Journal of Al-Farahidi's Arts, No Conference (10 th)N(I)1-24
Doi: https://doi.org/10.25130/jfa.conf.10.1.1

Proceedings of the (10) Conference وقائع المؤتمر العلمي العاشر

P-ISSN : 2074-9554 | E-ISSN: 2663-811
Journal of Al-Farahidi's Arts
available online at : fja.tu.edu.iq/index.php/fja

Tikrit University
J.F.A
Journal of Al-Frahedis

# The Impact of Geomorphological Phenomena on the Expansion of Tuz Khurmatu City Using Spatial Prediction (A Study in Applied Geomorphology)

**Assoc. Prof. Dr. Mohammed Najm Khalaf**

**E-Mail:** mohameedn17@tu.edu.iq

Keywords:
Geomorphological phenomena,
Natural factors and urban expansion

***Article history:***

| | |
|---|---|
| Received | 7/8/2025 |
| Received in revised form | 7/9/2025 |
| Accepted | 19/10/2025 |
| Available online | 9/12/2025 |

*E-mail* Jaa@ tu.edu.iq

©THIS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER THE CCBY LICENSE
http:// creativecommons.org/licenses/by/4.0

**A B S T R A C T**

This research aims to examine the impact of geomorphological phenomena on the expansion of Tuz Khurmatu city by employing spatial analysis tools and modern techniques to predict future changes in the city's spatial structure. The study reflects a trend towards applied geomorphology, which goes beyond merely understanding landforms and their distribution, to analyzing their actual and direct influence on human processes, particularly urban expansion.

Tuz Khurmatu is characterized by diverse terrain, where units such as floodplains, hilly uplands, and valleys overlap. This makes geomorphological phenomena one of the main determinants in shaping the pattern of spatial expansion. Factors such as slope, elevation, and natural water drainage directly influence the selection of construction sites, guide expansion, and either restrict or accelerate urban development.

The study relies on Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques to establish an accurate spatial database, which is then utilized in spatial prediction models such as the CA–Markov model or Suitability Analysis tool. These models help in monitoring past changes, analyzing dominant geomorphological factors, and constructing future spatial scenarios of urban expansion

# أثر الظواهر الجيومورفولوجية في توسع مدينة طوزخورماتو باستخدام التنبؤ المكاني (دراسة في الجيومورفولوجية التطبيقية)

أ.م.د. محمد نجم خلف صالح/جامعة تكريت/ كلية الآداب/ قسم الجغرافية ونظم المعلومات الجغرافية

المستخلص:

يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر الظواهر الجيومورفولوجية في توسع مدينة طوزخورماتو، من خلال توظيف أدوات التحليل المكاني والتقنيات الحديثة للتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في البنية المكانية للمدينة. ويعكس البحث توجهًا نحو الجيومورفولوجيا التطبيقية التي لا تقتصر على فهم الأشكال الأرضية وتوزيعها، بل تتعداها إلى تحليل تأثيرها الفعلي والمباشر في العمليات البشرية، لاسيما التوسع الحضري.تُعدّ مدينة طوزخورماتو من المدن ذات الطابع التضاريسي المتباين، إذ تتداخل فيها وحدات مثل السهول الفيضية، والمرتفعات الهضبية، والأودية، مما يجعل الظواهر الجيومورفولوجية أحد المحددات الرئيسة في رسم نمط التوسع المكاني. حيث يؤثر الانحدار، والارتفاع، والتصريف الطبيعي للمياه بشكل مباشر في اختيار مواقع البناء، وتوجيه التوسع، وتحجيم أو تسريع التنمية العمرانية .يعتمد البحث على أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات الاستشعار عن بُعد (RS) في إعداد قاعدة بيانات مكانية دقيقة، تُوظف ضمن نماذج التنبؤ المكاني مثل نموذج CA-Markov أو أداة Suitability Analysis، لرصد التغيرات السابقة، وتحليل العوامل الجيومورفولوجية المسيطرة، وبناء سيناريوهات مكانية مستقبلية للتوسع الحضري.

الكلمات المفتاحية : الظواهر الجيومورفولوجية، العوامل الطبيعية ، وتوسع المدن

**المقدمة:**

تُعَدّ الظواهر الجيومورفولوجية من أهم العوامل الطبيعية المؤثرة في نمو وتوسع المدن، إذ تسهم تضاريس السطح، والانحدارات، واتجاهات السفوح، وشبكات الأودية في رسم الإطار المكاني لأي توسع حضري. وفي هذا السياق، فإن مدينة طوزخورماتو، بحكم موقعها ضمن منطقة تتنوع فيها الوحدات الأرضية بين السهول الفيضية والتلال والسفوح الجبلية، تمثل نموذجًا مناسبًا لدراسة أثر الجيومورفولوجيا على التوسع العمراني. فالتضاريس هنا لم تكن مجرد خلفية طبيعية، بل أصبحت عاملاً فاعلاً في تحديد اتجاهات التوسع ومحددات النمو الحضري، ولقد تطورت الدراسات الجغرافية في العقود الأخيرة من الطابع الوصفي التقليدي إلى استخدام أساليب كمية تعتمد على النمذجة المكانية والزمنية. ومن بين هذه الأساليب يبرز نموذج الأتمتة الخلوية (Cellular Automata – CA) الذي يُعَدّ أداة رياضية وحاسوبية قادرة على محاكاة الأنماط المكانية المعقدة اعتمادًا على مجموعة من القواعد التي تحكم سلوك الخلايا وتفاعلها مع الخلايا المجاورة. ويتميز هذا النموذج بقدرته على تمثيل العمليات الديناميكية، مثل التوسع الحضري، تغيّر استعمالات الأرض، وانتشار الظواهر البيئية.

أما التنبؤ المكاني فيُعَدّ خطوة متقدمة في تحليل الأنماط الجغرافية، إذ يستند إلى المعطيات السابقة لبناء تصورات مستقبلية للتغيرات المتوقعة، بما يدعم القرارات التخطيطية والإدارية. ومن النماذج المتقدمة في هذا المجال نموذج CA–Markov، الذي يجمع بين خصائص الأتمتة الخلوية وسلاسل ماركوف، مما يتيح تقديرًا أدق للتغيرات المستقبلية عبر المزج بين احتمالات الانتقال (Transition Probabilities) والتفاعل المحلي للخلايا.

**اولاً. مشكلة البحث:**

يتمثل جوهر مشكلة البحث في غياب التحديد الكمي الدقيق لدور الظواهر الجيومورفولوجية (الانحدار، شبكة الأودية، طبيعة التكوينات الأرضية) في توجيه التوسع العمراني لمدينة طوزخورماتو، وعدم توظيف أدوات التنبؤ المكاني الحديثة مثل نموذج CA–Markov لمحاكاة هذا التوسع وتقدير اتجاهاته المستقبلية.

ومن المشكلة الرئيسة تنطلق التساؤلات الاتية:

1. ما هي أبرز الظواهر الجيومورفولوجية المميزة في منطقة طوزخورماتو، وما خصائصها المورفومترية (الانحدار، الارتفاع، اتجاهات السفوح، أشكال السطح)؟

2. كيف أثرت هذه الظواهر في نمط واتجاه التوسع العمراني للمدينة خلال العقود الماضية؟
3. ما مدى كفاءة نموذج CA–Markov في محاكاة التوسع العمراني في المدينة، وما درجة توافق نتائجه مع الواقع الفعلي؟
4. ما الاتجاهات المستقبلية المحتملة للتوسع العمراني في طوزخورماتو عند أخذ المؤثرات الجيومورفولوجية في الاعتبار؟

**ثانياً. فرضية البحث:**

إن التوسع العمراني في مدينة طوزخورماتو يتأثر بصورة مباشرة بالظواهر الجيومورفولوجية (الانحدار، الارتفاع، شبكات الأودية، طبيعة التكوينات الأرضية)، وأن توظيف نموذج التنبؤ المكاني (CA–Markov) يتيح محاكاة دقيقة لهذا التوسع ويمكّن من تحديد اتجاهاته المستقبلية. ومن الفرضية الرئيسة تنطلق الفروض الثانوية على ضوء التساؤلات انفاً:

1. هنالك علاقة ارتباط واضحة بين شدة الانحدار ودرجة التوسع العمراني، بحيث يزداد التوسع في الأراضي ذات الانحدار المنخفض ويضعف في السفوح شديدة الميل.
2. اتجاهات السفوح والعوامل الطبوغرافية الأخرى أسهمت في تحديد اتجاه الامتداد الحضري لمدينة طوزخورماتو.
3. شبكة الأودية ومجاري السيول تمثل محدداً جيومورفولوجياً مؤثراً في توزيع استعمالات الأرض ومنع التوسع في بعض الاتجاهات.
4. نموذج CA–Markov يمتلك كفاءة عالية في محاكاة التوسع العمراني ويُظهر نتائج قريبة من الواقع الفعلي للتغيرات التي شهدتها المدينة، مما يجعله أداة فعّالة في تقدير الاتجاهات المستقبلية.

**ثالثاً. هدف البحث:**

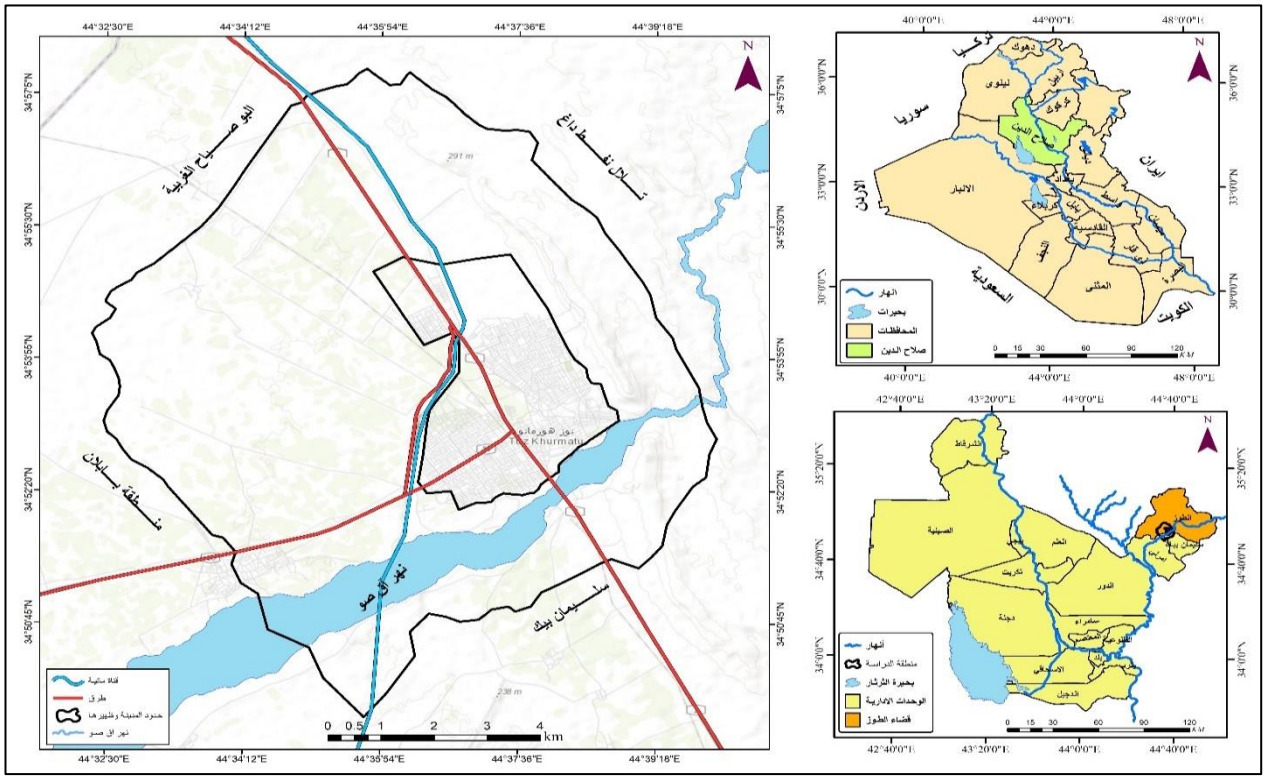
يهدف البحث إلى تحليل وتقييم دور الظواهر الجيومورفولوجية –بما في ذلك الانحدار، الارتفاع، اتجاهات السفوح، وشبكات الأودية – في التأثير على نمط واتجاه التوسع العمراني في مدينة طوزخورماتو، من خلال توظيف تقنيات التحليل المكاني ونموذج التنبؤ CA–

Markov، بغية محاكاة التغيرات الحضرية الراهنة واستشراف الاتجاهات المستقبلية لهذا التوسع.

**رابعاً. موقع منطقة الدراسة:**

تقع مدينة الطوز في الجزء الشمالي الشرقي لمحافظة صلاح الدين، اذ تحددت منطقة الدراسة بمدينة الطوز وظهيرها، فقد تم اخذ نطاق أوسع من حدود المدينة وذلك لمعرفة المحددات الطبيعية التي تعيق او تسمح للتوسع الحضري للمدينة. فيحدها من الشمال والشمال الشرقي تلال نفط داغ، ومن الشرق والجنوب الشرق حدود ناحية سليمان بيك، ومن الغرب والجنوب الغربي منطقة بابلان، في حين يحدها من الغرب والشمال الغربي منطقة البو صياح الغربية. اما من الناحية الفلكية فتع منطقة الدراسة بين خطي طول (28 32 44 _ 30 39 44) شرقاً وبين دائرتي عرض (30 50 34 _ 10 57 34) شمالاً، بمساحة بلغت (100.2)كم$^2$ وبضمنها حدود البلدية للمدينة والبالغة (14.4)كم$^2$ وكما في الخريطة (1).

**خريطة (1) موقع منطقة الدراسة**




المصدر: اعتماداً على خريطة العراق الإدارية بمقياس رسم 1:1000000، وخريطة صلاح الدين الإدارية بمقياس 1:250000، ومديرية بلديات صلاح الدين، قسم بلدية قضاء طوزخورماتو، لسنة 2023، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

**خامساً. الجانب الجيولوجي لمنطقة الدراسة:**

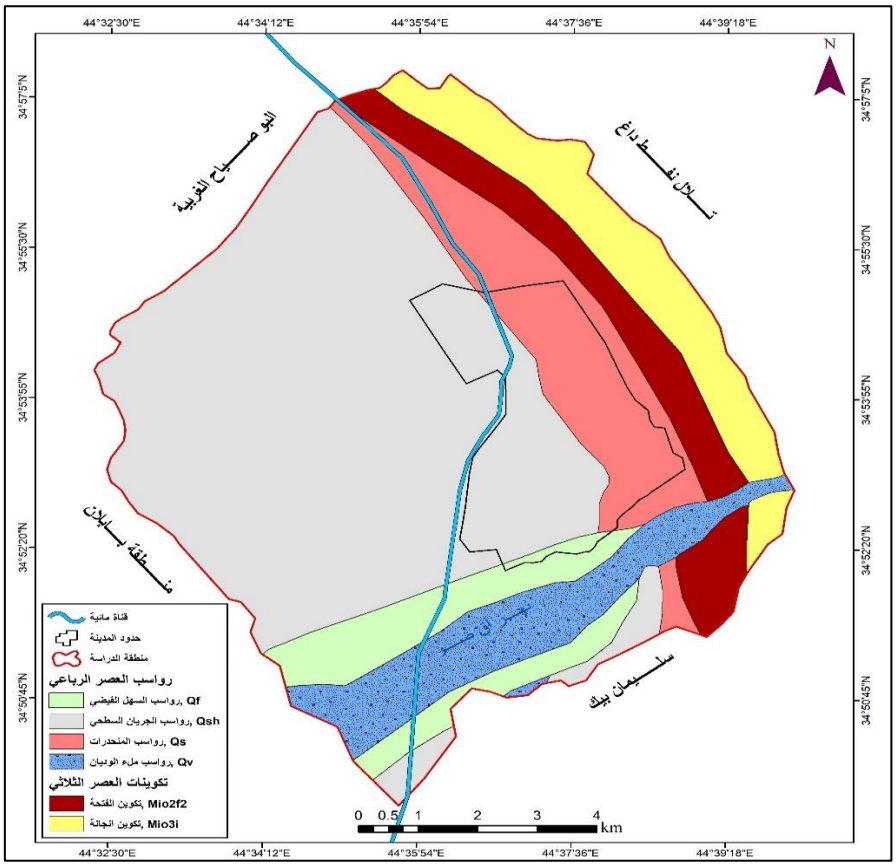
تُعد الظواهر الجيومورفولوجية من العوامل الأساسية التي تحدد اتجاهات وأنماط التوسع الحضري، إذ ترتبط قابلية الأرض للتعمير بخصائصها الجيولوجية والمورفولوجية، من حيث طبيعة الصخور، استقرار المنحدرات، وخصوبة الترب. فالمناطق السهلية والفيضية توفر بيئات مناسبة للنمو العمراني، في حين تشكل التكوينات الصخرية الصلبة والمنحدرات الحادة قيودًا تحد من الامتداد الأفقي للمدن. وقد أكد العديد من الدراسات التطبيقية على أهمية إدماج الخصائص الجيومورفولوجية ضمن دراسات التخطيط الحضري لما لها من أثر مباشر في توزيع الأنشطة ومواقع الاستقرار البشري. (الزبيدي، 2014، 112)

وبالعودة إلى مدينة طوزخورماتو، يتضح من الجدول (1) والخريطة (2) الجيولوجية أن رواسب الجريان السطحي تستحوذ على أكثر من نصف مساحة المنطقة (53.5%)، وهي ذات طبيعة رسوبية غير مستقرة، مما يقلل من إمكانية استغلالها حضريًا بشكل مكثف. في المقابل، تشكل رواسب السهل الفيضي نسبة (7.6%) ورواسب ملء الأودية نسبة (8.5%) من المساحة، وهي مناطق منخفضة ومسطحة نسبياً، ما يجعلها ملائمة للتوسع العمراني والزراعي، غير أنها تبقى عرضة لمخاطر الفيضانات. أما رواسب المنحدرات (Qs) بنسبة 12.4% فهي مناطق غير مستقرة جيومورفولوجيًا، لذا تظل أقل جذبًا للتوسع.

في حين أن تكوين الفتحة جاء بنسبة (8.2%) وتكوين انجانة بنسبة (9.8%) يتوزعان على الأطراف الشرقية والشمالية الشرقية، ويشكلان حواجز جيولوجية طبيعية تحد من التوسع العمراني باتجاههما، مما يجعل التوسع الحضري يتخذ مسارًا تفضيليًا نحو مناطق السهول الفيضية والسهول الرسوبية الأكثر ملاءمة.

وبذلك، فإن الظواهر الجيومورفولوجية ممثلة بالتكوينات والرواسب السائدة قد لعبت دورًا فاعلًا في رسم ملامح التوسع الحضري في طوزخورماتو، إذ وجهت النمو الحضري نحو المناطق المستوية القريبة من المجاري المائية، وحدّت من الامتداد نحو الأطراف الجبلية أو الرسوبية غير المستقرة.

**خريطة (2) الرواسب والتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة**




المصدر: اعتماداً على لوحة كركوك الجيولوجية بمقياس رسم 1:25000 لعام 1995، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

**جدول (1) أصناف ومساحة الرواسب والتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة**

| ت | الرواسب والتكوينات الجيولوجية | الرمز الجيولوجي | المساحة/كم$^2$ | النسبة % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | رواسب السهل الفيضي | Qf | 7.6 | 7.6 |
| 2 | رواسب الجريان السطحي | Qsh | 53.6 | 53.5 |
| 3 | رواسب المنحدرات | Qs | 12.5 | 12.4 |
| 4 | رواسب ملء الاودية | Qv | 8.5 | 8.5 |
| 5 | تكوين الفتحة | Mio2f2 | 8.2 | 8.2 |
| 6 | تكوين انجانة | Mio3i | 9.8 | 9.8 |
| 7 | **المجموع** | | 100.2 | 100.0 |

المصدر: اعتماداً على خريطة (2)، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

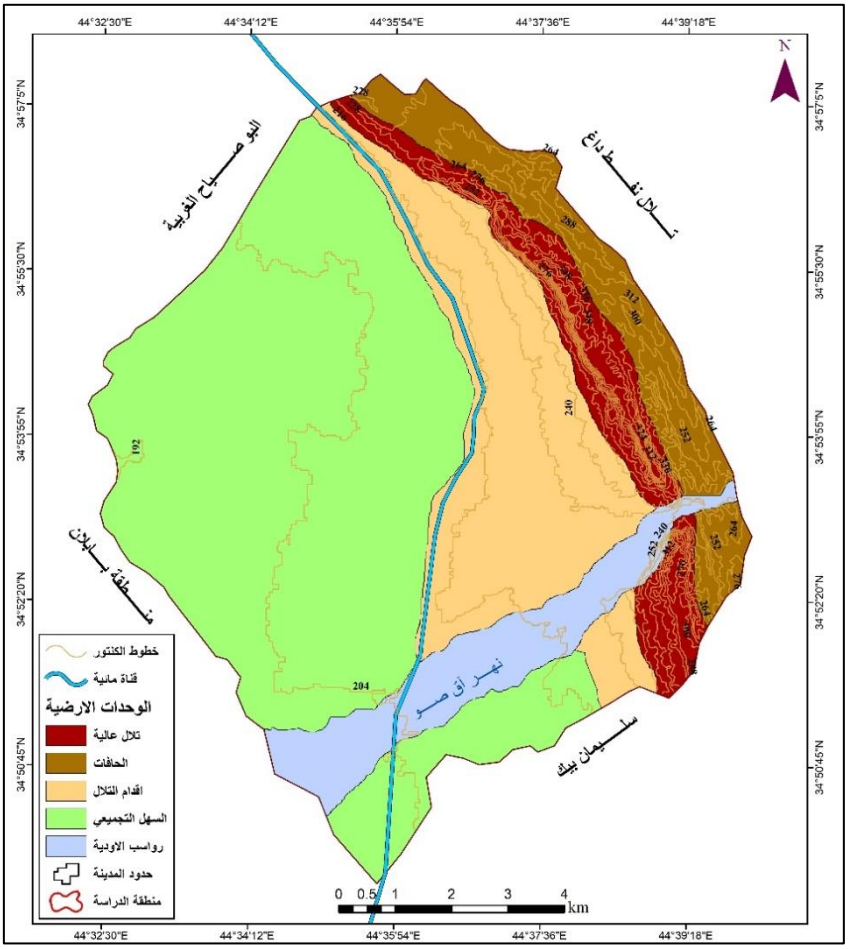
**سادساً. الجانب الطبوغرافي:**

تُعد الخصائص الطبوغرافية عاملاً رئيسًا في توجيه مسارات التوسع الحضري في مدينة طوزخورماتو، إذ ترتبط أنماط النمو بمحددات طبيعية واضحة تتمثل بالتلال والأنهار

والأراضي الزراعية. (حسن، 2021، 85). وتظهر الخريطة (3) والجدول (2) أن السهل التجميعي يحتل المساحة الأكبر (52.3 كم²) بنسبة (52.2%)، وهو المجال الأكثر ملاءمة للنمو العمراني لكونه يتصف بالانبساط وخصوبة التربة، غير أن استغلال أجزاء واسعة منه في النشاط الزراعي، وعدم إدراجها ضمن التصميم الأساسي للمدينة، جعل التوسع فيه يتم غالبًا بصورة عشوائية، أما من الجهة الشمالية فتظهر التلال العالية بمساحة (8.9 كم²) بنسبة (8.9%)، وهي تشكل حاجزًا تضريسيًا طبيعياً يمنع أي توسع حضري باتجاه الشمال. ومن الجهة الشرقية، يعمل نهر أق صو كمحدد طبيعي آخر يقف عائقًا أمام الامتداد العمراني. بينما في الجهة الجنوبية تبرز الأراضي الزراعية المتولدة عن امتداد السهل التجميعي، والتي يصعب استغلالها للسكن المخطط، إذ أن النمو فيها يؤدي عادةً إلى تكوين تجمعات غير نظامية (عشوائيات).

وبذلك لم يتبق أمام المدينة سوى الاتجاه الغربي، حيث يتضح أن التوسع الحضري بدأ يتجه بمحاذاة الطريق السريع (السايدين) الرابط بينها وبين مدينة كركوك، وهو الاتجاه الأكثر انفتاحًا وملاءمة للتوسع المستقبلي. كما توجد بعض المعوقات الاجتماعية – مثل المقبرة – التي يمكن مع مرور الوقت إعادة توظيفها أو ضمها إلى النسيج العمراني، بخلاف العوائق الطبيعية الصلبة كالأنهار والتلال التي لا يمكن تجاوزها.

## خريطة (3) اصناف الوحدات الأرضية في منطقة الدراسة




المصدر: اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي DEM ذي الدقة التمييزية (12.5م)، والمرئية الفضائية كوك بيرد ذي الدقة التمييزية (0.6م)، باستخدام مخرجات برنامج ARC MAP10.8.

## جدول (2) أصناف ومساحة الوحدات الأرضية في منطقة الدراسة

| ت | الوحدات الأرضية | المساحة/كم$^2$ | النسبة % |
|---|---|---|---|
| 1 | تلال عالية | 8.9 | 8.9 |
| 2 | الحافات | 9.4 | 9.4 |
| 3 | اقدام التلال | 21.1 | 21.1 |
| 4 | السهل التجميعي | 52.3 | 52.2 |
| 5 | رواسب الاودية | 8.5 | 8.5 |
| المجموع | | 100.2 | 100.0 |

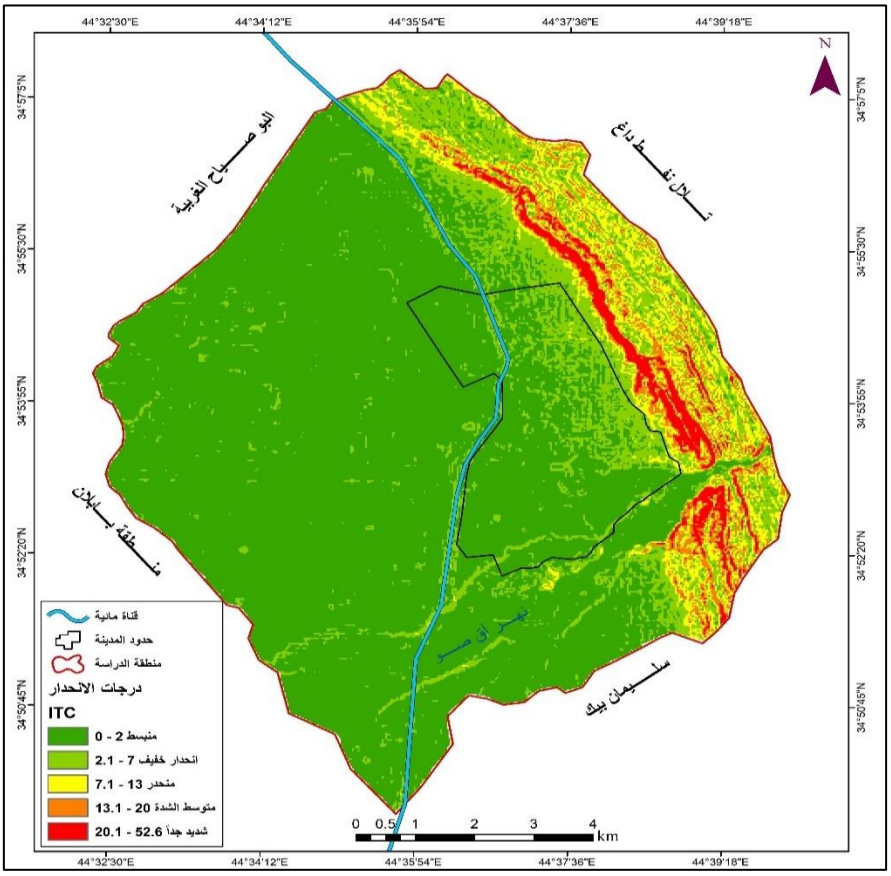
المصدر: اعتماداً على خريطة (3).

### 6-1. درجة الانحدار وفق ITC:

تُعد درجة الانحدار من أهم المحددات الطبوغرافية المؤثرة في أنماط التوسع الحضري، إذ أن الأراضي المنبسطة والخفيفة الانحدار تمثل بيئات مفضلة للنشاطات العمرانية والزراعية، بينما تُعد المناطق شديدة الانحدار بيئات طاردة وغير ملائمة للاستيطان، لما تسببه من مخاطر انجراف وتكلفة عالية في الإنشاءات. (حسن، 2021، 92).

تبين الخريطة (4) والجدول (3) أن الفئة المهيمنة هي المنبسط (0–2 درجات) بمساحة (71.6 كم²) أي بنسبة (71.5%) من المساحة الكلية، ما يشير إلى أن معظم أرض المنطقة ملائمة بدرجة كبيرة للتوسع الحضري، وهو ما يفسر تركز الاستيطان البشري والأنشطة الاقتصادية في هذه الأجزاء. تليها فئة الانحدار الخفيف (2.1–7 درجات) بمساحة (15.6 كم²) بنسبة (15.5%)، وهي أيضًا مناطق صالحة للتوسع ولكن مع بعض القيود الهندسية البسيطة.

**خريطة (4) درجات الانحدار بحسب نظام ITC لمنطقة الدراسة**




المصدر: اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي DEM ذي الدقة التمييزية 12.5م، باستخدام مخرجات برنامج ARC MAP10.8.

أما فئة المنحدر (7.1–13 درجة) فتشغل (6.5 كم²) بنسبة (6.5%)، وهي مناطق ذات انحدارات متوسطة، يمكن استغلالها جزئيًا إذا ما توفرت حلول إنشائية مناسبة، لكنها ليست الخيار الأول للتوسع العمراني. في حين تمثل فئة متوسط الشدة (13.1–20 درجة) مساحة (3.6 كم²) بنسبة (3.6%)، وهذه أراضٍ ذات طبيعة وعرة، تزيد فيها مشاكل الاستقرار وتقل ملاءمتها للاستعمال السكني أو العمراني. وأخيرًا، تغطي فئة شديد جدًا (أكثر من 20 درجة) مساحة (2.9 كم²) بنسبة (2.9%)، وهي مناطق شديدة الانحدار لا تصلح للتوسع الحضري، وتبقى خارج حدود الاستخدام السكني الآمن.

وتوضح الخريطة أن الأراضي المنبسطة تتركز في وسط وجنوب منطقة الدراسة بمحاذاة نهر أق صو، مما يجعلها مجالًا مفضلًا للنمو العمراني، بينما تتركز الانحدارات الشديدة والمتوسطة على الأطراف الشرقية والشمالية الشرقية (باتجاه سلسلة تلال حمرين)، وهو ما يشكل حاجزًا طبيعياً أمام التوسع باتجاه هذه الجهات.

**جدول (3) أصناف ودرجات الانحدار بحسب نظام ITC لمنطقة الدراسة**

| ت | درجة الانحدار | الوصف | المساحة/كم2 | النسبة % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 -2 | منبسط | 71.6 | 71.5 |
| 2 | 2.1 - 7 | انحدار خفيف | 15.6 | 15.5 |
| 3 | 7.1 - 13 | منحدر | 6.5 | 6.5 |
| 4 | 13.1 - 20 | متوسط الشدة | 3.6 | 3.6 |
| 5 | 20.1اكثر من | شديد جداً | 2.9 | 2.9 |
| | المجموع | | 100.2 | 100.0 |

المصدر: اعتماداً على خريطة (4).

**سابعاً. المحددات والمقومات الأرضية للتوسع الحضري:**

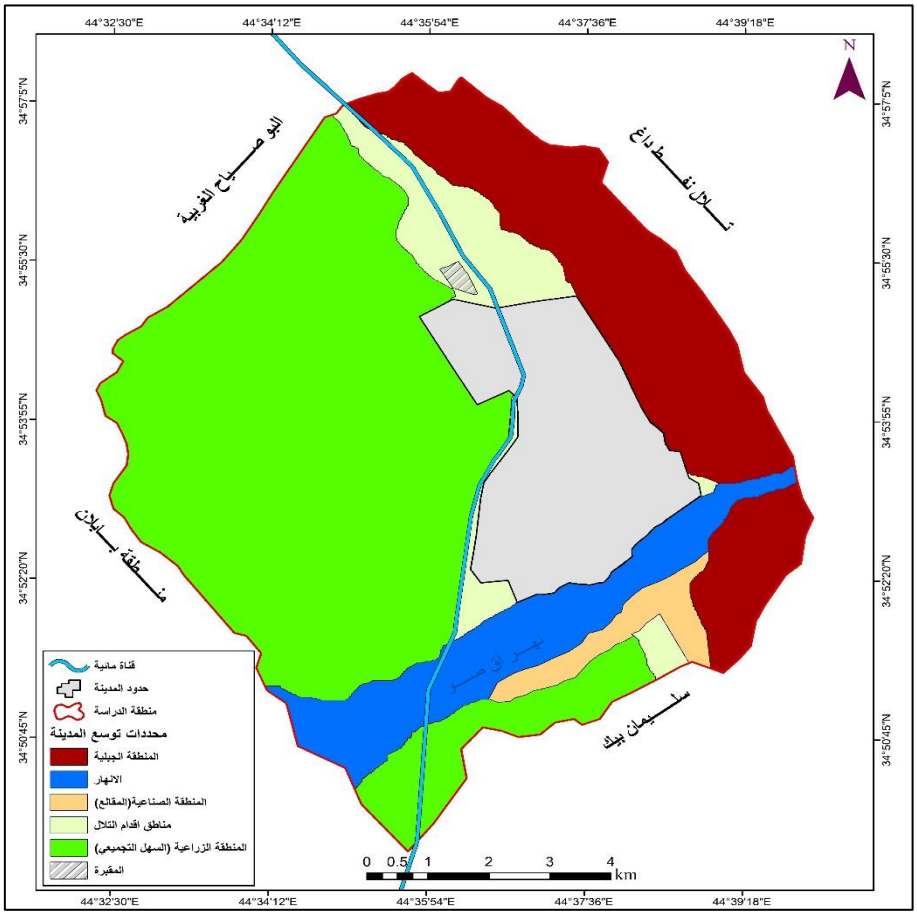
تُعد المحددات والمقومات الأرضية من أبرز العوامل التي توجه التوسع الحضري وتحدد مساراته الممكنة والممنوعة. فالمظاهر التضريسية (التلال والجبال) والمائية (الأنهار) والعمرانية (المقالع والمناطق الصناعية) وحتى الاستعمالات الخاصة (المقابر) جميعها تشكل قيودًا أو محددات تحد من الامتداد الأفقي للمدينة، بينما تُعد بعض الوحدات كالأراضي الزراعية والسهول التجميعية مقومات يمكن أن تستقطب النمو العمراني إذا أُعيد تنظيم

استعمالها. هذه المحددات والمقومات تحدد بشكل مباشر اتجاهات نمو مدينة طوزخورماتو وتوزيع أنماط الاستيطان فيها.

تبين الخريطة (5) والجدول (4) أن المناطق الزراعية (السهل التجميعي) تستحوذ على أكبر مساحة (48.2 كم²) بنسبة (48.1%)، وهي في الأصل من أهم المقومات الطبوغرافية للتوسع الحضري بحكم استوائها وقابليتها للبناء، إلا أن استعمالها الحالي كأراضٍ زراعية غير مخططة ضمن التصميم الأساسي جعل أي توسع فيها يتجه نحو العشوائية.

أما مناطق أقدام التلال فتشغل (21.1 كم²) بنسبة (21.1%)، وهي مناطق انتقالية بين السهل والتلال، يمكن أن تستقطب توسعًا محدودًا، لكنها تظل أقل ملاءمة من السهل التجميعي بسبب تضاريسها المتباينة. في المقابل، تشكل المناطق الجبلية حاجزًا تضريسيًا بمساحة (19.5 كم²) بنسبة (19.5%)، وهي تمنع التوسع نحو الشمال والشرق بشكل خاص، حيث تمثل عائقًا طبيعيًا يصعب تجاوزه.

**خريطة (5) المحددات والمقومات الأرضية لتوسع مدينة طوزخورماتو**




المصدر: اعتماداً على مرئية كوك بيرد ذي الدقة التمييزية 0.6م، باستخدام برنامج ARC MAP10.8.

وتشغل الأنهار (نهر أق صو وفروعه) مساحة (8.8 كم²) بنسبة (8.8%)، وهي محدد مائي طبيعي يمنع التوسع شرقًا، كما يفرض على المدينة النمو بمحاذاته لا عبوره. بينما تغطي المقالع/المنطقة الصناعية مساحة (2.4 كم²) بنسبة (2.4%)، وهي محدد بشري – صناعي يعطل إمكانية الاستيطان الحضري المباشر بسبب طبيعتها الاستغلالية وتلوثها البيئي.

أما المقبرة فتمثل محددًا اجتماعيًا خاصًا بمساحة صغيرة (0.2 كم²) بنسبة (0.2%)، ورغم أنها لا تشكل عائقًا طبيعيًا، إلا أنها تفرض قيدًا عرفيًا واجتماعيًا، يمكن تجاوزه أو إعادة توظيفه على المدى البعيد بخلاف العوائق الطبيعية الصلبة.

يتضح أن التوسع الحضري في مدينة طوزخورماتو محكوم بعدة محددات طبيعية وبشرية، حيث تمنع الجبال من الشمال والشرق ونهر أق صو من الشرق، والمقالع من بعض الجهات، إضافة إلى الأراضي الزراعية غير المخططة في الجنوب. هذه العوامل مجتمعة جعلت الاتجاه الأكثر انفتاحًا للتوسع هو الجهة الغربية بمحاذاة الطريق الرئيس الرابط مع مدينة كركوك، وهو المجال الذي يمثل الخيار الأمثل للتوسع المستقبلي.

**جدول (4) أصناف ومساحة المحددات والمقومات الارضية للتوسع الحضري في منطقة الدراسة**

| ت | نوع المحدد | المساحة/كم2 | النسبة% |
|---|---|---|---|
| 1 | المنطقة الجبلية | 19.5 | 19.5 |
| 2 | الانهار | 8.8 | 8.8 |
| 3 | المنطقة الصناعية (المقالع) | 2.4 | 2.4 |
| 4 | مناطق اقدام التلال | 21.1 | 21.1 |
| 5 | منطقة زراعية (السهل التجميعي) | 48.2 | 48.1 |
| 6 | المقبرة | 0.2 | 0.2 |
| | | 100.2 | 100.0 |

المصدر: اعتماداً على خريطة (5).

ثامناً. تغير المدينة بين عامي 1997–2024 وفق الخصائص الجيومورفولوجية:

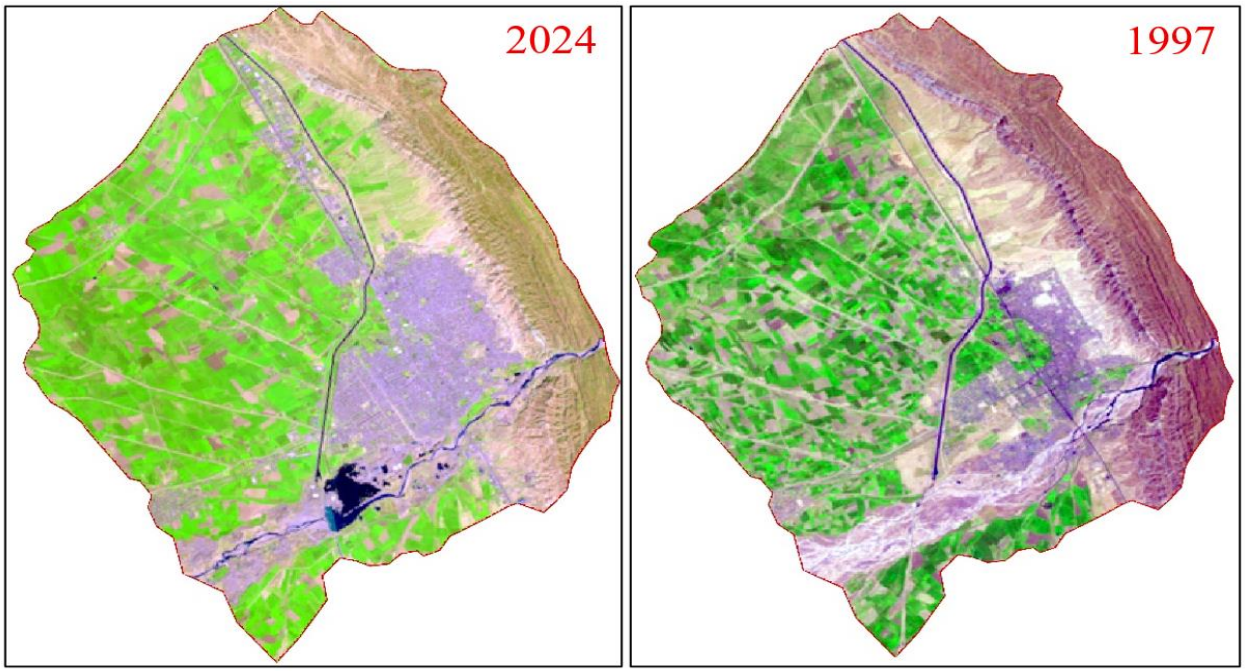
يمثل تحليل التغيرات المكانية للمدينة بين عامي 1997 و2024 أحد المؤشرات الجوهرية لفهم ديناميكية التحول في الاستعمالات الأرضية وعلاقتها بالخصائص الجيومورفولوجية. ويُعد التوسع الحضري، بما يتضمنه من أنشطة إنشائية وصناعية، أبرز العوامل الضاغطة على البيئة الطبيعية، إذ غالباً ما يتم على حساب الأراضي الزراعية والموارد المائية.

وتم استخدام معادلة نسبة التغير لتوضيح الفروق بالتغيرات للاستعمالات الأرضية والموضحة صيغتها كالاتي: **نسبة التغير: (العزاوي، 2010، 115)**

$$\text{نسبة التغير} = \frac{\text{قيمة السنة اللاحقة} - \text{قيمة السنة الأساس}}{\text{قيمة السنة الأساس}} \times 100$$

من خلال المقارنة مرئيات عامي (1997) و(2024) في الشكل (1) وخريطة (6)و(7) مع جدول (5) يتضح أن النمط المكاني للمدينة قد شهد تحولات واضحة، إذ ارتفعت مساحة الاستعمال الحضري والمقالع من (4.1 كم²) سنة (1997) إلى (11.9 كم²) سنة (2024) بنسبة تغير بلغت (190.2%). وقد جرى دمج المقالع مع الاستعمال الحضري لكونهما يمتلكان انعكاسية طيفية متشابهة في المرئيات الفضائية يصعب معها الفصل الدقيق بينهما. ويُلاحظ أن هذا التوسع الحضري يتجه أساساً نحو الأجزاء الوسطى والجنوبية الشرقية من منطقة الدراسة، حيث تركز الامتداد العمراني في مساحات كانت في السابق ذات طابع زراعي.

**شكل (1) مرئيات لاندسات لمنطقة الدراسة لعام 1997، 2024**



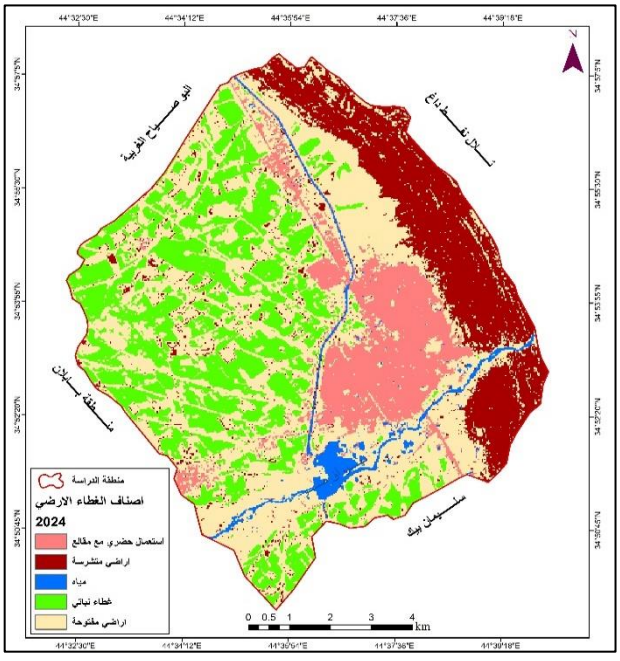

المصدر اعتماداً على مرئيات لاندسات5 بتاريخ 1997/4/5، ومرئية لاندسات8 بتاريخ 2024/4/7.

يقابل ذلك تراجع واضح في الأراضي الزراعية التي انخفضت من (33.2 كم²) إلى (24.6 كم²) بمعدل تغير بلغ (-25.9%)، وهو ما يعكس أثر التوسع العمراني المباشر على

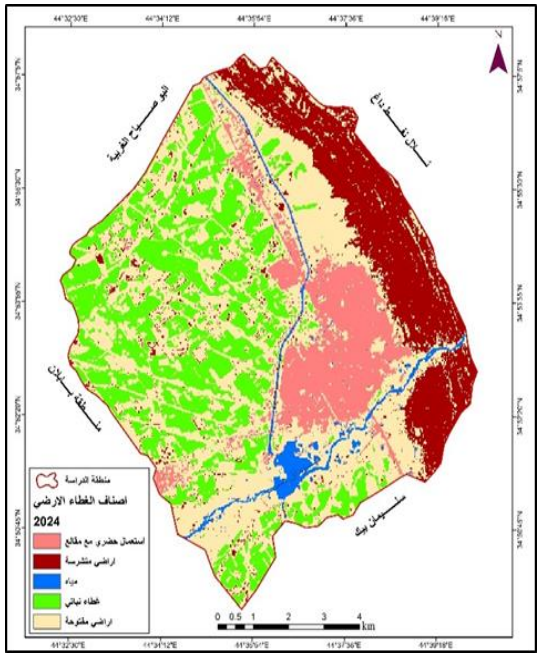
النشاط الزراعي. أما الأراضي المفتوحة* فقد بقيت شبه مستقرة مع زيادة طفيفة جداً من (43.3 كم²) إلى (43.6 كم²) بمعدل تغير بلغ (0.7%)، في حين حافظت الأراضي المتضرسة على مساحاتها تقريباً مع انخفاض محدود من (18.5 كم²) إلى (17.6 كم²) وبنسبة تغير بلغت (−4.9%). وبالمقابل، ارتفعت مساحة المسطحات المائية من (1.1 كم²) إلى (2.5 كم²) بمعدل تغير بلغ (127.3%)، الأمر الذي قد يرتبط بزيادة في إنشاء أو توسع خزانات مائية أو نشاطات مرتبطة بالري.

بصورة عامة، تعكس الخرائط والجدول معاً أن التوسع الحضري لم يتوزع بشكل عشوائي، بل اتجه بشكل ملحوظ نحو مناطق السهل الزراعي في الوسط والجنوب الشرقي، مستفيداً من سهولة التضاريس وقربها من شبكات النقل، على حساب الأراضي الزراعية المنتجة. بينما بقيت المناطق المتضرسة والحدودية في الشرق والشمال الشرقي ذات تأثير محدود في الاستعمالات البشرية، وهو ما يشير إلى أن العامل الجيومورفولوجي كان محدداً رئيسياً في اتجاهات التوسع ومناطقه.

خريطة (6) أصناف الغطاء الأرضي لعام 1997




خريطة (7) أصناف الغطاء الأرضي لعام 2024




المصدر/ اعتمادا على المرئية الفضائية لاندسات 5 بتاريخ 1997/4/5 و لاندسات 8 بتاريخ 2024/4/7

* الأراضي المفتوحة هي مساحات طبيعية غير مستغلة عمرانياً أو زراعياً، تغطيها نباتات برية أو أعشاب متناثرة بغطاء نباتي ضعيف، وتُعد مناطق شبه عارية قابلة للاستعمال المستقبلي وفق الظروف التخطيطية والبيئية.

جدول (5) مساحة الغطاء الارضي للأعوام (1997–2024) في منطقة الدراسة

| ت | الصنف بالعربي | 1997 | | 2024 | | نسبة التغير% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | المساحة/كم$^2$ | النسبة% | المساحة/كم$^2$ | النسبة% | |
| 1 | استعمال حضري مع المقالع | 4.1 | 4.1 | 11.9 | 11.9 | 190.2 |
| 2 | أراضي متضرسة | 18.5 | 18.5 | 17.6 | 17.6 | 4.9- |
| 3 | مياه | 1.1 | 1.1 | 2.5 | 2.5 | 127.3 |
| 4 | أراضي زراعية | 33.2 | 33.1 | 24.6 | 24.6 | 25.9- |
| 5 | أراضي مفتوحة | 43.3 | 43.2 | 43.6 | 43.5 | 0.7 |
| مجموع | | 100.2 | 100.0 | 100.2 | 100.0 | |

المصدر: اعتماداً على الخريطتين 6 و7، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

**تاسعاً. التنبؤ بتوسع المدينة وفق انموذج CA–Markov لعام 2051:**

يُعد الغطاء الأرضي عنصراً محورياً في المنظومة البيئية، لكونه يمثل انعكاساً مباشراً للتفاعل المستمر بين المحددات الطبيعية (الجيومورفولوجية، المناخية، والهيدرولوجية) وبين النشاط البشري بمختلف أشكاله. ومع تزايد الضغوط العمرانية وتنوع أنماط استخدام الأرض، بات من الضروري اعتماد أدوات كمية قادرة على تحليل الواقع القائم والتنبؤ بالتحولات المستقبلية لضمان إدارة رشيدة للموارد الطبيعية وتحقيق تنمية عمرانية مستدامة. وفي هذا الإطار، يبرز نموذج *CA–Markov* بوصفه أحد أكثر النماذج تقدماً في محاكاة التغيرات المكانية–الزمانية للغطاء الأرضي. إذ يجمع هذا النموذج بين القدرة الاحتمالية لسلاسل ماركوف في تحديد احتمالات الانتقال بين الفئات الأرضية المختلفة، وبين قوة التحليل المكاني للخلايا الخلوية الذاتية التي تراعي أثر الجوار المكاني في تطور هذه التغيرات.(Mondal1,2020, 715)

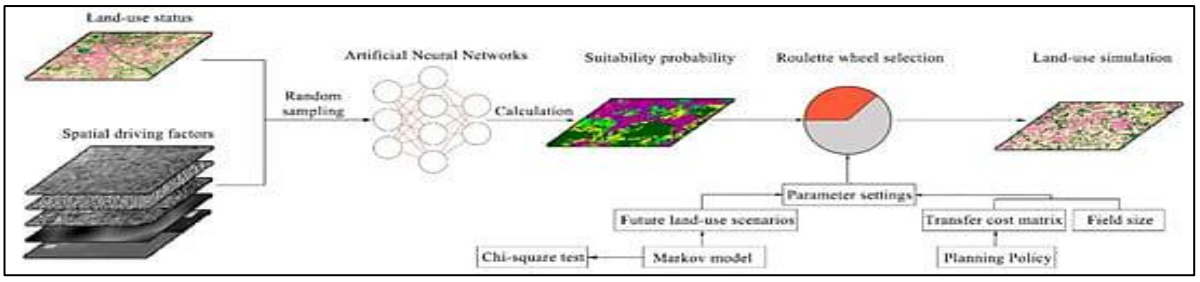
وتزداد فعالية هذا النموذج عند دمجه مع تقنيات الشبكات العصبية الاصطناعية (*Neural Networks*)، حيث تتيح خاصية "التعلم الآلي" التعامل مع العلاقات المعقدة وغير الخطية بين عناصر البيئة، وبالتالي رفع دقة التنبؤات المستقبلية. فبينما تعتمد سلاسل ماركوف على البيانات التاريخية لاستقراء احتمالات التحول بين الفئات الأرضية (زراعية، حضرية، متضرسة، مياه، أراضٍ مفتوحة)، يقوم التحليل الخلوي الذاتي بمحاكاة هذه التحولات في البعدين المكاني والزماني. (Xin Chen, 2022, 4). ومن خلال تدريب الشبكة العصبية على بيانات سابقة (1997 و2024 في حالة هذه الدراسة)، يمكن تحديد الأنماط الحاكمة

لعلاقة التوسع الحضري مع الخصائص الجيومورفولوجية المحيطة، والتنبؤ بمسارات التغير المستقبلي للمدينة.

إن أهمية هذا المنهج لا تنبع فقط من قدرته على إعطاء صورة كمية دقيقة عن احتمالات التغير، بل من كونه أداة داعمة للتخطيط الحضري واتخاذ القرار. فهو يتيح للمخططين وصناع القرار إمكانية تقييم أثر التوسع العمراني على الموارد الزراعية والمائية، وتقدير المخاطر المترتبة على استمرار استنزاف الأراضي الزراعية أو التوسع باتجاه المناطق المتضررة غير الصالحة للاستيطان. كما يُسهم في صياغة بدائل مكانية للتوسع الحضري تتواءم مع الخصائص الجيومورفولوجية وتحد من التأثيرات البيئية السلبية.

وبذلك، فإن اعتماد نموذج *CA–Markov – Neural Networks* في هذه الدراسة لا يقتصر على التنبؤ الكمي بالتحولات بين عامي (1997) و(2024)، وإنما يمتد ليكشف عن العلاقة الجدلية بين التوسع الحضري والمحددات الجيومورفولوجية، بما يفتح آفاقاً أوسع لتخطيط مستدام يوازن بين متطلبات التنمية وحماية البيئة. (عجرمة، 2022، 104). وكما يتضح في الشكل (2)، فإن هذا المنهج يقدم إطاراً تحليلياً متكاملاً لدراسة التحولات المكانية وإدارتها بشكل أكثر فاعلية.

**شكل (2) المخطط الهيكلي لفكرة التنبؤ بتغير الغطاء الارضي**



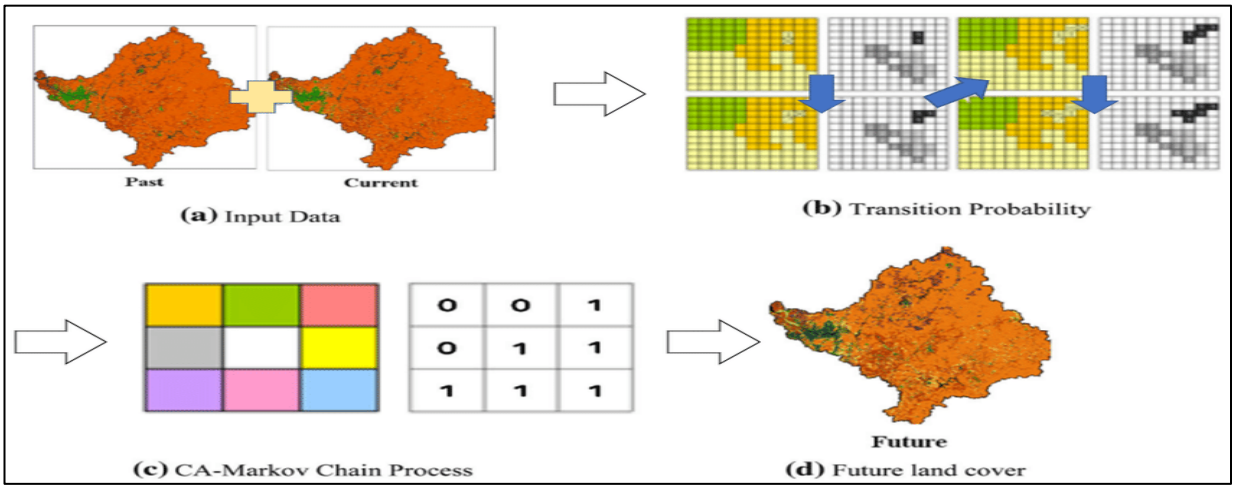

من عمل الباحث.

### 9-1. اليه اشتقاق الأتمتة الخلوية في برنامج Idrisi:

يعتمد هذا البحث على اختيار سنتين أساسيتين للمقارنة، حيث تمثل السنة الأولى (1997) سنة الأساس والأقدم في الدراسة، بينما تمثل السنة الثانية (2024) السنة الأحدث. ومن خلال المقارنة بين هاتين الفترتين الزمنيتين، يتم تحليل مخرجات التغيرات المكانية لاستعمالات الأرض تمهيداً للتنبؤ بالوضع المستقبلي حتى عام (2051). بفترات متساوية لمدة (27) عاماً ويجري ذلك بالاعتماد على خوارزمية رياضية مستندة إلى معادلات اقترحها العالم ماركوف

وطُورت لاحقاً، إذ تشكل هذه الخوارزمية الأساس في منهجية التنبؤ، كما هو موضح في الشكل.(3)

**شكل (3) فكرة معالجة المرئيات الفضائية للتنبؤ المستقبلي وفق انموذج ماركوف**

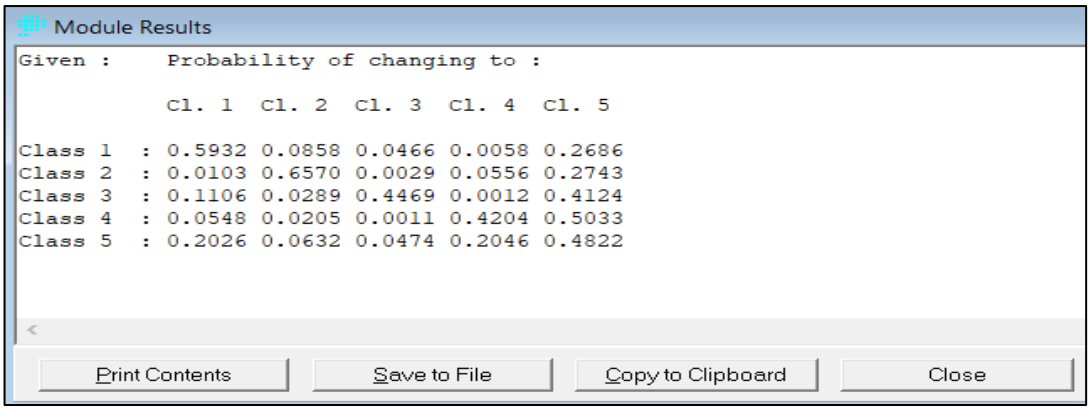



.https://2u.pw/uYvCOzzS

- بعد الانتهاء من معالجة المرئيات الفضائية وإجراء التصنيف المبدئي لأنماط الغطاء الأرضي باستخدام برنامج **ArcGIS**، تبدأ سلسلة من الإجراءات التقنية التي تهدف إلى ضمان دقة التحليل وإعداد البيانات بصيغة ملائمة للنمذجة المستقبلية. ففي المرحلة الأولى، يُنفذ التصنيف لكل سنة على حدة، الأمر الذي يسمح بتحديد الأنماط المكانية ومتابعة التغيرات التي طرأت عليها زمنياً. يلي ذلك إجراء **إعادة التصنيف (Reclassification)** بغية توحيد الفئات وتقليل الأخطاء التصنيفية المحتملة، والتي قد تنعكس سلباً على موثوقية النتائج النهائية (جاسم، 2025، 227).
- وبعد استكمال إعادة التصنيف، تُحوّل الطبقات الناتجة إلى صيغة نصية (Text) باستخدام أداة **Raster to ASCII** المتاحة في برنامج ArcGIS ، حيث يتيح هذا التحويل تمثيلاً رقمياً للقيم الخلوية في صورة شبكة نصية. وتكمن أهمية هذه الخطوة في أنها تجعل البيانات أكثر مرونة للاستخدام داخل بيئات برمجية أخرى مثل **IDRISI** أو نماذج المحاكاة المتقدمة كـ **CA–Markov.** إذ تُسهل صيغة (ASCII) عمليات الدمج والتحليل الإحصائي، وتمثل قاعدة بيانات معيارية يمكن إدخالها إلى النماذج الحاسوبية المتخصصة في تحليل ديناميكية التغيرات المكانية. ( Weng, 2022, 273).

- ولا يقتصر دور هذه الخطوات على الإعداد الفني فحسب، بل إنها تُشكل الأساس لعملية التنبؤ المستقبلي، حيث يُمكن من خلالها محاكاة التغيرات المتوقعة في الغطاء الأرضي ورصد الأنماط المكانية لانتشار التوسع الحضري أو تراجع الأنشطة الزراعية. وبالتالي، فإن تحويل البيانات إلى صيغة معيارية قابلة للمعالجة يُعد خطوة جوهرية لضمان دقة التنبؤات وموثوقية السيناريوهات المستقبلية التي يهدف إليها البحث.
- فتح برنامج IDRISI واستيراد الطبقات في النقطة أعلاه.
- بعد الانتقال إلى بيئة النمذجة (Modeling Environment) واختيار خيار المحاكاة (Simulation)ثم الدخول إلى نموذج **Markov**، تُعرض النتائج على هيئة تقرير إحصائي يتضمن قيم احتمالية التحول لكل فئة من فئات الغطاء الأرضي. وتعكس هذه القيم درجة الاستقرار أو التغير المحتمل، إذ كلما اقتربت النتيجة من (0) دلّ ذلك على انخفاض احتمالية التغير، في حين يشير الاقتراب من (1) إلى ارتفاع احتمالية التحول إلى صنف آخر. وبذلك، تشكل هذه النتائج الأساس الكمي لفهم ديناميكية التغيرات المكانية عبر الزمن. وكما في الشكل (4).

**شكل (4) مصفوفة قيم Markov لمنطقة الدراسة**




المصدر: اعتماداً على تطبيق انموذج Markov في برنامج الادريسي.

- وبعد استكمال جميع مراحل معالجة المرئيات الفضائية وتصنيف أنماط الغطاء الأرضي وإعدادها بصيغة قابلة للنمذجة، تصبح قواعد البيانات جاهزة لتطبيق نموذج الأتمتة الخلوية-ماركوف (CA–Markov). ويقوم هذا النموذج على دمج قدرات سلاسل ماركوف في حساب احتمالات انتقال الفئات الأرضية استناداً إلى البيانات

التاريخية، مع إمكانيات التحليل الخلوي الذاتي (Cellular Automata) الذي يحاكي تأثير التجاور المكاني والبعد الزمني في ديناميكية التغير. (Mondal, 2020, 1585). إن هذا التكامل بين التحليل الاحتمالي والمكاني يوفر أداة متقدمة لإنتاج خرائط تنبؤية تعكس السيناريوهات المستقبلية المحتملة للغطاء الأرضي، سواء على مستوى التوسع الحضري أو تراجع الأراضي الزراعية أو تغير المسطحات المائية.

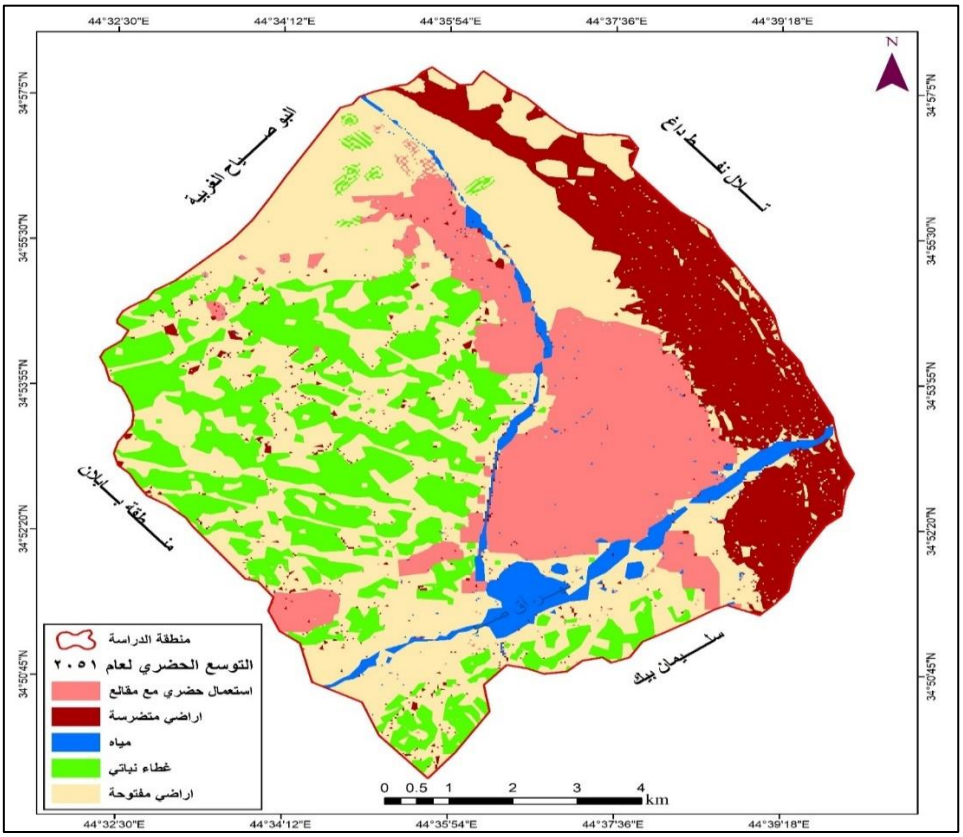
- ويُعد اعتماد هذا النموذج ذا قيمة تطبيقية عالية في مجال التخطيط الحضري والإدارة البيئية، إذ يمنح صانع القرار قاعدة معرفية دقيقة تساعده على استشراف المستقبل ووضع سياسات مستدامة في إدارة الموارد الطبيعية، والحد من الآثار السلبية للتوسع العمراني غير المنظم.
- عقب الانتهاء من التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في الغطاء الأرضي باستخدام (أنموذج الأتمتة الخلوية لماركوف (CA_MARKOV))، يتم استخراج النتائج النهائية التي تعكس التغيرات المتوقعة خلال الفترات الزمنية المدروسة. بعد ذلك، تُصدر هذه النتائج إلى برنامج ARC GIS بهدف معالجتها بصريًا وتحويلها إلى خرائط متكاملة تتماشى مع العناصر. تساعد هذه المرحلة في تعزيز وضوح النتائج، مما يسهل تحليلها والاستفادة منها من قبل الباحثين والمخططين ومتخذي القرار. من خلال ARC GIS، يمكن تنفيذ عمليات إضافية، مثل ضبط الألوان والرموز لتوضيح الفئات المختلفة للغطاء الأرضي، وإضافة بيانات وصفية تدعم فهم التغيرات، بالإضافة إلى إنشاء خرائط مقارنة بين الأوضاع السابقة والمتوقعة. كما تتيح هذه الخرائط دعم عمليات التخطيط العمراني وإدارة الموارد الطبيعية بفعالية، من خلال تقديم تصور مكاني دقيق يساهم في توجيه القرارات المستقبلية المتعلقة بالاستخدام المستدام للأراضي. (Zhang, 2017, 277).

عاشراً. عرض النتائج ومناقشتها:

من خلال تحليل الخريطة (8) والجدول (6) يتضح أن التوسع الحضري يتجه نحو المناطق السهلية والانبساطية ذات الانحدارات الضعيفة، حيث سهولة البناء ووفرة الأراضي الزراعية التي تتحول تدريجياً إلى فضاءات عمرانية. في حين بقيت المناطق المتضرسة والجبلية محدودة التغير بسبب طبيعتها الجيومورفولوجية غير الملائمة. وهذا يُظهر أن العامل

الجيومورفولوجي يعد محدداً أساسياً لاتجاهات التوسع، حيث يقود الامتداد العمراني إلى استهلاك الأراضي الزراعية في السهول أكثر من توجهه إلى المرتفعات.

**خريطة (8) التنبؤ بتغير مدينة طوزخورماتو لعام 2051**




المصدر: اعتماداً على تطبيق انموذج CA Markov.

**جدول (6) مساحة الغطاء الأرضي للأعوام (2024–2051) في منطقة الدراسة**

| ت | الصنف بالعربي | 2024 | | 2051 | | نسبة التغير% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | المساحة/كم$^2$ | النسبة% | المساحة/كم$^2$ | النسبة% | |
| 1 | استعمال حضري مع المقالع | 11.9 | 11.9 | 18.5 | 18.5 | 55.5 |
| 2 | أراضي متضرسة | 17.6 | 17.6 | 15.5 | 15.5 | -11.9 |
| 3 | مياه | 2.5 | 2.5 | 3.9 | 3.9 | 56.0 |
| 4 | أراضي زراعية | 24.6 | 24.6 | 20.0 | 20.0 | -18.7 |
| 5 | أراضي مفتوحة | 43.6 | 43.5 | 42.3 | 42.2 | -3.0 |
| مجموع | | 100.2 | 100 | 100.2 | 100 | - |

المصدر: اعتماداً على خريطة (8).

تشير نتائج المقارنة بين سنتي (2024) و(2051) إلى أن المنطقة ستشهد تحولات بارزة في استعمالات الأرض، حيث ارتفع الاستعمال الحضري مع المقالع من (11.9 كم$^2$) أي مـا

نسبته (11.9%) سنة (2024) إلى (18.5 كم²) بنسبة (18.5%) سنة (2051)، بمعدل تغير بلغ (55.5%). هذا النمو العمراني يعكس استمرار اندفاع التوسع باتجاه المناطق الوسطى والجنوبية الشرقية من منطقة الدراسة، وهو ما يرتبط بطبيعة السهول الانبساطية المنبسطة التي تُعد أكثر ملاءمة للنشاط البشري مقارنة بالمناطق المتضرسة.

في المقابل، شهدت الأراضي المتضرسة تراجعاً من (17.6 كم²) إلى (15.5 كم²) بمعدل تغير سلبي (−11.9%)، ما يعكس محدودية استغلال هذه المناطق بسبب خصائصها التضاريسية الصعبة، إذ تُشكل الانحدارات الحادة حاجزاً طبيعياً أمام الامتداد العمراني والزراعي. أما المسطحات المائية فقد ارتفعت من (2.5 كم²) إلى (3.9 كم²) بنسبة نمو (56.0%)، وهو مؤشر على احتمالية توسع الخزانات المائية أو ازدياد الاعتماد على الموارد السطحية، الأمر الذي قد يُعيد تشكيل التوازن بين الأنشطة الزراعية والحضرية في المستقبل. وعلى النقيض من ذلك، تراجعت الأراضي الزراعية بشكل ملحوظ من (24.6 كم²) إلى (20.0 كم²) بمعدل تغير (−18.7%)، وهو ما يعكس الضغوط المتزايدة التي يفرضها التوسع الحضري على الرقعة الزراعية الخصبة الواقعة ضمن السهول. ويُعد هذا التراجع مؤشراً خطيراً على استمرار فقدان الأراضي المنتجة، خصوصاً وأنها تُعد أكثر الفئات حساسية للتغيرات العمرانية. أما الأراضي المفتوحة فقد سجلت تراجعاً طفيفاً من (43.6 كم²) إلى (42.3 كم²) أي بمعدل (−3.0%)، وهو تغير محدود يعكس بقاء جزء كبير من هذه الأراضي دون استغلال مباشر، نظراً لوقوعها على هوامش التضاريس أو في مناطق أقل جاذبية للتوسع العمراني.

الاستنتاجات:

1. **توسع عمراني على حساب السهل التجميعي الزراعي** :اتجه التوسع الحضري لمدينة طوزخورماتو نحو مناطق السهل التجميعي المنبسطة، وهي في الأصل أراضٍ زراعية خصبة، ما يؤكد أن العامل الجيومورفولوجي (الانبساط وخصوبة التربة) كان عاملاً حاسماً في جذب الامتداد العمراني. فقد توسعت مساحة الاستعمال الحضري والمقالع من (4.1 كم²) عام (1997) إلى (11.9 كم²) عام (2024)، بمعدل زيادة بلغ (190.2%)، ومن المتوقع أن تبلغ (18.5 كم²) بحلول عام (2051)، أي بزيادة إضافية قدرها (55.5%) عن سنة 2024.

2. **الانحدار محدد أساسي للتوسع** :بيّنت النتائج أن أكثر من (70%) من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن الانحدارات المنبسطة (0–2 درجات)، ما جعلها بيئة مثالية للنمو العمراني، في حين شكّلت الانحدارات المتوسطة والشديدة عائقاً أمام التوسع، وهو ما يبرز أثر التضرس في صياغة المشهد الحضري.
3. **التلال والجبال حواجز طبيعية** :وجود التلال العالية وسلسلة تلال حمرين في الشمال والشرق شكّل عائقاً تضريسياً صلباً حال دون امتداد المدينة نحو تلك الاتجاهات، موجهاً التوسع إلى الجهات الوسطى والغربية الأكثر انفتاحاً.
4. **شبكات الأودية والمجاري المائية كمحدد جيومورفولوجي** :أوضحت الدراسة أن نهر أق صو والأودية الفرعية حدّت من الامتداد شرقاً، وجعلت النمو الحضري يسير بمحاذاة المجاري المائية بدلاً من تجاوزها، مما يعكس الدور التنظيمي للعناصر الهيدرومورفولوجية.
5. **التكوينات الجيولوجية والرسوبية** :أظهرت النتائج أن رواسب السهل الفيضي ورواسب ملء الأودية كانت الأكثر ملاءمة للتوسع بسبب طبيعتها المستوية، بينما حدّت الرواسب غير المستقرة (رواسب الجريان السطحي والمنحدرات) وتكوينات الفتحة وأنجانة من قابلية التوسع، وهو ما يبرز العلاقة المباشرة بين طبيعة التكوينات الجيومورفولوجية والامتداد الحضري.

**التوصيات:**

1. **حماية السهل التجميعي الزراعي** :ضرورة وضع سياسات صارمة تمنع تحويل الأراضي الزراعية الخصبة ضمن السهل التجميعي إلى استعمالات عمرانية غير مخططة، مع اعتماد برامج لإعادة تنظيم استعمال الأرض بما يضمن التوازن بين التوسع الحضري والأمن الغذائي.
2. **توجيه التوسع إلى الأراضي الأقل إنتاجية زراعياً** :اعتماد نتائج التحليل الجيومورفولوجي لتوجيه الامتداد العمراني نحو الأراضي المفتوحة أو الأقدام الهضبية ذات القابلية المحدودة للزراعة، لتقليل الضغط على الأراضي الزراعية ذات القيمة العالية.

3. **عدم البناء على المنحدرات الشديدة** :منع إقامة مشاريع عمرانية أو استيطانية في المناطق ذات الانحدار المتوسط والشديد (أكثر من 13 درجة)، لخطورتها الجيومورفولوجية وارتفاع تكاليف إنشائها، مع تخصيصها لاستخدامات بديلة (حماية بيئية أو غابات).
4. **استثمار الأودية والأنهار كممرات خضراء** :تحويل المجاري المائية والأودية إلى أشرطة خضراء ومناطق ارتفاق تمنع التوسع المباشر عليها، وتُستخدم كعناصر تنظيمية تحد من التوسع العشوائي وتقلل من مخاطر الفيضانات.
5. **دمج المؤشرات الجيومورفولوجية في التخطيط المستقبلي** :اعتماد النمذجة المكانية (CA–Markov)ومخرجاتها كأداة أساسية في تصميم المخططات الهيكلية المستقبلية للمدينة، بحيث يتم مراعاة الانحدار، الارتفاع، نوع التربة، والتكوينات الرسوبية عند تحديد اتجاهات النمو الحضري حتى عام 2051 وما بعده.

**قائمة المصادر**


1. Xin Chen, Xinyi He, and Siyuan Wang (2022): *Simulated Validation and Prediction of Land Use under Multiple Scenarios in Daxing District, Beijing, China, Based on GeoSOS-FLUS Model*, *Sustainability*, 14, 11428. https://doi.org/10.3390/su141811428
2. Md. Surabuddin Mondal, Nayan Sharma, Martin Kappas, and P. K. Garg (2020): *CA Markov Modeling of Land Use Land Cover Change Predictions and Effect of Numerical Iterations, Image Interval (Time Steps) on Prediction Results, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3, XXIV ISPRS Congress.
3. Mondal, M.S.; Sharma, N.; Kappas, M.; Garg, P.K. (2020): *Cellular Automata (CA) Contiguity Filters Impacts on CA Markov Modeling of Land Use Land Cover Change Predictions Results*, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
4. Weng, Q. (2002): *Land Use Change Analysis in the Zhujiang Delta of China Using Satellite Remote Sensing, GIS and Stochastic Modelling*, *Journal of Environmental Management*, 64.
5. Zhang, X.J.; Zhou, Q.G.; Wang, Z.L.; Wang, F.H. (2017): *Simulation and Prediction of Land Use Evolution in the Three Gorges Reservoir Area Based on MCE-CA-Markov*, *Journal of Agricultural Engineering*.

6. Hassan, Ahmed Khalil (2021): *The Impact of Geomorphological Factors on Population Distribution in Northern Iraq*, Master's Thesis, College of Arts, University of Mosul.
7. Al-Zubaidi, Abdul Amir Hassan (2014): *Spatial Analysis of the Distribution of Human Settlements in Duhok Governorate Using Geographic Information Systems*, *Basrah Journal of Arts*, No. 69.
8. Ajrama, Ashraf Abdu Ali, and Nermeen Ahmed Mohamed Khalil Shukri (2022): *Geographic Artificial Intelligence Methods in Geographic Information Systems and Remote Sensing between Theory and Application*, *Arab International Journal of Information and Data Technology*, Vol. 2, No. 2, April–June.
9. Al-Azzawi, Essam (2010): *Quantitative Analysis in Human Geography*, Dar Al-Shorouk, Amman.
10. Mohammed, Saad Mohammed Jassim (2025): *The Role of Cellular Automata in the Spatial Prediction of Land Cover Changes in the Abbasi Area Using the CA-Markov Model*, *Tikrit University Journal for*