مجلة
بحوث الشرق الأوسط

مجلة علمية مُحَكَّمَة
(مُعتمدة) شهريـًا

العدد مائة وخمسة عشر

(سبتمبر 2025)

يصدرها
مركز بحوث
الشرق الأوسط

السنة الخمسون
تأسست عام 1974

الترقيم الدولي: (2536-9504)
الترقيم على الإنترنت: (2735-5233)

الأراء الواردة داخل المجلة تعبر عن وجهة نظر أصحابها وليست مسئولية مركز بحوث الشرق الأوسط والدراسات المستقبلية

رقم الإيداع بدار الكتب والوثائق القومية : ٢٤٣٣٠ / ٢٠١٦

الترقيم الدولي: (Issn :2536 - 9504)

الترقيم على الإنترنت: (Online Issn :2735 - 5233)

ISSN 2536-9504

مجلة بحوث الشرق الأوسط

مجلة علمية مُحكَّمة
متخصصة
في شؤون الشرق الأوسط

مجلة مُعتمَدة من بنك المعرفة المصري

موقع المجلة على بنك المعرفة المصري
www.mercj.journals.ekb.eg

- معتمدة من الكشاف العربي للاستشهادات المرجعية (ARCI) . المتوافقة مع قاعدة بيانات كلاريفيت Clarivate الفرنسية.
- معتمدة من مؤسسة أرسيف (ARCIf) للاستشهادات المرجعية للمجلات العلمية العربية ومعامل التأثير المتوافقة مع المعايير العالمية.
- تنشر الأعداد تباعًا على موقع دار المنظومة.

دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
البوابة الأولى للمعلومات العربية

العدد مائة وخمسة عشر (سبتمبر 2025)

تصدر شهريًا

السنة الخمسون ـ تأسست عام 1974

المطبعة | مطبعة جامعة عين شمس
Ain Shams University Press

مجلة بحوث الشرق الأوسط
(مجلة مُعتمدة) دوريَّة علميَّة مُحكَّمَة
(اثنا عشر عددًا سنويًّا)
يصدرها مركز بحوث الشرق الأوسط والدراسات المستقبلية - جامعة عين شمس

MERC

رئيس مجلس الإدارة

أ.د. غادة فاروق

نائب رئيس الجامعة لشؤون خدمة المجتمع وتنمية البيئة ورئيس مجلس إدارة المركز

رئيس التحرير **د. حاتم العبد**

مدير مركز بحوث الشرق الأوسط والدراسات المستقبلية

هيئة التحرير

أ.د. السيد عبدالخالق، وزير التعليم العالي الأسبق، مصر

أ.د. أحمد بهاء الدين خيري، نائب وزير التعليم العالي الأسبق، مصر ؛

أ.د. محمد حسام لطفي، جامعة بني سويف، مصر ؛

أ.د. سعيد المصري، جامعة القاهرة، مصر ؛

أ.د. سوزان القليني، جامعة عين شمس، مصر ؛

أ.د. ماهر جميل أبوخوات، عميد كلية الحقوق، جامعة كفرالشيخ، مصر ؛

أ.د. أشرف مؤنس، جامعة عين شمس، مصر ؛

أ.د. حسام طنطاوي، عميد كلية الآثار، جامعة عين شمس، مصر ؛

أ.د. محمد إبراهيم الشافعي، وكيل كلية الحقوق، جامعة عين شمس، مصر

أ.د. تامر عبدالمنعم راضي، جامعة عين شمس، مصر ؛

أ.د. هاجر قلديش، جامعة قرطاج، تونس ؛

Prof. Petr MUZNY، جامعة جنيف، سويسرا ؛

Prof. Gabrielle KAUFMANN-KOHLER، جامعة جنيف، سويسرا ؛

Prof. Farah SAFI، جامعة كليرمون أوفيرني، فرنسا؛

إشراف إداري

أ/ أماني جرجس

أمين المركز

إشراف فني

د/ امل حسن

رئيس وحدة التخطيط و المتابعة

سكرتارية التحرير

أ/ رانـدا نـوار — قسـم النشـر

أ/ شيماء بكر — قسـم النشـر

المحرر الفني

أ/ مرفت حافظ

رئيس وحدة الدعم الفني

تدقيق ومراجعة لغوية

وحدة التدقيق اللغوي - كلية الآداب - جامعة عين شمس

تصميم الغلاف أ/ أحمد محسن - مطبعة الجامعة

ترجى المراسلات الخاصة بالمجلة إلى: د. حاتم العبد، رئيس التحرير merc.director@asu.edu.eg

• وسائل التواصل:

البريد الإلكتروني لوحدة النشر: merc.pub@asu.edu.eg

جامعة عين شمس- شارع الخليفة المأمون- العباسية- القاهرة، جمهورية مصر العربية، ص.ب: 11566

(وحدة النشر - وحدة الدعم الفني) موبايل / واتساب: 01555343797 (2+)

ترسل الأبحاث من خلال موقع المجلة على بنك المعرفة المصري: www.mercj.journals.ekb.eg

ولن يلتفت إلى الأبحاث المرسلة عن طريق آخر

مجلة بحوث الشرق الأوسط

- رئيس التحرير **د. حاتم العبد**

- الهيئة الاستشارية المصرية وفقًا للترتيب الهجائي:

• أ.د. إبراهيم عبد المنعم سلامة أبو العلا	رئيس قسم التاريخ - كلية الآداب - جامعة الأسكندرية - مصر
• أ.د. أحمد الشربيني	عميد كلية الآداب السابق - جامعة القاهرة - مصر
• أ.د. أحمد رجب محمد علي رزق	عميد كلية الآثار - جامعة القاهرة - مصر
• أ.د. السيد فليفل	عميد كلية الدراسات الأفريقية العليا الأسبق- جامعة القاهرة - مصر
• أ.د. إيمان محمد عبد المنعم عامر	أستاذ التاريخ الحديث والمعاصر- كلية الآداب - جامعة القاهرة - مصر
أ.د. أيمن فؤاد سيد	رئيس الجمعية المصرية للدراسات التاريخية - مصر
• أ.د. جمال شفيق أحمد عامر	كلية الدراسات العليا للطفولة - جامعة عين شمس - مصر
• أ.د. حمدي عبد الرحمن	عميد كلية الحقوق الأسبق - جامعة عين شمس - مصر
• أ.د. حنان كامل متولي	(قائم بعمل) عميد كلية الآداب - جامعة عين شمس - مصر
• أ.د. صالح حسن المسلوت	أستاذ التاريخ والحضارة - كلية اللغة العربية - فرع الزقازيق جامعة الأزهر – مصر وعضو اللجنة العلمية الدائمة لترقية الأساتذة
• أ.د. عادل عبد الحافظ عثمان حمزة	كلية الآداب - جامعة المنيا، ومقرر لجنة الترقيات بالمجلس الأعلى للجامعات - مصر
• أ.د. عاصم الدسوقي	عميد كلية الآداب الأسبق - جامعة حلوان - مصر
• أ.د. عبد الحميد شلبي	كلية اللغة العربية بالمنصورة - جامعة الأزهر - مصر
• أ.د. عفاف سيد صبره	كلية الدراسات الإنسانية بنات بالقاهرة - جامعة الأزهر - مصر
• أ.د.عفيفي محمود إبراهيم	كلية الآداب - جامعة بنها - مصر
• أ.د. فتحي الشرقاوي	نائب رئيس جامعة عين شمس الأسبق - مصر
• أ.د. محمد الخزامي محمد عزيز	عميد كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية - جامعة الجلالة - مصر
أ.د. محمد السعيد أحمد	كلية التربية - جامعة عين شمس - مصر
• لواء/ محمد عبد المقصود	رئيس مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار بمجلس الوزراء - مصر
• أ.د. محمد مؤنس عوض	كلية الآداب - جامعة عين شمس - مصر
• أ.د. مدحت محمد محمود أبو النصر	كلية الخدمة الاجتماعية - جامعة حلوان قطاع الخدمة الاجتماعية بالمجلس الأعلى للجامعات ورئيس لجنة ترقية الأساتذة
• أ.د. مصطفى محمد البغدادي	كلية التربية - جامعة عين شمس - مصر
• أ.د. نبيل السيد الطوخي	رئيس قسم التاريخ - كلية الآداب - جامعة المنيا - مصر
أ.د. نهى عثمان عبد اللطيف عزمي	كلية السياحة والفنادق - جامعة مدينة السادات - مصر

- الهيئة الاستشارية العربية والدولية وفقًا للترتيب الهجائي:

- أ.د. إبراهيم خليل العلاّف — جامعة الموصل - العراق
- أ.د. إبراهيم محمد بن حمد المزيني — كلية العلوم الاجتماعية - جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية - السعودية
- أ.د. أحمد الحسو — جامعة مؤتة - الأردن
  مركز الحسو للدراسات الكمية والتراثية - إنجلترا
- أ.د. أحمد عمر الزيلعي — جامعة الملك سعود - السعودية
  الأمين العام لجمعية التاريخ والآثار التاريخية
- أ.د. عبد الله حميد العتابي — كلية التربية للبنات - جامعة بغداد - العراق
- أ.د. عبد الله سعيد الغامدي — جامعة أم القرى - السعودية
  عضو مجلس كلية التاريخ، ومركز تحقيق التراث بمعهد المخطوطات
- أ.د. فيصل عبد الله الكندري — جامعة الكويت - الكويت
- أ.د. مجدي فارح — رئيس قسم الماجستير والدراسات العليا - جامعة تونس١ - تونس
- أ.د. محمد بهجت قبيسي — جامعة حلب - سوريا
- أ.د. محمود صالح الكروي — كلية العلوم السياسية - جامعة بغداد - العراق

- *Prof. Dr. Albrecht Fuess* — Center for near and Middle Eastern Studies, University of Marburg, Germany
- *Prof. Dr. Andrew J. Smyth* — Southern Connecticut State University, USA
- *Prof. Dr. Graham Loud* — University Of Leeds, UK
- *Prof. Dr. Jeanne Dubino* — Appalachian State University, North Carolina, USA
- *Prof. Dr. Thomas Ashbridge* — Queen Mary University of London, UK
- *Prof. Ulrike Freitag* — Institute of Islamic Studies, Belil Fric University, Germany

شروط النشر بالمجلة

- تُعنى المجلة بنشر البحوث المهتمة بمجالات العلوم الإنسانية والأدبية ؛
- يعتمد النشر على رأي أثنين من المحكمين المتخصصين ويتم التحكيم إلكترونيًا ؛
- تُقبل البحوث باللغة العربية أو بإحدى اللغات الأجنبية، وتُرسل إلى موقع المجلة على بنك المعرفة المصري ويرفق مع البحث ملف بيانات الباحث يحتوي على عنوان البحث باللغتين العربية والإنجليزية واسم الباحث والتايتل والانتماء المؤسسي باللغتين العربية والإنجليزية، ورقم واتساب، وإيميل الباحث الذي تم التسجيل به على موقع المجلة ؛
- يُشار إلى أن الهوامش والمراجع في نهاية البحث وليست أسفل الصفحة ؛
- يكتب الباحث ملخص باللغة العربية واللغة الإنجليزية للبحث صفحة واحدة فقط لكل ملخص، ومقدمة للبحث؛
- بالنسبة للبحث باللغة العربية يكتب على برنامج "word" ونمط الخط باللغة العربية "Simplified Arabic" وحجم الخط 14 ولا يزيد عدد الأسطر في الصفحة الواحدة عن 25 سطر والهوامش والمراجع خط Simplified Arabic حجم الخط 12 ؛
- بالنسبة للبحث باللغة الإنجليزية يكتب على برنامج word ونمط الخط Times New Roman وحجم الخط 13 ولا يزيد عدد الأسطر عن 25 سطر في الصفحة الواحدة والهوامش والمراجع خط Times New Roman حجم الخط 1؛
- مواصفات التنسيق على الترويسة (Paper) مقاس الورق (B5) 17.6 × 25 سم، (Margins) الهوامش 2.3 سم يمينًا ويسارًا، 2 سم أعلى وأسفل الصفحة، ليصبح مقاس البحث فعلي (الكلام) 13×21 سم. (Layout) والنسق: (Header) الرأس1.25 سم، (Footer) تذييل 2.5 سم ؛
- مواصفات الفقرة للبحث : بداية الفقرة First Line = 1.27 سم، قبل النص= 0.00، بعد النص = 0.00)، تباعد قبل الفقرة = (6pt) تباعد بعد الفقرة = (0pt)، تباعد الفقرات (مفرد single) ؛
- مواصفات الفقرة للهوامش والمراجع : يوضع الرقم بين قوسين هلالي مثل : (1)، بداية الفقرة Hanging = 0.6 سم، قبل النص=0.00، بعد النص = 0.00)، تباعد قبل الفقرة = 0.00 تباعد بعد الفقرة = 0.00، تباعد الفقرات (مفرد single) ؛
- الجداول والأشكال: يتم وضع الجداول والأشكال إما في صفحات منفصلة أو وسط النص وفقًا لرؤية الباحث، على أن يكون عرض الجدول أو الشكل لا يزيد عن 13.5 سم بأي حال من الأحوال ؛
- مدة التحكيم 15 يوم على الأكثر من قبول المحكمين على الموقع، مدة تعديل البحث بعد التحكيم 15 يوم على الأكثر ؛
- يخضع تسلسل نشر البحوث في أعداد المجلة حسب ما تراه هيئة التحرير من ضرورات علمية وفنية ؛
- المجلة غير ملزمة بإعادة البحوث إلى أصحابها سواء نُشرت أم لم تُنشر ؛
- تُعبر البحوث عن آراء أصحابها وليس عن رأي رئيس التحرير وهيئة التحرير ؛
- رسوم التحكيم للمصريين 650 جنيه، ولغير المصريين 155 دولار ؛
- رسوم النشر عن الصفحة الواحدة للمصريين ٣٣ جنيه، وغير المصريين ١٥ دولار ؛
- رسوم التعديل عن الصفحة الواحدة 2 جنيه ؛
- الباحث المصري يسدد الرسوم بالجنيه المصري (بالفيزا) بمقر المركز(المقيم بمحافظة القاهرة)، أو على حساب حكومي رقم : (9/450/80772/8) بنك مصر (المقيم خارج محافظة القاهرة) ؛
- الباحث غير المصري يسدد الرسوم بالدولار على حساب حكومي رقم : (EG710001000100000004082175917) (البنك العربي الأفريقي) ؛ استلام إفادة قبول نشر البحث في خلال 15 يوم على الأكثر من تاريخ سداد رسوم النشر مع ضرورة رفع إيصالات السداد على موقع المجلة؛
- المراسلات : توجه المراسلات الخاصة بالمجلة إلى : merc.director@asu.edu.eg

السيد الدكتور/ مدير مركز بحوث الشرق الأوسط والدراسات المستقبلية، ورئيس تحرير المجلة جامعة عين شمس– العباسية– القاهرة – ج. م.ع (ص. ب 11566) للتواصل والاستفسار عن كل ما يخص الموقع : محمول / واتساب: 01555343797 (+2)

(قسم النشر merc.pub@asu.edu.eg) رُسل الأبحاث من خلال موقع المجلة على بنك المعرفة المصري: www.mercj.journals.ekb.eg ولن يلتفت إلى الأبحاث المرسلة عن طريق آخر.

الرؤيـــة

السعي لتحقيق الريادة في النشر العلمي المتميز في المحتوى والمضمون والتأثير والمرجعية في مجالات منطقة الشرق الأوسط وأقطاره .

الرسالـــة

نشر البحوث العلمية الأصيلة والرصينة والمبتكرة في مجالات الشرق الأوسط وأقطاره في مجالات اختصاص المجلة وفق المعايير والقواعد المهنية العالمية المعمول بها في المجلات المُحَكَّمَة دوليًا.

الأهـــداف

- نشر البحوث العلمية الأصيلة والرصينة والمبتكرة .
- إتاحة المجال أمام العلماء والباحثين في مجالات اختصاص المجلة في التاريخ والجغرافيا والسياسة والاقتصاد والاجتماع والقانون وعلم النفس واللغة العربية وآدابها واللغة الانجليزية وآدابها ، على المستوى المحلى والإقليمي والعالمي لنشر بحوثهم وإنتاجهم العلمي .
- نشر أبحاث كبار الأساتذة وأبحاث الترقية للسادة الأساتذة المساعدين والسادة المدرسين بمختلف الجامعات المصرية والعربية والأجنبية ،
- تشجيع ونشر مختلف البحوث المتعلقة بالدراسات المستقبلية والشرق الأوسط وأقطاره ،
- الإسهام في تنمية مجتمع المعرفة في مجالات اختصاص المجلة من خلال نشر البحوث العلمية الرصينة والمتميزة .

محتويات **العدد** (115)

	عنوان البحث		الصفحة
	الدراسات القانونية		
1	تاريخ التنظيم القضائي في مصر	محمود أمين عبد الحافظ	28-1
2	نظرة حول قوانين الاستثمار المصرية المتعاقبة ماذا أضاف قانون الاستثمار رقم ٧٢ لسنة ٢٠١٧	إسلام مراد جابر مبارك	78-29
3	مفاهيم ومعايير الحكومة في المشروعات الاقتصادية	مؤمن صلاح صالح محمد نصير	122-79
4	الذكاء الاصطناعي ومشكلة البطالة في مصر الواقع والتحديات	محمد حمزة منصور	162-123
5	مثال عملي لتطبيق منازعة تنفيذ أمام القضاء الدستوري	محمد أحمد المهدي محمد	202-163
6	دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه في مصر (دراسة تحليلية مقارنة في ضوء تجارب دولية مختارة)	محمد عبد الفتاح أحمد البارودي	308-203
	دراسات اللغة العربية		
7	صناعة الذاكرة في اللوحة الإشهارية لرواية الزيني بركات (دراسة سيميائية ثقافية وبيولوجية)	فاطمة حسن حامد	346-309
	دراسات الصوتيات		
8	استخدام الذكاء الاصطناعي في تحديد هوية المتحدث في اللغة العربية: نظرة عامة على الأسس النظرية	ايمان محمد محمد قاسم	376-347
	الدراسات الفنية		
9	البلاغة السردية في الخطاب الاتصالي لتصاميم الملصقات الإرشادية	وفاء جاسم محمد	418-377
	الدراسات اليونانية واللاتينية		

10	قصر التيه (اللابيرينثوس) ومعبد اللابيرنت بين الرؤية الأسطورية والحقيقة التاريخية "دراسة أسطورية أثرية مقارنة"	نسرين أمير سيد	510-419
	دراسات اللغة الانجليزية		
11	جيبوليتكية الوطن في سير غادة كرمي البحث عن فاطمة والعودة	زينب سعيد مصطفى	534-511

افتتاحية العدد (115)

يسعد مجلة بحوث الشرق الأوسط أن تصدر عددها الجديد (115) الذي يضم مجموعة من الدراسات والبحوث العلمية المتنوعة، والتي تسعى إلى إثراء الفكر الأكاديمي وتقديم رؤى تحليلية ومعرفية في مجالات القانون والاقتصاد والسياسة والتكنولوجيا والعلوم الإنسانية.

يُفتتح هذا العدد ببحث يتناول تاريخ التنظيم القضائي في مصر، مسلطًا الضوء على المراحل المتعاقبة لتطور النظام القضائي ودوره في ترسيخ مبادئ العدالة وسيادة القانون. ويتبعه عرض تحليلي لـ قوانين الاستثمار المصرية المتعاقبة، وما أفرزته من تحديات وفرص في البيئة الاقتصادية الوطنية، وصولًا إلى دراسة متخصصة بعنوان: ماذا أضاف قانون الاستثمار رقم 72 لسنة 2017؟، حيث يتم تقييم ما جاء به من مستجدات تشريعية لدعم بيئة الأعمال وتحفيز الاستثمار.

كما يتضمن العدد مقالة علمية حول مفاهيم ومعايير الحوكمة في المشروعات الاقتصادية، باعتبارها ركيزة أساسية لتحقيق التنمية المستدامة، بالإضافة إلى دراسة تبحث في الذكاء الاصطناعي ومشكلة البطالة في مصر، حيث تناقش الواقع الراهن والتحديات المستقبلية أمام صانع القرار. وفي السياق القانوني أيضًا، يقدم العدد مثالًا عمليًا لتطبيق منازعة تنفيذ أمام القضاء الدستوري، موضحًا الأبعاد الإجرائية والدستورية لهذا النوع من المنازعات.

وفي مجال قضايا التنمية، يضم العدد دراسة مقارنة بعنوان: دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه في مصر، والتي تعرض خبرات وتجارب دولية مختارة يمكن الاستفادة منها في مواجهة التحديات المائية. أما في المجال الثقافي والأدبي، فنجد دراسة سيميائية معمقة بعنوان: صناعة الذاكرة في اللوحة الإشهارية لرواية "الزيني بركات"، تكشف عن أبعاد ثقافية وبيولوجية في تشكيل الذاكرة الجمعية. كما يضم العدد بحث حول استخدام الذكاء الاصطناعي في تحديد هوية المتحدث في اللغة العربية، تقدم نظرة عامة على الأسس

النظرية لهذا المجال الواعد، إلى جانب دراسة في البلاغة السردية في الخطاب الاتصالي لتصاميم الملصقات الإرشادية، تبرز العلاقة بين الرسالة البصرية والبعد البلاغي.

وفي ميدان الدراسات الأثرية والأسطورية، يتناول بحث بعنوان: قصر التيه (اللابيرينثوس) ومعبد اللابيرنت بين الرؤية الأسطورية والحقيقة التاريخية، مقدّمًا قراءة مقارنة بين الأسطورة والواقع الأثري. ويختتم العدد بدراسة تحمل بعدًا جيو-ثقافي بعنوان: جيو-بولتيكية الوطن في سير غادة كرمي "البحث عن فاطمة" و"العودة"، حيث تتم قراءة التجربة الذاتية في سياقها الوطني والسياسي.

إننا في هذا العدد نؤكد التزام مجلة بحوث الشرق الأوسط بمواصلة رسالتها العلمية، وتقديم بحوث متجددة تسعى إلى فتح آفاق جديدة للباحثين والمتخصصين، بما يخدم المعرفة ويثري النقاش الأكاديمي في مختلف الحقول

والله ولي التوفيق،

رئيس التحرير

د. حاتم العبد

دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه في مصر

(دراسة تحليلية مقارنة في ضوء تجارب دولية مختارة)

The Role of Digital Technology in Addressing Water Challenges in Egypt

(An Analytical Comparative Study in Light of Selected International Experiences)

محمد عبد الفتاح أحمد الباروجي

دكتوراه في الاقتصاد السياسي – كلية الحقوق

جامعة عين شمس

Mohamed Abdel Fattah Ahmed El-Barougy

Ph.D. in Political Economy – Faculty of Law

Ain Shams University

mohamed.elbarougy@te.eg

www.mercj.journals.ekb.eg

الملخص

يتناول هذا البحث دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه في مصر، عن طريق تحليل واقع إدارة الموارد المائية والتحديات المرتبطة بها، في ظل تصاعد الضغوط الناتجة عن التغيرات المناخية والنمو السكاني المتسارع، إلى جانب التأثيرات المحتملة لسد النهضة الإثيوبي.

وتبرز أهمية الدراسة في ظل الحاجة إلى حلول مبتكرة ومستدامة لتعزيز الأمن المائي، وتُعد التكنولوجيا الرقمية من أهم هذه الحلول، لما توفره من أدوات متطورة لجمع البيانات وتحليلها ومتابعة تدفق المياه وجودتها في الوقت الفعلي. وتتمثل هذه الأدوات في تطبيقات مثل الاستشعار عن بُعد، وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، ونظم المعلومات الجغرافية، والنمذجة الرقمية، التي تسهم في بناء أنظمة ذكية للتنبؤ بالاحتياجات والتعامل مع التحديات، بما يعزز من كفاءة ومرونة منظومة إدارة المياه.

وقد أظهرت التجارب الدولية أن دولاً مثل سنغافورة والسعودية وأستراليا وجنوب أفريقيا نجحت في توظيف التكنولوجيا الرقمية لتعزيز أمنها المائي، رغم اختلاف ظروفها عن السياق المصري، إلا أن ما تحقق من تجارب ناجحة يمكن أن يُشكل مرجعاً عند بناء رؤية وطنية تعتمد التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه.

وتخلص الدراسة إلى ضرورة تبني مصر لمسار رقمي متكامل في قطاع المياه، يجمع بين الحوكمة الرشيدة، والبنية التحتية الذكية، والتوعية المجتمعية، لضمان الاستخدام الأمثل للموارد وتحقيق استدامتها للأجيال القادمة.

Research Summary

This research explores the role of digital technology in addressing water challenges in Egypt by analyzing the current state of water resource management and the associated challenges, particularly in light of mounting pressures from climate change, rapid population growth, and the potential impacts of the Grand Ethiopian Renaissance Dam.

The importance of this study emerges from the urgent need for innovative and sustainable solutions to enhance water security. Digital technology is considered one of the most advanced tools in this regard, offering sophisticated capabilities for real-time data collection, analysis, and monitoring of water flow and quality.

These capabilities are embodied in applications such as remote sensing, the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), Geographic Information Systems (GIS), and digital modeling. These tools contribute to building intelligent systems that can predict demand and respond effectively to growing challenges, thereby improving the efficiency and resilience of water management systems.

International experiences have shown that countries such as Singapore, Saudi Arabia, Australia, and South Africa have successfully employed digital technologies to strengthen their water security. Although their conditions differ from the Egyptian context, these successful cases provide valuable insights that can inform the development of a national vision for adopting digital technologies in water management.

The study concludes that Egypt must adopt a comprehensive digital pathway in the water sector—one that integrates good governance, smart infrastructure, and community awareness—to ensure the optimal use of resources and the sustainability of water services for future generations.

تمهيد وتقسيم :

تأتي التغيرات المناخية والبيئية كأحد أهم القضايا على الساحة الدولية في الوقت الراهن ، لما تمثله من خطر داهم على كوكب الأرض ، حيث تؤدي التغيرات المناخية إلى العديد من الآثار السلبية بما في ذلك زيادة حدوث الكوارث الطبيعية مثل:

الفيضانات والزلازل، وحرائق الغابات ، و ارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة ، والتسبب في ارتفاع مستويات سطح البحار، والتصحر، وشح مياه الأنهار، و انخفاض مستوى جودة الأراضي الصالحة للزراعة ؛ مما ينعكس سلباً على معدلات النمو الاقتصادي وتدهور الأوضاع الاجتماعية بما في ذلك الصحة والتعليم ، بالإضافة إلى ارتفاع مستويات البطالة ، وزيادة نسب الفقر والجوع .

وتواجه مصر تحديات متزايدة في إدارة مواردها المائية في ظل التغيرات المناخية والبيئية، وزيادة تعداد السكان، بالإضافة إلى مشكلة سد النهضة الإثيوبي وتأثيره المحتمل على حصة مصر من مياه نهر النيل.

أولاً : أهمية البحث :- تُصنف مصر عالمياً ضمن الدول الأكثر تضرراً من نقص المياه ، حيث تُعد من الدول الفقيرة مائياً ؛ مما يؤثر على مختلف جوانب الحياة في البلاد، وتأتي أهمية هذه الدراسة في محاولة لتسليط الضوء على حجم الآثار السلبية الناجمة عن ندرة المياه ، وكيفية مواجهتها عن طريق التكنولوجيا الرقمية .

ثانياً : الهدف من البحث :- تحليل دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه، والخروج بحلول وتطبيقات واقعية تسهم في تعزيز إدارة الموارد المائية بكفاءة وفاعلية في مصر.

ثالثاً : إشكالية البحث :- تعتمد مصر على نهر النيل كمصدر رئيسي للمياه، إلا أن حصة الفرد من المياه في نقصان مستمر ، نتيجة النمو السكاني

المتزايد، وزيادة حدة التغيرات المناخية والبيئية، بالإضافة إلى التأثير المحتمل لسد النهضة الإثيوبي على حصة مصر من مياه نهر النيل.

رابعاً : النتائج المتوقعة :- من المتوقع أن تُسهم هذه الدراسة في تسليط الضوء على التكنولوجيا الرقمية كأداة فعالة في التعامل مع ندرة المياه ، وإيجاد حلول مبتكرة لتعزيز كفاءة إدارة الموارد المائية في مصر.

خامساً : خطة البحث :- يتناول البحث دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه في مصر على النحو التالي :

المبحث الأول :- دور التكنولوجيا الرقمية وتطبيقاتها في إدارة الموارد المائية.

المطلب الأول :- مفهوم التكنولوجيا الرقمية ودورها في التحول الرقمي.

المطلب الثاني :- أهمية تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه.

المبحث الثاني :- التكنولوجيا الرقمية كأداة لإدارة المياه في بعض الدول منعدمة الأنهار.

المطلب الأول:-التكنولوجيا الرقمية كركيزة لإدارة تحديات المياه في سنغافورة.

المطلب الثاني:- دور التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه في المملكة العربية السعودية.

المبحث الثالث :- دور التكنولوجيا الرقمية في بيئات مائية متأزمة.

المطلب الأول:- تجربة أستراليا في إدارة المياه باستخدام التكنولوجيا الرقمية .

المطلب الثاني:- تجربة جنوب أفريقيا في تطبيق الحلول الرقمية لمواجهة ندرة المياه.

المبحث الرابع :- تحديات المياه في مصر

المطلب الأول :- مفهوم الأمن المائي وأهميته في مصر

المطلب الثاني :- التحديات الرئيسية التي تواجه إدارة المياه في مصر

المبحث الخامس :- السياسات المائية المصرية في إطار التكنولوجيا الرقمية.

المطلب الأول :- الإطار العام للسياسات المائية في مصر.

المطلب الثاني:- التكنولوجيا الرقمية وإدارة المياه في إطار التحديات الراهنة.

الخاتمة – النتائج – التوصيات .

المبحث الأول

دور التكنولوجيا الرقمية وتطبيقاتها في إدارة الموارد المائية

تمهيد وتقسيم :

تُعد ندرة المياه من أهم التحديات التي يواجهها العالم، حيث تفاقمت وتضاعفت تحدياتها بفعل التغيرات المناخية والبيئية ، والنمو السكاني المتسارع، بالإضافة إلى التوسع الاقتصادي والعمراني، إذ تواجه الدول المتقدمة والنامية أزمات مائية متصاعدة، رغم اختلاف الأسباب والإمكانات، فبعضها يفتقر تماماً إلى الأنهار والمصادر السطحية، بينما تعاني دول أخرى من ظروف مناخية شديدة تفوق المعدلات العالمية.

كما توجد دول تمتلك موارد مائية، لكنها غير قادرة على تمويل حلول فعّالة بسبب محدودية قدراتها الاقتصادية، في حين تتمكن بعض الدول ذات الاقتصاد القوي من تخصيص بعض مواردها لمواجهة هذه التحديات (١) لكنها ما زالت تواجه ضغوط التغيرات المناخية والبيئية.

وفي ظل هذا التنوع في مظاهر الأزمة المائية، تظهر التكنولوجيا الرقمية كأداة جوهرية يمكن أن تُسهم بشكل كبير في تحسين إدارة الموارد المائية، فهي تتيح جمع وتحليل البيانات بدقة، وتعزز كفاءة الاستخدام، وتدعم اتخاذ القرار القائم على المعلومات في الوقت الفعلي، مما يسهم في الحد من الهدر وتحقيق الاستدامة ، **واستناداً إلى ما سبق سيتم تقسيم هذا المبحث على النحو التالي :**

المطلب الأول :- مفهوم التكنولوجيا الرقمية ودورها في التحول الرقمي.

المطلب الثاني :- أهمية تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه.

المطلب الأول

مفهوم التكنولوجيا الرقمية ودورها في التحول الرقمي

تمهيد وتقسيم :

تُعد التكنولوجيا الرقمية أحد أهم ملامح العصر الحديث، حيث تلعب دوراً جوهرياً في تطوير القطاعات الحيوية، وعلى رأسها قطاع المياه الذي يواجه تحديات متزايدة، مثل: محدودية الموارد المائية، والتغيرات المناخية، إلى جانب الزيادة السكانية وارتفاع معدلات الاستهلاك.

ومع التطور التكنولوجي، أصبحت الحلول الرقمية ضرورة ملحة وليست رفاهية، من أجل تحسين إدارة الموارد المائية، وتقليل الفاقد، وزيادة كفاءة التوزيع والاستخدام. لذلك من المهم أولاً فهم طبيعة التكنولوجيا الرقمية، ثم استكشاف دورها الفعّال في قطاع المياه.

وبناءً على ما سبق سيتم تقسيم هذا المطلب على النحو التالي :-

الفرع الأول : مفهوم التكنولوجيا الرقمية.

الفرع الثاني: دور التكنولوجيا الرقمية في تعزيز التحول الرقمي.

الفرع الأول

مفهوم التكنولوجيا الرقمية

لقد تعددت تعريفات التكنولوجيا الرقمية، إلا أن جميعها تتفق حول مفهوم واحد ، وهو استخدام الأنظمة والأدوات الإلكترونية القائمة على تحويل المعلومات إلى شكل رقمي(Digital Format) ، بما يُمكّن من معالجتها، وتخزينها، واسترجاعها بكفاءة عن طريق أجهزة الحاسوب وشبكات الإنترنت والمعالجات الدقيقة. وتتضمن التكنولوجيا الرقمية عدة مجالات مترابطة مثل: تكنولوجيا المعلومات (IT)، وتكنولوجيا الاتصالات (ICT)، والذكاء الاصطناعي (AI)، والحوسبة السحابية (Cloud Computing).(٢)

وتُعدّ التكنولوجيا الرقمية عنصراً محورياً في التحول الرقمي الذي تشهده المؤسسات الحديثة، حيث تسهم بشكل فعّال في تحسين كفاءة الأداء الوظيفي، ورفع مستويات الإنتاجية، ودعم عمليات اتخاذ القرار، كما تمتد تطبيقاتها لتشمل مختلف القطاعات الحيوية، إذ تتداخل بشكل مباشر في المجال الصناعي عن طريق الأتمتة والروبوتات الذكية، وفي القطاع الزراعي عبر أنظمة الري الذكية وتحليل البيانات البيئية، وفي المجال الخدمي عن طريق تحسين جودة الخدمات وتيسير الوصول إليها عبر القنوات الرقمية، كما تلعب دوراً مهماً في قطاع المياه من خلال أنظمة المراقبة الذكية، وإدارة توزيع المياه ، بما يحقق كفاءة الاستخدام ويحافظ على الموارد الطبيعية.(٣)

كما يؤكد تقرير صادر عن البنك الدولي عام ٢٠٢٢، حول منافع التكنولوجيا الرقمية في منطقة الشرق الأوسط ، أنها أصبحت أحد أهم المحركات الأساسية للنمو الاقتصادي، ليس فقط عبر تسريع وتسهيل العمليات، بل أيضاً عن طريق تقليل التكلفة المرتبطة بالحصول على المعلومات، والتي كانت تمثل عائقاً رئيسياً أمام

المعاملات الاقتصادية، خاصة في الدول النامية؛ وكلما ازداد استخدام المواطنين للتقنيات الرقمية، زاد الأثر الإيجابي لها على الاقتصاد.

وتشير تقارير التنمية إلى أن الرقمنة الكاملة للاقتصاد قد تسهم في رفع نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي في منطقة الشرق الأوسط بما لا يقل عن ٤٦% خلال الثلاثين عاماً القادمة، بما يعادل مكاسب طويلة الأجل تُقدّر بنحو ١,٦ تريليون دولار (٤) وذلك بفضل تقليص الفجوة الرقمية، وتحسين الوصول إلى التكنولوجيا.

باستقراء ما سبق، يتضح أن التكنولوجيا الرقمية لم تعد مجرد أدوات تقنية مساعدة، بل تحوّلت إلى ركيزة أساسية في بناء اقتصادات رقمية مرنة ومبتكرة، تسهم في تعزيز الكفاءة، وتُيسر الوصول إلى المعلومات والخدمات، وتدعم النمو المستدام. كما أن اتساع تطبيقاتها في مختلف القطاعات الحيوية يعكس أهميتها المتزايدة في معالجة التحديات التنموية.

كما أن مفهوم التكنولوجيا الرقمية يُعد مفهوماً متغيراً وغير ثابت، نظراً للتطور المتسارع في التقنيات والابتكارات الرقمية، مما يجعل من الضروري مراجعته وتحديثه باستمرار بما يتماشى مع التحولات التقنية الحديثة.

الفرع الثاني

دور التكنولوجيا الرقمية في تعزيز التحول الرقمي

يُعرَّف التحول الرقمي بأنه "عملية التغيير العميق في النماذج والأنظمة المؤسسية والتشغيلية، بهدف تحقيق الاستفادة القصوى من التغيرات التكنولوجية، عن طريق دمج التقنيات الرقمية المؤثرة في مختلف جوانب المجتمع". ويهدف هذا التحول إلى تعزيز كفاءة الخدمات الحكومية، وتسهيل الوصول إليها من قِبل المستفيدين، بالإضافة إلى إعادة تنظيم التفاعل بين القطاعات الإنتاجية والزراعية والصناعية والخدمية.

كما يُسهم التحول الرقمي في تمكين الأفراد والمستثمرين من الوصول إلى الفرص الاستثمارية بطريقة أكثر كفاءة ومرونة، مما يخلق بيئة ديناميكية تستجيب للاحتياجات المتغيرة، ويعزز من جودة وكفاءة الأداء على مستوى المؤسسات والمجتمعات (٥) **في حين يُشير مصطلح** "**الرقمنة**" إلى عملية تحويل المعلومات من الشكل التناظري إلى الشكل الرقمي، أي إلى صيغ رقمية قابلة للمعالجة إلكترونياً، فإنه يقتصر في جوهره على تحويل البيانات فقط دون تعديل في طبيعة العمليات. وبالمقابل، يُعدّ التحول الرقمي أكثر شمولًا وعمقًا(٦) إذ يتجاوز مجرد رقمنة البيانات، حيث تغييراً جذرياً في نمط حياة الأفراد وأسلوب عمل المؤسسات، عن طريق توظيف التقنيات المتقدمة مثل: الواقعين الافتراضي والمعزز، التعلم العميق، اتخاذ القرار الآلي، التصنيع الذكي، إنترنت الأشياء، أنظمة الذكاء الاصطناعي، الروبوتات، وتحليل البيانات الضخمة.

لقد أصبحت التكنولوجيا الرقمية ركيزة أساسية للتحول الرقمي، إذ تمكّن المؤسسات والحكومات من إعادة هيكلة عملياتها الصناعية والتجارية والخدمية،

وتطوير أفكار مبتكرة تُسهم بفاعلية في التصدي للتحديات المعاصرة، مثل تغيّر المناخ، والتصحر، وتحقيق الزراعة المستدامة، وتعزيز كفاءة إدارة الموارد، وعلى رأسها المياه.(٧)

وفي هذا السياق، تشير تقديرات الحكومة البريطانية إلى أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا الرقمية في أنظمة العمل يمكن أن تسهم في نحو٤٥ مليار جنيه إسترليني سنوياً، عن طريق تبسيط الإجراءات الإدارية، ورفع كفاءة الأداء في القطاعات الصناعية والزراعية والخدمية (٨) مما يسهم في تعزيز النمو الاقتصادي.

باستقراء ما سبق، يتضح أن التحول الرقمي هو عملية استراتيجية عميقة ترتكز بشكل أساسي على التكنولوجيا الرقمية، بما تحمله من أدوات وتطبيقات متقدمة، حيث تُحدث تغييراً جذرياً في نمط العمل ونوعية الخدمات، وتفتح آفاقاً واسعة لتحسين كفاءة القطاعات الحيوية.

كما أن اعتماد التقنيات الرقمية مثل: أنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وتحليل البيانات الضخمة يُمثل عنصراً محورياً في التصدي للتحديات المتزايدة، سواء في مجالات الزراعة والصناعة أو في إدارة الموارد الطبيعية وعلى رأسها المياه، وهو ما يعزز من مكانة التكنولوجيا الرقمية كأداة استراتيجية تسهم في دعم أهداف التنمية المستدامة وتحسين جودة الحياة من خلال الحلول الذكية المتكاملة.

المطلب الثاني

أهمية استخدام التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه

تمهيد وتقسيم :

في ظل التحديات المتصاعدة التي تواجه الموارد المائية عالمياً، خاصة في المناطق التي تعاني من شُح المياه والضغوط المناخية، تظهر الحاجة الملحة إلى تبني أدوات وتقنيات حديثة تضمن إدارة هذا المورد الحيوي بكفاءة واستدامة. وتُعد التكنولوجيا الرقمية من أهم الأدوات التي أسهمت في عمل تحول جذري في نظم إدارة المياه، عن طريق تعزيز كفاءة الاستخدام، وتحسين آليات الرصد والتحكم واتخاذ القرار، وذلك من خلال دعم نُظم إدارة المياه بالكامل، ابتداءً من جمع البيانات والرصد المبكر، ومروراً بالتشغيل والتوزيع الذكي والتحكم الآلي، وصولاً إلى المتابعة الفورية والتقييم المستمر، بما يضمن كفاءة الاستخدام وسرعة الاستجابة للمتغيرات.

وقد ساهمت هذه التقنيات في تطوير أنظمة ذكية قادرة على جمع وتحليل البيانات الدقيقة، مما أدى إلى سرعة اتخاذ القرار، وتقليل الفاقد، وضمان عدالة توزيع المياه، سواء في الاستخدامات الزراعية أو الصناعية أو الحضرية. كما أن التكنولوجيا الرقمية أصبحت عنصراً فاعلاً في دعم السياسات المائية، ومواجهة أزمات ندرة المياه والتلوث، وتحقيق الأهداف المتعلقة بالتنمية المستدامة.

وبناءً على ما تم عرضه سيتم تقسيم هذا المطلب على النحو التالي :

الفرع الأول: دور تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في إدارة الموارد المائية.

الفرع الثاني: الآثار الإيجابية لاستخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه.

الفرع الأول

دور تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في إدارة الموارد المائية

مع تصاعد الطلب على المياه في ظل التغيرات المناخية المتسارعة، باتت إدارة الموارد المائية أحد أهم التحديات التي يواجهها العالم في الوقت الراهن. ووفقاً لتقرير الأمم المتحدة حول تنمية المياه في العالم، فمن المتوقع أن يعاني أكثر من ٥٠% من سكان العالم من ندرة مائية شديدة بحلول عام ٢٠٥٠ (٩) الأمر الذي يستدعي اتباع نهج أكثر استدامة في إدارة هذا المورد الحيوي.

ومن هذا المنطلق، ظهرت تقنيات "المياه الذكية" كحلول مبتكرة تعتمد على أجهزة الاستشعار المتطورة، وتقنيات المعلومات والاتصالات لمراقبة البيانات لحظياً مثل: ضغط المياه، وتدفقها، وجودتها، والرطوبة. فضلاً عن قدرة هذه الأنظمة على اكتشاف المشكلات في شبكة المياه، كالتسريبات، والهدر غير المرصود للمياه، ومصادر التلوث، مما يُعزز كفاءة التوزيع والمعالجة، كما يسهم في تحلية مياه البحر، وإعادة تدوير مياه الصرف ، وإيجاد طرق ذكية لري الأراضي الزراعية (١٠) مما يسهم في تحقيق الاستدامة المائية والبيئية.

وتشمل أهم التطبيقات الرقمية في إدارة المياه ما يلي :

أولاً- تقنية الاستشعار عن بُعد(Remote Sensing) :

تُعد أداة حيوية في مراقبة النظم الهيدرولوجية، **ويعني هذا المصطلح** مراقبة دورة المياه في الطبيعة مثل: هطول الأمطار وتدفقها على الأرض، التبخر، الترشيح، المياه الجوفية، عن طريق دراسة حركة وتوزيع المياه في البيئة الطبيعية ، حيث تُستخدم صور الأقمار الصناعية ونظم الطائرات دون طيار لرصد التغيرات في المسطحات المائية، وقياس الغطاء النباتي المرتبط برطوبة التربة، واكتشاف التسربات

من شبكات المياه (١١) كما تساعد نماذج المعالجة الرقمية متعددة المستويات في فهم العلاقة بين المؤشرات البيئية وتوزيع الموارد المائية.

ثانياً – أنظمة المعلومات الجغرافية(GIS):

تُستخدم نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في إنشاء خرائط تفاعلية وديناميكية توضح توزيع الموارد المائية، مما يسهم في تقييم المخاطر الهيدرولوجية مثل: الفيضانات وموجات الجفاف، كما تعمل على تحليل أحواض التصريف المائي، وتتبع مصادر التلوث بدقة عالية، ويُعد دمج تقنيات المعلومات الجغرافية مع قواعد البيانات المكانية وسيلة فعالة لدعم وتخطيط وإدارة البنية التحتية للمياه بشكل أكثر كفاءة واستدامة (١٢) خاصة في ظل التحديات المناخية والبيئية المتزايدة.

ثالثاً– إنترنت الأشياء (IoT) :

يعزز إنترنت الأشياء من كفاءة المراقبة عن طريق تركيب حساسات ذكية ضمن شبكات توزيع المياه ومحطات المعالجة، من أجل رصد المتغيرات الحيوية مثل ضغط المياه، ومعدل التدفق، وجودة المياه ودرجة حرارة الخزانات. كما تُرسل هذه الحساسات بياناتها إلى أنظمة مركزية لمعالجتها بشكل لحظي، مما يسهم في اكتشاف التسريبات الدقيقة، ورصد أنماط الاستهلاك غير المعتادة، والتعامل مع الأعطال المتوقعة بطريقة استباقية وفعالة.

رابعاً– الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات المستقبلية :

يُسهم الذكاء الاصطناعي، وخاصة تقنيات التعلم الآلي (Machine Learning)، في تطوير نماذج تحليلية استشرافية ، تهدف إلى فهم الاتجاهات الزمنية في أنماط استهلاك المياه، والتنبؤ بالطلب المستقبلي بدقة. وتُسهم خوارزميات تحليل البيانات الضخمة (Big Data Analytics) في استخراج الأنماط المعقدة وغير المرئية داخل كميات هائلة من البيانات، بما يدعم اتخاذ قرارات

أدق وأكثر فاعلية (١٣) مما يدعم تحسين تخطيط وتوزيع شبكات المياه بشكل أكثر كفاءة وفعالية.

خامساً– النمذجة الرياضية والمحاكاة الهيدروليكية :

تعمل تقنيات المحاكاة الرقمية الحديثة على تطوير نماذج رياضية متقدمة، تهدف إلى تمثيل حركة المياه الجوفية والسطحية بدقة عالية، بالإضافة إلى تقييم شامل لتأثير التغيرات المناخية والأنشطة البشرية على توازن الموارد المائية، كما تُستخدم هذه النماذج في تحليل كفاءة السدود المائية والخزانات الصناعية، وإدارة أحواض التصريف، وتوجيه التخطيط الاستراتيجي طويل المدى لمشاريع البنية التحتية المائية(١٤) وهو ما يدعم كفاءة التنظيم والإدارة المستقبلية للموارد المائية.

باستقراء ما سبق يتضح أن توظيف التكنولوجيا الرقمية، عن طريق تقنيات المياه الذكية والاستشعار عن بُعد، وأنظمة المعلومات الجغرافية، وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، إلى جانب النمذجة الرياضية، يمثل خطوة أساسية نحو تحقيق إدارة مستدامة وفعّالة للموارد المائية، كما تسهم هذه التقنيات بشكل كبير في تحسين مراقبة وتوزيع المياه، وتقليل الفاقد، والتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية، مما يساعد على مواجهة تحديات ندرة المياه وتغيرات المناخ بطريقة أكثر ذكاءً واستباقية.

الفرع الثاني

الآثار الإيجابية لاستخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه

لقد ساعدت تكنولوجيا المياه في تحسين إدارة الموارد، وخفض معدلات الاستهلاك، وضمان جودة المياه، وتقليل الفاقد، بالإضافة إلى رصد الأعطال في الشبكات ومحطات المعالجة فور وقوعها، وإبلاغ الجهات المعنية مباشرة، إلى جانب تطوير البنية التحتية، وتعزيز القدرة على التوقع والتخطيط للاحتياجات المستقبلية. وبناءً على ذلك سنعرض للآثار الإيجابية لاستخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه على النحو التالي:

أولاً- زيادة الكفاءة التشغيلية : تُعد التكنولوجيا الرقمية من العوامل الجوهرية التي أسهمت في رفع كفاءة تشغيل أنظمة المياه، إذ تتيح إمكانية التوسع التدريجي حسب الحاجة، مع توفير مرونة أكبر في الاستجابة للتغيرات المفاجئة في الطلب أو الظروف التشغيلية، مما يضمن استمرارية الخدمة بكفاءة في مختلف الأوقات.

ثانياً- الاستدامة المائية : وهي تعني استخدام المياه بشكل مستدام، حيث تساهم التكنولوجيا الرقمية في تحقيق ذلك عن طريق تحسين إدارة وتشغيل أنظمة المياه المتعددة ، وجمع وتحليل البيانات المتعلقة بالمياه ، وتوحيد الأنظمة المائية المختلفة ضمن منصة رقمية متكاملة تجمع كافة أنظمة مراقبة وتحكم المياه في واجهة موحدة، مما يسهم في متابعة جودة المياه وتوقع الاحتياجات المستقبلية، واتخاذ قرارات استراتيجية تحقق التوازن بين العرض والطلب(١٥) مما يسهم في استدامة المياه.

ثالثاً- الحد من الفقد المائي : تسهم تكنولوجيا الرصد الذكي، مثل : المستشعرات وأنظمة الإنذار المبكر، في تعزيز قدرة الشبكات المائية على اكتشاف التسربات والاختلالات التشغيلية بدقة وفعالية عالية، مما يسهم في تقليل نسب الفاقد غير المرئي، وتحسين كفاءة توزيع المياه، والحد من الهدر المائي.

رابعاً- مراقبة جودة المياه: لقد عملت التقنيات الرقمية الحديثة على تطوير آليات المراقبة المستمرة لجودة المياه، عن طريق تتبع المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية في الوقت الحقيقي، مما أدى إلى تعزيز القدرة على الاكتشاف المبكر للتلوث، وتقليل المخاطر الصحية المرتبطة بتلوث جودة المياه (١٦) مما يسهم في توفير مياه آمنة ومتوافقة مع المعايير البيئية والصحية.

خامساً- تحسين كفاءة التخطيط الاستراتيجي : تعتمد الأنظمة الرقمية على تحليل البيانات الزمنية والمكانية المتراكمة لتطوير نماذج تنبؤية دقيقة تساعد في توقع الطلب المستقبلي على المياه، حيث تتيح هذه النماذج لصناع القرار وضع سياسات تخصيص الموارد بناءً على احتياجات فعلية ومحددة، مما يعزز كفاءة توزيع المياه ويضمن تحقيق توازن مستدام بين العرض والطلب.

سادساً- تعزيز الوعي المجتمعي : تسهم تطبيقات القياس الذكية في تغيير دور المستهلك إلى شريك نشط في إدارة الموارد المائية، عن طريق تمكينه من متابعة استهلاكه بدقة وشفافية، مما يعزز من الوعي بأهمية ترشيد المياه ، ويساعد في تقليل الاستهلاك (١٧) ويدعم الاستخدام المستدام للمياه على المستوى الفردي والمجتمعي.

سابعاً- تعزيز كفاءة الري الزراعي : تسهم التكنولوجيا الرقمية في تطوير أنظمة الري الذكية عن طريق الري بالتنقيط المعتمد على المجسات والتحكم الآلي ، حيث يُعد من أكثر الطرق كفاءة في تقليل الفاقد المائي، إذ تعمل هذه الأنظمة على توصيل المياه مباشرة إلى جذور النباتات بكميات محسوبة بناءً على احتياجات التربة والمحاصيل، مما يؤدي إلى تقليل هدر المياه من (٤٠% إلى ٦٠%) مقارنة بأنظمة الري بالغمر، فضلاً عن زيادة الإنتاجية(١٨) وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المائية في القطاع الزراعي.

باستقراء ما سبق يتضح أن التكنولوجيا الرقمية لم تعد مجرد أداة مساندة، بل أصبحت ركيزة استراتيجية في إدارة قطاع المياه، لما توفره من إمكانات متقدمة في تحسين كفاءة التشغيل، ورصد الموارد المائية بدقة، وتحليل البيانات المعقدة بما يعزز من دقة القرار وفعاليته. كما تسهم هذه التقنيات في دعم عمليات تحلية مياه البحر، وإعادة استخدام المياه المعالجة، واستكشاف الآبار بطرق أكثر كفاءة وموثوقية. كما تلعب دوراً محورياً في تعزيز جودة الخدمات وتقليل الفاقد، مما يسهم في تحقيق أقصى استفادة من الموارد المتاحة، وتظهر هذه الأهمية بشكل خاص في القطاع الزراعي، حيث تسهم أنظمة الري الذكي في تقليل الهدر المائي مقارنة بالأساليب التقليدية، وهو ما يمثل نقلة نوعية في مواجهة الضغوط المتزايدة الناجمة عن النمو السكاني، والتغيرات المناخية، وندرة المياه، وصولاً إلى تحقيق الإدارة المتكاملة والمستدامة للموارد المائية.

المبحث الثاني

التكنولوجيا الرقمية كأداة لإدارة المياه في بعض الدول منعدمة الأنهار

تمهيد وتقسيم :

تُواجه الدول منعدمة الأنهار تحديات مائية شديدة، نتيجة غياب الموارد السطحية الطبيعية واعتمادها شبه الكامل على مصادر بديلة مثل المياه الجوفية، أو المحلاة، أو المستوردة.

ومع التغيرات المناخية والبيئية ، وتزايد معدلات النمو السكاني، تظهر الحاجة الملحة إلى حلول مبتكرة تضمن استدامة الأمن المائي في البيئات الجافة، وتُعد التكنولوجيا الرقمية من أهم الأدوات الفعالة، إذ تسهم في إدارة الموارد المائية بكفاءة

ومرونة، **وقد وقع اختيارنا** على تجربتي سنغافورة والمملكة العربية السعودية ، لكونهما تمثلان نموذجين ناجحين لدول منعدمة الأنهار استطاعتا مواجهة تحديات الندرة المائية عن طريق توظيف التكنولوجيا الرقمية بفعالية، رغم اختلاف السياقات الجغرافية والمناخية والسكانية، إلا أن التحديات المائية واحدة.

وبناءً على ما تقدم سنعرض هذا المبحث على النحو التالي:

المطلب الأول :- التكنولوجيا الرقمية كركيزة لإدارة تحديات المياه في سنغافورة.

المطلب الثاني:- دور التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه في المملكة العربية السعودية.

المطلب الأول

التكنولوجيا الرقمية كركيزة لإدارة المياه في سنغافورة

تمهيد وتقسيم :

تُعد سنغافورة نموذجاً عالمياً رائداً في إدارة المياه، إذ نجحت رغم افتقارها للموارد الطبيعية وغياب الأنهار، في بناء منظومة متكاملة تعتمد على التكنولوجيا والابتكار لتأمين احتياجاتها المائية بكفاءة واستدامة.

فمنذ استقلالها، واجهت الدولة تحدياً وجودياً يتمثل في تأمين مصادر مائية مستقرة، مما دفعها إلى وضع رؤية استراتيجية تجعل من التكنولوجيا الرقمية ركيزة أساسية لإدارة كل قطرة ماء. **وبناء على ما تقدم سنقسم هذا المطلب على النحو التالي :**

الفرع الأول : تحديات المياه في سنغافورة.

الفرع الثاني : التكامل بين السياسات العامة والتكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه بسنغافورة.

الفرع الأول

تحديات المياه في سنغافورة

تُعد سنغافورة نموذجاً استثنائياً في مواجهة التحديات المائية، إذ تقع على مساحة صغيرة لا تتجاوز ٧١٤ كيلومتراً مربعاً، ويقطنها أكثر من ٥.٢ مليون نسمة، مما يضع ضغطاً كبيراً على مواردها الطبيعية.

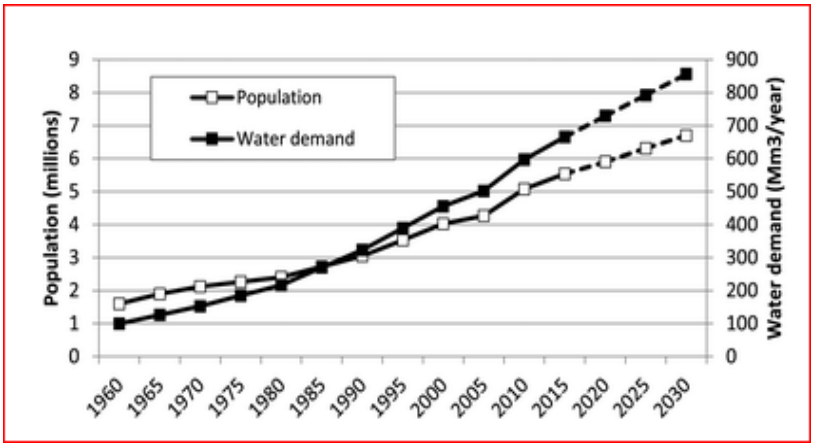
وعلى الرغم من تمتعها بمعدل هطول أمطار سنوي مرتفع (يبلغ حوالي ٢٥٠٠ ملم) بما يعادل في المتوسط نحو(١.٨٧ مليار متر مكعب من مياه الأمطار سنوياً) **إلا أنها تفتقر كلياً إلى الأنهار أو مصادر المياه الجوفية،** ما يجعلها تعتمد اعتماداً شبه كامل على مياه الأمطار كمصدر أساسي للمياه العذبة، إلى جانب تحلية مياه البحر، ويُضاعف من صعوبة الوضع محدودية المساحات المتاحة لتجميع وتخزين مياه الأمطار، مما يفرض تحديات كبيرة في تلبية الطلب المتزايد على المياه نتيجة النمو السكاني والاقتصادي، ففي الفترة من عام ١٩٦٥ حتى عام ٢٠١١ تضاعف الطلب المحلي على المياه أكثر من خمس مرات، في حين بلغ إجمالي استهلاك المياه نحو ٣٨٠ مليون جالون يومياً، وتُشير التقديرات إلى احتمال تضاعف هذا الطلب بحلول عام ٢٠٦٠ (١٩) **وعلى الرغم من التحديات الطبيعية والمكانية التي تواجه سنغافورة إلا أنها لا تعاني من نقص في المياه في الوقت الحالي،** بل تُعد من الدول القليلة التي استطاعت بناء منظومة مائية ذكية ومتكاملة وفعالة، مما أسهم في تحقيق الأمن المائي وتعزيز التوازن بين الموارد والاستهلاك ، بل وتحقيق الاكتفاء الذاتي الكامل والمستدام على المدى الطويل (٢٠) وذلك بفضل استراتيجيات مبتكرة وإدارة عالية الكفاءة تعتمد على التكنولوجيا الرقمية المتقدمة.

أولاً : ملامح أزمة المياه في سنغافورة ما بعد الاستقلال:

قبل ستين عاماً فقط ، كانت أزمة المياه في سنغافورة حديثة الاستقلال مصدر قلق دائم، فقد كانت تعاني من "وفرة" و"ندرة" المياه في آنٍ واحد، حيث يقع ٣٠% من أراضي هذه الجزيرة الصغيرة على ارتفاع نحو٥ أمتار فوق مستوى سطح البحر، بالإضافة إلى وجود بنية تحتية لتصريف المياه في غاية السوء، مما يعني أن حدوث الفيضانات أمراً لا مفر منه عند تزامن هطول الأمطار الغزيرة مع ارتفاع منسوب البحر ، وعلى الجانب الآخر كانت المياه النظيفة نادرة في الجزيرة ، حيث كانت ملوثة بشدة نتيجة تصريف النفايات بشكل غير منظم من قبل الأحياء العشوائية والمزارع والمصانع المنتشرة على امتداد الأحواض المائية.

وقد زاد من حدة الأزمة غياب مساحات التخزين الكافية، فعند الاستقلال عن ماليزيا في عام ١٩٦٥، كانت سنغافورة تعتمد فقط على ثلاثة خزانات رئيسية لتجميع مياه الأمطار(٢١) ولكنها لم تكن كافية لتأمين احتياجات الدولة خلال فترات الجفاف الطويلة ، خاصة في ظل غياب البدائل الآمنة.

والشكل رقم(١) يوضح تطور عدد السكان واستهلاك المياه بين عامي (١٩٦٠– ٢٠١٥) مع توقعات حتى عام ٢٠٣٠.



V. Lenouvel, Closing the urban water loop: lessons &M. Lafforgue from Singapore and Windhoek, Water Res Technol,Vol.1,2015, P 625.

يوضح الشكل السابق الزيادة المطردة في معدلات نمو السكان، حيث ارتفع عدد السكان من نحو ١.٨ مليون نسمة في عام ١٩٦٠ إلى ما يقارب ٥.٥ ملايين نسمة في عام ٢٠١٥. وفي الوقت ذاته ارتفع الطلب على المياه من حوالي ١٠٠ مليون متر مكعب سنوياً في عام ١٩٦٠ إلى ما يقارب ٦٠٠ مليون متر مكعب سنوياً في عام ٢٠١٥، كما تشير التقديرات إلى أن عدد السكان قد يتجاوز ٨.٥ مليون نسمة بحلول عام ٢٠٣٠، مع توقع وصول استهلاك المياه إلى نحو ٩٠٠ مليون متر مكعب سنوياً.

باستقراء ما سبق يتضح أن سنغافورة واجهت منذ استقلالها عن ماليزيا تحديات مائية كبيرة، تمثلت في محدودية الموارد الطبيعية وغياب مصادر المياه التقليدية، إلى جانب ضعف البنية التحتية ومخاطر الفيضانات. كما أن ارتفاع معدل هطول الأمطار ونقص مساحات التخزين والتوسع الحضري السريع فاقم من حدة الأزمة المائية خلال تلك الفترة.

الفرع الثاني

التكامل بين السياسات العامة والتكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه بسنغافورة

كيف تغلبت سنغافورة على تحديات ندرة المياه:

عقب استقلالها في عام ١٩٦٥، واجهت سنغافورة تحديات كبيرة في تأمين إمدادات المياه اللازمة لسكانها المتزايدين، نتيجةً لمحدودية الموارد الطبيعية وضعف البنية التحتية ، الأمر الذي دفع الدولة إلى اعتماد استراتيجيات متطورة لإدارة المياه وتحقيق أمن مائي مستدام على المدى البعيد، وذلك على النحو التالي :

١- **تأسيس هيئة وطنية لإدارة المياه:** في ظل التحديات الكبيرة التي واجهتها سنغافورة في توفير المياه، قامت الحكومة فور استقلال البلاد بإنشاء هيئة وطنية متخصصة تُعرف باسم هيئة المرافق العامة (PUB) لتعمل على إدارة جميع جوانب إمدادات المياه بشكل متكامل وفعّال، بدءً من جمع المياه وتنقيتها وحتى توزيعها.

وتجدر الإشارة إلى أن هيئة المرافق العامة عند تأسيسها في عام ١٩٦٣، لم تكن معنية فقط بالمياه، بل كانت مسؤولة أيضاً عن تنظيم وتوفير الكهرباء والغاز، حيث كانت تُشرف على جميع المرافق العامة في الدولة.

إلا أنه وفي سياق التوجه الاستراتيجي نحو تعزيز الأمن المائي، ومع تزايد الإدراك بأهمية الإدارة المتخصصة للموارد المائية قامت الحكومة في عام ٢٠٠١ بإعادة تشكيل الهيئة لتُصبح الجهة الوطنية المختصة حصرياً بشؤون المياه، بينما إنتقلت صلاحيات تنظيم الكهرباء والغاز إلى هيئة مستقلة هي "هيئة سوق الطاقة".

٢- **تنويع مصادر المياه لتعزيز الأمن المائي:** لقد أدركت حكومة سنغافورة أن الاعتماد على مصدر مائي واحد غير كافٍ، فعملت على ابتكار نموذج مائي يعتمد على "الصنابير الوطنية الأربعة" التي تضم المياه المجمعة محلياً، والمياه المستوردة من نهر جوهور في ماليزيا، والمياه المعاد تدويرها، والمياه المحلاة، حيث استطاعت بفضل هذا التنوع زيادة الإنتاج اليومي من المياه ليصل إلى مئات الآلاف من الأمتار المكعبة، كما قامت الهيئة الوطنية للمياه باستخدام تقنيات رقمية متقدمة في مراقبة جودة المياه، وإدارة استهلاكها، والحد من الفاقد، مثل : (أنظمة الاستشعار الذكية- تحليل البيانات الضخمة – الحلول الرقمية المتكاملة) مما عزز القدرة على التكيف مع التحديات المائية(٢٢) وضمان إمدادات مياه مستدامة.

٣- **دور التكنولوجيا الرقمية في تحلية مياه البحر** : تُشكل محطات تحلية المياه المالحة باستخدام تقنية التناضح العكسي نحو ٢٥٪ من إجمالي إمدادات المياه في سنغافورة في الوقت الراهن، ومن المتوقع أن ترتفع هذه النسبة إلى نحو ٣٠٪ بحلول عام ٢٠٣٠، في إطار استراتيجية الدولة لتحقيق أمن مائي طويل الأمد، ونهاية الاعتماد على المصادر الخارجية، خاصة أنها تستورد بعض المياه من ماليزيا (٢٣) ويدعم هذا التوجه دمج التكنولوجيا الرقمية مثل : أنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وتقنيات تحليل الأداء، بما يسهم في تحسين كفاءة الطاقة ، وتقليل الفاقد المائي، مما يجعل التحلية أكثر استدامة وموثوقية.

٤- التكنولوجيا الرقمية ودورها في إدارة مياه الأمطار وإعادة تدويرها:

تعتمد سنغافورة على مياه الأمطار ، حيث توفر نحو ١٥٠ مليون متر مكعب من إجمالي إمدادات المياه ضمن استراتيجية "الصنابير الوطنية الأربعة" حيث تعمل أنظمة تخزين مياه الأمطار المبتكرة التي تستخدم تقنيات متقدمة وحلول ذكية مثل : الأسطح الخضراء والأرصفة القابلة للاختراق والخزانات المعيارية تحت الأرض، مدعومة بالتكنولوجيا الرقمية عن طريق أجهزة استشعار ذكية وأنظمة مراقبة وتحليل بيانات متقدمة، مما يزيد من كفاءة التجميع ويحسن جودة المياه ويقلل الفاقد(٢٤) بما يضمن استدامة الإمدادات المائية على المدى البعيد.

كما يتم إعادة تدوير المياه المستعملة لإنتاج ما يُعرف باسم المياه المتجددة (New Water) وتتكون من مياه معاد تدويرها تُنتج عن طريق مزيج من الترشيح الدقيق، والتناضح العكسي، والمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية، وقد بلغ إجمالي إنتاج هذه المياه حوالي ١١٠ مليون متر مكعب سنوياً، مما أسهم في نحو ١٨٪ من إجمالي الطلب على المياه (٢٥) مما أدى إلى تعزيز استقلال سنغافورة المائي.

باستقراء ما سبق نجد أن تجربة سنغافورة في إدارة المياه الذكية تُعد نموذجاً فريداً ، حيث تغلبت على ندرة المياه بفضل التكامل التكنولوجي، و الاستدامة الدائرية، والرؤية طويلة المدى، على الرغم من محدودية مواردها الطبيعية، كما أصبحت سنغافورة اليوم مستقلة في تأمين مياهها بطريقة مستدامة، بفضل الاعتماد على الابتكارات و التكنولوجيا الرقمية ، مما أدى إلى إنهاء اعتمادها على المصادر الخارجية وتحريرها من الضغوط السياسية المتعلقة بالمياه.

المطلب الثاني

دور التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه في المملكة العربية السعودية

تمهيد وتقسيم :

تُعد المملكة العربية السعودية من الدول الأكثر تأثراً بالتغيرات المناخية والبيئية، وهو ما يُفاقم الضغط على مواردها المائية المحدودة. وتُصنف المملكة ضمن أكثر دول العالم معاناة من ندرة المياه، في ظل تزايد الطلب نتيجة النمو السكاني المتسارع والتوسع الاقتصادي المستمر. **وبناءً على ذلك سنعرض تجربة المملكة العربية السعودية في مواجهة تحديات المياه على النحو التالي :**

الفرع الأول : تحديات استدامة المياه في المملكة العربية السعودية في ظل التغيرات المناخية.

الفرع الثاني : التكنولوجيا الرقمية ودورها في تنفيذ أهداف الاستراتيجية الوطنية للمياه في المملكة العربية السعودية.

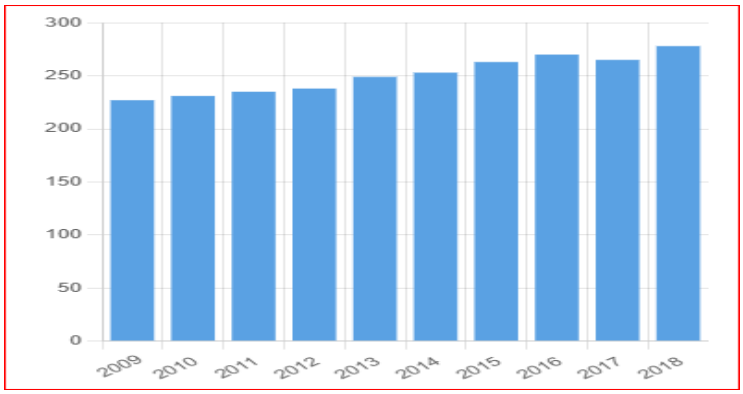
الفرع الأول

تحديات استدامة المياه في المملكة العربية السعودية في ظل التغيرات المناخية

١- شُح الموارد المائية الطبيعية والاعتماد على المياه الجوفية غير المتجددة : تُواجه المملكة العربية السعودية تحدياً كبيراً يتمثل في ندرة الموارد المائية الطبيعية، حيث تُعد من أكثر دول العالم جفافاً، كما لايوجد بها أنهار أوبحيرات للمياه العذبة ، وتعتمد المملكة بشكل رئيسي على المياه الجوفية العميقة – وهي مصادر غير متجددة – لتلبية الجزء الأكبر من احتياجاتها المائية، مما يشكل تهديداً طويل الأمد لأمنها المائي، وعلى الرغم من أن ٩٩.٨٤% من السكان يتمتعون بإمكانية الوصول إلى مياه الشرب، إلا أن المملكة تُصنف ضمن الدول التي تعاني من ندرة مائية حادة، حيث يبلغ نصيب الفرد من المياه نحو **٨٩ متراً مكعباً سنوياً** ، مقارنة بالحد الأدنى العالمي للندرة المطلقة البالغ **٥٠٠ متر مكعب للفرد سنوياً** (٢٦) وهو ما يُظهر حجم التحديات المائية التي تواجهها المملكة في الوقت الحالي.

٢- ارتفاع معدلات استهلاك المياه : تحتل المملكة العربية السعودية المرتبة الثالثة عالمياً من حيث أعلى معدل استهلاك للفرد من المياه العذبة.

والشكل رقم (٢) يُظهر زيادة في الاستهلاك اليومي للفرد من المياه، حيث ارتفع من ٢٢٧ لتراً في عام ٢٠٠٩ إلى ٢٧٨ لتراً في عام ٢٠١٨.



https://water.fanack.com/ar/saudi-arabia/water-challenges-in-ksa

٣- **ارتفاع معدلات النمو السكاني** : شهدت المملكة العربية السعودية نمواً كبيراً في عدد سكانها على مدار العقود الماضية، حيث ارتفع عدد السكان من حوالي ٤ مليون نسمة في عام ١٩٦٠ إلى ما يزيد على ٣٥ مليون نسمة في عام ٢٠٢٤ ، ومن المتوقع أن يصل إلى أكثر من ٥٦ مليون نسمة بحلول عام ٢٠٥٠ (٢٧) وهو ما يزيد من التحديات المائية ، ويؤدي إلى ارتفاع الطلب على المياه.

٤- **ارتفاع استهلاك المياه في الزراعة** : شهدت المملكة العربية السعودية في ثمانينيات القرن الماضي إطلاق برنامج زراعي طموح بهدف تحقيق الاكتفاء الذاتي الغذائي، ونجحت في الوصول إلى اكتفاء ذاتي في العديد من المنتجات الزراعية ، وأصبحت من أهم الدول المصدرة للقمح، إلا أن هذا النجاح جاء على حساب مواردها المائية، فقد أدى الاستخراج المكثف للمياه الجوفية غير المتجددة إلى انخفاض كبير في مستويات المياه وتدهور جودتها (٢٨) وفي الوقت نفسه تشهد الاحتياجات المائية في المملكة ارتفاعاً مستمراً، حيث بلغت نحو ٢٤.٨ مليار متر مكعب في عام ٢٠١٥، مع زيادة سنوية ثابتة تقدر بنسبة ٧%، ويُعد قطاع الزراعة أكبر مستهلك

للمياه في المملكة، حيث يستهلك حوالي ٨٤% من إجمالي الطلب، ويُشكل اعتماده الكبير على الموارد غير المتجددة تحدياً بيئياً جسيماً، إذ تمثل هذه الموارد ٩٠% من المياه المستخدمة في القطاع، ويرجع الارتفاع الكبير في استهلاك المياه الزراعية إلى أنماط الاستخدام، حيث تستحوذ الزراعات المخصصة لإنتاج الأعلاف وحدها على نحو ٦٧% من إجمالي المياه الزراعية، لتغذية الحيوانات مثل الأبقار والأغنام. وتُعد كفاءة الري من التحديات الأساسية، إذ لا تتجاوز حالياً ٥٠%، مقارنةً بأفضل الممارسات العالمية التي تتخطى ٧٥% (٢٩) ما يفاقم أزمة الأمن المائي.

٥- نمو الأنشطة العمرانية والاقتصادية : لقد شهدت المملكة العربية السعودية تطوراً عمرانياً كبيراً وتنويعاً اقتصادياً ملحوظاً في الأنشطة المختلفة، مما انعكس إيجاباً على نموها الاقتصادي (٣٠) ففي عام ١٩٩٠ بلغ الناتج المحلي الإجمالي نحو ١٢١ مليار دولار، ثم ارتفع إلى حوالي ١.٠٧ تريليون دولار في عام ٢٠٢٤، ويرجع هذا النمو بشكل رئيسي إلى تصدير النفط الذي يمثل حوالي ١٦% من صادرات النفط العالمية (٣١) ومع هذا التوسع العمراني والاقتصادي المتسارع، ارتفع الطلب على الموارد الطبيعية وخاصة المياه، مما زاد من الضغط على إمداداتها لتلبية احتياجات السكان المتزايدة والقطاعات الاقتصادية المتنوعة.

٦- ارتفاع تكلفة تحلية مياه البحر: في ظل الاعتماد المتزايد على تحلية مياه البحر لتأمين نحو ٦٠% من احتياجات المياه في الاستخدامات السكنية والحضرية، إلا أن ذلك يُبرز تحديات اقتصادية وبيئية متنامية؛ فرغم أهميتها كحل استراتيجي لمواجهة ندرة المياه، تُعد التحلية خياراً مرتفع التكلفة، إذ تُشكل عبئاً مالياً كبيراً على الاقتصاد الوطني، خاصة في ظل استمرار الدعم الحكومي، كما ترتفع تكلفة وحدة المياه بسبب المصاريف المرتفعة لنقلها من المحطات الساحلية إلى المناطق الداخلية، ويُضاف إلى ذلك الاعتماد الكبير على الوقود في تشغيل محطات التحلية، مما يؤدي إلى زيادة

الانبعاثات الكربونية ويُسهم في تفاقم البصمة البيئية، إلى جانب ما تسببه من آثار سلبية على النظم البيئية البحرية (٣١) ومن ثم تظهر الحاجة الملحة إلى تطوير حلول ذكية أكثر كفاءة واستدامة.

٧- **نقص الوعي المجتمعي وضعف التنسيق المؤسسي :** تشير التحديات المائية في المملكة إلى وجود قصور في مستوى الوعي المجتمعي وضعف التنسيق المؤسسي، مما يحد من جهود الحفاظ على الموارد المائية، فغياب السياسات الصارمة لترشيد الاستهلاك، والاعتماد الكبير على تقنيات تقليدية في الري(٣٢) إلى جانب ضعف تطبيق الأدوات القانونية والتنظيمية تؤثر سلباً على استدامة المياه.

باستقراء ما سبق يتضح أن المملكة العربية السعودية تواجه مجموعة من التحديات المائية المعقدة، من أهمها ندرة الموارد الطبيعية والاعتماد على المياه الجوفية غير المتجددة، ويأتي ذلك بالتزامن مع التزايد المستمر في معدلات الاستهلاك والنمو السكاني وارتفاع الطلب الزراعي.

كما تشكل الأنشطة العمرانية والاقتصادية المتسارعة ضغطاً إضافياً على منظومة الإمداد المائي، وتُعد تحلية مياه البحر خياراً ضرورياً لكنه مكلف من الناحيتين البيئية والاقتصادية.

وفي ظل هذه التحديات، تظهر الحاجة إلى رفع الوعي المجتمعي، وتعزيز التنسيق المؤسسي، وتطبيق حلول تكنولوجية أكثر كفاءة لضمان استدامة الموارد المائية.

الفرع الثاني

التكنولوجيا الرقمية ودورها في تنفيذ أهداف الاستراتيجية الوطنية للمياه في المملكة العربية السعودية

تُعد رؤية المملكة لقطاع المياه ركيزة أساسية لتحقيق إدارة مستدامة للموارد الطبيعية، عن طريق اعتماد تطبيقات التكنولوجيا الرقمية، بما يضمن الإمداد الآمن، وتحسين جودة الخدمات، ويدعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية، ويحافظ على البيئة (٣٣) وذلك عن طريق التقنيات التالية :

١- **منظومة العدادات الذكية** : تُعد منظومة عدادات المياه الذكية إحدى المبادرات الرقمية الذكية التي أطلقتها المملكة العربية السعودية منذ عام ٢٠١٦، بقيادة شركة المياه الوطنية، لتحقيق التحول الرقمي في قطاع المياه وتعزيز كفاءة استهلاك الموارد المائية بما يتماشى مع رؤية السعودية ٢٠٣٠، حيث تعتمد العدادات الذكية على تقنيات متطورة تعمل بأشعة فوق صوتية أو كهرومغناطيسية لقراءة تدفق المياه بدقة، دون أي أجزاء ميكانيكية متحركة، وترسل بيانات الاستهلاك آلياً كل ١٥ ثانية عبر شبكات لاسلكية إلى مجمعات بيانات مركزية، دون الحاجة لتدخل بشري، وقد بلغ عدد العدادات الذكية المرتبطة بأنظمة الفوتره نحو مليوني عداد، بنسبة إنجاز بلغت ٩٤.٦%، في حين تغطي شبكة الاتصالات اللاسلكية ما يقارب ١.٣ مليون عداد(٣٤) مما يسهم بشكل فعال في تعزيز الأمن المائي وتحقيق الاستدامة البيئية.

٢- **التحلية الذكية لمياه البحر**: مع تزايد الاعتماد على تحلية مياه البحر كمصدر رئيسي لتوفير المياه العذبة ، حيث من المتوقع أن يصل الطلب على المياه في المملكة العربية السعودية إلى ١٨ مليون متر مكعب يومياً بحلول عام ٢٠٣٠، ويتوقع أن يتم تأمين نحو ٩٠% من الاحتياجات المائية عبر مياه التحلية، وقد ارتفع

إنتاج المياه المحلاة من ٥.٥ مليون متر مكعب يومياً في عام ٢٠١٥ إلى ٩.٤ مليون متر مكعب يومياً في عام ٢٠٢٢، وتبلغ تكلفة إنتاج المتر المكعب الواحد حالياً نحو ٢.٧ ريال سعودي، وتسعى الدولة إلى خفضه إلى ٢.٢ ريال، ضمن جهود ترشيد التكاليف وتحقيق كفاءة الإنتاج (٣٥) وقد ظهرت أهمية التقنيات الذكية في قطاع تحلية المياه، حيث يُستخدم الذكاء الاصطناعي لمراقبة أداء المضخات داخل محطات التحلية، مما يتيح إجراء الصيانة الاستباقية وتقليل الأعطال، فضلاً عن تطبيق تقنيات أغشية النانو سيراميك التي تقلل استهلاك الطاقة بنسبة تتراوح بين ٤٠% إلى ٤٥% مقارنة بالتقنيات التقليدية، مما يسهم في خفض التكاليف وتقليل الانبعاثات الكربونية. كما تُسهم الرقمنة وتقنيات التحكم الذكي في تعزيز كفاءة أنظمة التحلية، عن طريق مراقبة جودة المياه والإنتاج عن بُعد، واستخدام نماذج المحاكاة لتحسين الأداء التشغيلي.

وتُوظّف أيضاً تقنيات التقاط الكربون واستخلاص المعادن من المياه المالحة لتحويل المخلفات إلى موارد اقتصادية، والحد من الأثر البيئي ، كما يُعد استخدام الطاقة المتجددة في تشغيل محطات التحلية جزءاً من التحول نحو حلول منخفضة الكربون في قطاع المياه(٣٦) ما يعزز من الاستدامة البيئية والاقتصادية.

٣ – **الزراعة الرقمية المستدامة :** يُعد القطاع الزراعي أحد أكثر القطاعات الحيوية في المملكة العربية السعودية، لما يؤديه من أدوار اقتصادية واجتماعية محورية، كإدارة الموارد الطبيعية، والحفاظ على المجتمعات الريفية، وضمان الأمن الغذائي، كما يساهم هذا القطاع بنسبة ٤.٣٪ من الناتج المحلي غير النفطي، ويُعد مصدر دخل لأكثر من ٣٥٠ ألف شخص، مما يجعله أحد ركائز رؤية المملكة ٢٠٣٠ وأساساً لمستقبل التنمية المستدامة، ومع تصاعد التحديات البيئية والمناخية

والمائية، بات التحول نحو الزراعة الرقمية ضرورة استراتيجية، لتوفير حلول مبتكرة وسريعة تدعم إدارة الموارد بكفاءة ومرونة، ولذلك أطلقت المملكة خطة وطنية شاملة لتطبيق التقنيات الزراعية الحديثة مثل : انترنت الأشياء، والطائرات بدون طيار، وأنظمة الذكاء الاصطناعي، وقد حددت٤٥ تحدياً رئيسياً، واختارت ١٠٠ تقنية مبتكرة جديدة، تُنفذ على ثلاث مراحل وتمتد حتى عام ٢٠٣٠، بهدف بناء قطاع زراعي ذكي ومستدام، ومتكامل تكنولوجياً (37) فضلاً عن الدور الحيوي في تحقيق الحياد الكربوني وتعزيز الغطاء النباتي في المناطق الحضرية وشبه الحضرية، مما يُعد نموذجاً لتطبيق مفهوم المدن الذكية الخضراء، حيث تُسخدم التقنيات الرقمية المتطورة لإدارة الموارد البيئية بكفاءة وشفافية، كما تُستخدم أنظمة مثل إنترنت الأشياء (IoT) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتوثيق الأشجار رقمياً وتتبع حالتها وصيانتها، مما يُسهم في تعزيز دقة القرارات البيئية المعتمدة على البيانات (38) وتحقيق كفاءة أعلى في إدارة الموارد الطبيعية بما في ذلك المياه.

٤- دور الابتكار التكنولوجي في تحسين كفاءة الري واستهلاك المياه: تُعد المملكة العربية السعودية من بين الدول الأكثر طلباً على المياه عالمياً، حيث تحتل المرتبة الثامنة عالمياً من حيث الاستهلاك، رغم اعتمادها بنسبة تصل إلى ٨٠% على المياه الجوفية غير المتجددة، ويواجه قطاع الزراعة ضغطاً كبيراً على هذه الموارد، لذلك تُعد إدارة مياه الري باستخدام التقنيات الحديثة ضرورة ملحة لضمان الاستدامة.

وتشير إحدى الدراسات إلى أن أنظمة الري الحديثة مثل الري بالتنقيط والري بالرش يمكن أن تُخفض استهلاك المياه بنسبة تتراوح بين ١٠% إلى ٣٥% مقارنةً بالأنظمة التقليدية، مع تحسين الإنتاجية في الوقت ذاته، كما أن أنظمة الري الذكية

المرتبطة بالإنترنت وأجهزة الاستشعار تتيح جدولة دقيقة للري بناءً على نوع التربة، واحتياجات المحاصيل، والظروف المناخية، ما يعزز الكفاءة ويقلل الفاقد المائي.

وقد بلغ سوق تقنيات الري الذكي عالمياً نحو ١٥ مليار دولار في عام ٢٠٢٢،ومن المتوقع أن يتجاوز ٦٤ مليار دولار بحلول عام ٢٠٣٢، مما يعكس الطلب المتزايد على هذه الحلول في ظل التغيرات المناخية والضغط على الموارد المائية.(٣٩)

٥- **المعالجة الذكية لمياه الصرف الصحي :** لقد تبنت المملكة استراتيجية طموحة لإدارة الموارد المائية ترتكز على رفع كفاءة استخدام المياه وزيادة معدلات إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بهدف تقليل الاعتماد على المياه الجوفية وتعزيز الاستدامة البيئية على المدى الطويل، حيث تستهدف الاستراتيجية الوطنية للمياه رفع نسبة إعادة استخدام المياه المعالجة من ١٧.٣% في عام ٢٠١٩ إلى ٢٥% عام ٢٠٢٥، وصولاً إلى ٧٠% بحلول عام ٢٠٣٠، ويأتي ذلك عن طريق إطار شامل لتحسين منظومة إدارة المياه وتطوير البنية التحتية المرتبطة بشبكات ومحطات الصرف الصحي، إلى جانب اعتماد التكنولوجيا المتقدمة والابتكار في عمليات المعالجة والتشغيل، بما في ذلك استخدام الأنظمة الذكية، والمعالجة الثلاثية، والحلول الرقمية لمراقبة الكفاءة وجودة المياه ، وذلك من أجل توفير مصادر مياه بديلة تلبي احتياجات القطاعات الزراعية والصناعية والخدمية(٤٠) وتسهم في تقليل الضغط على الموارد الطبيعية.

٦- **التشريعات والقوانين المنظمة لإدارة الموارد المائية في إطار التحول الرقمي :** لقد أدركت المملكة أهمية دمج الحلول الرقمية والتكنولوجية في إدارة المياه، ولهذا أصدرت قانون المياه رقم (١٥٩) لسنة ١٤٤١هـ (٢٠٢٠م) ليكمل منظومة

التحول الرقمي في القطاع المائي ويضع إطاراً تشريعياً ينظم استخدام الموارد المائية بكفاءة وعدالة، حيث يهدف القانون إلى تعزيز الاستدامة المائية عن طريق تطبيق التقنيات الذكية مثل : العدادات الإلكترونية وأنظمة المراقبة الرقمية، بالإضافة إلى تشجيع مشاركة القطاع الخاص في تطوير البنية التحتية للمياه ضمن رؤية ٢٠٣٠ (٤١) كما عملت المملكة على إصدار مجموعة من التشريعات والقرارات التنظيمية التي تُعزز التحول الرقمي وترفع كفاءة إدارة الموارد المائية، حيث استندت إلى أنظمة داعمة لتكامل الحلول الرقمية مع الأطر القانونية. فقد أقر مجلس الوزراء القرار رقم (٣٣٦) لسنة ١٤٤٢هـ، والذي يقضي بتأسيس المركز الوطني لكفاءة وترشيد المياه بهدف دعم تطبيق الحلول الرقمية لمراقبة الاستهلاك وتحقيق أعلى مستويات الكفاءة.

كما يُعد نظام تطبيق كود البناء السعودي من الركائز المهمة، إذ يُلزم المباني باعتماد أنظمة ذكية ومرشدة لاستهلاك المياه، ويشجع على توظيف التقنيات الحديثة في قطاع البناء للحد من الهدر المائي.

أما من الناحية الفنية، فقد أصدرت الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة اللائحة الفنية لأدوات ترشيد استهلاك المياه، والتي تُحدد المتطلبات والمواصفات التقنية للأدوات المستخدمة (٤٢) مما يُعزز توظيف الحلول الرقمية بكفاءة، ويُسهم في توحيد المعايير وتطبيقها على مستوى المملكة.

باستقراء ما سبق يتضح جلياً أن المملكة العربية السعودية تواجه تحديات مائية معقدة ومتعددة الأبعاد، ترتبط بمحدودية الموارد الطبيعية، والضغط المتزايد الناتج عن النمو السكاني والاقتصادي المتسارع، إلى جانب التأثيرات البيئية والمناخية المتجددة.

وفي ظل هذه التحديات تظهر الحاجة الملحة إلى تبني حلول مبتكرة وعملية تجمع بين التقنيات الحديثة وإدارة الموارد بكفاءة عالية ، ويُعد الاعتماد على

التكنولوجيا الرقمية ركيزة أساسية في استراتيجيات المملكة لتحقيق إدارة مستدامة للموارد المائية، حيث تساهم هذه التقنيات في ضمان تحقيق الأمن المائي ودعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية دون الإضرار بالبيئة.

وهذا ما يجعل المملكة العربية السعودية قادرة على مواجهة تحديات المياه، خاصة في ظل التغيرات المناخية العنيفة، عن طريق تعزيز مرونة القطاع المائي، وضمان استدامة الموارد، وتأمين احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية.

المبحث الثالث

دور التكنولوجيا الرقمية في بيئات مائية متأزمة

تمهيد وتقسيم :

تمثل الأزمات المائية أحد أهم التحديات التي تواجه العديد من الدول، حتى تلك التي تمتلك أنهاراً أو مصادر مائية سطحية، إذ إن تزايد الطلب، وتغيرات المناخ، وتفاوت التوزيع الجغرافي للمياه أدى إلى ما يُعرف "بالضغط المائي" أو "الندرة الموسمية"، مما دفع هذه الدول إلى البحث عن حلول متقدمة تضمن استدامة الموارد وكفاءة إدارتها.

وتُعد التكنولوجيا الرقمية عنصراً محورياً في تعزيز إدارة المياه في البيئات المتأزمة، إذ تلعب دوراً لا يقل أهمية حتى في الدول التي تفتقر إلى الأنهار ، بل قد يتجاوز ذلك، إذ لا يقتصر على توفير البدائل، بل يشمل تعزيز الكفاءة، وترشيد الموارد، وضمان استدامة الإمدادات رغم التحديات المناخية والجغرافية. وتُعد هذه التقنيات أداة أساسية في منظومة الإدارة الحديثة للمياه، خاصة في الدول التي تواجه تقلبات حادة في التوزيع الزماني والمكاني للموارد المائية .

وفي هذا السياق، وقع اختيارنا على تجربتين تمثلان بيئات مائية متأزمة رغم

امتلاكهما لعدد من الأنهار والمجاري المائية، إلا أنهما يواجهان أزمات مائية متكررة نتيجة التغيرات المناخية والبيئية وسوء توزيع المياه.

وعلى ذلك سنعرض هذا المبحث على النحو التالي :

المطلب الأول: تجربة أستراليا في إدارة المياه باستخدام التكنولوجيا الرقمية.

المطلب الثاني: تجربة جنوب أفريقيا في تطبيق الحلول الرقمية لمواجهة تحديات ندرة المياه .

المطلب الأول

تجربة أستراليا في إدارة المياه باستخدام التكنولوجيا الرقمية

تمهيد وتقسيم :

تُعد أستراليا من أكثر الدول تأثراً بالتغيرات المناخية والبيئية ، حيث تواجه موجات جفاف متكررة، وتوزيعاً غير متوازن للموارد المائية على امتداد أراضيها الشاسعة، على الرغم من امتلاكها لأنظمة مائية متعددة.

وقد فرضت هذه التحديات على الحكومة الأسترالية تطوير السياسات المائية لتتسم بالتكامل بين التشريعات، والهيئات التنفيذية والتنظيمية ، والتقنيات الحديثة.

وقد شكلت التكنولوجيا الرقمية ركيزة جوهرية في منظومة إدارة المياه، من خلال دعم اتخاذ القرار، وتحسين كفاءة التوزيع، وتعزيز الرقابة على الاستهلاك ، مما ساهم في التصدي للتحديات المائية المتكررة.

وعلى ذلك سنقوم بتقسيم هذا المطلب على النحو التالي :

الفرع الأول: تحديات الموارد المائية في أستراليا.

الفرع الثاني: التقنيات الرقمية ودورها في تعزيز كفاءة إدارة المياه في أستراليا.

الفرع الأول

تحديات الموارد المائية في أستراليا

تعاني أستراليا من إجهاد مائي متزايد بسبب التغيرات المناخية والنمو السكاني، حيث بلغ نصيب الفرد من المياه المتجددة حوالي ١٢,٠٠٠ متر مكعب سنوياً في عام ٢٠٢٢مقارنة بنحو ٢٠,٠٠٠متر مكعب سنوياً في عام ٢٠٠٠، مع توقع باستمرار الانخفاض ، في حين يستحوذ القطاع الزراعي على نحو ٧٥% من استهلاك المياه، ثم يليه القطاعات الخدمية والصناعية(٤٣) وفي ضوء هذه المعطيات، سنعرض التجربة الأسترالية في إدارة هذه الأزمة متعددة الأبعاد على النحو التالي:

١- **التغيرات المناخية** : تُعد التغيرات المناخية من أهم العوامل التي فاقمت أزمة المياه في أستراليا، حيث تسببت في موجات جفاف طويلة المدى، مما أدى إلى تراجع حاد في مستويات الأنهار والمياه الجوفية، مثلما حدث في أزمة عام ٢٠٠٧ التي وُصفت بأنها الأشد في التاريخ الحديث للبلاد، وفي المقابل شهدت أستراليا فترات من هطول الأمطار الغزيرة تسببت في فيضانات مفاجئة، خلّفت أضراراً كبيرة في البنية التحتية وهددت جودة مصادر المياه، وقد ساهم الجفاف الشديد كذلك في تفاقم حرائق الغابات خلال فصول الصيف الحارة، مما زاد من حجم تحديات إدارة الموارد المائية والبيئية (٤٤) ما ألحق أضراراً جسيمة بالبنية التحتية وهدد جودة مصادر المياه.

٢- **التوزيع الجغرافي غير المتوازن للمياه** : تتركز المياه السطحية في أستراليا في عدد محدود من الأنهار، أهمها نهري (موراي- دارلينج) في المناطق الساحلية الشرقية، حيث يشكلان معاً نحو ٦٠-٧٠% من إجمالي المياه السطحية

المتجددة. كما توجد أنهار أخرى مثل نهري(فنيكس – فليندرز) في الشمال الشرقي، لكنهما أقل تدفقاً للمياه .

أما المناطق الداخلية والجافة، فتعاني من ندرة الأنهار وضعف تدفق المياه الذي يكون موسمياً بسبب الأمطار المتقطعة وغير المنتظمة (٤٥) وهو ما يسهم في زيادة التحديات المائية والبيئية .

٣- الاستخدام غير المستدام للمياه في الزراعة : تعاني أستراليا من استهلاك غير مستدام للمياه في القطاع الزراعي، خاصة في منطقة نهري(موراي- دارلينج) حيث يستهلك هذا القطاع نحو ٧٥% من إجمالي المياه المستخدمة. ولقد أظهرت دراسة حديثة صادرة عام ٢٠٢٤ عن هيئة الاقتصاد والموارد والعلوم الزراعية التابعة لوزارة الزراعة والمياه والبيئة في أستراليا أن خفض كميات المياه المخصصة للري أدى إلى انخفاض واضح في استهلاك المياه.

كما بينت الدراسة أن بعض المحاصيل مثل الأرز تستهلك كميات كبيرة من المياه، في المقابل تستهلك محاصيل مثل اللوز كميات أقل من المياه ، وقد تفاوتت آثار نقص المياه بين المناطق، حيث سجلت مناطق شمال فيكتوريا وموروميبدجي نقصاً كبيراً في استهلاك المياه المستخدمة في الإنتاج الزراعي، بالإضافة إلى ارتفاع أسعار المياه بنسبة ١٠%(٤٦) وقد ترتب على ذلك زيادة التكاليف المالية على المزارعين، ومن ثم ارتفعت أسعار المنتجات الزراعية.

٤- ضعف البنية التحتية لأنظمة الإدارة المائية في بعض المناطق الريفية:

حيث تعاني بعض المناطق الريفية في أستراليا من ضعف البنية التحتية لأنظمة الإدارة المائية، مما يؤثر على كفاءة استخدام الموارد المائية، حيث يوجد العديد من قنوات الري المكشوفة التي تؤدي إلى فقدان كميات كبيرة من المياه بسبب التبخر والتسرب، كما أن السدود والخزانات القديمة غير مجهزة بشكل كافٍ لمواجهة التغيرات

المناخية الشديدة مثل فترات الجفاف الطويلة أو الفيضانات المفاجئة (٤٧) مما يُفاقم من التحديات القائمة ، ويؤثر على الاستدامة طويلة المدى للموارد المائية.

باستقراء ما سبق يتضح أن أستراليا تواجه تحديات مائية مركبة لا تقتصر على ندرة الموارد المائية ، بل ترتبط في جوهرها بعدم استقرار التدفقات المائية نتيجة التغيرات المناخية الحادة وتفاوت التوزيع الجغرافي للمياه، إلى جانب أنماط الاستخدام غير المستدام، خصوصاً في القطاع الزراعي.

ورغم هذه التحديات لا تُصنف أستراليا ضمن الدول التي تعاني من فقر مائي حاد، إذ ما زال نصيب الفرد من المياه المتجددة أعلى بكثير من الحد الأدنى العالمي، ومع ذلك تكمن الأزمة الحقيقية في عدم ثبات إمدادات المياه، وضعف البنية التحتية في بعض المناطق، مما يضع ضغوطاً مستمرة على إدارة الموارد المائية وضمان استدامتها، ويتطلب وضع سياسات مرنة وحلول متقدمة قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية المتسارعة.

الفرع الثاني

التقنيات الرقمية ودورها في تعزيز كفاءة إدارة المياه في أستراليا

لقد سعت أستراليا إلى مواجهة تحديات المياه عن طريق وضع حزمة متنوعة من التقنيات الرقمية، التي ساعدت في تحسين كفاءة الاستخدام، وتحقيق استدامة الموارد، وقد شملت هذه التقنيات عدة مجالات نذكرها على النحو التالي :

١- توظيف العدادات الذكية وأنظمة الإنذار المبكر لتعزيز كفاءة إدارة المياه: لقد تبنت شركات المياه الأسترالية عدداً من التقنيات الرقمية المتقدمة بهدف رفع كفاءة إدارة الموارد المائية وتحسين مستوى الخدمة المقدمة، ومن أهمها العدادات

الذكية التي ساهمت في تحسين دقة قياس استهلاك المياه والتنبؤ بالطلب المستقبلي، مما أدى إلى ترشيد الاستهلاك بنسبة ٧% سنوياً ، فضلاً عن تقليل التكاليف التشغيلية ، وتعزيز كفاءة المتابعة واتخاذ القرار.

كما استخدمت أنظمة الإنذار المبكر وأجهزة استشعار صوتية متقدمة مدعومة بتقنيات تحليل بيانات ذكية، للكشف المبكر عن تسريبات وكسر الأنابيب، وقد ساهمت هذه الأنظمة في تقليل الفاقد المائي، وتعزيز سرعة الاستجابة للأعطال بنسبة وصلت إلى ٥٠% قبل وقوعها (٤٨) مما أدى إلى استدامة و تحسين كفاءة الشبكات المائية.

٢- استخدام الأنظمة الذكية لإعادة استخدام مياه الأمطار والحد من الفيضانات: تواجه العديد من المدن الأسترالية، وعلى رأسها مدينة ملبورن، تحديات متزايدة في تأمين الموارد المائية نتيجة التغيرات المناخية، وهو ما قد يؤدي إلى حدوث نقص في المياه بحلول عام ٢٠٢٨، واستجابة لهذه التحديات، ابتكرت شركة ساوث إيست ووتر (South East Water) نظاماً ذكياً يُعرف باسم "نظام المياه الذكي"، يهدف إلى إعادة استخدام مياه الصرف بكفاءة واستدامة، من أجل استخدام مياه الأمطار والسيطرة على الفيضانات، حيث يشمل هذا النظام فرعين رئيسيين: الأول يستهدف إعادة استخدام مياه الأمطار للأغراض المنزلية المتعددة ، والثاني يختص بالتنبؤ والإدارة الآلية لمخزون مياه الأمطار، وقد تم تطبيق هذا النظام في منطقة سكنية بمدينة ليندهيرست (Lyndhurst) حيث ساهم في تحسين كفاءة استهلاك المياه، وتقليل الضغط على الشبكة التقليدية، بالإضافة إلى تعزيز القدرة على إدارة مخاطر الفيضانات بشكل أفضل (٤٩) والتخفيف من الآثار البيئية المحتملة مستقبلاً.

٣- الزراعة الرقمية: حلول ذكية لتحديات ندرة المياه:

لقد ظهرت أهمية الزراعة الرقمية في مواجهة تحديات ندرة المياه، خاصة في المناطق الريفية الأسترالية، حيث تُسهم تقنيات مثل الري الذكي، والاستشعار عن بُعد، وتحليل البيانات الضخمة في تحسين كفاءة استخدام المياه؛ فعلى سبيل المثال يُستخدم نظام "الإدارة الحكيمة للمياه" "WaterWise" لقياس درجة حرارة المظلة النباتية كل ١٥ دقيقة، مما يساعد في تحديد احتياجات الري بدقة ويسهم في تقليل الفاقد وتحسين كفاءة استخدام المياه ،كما أظهرت التجارب أن هذا النظام الرقمي قلل استهلاك المياه بنسبة ٣٥% في زراعة الطماطم، مع زيادة إنتاجية المحصول وكفاءته، و تشير التوقعات إلى أن هذا النظام قد يُسهم في إضافة مليار دولار للاقتصاد الزراعي الأسترالي بحلول عام ٢٠٣٠، مع عائد استثماري قدره ٤٣ دولاراً لكل دولار يُستثمر في هذا المجال (٥٠) إلى جانب ذلك، تُستخدم الطائرات المسيّرة (الدرون) المزودة بمستشعرات حرارية ومجسات متعددة الأطياف لرصد حالة المحاصيل وتوجيه الري بدقة، كما تسهم أنظمة الري بالتنقيط الذكية في تقليل الفاقد وتوصيل المياه حسب الحاجة الفعلية للنبات.

حيث تسهم هذه التقنيات الرقمية في تحسين كفاءة استخدام المياه بنسبة تصل إلى ٢٠% وتزيد من إنتاج المحاصيل وجودتها بنسبة تصل إلى ١٥%(٥١) مما يُسهم في تعزيز استدامة الإنتاج الزراعي.

٤- دور التكنولوجيا الذكية في تعزيز كفاءة إدارة الأنهار والسدود :

تعتمد أستراليا على التكنولوجيا الذكية لتعزيز إدارة الموارد المائية في نهري (موراي- دارلينج) حيث يغطيان مساحة تقارب مليون كيلومتر مربع، أي نحو ١٣% من إجمالي مساحة أستراليا البالغة ٧.٧ مليون كيلومتر مربع، ويخدمان حوالي ثلاثة ملايين نسمة من سكان البلاد البالغ عددهم نحو ٢٣ مليون نسمة.

كما تلعب التكنولوجيا الرقمية دوراً محورياً في إدارة ندرة المياه عبر مختلف مناطق أستراليا ذات التنوع الجغرافي والمناخي، إذ تعتمد البلاد على مصادر مائية متعددة تتطلب إدارة دقيقة وفعّالة، وتستخدم في ذلك تقنيات متقدمة، مثل أنظمة الاستشعار وتحليل البيانات الضخمة، من أجل دعم التخطيط السليم والحد من الفاقد، ورفع كفاءة الاستهلاك في مختلف القطاعات، مما يُعزز الأمن المائي الوطني، ويُخفف من آثار التغيرات المناخية المتسارعة(٥٢) ويسهم في بناء مستقبل مائي أكثر استدامة وأماناً.

٥ – **الحوكمة الرقمية والتشريعات المائية الذكية :** لقد عملت الحكومة الأسترالية على تعزيز حوكمة الموارد المائية عن طريق تطبيق التكنولوجيا الرقمية والتشريعات الذكية، حيث طورت أنظمة مراقبة متقدمة لجمع وتحليل البيانات البيئية بشكل لحظي، مما ساعد في ضبط تدفقات المياه وجودتها ، كما ألزمت القوانين الوطنية مثل: (قانون تنظيم المياه لعام ٢٠٠٧) الجهات المختصة بوضع خطط متكاملة لإدارة الأنهار والسدود، مع التركيز على حماية البيئة وضمان توزيع عادل للمياه بين القطاعات المختلفة، وتعزيز التنسيق بين السلطات المحلية والاتحادية، وتفعيل دور القضاء والرقابة الرقمية لضمان الالتزام التام بالقوانين المُنظمة، وتطوير استراتيجيات فعالة لمواجهة التحديات المائية المتزايدة (٥٣) وتحقيق الاستدامة الشاملة.

باستقراء ما سبق يتضح أن التجربة الأسترالية قدمت نموذجاً متقدماً لإدارة الموارد المائية، يرتكز على الحوكمة الذكية وتوظيف التقنيات الرقمية الحديثة، مما مكنها من التصدي لتحديات استدامة الموارد المائية والتكيف مع التغيرات المناخية. فقد ساهمت أدوات مثل العدادات الذكية، وأنظمة الإنذار المبكر، والزراعة الرقمية، في رفع كفاءة الاستخدام والحد من الفاقد، بينما عززت منظومة الحوكمة الرقمية من قدرة المؤسسات على اتخاذ قرارات مستنيرة، وضمان توزيع أكثر عدلاً وكفاءة للموارد.

وتؤكد هذه التجربة أن تجاوز الأزمات المائية يتطلب منظومة متكاملة تجمع بين الابتكار التكنولوجي والحوكمة الرشيدة لضمان استدامة الموارد على المدى البعيد.

المطلب الثاني

تجربة جنوب أفريقيا في تطبيق الحلول الرقمية لمواجهة تحديات ندرة المياه

تمهيد وتقسيم :

تواجه جنوب أفريقيا أزمات مائية مزمنة نتيجة التفاوت الكبير في توزيع الموارد المائية بين مختلف مناطقها، إلى جانب النمو السكاني ، وتأثيرات التغيرات المناخية والبيئية ، وتدهور البنية التحتية للبلاد.

وتُعد مدينة كيب تاون مثالاً صارخاً لأزمات المياه الحادة ، مما دفع الدولة إلى تسريع وتيرة الإصلاح في قطاع المياه، مع التركيز على الحلول الرقمية.

ولقد اعتمدت جنوب أفريقيا على مجموعة من الأدوات التكنولوجية لتعزيز الكفاءة، وتحسين المراقبة، وترشيد الاستهلاك، ضمن رؤية تهدف إلى تأمين استدامة الموارد المائية ومواجهة التحديات المتزايدة.

وعلى ذلك سيتم تقسيم هذا المطلب على النحو التالي :

الفرع الأول: التحديات المائية في جنوب أفريقيا.

الفرع الثاني: دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه بجنوب أفريقيا.

الفرع الأول

التحديات المائية في جنوب أفريقيا

تواجه جنوب أفريقيا تحديات مائية متزايدة تهدد استدامة الموارد المائية، وتأتي هذه التحديات من محدودية المياه، وزيادة معدلات النمو السكاني، والتغيرات المناخية، وضعف البنية التحتية **وبناءً على ذلك سنستعرض هذه التحديات على النحو التالي:**

١- **واقع الموارد المائية العذبة:** تعاني جنوب أفريقيا من نقص متزايد في موارد المياه العذبة، إذ لا يتجاوز متوسط هطول الأمطار السنوي ٤٦٥ ملم، مقارنةً بالمتوسط العالمي البالغ ٨٦٠ ملم، ويُعد هذا الانخفاض أحد الأسباب الرئيسية لتدني حجم الجريان السطحي، حيث يُقدر متوسط الجريان السنوي بنحو ٥٠ مليار متر مكعب فقط ، أي ما يعادل نصف تدفق نهر زامبيزي، ويمثل نحو ٣% من تدفقات نهر الكونغو، وتُقدَّر الكمية القابلة للاستخدام من المياه السطحية سنوياً بحوالي ١٠,٢ مليار متر مكعب، يُخزَّن منها حوالي ٧٠% في ٢٥٢ سداً رئيسياً.

أما المياه الجوفية فتبلغ طاقتها المتاحة نحو ٤,٥ مليار متر مكعب سنوياً، يُستغل منها فعلياً ما بين ٢ إلى ٣ مليار متر مكعب.(٥٤) ما يعكس الوضع المائي للبلاد.

و تُصنف جنوب أفريقيا ضمن أكثر ثلاثين دولة جفافاً في العالم، حيث يعاني أكثر من نصف مناطقها من عجز مائي مزمن نتيجة اختلال التوازن بين الموارد المتاحة والطلب المتزايد ، إذ يتجاوز الطلب على المياه العرض المتاح ، وتعتمد البلاد على المياه السطحية بنسبة ٧٧% من إجمالي الإمدادات، مقابل ٩% من المياه الجوفية و١٥% من المياه المُعاد تدويرها،

كما تستورد جنوب أفريقيا جزءاً من مواردها المائية من دولة ليسوتو عبر مشروع نقل المياه، لتغطية احتياجات المناطق الاقتصادية الحيوية، وعلى رأسها إقليم غاوتينغ الذي يُعد القلب الصناعي والتجاري للبلاد، كما تتشارك جنوب أفريقيا مع الدول المجاورة في عدد من الأنهار المائية العابرة للحدود، حيث تستحوذ على ٤٠% من إجمالي الموارد المائية المتاحة.

٢- ولتعويض النقص في الإمدادات المائية، تعتمد سبع من أصل تسع أقاليم على تحويل المياه بين الأحواض.

وعلى الرغم من الاستثمارات الكبيرة في إنشاء السدود وتطوير البنية التحتية المائية، فقد ارتفع الاعتماد على المياه الجوفية من ٧٠٠ مليون متر مكعب عام ١٩٥٠ إلى نحو ١,٧٧ مليار متر مكعب في عام ٢٠٠٤ (٥٥) وهو ما يعكس تحولاً تدريجياً نحو الاعتماد على مصادر غير سطحية لتلبية الطلب المتزايد على المياه العذبة.

٢- الضغط على الموارد المائية بسبب الزيادة السكانية والتوسع الاقتصادي:

تُعاني جنوب أفريقيا من أزمة مائية متصاعدة، إذ أصبح الطلب على المياه يفوق الموارد المتاحة، ما يهدد أمنها المائي في المستقبل القريب، ففي عام ٢٠١٥ بلغ الطلب السنوي على المياه نحو ١٥ مليار متر مكعب، ومن المتوقع أن يرتفع إلى ١٧ مليار متر مكعب بحلول عام ٢٠٢٥، مدفوعاً بالنمو السكاني والتوسع العمراني وزيادة الأنشطة الصناعية والزراعية، حيث يُعد القطاع الزراعي أكبر مستهلك للمياه بنسبة ٦٢%، يليه القطاع الخدمي والصناعي بنسبة ٢٧%، فيما تستهلك القطاعات الأخرى مثل التعدين وتوليد الطاقة والثروة الحيوانية نحو ١١%.

كما أن الأنشطة الصناعية وخصوصاً التعدين، تساهم في تلويث مصادر المياه، مما يزيد من الضغط على النظام البيئي.

وتشير التوقعات إلى اتساع الفجوة بين العرض والطلب في السنوات القادمة، ما لم تُتخذ إجراءات جادة لتحسين إدارة الموارد المائية ورفع كفاءة استخدامها (٥٦) وهو ما يتطلب وضع سياسات متكاملة تجمع بين الحوكمة الرشيدة، وتطبيق استخدام التقنيات الحديثة، وتعزيز الوعي المجتمعي، لضمان استدامة الموارد المائية للأجيال القادمة.

٣- ضعف البنية التحتية للموارد المائية : رغم أهمية المياه للقطاعات الاقتصادية والاجتماعية في جنوب أفريقيا ، إلا أنها تواجه تحديات كبيرة في البنية التحتية للمياه، حيث تُقدر نسبة الفاقد من المياه في شبكات البلديات نحو ٣٥% نتيجة التسربات، ويعود ذلك إلى تقادم البنية التحتية وسوء الصيانة وغياب الحوكمة الفعّالة.

٤- تلوث المياه وتدهور نوعيتها : فعلى سبيل المثال فقد تسبب تلوث المياه في مدينة (هامانسكرال) في ظهور وباء الكوليرا، الذي أدى إلى وفاة ٢٠ شخصاً نتيجة نقص المياه المعالجة بطريقة آمنة، كما يتجلى التفاوت في توزيع المياه بين المناطق، حيث يعتمد نحو ٧٤% من سكان الريف على المياه الجوفية من الآبار المحلية، في حين تعتمد المناطق الحضرية على مصادر سطحية مثل أنهار (ليمبوبو – الفال – الكوماتي) بينما تعاني البنية التحتية الخدمية من قصور حاد، حيث تفتقر ٢٦% من المدارس و٤٥%من المستشفيات إلى إمدادات مياه منتظمة، مما يظهر الحاجة الملحة لإصلاح الشبكات وتقليل الفاقد(٥٧) وضمان وصول المياه بشكل عادل وآمن للجميع.

٥- تأثير التغيرات المناخية على الموارد المائية: تعاني جنوب أفريقيا وخاصة في جنوبها الغربي من آثار التغيرات المناخية منذ بداية الألفية، مما أدى إلى

تراجع الإمدادات الطبيعية وزيادة الطلب على المياه ، حيث تجاوز الطلب في عام ٢٠٠٠ القدرة التخزينية المتوفرة (٤٦٠ مليون متر مكعب مقابل قدرة ٤٤١ مليون متر مكعب) مما كشف مبكراً عن اختلال في التوازن المائي.

وتشير التقديرات الواردة في دراسات عام ٢٠٠٢ إلى أن هذه التأثيرات ستستمر، حيث كان متوقعاً انخفاض تدفق الأنهار بنسبة تصل إلى ٦.٤% بحلول عام ٢٠٢٠، وهو ما أكدته بعض التقارير اللاحقة، وقد تزامن ذلك مع ارتفاع سنوي في الطلب على المياه بنسبة ٠.٥٨% نتيجة زيادة درجات الحرارة ومعدلات البخر، كما توقعت بعض الدراسات تراجعاً إضافياً في تدفق الأنهار بنسب تتراوح بين (١٤% و٣٢%) خلال العقود الثلاثة المقبلة (٥٨) مما يؤكد أهمية التكيف مع التحديات المناخية.

٦- أزمة العدالة المائية في ظل ضعف الحوكمة : رغم أن دستور جنوب أفريقيا ينص على أن المياه حق إنساني أساسي، إلا أن الواقع يكشف عن فجوات حادة في التوزيع تعود إلى ضعف الحوكمة والتمييز الاجتماعي المكاني، وقد تجلى ذلك بوضوح خلال أزمة الجفاف في كيب تاون بين عامي(٢٠١٥ – ٢٠١٨) حين ظهرت أزمة المياه كواحدة من أسوأ فترات الشح المائي في البلاد، حيث كشفت هذه الأزمة عن التفاوت الكبير في حصول السكان على المياه، خاصة في المناطق العشوائية ، فقد واجه السكان قيوداً صارمة في الإمداد المائي مقارنة بالأحياء الأكثر ثراءً، وأظهرت الدراسات الميدانية أن النظام المائي في كيب تاون يعتمد على نموذج "استرداد التكاليف"، وهو نظام يُفضل القادرين على الدفع ويُقصي الفئات الأكثر فقراً، في تناقض واضح مع مبدأ العدالة في التوزيع بين المواطنين. كما ساهمت الجغرافيا والتخطيط الحضري غير العادل في ترسيخ هذا التفاوت، حيث

تتلقى المناطق العشوائية خدمات مائية أقل انتظاماً وجودة، نتيجة ضعف البنية التحتية وانعدام الشفافية في آليات التوزيع (٥٩) مما أدى إلى الشعور بعدم المساواة بين مختلف فئات المجتمع.

باستقراء ما سبق يتضح أن جنوب أفريقيا تواجه أزمات مائية مُركبة تتداخل فيها العوامل الطبيعية والبشرية؛ إذ تسهم ندرة الموارد المائية ، وتزايد الطلب الناتج عن النمو السكاني والاقتصادي، وتدهور البنية التحتية، وتلوث مصادر المياه، في تعميق الفجوة بين العرض والطلب على المياه، كما أدت التغيرات المناخية والبيئية إلى تفاقم الوضع، ما كشف عن هشاشة النظام المائي في البلاد، ويُعد غياب العدالة في توزيع المياه وضعف الحوكمة من أهم التحديات الهيكلية، مما يؤكد الحاجة إلى إصلاحات شاملة ترتكز على الإدارة المتكاملة والحوكمة الرشيدة والابتكار الرقمي لتحقيق الأمن المائي المستدام.

الفرع الثاني

دور التكنولوجيا الرقمية في مواجهة تحديات المياه بجنوب أفريقيا

استجابة لتفاقم أزمة المياه، اتجهت حكومة جنوب أفريقيا إلى تبني الحلول الرقمية كجزء من استراتيجياتها لمواجهة ندرة المياه، وتحقيق كفاءة في الإدارة وتعزيز الاستدامة، وقد لعبت التكنولوجيا الرقمية دوراً محورياً في معالجة الجوانب المختلفة للأزمة، ويتضح ذلك عن طريق المحاور التالية:

١- **استخدام العدادات الذكية** : يُعد استخدام العدادات الذكية من الحلول الفعالة لإدارة الطلب على المياه، حيث تسهم في وضع مراقبة دقيقة وفورية للاستهلاك، مما يساعد في الكشف المبكر عن الأعطال، وتقليل الفاقد، وتعزيز

الاستخدام الرشيد، وقد ظهرت أهميتها خلال أزمة ما يعرف "**يوم الصفر**" في جنوب أفريقيا عام ٢٠١٨، وهي الأزمة التي اقتربت فيها البلاد من نفاد المياه الصالحة للشرب، حيث ساهمت العدادات في خفض استهلاك الأسر من ٥٤٠ لتراً يومياً في يناير ٢٠١٥ إلى حوالي ٢٨٠ لتراً يومياً في يناير ٢٠١٨، أي انخفاض بنحو ٤٨% خلال ثلاث سنوات.

وتكمن أهمية هذه العدادات في تقديم بيانات متكررة وفورية ، مما يتيح فهماً عميقاً لسلوك المستخدمين، ويُسهل إتخاذ القرارات الصحيحة بشكل أسرع خلال أزمات المياه، مقارنة بالطرق التقليدية التي تعتمد على بيانات شهرية محدودة(٦٠) مما يجعلها خياراً استراتيجياً لإدارة الأزمات المائية.

٢- إنشاء منصات رقمية للمشاركة المجتمعية والإبلاغ عن الأعطال:

تعمل هذه المنصات على تمكين المواطنين من الإبلاغ الفوري عن الأعطال، مثل التسريبات وانقطاع المياه، مما يعزز الشفافية ويسرّع استجابة فرق الصيانة، كما تساهم في تعزيز الثقة بين المجتمع والحكومة، وتُستخدم بفعالية في إقليم غاوتينغ، أحد أكبر المناطق السكانية في جنوب أفريقيا، لتحسين التخطيط واتخاذ القرارات بناءً على بيانات دقيقة (٦١) مما يُعزز فاعلية الإدارة المحلية واستدامة الخدمات المائية.

٣- دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز إدارة المياه: تلعب أنظمة الذكاء الاصطناعي دوراً حيوياً في إدارة المياه في جنوب أفريقيا، حيث تواجه البلاد تحديات كبيرة بسبب التغيرات المناخية والجفاف المتكرر الذي يؤثر في بعض الأحيان على أكثر من ٥٠% من السكان، وتعتمد هذه الأنظمة على خوارزميات التعلم الآلي، حيث تستخدم بيانات الطقس والتدفقات المائية لتحليل الطلب على المياه وتقليل فقدانها **بنسبة تصل إلى ٤٠%، بالإضافة إلى تحسين صيانة البنية التحتية وخفض تكاليف التشغيل.**

كما تُستخدم أنظمة الذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار الذكية لمراقبة جودة المياه والكشف المبكر عن التسريبات، وتعمل على المراقبة الدقيقة لمستويات المياه والضغط في المحطات والسدود، وهو ما يُسهم في الحد من مخاطر الفيضانات ونقص المياه، ويُعزز توزيع الموارد المائية وفقاً للطلب الفعلي، مما يُساعد على تحسين التخطيط المسبق وتقليل الأضرار المحتملة ، خاصة في محطات وسدود رئيسية مثل سد غاريبس وسد كراكنبرغ، ومحطات معالجة مثل محطة ويلينغتون، حيث تعزز هذه التقنيات الرقمية من كفاءة إدارة الموارد المائية ، وانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة بنسبة تصل إلى ٢٥% (٦٢) مما يعكس نقلة نوعية نحو إدارة أكثر كفاءة واستدامة للموارد المائية.

٤- استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد وصور الأقمار الصناعية: لقد أصبحت تقنيات الاستشعار عن بُعد أداة لا غنى عنها في إدارة الموارد المائية في جنوب أفريقيا، وخاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، حيث تعتمد هذه التقنيات بشكل أساسي على تحليل بيانات الأقمار الصناعية المتعددة التواريخ ، مثل بيانات القمر الصناعي(سينتال١) و(سينتال٢)، حيث يوفّر (سينتال١) صوراً رادارية قادرة على اختراق السحب والعمل ليلاً ، ما يضمن رصداً مستمراً للفيضانات والتغيرات في المسطحات المائية حتى في أصعب الظروف الجوية(٦٣) أما(سينتال٢) فيقدم صوراً متعددة الأطياف بدقة مكانية تصل إلى ١٠ أمتار(أي أن كل نقطة في الصورة تمثل مساحة ١٠٠ متر مربع) مما يسهم في الرصد الدقيق لتغيرات حجم المياه وجودتها، إلى جانب مراقبة (الأراضي الزراعية والمناطق الطبيعية). وتعتمد هذه العملية على خوارزميات تحليل متقدمة مثل : (مؤشر الفرق المائي الطبيعي، ومؤشر استخراج المياه التلقائي) حيث تسهم في تحليل الصور بدقة عالية، ما يتيح متابعة مستمرة لمستويات المياه في السدود والخزانات.

وتوفر هذه البيانات الفورية والدقيقة أساساً علمياً موثوقاً لصناع القرار، مما يساهم في فهم أنماط توزيع المياه والتغيرات التي تطرأ عليها نتيجة التغيرات المناخية(٦٤) وبالتالي يدعم التخطيط الفعال والمرن لتقليل مخاطر الجفاف والفيضانات المحتملة.

٥- دور النمذجة الهيدرولوجية الرقمية في إدارة الموارد المائية: النمذجة الهيدرولوجية الرقمية هي تطبيق تقنيات الحوسبة والنماذج الرياضية لتمثيل العمليات الهيدرولوجية التي تتحكم في حركة المياه داخل الأحواض المائية، وتهدف هذه النماذج إلى تحليل تدفقات المياه وتخزينها وتوزيعها عبر الزمان والمكان، مع الأخذ في الاعتبار المتغيرات المناخية والبيئية مثل:(هطول الأمطار- التبخر -استخدام الأراضي الزراعية - خصائص التربة) كما تُستخدم لمراقبة أداء سدود رئيسية كسد غاريبس على نهر أورانج وسد كراكنبرغ في فري ستايت، وتحسين كفاءة محطات معالجة المياه مثل محطة ويلينغتون في كيب تاون، وقد أسهمت هذه النماذج في تحسين القدرة على التنبؤ بتقلبات تدفق المياه، مما ساعد على تقليل الفاقد وتعزيز كفاءة إدارة الموارد المائية ، وزيادة كفاءة التشغيل حتى ٢٥% (٦٥) مما يعزز من قدرة الدولة على التكيف مع الأزمات المائية المستقبلية.

٦- الري الذكي وتنمية المهارات البشرية من أجل زراعة مستدامة: تستهلك الزراعة بالغمر في جنوب أفريقيا نحو ٥٠% من إجمالي الموارد المائية، بعدما كانت تستهلك نحو ٨٠% قبل حوالي ٢٥ عاماً، مما يعكس انخفاضاً ملحوظاً في الاعتماد على هذا النوع من الري خلال العقود الماضية(٦٦) ومع ذلك تواجه نظم الري الحديثة تحديات كبيرة في الأداء والإنتاجية، وخاصة في الأراضي الزراعية المملوكة لصغار المزارعين، حيث يفتقرون إلى التدريب الكافي، ويعانون من ضعف

في المعرفة بالممارسات الزراعية السليمة، بالإضافة إلى محدودية البنية التحتية؛ فعلى سبيل المثال يتم زراعة الأرض مرة واحدة في السنة فقط ، في حين يمكن زراعتها مرتين سنوياً ، ومن هنا يأتي دور الري الذكي، الذي يعتمد على التقنيات الحديثة مثل حساسات التربة وأجهزة التحكم الأوتوماتيكية، من أجل تحديد الكمية الدقيقة من المياه التي تحتاجها المحاصيل، مما يقلل من هدر المياه ويعزز إنتاجية المحاصيل (٦٧) وقد أشارت دراسة أُجريت في عام ٢٠٢١ في مقاطعة ليمبوبو بجنوب أفريقيا إلى أن اعتماد تقنيات الري الذكية المتكيفة مع المناخ، مثل الري بالتنقيط والاستغلال الأمثل لمياه الأمطار، يُعد خياراً فعالاً لتحسين كفاءة استخدام المياه وتحقيق استدامة الإنتاج، وخاصة في ظل الظروف المناخية القاسية وتفاوت هطول الأمطار، وعلى الرغم من أن نسبة استخدام هذه التقنيات لم تتجاوز ١٦.٦%، فقد بينت الدراسة أن تدريب المزارعين ومشاركتهم في تركيب الأنظمة الرقمية يعزز من فهمهم التقني(٦٨) ويُعزز الاستخدام المستدام لتلك الأنظمة.

باستقراء ما سبق يتضح أن التكنولوجيا الرقمية تمثل ركيزة أساسية في جهود جنوب أفريقيا لمواجهة تحدياتها المائية المعقدة، من خلال أدوات متعددة تشمل العدادات الذكية، ومنصات المشاركة المجتمعية، وأنظمة الذكاء الاصطناعي، وتقنيات الاستشعار عن بُعد، والنمذجة الهيدرولوجية، وأنظمة الري الذكي.

حيث استطاعت التقنيات الرقمية تحسين كفاءة الإدارة المائية، وتعزيز الاستجابة للأزمات المناخية والبيئية الطارئة، وتطوير البنية التحتية، فضلاً عن دعم المزارعين وبناء قدراتهم الرقمية، بما يعزز الأمن المائي ويدعم أهداف التنمية المستدامة في ظل التحديات المناخية المتزايدة.

المبحث الرابع

تحديات المياه في مصر

تمهيد وتقسيم :

تُعد المياه أحد الركائز الأساسية لتحقيق الأمن القومي والتنمية المستدامة في مصر، خاصة في ظل محدودية الموارد المائية ، و اعتماد البلاد بشكل رئيسي على نهر النيل كمصدر شبه وحيد للمياه.

وتمثل إدارة الموارد المائية تحدياً استراتيجياً يستوجب الدراسة والتحليل، خاصة مع تزايد عدد السكان، والتغيرات المناخية، والتحديات الإقليمية المرتبطة بأزمة سد النهضة الإثيوبي؛ كما أن التوسع الصناعي والزراعي يزيد من هذه التحديات، مما يفرض على الدولة اتباع سياسات فعالة للحفاظ على الأمن المائي وضمان استدامة الموارد للأجيال القادمة **وبناءً على ما تم عرضه سنقسم هذا المبحث على النحو التالي :**

المطلب الأول :- مفهوم الأمن المائي وأهميته لمصر.

المطلب الثاني :- التحديات الرئيسية التي تواجه إدارة المياه في مصر.

المطلب الأول

مفهوم الأمن المائي وأهميته لمصر

تمهيد وتقسيم :

تواجه مصر تحديات متزايدة في إدارة مواردها المائية ، مما يجعل مفهوم الأمن المائي يحظى بأهمية استراتيجية لضمان استدامة التنمية وحماية الأمن القومي،

حيث يعكس الأمن المائي قدرة الدولة على توفير المياه بجودة عالية من أجل تلبية احتياجات السكان والقطاعات الزراعية والصناعية المختلفة .

وعلى ذلك سنقسم هذا المطلب على النحو التالي :

الفرع الأول : مفهوم وأبعاد الأمن القومي المصري.

الفرع الثاني : مفهوم الأمن المائي.

الفرع الأول

مفهوم وأبعاد الأمن القومي المصري

يُعد مصطلح الأمن القومي من المصطلحات المركبة التي تعبر عن مجموعة من الإجراءات والتدابير التي تتخذها الدولة لحماية أرضها وشعبها من أي تهديدات أو اعتداءات، سواء كانت داخلية أو خارجية ، وتختلف هذه الإجراءات من حيث النوع والمدة الزمنية وفقاً لطبيعة التهديدات التي تواجهها الدولة ، مع الحرص على اتخاذ الاستعدادات الكاملة والمتاحة لضمان أمنها واستقرارها، كما يشمل مفهوم الأمن القومي أمن الدول ذات القومية الواحدة أو المتعددة كما هو الحال في القومية العربية ويلعب الأمن القومي دوراً مهماً في دعم مشاريع التنمية الاقتصادية والاجتماعية عن طريق تهيئة المناخ المناسب لذلك (٦٩) مما يسهم في تحقيق العدالة الاجتماعية والقانونية والسياسية.

ولقد تعددت تعريفات مفهوم الأمن القومي ، حيث عرفه البعض على أنه " مجموعة المبادئ التي تهدف إلى حماية كيان الدولة، و ضمان الحد الأدنى من مقومات وجودها على الساحة الدولية " ويعتبر السياسيون هذه المبادئ إطاراً عاماً لتحركاتهم السياسية وتوجهاتهم الاستراتيجية (٧٠) في ظل المتغيرات الإقليمية والدولية الراهنة.

كما يُعرف الأمن القومي أيضاً بأنه الحالة التي تتمتع فيها الأمة باستقلالها وهويتها القومية ، بعيداً عن أي تهديد أو تدخل داخلي أو خارجي ، مما يبعث في أبنائها الشعور بالثقة والطمأنينة، وينبع هذا الإحساس إما من غياب أي خطر فعلي (٧١) أو بسبب امتلاك القدرة الكافية لردع أي تهديد محتمل فور ظهوره.

أولاً – مفهوم الأمن القومي المصري :

يرتبط مفهوم "الأمن القومي المصري" بجذور قديمة تعود إلى العصر الفرعوني، حيث كان الملك يُعتبر حامياً للأرض والشعب، والمسؤول الأول عن تأمين حدود الدولة وحمايتها من التهديدات الخارجية، وقد كان التنظيم العسكري وتسليح الجيوش وقيادتها جزءاً أساسياً من هذه المسؤولية (٧٢) بما يشمل التخطيط الاستراتيجي، والتعبئة العامة، وتأمين الموارد الحيوية، وحماية الممرات المائية. ولقد تعرضت مصر لأول مرة في تاريخها إلى الاحتلال من قبل الهكسوس بين عامي (١٦٥٠-١٥٥٠ قبل الميلاد) لكن الملك أحمس الأول استطاع تحرير البلاد، مؤسساً بذلك الدولة الحديثة في مصر، ومُعيداً إحياء حضارتها التي أسست لإمبراطورية قوية استمرت لنحو ٥٠٠ عام .

وفي العصر الحديث، خاضت مصر العديد من الحروب الكبرى بدءاً من حرب١٩٥٦ ضد العدوان الثلاثي (بريطانيا وفرنسا وإسرائيل) والذي كان هدفه السيطرة على المجرى الملاحي لقناة السويس، ثم حرب ١٩٦٧ التي أدت إلى فقدان سيناء، حتى جاءت حرب السادس من أكتوبر عام ١٩٧٣، وأظهرت بطولات الجيش المصري في استعادة الأراضي المغتصبة من الاحتلال الإسرائيلي (٧٣) وقد توسع مفهوم الأمن القومي المصري في عصرنا الحالي ، حيث يُعرف على أنه إدراك الدولة

بما يحيط بها من تهديدات ومخاطر وتحديات داخلية وخارجية ، قد تعوق تقدمها في كافة مجالات القوة الشاملة (السياسية – الاقتصادية – الاجتماعية – الأمنية).

وقد تحدث الدستور المصري عن مفهوم الأمن القومي في المادة (٨٦) حيث أكد على أن "الحفاظ على الأمن القومي واجب ، والتزام الكافة بمراعاته مسؤولية وطنية يكفلها القانون" والحماية عن الأرض شرف وواجب مقدس (٧٤) وتُعد هذه المادة تجسيداً دستورياً لرؤية شاملة للأمن القومي، ترتكز على الوعي والمسؤولية الوطنية.

واستناداً إلى ما سبق، يتبين أن مفهوم الأمن القومي المصري ليس محصوراً في إطار ضيق أو تعريف تقليدي، بل يُنظر إليه باعتباره منظومة متكاملة تشمل مختلف الجوانب التي تمس استقرار الدولة وازدهارها، ومن بينها الأمن المائي الذي بات يشكل ركيزة أساسية ضمن أولويات الأمن القومي، نظراً لارتباطه المباشر بالتنمية والموارد الحيوية، مما يضمن حقوق الأجيال القادمة في موارد آمنة، ويدعم استقرار الدولة.

أبعاد الأمن القومي المصري : ثانياً–

١– **البعد السياسي :** وهو يتعلق باستقرار النظام السياسي، وحماية سيادة الدولة، وتعزيز علاقاتها الدولية مع كافة الدول والمنظمات الإقليمية والدولية، بما يضمن حضوراً فاعلاً للدولة على الساحة العالمية، ويسهم في دعم مصالحها الاستراتيجية.

٢– **البعد الاقتصادي :** ويتمثل في قدرة الدولة على تحقيق متطلبات التنمية الاقتصادية المستدامة في إطار الحوكمة الرشيدة، عن طريق الاستغلال الأمثل لكافة الموارد المتاحة مثل : (الموارد البشرية – الموارد الطبيعية) مما يسهم في توفير حياة كريمة للشعب المصري.

٣- **البعد الاجتماعي** : ويتعلق بالتماسك المجتمعي ، وتحقيق العدالة الاجتماعية ، ومكافحة التطرف والجريمة، والحفاظ على الهوية والثقافة المصرية ، مما يسهم في بناء مجتمع متوازن ومستقر.

٤- **البعد الأمني** : ويتضمن تأمين حدود الدولة المصرية ، وضمان الاستقرار الداخلي ، ومكافحة الإرهاب والأفكار المتطرفة ، و الجرائم بكافة أنواعها.

٥- **البعد التكنولوجي** : ويهتم بتعزيز الأمن السيبراني ، والتقدم التكنولوجي، وتطوير البنية التحتية لشبكات الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات ، وتعميق الثقافة الرقمية لدى أجهزة الدولة والمواطنين، بما يضمن كفاءة الأداء وتحقيق السيادة التكنولوجية الشاملة.

٦- **البعد المناخي والبيئي** : ويركز على مواجهة التغيرات المناخية ، وحماية الموارد الطبيعية ، وتعزيز الأمن الغذائي والمائي (٧٥) وضمان استدامة النظم البيئية.

باستقراء ما سبق يتضح أن الأمن القومي المصري يقوم على مجموعة من الأبعاد المترابطة، تشمل البعد السياسي، والاقتصادي، والاجتماعي، والأمني، والتكنولوجي، والمناخي و البيئي، مما يجعله مفهوماً شاملاً يتجاوز البُعد العسكري التقليدي، وتتكامل هذه الأبعاد لضمان استقرار الدولة وحماية مقدراتها، ويُعد تحقيق التوازن بينهما ضرورة استراتيجية لمواجهة التحديات المعاصرة وضمان التنمية المستدامة على المدى الطويل، وتحقيق قدرة الدولة على التكيف المرن مع المتغيرات المستقبلية.

الفرع الثاني

مفهوم الأمن المائي

تمثل المياه العذبة نسبة ضئيلة من إجمالي المياه على سطح الأرض، إذ لا تتجاوز ٢.٥%، ولا يُتاح للاستخدام البشري سوى أقل من ٠.٣% منها، وبسبب هذا النقص الكبير يعاني أكثر من ٧٠٠ مليون شخص حول العالم من شح المياه، فيما يفتقر نحو مليار شخص إلى مصادر مياه نظيفة، ويعيش أكثر من ٢.٦ مليار إنسان دون مرافق صرف صحي ملائمة.

وتشير التقديرات إلى أن نحو ٨٠% من الأمراض المنتشرة في الدول النامية ناتجة بشكل مباشر عن ضعف خدمات المياه والصرف الصحي، خاصة وأن ٩٠% من مياه الصرف الصحي في هذه الدول تُصرف مباشرة في الأنهار دون معالجة، بينما لا تمتلك سوى ١٠% من المدن أنظمة فعالة لتنقية المياه، وهو ما يؤدي إلى تدهور نوعيتها وزيادة حدة ندرتها(٧٦) مما يؤدي إلى تدهور جودة المياه وزيادة ندرتها. وتُشير التقديرات إلى أن هذه الأزمة مرشحة للتفاقم خلال العقود الثلاثة المقبلة، نتيجة للنمو السكاني المتسارع والتحول المستمر نحو التوسع الحضري، فمن المتوقع أن يقطن أكثر من ستة مليارات نسمة في المناطق الحضرية بحلول عام ٢٠٥٠، كما سيبلغ معدل النمو السكاني في المدن نحو ٢.٣% سنوياً في الدول النامية، وحوالي ١% في الدول المتقدمة، مما يزيد من مستويات التلوث البيئي (٧٧) ويؤدي إلى زيادة حادة في الطلب على مصادر المياه النظيفة وشبكات الصرف الصحي الآمنة.

ويُضاف إلى ذلك تحدٍ كبير يتمثل في التغير المناخي، الذي يؤثر بشكل سلبي على كمية المياه وجودتها، ويزيد من خطر تعرض المدن لكوارث بيئية، خاصة في المناطق التي تعاني من قلة المياه وارتفاع درجات الحرارة ، ففي هذه المناطق تقل

قدرة المياه على تخفيف الملوثات، ويختل التوازن البيئي والكيميائي، إلى جانب انخفاض مستويات الأكسجين المذاب، مما يُؤثر سلباً على النظم البيئية والصحة العامة (٧٨) وهو ما يؤدي إلى تلوث واسع النطاق، ويفاقم الأضرار التي تطال البنية التحتية والخدمات الأساسية.

ويشغل مفهوم الأمن المائي اهتماماً دولياً متزايداً على مدار العقود الماضية نظراً لأهميته ، و يوجد العديد من التعريفات لهذا المفهوم ، **حيث يعرفه البعض** بأنه القدرة على توفير الكميات الكافية من المياه ذات الجودة المناسبة لتلبية الاحتياجات المختلفة في كل زمان و مكان ، مع ضمان استمرارية هذا التوفير دون تأثير سلبي على حقوق الأجيال القادمة، ويتحقق ذلك عن طريق حماية الموارد المائية المتاحة ، وتعزيز كفاءة استخدامها ، وتطوير الأدوات والأساليب المستخدمة في إدارتها ، بالإضافة إلى تنمية الموارد الحالية واستكشاف مصادر جديدة سواء كانت تقليدية أو غير تقليدية.(٧٩)

ويُعرّف الأمن المائي طبقاً لمنظمة الأغذية والزراعة العالمية بأنه " هدف شامل يكون فيه كل شخص قادراً على الحصول على مقدار كافٍ من المياه الآمنة بتكلفة معقولة، ليعيش حياة نظيفة وصحية ومنتجة، مع ضمان حماية البيئة وتعزيز استدامتها.(٨٠)

وقد ظهر مفهوم الأمن المائي من منظور إنساني في مطلع تسعينيات القرن العشرين، متماشياً مع التحولات الدولية في إدارة المياه، حيث أكد المؤتمر الدولي للمياه والبيئة، الذي عُقد في دبلن عام ١٩٩٢، على ضرورة التعامل مع الموارد المائية كسلعة اقتصادية تُدار بكفاءة، وتبع ذلك مؤتمر ريو دي جانيرو في العام نفسه، الذي شدد على حق الإنسان في الحصول على مياه آمنة، مع التأكيد على

ضرورة مراعاة الفئات الفقيرة في الوصول إلى المياه اللازمة للحياة، دون إغفال البُعد الاقتصادي لقيمة المياه (٨١) **كما يعرف الأمن المائي طبقاً لتقرير التنمية البشرية** لعام ٢٠٠٦ على أنه " ضمان حصول كل إنسان على القدر الكافي من المياه النظيفة بجودة وسعر مناسبين ، حتى يستطيع الحياة بصحة وكرامة ، ويكون قادراً على الإنتاج ، مع الحفاظ على المصادر الرئيسية للمياه دون تلوث أو إستخدام جائر"(٨٢)

ويُشير مفهوم الأمن المائي إلى حالة استقرار الموارد المائية وقدرتها على تلبية احتياجات الاستخدام الفعلي، حيث يُعتبر الوضع آمناً مائياً عندما يكون العرض متوازناً مع الطلب، وفي حال عدم كفاية الموارد المتاحة لتلبية هذه الاحتياجات، فإن مستوى الأمن المائي ينخفض، بينما يرتفع في حالة وجود فائض مائي، أي عندما تتجاوز الكمية المتوفرة حجم الطلب(٨٣) وبالتالي يُعد الأمن المائي مفهوماً نسبياً يتأثر بتغير الظروف البيئية والاقتصادية والاجتماعية.

بإستقراء ما سبق ، يتضح أن جميع التعريفات تتفق على أن الحصول على الماء النظيف حق أساسي لكل البشر دون تمييز، كما تلتزم الدولة بتوفيره لجميع المواطنين بسعر وجودة مناسبين، دون الإضرار أو الإجحاف بالمصادر الطبيعية، مع مراعاة حقوق الأجيال القادمة، حيث يرتبط الأمن المائي ارتباطاً وثيقاً بالأمن القومي، خاصةً عند تتعرض الموارد الحيوية للتهديد، إذ قد يؤدي أي اضطراب في التدفقات المائية إلى تصاعد التوترات السياسية والأمنية بين الدول.

المطلب الثاني

التحديات الرئيسية التي تواجه إدارة المياه في مصر

تمهيد وتقسيم :

تواجه مصر في الوقت الراهن أزمة مائية متفاقمة تُعد من أخطر التحديات التي تهدد مسارها التنموي واستقرارها الاجتماعي، إذ أصبحت إدارة الموارد المائية تمثل مسألة بالغة الحساسية ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالأمن القومي، وتتعدد أبعاد هذه الأزمة ما بين محدودية الموارد، وسوء أنماط الاستهلاك، والضغوط الخارجية المتعلقة بمياه نهر النيل، وعلى رأسها قضية سد النهضة، كما تزداد خطورة الوضع في ظل التغيرات المناخية، والنمو السكاني المتسارع.

وبناءً على ما تقدم سنقسم هذا المطلب على النحو التالي :

الفرع الأول : أهمية الأمن المائي لمصر.

الفرع الثاني : أزمات المياه في مصر: الأسباب والتحديات.

الفرع الأول

أهمية الأمن المائي لمصر

يقول الله تعالى" وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"(٨٤) وقد بيّن علماء التفسير في شرحهم لهذه الآية أن الله تعالى خلق كل شيء على كوكب الأرض من الماء. وقد روى أبو حاتم البُستي في "المُسند الصحيح" عن أبي هريرة رضي الله عنه أنه قال: "قلتُ: يا رسول الله، إذا رأيتك طابت نفسي وقرّت عيني، فأنبئني عن كل شيء؟ قال: كل شيء خُلق من الماء(٨٥) فالماء هو المصدر الوحيد لضمان استمرار الحياة على كوكب الأرض.

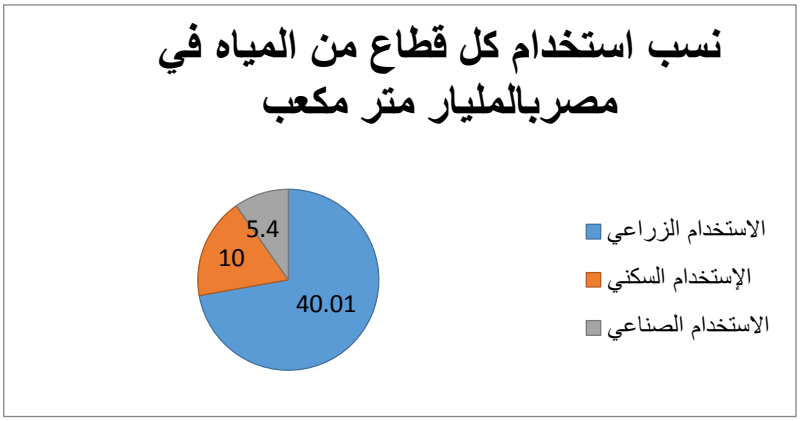
ويُقدر حجم الموارد المائية التقليدية في مصر بنحو ٥٩.٨ مليار متر مكعب سنوياً، يأتي أغلبها من مياه نهر النيل الذي يشكل ما يقارب ٥٥.٥ مليار متر مكعب إذ يُغطي نحو ٩٧%، بينما يأتي الباقي من المياه الجوفية العميقة غير المتجددة، إضافة إلى مياه الأمطار والسيول والتي تُعد ذات مساهمة محدودة في الميزان المائي. وفي المقابل تسعى الدولة إلى تعزيز الاعتماد على الموارد غير التقليدية، مثل إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والصحي بعد المعالجة، وكذلك مياه التحلية والتي بلغ إنتاجها حوالي ٠.٣ مليار متر مكعب سنوياً، مع خطط مستقبلية لرفع هذا الرقم إلى نحو ١.٦ مليار متر مكعب خلال السنوات القادمة لتحقيق الأمن المائي.(٨٦)

ويُعد نهر النيل الشريان الرئيسي للحياة في مصر، ولذلك تبذل الحكومة المصرية جهوداً كبيرة للحفاظ عليه وصونه من أي ملوثات، وقد أصدرت العديد من التشريعات واللوائح التي تهدف إلى الحد من التعديات على المجاري المائية، أبرزها قانون البيئة رقم ٤ لسنة ١٩٩٤ ولائحته التنفيذية وتعديلاته لحماية الموارد المائية (٨٧) إلى جانب القانون رقم ٩ لسنة ٢٠٠٩ لتعزيز جهود الحماية والدعم البيئي.

ويُمثل نهر النيل المصدر الرئيسي للمياه في مصر، ويبلغ طوله حوالي ٦,٨٢٠ كيلومتراً، ممتداً من منابعه في الهضبتين الاستوائية والإثيوبية حتى مصبه في البحر المتوسط ، وتبلغ مساحة حوض نهر النيل نحو ٢,٩ مليون كيلومتر مربع، ويُقدّر إجمالي إيراده السنوي بحوالي ٩٤,٦ مليار متر مكعب ، وتبلغ حصة مصر منه نحو ٥٥,٥ مليار متر مكعب طبقاً لاتفاقية ١٩٥٩ (٨٨) وتُعد الزراعة أكبر مستهلك للمياه في مصر، حيث تستهلك نحو ٨٥% من إجمالي مياه نهر النيل، رغم أن مساهمتها في الناتج المحلي الإجمالي لا تتجاوز ١٥%.

وتأتي مياه الشرب والاستخدامات السكنية في المرتبة الثانية، باستهلاك يُقدر بنحو ١٠ مليارات متر مكعب سنوياً، بينما يحتل القطاع الصناعي المرتبة الثالثة

باستهلاك يبلغ حوالي ٥.٤ مليارات متر مكعب سنوياً في عام ٢٠١٧.(٨٩) يوضح الشكل رقم (٣) توزيع استخدامات المياه في مصر بحسب القطاعات المختلفة، مع بيان نسبة استهلاك كل قطاع من إجمالي الموارد المائية عام ٢٠١٧



https://water.fanack.com/ar/egypt/water-use-in-egypt/الاطلاع ١-٦-٢٠٢٥

يتضح من الشكل السابق أن القطاع الزراعي يستحوذ على الحصة الأكبر من استهلاك المياه في مصر، يليه القطاع السكني ثم القطاع الصناعي، ومن المتوقع أن تزداد هذه النسب في المستقبل، خاصة إذا استمر الاعتماد على نظام الري بالغمر وعدم ترشيد استهلاك المياه، مما يضاعف الضغوط على الموارد المائية المحدودة.

باستقراء ما سبق، يتضح أن المياه تُشكل عصب الحياة والتنمية في مصر، وأن نهر النيل يمثل المصدر شبه الوحيد لتلبية الاحتياجات المائية، كما أن محدودية الموارد مقابل الزيادة المستمرة في الطلب تفرض ضرورة التعامل مع قضية المياه باعتبارها أولوية وطنية تستوجب الإدارة الرشيدة والتخطيط الاستراتيجي لضمان استدامتها. ويتطلب هذا الواقع المائي الحساس تنسيقاً فعالاً بين مختلف القطاعات المرتبطة بالمياه، كالصناعة والزراعة والإسكان، من أجل ضمان الاستخدام الأمثل والمتوازن، وتحقيق استدامة الموارد المائية في ظل التحديات المتزايدة.

الفرع الثاني

أزمات المياه في مصر: الأسباب والتحديات

تُقدر احتياجات مصر المائية بنحو ١١٤ مليار متر مكعب سنوياً، في حين لا تتجاوز مواردها المتجددة ٥٩.٦ مليار متر مكعب، تتوزع بين ٥٥.٥ مليار من مياه نهر النيل، و١.٣ مليار من مياه الأمطار، و٢.٤ مليار من المياه الجوفية غير المتجددة، إضافة إلى ٠.٤ مليار متر مكعب من مياه التحلية. وفي محاولة لسد هذا العجز، تعيد الدولة استخدام ما يقرب من ٢١.٦ مليار متر مكعب من المياه سنوياً، فضلاً عن استيراد محاصيل زراعية من الخارج تعادل في استهلاكها المائي نحو ٣٣ مليار متر مكعب سنوياً.

وبالتوازي مع هذا الوضع الضاغط ، يشهد نصيب الفرد من المياه تراجعاً مستمراً؛ فقد انخفض من حوالي ٢٠٠٠ متر مكعب سنوياً في ستينيات القرن الماضي، إلى أقل من ١٠٠٠ متر مكعب في التسعينيات – وهو ما يُعرف بخط الفقر المائي – وصولاً إلى نحو ٥٠٠ متر مكعب فقط في الوقت الحالي، وهو ما يعكس حجم الضغوط المتزايدة على الموارد المائية (٩٠) ويُظهر الحاجة الملحة إلى وضع حلول ذكية ومستدامة في إدارة هذا المورد الحيوي.

وتواجه مصر تحديات متزايدة في تأمين احتياجاتها المائية، نظراً لمحدودية مواردها المائية واعتمادها شبه الكامل على حصة ثابتة من مياه نهر النيل، وتتفاقم هذه التحديات بسبب محدودية المياه الجوفية، وقلة معدلات هطول الأمطار، وارتفاع تكلفة تحلية المياه، كما يُسهم تغير المناخ وارتفاع درجات الحرارة في زيادة الضغط على الموارد المائية ، ما يؤثر سلباً على وفرة المياه وإمكانية الوصول إليها. **كما يُشكل سد النهضة الإثيوبي** تحدياً كبيراً لنصيب مصر من مياه نهر النيل، إذ من

المتوقع أن تقل الكمية المتدفقة من المياه القادمة من إثيوبيا، مما يهدد قدرة بحيرة ناصر(الخزان الاستراتيجي الرئيسي للمياه العذبة في البلاد) على الوفاء بمتطلبات مصر المائية على المدى المتوسط والطويل (٩١) مما يُضعف من قدرتها على تلبية الاحتياجات المائية المستقبلية بشكل مستدام.

كما تواجه مصر تحدياً آخر نتيجة استهلاك الزراعة لأكثر من ٨٥٪ من مياه النيل، في ظل تأثيرات سد النهضة ، ونظام الري التقليدي المُهدر للمياه، فضلاً عن أن الجفاف المحتمل قد يؤدي إلى تغيير ديموغرافي واسع النطاق. **و من المتوقع أن تزيد التغيرات المناخية** من حدة أزمة المياه في مصر، من خلال زيادة الضغط على الموارد الطبيعية، خاصة أن المياه تُعد أساساً رئيسياً للتنمية الزراعية، والأمن الغذائي والاستقرار الاقتصادي والاجتماعي.

ويُسهم النمو السكاني المتسارع الذي بلغ نحو ١٠٨ ملايين نسمة في عام ٢٠٢٥، والتوسع العمراني، وزيادة الأنشطة الزراعية، بالإضافة إلى التدهور البيئي، في تفاقم التحديات المرتبطة بإدارة المياه(٩٢) الأمر الذي يستدعي تحركاً سريعاً نحو وضع حلول مستدامة وشاملة.

باستقراء ما سبق يتضح أن أزمة المياه في مصر ليست فقط نتيجة للتغيرات المناخية أو التحديات الإقليمية مثل أزمة سد النهضة الإثيوبي، بل تتجذر أيضاً في ضعف كفاءة إدارة الموارد المائية، وارتفاع معدلات الهدر والتبخر، إلى جانب الممارسات غير الرشيدة في استخدام المياه، وتزداد خطورة الوضع في ظل الزيادة السكانية المطردة التي تقابلها موارد مائية شبه ثابتة، مما يُفاقم الفجوة بين العرض والطلب ، ومن هنا تبرز الحاجة الملحة إلى التوسع في تحلية مياه البحر كمصدر بديل ومستدام، إلى جانب تعميق توظيف التكنولوجيا الرقمية في إدارة الموارد المائية،

بما يسهم في تحسين توزيع المياه، ورفع كفاءة استهلاكها، وتعزيز قدرة الدولة على مجابهة التحديات المستقبلية في هذا القطاع الحيوي.

المبحث الخامس

السياسات المائية المصرية في إطار التكنولوجيا الرقمية

تمهيد وتقسيم :

تُعد مصر من أكثر دول العالم اعتماداً على مصدر مائي واحد، وهو نهر النيل، الذي يوفر نحو ٩٧% من احتياجاتها المائية.ومع تزايد الضغوط السكانية والاقتصادية، إلى جانب التغيرات المناخية والبيئية والتحديات المصاحبة لسد النهضة الإثيوبي ، أصبحت قضية الأمن المائي تمثل أولوية وطنية قصوى، وقد اتجهت الحكومة المصرية في السنوات الأخيرة إلى تبني سياسات مائية حديثة تقوم على مبادئ الكفاءة، والاستدامة، والتحول نحو الإدارة الذكية للموارد المائية، وفي هذا الإطار ظهرت التكنولوجيا الرقمية كأداة مهمة لدعم تلك السياسات، عن طريق نظم المراقبة والتحكم، وتحليل البيانات، وترشيد الاستهلاك، وتحسين إدارة شبكات المياه، بما يسهم في تعزيز كفاءة الإدارة المائية وضمان استدامتها.

وبناءً على ما تقدم سنقسم هذا المبحث على النحو التالي :

المطلب الأول : الإطار العام للسياسات المائية في مصر.

المطلب الثاني :التكنولوجيا الرقمية وإدارة المياه بمصر في إطار التحديات الراهنة.

المطلب الأول

الإطار العام للسياسات المائية في مصر

تمهيد وتقسيم :

تُعد السياسات المائية في مصر نتاجاً لتاريخ طويل من الاعتماد على نهر النيل، الذي يشكل المصدر الرئيسي للمياه في البلاد، وعلى الرغم من أن مصر تمتعت باستقرار مائي نسبي لعقود، فإن هذا الاستقرار بدأ يواجه العديد من التحديات في العصر الحالي، وفي ضوء هذه التحديات، بدأت الدولة المصرية في إعادة بناء منظومة سياساتها المائية، من خلال تطوير التشريعات، وتحسين الإدارة المؤسسية، وتبني تقنيات متطورة تسهم في الاستدامة المائية عن طريق تنويع مصادر المياه، والاعتماد على أدوات الإدارة المتكاملة، بهدف ضمان الأمن المائي على المدى الطويل.**وبناءً على ما تقدم سيتم تقسيم هذا المطلب على النحو التالي :**

الفرع الأول: تطور السياسات المائية في مصر.

الفرع الثاني: الاستراتيجية المائية في ظل التحديات الراهنة.

الفرع الأول

تطور السياسات المائية في مصر

لقد اعتمدت السياسات المائية في مصر على مدى العقود الماضية على حماية نهر النيل وضمان استمرار تدفق مياهه، استناداً إلى مجموعة من الاتفاقيات التاريخية، أهمها اتفاقيتا عامي(١٩٢٩ و١٩٥٩) اللتان رسختا ما يُعرف بالحقوق المكتسبة لمصر في مياه النهر، وحددت حصتها السنوية بـ ٥٥.٥ مليار متر مكعب.(٩٣) ومع تزايد عدد السكان وارتفاع الطلب على المياه، **بدأت مصر منذ**

السبعينيات تعديل سياساتها، فاتجهت إلى ترشيد استخدام المياه، والاعتماد بشكل أكبر على إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والصحي، واستغلال المياه الجوفية، إلى جانب تنفيذ مشروعات كبيرة مثل السد العالي وقناة السلام(٩٤) بهدف زيادة الرقعة الزراعية وتلبية الاحتياجات المتزايدة في ظل محدودية الموارد المتاحة. وفي بداية التسعينيات تبنت الدولة خطة طموحة لاستصلاح نحو ١.٢٨ مليون فدان بالتعاون مع هيئة التعمير والتنمية الزراعية، في إطار السعي إلى توسيع الرقعة الزراعية وتحقيق الأمن الغذائي. وقد مثلت هذه الخطوة إحدى الركائز الأساسية التي مهدت لبلورة رؤية مائية استراتيجية أكثر شمولاً ، وفي عام ١٩٩٨ أطلقت الحكومة المصرية أول استراتيجية متكاملة للسياسة المائية، ارتكزت على مفهوم "الإدارة المتكاملة للموارد المائية"، بمشاركة عدد من الوزارات والهيئات المختصة. وقد بلغت التكلفة الإجمالية لتنفيذ مشروعات هذه الاستراتيجية بمختلف محاورها، نحو ١٤٥ مليار جنيه، وتم العمل بها حتى عام ٢٠١٧. **وقد عملت الاستراتيجية على تحقيق ثلاثة أهداف محورية :**

١- تعظيم الاستفادة من كل قطرة مياه عن طريق رفع كفاءة الاستخدام وتقليل الفاقد.

٢- مواجهة التلوث والحد من آثاره السلبية على جودة المياه.

٣- تعزيز التعاون مع دول حوض النيل للحفاظ على موارد النهر وتنميته.

كما شملت الاستراتيجية محورين رئيسيين :

المحور الأول: التركيز على الاستخدام الأمثل للموارد المائية عن طريق تنفيذ سياسات تقوم على تحقيق التوازن بين الموارد المتاحة والاستخدامات المتعددة، اعتماداً على نظام الإدارة المتكاملة.

المحور الثاني: الانفتاح على الدول المتشاطئة على نهر النيل ، عن طريق مشروعات مشتركة تهدف إلى تقليل الفواقد وزيادة التدفقات المائية، بما يعزز التعاون

الإقليمي ويخدم المصالح المشتركة، وفي عام ٢٠١٧ أعلنت مصر رسمياً عن "الاستراتيجية القومية للمياه حتى عام ٢٠٢٥"، والتي تمثل امتداداً للرؤية السابقة وتحديثاً لها، مع تركيز أكبر على مفاهيم الاستدامة والتكامل في إدارة الموارد، وتشمل هذه الاستراتيجية التوسع في تحلية المياه، وإعادة استخدامها، والتكيف مع التغيرات المناخية، في إطار الانتقال نحو نموذج متطور ومرن لإدارة المياه.(٩٥)

باستقراء ما سبق، يتضح أن السياسات المائية في مصر قد مرت بتحولات جوهرية تعكس وعي الحكومات المتعاقبة بحجم التحديات المرتبطة بالموارد المائية. فمن التركيز التقليدي على نهر النيل كمصدر شبه وحيد للمياه، إلى وضع نهج الإدارة المتكاملة والتوسع في استخدام الموارد غير التقليدية، وقد شكلت الاستراتيجيات الوطنية المتعاقبة إطاراً عملياً لدعم هذه التحولات، عن طريق تعزيز كفاءة الاستخدام، وتقليل الفاقد، والانفتاح على التعاون الإقليمي، بما يعزز الأمن المائي بطريقة مستدامة في ظل العديد من التحديات .

الفرع الثاني

الاستراتيجية المائية في ظل التحديات الراهنة

نظراً للتحديات المتزايدة التي تم استعراضها سابقاً، والمتعلقة بندرة الموارد، وتأثيرات التغير المناخي، والتوترات الإقليمية كأزمة سد النهضة، إلى جانب الزيادة السكانية المتسارعة، وضعف كفاءة إدارة الموارد المائية، وجدت الدولة نفسها مضطرة إلى وضع استراتيجية مائية شاملة تهدف إلى تحقيق الأمن المائي، وتعزيز كفاءة استخدام الموارد، وضمان استدامتها لخدمة أهداف التنمية الشاملة. وتتمثل هذه الاستراتيجية في "رؤية مصر ٢٠٥٠ لإدارة الموارد المائية"، التي تسعى إلى تحقيق إدارة مستدامة للمياه، من خلال الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة، وتحسين

جودة المياه، ومواجهة التحديات الحالية والمستقبلية المرتبطة بها، وذلك عن طريق مجموعة من المحاور والإجراءات التي يمكن عرضها على النحو التالي :

١- خطط النهوض بالموارد المائية :

تركز استراتيجية مصر لإدارة وتنمية الموارد المائية حتى عام ٢٠٥٠ على تعزيز التعاون مع دول حوض النيل، من خلال مشروعات تنموية مشتركة تراعي حماية البيئة وتجنب أي ضرر، مع الاعتماد على الحوار وتجنب القرارات الفردية. **وتشمل الاستراتيجية** تحسين استخدام المياه الجوفية وحمايتها من التلوث والاستنزاف، وتوسيع مشروعات تجميع مياه الأمطار والسيول، خاصة في سيناء والساحل الشمالي. كما تهدف إلى إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والصحي بعد معالجتها بشكل آمن لاستخدامها في الري، مع الالتزام بمعايير الصحة العامة. وتُعد تحلية مياه البحر خياراً استراتيجياً لتوفير المياه في المناطق الساحلية، ويتم دعمها بتقنيات حديثة لتقليل التكلفة والحد من التأثيرات البيئية، حيث تشجع مصر الاستثمار في هذا المجال عن طريق إشراك القطاع الخاص، وتأسيس مراكز متخصصة، كما تعمل على التوسع في الزراعة خارج الحدود بالتعاون مع دول تتمتع بموارد مائية كبيرة، لتأمين الغذاء (٩٦) وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

٢- كفاءة إدارة واستخدام الموارد المائية :

من المتوقع أن تحتاج مصر نحو(١٠٠ مليار متر مكعب من المياه العذبة) بحلول عام ٢٠٥٠، مما يزيد من أهمية تعزيز كفاءة إدارة الموارد المائية لمواجهة تحديات الندرة المتزايدة وتزايد الطلب عليها، لذلك تسعى استراتيجية ترشيد استخدام المياه في مصر على تعزيز كفاءة إدارة الموارد المائية لمواجهة تحديات ندرتها وتزايد الطلب عليها، حيث ترتكز الاستراتيجية على عدة محاور رئيسية، تبدأ بتحديث نظم الري في القطاع الزراعي واعتماد أصناف زراعية مقاومة للجفاف ذات استهلاك مائي

منخفض، إلى جانب تشجيع الزراعة التعاقدية والتصنيع الزراعي لتقليل الفاقد وتحقيق الاستخدام الأمثل للمياه، أما في قطاع مياه الشرب، تعتمد الاستراتيجية على نشر العدادات الذكية، وتعزيز إعادة استخدام المياه المعالجة، مع توسيع الاعتماد على تحلية مياه البحر في المناطق الساحلية.

وتركز على الصناعة من خلال تكنولوجيا الدورة المائية المتكاملة ، وتقديم حوافز للحد من الاستهلاك، كما تشمل جهود تحسين كفاءة النقل النهري عبر تأهيل وتنظيف المجاري المائية لضمان انسيابية المياه وتقليل الفاقد.

وفيما يخص قطاع الكهرباء تركز الاستراتيجية على إعادة استخدام مياه محطات التبريد للحد من الهدر وتحقيق كفاءة أعلى في استغلال الموارد المائية. كما تعمل على تطوير البنية التحتية عن طريق تأهيل المصارف والقنوات، وتحديث محطات المعالجة، وتعزيز نظم التشغيل والإدارة لضمان استدامة وكفاءة الخدمات. ويتكامل هذا الجهد مع التركيز على تعزيز القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية، عبر تحسين أساليب التشغيل، وزيادة الوعي المجتمعي بأهمية ترشيد المياه، وتشجيع زراعة المحاصيل المقاومة للجفاف ودرجات الحرارة المرتفعة (٩٧) مما يضمن حماية الموارد المائية واستدامتها على المدى الطويل.

٣- آليات تعزيز جودة المياه والتعامل مع مصادر التلوث :

تسعى الحكومة المصرية إلى تعزيز جودة المياه عن طريق وضع قواعد وإجراءات صارمة تحد من التلوث وتحمي الموارد المائية، حيث تعتمد في ذلك على مبدأ "الملوث يدفع" لمحاسبة الجهات الملوثة لمياه النيل، مع تطبيق آليات مستمرة للرصد والتقييم تضمن مراقبة وتحسين الحالة البيئية للمياه بشكل دائم. كما تهدف هذه الجهود إلى تحسين إدارة الموارد المائية عبر إشراك جميع الجهات

المعنية والمجتمعات المحلية، مع تعزيز البحث العلمي والتقنيات الحديثة لضمان استدامة هذه الموارد الحيوية.

وتتبنى الحكومة المصرية استراتيجيات شاملة للتعامل مع مصادر التلوث المختلفة، والعمل على تطوير نظم الرصد والمراقبة البيئية لضمان استجابة فعالة وسريعة. فضلاً عن تطوير التشريعات واللوائح المتصلة بالحفاظ على جودة المياه، مع التركيز على رفع وعي المجتمع بأهمية حماية مياه نهر النيل من التلوث، وذلك لضمان حق الأجيال القادمة في الاستفادة منه في إطار التخطيط السليم، و ضرورة التكيف مع التغيرات البيئية المتسارعة لضمان جودة المياه وحماية البيئة بشكل مستدام.(٩٨)

باستقراء ما سبق يتضح أن الدولة المصرية قد بدأت بالفعل في تطبيق نهج جديد لإدارة الموارد المائية، يعتمد على إعادة تأهيل البنية التحتية من خلال تبطين الترع والمصارف، وتوظيف التكنولوجيا الحديثة لرفع كفاءة الاستخدام، والتوسع في مصادر المياه غير التقليدية مثل التحلية وإعادة الاستخدام.

كما لم تغفل الدولة البُعد السياسي، فاتخذت موقفاً واضحاً تجاه أزمة سد النهضة، مدافعة عن حقوقها المائية في إطار القانون الدولي، بما يعكس التزاماً استراتيجياً بالحفاظ على أمنها المائي في الحاضر والمستقبل، وإن كان هذا الموقف لم يرقَ لطموحات الشعب المصري.

المطلب الثاني

التكنولوجيا الرقمية وإدارة المياه بمصر

في إطار التحديات الراهنة

تمهيد وتقسيم :

لقد استعرضنا سابقاً التحديات التي تواجه قطاع المياه في مصر، والاستراتيجيات التي اتخذتها الحكومة المصرية لمواجهتها، والتي كان من ضمنها تبني الحلول الرقمية الحديثة لتحسين كفاءة إدارة الموارد المائية.

ونظراً لأهمية هذا المجال في مواجهة ندرة المياه والتغيرات المناخية، يأتي هذا المطلب للتركيز على دور التكنولوجيا الرقمية في إدارة المياه بمصر.

وبناءً على ما سبق سيتم تقسيم هذا المطلب على النحو التالي :

الفرع الأول: تحديات استخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه المصري.

الفرع الثاني: دور تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في إدارة الموارد المائية بمصر.

الفرع الأول

تحديات استخدام التكنولوجيا الرقمية

في قطاع المياه المصري

في ظل التحديات المتزايدة التي يواجهها قطاع المياه المصري، أصبحت التكنولوجيا الرقمية ركيزة أساسية لتحسين مرونة إدارة الموارد، ورفع جودة الخدمات المقدمة للمواطنين، إلا أن تطبيقها يواجه عدة تحديات تتعلق بتطوير البنية التحتية للمياه، وتحقيق الفاعلية والاستدامة (٩٩) وبناءً عليه سيتم تناول التحديات التي تواجه استخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه على النحو التالي :

١- ضعف البنية التحتية الرقمية : رغم الجهود الكبيرة التي بذلتها مصر في تطوير شبكة الاتصالات وتحسين بنيتها الرقمية، إلا أنها مازالت تعاني من تحديات واضحة تعيق الوصول إلى تحول رقمي فعال، حيث تظهر المؤشرات ضعف البنية التحتية المعلوماتية ، مما أدى إلى ضعف جودة الاتصالات والإنترنت ، ورغم ضخ استثمارات تجاوزت مليار دولار إلا أنها لم تكن كافية. ورغم هذه التحديات حققت مصر تقدماً في مؤشر الحكومة الرقمية الصادر عن الأمم المتحدة، حيث صعدت إلى المرتبة ٩٥ عالمياً من أصل ١٩٣ دولة في عام ٢٠٢٤، مقارنة بالمركز ١٠٣ في عام ٢٠٢٢. ويُعد هذا تحسناً لكنه لا يزال دون الطموحات، ويؤكد الحاجة إلى مواصلة العمل على تعزيز البنية التحتية.

كما يفرض تزايد الاعتماد على الخدمات الرقمية ضرورة تعزيز الأمن السيبراني، إذ أن التطور السريع للتكنولوجيا لم يقابله تطور مماثل في حماية البيانات الرقمية والهجمات السيبرانية (١٠٠) مما يجعل الجهات الحكومية والمجتمع الرقمي عرضة للاختراقات والتهديدات الإلكترونية .

٢- عدم تكامل البنية التحتية المائية مع النظم الرقمية : رغم وجود بعض المبادرات الرقمية في قطاع المياه، لا تزال البنية التحتية تعاني من ضعف التكامل بين المكونات المائية والبنية الرقمية، مما يحد من كفاءة الإدارة ويُضعف القدرة على الاستفادة من التحول الرقمي بشكل شامل، فغياب التنسيق الرقمي بين محطات المياه والسدود والخزانات، وعدم وجود نظام موحد لمراقبة المناسيب المائية ، يؤدي إلى تأخر في رصد التغيرات المفاجئة، مما يحد من القدرة على التعامل مع حالات الطوارئ أو إدارة فترات الجفاف والفيضانات بفعالية ومرونة. إلى جانب ذلك **يعتمد عدد كبير من المنشآت المائية على أنظمة تقليدية** وغير مترابطة رقمياً، مما يعيق القدرة على متابعة البيانات التشغيلية بشكل لحظي واتخاذ قرارات دقيقة؛ فعلى سبيل المثال يؤدي

ضعف التكامل بين أنظمة القراءة الذكية للعدادات وقواعد بيانات التشغيل والتحصيل إلى تأخر في اكتشاف أنماط الاستهلاك غير الطبيعية، والتي قد تكون مؤشراً على تسريبات أو أعطال، كما يُعيق سرعة الاستجابة لملاحظات العملاء، ويقلل من فعالية اتخاذ القرار في ما يتعلق بجدولة الصيانة ، مما يؤثر على جودة الخدمات وكفاءة استخدام الموارد.

٣- ضعف الاستثمار في البنية الرقمية لقطاع المياه: تساهم الإمكانيات الكبيرة للتقنيات الحديثة، مثل إنترنت الأشياء وتحليل البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي، في تحسين إدارة المياه ، إلا أن ضعف الاستثمارات المخصصة لهذا المجال مازال يشكل عائقاً أمام تطبيق هذه التقنيات بصورة فعالة ؛حيث تعتمد منظومة المياه المصرية على تقنيات تقليدية بسبب ضعف التمويل المخصص للتحول الرقمي(١٠١) وعلى الرغم من أن الدولة استثمرت نحو ١٠ مليار دولار خلال السنوات الخمس الماضية لتعزيز كفاءة منظومة المياه، وأعادت استخدام حوالي ٢١ مليار متر مكعب من الموارد المائية غير التقليدية(١٠٢) إلا أن هذه الاستثمارات لم تُوجه بشكل كافٍ نحو دعم البنية الرقمية والتحول الذكي، مما ساهم في تباطؤ تطبيق الأدوات الذكية التشغيلية لقطاع المياه، وقلص من القدرة على تطوير منظومة مائية رقمية متكاملة.

٤- نقص الخبرات الرقمية المتخصصة في قطاع المياه : تشير بعض الدراسات إلى وجود نقص واضح في المهارات الرقمية المطلوبة في قطاع المياه في مصر، حيث يعاني خريجو برامج المياه في كليات الهندسة من ضعف جاهزيتهم لسوق العمل، فغالبية هؤلاء الخريجين يفتقرون إلى الكفاءة اللازمة في استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية، والتقنيات الرقمية المرتبطة بالمجال، فضلاً عن ضعف

مهارات تشغيل برامج الحاسوب الخاصة بالمياه والهياكل الهيدروليكية وأنظمة الذكاء الاصطناعي، بينما يظهرون استعداداً جيداً في مهارات أقل أهمية مثل كتابة التقارير واكتساب المهارات الشخصية، إلا أن ذلك لا يتماشى مع الاحتياجات الحقيقية لسوق العمل ،وينعكس هذا القصور بشكل واضح على مستقبل قطاع المياه في مصر، حيث يمثل هؤلاء الخريجون القوة العاملة المستقبلية (١٠٣) وبالتالي فإن ضعف مهاراتهم الرقمية يشكل عائقاً أمام تحقيق كفاءة تشغيلية عالية ومستدامة لقطاع المياه المصري.

٥- غياب استراتيجية رقمية وطنية موجهة لقطاع المياه : رغم وضع الدولة عدة استراتيجيات رقمية في قطاعات حيوية كالتعليم والصحة والعدالة، إلا أن قطاع المياه لا يزال يفتقر إلى استراتيجية رقمية وطنية موجهة له، حيث إن "استراتيجية مصر للتحول الرقمي" الصادرة عن وزارة الاتصالات ركزت على عدد من المحاور المهمة، دون أن تتضمن أي إشارة مباشرة لإدارة الموارد المائية أو تطوير نظمها، رغم أهمية هذا القطاع وارتباطه الوثيق بالأمن القومي (١٠٤) كما أن غياب التنسيق بين شركات المياه ووزارة الموارد المائية والري والجهات المعنية بالاتصالات والتخطيط يؤدي إلى تنفيذ مشاريع رقمية غير متجانسة، إذ تعمل هذه الجهات بشكل منفصل، مما يمنع إنشاء منظومة ذكية متكاملة تجمع البيانات وتحللها لحظة بلحظة لاتخاذ قرارات استباقية لتحسين إدارة الموارد المائية (١٠٥) كما أن غياب آليات الحوكمة الرقمية، التي تُسهم في تعزيز الشفافية والرقابة وتكامل البيانات بين الجهات المختلفة، يُعد أحد مظاهر القصور في الرؤية الاستراتيجية الشاملة للتحول الرقمي في إدارة الموارد المائية، ويؤكد الحاجة إلى إدراج هذا القطاع الحيوي ضمن أولويات التخطيط الرقمي الوطني.

باستقراء ما سبق يتضح أن التحديات التي تواجه استخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه المصري تتنوع بين صعوبات فنية، ومشكلات هيكلية ومؤسسية، تبدأ

من ضعف البنية التحتية الرقمية، ومروراً بعدم تكامل الأنظمة المائية مع الحلول الذكية، وضعف حجم الاستثمارات، وانخفاض التنسيق بين الجهات المعنية، كما أن هناك فجوة واضحة في الكفاءات المتخصصة في المجالات الرقمية المرتبطة بإدارة الموارد المائية، وغياب رؤية استراتيجية واضحة لرقمنة هذا القطاع، إلى جانب غياب آليات الحوكمة الرقمية التي تضمن التكامل والشفافية، وهو ما يؤكد الحاجة إلى تحرك سريع من صانع القرار لوضع قطاع المياه ضمن أولويات التحول الرقمي، بما يحقق إدارة أكثر كفاءة واستدامة للموارد المائية.

الفرع الثاني

دور تطبيقات التكنولوجيا الرقمية

في إدارة الموارد المائية بمصر

رغم التحديات التكنولوجية والرقمية التي تم استعراضها في الفرع الأول، إلا أن مصر بدأت في تنفيذ عدد من المبادرات الرقمية في مجال إدارة المياه، مستفيدة من التقدم العالمي في هذا المجال، بهدف تطوير المنظومة المائية والارتقاء بكفاءتها التشغيلية، وتتضمن هذه المبادرات ما يلي :

١- **تطبيقات أنظمة الري الذكي** : تعتمد هذه التطبيقات على دمج التقنيات الرقمية الحديثة، مثل رقمنة بيانات الشبكات الزراعية واستخدام الأقمار الصناعية والطائرات دون طيار، بهدف تحسين توزيع المياه، وترشيد الاستهلاك، ورفع كفاءة الري (١٠٦) وقد أثبتت بعض الدراسات التطبيقية الحديثة فعالية هذه الأنظمة؛ حيث كشفت دراسة علمية منشورة عام ٢٠٢٥ بعنوان" تصميم وتقييم نظام ري ذكي يعمل بالطاقة الشمسية للزراعة الحضرية المستدامة" أن استخدام نظام ري مزود بحساسات لرطوبة التربة يعمل بالطاقة الشمسية، قد ساهم في تقليل استهلاك المياه بنسبة تصل

إلى ٢٨.١٪ مقارنة بالري التقليدي، كما أظهرت النتائج انخفاض الانبعاثات الكربونية من ٠.٢٥٢ إلى ٠.١٨١ كيلوغرام من ثاني أكسيد الكربون لكل متر مربع سنوياً، وهو ما يعكس دور هذه التقنية في تقليل البصمة الكربونية وتعزيز الاستدامة البيئية في الزراعة، وعلى الصعيد الاقتصادي، أوضحت الدراسة أن النظام يتمتع بجدوى مالية محفزة، حيث بلغ متوسط فترة الاسترداد المالي ما بين ٥ إلى ٦ سنوات، وهو ما يُعزز إمكانية تطبيقه على نطاق أوسع، خاصة في المدن والمجتمعات العمرانية الجديدة. وتعكس هذه النتائج أهمية التوسع في تطبيقات الري الذكي في مصر، ليس فقط في الأراضي الزراعية التقليدية، بل أيضاً في البيئة الحضرية(١٠٧) كما تعمل الدولة على تنفيذ مشروع وطني بالتعاون مع الوكالة الإسبانية لتطبيق نماذج الري الذكي في خمس مزارع تجريبية بعدة محافظات، بهدف تعميم التجربة مستقبلاً على نطاق أوسع، بما يسهم في رفع كفاءة استخدام المياه وتوطين التكنولوجيا الزراعية الحديثة (١٠٨) كما يُعد تطبيق "هدهد" أحد أبرز أدوات التحول الرقمي في القطاع الزراعي، حيث يوفر للمزارعين إرشادات ذكية حول أساليب الري الحديثة، ومواجهة الجفاف، وترشيد استهلاك المياه(١٠٩) مما يعزز من تكامل الجهود التقنية والإرشادية لتحقيق إدارة مستدامة للموارد المائية.

باستقراء ما سبق يتضح أن هناك محاولات لتطبيق تقنيات الري الذكي في بعض المناطق، لكنها ما زالت محدودة النطاق ولا تعكس الواقع الكامل للزراعة في مصر، مما يؤكد الحاجة إلى تعميم هذه النماذج على مستوى أوسع لتحقيق مردود فعلي ومستدام، من أجل تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية ، خاصة أن الري الزراعي يُمثل ما يزيد عن ٨٥% من إجمالي استهلاك المياه في مصر، وهوما يجعل تطوير نظم الري الذكي ضرورة ملحة لتحقيق الاستدامة المائية وتعظيم الجدوى الاقتصادية من كميات المياه المتاحة.

٢- نظم المراقبة والتحكم في شبكات المياه (SCADA) : هي منظومة رقمية متقدمة تُستخدم للمراقبة والتحكم عن بُعد في محطات إنتاج مياه الشرب، عن طريق جمع البيانات وإرسالها إلى مركز تحكم مركزي يعمل على مدار ٢٤ ساعة يومياً. ويهدف هذا النظام إلى ضمان استمرارية التشغيل، وضبط جودة المياه المنتجة وفقاً للمعايير الصحية عبر التحكم في نسب الكلور، ودرجة الحموضة، والعكارة، والضغط، والحد من الفاقد في الشبكات.

كما يسهم في التشغيل التلقائي للطلمبات حسب الطلب، ومراقبة أداء التوربينات، ورفع كفاءة الاستهلاك، إلى جانب احتساب التكلفة الإنتاجية بدقة من خلال برامج رقمية متخصصة (١١٠) وقد بدأ تعميم هذا النظام تدريجياً في العديد من شركات مياه الشرب والصرف الصحي على مستوى الجمهورية ، كما يجري التوسع في استخدام العدادات الذكية لمراقبة استهلاك المياه، مما يسهم في الكشف المبكر عن التسريبات، وتحسين دقة الفوترة، وترشيد الاستهلاك، ورفع وعي المواطنين بأهمية إدارة المياه بكفاءة (١١١) وذلك في إطار جهود الدولة لتحديث البنية التحتية للمرافق المائية.

٣- تطبيقات الإنذار المبكر للأزمات المناخية والبيئية : في ظل تصاعد التحديات المناخية وعلى رأسها السيول المفاجئة، بدأت مصر في اعتماد نماذج رقمية متقدمة للإنذار المبكر، من أبرزها نموذج (Hydro-BEAM) الذي يُستخدم لمحاكاة سلوك السيول في الأودية الجافة بالاعتماد على بيانات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية(GIS)، بما يُسهم في تحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر ووضع خطط فعالة لمشروعات الحماية، وقد أثبت هذا النموذج فاعليته عند تطبيقه في وادي عبادي بالصحراء الشرقية، حيث أظهر قدرة عالية على التنبؤ وتحليل سلوك

الجريان السطحي بدقة (١١٢) بما يعزز من قدرة الدولة على مواجهة الكوارث المناخية.

ومن زاوية أخرى تعمل الدولة على تعزيز برامج الرصد البيئي باستخدام أدوات قياس رقمية ونظم تحليلية دقيقة لمتابعة جودة مياه نهر النيل وفروعه، خاصة في محافظات أسيوط وسوهاج وقنا، والتي أظهرت بعض المؤشرات تجاوزاً للحدود المسموح بها من العناصر الكيميائية.

كما تمتد منظومة الرصد إلى نهايات نهر النيل في دمياط ورشيد، لمتابعة آثار الصرف الصناعي والزراعي قبل المصب، بالاعتماد على ٦٩ نقطة مراقبة موزعة على طول مجرى النهر، والتي تُستخدم فيها تقنيات معيارية في القياس الفيزيائي والكيميائي والبيولوجي، كما يعتمد على تقارير الاستشعار اللحظي من محطات المعالجة لمراقبة نسب الكلور والعكارة والمواد الصلبة، والتدخل الفوري في حال حدوث أي خلل يؤثر على الصحة العامة.

وفي الإطار ذاته يجري تشغيل نظام مراقبة رقمية لمتابعة منسوب المياه الجوفية في منطقة قناة السويس الجديدة، لرصد التغيرات الجيولوجية المبكرة واتخاذ التدابير الوقائية، كما تعمل الجهات المختصة على تطوير نماذج تنبؤية لفيضانات الأمطار قصيرة الأمد، خاصة في المدن التي تعاني من ضعف البنية التحتية لتصريف المياه، وذلك عن طريق تقنيات المحاكاة الرقمية والبيانات الجوية الدقيقة، إلى جانب توظيف صور الأقمار الصناعية في تقنيات الرصد الساحلي لمراقبة التغيرات في الخط الساحلي، ونسب الملوحة، وانتقال الملوثات، وتقييم تأثيرات التغير المناخي وارتفاع منسوب البحر، خاصة في دلتا النيل والمناطق المنخفضة المعرضة لخطر الغمر البحري(١١٣) بما يعزز جهود التخطيط البيئي والاستجابة السريعة والمستدامة لمخاطر التغير المناخي.

٤- **التحلية الذكية لمياه البحر** : تُمثل تحلية مياه البحر خياراً استراتيجياً لمصر في ظل الاعتماد شبه الكامل على نهر النيل وشح الموارد العذبة، وتُسهم سواحل مصر الممتدة لأكثر من ٣٠٠٠ كيلومتر على البحرين الأحمر والمتوسط في ترسيخ جدوى هذا الخيار، وخاصة في المدن الساحلية البعيدة عن مصادر المياه التقليدية ، وتعزز تكنولوجيا التحلية الحديثة من استدامة هذا الحل، حيث تعتمد الدولة على تقنية التناضح العكسي لما تتميز به من كفاءة في إزالة الأملاح وتوفير مياه صالحة للشرب بجودة عالية، إلى جانب التوسع في استخدام الطاقة المتجددة لتشغيل المحطات بهدف تقليل البصمة الكربونية.

كما تُدار المحطات بأنظمة رقمية ذكية تُتيح مراقبة جودة المياه وتحسين كفاءة التشغيل، مع القدرة على التكيف مع التغيرات المفاجئة في نوعية مياه البحر مثل التلوث النفطي أو ارتفاع العكارة، وتُستخدم أدوات التحليل المكاني وبيانات الأقمار الصناعية في اختيار المواقع المناسبة لإنشاء المحطات، وتقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن تصريف المياه المالحة الناتجة عن التحلية، بما يضمن الحد من الضرر على البيئة البحرية ودعم الإدارة المستدامة للمياه، وتُعد محطة اليسر بالغردقة نموذجاً متقدماً لهذا التوجه، حيث تخدم السكان والقطاع السياحي، وتُدار بأنظمة رقمية دقيقة من أجل تحقيق مستويات عالية من الكفاءة البيئية، كما تشمل خطة التوسع محطات جديدة في العين السخنة ، حيث تُعد من أكبر محطات تحلية المياه في العالم بطاقة تصميمية تبلغ نحو ١٦٤,٠٠٠ متر مكعب يومياً، إلى جانب محطات أخرى في العلمين ومرسى علم وشمال سيناء، بهدف تخفيف الضغط عن نهر النيل، وتوفير مصادر بديلة للمياه في المناطق الساحلية (١١٤) وفي ضوء ذلك تشير البيانات الحكومية إلى أن عدد محطات تحلية مياه البحر العاملة حالياً في مصر تبلغ ١١

محطة، بقدرة إنتاجية تُقدر بنحو ٤٨٥ ألف متر مكعب يومياً، مع وجود توسعات جارية من المتوقع أن تُضيف ٢٢٥ ألف متر مكعب يومياً، ليصل الإجمالي إلى نحو ٧١٠ ألف متر مكعب يومياً.

وتُعد هذه الجهود جزءاً من استراتيجية وطنية شاملة تمتد حتى عام ٢٠٥٠، تهدف إلى تعزيز الأمن المائي عن طريق توطين تكنولوجيا التحلية، وتنفيذ مشروعات جديدة بإجمالي إنتاج مستهدف يصل إلى ٢,٦٥٥ مليون متر مكعب يومياً خلال المرحلة الأولى (٢٠٢٥-٢٠٣٠) بما يسهم في تحقيق الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة(١١٥) والخاص بضمان توفير مياه نظيفة آمنة للجميع .

٥- **التدوير الرقمي لمياه الصرف** : في ظل توجه الدولة لتعظيم الاستفادة من الموارد غير التقليدية، أصبح تدوير مياه الصرف باستخدام التقنيات الرقمية أحد الحلول المحورية لتحقيق الأمن المائي، وتعمل مصر على التوسع في إنشاء محطات معالجة متطورة تُدار بأنظمة ذكية ، بما يساعد على ضمان الاستمرارية التشغيلية والتعامل مع المتغيرات البيئية بشكل أكثر فاعلية ، ويبلغ عدد محطات المعالجة في مصر أكثر من ٤٢٠ محطة تعمل معظمها بتقنيات المعالجة الثلاثية ، والحمأة النشطة وهي تقنية تعتمد على بكتيريا حية لتحليل الملوثات العضوية في المياه.

وتُستخدم المياه المعالجة في ري الغابات الشجرية أو تغذية الخزانات الجوفية، بإجمالي مليون متر مكعب يومياً، و تُعد محطة الجبل الأصفر بقدرة معالجة تصل إلى ٢.٥ مليون متر مكعب يومياً، الأكبر في الشرق الأوسط والثانية على مستوى العالم، وتُدار إلكترونياً بالكامل لخدمة أكثر من ٢.٥ مليون نسمة.

كما نفذت الدولة عدداً من المشروعات الكبرى لمعالجة مياه الصرف الزراعي، من أبرزها محطة بحر البقر بقدرة معالجة ٥.٦ مليون متر مكعب يومياً، ومحطة الحمام بقدرة ٧.٥ مليون متر مكعب يومياً، وذلك ضمن بنية تحتية ضخمة

تضم سحارات أسفل قناة السويس، ومحطات رفع وتحكم بطول يتجاوز ١٧٠ كيلومتر، من أجل توصيل المياه إلى مناطق الاستصلاح الزراعي في سيناء والساحل الشمالي (١١٦) وتُعد هذه المشروعات ركيزة أساسية لتحقيق الأمن المائي والزراعي في مصر.

باستقراء ما سبق يتضح أن مصر قد بدأت في دمج التكنولوجيا الرقمية في إدارة الموارد المائية، عن طريق تطبيقات الري الذكي، ونظم التحكم عن بُعد، وتقنيات تحلية المياه، وتدوير مياه الصرف، بهدف رفع كفاءة التشغيل، وتقليل الفاقد، وتعزيز الاستفادة من الموارد غير التقليدية، حيث تزداد أهمية هذا التوجه في ظل الضغوط السكانية المتزايدة، والتحديات المناخية المتسارعة ، فضلاً عن الآثار المترتبة على بناء وتشغيل سد النهضة الإثيوبي، مما يجعل التحول الرقمي ركيزة جوهرية لتعزيز الأمن المائي وضمان استدامته في المستقبل.

الخاتمة

تُعد التكنولوجيا الرقمية من النظم المحورية في مواجهة تحديات المياه المعقدة التي تُعاني منها مصر، خاصة في ظل التزايد السكاني، والتغيرات المناخية، والآثار المترتبة على بناء وتشغيل سد النهضة الإثيوبي.

وقد استعرض البحث موضوع التحول الرقمي باعتباره أحد المسارات الأساسية نحو تحقيق إدارة حديثة وشاملة للموارد المائية.

ففي المبحث الأول تم تناول الإطار النظري لفهم ماهية التكنولوجيا الرقمية، ودورها في تطوير أداء القطاعات الحيوية، مع التركيز على أهميتها في إدارة المياه.

ثم تناول المبحث الثاني تجارب دولية ناجحة في إدارة الموارد المائية عن طريق التكنولوجيا الرقمية ، حيث تم استعراض تجربتي سنغافورة والمملكة العربية السعودية، فعلى الرغم من اختلاف الدولتين عن بعضهما من حيث المساحة والطبيعية والمناخ ، إلا أنهما تتشابهان في كونهما لا تمتلكان أنهاراً، حيث يعتمد كل منهما بشكل رئيسي على المياه الجوفية، ومياه الأمطار، وتحلية مياه البحر، وإعادة تدوير مياه الصرف، في تأمين احتياجاتهما المائية.

أما المبحث الثالث، فقد تناول تجارب دول تعمل في بيئات مائية متأزمة، مثل أستراليا وجنوب أفريقيا، بما يبرهن على قدرة الحلول الرقمية على التعامل مع الندرة والجفاف.

ثم تناول المبحث الرابع أهم التحديات التي تواجه الموارد المائية في مصر، مثل التراجع المستمر في نصيب الفرد من المياه نتيجة النمو السكاني المتسارع، والتغيرات المناخية، بالإضافة إلى أزمة سد النهضة الإثيوبي، والاعتماد شبه الكامل على نهر النيل كمصدر رئيسي للمياه.

وفي المبحث الخامس تناول البحث السياسات المصرية الحالية، ومساعي الدولة في دمج التكنولوجيا الرقمية في مختلف مجالات إدارة المياه، من الري الذكي، وأنظمة التحكم عن بُعد، إلى تحلية مياه البحر وتدوير مياه الصرف، بما يعكس توجه الحكومة نحو التحول الرقمي كأداة محورية لتحقيق الاستدامة المائية.

لذلك يُمهد هذا البحث الطريق نحو تطوير سياسات أكثر تكاملاً، عن طريق الاعتماد على النظم الرقمية المتقدمة، بما يواكب التغيرات المناخية والبيئية المتسارعة، ويُسهم في ترسيخ الأمن المائي على المدى المتوسط والبعيد، بما يتماشى مع الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة، والمتعلق بضمان توفير المياه النظيفة وخدمات الصرف الصحي للجميع.

نتائج الدراسة

توصلت الدراسة إلى النتائج التالية :

أولاً : وجود ارتباط جوهري بين توظيف التكنولوجيا الرقمية وتحقيق كفاءة عالية في إدارة الموارد المائية، من خلال دورها في ترشيد الاستهلاك، وتحسين التوزيع، وتقليل الفاقد، ودعم تقنيات التحلية والاستكشاف، فضلاً عن تعزيز قدرة المؤسسات على التنبؤ بالظروف المناخية والتعامل مع التحديات الطارئة بمرونة ويسر.

ثانياً : أظهرت التجارب الدولية محل الدراسة أن التكنولوجيا الرقمية تُعد عاملاً جوهرياً في مواجهة الندرة المائية، لما توفره من نظم ذكية للرصد والتحكم والتوزيع، كما تُسهم في تعزيز الأمن المائي.

ثالثاً : تُواجه مصر تحديات متزايدة في ظل ندرة الموارد المائية، أبرزها الاعتماد شبه الكامل على نهر النيل، إلى جانب النمو السكاني المستمر، واستمرار الاعتماد على نظم ري تقليدية منخفضة الكفاءة ، وتزداد حدة هذه التحديات بفعل تأثيرات التغيرات المناخية، إلى جانب التهديد الذي يُمثله سد النهضة الإثيوبي في ظل غياب اتفاق قانوني مُلزم ينظم عمليات الملء والتشغيل، مما يُفاقم فجوة العجز المائي في مصر.

رابعاً: وجود فجوة رقمية بين مصر والدول التي تبنت التكنولوجيا الرقمية في قطاع المياه، مما يعكس ضعف استخدام الأنظمة الرقمية محلياً، إذ يقتصر تطبيقها على مشروعات محدودة، دون أن يتطور إلى توجه مستدام، مما يحد من توسيع الاستفادة من الحلول الذكية ضمن منظومة متكاملة لإدارة الموارد المائية.

خامساً : يُعد ضعف أدوات الحوكمة وغياب التنسيق المؤسسي من أهم التحديات أمام التحول الرقمي في قطاع المياه المصري، في ظل غياب جهة موحدة تتولى التنسيق بين الجهات المعنية، ولعل من المفارقات أن شركات مياه الشرب والصرف الصحي

تخضع إدارياً لوزارة الإسكان بدلاً من وزارة الري و الموارد المائية، مما يُضعف القدرة على بناء منظومة موحدة تُسهم في تحقيق الإدارة الذكية والمستدامة للموارد المائية.

التوصيات

في ضوء النتائج التي توصل إليها البحث ، توصي الدراسة بالآتي:

أولاً : يجب التوسع في استخدام التكنولوجيا الرقمية في جميع القطاعات المرتبطة باستهلاك المياه، كما يجب تطوير منظومة وطنية ذكية لإدارة الموارد المائية تقوم على التكامل بين قواعد البيانات وتطبيقات الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، ونظم المعلومات الجغرافية، بحيث تُدار الدورة المائية بالكامل من المصدر إلى المستخدم النهائي عبر واجهة رقمية موحدة.

ثانياً : يجب التوسع في استخدام أنظمة الري الذكي القائمة على الاستشعار والتحكم الآلي، بما يحقق الاستخدام الأمثل للمياه في القطاع الزراعي، إلى جانب إطلاق برامج توعية رقمية تستهدف تغيير سلوك المستهلكين وتحفيزهم على الترشيد، بما يحقق التكامل بين التكنولوجيا الحديثة والمشاركة المجتمعية لتحقيق الأمن المائي.

ثالثاً : يجب إنشاء "كلية تكنولوجيا المياه والبيئة" لتجمع تحت مظلتها مختلف التخصصات المرتبطة بإدارة الموارد المائية، مثل الجيولوجيا، والهندسة، والزراعة، والجغرافيا، والتكنولوجيا الرقمية، ويهدف هذا النموذج إلى إعداد كوادر مؤهلة علمياً وتقنياً، قادرة على التعامل مع تحديات الملف المائي من منظور متعدد التخصصات، بما يُعزز من كفاءة إدارة الموارد، ويدعم توجه الدولة نحو التحول الرقمي والاستدامة البيئية.

رابعاً: يجب إعادة هيكلة منظومة إدارة الموارد المائية ، وتوحيد الجهات المعنية تحت مظلة مؤسسية موحدة، لضمان التنسيق والتكامل في السياسات والتنفيذ، كما ينبغي

نقل تبعية شركات مياه الشرب والصرف الصحي إلى وزارة الري والموارد المائية، وتشكيل لجنة وطنية دائمة تضم ممثلين عن الوزارات المعنية، ومن ضمنها وزارة الاتصالات، لضمان الربط بين الرؤى التقليدية والحلول الرقمية في إدارة ملف المياه.

خامساً: يجب وضع سياسة وطنية لدعم الابتكار المحلي في تكنولوجيا المياه، عن طريق إنشاء صندوق وطني يمول الأبحاث التطبيقية والمشروعات الناشئة في مجالات التحلية منخفضة التكلفة ، كما يتطلب ذلك إصدار تشريعات محفزة تضمن تحويل البحوث المبتكرة إلى تطبيقات ميدانية في القطاعات الحيوية، بما يعزز الأمن المائي القائم على المعرفة والابتكارات التكنولوجية.

الهوامش

(1)Tove A. Larsen& Sabine Hoffmann& Christoph Lüthi & et.al, Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world , Science Journals , Vol. 352, No. 6288, 2016,P928.

(٢) حكيمة جاب الله ، فريدة بن عمروش ، التكنولوجيا الرقمية : قراءة في المفاهيم وبعض الأبعاد النظرية، المجلة العلمية للتكنولوجيا وعلوم الإعاقة، مجلد ٣، العدد ١، ٢٠٢١، ص١٢٣-١٢٤.

(3) Samer Faraj & Paul M Leonardi ,Strategic organization in the digital age: Rethinking the concept of technology, Strategic Organization, Vol. 20,Issu4,2022,P772.

(4) https://www.albankaldawli.org/ar/news/press-release
تم الاطلاع يوم ٤-٦-٢٠٢٥

(5)https://blogs.worldbank.org/ar/voices/digital-development/how-can-developing-countries-make-most-digital-revolution
تم الاطلاع يوم ٥-٦-٢٠٢٥

(6)Johannes Vrana& Ripi Singh ,Digitalization, and Digital Transformation, Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0,Springer,2021,PP2-3.

(7) Apurva Goel& Snehal Masurkar& Girish R. Pathade, An Overview of Digital Transformation and Environmental Sustainability: Threats, Opportunities, and Solutions, Sustainability,Vol.16,Isuue.24,2024,P4.

(8) https://institute.global/insights/news/ai-could-save-government
تم الاطلاع يوم ٥-٦-٢٠٢٥

(9)Aditya Dinesh Gupta& Prerna Pandey& Andrés Feijóo& et.al, Smart Water Technology for Efficient Water Resource Management: A Review, Energies,Vol.13,Issu23,2020,P3.

(10)Vincenzo Levizzani& Elsa Cattani, Satellite Remote Sensing of Precipitation and the Terrestrial Water Cycle in a Changing Climate,MDPI,P1.

(11)Vincenzo Levizzani& Elsa Cattani, op.cit,P1.

(12) https://www.esri.com/ar-sa/what-is-gis/overview, تم الاطلاع يوم ٥-٦-٢٠٢٥

(13)Eustace M. Dogo& Abdulazeez Femi Salami& Nnamdi I. Nwulu& et.al, Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System,Springer,2019,PP130-132.

(14) Nirmalya Kumar Nath& Leena Rani Mishra& Pritam Das& et.al, Hydrological Modeling and Simulation for Water Resource Assessment by Nirmalya Kumar Nath on 15 July 2024,PP30-31.

(15)Five advantages of digital sustainability in the water sector, Water Industry Journal, https://www.waterindustryjournal.co.uk/five-advantages-of-digital-sustainability-in-the-water-sector
تم الاطلاع يوم ٦-٦-٢٠٢٥

(16)Christina Walter, Digital Technologies for the Future of the Water Sector? Examining the Discourse on Digital Water, Geoforum, Vol.148,2024,PP2-4.

(17)The Value of Water Towards A Water –Smart Society, Water Europe-Technology&Innovation,2024,P4.

(18) Aditya Dinesh Gupta& Prerna Pandey& Andrés Feijóo& et.al, op.cit ,PP4-6.

(19) Chandan Banerjee & Anik Bhadur & Chitresh Saraswat, Digitalization in Urban Water Governance: Case Study of Bengaluru and Singapore, Policy and Practice Reviews Article, Vol. 10,2022,P5.

(20) Peter Joo Hee Ng, Singapore: Transforming Water Scarcity into a Virtue,Springer,2018,P180.

(21) Peter Joo Hee Ng,op.cit, P180.

(22) https://www.pub.gov.sg/AboutUs تم الاطلاع يوم ١٣-٦-٢٠٢٥

(23) Mark Usher, Desali-nation: Techno-diplomacy and hydraulic state restructuring through reverse osmosis membranes in Singapore, Wiley, Vol.44,Issue.1,PP116-118.

(24)Geoffrey Ssekyanzi& Mirza Junaid Ahmad& Kyung-Sook Choi, Sustainable Solutions for Mitigating Water Scarcity in Developing Countries: A Comprehensive Review of Innovative Rainwater Storage Systems,Mdpi,Vol.17,Issue16,2024,P7.

(25)M. Lafforgue& V. Lenouvel ,op. cit, P 628.

(26)M. Amin Mir& M. Waqar Ashraf, The challenges and potential strategies of Saudi Arabia's water Resources: A review in analytical way,Vol.20,2023,P2.

(27) https://www.stats.gov.sa ,تم الاطلاع يوم ١٤-٦-٢٠٢٥

(28)Mirza Barjees Baig& Yahya Alotibi & Gary S. Straquadine & et.al, Water Resources in the Kingdom of Saudi Arabia: Challenges and Strategies for Improvement, Springer 2020,P 136.

(29)https://www.mewa.gov.sa/ar/Ministry/Agencies/TheWaterAgency/Topics/Pages/Strategy٢٠٢٥ -٦-١٥ تم الاطلاع يوم

(30) Amal H. Aljaddani, M.S, The land use history, economic drivers, and future trends of urban growth in Saudi Arabia, Texas Tech University,P55.

(31)https://www.aleqt.com/2025/03/12/article_2758419.html
الاطلاع يوم ١٥-٦-٢٠٢٥

(31)https://www.mewa.gov.sa/ar/Ministry/Agencies/TheWaterAgency/Topics/Pages/Strategy٢٠٢٥ -٦-١٥ تم الاطلاع يوم

(٣٢) عبد الله زارع عبد الحميد العلوني، دور رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠في تحقيق استدامة الموارد البيئية ، مجلة الأندلس للعلوم الإنسانية والاجتماعية ، العدد ١١٦ ، المجلد ١٢، ٢٠٢٥، ص ٢٥٢.

(٣٣) تقرير الابتكار المائي في المملكة العربية السعودية، وزارة البيئة والزراعة، ٢٠٢١،ص٦.

(34)https://www.nwc.com.sa/AR/pages/smartmeters.aspx
تم الاطلاع يوم ١٦-٦-٢٠٢٥

(٣٥) وزارة البيئة والمياه والزراعة، المهندس الفضلي: ١٨ مليون متر مكعب الطلب على المياه بحلول ٢٠٣٠ ،٩٠% لمياه التحلية.

https://www.mewa.gov.sa/ar

(36)https://www.mewa.gov.sa/ar/MediaCenter/News/Pages/News
الاطلاع يوم ١٦-٦-٢٠٢٥

(٣٧) الابتكار الزراعي في المملكة العربية السعودية، خارطة طريق تبني التقنيات، وزارة البيئة والمياه والزراعة،٢٠٢٤،ص١٢.

(38) https://services.amana-md.gov.sa/NewAmanaWebsite/Privacy
تم الاطلاع يوم ١٦-٦-٢٠٢٥

(٣٩) الابتكار الزراعي في المملكة العربية السعودية، مرجع سابق، ص٣٦.

(40) https://www.mewa.gov.sa/ar/Pages/default.aspx
تم الاطلاع ١٦-٦-٢٠٢٥

(٤١) قانون تنظيم المياه رقم ١٥٩ لسنة ١٤٤١- ٢٠٢٠، مجلس الوزراء – المملكة العربية السعودية.

(42) https://istitlaa.ncc.gov.sa/ar/Civil/maee
تم الاطلاع ١٧-٦-٢٠٢٥

(43)Stefanie Schulte& Georgina Davis& Jennifer Brown , Water Security: Challenges to the Irrigation Water-Energy Nexus in Australia,Springer,2019,P119.
(44)Tim D. Fletcher& Ana Deletic, V. Grace Mitchell &Belinda E. Hatt, Reuse of Urban Runoff in Australia: A Review of Recent Advances and Remaining Challenges, Volume37, Issue5, 2008,PP116-119.
(45)Stefanie Schulte& Georgina Davis& Jennifer Brown ,op.cit,P120.
(46)https://www.agriculture.gov.au/abares/research-topics/water/the-impacts-of-further-water-recovery تم الاطلاع يوم ١٠-٦-٢٠٢٥
(47) National Water Reform 2020, Commonwealth of Australia, No. 96, 28 May 2021,PP 105-112.
(48) Benny Z. Rousso & Nhu C. Do & Li Gao & et.al, Transitioning practices of water utilities from reactive to proactive: Leveraging Australian best practices in digital technologies and data analytics, Journal of Hydrology 641,2024,P5.
(49) Benny Z. Rousso & Nhu C. Do & Li Gao&et.el,op.cit,P7.
(50) https://www.csiro.au/en/research/natural-environment/water/waterwise تم الاطلاع يوم ١٢-٦-٢٠٢٥
(51)https://eng.unimelb.edu.au/industry/water/research/precision-agriculture-and-remote-sensing تم الاطلاع يوم ١٢-٦-٢٠٢٥
(52)Water Governance and Water Futures in the United States and Australia, Volume 65 Issue 2 ,2025,PP233-234.
(53) Water Governance and Water Futures in the United States and Australia,op.cit,PP 203-204.
(54) Anja du Plessis, South Africa's Water Predicament : Freshwater's Unceasing Decline,Spriger ,2023,P42.
(55) Anja du Plessis, op.cit,P43.
(56) Jeremiah Mutamba, Water security: Is South Africa optimally pursuing its options? Trans Ecol Environ , Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 239, 2019, PP 47–54.
(57) GreenCape , Water: Market Intelligence Report—2020,PP5-7.
(58)Mark New, Climate change and water resources in the southwestern Cape, South Africa , South African Journal of Science Vol. 98, No. 7,2002,PP373-376.
(59) Amanda Mokoena, Questioning Day Zero: Rights, Provision, and Water Inequality in South Africa, Human Organization, Vol. 82, Issue. 3, 2023,PP223-234.

(60) M.J. Booysen& M. Visser& R. Burger, Temporal case study of household behavioural response to Cape Town's "Day Zero" using smart meter data, Water Research,Vol. 149 , Elsevier ,2018, P415.

(61)https://businesstech.co.za/news/industry-news/393035/why-technology-is-south-africas-water-lifeline تم الاطلاع يوم ٢٤-٦-٢٠٢٥

(62) Layth Abdulameer & Najah M. L. Al Maimuri & Ala Hassan Nama&et.el, The Role of Artificial Intelligence in Managing Sustainable Water Resources: A Review of Smart Solution Implementations, Water Conservation & Management,Vol.9,Issue.2, 2025 ,PP281-291.

(63) Maria Sigopi& Cletah Shoko& Timothy Dube, Advancements in remote sensing technologies for accurate monitoring and management of surface water resources in Africa: an overview, limitations, and future directions, Geocarto International ,2024,P9.

(64) Maria Sigopi & Cletah Shoko& Timothy Dube,op.cit,PP10-12.

(65) George van Zijl & Pieter Le Roux , Creating a conceptual hydrological soil response map for the Stevenson Hamilton Research Supersite Kruger National Park, South Africa , Department of Soil, Crop and Climate, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa,2014,P331.,

(66) M Fanadzo &Cornelius Chiduza&Pearson N S Mnkeni, Overview of smallholder irrigation schemes in South Africa: Relationship between farmer crop management practices and performance, African Journal of Agricultural Research Vol. 5,Issue.25,2010,P3521.

(67) Charles Samuel Mutengwa&Pearson Mnkeni&Aleck Kondwakwenda, Climate-Smart Agriculture and Food Security in Southern Africa: A Review of the Vulnerability of Smallholder Agriculture and Food Security to Climate Change, Sustainability,Vol.15,Issue.4,2023,P1.

(68)Batizi Serote& Salmina Mokgehle& Christian Du Plooy & et.al, Factors Influencing the Adoption of Climate-Smart Irrigation Technologies for Sustainable Crop Productivity by Smallholder Farmers in Arid Areas of South Africa,Mdpi,Vol.11,Issue.12,2021,PP14-15.

(٦٩) علي الدين هلال ، تحديات الأمن القومي العربي في العقد القادم ، منتدى الفكر العربي ، سلسلة الحوارات العربية ، عمان ١٩٨٠، ص ٨٠.

(٧٠) ماتسون بطول ، السلم المسلح ، ترجمة أكرم دبري ، المكتبة العصرية ، بيروت ، ١٩٧١، ص١٣٢.

(٧١) عبد المنعم المشاط ، الأزمة الراهنة للأمن القومي العربي ، مجلة الفكر الإستراتيجي العربي، العدد ٧ ، ١٩٨٣، ص١٥٢

(٧٢) السيد أحمد علي بدوي، محاضرات في تاريخ القانون ، مطبعة جامعة المنصورة ، دون سنة نشر ،ص٣٤-٣٥.

(٧٣) الأمن القومي المصري قديماً وحديثاً ، المركز المصري لدراسات الشرق الأوسط، https://ncmes.org/3752 تم الاطلاع يوم ٣١-٥- ٢٠٢٥

(٧٤) طه محمد السيد ، مفهوم الأمن القومي، أكاديمية ناصر العسكرية للدراسات العليا، العدد الأول ، السنة الأولى، يناير ٢٠٢٣، ص١٢٩.

(75) Sheila R. Ronis ,Economic security, Neglected Dimension OF National Seccurity?,Senter For Strategic Conferencing Institute For National Strategic Studies,2011,PP2-8.

(76) Domenica Mirauda& Marco Ostoich, Assessment of Pressure Sources and Water Body Resilience: An Integrated Approach for Action Planning in a Polluted River Basin,Mdpi,Vol.15,Issu.2,2018, P6.

(77) Domenica Mirauda &Nicola Capece&Ugo Erra, Sustainable Water Management: Virtual Reality Training for Open-Channel Flow Monitoring, Mdpi,Vol.12, Issue .3,2020,P2.

(78) Domenica Mirauda &Nicola Capece&Ugo Erra,op.cit,P3.

(79) Christina Cook& Karen Bakker, Water security: Debating an emerging paradigm, Global Environmental Change,vol 1,Issue 22,2011,PP 97-98.

(80) https://www.fao.org/faoterm/viewentry/ar/?entryId=99713 تم الاطلاع يوم ٢٢-٢-٢٠٢٥

(٨١) محمد شوقي الفنجري ، أزمة المياه – المشكلة والحل من منظور إسلامي ، مجمع البحوث الإسلامية بالأزهر،٢٠١١، ص ٧١-٧٢ .

(٨٢) تقرير التنمية البشرية ، ٢٠٠٦، ص ٣.

(83)World water assessment programe, united nations world water development report3: water in achaming world, UNESC. Publishing,UMESCO, Paris,2009.

(٨٤) سورة الأنبياء ، آية ٣٠.

(٨٥) أبي عبد الله محمد بن أحمد بن أبي بكر القرطبي ، الجامع لأحكام القرآن والمبين لما تضمنه من السنة وآية الفرقان ، الجزء الرابع عشر ،ص ١٩٧– ١٩٨ ، مؤسسة الرسالة ٢٠٠٦

(٨٦) رضا راضي& محي عمر، تقييم الوضع الحالي وخارطة طريق للسياسات المستقبلية، حلول للسياسات البديلة، يوليو ٢٠١٨، ص٦.

(87)https://www.eeaa.gov.eg/Topics تم الاطلاع يوم ١-٦-٢٠٢٥

(٨٨) دراسة الموارد المائية وترشيد استخدامها في مصر ، الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء، إصدار إبريل ٢٠١٤، ص ٩.

(89)https://water.fanack.com/ar/egypt/water-use-in-egypt/ الاطلاع ١-٦-٢٠٢٥

(90) https://www.mwri.gov.eg الاطلاع يوم ١٨-٧-٢٠٢٥
الجيل الثاني لمنظومة الري المصرية

(91)Radwan G. Abd Ellah, Water resources in Egypt and their challenges, Lake Nasser case study, Egyptian Journal of Aquatic Research 46, (2020),P1.

(92) El-Sayed E. Omran & Abdelazim M. Negm, Introduction to "Technological and Modern Irrigation Environment in Egypt: Best Management Practices and Evaluation", Springer,2020,P3.

(٩٣) رضا راضي& محي عمر، مرجع سابق ، ص ١٤–١٥.

(٩٤) تقرير حالة البيئة في مصر لعام ٢٠٠٤، وزارة البيئة ،٢٠٠٥، ص٣٢–٣٣.

(٩٥) مصر وقضية المياه ، الهيئة العامة للاستعلامات
https://www.sis.gov.eg/Storyتم الاطلاع يوم ١- ٧- ٢٠٢٥

(٩٦) استراتيجية تنمية وإدارة الموارد المائية حتى عام ٢٠٥٠، وزارة الموارد المائية والري ، ٢٠١٦، ص٩-١٣.

(٩٧) استدامة المياه في مصر، الجزء الأول : استراتيجيات الأمن المائي المصري حتى ٢٠٥٠ في ظل الآثار المحتملة لسد النهضة ، العدد رقم ٥، ٢٠٢١.

(٩٨) استراتيجية تنمية وإدارة الموارد المائية حتى عام ٢٠٥٠ ، مرجع سابق ، ص ١٩–٢٤.

(٩٩) التحول الرقمي بالشركة القابضة للمياه "استراتيجية تطبيقية مستدامة"
https://www.hcww.com.eg/ تم الاطلاع يوم ١٥-٧-٢٠٢٥

(١٠٠) محمد عبد الفتاح أحمد الباروجي ، دور قطاع الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات في تحقيق التنمية المستدامة في مصر – دراسة تحليلية مقارنة، رسالة دكتوراه – جامعة عين شمس ، ٢٠٢٥، ص٤١١-٤١٦.

(101) https://www.idrica.com/blog/digital-transformation-of-water-utilities-in-the-middle-east-challenges-and-opportunities/?utm_source=chatgpt.com
تم الاطلاع يوم ١٥-٧-٢٠٢٥.

(102) https://sis.gov.eg/Story/281425/ النسخة السابعة من أسبوع القاهرة للمياه
تم الاطلاع يوم ١٦-٧-٢٠٢٥

(103) Mohammad Al Mestiraih& Kurt Becker& Ryan Dupon & et.al, Examining the Preparedness of Water Program Graduates in Egypt: Industries Perspective, Middle East Journal of Applied Science & Technology Vol.4, Iss.4, 2021,PP70-71.

(104) https://mcit.gov.eg/ar/ICT_Strategy تم الاطلاع يوم ١٧-٧-٢٠٢٥
استراتيجية مصر ٢٠٣٠ في الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات ، بتصرف من الباحث.

(105) Zeina ElZein& Amal Abdou & Ina Säumel, Lessons learned from water-scarce cities: Proposed policies toward an integrated urban water management in Egypt, Frontiers in Water ,Vol.4,2022,PP15-16.

(106) https://www.mwri.gov.eg تم الاطلاع يوم ١٨-٧-٢٠٢٥
الجيل الثاني لمنظومة الري المصرية، مرجع سابق .

(107) Mahmoud A.Abdelhamid & Tarek Kh.Abdelkader &Hassan A. A. Sayed& et.el, Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture , Scientific Reports, Vol 15,2025,P17.

(108) https://www.dailynewsegypt.com تم الاطلاع يوم ١٨-٧-٢٠٢٥

(109) https://moa.gov.eg/ar/ministry-activities/news تم الاطلاع يوم ٢٠-٧-٢٠٢٥

(110) https://alexwater.com.eg تم الاطلاع يوم ٢٠-٧-٢٠٢٥
تعريف نظام الاسكادا .

(111) https://www.hcww.com.eg تم الاطلاع يوم ٢٠-٧٠-٢٠٢٥

(112) M. Abdel-Fattah & S.A. Kantoush & T. Sumi, Flash Floods Mitigation Using Structural Measures In Egypt , Towards a Sustainable Water Future , ISBN 978-0-7277-6525-3 , 2021, P 309.

(١١٣) تقرير حالة البيئة لعام ٢٠٢١، وزارة البيئة ، ٢٠٢١، ص ٦٣-٦٤.

(114) Ali Nada & Mona G. Ibrahim& Mohamed Elshemy& et.al, Integrated water quality and performance assessment of seawater desalination plants along two coasts in Egypt , Elsevier,Vol.586,2024.

(115) https://www.cabinet.gov.eg/News/Details تم الاطلاع يوم ٢٠-٧-٢٠٢٥

(116)https://www.sis.gov.eg/Story/232476 تم الاطلاع يوم ٢١-٧-٢٠٢٥

المراجع العربية:

أولا : الكتب :

١- الابتكار الزراعي في المملكة العربية السعودية – خارطة طريق تبني التقنيات، وزارة البيئة والمياه والزراعة، ٢٠٢٤.

٢- أبي عبد الله محمد بن أحمد بن أبي بكر القرطبي ، الجامع لأحكام القرآن والمبين لما تضمنه من السنة وآية الفرقان ، الجزء الرابع عشر ،ص ١٩٧- ١٩٨ ، مؤسسة الرسالة ٢٠٠٦.

٣- استراتيجية تنمية وإدارة الموارد المائية حتى عام ٢٠٥٠، وزارة الموارد المائية والري، ٢٠١٦.

٤- السيد أحمد علي بدوي، محاضرات في تاريخ القانون، مطبعة جامعة المنصورة، دون سنة نشر.

٥- قانون تنظيم المياه رقم ١٥٩ لسنة ١٤٤١هـ - ٢٠٢٠م، مجلس الوزراء – المملكة العربية السعودية.

٦- ماتسون بطول، السلم المسلح، ترجمة أكرم دبري، المكتبة العصرية، بيروت، ١٩٧١.

ثانيا : المقالات والأبحاث والدوريات والمؤتمرات :

١- استدامة المياه في مصر، الجزء الأول : استراتيجيات الأمن المائي المصري حتى ٢٠٥٠ في ظل الآثار المحتملة لسد النهضة ، العدد رقم ٥، ٢٠٢١.

٢-تقرير الابتكار المائي في المملكة العربية السعودية، وزارة البيئة والزراعة، ٢٠٢١:

٣-تقرير التنمية البشرية ، ٢٠٠٦.

٤- تقرير حالة البيئة في مصر لعام ٢٠٠٤، وزارة البيئة، ٢٠٠٥.

٥- حكيمة جاب الله، فريدة بن عمروش، *التكنولوجيا الرقمية: قراءة في المفاهيم وبعض الأبعاد النظرية*، المجلة العلمية للتكنولوجيا وعلوم الإعاقة، مجلد ٣، العدد ١، ٠١٢٤.

٦- دراسة الموارد المائية وترشيد استخدامها في مصر ، الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء ، إصدار إبريل ٢٠١٤.

٧- رضا راضي، محي عمر، *تقييم الوضع الحالي وخارطة طريق للسياسات المستقبلية*، حلول للسياسات البديلة، يوليو ٢٠١٨.

٨- طه محمد السيد، *مفهوم الأمن القومي*، أكاديمية ناصر العسكرية للدراسات العليا، العدد الأول، السنة الأولى، يناير ٢٠٢٣.

٩- عبد الله زارع عبد الحميد العلوني، دور رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠ في تحقيق استدامة الموارد البيئية، مجلة الأندلس، المجلد ١٢، العدد ١١٦، ٢٠٢٥.

١٠-عبد المنعم المشاط، *الأزمة الراهنة للأمن القومي العربي*، مجلة الفكر الإستراتيجي العربي، العدد ٧، ١٩٨٣.

١١- علي الدين هلال، *تحديات الأمن القومي العربي في العقد القادم*، منتدى الفكر العربي، سلسلة الحوارات العربية، عمان، ١٩٨٠.

١٢- محمد شوقي الفنجري، *أزمة المياه – المشكلة والحل من منظور إسلامي*، مجمع البحوث الإسلامية بالأزهر،٢٠١١.

١٣- محمد عبد الفتاح أحمد الباروجي، *دور قطاع الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات في تحقيق التنمية المستدامة في مصر – دراسة تحليلية مقارنة*، رسالة دكتوراه – جامعة عين شمس،٢٠٢٥.

ثالثا : مواقع علي الانترنت باللغة العربية

1- https://www.esri.com/ar-sa/what-is-gis/overview
2- https://www.stats.gov.sa
3-https://www.mewa.gov.sa/ar/Ministry/Agencies/TheWaterAgency/Topics/Pages/Strategy
4- https://www.aleqt.com
5/https://www.mewa.gov.sa/ar/Ministry/Agencies/TheWaterAgency/Topics/Pages/Strategy
6- https://www.nwc.com.sa/AR/pages/smartmeters.aspx
7- https://www.mewa.gov.sa/ar
8- https://www.mewa.gov.sa/ar/MediaCenter/News/Pages/News
9- https://services.amana-md.gov.sa/NewAmanaWebsite/Privacy

10- https://www.mewa.gov.sa/ar/Pages/default.aspx
11- https://istitlaa.ncc.gov.sa/ar/Civil/maee
12- https://ncmes.org
13- https://www.fao.org/faoterm/viewentry/ar
14- https://www.eeaa.gov.eg/Topics
15- https://water.fanack.com/ar/egypt/water-use-in-egypt/
16- https://www.mwri.gov.eg
17- https://www.sis.gov.eg/Story
18-https://www.hcww.com.eg
19- https://sis.gov.eg/Story/281425
20- https://mcit.gov.eg/ar/ICT_Strategy
21- https://www.dailynewsegypt.com
22-https://moa.gov.eg/ar/ministry-activities/news
23- https://alexwater.com.eg
24- https://www.hcww.com.eg
25- https://www.cabinet.gov.eg/News/Details
26- https://www.sis.gov.eg/Story

المراجع الأجنبية :

: Firstly books

1- Anja du Plessis, South Africa's Water Predicament : Freshwater's Unceasing Decline,Spriger ,2023.
2- El-Sayed E. Omran & Abdelazim M. Negm, Introduction to "Technological and Modern Irrigation Environment in Egypt: Best Management Practices and Evaluation", Springer, 2020.
3- Johannes Vrana& Ripi Singh ,Digitalization, and Digital Transformation, Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0,Springer,2021.
4- Mirza Barjees Baig& Yahya Alotibi& Gary S. Straquadine & et.el, Water Resources in the Kingdom of Saudi Arabia: Challenges and Strategies for Improvement, Springer 2020.
5- Nirmalya Kumar Nath& Leena Rani Mishra& Pritam Das& et.el, Hydrological Modeling and Simulation for Water Resource Assessment by Nirmalya Kumar Nath on 15 July 2024. Eustace M. Dogo& Abdulazeez Femi Salami& Nnamdi I. Nwulu& et.el,

Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System,Springer,2019.
6- Peter Joo Hee Ng, Singapore: Transforming Water Scarcity into a Virtue,Springer,2018.
7- Stefanie Schulte& Georgina Davis& Jennifer Brown , Water Security: Challenges to the Irrigation Water-Energy Nexus in Australia,Springer,2019.

Secondly: Articles, Research Papers, Journals, and Conferences:

1- Aditya Dinesh Gupta& Prerna Pandey& Andrés Feijóo& et.al, Smart Water Technology for Efficient Water Resource Management: A Review, Energies,Vol.13,Issu23,2020.
2- Ali Nada & Mona G. Ibrahim& Mohamed Elshemy& et.al, Integrated water quality and performance assessment of seawater desalination plants along two coasts in Egypt , Elsevier,Vol.586, 2024.
3- Amal H. Aljaddani, M.S, The land use history, economic drivers, and future trends of urban growth in Saudi Arabia, Texas Tech University.
4- Amanda Mokoena, Questioning Day Zero: Rights, Provision, and Water Inequality in South Africa, Human Organization, Vol. 82, Issue. 3, 2023.
5- Apurva Goel& Snehal Masurkar& Girish R. Pathade, An Overview of Digital Transformation and Environmental Sustainability: Threats, Opportunities, and Solutions, Sustainability,Vol.16,Isuue.24,2024.
6- Batizi Serote& Salmina Mokgehle& Christian Du Plooy&et.al, Factors Influencing the Adoption of Climate-Smart Irrigation Technologies for Sustainable Crop Productivity by Smallholder Farmers in Arid Areas of South Africa,Mdpi,Vol.11, Issue.12, 2021.
7- Benny Z. Rousso & Nhu C. Do & Li Gao& et.al, Transitioning practices of water utilities from reactive to proactive: Leveraging Australian best practices in digital technologies and data analytics, Journal of Hydrology 641,2024.
8- Chandan Banerjee & Anik Bhadur & Chitresh Saraswat, Digitalization in Urban Water Governance: Case Study of Bengaluru and Singapore, Policy and Practice Reviews Article, Vol. 10,2022.
9- Charles Samuel Mutengwa&Pearson Mnkeni&Aleck Kondwakwenda, Climate-Smart Agriculture and Food Security in Southern Africa: A Review of the Vulnerability of Smallholder Agriculture and Food Security to Climate Change, Sustainability, Vol.15, Issue.4, 2023.

10- Christina Cook& Karen Bakker, Water security: Debating an emerging paradigm, Global Environmental Change, vol 1,Issue 22,2011.
11- Christina Walter, Digital Technologies for the Future of the Water Sector? Examining the Discourse on Digital Water, Geoforum, Vol.148,2024.
12- Domenica Mirauda &Nicola Capece&Ugo Erra, Sustainable Water Management: Virtual Reality Training for Open-Channel Flow Monitoring, Mdpi,Vol.12, Issue .3, 2020.
13- Domenica Mirauda& Marco Ostoich, Assessment of Pressure Sources and Water Body Resilience: An Integrated Approach for Action Planning in a Polluted River Basin,Mdpi,Vol.15, Issue.2, 2018.
14- Geoffrey Ssekyanzi& Mirza Junaid Ahmad& Kyung-Sook Choi, Sustainable Solutions for Mitigating Water Scarcity in Developing Countries: A Comprehensive Review of Innovative Rainwater Storage Systems,Mdpi,Vol.17,Issue16,2024.
15- George van Zijl & Pieter Le Roux , Creating a conceptual hydrological soil response map for the Stevenson Hamilton Research Supersite Kruger National Park, South Africa , Department of Soil, Crop and Climate, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa, 2014.
16- GreenCape , Water: Market Intelligence Report—2020.
17- Jeremiah Mutamba,Water security: Is South Africa optimally pursuing its options? Trans Ecol Environ , Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 239, 2019.
18- Layth Abdulameer &Najah M. L. Al Maimuri&Ala Hassan Nama& et.al, The Role of Artificial Intelligence in Managing Sustainable Water Resources: A Review of Smart Solution Implementations, Water Conservation & Management,Vol.9, Issue.2, 2025.
19- M Fanadzo &Cornelius Chiduza&Pearson N S Mnkeni, Overview of smallholder irrigation schemes in South Africa: Relationship between farmer crop management practices and performance, African Journal of Agricultural Research Vol. 5, Issue.25,2010.
20- M. Abdel-Fattah & S.A. Kantoush & T. Sumi, Flash Floods Mitigation Using Structural Measures In Egypt , Towards a Sustainable Water Future , ISBN 978-0-7277-6525-3, 2021.

21- M. Amin Mir& M. Waqar Ashraf, The challenges and potential strategies of Saudi Arabia's water Resources: A review in analytical way,Vol.20,202٣.
22- M.J. Booysen& M. Visser& R. Burger, Temporal case study of household behavioural response to Cape Town's "Day Zero" using smart meter data, Water Research, Vol. 149 , Elsevier ,2018.
23- Mahmoud A.Abdelhamid & Tarek Kh.Abdelkader &Hassan A. A. Sayed& et.el, Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture , Scientific Reports, Vol 15,2025.
24- Maria Sigopi& Cletah Shoko& Timothy Dube, Advancements in remote sensing technologies for accurate monitoring and management of surface water resources in Africa: an overview, limitations, and future directions, Geocarto International , 2024.
25- Mark New, Climate change and water resources in the southwestern Cape, South Africa , South African Journal of Science،Vol. 98, No. 7,2002.
26- Mark Usher, Desali-nation: Techno-diplomacy and hydraulic state restructuring through reverse osmosis membranes in Singapore, Wiley, Vol.44,Issue.1.
27- Mohammad Al Mestiraih& Kurt Becker& Ryan Dupon& et.al, Examining the Preparedness of Water Program Graduates in Egypt: Industries Perspective, Middle East Journal of Applied Science & Technology Vol.4, Iss.4, 2021.
28- National Water Reform 2020, Commonwealth of Australia, No. 96, 28 May 2021.
29- Radwan G. Abd Ellah, Water resources in Egypt and their challenges, Lake Nasser case study, Egyptian Journal of Aquatic Research 46, 2020.
30- Samer Faraj & Paul M Leonardi ,Strategic organization in the digital age: Rethinking the concept of technology, Strategic Organization, Vol. 20,Issu4,2022.
31- Sheila R. Ronis ,Economic security, Neglected Dimension OF National Seccurity, Senter For Strategic Conferencing Institute For National Strategic Studies, 2011.
32- The Value of Water Towards A Water –Smart Society, Water Europe-Technology&Innovation,2024.

33- Tim D. Fletcher& Ana Deletic, V. Grace Mitchell &Belinda E. Hatt, Reuse of Urban Runoff in Australia: A Review of Recent Advances and Remaining Challenges, Volume37, Issue5, 2008.
34- Tove A. Larsen& Sabine Hoffmann& Christoph Lüthi & et.al, Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world , Science Journals , Vol. 352, No. 6288, 2016.
35- Vincenzo Levizzani& Elsa Cattani, Satellite Remote Sensing of Precipitation and the Terrestrial Water Cycle in a Changing Climate, MDPI.
36- Water Governance and Water Futures in the United States and Australia, Volume 65 Issue 2 ,2025.
37- World water assessment programe, united nations world water development report3: water in achaming world, UNESC. Publishing,UMESCO, Paris,2009.
38- Zeina ElZein& Amal Abdou & Ina Säumel, Lessons learned from water-scarce cities: Proposed policies toward an integrated urban water management in Egypt, Frontiers in Water ,Vol.4,2022

.

Thirdly websites with English:

https://www.albankaldawli.org/ar/news/press-release1-
2- https://blogs.worldbank.org/ar/voices/digital-development/how-can-developing-countries-make-most-digital-revolution
3- https://institute.global/insights/news/ai-could-save-government
4- https://www.pub.gov.sg/AboutUs
5- https://www.agriculture.gov.au/abares/research-topics/water/the-impacts-of-further-water-recovery
https://www.csiro.au/en/research/natural-environment/water/waterwise6-
7- https://eng.unimelb.edu.au/industry/water/research/precision-agriculture-and-remote-sensing
8- https://businesstech.co.za/news/industry-news/393035/why-technology-is-south-africas-water-lifeline
9- https://www.idrica.com/blog/digital-transformation-of-water-utilities-in-the-middle-east-challenges-and-opportunities

Middle East Research Journal

Refereed Scientific Journal
(Accredited) Monthly

Vol.115
September 2025

Issued by
Middle East
Research Center

Fifty year
Founded in 1974

Issn: 2536 - 9504
Online Issn: 2735 - 5233