النمذجة الكارتوجرافية لمستويات الضوضاء المرورية لتحسين الاستدامة الحضرية: "دراسة حالة شياخة حلوان الغربية"

د. أحمد عطيه موسى مقرب[1]

المستخلص:

تُعد الضوضاء المرورية من أبرز التحديات البيئية التي تؤثر على جودة الحياة في المناطق الحضرية، خاصة مع التوسع العمراني وزيادة الأنشطة البشرية. يهدف هذا البحث إلى تطوير نماذج كارتوجرافية ثنائية وثلاثية الأبعاد لتحليل مستويات الضوضاء المرورية في شياخة حلوان الغربية، مع التركيز على دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تمثيل وتحليل البيانات المكانية، تم قياس مستويات الضوضاء في ١١٢ نقطة مراقبة خلال ثلاث فترات زمنية (الصباح، الظهيرة، والليل)، حيث أظهرت النتائج أن حوالي ٩٠٪ من مساحة منطقة الدراسة تتعرض لمستويات ضوضاء تتجاوز ٧٠ ديسيبل، مما يُشكل خطرًا بيئيًا وصحيًا.

اعتمدت الدراسة على أساليب كارتوجرافية متعددة، مثل الخرائط الشبكية وخطوط التساوي، بالإضافة إلى النماذج ثلاثية الأبعاد التي أظهرت دقة أكبر في تمثيل توزيع الضوضاء وتأثيرها على ارتفاعات المباني، كما استُخدمت مبادئ تصميم متقدمة لتوظيف الألوان المتدرجة لعرض مستويات الضوضاء بطريقة واضحة وتفاعلية.

خلُص البحث إلى أهمية استخدام النماذج ثلاثية الأبعاد في التخطيط الحضري، حيث تُساهم في تقديم رؤى دقيقة لدعم اتخاذ القرارات، مثل تحسين تصميم الطرق، وزيادة المساحات الخضراء، وإنشاء حواجز صوتية، وتوصي الدراسة بتعزيز استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة التلوث الضوضائي، وتحديث التشريعات البيئية للحد من تأثير الضوضاء في المناطق الحضرية.

الكلمات الدالة: الضوضاء المرورية، النماذج ثلاثية الأبعاد، نظم المعلومات الجغرافية، الكارتوجرافيا الرقمية، التحليل المكاني، الاستدامة الحضرية، حلوان الغربية.

(١) مدرس قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية – كلية الآداب – جامعة حلوان. ahmed.mekareb@gmail.com.

المقدمة:

تمثل الضوضاء واحدة من أكثر المشكلات البيئية تأثيرًا على سكان المدن الحضرية، حيث تُلحق أضرارًا جسيمة بجودة الحياة والصحة العامة (Park et al., 2017). في ظل التوسع العمراني السريع وزيادة الأنشطة البشرية، أصبحت الحاجة ملحة إلى وسائل مبتكرة لدراسة وتحليل هذا النوع من التلوث. يهدف البحث الحالي إلى تصميم نماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد لرصد مستويات الضوضاء في شياخة حلوان الغربية التابعة لقسم حلوان بمحافظة القاهرة، مما يساعد على تطوير سياسات حضرية مستدامة وتحسين جودة الحياة، حيث يعد رسم خرائط الضوضاء أحد أفضل الطرق لفهم مستويات الضوضاء البيئية وأصلها ومصادرها وتوزيعها (Cai et al., 2015).

تُظهر الدراسات أن الضوضاء المرتفعة تُعد من العوامل البيئية الضارة التي تؤثر على الجوانب الفسيولوجية والنفسية للأفراد وفقًا لمنظمة الصحة العالمية (WHO, 2019)، كما أن التلوث الضوضائي قد يؤدي إلى مشاكل صحية مثل الإجهاد واضطرابات النوم وحتى أمراض القلب. مع زيادة الكثافة السكانية وتعدد مصادر الضوضاء، أصبح من الضروري الاستعانة بأدوات حديثة لتقييم هذا التأثير المكاني بشكل دقيق.

تمثل طرق النمذجة الكارتوجرافية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية أهمية كبيرة في البحث العلمي، حيث تُعد من التقنيات الحديثة التي تسهم في معالجة العديد من القضايا الكارتوجرافية بشكل دقيق وفعال (عزيز، ٢٠٠١)، وتأتي نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة رئيسية لتحليل الأنماط المكانية للضوضاء، حيث تتيح القدرة على جمع البيانات البيئية ودمجها مع المعلومات المكانية لتوفير رؤى أكثر شمولية. تُستخدم النماذج الثنائية والثلاثية الأبعاد بشكل متزايد لتحليل مستويات التلوث الضوضائي والتنبؤ بانتشاره، مما يتيح عرض البيانات بطرق مرئية تسهّل عملية اتخاذ القرارات الحضرية، كما يمكن لهذه التقنيات تحسين دقة التوقعات المرتبطة بالتلوث الضوضائي.

تؤدي الكارتوجرافيا الرقمية دورًا حيويًا في تطوير خرائط تفاعلية تُظهر التوزيع المكاني للضوضاء بشكل أكثر وضوحًا. تتيح هذه الخرائط للمخططين وصانعي السياسات التعرف على النقاط الحرجة التي تتطلب تدخلاً، كما أنها تسهم في رفع الوعي المجتمعي بالمشكلة من خلال الاستفادة من هذه الأدوات، تهدف الدراسة الحالية إلى تقديم نماذج كارتوجرافية تعتمد على بيانات تم جمعها خلال فترات مختلفة من اليوم (صباحًا، ظهرًا، ليلًا) مع الأخذ في الاعتبار تأثير ارتفاعات المباني على توزيع الضوضاء.

مشكلة الدراسة:

على الرغم من استخدام النماذج ثنائية الأبعاد في تمثيل مستويات الضوضاء المرورية، إلا أنها قد لا تعكس التعقيدات المكانية والارتفاعات المختلفة في البيئة الحضرية. هذا القصور يمكن أن يؤدي إلى تقديرات غير دقيقة لتأثير الضوضاء على المباني والسكان. أظهرت الدراسات الحديثة أن النماذج ثلاثية الأبعاد توفر إمكانيات أكبر لتحليل البيانات البيئية بدقة، حيث تُمكّن من دمج عناصر الارتفاع والتفاعلية التي تفتقر إليها النماذج ثنائية الأبعاد.

أهداف الدراسة:

- تطوير نماذج كارتوجرافية لتمثيل مستويات الضوضاء المرورية في شياخة حلوان الغربية.
- تحليل تأثير هذه النماذج على تحسين الاستدامة الحضرية من خلال تعزيز فهم توزيع الضوضاء.
- تقديم توصيات تخطيطية لصناع القرار لتحسين جودة الحياة في المناطق الحضرية.

أهمية الدراسة:

- الأهمية العلمية: يسهم البحث في سد فجوة معرفية في مجال الكارتوجرافيا الرقمية من خلال تطبيق النماذج الكاتوجرافية ثنائية وثلاثية الأبعاد لتحليل الضوضاء المرورية.
- الأهمية التطبيقية: يتيح البحث لصناع القرار أدوات تحليل مرئية تساعدهم في تحسين تخطيط المدن وتقليل الآثار السلبية للتلوث الضوضائي.
- الأهمية المحلية: يقدم البحث حلولًا مبتكرة لتحسين جودة الحياة في منطقة حلوان الغربية، كنموذج يمكن تكراره في مناطق حضرية مشابهة.

تساؤلات الدراسة:

- كيف يمكن تطوير نماذج كارتوجرافية ثنائية وثلاثية الأبعاد لتمثيل مستويات الضوضاء المرورية بدقة في شياخة حلوان الغربية؟
- ما مدى دقة وفعالية النماذج ثلاثية الأبعاد مقارنةً بالنماذج ثنائية الأبعاد في تمثيل الضوضاء المرورية؟
- كيف يمكن استخدام النماذج المطورة لتقديم توصيات تعزز الاستدامة الحضرية في المنطقة المدروسة؟

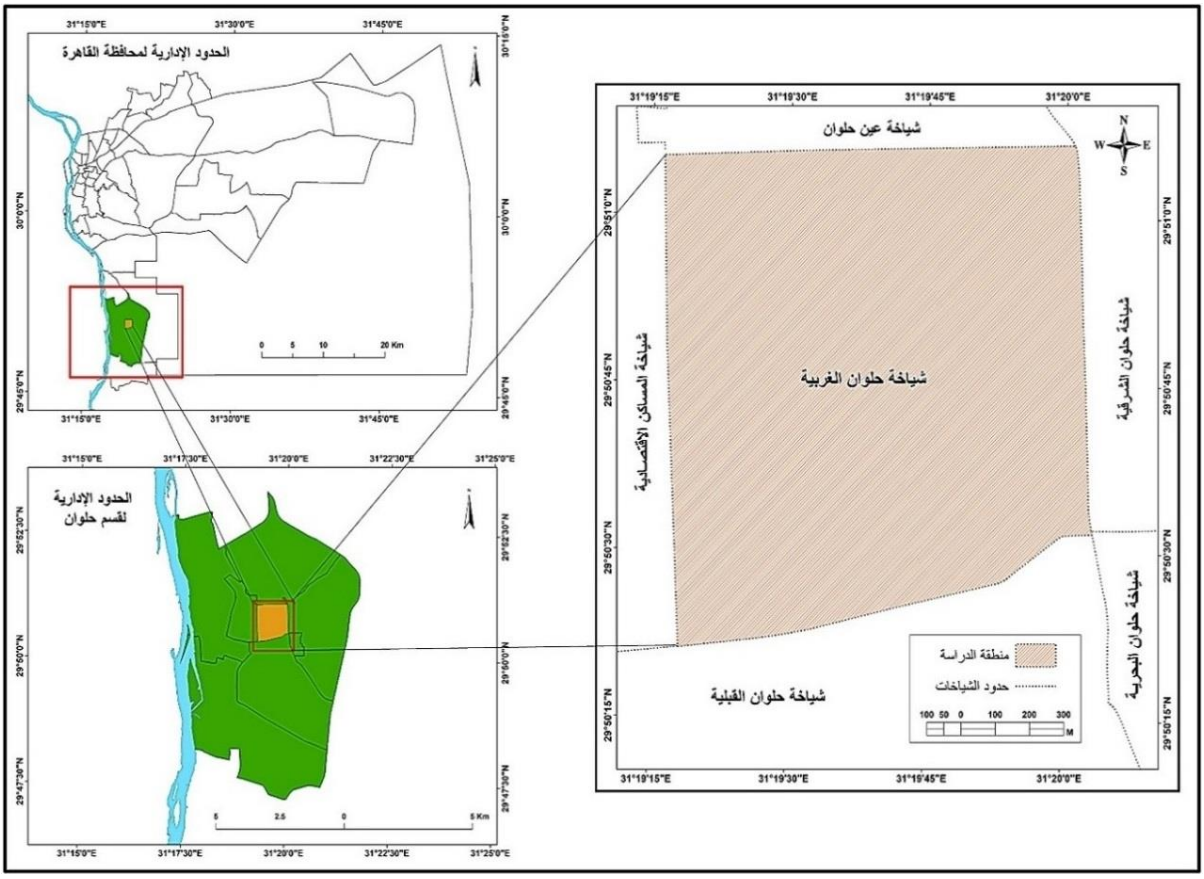
مناهج الدراسة وأساليبها:

تم تصميم هذه الدراسة كبحث وصفي تحليلي يعتمد على مجموعة من المناهج والأساليب العلمية لتحقيق أهدافها، حيث تم توظيف المنهج الوصفي التحليلي بهدف دراسة ظاهرة الضوضاء المرورية من خلال وصفها وتحليل خصائصها المكانية والزمانية بشكل دقيق، بالإضافة إلى ذلك، تم اعتماد المنهج التطبيقي الذي يُركز على تطبيق النماذج الكارتوجرافية ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل البيانات وإيجاد حلول عملية لتخفيف مستويات الضوضاء وتحسين الاستدامة الحضرية، كما اعتمدت الدراسة على الأسلوب الكارتوجرافي لتمثيل البيانات بصريًا من خلال الخرائط التي توضح الأنماط المكانية لمستويات الضوضاء، مما يساهم في فهم توزيعها المكاني وعلاقتها بالمكونات الحضرية، إلى جانب ذلك تم استخدام الأسلوب الإحصائي لتحليل البيانات الرقمية المتعلقة بمستويات الضوضاء، بهدف استخلاص العلاقات بين المتغيرات وتفسير تأثيرات الظاهرة من خلال أدوات إحصائية تُسهم في تحقيق فهم شامل لنتائج الدراسة.

تهدف هذه الدراسة إلى دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مع النمذجة الثنائية والثلاثية الأبعاد لتمثيل وتحليل مستويات الضوضاء المرورية في شياخة حلوان الغربية، حيث يهدف التصميم إلى تقديم نموذج كارتوجرافي يعكس التأثيرات المكانية للضوضاء المرورية على البيئة الحضرية.

١. منطقة الدراسة:

تعتبر حلوان الغربية أحد شياخات قسم حلوان التابع لمحافظة القاهرة والذى يتكون من ثماني شياخات حيث يحدها من الشمال شياخة عين حلوان ومن الجنوب شياخة حلوان القبلية، ومن الشرق شياخة حلوان الشرقية وشياخة حلوان البحرية ومن الغرب شياخة المساكن الاقتصادية وجميعهم يتبعوا قسم حلوان إدارياً كما يوضح شكل (١)، وتقع منطقة الدراسة فيما بين دائرتي عرض ٢١" ٥٠' ٢٩° و ٦" ٥١' ٢٩° شمالاً وبين خطى طول ١٨" ١٩' ٣١° و ٣" ٢٠' ٣١° شرقًا، كما تبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي ١,٥كم٢، وتتميز المنطقة بتنوع أنماط العمران من مناطق سكنية وتعليمية وحدائق ومتنزهات والعديد من الأنماط الأخرى ، كما تمثل الجزء المركزي الرئيسي الحيوي لمدينة حلوان، حيث تتركز فيه الأنشطة التجارية والحركة المرورية المزدحمة مما يجعلها أفضل المناطق التي تصلح لتطبيق قياس مستويات الضوضاء بها.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على خرائط الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء لعام ٢٠١٧م.

شكل (١) الموقع الجغرافي والفلكي لشياخة حلوان الغربية

٢. مراحل جمع البيانات:

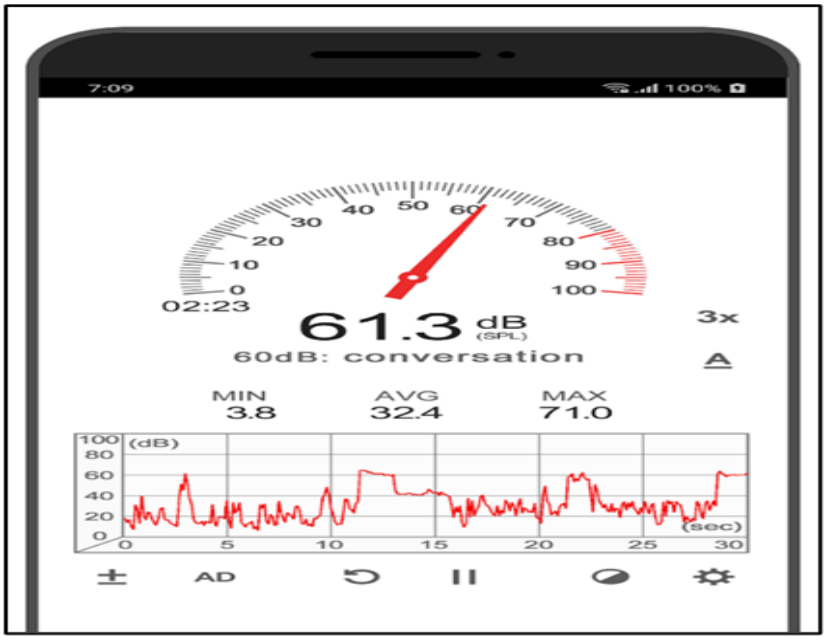
أ. البيانات المكانية:

تم الحصول على بيانات دقيقة للحدود الإدارية والطرق، المباني واستخدامات الأراضي من خلال العديد من المصادر تتمثل فيما يلي:

- الحصول على بيانات خاصة بالحدود الإدارية لقسم حلوان من قبل الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء ٢٠١٧م، لتحديد حدود منطقة الدراسة.
- مرئيات فضائية حديثة لعام ٢٠٢٤م من خلال برنامج جوجل إيرث برو (Google Earth Pro) وذلك للبناء قواعد بيانات للطرق والمباني.
- الدراسة الميدانية لتحديد استخدامات الأراضي لمنطقة الدراسة بدقة عالية لمعرفة تأثير الضوضاء عليها، حيث إنه لكن استخدام المعايير الخاصة به، كما تم إنشاء قاعدة بيانات جغرافية تحتوي على طبقات متعددة تشمل شبكات الطرق وارتفاعات المباني ونوع الاستخدام.

ب. بيانات الضوضاء المرورية:

تم قياس مستويات الضوضاء في مواقع مختارة باستخدام قياس الصوت، كما تحديد ١١٢ موضع لرصد مستويات الضوضاء المرورية داخل منطقة الدراسة وتم وضع النقاط في كل تقاطع طرق لتغطية كافة الشوارع داخل منطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكل (٣) وملحق (١)، وقد تم تصميم هذه المواضع لضمان مراقبة مستويات الضوضاء في أوقات الذروة خلال أيام العمل الرسمية فقط لذلك تم اختيار ثلاثة أوقات لرصد مستويات الضوضاء خلالها وهي من الساعة ٧ – ١٠ صباحاً، ومن الساعة ١٢–٣ ظهراً ومن الساعة ٦–٩ ليلًا. تم استخدام تطبيق (Sound Meter) لقياس الضوضاء، حيث يعرض مقياس مستوى الصوت ويعرض قيم الديسيبل عن طريق قياس الضوضاء البيئية، ويعرض قيم (dB) المقاسة في أشكال مختلفة.



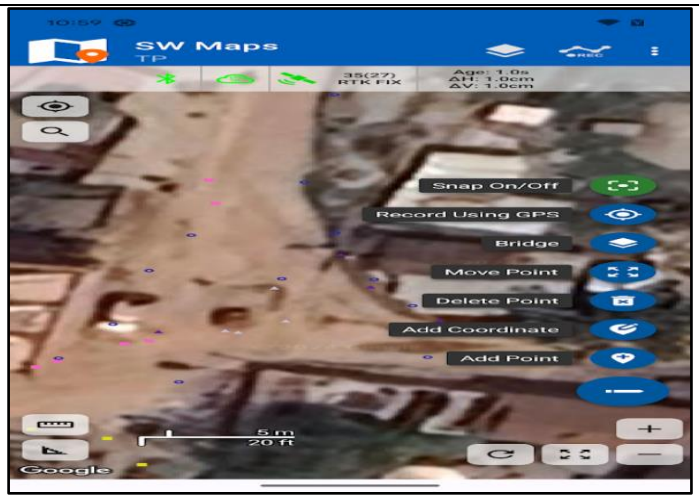
شكل (٢) تطبيق (Sound Meter) لقياس الضوضاء

أُخذت بعين الاعتبار الظروف المتنوعة للطرق داخل منطقة الدراسة عند اختيار مواقع الرصد، لضمان تمثيل شامل لمختلف أنواع الطرق والبيئات الحضرية في المنطقة، وشملت التغطية جميع القطاعات العرضية للمنطقة لتقديم صورة دقيقة لمستويات الضوضاء، كما تمت عمليات الرصد في ظروف مناخية مستقرة لضمان تقليل تأثير العوامل الجوية، مثل الرياح والأمطار على القياسات بما يضمن دقة البيانات وجودتها، أيضاً تم الحفاظ على أن يكون جهاز القياس فوق مستوى سطح الأرض بمقدار ١,٥ متر (EPA, 2008). كما تمت معايرة الجهاز في كل موضع لرصد الضوضاء.

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على تطبيق المسح الميداني (SW Maps – GIS & Data Collector).

شكل (٣) مواضع رصد الضوضاء بمنطقة الدراسة

تم استخدام تطبيق المسح الميداني (SW Maps – GIS & Data Collector) هو تطبيق يمكن تحميله على الهواتف الذكية التي تعمل بنظام الأندرويد، ويتميز بإمكانية جمع البيانات الميدانية مباشرة على الخرائط دون الحاجة إلى اتصال بالإنترنت، مما يجعله خيارًا فعالًا لحفظ البيانات الخاصة بالضوضاء في منطقة الدراسة وفقاً للمواضع التي تم اختيارها ثم تصديرها إلى برامج نظم المعلومات الجغرافية كما يوضح الشكل (٤)، ويُعتبر التطبيق مشابهًا لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية السحابية (GIS Cloud) من حيث الوظائف.



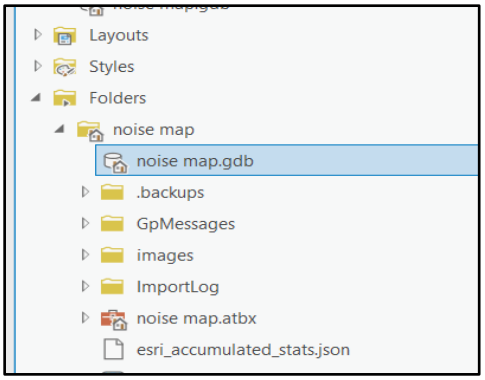
شكل (٤) تطبيق المسح الميداني (SW Maps – GIS & Data Collector)

٣. مرحلة إدخال ومعالجة البيانات:

يُعتبر إدخال البيانات المكانية والوصفية إلى برنامج ArcGIS Pro خطوة محورية في إعداد قاعدة بيانات جغرافية متكاملة لدراسة أي منطقة، حيث تتمثل البيانات المكانية في الحدود الإدارية لمنطقة الدراسة وشبكة الشوارع الرئيسية بمنطقة الدراسة ونقاط رصد الضوضاء والمباني، أما البيانات الوصفية فتتمثل في بيانات الضوضاء للنقط التي تم رصدها وبيانات تخص استخدام الأرض وارتفاع المباني، وتتمثل تلك المرحلة في الخطوات الآتية:

أ. إنشاء قاعدة البيانات الجغرافية (Geodatabase):

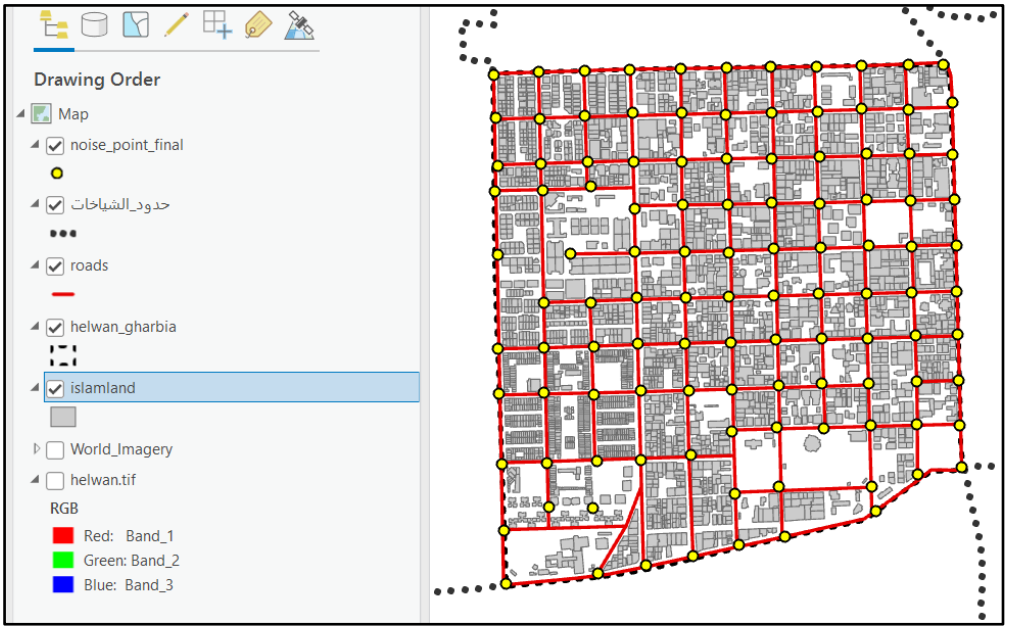
يتم إنشاء قاعدة بيانات جغرافية موحدة داخل برنامج ArcGIS Pro يوضح شكل (٥)، حيث تُعد هذه القاعدة هي الأساس الذي من خلاله يتم تنظيم الطبقات المكانية والوصفية ضمن هيكل واضح، وتتيح القاعدة تخزين البيانات بشكل متكامل، مع الحفاظ على الترابط بين المعالم المكانية والجداول الوصفية، مما يُسهل عمليات التحليل والاسترجاع لاحقًا.



شكل (٥) مرحلة إنشاء قاعدة البيانات الجغرافية

ب. إدخال البيانات المكانية:

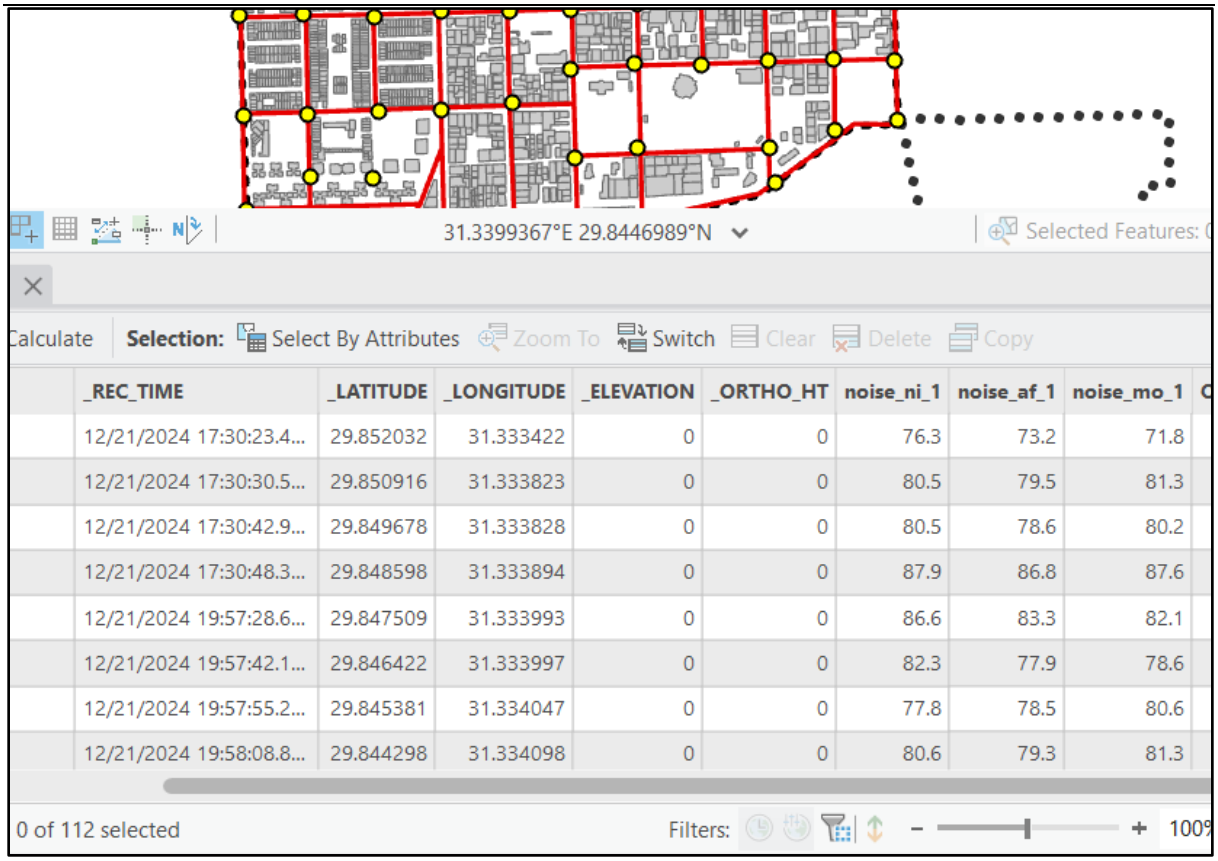
تم إدخال الطبقات المكانية المختلفة مثل الحدود الإدارية للمنطقة، شبكة الشوارع الرئيسية، نقاط رصد الضوضاء والمباني، مع التأكد من استخدام نظام الإحداثيات (UTM) مع المرجع الجيوديسي (WGS84)، كما تم إجراء أيضًا عمليات معالجة وتنظيف للبيانات المكانية، حيث تم تصحيح الأخطاء الجغرافية باستخدام أدوات التحرير (Editing Tools) وإجراء عمليات مثل القَطع (Clipping) أو التحديد (Selection) لضمان اقتصار البيانات على منطقة الدراسة، كما تم ترميز الطبقات المكانية (Symbology) لتسهيل تمييز المعالم المختلفة بصريًا كما يوضح شكل (٦)، حيث تُستخدم ألوان وأشكال رمزية مختلفة لتمثيل أنواع المعالم، مثل المناطق السكنية والشوارع ونقاط الرصد.



شكل (٦) مرحلة ترميز الطبقات المكانية (Symbology)

ج. إدخال البيانات الوصفية:

يتم الانتقال إلى إدخال البيانات الوصفية بعد الانتهاء من إدخال البيانات المكانية، حيث تُعد البيانات الوصفية معلومات إضافية تُكمل المعالم المكانية وتُغنيها بخصائص نوعية أو كمية، في هذه المرحلة تم ربط البيانات الوصفية بالبيانات المكانية من خلال أدوات الانضمام (Join) التي تربط الجداول مباشرةً بناءً على معرف مشترك كما يوضح شكل (٧)، على سبيل المثال تم ربط بيانات الضوضاء بنقاط الرصد باستخدام معرف (ID) يُمثل كل نقطة على الخريطة، تُضاف الحقول الوصفية المطلوبة مثل مستوى الضوضاء، نوع استخدام الأرض وارتفاع المباني إلى الجداول الوصفية الخاصة بكل طبقة مكانية، سواء عن طريق إدخالها يدويًا أو استيرادها من جداول خارجية بتنسيقات مثل CSV.



_REC_TIME	_LATITUDE	_LONGITUDE	_ELEVATION	_ORTHO_HT	noise_ni_1	noise_af_1	noise_mo_1
12/21/2024 17:30:23.4...	29.852032	31.333422	0	0	76.3	73.2	71.8
12/21/2024 17:30:30.5...	29.850916	31.333823	0	0	80.5	79.5	81.3
12/21/2024 17:30:42.9...	29.849678	31.333828	0	0	80.5	78.6	80.2
12/21/2024 17:30:48.3...	29.848598	31.333894	0	0	87.9	86.8	87.6
12/21/2024 19:57:28.6...	29.847509	31.333993	0	0	86.6	83.3	82.1
12/21/2024 19:57:42.1...	29.846422	31.333997	0	0	82.3	77.9	78.6
12/21/2024 19:57:55.2...	29.845381	31.334047	0	0	77.8	78.5	80.6
12/21/2024 19:58:08.8...	29.844298	31.334098	0	0	80.6	79.3	81.3

شكل (٧) مرحلة إدخال البيانات الوصفية

د. التحقق من الاتساق المكاني والوصفي:

تعد مرحلة التحقق من الاتساق المكاني والوصفي خطوة أساسية لضمان دقة البيانات، حيث تستخدم أدوات التحقق (Validation) المدمجة في برنامج ArcGIS لفحص تكامل البيانات، حيث يتم التأكد من تطابق البيانات الوصفية مع الموقع المكاني الصحيح، كما يتم إجراء استعلامات تحليلية باستخدام لغة SQL للتحقق من سلامة البيانات، مثل اكتشاف النقاط المكررة، أو التأكد من أن ارتفاع المباني يتوافق مع مواقعها الجغرافية، وفي حالة إذا تم اكتشاف أي أخطاء أثناء عملية التحقق، يتم تصحيحها على الفور لضمان الحصول على قاعدة بيانات خالية من العيوب.

٤. مرحلة التحليل المكاني:

يعتبر التحليل المكاني لمستويات الضوضاء خطوة حيوية لتقييم أثر الضوضاء في منطقة الدراسة وتحديد أنماط توزيعها المكاني، حيث تعتمد هذه العملية على استخدام برنامج ArcGIS pro وأدوات التحليل المكاني لإنشاء خريطة شبكية تعكس مستويات الضوضاء بناءً على البيانات المكانية

والوصفية، فقد تم استخدام تقنيات الاستيفاء المكاني، مثل طريقة الترجيح العكسي للمسافة (IDW)، لإنشاء نموذج سطح مستمر يوضح التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء عبر المنطقة.

تُعتبر طريقة الترجيح العكسي للمسافة (Inverse Distance Weighting – IDW) من أكثر الأساليب شيوعًا في تحليل البيانات المكانية وإنشاء الأسطح التفسيرية، مثل خرائط مستويات الضوضاء، وتعتمد هذه الطريقة على افتراض أن القيم الأقرب إلى نقطة معينة تُؤثر بشكل أكبر على التقدير في تلك النقطة مقارنة بالقيم البعيدة عنها. بمعنى آخر، تُمنح النقاط المجاورة وزنًا أكبر في عملية التقدير، ويقل هذا الوزن كلما زادت المسافة عن النقطة المراد تقدير قيمتها (Nasser et al., 2024).

في تطبيق هذه الطريقة لإنشاء سطح يمثل مستويات الضوضاء في منطقة الدراسة، تبدأ العملية بإدخال بيانات الضوضاء المكانية التي تم قياسها في مواقع محددة (نقاط رصد الضوضاء)، ثم يتم ربط هذه النقاط بقيم مستويات الضوضاء المسجلة (بالديسيبل)، ومن ثم استخدام أداة IDW المتاحة ضمن أدوات التحليل المكاني في برنامج ArcGIS، تقوم الأداة بحساب القيم المتوقعة لمستويات الضوضاء بين نقاط الرصد اعتمادًا على القيم المجاورة والمسافة بين النقاط.

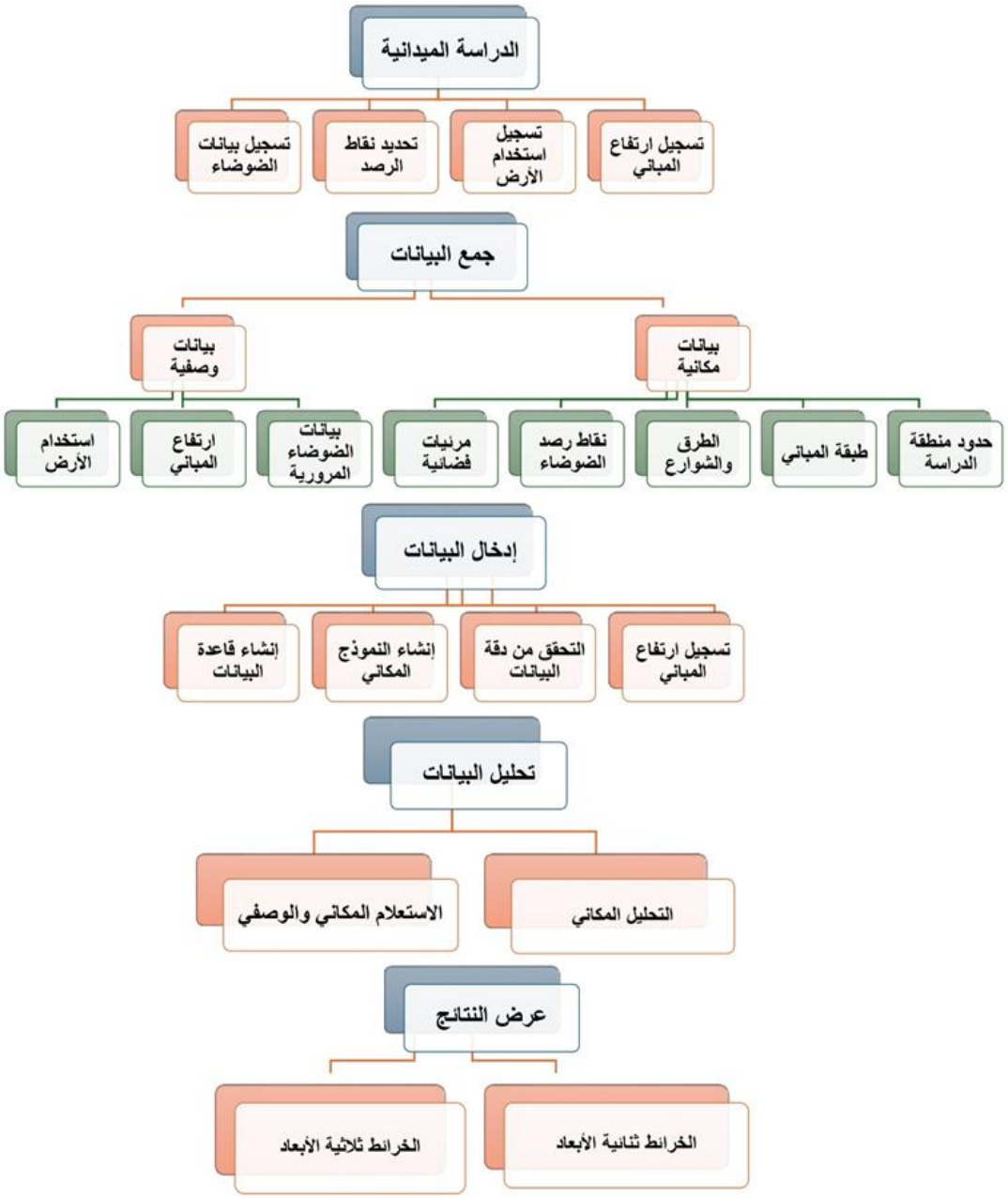
تتميز طريقة IDW بأنها توفر خريطة شبكية (Raster) مستمرة تعكس توزيع الضوضاء عبر المنطقة المدروسة، مما يُساعد على فهم أنماط الضوضاء وتحديد المناطق الأكثر تعرضًا لها، ومن مميزاتها الرئيسة (Esmeray & Eren, 2021):

- البساطة والوضوح: تعد طريقة مباشرة وسهلة الفهم، حيث تعتمد فقط على المسافة بين النقاط وقيمها.
- التحكم في التأثير المكاني: يمكن تعديل معلمات الأداة، مثل (Power Parameter)، لتحديد مدى تأثير القيم المجاورة على التقديرات.
- المرونة في التمثيل المكاني: تستخدم على نطاق واسع في إنشاء خرائط تفسيرية لمجموعة متنوعة من الظواهر المكانية، بما في ذلك الضوضاء.
- القدرة على التعامل مع بيانات غير منتظمة التوزيع: حيث لا تتطلب الطريقة توزيعًا منتظمًا للنقاط المكانية.

يسهم هذا التحليل في توفير رؤى مكانية دقيقة حول انتشار الضوضاء وتأثيراتها على البيئة العمرانية، مما يُساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة لتحسين جودة الحياة وتقليل آثار الضوضاء في المناطق الحضرية.

٥. مرحلة عرض البيانات والنتائج:

يعتبر عرض البيانات بطريقة مرئية خطوة أساسية في التحليل الجغرافي والإحصائي، حيث يُسهّل فهم العلاقات المكانية والزمانية بين المتغيرات المختلفة، حيث يتم تقديم نتائج تحليل مستويات الضوضاء باستخدام مجموعة متنوعة من الأدوات المرئية، بما في ذلك الخرائط ثنائية الأبعاد (D2) وثلاثية الأبعاد (D3)، والأشكال البيانية، والجداول الإحصائية، ويوضح شكل (٨) المنهجية والإجراءات التي مرت خلالها الدراسة.



شكل (٨) منهجية وإجراءات الدراسة

الدراسات السابقة:

تمثل الدراسات السابقة المتعلقة بنمذجة وتخطيط تلوث الضوضاء مصدرًا مهمًا لتطوير هذا المجال، حيث تناولت الدراسات السابقة مجموعة متنوعة من المنهجيات والتقنيات والتطبيقات، وتتمثل أهم تلك الدراسات في الآتي:

١. الدراسات العربية:

- استعرضت دراسة (العزازى، ٢٠٠٤) أهمية استخدام خرائط الضوضاء في التخطيط الحضري لتحديد استعمالات الأراضي وتقليل مستويات التلوث الصوتي، وتضمنت الدراسة تطبيق برنامج Sound Plan لتحليل مستويات الضوضاء في ثلاث مناطق رئيسية بمدينة أسيوط: منطقة نزل عبد الله، منطقة الجامعة، ومنطقة مبارك، وركزت على أهمية تحسين التصميم الحضري من خلال تشجير المناطق الحضرية وإنشاء الحواجز الصوتية.
- اعتمدت دراسة (إسماعيل، ٢٠١٤) على تحليل مستويات الضوضاء المرورية في مدينة شبين الكوم باستخدام خرائط الاستكمال الداخلي، حيث اعتمدت على جمع بيانات ميدانية شاملة وتحليلها من خلال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وأظهرت نتائج الدراسة أن المناطق التي تشهد كثافة مرورية عالية ونشاطًا تجاريًا مكثفًا تعاني من مستويات مرتفعة من الضوضاء، مما يترك تأثيرًا سلبيًا واضحًا على البيئة الحضرية، واستنادًا إلى النتائج، قدمت الدراسة مجموعة من التوصيات التي تهدف إلى تقليل مستويات الضوضاء، وذلك من خلال تحسين تخطيط الشوارع، وإدارة حركة المرور بشكل أكثر كفاءة.
- ركزت دراسة (شلتاغ، ٢٠١٩) على التحليل المكاني للتلوث الضوضائي في مدينة بغداد، حيث تناولت مصادر الضوضاء المتمثلة في ورش الصناعة ووسائل النقل والأسواق، وأظهرت أن الضوضاء تؤثر بشكل سلبي على الصحة النفسية والجسدية للسكان، بالإضافة إلى الإضرار بالبيئة الحضرية، وأوصت الدراسة بوضع خطط تهدف إلى تقليل مستويات التلوث الضوضائي من خلال التحكم في مصادره المتعددة وتحسين البنية التحتية.
- تناولت دراسة (نوفل وتركي، ٢٠٢٠) تطبيق نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل التلوث الضوضائي في مدينة منوف، حيث اعتمدت الدراسة على استخدام أدوات متقدمة لتحليل البيانات، وذلك لتحديد التوزيع المكاني لمصادر الضوضاء، كما تم الاستعانة بأجهزة قياس ميدانية لتسجيل مستويات الضوضاء في نقاط مختارة داخل المدينة، حيث هدفت الدراسة إلى التعرف على مصادر

التلوث الضوضائي ومدى انتشاره، بالإضافة إلى إعداد خرائط توضيحية تُبرز مستويات التلوث وتأثيراته البيئية، كما أظهرت النتائج أن المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة والنشاط الصناعي تعاني من مستويات ضوضاء عالية تتجاوز الحدود المسموح بها، وسلطت الدراسة الضوء على أهمية نظم المعلومات الجغرافية في تقديم تحليلات مكانية دقيقة، مما يعزز من فهم الأنماط المكانية للتلوث الضوضائي.

- تناولت دراسة (العمري وآخرون، ٢٠٢٢) قياس مستويات التلوث الضوضائي في جامعة الأميرة نورة بنت عبد الرحمن باستخدام نماذج الاستيفاء المكاني، وأظهرت النتائج أن مستويات الضوضاء في معظم النقاط تجاوزت الحدود المسموح بها، وأوصت الدراسة بزيادة زراعة الأشجار وبناء جدران عازلة للصوت لتقليل التلوث الصوتي داخل الحرم الجامعي.

٢. الدراسات الأجنبية:

- أشارت دراسة (Stoter et al., 2008)، إلى أهمية النمذجة ثلاثية الأبعاد للتخطيط الحضري والإدارة البيئية، كما ركزت الدراسة على تحسين تصور وتقييم تأثير الضوضاء على البيئة من خلال إنشاء خرائط ضوضاء ثلاثية الأبعاد، مما يسهم في دعم سياسات التخطيط البيئي.
- في دراسة (Kurakula & Kuffer, 2008)، تم استعراض تطبيق لنموذج حضري ثلاثي الأبعاد مشتق من بيانات المسح بالليزر لتحسين قاعدة المعلومات حول كيفية تأثير الضوضاء على البيئة الحضرية، وأوضحت الدراسة أن النماذج ثلاثية الأبعاد توفر فهمًا أفضل لتأثير الضوضاء وتساعد في تطوير استراتيجيات تخطيط حضري أكثر فعالية.
- تناولت دراسة (Beran et al., 2021)، تصميم وتنفيذ وتقييم طرق جديدة لتصور الظواهر المستمرة، مثل الضوضاء الحضرية الناتجة عن حركة المرور، باستخدام البعد الثالث، كما أشارت الدراسة إلى أن استخدام البعد الثالث في تصور البيانات يمكن أن يحسن من فهم وتقييم تأثير الضوضاء في البيئات الحضرية.
- تناولت دراسة (Dubey et al., 2022)، استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتطبيقات الذكية لرسم خرائط الضوضاء الذكية في مدينة لكناو الهندية، مع مقارنة تأثيرات الضوضاء بين حركة المرور المنظمة وغير المنظمة، وأشارت الدراسة إلى أن استخدام التقنيات الذكية مثل الهواتف الذكية والتعلم العميق يساعد في تحسين دقة جمع البيانات وتقديم خرائط ضوضاء ثلاثية الأبعاد

باستخدام بيانات LiDAR ونماذج الارتفاعات الرقمية، كما أوضحت النتائج أن تنظيم حركة المرور يمكن أن يقلل مستويات الضوضاء بمقدار ١٥–٢٠ ديسيبل في مناطق الازدحام.

- وفي البيئات التعليمية، قدمت دراسة (M. C et al., 2022)، تحليلًا لمستويات الضوضاء في مجتمع جامعي، موضحةً تأثير النشاط التجاري وحركة المرور على مستويات الضوضاء، بينما تناولت دراسة (Kuma et al., 2023)، تحليلًا مشابهًا داخل حرم جامعي في الهند، حيث استخدمت طريقة IDW لإنشاء خرائط الضوضاء وأكدت تجاوز مستويات الضوضاء الحدود المسموح بها.

في ضوء ما سبق سوف تناقش الدراسة المحاور الرئيسة الآتية:

أولاً: الضوضاء المرورية وتأثيرها البيئي والصحي:

تعد الضوضاء الناتجة عن حركة المرور من أبرز مصادر التلوث البيئي في المناطق الحضرية، حيث تنشأ نتيجة لحركة المركبات على الطرق وما يترتب عليها من أصوات محركات السيارات، أبواق التنبيه، واحتكاك الإطارات مع سطح الطريق، تمثل هذه الظاهرة تهديدًا متزايدًا نتيجة للتوسع الحضري المتسارع وارتفاع أعداد المركبات، مما يترتب عليه تأثيرات سلبية متعددة على البيئة وصحة السكان (Zannin et al., 2003).

تشير الدراسات إلى أن الضوضاء الناتجة عن حركة المرور تؤثر بشكل مباشر على الصحة العامة، حيث تساهم في زيادة مستويات التوتر والإجهاد وتؤدي إلى اضطرابات في النوم، فضلاً عن تأثيراتها السلبية على الجهاز القلبي الوعائي (Münzel et al., 2017) كما تؤدي الضوضاء المرورية إلى مشكلات اجتماعية، منها تقليص جودة الحياة في المناطق السكنية وتقليل القيمة العقارية للمنازل الواقعة في المناطق ذات مستويات الضوضاء (Babisch, 2008).

تُستخدم تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرصد الضوضاء المرورية وتحليل تأثيراتها، لإنشاء خرائط مكانية تُظهر أنماط ومستويات الضوضاء في المدن، وتُعد هذه الخرائط أداة أساسية في عملية اتخاذ القرارات الهادفة إلى تحسين تخطيط المدن وتقليل مستويات الضوضاء، من خلال تطبيق سياسات مختلفة مثل إنشاء الحواجز الصوتية، تحسين تصميم الطرق، واستخدام مواد بناء تسهم في الحد من الضوضاء (Zannin et al., 2003).

ثانياً: مقياس الضوضاء:

تم في الدراسة استخدام مقياس A-weighted المعروف اختصارًا بـ (dBA) وهو تقنية تُستخدم لقياس شدة الصوت مع تعديل القياسات بناءً على حساسية الأذن البشرية لترددات الصوت المختلفة (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000)، حيث أن الأذن البشرية ليست حساسة بالتساوي لجميع الترددات؛ فهي أكثر حساسية للترددات المتوسطة (حوالي ١-٥ كيلوهرتز)، وأقل حساسية للترددات المنخفضة والعالية جدًا، لذلك يُطبق هذا المقياس مرشحًا صوتيًا (filter) لتقليل تأثير الترددات التي لا تستجيب لها الأذن البشرية بشكل كبير (Basner et al., 2014).

ثالثاً: معايير مستويات الضوضاء:

توجد العديد من المعايير المعتمدة لتنظيم مستويات الضوضاء بهدف حماية الصحة العامة والبيئة، والتي يتم تطبيقها وفقًا لطبيعة الأنشطة البشرية والمناطق المختلفة (Atteya & Abdel Baky, 2023)، ويوضح الجدول (١) الحدود المسموح بها لمستويات الضوضاء ليلاً ونهاراً وفقاً للائحة التنفيذية لقانون البيئة المصري.

جدول (١) الحدود المسموح بها لمستويات الضوضاء لفترتي النهار والليل

م	نوع المنطقة	الحد المسموح به	
		نهاراً	ليلاً
١	مناطق ذات حساسية للتعرض للضوضاء مثل (المدارس، المستشفيات، المكتبات، الحدائق العامة، القرى والمنتجعات السياحية).	٥٠ ديسيبل	٤٠ ديسيبل
٢	ضواحي سكنية مع وجود حركة ضعيفة وأنشطة خدمية محدودة.	٥٥ ديسيبل	٤٥ ديسيبل
٣	مناطق سكنية في المدينة وبها أنشطة تجارية.	٦٠ ديسيبل	٥٠ ديسيبل
٤	مناطق سكنية واقعة على طرق أقل من ١٢ متر، بها بعض الورش، أو الأنشطة التجارية، أو الأنشطة الإدارية، أو الأنشطة الترفيهية، أو الملاهي.	٦٥ ديسيبل	٥٥ ديسيبل
٥	المناطق الواقعة على طرق عرضها ١٢ متر فأكثر، أو مناطق صناعية ذات صناعات خفيفة وبها بعض الأنشطة الأخرى.	٧٠ ديسيبل	٦٠ ديسيبل
٦	منطقة صناعية ذات صناعات ثقيلة.	٧٠ ديسيبل	٧٠ ديسيبل

المصدر: ملحق رقم ٧ من اللائحة التنفيذية لقانون البيئة رقم ٤ لسنة ٢٠٠٤ والمعدل بقانون رقم ٩ لسنة ٢٠٠٩م.

رابعاً: طرق التمثيل الكارتوجرافي لمستويات الضوضاء:

تعد تقنيات الجيوماتكس من الأدوات الأساسية في إنشاء الخرائط المكانية المتعلقة بالضوضاء، حيث تتيح إمكانيات متقدمة لإدارة وتحليل البيانات المكانية بدقة وفعالية، مما يُسهم في توفير رؤية شاملة

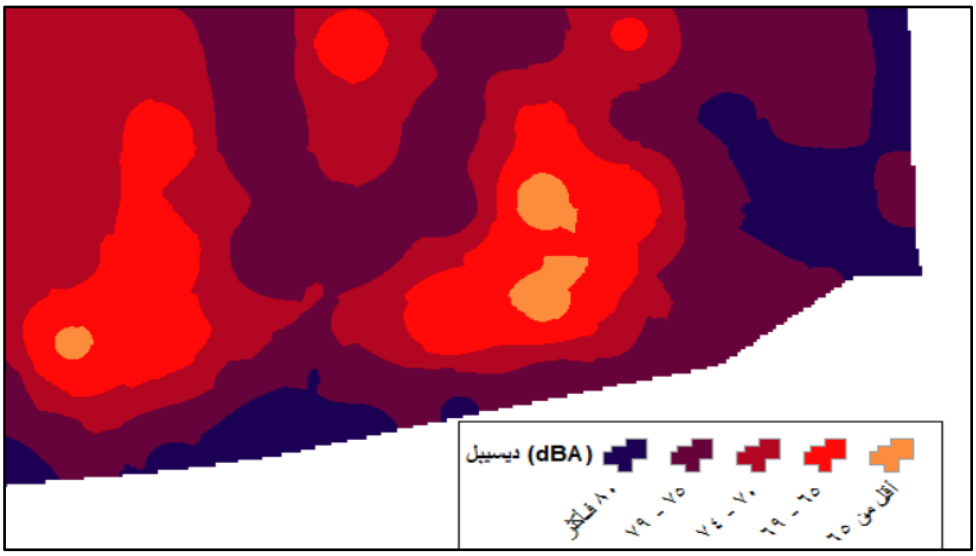
لأنماط ومستويات الضوضاء لدعم عمليات التخطيط واتخاذ القرار، وتتمثل أهم طرق التمثيل الكارتوجرافي لمستويات الضوضاء كالتالي:

١. خرائط الضوضاء ثنائية الأبعاد:

تستخدم الخرائط ثنائية الأبعاد لتمثيل توزيع مستويات الضوضاء بشكل مسطح على سطح الأرض، حيث يتم عرض هذه الخرائط باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية مثل ArcGIS Pro، حيث تُظهر الطبقات المختلفة مثل شبكة الطرق، المباني ونقاط رصد الضوضاء، كما يستخدم أسلوب التدرج اللوني (Graduated Colors) لتمثيل مستويات الضوضاء، مما يُبرز المناطق ذات الضوضاء العالية والمنخفضة، وتُعد الخرائط ثنائية الأبعاد أداة فعّالة لإظهار توزيع الضوضاء بشكل بسيط ومباشر يمكن تفسيره بسهولة.

أ. خرائط البيانات الشبكية (Raster data maps):

تمثل خرائط البيانات الشبكية أداة فعالة في التمثيل الكارتوجرافي لمستويات الضوضاء لأنها تظهر مستويات الضوضاء على هيئة توزيع مستمر كما يوضح شكل (٩)، حيث تعبر القيم الرقمية لكل خلية عن شدة الضوضاء (مثل مستوى الديسيبل) في تلك النقطة الجغرافية، وقد تم إنتاج تلك الخرائط عن طريق أسلوب الاستنباط المكاني (IDW) السابق ذكره وذلك من خلال نقاط رصد الضوضاء بمنطقة الدراسة فكلما كانت النقاط موزعة مكانياً بشكل يغطي منطقة الدراسة كانت الخريطة المنتجة أدق، وكلما زادت نقاط العينة كلما كان التمثيل الكارتوجرافي لمستويات الضوضاء أدق، وقد تم استخدام التدرج اللوني في هذا الأسلوب لتمييز الاختلافات بين مستويات الضوضاء في منطقة الدراسة.

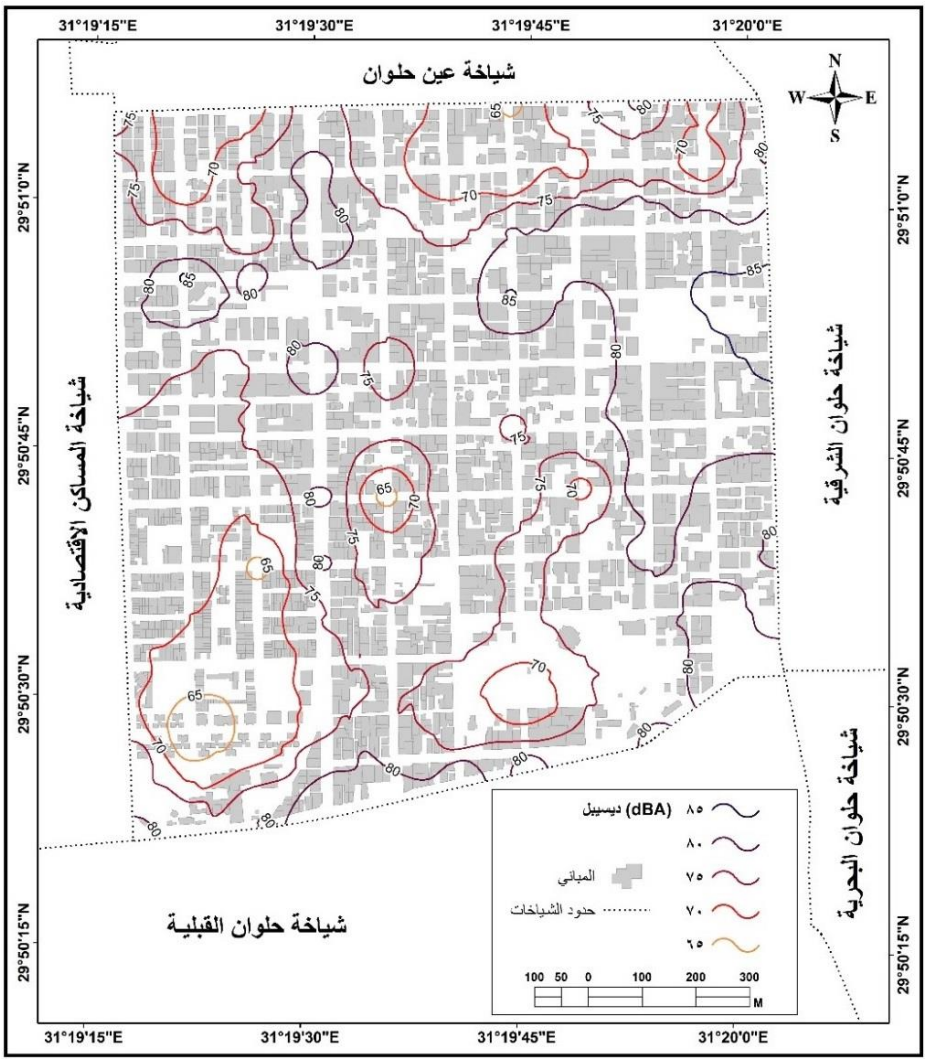


شكل (٩) نموذج للتمثيل الشبكي للبيانات

ب. خرائط خطوط التساوي (Isopleth Maps):

تستخدم خرائط الأيزوبلث في تمثيل البيانات التي تتخذ قيماً مستمرة على مساحة جغرافية، ولذلك هي أحد الأساليب الكارتوجرافية التي استخدمت في تمثيل مستويات الضوضاء، كما تُرسم هذه الخرائط باستخدام خطوط متصلة تُسمى خطوط التساوي (Isolines)، حيث يمثل كل خط قيمة ثابتة لهذه البيانات كما يوضح شكل (١٠)، وتُعتبر خرائط الأيزوبلث أداة فعالة في تمثيل الظواهر البيئية التي تُظهر تغيرات مكانية تدريجية، مما يساعد في فهم العلاقات المكانية لهذه الظواهر وتحليلها بوضوح.

وقد تم استنباط تلك الخطوط اعتمادًا على الخرائط الشبكية (Raster maps)، لذلك تعتمد دقة تلك الخرائط على دقة المصدر الذي أخذت منه، فكلما كانت الخريطة المصدر دقيقة كلما انعكس ذلك على دقة الخريطة المنتجة والعكس صحيح.

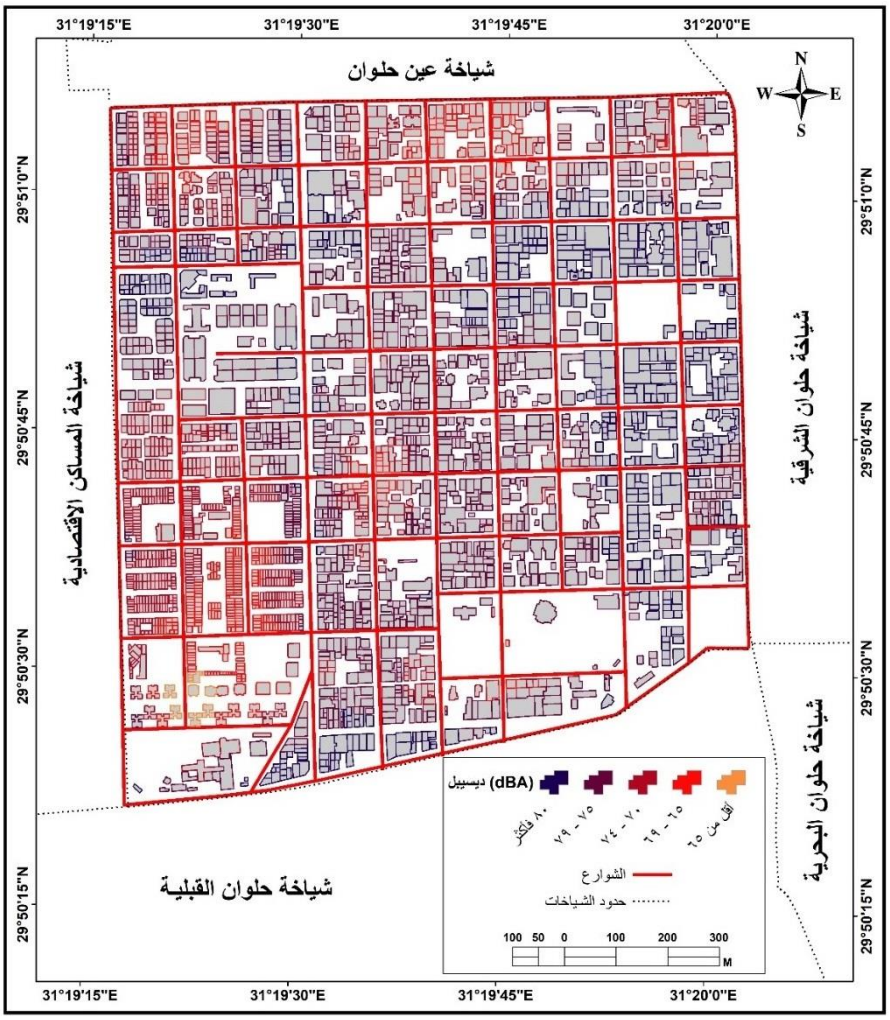


المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا بيانات ملحق (١) وباستخدام برنامج ArcGIS Pro.

شكل (١٠) نموذج لخريطة الأيزوبلث

ج. خرائط الضوضاء على واجهات المباني ثنائية الأبعاد (Facade Noise Maps):

خرائط الضوضاء على الواجهات هي نوع متخصص من الخرائط المكانية تُظهر توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني، مع مراعاة العلاقة بين مصادر الضوضاء وارتفاع المباني، كما يوضح شكل (١١)، وتُتيح هذه الخرائط تمثيل تأثير التلوث الضوضائي عبر مختلف مستويات المبنى، بما في ذلك الطوابق الأرضية والطوابق العليا، وتُستخدم بشكل أساسي لتحليل تأثير مصادر الضوضاء البيئية، مثل ضوضاء المرور، النشاط الصناعي، أو الطيران، مما يجعلها أداة فعالة في تقييم جودة الحياة في المناطق الحضرية وتطوير استراتيجيات للحد من تأثيرات الضوضاء (Beran et al., 2021)، لكن لا تظهر مميزات هذا النوع ويكون أكثر فاعلية عندما يعرض بشكل ثلاثي الأبعاد حيث تظهر العلاقة بوضوح بين تأثير الارتفاع على مستويات التلوث الضوضائي.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً بيانات ملحق (١) وباستخدام برنامج ArcGIS Pro.

شكل (١١) نموذج لخرائط الضوضاء على واجهات المباني ثنائية الأبعاد

د. خرائط ضوضاء المباني ثنائية الأبعاد:

يعد نوع مبسط من خرائط الضوضاء يُظهر متوسط مستوى الضوضاء الذي يتعرض له المبنى بالكامل، بدلاً من التركيز على تفاصيل كل واجهة أو طابق، وفي هذا النوع من الخرائط، يتم احتساب متوسط مستويات الضوضاء للمبنى ككل، مما يجعله أداة ملائمة للدراسات الأولية أو عند الحاجة إلى تقييم شامل وسريع لمستويات الضوضاء في المناطق الحضرية كما يوضح شكل (١٢)، ويُعد هذا الأسلوب مفيدًا لتحديد المناطق ذات المستويات المرتفعة من الضوضاء قبل الانتقال إلى تحليلات أكثر تفصيلًا باستخدام خرائط الواجهات ثلاثية الأبعاد.

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا بيانات ملحق (١) وباستخدام برنامج ArcGIS Pro.

شكل (١٢) خرائط ضوضاء المباني ثنائية الأبعاد

تعد خرائط الضوضاء ثنائية الأبعاد مفيدة جدًا للدراسات الأولية والتقييم السريع، ولكنها تفتقر إلى التفاصيل والدقة المطلوبة في الدراسات المتقدمة التي تتطلب تحليلًا عميقًا لتأثير الضوضاء على المباني (مثل الطوابق أو الواجهات)، كما يمكن استخدامها كبداية قبل الانتقال إلى التحليلات الأكثر تعقيدًا باستخدام الخرائط ثلاثية الأبعاد ويوضح الجدول (٢) أهم المميزات والعيوب لخرائط الضوضاء ثنائية الأبعاد.

جدول (٢) مقارنة بين مميزات وعيوب خرائط الضوضاء ثنائية الأبعاد

وجه المقارنة	المميزات	العيوب
سهولة التفسير	توفر تمثيلًا بسيطًا وسهل الفهم لمستويات الضوضاء لكل مبنى.	تفتقر إلى التفاصيل الدقيقة التي تُظهر الاختلافات بين الطوابق أو الواجهات المختلفة.
التكلفة والوقت	أقل تكلفة وأسرع تنفيذًا مقارنةً بالخرائط التفصيلية ثلاثية الأبعاد.	قد تؤدي إلى تجاهل الفروقات بين المباني، مما قد يضعف الدقة في بعض الحالات.
التقييم العام	تقدم فكرة عامة عن تأثير الضوضاء على المباني في المنطقة، وهو مفيد للدراسات الأولية.	لا تُظهر تأثير الضوضاء بناءً على الارتفاع أو الطوابق العليا والسفلى.
التمثيل البصري	يمكن استخدامها لتوضيح توزيع الضوضاء بشكل شامل باستخدام تدرج لوني بسيط.	لا توفر عرضًا ديناميكيًا أو تفاصيل حول اتجاه الضوضاء أو تأثيرها على الواجهات المختلفة.
الدقة	كافية للمشاريع الأولية ودراسات التقييم السريع.	تفقد الدقة عند وجود اختلافات واضحة في مستويات الضوضاء بين الطوابق المختلفة في نفس المبنى.
التطبيقات العملية	مثالية لتحديد المناطق ذات التأثير العالي أو المنخفض للضوضاء في التخطيط الحضري.	قد تكون غير مناسبة لاتخاذ قرارات حساسة تتطلب تفاصيل دقيقة حول توزيع الضوضاء.

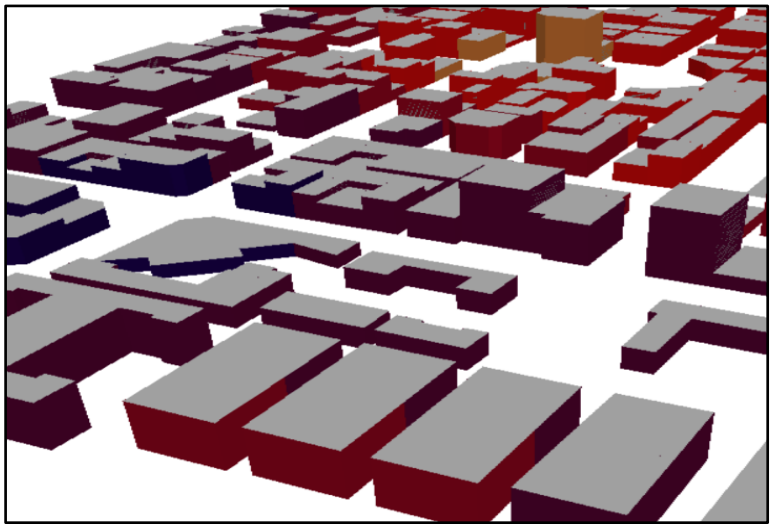
٢. خرائط الضوضاء ثلاثية الأبعاد:

تُضيف الخرائط ثلاثية الأبعاد بُعدًا إضافيًا للتحليل المكاني من خلال تمثيل ارتفاع المباني أو أسطح مستويات الضوضاء بشكل ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج مثل Arc Scene (مقرب، ٢٠٢١)، حيث يمكن إنشاء نماذج تُظهر تأثير الضوضاء على البيئة العمرانية بشكل أكثر واقعية.

أ. خرائط الضوضاء على واجهات المباني ثلاثية الأبعاد:

هي خرائط تمثل مستويات الضوضاء في بُعدين أفقيين (الموقع الجغرافي) وبُعد رأسي إضافي (الارتفاع)، مما يتيح عرض تأثير الضوضاء على كل واجهة مبنى بدقة أعلى، بما يشمل توزيع الضوضاء على ارتفاعات مختلفة وأبعاد المباني بشكل كامل، وتتطلب بيانات أكثر تفصيلًا تشمل توزيع

الضوضاء على طول واجهة المبنى بأكملها وعلى ارتفاعات مختلفة كما يوضح شكل (١٣)، لذلك تم تطبيق هذا الأسلوب على متوسط الضوضاء الذي تتعرض له كل واجهة وفقاً للبيانات المتاحة.



شكل (١٣) نموذج لخرائط الضوضاء على واجهات المباني ثلاثة الأبعاد

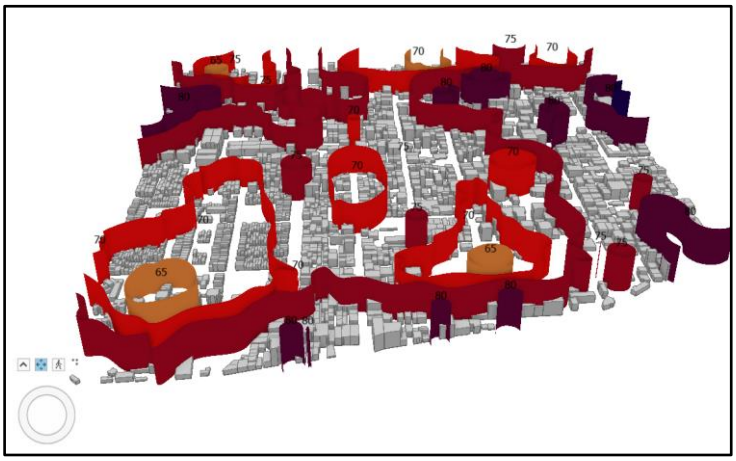
ب. خرائط ضوضاء المباني ثلاثية الأبعاد:

خرائط ضوضاء المباني ثلاثية الأبعاد هي نماذج كارتوجرافية تستخدم تقنيات ثلاثية الأبعاد لتمثيل مستويات الضوضاء التي تؤثر على المباني بشكل تفصيلي، حيث تُظهر هذه الخرائط توزيع الضوضاء عبر أبعاد المبنى بالكامل (الطول، العرض، والارتفاع)، حيث أنها تمكّن من فهم التفاعلات بين مصادر الضوضاء والمباني بطريقة مرئية وتفاعلية كما يوضح شكل (١٤)، كما أنها تدعم عمليات المحاكاة وتستخدم مع أنظمة الواقع الافتراضي (VR) أو الواقع المعزز (AR) كما يمكن دمجها مع منصات الويب ثلاثية الأبعاد، لتوفير تجربة واقعية لصناع القرار والجمهور.

شكل (١٤) مقارنة بين النماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد

ج. خرائط الأيزوبلث ثلاثية الأبعاد:

تُستخدم خرائط الأيزوبلث ثلاثية الأبعاد لتمثيل البيانات المستمرة، مثل مستويات الضوضاء أو التلوث أو درجات الحرارة في البيئة الحضرية بأسلوب ثلاثي الأبعاد، وتعتمد هذه الخرائط على إنشاء أسطح متصلة تُظهر القيم المتساوية (Isopleths) ضمن الفضاء ثلاثي الأبعاد، مما يُتيح تحليلًا شاملاً لتوزيع البيانات، وعلى عكس الخرائط التقليدية التي تعرض البيانات في بعدين فقط (D2)، تضيف خرائط الأيزوبلث ثلاثية الأبعاد بُعدًا عموديًا يُظهر التغيرات عبر الارتفاع كما يوضح شكل (١٥)، ما يجعلها أداة فعالة لدراسة الظواهر البيئية المعقدة وتحليلها بعمق.



شكل (١٥) نموذج لخرائط الأيزوبلث ثلاثي الأبعاد

تعد خرائط الضوضاء ثلاثية الأبعاد أداة قوية ومفيدة في الدراسات المتقدمة والتحليل الدقيق لتأثيرات الضوضاء، لكنها تتطلب موارد وخبرات إضافية، لذلك يُنصح باستخدامها للمشاريع الحساسة التي تتطلب تصورًا شاملاً ودقيقًا للضوضاء وتأثيرها على البيئة الحضرية ويوضح الجدول (٣) أهم المميزات والعيوب الخاصة بخرائط الضوضاء ثلاثية الأبعاد.

جدول (٣) مقارنة بين مميزات وعيوب خرائط الضوضاء ثلاثية الأبعاد

وجة المقارنة	المميزات	العيوب
الدقة	تمثيل أكثر دقة لتوزيع الضوضاء في الفضاء ثلاثي الأبعاد.	تتطلب بيانات عالية الدقة وبرامج متخصصة.
التكلفة	توفر تحليلاً مفصلاً يدعم اتخاذ القرار.	مرتفعة التكلفة مقارنة بالخرائط ثنائية الأبعاد.
سهولة الفهم	تساعد صناع القرار على رؤية الضوضاء بشكل شامل.	قد تكون معقدة للتفسير للمستخدمين غير المتخصصين.
الوقت اللازم	توفر تفاصيل غنية لا يمكن الحصول عليها من الخرائط البسيطة.	تستغرق وقتًا أطول للإعداد والتنفيذ.
التطبيقات العملية	مناسبة للتخطيط الحضري والمشاريع الكبرى.	تتطلب تدريبًا وخبرة في تحليل البيانات ثلاثية الأبعاد.

خامساً: المبادئ الكارتوجرافية لتصميم الألوان في خرائط الضوضاء:

تعتمد الخرائط بشكل أساسي على تصميم بصري فعّال، حيث تلعب الألوان دورًا محوريًا في الكارتوجرافيا، لذا فإن استخدام الألوان في هذا السياق ليس عملية عشوائية، بل يستند إلى مبادئ علمية متقدمة تهدف إلى ضمان عرض المعلومات بطريقة واضحة ودقيقة وسهلة الفهم.

١. اختيار أسلوب الألوان في خرائط الضوضاء:

إن اختيار الألوان هو أحد العناصر الحاسمة في تصميم الخرائط الكارتوجرافية، خاصة تلك التي تصور بيانات كمية مثل مستويات الضوضاء، وفقًا لدراسة نشرها (Brewer, 1994) فإن الألوان يجب أن تكون متدرجة لتعكس طبيعة البيانات، وبالنسبة لخرائط الضوضاء، يُفضل استخدام أسلوب الألوان المتدرجة (Sequential Color Schemes)، حيث تشير الألوان الفاتحة أو الباردة إلى مستويات أقل من الضوضاء، بينما تشير الألوان الداكنة أو الدفيئة (الساخنة) مثل الأحمر والبرتقالي والأرجواني إلى المستويات المرتفعة.

٢. العلاقة بين الألوان والبيانات الكمية:

تعكس الألوان في الخرائط الكمية، مثل خرائط الضوضاء، التوزيع المكاني للقيم بطريقة تُسهل الفهم، ويشير (Slocum et al., 2008) إلى أن الألوان يجب أن تكون بديهية وسهلة التفسير، فالألوان الباردة مثل الأزرق والأخضر تُستخدم عادةً لتمثيل القيم المنخفضة، بينما تُستخدم الألوان الدافئة مثل الأصفر والأحمر للقيم المرتفعة، هذا التدرج لا يعكس فقط مستويات الضوضاء، ولكنه يساعد أيضًا في توجيه انتباه القارئ إلى المناطق الأكثر إشكالية، على سبيل المثال، خرائط الضوضاء التي تُظهر مستويات تزيد عن ٨٠ ديسيبل يمكن أن تستخدم اللون الأرجواني الداكن لإبراز هذه المناطق، مما يُشير إلى الحاجة لاتخاذ إجراءات فورية.

٣. التدرجات اللونية وسهولة القراءة:

تؤكد الدراسات الكارتوجرافية على أهمية التدرجات اللونية في تحسين قابلية القراءة، حيث أوضح (MacEachren, 1995) أن استخدام التدرج السلس بين الألوان يعكس الفروقات الدقيقة بين القيم بشكل أفضل، وبالنسبة لخرائط الضوضاء، يُنصح باستخدام تدرج لوني يتناسب مع نطاق القيم، مثل الانتقال التدريجي من الأخضر إلى الأحمر، حيث يجب أن تكون التدرجات سلسة بحيث لا تسبب ارتباكًا لدى المستخدمين، مع تجنب الألوان المتشابهة التي قد تُعيق التمييز بين الفئات المختلفة.

٤. التباين البصري وقابلية الوصول:

يلعب التباين البصري دورًا محوريًا في تصميم خرائط فعالة، حيث إن التباين بين الألوان يجب أن يكون واضحًا بما يكفي لتمييز الفئات المختلفة بسهولة، كما يجب أن تراعي الخرائط الأشخاص الذين يعانون من عمى الألوان، حيث يمكن استخدام أنظمة ألوان مخصصة.

٥. أهمية التصنيف في خرائط الضوضاء:

تشير الدراسات إلى أن تصنيف البيانات إلى فئات واضحة يساعد في تحسين دقة التفسير، لذلك تم تقسيم مستويات الضوضاء إلى ثلاث أقسام رئيسة هي:

- من ٣٥ إلي ٥٥ ديسيبل: مناطق هادئة.
- من ٥٥ إلي ٧٠ ديسيبل: مناطق ذات مستويات ضوضاء من متوسطة إلى مرتفعة.
- من ٧٠ لأكثر من ٨٠ ديسيبل: مناطق ذات مستويات ضوضاء مرتفعة جداً.

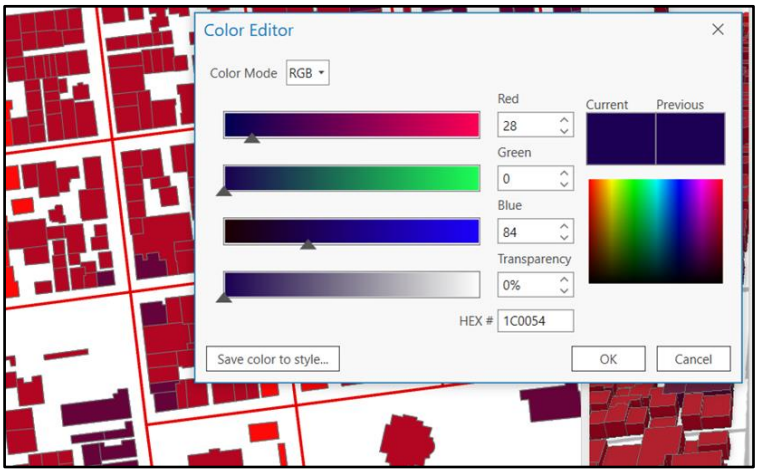
ثم تم تطبيق ألوان محددة لكل فئة لضمان الوضوح، حيث يسهم هذا النوع من التصنيف في تحديد أولويات العمل، حيث يمكن للمخططين التركيز على المناطق ذات اللون الأحمر الداكن والأرجواني الداكن لمعالجة المشكلات الخاصة بارتفاع مستويات الضوضاء، بناءً على ذلك تم اختيار لون كل فئة وفقًا لتوجيهات الاتحاد الأوروبي بشأن إدارة الضوضاء البيئية (END) كما يوضح الشكل (١٦).

	Noise band [dB]	Colour	RGB code	HEX code	Name
	less than 35	none			
مستوى هادئ	35-40		R: 35 G: 132 B: 67	#238443	Moderate sea green
	40-44		R: 120 G: 198 B: 121	#78C679	Greyish green
	45-49		R: 194 G: 230 B: 153	#C2E699	Light greyish chartreuse green
	50-54		R: 255 G: 255 B: 178	#FFFFB2	Pale yellow
متوسط إلى مرتفع	55-59		R: 254 G: 204 B: 92	#FECC5C	Light brilliant amber
	60-64		R: 252 G: 141 B: 60	#FD8D3C	Brilliant tangelo
	65-69		R: 255 G: 9 B: 9	#FF0909	Light brilliant red
مستوى مرتفع جداً	70-74		R: 179 G: 6 B: 34	#B30622	Moderate amaranth
	75-79		R: 103 G: 3 B: 59	#67033B	Dark rose
	80 and more		R: 28 G: 0 B: 84	#1C0054	Deep blue violet

شكل (١٦) درجات الألوان المستخدمة في خرائط الضوضاء

٦. التطبيق العملي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية:

تمثل برامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) أداة قوية لتطبيق المبادئ الكارتوجرافية في تصميم الألوان التي تم استخدامها في تصميم خرائط الضوضاء، حيث يتيح برنامج ArcGIS Pro تخصيص التدرجات اللونية من خلال نافذة (Symbology)، والتي تم من خلالها إدخال الدرجات اللونية وفقًا للنظام اللوني (RGB)، حيث يمكن للمستخدم تطبيق أنماط ألوان متدرجة تتناسب مع طبيعة البيانات كما يوضح الشكل (١٧)، مع إمكانية الوصول إلى مكتبات ألوان جاهزة من (Color Brewer).



شكل (١٧) إدخال الدرجات اللونية وفقًا للنظام اللوني RGB

سادساً: التحليل المكاني لمستويات الضوضاء بمنطقة الدراسة:

يمثل التحليل المكاني لمستويات الضوضاء أداة حيوية لفهم توزيع مصادر الضوضاء وتأثيراتها على البيئة الحضرية والسكان، تبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي ١,٥كم٢ (١٥٢٤٠٣٩,٤م٢) تشغل الكتل المبنية باستخداماتها المختلفة حوالي ٠,٧كم٢ (٦٦٩٨٣٨,٦م٢) بنسبة ٤٤٪ من جملة مساحة منطقة الدراسة، تم تحليل نتائج مستويات الضوضاء وفقاً لعدة محاور كالتالي:

١. توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية:

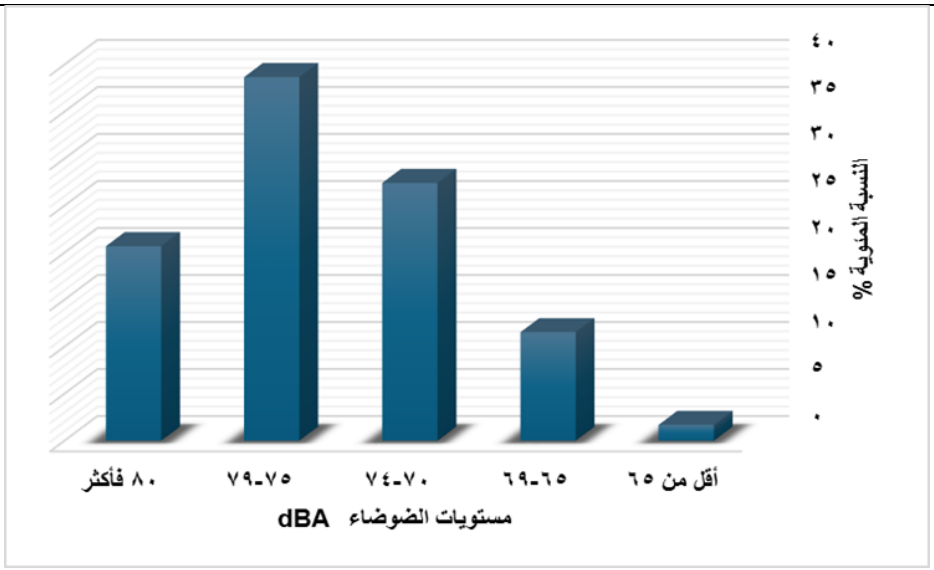
سوف يتم تقسيم توزيع مستويات الضوضاء على الفترات الثلاث والتي تتراوح مستويات الضوضاء بها فيما بين (٦٠ – ٨٨ dBA) التي تم خلالها عملية الرصد على النحو التالي:

أ. مستويات الضوضاء في الفترة الصباحية:

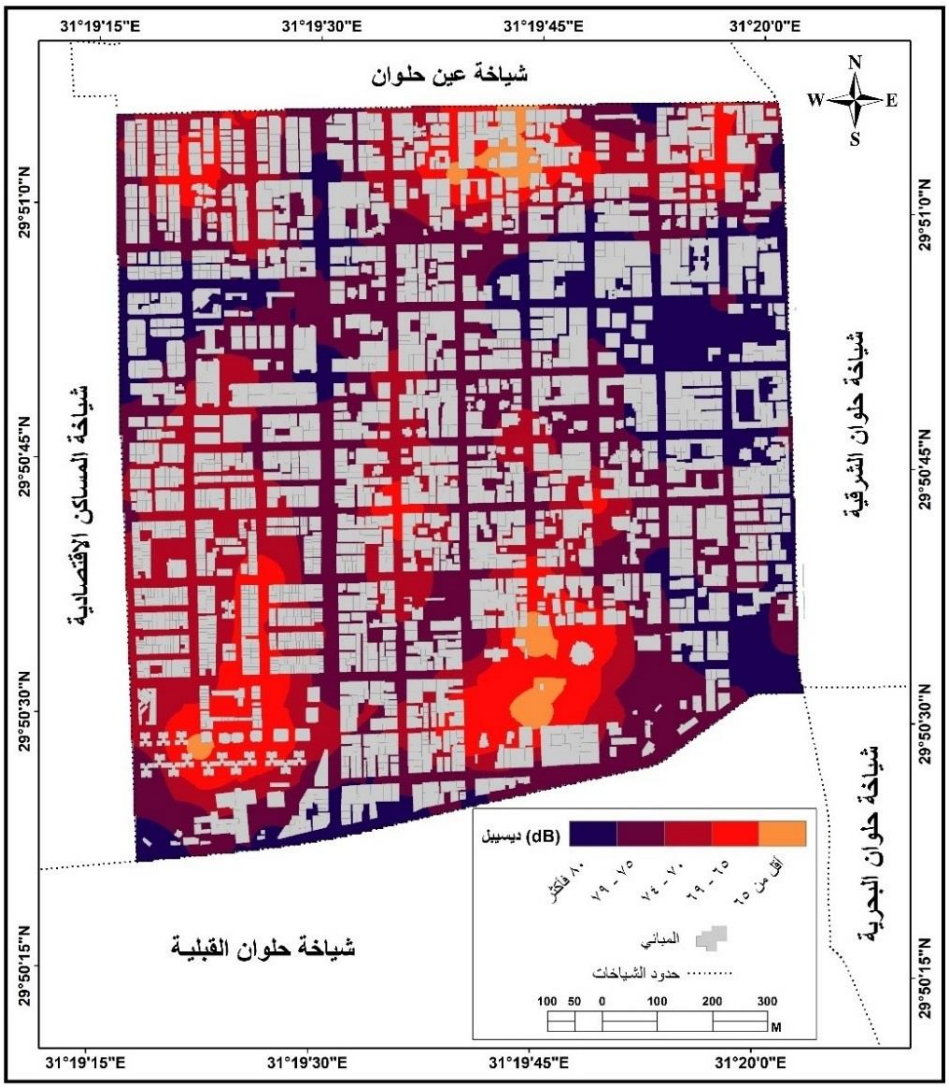
تراوحت مستويات الضوضاء في تلك الفترة بين (٦٢ – ٨٧ dBA)، ويتضح أن مستويات الضوضاء مرتفعة بشكل عام في منطقة الدراسة، حيث تمثل مستويات الضوضاء في الفئة التي يبلغ بها مستوى الضوء من ٧٠ فأكثر حوالي ٨٦,٨٪ من جملة مساحة منطقة الدراسة بينما تمثل باقي الفئات تمثل حوالي ١٣,٢٪ بينما تستحوذ الفئة ما بين ٧٥ – ٧٩ على حوالي ٣٨,٧٪ من جملة مساحة المنطقة كما يوضح الجدول (٤) والشكلين (١٨ و١٩)، حيث تمثل الفترة الصباحية بداية النشاط اليومي، حيث ترتفع مستويات الضوضاء نتيجة بدء الحركة المرورية الكثيفة وانتقال الأفراد إلى أعمالهم، مما يشير إلى تعرض السكان لمستويات غير صحية من الضوضاء.

جدول (٤) توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية في الفترة الصباحية

الفئة (ديسيبل)	المساحة (م٢)	النسبة المئوية (%)
أقل من ٦٥	٢٥٦٥٠,٥	١,٧
٦٥–٦٩	١٧٥٩٠٥	١١,٥
٧٠–٧٤	٤١٧٨٤٩,١	٢٧,٤
٧٥–٧٩	٥٨٩٥٢٢,٨	٣٨,٧
٨٠ فأكثر	٣١٥٣٢١,٨	٢٠,٧



شكل (١٨) توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية في الفترة الصباحية



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا بيانات ملحق (١) وباستخدام برنامج ArcGIS Pro.

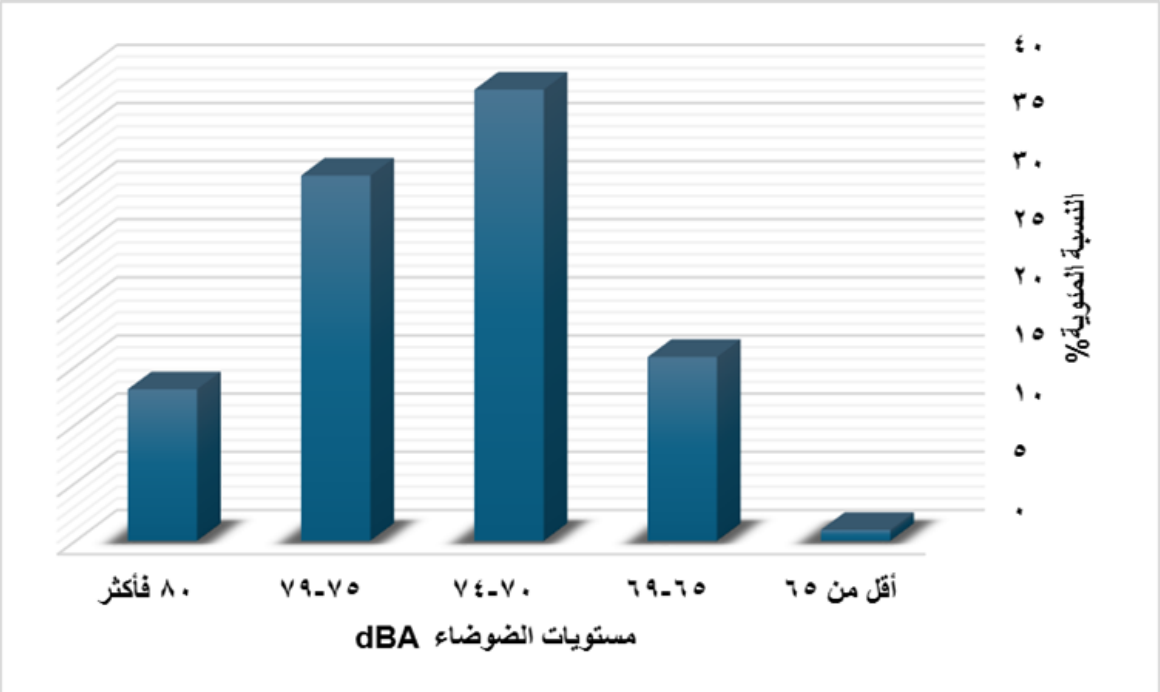
شكل (١٩) التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء على المساحة الكلية في الفترة الصباحية

ب. مستويات الضوضاء في فترة الظهيرة:

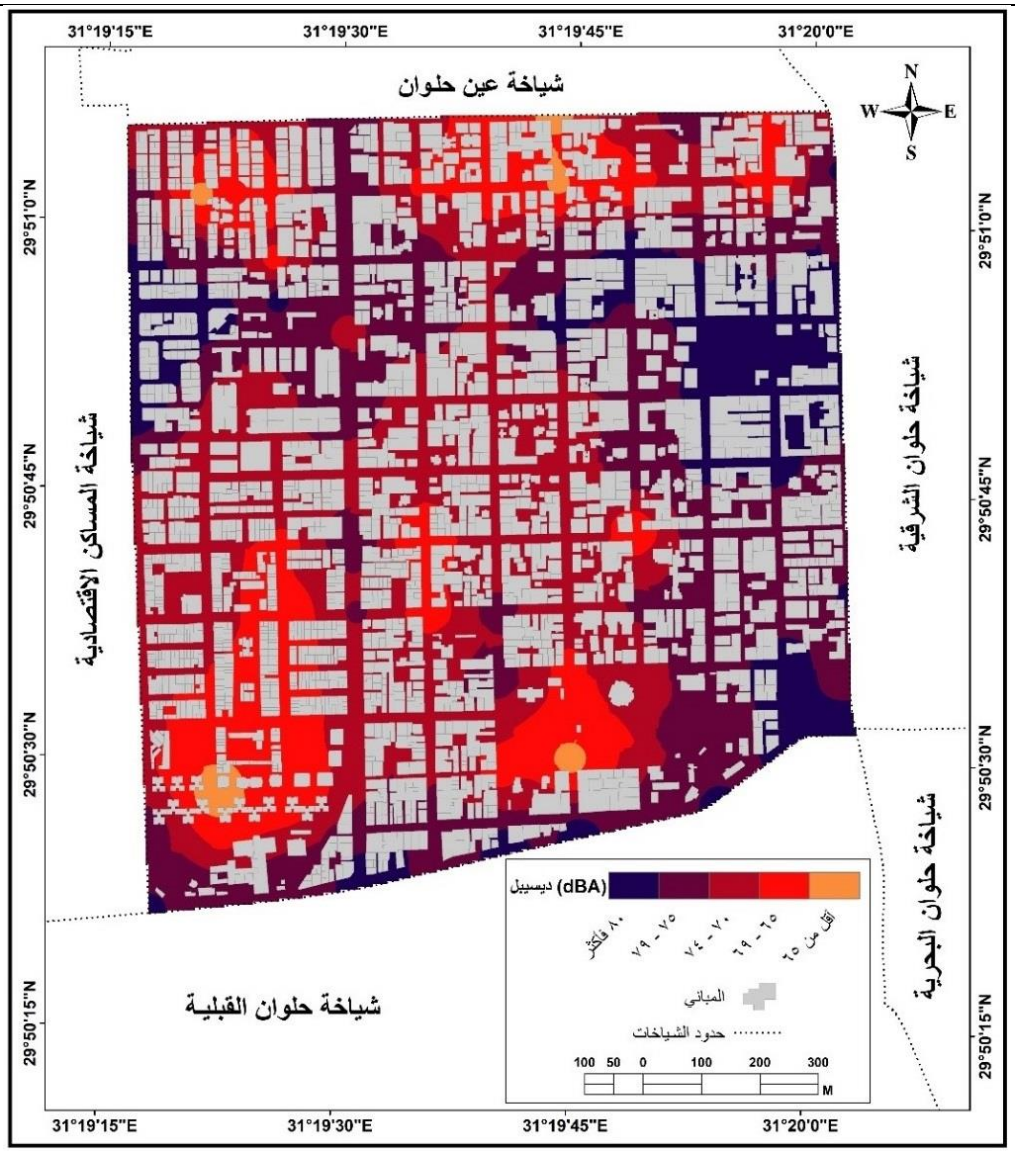
تراوحت مستويات الضوضاء في تلك الفترة بين (٦٢ – ٨٧ dBA)، ويتضح أن مستويات الضوضاء مرتفعة بشكل عام أيضاً في تلك الفترة، حيث تمثل مستويات الضوضاء في الفئة التي يبلغ بها مستوى الضوء من ٧٠ فأكثر حوالي ٨٣.٢٪ من جملة مساحة منطقة الدراسة بينما تمثل باقي الفئات تمثل حوالي ١٦,٨٪ بينما تستحوذ الفئة ما بين ٧٠ – ٧٤ على النسبة الأكبر والتي تبلغ حوالي ٣٨,٨٪ من جملة مساحة المنطقة كما يوضح الجدول (٥) والشكلين (٢٠ و٢١)، حيث تعد فترة الذروة الثانية نتيجة لاستمرار النشاط المروري والتجاري، مع انخفاض طفيف عن الفترة الصباحية، وهو ما قد يرجع إلى فترات الاستراحة والتوقف المؤقت في بعض الأنشطة.

جدول (٥) توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية في فترة الظهيرة

الفئة (ديسيبل)	المساحة (م٢)	النسبة المئوية (%)
أقل من ٦٥	١٤٣٢٦,١	٠,٩
٦٥–٦٩	٢٤١١٥٥,٨	١٥,٨
٧٠–٧٤	٥٩١٧١٥,١	٣٨,٨
٧٥–٧٩	٤٧٨٩٥٠,٥	٣١,٤
٨٠ فأكثر	١٩٨٦٦٧,٤	١٣,٠



شكل (٢٠) توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية في فترة الظهيرة



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً بيانات ملحق (١) وباستخدام برنامج ArcGIS Pro

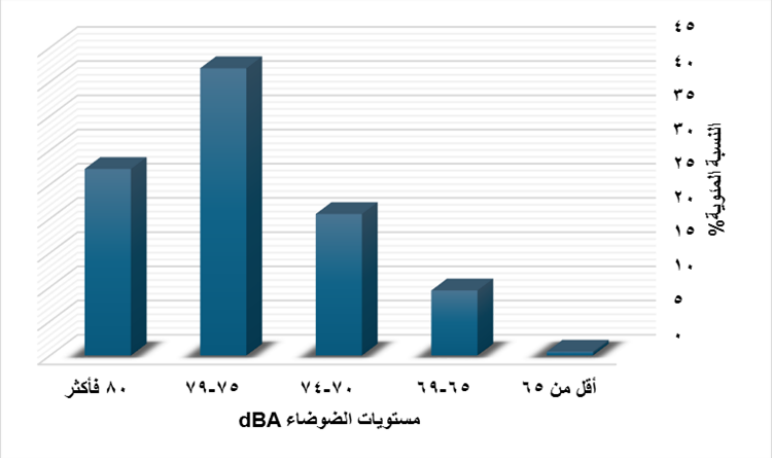
شكل (٢١) التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء على المساحة الكلية في فترة الظهيرة

ج. مستويات الضوضاء في الفترة الليلية:

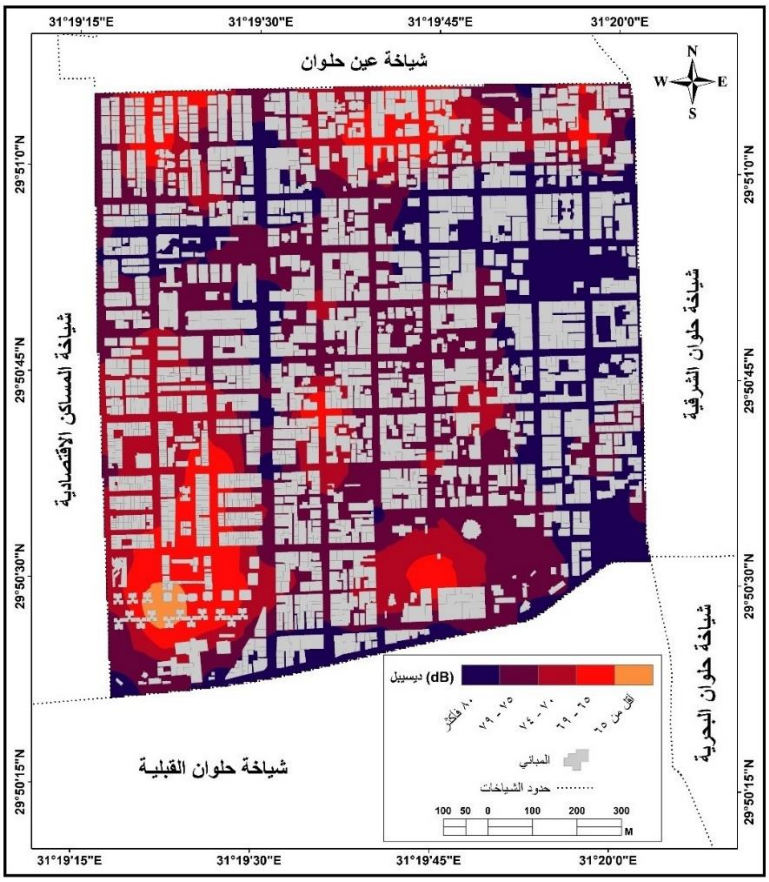
تراوحت مستويات الضوضاء في تلك الفترة بين (٦٠ – ٨٨ dBA)، ويتضح أن مستويات الضوضاء مرتفعة بشكل عام أيضاً في تلك الفترة حيث تتمثل أعلى المستويات بها، حيث تمثل مستويات الضوضاء في الفئة التي يبلغ بها مستوى الضوء من ٧٠ فأكثر حوالي ٩٠٪ من جملة مساحة منطقة الدراسة بينما تمثل باقي الفئات تمثل حوالي ١٠٪ بينما تستحوذ الفئة ما بين ٧٥ – ٧٩ على النسبة الأكبر والتي تبلغ حوالي ٤٢٪ من جملة مساحة المنطقة كما يوضح الجدول (٦) والشكلين (٢٢ و٢٣)، تُظهر تلك الفترة أعلى مستويات الضوضاء، ويعود ذلك إلى الأنشطة التجارية الممتدة في المساء والتي تؤثر على حركة المرور والازدحام الواضح خاصة في الشوارع الرئيسية المرتبطة بتلك الأنشطة

جدول (٦) توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية في الفترة الليلية

الفئة (ديسيبل)	المساحة (م٢)	النسبة المئوية (%)
أقل من ٦٥	٨٤٦٩,٨٩٢٥٥٨	٠,٦
٦٥-٦٩	١٤٤٩٣٥,٠٤١٣	٩,٥
٧٠-٧٤	٣١٥٢٥٢,٦٠٧١	٢٠,٧
٧٥-٧٩	٦٣٩٨١٤,٣٨٣٥	٤٢,٠
٨٠ فأكثر	٤١٥٥٦٧,٤٩٧١	٢٧,٣



شكل (٢٢) توزيع مستويات الضوضاء على المساحة الكلية في الفترة الليلية



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً بيانات ملحق (١) وباستخدام برنامج ArcGIS Pro.

شكل (٢٣) التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء على المساحة الكلية في الفترة الليلية

٢. توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني:

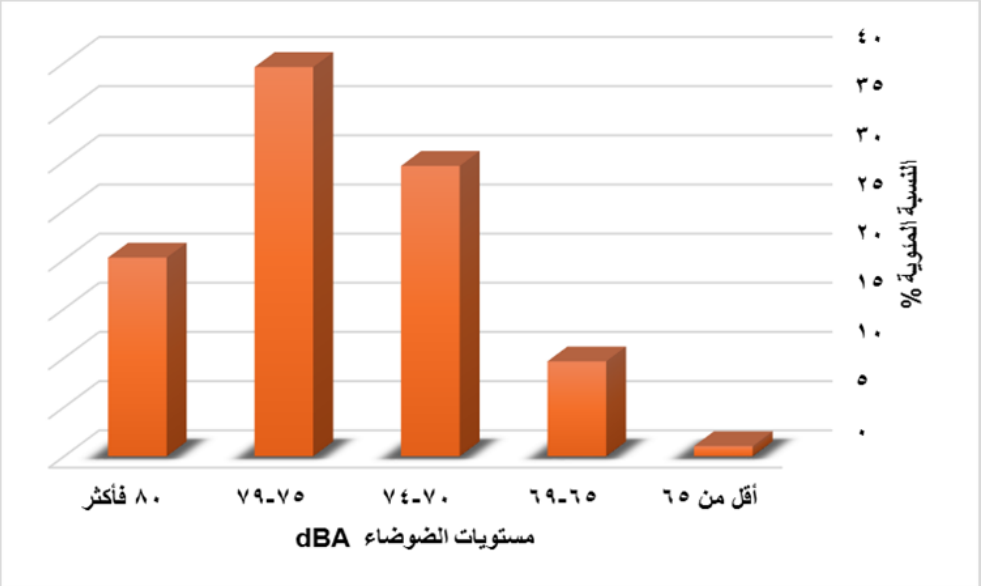
تتعرض المباني الواقعة بالقرب من الشوارع لمستويات متفاوتة من الضوضاء، تتحدد بناءً على كثافة حركة وسائل النقل والعوامل المرتبطة بها، مثل أصوات المحركات، أبواق التنبيه، وغيرها، هذه التفاوتات تعكس تأثير الظروف المرورية والبيئية المختلفة على شدة الضوضاء في المناطق المحيطة.

أ. مستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الصباحية:

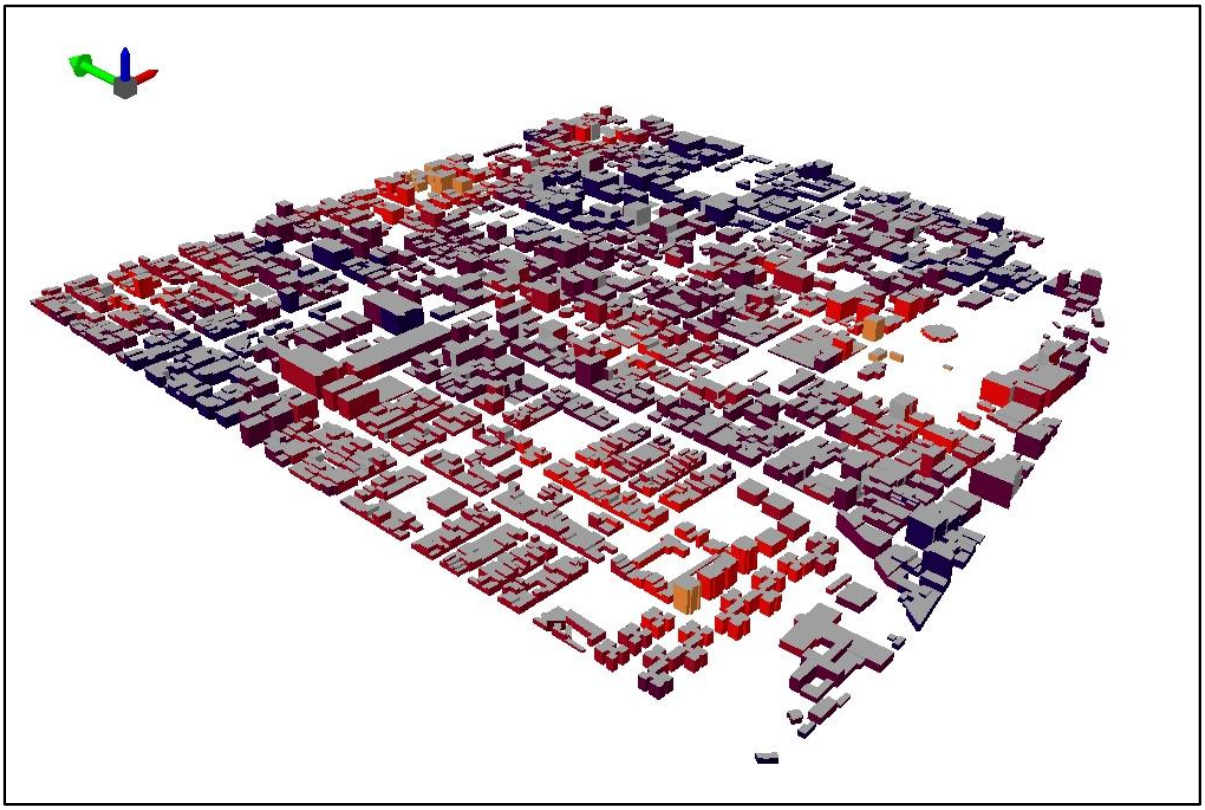
تراوحت قيم الضوضاء في تلك الفترة من (٦٣ – ٨٧ dBA)، يتضح من خلال التحليل أن نسبة المباني التي تتعرض لمستويات ضوضاء في الفئة من ٧٠ فأكثر حوالي ٨٩,٢٪ من جملة مساحة الكتل المبنية بينما تمثل باقي الفئات تمثل حوالي ١٠,٨٪ بينما تستحوذ الفئة ما بين ٧٥ – ٧٩ على النسبة الأكبر والتي تبلغ حوالي ٣٩,٦٪ من جملة مساحة الكتل المبنية كما يوضح الجدول (٧) والشكلين (٢٤ و٢٥)، هذا التوزيع يعكس تأثير حركة المرور الكثيفة في ساعات الصباح الأولى.

جدول (٧) توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الصباحية

الفئة (ديسيبل)	المساحة (م٢)	النسبة المئوية (%)
أقل من ٦٥	٦٨٤٦,٠	١
٦٥–٦٩	٦٣٩٥٦,٤	٩,٧
٧٠–٧٤	١٩٥٥٥٩,٠	٢٩,٥
٧٥–٧٩	٢٦٢١٢٩,٣	٣٩,٦
٨٠ فأكثر	١٣٣٨٢٢,٨	٢٠,٢



شكل (٢٤) توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الصباحية



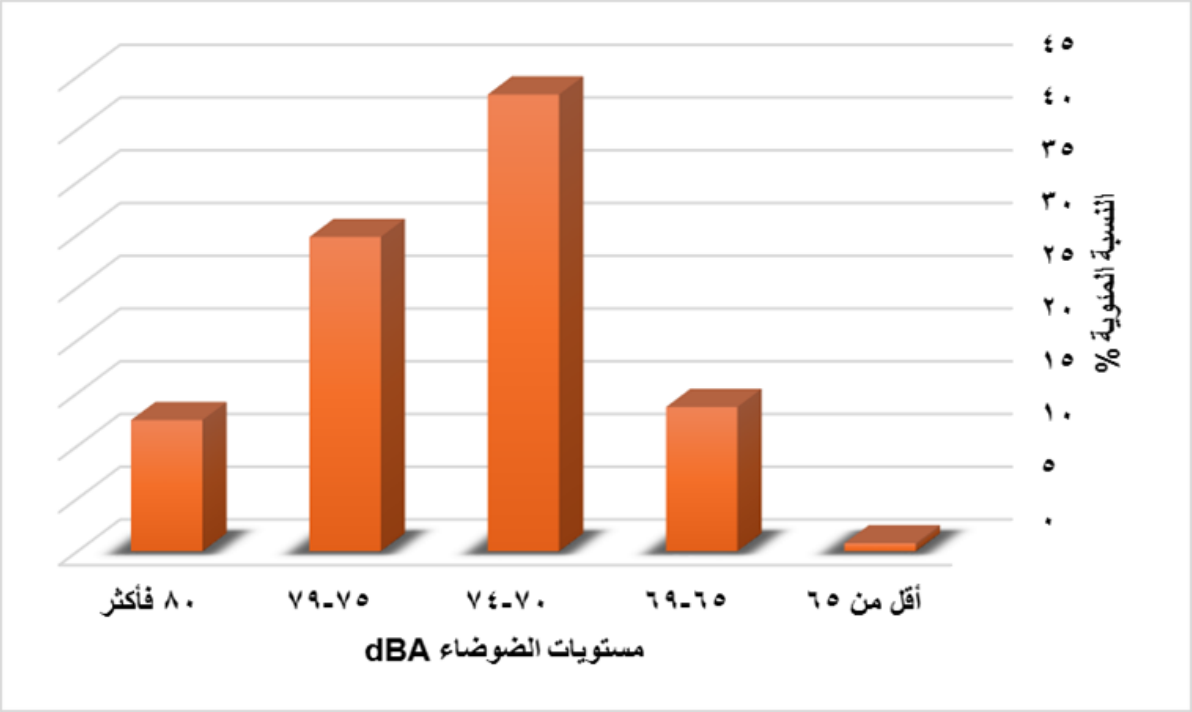
شكل (٢٥) التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الصباحية

ب. مستويات الضوضاء على واجهات المباني في فترة الظهيرة:

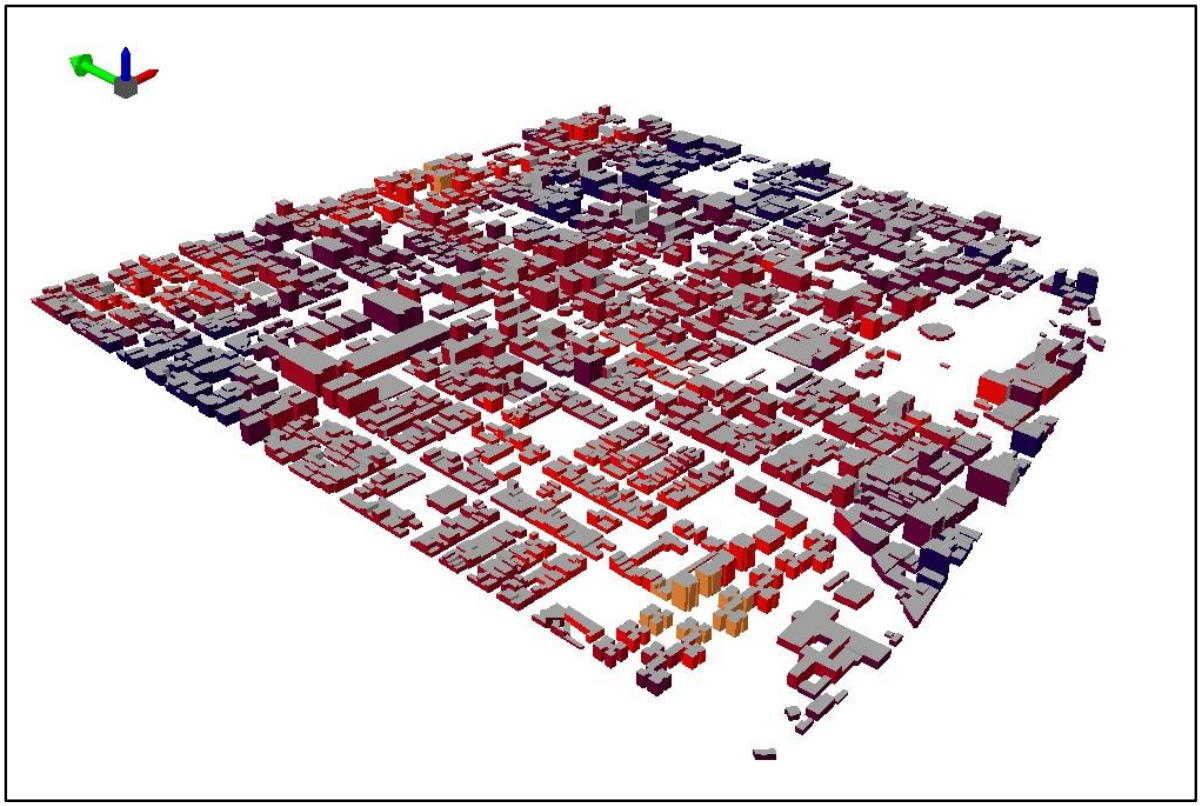
تراوحت قيم الضوضاء في تلك الفترة من (٦٣ – ٨٦ dBA)، يتضح من خلال التحليل أن نسبة المباني التي تتعرض لمستويات ضوضاء في الفئة من ٧٠ فأكثر حوالي ٨٥,٥٪ من جملة مساحة الكتل المبنية بينما تمثل باقي الفئات تمثل حوالي ١٤,٥٪ بينما تستحوذ الفئة ما بين ٧٠ – ٧٤ على النسبة الأكبر والتي تبلغ حوالي ٤٣,٣٪ من جملة مساحة الكتل المبنية كما يوضح الجدول (٨) والشكلين (٢٦ و٢٧).

جدول (٨) توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني في فترة الظهيرة

الفئة (ديسيبل)	المساحة م^{٢}	النسبة المئوية (%)
أقل من ٦٥	٥٠٧٣.٤	٠.٨
٦٥–٦٩	٩١٤٤١.٩	١٣.٧
٧٠–٧٤	٢٨٩٣٣٦.٠	٤٣.٣
٧٥–٧٩	١٩٩١١٩.٣	٢٩.٨
٨٠ فأكثر	٨٣١١١.١	١٢.٤



شكل (٢٦) توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني في فترة الظهيرة



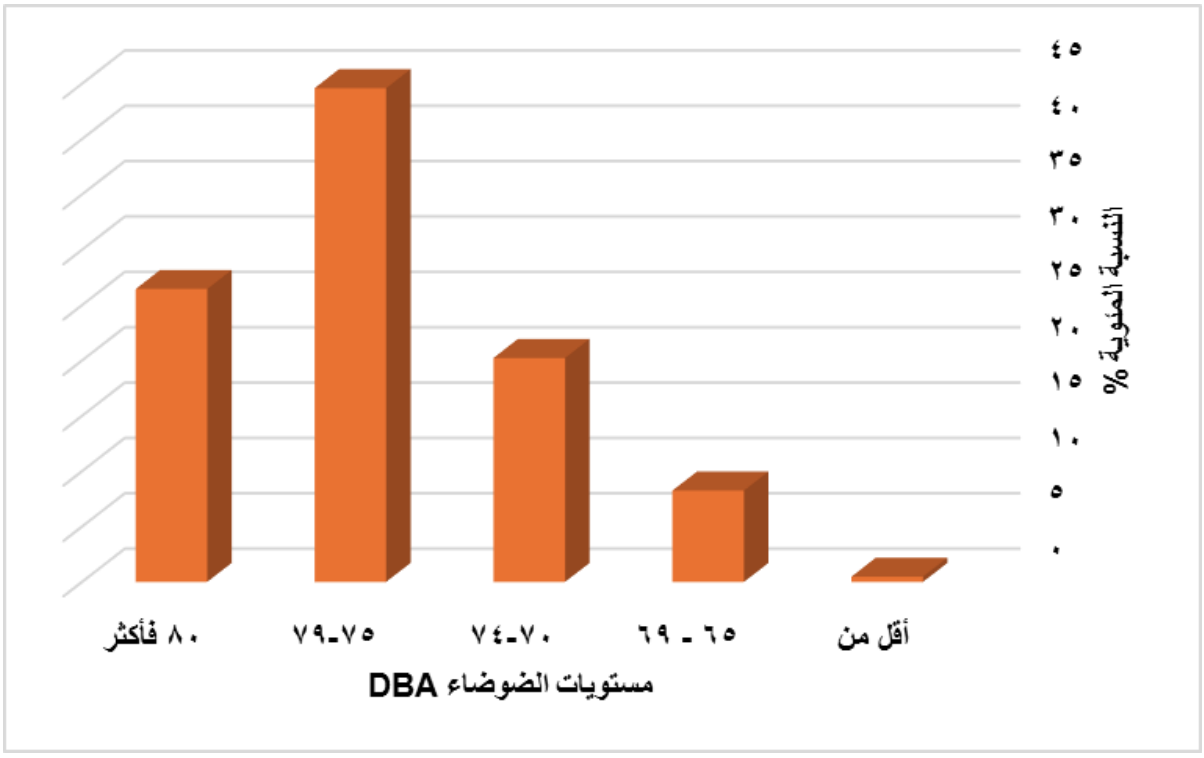
شكل (٢٧) التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء على واجهات المباني في فترة الظهيرة

ج. مستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الليلية:

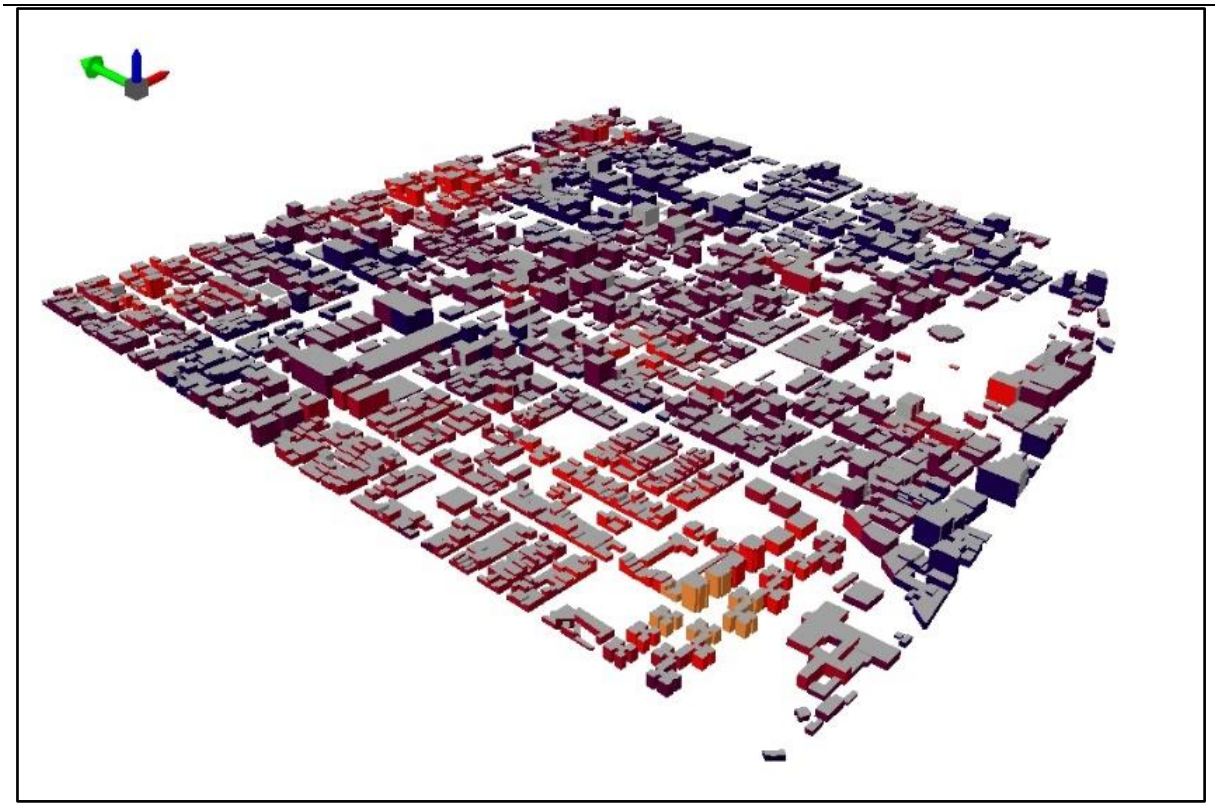
تراوحت قيم الضوضاء في تلك الفترة من (٦١ – ٨٨ dBA)، يتضح من خلال التحليل أن نسبة المباني التي تتعرض لمستويات ضوضاء في الفئة من ٧٠ فأكثر حوالي ٩١,٣٪ من جملة مساحة الكتل المبنية بينما تمثل باقي الفئات تمثل حوالي ٨,٧٪ بينما تستحوذ الفئة ما بين ٧٥ – ٧٩ على النسبة الأكبر والتي تبلغ حوالي ٤٣,٣٪ من جملة مساحة الكتل المبنية كما يوضح الجدول (٩) والشكلين (٢٨ و٢٩).

جدول (٩) توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الليلية

الفئة (ديسيبل)	المساحة (م٢)	النسبة المئوية (%)
أقل من ٦٥	٣١٤٩,٤	٠,٥
٦٥–٦٩	٥٥٢٤١,٠	٨,٢
٧٠–٧٤	١٣٥٤٨٥,٩	٢٠,٢
٧٥–٧٩	٢٩٨٧٣٦,٩	٤٤,٦
٨٠ فأكثر	١٧٧٢٢٥,٥	٢٦,٥



شكل (٢٨) توزيع مستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الليلية



شكل (٢٩) التوزيع المكاني لمستويات الضوضاء على واجهات المباني في الفترة الليلية

يتضح من التحليل السابق أن مستويات الضوضاء مرتفعة بشكل ثابت طوال اليوم، مع تغيرات طفيفة بين الفترات، حيث تظهر الفترة الليلية الضوضاء الأعلى تأثيرًا على البيئة الحضرية، وهو ما يُعتبر غير اعتيادي مقارنة بالمناطق الحضرية الأخرى التي تميل فيها مستويات الضوضاء إلى الانخفاض ليلًا، كما يتضح أن جميع الفترات تُظهر مستويات ضوضاء مرتفعة بشكل يتجاوز الحدود الموصى بها.

يتضح أيضًا أن المباني القريبة من الشوارع الرئيسية والمناطق التجارية هي الأكثر تأثرًا، حيث تمثل الشوارع ذات الحركة المرورية العالية المصادر الرئيسية للضوضاء، مما يبرز الحاجة إلى تدخلات تصميمية وتقنية لمعالجة هذه المشكلة ومن أكثر الشوارع إصدارًا للضوضاء بمنطقة الدراسة شارع منصور، شارع شريف، شارع محمد سيد أحمد وشارع عمر بن عبد العزيز.

سابعًا: النتائج والتوصيات:

١. النتائج:

خلُصت الدراسة إلى عدة نتائج تتمثل في الآتي:

- تظهر النماذج الثنائية الأبعاد التوزيع المكاني للضوضاء بوضوح لكنها تفتقر إلى تمثيل الارتفاعات.

- أظهرت الدراسة دقة عالية للنمذجة ثلاثية الأبعاد في التصور المرئي لمستويات الضوضاء، حيث عكست تأثير الارتفاعات والمصادر المتعددة بدقة أكبر مقارنة بالنماذج ثنائية الأبعاد.
- ساعدت النماذج ثلاثية الأبعاد في الكشف عن العلاقة بين مصادر الضوضاء، ارتفاعات المباني، والفترات الزمنية المختلفة، مما يُسهم في فهم أعمق للمشكلة.
- تعد النماذج ثلاثية الأبعاد أداة مثالية لصُنّاع القرار لتحليل التأثيرات البيئية على المباني والسكان، مما يُساعد في وضع استراتيجيات مستدامة للتخفيف من الضوضاء.
- أظهرت خرائط واجهات المباني توزيع الضوضاء على الواجهات بشكل ثنائي الأبعاد وثلاثي الأبعاد، مما يُبرز العلاقة بين مصدر الضوضاء وارتفاع المبنى.
- استخدمت الدراسة ألوانًا متدرجة لتمثيل القيم المختلفة لمستويات الضوضاء، حيث تشير الألوان الباردة إلى مستويات منخفضة، بينما تشير الألوان الدافئة إلى مستويات مرتفعة.
- تم الاعتماد على مبدأ التدرج السلس بين الألوان لتعكس الاختلافات الدقيقة في مستويات الضوضاء دون إرباك القارئ.
- تم تخصيص الأنماط اللونية باستخدام نظام RGB لضمان الدقة في التدرجات والألوان المختارة.
- ارتفاع مستويات الضوضاء بشكل عام، خاصة في الفترات الليلية، يُشير إلى وجود مشكلات هيكلية في البنية التحتية وتخطيط المنطقة.
- ضعف تطبيق التشريعات الخاصة بالحد من الضوضاء، مثل استخدام أبواق السيارات أو تنظيم الأنشطة التجارية ليلاً.
- تُبرز النتائج ضرورة تبني حلول مبتكرة، مثل تصميم شبكات الطرق بمواد تمتص الصوت، وتعزيز المساحات الخضراء كعوازل طبيعية للضوضاء.

٢. التوصيات:

بناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يمكن تقديم بعض التوصيات والتي يمكن إيجاز أهمها في النقاط الآتية:

- تطبيق النماذج ثلاثية الأبعاد في تحليل وتوقع تأثير الضوضاء على مناطق أخرى داخل المدينة.
- دمج النماذج مع تقنيات الواقع الافتراضي أو الخرائط التفاعلية لعرض التأثيرات المحتملة للضوضاء بشكل ديناميكي.

- الاستثمار في تطوير برامج ونماذج كارتوجرافية تُتيح تحليلًا أكثر تفصيلًا لتوزيع الضوضاء، بما يشمل تأثير العوامل البيئية مثل المناخ.
- استخدام المنصات الرقمية التفاعلية لنشر الخرائط ثلاثية الأبعاد التي توضح مناطق الضوضاء المرتفعة.
- تركيب أجهزة قياس الضوضاء في مواقع استراتيجية لمراقبة مستويات الضوضاء بشكل مستمر وإعداد تقارير دورية عن الحالة.
- اعتماد سياسات تخطيط حضري تركز على الاستدامة البيئية وتقليل التلوث الضوضائي.
- تخصيص مناطق في المدينة تكون ذات حساسية عالية للضوضاء، مثل المدارس والمستشفيات، والعمل على تقليل مستويات الضوضاء فيها إلى الحدود المسموح بها (٥٠ ديسيبل نهارًا و٤٠ ديسيبل ليلًا).

ملحق (١) نقاط رصد الضوضاء بمنطقة الدراسة

م	متوسط الضوضاء صباحًا	متوسط الضوضاء ظهرًا	متوسط الضوضاء ليلًا	م	متوسط الضوضاء صباحًا	متوسط الضوضاء ظهرًا	متوسط الضوضاء ليلًا	م	متوسط الضوضاء صباحًا	متوسط الضوضاء ظهرًا	متوسط الضوضاء ليلًا
١	٧١,٨	٧٣,٢	٧٦,٣	٣٩	٨١,٦	٨٠,٢	٨٢,٥	٧٧	٧٧	٧٥,٣	٧٩,٢
٢	٨١,٣	٧٩,٥	٨٠,٥	٤٠	٧٩,٦	٧٨,٥	٨٠,٥	٧٨	٦٤	٦٨,٢	٧٠,٥
٣	٨٠,٢	٧٨,٦	٨٠,٥	٤١	٧٩,٥	٨٠,٢	٨١,٤	٧٩	٧٥,٣	٧٣,٨	٧٦,٨
٤	٨٧,٦	٨٦,٨	٨٧,٩	٤٢	٧٩	٨٠,٧	٨١,٢	٨٠	٧٠,٢	٦٧,٦	٧٠,٩
٥	٨٢,١	٨٢,٣	٨٦,٦	٤٣	٧٨,٨	٧٩,٩	٨٠,٨	٨١	٦٥,٢	٦٥,١	٦٤,١
٦	٧٨,٦	٧٧,٩	٨٢,٣	٤٤	٧٥,٥	٧٤,١	٧٥,٩	٨٢	٧٣	٧٠,٥	٧٥,٨
٧	٨٠,٦	٧٨,٥	٧٧,٨	٤٥	٧٩	٧٦,٥	٧٨,٣	٨٣	٧١,٨	٦٩,٨	٧٢,٩
٨	٨١,٣	٧٩,٣	٨٠,٦	٤٦	٧٩,٩	٧٨,٢	٨٠,٨	٨٤	٧٧,٦	٧٥,٦	٧٨
٩	٧٦,٣	٧٦,١	٧٧,٩	٤٧	٧٦,٥	٧٥,٩	٨٢,٤	٨٥	٧٨,٩	٧٦,٦	٧٩,٤
١٠	٨١,٥	٨٠,٣	٨٢,١	٤٨	٨٠,٢	٧٩,٨	٨٢,٦	٨٦	٧٠,٦	٦٨,٦	٧١
١١	٧٨,٨	٨٠,٥	٨١,٩	٤٩	٨١,٤	٨٠,٤	٨٢,٦	٨٧	٨٠,٥	٧٧,٢	٨١,٣
١٢	٨٣,٥	٨١,٦	٨٢,٦	٥٠	٨٥,٤	٧٩,٩	٨١,٣	٨٨	٨٠,٦	٧٦,٤	٨٢,٦
١٣	٧٥,٨	٧٤,٦	٧٧,١	٥١	٧٦,٥	٧٨,٨	٨٤,٦	٨٩	٧٧,٨	٧٣,٣	٧٦,٥
١٤	٧٦,٤	٧٧,٣	٧٩,٦	٥٢	٧١,٦	٧٠,٢	٧٣,٣	٩٠	٨١,٢	٧٨,٣	٨٢
١٥	٨١,٨	٧٩,٨	٨١,٤	٥٣	٦٨,٢	٦٦,٣	٦٩,٢	٩١	٧٧,٥	٧٢,٥	٧٩,٣
١٦	٨٠,٤	٧٩,٣	٨٣,٧	٥٤	٨٤,٨	٨١,٩	٨٣,٨	٩٢	٧٨,٦	٧٦,٥	٨٠,٦
١٧	٧٨,٤	٧٩,٣	٨٥,٨	٥٥	٨١,٢	٧٨,٣	٧٩,٥	٩٣	٧٨,٩	٧٤,٣	٨٠,٣
١٨	٨٠,٤	٧٨,٨	٨١,٢	٥٦	٧٧,٢	٧٤,٩	٧٦,٣	٩٤	٧٥,٩	٧٢,٣	٧٥
١٩	٦٤,٨	٦٥,٨	٦٧,٣	٥٧	٧٨	٧٦,٦	٧٨,٧	٩٥	٧٢,٢	٦٧,٢	٧٥,٤
٢٠	٦٧,٦	٦٦,١	٦٨,٣	٥٨	٦٨	٦٦,٦	٦٩,٢	٩٦	٦٩,٨	٦٧,٨	٧٠,٢
٢١	٨١,٨	٧٨,٦	٨٠,٦	٥٩	٧٥,٣	٧٤,٤	٧٦,٢	٩٧	٦٤,٥	٦٣,٢	٦٥,٤
٢٢	٧٥,٦	٧٣,٢	٧٤,٩	٦٠	٦٧	٧٢,٢	٧٧,٤	٩٨	٧٧,٢	٧٦,٢	٧٥,٣
٢٣	٦٢,٤	٦٣,١	٦٤,٣	٦١	٦٣	٦٢,٩	٦٥,٥	٩٩	٧١,٥	٧٠,٤	٧٢,٣
٢٤	٦٨,٩	٦٧,٥	٦٩,٨	٦٢	٦٢	٦٨,٢	٧٤,١	١٠٠	٧٢,٢	٧٠,٢	٧٣,٢
٢٥	٧٢,٩	٧٠,٥	٧٣,١	٦٣	٦٨	٦٩,٣	٧٣,٦	١٠١	٧٣,٧	٧١,١	٧٣,١
٢٦	٧٦,٧	٧٧,٩	٧٥,٥	٦٤	٧٦	٧٢,٦	٧٧,٢	١٠٢	٧٠,٢	٦٥,٩	٦٨,٢
٢٧	٦٨,٨	٦٩,٢	٦٧,٣	٦٥	٧٢	٧١,٢	٧٤,٦	١٠٣	٦٣,١	٦٢,١	٦٠,٢
٢٨	٦٩,٥	٧١,٢	٦٦,١	٦٦	٧٦	٧٢,٣	٧٨,١	١٠٤	٧٤,٦	٧٣,٢	٧٥,٣
٢٩	٧٤,٨	٧٢,٢	٧٦,٢	٦٧	٨٤,٤	٨٠,٨	٨٥,٢	١٠٥	٧١,٢	٦٨,٢	٧٠,٢
٣٠	٧٥,٨	٧٦,٢	٧٦,٤	٦٨	٧٨,٥	٧٨	٨٠,١	١٠٦	٦٦,٢	٦٥,٢	٦٤,٢
٣١	٧٨,٣	٧٩,٦	٧٧,٦	٦٩	٦٢,٣	٦٣,٦	٦٥,٢	١٠٧	٦٧,٢	٦٥,٦	٦٥,١
٣٢	٧٩,٦	٨٠,٦	٨٢,٦	٧٠	٦٣,٥	٦٦	٦٥,٣	١٠٨	٦٨,٢	٦٦,٣	٦٦,٨
٣٣	٧٤,٢	٧٢,٢	٧٤,٥	٧١	٧٥	٧٢,٢	٧٤,٥	١٠٩	٨٠,٣	٨١,٥	٧٧,٢
٣٤	٧٣,٦	٧٢,٨	٧٤,٣	٧٢	٧٧	٧٣,٢	٧٦,٦	١١٠	٧٢,١	٧٠,٥	٧٤,٢
٣٥	٧٢,٨	٧٠,٢	٧١,٥	٧٣	٧٦,٥	٧٢,٣	٧٧,٣	١١١	٨٠,٩	٧٩,٩	٨١,٣
٣٦	٧٨,٢	٧٥,٦	٧٧,٢	٧٤	٧٥,٤	٧٢,٦	٧٧,٣	١١٢	٨٤,٦	٨٢,١	٨٥,٣
٣٧	٨٢,٩	٧٩,٥	٨١,٢	٧٥	٧٤,٦	٧٣,٣	٧٨,١				
٣٨	٧٩,٨	٧٨,٣	٨٠,١	٧٦	٧٧	٧٤,٨	٧٨,٢				

المصدر : الدراسة الميدانية باستخدام تطبيق (Sound Meter) لقياس الضوضاء.

المراجع:

أولاً: المراجع العربية:

- إسماعيل، إسماعيل علي (٢٠١٤)، الضجة المرورية والسائدة بمدينة شبين الكوم: دراسة تحليلية لخرائط الاستكمال الداخلي، الجمعية الجغرافية المصرية، ٧٩، الصفحات ١-٧٧، تم الاسترداد من http://search.mandumah.com/Record/1349810.
- العزازي، محمد عبد الوهاب (٢٠٠٤)، استخدام خرائط الضوضاء لتحديد استعمالات الأراضى بمدينة أسيوط، المؤتمر الدولى للتنمية والبيئة فى الوطن العربى – جامعة أسيوط (الصفحات ١-١٣)، مركز الدراسات والبحوث البيئية.
- العمري، ايمان رافع، سلام، ذكرى عبد الجليل، والجاسر، لميعة عبد العزيز (٢٠٢٢)، التقييم المكاني لمستويات التلوث الضوضائي في جامعة الأميرة نورة بنت عبد الرحمن، مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، ٦(٣)، الصفحات ١-١٢.
- شلتاغ، علياء كاطع (٢٠١٩)، التحليل المكاني للتلوث الضوضائي على بيئة مدينة بغداد، مجلة الطريق التربوية والعلوم الاجتماعية، ٦(٥)، الصفحات ٢٥٤-٢٧٤.
- عزيز، محمد الخزامي (أكتوبر ٢٠٠١)، النمذجة الكارتوجرافية الالية لتطور النمو العمراني في الكويت، مجلة الجمعية الجغرافية الكويتية، ٢٥٧، الصفحات ١ – ٧٩.
- مقرب، أحمد عطيه (٢٠٢١)، استخدام النمذجة التفاعلية ثلاثية الأبعاد في تمثيل الخرائط الرقمية دراسة كارتوجرافية، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة حلوان، رسالة دكتوراه غير منشورة.
- نوفل، رشا صابر، وتركي، منى جابر (٢٠٢٠)، استخدام تقنيات الجيوماتكس في تقييم مستويات التلوث الضوضائي بمدينة منوف، مجلة بحوث كلية الآداب، جامعة المنوفية، ٣١(١٢٢)، الصفحات ٣ – ٣٦، https://doi.org/10.21608/SJAM.2020.158549.

إسماعيل، إسماعيل علي. (٢٠١٤). الضجة المرورية والسائدة بمدينة شبين الكوم: دراسة تحليلية لخرائط الاستكمال الداخلي. الجمعية الجغرافية المصرية، ٧٩، الصفحات ١-٧٧. تم الاسترداد من

http://search.mandumah.com/Record/1349810

العزازي، محمد عبد الوهاب. (٢٠٠٤). استخدام خرائط الضوضاء لتحديد استعمالات الأراضى بمدينة أسيوط. المؤتمر الدولى للتنمية والبيئة فى الوطن العربى – جامعة أسيوط (الصفحات ١-١٣). مركز الدراسات والبحوث البيئية.

العمري، ايمان رافع ، سلام، ذكرى عبد الجليل ، و الجاسر، لميعة عبد العزيز. (٢٠٢٢). التقييم المكاني لمستويات التلوث الضوضائي في جامعة الأميرة نورة بنت عبد الرحمن. مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، ٦(٣)، الصفحات ١-١٢.

شلتاغ، علياء كاطع. (٢٠١٩). التحليل المكاني للتلوث الضوضائي على بيئة مدينة بغداد. مجلة الطريق التربوية والعلوم الاجتماعية، ٦(٥)، الصفحات ٢٥٤-٢٧٤.

عزيز، محمد الخزامي. (أكتوبر, ٢٠٠١). النمذجة الكارتوجرافية الالية لتطور النمو العمراني في الكويت. مجلة الجمعية الجغرافية الكويتية، ٢٥٧، الصفحات ١ – ٧٩.

مقرب، أحمد عطيه. (٢٠٢١). استخدام النمذجة التفاعلية ثلاثية الأبعاد في تمثيل الخرائط الرقمية – دراسة كارتوجرافية. قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة حلوان ، رسالة دكتوراه غير منشورة.

نوفل، رشا صابر ، و تركي، منى جابر. (٢٠٢٠). استخدام تقنيات الجيوماتكس في تقييم مستويات التلوث الضوضائي بمدينة منوف. مجلة بحوث كلية الآداب. جامعة المنوفية، ٣١(١٢٢)، الصفحات ٣ – ٣٦. https://doi.org/10.21608/SJAM.2020.158549

ثانياً: المراجع الأجنبية:

- *Atteya, A., & Abdel Baky, A. (2023). Estimating the Noise Levels Generated by Road Traffic in Egypt. Journal of Fayoum University Faculty of Engineering, 7(2), 250-255. https://doi.org/10.21608/fuje.2024.344047.*
- *Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. Noise and Health, 38(10), 27-33. https://doi.org/10.4103/1463-1741.39005.*
- *Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014, Apr). Auditory and non-auditory effects of noise on health. Lancet, 1325-1332. https://doi.org/ 10.1016/S0140-6736(13)61613-X.*
- *Beran, D., Jedlička, K., Kumar, K., Popelka, S., & Stoter, J. (2021). The Third Dimension in Noise Visualization – a Design of New Methods for Continuous Phenomenon Visualization. The Cartographic Journal, 59(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/00087041.2021.1889450.*
- *Beran, D., Jedlička, K., Kumar, K., Popelka, S., & Stoter, J. (2021). The Third Dimension in Noise Visualization – a Design of New Methods for Continuous Phenomenon Visualization. The Cartographic Journal, 59(1), pp. 1-17. Retrieved from https://doi.org/10.1080/00087041.2021.1889450.*
- *Brewer, C. (1994). Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. In A. Maceachren, & D. Taylor, Visualization in Modern Cartography (Vol. 2, pp. 123-147). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042415-6.50014-4.*

- *Cai, M., Zou, J., Xie, J., & Ma, X. (2015). Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS. 87, pp. 94-102. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.06.005.*
- *Calixto, A., Diniz, F. B., & Zannin, P. H. (2003). The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting. Cities, 20(1), 23-29. https://doi.org/10.1016/S0264-2751(02)00093-8.*
- *Dubey, R., Bharadwaj, S., & Biswas, S. (2022). GIS Based Smart Noise Mapping to Compare Organized Traffic and Unorganized Traffic for A Developing Smartcity. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, pp. 41–46. Retrieved from https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W3-2022-41-2022.*
- *EPA. (2008). Noise measurement procedure manualn,Second Edition. Department of Environment, Parks, Heritage and the Arts. Tasmania,Australia: Environmental Protection Agency. Retrieved July 2008, from https://epa.tas.gov.au/documents/noise_measurement_procedures_manual_2008.pdf.*
- *Esmeray, E., & Eren, S. (2021, February). GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. 23(10), 15413–15431. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01303-5.*
- *Kuma, V., Ahirwa, A. V., & Prasad, A. (2023). Monitoring and mapping noise levels of university campus in central part of India. Journal of Air Pollution and Health (1), pp. 1-12. https://doi.org/10.18502/japh.v8i1.12025.*
- *Kurakula, V., & Kuffer, M. (2008). 3D Noise Modeling for Urban Environmental Planning and Management. mobility nodes as innovation hubs: proceedings of 13th international conference on urban planning, regional development and information society (pp. 517-523). Competence center of urban and regional planning (CORP). Retrieved from http://www.corp.at/archive/CORP2008_49.pdf.*
- *M. C, I., Igbanny, J., Ukaegbu, K., Ejiogu, C., Iwuji, K., & Uyo, C. (2022, Jan 11). Geo-Spatial Analysis of Noise Levels in a University Community. British Journal of Environmental Sciences, pp. 13-24. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4005893.*
- *MacEachren, A. (1995). How maps work: Representation, Visualization & Design. New York: Guildford Press.*
- *Münzel, T., Sørensen, M., Gori, T., Schmidt, F., Rao, X., Brook, F., Rajagopalan, S. (2017, February 21). Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part II–mechanistic insights. European Heart Journal, 38(8), 557–564. Retrieved from https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw294.*
- *Nasser, Z. M., Alkanaani, H. A., & Abedali, A. H. (2024). Evaluation the interpolation methods to product the traffic noise maps in the city center of Baghdad using Arc map pro model builder. AIP Conference Proceedings. 3105. AIP Publishing. https://doi.org/10.1063/5.0212221.*

- *Park, S. H., Lee, P. J., & Lee, B. K. (2017). Levels and sources of neighbour noise in heavyweight residential buildings in Korea. Applied Acoustic, 120, 148-157. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.012.*
- *Passchier-Vermeer, W., & Passchier, W. (2000, Mar). Noise exposure and public health. Environmental health perspectives, 123-131. https://doi.org/10.1289/ehp.00108s1123.*
- *Slocum, T. A., MacMaster, R. B., Kessler, F., & Howard, H. H. (2008). Thematic cartography and geovisualization (3rd ed.). Pearson Education.*
- *Stoter, J., de Kluijver, H., & Kurakula, V. (2008). 3D noise mapping in urban areas. International Journal of Geographical Information Science, 22(8), pp. 907–924. https://doi.org/10.1080/136588107017390390.*
- *WHO. (2019, January). World Health Organization. Retrieved from Environmental noise guidelines for the European region: https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563.*
- *Zannin, P. H., Calixto, A., Diniz, F., & Ferreira, J. (2003). A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. Environmental Impact Assessment Review, 23(2), 245-255. https://doi.org/10.1016/S0195-9255(02)00092-6.*

Cartographic modeling of traffic noise levels to improve urban sustainability: A case study of West Helwan sub-district

***Abstract*:**

Traffic noise is one of the most prominent environmental challenges that affect the quality of life in urban areas, especially with urbanization and increased human activities. This research aims to develop 2D and 3D cartographic models to analyze traffic noise levels in Helwan West, with a focus on integrating Geographic Information Systems (GIS) in the representation and analysis of spatial data. Noise levels were measured at 112 monitoring points during three time periods (morning, noon, and night), where the results showed that about 90% of the study area is exposed to noise levels exceeding 70 dB, which poses an environmental and health hazard.

The study relied on multiple cartographic methods, such as raster maps and Isolines, in addition to 3D models that showed greater accuracy in representing the distribution of noise and its impact on building heights. Advanced design principles were also used to employ gradient colors to display noise levels in a clear and interactive way.

The research concluded the importance of using 3D models in urban planning, as it contributes to providing accurate insights to support decision-making, such as optimizing road design, increasing green spaces, and creating acoustic barriers. The study recommends enhancing the use of GIS techniques in managing noise pollution and updating environmental legislation to reduce the impact of noise in urban areas.

Keywords: *Traffic noise, 3D modeling, GIS, digital cartography, spatial analysis, urban sustainability, West Helwan.*