

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد - ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

Received	2026/09/15	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/10/08	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/10/09	تم نشر الورقة العلمية في

تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع (LSCM): دراسة حالة مدينة بني وليد - ليبيا.

¹ عمر إبراهيم عزوزة*، ² محمد علي حسن

¹. كلية الهندسة جامعة مصراتة - ليبيا، ² كلية الهندسة جامعة بني وليد - ليبيا

mmas65596@gmail.com

*0009-0000-6923-7174

الملخص

تبحث هذه الدراسة في التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحرائق بمدينة بني وليد، بهدف تحديد العدد والمواقع المثلى للمحطات بما يضمن تغطية المناطق المأهولة خلال زمن استجابة لا يتجاوز 6 دقائق، باستخدام نموذج تغطية المواقع (LSCM) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). واعتمدت الدراسة على بيانات المحلات المأهولة والمحطة الحالية وشبكة الطرق، مع افتراض سرعة تشغيلية قدرها 40 كم/ساعة، ثم أعدت مصفوفات أزمنة الوصول والتغطية وحلّ النموذج باستخدام أداة Solver في برنامج Microsoft Excel. أظهرت النتائج أن المحطة الحالية تغطي محلة البلدية فقط، بينما يتطلب تحقيق التغطية الكاملة إنشاء سبع محطات، تشمل المحطة الحالية وست محطات إضافية في محلات الظهرة، وسوف الجين، وأبو راس، وأبو نجرة، وميمون، وأبو راوي. وتؤكد النتائج أهمية نماذج تغطية المواقع في دعم التخطيط المكاني وتحسين توزيع خدمات الإطفاء. الكلمات المفتاحية: نموذج تغطية المواقع، LSCM، محطات الإطفاء، تحديد المواقع، التغطية المكانية، زمن الاستجابة.

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع.
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

Optimizing the spatial distribution of fire stations using the Location-Specific Coverage Model (LSCM): A case study of the city of Bani Walid, Libya.

¹Dr Omar Ibrahim Azzouza, ²Mohammed Ali Hassan

1. Faculty of Engineering, University of Misrata - Libya
2. Faculty of Engineering, University of Bani Walid- Libya

Abstract

This study examines the spatial distribution of fire stations in the city of Bani Walid, with the aim of determining the optimal number and locations of stations to ensure coverage of populated areas within a response time not exceeding 6 minutes, using the Location-Specific Coverage Model (LSCM) and Geographic Information Systems (GIS). The study relied on data regarding populated neighborhoods, the existing station and the road network, assuming an operational speed of 40 km/h. Arrival time and coverage matrices were then prepared, and the model was solved using the Solver tool in Microsoft Excel. The results showed that the existing station covers only the municipal district, whilst achieving full coverage would require the establishment of seven stations, comprising the existing station and six additional stations in the districts of Al-Dhahra, Soof aljeen, Abu Ras, Abu Najra, Maymun and Abu Rawi. The results underscore the importance of site coverage models in supporting spatial planning and optimising the distribution of fire services.

Keywords: Location Coverage Model, LSCM, fire stations, positioning, spatial coverage, response time.

1. المقدمة:

عادةً عند وقوع حريق أو حادث وسيلة نقل أو انهيار بناء، يتم الاتصال سريعاً بفرق الإطفاء والحماية المدنية لتتحرك سيارات المطافئ ورجال الإنقاذ إلى موقع البلاغ. يقوم رجال الإطفاء بتقديم خدمات الإطفاء والإنقاذ السريع، بالإضافة إلى تقديم الدعم الأولي للمحاصرين، مما يسهم بشكل كبير في حماية الأرواح، والسيطرة على النيران قبل اتساعها،

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع:
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

والحد من الخسائر المادية والبشرية. ومع التطور الملحوظ في التكنولوجيا وعلوم النمذجة الحاسوبية، أتاح الكمبيوتر إمكانية بناء نماذج رياضية محكمة لتحديد التوزيع الأمثل لمراكز الإطفاء داخل نطاق جغرافي معين. وتسعى هذه الدراسة إلى تطبيق أحد هذه النماذج الرياضية للوصول إلى أفضل توزيع مكاني لمحطات الإطفاء يضمن سرعة الاستجابة وتغطية أكبر مساحة ممكنة.

وتوفر نماذج تحديد المواقع في بحوث العمليات إطاراً رياضياً لمعالجة هذه النوعية من المشكلات من خلال تحويلها إلى مسألة تحسين يمكن فيها المفاضلة بين مجموعة من المواقع المرشحة وفق هدف وقيود محددة. ويُعد نموذج تغطية المواقع (Location Set Covering Model – LSCM) الذي اقترح بواسطة Torigas et al. سنة 1971. من النماذج المناسبة لتخطيط مرافق الطوارئ، حيث يقوم على تحديد الحد الأدنى من المواقع القادرة على تغطية جميع مناطق الطلب ضمن معيار خدمة محدد، مثل مسافة الوصول أو زمن الاستجابة

وتوجد العديد من الدراسات التي اهتمت بالتوزيع الأمثل لمحطات الإطفاء وتقليل زمن الاستجابة؛ ومن أبرزها الدراسة التي أعدها إيداياني وآخرون (Idayani et al., 2021) حيث تناولت الدراسة تطبيق نموذج تغطية الحد الأقصى (Maximal Covering Problem Model) لتحديد المواقع الاستراتيجية لمحطات الإطفاء في مقاطعة سيتوبوندو، وأثبتت النتائج المعتمدة على خوارزميات التحسين (GAMS) تفوق التوزيع المقترح في رفع نسبة التغطية المكانية مقارنة بالوضع الحالي [3].

وتناولت دراسة ميلاد والهدار (Milad & Alhdar, 2025)، تطبيق نموذج مشكلة التغطية القصوى (MCP) لتحديد التوزيع الأمثل لمحطات الإطفاء في مدينة الخمس بليبيا. اعتمدت الدراسة على طريقة السمبلكس (Simplex Method) لتحديد مواقع المحطات بناءً على أوزان المخاطر والكثافة السكانية وزمن استجابة لا يتجاوز 15 دقيقة، وأسفرت النتائج عن إمكانية تقليص عدد المحطات المفتوحة من 5 إلى 4 محطات استراتيجية مع رفع كفاءة التغطية المكانية وتغطية الفجوات الجغرافية.

يتضح من الدراسات السابقة اهتمام متزايد باستخدام نماذج التغطية وتحديد المواقع في تخطيط خدمات الطوارئ ومحطات الإطفاء، إلا أن تطبيقاتها اختلفت من حيث مواقع

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

الدراسة، والنماذج المستخدمة، ومعايير الخدمة. وتتمثل الفجوة البحثية في محدودية التطبيقات التي تحدد الحد الأدنى من محطات الإطفاء اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة للمناطق المأهولة وفق معيار زمني محدد في البيئة المحلية. ومن هنا تركز الدراسة الحالية على تطبيق نموذج LSCM في مدينة بني وليد، باستخدام أزمدة الوصول المحسوبة عبر شبكة الطرق، لتحديد الحد الأدنى من المحطات اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة ضمن زمن استجابة قدره 6 دقائق، مع مقارنة النتائج بالوضع الحالي. وانطلاقاً من ذلك، تطبق هذه الدراسة نموذج LSCM لتحديد الحد الأدنى من محطات الإطفاء المطلوبة لتغطية المناطق المأهولة بمدينة بني وليد ضمن زمن استجابة قدره ست دقائق. ويعتمد التطبيق على بناء مصفوفة تغطية ثنائية تربط بين المواقع المرشحة ومناطق الطلب، ثم استخدام البرمجة الصحيحة الثنائية لتحديد مجموعة المواقع التي تحقق التغطية الكاملة بأقل عدد ممكن من المحطات.

جدول رقم 1. مقارنة الدراسات السابقة بالدراسة الحالية

الدراسة	الموقع	النموذج المستخدم	معايير الخدمة	أبرز النتائج	الفرق عن الدراسة الحالية
Badi et al. (2017)	مصراتة – ليبيا	LSCM	10 و 15 دقيقة	تحديد الحد الأدنى من مواقع خدمات الإسعاف اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة وفق سيناريوهات زمنية مختلفة	تناولت خدمات الإسعاف وليس محطات الإطفاء، كما اختلفت مناطق الطلب ومعايير الخدمة عن حالة بني وليد.
Yao et al. (2019)	نانجينغ – الصين	نموذج تحسين متعدد الأهداف	التغطية وإمكانية الوصول	تطوير حلول بديلة توازن بين التغطية وإمكانية الوصول وتأثير المحطات القائمة	اعتمدت نموذجاً متعدد الأهداف، بينما تركز الدراسة الحالية على هدف تقليل عدد المحطات مع ضمان التغطية الكاملة ضمن زمن محدد.
Milad & Alhdar (2025)	الخمس – ليبيا	MCP	15 دقيقة	تحديد أربعة مواقع استراتيجية لمحطات الإطفاء وتحسين التغطية وتقليل عدد المحطات القائمة	تختلف عن الدراسة الحالية في نموذج التغطية ومعايير الخدمة؛ إذ تعتمد الدراسة الحالية 6 دقائق وتسعى إلى التغطية الكاملة بأقل عدد من المحطات.
الدراسة الحالية	بني وليد – ليبيا	LSCM	6 دقائق	تحديد سبع محطات، تشمل المحطة الحالية، لتحقيق تغطية زمنية كاملة للمحلات المأهولة وعددها 15 محطة	تطبيق LSCM على مدينة بني وليد باستخدام شبكة الطرق لحساب أزمدة الوصول، وتحديد الحد الأدنى من المحطات اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة ومقارنة الحل بالوضع الحالي.

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع.
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

يعرض الجدول (1) مقارنة بين مجموعة من الدراسات السابقة والدراسة الحالية من حيث موقع الدراسة، ونموذج التغطية المستخدم، ومعياري زمن الخدمة، وأبرز النتائج، إضافةً إلى أوجه الاختلاف عن الدراسة الحالية. وتوضح المقارنة تنوع النماذج والأساليب المستخدمة في تحديد مواقع مرافق الطوارئ، كما تبرز خصوصية الدراسة الحالية في تطبيق نموذج تغطية المواقع LSCM بمدينة بني وليد، بهدف تحديد الحد الأدنى من محطات الإطفاء اللازمة لتحقيق تغطية كاملة للمحلات المأهولة ضمن زمن استجابة لا يتجاوز 6 دقائق.

2. مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في عدم كفاية التوزيع المكاني الحالي لمحطات إطفاء الحريق في مدينة بني وليد، حيث تعتمد المدينة على محطة واحدة لتقديم الخدمة لمختلف المناطق المأهولة. ويؤدي هذا الوضع إلى وجود تفاوت مكاني في إمكانية الوصول إلى الخدمة، خصوصاً في المناطق الواقعة على مسافات بعيدة من المحطة الحالية. وعليه، تتمثل المشكلة البحثية في السؤال الرئيس الآتي:

ما الحد الأدنى من محطات الإطفاء ومواقعها الذي يحقق التغطية الكاملة للمناطق المأهولة في مدينة بني وليد ضمن زمن استجابة قدره 6 دقائق؟

3. أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تطبيق نموذج تغطية المواقع (LSCM) لتحديد الحد الأدنى من محطات إطفاء الحريق ومواقعها المثلى في مدينة بني وليد، بما يضمن تغطية جميع مناطق الطلب ضمن معيار زمن الاستجابة المعتمد.

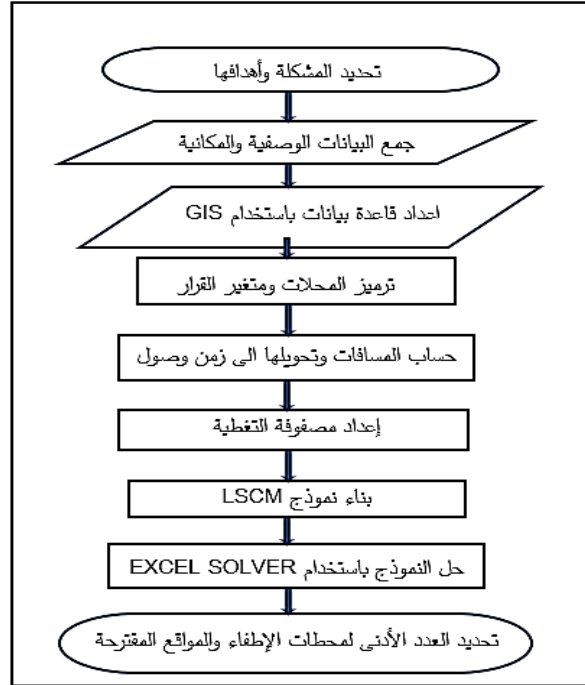
ويتفرع عن هذا الهدف ما يأتي:

- تقييم مستوى التغطية المكانية لمحطة الإطفاء الحالية.
- صياغة نموذج LSCM في صورة نموذج برمجة صحيحة ثنائية.
- تحديد الحد الأدنى من المواقع اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة.
- مقارنة عدد المحطات ونسبة التغطية بين الوضع الحالي والحل الناتج عن النموذج.

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

4. منهجية الدراسة



شكل رقم 1. يبين المنهجية المتبعة في الحالة الدراسية

يوضح الشكل (1) المنهجية المتبعة في الدراسة، بدءًا من تحديد المشكلة وأهدافها، ثم جمع البيانات الوصفية والمكانية وإعداد قاعدة بيانات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS. وبعد ذلك جرى ترميز المحلات وتحديد متغيرات القرار، وحساب المسافات وأزمنة الوصول، ثم إعداد مصفوفة التغطية وبناء نموذج LSCM. وفي المرحلة الأخيرة، حُلَّ النموذج باستخدام أداة Solver في برنامج Microsoft Excel، بهدف تحديد الحد الأدنى من محطات الإطفاء والمواقع المقترحة التي تحقق التغطية المطلوبة..

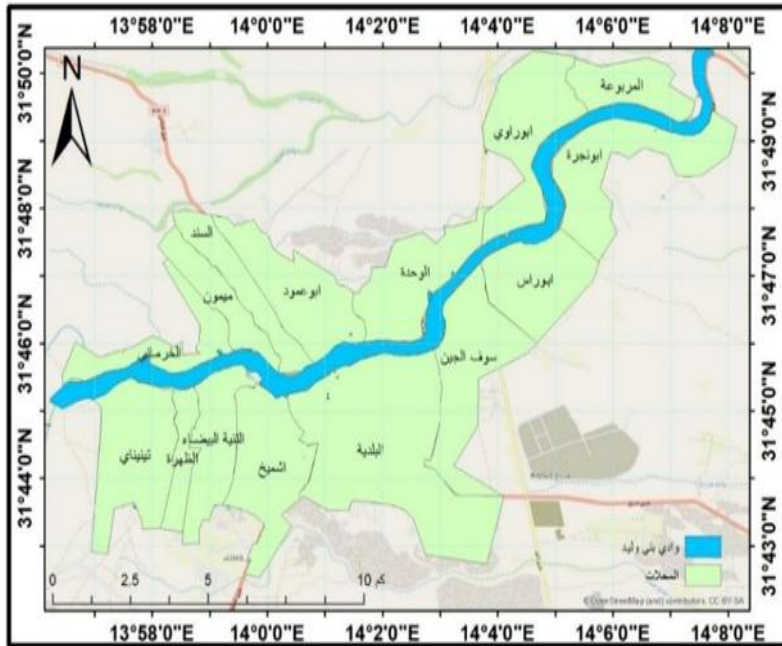
5. منطقة الدراسة

تقع مدينة بني وليد في الجزء الشمالي الغربي من ليبيا، وتمتد عمرانياً على طول وادي بني وليد، مع وجود تباين مكاني في توزيع التجمعات السكانية والأنشطة المختلفة، الأمر

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع:
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

الذي يفرض تحديات أمام توفير تغطية مناسبة لخدمات الإطفاء وضمان سرعة الوصول إلى مواقع الحوادث، كما يوضح الشكل (2) خريطة مدينة بني وليد وموقعها الجغرافي. اعتمدت الدراسة على 15 محلة مأهولة بوصفها مناطق للطلب ومواقع مرشحة لإنشاء مراكز الإطفاء، مع استبعاد المناطق غير المأهولة من نطاق التحليل. كما استُخدمت ملفات مكانية من نوع Shapefile أُعدت عام 2024، وأدخلت إلى بيئة نظم المعلومات الجغرافية GIS لمعالجتها واستخراج شبكة الطرق والبيانات المكانية اللازمة لحساب المسافات وأزمنة الوصول وإنتاج الخرائط. واعتمدت الدراسة سرعة تشغيلية قدرها 40 كم/ساعة لحساب أزمنة الوصول، استنادًا إلى آراء موظفي هيئة السلامة الوطنية بمدينة بني وليد عام 2026، مع مراعاة ظروف الذروة والازدحام المروري.



شكل رقم 2. خريطة مدينة بني وليد: المصدر: اعداد الباحث باستخدام ArcMap 10.8

رُزمت المواقع المرشحة بمتغيرات قرار ثنائية من 1X إلى 15X، كما يوضح الجدول (2) أسماء المحلات المقابلة لكل متغير.

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع.
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

جدول (2): ترميز المحلات ومقابلاتها في نموذج تغطية المواقع

X1: تنيناي	X2: الظهرة	X3: الثنية البيضاء	X4: اشميخ	X5: البلدية
X6: سوف الجين	X7: ابوراس	X8: ابونجرة	X9: الخرمانى	X10: ميمون
X11: السند	X12: ابوعمود	X13: الوحدة	X14: ابوراوي	X15: المربوعة

ويأخذ متغير القرار الصورة الآتية:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{يغطي منطقة الطلب } j \text{ إذا كان الموقع } i \\ 0 & \text{لا يغطي منطقة الطلب } j \text{ إذا كان الموقع } i \end{cases}$$

حيث:

a_{ij} : قيمة التغطية بين منطقة الطلب j والموقع المحتمل i

القيمة (1): تعني أن زمن الوصول ضمن الحد المسموح.

القيمة (0): تعني أن الموقع غير قادر على تغطية المنطقة وفق المعيار المحدد.

6. حساب زمن الوصول

حُسب زمن الوصول بين المواقع المرشحة ومناطق الطلب بالاعتماد على المسافات المستخرجة من شبكة الطرق، وفق العلاقة بين المسافة والسرعة، وباستخدام سرعة تشغيلية قدرها 40 كم/ساعة. واستخدمت المعادلة الآتية.:

$$T_{ij} = \frac{D_{ij}}{v} \times 60$$

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

حيث:

$$T_{ij} = \text{زمن الوصول (دقيقة). من الموقع } j \text{ الى منطقة الطلب } i.$$

$$D_{ij} = \text{المسافة بالكيلومتر بين الموقع } j \text{ ومنطقة الطلب } i.$$

$$V = \text{سرعة مركبة الإطفاء بالكيلومتر/ساعة}$$

جدول (3) زمن الوصول بين المحلات

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
X1	0	5	6	8	13	17	20	26	10	14	17	20	23	32	35
X2	5	0	4	6	11	16	19	25	11	13	16	17	20	31	32
X3	6	4	0	5	10	14	17	23	13	11	14	16	17	28	29
X4	8	6	5	0	7	12	15	22	11	10	11	14	15	25	28
X5	13	11	10	7	0	8	13	18	14	13	12	11	13	22	25
X6	17	16	14	12	8	0	7	13	17	16	14	11	5	17	19
X7	20	19	17	15	13	7	0	8	23	20	17	14	11	14	16
X8	26	25	23	22	18	13	8	0	32	28	24	22	17	7	5
X9	10	11	13	11	14	17	23	32	0	5	7	8	13	26	31
X10	14	13	11	10	13	16	20	28	5	0	4	5	14	23	26
X11	17	16	14	11	12	14	17	24	7	4	0	5	13	20	23
X12	20	17	16	14	11	11	14	22	8	5	5	0	8	19	22
X13	23	20	17	15	13	5	11	17	13	14	13	8	0	12	17
X14	32	31	28	25	22	17	14	7	26	23	20	19	12	0	7
X15	35	32	29	28	25	19	16	5	31	26	23	22	17	7	0

يوضح الجدول (3) أزمنة الوصول بين المحلات، بالاعتماد على المسافات المستخرجة من شبكة الطرق وباستخدام سرعة تشغيلية لمركبات الإطفاء قدرها 40 كم/ساعة. وتمثل القيم الواردة في الجدول الزمن التقديري اللازم للوصول من كل موقع مرشح إلى مناطق

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

الطلب المختلفة، وقد استُخدمت هذه القيم لاحقاً في إعداد مصفوفة التغطية الثنائية وفق معيار زمن استجابة لا يتجاوز 6 دقائق.

بعد إعداد مصفوفة زمن الوصول، جرى تحويلها إلى مصفوفة تغطية ثنائية باستخدام Microsoft Excel، وفق معيار زمن استجابة قدره 6 دقائق .

• بناء مصفوفة التغطية

- يوضح الجدول (4) مصفوفة التغطية الثنائية الناتجة عن مقارنة أزمنة الوصول بين المواقع
- المرشحة ومناطق الطلب وفق معيار زمني لا يتجاوز 6 دقائق. ويُعرّف معامل التغطية a_{ij} كما يأتي:

جدول (4): مصفوفة التغطية الثنائية

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
X1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
X7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
X8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
X9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
X10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
X11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
X12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
X13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
X14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
X15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & T_{ij} \leq 6 \\ 0 & T_{ij} > 6 \end{cases}$$

حيث تشير القيمة (1) إلى قدرة الموقع المرشح i على تغطية منطقة الطلب j ضمن الزمن المحدد، بينما تشير القيمة (0) إلى عدم قدرته على تحقيق شرط التغطية. وتُعد

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

هذه المصفوفة الأساس الذي اعتمد عليه نموذج LSCM لتحديد أقل عدد من محطات
الإطفاء اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة للمناطق المأهولة.

• الصياغة الرياضية لنموذج تغطية المواقع (LSCM):

يُصاغ نموذج تغطية المواقع باعتباره نموذجًا للبرمجة الصحيحة الثنائية، ويهدف إلى
اختيار أقل عدد ممكن من محطات الإطفاء، مع ضمان تغطية جميع مناطق الطلب
ضمن معيار زمن الاستجابة المحدد.

• دالة الهدف

تهدف دالة الهدف إلى تقليل العدد الكلي لمحطات الإطفاء المختارة:

$$\text{Min}Z = \sum_{j=1}^n x_j$$

وفي حالة الدراسة الحالية، وبوجود 15 موقعًا مرشحًا:

$$\text{Min}Z = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{15}$$

• قيود التغطية:

يجب أن تكون كل منطقة طلب مغطاة بواسطة موقع واحد على الأقل من المواقع
المختارة. ويُعبّر عن ذلك بالصيغة.

$$\sum_{j=1}^{15} a_{ij} x_j \geq 1 \quad i = 1, \dots, 15$$

ويضمن هذا القيد أن كل منطقة طلب تحصل على تغطية من محطة واحدة على الأقل
ضمن زمن الاستجابة البالغ 6 دقائق.

القيود الثنائية لمتغيرات القرار

$$x_j \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, 15$$

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

ويعني ذلك أن كل موقع مرشح إما أن يتم اختياره لإنشاء محطة إطفاء أو لا يتم اختياره.

• عناصر النموذج

X_j : متغير القرار ويأخذ القيمة (1) إذا تم اختيار الموقع j والقيمة (0) إذا لم يتم اختياره.
 a_{ij} : معامل التغطية، ويأخذ القيمة (1) إذا كان موقع الطلب j يغطي منطقة الطلب i
والقيمة (0) إذا كان لا يغطي منطقة الطلب i .

i : مناطق الطلب

j : المواقع المرشحة لإنشاء المراكز.

7. تنفيذ النموذج:

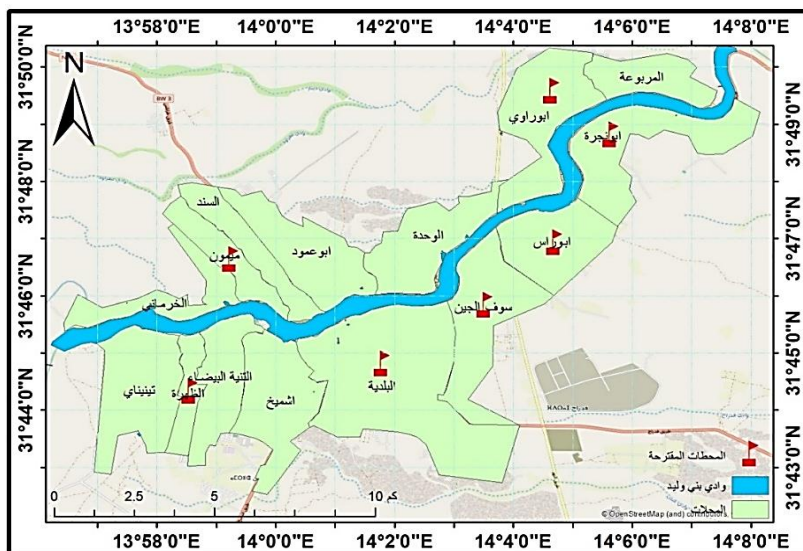
تم تنفيذ نموذج التغطية باستخدام Solver في برنامج Microsoft Excel وبطريقة Simplex LP، مع تعريف متغيرات القرار كمتغيرات ثنائية. واستهدف النموذج تقليل العدد الكلي لمحطات الإطفاء مع ضمان تغطية جميع مناطق الطلب ضمن زمن الاستجابة المحدد بـ 6 دقائق، مع تثبيت المحطة الحالية في محلة البلدية من خلال القيد $X_5=1$. وأظهر Solver أن الحل المحصل عليه يحقق أقل قيمة ممكنة لدالة الهدف مع استيفاء جميع قيود التغطية.

8. النتائج

أظهرت نتائج تطبيق نموذج LSCM أن تحقيق التغطية الكاملة للمناطق المأهولة في مدينة بني وليد ضمن زمن استجابة قدره 6 دقائق يتطلب وجود سبع محطات إطفاء موزعة على سبع محلات، كما يوضح الشكل (3). وقد احتفظ النموذج بالمحطة الحالية الواقعة في محلة البلدية ضمن الحل الأمثل، مما يعني أن الحل المقترح يتطلب الإبقاء على المحطة الحالية وإضافة ست محطات جديدة لاستكمال التغطية المكانية. ويبين الشكل (3) التوزيع المكاني للمحطات المقترحة ومواقعها داخل مدينة بني وليد.

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>



الشكل (3) مواقع المراكز المقترحة لنتائج نموذج (LSCM)

جدول (5) مقارنة التغطية الإدارية والتغطية الزمنية بين الوضع الحالي والوضع المقترح

المؤشر	الوصف	الوضع الحالي	الوضع المقترح
أولاً: التغطية الإدارية	اجمالي عدد المحلات المأهولة	15	15
	عدد المحلات التي توجد بها محطة إطفاء	1	7
	عدد المحلات التي لا توجد بها محطة إطفاء	14	8
	نسبة المحلات التي توجد بها محطة إطفاء	6.7%	46.7%
ثانياً: التغطية الزمنية	الزمن المستهدف	دقائق 6 ≤	دقائق 6 ≤
	عدد المحلات المغطاة ضمن الزمن المستهدف	1	15
	عدد المحلات غير المغطاة ضمن الزمن المستهدف	14	0
	نسبة التغطية الزمنية	6.7%	100%
	نسبة عدم التغطية الزمنية	93.33%	0%

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع:
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

تشير المقارنة الواردة في الجدول (5) إلى تحسن واضح في مستوى التغطية؛ إذ ارتفعت نسبة التغطية الزمنية من 6.7% في الوضع الحالي إلى 100% في الحل الناتج عن نموذج LSCM، وفق معيار زمن الاستجابة البالغ 6 دقائق. كما ارتفعت نسبة المحلات التي توجد بها محطات إطفاء من 6.7% إلى 46.7%، مما يعكس فاعلية التوزيع المقترح في تحسين الانتشار المكاني لمحطات الإطفاء وتعزيز قدرتها على الوصول إلى مناطق الطلب.

9. تحليل حساسية زمن الاستجابة:

أجري تحليل حساسية لقياس أثر تغيير معيار زمن الاستجابة في عدد محطات الإطفاء اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة، مع تثبيت باقي مدخلات النموذج. وكما يوضح الجدول (6)، بلغ عدد المحطات المطلوبة 8 محطات عند اعتماد زمن استجابة أقصى قدره 5 دقائق، وانخفض إلى 7 محطات عند اعتماد 6 دقائق، ثم إلى 4 محطات عند اعتماد 8 دقائق، مع تحقيق تغطية كاملة في جميع الحالات. وتبين هذه النتائج أن تشديد معيار زمن الاستجابة يستلزم زيادة عدد محطات الإطفاء المطلوبة، في حين يؤدي تخفيف المعيار إلى تقليل العدد اللازم لتحقيق التغطية نفسها.

جدول (6): تحليل حساسية عدد محطات الإطفاء لزمن الاستجابة

التغطية	عدد المحطات المطلوبة	زمن الاستجابة الأقصى
100%	8	دقائق 5
100%	7	دقائق 6
100%	4	دقائق 8

10. مناقشة النتائج

أظهرت نتائج نموذج تغطية المواقع (LSCM) أن تحقيق تغطية جميع المحلات المأهولة ضمن زمن استجابة لا يتجاوز 6 دقائق يتطلب ست محطات جديدة بالإضافة إلى المحطة القائمة، وقد حدد النموذج هذه المواقع لقدرتها على تغطية مناطق الطلب غير المغطاة

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع.
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

ضمن حد 6 دقائق، مع تحقيق أقل عدد ممكن من المحطات. وتتفق هذه النتيجة مع الدراسات السابقة التي أثبتت فاعلية نماذج التغطية في تحسين توزيع مراكز خدمات الطوارئ وتقليل زمن الاستجابة، مع اختلاف عدد المحطات تبعاً لخصائص منطقة الدراسة وشبكة الطرق ومعياري الزمن المعتمد. وتوفر النتائج أساساً علمياً لدعم قرارات التوسع في خدمات الإطفاء بمدينة بني وليد وتحديد المواقع ذات الأولوية، كما أظهر تحليل السيناريوهات أن عدد المحطات المطلوبة يتغير باختلاف معيار زمن الاستجابة.

11. الاستنتاجات

خلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج الرئيسية:

1. أظهر تقييم الوضع الحالي محدودية التغطية المكانية لخدمة الإطفاء، حيث تغطي المحطة الحالية محطة واحدة فقط من أصل 15 محطة، ونسبة تغطية بلغت 6.7 %.
2. أثبت نموذج LSCM قدرته على تحديد الحد الأدنى من محطات الإطفاء اللازمة لتحقيق التغطية الكاملة وفق معيار زمن الاستجابة المحدد .
3. يتطلب تحقيق التغطية الكاملة للمناطق المأهولة ضمن زمن استجابة قدره 6 دقائق وجود سبع محطات إطفاء .
4. يتضمن الحل الأمثل المحطة الحالية في محطة البلدية، إلى جانب ست مواقع إضافية هي: الظهرة، وسوف الجين، وأبو راس، وأبو نجرة، وميمون، وأبو روي .
5. أدى الحل الناتج عن النموذج إلى رفع نسبة التغطية الزمنية للمحلات المأهولة من 6.7% في الوضع الحالي إلى 100% في الحل المقترح، وفق معيار زمن الاستجابة البالغ 6 دقائق.
6. يبين تطبيق النموذج أهمية استخدام الأساليب الرياضية في دعم قرارات تحديد مواقع خدمات الطوارئ، بدلاً من الاعتماد على التوزيع التقليدي للمرافق

12. التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يمكن تقديم التوصيات الآتية:

1. الاستفادة من نتائج نموذج LSCM عند التخطيط المستقبلي لتوسعة شبكة محطات الإطفاء بمدينة بني وليد .

(LSCM) تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع:
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

2. دراسة إمكانية إنشاء المحطات الست الإضافية في المواقع التي حددها النموذج، مع مراعاة الظروف الفعلية للأراضي وشبكة الطرق ومتطلبات إنشاء المحطات .
3. تحديث بيانات المسافات وأزمنة الوصول بصورة دورية بما يتناسب مع التغيرات في شبكة الطرق والتوسع العمراني .
4. استخدام نماذج تحديد المواقع الرياضية كأداة مساندة للجهات المختصة عند اتخاذ القرارات المتعلقة بتوزيع خدمات الطوارئ .
5. يمكن تطبيق المنهجية نفسها في مدن أخرى تعاني من مشكلات في التوزيع المكاني لخدمات الطوارئ، مع تعديل مناطق الطلب ومعايير الاستجابة وفق خصائص كل مدينة.

13. الخلاصة

خلصت الدراسة إلى أن التوزيع الحالي لمحطات إطفاء الحرائق في مدينة بني وليد غير كافٍ لتحقيق الاستجابة الزمنية المطلوبة، إذ تغطي المحطة القائمة محلة واحدة فقط ضمن حد زمني قدره ست دقائق. وأثبت تطبيق نموذج تغطية المواقع (LSCM) بالاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية، إمكانية تحقيق التغطية الكاملة للمحلات المأهولة من خلال سبع محطات، تشمل المحطة الحالية وست محطات إضافية في محلات الظهرة، وسوف الجين، وأبو راس، وأبو نجرة، وميمون، وأبو راوي. وتؤكد هذه النتيجة أهمية توظيف النماذج الرياضية والتحليل المكاني في تخطيط خدمات الطوارئ، بما يساهم في تحسين توزيع محطات الإطفاء وتقليل زمن الاستجابة. كما ينبغي التحقق ميدانياً من ملائمة المواقع المقترحة وتحديث بيانات الطرق وأزمنة الوصول بما يتناسب مع التوسع العمراني والتغيرات المرورية.

المراجع

- إبراهيم الضراط، وآخرون (2023). دراسة التوزيع المكاني لمحطات الاسعاف لمدينة بني وليد .مجلة البحوث التقنية، المجلد 1، العدد 1، ص ص (1-8).
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations research*, 19(6), 1363-1373.

(LSCM): تحسين التوزيع المكاني لمحطات إطفاء الحريق باستخدام نموذج تغطية المواقع:
دراسة حالة مدينة بني وليد – ليبيا

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-AN08>

- Idayani, D., Puspitasari, Y., & Sari, L. D. K. (2021, November). Maximal Covering Problem Model for Determination of Fire Station Location. In *International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)* (pp. 20-23). Atlantis Press.
- Milad, A. A., & Alhdar, A. M. H. (2025). Maximal Covering Problem Model (MCP) for Fire Station Location Determination: A Case Study in Al-Khoms City. *Libyan Journal of Contemporary Academic Studies*, 3(1), 62-66.
- Badi, I., Stević, Ž., & Novarić, B. (2017). Emergency medical service location problem: A case study in misurata, libya. *Transport & Logistics: The International Journal*, 17(43), 30-36.
- Yao, J., Zhang, X., & Murray, A. T. (2019). Location optimization of urban fire stations: Access and service coverage. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 184-190.
- Li, H., Yu, D., Zhang, Y., & Yuan, Y. (2025). A two-stage robust optimization model for emergency service facilities location-allocation problem under demand uncertainty and sustainable development. *Scientific Reports*, 15(1), 2895.
- Yu, W., Chen, Y., & Guan, M. (2021). Hierarchical siting of macro fire station and micro fire station. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1972-1988.