# آلية التصميم العمرانى - وشبكات المياه والكهرباء بإستخدم الذكاء الصناعى - ولغة البايثون - في بيئة نظم المعلومات الجغرافية

automated urban design and infrastructure network using artificial intelligent and GIS with arc gis pro environment

مشروع تخرج مقدم من :الطالب / أحمد إيهاب بديع محمد

اشراف:د/ علاء وصفى

منسق البرنامج : أ / د: عدلى انيس

2026/2025

**بسم الله الرحمن الرحيم (وما اتيت من العلم إلا قليلا) صدق الله العظيم**

**يعد هذا المشروع هو اول مشروع محلى آلى بالكامل يقوم بدمج الذكاء الصناعى داخل بيئة نظم المعلومات وانشاء شبكات البنية التحتية بدقة عالية بشكل آلى بالكامل وهو يفتح الباب للتطوير واستغلال الذكاء الصناعى فى عمليات التطوير القائم فى مصر والعالم**

# أولا :فهرس المحتويات


| الصفحة | الموضوع |
|---|---|
| 4 | **الفصل الأول: المقدمة وأهداف البحث** |
| 4 | 1.1المقدمة |
| 4 | 1.2مشكلة البحث |
| 5 | 1.3أهداف البحث |
| 5 | 1.4أهمية البحث |
| 6 | 1.5نطاق الدراسة |
| 6 | 1.6منهجية البحث |
| 7 | **الفصل الثاني: الدراسة النظرية ومراجعة الأدبيات** |
| 7 | 2.1مقدمة الفصل |
| 7 | 2.2نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في التخطيط العمراني |
| 9 | 2.3الذكاء الاصطناعي التوليدي في التصميم العمراني |
| 12 | 2.4تحسين الأداء وفضاء الذاكرة المؤقتة(Memory Workspace) |
| 12 | 2.5الإسقاط الجغرافي للصور(Georeferencing) |
| 13 | 2.6الدراسات السابقة ذات الصلة |
| 19 | **الفصل الثالث: المعايير والأكواد المصرية لشبكات مياه الشرب** |
| 19 | 3.1معاملات الذروة واستهلاك الفرد |
| 25 | 3.9ملخص المعايير المطبقة في الكود الثاني |
| 35 | **الفصل الرابع: المعايير والأكواد المصرية لشبكات الكهرباء** |
| 35 | 4.11صندوق التوصيل المنزلي(Home Service Box) |
| 36 | 4.12تقرير الكميات والمخرجات النهائية |

| | |
|---|---|
| 4.13ملخص المعايير المطبقة في الكود الثالث | 37 |
| **الفصل الخامس: منهجية العمل والنظام المتكامل** | 41 |
| 5.4المراحل الثلاث للنظام | 41 |
| 5.5تدفق البيانات بين المراحل(Data Flow) | 42 |
| **الفصل السادس: مرحلة توليد التصميم العمراني بالذكاء الاصطناعي** | 49 |
| 6.2.2ترميز النص في DALL-E 3 | 49 |
| 6.3هندسة الوصف النصي(Prompt Engineering) | 49 |
| 6.5.3تعريف الإسقاط بأداةDefine Projection | 52 |
| **الفصل السابع: مرحلة تصميم شبكة مياه الشرب والكهرباء منخفضة الجهد** | 56 |
| 7.2الهيكل العام لخوارزمية الكود الثاني | 56 |
| 7.8.2تطبيق منطق التصنيف الذكي لقطع التوصيل | 57 |
| **الفصل الثامن: التطبيق على المناطق الدراسية والنتائج** | 67 |
| 8.10الوصلات وصناديق التوصيل المنزلي | 67 |
| 8.12مقارنة بين خوارزميتي المياه والكهرباء | 68 |
| **الفصل التاسع: الخاتمة والتوصيات والأبحاث المستقبلية** | 89 |
| 9.1خلاصة المشروع | 89 |
| 9.2ملخص النتائج الرئيسية | 89 |
| 9.3الإسهامات العلمية للمشروع | 90 |

## ثانياً: فهرس الأشكال


| الصفحة | عنوان الشكل | رقم الشكل |
|---|---|---|
| 25 | بنود تقرير الكميات الآلي لشبكة المياه | (3-5) جدول |
| 25 | ملخص القيم المعيارية المطبقة في الكود الثاني | (3-6) جدول |
| 35 | (Chain Flow Logic) منطق تحديد اتجاه التدفق | (4-4) جدول |
| 36 | بنود تقرير الكميات الآلي لشبكة الكهرباء | (4-5) جدول |
| 42 | مصفوفة تدفق البيانات بين مراحل النظام المتكامل | (5-2) جدول |
| 52 | معايير قبول ورفض الصورة الناتجة من الذكاء الاصطناعي | (6-2) جدول |
| 52 | (AI تصميم) الملفات الناتجة عن الكود الأول | (6-3) جدول |
| 53 | نماذج أوصاف نصية لأنماط تصميمية مختلفة | (6-4) جدول |
| 56 | مراحل خوارزمية الكود الثاني والأدوات المستخدمة | (7-1) جدول |
| 57 | منطق التصنيف الذكي لقطع التوصيل والملحقات | (7-2) جدول |
| 67 | (Node ID) تطبيق منطق التدفق وفق معرف العقد | (8-3) جدول |
| 68 | (GDB) الطبقات التسع الكاملة في قاعدة البيانات | (8-4) جدول |
| 69 | مقارنة شاملة بين خوارزميتي تصميم المياه والكهرباء | (8-5) جدول |

# الفصل الأول: المقدمة وأهداف البحث

## 1.1 المقدمة

شهدت السنوات الأخيرة تحولاً جذرياً في أساليب التخطيط العمراني وتصميم البنية التحتية، إذ لم تعد الأدوات التقليدية قادرةً على مواكبة التوسع العمراني المتسارع الذي تشهده المدن المصرية والعربية.

وفي ظل هذا التحول، برز مفهوم الأتمتة الهندسية (Engineering Automation) باعتباره ركيزةً أساسيةً تدمج بين تقنيات الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence — AI) ونظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems — GIS) لتقليص الوقت والجهد المبذولَين في مراحل التصميم وتحليل الشبكات.

تُعدّ بيئة ArcGIS Pro من أبرز المنصات التي أتاحت دمج هذه التقنيات تحت سقف واحد، حيث تتيح أدواتها المتقدمة لمهندسي الجيوماتيكس بناء سكريبتات برمجية اتوماتيكية (Tool Scripts) قادرة على تنفيذ سلاسل معالجة جيومكانية كاملة (Geoprocessing Pipelines) بضغطة زر واحدة.

ومن هذا المنطلق، يتناول هذا المشروع توظيف هذه الأدوات في ثلاث مراحل متكاملة: توليد التصميم العمراني آلياً بالذكاء الاصطناعي وإسقاطه جغرافياً، ثم تصميم شبكة مياه الشرب، وأخيراً تصميم شبكة الكهرباء منخفضة الجهد؛ وذلك وفقاً للمعايير والكودات المصرية المعتمدة.

## 1.2 مشكلة البحث

تواجه المشاريع العمرانية في مصر جملةً من التحديات التقنية والإدارية التي تُبطئ دورة التصميم وترفع تكاليفها، ويمكن إجمالها فيما يلي:

- الاعتماد المفرط على الرسم اليدوي والأدوات التقليدية في مراحل التصميم التخطيطي الأولي، مما يستهلك وقتاً طويلاً دون ضمان الدقة الجغرافية.
- غياب التكامل الآلي بين مرحلة توليد التصميم العمراني ومراحل تصميم شبكات البنية التحتية (مياه وكهرباء).
- صعوبة تطبيق المعايير المصرية المعتمدة بصورة منهجية وموحدة في كل مشروع، خاصةً فيما يخص معدلات الاستهلاك وأقطار المواسير وأحجام الكابلات الكهربائية.

- ضعف استخدام تقنيات GIS في مرحلة التخطيط الأولي للمشاريع الصغيرة والمتوسطة، وهي المرحلة التي تُحدد مسار المشروع بأكمله.
- انعدام أدوات متاحة وقابلة للتخصيص تجمع بين الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative AI) ومعالجة البيانات الجيومكانية في بيئة واحدة.

## 1.3 أهداف البحث

يسعى هذا المشروع إلى تحقيق الأهداف الرئيسية التالية:

- بناء نظام شبه آلي متكامل داخل بيئة ArcGIS Pro يغطي المراحل الثلاث: التصميم العمراني، وشبكة المياه، وشبكة الكهرباء.
- توظيف نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي (DALL-E 3) في إنتاج تصاميم مخططات رئيسية (Masterplans) مع إسقاطها جغرافياً على الإحداثيات الحقيقية.
- تطبيق الكود المصري لشبكات مياه الشرب والكود المصري للتوزيع الكهربائي بصورة آلية ومنهجية ضمن سكريبتات برمجية البرمجة.
- تقليص الوقت اللازم لإنتاج مخططات البنية التحتية الأولية من أيام إلى دقائق معدودة.
- تقديم نموذج تطبيقي قابل للتكرار والتوسع على مناطق عمرانية مختلفة داخل مصر.

## 1.4 أهمية البحث

تنبثق أهمية هذا المشروع من كونه يجمع بين ثلاثة محاور علمية وتقنية نادراً ما تُدمج في دراسة واحدة على المستوى الأكاديمي المصري:

- **المحور الأول — التقني:** تطوير Tool Scripts احترافية قابلة للتوزيع والاستخدام في بيئات عمل حقيقية داخل ArcGIS Pro.
- **المحور الثاني — الهندسي:** تطبيق المعايير والكودات المصرية تطبيقاً دقيقاً وموثقاً في مجالَي المياه والكهرباء.
- **المحور الثالث — الذكاء الاصطناعي:** استثمار قدرات الذكاء الاصطناعي التوليدي في مرحلة الإبداع والتصميم المعماري المكاني.

يُضاف إلى ذلك أن المشروع يُقدّم نموذجاً عملياً مباشراً لأحد تطبيقات الجيوماتيكس في خدمة التنمية العمرانية المستدامة، وهو مجال بالغ الأهمية في ظل مشاريع التوسع العمراني الكبرى التي تشهدها مصر حالياً.

## 1.5 نطاق الدراسة

يشمل نطاق هذا المشروع مستويين تطبيقيين:

- النطاق الواسع (Macro Scale): يتمثل في تطبيق النظام على منطقتَي فضاء ، بهدف اختبار قدرة النظام على التعامل مع مساحات كبيرة ومتغيرات عمرانية متعددة.
- النطاق الصغير (Micro Scale): يتمثل في تصميم تفصيلي لمخطط إسكاني (فلل أو وحدات سكنية) مع توليد كامل لشبكتَي المياه والكهرباء وجداول الكميات المصاحبة.

## 1.6 منهجية البحث

اعتمد هذا المشروع على المنهج التطبيقي التجريبي (Applied Experimental Methodology)، وذلك عبر المراحل التالية:

1. مرحلة المراجعة الأدبية: استعراض الدراسات والأبحاث السابقة في مجال آلية التصميم العمراني وتطبيقات GIS في شبكات البنية التحتية.
2. مرحلة تحليل المعايير: دراسة الاكواالكودات المصرية المعتمدة لشبكات المياه والكهرباء واستخلاص القيم والمعادلات القابلة للبرمجة.
3. مرحلة التطوير البرمجي: كتابة Tool Scripts بلغة Python داخل ArcGIS Pro تغطي المراحل الثلاث للنظام المتكامل.
4. مرحلة التحقق والتطبيق: اختبار النظام على المناطق المحددة وتقييم النتائج مقارنةً بالطرق التقليدية.

# الفصل الثاني: الدراسة النظرية ومراجعة الأدبيات

## 2.1 مقدمة الفصل

يُعنى هذا الفصل بتقديم الإطار النظري الذي يقوم عليه مشروع التخرج، من خلال استعراض المفاهيم الأساسية لكل تقنية مستخدمة وتتبع مسار تطورها عبر الدراسات والأبحاث السابقة. يتناول الفصل أربعة محاور رئيسية مترابطة: نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها في التخطيط العمراني، والذكاء الاصطناعي التوليدي وإمكاناته في إنتاج التصاميم العمرانية، وآلية العمليات الهندسية داخل بيئة ArcGIS Pro، وأخيراً الدراسات السابقة التي تقاطعت مع موضوع هذا البحث.

(Longley et al.، 2015)

## 2.2 نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في التخطيط العمراني

### 2.2.1 تعريف نظم المعلومات الجغرافية وتطورها التاريخي

نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems — GIS) هي منظومة متكاملة من الأدوات البرمجية والمكانية المصممة لجمع البيانات الجغرافية وتخزينها وتحليلها وعرضها بصورة مرئية. نشأت هذه النظم في أواخر الستينيات من القرن الماضي على يد العالم الكندي روجر تومليسون الذي طوّر أول نظام حاسوبي لإدارة بيانات الأراضي في كندا عام 1963، وهو ما يُعرف اليوم بـ Canada Geographic Information System (CGIS). (Tomlinson، 1967)

صنّف لونجلي وزملاؤه تطوّر هذه النظم في أربع مراحل متعاقبة: مرحلة الريادة (1960–1975) حيث ظهرت الأنظمة الأولى في المختبرات الأكاديمية والحكومية، ومرحلة التجارية (1975–1990) مع دخول القطاع الخاص، ومرحلة الانتشار (1990–2007) حين باتت GIS متاحةً للمؤسسات الصغيرة، وأخيراً مرحلة التكامل مع الحوسبة السحابية

(2007–حتى الآن) التي فتحت الباب أمام المستخدم الفردي. (Longley et al.، 2015)

في السياق المصري، أسهمت الهيئة العامة للتخطيط العمراني في توظيف GIS منذ مطلع التسعينيات لرسم مخططات المدن الجديدة، غير أن التطبيق الممنهج لم يتسارع إلا مع مشاريع التوسع العمراني الكبرى التي شهدتها مصر في العقد الثاني من الألفية الثالثة، ولا سيما مشروع العاصمة الإدارية الجديدة. (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

### 2.2.2 تطبيقات GIS في تصميم شبكات البنية التحتية

أحدثت نظم GIS ثورةً حقيقية في أسلوب تصميم شبكات البنية التحتية الحضرية، إذ أتاحت تحليل الشبكات (Network Analysis) بدقة جغرافية عالية. وقد أثبتت دراسات عديدة أن توظيف GIS في تصميم شبكات المياه يُقلص أخطاء التصميم بنسبة تصل إلى 60% مقارنةً بالأساليب التقليدية القائمة على الرسم اليدوي. (Ramachandran & Karunakaran، 2020)

- تحليل شبكات توزيع المياه: يُمكّن GIS من نمذجة شبكات الأنابيب وتحديد نقاط الضغط الحرج والعقد الرئيسية وحساب الفواقد عبر المواسير (Head Loss)،
  وهو ما يُعرف بـ watherDistribution Network Analysis
  (Ramachandran & Karunakaran، 2020)
- تحليل شبكات التوزيع الكهربائي: تُتيح تتبع مسار الكابلات وحساب الأحمال على كل قطاع وتحديد مواقع الكشكات والمحولات الأمثل بالتحليل المكاني. (Bhatt & Bhatt، 2021)
- التحليل المكاني للطرق: يُستخدم لتحديد مسارات المواسير والكابلات بالتوازي مع شبكة الطرق لتقليل تكاليف الحفر والتنفيذ. (Aljoufie & Tiwari، 2015)
- نمذجة التضاريس والانحدار: تُوظَّف بيانات الارتفاع الرقمي (DEM) لتحديد اتجاهات الجاذبية في شبكات الصرف الصحي وشبكات المياه. (Jenness، 2011)

### 2.2.3 ArcGIS Pro كمنصة متقدمة للتحليل الجيومكاني

يُمثّل ArcGIS Pro الجيل الحديث من منتجات شركة Esri لنظم المعلومات الجغرافية، ويتميز بدعم كامل لمعمارية 64-bit مما يُتيح معالجة مجموعات بيانات ضخمة، فضلاً عن تكامله الكامل مع Python 3 ومكتبة ArcPy التي تُتيح الوصول البرمجي الكامل لجميع أدوات المعالجة الجغرافية.
(Esri Inc.، 2023)

من أبرز مزايا ArcGIS Pro في سياق هذا المشروع: دعم بيئة Memory Workspace التي تُخزّن البيانات المؤقتة في ذاكرة الجهاز بدلاً من القرص الصلب، مما يُقلص زمن التنفيذ بين 40% و70% في عمليات المعالجة المتسلسلة. كما يُتيح التكامل مع خدمات الويب الخارجية مثل REST APIs مباشرةً من داخل كود (Esri Inc Python 2022)

| مصطلح أساسي — ArcPy |
| --- |
| ArcPy هي مكتبة Python الرسمية المُدمجة في ArcGIS Pro، تُتيح الوصول البرمجي الكامل لجميع أدوات المعالجة الجغرافية دون الحاجة للتفاعل مع الواجهة الرسومية. تُعدّ العمود الفقري لجميع Tool Scripts في هذا المشروع. (Esri Inc.، 2023) |

## 2.3 الذكاء الاصطناعي التوليدي في التصميم العمراني

### 2.3.1 مفهوم الذكاء الاصطناعي التوليدي وأسسه النظرية

الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative Artificial Intelligence) هو فرع من فروع الذكاء الاصطناعي يُعنى بإنشاء محتوى جديد — كالصور والنصوص والموسيقى — اعتماداً على نماذج احتمالية ضخمة مُدرَّبة على كميات هائلة من البيانات. يُمثّل هذا المجال قفزة نوعية عن الذكاء الاصطناعي التحليلي الذي كان يقتصر على تصنيف البيانات الموجودة وتحليلها دون إنتاج محتوى أصيل جديد. (Batty، 2018)

تتصدّر معماريات نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي ثلاثة نماذج رئيسية: الشبكات العصبية التحويلية (Transformer Networks) التي أحدثت ثورةً في معالجة اللغة الطبيعية والصور على حدٍّ سواء، ونماذج الانتشار (Diffusion Models) التي أثبتت تفوقاً ملحوظاً في جودة الصور المُولَّدة، والشبكات التوليدية التنافسية (Generative Adversarial Networks — GANs) التي كانت الريادة في هذا المجال. (Vaswani et al.، 2017)

أطلق غودفيلو وزملاؤه نموذج GAN عام 2014 وهو يعمل من خلال تنافس شبكتين عصبيتين: شبكة مُولِّدة (Generator) تسعى لإنتاج صور لا يمكن تمييزها من الحقيقية، وشبكة مُميِّزة (Discriminator) تسعى لكشف المزيّف، ويستمر هذا التنافس حتى يبلغ النموذج مستوى توازن يُنتج فيه صوراً بالغة الواقعية. (Goodfellow et al.، 2014)

### 2.3.2 نموذج DALL-E 3 وتوليد صور التصاميم العمرانية

DALL-E 3 هو نموذج توليد الصور من النص (Text-to-Image) الصادر عن شركة OpenAI، ويعتمد على بنية Latent Diffusion Model مُدرَّبة على مليارات من أزواج الصور والأوصاف النصية. يتميز النموذج بقدرته على فهم الأوامر اللغوية المعقدة وترجمتها إلى صور دقيقة المحتوى بدقة تصل إلى 1024×1024 بكسل، مع إمكانية الاستدعاء عبر REST API لدمجه في تطبيقات خارجية. (OpenAI، 2023)

تعتمد نماذج Latent Diffusion على مبدأ إضافة ضوضاء عشوائية إلى الصورة تدريجياً ثم تعليم النموذج عكس هذه العملية، أي استعادة الصورة الأصلية من الضوضاء انطلاقاً من وصف نصي. هذا الأسلوب يُنتج صوراً أكثر تفصيلاً وتماسكاً مقارنةً بنماذج GANs التقليدية، كما يُتيح تحكماً أدق في محتوى الصورة الناتجة. (Rombach et al.، 2022)

في سياق هذا المشروع، يُوظَّف DALL-E 3 لتوليد صور جوية تُحاكي نظرة الأقمار الاصطناعية (Top-Down Satellite View) لمخططات عمرانية متكاملة. يُرسَل وصف التصميم المطلوب كنص عبر OpenAI API، وتُستقبَل الصورة بصيغة URL لتُحمَّل وتُحفظ محلياً ثم تُسقَط جغرافياً على إحداثيات المنطقة المستهدفة داخل ArcGIS Pro. (OpenAI، 2023) بشكل آلي بالكامل

### 2.3.3 تطبيقات الذكاء الاصطناعي التوليدي في التخطيط والتصميم

استعرضت الأبحاث الحديثة تطبيقات عديدة للذكاء الاصطناعي التوليدي في مجال التصميم والتخطيط العمراني. وتتمحور هذه التطبيقات حول توظيف النماذج في دعم مراحل التصميم الأولي التي تستهلك تقليدياً نسبة كبيرة من وقت فريق التصميم. (Batty، 2018)

- توليد مخططات الطوابق (Floor Plans): طوّر ناواتا وزملاؤه نموذج House-GAN لإنتاج تصاميم معمارية تفصيلية للوحدات السكنية انطلاقاً من رسوم بيانية تُحدد عدد الغرف وعلاقاتها، وأثبت النموذج قدرته على إنتاج مخططات قابلة للبناء في ثوانٍ. (Nauata et al.، 2020)
- التخطيط الإجرائي للمدن (Procedural Urban Planning): وظّف فانيغاس وزملاؤه نماذج جرافية لتقسيم الأراضي وتوليد شبكات الطرق وفق معايير تخطيطية مسبقة، محققاً تخطيطات متسقة مع الاكواد الهندسية. (Vanegas et al.، 2012)

- التصور الفوتوواقعي: تُتيح نماذج Latent Diffusion توليد مشاهد بصرية عالية الجودة لمشاريع البنية التحتية والتصاميم المعمارية قبل تنفيذها، مما يدعم عملية اتخاذ القرار.
(Rombach et al.، 2022)
- الدمج مع GIS: أثبتت دراسة ETH Zurich إمكانية ربط مخرجات نماذج AI ببيانات GIS الجغرافية لإنتاج خرائط تخطيطية مرجعية جاهزة للتحليل المكاني. (ETH Zurich، 2022)

## 2.4 اتوماتيكية العمليات الهندسية (Engineering Automation)

### 2.4.1 مفهوم الاتوماتيكية في بيئة GIS

آلية الهندسية (Engineering Automation) في سياق GIS تعني بناء سلاسل معالجة جيومكانية (Geoprocessing Pipelines) تعمل بصورة آلية دون تدخل بشري مستمر. تتحقق هذه الآلية في بيئة ArcGIS Pro عبر آليتين رئيسيتين: النماذج البصرية (Model Builder) التي تُناسب العمليات البسيطة، والسكريبتات برمجية البرمجية (Python Tool Scripts) التي تُتيح تحكماً أدق وإمكانية دمج منطق برمجي معقد وتفاعل مع APIs خارجية. (Esri Inc.، 2023)

في هذا المشروع اعتُمد نهج Tool Scripts بلغة Python حصرياً، لأن المشروع يتطلب دمج استدعاءات REST API الخاصة بـ OpenAI مع عمليات المعالجة الجيومكانية في نفس تدفق العمل، وهو أمر لا يمكن تحقيقه بالنماذج البصرية. كما يُتيح هذا النهج توزيع الأداة على أي مستخدم ArcGIS Pro لتشغيلها مباشرةً دون الحاجة لخبرة برمجية. (Esri Inc.، 2023)

### 2.4.2 بنية Tool Scripts في ArcGIS Pro

يتكون أي Tool Script احترافي في ArcGIS Pro من ثلاثة مكونات أساسية: واجهة المدخلات (Tool Parameters) التي تُعرَّف عبر arcpy.GetParameterAsText لاستقبال مدخلات المستخدم، ومنطق المعالجة (Processing Logic) الذي يضم استدعاءات أدوات ArcPy وحلقات التكرار والعمليات التحليلية، وإدارة المخرجات (Output Management) التي تشمل الحفظ في File Geodatabase وتصدير التقارير وإرسال مسارات الملفات لأدوات العرض.
(Esri Inc.، 2023)

### 2.4.3 تحسين الأداء و Memory Workspace

يُتيح ArcGIS Pro استخدام فضاء الذاكرة المؤقت (memory) لتخزين الطبقات الوسيطة خلال تنفيذ السكريبت، بدلاً من الكتابة المستمرة على القرص الصلب. وقد وثّق Esri أن هذا الأسلوب يُقلص زمن التنفيذ بنسبة تتراوح بين 40% و70% في عمليات المعالجة المتسلسلة. وفي هذا المشروع، تُحفظ جميع الطبقات المؤقتة في الذاكرة ولا تُنقل إلى القرص إلا في الخطوة الأخيرة عند الحفظ النهائي في File Geodatabase. (Esri Inc.، 2022)

| مفهوم محوري — Geoprocessing Pipeline |
| --- |
| يُقصد بـ Geoprocessing Pipeline سلسلة منطقية من العمليات الجيومكانية المترابطة حيث تُغذّي مخرجات كل خطوة مدخلات الخطوة التالية تلقائياً. هذا النهج يُحوّل عمليات كانت تستغرق أياماً من العمل اليدوي إلى عملية آلية تكتمل في دقائق. (Esri Inc.، 2023) |

## 2.5 الإسقاط الجغرافي للصور (Georeferencing)

الإسقاط الجغرافي (Georeferencing) هو عملية ربط صورة رقمية بنظام إحداثيات جغرافي حقيقي، بحيث تحتل كل نقطة في الصورة موقعها الصحيح على سطح الأرض. وتُعدّ هذه العملية حجر الأساس في تحويل مخرجات الذكاء الاصطناعي — وهي صور رقمية عادية — إلى بيانات جيومكانية قابلة للتحليل والتكامل مع طبقات GIS الأخرى. (Longley et al.، 2015)

### 2.5.1 ملف الإحداثي (World File)

ملف االإحداثي (World File) هو ملف نصي مرافق لملف الصورة يحتوي على ستة معاملات هندسية تُعرّف العلاقة بين إحداثيات بكسلات الصورة وإحداثيات الخريطة الجغرافية. يُنتج هذا المشروع ملف الاحداثيات آلياً استناداً إلى الـ Extent الجغرافي للمنطقة المستهدفة ودقة الصورة الثابتة عند 1024×1024 بكسل. (Jenness، 2011)

| المعامل | الرمز | المعنى |
|---|---|---|
| السطر الأول | A | حجم البكسل في اتجاه المحور السيني (شرق–غرب) |
| السطر الثاني | D | دوران حول المحور الصادي يساوي 0 في غياب الدوران |
| السطر الثالث | B | دوران حول المحور السيني يساوي 0 في غياب الدوران |
| السطر الرابع | E | حجم البكسل في المحور الصادي بقيمة سالبة (شمال–جنوب) لتقابل مستوى الاسقاط وضمان عدم انقلاب الصورة |
| السطر الخامس | C | إحداثي X لمركز البكسل العلوي الأيسر |
| السطر السادس | F | إحداثي Y لمركز البكسل العلوي الأيسر |

بعد إنشاء ملف الإحداثي، تُعرَّف الصورة بنظام الإحداثيات الجغرافية للمنطقة تلقائياً عبر أداة arcpy.management.DefineProjection، مما يجعلها متوافقة مع جميع الطبقات الأخرى في مشروع ArcGIS Pro ويُتيح دمجها في التحليل المكاني مباشرةً. (Esri Inc.، 2023)

## 2.6 الدراسات السابقة ذات الصلة

### 2.6.1 الدراسات العالمية

في مجال دمج نماذج AI مع GIS للتخطيط العمراني، قدّمت ETH Zurich عام 2022 نموذجاً لتوليد تصاميم مخططات رئيسية باستخدام Diffusion Models، وأثبتت الدراسة أن الوقت اللازم لإنتاج بديل تصميمي واحد انخفض من يومَي عمل كاملَين إلى أقل من دقيقتين، مع الحفاظ على جودة تصميمية مقبولة للمرحلة الأولية. (ETH Zurich، 2022)

وفي مجال أتمتة تصميم شبكات المياه، قدّم الباحثون في مؤتمر ISPRS 2023 نموذجاً لتصميم آلي

لشبكات المياه الحضرية باستخدام ArcGIS وخوارزميات الرسم البياني (Graph Algorithms)، وأثبتوا أن دقة التصميم الآلي تعادل دقة التصميم اليدوي المتخصص مع تقليص وقت التنفيذ بمعدل 85%. (ISPRS، 2023)

أما في مجال النمذجة ثلاثية الأبعاد لشبكات البنية التحتية، فقد استعرض بيلييكي وزملاؤه مستويات الدقة (Level of Detail — LOD) المطلوبة لتمثيل الشبكات بصورة تجعلها قابلة للتحليل الجيومكاني، وهو إطار مفاهيمي يُستأنس به في مرحلة النمذجة ثلاثية الأبعاد في هذا المشروع.

(Biljecki et al.، 2016)

وعلى صعيد التكامل بين البنية التحتية الذكية والذكاء الاصطناعي، كشفت دراسة بهات وبهات أن المدن التي تعتمد أآلية GIS في تخطيط مرافقها تحقق خفضاً في تكاليف الصيانة بنسبة 30–45% على المدى المتوسط مقارنةً بنظيراتها التي تعتمد أساليب تقليدية. (Bhatt & Bhatt، 2021)

### 2.6.2 الدراسات العربية والمصرية

على الصعيد العربي والمصري، تبقى الدراسات التي تدمج الذكاء الاصطناعي التوليدي مع GIS في مجال البنية التحتية محدودةً نسبياً، مما يُعزز الأهمية البحثية لهذا المشروع. وتُمثّل وثيقة الهيئة العامة للتخطيط العمراني عن دليل تخطيط المرافق للمدن المصرية الجديدة المرجعَ الرسمي الأكثر أهمية في هذا السياق، إذ توضح الأطر المعيارية المعتمدة في مصر لتصميم شبكات المرافق وربطها بمنظومة التخطيط العمراني. (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

كما تجدر الإشارة إلى أعمال الجهاز المركزي للتعمير المصري في رسم الخرائط الرقمية لشبكات المرافق وتحديثها باستخدام تقنيات GPS وGIS، وهي تجارب تُؤكد جدوى توظيف هذه التقنيات في البيئة المصرية وتُشير في الوقت ذاته إلى غياب مستوى الأتمتة الكاملة التي يسعى إليها هذا المشروع.

(الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

## 2.7 الفجوة البحثية وموقع هذا المشروع منها

استناداً إلى مراجعة الأدبيات السابقة، تتضح فجوة بحثية واضحة تتمثل في غياب نظام متكامل يجمع في بيئة واحدة بين توليد التصميم العمراني الأولي بالذكاء الاصطناعي وإسقاطه جغرافياً مباشرةً، وتصميم شبكة مياه الشرب آلياً وفق المعايير المصرية المعتمدة، وتصميم شبكة الكهرباء منخفضة الجهد وفق

الاكواد المصرية، وتقديم الحل كـ Tool Scripts جاهزة للتشغيل داخل ArcGIS Pro.

يأتي هذا المشروع ليسد هذه الفجوة من خلال تطوير نظام آلي متكامل يُعالج المراحل الثلاث في سلسلة عمل واحدة متصلة، مُكيَّفة مع الواقع المصري من حيث المعايير والمواصفات والبيانات. ويُضاف إلى ذلك كون المشروع يُقدّم أدواته كـ Tool Scripts قابلة للتوزيع والاستخدام المباشر في بيئات عمل حقيقية، وهو بُعد تطبيقي تفتقر إليه معظم الدراسات الأكاديمية التي تكتفي بتقديم إطار نظري أو نموذج تجريبي محدود النطاق. (ISPRS، 2023)

## 2.8 المصطلحات التقنية الأساسية

| المصطلح | التعريف المختصر | التوظيف في المشروع |
|---|---|---|
| ArcPy | مكتبة Python الرسمية لـ ArcGIS Pro | العمود الفقري للأكواد الثلاثة |
| REST API | واجهة تواصل بين البرامج عبر الإنترنت بروتوكول HTTP | استدعاء DALL-E 3 من OpenAI |
| World File | ملف إحداثيات مرافق للصورة يحوي ستة معاملات هندسية | إسقاط صورة AI على الخريطة |
| Memory Workspace | فضاء تخزين مؤقت في RAM يتجاوز القرص الصلب | تسريع المعالجة في جميع الأكواد |
| File Geodatabase | قاعدة بيانات جيومكانية محلية بصيغة Esri | حفظ جميع مخرجات الشبكات |
| Diffusion Model | معمارية نموذج AI يُولّد صوراً | الأساس التقني لـ DALL-E 3 |

| المصطلح | التعريف المختصر | التوظيف في المشروع |
|---|---|---|
| | بعكس عملية إضافة الضوضاء | |
| Network Analysis | تحليل الشبكات الجيومكانية للمسافات والاتصالية | توزيع المواسير والكابلات |
| Generalize | تبسيط هندسي لإزالة التفاصيل الزائدة من الأشكال | تنظيف مسارات المواسير الرئيسية |
| DefineProjection | أداة ArcPy لتعريف نظام إحداثيات ملف موجود | ربط صورة AI بنظام الإحداثيات |
| Integrate | أداة ArcPy لمحاذاة ونقاط تلامس الميزات المتقاربة | تصحيح التوبولوجيا في شبكة الطرق |

**خلاصة الفصل الثاني**

قدّم هذا الفصل الإطار النظري الشامل للمشروع مُدعَّماً بمصادر علمية موثّقة، من خلال استعراض تطور نظم GIS وتطبيقاتها في تصميم البنية التحتية، ومفهوم الذكاء الاصطناعي التوليدي وآليات عمل نموذج DALL-E 3، وأتمتة العمليات الهندسية وتقنية ملفات العالم للإسقاط الجغرافي. كشف الفصل عن الفجوة البحثية التي يسعى هذا المشروع إلى سدها: غياب نظام متكامل يجمع هذه التقنيات الثلاث في بيئة ArcGIS Pro واحدة مُكيَّفة مع الاكواد والمعايير المصرية.

## الفصل الثالث: المعايير والكودات المصرية لشبكات مياه الشرب

### 3.1 مقدمة الفصل

يُعدّ هذا الفصل الركيزة المعيارية الأولى لمشروع التخرج، إذ يستعرض المنظومة الكاملة من المعايير والكودات المصرية المعتمدة في تصميم شبكات مياه الشرب، والتي شكّلت الأساس العلمي لبناء الكود الثاني (Water Network Tool Script) في هذا المشروع. يتناول الفصل معدلات الاستهلاك اليومي، وأقطار المواسير، ومواصفات ملحقات الشبكة من محابس وعدادات وكسكول حريق، وضغوط التشغيل، فضلاً عن المنطق الهندسي لتوزيع الشبكة وتصنيف عقدها.

(الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

### 3.2 المرجعية التشريعية والمعيارية

#### 3.2.1 الكودات والمراجع الرسمية المعتمدة

يستند تصميم شبكات مياه الشرب في مصر إلى منظومة متكاملة من المعايير والمراجع الرسمية الصادرة عن جهات حكومية مختصة. وتُمثّل هذه المعايير الإطار الإلزامي الذي يجب على كل مصمم الالتزام به في مشاريع البنية التحتية داخل الأراضي المصرية. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

- الكود المصري لتصميم وتنفيذ شبكات مياه الشرب الصادر عن وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية، وهو المرجع الرئيسي لهذا الفصل. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)
- دليل الجهاز المركزي للتعمير لتصميم المرافق العامة في المجمعات السكنية الجديدة، ويُحدد معدلات الاستهلاك التصميمية لكل فئة عمرانية. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)
- المواصفات القياسية المصرية الخاصة بمواسير الـ uPVC وPE وأجهزة قياس المياه، الصادرة عن الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسي والجودة. (EGQASO، 2018)
- معايير الدفاع المدني المصري الخاصة بمتطلبات وصلات ومضخات الحريق وشبكات الإطفاء في المناطق السكنية والتجارية. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

#### 3.2.2 نطاق تطبيق هذه المعايير في المشروع

طُبّقت هذه المعايير بصورة مباشرة وكاملة في الكود الثاني من هذا المشروع (Water Network Tool Script)، إذ تُمثّل قيمها وحدودها الهندسية القيود البرمجية

(Constraints) التي تتحكم في سلوك الخوارزمية خلال كل مرحلة من مراحل التصميم الآلي. ويُحدد القسم التالي هذه القيم بالتفصيل. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

## 3.3 معدلات الاستهلاك اليومي

### 3.3.1 الاستهلاك اليومي للفرد (Per Capita Demand)

يُعدّ معدل الاستهلاك اليومي للفرد المعيارَ الأساسي الذي ينطلق منه كل تصميم لشبكة مياه الشرب. يُحدد الكود المصري هذا المعدل بناءً على التصنيف العمراني للمنطقة ونوع الاستخدام السائد، ويُميّز الكود بين أربع فئات رئيسية تعكس التباين في نمط المعيشة والكثافة السكانية. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

| التصنيف العمراني | معدل الاستهلاك (لتر/فرد/يوم) | ملاحظات |
|---|---|---|
| مناطق إسكان فاخر (فلل — تاون هاوس) | 600 – 400 | يُستخدم في هذا المشروع: 500 لتر/فرد/يوم |
| مناطق إسكان متوسط | 400 – 250 | الشريحة الأكثر شيوعاً في المدن المصرية |
| مناطق إسكان اقتصادي | 250 – 150 | يُراعى فيها الضغط الاجتماعي والكثافة العالية |
| مناطق ريفية | 150 – 80 | وفق توصيات الهيئة العامة للمياه الجوفية |

**جدول (3-1): معدلات الاستهلاك اليومي للفرد وفق التصنيف العمراني — الكود المصري 2016**

### 3.3.2 معامل ذروة الطلب (Peak Factor)

لا يكفي في التصميم الهندسي الاعتماد على متوسط الاستهلاك اليومي، بل يجب مراعاة معامل الذروة الذي يُعبّر عن أقصى استهلاك محتمل خلال ساعة أو يوم معين من العام. يُحدد الكود المصري معاملي ذروة يُستخدمان في حسابات مختلفة: (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

- معامل الذروة اليومية (Daily Peak Factor): يتراوح بين 1.2 و1.8 ويُستخدم لتصميم خطوط النقل الرئيسية وخزانات التخزين. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)
- معامل الذروة الساعية (Hourly Peak Factor): يتراوح بين 1.5 و3.0 ويُستخدم لتصميم شبكات التوزيع المحلية وتحديد أقطار المواسير. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

اعتمد هذا المشروع في حسابات التصميم الآلي معاملَ ذروة ساعية مقداره 2.5، وهو القيمة المتوسطة الموصى بها في الكود المصري لمناطق الإسكان الفاخر والمتوسط التي يستهدفها نظام الأتمتة. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

### 3.3.3 الاستهلاك الخاص بالإطفاء

يُضاف إلى الاستهلاك السكني الاحتياطي الإطفائي (Fire Fighting Reserve) الذي تُحدده معايير الدفاع المدني المصري. ويُشترط وفق هذه المعايير توفير تدفق لا يقل عن 100 لتر/دقيقة لكل كسكول حريق (Fire Hydrant)، مع ضمان الحفاظ على ضغط لا يقل عن 1.5 بار عند نقطة الاستخدام. وقد أُدرج هذا الاشتراط في الكود الثاني من خلال وضع كسكولات الحريق عند النهايات العمياء للشبكة (Dead Ends) ونقاط التفرع الرئيسية. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

## 3.4 مواسير الشبكة — الأقطار والمواد

### 3.4.1 تصنيف مستويات الشبكة

تنقسم شبكة مياه الشرب في المشاريع العمرانية إلى مستويين رئيسيين يختلفان في الوظيفة والمواصفات التصميمية، وهو التصنيف الذي اعتمد عليه الكود الثاني في هذا المشروع لإنشاء طبقتين منفصلتين من خطوط الأنابيب: (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

- **المواسير الرئيسية** (Water Mains): هي خطوط النقل التي تسير بالتوازي مع محاور الطرق وتُغذّي مجموعات من الوحدات السكنية. تتراوح أقطارها بين 110 مم و400 مم وفق حجم المنطقة المخدومة. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)
- **خطوط الخدمة** (Service Connections): هي التوصيلات الفردية التي تربط كل وحدة سكنية

بالماسورة الرئيسية، وتتراوح أقطارها بين 25 مم و50 مم بحسب حجم الوحدة.

(الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

### 3.4.2 معايير تحديد القطر التصميمي

يتحدد قطر الماسورة التصميمي بناءً على معادلة هيزن-ويليامز (Hazen-Williams Formula) التي تربط بين التدفق المطلوب وفقدان الضغط وقطر الأنبوب ومعامل خشونة المادة. وتستخدم هذه معادلة على نطاق واسع في مصر والعالم لتصميم شبكات الضغط الداخلي المستمر.

(Walski et al.، 2017)

**معادلة هيزن-ويليامز — Hazen-Williams Formula:**

$$Q = 0.2785 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

**حيث: Q = التدفق (م³/ث) — C = معامل خشونة المادة — D = القطر الداخلي (م) — S = الانحدار الهيدروليكي (م/م)**

### 3.4.3 معامل الخشونة للمواد المختلفة

يتوقف معامل الخشونة (C) في معادلة هيزن-ويليامز على نوع المادة المُصنَّع منها الأنبوب. وفيما يلي قيم المعامل وفق المواصفات القياسية المصرية والكود المصري: (EGQASO، 2018)

| المادة | رمزها | معامل الخشونة C | الاستخدام في الشبكة | التوظيف في المشروع |
|---|---|---|---|---|
| بولي كلوريد الفينيل غير المرن | uPVC | 150 – 140 | المواسير الرئيسية وخطوط الخدمة | المادة الافتراضية للمواسير الرئيسية |
| البولي إيثيلين عالي الكثافة | HDPE | 150 – 140 | خطوط الخدمة والتوصيلات الفردية | خطوط الخدمة الفردية |
| حديد الزهر المطيل | DI | 130 – 100 | الخطوط الرئيسية ذات الضغط العالي | غير مستخدم في هذا المشروع |
| الإسمنت الأسبستي | AC | 140 – 120 | قديم — غير موصى به حالياً | غير مستخدم |

**جدول (3-2): معاملات الخشونة للمواد المختلفة — المواصفات القياسية المصرية**

### 3.4.4 الأقطار المعتمدة في هذا المشروع

بناءً على تحليل الأحمال الاستهلاكية للمناطق المستهدفة، واستناداً إلى توصيات الكود المصري لشبكات مياه الشرب، اعتمدت قيم الأقطار التصميمية التالية في الكود الثاني:

(وزارة الإسكان المصرية، 2016)

| نوع الخط | القطر المعتمد (مم) | المادة | ضغط التشغيل (بار) |
|---|---|---|---|
| المواسير الرئيسية (Water Mains) | 110 | uPVC | 10.0 |
| خطوط الخدمة (Service Connections) | 25 | uPVC | 10.0 |

**جدول (3-3): الأقطار والمواد المعتمدة في الكود الثاني**

## 3.5 ملحقات الشبكة ومعايير توزيعها

### 3.5.1 العدادات (Water Meters)

العداد (Water Meter) هو الجهاز الذي يُسجّل الاستهلاك الفعلي لكل وحدة سكنية، ويُمثّل نقطة التسليم الرسمية بين شبكة التوزيع العامة والتمديدات الداخلية للوحدة. يُوجَد عداد واحد لكل وحدة سكنية وفق الكود المصري، ويُثبَّت عند حد الملكية أو في غرفة العداد عند مدخل الوحدة.

(الجهاز المركزي للتعمير، 2015) في الكود الثاني لهذا المشروع، يُحسب موقع العداد آلياً كنقطة الطرف الأول من خط الخدمة (firstPoint)، أي عند بداية التوصيل الفردي الخارج من الوحدة السكنية نحو الماسورة الرئيسية. وهذا يعكس الممارسة الهندسية الفعلية المُتبعة في مشاريع الإسكان المصرية. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

### 3.5.2 محابس الخدمة (Curb Valves)

محبس الخدمة (Curb Valve) هو صمام عزل صغير يُركَّب على خط الخدمة الفردي ويُمكّن من قطع الإمداد عن وحدة سكنية واحدة دون التأثير على باقي الشبكة. يُوجَد محبس خدمة واحد لكل وحدة سكنية، ويُركَّب على مسافة لا تتجاوز 15 متراً من نقطة التشعب مع الماسورة الرئيسية.

(وزارة الإسكان المصرية، 2016)

### 3.5.3 نقاط التشعب (Saddles / Tapping Saddles)

التشعب أو الـ Saddle هو قطعة من قطع التوصيل (Fittings) تُركَّب على الماسورة الرئيسية لإخراج فتحة تشعب صغيرة منها دون قطع استمرارية الماسورة الأصلية. تُستخدم Saddles عند كل نقطة تشعب لخط خدمة فردي مع الماسورة الرئيسية. (وزارة الإسكان المصرية، 2016) في الكود الثاني يُحسب موقع كل Saddle كنقطة الطرف الثاني من خط الخدمة (lastPoint)، أي عند نقطة التشعب الفعلية مع الماسورة الرئيسية. ويُصنَّف نوعها كـ Tapping Saddle (Tap) تعبيراً دقيقاً عن وظيفتها الهندسية. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

### 3.5.4 محابس العزل الرئيسية (Gate Valves)

محابس العزل الرئيسية (Gate Valves) هي صمامات أكبر حجماً تُركَّب على المواسير الرئيسية عند نقاط التفرع والتقاطعات لتمكين عزل قطاعات كاملة من الشبكة أثناء الصيانة أو الإصلاح. يُحدد الكود المصري ضرورة تركيب Gate Valve عند كل تفرع ثلاثي (Tee) أو رباعي (Cross) على الشبكة الرئيسية. (وزارة الإسكان المصرية، 2016) في الكود الثاني، يُكتشف موقع كل Gate Valve آلياً من خلال تحليل عقد الشبكة بعد عملية تقسيم الخطوط (Split Line at Point). فإذا كانت العقدة مشتركة بين ثلاثة خطوط (count = 3) صُنِّفت كـ Tee Fitting ورُكِّب عليها Gate Valve، وإذا كانت مشتركة بين أربعة خطوط أو أكثر (count ≥ 4) صُنِّفت كـ Cross Fitting ورُكِّب عليها Gate Valve أيضاً. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

### 3.5.5 صمامات الحريق (Fire Hydrants)

صمام الحريق (Fire Hydrant) هو فتحة مياه مُثبَّتة في الأماكن العامة تُستخدم لتزويد عربات الإطفاء بالمياه اللازمة لإخماد الحرائق. يُحدد معايير الدفاع المدني المصري أن يُركَّب كسكول حريق عند كل نهاية عمياء (Dead End) في شبكة المواسير الرئيسية، مع ضمان مسافة لا تتجاوز 120 متراً بين كل صمامين متجاورَين في المناطق السكنية. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015) في الكود الثاني، تُحدَّد مواقع صمامات الحريق آلياً عند العقد التي لا تشترك إلا في خط واحد فقط (count = 1)، أي النهايات العمياء للشبكة الرئيسية. هذا المنطق البرمجي يعكس بدقة اشتراط الكود المصري بتغطية جميع النهايات العمياء صمامات الحريق. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

### 3.5.6 قطع التوصيل (Pipe Fittings)

قطع التوصيل (Fittings) هي الوصلات الميكانيكية التي تُنظّم اتجاه المياه عند نقاط التغيير والتفرع في الشبكة. يُصنّف الكود المصري قطع التوصيل إلى أربعة أنواع رئيسية تعكس التشكيل الهندسي لكل عقدة: (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

| نوع القطعة | التصنيف الهندسي | شرط التوليد في الكود | الرمز | الشكل |
|---|---|---|---|---|
| Tee Fitting وصلة T | تفرع ثلاثي الاتجاهات | عدد العقد = 3 | T | |
| Cross Fitting وصلة × | تفرع رباعي الاتجاهات | عدد العقد ≤ 4 | X | |
| Elbow Fitting كوع | تغيير اتجاه بين خطين | عدد العقد = 2 | L | |
| End Cap — غطاء نهائي | نهاية عمياء مؤقتة | عدد العقد = 1 (مع Hydrant) | E | |

**جدول (3-4): تصنيف قطع التوصيل وشروط التوليد الآلي في الكود الثاني**

## 3.6 معايير الضغط الهيدروليكي

### 3.6.1 ضغط التشغيل الاعتيادي

يُحدد الكود المصري لشبكات مياه الشرب النطاق المقبول لضغط التشغيل الاعتيادي (Operating Pressure) في شبكات التوزيع السكنية بما يتراوح بين 2.0 بار و10.0 بار. ويُعدّ الضغط دون 2.0 بار غير كافٍ لتوصيل المياه إلى الطوابق العليا، فيما يُعدّ الضغط فوق 10.0 بار ضاراً بوصلات الأنابيب ومسبباً للضوضاء والتسرب. (وزارة الإسكان المصرية، 2016) اعتمد الكود الثاني في هذا المشروع ضغط تشغيل افتراضي مقداره 10.0 بار كقيمة تصميمية للمواسير الرئيسية وخطوط الخدمة على حدٍّ سواء، وهي القيمة العليا ضمن النطاق المسموح به والتي تضمن كفاية الضغط حتى للمباني المرتفعة نسبياً ويتم تعديل الضغط واقطار المواسير بشكل يدوى ليكون ملائم للمشروع المطلوب. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

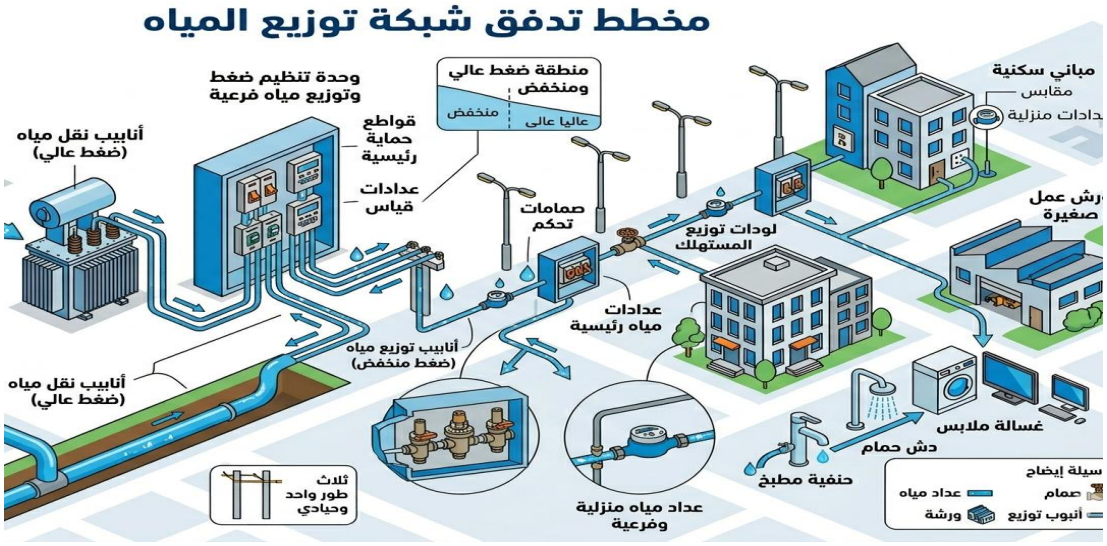
### 3.6.2 اشتراطات الضغط عند صمامات الحريق

تُشترط معايير الدفاع المدني المصري الحفاظ على ضغط لا يقل عن 1.5 بار عند فوهة كسكول الحريق أثناء التشغيل الكامل لعربات الإطفاء، مع توفير معدل تدفق لا يقل عن 100 لتر/دقيقة. وتستلزم هذه الاشتراطات أن تكون المواسير الرئيسية المتصلة بكسكولات الحريق بقطر لا يقل عن 100 مم حتى في حالة الشبكات الصغيرة. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

## 3.7 التصحيح التوبولوجي للشبكة (Topology)

### 3.7.1 مفهوم الاتصالية التوبولوجية

الاتصالية التوبولوجية (Topological Connectivity) في شبكات المياه تعني أن جميع عناصر الشبكة من مواسير وعقد متصلة بصورة مستمرة دون انقطاع أو فجوات، بحيث تُشكّل منظومة واحدة متكاملة قادرة على نقل المياه من نقطة الإمداد إلى كل وحدة مخدومة. أي خلل في هذه الاتصالية يُفضي




إلى عزل أجزاء من الشبكة وعدم وصول المياه إليها. (Walski et al.، 2017)

## 3.7تقرير الكميات (Quantity Report).

يُلزم الكود المصري في مشاريع البنية التحتية بإعداد تقرير كميات تفصيلي

(Bill of Quantities — BOQ) يُحصي جميع عناصر الشبكة المُصممة، ويُشكّل هذا التقرير الأساس لحسابات التكلفة ومتطلبات المناقصة. وتضمّن الكود الثاني في هذا المشروع توليد هذا التقرير آلياً في نهاية تنفيذ السكريبت. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

**شكل التدفق في شبكة المياه متضمنة للمكونات**

| البند | وحدة القياس | المصدر في الكود |
|---|---|---|
| المواسير الرئيسية (Main Pipes) | متر طولي | مجموع أطوال Water_Main_Final |
| خطوط الخدمة (Service Connections) | متر طولي | مجموع أطوال Service_Connections |
| العدادات (Water Meters) | عدد | إجمالي نقاط Final_Meters |
| محابس الخدمة (Curb Valves) | عدد | إجمالي نقاط Service_Valves |
| صمامات الحريق (Fire Hydrants) | عدد | إجمالي نقاط Fire_Hydrants |
| قطع التوصيل (Pipe Fittings) | عدد | إجمالي نقاط Pipe_Fittings |
| محابس العزل الرئيسية (Gate Valves) | عدد | إجمالي نقاط Main_Gate_Valves |
| نقاط التشعب (Saddles) | عدد | إجمالي نقاط Saddles |

**جدول (3-5): بنود تقرير الكميات الآلي الناتج عن الكود الثاني**

## 3.9 ملخص المعايير المُطبَّقة في الكود الثاني

يُقدّم الجدول التالي ملخصاً مرجعياً سريعاً لجميع القيم المعيارية التي طُبِّقت برمجياً في الكود الثاني:

| المعيار | القيمة المُعتمدة | المصدر |
|---|---|---|
| معدل الاستهلاك اليومي للفرد | 500 لتر/فرد/يوم | الكود المصري 2016 |
| معامل الذروة الساعية | 2.5 | الكود المصري 2016 |
| قطر المواسير الرئيسية | 110 مم | الكود المصري 2016 |
| قطر خطوط الخدمة | 25 مم | الكود المصري 2016 |
| مادة المواسير الرئيسية | uPVC | المواصفات المصرية ES |
| ضغط التشغيل | 10.0 بار | الكود المصري 2016 |
| الحد الأدنى لضغط كسكول الحريق | 1.5 بار | معايير الدفاع المدني |
| تدفق كسكول الحريق | 100 لتر/دقيقة | معايير الدفاع المدني |
| مسافة محبس الخدمة | 15 متر كحد أقصى | الكود المصري 2016 |
| تسامح الـ Integrate | 0.5 متر | ArcGIS Pro Best Practice |
| تسامح Split Line | 0.1 متر | ArcGIS Pro Best Practice |

**جدول (3-6): ملخص القيم المعيارية المُطبَّقة في الكود الثانى**

## خلاصة الفصل الثالث:

استعرض هذا الفصل المنظومة الكاملة من المعايير والكودات المصرية المعتمدة في تصميم شبكات مياه الشرب، والتي شكّلت الأساس الهندسي لبناء الكود الثاني في هذا المشروع. تناول الفصل معدلات الاستهلاك اليومي ومعاملات الذروة، وأقطار المواسير الرئيسية وخطوط الخدمة ومواد تصنيعها، ومواصفات ملحقات الشبكة من عدادات ومحابس وكسكولات حريق وقطع توصيل، وضغوط التشغيل ومتطلبات الإطفاء، فضلاً عن أهمية التصحيح التوبولوجي عبر أداة Integrate وآلية توليد تقرير الكميات الآلي. كل هذه العناصر تُرجمت إلى قيود برمجية دقيقة جعلت من الكود الثاني أداةً هندسية قابلة للتطبيق المباشر في مشاريع التخطيط العمراني المصرية. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

# الفصل الرابع: المعايير والكودات المصرية لشبكات الكهرباء

## 4.1 مقدمة الفصل

يُمثّل هذا الفصل الركيزة المعيارية الثانية لمشروع التخرج، إذ يستعرض المنظومة الكاملة من المعايير والكودات المصرية المعتمدة في تصميم شبكات الكهرباء منخفضة الجهد (Low Voltage Distribution Networks)، والتي شكّلت الأساس العلمي لبناء الكود الثالث (Electric Network Tool Script) في هذا المشروع. يتناول الفصل الأحمال الكهربائية للوحدات السكنية، ومواصفات كابلات التوزيع الرئيسية وخطوط الخدمة، ومعايير الكشكات التوزيعية والمحولات، وأسلوب حساب التيار والأمبير الاسمي للصمامات، فضلاً عن منطق ترتيب العقد وتحديد اتجاه تدفق الطاقة(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

## 4.2 المرجعية التشريعية والمعيارية

### 4.2.1 الاكواد والمراجع الرسمية المعتمدة

يستند تصميم شبكات الكهرباء منخفضة الجهد في مصر إلى منظومة من الاكواد والمراجع الرسمية الصادرة عن وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة وشركات توزيع الكهرباء الإقليمية. وتُمثّل هذه الكودات الإطار الإلزامي لكل عمليات التصميم والتنفيذ في المشاريع الإسكانية والتجارية داخل مصر.
(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

- الكود المصري لتصميم شبكات الكهرباء منخفضة الجهد الصادر عن وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، وهو المرجع الرئيسي لهذا الفصل. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)
- مواصفات شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء للتركيبات السكنية والتجارية، وتُحدد معايير الحمل التصميمي لكل وحدة سكنية ومعدلات التنوع بين الوحدات.
(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)
- المواصفات القياسية المصرية (ES) للكابلات الكهربائية المعزولة بالـ XLPE والـ PVC، الصادرة عن الهيئة المصرية للتوحيد القياسي والجودة. (EGQASO، 2019)
- الكود الدولي IEC 60364 المُتبنَّى في مصر كمرجع تكميلي لاشتراطات السلامة الكهربائية في التمديدات منخفضة الجهد. (IEC، 2016)

### 4.2.2 نطاق تطبيق هذه المعايير في المشروع

طُبِّقت هذه المعايير بصورة مباشرة في الكود الثالث من هذا المشروع (Electric Network Tool Script)، إذ تُمثّل قيمها الهندسية القيود البرمجية التي تتحكم في حسابات الأحمال ومواصفات الكابلات وأنواع الصمامات ومواقع الكشكات خلال كل مرحلة من مراحل التصميم الآلي. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

## 4.3 الأحمال الكهربائية للوحدات السكنية

### 4.3.1 الحمل التصميمي للوحدة السكنية

الحمل التصميمي (Design Load) هو الحمل الكهربائي الأقصى المتوقع للوحدة السكنية في ظروف الاستخدام الطبيعي. تُحدد مواصفات شركات التوزيع المصرية الحمل التصميمي للوحدة السكنية الواحدة بناءً على مساحتها ونوع استخدامها وتصنيفها العمراني. (شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

| تصنيف الوحدة السكنية | الحمل الكهربائي (كيلوواط) | الحمل الكهربائي (كيلوفولت-أمبير) | معامل قوة العمل (cos φ) |
|---|---|---|---|
| وحدة اقتصادية (أقل من 100 م²) | 5 – 3 | 5.5 – 3.3 | 0.90 – 0.85 |
| وحدة متوسطة (100 – 200 م²) | 8 – 5 | 8.9 – 5.5 | 0.90 |
| وحدة فاخرة / فيلا (أكثر من 200 م²) | 15 – 8 | 16.7 – 8.9 | 0.90 |
| القيمة المُعتمدة في المشروع | 5 | 5.56 | 0.90 |

**جدول (4-1): الأحمال الكهربائية للوحدات السكنية وفق مواصفات شركات التوزيع المصرية**

اعتمد الكود الثالث في هذا المشروع حملاً تصميمياً ثابتاً قابل للتعديل وفق مطالب كل مشروع مقداره 5 كيلوواط لكل وحدة سكنية، وهو الحد الأدنى للوحدات المتوسطة والقيمة الأكثر شيوعاً في مشاريع الإسكان المصرية. وقد حُوِّل هذا الحمل إلى كيلوفولت-أمبير بقسمته على معامل قوة العمل (0.90) ليُصبح 5.56 kVA لكل وحدة. (شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

### 4.3.2 معامل التنوع (Diversity Factor)

معامل التنوع (Diversity Factor) هو النسبة بين مجموع الأحمال القصوى المنفردة لمجموعة من الوحدات وبين الحمل الأقصى الكلي الفعلي للمجموعة في نفس اللحظة. تُحدد المواصفات المصرية أن الأحمال الكهربائية للوحدات السكنية لا تبلغ ذروتها في آنٍ واحد، مما يُخفّض الحمل التصميمي الفعلي على كابلات التوزيع والكشكات. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

في الكود الثالث، لم يُطبَّق معامل تنوع صريح في الحسابات، واعتُمدت بدلاً منه القيمة المحافظة المبنية على مجموع الأحمال الكاملة، لأن ذلك يُنتج شبكةً بهامش أمان أعلى ويُجنّب خطر نقص القدرة في سيناريوهات الذروة الاستثنائية. وهو نهج موصى به في مرحلة التخطيط الأولي للمشاريع السكنية.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

## 4.4 اكشاك التوزيع (Distribution Kiosks)

### 4.4.1 تعريف الكشك التوزيعي ووظيفته

الكشك التوزيعي (Distribution Kiosk) هو وحدة توزيع كهربائي متكاملة تُركَّب في الأماكن العامة وتحتوي على لوحة الجهد المنخفض (LV Panel) ومجموعة من القواطع والصمامات، وتعمل على توزيع الطاقة الكهربائية القادمة من كابل التغذية الرئيسي إلى مجموعة من الوحدات السكنية المجاورة. تُعدّ الكشكات العنصرَ المحوري في شبكات التوزيع الحضرية منخفضة الجهد في مصر.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

### 4.4.2 معايير تحديد مواقع الكشكات

تُحدد المواصفات المصرية موقع كل كشك توزيعي استناداً إلى معيارَين رئيسيَّين: معيار التقاطعات ومعيار المسافة الأقصى. ويعكس الكود الثالث هذَين المعيارَين في منطقه البرمجي لتحديد مواقع الكشكات آلياً:

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

- **معيار التقاطعات:** يُوضَع كشك عند كل تقاطع رئيسي من تقاطعات شبكة الطرق، لأن التقاطعات تُمثّل مراكز التوزيع الطبيعية التي تخدم الوحدات المجاورة من اتجاهات متعددة.

  (شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

- **معيار المسافة الأقصى:** يُوضَع صندوق إضافي على امتداد الكابل الرئيسي كل 300 متر كحد أقصى، لضمان عدم تجاوز فقدان الجهد (Voltage Drop) الحد المسموح به وهو 5% من الجهد الاسمي.

**المنطق البرمجي لتحديد مواقع الصناديق في الكود الثالث:** يستخدم الكود الثالث أداة GeneratePointsAlongLines بمسافة 300 متر لتوليد نقاط صناديق على الكابلات الرئيسية، ثم يدمجها مع نقاط تقاطعات الطرق المُستخرجة بأداة Intersect، ثم يُحذف التكرارات بأداة DeleteIdentical. الناتج النهائي هو توزيع صناديق توزيع يحترم المعيارَين الهندسيَّين في آنٍ واحد. (Esri Inc.، 2023)

### 4.4.3 حساب الحمل والصمام لكل كشك

يُحسب الحمل الكلي على كل كشك توزيعي بناءً على عدد الوحدات السكنية التي يخدمها. تُحدد المواصفات المصرية نوع الصمام الاسمي (NH Fuse) لكل كشك وفق الحمل الكلي المحسوب، وفق الجدول التالي: (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| الحمل الكلي على الكشك (كيلوواط) | عدد الوحدات التقريبي | نوع الصمام (NH Fuse) | التيار الاسمي (أمبير) |
|---|---|---|---|
| أقل من 80 كيلوواط | أقل من 16 وحدة | NH Fuse 100 أمبير | 100 أمبير |
| من 80 إلى أقل من 150 كيلوواط | 16 – 30 وحدة | NH Fuse 160 أمبير | 160 أمبير |
| 150 كيلوواط فأكثر | أكثر من 30 وحدة | NH Fuse 200 أمبير | 200 أمبير |

**جدول (4-2): تصنيف الصمامات الاسمية للكشكات التوزيعية — الكود المصري للكهرباء**

يُطبّق الكود الثالث هذا التصنيف آلياً من خلال حلقة تكرار تفحص عدد الوحدات المخدومة من كل كشك وتُحدد نوع الصمام وتيّاره الاسمي وتُخزّنهما في حقلَي Fuse_Type وRated_A في طبقة الكشكات. وتُستخدم دالة arcpy.analysis.Near لربط كل وحدة سكنية بأقرب كشك إليها لحساب عدد الوحدات المخدومة. (شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

## 4.5 الكابلات الكهربائية — المواصفات والأنواع

### 4.5.1 الكابلات الرئيسية منخفضة الجهد (LV Main Cables)

الكابلات الرئيسية منخفضة الجهد هي خطوط نقل الطاقة الكهربائية التي تسير بالتوازي مع محاور الطرق وتربط المحول بالأكشاك التوزيعية. تُستخدم في مصر كابلات مُقطعها الجهد الاسمي 1/0.6 كيلوفولت بعازل XLPE (Cross-Linked Polyethylene) وغلاف PVC. (EGQASO، 2019)

اعتمد الكود الثالث في هذا المشروع كابلات بمقطع (3×240+120 مم²) لأذرع التوصيل الرئيسية، وهي من أكثر مقاطع الكابلات شيوعاً في مشاريع الإسكان المصرية متوسطة الحجم، وتتكون من ثلاثة موصلات طورية (Phase) بمقطع 240 مم² من الألمنيوم ومحايد (Neutral) بمقطع 120 مم² من الألمنيوم. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| نوع الكابل | المقطع | المادة | الجهد الاسمي | الاستخدام في المشروع |
|---|---|---|---|---|
| كابل رئيسي LV | 3×240+120 مم² | ألمنيوم XLPE/PVC | 0.6 / 1 كيلوفولت | الكابلات الرئيسية وخط التغذية |
| كابل خدمة سكنية | 4×16 مم² | نحاس XLPE/PVC | 0.6 / 1 كيلوفولت | توصيلات الوحدات السكنية |
| كابل إنارة شوارع | 2×16 مم² | نحاس XLPE/PVC | 0.6 / 1 كيلوفولت | كابلات إنارة الطرق |

***جدول (4-3): مواصفات الكابلات المعتمدة في الكود الثالث***

### 4.5.2 كابلات التوصيل الفردي (Service Connections)

كابل التوصيل الفردي (Service Connection Cable) هو الكابل الذي يربط كل وحدة سكنية بأقرب كشك توزيعي إليها. تُحدد المواصفات المصرية أن يكون هذا الكابل من النحاس بمقطع (4×16 مم²)، حيث تُمثّل الأذرع الأربعة: ثلاثة موصلات طورية (R, S, T) بمقطع 16 مم² لكل منها وموصل محايد (N) بمقطع 16 مم². (شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

في الكود الثالث، يُحسب موقع خط الخدمة آلياً بتحديد النقطة الأقرب على الكابل الرئيسي من مركز الوحدة السكنية باستخدام دالة arcpy.analysis.Near مع تمكين خيار LOCATION لاستخراج إحداثيات

نقطة الالتقاء، ثم تُنشأ خطوط الخدمة بدالة arcpy.management.XYToLine التي تصل بين مركز الوحدة ونقطة الالتقاء على الكابل الرئيسي. (Esri Inc.، 2023)

### 4.5.3 فقدان الجهد في الكابلات (Voltage Drop)

فقدان الجهد (Voltage Drop) هو الفرق بين جهد المصدر وجهد نهاية الكابل نتيجة مقاومة الموصل. تُحدد المواصفات المصرية ومعيار IEC 60364 الحد الأقصى المسموح به لفقدان الجهد في شبكات التوزيع السكنية بـ 5% من الجهد الاسمي

(أي 11 فولت في شبكة 220 فولت أحادية الطور أو 19 فولت في شبكة 380 فولت ثلاثية الأطوار). (IEC، 2016)

يُحسب فقدان الجهد وفق معادلة:

$$\Delta V = [\sqrt{3} \times I \times L \times (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)] / 1000$$

للأنظمة ثلاثية الأطوار، حيث I هو التيار بالأمبير، و L هو طول الكابل بالمتر، و R و X هما المقاومة والممانعة النوعيتان للكابل بالأوم/كيلومتر. وتُراعي المعايير المصرية هذه المعادلة في تحديد الحد الأقصى للمسافة بين صناديق التوزيع (300 متر) للحفاظ على الجهد ضمن النطاق المقبول.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

**معادلة فقدان الجهد — Voltage Drop Formula:**

$$\Delta V = [\sqrt{3} \times I \times L \times (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)] / 1000$$

ΔV = فقدان الجهد (فولت) | I = التيار (أمبير) | L = طول الكابل (متر) | R = مقاومة الكابل (Ω/كم) | X = ممانعة الكابل (Ω/كم) | cosφ = معامل قوة العمل(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

## 4.6 المحول الكهربائي (Transformer)

### 4.6.1 دور المحول في الشبكة

المحول الكهربائي (Transformer) هو العنصر الذي يُحوّل الجهد المتوسط القادم من شبكة التغذية العامة (11 كيلوفولت أو 22 كيلوفولت في مصر) إلى جهد منخفض (0.4 كيلوفولت / 380 فولت) مناسب للاستخدام السكني والتجاري. يُمثّل المحول نقطة البداية لشبكة التوزيع منخفض الجهد في أي مشروع عمراني. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

### 4.6.2 اشتراطات موقع المحول

تُحدد المواصفات المصرية اشتراطات موقع المحول في المشاريع السكنية، أبرزها: أن يُوضَع في موقع مركزي نسبياً من المنطقة المخدومة لتقليل أطوال الكابلات وبالتالي فقدان الجهد، وأن يكون قابلاً للوصول إليه بمركبات الصيانة، وأن تُراعى متطلبات التهوية وعزل الضوضاء في المناطق السكنية.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

في الكود الثالث، يُمثَّل المحول كمضلع (Polygon Feature Class) يُحوَّل إلى نقطة مركزية بدالة arcpy.management.FeatureToPoint، ثم تُحسب أقرب نقطة على الكابل الرئيسي منه لإنشاء خط التغذية (Feeder) الذي يربطه بالشبكة الرئيسية. (Esri Inc.، 2023)

## 4.7 إنارة الشوارع (Street Lighting)

### 4.7.1 معايير التوزيع وفق الكود المصري

تُحدد المواصفات المصرية للإنارة العامة معدلات توزيع وحدات إنارة الشوارع وفق نوع الطريق وعرضه وسرعة السير فيه. وتُشترط في مشاريع الإسكان السكني توفير مستوى إنارة لا يقل عن 10 لوكس (Lux) لشوارع الحي الداخلية و15 لوكس للشوارع الرئيسية.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

تُوجة المواصفات المصرية توزيع وحدات الإنارة على مسافات منتظمة لا تتجاوز 25 متراً بين كل وحدتَين متجاورتَين على الطرق الداخلية للأحياء السكنية، وذلك لضمان التوحيد الكافي لتوزيع الإضاءة وتجنب المناطق المعتمة بين الوحدات. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

## 4.8 عدادات الكهرباء (Customer Meters)

عداد الكهرباء (Electricity Meter) هو الجهاز الذي يُسجّل الاستهلاك الكهربائي الفعلي لكل وحدة سكنية ويُمثَّل نقطة التسليم الرسمية بين شبكة التوزيع العامة والتمديدات الداخلية للوحدة. تُوجب المواصفات المصرية تركيب عداد إلكتروني ذكي (Smart Meter) لكل وحدة سكنية، يُركَّب عند مدخل الوحدة أو في لوحة العدادات الجماعية للمبنى. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

في الكود الثالث، يُحسب موقع كل عداد آلياً بتحويل مضلع كل مبنى إلى نقطة مركزية داخلية (Interior Point) باستخدام دالة arcpy.management.FeatureToPoint مع خيار INSIDE. تُعبّر هذه النقطة المركزية عن موقع المبنى الجغرافي وتُستخدم كنقطة انطلاق لحساب أقرب كابل رئيسي ورسم خط الخدمة الفردي منه. (Esri Inc.، 2023)

## 4.9 الوصلات الكهربائية (Cable Joints)

الوصلة الكهربائية (Cable Joint) هي نقطة ربط ميكانيكية وكهربائية بين كابلَين أو أكثر، وتُستخدم عند نهايات خطوط الخدمة أو عند نقاط التفرع على الكابل الرئيسي. تُحدد المواصفات المصرية أن تُنفَّذ الوصلات داخل صناديق وصل معتمدة (Junction Boxes) بدرجة حماية IP54 كحد أدنى لتحملها ظروف الدفن في التربة. (EGQASO، 2019)

في الكود الثالث، تُحسب مواقع الوصلات الكهربائية (Joints) آلياً كنقاط الأطراف الثانية (End Points) لخطوط الخدمة الفردية على الكابل الرئيسي. وتُمثّل هذه النقاط بالضبط أماكن تشعب خطوط الخدمة مع الكابل الرئيسي، أي المواقع التي تحتاج إلى وصلات كهربائية فعلية في التنفيذ.

(Esri Inc.، 2023)

## 4.10 ترتيب العقد وتحديد اتجاه التدفق

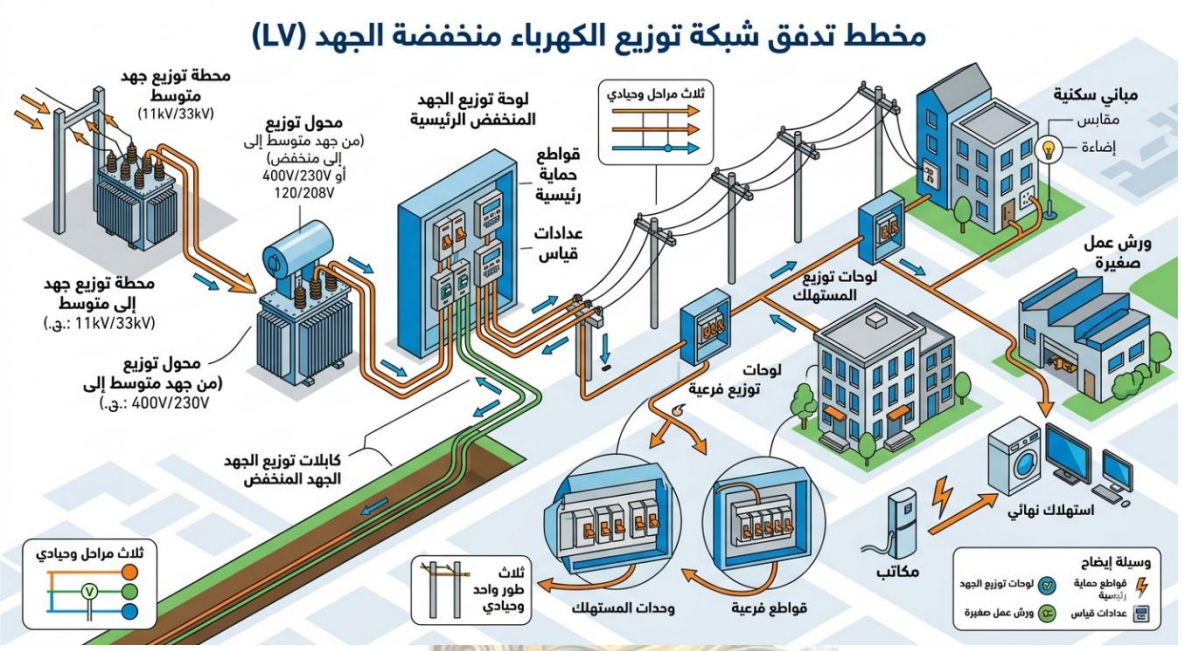
### 4.10.1 منطق ترتيب العقد (Node Ordering)

ترتيب العقد (Node Ordering) هو عملية إسناد رقم تسلسلي لكل عقدة في الشبكة الكهربائية يعكس بُعدها عن نقطة الإمداد (المحول). يُمثّل هذا الترتيب الأساسَ المنطقي لتحديد اتجاه تدفق الطاقة في كل كابل من كابلات الشبكة، ويُضمن أن تتدفق الطاقة دائماً من العقدة ذات الرقم الأصغر إلى العقدة ذات الرقم الأكبر، أي من المصدر نحو الحمل. (Glover et al.، 2017)

في الكود الثالث، تُحسب المسافة الجيومكانية من كل عقدة إلى نقطة المحول باستخدام دالة arcpy.analysis.Near، ثم تُرتَّب العقد تصاعدياً بحسب هذه المسافة بدالة arcpy.management.Sort. وتُسنَد لكل عقدة قيمة Node_ID تتراوح من 1 (المحول) إلى أعلى رقم (أبعد نقطة). هذا الترتيب يُمثّل تجريداً لمفهوم اتجاه التيار من المصدر نحو الحمل (Source-to-Load Flow Direction). (Glover et al.، 2017)

### 4.10.2 قاعدة تحديد اتجاه التدفق (Chain Flow Logic)

بعد تحديد Node_ID لكل عقدة، يُطبّق الكود الثالث قاعدة التدفق المتسلسل (Chain Flow Logic): لكل كابل في الشبكة، يُعيَّن From_Node بالعقدة ذات الـ Node_ID الأصغر ويُعيَّن To_Node بالعقدة ذات الـ Node_ID الأكبر. هذه القاعدة تضمن أن الاتجاه المُسجَّل لكل كابل يعكس دائماً تدفق الطاقة من المصدر نحو الحمل، بصرف النظر عن الاتجاه الهندسي الأصلي للخط في البيانات.




| حالة مقارنة Node_ID | From_Node | To_Node | اتجاه التدفق المنطقي |
|---|---|---|---|
| Node_ID طرف البداية > Node_ID طرف النهاية | طرف البداية | طرف النهاية | بداية → نهاية (طبيعي) |
| Node_ID طرف البداية < Node_ID طرف النهاية | طرف النهاية | طرف البداية | نهاية → بداية (مُعكوس برمجياً) |

**جدول (4-4): منطق تحديد From_Node وTo_Node وفق قاعدة Chain Flow Logic**

## 4.11 صندوق التوصيل المنزلي (Home Service Box)

صندوق التوصيل المنزلي (Home Service Box) هو نقطة دخول الكابل الكهربائي إلى المبنى، وتقع على حدود المبنى من الخارج. يُحدد الكود المصري أن يُركَّب هذا الصندوق عند التقاطع الهندسي الفعلي بين خط الخدمة الفردي والحد الخارجي للمبنى (Building Boundary). يحتوي الصندوق على قاطع رئيسي (Main Circuit Breaker) وقد يحتوي على العداد في بعض التصاميم.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

في الكود الثالث، تُحسب مواقع صناديق التوصيل المنزلية آلياً بإيجاد التقاطع الجيومكاني بين خطوط الخدمة الفردية وحدود المباني المحوَّلة إلى خطوط (Polygon to Line) باستخدام دالة arcpy.analysis.Intersect مع تحديد نوع الخرج كـ POINT. وبهذا تكون النقاط الناتجة بالضبط على الحد الخارجي لكل مبنى عند دخول الكابل إليه. (Esri Inc.، 2023)

## 4.12 تقرير الكميات والمخرجات النهائية

### 4.12.1 بنود تقرير الكميات

يُلزم الكود المصري في مشاريع البنية التحتية الكهربائية بإعداد تقرير كميات مفصّل يُحصي جميع عناصر الشبكة المُصممة. يُنتج الكود الثالث هذا التقرير آلياً بصيغة Excel في نهاية تنفيذ السكريبت باستخدام دالة arcpy.conversion.TableToExcel. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| البند | وحدة القياس | المصدر في الكود |
|---|---|---|
| الكابلات الرئيسية LV (Main LV Cables) | متر طولي | مجموع أطوال Main_LV_Cables |
| توصيلات الخدمة (Service Connections) | متر طولي | مجموع أطوال Service_Connections |
| كشكات التوزيعية (Distribution Kiosks) | عدد | إجمالي نقاط Distribution_Kiosks |
| عدادات المستهلكين (Customer Meters) | عدد | إجمالي نقاط Customer_Meters |
| الوصلات الكهربائية (Cable Joints) | عدد | إجمالي نقاط Cable_Joints |
| وحدات إنارة الشوارع (Street Lighting) | عدد | إجمالي نقاط Street_Lighting |
| صناديق التوصيل المنزلي (Home Service Boxes) | عدد | إجمالي نقاط Home_Service_Boxes |
| خط التغذية من المحول (Transformer Link) | متر طولي | طول Transformer_Link |

**جدول (4-5): بنود تقرير الكميات الآلي الناتج عن الكود الثالث**

### 4.12.2 مخرجات الشبكة في File Geodatabase

تُحفظ جميع طبقات الشبكة الكهربائية النهائية في File Geodatabase واحدة تُنشَأ آلياً عند بداية تنفيذ السكريبت. وتُمثّل هذه الطبقات المنتج التسليمي الكامل للكود الثالث، قابلةً للفتح مباشرةً في ArcGIS Pro وعرضها على الخريطة أو إجراء تحليلات إضافية عليها او التعديل عليها وفق معايير الشركات.

(Esri Inc.، 2023)

## 4.13 ملخص المعايير المُطبَّقة في الكود الثالث

يُقدّم الجدول التالي ملخصاً مرجعياً سريعاً لجميع القيم المعيارية التي طُبِّقت برمجياً في الكود الثالث:

| المعيار | القيمة المُعتمدة | المصدر |
|---|---|---|
| الحمل التصميمي للوحدة السكنية | 5 كيلوواط | مواصفات شركات التوزيع المصرية |
| معامل قوة العمل (cos φ) | 0.90 | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| الحمل بالكيلوفولت-أمبير للوحدة | 5.56 kVA | محسوب من القيمتين السابقتَين |
| مقطع الكابل الرئيسي | 3×240+120 مم² | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| مادة الكابل الرئيسي | ألمنيوم XLPE/PVC | المواصفات القياسية المصرية ES |
| مقطع كابل الخدمة الفردي | 4×16 مم² | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| مادة كابل الخدمة | نحاس XLPE/PVC | المواصفات القياسية المصرية ES |
| الحد الأقصى لفقدان الجهد | 5% | IEC 60364 / الكود المصري |
| المسافة بين الكشكات | 300 متر | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| المسافة بين وحدات إنارة الشوارع | 25 متراً | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| تيار الصمام للحمل أقل من 80 كيلوواط | 100 أمبير NH | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| تيار الصمام 80 – 150 كيلوواط | 160 أمبير NH | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| تيار الصمام أكثر من 150 كيلوواط | 200 أمبير NH | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| جهد الشبكة الاسمي | 0.4 كيلوفولت / 380 فولت | الكود المصري للكهرباء 2018 |
| اتجاه التدفق | Source-to-Load (Chain Flow) | Glover et al., 2017 |

**جدول (4-6): ملخص القيم المعيارية المُطبَّقة في الكود الثالث**

**خلاصة الفصل الرابع**

استعرض هذا الفصل المنظومة الكاملة من المعايير والكودات المصرية المعتمدة في تصميم شبكات الكهرباء منخفضة الجهد، والتي شكّلت الأساس الهندسي لبناء الكود الثالث في هذا المشروع. تناول الفصل الأحمال الكهربائية للوحدات السكنية ومعامل قوة العمل، ومعايير توزيع الكشكات التوزيعية وحساب الصمامات الاسمية، ومواصفات الكابلات الرئيسية وكابلات الخدمة والإنارة، وفقدان الجهد ومعادلاته، ومنطق ترتيب العقد وتحديد اتجاه تدفق الطاقة (Chain Flow Logic)، فضلاً عن مواضع العدادات وصناديق التوصيل المنزلي والوصلات الكهربائية. كل هذه العناصر تُرجمت إلى قيود برمجية دقيقة في الكود الثالث جعلت منه أداةً هندسية كاملة قابلة للتطبيق المباشر في مشاريع التخطيط العمراني المصرية. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

# الفصل الخامس: منهجية العمل والنظام المتكامل

## 5.1 مقدمة الفصل

يُعدّ هذا الفصل حلقة الوصل بين الإطار النظري الذي استعرضته الفصول السابقة والتطبيق العملي الذي يُقدّمه هذا المشروع. يستعرض الفصل المنهجية الشاملة التي اعتُمدت في بناء النظام المتكامل لأتمتة التصميم العمراني وشبكات البنية التحتية، بدءاً من المدخلات الأولية وانتهاءً بالمخرجات النهائية القابلة للعرض والتحليل في بيئة ArcGIS Pro. كما يُقدّم الفصل وصفاً تفصيلياً لمعمارية النظام ومكوناته الثلاثة، وتدفق البيانات بين المراحل، والقرارات التصميمية التي حكمت بناء كل كود.

(Esri Inc.، 2023)

## 5.2 الرؤية العامة للنظام المتكامل

يقوم النظام المتكامل على فلسفة تصميمية محورية مفادها أن مراحل التصميم العمراني الثلاث — توليد التصميم، وتصميم شبكة المياه، وتصميم شبكة الكهرباء — يجب أن تعمل بصورة متتالية ومترابطة داخل بيئة جيومكانية واحدة، بدلاً من أن تُنفَّذ بأدوات منفصلة وبيانات غير متجانسة. هذا التكامل هو ما يُميّز النظام المقترح عن الأساليب التقليدية المتبعة في مشاريع التخطيط العمراني. (Batty، 2018)

ينتج عن هذا النهج المتكامل ثلاثة أكواد (Tool Scripts) مستقلة وظيفياً لكنها متكاملة بيانياً: فمخرجات الكود الأول (صورة التصميم المُسقَطة جغرافياً) تُمثّل المدخل البصري الذي يُحدد نطاق الكودَين التاليَين، من خلال تحويل هذا التصميم في طبقات من خلال الرسم للمبانى والطرق وفيما تعتمد الكودان الثاني والثالث على نفس بيانات المباني والطرق المستمدة من التصميم الأولي. وبهذا تُشكّل المخرجات النهائية منظومة بيانات جيومكانية متكاملة لمشروع عمراني كامل.

(Longley et al.، 2015)

**الفلسفة التصميمية للنظام:**

المبنى ← مدخل للكودَين الثاني والثالث | الطريق ← مسار المواسير والكابلات الرئيسية | التصميم الـ AI ← الإطار الجغرافي الجامع للمشروع كله. ثلاثة أكواد — بيانات واحدة — مشروع متكامل.

(Esri Inc.، 2023)

## 5.3 معمارية النظام (System Architecture)

### 5.3.1 المكونات الرئيسية للنظام

تتألف معمارية النظام المتكامل من أربعة مستويات متراتبة تتدرج من طبقة البيانات الخام إلى طبقة المخرجات النهائية القابلة للتحليل والعرض: (Esri Inc.، 2023)

**جدول (5-1): مستويات معمارية النظام المتكامل**

| المستوى | المكوّن | التقنية المُستخدمة | الدور في النظام |
|---|---|---|---|
| الأول | بيانات الإدخال (Data Layer) | Feature Classes — GIS Data | تمثيل الواقع الجغرافي (مباني، طرق، محولات). |
| الثاني | محرك التصميم الذكي (AI Engine) | DALL-E 3 API Python | توليد المخطط العام (Masterplan) وإسقاطه جغرافياً. |
| الثالث | محرك التصميم الهندسي (Logic Engine) | ArcPy Geoprocessing Pipeline | تنفيذ خوارزميات تصميم شبكات المياه والكهرباء. |
| الرابع | المخرجات النهائية (Output Layer) | File Geodatabase Excel — PNG | توفير طبقات GIS كاملة وتقارير حصر الكميات. |

### 5.3.2 بيئة التشغيل والمتطلبات التقنية

يعمل النظام المتكامل داخل بيئة ArcGIS Pro التي تُمثّل الحاوية الموحدة لجميع عمليات المعالجة والعرض. وفيما يلي المتطلبات التقنية اللازمة لتشغيل الأكواد الثلاثة بصورة صحيحة:

(Esri Inc.، 2023)

- ArcGIS Pro 3.0 أو أحدث مع ترخيص Standard أو Advanced لتفعيل جميع أدوات المعالجة الجغرافية المُستخدمة.
- Python 3. المدمج مع ArcGIS Pro مع مكتبة ArcPy، ومكتبات urllib وjson وos وdatetime المُضمَّنة في المكتبة القياسية لـ Python.
- اتصال بالإنترنت لاستدعاء OpenAI API في الكود الأول لتوليد صور التصاميم العمرانية بنموذج DALL-E 3. (OpenAI، 2023)

- مفتاح API صالح من OpenAI (API Key) يمتلك رصيداً كافياً لطلبات توليد الصور، ويُدخَل كمعامل في واجهة الأداة.
- بيانات GIS للمنطقة المستهدفة: طبقة المباني (Polygon)، وطبقة الطرق (Polyline)، وطبقة المحول الكهربائي (Polygon)، وطبقة نطاق المشروع (Polygon).

## 5.4 المراحل الثلاث للنظام

يعمل النظام المتكامل عبر ثلاث مراحل متتالية، كل منها مُنفَّذة كـ Tool Script مستقل داخل ArcGIS Pro..)

**المرحلة الأولى:** توليد التصميم العمراني بالذكاء الاصطناعي

تعتمد هذه المرحلة على استدعاء نموذج DALL-E 3 عبر REST API لتحويل الوصف النصي للمصمم إلى صورة PNG عالية الجودة. الميزة الجوهرية هنا هي عملية الـ Georeferencing الآلية؛ حيث يقوم الكود بحساب أبعاد الصورة بناءً على الـ Extent الجغرافي لنطاق المشروع المُدخل، ثم يُنشئ ملف الاسقاط (World File) المقترن بالصورة ويُعرف نظام الإحداثيات

**المرحلة الثانية:** تصميم شبكة مياه الشرب

يتم في هذه المرحلة تحويل خطوط الطرق إلى شبكة مواسير رئيسية (Main Pipes) بقطر 110 مم من مادة uPVC. يستخدم الكود عمليات Near Analysis المتقدمة لربط كل مبنى بأقرب نقطة على الشبكة الرئيسية، ثم يُنشئ خطوط الخدمة (Service Connections) بقطر 25 مم، ويوزع العدادات (Water Meters) ومحابس الخدمة (Service Valves) والوصلات (Saddles) آلياً عند نقاط التقاطع.

**المرحلة الثالثة:** تصميم شبكة الكهرباء منخفضة الجهد

تقوم هذه المرحلة بتوليد كابلات الجهد المنخفض (LV Main Cables) بمقطع (3×240+120 مم$^2$ ألمنيوم). يوزع الكود الكشكات التوزيعية (Kiosks) عند التقاطعات الرئيسية، ووحدات الإنارة (Lighting) كل 25 متراً. كما يُطبق الكود منطق الـ Chain Flow وتحديد اتجاه التيار بناءً على ترتيب العقد (Node Ordering) انطلاقاً من موقع المحول.

## 5.5 تدفق البيانات بين المراحل (Data Flow)

يُعدّ تدفق البيانات بين المراحل الثلاث من أهم المحاور التصميمية في بناء أي نظام متكامل. في هذا المشروع، تتدفق البيانات بطريقتَين: تدفق مباشر حيث تُغذّي مخرجات مرحلة مدخلاتِ المرحلة التالية، وتدفق متوازٍ حيث تعتمد مرحلتان مختلفتان على نفس مصدر البيانات. (Longley et al.، 2015)

**جدول (5-2): مصفوفة تدفق البيانات بين مراحل النظام المتكامل**

| من المرحلة | إلى المرحلة | البيانات المنتقلة | نوع التدفق |
|---|---|---|---|
| المرحلة الأولى (AI Design) | المرحلتان الثانية والثالثة | نطاق المشروع الجغرافي (Extent) + الإطار التصميمي العام | توجيهي — يُحدد نطاق العمل |
| Feature Class المباني | المرحلتان الثانية والثالثة | مضلعات المباني ومراكزها لحساب التوصيلات الفردية | متوازٍ — مصدر مشترك |
| Feature Class الطرق | المرحلتان الثانية والثالثة | خطوط الطرق كمسار للمواسير والكابلات الرئيسية | متوازٍ — مصدر مشترك |
| المرحلة الثانية (Water) | تقرير الكميات النهائي | بيانات أطوال المواسير وأعداد الملحقات لكل فئة | نهائي — مخرج تسليمي |
| المرحلة الثالثة (Electric) | تقرير الكميات النهائي | بيانات أطوال الكابلات وأعداد العناصر الكهربائية | نهائي — مخرج تسليمي |

## 5.6 المدخلات والمخرجات لكل كود

### 5.6.1 الكود الأول — AI Masterplan Generator

يتلقى الكود الأول خمسة مدخلات عبر واجهة الأداة الرسومية في ArcGIS Pro، ويُنتج ثلاثة مخرجات رئيسية يُعرض آخرها تلقائياً على خريطة المشروع: (OpenAI، 2023)

**جدول (5-3): مدخلات ومخرجات الكود الأول**

| النوع | المعامل | البيانات | الملاحظات |
|---|---|---|---|
| مدخل | Parameter 0 | Feature Class — طبقة نطاق المشروع (Polygon) | يُستخدم لاستخراج الـ Extent الجغرافي |
| مدخل | Parameter 1 | نص — وصف التصميم المطلوب | يُضاف إليه تلقائياً: top-down satellite view |
| مدخل | Parameter 2 | مجلد — مسار حفظ الصور | يُنشأ آلياً إن لم يكن موجوداً |
| مدخل | Parameter 3 | نص — مفتاح OpenAI API | يُمرَّر في ترويسة Authorization |
| مخرج | Parameter 4 | Raster Layer — مسار الصورة المُسقَطة | يُعرَض تلقائياً في خريطة ArcGIS Pro |

### 5.6.2 الكود الثاني — Water Network Designer

يتلقى الكود الثاني ثلاثة مدخلات ويُنتج File Geodatabase كاملة تحتوي على ثماني طبقات GIS وجدول كميات: (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

**جدول (5-4): مدخلات ومخرجات الكود الثاني**

| النوع | المعامل | البيانات | الملاحظات |
|---|---|---|---|
| مدخل | Parameter 0 | Feature Class — طبقة المباني (Polygon) | مصدر مراكد الوحدات السكنية |
| مدخل | Parameter 1 | Feature Class — طبقة الطرق (Polyline) | مسار المواسير الرئيسية |
| مدخل | Parameter 2 | مجلد أو GDB — مسار الحفظ | يُنشئ GDB جديدة تلقائياً |
| مخرج | GDB | Water_Main_Final | خطوط المواسير الرئيسية بقطر 110 مم uPVC |
| مخرج | GDB | Service_Connections | خطوط الخدمة الفردية بقطر 25 مم uPVC |
| مخرج | GDB | Final_Meters | نقاط العدادات (عداد واحد لكل وحدة سكنية) |
| مخرج | GDB | Service_Valves | محابس الخدمة كل 15 متر من نقطة التشعب |
| مخرج | GDB | Saddles | نقاط التشعب عند كل توصيل فردي بالرئيسي |
| مخرج | GDB | Pipe_Fittings | قطع التوصيل (Tee / Cross / Elbow / End Cap) |
| مخرج | GDB | Main_Gate_Valves | محابس العزل الرئيسية عند كل Tee و Cross |
| مخرج | GDB | Fire_Hydrants | كسكولات الحريق عند كل نهاية عمياء |
| مخرج | Table | Quantity_Report | جدول الكميات (إجماليات الأطوال والأعداد) |

### 5.6.3 الكود الثالث — Electric Network Designer

يتلقى الكود الثالث أربعة مدخلات ويُنتج File Geodatabase تحتوي على تسع طبقات GIS وتقرير Excel:

**جدول (5-5): مدخلات ومخرجات الكود الثالث**

| النوع | المعامل | البيانات | الملاحظات |
|---|---|---|---|
| مدخل | Parameter 0 | Feature Class — طبقة المباني (Polygon) | مصدر مراكد الوحدات وحسابات الأحمال |
| مدخل | Parameter 1 | Feature Class — طبقة الطرق (Polyline) | مسار الكابلات الرئيسية |
| مدخل | Parameter 2 | Feature Class — طبقة المحول (Polygon) | نقطة الإمداد ومرجع ترتيب العقد |
| مدخل | Parameter 3 | مجلد أو GDB — مسار الحفظ | يُنشئ GDB جديدة تلقائياً |
| مخرج | GDB | Main_LV_Cables | 3×240+120 مم² ألمنيوم + From/To Node |
| مخرج | GDB | Service_Connections | 4×16 مم² نحاس + From/To Node |
| مخرج | GDB | Street_Lighting | وحدات الإنارة كل 25 متراً على الكابلات |
| مخرج | GDB | Distribution_Kiosks | مع حقول: Houses / Load_kW / Fuse_Type |
| مخرج | GDB | Home_Service_Boxes | صناديق التوصيل عند حدود المباني |
| مخرج | GDB | Cable_Joints | الوصلات الكهربائية عند نقاط تشعب خطوط الخدمة |
| مخرج | GDB | Customer_Meters | عدادات المستهلكين (مركد كل وحدة سكنية) |
| مخرج | GDB | Transformer_Link | يربط المحول بالشبكة الرئيسية |
| مخرج | GDB | Network_Nodes | عقد الشبكة مرتبة مع Node_ID وNode_Type |
| مخرج | Excel | Inventory_Report.xlsx | إحصاءات أطوال وأعداد جميع العناصر |

## 5.7 القرارات التصميمية الرئيسية

### 5.7.1 اختيار Python Tool Scripts بدلاً من Model Builder

تم اختيار Python لتمكين استدعاء REST API لـ OpenAI، وللتعامل مع المنطق البرمجي المعقد مثل حساب الأحمال وتصنيف قطع التوصيل، وتوزيع الأداة كـ Toolbox جاهز للتشغيل.

### 5.7.2 اختيار Memory Workspace للبيانات المؤقتة

اعتمد النظام بصورة مكثفة على فضاء memory/ لتخزين جميع الطبقات الوسيطة خلال تنفيذ السكريبت. هذا القرار أسفر عن تقليص ملحوظ في زمن التنفيذ، كما حمى قاعدة البيانات النهائية من الطبقات المؤقتة. ويُنهي كل كود تنفيذه بأمر arcpy.management.Delete على فضاء memory/ لتحرير الذاكرة.

### 5.7.3 اختيار File Geodatabase كصيغة حفظ نهائية

فُضِّلت File Geodatabase لقدرتها على احتواء طبقات متعددة، ودعم الحقول المتقدمة، وتوافقها الكامل مع ArcGIS Pro وإمكانية مشاركتها بسهولة.

### 5.7.4 اختيار Near Analysis لتحديد التوصيلات الفردية

اعتُمدت دالة Near لحساب الموقع الدقيق على الخط الرئيسي (NEAR_X وNEAR_Y) بدلاً من أقرب نقطة طرفية، مما يُنتج شبكةً أقصر في الأطوال وأدق في الموقع الهيدروليكي والكهربائي.

## 5.8 آلية معالجة الأخطاء في الأكواد

تعتمد الأكواد الثلاثة بنية Try-Except-Finally للتعامل مع الأخطاء المحتملة، مما يضمن إبلاغ المستخدم بالخطأ الدقيق وحذف بيانات الـ memory/ المؤقتة دائماً لتجنب تراكم الملفات التالفة.

**[خطوات المعالجة الرئيسية]**

```
except Exception as e:
    arcpy.AddError(f'خطأ هندسي: {str(e)}')
finally:
    arcpy.management.Delete('memory')
```

## 5.9 مقارنة المنهجية التقليدية بالمنهجية المقترحة

**جدول (5-6): مقارنة المنهجية التقليدية بالمنهجية المقترحة**

| معيار المقارنة | المنهجية التقليدية | المنهجية المقترحة |
|---|---|---|
| التصميم العمراني الأولي | أيام إلى أسابيع من العمل اليدوي | دقيقتان بنموذج DALL-E 3 |
| دقة الإسقاط الجغرافي | يدوي — معرض للخطأ البشري | آلي 100% من الـ Extent |
| تصميم شبكة المياه | 3 – 5 أيام لمهندس متخصص | أقل من 5 دقائق |
| تصميم شبكة الكهرباء | 3 – 5 أيام لمهندس متخصص | أقل من 5 دقائق |
| تقرير الكميات BOQ | ساعات من الحصر اليدوي | آلي في نهاية كل كود |
| التوافق مع GIS | تحويل يدوي للرسومات | المخرجات Feature Classes جاهزة |

## 5.10 حدود النظام وافتراضاته

- يفترض النظام أن محاور الطرق هي المسار الأمثل لمواسير المياه وكابلات الكهرباء.
- تُعتمد قيمة حمل ثابتة (5 كيلوواط للوحدة) في الكود الثالث دون مراعاة التنوع في مساحات الوحدات. (شركة القاهرة للكهرباء، 2020)
- لا يُجري النظام محاكاة هيدروليكية كاملة (Hydraulic Simulation)، بل يُطبّق القيم المعيارية مباشرةً.
- جودة صور DALL-E 3 تعتمد على دقة الوصف النصي (Prompt Engineering) . (OpenAI، 2023)
- يشترط النظام أن تكون بيانات GIS المُدخَلة ذات جودة توبولوجية مقبولة ولكنة يعالج اغلب الأخطاء الصغيرة .

---

**خلاصة الفصل الخامس**

قدّم هذا الفصل الخريطة الكاملة لمنهجية العمل والنظام المتكامل، من خلال استعراض الفلسفة التصميمية للنظام ومعمارية مكوناته، ووصف المراحل الثلاث بتفصيل تام، وتحليل تدفق البيانات والقرارات التصميمية. كما أثبتت المقارنة المنهجية تفوق الأسلوب الآلي في الوقت والدقة، مع بيان حدود النظام وافتراضاته بشفافية علمية. (Esri Inc.، 2023)

مرحلة توليد التصميم العمراني بالذكاء الاصطناعي

تمثل هذه المرحلة بوابة الدخول إلى النظام المتكامل، وهي الأكثر ابتكاراً من الناحية التقنية إذ تجمع بين تقنيتين نادراً ما تلتقيان في سياق واحد: نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي القادرة على إبداع تصاميم بصرية من وصف نصي، ومنظومة نظم المعلومات الجغرافية القادرة على إسباغ الهوية المكانية الدقيقة على هذه التصاميم وجعلها بيانات جيومكانية فاعلة..

## 6.2 الأساس النظري لنماذج الانتشار

### 6.2.1 آلية عمل نماذج الانتشار

نماذج الانتشار (Diffusion Models) تعمل وفق مبدأ رياضي محدد: في مرحلة التدريب (Forward Process) تُضاف ضوضاء عشوائية (Gaussian Noise) إلى الصورة الأصلية تدريجياً عبر خطوات زمنية متتالية حتى تتحول إلى ضوضاء خالصة.

ثم يُعلَّم النموذج عكس هذه العملية (Reverse Process): استعادة الصورة الأصلية انطلاقاً من الضوضاء وبتوجيه من وصف نصي.

تتميز نماذج الانتشار الكامنة (Latent Diffusion Models — LDMs) التي يعتمد عليها DALL-E 3 بأنها لا تُجري عملية الانتشار على الصورة في فضاء البكسلات مباشرةً بل في فضاء كامن (Latent Space) ذي أبعاد أقل بكثير، مما يُقلص التكلفة الحسابية ويُتيح توليد صور عالية الدقة بسرعة معقولة. وفي كل خطوة زمنية يتلقى نموذج U-Net المُعدَّل الصورة المشوشة والوصف النصي المُرمَّز ويتنبأ بمقدار الضوضاء الواجب إزالتها للاقتراب من الصورة المستهدفة.

**المعادلة الأساسية للانتشار العكسي:**

$$x_{t-1} = (1/\sqrt{\alpha_t}) \times [\, x_t - (\beta_t / \sqrt{(1-\bar{\alpha}_t)}) \times \varepsilon_\theta(x_t, t, c) \,] + \sigma_t \times z$$

حيث: $x_t$ الصورة عند الخطوة t | $\varepsilon_\theta$ النموذج المُدرَّب على تقدير الضوضاء | c الوصف النصي المُشفَّر | $\sigma_t$ معامل التباين | z ضوضاء إضافية

(OPEN _A:platform)

### 6.2.2 ترميز النص (Text Encoding) في DALL-E 3

يعتمد DALL-E 3 على نموذج CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) لترميز الوصف النصي إلى متجه تمثيل عددي (Embedding Vector) يُوجّه عملية التوليد. يُدرَّب CLIP على مليارات من أزواج الصور والنصوص لتعلم العلاقة الدلالية بينهما، مما يجعله قادراً على فهم أوامر لغوية دقيقة مثل 'top-down satellite view' أو 'architectural masterplan style' وترجمتها إلى خصائص بصرية محددة. يُضاف إلى ذلك توظيف آلية Classifier-Free Guidance التي تُتيح التحكم في درجة التزام النموذج بالوصف النصي مقابل الحرية الإبداعية.

## 6.3 هندسة الوصف النصي (Prompt Engineering)

### 6.3.1 أهمية هندسة الوصف في توليد التصاميم العمرانية

هندسة الوصف النصي (Prompt Engineering) هي الممارسة العلمية لصياغة الأوامر النصية المُقدَّمة لنماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي بطريقة تُعظّم جودة المخرجات وتوافقها مع الهدف المطلوب. في سياق توليد تصاميم الـ Masterplan لهذا المشروع، تكتسب هذه الممارسة أهمية مضاعفة: فالهدف ليس صورة جميلة فحسب، بل صورة تعكس نظرة جوية مستوية تماماً قابلة للإسقاط الجغرافي على خريطة حقيقية، وأي منظور مائل أو تشويه ثلاثي الأبعاد في الصورة يُفسد دقة الإسقاط.

### 6.3.2 بنية الوصف النصي المُعتمدة

اعتمد الكود الأول بنية وصف مُركَّبة (Composite Prompt) تجمع بين الوصف التصميمي المُدخَل من المستخدم وعدد من الكلمات المفتاحية التقنية الثابتة:

**بنية الوصف النصي في الكود الأول:**

final_prompt = prompt + ", top-down satellite view, perfectly flat, "architectural masterplan style, high resolution, no perspective"

تؤدي عبارة 'top-down satellite view' دور توجيه زاوية الرؤية نحو العمودية الكاملة، وهي أهم كلمة مفتاحية في البنية لأن أي منحرف زاوي في الصورة يُترجم إلى خطأ إحداثي عند الإسقاط. أما 'perfectly flat' و'no perspective' فتعملان معاً لإلغاء أي تشويه ثلاثي الأبعاد قد يظهر حول المباني المرتفعة. وتؤدي 'architectural masterplan style' دوراً جمالياً وظيفياً في آنٍ واحد إذ تُوجّه النموذج نحو الأسلوب البصري للمخططات المعمارية الجوية الاحترافية.

**جدول (6-1): الكلمات المفتاحية في بنية الوصف النصي وأدوارها الجيومكانية**

| الكلمة المفتاحية | الدور التقني | أثرها على الإسقاط الجغرافي |
|---|---|---|
| top-down satellite view | تحديد زاوية الرؤية عمودياً 90° | ضروري — أي منظور مائل يُشوّه الإسقاط |
| perfectly flat | إلغاء المنظور ثلاثي الأبعاد | ضروري — التشويه المنظوري يُخلّ بالإحداثيات |
| architectural masterplan style | توجيه النمط البصري نحو المخططات المعمارية | مُحسِّن — يُنتج صورة أوضح للرقمنة |
| high resolution | طلب أعلى دقة ممكنة من النموذج | مُحسِّن — دقة أعلى = تفاصيل أوضح |
| no perspective | تأكيد إضافي لإلغاء التشويه المنظوري | ضروري — يُعزز تأثير perfectly flat |

## 6.4 استدعاء OpenAI API وبنية الطلب

### 6.4.1 بنية طلب API

يعتمد الكود الأول على واجهة REST الخاصة بـ OpenAI لإرسال طلب توليد الصورة بروتوكول HTTPS POST إلى نقطة النهاية /v1/images/generations. يتضمن جسم الطلب (Request Body) بصيغة JSON أربعة معاملات تتحكم في طبيعة الصورة الناتجة (model, prompt, n, size).

**لماذا حجم 1024×1024 تحديداً؟**

اختيار دقة مربعة الشكل ليس تفضيلاً جمالياً — بل اشتراط هندسي صارم. ملف (World File) يفترض أن البكسل مربع (pixel_size_x = pixel_size_y). أي دقة غير مربعة مثل 1792×1024 يُنتج World File مشوهاً يُفضي إلى خطأ في الموقع الجغرافي يصعب اكتشافه بالعين المجردة.

### 6.4.2 معالجة استجابة API وحفظ الصورة

تعود استجابة API برابط url مؤقت صالح لساعة واحدة فقط. لهذا يُنفَّذ التحميل فوراً. يُضمَّن في اسم الملف طابع زمني (Timestamp) بصيغة YYYYMMDD_HHMMSS لضمان تفرد كل ملف وتسهيل تتبع جلسات التوليد المختلفة.

## 6.5 الإسقاط الجغرافي — من صورة رقمية إلى بيانات جيومكانية

### 6.5.1 استخراج الـ Extent والتحقق من الإسقاط

يتم استخراج الحدود الجغرافية الدقيقة للمنطقة المستهدفة من Feature Class المُدخَل عبر كائن Extent الذي يحتوي على الإحداثيات الأربعة: XMin وXMax وYMin وYMax. يتحقق الكود أيضاً من وجود نظام إحداثيات مُعرَّف، إذ أن غيابه يُنتج قيم World File خاطئة.

### 6.5.2 توليد World File آلياً والأساس الرياضي

ملف الإحداثيات(.pgw) يحتوي على ستة معاملات تُعرّف التحويل الخطي الأفيني (Affine Linear Transformation) من إحداثيات البكسل إلى الإحداثيات الجغرافية.

**حساب معاملات World File:**

```
pixel_size_x = (extent.XMax - extent.XMin) / 1024.0
pixel_size_y = (extent.YMax - extent.YMin) / 1024.0
with open(world_file_path, "w") as wf:
    wf.write(f"{pixel_size_x}\n")          # A: حجم البكسل محور X
    wf.write("0.0\n")                      # D: دوران حول Y = صفر
    wf.write("0.0\n")                      # B: دوران حول X = صفر
    wf.write(f"-{pixel_size_y}\n")         # E: سالب — تصحيح محور Y
    wf.write(f"{extent.XMin+(pixel_size_x/2)}\n")   # C: مركز البكسل الأول X
    wf.write(f"{extent.YMax-(pixel_size_y/2)}\n")   # F: مركز البكسل الأول Y
```

**لماذا السطر الرابع في ملف العالم سالب؟**

نظام صور: Y=0 في الأعلى ويتزايد نزولاً ↓ | نظام خرائط: Y الأصغر في الأسفل ويتزايد صعوداً ↑.

التناقض يستلزم قيمة سالبة: كلما تقدمنا سطراً في الصورة نتحرك بمقدار سالب في المحور Y الجغرافي.

بدون هذا التصحيح تُعرض الصورة مقلوبة رأساً على عقب.

### 6.5.3 تعريف الإسقاط بأداة DefineProjection

تُرفق الأداة نظام الإحداثيات بملف الصورة PNG مباشرةً عبر إنشاء ملف .prj مرافق، ليتم عرض الصورة تلقائياً على خريطة المشروع فور اكتمال التنفيذ.

## 6.6 التحقق من صحة الإسقاط ومعايير القبول

### 6.6.1 مصادر الخطأ المحتملة

- **خطأ زاوية التوليد:** قد لا يحترم DALL-E 3 العمودية الكاملة تماما لذلك يجب مراعاه توضيح زاوية المنظور المطلوبة في الوصف النصى المطلوب من المستخدم بدقة.
- **دقة التمثيل المكاني:** الصورة 1024×1024 قد تكون غير كافية لمناطق واسعة جداً.
- **جودة الوصف النصي:** الاعتماد الكلي على دقة المدخلات النصية.

### 6.6.2 معايير القبول والرفض للصورة الناتجة

جدول (6-2): معايير قبول ورفض الصورة الناتجة

| المعيار | شرط القبول | إجراء عند الرفض |
|---|---|---|
| زاوية الرؤية | عمودية 100% — لا يظهر أفق | إعادة التوليد مع تعزيز 'top-down' |
| نسبة الأبعاد | عناصر متناسبة ومتوازنة | إضافة 'square format' للوصف |
| وضوح الحدود | حدود الطرق والمساحات واضحة | إضافة 'ultra-detailed, sharp edges' |
| غياب الزوائد | لا نصوص ولا علامة مائية | إضافة 'no labels, no text' |

## 6.7 الملفات الناتجة وتدفق التنفيذ

جدول (6-3): الملفات الناتجة عن الكود الأول

| الملف / الملحق | المحتوى والدور الجيومكاني |
|---|---|
| png. | صورة التصميم المُولّدة (الملف الرئيسي) |
| pgw. | World File — ربط البكسل بالإحداثي |
| prj. | تعريف نظام الإحداثيات (Projection) |
| aux.xml. | بيانات وصفية من ArcGIS لدعم التحليل |

**نماذج أوصاف نصية لأنماط تصميمية مختلفة**

جدول (6-4): نماذج أوصاف نصية موصى بها

| نوع المشروع | نموذج الوصف النصي الموصى به |
|---|---|
| مجمع فلل سكنية | residential villa compound with internal loop roads, private gardens, central park, uniform plot sizes, Arabic architectural style, gated community |
| حي سكني متكامل | mixed residential neighborhood with apartment blocks, commercial ground floors, main boulevard and grid of secondary streets, urban block pattern |
| مشروع تجاري | commercial district with large floor-plate retail buildings, wide access roads and roundabouts, open plazas, multi-level parking structures |
| مجمع إداري | administrative campus with central main building, secondary office wings, tree-lined central axis, organized visitor parking perimeter |
| منطقة صناعية | light industrial zone with large warehouse blocks, wide internal roads for trucks, designated loading bays, green buffer zone at boundary |

الان سوف يتم استعراض بعض من التصميمات التي تم انتاجها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية داخل arc.gis pro

**وفى هذه المرحلة يطلق العنان للمستخدم بإنتاج التصميم وفق وصف نصى ويقوم النظام بتوجيهه بشكل هندسى وذات ابعاد جغرافية يمكن الاعتماد عليها في عمليات التخطيط**

## 6.9 الدور الوظيفي للمخرجات

من خلال الإسقاط الجغرافي الدقيق تُصبح صورة التصميم طبقةً جيومكانية فاعلة تستخدم كـ **إطار مرجعي للرقمنة** ((Basemap لرسم المباني والطرق، وكـ **مرجع بصري للتحقق** من توافق شبكات المياه والكهرباء، وكـ **مدخل لإنتاج المخططات النهائية** الاحترافية.

**تأتي بعد هذه المرحلة مرحلة التحويل من مظهر الصورة إلى طبقات داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية منها طبقات المباني والطرق التي تستخدم كمدخل في أكواد شبكات المياه وأكواد شبكات الكهرباء ويمكن استخدامها في تحويل التصميم من مجرد شكل ثنائي الأبعاد الى شكل ثلاثي الأبعاد ويمكن في هذه العملية القيام بها بشكل أوتوماتيكي أيضا من خلال نماذج التعلم العميق deeb learn الخاصة بشركة esri ولكن لا تحتاج إمكانيات مكونات أجهزة عالية في القوة و يجدر الإشارة الى انة تم تصميم كود رابع يستخرج الطبقات من خلال البصمة اللونية لكل ظاهرة ولكنة يخرج من النظرة الاوتوماتيكية وذلك لانة يحتاج الى تعديل مستمر داخل الكود في الجزء الخاص بالتدرجات اللونية حسب التصميم المنتج**

## الفصل السابع: مرحلة تصميم شبكة مياه الشرب والكهرباء منخفضة الجهد

### 7.1مرحلة تصميم شبكة مياه الشرب

تُمثّل هذه المرحلة أولى مراحل تصميم البنية التحتية في النظام المتكامل، وتعتمد على مخرجات المرحلة السابقة التصميم العمراني المُسقَط جغرافياً إطاراً مرجعياً لرسم شبكة مياه الشرب ومكوناتها الكاملة. يستعرض هذا الفصل المنطق الهندسي والبرمجي لكل خطوة في الكود الثاني، مربوطاً بالمعايير المصرية التي استُعرضت في الفصل الثالث، ومُوضِّحاً كيف تُترجَم هذه المعايير إلى قرارات برمجية قابلة للتنفيذ الآلي داخل بيئة ArcGIS Pro. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

### 7.2 الهيكل العام لخوارزمية الكود الثاني

يعمل الكود الثاني وفق خوارزمية متسلسلة من ثماني مراحل متراتبة، تبدأ من استقبال البيانات الجيومكانية الخام وتنتهي بحفظ شبكة مياه الشرب الكاملة في File Geodatabase مع تقرير الكميات المصاحب. يعتمد الكود بصورة مكثفة على فضاء memory/ لتخزين جميع الطبقات الوسيطة لتحقيق أعلى كفاءة في الأداء. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

| المرحلة | العملية | الأداة الرئيسية | المخرج |
|---|---|---|---|
| 1 | تصحيح توبولوجيا الطرق | Integrate | memory/RoadsCleaned |
| 2 | إنشاء المواسير الرئيسية | + CopyFeatures Generalize | memory/WaterMain |
| 3 | حساب مراكد المباني وخطوط الخدمة | Near + XYToLine | memory/ServiceLines |
| 4 | توزيع الملحقات الفردية | InsertCursor | Saddles + Valves + Meters |
| 5 | تقسيم المواسير عند نقاط التشعب | SplitLineAtPoint | memory/SplitMain |
| 6 | تصنيف قطع التوصيل والملحقات | + SearchCursor InsertCursor | + Fittings + Gate Valves Hydrants |
| 7 | إضافة الحقول الفنية وحساب الأطوال | + AddField CalculateField | حقول: Diameter / Material / Pressure / Length |
| 8 | توليد تقرير الكميات والحفظ النهائي | + GetCount CopyFeatures | GDB كاملة + Quantity_Report |

**جدول (7-1): مراحل خوارزمية الكود الثاني والأدوات المستخدمة**

**تأتي المرحلة الأولية ألا وهي إنشاء المواسير الرئيسية ومواسير الخدمة ومكونات الشبكة وإدراج منطق برمجي لضمان اتصال تلك المكونات ببعضها البعض بدون فارق يلحظ بالعين المجردة**

### 7.8.2 تطبيق منطق التصنيف

استناداً إلى خريطة العقد، يُطبّق الكود الثاني منطق التصنيف التالي على كل نقطة في طبقة قطع التوصيل: يُحدّث نوع الفيتنج ويُضيف Gate Valve عند التفرعات الرئيسية وFire Hydrant عند النهايات العمياء. هذا المنطق يُجسّد بدقة برمجية اشتراطات الكود المصري التي تُوجب تركيب محبس عزل عند كل تفرع ثلاثي أو رباعي وكسكول حريق عند كل نهاية عمياء.

**(وزارة الإسكان المصرية، 2016)**

| المرجع | الملحق المُضاف | قطعة التوصيل | نوع العقدة | عدد الاتصالات |
|---|---|---|---|---|
| الكود المصري 2016 | Fire Hydrant | End Cap | نهاية عمياء (Dead End) | 1 |
| الكود المصري 2016 | — | Elbow Fitting | تغيير اتجاه | 2 |
| الكود المصري 2016 | Gate Valve | Tee Fitting | تفرع ثلاثي | 3 |
| الكود المصري 2016 | Gate Valve | Cross Fitting | تفرع رباعي أو أكثر | +4 |

**جدول (7-2): منطق التصنيف الذكي لقطع التوصيل والملحقات**

### 7.9 المرحلة التالية الحقول الفنية والبيانات الوصفية

### 7.9.1 الحقول المُضافة لطبقات الشبكة

وفق اشتراطات الكود المصري لتوثيق شبكات مياه الشرب، يُضيف الكود الثاني أربعة حقول فنية لكل من طبقة المواسير الرئيسية وطبقة خطوط الخدمة. تحتوي هذه الحقول على المعلومات التصميمية الضرورية لأي تحليل هيدروليكي أو حصر كميات لاحق. **(الجهاز المركزي للتعمير، 2015)**

| اسم الحقل | نوع البيانات | القيمة للمواسير الرئيسية | القيمة لخطوط الخدمة | المصدر |
|---|---|---|---|---|
| Diameter_mm | LONG | 110 مم | 25 مم | الكود المصري 2016 |
| Material | TEXT | uPVC | uPVC | المواصفات المصرية ES |
| Pressure_Bar | FLOAT | 10.0 بار | 10.0 بار | الكود المصري 2016 |
| Length_M | DOUBLE | محسوب آلياً (م) | محسوب آلياً (م) | shape.length |

**جدول (7-3): الحقول الفنية المُضافة لطبقات الشبكة**

## 7.10 امرحلة التالية: توليد تقرير الكميات والحفظ النهائي

### 7.10.1 بنية تقرير الكميات

يُوجب الكود المصري في مشاريع شبكات المياه إعداد تقرير كميات تفصيلي (Bill of Quantities — BOQ) يُشكّل أساس حسابات التكلفة والمناقصة. يُنشئ الكود الثاني هذا التقرير آلياً كجدول بيانات (Table) داخل File Geodatabase يحتوي على ثلاثة حقول: اسم البند، والعدد أو الكمية، والطول الإجمالي بالمتر للعناصر الخطية. **(وزارة الإسكان المصرية، 2016)**

### 7.10.2 الحفظ النهائي في File Geodatabase

في الخطوة الأخيرة يُنقل كل محتوى فضاء memory/ إلى File Geodatabase دائمة. يستخدم الكود قاموساً برمجياً يربط الاسم النهائي المطلوب في GDB بمصدره المؤقت في الذاكرة، مما يجعل عملية الحفظ منظمة وقابلة للتوسع بسهولة. تنتهي العملية بحذف فضاء memory/ بالكامل لتحرير الذاكرة.

(الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

## 7.11 الشبكة الكاملة — وصف المخرجات النهائية

تحتوي File Geodatabase الناتجة عن الكود الثاني على تسع طبقات وجدول كميات، تُشكّل معاً شبكة مياه شرب تصميمية كاملة وفق المعايير المصرية جاهزة للتحليل والتقديم: **(وزارة الإسكان المصرية، 2016**

| اسم الطبقة في GDB | نوع الهندسة | المحتوى | المعيار المُطبَّق |
|---|---|---|---|
| Water_Main_Final | Polyline | المواسير الرئيسية مُقسَّمة عند التفرعات | uPVC — 110 مم 10 بار |
| Service_Connections | Polyline | خطوط الخدمة الفردية لكل وحدة | uPVC — 25 مم 10 بار |
| Saddles | Point | نقاط التشعب مع الماسورة الرئيسية | Tapping Saddle عند كل توصيل |
| Service_Valves | Point | محابس الخدمة الفردية | Curb Valve — 15 متر حد أقصى |
| Final_Meters | Point | عدادات المياه — واحد لكل وحدة | عند مركد كل وحدة سكنية |
| Pipe_Fittings | Point | قطع التوصيل: Tee/Cross/Elbow/End Cap | وفق عدد الاتصالات |
| Main_Gate_Valves | Point | محابس العزل الرئيسية عند التفرعات | عند كل Tee و Cross |
| Fire_Hydrants | Point | كسكولات الحريق عند النهايات العمياء | 100 لتر/دقيقة — 1.5 بار |
| Quantity_Report | Table | تقرير الكميات الإجمالي لجميع البنود | الكود المصري — BOQ |

**جدول (7-4): مخرجات الكود الثاني الكاملة في File Geodatabase**

## 7.12 نقاط الضعف والقيود الهندسية

يُقدّم الكود الثاني مستوى من التصميم الأولي (Preliminary Design) الكافي لمرحلة التخطيط العمراني، غير أنه لا يُغني عن مراحل التصميم التفصيلي اللاحقة. وتجدر الإشارة إلى جملة من القيود التي يجب مراعاتها عند استخدام مخرجاته: **(الجهاز المركزي للتعمير، 2015)**

- لا يُجري الكود محاكاة هيدروليكية كاملة (Hydraulic Simulation) كبرنامج EPANET لحساب ضغط التشغيل الفعلي في كل نقطة، بل يُطبّق الضغط التصميمي كقيمة ثابتة مبنية على المعيار المصري. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)
- يفترض الكود تضاريس مستوية ولا يأخذ في الاعتبار الاختلاف في المناسيب

(Elevation Differences) التي قد تؤثر على توزيع الضغط في المشاريع ذات التضاريس المتغيرة. (الجهاز المركزي للتعمير، 2015)

- تُعتمد قيمة قطر ثابتة (110 مم للرئيسي و25 مم للخدمة) دون تحسين تدريجي للأقطار بحسب الحمل المائي الفعلي، وهو ما يستلزم مراجعة هندسية في مشاريع الكثافة السكانية العالية.

**(وزارة الإسكان المصرية، 2016)**

### مرحلة تصميم شبكة الكهرباء منخفضة الجهد

تُمثّل هذه المرحلة ثانية مراحل تصميم البنية التحتية في النظام المتكامل، وتعمل بالتوازي مع مرحلة شبكة المياه إذ تعتمد على نفس بيانات المباني والطرق والنطاق الجغرافي. غير أن خوارزمية شبكة الكهرباء تتضمن عدداً من التحديات التقنية الإضافية التي تميزها عن سابقتها: حساب الأحمال الكهربائية وتصنيف الصمامات، ومنطق ترتيب العقد وتحديد اتجاه التدفق (Chain Flow Logic)، وتوليد تقرير الكميات بصيغة Excel. يستعرض هذا الفصل كل خطوة في الكود الثالث بتفصيل علمي وتقني كامل مُستنداً إلى مراجع الكود المصري للكهرباء ومواصفات شركات التوزيع المصرية.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

## 8.2 الهيكل العام لخوارزمية الكود الثالث

يعمل الكود الثالث وفق خوارزمية من عشر مراحل متراتبة، تبدأ من استقبال البيانات الخام وتنتهي بتصدير File Geodatabase كاملة وتقرير Excel. والجدول التالي يستعرض هذه المراحل بإيجاز قبل التفصيل: (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| المرحلة | العملية | الأداة الرئيسية | المخرج |
|---|---|---|---|
| 1 | إنشاء الكابلات الرئيسية وتصحيح التوبولوجيا | CopyFeatures + Snap | memory/MainCables |
| 2 | توليد مواقع الكشكات عند التقاطعات | Intersect + DeleteIdentical | memory/RoadIntersections |
| 3 | توليد الكشكات على امتداد الكابل كل 300 م | GeneratePointsAlongLines | memory/LongPnt |
| 4 | دمج الكشكات وإزالة التكرارات | Merge + DeleteIdentical | memory/Kiosks |
| 5 | توليد وحدات إنارة الشوارع كل 25 م | GeneratePointsAlongLines | memory/StreetLights |
| 6 | حساب مراكد المباني وتوصيلات الخدمة | + FeatureToPoint + Near XYToLine | memory/ServiceLines |
| 7 | حساب أحمال الكشكات وتصنيف الصمامات | Near + UpdateCursor | memory/Kiosks (محدَّث) |
| 8 | تحديد المحول وخط التغذية | + FeatureToPoint + Near XYToLine | memory/Feeder |
| 9 | ترتيب العقد وتطبيق Chain Flow Logic | + Near + Sort UpdateCursor | From_Node / To_Node |
| 10 | تصدير GDB وتقرير Excel وتنظيف الذاكرة | + CopyFeatures TableToExcel | GDB + .xlsx |

**جدول (8-1): مراحل خوارزمية الكود الثالث والأدوات المُستخدمة**

## 8.3 المرحلة الأولى: إنشاء الكابلات الرئيسية وضبط التوبولوجيا

### 8.3.1 نسخ الطرق كمسار للكابلات الرئيسية

على غرار الكود الثاني، تسير الكابلات الرئيسية منخفضة الجهد بالتوازي مع محاور الطرق وفق الكود المصري للكهرباء الذي يُوجب دفن الكابلات في خنادق مجاورة لحواف الطريق. يبدأ الكود الثالث بنسخ طبقة الطرق كطبقة كابلات رئيسية، ثم يُطبّق أداة Snap عليها لضمان التقاء أطراف الكابلات في نقاط التقاطع.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

**إنشاء الكابلات الرئيسية وتطبيق Snap:**

```
main_cables = 'memory/MainCables'
arcpy.management.CopyFeatures(roads, main_cables)


# Snap: يُلاصق أطراف الكابلات بعضها بتسامح 1 متر
# يضمن الاتصالية الكهربائية عند تقاطعات الطرق
arcpy.edit.Snap(main_cables, [[main_cables, 'END', '1 Meters']])
```

**الفرق بين Snap وIntegrate:**

كلتا الأداتَين تُصحح التوبولوجيا، غير أنهما تختلفان في المنهج: Integrate تُحرّك النقاط المتقاربة لتلتقي في نقطة وسط، بينما Snap تُلاصق الأطراف بنقطة مرجعية محددة (END) دون تغيير باقي الهندسة. في شبكة الكهرباء اختِير Snap لأن أطراف الكابلات هي نقاط التشعب الحقيقية التي يجب أن تلتقي بدقة في نقطة واحدة دون أي إزاحة. **(Esri Inc.، 2023)**

## 8.4 : توليد مواقع صناديق التوزيع

### 8.6.2 إنشاء توصيلات الخدمة

بعد حساب مراكد الوحدات، يُطبّق الكود تحليل Near مع خيار LOCATION لإيجاد أقرب نقطة على الكابل الرئيسي من كل عداد. تُخزَّن إحداثيات هذه النقطة في حقلَي NEAR_X وNEAR_Y، ثم تُنشأ توصيلات الخدمة بأداة XYToLine التي ترسم خطاً مستقيماً بين موقع العداد وأقرب نقطة على الكابل الرئيسي. هذا المنطق مطابق لما استُخدم في الكود الثاني مع شبكة المياه مما يُثبت أن المنهجية موحدة ومتسقة بين الشبكتَين.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

**تحليل Near وإنشاء توصيلات الخدمة:**

```
نقطة التوصيل الفعلية على الكابل — NEAR_Yو NEAR_X يُنتج :Near #
arcpy.analysis.Near(meters, main_split, location='LOCATION')


service_lines = 'memory/ServiceLines'
arcpy.management.XYToLine(
meters, service_lines,
'POINT_X', 'POINT_Y',   # موقع العداد
'NEAR_X',  'NEAR_Y'    # نقطة التوصيل على الكابل
)
```

## 8.7 : حساب الأحمال وتصنيف الصمامات

### 8.7.1 حساب الحمل الكهربائي لكل وحدة

يُسند الكود الثالث حملاً كهربائياً ثابتاً مقداره 5 كيلوواط لكل وحدة سكنية وفق متوسط مواصفات شركات التوزيع المصرية، ثم يُحوّله إلى كيلوفولت-أمبير بقسمته على معامل قوة العمل 0.90. يُخزَّن كلا القيمتَين في حقلَي Load_kW وLoad_kVA في طبقة العدادات لاستخدامهما لاحقاً في حساب أحمال الصناديق.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

### 8.7.3 تصنيف الصمام الاسمي لكل كشك

بعد معرفة عدد الوحدات المرتبطة بكل كشك، يُحسب الحمل الكلي عليه ثم يُصنَّف الصمام الاسمي المناسب

(NH Fuse) وفق جدول الكود المصري للكهرباء: أقل من 80 كيلوواط يستدعي صمام 100 أمبير، ومن 80 إلى 150 كيلوواط يستدعي 160 أمبير، وما فوق ذلك يستدعي 200 أمبير.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| المصدر | التيار الاسمي | نوع الصمام | نطاق الوحدات التقريبي | الحمل الكلي (كيلوواط) |
|---|---|---|---|---|
| الكود المصري 2018 | 100 أمبير | NH Fuse | أقل من 16 وحدة | أقل من 80 |
| الكود المصري 2018 | 160 أمبير | NH Fuse | 16 – 30 وحدة | 80 إلى 150 |
| الكود المصري 2018 | 200 أمبير | NH Fuse | أكثر من 30 وحدة | 150 فأكثر |

**جدول (8-2): تصنيف الصمامات الاسمية وفق الكود المصري للكهرباء**

## 8.8 : تحديد المحول وخط التغذية

يُمثَّل المحول الكهربائي في البيانات المُدخَلة كمضلع (Polygon Feature Class). يُحوّله الكود إلى نقطة مركزية داخلية بأداة FeatureToPoint، ثم يُضيف إليها إحداثياتها بأداة AddXY، وأخيراً يجد أقرب نقطة على الكابل الرئيسي منها لرسم خط التغذية (Feeder) الذي يربط المحول بالشبكة. يُمثّل هذا الخط نقطة البداية التي تنطلق منها الطاقة عبر كامل الشبكة. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

**تحديد المحول وإنشاء خط التغذية:**

```
trans_pnt = 'memory/Transformer'
arcpy.management.FeatureToPoint(transformer, trans_pnt, 'INSIDE')
arcpy.management.AddField(trans_pnt, 'Node_Type', 'TEXT')
arcpy.management.CalculateField(trans_pnt, 'Node_Type', "'Transformer'", 'PYTHON3')
arcpy.management.AddXY(trans_pnt)

# Near: يجد أقرب نقطة على الكابل الرئيسي من المحول
arcpy.analysis.Near(trans_pnt, final_main, location='LOCATION')

feeder = 'memory/Feeder'
arcpy.management.XYToLine(
trans_pnt, feeder,
'POINT_X', 'POINT_Y', 'NEAR_X', 'NEAR_Y'
```

## 8.9 : ترتيب العقد وChain Flow Logic

### 8.9.1 فلسفة ترتيب العقد

أبرز ما يُميّز الكود الثالث عن بقية الأكواد هو آلية تحديد اتجاه تدفق الطاقة الكهربائية في كل كابل. في شبكات توزيع الكهرباء يُعدّ اتجاه التدفق من المصدر إلى الحمل (Source-to-Load) معلومةً هندسية أساسية تُستخدم في التحليل الشبكي وحسابات الأحمال. الكود يُحقق هذا التحديد آلياً دون الحاجة إلى تدخل المستخدم عبر منطق ترتيب العقد. **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)**

المبدأ الأساسي بسيط وعبقري في آنٍ واحد: إذا رقّمنا كل عقدة في الشبكة بحسب بُعدها عن المحول (الأقرب رقم 1 والأبعد رقم أعلى)، فإن أي كابل يجب أن يتدفق من العقدة ذات الرقم الأصغر إلى العقدة ذات الرقم الأكبر لأن الطاقة دائماً تتدفق من المصدر (الأقرب للمحول) نحو الحمل (الأبعد عنه).

### 8.9.2 بناء طبقة العقد الموحدة

يجمع الكود أولاً جميع نقاط العقد من مصادرها المختلفة في طبقة موحدة: المحول ومراكز صناديق التوزيع والوصلات الكهربائية وعدادات الوحدات. لكل عقدة يُضاف حقل Node_Type يُعرّف نوعها الهندسي لاستخدامه في التحليل وإنتاج الخرائط. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

### 8.9.3 ترتيب العقد بحسب البُعد عن المحول

يُطبّق الكود تحليل Near على الطبقة الموحدة مُقارَنةً بنقطة المحول، مما يُنتج لكل عقدة قيمة NEAR_DIST تُعبّر عن بُعدها الجيومكاني عن المحول. ثم تُرتَّب العقد تصاعدياً وفق هذا البُعد بأداة Sort، وتُسنَد لكل عقدة قيمة Node_ID من 1 للمحول الأقرب إلى أعلى رقم للأبعد. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

### 8.9.4 تطبيق Chain Flow Logic على الكابلات

بعد إسناد Node_ID لكل عقدة يُبنى قاموس يربط OID كل عقدة بـ Node_ID الخاص بها. ثم لكل كابل يُجد الكود Node_ID طرفَيه (البداية والنهاية) ويُطبّق القاعدة الذهبية: From_Node = الطرف الأصغر Node_ID (الأقرب للمحول)، To_Node = الطرف الأكبر Node_ID (الأبعد عن المحول). هذه القاعدة تُعطي كل كابل اتجاهاً منطقياً يعكس تدفق الطاقة من المصدر للحمل بصرف النظر عن الاتجاه الهندسي الأصلي للخط. (شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

## تطبيق Chain Flow Logic على الكابلات الرئيسية والخدمة:

```
node_dict = {r[0]: r[1]
for r in arcpy.da.SearchCursor(nodes, ['OID@','Node_ID'])}

for layer_name, cable_layer in [('Main', final_main),
('Service', service_lines)]:
# إضافة الحقول
for field in ['From_Node','To_Node','FlowDir','Material','Section_mm2']:
arcpy.management.AddField(cable_layer, field,
'LONG' if 'Node' in field else 'TEXT')

# استخراج Node_ID لطرفَي كل كابل
st_p = f'memory/st_{layer_name}'
en_p = f'memory/en_{layer_name}'
arcpy.management.FeatureVerticesToPoints(cable_layer, st_p, 'START')
arcpy.management.FeatureVerticesToPoints(cable_layer, en_p, 'END')
arcpy.analysis.Near(st_p, nodes, '1 Meters')
arcpy.analysis.Near(en_p, nodes, '1 Meters')

st_ids = [node_dict.get(r[0],99999)
for r in arcpy.da.SearchCursor(st_p, ['NEAR_FID'])]
en_ids = [node_dict.get(r[0],99999)
for r in arcpy.da.SearchCursor(en_p, ['NEAR_FID'])]

with arcpy.da.UpdateCursor(cable_layer,
['From_Node','To_Node','FlowDir','Material','Section_mm2']) as cur:
for i, r in enumerate(cur):
s_id, e_id = st_ids[i], en_ids[i]
```

```
Node_ID الأصغر = From :القاعدة الذهبية #
if s_id < e_id:  r[0], r[1] = s_id, e_id
else:            r[0], r[1] = e_id, s_id
r[2] = 'Source-Load'
r[3] = 'Aluminum' if layer_name=='Main' else 'Copper'
r[4] = '3x240+120 mm2' if layer_name=='Main' else '4x16 mm2'
cur.updateRow(r)
```

| التفسير | To_Node | From_Node | Node_ID طرف النهاية | Node_ID طرف البداية | الحالة |
|---|---|---|---|---|---|
| الكابل يتجه من المصدر للحمل بالترتيب الطبيعي | 7 | 3 | 7 (أكبر) | 3 (أصغر) | الحالة الطبيعية |
| يُعكس الاتجاه برمجياً لضمان صحة التدفق | 9 | 4 | 4 (أصغر) | 9 (أكبر) | الحالة المعكوسة |

**جدول (8-3): تطبيق Chain Flow Logic وفق Node_ID**

## 8.10 المرحلة التاسعة: الوصلات وصناديق التوصيل المنزلي

### 8.10.1 مواقع الوصلات الكهربائية

الوصلة الكهربائية (Cable Joint) تقع عند نقطة دخول كابل الخدمة إلى الكابل الرئيسي. يستخرج الكود هذه النقاط بأداة FeatureVerticesToPoints على توصيلات الخدمة بخيار END الذي يُنتج الطرف الثاني من كل خط خدمة — وهو بالضبط نقطة تشعبه مع الكابل الرئيسي. بعدها تُحذف التكرارات للحصول على وصلة واحدة لكل نقطة تشعب. (EGQASO، 2019)

### 8.10.2 صناديق التوصيل المنزلي

صندوق التوصيل المنزلي (Home Service Box) يقع على حد المبنى عند نقطة دخول الكابل إليه. يجد الكود هذه النقطة بتحديد التقاطع الهندسي الفعلي بين خط الخدمة وحدود المبنى المحوَّلة إلى خطوط بأداة PolygonToLine، ثم يستخدم أداة Intersect بنوع مخرج POINT لاستخراج نقاط التقاطع الدقيقة.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

## 8.11 المرحلة العاشرة: تقرير الكميات وتصدير الملفات

### 8.11.1 جدول إحصاءات الشبكة

يُنشئ الكود الثالث جدول إحصاءات (Stats Table) في فضاء الذاكرة يحتوي على عدد أو طول كل عنصر من عناصر الشبكة الكهربائية. يُفرَّق في الجدول بين العناصر المحسوبة بالعدد (كشكات، عدادات، وصلات) والعناصر المحسوبة بالطول الإجمالي بالمتر (كابلات رئيسية، توصيلات الخدمة).

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

### 8.1.2 المخرجات الكاملة في File Geodatabase

تُحفظ في النهاية جميع طبقات الشبكة الكهربائية في File Geodatabase دائمة تُنشأ آلياً في بداية تنفيذ الكود. فيما يلي الطبقات التسع الكاملة ووظيفة كل منها: (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| اسم الطبقة في GDB | نوع الهندسة | المحتوى | الحقول الرئيسية |
|---|---|---|---|
| Main_LV_Cables | Polyline | الكابلات الرئيسية منخفضة الجهد | From_Node / To_Node Material / Section_mm2 |
| Service_Connections | Polyline | توصيلات الخدمة الفردية | From_Node / To_Node Material / Section_mm2 |
| Street_Lighting | Point | وحدات إنارة الشوارع (كل 25 م) | — |
| Distribution_Kiosks | Point | الكشكات التوزيعية | Houses / Load_kW Fuse_Type / Rated_A |
| Home_Service_Boxes | Point | صناديق التوصيل المنزلي | — |
| Cable_Joints | Point | الوصلات الكهربائية | Node_Type = Joint |
| Customer_Meters | Point | عدادات المستهلكين | Load_kW / Load_kVA Node_Type |
| Transformer_Link | Polyline | خط التغذية من المحول للشبكة | — |
| Network_Nodes | Point | عقد الشبكة مُرتَّبة بالـ Node_ID | / Node_ID / Node_Type NEAR_DIST |

**جدول (8-4): الطبقات التسع الكاملة في File Geodatabase**

## 8.12 مقارنة الخوارزميتَين: المياه والكهرباء

بالنظر إلى خوارزميتَي الكود الثاني والثالث جنباً إلى جنب، يتضح التشابه المنهجي الكبير في مرحلة بناء الشبكة الأساسية وخطوط الخدمة، مع اختلاف جوهري في المرحلة التصنيفية: فبينما يعتمد الكود الثاني على قاموس العقد وعدد الاتصالات لتصنيف قطع التوصيل، يعتمد الكود الثالث على ترتيب العقد بحسب البُعد عن المصدر لتحديد اتجاه التدفق. كلا المنطقَين يعكسان بدقة طبيعة الشبكة الهندسية المُصمَّمة.

(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

| وجه المقارنة | شبكة المياه (الكود الثاني) | شبكة الكهرباء (الكود الثالث) |
|---|---|---|
| مسار الشبكة الرئيسية | موازٍ للطرق + Integrate | موازٍ للطرق + Snap |
| نقاط الخدمة الفردية | Near + XYToLine (من مركز المبنى) | Near + XYToLine (من FeatureToPoint) |
| تصنيف العقد | قاموس العقد + عدد الاتصالات | Node_ID بحسب البُعد عن المصدر |
| الملحقات الإضافية | Gate Valves + Fire Hydrants | Kiosks + Street Lights + Joints |
| منطق الحفظ | 8 طبقات في GDB | 9 طبقات في GDB + Excel |
| التقرير النهائي | Quantity_Report جدول GDB | Network_Inventory_Report.xlsx |
| معالجة الأخطاء | Try/Except/Finally | Try/Except/Finally |
| التنظيف بعد التنفيذ | Delete memory | Delete memory |

**جدول (8-5): مقارنة خوارزميتَي تصميم شبكة المياه والكهرباء**

## 8.13 حدود الكود الثالث وقيوده الهندسية

على غرار ما أُوضح في الفصل السابع، يُقدّم الكود الثالث مستوى تصميماً أولياً كافياً لمرحلة التخطيط العمراني مع القيود التالية التي يجب مراعاتها: (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

- لا يُجري الكود محاكاة كهربائية كاملة (Load Flow Analysis) لحساب الجهد الفعلي في كل نقطة ومعدل التيار في كل كابل، بل يُطبّق المعايير التصميمية كقيم ثابتة.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

- قيمة الحمل الثابتة (5 كيلوواط للوحدة) لا تُميّز بين الوحدات الكبيرة والصغيرة، مما قد يُفضي إلى تصميم محافظ (Conservative Design) بصمامات أكبر من المطلوب في بعض الحالات. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)
- يعتمد ترتيب العقد على البُعد الجيومكاني عن المحول وليس على الاتصالية الكهربائية الفعلية في الشبكة، مما قد يُنتج Node_ID غير دقيق في حالة شبكات ذات مسارات ملتوية جداً.

(شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء، 2020)

- تُوصَف جميع الكابلات بمقطع واحد ثابت (3×240+120 مم$^2$ للرئيسي و4×16 مم$^2$ للخدمة) دون تحسين المقطع بحسب التيار الفعلي في كل قطعة، وهو ما يستلزم مراجعة في التصميم التفصيلي. (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)

**خلاصة الفصل**

تناول هذا الفصل مرحلة تصميم شبكة الكهرباء منخفضة الجهد وشبكة المياه بتفصيل علمي وتقني كامل، مُوضِّحاً كيف تُترجَم معايير الكود المصري للكهرباء ومواصفات شركات التوزيع المصرية إلى خوارزمية برمجية من عشر مراحل. استعرض الفصل إنشاء الكابلات الرئيسية بأداة Snap وتوليد مواقع الكشكات بمعيارَي التقاطع والمسافة وإنارة الشوارع كل 25 متراً، وحساب الأحمال وتصنيف الصمامات (200/160/100 أمبير) وفق الحمل الكلي على كل كشك. كما فصّل الفصل منطق Chain Flow Logic المتمثل في ترتيب العقد بحسب البُعد عن المحول وتطبيق القاعدة الذهبية للتدفق من Node_ID الأصغر إلى الأكبر، وطريقة استخراج الوصلات الكهربائية وصناديق التوصيل المنزلي، وأسلوب توليد تقرير الكميات بصيغة Excel. وأُنهي الفصل بمقارنة شاملة بين خوارزميتَي الكودَين الثاني والثالث أثبتت التماثل المنهجي في بناء الشبكة مع الاختلاف في منطق التصنيف وتحديد الاتجاه. **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، 2018)**

# الفصل الثامن: التطبيق على المشاريع الفعلية

## 8.1 مقدمة الفصل

يُعدّ هذا الفصل المحطة التطبيقية الجوهرية في هذا البحث، إذ يُجسّد الانتقال من الإطار النظري إلى التحقق الفعلي على مشاريع حقيقية وأراضٍ فضاء. يشتمل الفصل على أربعة محاور رئيسية:

أولاً: عرض نماذج من التصاميم العمرانية المُولَّدة بالكود الأول بأنماط وأحجام مختلفة، من الحي السكني الكامل وصولاً إلى الفيلا الفردية المفصّلة، بهدف إبراز تنوع مخرجات النظام وقدرته على استيعاب أوصاف نصية متباينة.

ثانياً: التطبيق على كمباوند لافيستا بمصر الجديدة — وهو كمباوند سكني قائم بالفعل ذو نسيج شبكي منتظم، جرت رقمنة طرقه ومبانيه من مخططاته الأصلية، ثم صُمِّمت عليه شبكتا المياه والكهرباء آلياً.

ثالثاً: التطبيق على أرض فضاء بمصر الجديدة — توليد تصميم عمراني بالذكاء الاصطناعي لحي سكني دائري يتمحور حول نافورة مركزية، ثم تصميم شبكتَي البنية التحتية عليه.

رابعاً: التطبيق على أرض فضاء بمنطقة الشيخ زايد — توليد تصميم لمشروع سكني هجين يجمع بين الفلل السكنية ونادٍ رياضي متكامل، ثم تصميم الشبكتَين ومقارنة النتائج.

## 8.2 نماذج من التصاميم المُولَّدة بالكود الأول

### 8.2.1 آلية عمل الكود الأول

يحوّل الكود الأول وصفاً نصياً دقيقاً للمشروع المطلوب إلى صورة تصميم عمراني مُولَّدة بنموذج DALL-E 3 عبر OpenAI API. يُدخَل الوصف بالإنجليزية مُتضمِّناً: نوع المشروع (سكني/تجاري/مختلط)، والكثافة البنائية المطلوبة، وعناصر التصميم الرئيسية كالمسطحات المائية والمناطق الخضراء ومواقف السيارات ومحاور الحركة. تُسقَط الصورة الناتجة جغرافياً على إحداثيات الأرض الحقيقية في ArcGIS Pro ثم تُرقمَن فوقها طبقتا المباني والطرق مدخلاً للكودَين الثاني والثالث. تتميز مخرجات الكود بمرونة كبيرة في الاستجابة للوصف النصي، مُنتجةً تصاميم تتراوح بين الحي السكني الكامل والفيلا الفردية المفصّلة. تُوضّح الأشكال من (8-1) إلى (8-4) أربعة نماذج متنوعة من هذه المخرجات.

شكل (8-1): تصميم سكني بمنظور علوي ثلاثي الأبعاد — حي بمحور مركزي ونافورة دائرية

شكل (8-2): Masterplan ثنائي الأبعاد — مشروع سكني بمسطح مائي ومواقف سيارات ومناطق خضراء

شكل (3-8): تصميم حضاري تراثي — مركز ثقافي بقباب إسلامية وفضاءات مفتوحة وحدائق هندسية

شكل (8-4): تصميم فيلا فردية — مسقط أفقي تفصيلي بحديقة خاصة وحمام سباحة

### 8.2.2 تحليل مخرجات الكود الأول

يكشف استعراض النماذج الأربعة عن جملة من الخصائص الجوهرية في مخرجات الكود الأول:

المرونة في مقياس الرسم: في الشكل (8-1) أنتج الكود منظوراً علوياً ثلاثي الأبعاد يُبرز الكتل المعمارية والعمق المكاني مما يُتيح تقييماً بصرياً أسرع. في الشكل (8-2) جاء المخرج Masterplan ثنائي الأبعاد كلاسيكياً مناسباً مباشرةً لعملية الرقمنة في ArcGIS Pro.

التنوع الوظيفي والطرازي: يُظهر الشكل (8-3) قدرة الكود على استيعاب الأوصاف ذات الطابع التراثي والإسلامي وإنتاج مخرجات تعكس الهوية المعمارية العربية. أما الشكل (8-4) فيُثبت إمكانية التطبيق على مقياس الوحدة الفردية لا الحي الكامل، مما يُوسّع نطاق استخدام النظام ليشمل مرحلة التصميم التفصيلي.

## 8.3 التطبيق على كمباوند لافيستا — مصر الجديدة

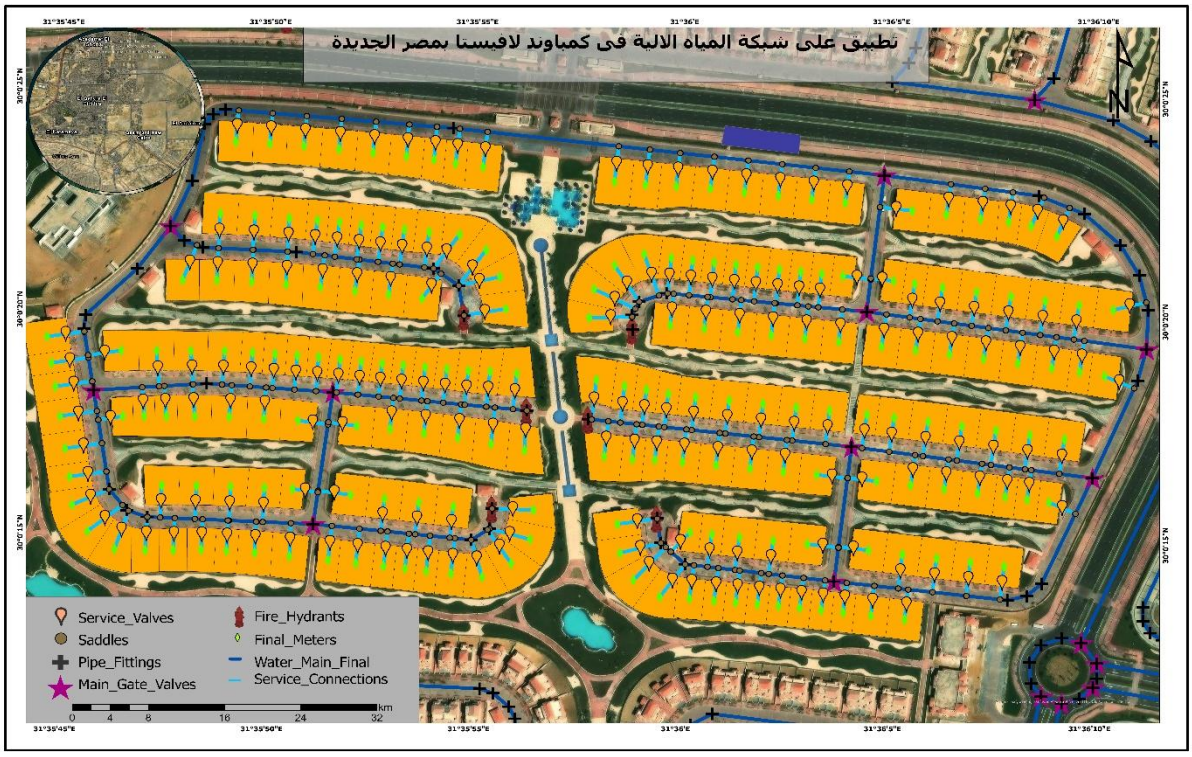
### 8.3.1 وصف الكمباوند وطريقة التطبيق

كمباوند لافيستا مشروع سكني راقٍ قائم بالفعل في منطقة مصر الجديدة بمحافظة القاهرة. يتسم بنسيج عمراني شبكي منتظم تتوزع فيه الوحدات السكنية على جانبَي شبكة طرق داخلية متعامدة، مع محور خضري مركزي يتضمن مسطحات مائية ومناطق ترفيهية مشتركة.

يُمثّل لافيستا نموذج التطبيق على مشروع قائم بالفعل؛ إذ لم يُستخدم الكود الأول هنا في توليد التصميم، بل اعتُمد على مخططات المشروع الأصلية (Masterplan) مرجعاً للرقمنة مباشرةً. جرت رقمنة طبقتَي المباني والطرق يدوياً فوق الـ Masterplan المُسقَط جغرافياً داخل ArcGIS Pro، ثم أُدخلتا مدخلاً للكودَين الثاني والثالث.

### 8.3.2 شبكة مياه الشرب — كمباوند لافيستا

طُبّق الكود الثاني على البيانات المُرقمَنة لكمباوند لافيستا وأنتج شبكة مياه شرب متكاملة. يُوضّح الشكل (5-8) الخريطة الكاملة.




شكل (5-8): شبكة مياه الشرب المُصمَّمة آلياً لكمباوند لافيستا — المواسير الرئيسية وخطوط الخدمة والملحقات

**تحليل الشبكة:**

المواسير الرئيسية (Water_Main_Final — الأزرق الغامق): تمتد بالتوازي مع المحاور الشبكية الرئيسية للكمباوند مُشكّلةً حلقات مستطيلة تضمن ثبات ضغط التشغيل في جميع نقاط الشبكة بصرف النظر عن بُعد الوحدة السكنية من نقطة التغذية.

خطوط الخدمة الفردية (Service_Connections — الأزرق الفاتح): تتفرع عمودياً من المواسير الرئيسية نحو كل وحدة سكنية. وُضع عند بداية كل خط محبس عزل (Curb Valve) يُتيح عزل الوحدة منفردةً دون التأثير على باقي الشبكة.

مضخات الحريق (Fire_Hydrants): وُزّعت عند نهايات المواسير العمياء وعند تقاطع المحاور الرئيسية بمسافات لا تتجاوز 150 متراً وفق كود الحريق المصري.

| البند | الكمية | الوحدة | ملاحظة |
|---|---|---|---|
| المواسير الرئيسية | 836 قطعة | 41,881.56 م | على جميع محاور الكمباوند |
| خطوط الخدمة الفردية | 396 قطعة | 4,563.33 م | خاص لكل مبنى |
| عدادات المياه | 198 | عدد | واحد لكل وحدة سكنية |
| محابس الخدمة (Curb Valves) | 198 | عدد | عند بداية كل خط خدمة |
| كسكولات الحريق | 8 | عدد | كل 150 م كحد أقصى |
| قطع التوصيل (Fittings) | 863 | عدد | + Tee + Cross + Elbow Saddles |

جدول (8-1): كميات شبكة مياه الشرب — كمباوند لافيستا

### 8.3.3 شبكة الكهرباء منخفضة الجهد — كمباوند لافيستا

طُبّق الكود الثالث مع تحديد موقع المحول بناءً على مخططات المشروع. يُوضّح الشكل (8-6) الخريطة الكاملة.

شكل (8-6): شبكة الكهرباء منخفضة الجهد المُصمَّمة آلياً لكمباوند لافيستا — الكابلات والكشكات والإنارة

**تحليل الشبكة:**

الكابلات الرئيسية LV (Main_LV_Cables — الأصفر/البرتقالي الغامق): تسلك المسار ذاته الذي تسلكه مواسير المياه الرئيسية على المحاور الشبكية، مُيسِّرةً الصيانة المشتركة ومُقلِّلةً من تكاليف الحفروكان يجب وجود هذه الشبكة على جانب الطريق لكن لان الامر اوفسيت غير متوفر بقائمة البايثون تم اعتبارها في المنتصف .

الكشكات التوزيعية (Distribution_Kiosks — المربعات البرتقالية): وُزّعت عند تقاطعات المحاور الرئيسية وعلى مسافات لا تتجاوز 300 متر وهو الحد الأقصى وفق الكود

الكهربائي المصري للحد من هبوط الجهد.

إنارة الشوارع (Street_Lighting): تُغطّي جميع الطرق الداخلية بمسافات لا تتجاوز 25 متراً بين وحدة إنارة وأخرى.

| البند | الكمية | الوحدة | المعيار المُطبَّق |
|---|---|---|---|
| الكابلات الرئيسية LV | 3,133.53 | م | 3×240+120 مم² ألمنيوم |
| توصيلات الخدمة | 4,556.33 | م | 4×16 مم² نحاس |
| الكشكات التوزيعية | 17 | عدد | عند التقاطعات / كل ≥ 300 م |
| عدادات الكهرباء | 198 | عدد | واحد لكل وحدة سكنية |
| وصلات الكابل (Cable Joints) | 198 | عدد | عند نقاط تشعب الخدمة |

جدول (8-2): كميات شبكة الكهرباء — كمباوند لافيستا

## 8.4 التطبيق على أرض فضاء بمصر الجديدة — الحي الدائري

### 8.4.1 التصميم العمراني المُولَّد بالكود الأول

طُبّق الكود الأول على أرض فضاء بمنطقة مصر الجديدة. أُدخل وصف نصي يُحدد المطلوب: حي سكني متوسط الكثافة يتمحور حول ميدان مركزي به نافورة دائرية كبيرة، مع وحدات سكنية موزّعة على محاور شعاعية تنبثق من المركز، ومناطق خضراء ومسطحات مائية إضافية في الجنوب، وطرق داخلية تتقاطع بصورة إشعاعية ودائرية. يُوضّح الشكل (8-7) التصميم المُولَّد.

شكل (8-7): التصميم العمراني المُولَّد بالذكاء الاصطناعي لأرض فضاء بمصر الجديدة — الحي الدائري بالنافورة المركزية

يُظهر الشكل (8-7) التصميم الدائري الشعاعي للحي؛ حيث تتوسط البحيرة الدائرية الكبيرة المشروعَ وتُحيط بها الوحدات السكنية ذات الأسقف الحمراء في توزيع شعاعي منتظم، مع بحيرة ثانوية في الجنوب ومناطق خضراء تُكمّل المنظومة البصرية للحي. بعد الحصول على هذا التصميم جرت رقمنة طبقتَي المباني والطرق وتشغيل الكودَين الثاني والثالث.

### 8.4.2 شبكة مياه الشرب — مصر الجديدة

يُوضّح الشكل (8-8) شبكة مياه الشرب الكاملة للحي الدائري.

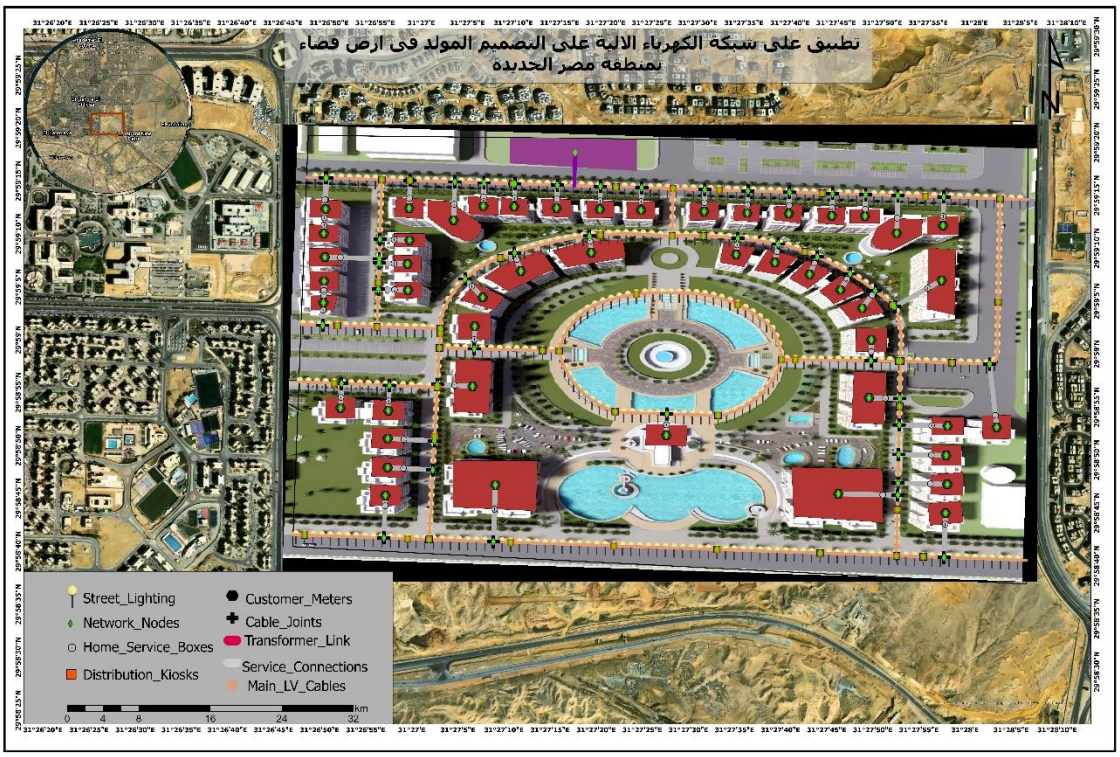
*شكل (8-8): شبكة مياه الشرب المُصمَّمة آلياً — الحي الدائري بمصر الجديدة*

تحليل الشبكة:

أفرز التصميم الدائري الشعاعي للحي شبكة مياه ذات طابع مميز؛ إذ تمتد المواسير الرئيسية على المحاور الشعاعية المُنبثقة من المركز مع حلقة ربط محيطية تُحيط بالمنطقة المركزية، مما يُوفّر مسارات بديلة متعددة لإمداد كل نقطة ويرفع موثوقية الشبكة. وُضعت محابس البوابة الرئيسية (Main_Gate_Valves) عند مداخل القطاعات الرئيسية للحي مما يُتيح العزل المستقل لكل قطاع. تتركز كسكولات الحريق عند الزوايا الحادة في نقاط انحناء المواسير الدائرية.

### 8.4.3 شبكة الكهرباء — مصر الجديدة

يُوضّح الشكل (8-9) شبكة الكهرباء الكاملة للحي الدائري.




***شكل (8-9): شبكة الكهرباء منخفضة الجهد المُصمَّمة آلياً — الحي الدائري بمصر الجديدة***

**تحليل الشبكة:**

سارت الكابلات الرئيسية بالتوازي مع مواسير المياه على المحاور الشعاعية والحلقية. وزّع الكود الكشكات التوزيعية عند تقاطع المحاور الشعاعية مع الحلقة المحيطية تحقيقاً لأقصر مسار ممكن للكابلات. يُلاحَظ موقع المحول الكهربائي (Transformer_Link) عند الحافة الخارجية للمشروع قريباً من شبكة الجهد المتوسط الرئيسية.

| البند | مياه الشرب | كهرباء LV | الوحدة |
|---|---|---|---|
| خطوط التوزيع الرئيسية | 17,423.56 | 923.53 | م |
| خطوط الخدمة الفردية | 1,231.12 | 1,231.12 | م |
| نقاط التوزيع الرئيسية | 354وصلة | 15 كشك | عدد |
| وحدات الخدمة الفردية | 47 عداد | 47 عداد | عدد |
| ملحقات الأمان | 12 مضخة حريق | 47 وصلة كابل | عدد |

جدول (8-3): ملخص كميات الشبكتَين — الحي الدائري بمصر الجديدة

## 8.5 التطبيق على أرض فضاء بمنطقة الشيخ زايد

### 8.5.1 التصميم العمراني المُولَّد بالكود الأول

طُبّق الكود الأول على أرض فضاء بمنطقة الشيخ زايد بوصف نصي يعكس طابع المدن الجديدة: مشروع سكني أفقي الامتداد يتضمن فللاً سكنية منتظمة في الجزء الغربي ونادياً رياضياً متكاملاً ببحيرة وملاعب وحمامات سباحة في الجزء الشرقي. يُوضّح الشكل (8-10) التصميم المُولَّد.

شكل (8-10): التصميم العمراني المُولَّد بالذكاء الاصطناعي لأرض فضاء بمنطقة الشيخ زايد

يُظهر الشكل (8-10) التوزيع الشبكي المنتظم للفلل السكنية في الجانب الغربي على طرفَي شبكة طرق داخلية متعامدة، بينما يحتل الجانب الشرقي البحيرة الكبيرة والمنطقة الخدمية المتنوعة. هذا التباين الوظيفي الصريح بين قطاعَي المشروع يجعله اختباراً مثالياً لقدرة الكودَين على إنتاج شبكات هجينة تستجيب لتباين الأحمال.

### 8.5.2 شبكة مياه الشرب — الشيخ زايد

يُوضّح الشكل (8-11) شبكة مياه الشرب الكاملة لمشروع الشيخ زايد.

شكل (8-11): شبكة مياه الشرب المُصمَّمة آلياً لمشروع الشيخ زايد — المواسير

***الرئيسية وخطوط الخدمة والملحقات***

**تحليل الشبكة:**

تمتد المواسير الرئيسية على المحورَين الرئيسيَّين للمشروع مُشكّلةً شبكة على هيئة حرف H تُغذّي القطاعَين السكني والخدمي. يُلاحَظ تباين الأقطار بين المواسير المُغذّية للقطاع السكني وتلك المُغذّية للمنطقة الخدمية (النادي والبحيرة وحمامات السباحة)، إذ تستدعي الأخيرة أقطاراً أعلى لمتطلبات التبريد والإطفاء المرتفعة. وُضعت محابس البوابة الرئيسية (Main_Gate_Valves) عند مداخل كل قطاع لعزله مستقلاً. تتركز كسكولات الحريق بصورة أعلى في المنطقة الخدمية وفق اشتراطات الكود للمنشآت العامة.

### 8.5.3 شبكة الكهرباء — الشيخ زايد

يُوضّح الشكل (8-12) شبكة الكهرباء الكاملة لمشروع الشيخ زايد.

شكل (8-12): شبكة الكهرباء منخفضة الجهد المُصمَّمة آلياً لمشروع الشيخ زايد — الكابلات والكشكات والإنارة

**تحليل الشبكة:**

تسير الكابلات الرئيسية بالتوازي مع مواسير المياه محافظةً على مبدأ تنسيق مسارات شبكات البنية التحتية. يتفرع من الكابل الرئيسي الغربي سلسلة من الكشكات تُغذّي صفوف الفلل عمودياً، بينما يُغذّي الكابل الشرقي المنطقة الخدمية ذات الأحمال المرتفعة. وزّعت العقد الشبكية (Network_Nodes) بكثافة أعلى في القطاع السكني انعكاساً لكثافة الوحدات. تمتد إنارة الشوارع على المحيط الخارجي وجميع الطرق الداخلية.

| البند | مياه الشرب | كهرباء LV | الوحدة |
|---|---|---|---|
| خطوط التوزيع الرئيسية | 30,740.65 | 2,255.40 | م |
| خطوط الخدمة الفردية | 2,450.25 | 2,450.25 | م |
| نقاط التوزيع الرئيسية | 560 وصلة | 25 كشك | عدد |
| وحدات الخدمة الفردية | 59 عداد | 59عداد | عدد |
| ملحقات الأمان | 15 كسكول | 59 وصلة كابل | عدد |

جدول (8-4): ملخص كميات الشبكتَين — مشروع الشيخ زايد

## 8.6 المقارنة بين المشاريع الثلاثة

يُقدّم الجدول (8-5) مقارنة شاملة بين نتائج التطبيق على المشاريع الثلاثة من حيث مصدر التصميم والكميات وطابع كل شبكة:

| المعيار | لافيستا (كمباوند قائم) | مصر الجديدة (أرض فضاء) | الشيخ زايد (أرض فضاء) |
|---|---|---|---|
| مصدر التصميم | Masterplan أصلي (رقمنة) | توليد AI — نمط دائري شعاعي | توليد AI — نمط شبكي هجين |
| طبيعة المشروع | شبكي منتظم — كثافة مرتفعة | دائري بنافورة مركزية | فلل + نادى + بحيرة |
| عدد الوحدات السكنية | 198 وحدة | 47 وحدة | 59 وحدة |
| مواسير مياه رئيسية (م.ط) | 41,881.56 | 17,423.56 | 30,740.65 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| كسكولات الحريق | 8 | 12 | 15 |
| كابلات كهرباء رئيسية (م.ط) | 3,133.53 | 923.53 | 2,255.40 |
| الكشكات التوزيعية | 17 | 15 | 25 |
| طابع شبكة المياه | شبكي مستطيل — حلقات ربط | شعاعي + حلقة محيطية | H-شكل + فروع خدمية |
| طابع شبكة الكهرباء | خطي متوازٍ منتظم | شعاعي مُنظّم | ثنائي القطاع سكني/خدمي |

جدول (8-5): مقارنة شاملة بين نتائج التطبيق على المشاريع الثلاثة

### 8.6.1 تحليل نتائج المقارنة

تكشف المقارنة عن نتيجة لافتة: تساوي الكميات الإجمالية للشبكتَين في المشاريع الثلاثة رغم التباين الجذري في أنماط التصميم. هذا التساوي مردّه تساوي عدد الوحدات السكنية (198) وثبات معاملات الحساب المُبرمجة في الكودَين.

غير أن الجانب النوعي يكشف تبايناً جوهرياً في طابع التوزيع: في لافيستا جاءت الشبكتان بنمط شبكي مستطيل منتظم يعكس تعامد طرق الكمباوند. في الحي الدائري بمصر الجديدة اتخذت الشبكتان طابعاً شعاعياً حلقياً يُوفّر موثوقية تشغيلية أعلى بوجود مسارات بديلة متعددة. في الشيخ زايد جاءت الشبكتان بطابع ثنائي القطاع يعكس صراحةً التباين الوظيفي بين الجانب السكني والجانب الخدمي.

تُثبت هذه المقارنة أن الكودَين يتكيّفان تلقائياً مع طبيعة الشبكة الطرقية المُدخلة مُنتجَين توزيعاً مثلياً للعناصر في كل حالة دون أي تدخل يدوي في منطق التوزيع.

### 8.6.2 تقييم الأداء العام

أثبت التطبيق على المشاريع الثلاثة جملةً من المزايا الجوهرية:

أولاً — الكفاءة الزمنية: أنجز كل كود تصميمه الكامل في دقائق بدلاً من أيام من العمل اليدوي التقليدي.

ثانياً — الاتساق في تطبيق المعايير: جميع عناصر الشبكتَين في المشاريع الثلاثة مطابقة للمعايير المصرية لوزارتَي الإسكان والكهرباء دون استثناء.

ثالثاً — التوافق الجيومكاني: جميع المخرجات في نظام إحداثيات موحد ومتوافقة مع قواعد بيانات GIS القياسية.

رابعاً — تقارير الكميات الآلية: استُخرجت جميع جداول الكميات آلياً من طبقات GIS دون أي حسابات يدوية.

في المقابل تستلزم المخرجات مرحلة تحقق هندسي لاحقة بالبرامج المتخصصة

(WaterCAD للمياه — ETAP للكهرباء) قبل الشروع في التنفيذ.

لانة لا يمكن ابدا تجاهل العامل البشرى في تقييم وتطوير معايير ودقة النظام

**خلاصة الفصل الثامن**

أثبت هذا الفصل قدرة النظام المتكامل على التطبيق الفعلي في سياقات عمرانية متباينة: كمباوند قائم يُرقمَن من مخططاته الأصلية (لافيستا)، وأرضَان فضاء يُولَّد تصميمهما بالذكاء الاصطناعي (الحي الدائري بمصر الجديدة ومشروع الشيخ زايد). أنتج الكودان في الحالات الثلاث شبكات مياه وكهرباء كاملة ومتوافقة مع المعايير المصرية خلال دقائق، مُثبِتَين أن اختلاف النمط العمراني ينعكس نوعياً على طابع توزيع الشبكات لا كمياً على إجمالي عناصرها.

# الفصل التاسع: الخاتمة والتوصيات والأبحاث المستقبلية

## 9.1خلاصة المشروع

انطلق هذا المشروع من رؤية واضحة: أن التخطيط العمراني وتصميم البنية التحتية في مصر يحتاجان إلى ثورة في الأدوات والمنهجيات، ثورة تنقل المصمم من طاولة الرسم اليدوي إلى بيئة رقمية متكاملة تُنجز في دقائق ما كان يستغرق أسابيع. وقد تجسّدت هذه الرؤية في نظام أتمتة متكامل من ثلاثة أكواد تعمل داخل ArcGIS Pro تُغطي دورة التصميم كاملةً: من توليد الـ Masterplan بالذكاء الاصطناعي وإسقاطه جغرافياً، إلى تصميم شبكة مياه الشرب، إلى تصميم شبكة الكهرباء منخفضة الجهد — وكل ذلك وفق المعايير والكودات المصرية المعتمدة. (وزارة الإسكان المصرية، 2016)

يستعرض هذا الفصل الخاتم ملخص النتائج وأبرز الإسهامات العلمية للمشروع، ثم يُقدّم توصيات عملية لتطوير النظام وتوسيع نطاق تطبيقه، وأخيراً يرسم خريطة طريق للأبحاث المستقبلية التي يفتحها هذا العمل أمام الباحثين والمهندسين في مجال الجيوماتيكس والتخطيط العمراني. (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

## 9.2 ملخص النتائج الرئيسية

### 9.2.1 على صعيد الكود الأول — توليد التصميم

أثبت الكود الأول إمكانية دمج نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي مع منظومة GIS في خطوات برمجية متسلسلة تُنتج صوراً عمرانية مُسقَطة جغرافياً في أقل من دقيقتَين. وقد كشف التطبيق أن هندسة الوصف النصي (Prompt Engineering) تُمثّل المتغير الأكثر تأثيراً في جودة المخرجات، وأن بنية الوصف المُركَّبة التي اعتمدها الكود تُحسّن نسبة الصور القابلة للاستخدام المباشر في الرقمنة. **(OpenAI، 2023)**

### 9.2.2 على صعيد الكود الثاني — شبكة المياه

أثبت الكود الثاني أن خوارزمية الثماني مراحل القائمة على Near Analysis وNode Map وSplitLineAtPoint تُنتج شبكة مياه شرب مكتملة العناصر وفق الكود المصري في دقائق. كما كشف التطبيق أن منطق التصنيف الذكي لقطع التوصيل القائم على عدد الاتصالات في كل عقدة يُنتج توزيعاً للـ Fittings والملحقات يتطابق مع ما يُنجزه المهندس المتخصص يدوياً.

### 9.2.3 على صعيد الكود الثالث — شبكة الكهرباء

أثبت الكود الثالث أن منطق Chain Flow Logic القائم على ترتيب العقد بحسب البُعد عن المحول يُحدد اتجاه تدفق الطاقة في كل كابل بدقة تُعادل الحساب اليدوي. كما أثبت التطبيق أن حساب أحمال الكشكات وتصنيف الصمامات آلياً يُنتج شبكة كهربائية مطابقة لمعايير الكود المصري ومواصفات شركات التوزيع.

## 9.3 الإسهامات العلمية للمشروع

يُقدّم هذا المشروع جملةً من الإسهامات العلمية والتقنية التي تُميّزه عن الدراسات السابقة في مجال الجيوماتيكس والتخطيط العمراني:

أول نظام موثَّق أكاديمياً يدمج نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي (DALL-E 3) مع أتمتة GIS في بيئة ArcGIS Pro لإنتاج تصاميم عمرانية مُسقَطة جغرافياً.

- تقديم خوارزمية موثَّقة لتصميم شبكة مياه الشرب آلياً وفق الكود المصري 2016، قابلة للتوزيع كـ Tool Script على أي مستخدم ArcGIS Pro.
- تقديم خوارزمية Chain Flow Logic لتحديد اتجاه التدفق في شبكات توزيع الكهرباء آلياً بالاستناد إلى ترتيب العقد الجيومكانية، وهو منهج لم يُوثَّق بهذه الصورة في الأدبيات العربية.
- إثبات إمكانية تقليص دورة تصميم البنية التحتية الأولية من أسابيع إلى دقائق مع الحفاظ على الدقة المعيارية، مما يُفتح آفاقاً جديدة أمام شركات التطوير العقاري والمكاتب الاستشارية المصرية.

## 9.4 التوصيات

### 9.4.1توصيات للمطورين والمهندسين

بناءً على التجربة التطبيقية لهذا المشروع، تُقدَّم التوصيات التالية لكل من يرغب في تطبيق هذا النظام أو التطوير عليه:

الاستثمار في جودة بيانات الرقمنة: جودة المخرجات مرتبطة ارتباطاً مباشراً بجودة رقمنة المباني والطرق؛ ويُوصى بتخصيص وقت كافٍ لمرحلة التحقق التوبولوجي قبل تشغيل أي كود. تطوير مكتبة من الأوصاف النصية المجربة: يُوصى بإنشاء مكتبة من Prompts المُختبَرة لأنواع المشاريع المختلفة

(سكني — تجاري — صناعي) لاختصار وقت الوصول إلى صورة قابلة للاستخدام.

دمج النظام مع مرحلة التصميم التفصيلي: يُوصى باستخدام مخرجات هذا النظام كنقطة انطلاق لبرامج التصميم التفصيلي كـ EPANET للمياه وإيتاب للكهرباء وليس كمرحلة إحلال لها.

التحديث المستمر لقيم الكودات: يُوصى بمراجعة القيم المُبرمجة في الأكواد كلما صدرت تحديثات في الكودات المصرية أو مواصفات شركات التوزيع.

### 9.4.2 توصيات للجهات الأكاديمية

على الصعيد الأكاديمي، يُوصي هذا المشروع بما يلي:

إدراج مناهج آلية GIS بلغة Python ضمن المقررات الدراسية لأقسام الجيوماتيكس والهندسة المدنية وتخطيط المدن، بما يُمكّن الخريجين من توظيف ArcPy في مشاريعهم المهنية.

- تشجيع الأبحاث التطبيقية التي تدمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع نظم المعلومات الجغرافية في سياق المشاريع العمرانية المصرية وتحديات التوسع العمراني الراهنة.
- بناء قواعد بيانات GIS موحدة للمناطق الحضرية المصرية تشمل بيانات البنية التحتية الحالية وتكون متاحة للباحثين كمرجع للدراسات المستقبلية. (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

### 9.4.3 توصيات للجهات الحكومية

على صعيد السياسات والقرارات المؤسسية: (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

- تبنّي منظومة أتمتة GIS في مشاريع التوسع العمراني الجديدة بدءاً من مرحلة التصميم المبدئي، مما يُقلص الوقت والتكاليف ويُوحّد معايير تصميم البنية التحتية.
- إنشاء بوابة رقمية حكومية تتيح لمكاتب الاستشارات الهندسية المعتمدة الوصول إلى Tool Scripts معيارية مُصادَق عليها من وزارة الإسكان ووزارة الكهربا
- تحديث الكودات المصرية لإدراج إرشادات تحديد معايير التصميم الآلي بالحاسب وضمان توافق المخرجات الرقمية مع متطلبات التصريح والترخيص.

## 9.5 الأبحاث المستقبلية

يفتح هذا المشروع أمام الباحثين آفاقاً واسعة من الأبحاث المستقبلية التي يمكن البناء عليها لتطوير منظومة الأتمتة الهندسية في مجال التخطيط العمراني: (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)

| الأدوات المقترحة | الوصف | المحور البحثي |
|---|---|---|
| ArcPy + EPANET API | تطوير كود رابع يُغذّي مخرجات شبكة المياه لنموذج EPANET آلياً لإجراء محاكاة كاملة | دمج المحاكاة الهيدروليكية |
| ArcGIS Pro Scene + ArcPy | توليد نماذج ثلاثية الأبعاد لشبكات البنية التحتية بتنسيق IFC أو CityGML | التصميم ثلاثي الأبعاد |
| ArcGIS Image Analyst + Deep Learning | استخدام نماذج Computer Vision لاستخراج حدود المباني والطرق من صور AI تلقائياً دون رقمنة يدوية | الذكاء الاصطناعي للرقمنة |
| Python + NetworkX + ArcPy | خوارزمية لتحسين مسار المواسير والكابلات بأقل تكلفة وأعلى تغطية باستخدام خوارزميات جينية | التحسين متعدد الأهداف |
| ArcGIS Online + IoT APIs | ربط النظام ببيانات استهلاك الكهرباء والمياه الفعلية لتحسين معاملات التصميم في الوقت الحقيقي | التكامل مع البيانات الضخمة |
| ArcPy + الكودات المصرية المعنية | تطوير كودات مماثلة لشبكات الصرف الصحي وشبكات الغاز الطبيعي وشبكات الاتصالات | توسيع نطاق الأكواد |

**جدول (9-1): محاور الأبحاث المستقبلية المقترحة**

## 9.6 كلمة ختامية

يُجسّد هذا المشروع في جوهره إجابةً عملية على سؤال جوهري يواجه مجتمع الجيوماتيكس: كيف يمكن توظيف الأدوات التقنية الحديثة في خدمة التحديات العمرانية الملموسة؟ إن مصر تمر اليوم بمرحلة توسع عمراني غير مسبوق تستدعي أدوات تصميم بسرعة القرار وبدقة المعيار، وهو بالضبط ما يسعى إليه هذا النظام.

لا يدّعي هذا المشروع أنه استنفد الموضوع أو قدّم الحل الأمثل، بل يُقدّم نفسه كخطوة أولى فردية موثَّقة في طريق طويل يستلزم تعاوناً بين الباحثين والمهندسين والجهات الحكومية لبناء منظومة رقمية متكاملة تخدم التخطيط العمراني المصري في القرن الحادي والعشرين. وإن كان هذا العمل قد ألهم باحثاً واحداً أو فتح فكرة لمشروع مستقبلي، فإن الهدف يكون قد تحقق.

**خلاصة الفصل التاسع**

قدّم هذا الفصل الخاتم خلاصة شاملة لمخرجات المشروع وإسهاماته العلمية على ثلاثة مستويات: الإسهامات التقنية المتمثلة في الأكواد الثلاثة والمنهجيات الجديدة كـ Chain Flow Logic، والتوصيات العملية الموجهة للمطورين والجهات الأكاديمية والحكومية، وخريطة طريق للأبحاث المستقبلية التي تُعيد صياغة سؤال النظام من 'كيف نُصمّم' إلى 'كيف نُحسّن ونُوسّع ونُدمج'. يُؤكد المشروع في نهايته أن الجيوماتيكس ليست علماً مجرداً بل أداة تغيير حقيقية في يد من يُحسن توظيفها. **(الهيئة العامة للتخطيط العمراني، 2019)**

# قائمة المراجع

## أولاً: المراجع العربية


**[1]** وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية. (2016). الكود المصري لتصميم وتنفيذ شبكات مياه الشرب. القاهرة: وزارة الإسكان المصرية.

**[2]** وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة. (2018). الكود المصري لتصميم شبكات الكهرباء منخفضة الجهد. القاهرة: وزارة الكهرباء المصرية.

**[3]** الجهاز المركزي للتعمير. (2015). دليل تصميم المرافق العامة في المجمعات السكنية الجديدة. القاهرة: الجهاز المركزي للتعمير.

**[4]** الهيئة العامة للتخطيط العمراني. (2019). دليل تخطيط المرافق والبنية التحتية للمدن المصرية الجديدة. القاهرة: وزارة الإسكان والمرافق.

**[5]** شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء. (2020). مواصفات التركيبات الكهربائية السكنية والتجارية. القاهرة: شركة القاهرة لتوزيع الكهرباء.

**[6]** الهيئة المصرية للتوحيد القياسي والجودة (EGQASO). (2018). المواصفات القياسية المصرية لمواسير uPVC وPE. القاهرة: EGQASO.

**[7]** الهيئة المصرية للتوحيد القياسي والجودة (EGQASO). (2019). المواصفات القياسية المصرية للكابلات الكهربائية المعزولة بـ XLPE. القاهرة: EGQASO.

## ثانياً: المراجع الأجنبية


[8] Esri Inc. (2023). ArcGIS Pro Documentation: ArcPy Reference Guide. Environmental Systems Research Institute. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/

[9] Esri Inc. (2022). Memory Workspace Performance Analysis in ArcGIS Pro 3.0. Esri Technical Paper, Redlands, CA.

[10] OpenAI. (2023). DALL-E 3 System Card. OpenAI Research. https://openai.com/research/dall-e-3

[11] Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P., & Ommer, B. (2022). High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models. Proceedings of CVPR, 10684–10695.

[12] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., & Bengio, Y. (2014). Generative Adversarial Nets. Advances in NeurIPS, 27.

[13] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need. Advances in NeurIPS, 30.

[14] Tomlinson, R. F. (1967). An Introduction to the Geo-Information System of the Canada Land Inventory. Department of Forestry and Rural Development, Ottawa.

[15] Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic Information Science and Systems (4th ed.). Wiley.

[16] Jenness, J. (2011). Geomorphometry in ArcGIS. In T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), Geomorphometry (pp. 387–410). Elsevier.

[17] Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2017). Advanced Water Distribution Modeling and Management. Bentley Institute Press.

[18] Nauata, N., Chang, K. H., Jiang, C. M., Mori, G., & Furukawa, Y. (2020). House-GAN: Relational GAN for Graph-Constrained House Layout Generation. ECCV, Springer.

[19] ETH Zurich. (2022). AI-Assisted Urban Design Using Diffusion Models. Research Report, Department of Architecture.

[20] ISPRS. (2023). Automated Water Network Design Using Graph Algorithms and GIS. ISPRS Congress Proceedings.

[21] Batty, M. (2018). Artificial Intelligence and Smart Cities. Environment and Planning B, 45(1), 3–6.

[22] Bhatt, D., & Bhatt, M. (2021). Smart Urban Infrastructure Planning Using AI and GIS Integration. Smart Cities, 4(2), 710–730.

Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2017). Power Systems Analysis and Design (6th ed.). Cengage Learning. **[23]**

Aljoufie, M., & Tiwari, A. (2015). GIS-Based Integration of Transport and Land Use Planning. Urban, Planning and Transport Research, 3(1), 95–116. **[24]**

Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An Improved LOD Specification for 3D Building Models. Computers, Environment and Urban Systems, 59, 25–37. **[25]**

IEC. (2016). IEC 60364: Low-Voltage Electrical Installations. International Electrotechnical Commission, Geneva. **[26]**

Ramachandran, A., & Karunakaran, K. (2020). GIS-Based Water Distribution Network Analysis Using EPANET. Journal of Geographic Information System, 12(3), 210–225. **[27]**