إكساء(تعطي الألوان راحة للمستخدم حسب المكان).

ما سبق كان الطريقة المنهجية في تحليل النماذج الأربعة المختارة للتحليل و هي تقريبا تمثل أغلب الحالات الموجودة في سوريا (عام -خاص - تخصصي) (ضخم و متوسط السعة) ويمكن البناء عليها في تطوير هذا القسم وتحديثه.



قسم الأشعة بمشفى الباسل مفصل و مكبر من إعداد الباحث .
يحتوي القسم تصوير أشعة سينية وطبقي محوري وأيكو وتصوير أوردة ومشالغ وغرف تحكم ومستودعات وخدمات وغرف ممرضين وأطباء واستعلام وتسليم نتائج وانتظار وركن كراسي وله مدخلان.



الشكل رقم (10) الطابق الأرضي في مستشفى الباسل بطرطوس. المصدر مديرية صحة طرطوس.



الشكل رقم (12) قسم الأشعة في الطابق الأرضي لمستشفى التوليد بطرطوس.

الجدول رقم (2) الدراسة التحليلية الجزئية للنماذج المدروسة من إعداد الباحث - ومصادر المخططات من مديرية صحة طرطوس .

ملاحظة	تدابير السلامة و الطوارئ	المكونات المساعدة لقسم الأشعة المركزي						العناصر والمكونات الرئيسية لقسم الأشعة					المدرّس النموذج	
		حفظ نقالات وكراسي متحركة	غرف إدارية و مشاهدة و تقارير	مستودع وغرف تحميص	غرف للمواد غير النظيفة النفايات	دورات مياه للعاملين ومشالح	حيز مواد طبية ونظيفة	غرف أشعة متنوعة	غرف للكادر والإدارة والسجلات	أشعة رنين مغناطيسي	أشعة مقطعية	انتظار المرضى واستقبال		غرف أشعة إكس
هناك مساحات كبيرة	√ مقبولة	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	مستشفى اليباسل طرطوس
رغم المساحة هناك نقص	√ مقبولة	X	√	√	X	√	√	√	√	X	√	√	√	مستشفى الشيخ بدر بطرطوس
هناك نقص ملحوظ	X	X	X	X	X	□	□	√	X	X	X	X	√	مستشفى التوليد بطرطوس
هناك نقص ملحوظ	X	X	X	√	X	□	□	X	X	X	√	X	√	مستشفى الكندي بطرطوس

معنى مفردات الجدول رقم (2 و 4): إشارة (√) تعني وجود المكون ولو بالحد الأدنى ، إشارة (X) تعني عدم وجود المكون ولو بالحد الأدنى ، مع إمكانية وضع شرح بسيط.

تم ملاحظة ما يلي: - اهتمام قليل بتدابير السلامة والطوارئ وعدم مراعات ذوي الاحتياجات الخاصة.

- رغم وجود عدد من النواقص في المكونات فإنها هذه الأقسام مقبولة وتؤدي عملها بالحد الأدنى ولكن يوجد مساحة في بعض النماذج يمكن إعادة توزيعها. - عدم استخدام التقنيات الحديثة من نظام اللين أو العمارة الذكية أو الخضراء وحتى عدم وجود لمظاهر وعلامات الاستدامة واستخدام بالحد الأدنى لعلامات الارشاد للدلالة على الطريق واختصار جهد الكادر والزائر.

- تكرر أعطال الأجهزة وقدمها ووجود مشاكل بالتهوية والإنارة بعضها بسيط

اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)

الجدول رقم (3) الدراسة التحليلية العامة للنماذج المدروسة من إعداد الباحث - ومصادر المخططات من مديرية صحة طرطوس .												
جدول رقم (3)	مواد الإكساء	اعتبارات بيئية	اتصال القسم (أفقياً و شاقولياً)		علاقات خارجية			علاقات داخلية ضمن القسم نفسه	مساحة القسم	موقع القسم	مكونات القسم	النموذج المدروس
			أفقي	شاقولي	علاقات مع قسم السكن	علاقة مع الأقسام التي تحتاجه مباشرة	علاقة مع أقسام المشفى الأخرى					
مشفى اليباسل بطرطوس (530) سرير * عام *												
مساحة كبيرة والرزين المغناطيسي مستقل خارج المستشفى ب500م	مقبول	مقبول	جيد لا يوجد	جيد لا يوجد	جيد لا يوجد	جيد لا يوجد	جيد لا يوجد	جيد مقبول	964++ 2م 2م 110+	د* جيد خ* سيء	جيد مقبول	قسم الأشعة المركزي
مشفى الشيخ بدر بطرطوس (60) سرير * عام *												
مساحة كبيرة جدا ويحتوي طبقي محوري، ورشح كبير بالجدران.	سيء	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	جيد	412+++ 2م	د* مقبول	جيد	قسم الأشعة المركزي
مشفى التوليد طرطوس (70) سرير * تخصصي *												
يختلط مع العيادات وفعاليات أخرى وأجهزته قديمة.	مقبول	سيء	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	سيء	122++ 2م	د* سيء	سيء	قسم الأشعة المركزي
مشفى الكندي بطرطوس (102) سرير * خاص *												
بالقبو I مختلط مع قسم الإسعاف	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول	2م 121+	د* سيء	سيء	قسم الأشعة المركزي
مفردات الجدول: مكونات القسم: جيد (شبه مكتملة) - مقبول (ينقصه بعض المكونات) - سيء (هناك نقص حاد بالمكونات). موقع القسم: جيد (مكان مناسب) - مقبول (مكان مناسب بحدود) - سيء (مكان غير مناسب) د* تعني القسم داخلي - خ* تعني القسم خارج الكتلة الرئيسية للمبنى ، مساحة القسم: (+) موافق للمعايير العالمية (-) غير موافق للمعايير العالمية مع عرض مساحة كل قسم ب +.2م يعني زيادة مساحة ، -- نقصان مساحة كبير. علاقات داخلية ضمن القسم نفسه أيضاً (علاقات خارجية): جيد (علاقات متسلسلة) - مقبول (علاقات شبه متسلسلة) - سيء (علاقات غير متسلسلة) ، اتصال القسم (أفقياً و شاقولياً) جيد (قريب ومناسب) - مقبول (مناسب) - سيء (بعيد). ، (اعتبارات بيئية ومواد إكساء) جيد (اعتبارات بيئية متوفرة و مواد مناسبة) - مقبول (اعتبارات بيئية متوفرة نسبياً و مواد جودتها وسطية) - سيء (اعتبارات بيئية غير موفرة ومواد جودة متدنية).												
باختصار كلمة جيد تعني المطلوب متوفر و مقبول تعني المطلوب متوفر بحد متوسط و كلمة سيء تعني المطلوب غير متوفر أو بحد أدنى موجود أو لا يلي الشروط.												

الجدول رقم (4) الدراسة التحليلية العامة لتأثير بعض المحددات على النماذج المدروسة من إعداد الباحث - ومصادر المخططات من مديرية صحة طرطوس .

بعض محددات قسم الأشعة الحديثة														النماذج المدروسة	
الانتظمة الحديثة وبعض المحددات الحديثة الأخرى															
نظام اللين	نظام استدامة	انظمة العمارة الخضراء	انظمة العمارة الذكية	*مرونة القسم الداخلية	*مرونة القسم الخارجية	نظام الإرشاد والدلالة	نوعية مواد الإكساء	التكامل مع التكنولوجيا الجديدة	الإضاءة و تهوية وكهرباء وصحية	إمكانية الوصول	الأمان والحماية	تصميم داخلي وتنظيم المناطق	سير العمل الفعال	مساحة كافية	
X	X	X	X	√	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	مستشفى الباسل طرطوس كبيرة
X	X	X	X	√	X	√	√	X	√	√	√	√	√	√	مستشفى الشيخ بدر كبيرة
X	X	X	X	X	X	√	√	X	√	X	X	√	√	√	مستشفى التوليد بطرطوس كبيرة
X	X	X	X	X	X	√	√	□	√	√	√	X	√	√	مستشفى الكندي بطرطوس كبيرة

للتوضيح فإن : * مرونة القسم الخارجية تعني إمكانية الامتداد و توسيع القسم للخارج بواسطة مباني ملحقة وهذا صعب ولكن بتقنيات المنشآت الخفيفة بمباني منفصلة فهذا ممكن. * مرونة القسم الداخلية تعني إمكانية الامتداد الداخلي بواسطة قواطع متحركة او فراغات كبيرة وهذا صعب بأغلب مشافينا لاعتمادها على جدران البلوك ومساحات فراغات محدودة - ملاحظات - لوحظ عدم استخدام التقنيات الحديثة من نظام اللين أو العمارة الذكية أو الخضراء وحتى عدم وجود لمظاهر وعلامات الاستدامة واستخدام بالحد الأدنى لعلامات الارشاد للدلالة على الطريق ولوحظ تكرار ووجود مشاكل بالتهوية (و احيانا استخدام مكيفات مفردة) والإتارة بعضها بسيط ' إضافة لاستحالة إضافة كتل لعدم التخطيط المناسب للمستقبل عند البدء بتصميم المستشفى وهناك إمكانية لإضافة انشاءات خفيفة قابلة للفك والتركيب في الموقع العام وتوظيفها كغرف أشعة متنقلة.

4-1- نتائج القسم التحليلي لقسم الأشعة ومقترح من الباحث للقسم: الشكل رقم (14)

4-1-1- نتائج عامة عند الدراسة التحليلية:

• لوحظ مشاكل عامة الجدران وفي التصريف الصحي /بوارى، شبكة مياه ساخنة و باردة / أدى لظهور رشوحات كبيرة وتسريب مياه في أغلب المشافي المدروسة مما يؤثر على العملية الطبية و جودتها ، ولوحظ ظهور مشاكل عامة بعملية فرز وتصنيف القمامة و المخلفات وكيفية التخلص منها.

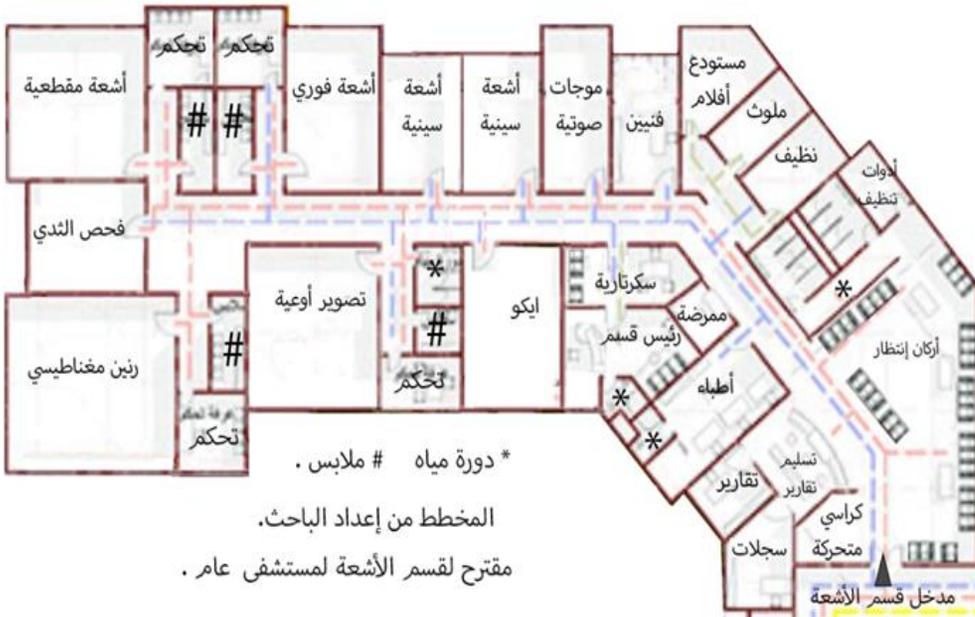
- دور القسم المدروس مقبول ولكن هناك مشاكل عامة بنقص مكوناته الداخلية.
- لوحظ وجود مشاكل عامة في تسلسل الحركة في القسم وعدم الالتزام بالمقاييس العالمية وأفكار المخططين الصحيين والمهندسين المعماريين من ناحية تقسيم الفراغات وتتالي العمليات داخل القسم، ولوحظ قدم في التجهيزات وتعطلها المتكرر.
- استخدام فراغات هذه الأقسام بشكل غير مناسب (مساحات غالباً كبيرة).
- عدم مراعاة ذوي الاحتياجات الخاصة رغم أهمية هذا القسم لهم وللمصابين بالحوادث.
- عدم الالتزام العام والكامل بمواد الإكساء الصحية والمناسبة للأقسام.

4-1-2- النتائج التفصيلية لقسم الأشعة للنماذج المدروسة بطرطوس:

مما سبق والدراسة في الجدول السابق والمخططات الأربعة للمشافي المدروسة نرى مايلي:

- عدم مطابقة المشافي السورية (القسم المدروس /الأشعة/) للمقاييس العالمية المطلوبة وهذا أحد أسباب تدني جودة الخدمة في المشافي السورية وبالتالي صعوبة تطويره.
- عدم مراعاة تسلسل حركة القسم وعلاقاته الداخلية والخارجية مع الأقسام المرتبطة به، ونقص بعض الفعاليات الداخلية التي تعطي جودة للعمل وسرعة به.
- عدم مراعاة المساحات المخصصة لقسم الأشعة المركزي في المشافي السورية، فهناك بشكل عام هدر كبير في المساحات دون توظيف مناسب لها.
- علاقة قسم الأشعة المركزي مع قسم السكن (إقامة المرضى) مؤمن بشكل مقبول، إضافة لتخديمه الأقسام الأخرى بشكل مقبول مع ملاحظة وجود بعض الأجهزة في أقسام أخرى (الإسعاف والعيادات.. الخ) تساعد قسم الأشعة وتخفف الضغط عنه.

- قسم الأشعة المركزي يؤدي مهامه بشكل مقبول رغم قلة الكوادر وانخفاض أعداد الفنيين وأطباء الأشعة نتيجة الهجرة.
- نقص في نوعية الأجهزة وقدمها وأعطالها الكثير والحاجة الماسة للتجديد، أدى إلى انخفاض مستوى الخدمة.
- لوحظ أن مشفى الشيخ بدر يتبع الأسلوب الأول لتصميم قسم الأشعة وهو مفرد بتحميل من جهة واحدة وأن الباقي كله مفرد بتحميل من جهتين ولم يتواجد أي من الأسلوبين الآخرين المضاعف والممرات الثلاث في المستشفيات السورية الستة المدروسة، ولوحظ أن أغلب المستشفيات يتبع الأسلوب الأول النوع الثاني ممر والفعاليات على الجهتين.



الشكل رقم (14) فكرة لقسم الأشعة المركزي المقترح من الباحث

اعتبارات تصميم قسم الأشعة المركزي في المشافي السورية ومدى مطابقتها للمعايير الدولية
(مشافي مدينة طرطوس مثلاً)

من الجداول السابقة والزيارات الميدانية أن القسم بالعموم مقبول من ناحية تقديم

الخدمات و يحتاج لتطوير كبير لي مطابق الاعتبارات العالمية وبالتالي فإن :

قسم الأشعة المركزي : يعمل عموماً بشكل مقبول رغم اختلاط الحركات فيه و نقص في
الفعاليات والمكونات الداخلية و تواجهه أحياناً بشكل مختلط مع بعض الأقسام رغم أنه
غالباً يحتل مساحة كبيرة وكان يمكن أن توظف بشكل أفضل، ويفضل فصل الصرف
الصحي للقسم عن المستشفى وخصوصاً في حال وجود أشعة علاجية ، يجب العزل
الجيد للأبواب والغرف بشكل عام بطبقة من الرصاص، إضافة لضرورة تحديث الأجهزة
الطبية وصيانتها الدورية المستمرة منعاً للأعطال المضرّة بالمواطنين وتؤدي إلى وقت زائد
و انتظار للدور لفترات طويلة.

تم ملاحظة اعتماد أغلب المشافي السورية على أسلوب التصميم الأول لقسم الأشعة وهو

الممر المفرد ذو التحميل المضاعف (من الجهتين)، وهو من الأساليب المتبعة عالمياً و

الموجودة في كثير من المشافي، لذلك نقترح ما يلي:

5 - التوصيات :

-وضع أسس لتحديث وصياغة مواصفات قياسية سورية يستطيع المهندسون الاعتماد
عليها بدراسة المستشفيات الحديثة المراد تنفيذها أو تأهيلها، وذلك اعتماداً على المعايير
العالمية، وتفصيل الفرش الطبي الحديث ومقاييس الآلات وبالتالي فراغات محكمة
وحركة جيدة ، وبالتالي إمكانية تطوير هذه الأقسام ورفع مستوى خدماتها وجودتها.

وبالتالي يجب تطبيق التالي على المستشفيات الجديدة أو المراد تأهيلها وتطويرها

والأقسام عموماً وقسم الأشعة هنا خصوصاً:

• وضع أسس لمساحات الأقسام وفعاليتها حسب عدد أسرة المستشفى والحاجة للقسم،

مع مراعاة الواقع المحلي من كافة الجوانب وتطبيق المرونة وسهولة التوسع، وبالاستناد لما سبق وخصوصاً رأي كل من المعماري والطبيب السوري للوصول لمعايير ومواصفات سورية خاصة تعتمد من وزارة الصحة ونقابة المهندسين السورية بشكل نهائي قابل للتحديث بسهولة.

- التقيد بتسلسل الحركة للمرضى والكادر والاعتماد على أجهزة ومعدات حديثة.
- زيادة الاهتمام بمواد الإكساء وعزل غرف الأشعة بشكل مدروس وخصوصاً الأبواب مع مراعاة التدفئة والرطوبة والتهوية المناسبة لكل حيز، ومراعاة إمكانية فصل الصرف الصحي لقسم الأشعة عن المستشفى عموماً.
- الاهتمام بوسائل إيجاد الطريق ضمن المستشفيات من لوحات عادية وإلكترونية وطرق دلالة حديثة توفر الوقت والسؤال وبالتالي توفير الوقت وتطور الخدمة ومستواها.
- إدخال كل ما يتعلق بالاستدامة وما يتعلق بالمرونة والأنظمة الحديثة والتكنولوجيا.

6- المراجع :

- [1] AIA,2006-Guidelines for Design and Construction of Health Care Facilities.AIA,WashingtonUSA, 325 P.
- [2] D&G.Anil&Ajay,2022- Manual of Hospital Planning and Designing. Springer Nature, Singapore, 532 P.
- [3] Griffin. D,2006- Hospitals What They Are and How They Work. Jones and Bartlett Publishers, USA, 311 P.
- [4] M&W Noor&Cor,2018- Hospitals — A Design Manual. Birkhäuser Basel, Germany, 272 P.
- [5] المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء، 2010 المعايير التصميمية للمستشفيات والمنشآت الطبية. الطبعة الأولى، مصر، 228 صفحة.
- [6] خلوصي، محمد ماجد، 1999 الموسوعة الهندسية المعمارية – المستشفيات والمراكز الصحية والاجتماعية، الطبعة الأولى، دار قابس ، بيروت ، 392 صفحة.
- [7] علي، هشام حسن ،2004 تخطيط و تنسيق المستشفيات، الطبعة الأولى، مصر، 55 صفحة.
- [8] مجلة معماريات، 2017 تصميم المستشفيات. العدد الأول، اليمن، 80 صفحة.
- [9] نوفيرت، ارنست، عناصر التصميم و الإنشاء المعماري، الطبعة العربية، دار قابس ، بيروت،450 صفحة.
- [10] وزارة الصحة، 1999،الإرشادات العامة لتصميم وإنشاء المستشفيات والمراكز الصحية. الطبعة الأولى، السعودية، 202 صفحة.

استخدام تقنيات التنقيب عن البيانات لتحسين عملية اختيار الموردين في إدارة تشييد المشاريع الصناعية

د.م فايز علي جراد * د.م سماح صديق مكية ** م. علي محمد أحمد ***

المخلص

تعد عملية اختيار الموردين في المشاريع الصناعية واحدة من أكثر التحديات في إدارة تشييد المشاريع الصناعية، في وقت تنتج فيه شركات التشييد كمية كبيرة من البيانات الموزعة ضمن العديد من قواعد البيانات، والتي لا يتم استخدامها في دعم هذا من النوع من القرارات للمشاريع المستقبلية في الشركة. سيتم في هذا البحث تصميم مستودع بيانات ملائم لواقع شركات التشييد المتخصصة بالمشاريع الصناعية، وذلك بالاعتماد على قواعد البيانات التشغيلية للمشاريع بما فيها المعلومات التخطيطية والتفاصيل التنفيذية خلال دورة حياة المشاريع السابقة والاستفادة منها لتنظيم البيانات وفهمها واستخدامها لدعم قرارات اختيار الموردين للمشاريع قيد الإنجاز والمشاريع المراد إنجازها مستقبلاً. تم تصميم الموديل البعدي بناء على فهم متطلبات الأعمال والبيانات المتاحة، وتم تطبيق المعالجة التحليلية المباشرة OLAP والتي تؤمن بيئة ملائمة لاستعلامات مباشرة وإنتاج التقارير اللازمة للمساعدة على دعم قرارات إدارة التشييد وتقييم الموردين بالنسبة لكل نوع من الأعمال. كما وتم استخدام تقنية التنقيب عن البيانات للتنبؤ بالتأخير المتوقع في كل نظام من أنظمة المشروع بحسب الموردين المختارين في هذه الأنظمة. إن تطبيق المنهجية سيؤدي إلى تحسين نوعية القرارات المتخذة وبالتالي الأداء الاقتصادي لشركات التشييد.

الكلمات المفتاحية: اختيار الموردين، شركات التشييد، ذكاء الأعمال، التنقيب عن البيانات.

- * أستاذ مساعد في قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.
** مدرس في قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.
*** طالب دراسات عليا - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

Using Data Mining Techniques to Improve Supplier Selection Process in the Construction Management of Industrial Projects

Dr. Fayez Ali Jrad *

Dr. Samah Sadik Makieh **

Eng. Ali Mohamad Ahmad***

Abstract

Supplier selection process is one of the most challenging problems in the construction management of industrial projects, while construction companies produce a huge amount of data that is distributed across many databases, which are not used to support these kinds of decisions for the future projects in this company. In this research a data warehouse was designed which is suitable for the construction enterprises that are specialized in industrial projects by using the operational data bases of its projects, including planning information and executive details during the life cycle of previous projects and use it to organize, understand and use data to support supplier selection decisions for ongoing projects and the projects which will be constructed in the future. The dimensional model was designed according to the .the future requirements of construction enterprises and the available data. Online analytical processing OLAP has been applied which provides suitable environment of direct queries and produces required reports that help to support construction management decisions and evaluating the suppliers for each type of works. And data mining technique has been used to forecast the delay in all project systems based on chosen suppliers in these systems. Applying the proposed methodology will improve the quality of decisions, hence the economic performance of construction enterprises.

Key Words: Supplier selection, Construction companies, Business Intelligence, Data Mining.

* **Associated Professor, Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

** **Lecturer, Engineering, and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

** **Postgraduate student, Engineering and Construction Management Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

1- مقدمة:

تصنف عملية اختيار الموردين من أكثر القرارات المهمة في إدارة المشاريع الصناعية لتحقيق نجاح المشاريع وإنائها في موعدها المحدد حيث تشكل التوريدات القسم الأكبر والأهم في هذا النوع من المشاريع. وتتضمن عملية اختيار الموردين بشكل أساسي تقييم لكافة البدائل المحتملة وفق معايير وعوامل مختلفة أهمها الجودة والسعر بالإضافة إلى إمكانية التصنيع (Wang, et al., 2018) ومن ثم اختيار البديل الأفضل، مما يخفض وبشكل واضح التكاليف النهائية للمشاريع ويحسن من الحالة التنافسية للشركة في إنجاز المشاريع بأداء أفضل. وعلى المستوى المحلي تعتبر المرحلة الراهنة المتمثلة بضرورة إعادة الإعمار وإعادة تأهيل البنى التحتية إحدى أهم الأولويات والتحديات التي تواجه شركات التشييد في الواقع السوري، مما يدعو إلى ضرورة تغيير المنهج المتبع في إدارة مشاريع التشييد بما فيها عملية اختيار الموردين في المشاريع الصناعية من خلال استثمار البيانات التاريخية للشركات والاستفادة منها لإدارة المشاريع المستقبلية بطريقة علمية حديثة من خلال الاعتماد على تقنيات ذكاء الأعمال.

2- الدراسات المرجعية:

تلعب عملية اختيار الموردين دور أساسي ومهم في زيادة القدرة التنافسية لشركات التشييد في المستقبل، لذا جاءت العديد من الدراسات التي درست مسألة اختيار الموردين في المشاريع بالاعتماد على معايير متعددة أهمها الكلفة والجودة والزمن والموقع الجغرافي بالإضافة إلى الإمكانيات التقنية والفنية والاستطاعة وغيرها من المعايير (Kumar, 2017). كما وقد تم إضافة المعيار البيئي في دراسات لاحقة والذي يعنى بتحقيق الاستدامة ومراعاة الشروط البيئية ضمن آلية اختيار الموردين (Konys, 2019). وعلى مر السنوات السابقة قام الكثير من الباحثين بتطوير تقنيات وطرائق مختلفة لحل مسألة اختيار الموردين بصورة أكثر فعالية حيث تم اللجوء في حل المشكلة إلى منهجيات وطرائق مختلفة، حيث تم استخدام البرمجة الخطية (LP) من قبل (Kılıç, 2013)

و(Ghodsypour and O'Brien, 1998) في حين تم استخدام طريقة التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP) من قبل (Yahya and Kingsman, 1999) و (Deng, et al., 2014)، كما وقد لجأ مؤخراً عدد من الباحثين على استخدام المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) في حل هذه المسألة (Dalalah, et al., 2011) و (Kannan, et al., 2014) و (Kannan, et al., 2015) و (Gündüz Ç, 2019). وفي الوقت الذي توجهت فيه أغلب الدراسات السابقة نحو محدودية المشكلة وتقييدها بشروط خاصة وعدم إمكانية تطبيقها على مشاريع واقعية، تم في هذه الدراسة تطوير مستودع بيانات ملائم لواقع شركات التشييد المختصة بالمشاريع الصناعية ليتم الاستعانة من خلاله والاستفادة من تقنيات ذكاء الأعمال في دعم قرار اختيار الموردين للمشاريع المستقبلية من خلال اختيار أفضل الموردين من ناحية الالتزام بموعد تسليم الإحضارات والتجهيزات المطلوبة وفقاً لما هو محدد في الخطة الزمنية للمشروع، وتجدر الإشارة إلى عدم اللجوء إلى هذه المنهجية في الدراسات السابقة لحل هذه المسألة، في حين تم استخدام هذه التقنية في حل مسائل عديدة في مجال إدارة التشييد حيث طور (Chau, 2002) نظام دعم قرار لإدارة التشييد باستخدام تقنية مستودع البيانات مع المعالجة التحليلية المباشرة من أجل الحصول على المعلومات والتنبؤ بالنزاعات لمشاريع التشييد الجديدة، وقد وجد الباحث أن طريقة تجميع البيانات في مستودع البيانات تزود مدراء المشاريع بأداة مساعدة قوية لأجل صنع القرار وإيجاد الحلول المناسبة لمشاكل التشييد حيث يتم تحويل البيانات التشغيلية إلى معلومات مختصرة لصنع القرارات الاستراتيجية. وفي دراسة أخرى قام (Zhang, et al., 2003) بتطوير نظام مستودع بيانات DW بحسب متطلبات الشركة، واستخدام تقنية التنقيب عن البيانات DM للحصول على معلومات مفيدة والمعرفة الضرورية من هذا المستودع، وقد تضمن المستودع الموارد البشرية والمواد والآليات والخطة الزمنية والجودة والكلفة، وقد

تم تطوير أدوات خاصة بالاستعلام المباشر من قبل المستخدم باستخدام المعالجة التحليلية المباشرة OLAP، كما وتم بناء سلسلة من نماذج التنقيب عن البيانات لدعم القرار في مرحلة التخطيط للمشروع، وقد أثبتت النتائج فعاليته في شركات التشييد لدعم القرار في هذه المرحلة من دورة حياة المشروع. قام بتطوير نظام دعم قرار أولي باستخدام تقنية مستودع البيانات لمساعدة المتعهدين في اختيار موقع التشييد المناسب للأبنية السكنية، وقد قام ببناء مستودع البيانات ضمن بيئة Access ومن ثم قام بتحليلها بالاعتماد على الموديل التحليلي Analytic Hierarchy Process. استند (Rujirayanyong and Shi, 2006) من فكرة أن شركات التشييد تنتج كمية كبيرة من البيانات التشغيلية موزعة عبر قواعد بيانات مختلفة، وعلى الرغم من كونها مفيدة فإنها لا تجمع وتخزن بشكل مركزي ضمن الشركة، لذلك فقد قدم الباحث مستودع بيانات موجه من أجل مشاريع التشييد على مستوى الشركات مستخدماً الموديل البعدي، حيث تضمنت المعلومات الأساسية في كل مهمة كل ما يتعلق بالمعلومات التخطيطية والتنفيذية فيما يتعلق بالخطوة والتكاليف والموارد وأوامر التغيير التي تعرضت لها خلال التنفيذ. وجاء في توصيات الدراسة حول أهمية مستودع البيانات من ناحية استخلاص المعلومات المفيدة، وتحسين نوعية القرارات المتخذة. وفي دراسة أخرى قام (Moon, 2007) بتقديم دراسة تهدف إلى تحسين الاستخدام الفعال للبيانات التاريخية لكلفة مشاريع التشييد عن طريق تقنية مستودع البيانات والمعالجة التحليلية المباشرة، حيث تم اقتراح نموذج لدعم توابع المعالجة التحليلية المباشرة OLAP، ثم طور نظام إدارة بيانات الكلفة Cost Data Management System (CDMS) من أجل إدارة بيانات الكلفة وإظهار فوائد بيئة OLAP في فهم الغموض في تقدير كلفة التشييد، وبالتجريب أثبتت الدراسة أن النموذج المقترح قدم طريقة أكثر وثوقاً في تقدير كلف التشييد. كما وقدم (Desai, 2010) منهجية تطبيق شجرة القرار Decision Tree لتحليل إنتاجية عمال التشييد، وقد قدمت

المنهجية نسخة محسنة لعملية إنشاء شجرة القرار ربطت بين الطرق الإحصائية والخبرة البشرية لإنشاء شجرة قرار أكثر دقة في عملية التنبؤ، وأظهرت نتائج حساب الحاجة العمالية بالمقارنة مع إنتاجية العمال القياسية أن المنهجية المقترحة أكثر واقعية من الطرق التقليدية لشجرة القرار، واستخلص الباحث أن هذه المنهجية يمكن تطبيقها على مجالات أخرى في إدارة التشييد للمشاريع الهندسية بحسب رغبة المستخدم والأنماط المراد التنبؤ بها. وقد قامت (مكية وآخرون، 2012) بتطوير مستودع بيانات لمعدات التشييد في الشركات الهندسية ضمن واقع القطاع العام السوري لشركة المشاريع المائية في فرع اللاذقية يسمح بإجراء التحليل الفعال ويملك إمكانية البحث عن المعلومة وإجراء المعالجة التحليلية المباشرة OLAP من أجل التحليل التفاعلي لبيانات معدات التشييد وإنجاز الاستعلامات المطلوبة للحصول على المعلومات والمعرفة بطريقة سريعة ومباشرة. كما وتم استخدام التنقيب عن بيانات المستودع من أجل استكشاف المعرفة المخفية في البيانات والتنبؤ المستقبلي بالأعطال أو الجاهزية أو الإنتاجية خلال الأشهر أو السنوات القادمة. وقد تم تقديم خوارزمية جديدة ذات كفاءة عالية من أجل اكتشاف العناقيد والنقاط الشاذة بفعالية ضمن مجموعة بيانات، وجاء في توصيات هذه الدراسة حول تطوير مستودع بيانات متكامل لمشاريع التشييد، وإجراء أبحاث تدرس الاستفادة من هذا المستودع في دعم القرارات اللازمة لإدارة مختلف عمليات التشييد. قدم (Zakaria, 2015) دراسة حول اختيار أفضل طاقم للعمل (Partners) في مشاريع التشييد وفقاً للواقع المالي (مدير مشروع- مساح - مستشار - متعهد... الخ). حيث أن نسبة كبيرة نسبياً من مشاريع التشييد في ماليزيا تتعرض للتأخير وتجاوزات في الكلفة وسوء في التنفيذ بسبب سوء اختيار شركاء العمل وإهمال جانب الموثوقية، لذا تم بناء هيكلية لنموذج تنبؤي جديد للتوصل إلى طريقة لاختيار الطواقم التي تعطي موثوقية أكبر باستخدام تقنية التنقيب عن البيانات DM. وقد تم الاستناد في جمع البيانات لإحدى

شركات القطاع العام، ثم تم تطوير نموذج التنقيب عن البيانات وتقييمه على مشاريع حكومية حقيقية، وأثبت النموذج قدرته على اختيار الطاقم الأمثل لمشروع التشييد بأقل خطر ممكن من ناحية الموثوقية في العمل، وكنتيجة سيساهم هذا النموذج بشكل فعال في تحسين نظام التوريد المتبع من قبل الحكومة وسيساهم في رفع سوية مشاريع شركات التشييد في القطاع العام. قام (Botha, 2018) بتقييم تطبيق التنقيب عن البيانات على قطاع التشييد لتحسين إدارة المشاريع، وقد تم تطبيقها على إحدى شركات التشييد في القطاع الحكومي وهي الشركة العامة للنقل والأشغال العامة، حيث تم تجميع قواعد البيانات من مشاريع هذه الشركة وقد تم العمل على التنبؤ في مرحلة التخطيط على عدد فرص العمل التي توفرها المشاريع، وهذا يرتبط مع سياسة الدولة في مكافحة البطالة، حيث تم بناء النماذج في بيئة Python وجاء في توصيات هذه الدراسة حول دراسة كيفية تطبيق التنقيب عن البيانات في كل مرحلة من مراحل المشروع بالشكل الذي يساعد على اعتمادها في تحسين إدارة مشاريع التشييد. وقد قام (Rong, et al., 2020) باستخدام البيانات التاريخية ودفاتر الشروط والمواصفات الفنية والكشوف المالية لمشاريع تشييد شبكات الكهرباء، من أجل تحديد العوامل الرئيسية المؤثرة على الكلفة للمساعدة في اتخاذ قرارات دقيقة في مشاريع تشييد شبكات الكهرباء وتحسين فعالية الاستثمار لشركات شبكات الكهرباء من خلال بناء تحليل كلفة المشروع وبناء نموذج التنقيب عن البيانات للتنبؤ في مرحلة التخطيط من خلال استيراد البارامترات التقنية كمستوى الجهد لمشروع محطة التحويل ونوع أجهزة التوزيع واستطاعة النقل ليقوم النموذج بالتنبؤ بقيمة الاستثمار المالية للمشروع.

لم يتم التطرق في الدراسات السابقة إلى تقنيات التنقيب عن البيانات من أجل دعم القرار في مسألة اختيار الموردين للمشاريع الصناعية، في حين جاءت أغلب الدراسات السابقة لحل مسألة اختيار الموردين لمشاريع صغيرة غير واقعية ولا يمكن تطبيقها على

مشاريع ضخمة بشروط ومقيدات وظروف مختلفة، لذلك سيتم في هذا البحث استخدام الموديل البعدي لبناء مستودع بيانات ملائم لشركات التشييد المتخصصة في المشاريع الصناعية من خلال الاعتماد على البيانات التاريخية، وسيتم تضمين المعلومات الأساسية في كل مهمة كل ما يتعلق بالمعلومات التخطيطية والتنفيذية فيما يتعلق بالخطة والموارد وذلك خلال فترة تنفيذ المشاريع للمساهمة في دعم قرار اختيار الموردين بالإضافة إلى التنبؤ بالتأخير المتوقع حدوثه في كل نظام من أنظمة المشروع بحسب الموردين الذي تم اختيارهم لتقديم المواد والتجهيزات للمشروع، مما له دور في رفع جودة انجاز المشاريع قيد الإنجاز والمراد تشييدها مستقبلاً. وفي نهاية البحث سيتم وضع تقييم للطريقة المقترحة وتوصيات حول إمكانية تطويرها في مسائل الجدولة الزمنية لمشاريع التشييد.

3- مشكلة البحث:

تشكل التوريدات جزء مهم وأساسي في المشاريع الصناعية، حيث قد يؤدي الاختيار الخاطئ لموردي المشاريع وعدم وجود منهج واضح يتم الاستناد عليه في عملية الاختيار إلى انحراف الخطه الزمنية للمشاريع بنتيجة عدم وصول التوريدات في المواعيد المحددة وبالتالي تعثر هذه المشاريع، في وقت تمتلك شركات التشييد آلاف الملفات الورقية والإلكترونية والتي تشكل بيانات عن المشاريع السابقة، وبالتالي لا بد من تسخير هذه البيانات والاستفاد منها في حل مسألة اختيار الموردين في هذه المشاريع، فإن الطريقة المتبعة حالياً تعتمد على الخبرة وعلى القرارات الفردية، مما قد يسبب خسائر فادحة غير مرئية للشركات التي باتت بحاجة ماسة إلى اعتماد الطرائق الحديثة في كافة مجالات إدارة المشاريع.

4- أهمية البحث وأهدافه:

تسعى الدراسة نحو بناء مستودع بيانات Data Warehouse ملائم لواقع شركات التشييد المتخصصة بالمشاريع الصناعية يسمح بدوره بإجراء التحليل الفعال وإمكانية البحث عن المعلومات واستكشاف المعرفة المخبأة في الحجم الضخم من البيانات المتوفرة فيها لدعم القرار في عملية اختيار الموردين في المشاريع باستخدام أدوات المعالجة التحليلية المباشرة OLAP، بالإضافة إلى التنبؤ المستقبلي بنسبة التأخير المتوقعة في كل قسم من أقسام المشروع بحسب الموردين الذين تم اختيارهم.

5- طرائق البحث ومواده:

سيتم الاعتماد في البداية على المنهج الوصفي وتحليل المحتوى في تحديد الإطار النظري لبناء مصادر البيانات لمستودع البيانات المراد بناؤه بغية الاستفادة من هذه البيانات في دعم القرارات في عمليات اختيار الموردين للمشاريع الصناعية من خلال تطبيق المعالجة التحليلية المباشرة OLAP على مكعبات مستودع البيانات المصمم، كما وسيتم الاعتماد على المنهج التحليلي التنبؤي من خلال اعتماد إحدى تقنيات التنقيب في هذه البيانات وهي الشبكات العصبية الصناعية Artificial Neural Network (ANN)، وذلك لاكتشاف المعارف الخفية والتي تساعد في تحسين عملية اختيار الموردين من خلال التنبؤ بنسبة التأخير في كل قسم من أقسام المشروع بحسب الموردين الذين تم اختيارهم، ويبين الشكل (1) المخطط التفصيلي لآلية العمل.



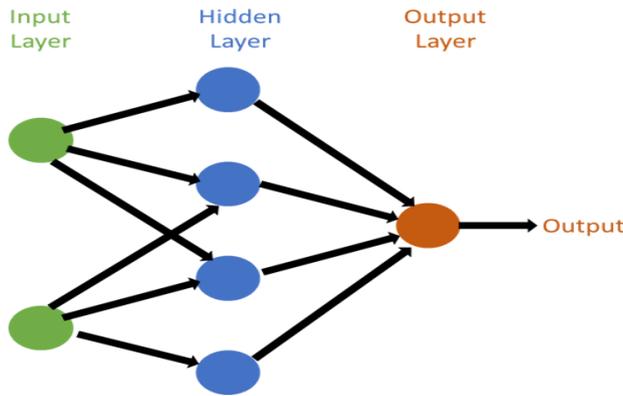
الشكل (1) المخطط التفصيلي لآلية العمل.

الشبكات العصبية الصناعية (Artificial Neural Network): ANN:

بنية الشبكة (Network Topology):

تتألف الشبكة من عدد من وحدات المعالجة (العصبونات) تتوزع بين طبقات الإدخال والخفية والإخراج، ويتم انتشار البيانات الداخلة إلى الشبكات العصبونية الصناعية ذات التغذية الأمامية من طبقة الدخل إلى طبقة الخرج كما في الشكل (2)، ويتم تدريب الشبكة من خلال خوارزميات تدريب متخصصة ومن أشهرها خوارزمية الانتشار العكسي للخطأ (Back Propagation Algorithm (BP Algorithm) حيث تدرب الشبكة على سلسلة من أزواج ويتم حساب الخطأ بين الخرج المحسوب والخرج الهدف ثم يمرر الخطأ باتجاه عكسي من طبقة الخرج إلى طبقة الدخل ليتم استخدامه في تعديل الأوزان للحصول على أقل خطأ ممكن. وتتلخص آلية عمل العصبون في الشبكة في معالجة المدخلات من خلال ضرب كل منها بوزن معين W ثم تجمع المدخلات الموزونة ويضاف إليها عامل انحياز b ومن ثم يطبق على الناتج تابع تفعيل خاص بالعصبون يعطي قيمة وحيدة تمثل خرج العصبون، يلي ذلك حساب الخطأ عن طريق مقارنة ناتج النموذج بالبيانات المستهدفة، ومن ثم إعادة نشر معلومات الخطأ من خلال الشبكة

وتحديث الأوزان وتكرار الخطوات السابقة حتى يصبح الخطأ ضمن الحد المقبول. تقسم البيانات المتاحة أثناء تدريب الشبكة إلى ثلاث مجموعات مجموعة التدريب ومجموعة التحقق ومجموعة الاختبار حيث يستخدم خطأ مجموعة التدريب لتحديث أوزان الشبكة والانحيازات بينما يستخدم خطأ مجموعة التحقق لإيقاف عملية التدريب عندما يبدأ هذا الخطأ بالازدياد لعدد محدد من الدورات التكرارية أما خطأ مجموعة الاختبار فيستخدم للمقارنة بين النماذج المختلفة.



الشكل (2) بنية الشبكة العصبية الصناعية.

بناء قواعد البيانات وتحديد احتياجات الأعمال:

مع نضوج قواعد البيانات العلائقية في الثمانينات تم بناء أنظمة معالجة آنية Online Transaction Processing (OLTP) باستخدام الأنظمة العلائقية لأتمتة عمل الشركات وإدارة العمليات اليومية والتي بدورها أصبحت غير قادرة على تلبية متطلبات متخذ القرار من حيث السرعة والدقة وحجم البيانات التي تستطيع التعامل معها، لذا ظهرت الحاجة إلى أنظمة دعم القرار Decision Support System (DSS) وهي نوع خاص من الأنظمة المعلوماتية الحاسوبية التي تدعم فعاليات صنع القرار في المنظمات والشركات والتي تختلف عن قواعد البيانات التشغيلية من حيث إمكانية تحليل البيانات والنظر إلى ما وراء البيانات سعياً للحصول على المعلومات وإخراجها بشكل معرفة تسمح

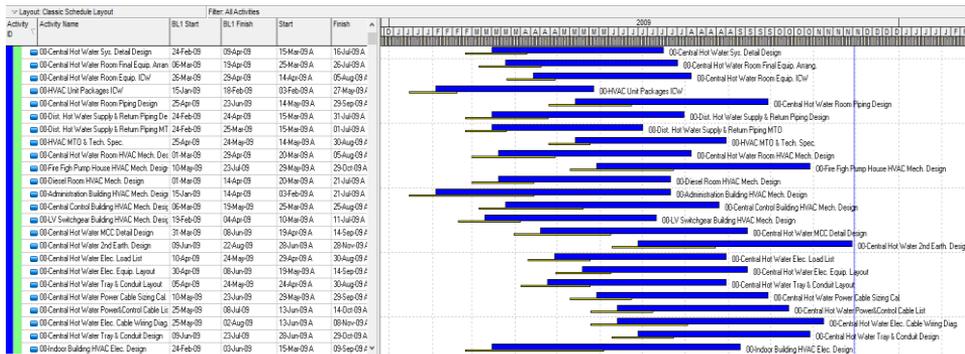
باستنتاجات وتحديد اتجاهات جديدة، وتعد مستودعات البيانات (Data Warehouse) الركيزة الرئيسية لها (Inmon, 2005). وقد تم تحديد المعلومات الضرورية وموضوعات الأعمال التي سيتم التركيز عليها في مستودع البيانات المقترح وهي تتبع مشاريع الشركة وانحرافات الخطة الزمنية وأداء المتعهدين والموردين وبناء على ذلك تم بناء وتصميم القالب العام لقواعد البيانات اللازمة لبناء مستودع بيانات ملائم لتتبع مشاريع الشركات المتخصصة في تشييد المشاريع الصناعية.

تم اتخاذ بيانات المشاريع السابقة لشركة MAPNA GROUP الإيرانية كحالة دراسة في هذا البحث، حيث تختص هذه الشركة في مجال الهندسة والبناء وتطوير محطات الطاقة الحرارية ومحطات الطاقة المتجددة ومرافق التوليد المتزامن (المشترك) لإنتاج الكهرباء وتستحوذ الشركة على حصة بنسبة 50% لتطوير القدرة الاستيعابية لمحطات توليد الكهرباء في إيران بالإضافة إلى المشاركة الفعالة في تطوير مشاريع النفط والغاز والنقل بالسكك الحديدية والصحة والكهرباء، وباتت من متصدي المراكز الأولى لمالكي التوربينات الغازية في الساحة العالمية، ويظهر الجدول (1) قائمة بمشاريع الشركة والتي تم الاعتماد على بياناتها في بناء مستودع البيانات المقترح، وكانت مصادر البيانات التي تم تجميعها بصيغتي Xlsx و Xer:

- جداول بصيغة Xlsx: وتشمل قواعد البيانات الخاصة بمشاريع الشركة والجهات المالكة للمشاريع والموردين والمتعهدين الثانويين والتقويم وحالة الطقس والوحدات والمناطق والأنظمة إضافة إلى التقييم الشهري للمتعهدين وموردي للتجهيزات بالنسبة لكل قسم من أقسام الشركة وذلك خلال دورة حياة المشاريع كافة.

- جداول بصيغة XER: تشمل قواعد بيانات مشاريع الشركة المخزنة في بيئة Primavera P6 بما فيها قواعد بيانات المهام المنجزة في مشاريع الشركة إضافة لبيانات التتبع الشهرية بالنسبة لكل مشروع من المشاريع السابقة، حيث تجدر الإشارة إلى اعتماد

الشركة في تخطيط وتتبع المشاريع بشكل رئيسي على برنامج Primavera P6 ويظهر الشكل (3) جزءاً جزءاً من الخطة الزمنية الفعلية لأحد المشاريع السابقة وهو مشروع (Serman Gas Power Plant).



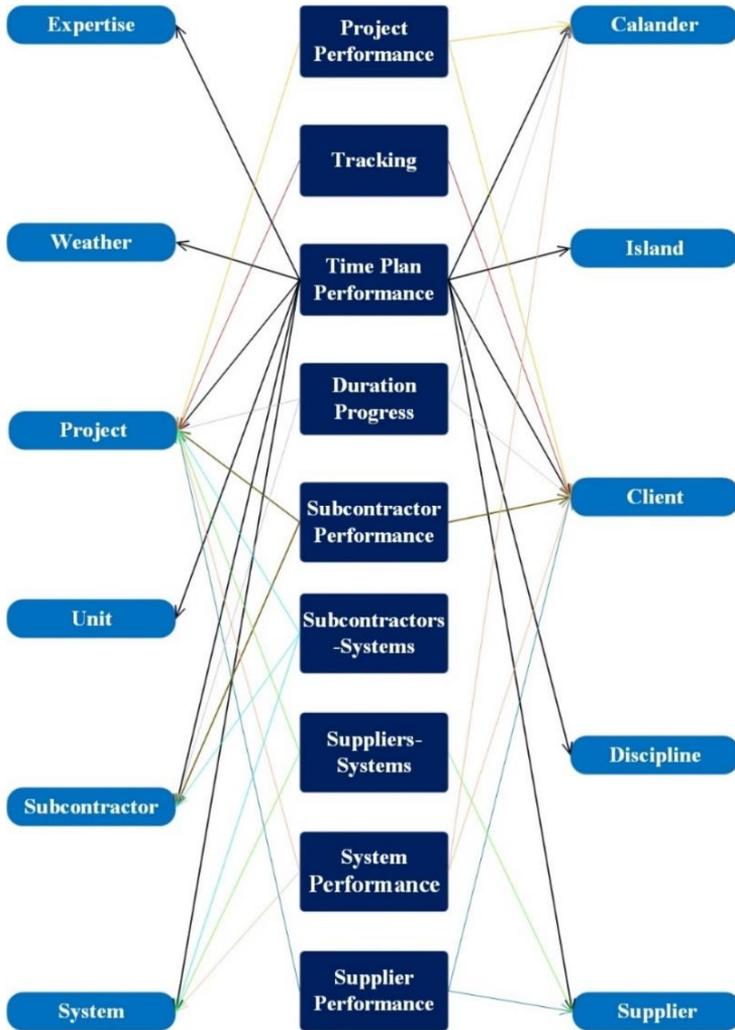
الشكل (3) جزء من الخطة الزمنية الفعلية لمشروع (Serman Gas Power Plant)

الجدول (1) قائمة المشاريع السابقة في حالة الدراسة

Project ID	project name	project short name	Country	City
1	Al Sadr Simple Cycle Power Plant	SSCPP	Iraq	Baghdad
2	Chabahar Gas Power Plant	CGPP	Iran	Baluchistan
3	Heidarieh (Najaf) Power Plant	HPP	Iraq	Najaf
4	Kahnuj Combined Cycle Power Plant	KCCPP	Iran	Kahnuj
5	Kashan Gas Power Plant	KGPP	Iran	Kashan
6	Kermanshah Zagros Power Plant	KPP	Iran	Kermanshah
7	Semnan Gas Power Plant	SGPP	Iran	Semnan
8	Yazd Combined Cycle Power Plant	YCCPP	Iran	Yazd
9	Soltaniyeh Gas Power Plant	SGPP	Iran	Zanjan
10	Khorramshahr Gas Power Plant	KGPP	Iran	Khorramshahr
11	Sanandaj Gas Power Plant	SGPP	Iran	Sanandaj
12	Isfahan II Combined Cycle Power Plant	ICCP	Iran	Zavareh
13	Urmia Gas Power Plant	UGPP	Iran	Urmia
14	Shirvan Combined Cycle Power Plant	SCCPP	Iran	Shirvan
15	Shahrud Thermal Power Plant	SPP	Iran	Semnan
Number of activities			32515	

*تصميم الموديل البعدي وبناء مستودع البيانات المقترح:

وهو موديل خاص يجمع البيانات بصيغة مختصرة، ويتألف من جداول حقيقة وأبعاد، حيث تم تخزين كل البيانات التفصيلية والمراد الاحتفاظ بها في مستودع البيانات في جداول الحقيقة، وقد تم اعتماد جداول التتبع وأداء المتعهدين الثانويين والموردين والخطط الزمنية بصيغة (Primavera)، إضافة إلى جداول تقدم المدة وأداء المشاريع والأنظمة كجداول حقيقة للمستودع المراد بناؤه، في حين ترتبط هذه الجداول بالعديد من الجداول الأصغر وهي جداول الأبعاد والتي تحوي الخصائص الوصفية للبيانات المجمعة. تم تنظيم جداول الحقيقة والأبعاد ضمن مستودع البيانات باستخدام المخطات النجمية، في حين تم استخدام مصفوفة الأبعاد والعمليات التشغيلية (Bus Architecture Matrix) المقترحة من قبل (Kimball, 2002) من أجل تجميع العمليات التشغيلية للشركة والحصول على المنظومة الرئيسية التي تصف مستودع البيانات من الداخل، ويظهر الشكل (4) الموديل البعدي الذي تم بناؤه. في حين تم بناء مصدر البيانات Data Source من خلال تصدير قواعد البيانات المجمعة إلى SQL Server كونها تعطي أمثلة في سرعة التحليل انطلاقاً من التحليل المتعدد وصولاً إلى التنقيب عن البيانات، كما وتم استيراد مستودع البيانات الذي تم بناؤه إلى Power BI والذي يؤمن بيئة ملائمة لذكاء الأعمال حيث يوفر من خلال الهيكلية البعدية للبيانات إمكانية مراجعة البيانات وتحليلها بطريقة مرنة.



الشكل (4) المخطط العام للتصميم البعدي لكامل مستودع البيانات

تعبئة قواعد بيانات مستودع البيانات المقترح استناداً لبيانات حالة الدراسة:

تمت تعبئة قواعد بيانات المستودع المقترح بقواعد بيانات مشاريع الشركة المدروسة حيث يظهر الجدول (2) جزء من جدول الأبعاد الخاص بالموردين ضمن قاعدة بيانات الشركة، في حين يظهر الجدول (3) جزء من قاعدة البيانات الخاصة بتقييم الموردين في المشاريع

السابقة بالنسبة لكل قسم من أقسام الشركة، حيث يتم تقييم الموردين في كل مشروع بشكل نسبة مئوية من قبل كل قسم (المكتب الفني- قسم التخطيط والتحكم بالمشروع -قسم الأمن والسلامة - وقسم التحكم بالجودة).

الجدول (2) جزء من جدول الأبعاد الخاص بالموردين ضمن قاعدة بيانات الشركة

Supplier ID	Supplier name	Country	City	Address	Type
1	TUGA	Iran	Tehran	Khoddami St., Vali-e-Asr St, Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
2	PARS	Iran	Tehran	Pakistan St., Beheshti St., Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
3	NIROO TRANS	Iran	Tehran	Varamin Rd., Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
4	MECO	Iran	Tehran	Azar St., , Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
5	Iran Transfo	Iran	Tehran	25th St., Gandhi St., Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
6	Mapna Boiler	Iran	Tehran	Vali -e Asr Ave., Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
7	Atmosphere	Iran	Tehran	Parvin St., Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing
8	Elektro Kavir	Iran	Tehran	Mirzaye Shirazi St., Motahari Ave., Tehran	Electrical & Electronic Manufacturing

الجدول (3) جزء من جدول تقييم الموردين في المشاريع السابقة بالنسبة لكل قسم

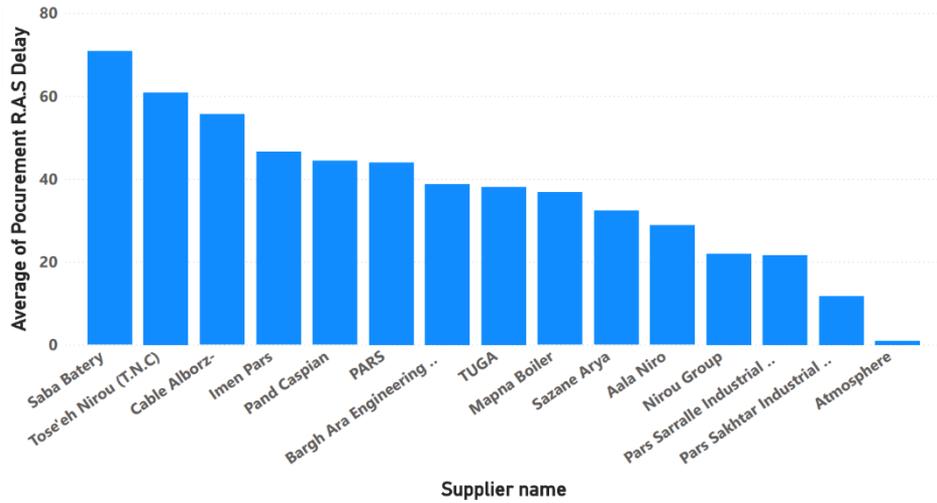
supplier performance ID	Supplier ID	Project ID	Technical (Eval)	Project control (Eval)	HSE (Eval)	Quality (Eval)
1	1	1	81%	84%	84%	78%
2	2	1	83%	87%	80%	81%
3	6	1	75%	75%	85%	86%
4	7	1	85%	86%	84%	90%
5	12	1	84%	77%	85%	87%
6	14	1	78%	62%	84%	71%
7	21	1	76%	73%	84%	72%
8	22	1	80%	72%	80%	78%

6- النتائج والمناقشة:

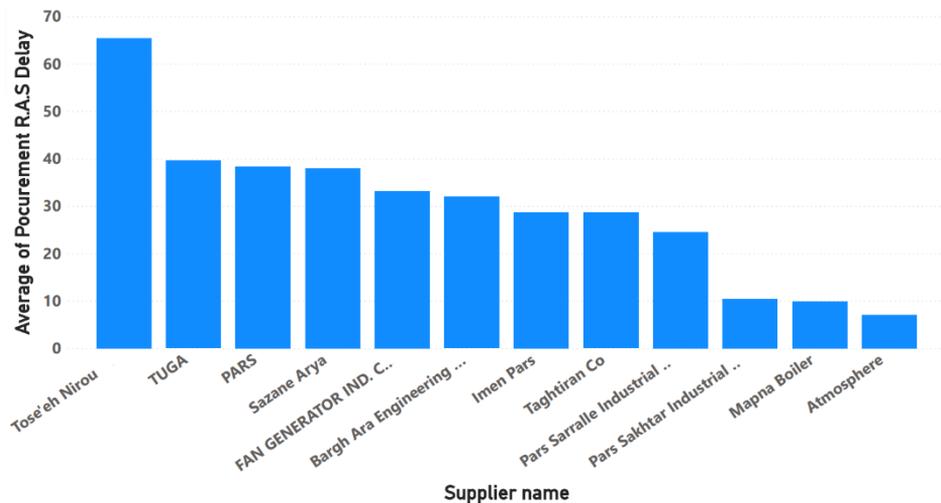
المعالجة التحليلية المباشرة على مستودع البيانات المصمم:

يهدف تطبيق المعالجة التحليلية المباشرة على مستودع البيانات المقترح، إلى تقديم أداة جديدة وفعالة تسمح بإجراء تحليل مرئي للبيانات بشكل مرن وسهل مما يمكن أصحاب القرار من معرفة مواضع الإشكاليات وسببها من الأخطاء في القرارات المتخذة على مستوى إدارة الشركة في عملية اختيار الموردين لكل قسم من أقسام المشاريع قيد الإنجاز. سيتم تطبيق المعالجة التحليلية المباشرة في هذه الورقة البحثية على مكعب أداء الموردين ، حيث تم تصدير مستودع البيانات إلى Power BI والذي يساعد في إظهار القيم الرقمية بشكل مخططات مرئية في بيئة ذكاء الأعمال (Business Intelligence)، وبالتالي تساعد إدارة المشروع على كافة المستويات في تقييم المشاريع السابقة بسهولة وبشكل مرئي واتخاذ القرارات الأمثل. في حين يظهر الشكل (5) مقارنة بين متوسط التأخيرات لموردي الإحضارات الميكانيكية من حيث التأخير في التسليم، في حين يظهر الشكل (6) مقارنة بين متوسط التأخيرات لموردي التجهيزات والتحكم، حيث تظهر الأشكال السابقة بأن شركة Atmosphere هي أكثر الموردين التزاماً في مواعيد تسليم الإحضارات الميكانيكية والتجهيزات والتحكم للمشاريع بأقل متوسط للتأخيرات الحاصلة في التسليم في الموقع (Receive At site). في حين كانت شركة Saba Batery أكثر الموردين تأخيراً بالنسبة للإحضارات الميكانيكية و Tose' eh Nirou بالنسبة للتجهيزات والتحكم. كما ويظهر الشكل (7) مقارنة بين أكثر المناطق التي يحصل بها انحراف عن الخطة الزمنية وذلك بالنسبة للأعمال الميكانيكية، حيث يظهر المخطط أن أكثر المناطق التي تعرضت للتأخير خلال المشاريع السابقة هي منطقة التحكم (Control Island) والتي تعتبر بدورها من أهم المناطق في محطات توليد الكهرباء، وتتمثل هذه التأخيرات في تركيب التجهيزات الميكانيكية وتنفيذ أنظمة التكيف المركزي بالإضافة إلى كافة

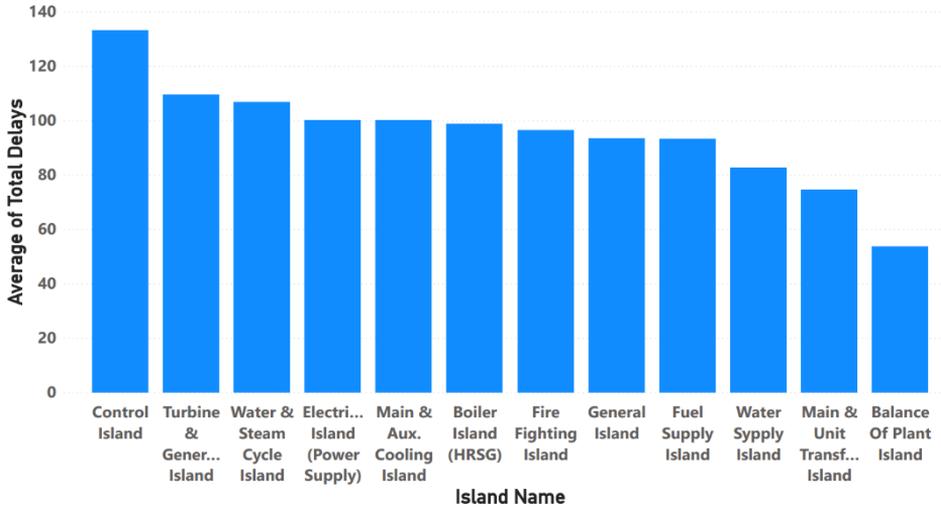
الأعمال الميكانيكية في مباني التحكم المركزي للمحطات، مما يدعم القرار حول التركيز على التعاقد مع موردين ومتعهدين ذو كفاءة عالية لتنفيذ هذه الأعمال في المشاريع المستقبلية.



الشكل (5) مقارنة بين موردي الإحضارات الميكانيكية من حيث التأخير في التسليم



الشكل (6) مقارنة بين موردي التجهيزات والتحكم من حيث التأخر في التسليم



الشكل (7) أكثر المناطق التي يحصل بها عادةً انحراف عن الخطة الزمنية بالنسبة

للأعمال الميكانيكية

التقيب عن بيانات مكعبات المعالجة التحليلية المباشرة لمستودع البيانات المقترح:

تهدف تقنيات التقيب عن البيانات إلى استكشاف معلومات مفيدة توجد ضمن مصادر بيانات ضخمة مؤتمتة من خلال إيجاد أنماط خفية قد تبقى غير معروفة بدونها، إضافة لقدرتها على التنبؤ بالمستقبل وتكمن قيمة التقيب عن البيانات في فهم سبب حدوث الأشياء في الماضي وإمكانية التنبؤ بما سيحدث بالمستقبل.

يعتمد منهج التقيب عن البيانات العديد من الخوارزميات التابعة لتعلم الآلة من أجل الاكتشاف المعرفي وإحدى الخوارزميات المستخدمة في عملية التقيب عن البيانات هي الشبكات العصبية الصناعية لدورها في عملية التنبؤ بالمستقبل بالاستناد إلى مصادر البيانات الضخمة المخزنة، وسيتم تطبيق موديل التقيب عن البيانات لمكعب أداء الموارد بالنسبة لكل نظام من أنظمة المشاريع لأجل التنبؤ المستقبلي بمقدار التأخير المتوقع في كل نظام من أنظمة المشروع مما يساهم في تحسين عملية اختيار الموردين لكل نظام من أنظمة المشروع.

تحديد مدخلات ومخرجات الشبكة:

تم استخدام جزء من بيانات مستودع البيانات من خلال استدعاء استعلام واستخدام نتائج الاستعلام كبيانات للشبكة المقترحة، فقد تم اعتماد نوع المشروع ونوع النظام بالإضافة إلى الموردين الذين قاموا بعمليات التوريد والتي تم إدخالها كمصفوفة ثنائية {0-1} لإزالة أهمية الترتيب بالنسبة للشبكة، وبلغ عدد البيانات الإجمالي المستخدمة لتدريب الشبكة واختبارها 1223 عينة بعد القيام بعملية تنظيف البيانات وإزالة القيم الشاذة.

تم بناء نموذج التنقيب عن البيانات في بيئة SQL Server وتم تصميم عدة شبكات عصبونية بأعداد مختلفة من عدد عصبونات الطبقة المخفية لاختيار الشبكة المثلى التي تعطي أفضل أداء من حيث التنبؤ بالتأخير المتوقع في كل نظام.

تم اعتماد نسبة الاختبار لتشكّل 30% من إجمالي العينات من أجل التحقق من دقة النموذج الذي تم بناؤه، ولمحاكاة أداء النموذج والتحقق تم استخدام مؤشرات إحصائية لاختبار مدى ملاءمة الشبكة لحل المشكلة ولتحديد النماذج الأفضل والأكثر دقة، فقد تم استخدام الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) ويعطى بالعلاقة التالية

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} (O_i - P_i)^2}{N}}$$

حيث أن:

RMSE: الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ

O_i: القيمة المقيسة

P_i: القيمة المنتبأ بها

N: عدد العينات

كما وتم استخدام متوسط الخطأ المطلق (MAE) كمعيار للمقارنة بين النماذج ويعطى بالعلاقة التالية:

$$MAE = \frac{\sum_1^N |O_i - P_i|}{N}$$

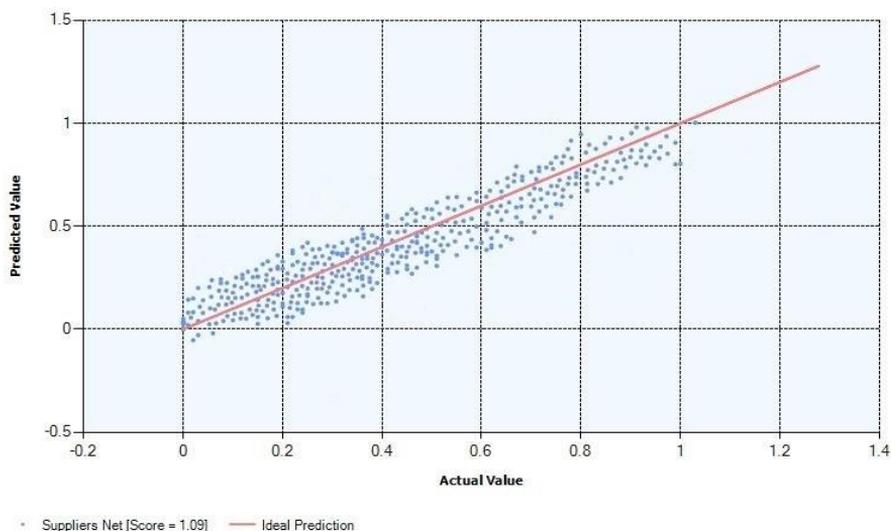
قام الباحث بتطوير مستودع بيانات Data Warehouse مناسب لواقع شركات التشييد المتخصصة بالمشاريع الصناعية ليكون مصدر بيانات مركزي وقاعدة معرفية لصناع القرار في إدارة الشركة فضلاً عن الإضافات التحليلية التي يقدمها على مستوى الشركة كالترتيب والتنظيم والفرز، كما ويمكن من خلاله إجراء التحليل الفعال والبحث المباشر عن المعلومات لدعم القرار في عملية اختيار الموردين في المشاريع الصناعية باستخدام أدوات المعالجة التحليلية المباشرة OLAP والتي سمحت بإجراء التحليل التفاعلي بشكل مرن وديناميكي وعلى سويات مختلفة من الإدارة مما أمكن من إنجاز الاستعلامات المطلوبة للحصول على المعلومات والمعرفة اللازمة لدعم القرار بطريقة سريعة ومباشرة مع تقديم النتائج وفق مخططات بحسب رغبة صانع القرار مما يعطي صورة واضحة وسهلة الفهم بزمان قليل في حين قد يستغرق الحصول على مثل هذه النتائج باعتماد قواعد البيانات العلائقية والرجوع إلى مصادر مختلفة عدة أيام. كما وتم استخدام تقنيات التنقيب عن البيانات من أجل التنبؤ المستقبلي بنسبة التأخير في كل نظام من أنظمة المشروع بحسب الموردين الذين تم اختيارهم، مما يعطي تصور عن نسبة التأخير المتوقع حدوثها بنتيجة اختيار مجموعة من الموردين للمشروع، هذه العملية تشكل بدورها أداة بإمكانها مساعدة صناع القرار في تحسين عملية اختيار الموردين للمشاريع المستقبلية بالنسبة لكل قسم من أقسام المشروع بما يتوافق مع الخطة المرجعية للمشروع (Baseline plan) ولا يتجاوز المدة التخطيطية لأنشطة المشروع. كما ويظهر الجدول (4) قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ ومتوسط الخطأ المطلق لنماذج الشبكات العصبية الصناعية التي تم بناؤها لمكعب التنقيب عن البيانات بحسب عدد عصبونات الطبقة المخفية.

الجدول (4) معايير تقييم الأداء لنماذج الشبكات التي تم بناؤها

رقم الشبكة	عدد عصبونات الطبقة المخفية	RMSE (جذر متوسط مربع الخطأ)	MAE (متوسط الخطأ المطلق)
1	4	0.3479	0.2665
2	6	0.3154	0.2473
3	8	0.3048	0.231
4	10	0.2884	0.2243
5	11	0.2995	0.2303
6	12	0.2922	0.2279
7	15	0.2961	0.2259
8	20	0.2989	0.232

أعطت الشبكة التي عدد عصبونات الطبقة المخفية فيها تساوي 10 أفضل أداء للتنبؤ بنسبة التأخير المتوقعة في كل نظام من أنظمة المشروع بأقل قيم للجذر التربيعي (RMSE) لمتوسط مربع الخطأ ومتوسط الخطأ المطلق (MAE)، كما يظهر الشكل (8) مخطط Data Mining Scatter Plot لشبكة الموردين والذي يعبر بدوره عن دقة القيم التي يتم التنبؤ لنسب التأخير المتوقعة في كل نظام من أنظمة المشروع بالمقارنة مع القيم الحقيقية وذلك بالنسبة لحالة الدراسة

Data Mining Scatter Plot for Mining Structure: Suppliers Network



الشكل (8) مخطط التنقيب عن البيانات لشبكة الموردين

7- الاستنتاجات والتوصيات:

أثبت المستودع الذي تم بناؤه كفاءة عالية ودور مهم في عملية دعم القرارات لاختيار الموردين في المشاريع الصناعية من خلال التنبؤ بقيم التأخير في كل نظام من أنظمة المشروع بحسب الموردين لأعمال كل نظام من المشرع بتقييم جيد، مما يشير إلى ضرورة إنشاء مستودعات لبيانات المشاريع في شركات التشييد من خلال تحديد مجموعة نظم العمليات التي سيتم استخلاص البيانات منها ومن ثم تحديد أبعاد النموذج ومحتويات جداول الحقيقة وأسس الربط.

إمكانية الاستفادة من المنهج المفترض والاعتماد عليه في الدراسات اللاحقة المتخصصة في مجال بناء مستودعات البيانات لشركات التشييد مع التوصية بإتاحة إمكانيات إضافية للوصول إلى تحديد أكثر شمولية وتفصيل لكافة العوامل المؤثرة على عمليات التشييد وتضمينها في مستودع البيانات مما يتيح المجال لدعم القرارات المتعلقة بمختلف عمليات التخطيط والتتبع لمشاريع التشييد.

ضرورة اعتماد المنهجية المقترحة وضرورة التوجه إلى تطبيقها على المستوى المحلي لشركات التشييد بسبب أهميتها ودورها في دعم القرار على كافة السويات الإدارية للشركة فيما يتعلق بالمشاريع قيد الإنجاز والمراد تنفيذها مستقبلاً، وذلك من خلال تشكيل مستودعات للبيانات فيما يتعلق بالمشاريع السابقة للشركات واستخدام أدوات ذكاء الأعمال والمعالجة التحليلية المباشرة بالإضافة إلى اعتماد تقنيات التنقيب عن البيانات لأجل التنبؤ المستقبلي وإيجاد الأنماط المخبأة لدعم مختلف القرارات الاستراتيجية في الشركة مما يؤدي إلى إدارة ناجحة للمشاريع المستقبلية ويقلل من نسب تعثر المشاريع الصناعية.

المراجع:

- 1- BOTHA, L. J. **Data Mining Construction Project Information to Aid Project Management**. Master thesis in civil engineering. Stellenbosch University, 2018, 139 p.
- 2- CHAU, KC. Y.; ANSON, M. and ZHANG, J. **Application of data warehouse and Decision Support System in construction management**. Automation in construction, Vol. 12, 2002, 213-224.
- 3 -DALALAH, D., HAYAJNEH, & M., BATIEHA, F. **A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection**. Expert Syst. Appl, Vol. 38. No. 7. 2011, 8384–8391.
- 4 -DENG, X., HU, Y., DENG, Y., & MAHADEVAN, S. **Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers**. Expert Systems with Applications, Vol. 41. No. 1. 2014, 156-167
- 5 -DESAI, V. S. **Application of Decision Tree Technique to Analyze Construction Project Data**. Communication in computer and Communication Science Vol. 54, 2010, 304-313.
- 6 -GHODSYPOUR, S.H. and O'BRIEN. **A decision system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming**. International Journal of Production Economics, Vols. 56–57, No. 1. 1998, 199–212.
- 7 -GüNDÜZ Ç, GÜNDÜZ GŞ. **Supplier selection under fuzzy environment, Tekstil ve Konfeksiyon**. Vol. 29. No. 4. 2019, 344-352
- 8 - INMON, W. **Building the Data Warehouse**. New York: Wiley. 576p.

- 9 -KANNAN, D., JABBOUR, A. B. L. D. S., & JABBOUR, C. J. **C. Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company**, European Journal of Operational Research, Vol. 233. No. 2. 2014, 432-447
- 10 -KANNAN, D., GOVINDAN, K., & RAJENDRAN, S. **Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore**. Journal of Cleaner Production, Vol. 96. 2015, 194-208.
- 11 -KONYS, A. **Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Comprehensive Knowledge Base**. Sustainability, Vol. 11, No. 15, 2019, 2-41.
- 12 -KUMAR, D. **An analytical model for supplier selection**. Int. J. Indian Culture and Business Management, Vol. 14, No. 2, 2017, 131-140.
- 13 -Kılıç, H. S. **An integrated approach for supplier selection in multi-item/multi-supplier environment**, Applied Mathematical Modelling, Vol. 37, No. 14, 2013, 7752-7763.
- 14 -MOON, SK. J. and KWON, K. **Effectiveness of OLAP-based cost management in construction cost estimate**. Automation in construction, Vol. 16, 2007, 336-344.
- 15 -RONG, P.; LIU, G.; AN, P.; QI, X.; WANG, Q.; YUE, C.; ZHANG, W.; ZHANG, H. and DAI. Y. **Construction and**

Application of Data Mining Model of Unit Scale Cost of Electric Grid Project. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci, 446, 2020.

16 -RUJIAYANYONG, T. and SHI, J. J. **A Project-Oriented data warehouse for construction.** Automation in Construction, Vol. 15, 2006, 800-807.

17 -ZAKARIA, N.; SHAHARANEE, I. N. M.; JAMIL, J. M. and NAWI, M. N. M. **Assessing Stakeholder's Credit Risk using Data Mining in Construction Project.** Advances in Environmental Biology, Vol. 9, No. 5. 2015, 67-70.

18 -ZHANG, S.; ZHANG, C., and YANG, Q. **Data preparation for data mining.** Applied artificial intelligence, Vol. 17, 2003, 375-381.

19 -WANG, C. N.; DANG, D. C.; VU, Q. Q. and ZENG, Y. X. **Supplier Selection for Manufacturing Industries.** International Conference on Advanced Manufacturing (ICAM), 2018.

20 -YAHYA, S., & KINGSMAN, B. **Vendor rating for an entrepreneur development programme: a case study using the analytic hierarchy Process method.** Journal of Operational Research Society, Vol. 50. 1999, 916-930.

21- HASSAN, B.; NAJA, H.; BALOUCH, A. and MAKKIAH, S. **A Decision Support System for Construction Equipment Management Based on Data Warehousing Technique.** Tishreen University Journal- Engineering Sciences Series, Vol. 34, No. 2. 2012, 203-223.

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية

ط. بلال يونس علي اشراف : محمد تقلا مدني البعث

الملخص:

يهدف البحث إلى توضيح منهجية استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP وتطبيقاتها في تعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي لشمال وغرب مدينة دمشق. تم استخدام برنامج الاكسل لبرمجة العلاقات الرياضية الخاصة بطريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP للحصول على أوزان المعاملات قيد البحث. كما تم تحليل مشكلة البحث إلى معاملات وفق ترتيب هرمي ، تتضمن كل من عوامل الليتولوجيا وكثافة الشقوق (التكتونيك) والارتفاع ومعدل الامطار وكثافة التصريف. ثم أجريت عملية مقارنة ثنائية بين كل معاملين وتحديد الأهمية النسبية بين عناصر هرم التحليل للوصول لتشكيل مصفوفة المقارنات الزوجية. تم تحويل مصفوفة المقارنات الزوجية إلى الشكل الضبابي وحساب أوزان المعايير باستخدام خوارزمية التحليل الهرمي الضبابي FAHP. استخدمت هذه الأوزان لتثقيل الخرائط قيد الدراسة بواسطة برنامج ARC GIS 10.3 والحصول على مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي للمنطقة المدروسة. بالنهاية أعطى البحث خريطة احتمالية لمناطق الخطر الكارستي ضمن المنطقة المدروسة وفق عدة مستويات احتمالية .

الكلمات المفتاحية : طريقة التحليل الهرمي الضبابي - صنع القرار باستخدام المقارنة الثنائية - القرار متعدد المعايير - مصفوفة المقارنة الزوجية - الكارست .

Using Fuzzy Analytical Hierarchy process (FAHP) and GIS for determining karstic potential risk zones for northern and western Damascus, Syria:

Abstract :

The objective of this research is to discover the approach of using Fuzzy Analytical Hierarchy process (FAHP) and its application in determining potential karstic risk zones for northern and western of Damascus. Microsoft Excel program was used to interpret the mathematical relationship of FAHP method and calculating weights of input data. The problem of the research was decomposed into factors with a hierarchy order, involving lithology, lineament density (tectonic), elevation, rainfall, and drainage density. Pair wise comparisons were carried out between each two factors and relative priorities was established among the elements in the hierarchy in order to produce pairwise comparison matrix. Then Fuzzy comparison matrix was produced and weight of each factor was calculated according to the FAHP approach. These weight factors were used in weighting the input data in Arc GIS 10.3 program to obtain potential karstic risk zones for the study area. Final potential karstic risk zone map was produced and classified into different classes.

Keywords: Fuzzy Analytical Hierarchy process, pairwise comparison, multiple criteria decision-making, pairwise comparison matrix, Karst.

1- مقدمة :

اشتق مصطلح الكارست من كلمة (كارسو أو كراس) والمستخدم من قبل السكان المحليين لوصف المناطق الصخرية النموذجية التي ينشا بها الكارست (المنطقة الواقعة حول منطقة تريستي و اقليم ديناريك الكارستي في سلوفينيا) و تتصف هذه المنطقة بكونها منطقة ذات مورفولوجية خاصة جدا تتميز بوجود أودية ومنخفضات ذات أبعاد مختلفة وبوجود كهوف ومجاري مائية تحت سطحية [1] ويحدد مفهوم الكارست بأنها أرض ذات تضاريس سطحية وتحت سطحية مميزة، نشأت ضمن صخور ذات قابلية كبيرة للإذابة مثل الصخور الجصية الانهدريتيية وأملاح الصوديوم والبوتاسيوم ، وبنسبة أقل للصخور الكلسية والكلسية الدولوميتية والحوارية المارلية[2] بينما تعرف مجموعة العوامل المؤدية لحدوث الخلل في التوازن الكيميائي والمساهمة في حدوث انحلال وانجراف جزئيات الصخور بأسباب حدوث الكارست. [3]

يمكن للصخور القابلة للانحلال أن تتكشف مباشرة على السطح أو أن تكون مغطاة بسماكة محدودة من توضعات مفككة أو أن تتوضع بين طبقتين من صخور غير قابلة للانحلال من نفس العمر الجيولوجي أو أن تكون مغطاة بتشكيلات جيولوجية من عمر أحدث. يتطور في الحالة الأولى ما يعرف بالكارست السطحي (المكشوف) وفي الحالة الثانية الكارست العميق. [4]

تعد ظاهرة الكارست من الظواهر الجيولوجية الهامة نظرا لما تشكله من خطورة كبيرة على استقرار المناطق المأهولة بالسكان وسلامة الأبنية المشادة عليها ، ونظرا لتعدد العوامل المساهمة بتطور المظاهر الكارستية تبرز العديد من التحديات عند دراسة وتنفيذ واستثمار المنشآت ضمن هذه المناطق. لذلك توجب إيلاء الدراسات الكارستية

المزيد من الاهتمام لتحديد مناطق تواجدها وفق خرائط هندسية احتمالية (وبخاصة ضمن مواقع التجمعات السكانية) بهدف الحد من مخاطرها على الانسان والمجتمع.

2- أهمية البحث و مبرراته:

إن تواجد الصخور القابلة للانحلال في منطقة ما وتشكل مظاهر الكارست فيها، يثير دائما الشك حول استقراره الموقع المقترح لتصميم المنشآت أو تلك التي يتم تنفيذها ، وغالبا ما يتسبب في تعقيدات كبيرة أثناء تنفيذ الأعمال الهندسية [4]، ونظرا لتداخل مجموعة كبيرة من المعاملات في عملية نشوء وتطور الكارست و قلة الدراسات الكارستية في سوريا وبخاصة منطقة دمشق أو حداتها عهدا ، والكلفة الكبيرة لأعمال التحريات الحقلية الجيوتكنيكية والجيوفيزيائية وتقييم الوضع الراهن للكشف عن المناطق المحتملة لوجود الكارست برزت الحاجة لفهم أكبر لعملية نشوء وتطور الظواهر الكارستية.

تمكّن استخدام الطرائق الرياضية من تحديد المعاملات الاكثر أهمية التي تساهم في تطور العمليات الكارستية وتصنيفها وفقا لأهميتها النسبية ودمجها بعملية النمذجة الهندسية عبر استعمال نظم المعلومات الجغرافية GIS بهدف توليد واستنباط خرائط مكانية احتمالية تصنف مناطق الخطورة المحتملة و تضيق نطاق التحريات الحقلية وتخفيض من كلفتها.

يعطي الجمع بين طريقة التحليل الهرمي والمنطق الضبابي مرونة اكبر في تعيين الأهمية النسبية لمجموعة العوامل الداخلة في تكوين الظواهر الهندسية ويتغلب على سلبيات استخدام طريقة التحليل الهرمي لوحدها والمتمثلة في اعتمادها على الأرقام

التقليدية بهدف الوصول لقيم معيارية في تعاملها مع تقييمات الخبراء لتدخل في المجال التطبيقي الفعلي. [5]

3 - الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى تطبيق طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP لإيجاد أوزان المعاملات المساهمة في تشكل الظواهر الكارستية ودمجها في نظم المعلومات الجغرافية GIS بهدف تصنيف درجات مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي لشمال وغرب دمشق.

4- مواد و طرائق البحث:

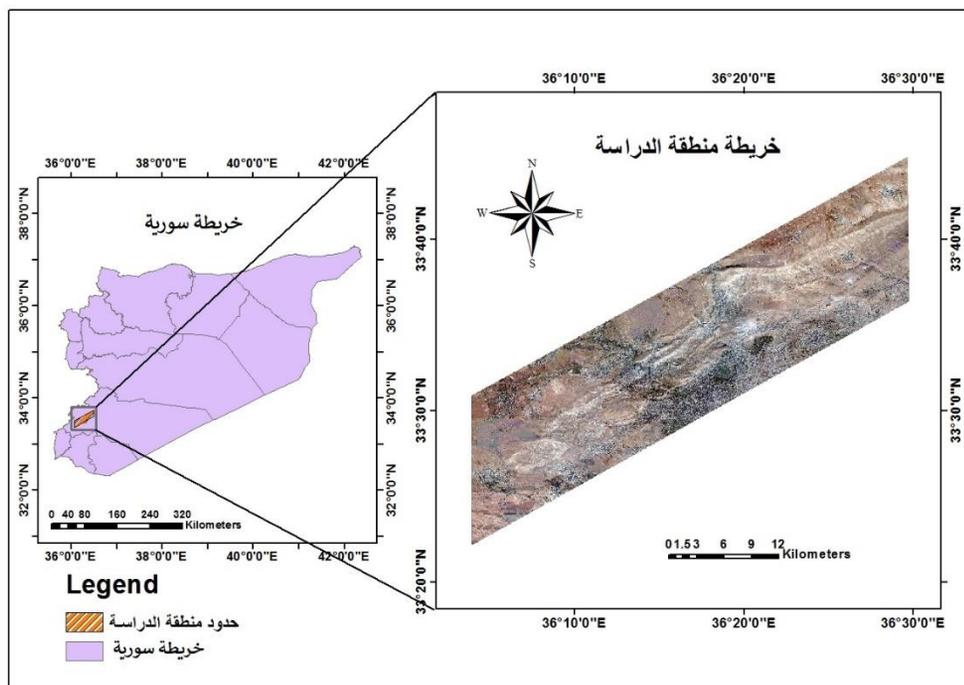
4-1- منطقة الدراسة:

تم اختيار منطقة الدراسة باعتبار الاراضي المشكلة لمنطقة شمال وغرب دمشق هي ذات تكوين صخري كلسي بنسبة 90% مختلف الميول بين التطبيق شبه الأفقي والعمودي و تعاني هذه الصخور من مشاكل التكهفات و الانحلال و الكارست وهي غير مدروسة بشكل كامل . وتمتاز هذه المناطق بكثافة سكانية كبيرة وامتدادها على طول خط فالق دمشق مما يجعلها عرضة للمخاطر الزلزالية ويجعل كشف نطاقات التكهفات ضمنها من الأولويات الهامة للدراسات الهندسية التي تخدم القطاع الانشائي والخدمي.

تتوضع منطقة الدراسة بين خطي طول 36.065060 و 36.495668 شرقا وخطي عرض 33.746993 و 33.369897 شمالا و مساحة اجمالية 635.121092 كم² (الشكل 1) .

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :

تمتد منطقة الدراسة من شرق برزة مروراً ببرزة ثم ركن الدين فالشيخ محي الدين ثم بالمهاجرين فقصر تشرين ووادي بردى ثم قصر الشعب وصولاً للمزة 86 ثم قطنا.



الشكل (1) خريطة توضح حدود منطقة الدراسة شمال وغرب دمشق

4-2 - أسباب حدوث الكارست:

تعرف أسباب حدوث الكارست بأنها مجموعة العوامل المؤدية لحدوث الخلل في التوازن الكيميائي والمساهمة في حدوث انحلال وانجراف لجزيئات الصخور. [6]

تعود الاسباب الرئيسية لتشكيل الكارست وفقاً لسكالوف إلى وجود الصخور القابلة للانحلال ونفوذيتها وحركة المياه فيها وقابليتها للانحلال [4] ، في حين انتجت خريطة

لتوزع الكارست المحتمل في منطقة خوزستان في إيران عن طريق دراسة تأثير عوامل الليتولوجيا وكثافة الشقوق والارتفاع والميول ودرجة الحرارة والهطول المطري والغطاء النباتي وكثافة التصريف [8] ، وتم الكشف عن الية ودرجة حدوث الكارست على امتداد خط ميتر جنان في الصين عن طريق استكشاف المناطق الكارستية بواسطة دراسة العوامل الطبوغرافية و الجيولوجية والليتولوجية إضافة لتأثير المياه الجوفية . [9] تم التركيز ضمن هذا البحث على دراسة العوامل التالية :

4-2-1- الليتولوجيا : تؤثر الليتولوجيا على تشكل المظاهر الكارستية من خلال قابلية الصخور الكلسية والكلسية الدولوميتية والحوارية وبنسبة أكبر للصخور الجصية الانهدريته وأملاح الصوديوم والبوتاسيوم للانحلال بالماء. [10]

4-2-2- كثافة الشقوق : تعد الشقوق من أبرز العوامل المساهمة بتشكيل الكارست وتنتج عن تعرض الطبقات القاسية للعوامل التكتونية المتلاحقة والتي تؤدي إلى نشوء طيات وفوالق رئيسية مترافقة مع تشققات موجهة رئيسية وثانوية. [8]

4-2-3- الهطول المطري : يعتبر الهطول المطري واحد من اهم العوامل المساهمة بتشكيل الكارست حيث يزداد احتمال حدوث الكارست بازدياد الهطول المطري والجريان تحت السطحي الذي يشكل نفوذية عالية لتطور الحت والكارست. [11]

4-2-4- الارتفاعات : من العوامل المساهمة بشكل غير مباشر في عملية نشوء وتطور عمليات الحت والكارست ، وتعتبر الارتفاعات غير المنتظمة في الطبيعة عامل

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :

مساهم وفعال بزيادة أثر العوامل الاخرى (نتيجة زيادة التدرج الهيدروليكي والهطول المطري اللذان يلعبان دور كبير في ازدياد شدة تطور العمليات الكارستية). [12]

4-2-5- كثافة التصريف : تعبر كثافة التصريف عن مجموع اطوال الانهار والجداول في حوض التصريف مقسوما على المساحة الاجمالية للحوض الساكب ، ويمثل قياس لمدى كفاءة او ضعف تصريف المياه بالحوض عن طريق الاقنية المائية السطحية والتي يزداد فاعليتها بعوامل الانحلال مع العمق. [13]

4-3 - نمذجة البيانات الخاصة بمنطقة الدراسة بواسطة برنامج ARC GIS 10.3:

اعتمد نظام الاحداثيات الجغرافي لجميع الخرائط الداخلة بالبحث (GCS_WGS_1984) وتم توحيد جميع أبعاد الوحدات البنائية (البيكسل) للخرائط بمقدار 30*30 م وتحويلها إلى ملفات راستر لسهولة المعالجة ضمن البرنامج وللحصول على أدق النتائج الممكنة.

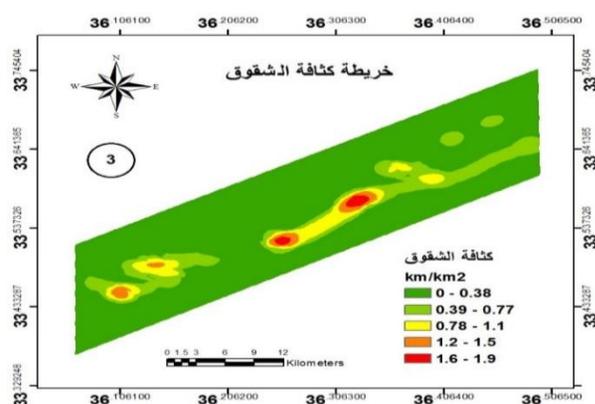
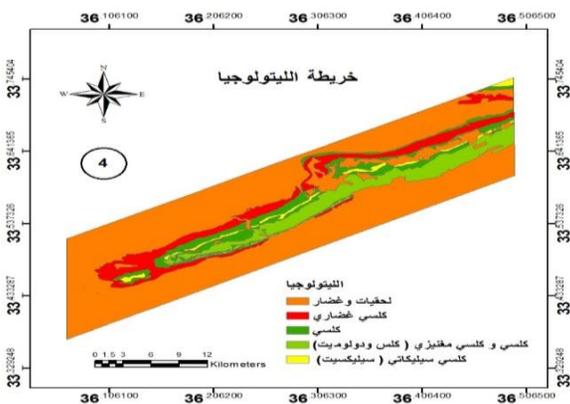
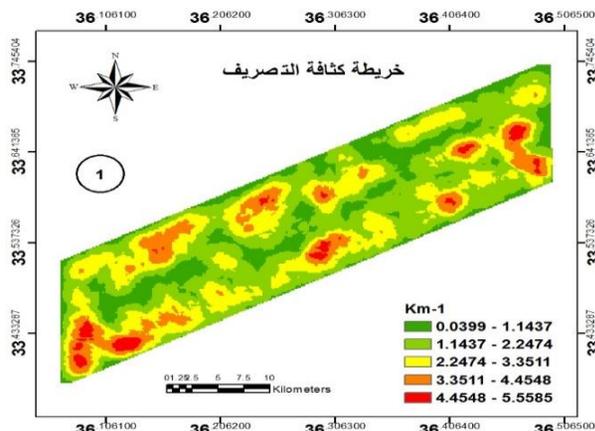
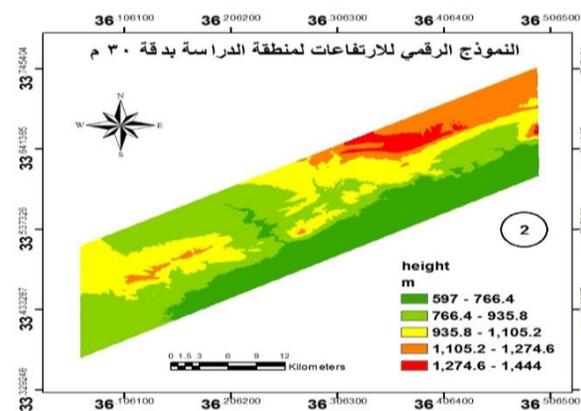
تم استخدام برنامج ARC GIS 10.3 لإنشاء طبقة الليتولوجيا عن طريق رقمنة الخرائط الجيولوجية الممسوحة ضوئياً المعتمدة من قبل المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية في سوريا التي تغطي منطقة الدراسة بمقياس 1/50000 وتصنيفها وفق الوحدات الليتولوجية المكونة لها، وتم حساب كثافة الشقوق ضمن المنطقة المدروسة عن طريق أمر كثافة الخطوط lineament density ضمن البرنامج بعد القيام برقمنة الشقوق والفوالق فيه.

تم الحصول على خريطة الهطول المطري الوسطية لمنطقة الدراسة عن طريق موقع Google earth engine بدقة 1 كم بين عامي 2009 وحتى عام 2020، بينما تم الحصول على النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) بالتعاون مع الهيئة العامة للاستشعار عن بعد من خلال صور الرادار SRTM وبدقة 30 م ومنها اشتقت خريطة الارتفاعات للمنطقة المدروسة.

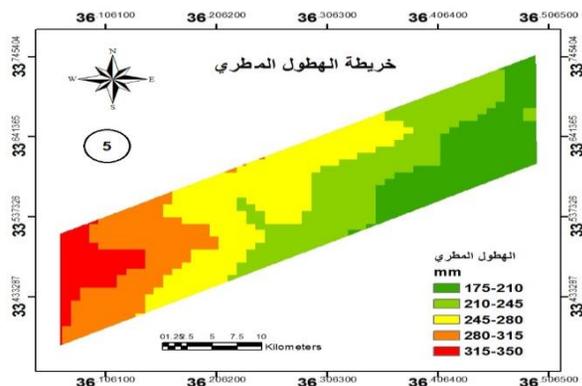
تم التوصل إلى خريطة كثافة التصريف بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي عن طريق الاوامر المتعاقبة في برنامج ArcGIS 10.3 و حساب الكثافة باستخدام امر كثافة الخطوط (lineament density).

ويوضح الشكل (2) الخرائط المساهمة بتشكيل وتطور العمليات الكارستية ضمن منطقة الدراسة.

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :



الشكل (2) خرائط العوامل المساهمة بتشكيل الكارست ضمن منطقة الدراسة وهي 1. كثافة التصريف 2. الارتفاع 3. كثافة الشقوق 4. الليتولوجيا 5. الهطول المطري



4-4- تحديد أوزان العوامل المساهمة بتشكيل الكارست وفق طريقة FAHP :

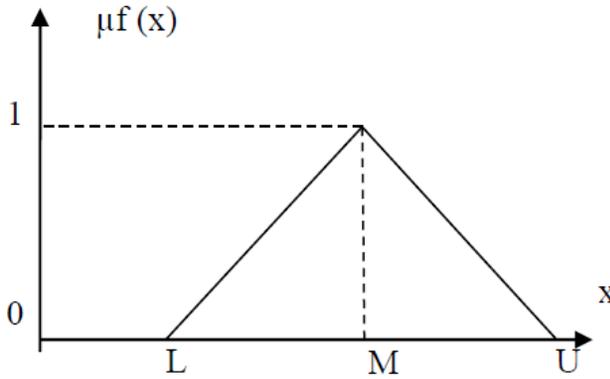
تعتبر طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP امتدادا لطريقة التحليل الهرمي حيث تعتمد طريقة التحليل الهرمي على استخدام الأرقام التقليدية. بينما طورت طريقة التحليل الهرمي الضبابي لحل مشكلة القرارات متعددة المعايير والتي يعد الغموض واحدا من أبرز صفاتها. يعكس الرقم الضبابي المثلثي القوة النسبية لكل زوج من العناصر في نفس المستوى الهرمي ويمكن التعبير عنه بالشكل $M = (L, m, u)$ حيث $L \leq m \leq u$.

حيث تدل البارامترات L القيم الأصغرية الممكنة ، m القيم المتوسطة ، u القيم الأعظمية في الحدث الضبابي. ويمكن وصف تابع العضوية للرقم الضبابي المثلثي

عن طريق الشكل (3) واستخدام المعادلة التالية

$$\mu_f(x) = \begin{cases} \frac{x-1}{m-1} & L \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

لا يعتبر الرقم ضبابيا عندما يكون $L=m=u$. [5]



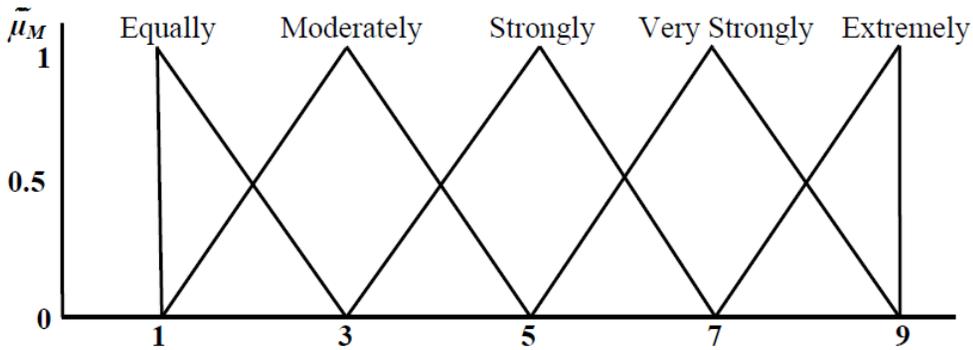
الشكل (3) الرقم الضبابي المثلثي وفق طريقة FAHP.[14]

تم التوصل إلى نتائج حساب أوزان مصفوفة العوامل المساهمة بتشكيل الكارست وفق
طريقة عملية التحليل الهرمي الضبابي وفق الخطوات التالية:

1. تجزئة المشكلة قيد الدراسة إلى مجموعة من العوامل ثم وضع النموذج
المعبر عن المشكلة عن طريق تحويلها إلى البنية الهرمية.[15]
2. قيام الخبراء بإجراء المقارنة الثنائية بين العوامل الداخلة بالبحث وتعيين
درجة أهميتها النسبية باستخدام الأرقام التقليدية في جدول المقارنات الثنائية
(الجدول رقم 1 و 2 والشكل 4) [15]

الجدول (1) مقياس المقارنات الثنائية لعملية التحليل الهرمي الضبابي وفق Saaty [5]

مقلوب القيمة الرقمية الضبابية	القيمة الرقمية الضبابية	درجة الأهمية	درجة الأفضلية لغويا
(1,1,1)	(1,1,1)	1	أفضلية متساوية للأول على الثاني (equally)
(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	2	أفضلية متساوية إلى متوسطة للأول على الثاني
(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	3	أفضلية متوسطة للأول على الثاني (moderately)
(1/5,1/4,1/3)	(3,4,5)	4	أفضلية متوسطة إلى قوية للأول على الثاني
(1/6,1/5,1/4)	(4,5,6)	5	أفضلية قوية للأول على الثاني (strongly)
(1/7,1/6,1/5)	(5,6,7)	6	أفضلية قوية إلى قوية جدا للأول على الثاني
(1/8,1/7,1/6)	(6,7,8)	7	أفضلية قوية جدا للأول على الثاني (very strongly)
(1/9,1/8,1/7)	(7,8,9)	8	أفضلية قوية جدا إلى مطلقة للأول على الثاني
(1/9,1/9,1/8)	(8,9,9)	9	أفضلية مطلقة للأول على الثاني (extremely)



الشكل (4) التعبير اللغوي لأوزان المعاملات الداخلة بالدراسة [17]

الجدول (2) مقياس عملية التحليل الهرمي

مقياس الأهمية لدى الخبير							ايهما أكثر أهمية	العامل	
G	F	E	D	C	B	A	أ - ب	ب	أ
2.5	2.5	3	3	2.5	2.5	3	أ	كثافة الشقوق	الليتولوجيا
3	3	3.5	3.5	3.5	3	4	أ	الهطول المطري	
3.5	3.5	4	4	4	4	4.5	أ	الارتفاع	
4.5	4	4.5	4.5	4.5	5	5	أ	كثافة التصريف	
1.5	1.5	2	3	2.5	2	2	أ	الهطول المطري	كثافة الشقوق
2	2.5	2.5	3.5	3	3	2.5	أ	الارتفاع	
3.5	3.5	4	4	3.5	4	3	أ	كثافة التصريف	
2.5	2	2.5	2.5	2	2	2	أ	الارتفاع	الهطول المطري
3	3	3	3	2.5	2.5	3	أ	كثافة التصريف	
1.5	2	2.5	2	3	2	2.5	أ	كثافة التصريف	الارتفاع

ملاحظة: يستعمل تابع العضوية لتحديد كيفية انتماء عنصر من العناصر إلى المجموعات الضبابية ، بحيث يكون مداها محصورا بين الصفر والواحد، ويمكن التعبير عنه بعدة أشكال مثلثية أو شبه منحرفة أو جرسية (غاوسية). [14]

3. التأكد من تناسق المقارنات لكل خبير لتحديد التناسق أو التضارب بينها عن

طريق حساب قيمة معامل التجانس (consistency Ratio) CR وفق

الخطوات التالية: [15]

- تشكيل مصفوفة المقارنات الزوجية لكل عامل حيث تكون قيم قطرها الرئيسي واحدة على اعتبار مقارنة العنصر بذاته، و يتم تقدير قيم

العناصر الواقعة اعلى القطر الرئيسي بناء على رأي الخبراء بينما يتم حساب العناصر الواقعة أسفل القطر الرئيسي بناء على العلاقة التالية :

$$A_{ij} = \frac{1}{a_j} \text{ حيث } A \text{ عنصر في الصف } i \text{ والعمود } j \text{ في المصفوفة.}$$

- الحصول على مجموع قيم كل عمود ضمن مصفوفة المقارنات الزوجية.
- استخلاص مصفوفة المعايير الخاصة بمصفوفة المقارنة الزوجية : وذلك عن طريق قسمة قيم عناصر كل عمود ضمن المصفوفة على مجموع العمود المنتمي إليه.
- تحديد قيم الأوزان النسبية لكل صف في مصفوفة المعايير: عن طريق جمع قيم كل صف وقسمتها على عددها، ويحدد الناتج المتجه الذاتي الذي يعين الأهمية النسبية لكل عامل.
- تحديد قيمة معامل التجانس (ثبات مصفوفة المقارنات الزوجية) : للتحقق من التوافق في تقديرات الخبير، حيث لا يسمح بنسبة تناقض بتقديراته تتجاوز قيمة 10%، وإلا ينبغي إعادة النظر في تقديرات الخبير. ويتم حسابه وفق الخطوات التالية:
- حساب المتوسط الحسابي الاعظمي λ_{max} عن طريق جداء كل عمود في مصفوفة المقارنات الزوجية (مصفوفة المعايير) بمعامل الأهمية الموافق لها ثم قسمة مجموع الأسطر على معامل الأهمية الموافق للأسطر

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :

ثم حساب المتوسط الحسابي للقيم الناتجة في الخطوة السابقة وهو يمثل

$$\lambda_{max}$$

تجدر الإشارة لوجود عدة طرق لإيجاد المتوسط الحسابي الاعظمي ومنها طريقة المتوسط الموزون وغيرها.

- حساب مؤشر الثبات (consistency index) CI : ويتم حسابه بناء على قيمة المتوسط الحسابي الأعظمي λ_{max} وعلى مرتبة المصفوفة n وفق العلاقة:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

- اختيار القيمة المناسبة لمؤشر الثبات العشوائي (RI) من خلال استخدام الجدول 3 الذي وضعه Saaty.

الجدول (3) مؤشر الثبات العشوائي (Random Consistency index) [16]

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	N
1.49	1.46	1.41	1.32	1.24	1.12	0.9	0.58	0	0	CI

- حساب قيمة معامل التجانس (consistency Ratio) CR : وهو حاصل قسمة مؤشر الثبات على مؤشر الثبات العشوائي وفق العلاقة التالية :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

إذا كانت قيمة معامل التجانس أصغر من 0.1 يتم اعتبار الأحكام متناسقة بينما إذا كانت أكبر من 0.1 فيتوجب إعادة بناء مصفوفة المقارنة الثنائية.

الجدول (4) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور الأول

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	1	3	4	4.5	5
كثافة الشقوق (ب)	0.33	1	2	2.5	3
الهطول المطري (ج)	0.25	0.50	1	2	3
الارتفاع (د)	0.22	0.40	0.50	1	2.5
كثافة التصريف (هـ)	0.20	0.33	0.33	0.40	1.00
المجموع	2.01	5.23	7.83	10.40	14.50
الأوزان	0.47	0.21	0.15	0.10	0.06
$\lambda_{max} = 5.16 \geq 5 \text{ ok} , CI = 0.04, RI = 1.12, CR = 0.037 \leq 0.1 \text{ ok}$					

الجدول (5) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور الثاني

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	1	2.5	3	4	5
كثافة الشقوق (ب)	0.40	1	2	3	4
الهطول المطري (ج)	0.33	0.50	1	2	2.5
الارتفاع (د)	0.25	0.33	0.50	1	2
كثافة التصريف (هـ)	0.20	0.25	0.40	0.50	1.00
المجموع	2.18	4.58	6.90	10.50	14.50
الأوزان	0.43	0.25	0.15	0.10	0.06
$\lambda_{max} = 5.09 \geq 5 \text{ ok} , CI = 0.022, RI = 1.12, CR = 0.02 \leq 0.1 \text{ ok}$					

الجدول (6) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور الثالث

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	1	2.5	3.5	4	4.5
كثافة الشقوق (ب)	0.40	1	2.5	3	3.5
الهطول المطري (ج)	0.29	0.40	1	2	2.5
الارتفاع (د)	0.25	0.33	0.50	1	3
كثافة التصريف (هـ)	0.22	0.29	0.40	0.33	1.00
المجموع	2.16	4.52	7.90	10.33	14.50
الأوزان	0.43	0.25	0.14	0.11	0.06
$\lambda_{max} = 5.21 \geq 5 \text{ ok} , CI = 0.053, RI = 1.12, CR = 0.05 \leq 0.1 \text{ ok}$					

الجدول (7) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور الرابع

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	1	3	3.5	4	4.5
كثافة الشقوق (ب)	0.33	1	3	3.5	4
الهطول المطري (ج)	0.29	0.33	1	2.5	3
الارتفاع (د)	0.25	0.29	0.40	1	2
كثافة التصريف (هـ)	0.22	0.25	0.33	0.50	1.00
المجموع	2.09	4.87	8.23	11.50	14.50
الأوزان	0.44	0.26	0.15	0.09	0.06
$\lambda_{max} = 5.26 \geq 5 \text{ ok} , CI = 0.064, RI = 1.12, CR = 0.057 \leq 0.1 \text{ ok}$					

الجدول (8) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور الخامس

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	1	3	3.5	4	4.5
كثافة الشقوق (ب)	0.33	1	2	2.5	4
الهطول المطري (ج)	0.29	0.50	1	2.5	3
الارتفاع (د)	0.25	0.40	0.40	1	2.5
كثافة التصريف (هـ)	0.22	0.25	0.33	0.40	1.00
المجموع	2.09	5.15	7.23	10.40	15.00
الأوزان	0.45	0.23	0.16	0.10	0.06
$\lambda_{max} = 5.21 \geq 5 \text{ ok}$, $CI = 0.051$, $RI = 1.12$, $CR = 0.046 \leq 0.1 \text{ ok}$					

الجدول (9) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور السادس

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	1	2.5	3	3.5	4
كثافة الشقوق (ب)	0.40	1	1.5	2.5	3.5
الهطول المطري (ج)	0.33	0.67	1	2	3
الارتفاع (د)	0.29	0.40	0.50	1	2
كثافة التصريف (هـ)	0.25	0.29	0.33	0.50	1.00
المجموع	2.27	4.85	6.33	9.50	13.50
الأوزان	0.42	0.23	0.17	0.11	0.07
$\lambda_{max} = 5.10 \geq 5 \text{ ok}$, $CI = 0.026$, $RI = 1.12$, $CR = 0.023 \leq 0.1 \text{ ok}$					

الجدول (10) مصفوفة المقارنة الزوجية وفق المنظور السابع

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	1	2.5	3	3.5	4.5
كثافة الشقوق (ب)	0.40	1	1.5	2	3.5
الهطول المطري (ج)	0.33	0.67	1	2.5	3
الارتفاع (د)	0.29	0.50	0.40	1	1.5
كثافة التصريف (هـ)	0.22	0.29	0.33	0.67	1.00
المجموع	2.24	4.95	6.23	9.67	13.50
الأوزان	0.43	0.22	0.18	0.10	0.07

$\lambda_{max} = 5.09 \geq 5 \text{ ok} , CI = 0.02, RI = 1.12, CR = 0.02 \leq 0.1 \text{ ok}$

4. تحويل مصفوفة المقارنات الثنائية لكل خبير إلى الشكل الضبابي باستخدام

الأرقام الضبابية في مقياس saaty (الجدول 1) [5]

$$A(a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1,1,1) & \dots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

5. تجميع مصفوفات الحكم الضبابي لمجموعة الخبراء وعددهم n للحصول

على المصفوفة النهائية $\tilde{A}_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$ [5] حيث

$$L_{ij} = \min(l_{ijk}) , M_{ij} = \prod_{k=1}^n m_{ijk} , U_{ij} = \max(u_{ijk})$$

الجدول (11) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور الأول

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(3.5,4.5,5.5)	(4,5,6)
كثافة الشقوق (ب)	(0.25,0.33,0.50)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)
الهطول المطري (ج)	(0.2,0.25,0.33)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
الارتفاع (د)	(0.18,0.22,0.29)	(0.29,0.40,0.67)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)
كثافة التصريف (هـ)	(0.17,0.20,0.25)	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.5)	(0.29,0.4,0.67)	(1,1,1)

الجدول (12) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور الثاني

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)
كثافة الشقوق (ب)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)
الهطول المطري (ج)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1.5,2.5,3.5)
الارتفاع (د)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(1,2,3)
كثافة التصريف (هـ)	(0.17,0.20,0.25)	(0.2,0.25,0.33)	(0.29,0.40,0.67)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)

الجدول (13) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور الثالث

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتلوجيا (أ)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2.5,3.5,4.5)	(3,4,5)	(3.5,4.5,5.5)
كثافة الشقوق (ب)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)	(2.5,3.5,4.5)
الهطول المطري (ج)	(0.22,0.29,0.4)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1.5,2.5,3.5)
الارتفاع (د)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
كثافة التصريف (هـ)	(0.18,0.22,0.29)	(0.22,0.29,0.4)	(0.29,0.4,0.67)	(0.25,0.33,0.50)	(1,1,1)

الجدول (14) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور الرابع

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2.5,3.5,4.5)	(3,4,5)	(3.5,4.5,5.5)
كثافة الشقوق (ب)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2.5,3.5,4.5)	(3,4,5)
الهطول المطري (ج)	(0.22,0.29,0.4)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)
الارتفاع (د)	(0.2,0.25,0.33)	(0.22,0.29,0.4)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)	(1,2,3)
كثافة التصريف (هـ)	(0.18,0.22,0.29)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)

الجدول (15) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور الخامس

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2.5,3.5,4.5)	(3,4,5)	(3.5,4.5,5.5)
كثافة الشقوق (ب)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1.5,2.5,3.5)	(3,4,5)
الهطول المطري (ج)	(0.22,0.29,0.4)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)
الارتفاع (د)	(0.2,0.25,0.33)	(0.29,0.40,0.67)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)
كثافة التصريف (هـ)	(0.18,0.22,0.29)	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)

الجدول (16) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور السادس

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)	(2.5,3.5,4.5)	(3,4,5)
كثافة الشقوق (ب)	(0.29,0.40,0.67)	(1,1,1)	(0.5,1.5,2.5)	(1.5,2.5,3.5)	(2.5,3.5,4.5)
الهطول المطري (ج)	(0.25,0.33,0.5)	(0.40,0.67,2)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
الارتفاع (د)	(0.22,0.29,0.4)	(0.29,0.40,0.67)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)	(1,2,3)
كثافة التصريف (هـ)	(0.2,0.25,0.33)	(0.22,0.29,0.4)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.50,1)	(1,1,1)

الجدول (17) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي وفق المنظور السابع

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليتولوجيا (أ)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)	(2.5,3.5,4.5)	(3.5,4.5,5.5)
كثافة الشقوق (ب)	(0.29,0.4,0.67)	(1,1,1)	(0.5,1.5,2.5)	(1,2,3)	(2.5,3.5,4.5)
الهطول المطري (ج)	(0.25,0.33,0.5)	(0.4,0.67,2)	(1,1,1)	(1.5,2.5,3.5)	(2,3,4)
الارتفاع (د)	(0.22,0.29,0.4)	(0.33,0.5,1)	(0.29,0.4,0.67)	(1,1,1)	(0.5,1.5,2.5)
كثافة التصريف (هـ)	(0.18,0.22,0.29)	(0.22,0.29,0.4)	(0.25,0.33,0.5)	(0.4,0.67,2)	(1,1,1)

6. حساب أوزان المعايير عن طريق تطبيق خوارزمية FAHP كما يلي: [17]
• حساب مجموع الأسطر باستخدام المعادلة:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j * [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$$

حيث:

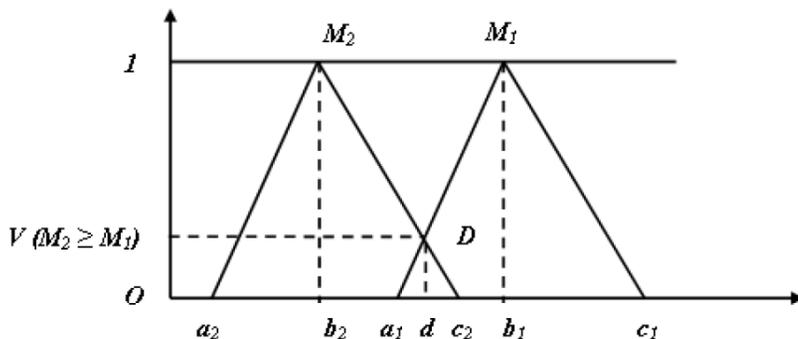
$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = (\frac{1}{\sum_{j=1}^m c_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m b_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m a_j})$$

• حساب ان يكون احتمال $M_2 = (a_2, b_2, c_2) \geq M_1 = (a_1, b_1, c_1)$

ويمكن التعبير عنه بالعلاقة:

$$v(\bar{M}_2 \geq \bar{M}_1) = hgt(\bar{M}_1 \cap \bar{M}_2) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{if } b_2 \geq b_1 \\ 0 & \text{if } a_1 \geq c_2 \\ \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)} & \text{otherwise} \end{array} \right\}$$



الشكل (5) التداخل بين M_2 و M_1 [17]

حيث d ترتيب أعلى نقطة تقاطع D بين μ_{M_2} و μ_{M_1} كما هو موضح في الشكل
(5)

- حساب احتمال أن تكون قيمة الرقم الضبابي المحدب أكبر من جميع الأرقام الضبابية المحدبة k ($i = 1, 2, \dots, k$) وفق العلاقة التالية :

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \dots \text{ and } (M \geq M_k)]$$

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i)$$

حيث $i = (1, 2, 3, \dots, k)$ وبافتراض أن:

$$d^*(A_i) = \min V (S_i \geq S_k)$$

حيث $k = 1, 2, \dots, n$ و $k \neq i$ وبناء عليه يمكن تحديد شعاع الأوزان

بالعلاقة:

$$W^* = (d^*(A_1), d^*(A_2), \dots, d^*(A_n))^T$$

حيث $(A_i) = (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ للعناصر n

• معايرة شعاع الأوزان :

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad \text{حيث } W \text{ الأرقام غير}$$

الضبابية

4 - 5 - تشكيل الخريطة النهائية الاحتمالية لمواقع الكارست:

بعد معالجة كل العوامل المذكورة سابقا وتصنيفها إلى درجات تم انشاء الخريطة النهائية لمواقع حدوث الكارست المحتملة في شمال وغرب دمشق عبر استخدام برنامج ArcGIS 10.3، حيث تعتمد الطريقة المستخدمة على المعادلة التالية :

$$E = W_1 * L + W_2 * S + W_3 * H + W_4 * P + W_5 * N$$

حيث E القيمة النهائية لاحتمال حدوث الكارست المستخدمة في طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP والموضحة في الخريطة النهائية لمواقع حدوث الكارست المحتملة .

[8]

L العامل الليتولوجي، S كثافة الشقوق، H الارتفاع، P الهطول المطري، N كثافة شبكة التصريف.

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :

$W_1 \rightarrow W_5$ قيم الأوزان الموافقة للعوامل الداخلة بتشكيل الكارست وفق طريقة FAHP.

اعتمد تشكيل الخريطة النهائية على استخدام أمر التراكم الموزون (weighted overlay) في برنامج ArcGIS 10.3 لإدخال معاملات التثقيل الخاصة بكل خريطة، ودمج الخرائط في خريطة نهائية توضح مناطق تواجد المظاهر الكارستية .



الشكل (6) مراحل معالجة البيانات باستخدام برنامج ArcGIS 10.3

5- النتائج والمناقشة:

5-1- النتائج :

تم الوصول إلى النتائج التي وضحت في معرض البحث من خلال استخدام عملية التحليل الهرمي الضبابي FAHP لتحديد أوزان العوامل ثم معالجة الخرائط الخاصة بالعوامل المؤثرة على تشكل وتطور الكارست باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لاستنباط وتوليد خرائط مكانية احتمالية تصنف مناطق الخطورة المحتملة :

الجدول (18) مصفوفة المقارنة الثنائية بالشكل الضبابي بعد تجميع المصفوفات

الضبابية

العامل	أ	ب	ج	د	هـ
الليولوجيا (أ)	(1,1,1)	(1.5,2.5,4)	(2,3.5,5)	(2.5,4,5.5)	(3,4.5,6)
كثافة الشقوق (ب)	(0.25,0.4,0.67)	(1,1,1)	(0.5,2,4)	(1,2.5,4.5)	(2,3.5,5)
الهطول المطري (ج)	(0.20,0.29,0.5)	(0.25,0.5,2)	(1,1,1)	(1,2,3.5)	(1.5,3,4)
الارتفاع (د)	(0.18,0.25,0,4)	(0.22,0.4,1)	(0.29,0.5,1)	(1,1,1)	(0.5,2,4)
كثافة التصريف (هـ)	(0.17,0.22,0.33)	(0.20,0.29,0.5)	(0.25,0.33,0.67)	(0.25,0.50,2)	(1,1,1)

• يوضح الجدول (19) نتائج جمع عناصر حقول مصفوفة المقارنة الثنائية

الكلية بشكلها الضبابي وفق العلاقة

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j)$$

الجدول (19) حساب مجموع الحقول لمصفوفة المقارنات الثنائية الضبابية الحدية الكلية

العامل	L	M	U
الليولوجيا (أ)	10.000	15.500	21.500
كثافة الشقوق (ب)	4.750	9.400	15.167
الهطول المطري (ج)	3.950	6.786	11.000
الارتفاع (د)	2.190	4.150	7.400
كثافة التصريف (هـ)	1.867	2.341	4.500
المجموع	22.756	38.177	59.567
مقلوب المجموع	0.044	0.026	0.017
ترتيب المقلوب تصاعديا	0.017	0.026	0.044

- بالاعتماد على الجدول (19) حسب قيم المتجه التركيبي الضبابي وفق

العلاقة

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j * [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad \text{وربتت النتائج ضمن الجدول} \quad (20).$$

$$M_1 = (10,15.5,21.5) * (0.017,0.026,0.044) = (0.168 , 0.406 , 0.945)$$

$$M_2 = (4.75,9.40,15.167) * (0.017,0.026,0.044) = (0.080 , 0.246 , 0.666)$$

$$M_3 = (3.95,6.786,11) * (0.017,0.026,0.044) = (0.066 , 0.178 , 0.483)$$

$$M_4 = (2.19,4.15,7.4) * (0.017,0.026,0.044) = (0.037 , 0.109 , 0.325)$$

$$M_5 = (1.867,2.341,4.5) * (0.017,0.026,0.044) = (0.031 , 0.061 , 0.198)$$

الجدول (20) حساب مجموع الأسطر لمصفوفة المقارنات الثنائية الضبابية

الكلية

العامل	A	b	C
M1	0.168	0.406	0.945
M2	0.080	0.246	0.666
M3	0.066	0.178	0.483
M4	0.037	0.109	0.325
M5	0.031	0.061	0.198

- من أجل حساب الأوزان ينبغي أولاً التحقق من ان يكون احتمال

$$M_i = (a_i, b_i, c_i) \geq M_j = (a_j, b_j, c_j)$$

من أجل المتطلب الأول تم حساب القيم كالتالي:

$$V(M_1 \geq M_2) = 1 \quad V(M_1 \geq M_3) = 1$$

$$V(M_1 \geq M_4) = 1 \quad V(M_1 \geq M_5) = 1$$

من أجل المتطلب الثاني تم حساب القيم كالتالي:

$$V(M_2 \geq M_1) = 0.757 \quad V(M_2 \geq M_3) = 1$$

$$V(M_2 \geq M_4) = 1 \quad V(M_2 \geq M_5) = 1$$

من أجل المتطلب الثالث تم حساب القيم كالتالي:

$$V(M_3 \geq M_1) = 0.580 \quad V(M_3 \geq M_2) = 0.855$$

$$V(M_3 \geq M_4) = 1 \quad V(M_3 \geq M_5) = 1$$

من أجل المتطلب الرابع تم حساب القيم كالتالي:

$$V(M_4 \geq M_1) = 0.346 \quad V(M_4 \geq M_2) = 0.641$$

$$V(M_4 \geq M_3) = 0.789 \quad V(M_4 \geq M_5) = 1$$

من أجل المتطلب الخامس تم حساب القيم كالتالي:

$$V(M_5 \geq M_1) = 0.080 \quad V(M_5 \geq M_2) = 0.390$$

$$V(M_5 \geq M_3) = 0.530 \quad V(M_5 \geq M_4) = 0.773$$

- ثم اخذ أقل درجة تفوق احتمالية لكل خاصية من الخصائص على الأخرى
وفق مايلي :

$$W = (1, 0.757, 0.580, 0.346, 0.080)$$

- وبالتالي حساب الأوزان وفق العلاقات :

$$W_1 = \frac{1}{(1+0.757+0.580+0.346+0.080)} = 36.19\%$$

$$W_2 = \frac{0.757}{(1+0.757+0.580+0.346+0.080)} = 27.41\%$$

$$W_3 = \frac{0.580}{(1+0.757+0.580+0.346+0.080)} = 21.00\%$$

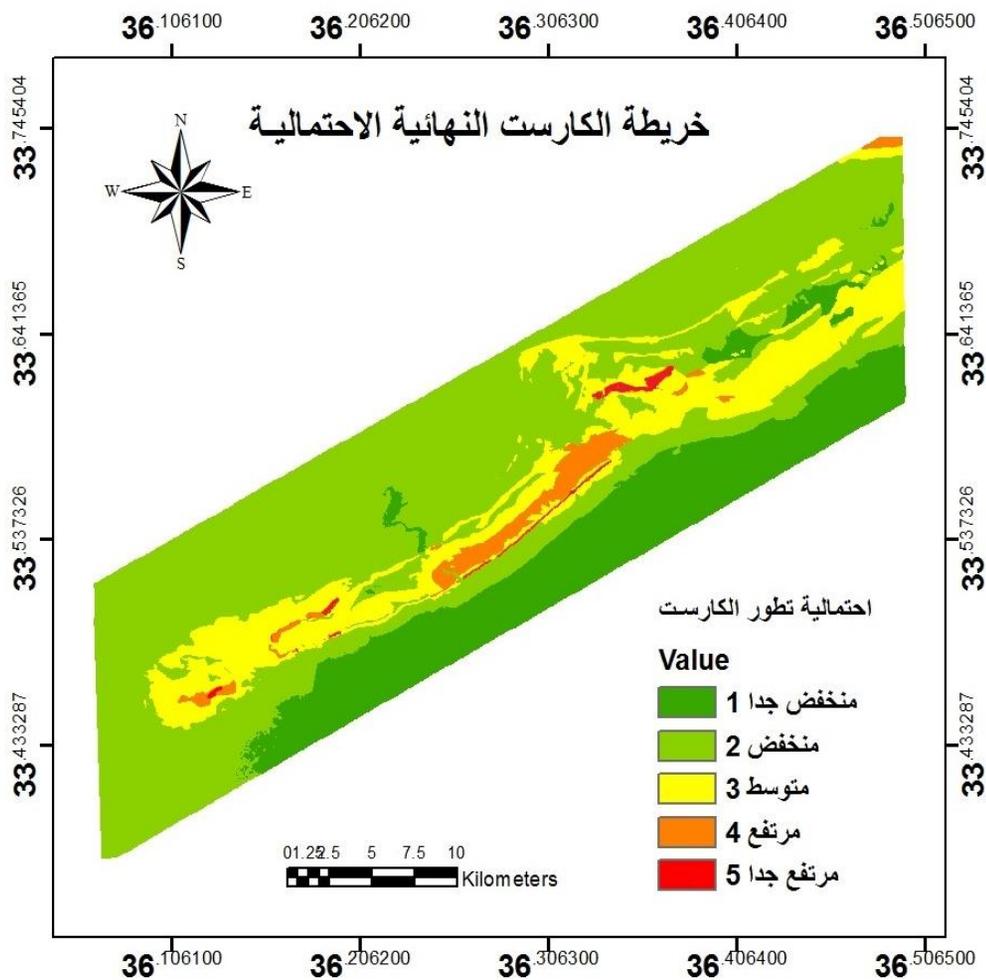
$$W_4 = \frac{0.346}{(1+0.757+0.580+0.346+0.080)} = 12.52\%$$

$$W_5 = \frac{0.080}{(1+0.757+0.580+0.346+0.080)} = 2.89\%$$

الجدول (21) جدول العوامل الموزونة

الوزن %	التصنيف	الوصف	التقسيمات ضمن الخريطة	الخريطة المستخدمة	no
36.19	1	منخفض جدا	لحقيات وعضار	الليتولوجيا	1
	2	منخفض	كلسي عضاري		
	3	متوسط	كلسي		
	4	مرتفع	كلسي و كلسي مغنيزي (كلس ودولوميت)		
	5	مرتفع جدا	كلسي سيليكاتي (سيليكسيت)		
27.41	1	منخفض جدا	0 – 0.383	كثافة الشقوق	2
	2	منخفض	0.383 – 0.766		
	3	متوسط	0.766 – 1.149		
	4	مرتفع	1.149 – 1.532		
	5	مرتفع جدا	1.532 – 1. 916		
21.00	1	منخفض جدا	175 – 210	الهطول المطري	3
	2	منخفض	210 – 245		
	3	متوسط	245 – 280		
	4	مرتفع	280 – 315		
	5	مرتفع جدا	315 – 350		
12.52	1	منخفض جدا	593 – 760.4	الارتفاع	4
	2	منخفض	760.40 – 927.8		
	3	متوسط	927.80 – 1,095.2		
	4	مرتفع	1,095.20 – 1,262.6		
	5	مرتفع جدا	1,262.60 – 1,430		
2.89	1	منخفض جدا	4.45 – 5.56	كثافة التصريف	5
	2	منخفض	3.35 – 4.45		
	3	متوسط	2.25 – 3.35		
	4	مرتفع	1.14 – 2.25		
	5	مرتفع جدا	0.04 – 1.14		

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :



الشكل (7) الخريطة النهائية لمواقع حدوث الكارست المحتملة وفق FAHP و GIS

تم تصنيف القيم الناتجة في الخريطة النهائية لمواقع حدوث الكارست المحتملة الى 5 تصنيفات احتمالية تتراوح من المنخفض جدا إلى المرتفع جدا الشكل (7) :

- منخفض جدا (1): تعني بأن المنطقة لا تحتوي على اي مظاهر كارستية.
- منخفض (2) : تعني مظاهر الكارست السطحية كالتي توجد على الحجر الكلسي الجيري او غير الصافي حيث يتواجد التصريف السطحي والوديان الجافة بالإضافة لبعض المظاهر الكارستية
- معتدل (3) : تعني منطقة كارستية احتمالية لا يمكن رؤية المظاهر الكارستية فيها مثل الكهوف والحفر الغائرة و البولجينات والينابيع الكارستية ذات التصريف الكبير
- المرتفع (4) : تعني منطقة كارستية احتمالية تظهر فيها المظاهر الكارستية مثل الكهوف والحفر الغائرة و البولجينات والينابيع الكارستية ذات التصريف الكبير
- والمرتفع جدا (5) : تعني منطقة كارستية ذات تصريف سطحي قليل او لا يذكر اي انها تقع تحت صخور كربوناتيّة ذات سماكة كبيرة وتتميز بمظاهر كارستية سطحية جيدة التشكل من الكارين للبلوجين ومظاهر كارستية تحت ارضية كثيفة مثل الكهوف الخ

5-2- المناقشة :

بلغت مساحة المناطق ذات الاحتمالية المرتفعة جدا لتشكل وتطور المظاهر الكارستية 2.45 كم² من منطقة الدراسة، في حين شغلت المناطق ذات الاحتمالية المرتفعة 17.40 كم² ، فيما احتلت المناطق الاحتمالية لتواجد الكارست ذو الدرجة المتوسطة مساحة 109.13 كم² من منطقة الدراسة.

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :

تشكل المناطق غير الكارستية مساحة 130.70 كم² بينما تبلغ مساحة الأجزاء ذات الاحتمال المنخفض لحدوث الكارست 370.54 كم² ويشكلان النسبة الأكبر من مساحة منطقة الدراسة بمساحة اجمالية تبلغ 501.24 كم².

وضحت الخريطة النهائية لمناطق الخطر الكارستي المحتمل وقوع القسم الأكبر من المناطق ذات الاحتمالية المرتفعة جدا لتشكل هذه الظاهرة ضمن التشكيلات الليتولوجية للحجر الكلسي السيليكاتي المشوه تكتونيا من عمر الكمبريان التي تمتاز بكثافة الشقوق والفوالق ضمنها وهي ذات الاحتمالية الليتولوجية الاعلى لتشكل الكارست.

تعود الاحتمالية المرتفعة لتشكل الكارست في هذه المنطقة لوقوعها ضمن نطاق فالق دمشق النشط تكتونيا إضافة لقابلية الصخور المشكلة لها للانحلال الشديد بالمياه وتوافر الهطولات المطرية واحتمالية تكرار التغذية لها.

تمتاز المناطق ذات الاحتمالية المنخفضة والمنخفضة جدا لتشكل الكارست بوقوعها ضمن تشكيلات اللحقيات والغضار ذات القابلية الضعيفة جدا لتشكل الكارست وذلك بسبب خصائصها الهيدروجيولوجية و المورفولوجية.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

6-1- الاستنتاجات:

- أظهرت الدراسة مرونة ودقة هذه الطريقة لما توفره من إمكانية مراجعة الأوزان وتصنيف البارامترات لتقييم مدى ملائمة المناطق الأخرى وفق خصائصها المحددة .
- التأثير الأكبر للليتولوجيا في نشوء وتطور الكارست بنسبة إجمالية 36.19% مقارنة مع باقي المعاملات. حيث تلعب أنواع الصخور وقابليتها للانحلال بالماء الدور الأبرز في نشوء وتطور المظاهر الكارستية .
- أهمية عامل كثافة الشقوق في عملية نشوء وتطور الكارست بنسبة مساهمة بلغت 27.41% من مجموع القيم النهائية المشكلة للكارست ضمن منطقة الدراسة وفقا لطريقة التحليل الهرمي الضبابي ، حيث تقع منطقة الدراسة ضمن تحذب قاسيون الذي تؤدي فيه عمليات الطي الجيولوجي إلى زيادة كثافة الشقوق و يعتبر فالق دمشق التكتوني أبرزها ، وتبلغ احتمالية تشكل الكارست في المناطق المجاورة لهذا الفالق قيمها الأعظمية وفقا للخريطة النهائية لمواقع الكارست المحتملة.
- يأتي الهطول المطري بالمرتبة الثالثة في عملية تشكل وتطور المظاهر الكارستية بوزن إجمالي 21% من تأثير العوامل الداخلة بالدراسة.
- زيادة احتمال تشكل وتطور الكارست بزيادة الارتفاع و كثافة التصريف حيث أوضحت الدراسة مساهمتها ب 12.52% ، 2.89% من القيم المؤثرة على تشكل الكارست على الترتيب.

6-2- التوصيات:

توصي الدراسة السابقة بمايلي :

- استخدام عملية التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتضييق نطاق التحريات الحقلية وتخفيض كلفتها نظرا لفاعلية استخدام الطريقتين معا لاستخراج خرائط التوزع الاحتمالي لمناطق تشكل المظاهر الكارستية في شمال وغرب دمشق.
- استخدام منهجية التحليل الهرمي الضبابي ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد مناطق تواجد المظاهر الكارستية لمناطق أخرى معرضة للخطر الكارستي وفق خرائط هندسية احتمالية (وبخاصة ضمن مواقع التجمعات السكانية) بهدف الحد من مخاطرها على الانسان والمجتمع.
- إجراء دراسات حقلية معمقة على المناطق ذات الاحتمالية المرتفعة والمرتفعة جدا لتشكل الكارست بهدف تحديد درجة الشدة الكارستية الفعلية خاصة في المناطق السكنية للحد من الأنشطة البشرية ضمنها ومنع أعمال إشادة الأبنية السكنية في الأجزاء الخطرة منها.

المراجع العلمية :

المراجع العربية :

- [1] ربيع يوسف ، دراسة الكارست و أهم منعكساته الاقتصادية والهيدروولوجية المنطقة الساحلية - صافيتا ، رسالة ماجستير جامعة دمشق.
- [2] جهاد أكرم الحجازي، 2012- جيومورفولوجية الأشكال الكارستية في المناطق المحيطة بمنخفض البحرية، رسالة دكتوراه جامعة دمشق.
- [3] محمد علي الشيخ مشاعل، 1986- أسس الجيولوجيا الهندسية، مقرر جامعي جامعة دمشق ، 238 ص ، الصفحات 1-2 .
- [4] شكو محمد ، 1999 ، مفهوم الكارست ودوره في التقييم الجيوهندسي عند دراسة وتصميم المنشآت الهندسية، مجلة العلوم الجيولوجية ، العددان 17 و 18 ، الصفحات 23-40 .
- [5] عوض عادل، وزان أحمد ، منصور ريم 2014 ، استخدام نظام المعلومات الجغرافية GIS وطريقة التدرج التحليلي الضبابية FAHP من أجل اختيار المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة طرطوس، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد 36 ، العدد 6.
- [6] ربيع يوسف ، 2015 دراسة جيولوجية الكارست من النواحي المنشئية و التكتونية و المورفولوجية في الجزء الجنوبي من السلسلة الساحلية - سورية ، رسالة دكتوراه جامعة دمشق.
- [7] الابراهيم تماضر، سلامة معن ، ملحم محمد 2021 ، تحديد المواقع المحتملة للمياه الجوفية باستخدام طريقة التحليل الهرمي، مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية، المجلد 28 ، العدد 4.

المراجع الاجنبية :

- [8] Samad Moradi *, Nasrollah Kalantari, Abbas Charchi 2016
"Karstification Potential Mapping in Northeast of Khuzestan
Province, Iran, using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy
Process (AHP) techniques", Geopersia. vol 6 (2): pp-265
282.
- [9] Shangqu Sun, Liping Li, Jing Wang, Shaoshuai Shi,
Shuguang Song,Zhongdong Fang, Xingzhi Ba and Hao Jin
2018- Karst Development Mechanism and Characteristics
Based on Comprehensive Exploration along Jinan Metro,
China, Sustainability, 10, 3383; doi:10.3390/su10103383.
- [10] Derek Ford & Paul Williams 2007 – Karst Hydrogeology
and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd, England, pp1-
587
- [11] Masoomah Rajabi, Asadollah Hejazi, Somayeh Almasi
Ghobadian, 2017- Zonation of Superficial Karst Development
Using Fuzzy Logic Method (Case Study: Shirez Karstic

Masses), **Specialty Journal of Geographical and Environmental Science**, Vol, 1 (1):50-59

[12] Mehran Maghsoudi, Hamid Ganjaeian, Arashtalari, Khabat Amani 2016 “Evaluation of the Contributing Factors in Development and Zoning Karst in Palangan Zone by Using Fuzzy Logic and ANP”, **Open Journal of Geology**, vol 6, : pp468-483.

[13] Abdo Ghassan Hazem 2020, “Evolving a total-evaluation map of flash flood hazard for hydro-prioritization based on geohydromorphometric parameters and GIS-RS manner in Al-Hussain river basin, Tartous, Syria”, **Springer Nature**, DOI: 10.1007/s11069-020-04186-3

[14] Emrouznejad Ali & Ho William 2018 – **Fuzzy analytical Hierarchy process** , CRC press, New York, pp1-432.

[15] Saaty, T.L. 1980 – The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York. pp. 1-380.

استخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتعيين مناطق
الخطر الكارستي الاحتمالي في شمال وغرب مدينة دمشق ، سورية :

[16] R.W.SAATY, 1987– THE ANALYTIC HIERARCHY
PROCESS–WHAT IT IS AND HOW IT IS USED, **Mathl
Modelling**, Vol. 9, No. 3–5, pp. 161–176.

[17] Kabir Golam, Dr. Hasin Ahsan Akhtar, 2011– comparative
analysis of AHP and Fuzzy AHP models for multicriteria
inventory classification, **international journal of fuzzy logic
systems (IJFLS)**, Vol, 1 (1) pp:1–16