

## تدبير الموارد المائية في المغرب

الربط المائي، البنك المائي الجهوي والوطني، ربط السدود بالسدود  
والربط الذكي

تأليف: بدر شاشا

الحمد لله الذي جعل الماء أساس الحياة، وبه تستمر حركة الإنسان  
والطبيعة، وتتواصل مسيرة التنمية والعمران.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى كل الباحثين والمهندسين والخبراء  
والفاعلين المؤسسيين الذين يساهمون في دراسة الموارد المائية  
وتطوير وسائل تدبيرها وحمايتها، وإلى كل من يعمل بإخلاص من أجل  
ضمان الأمن المائي للأجيال الحالية والمستقبلية.

كما أتوجه بالتقدير إلى الأطر العاملة في قطاع الماء، وإلى المهتمين  
بقضايا السدود والربط المائي وتدبير الأحواض المائية، وإلى الفلاحين  
والساكنة المحلية الذين يعيشون يوميًا تحديات ندرة المياه، ويساهمون  
بتجاربهم في فهم الإشكالات المائية وسبل معالجتها.

ويأتي هذا الكتاب تعبيرًا عن الاهتمام بقضية الماء باعتبارها قضية  
وطنية وإنسانية تتطلب تضافر الجهود وتبادل الأفكار وتشجيع البحث  
العلمي والابتكار. ومن خلال هذا العمل، أتطلع إلى المساهمة في تطوير  
النقاش حول الربط المائي بين الجهات، وإحداث بنك مائي جهوي  
ووطني، وربط السدود ضمن منظومة متكاملة، والاستفادة من الحلول  
الذكية في مراقبة الموارد المائية وتوزيعها.

ولا يفوتني أن أعبر عن تقديري لكل من يشجع المبادرات الفكرية والعلمية الهادفة إلى خدمة الوطن، وترسيخ ثقافة المحافظة على الماء، وتعزيز الوعي بأهمية التخطيط بعيد المدى في مواجهة التحديات المناخية والمائية.

وأرجو أن يكون هذا العمل إضافة متواضعة إلى الجهود الرامية إلى بناء رؤية مائية متكاملة للمغرب، وأن يفتح المجال أمام مزيد من البحث والحوار والتعاون من أجل مستقبل مائي أكثر أمناً واستدامة.

بدر شاشا

## مقدمة عامة

يُعد الماء من أهم الموارد الطبيعية التي تقوم عليها الحياة، ويشكل أساس الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي والبيئي، كما يمثل ركيزة رئيسية لتحقيق التنمية المستدامة وضمان الأمن الغذائي والصحي. وفي ظل التغيرات المناخية وتوالي فترات الجفاف وتزايد الطلب على المياه، أصبح تدبير الموارد المائية من أبرز التحديات الاستراتيجية التي تواجه المغرب، الأمر الذي يستدعي اعتماد رؤية متكاملة تقوم على التخطيط المحكم والتدبير العقلاني والابتكار المستمر.

إن المغرب، بحكم تنوع مجاله الجغرافي والمناخي، يعرف تفاوتاً في توزيع الموارد المائية بين الأحواض والجهات، حيث تتوفر بعض المناطق على إمكانات مائية مهمة في فترات معينة، بينما تواجه مناطق أخرى خصاصةً مائياً متزايداً. ويبرز هذا الواقع أهمية تطوير شبكات الربط المائي بين الأحواض والسدود، بما يسمح بتعبئة الموارد المتاحة وتوجيهها نحو المناطق التي تحتاج إليها، وفق دراسات علمية وتقنية وبيئية واقتصادية دقيقة.

ينطلق هذا الكتاب من تصور يهدف إلى تطوير منظومة وطنية متكاملة لتدبير المياه، تركز على الربط المائي بين الجهات، وربط السدود بالسدود، وإرساء مفهوم البنك المائي الجهوي والوطني، إلى جانب اعتماد الربط الذكي الذي يوظف التكنولوجيا الحديثة والبيانات الرقمية والذكاء الاصطناعي في مراقبة الموارد المائية وتحسين توزيعها والتنبؤ بحاجيات المستقبل.

ويُقصد بالبنك المائي في هذا التصور آلية استراتيجية لتتبع المخزون المائي وتقييم الموارد والحاجيات وتنسيق عمليات التوزيع بين المناطق، مع احترام القوانين الجاري بها العمل، وضمان الأولوية للماء الصالح للشرب، وحماية الفرشات المائية والأنظمة البيئية، وترشيد استعمال المياه في مختلف القطاعات.

كما يتناول الكتاب الإمكانيات التي يوفرها الربط الذكي في تطوير تدبير السدود والشبكات المائية، من خلال المراقبة الآنية للمخزون والتدفقات، والكشف عن التسربات، وتحسين عمليات الضخ والتخزين، والاستفادة من التوقعات المناخية لدعم اتخاذ القرار. غير أن تنفيذ هذه التصورات

يظل مرتبطاً بمدى جدواها التقنية والاقتصادية، وبقدرتها على احترام التوازنات البيئية وضمان الاستدامة.

ولا يقتصر الهدف من هذا العمل على عرض الأفكار النظرية، بل يسعى إلى فتح نقاش علمي وعملي حول مستقبل الأمن المائي بالمغرب، واستكشاف الحلول الممكنة لتعزيز التضامن المائي بين الجهات، وتطوير البنيات التحتية، وتحسين الحكامة والتنسيق بين المؤسسات المعنية.

إن الماء مسؤولية مشتركة، وحمايته تتطلب تعاون الدولة والجماعات الترابية والمؤسسات والباحثين والمواطنين. ومن هذا المنطلق، يقدم بدر شاشا هذا الكتاب بوصفه مساهمة فكرية في النقاش حول بناء منظومة مائية وطنية أكثر تكاملاً ومرونة، قادرة على مواجهة تحديات الحاضر والاستعداد لمتطلبات المستقبل، بما يضمن استمرارية الموارد المائية ويخدم التنمية المستدامة في المغرب.

بدر شاشا

## الفصل الأول

### واقع الموارد المائية في المغرب وتحديات الأمن المائي

يشكل الماء عنصراً أساسياً في حياة الإنسان واستقرار المجتمعات وتطور الاقتصاد، كما يعد من أهم الموارد الطبيعية التي ترتبط بها التنمية الفلاحية والصناعية والحضرية. وفي المغرب، تزداد أهمية هذا المورد في ظل التحولات المناخية وتوالي سنوات الجفاف وتزايد الطلب

على الماء، مما يجعل تدبير الموارد المائية قضية استراتيجية تتطلب التخطيط طويل الأمد وتنسيق الجهود بين مختلف الجهات والمؤسسات.

## واقع الموارد المائية في المغرب

تتوزع الموارد المائية بالمغرب بصورة غير متكافئة بين المناطق، نتيجة اختلاف التساقطات المطرية والتضاريس والخصائص المناخية. وتتوفر بعض الأحواض على موارد مائية أكبر نسبياً، بينما تعاني مناطق أخرى من محدودية الموارد وتكرار فترات الجفاف. ويؤثر هذا التفاوت في تلبية حاجيات السكان والزراعة والصناعة، كما يفرض تطوير وسائل أكثر مرونة لتعبئة المياه وتخزينها وتوزيعها.

وتتكون الموارد المائية من مياه سطحية تشمل الأنهار والأودية والسدود، ومياه جوفية تحتزنها الفرشات المائية، إضافة إلى الموارد غير التقليدية مثل المياه العادمة المعالجة ومياه البحر المحلاة. ويقتضي التدبير المتكامل لهذه الموارد تقييم كمياتها وجودتها، ومعرفة معدلات تجددتها، وتحديد إمكانات استعمالها دون الإضرار بالتوازنات البيئية.

## تحديات الأمن المائي

تواجه الموارد المائية مجموعة من التحديات، من بينها تراجع انتظام التساقطات، وارتفاع درجات الحرارة والتبخر، وتزايد الضغط على الفرشات المائية، وتلوث بعض الموارد، وضياع جزء من المياه خلال

النقل والتوزيع. كما يؤدي التوسع العمراني وتطور الأنشطة الاقتصادية إلى زيادة الطلب، الأمر الذي يستدعي تحقيق التوازن بين الحاجيات المتزايدة والإمكانات المتاحة.

ولا تقتصر مواجهة هذه التحديات على إنشاء السدود أو حفر الآبار، بل تتطلب أيضاً ترشيد الاستهلاك، وحماية الأحواض المائية، وصيانة الشبكات، وتحسين كفاءة الري، وتوسيع الاستفادة من التحلية وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة حيثما كان ذلك مناسباً.

### السدود ودورها في تدبير المياه

تؤدي السدود دوراً مهماً في تخزين المياه خلال الفترات التي تعرف واردات مائية مرتفعة نسبياً، وتوفير جزء من حاجيات الشرب والري والأنشطة الاقتصادية، فضلاً عن أدوار أخرى تختلف بحسب طبيعة كل منشأة. غير أن فعالية السدود تتأثر بتقلب الواردات المائية والتبخر وتراكم الرواسب وتفاوت الحاجيات بين المناطق.

ومن هنا تظهر أهمية الانتقال من النظر إلى كل سد باعتباره منشأة مستقلة إلى دراسة إمكانات تدبير مجموعة من السدود والأحواض ضمن منظومة منسقة، مع مراعاة القيود التقنية والقانونية والبيئية، وتحديد الحالات التي يكون فيها نقل المياه بين الأحواض مجدياً.

### نحو الربط المائي المتكامل

يقوم الربط المائي على نقل المياه من منطقة إلى أخرى بواسطة القنوات أو الأنفاق أو المنشآت المخصصة لذلك، وفق شروط دقيقة تحدد مصدر المياه وكميتها وتوقيت نقلها وكلفة إيصالها. ويمكن لهذا الربط أن يساهم في تقليص بعض مظاهر الخصائص، لكنه ليس حلاً مطلقاً، لأن نجاحه يعتمد على توافر فائض مائي قابل للتعبئة، وعلى كلفة الطاقة والصيانة، وعلى حماية احتياجات المناطق المصدرة للمياه وأنظمتها البيئية.

ويشكل ربط السدود بالسدود أحد التصورات التي تستحق الدراسة ضمن التخطيط المائي الوطني، بهدف تحسين الاستفادة من البنية التحتية القائمة وتنسيق عمليات التخزين والتحويل. ويتطلب ذلك نمذجة هيدرولوجية دقيقة، وتحليلاً للسيناريوهات المناخية، وتقييماً للأثر البيئي والاجتماعي، قبل اتخاذ قرارات التنفيذ.

## الحكامة والتخطيط للمستقبل

إن تطوير الأمن المائي يتطلب منظومة حكامة واضحة تقوم على تبادل البيانات بين المؤسسات، والتنسيق بين الجهات، ومراقبة الاستعمالات، وتحديد الأولويات عند الندرة. كما ينبغي دعم القرارات بمعطيات دقيقة حول مخزون السدود وحالة الفرشات المائية والتوقعات المناخية وحاجيات السكان والقطاعات الإنتاجية.

وفي هذا الإطار، يمكن أن يساهم مفهوم البنك المائي الجهوي والوطني في تنظيم المعلومات المتعلقة بالمخزون والحاجيات والموارد المتاحة، بينما يساعد الربط الذكي على تحسين المراقبة والتوقع والتوزيع. ويظل نجاح هذه التصورات مرتبطاً بوضوح المسؤوليات وشفافية البيانات واحترام القوانين وضمان العدالة في الوصول إلى الماء.

## خلاصة الفصل

يبين واقع الموارد المائية في المغرب أن مواجهة الخصائص المائية تحتاج إلى رؤية متكاملة تجمع بين تعبئة الموارد المتاحة وحمايتها وترشيد استعمالها وتطوير البنيات التحتية. ويشكل الربط بين الأحواض والسدود، إلى جانب التقنيات الذكية والتخطيط الجهوي والوطني، مجاًلاً مهماً للدراسة والتطوير، شريطة أن يستند إلى معطيات علمية دقيقة وتقييم واقعي للتكاليف والمنافع والآثار البيئية والاجتماعية.

ويمهد هذا الفصل للانتقال إلى دراسة الربط المائي بين الأحواض والجهات، باعتباره أحد المحاور الأساسية لبناء منظومة وطنية أكثر تكاملاً ومرونة في تدبير الموارد المائية.

بدر شاشا

## الفصل الثاني

## الربط المائي بين الأحواض والجهات في المغرب

### تمهيد

يمثل الربط المائي أحد الخيارات الاستراتيجية التي يمكن أن تساهم في تحسين تدبير الموارد المائية بالمغرب، خصوصاً في ظل التفاوت الجغرافي في توزيع المياه وتزايد الضغط على الموارد التقليدية. وتقوم هذه الفكرة على تطوير منظومة تسمح بنقل المياه من الأحواض التي تتوفر فيها موارد قابلة للتعبئة إلى الأحواض التي تعرف خصائصاً، وفق شروط علمية وتقنية وبيئية واقتصادية واضحة.

### مفهوم الربط المائي وأهدافه

يقصد بالربط المائي إنشاء منظومة من المنشآت والقنوات ومحطات الضخ والخزانات التي تسمح بنقل المياه بين مناطق مختلفة. ويمكن أن يكون الربط بين حوضين مائيين، أو بين مدينتين، أو بين مجموعة من السدود، بحسب طبيعة المشروع وحاجيات السكان والأنشطة الاقتصادية.

ويهدف هذا الربط إلى تعزيز استمرارية التزويد بالماء الصالح للشرب، وتقليل آثار الخصائص المائي، وتحسين استغلال البنيات التحتية القائمة، وتوفير قدر أكبر من المرونة في مواجهة فترات الجفاف. غير

أن تحقيق هذه الأهداف يتطلب تحديد الموارد المتاحة بدقة، وعدم نقل المياه على حساب حاجيات المناطق التي تنطلق منها.

## التفاوت المائي بين الجهات

تختلف الموارد المائية من منطقة إلى أخرى تبعًا للتساقيات والتضاريس وطبيعة الأحواض المائية. وقد تعرف بعض المناطق واردات مائية مرتفعة خلال فترات معينة، بينما تواجه مناطق أخرى تراجعًا في الموارد وارتفاعًا في الطلب. ويستدعي هذا الواقع اعتماد تخطيط يأخذ بعين الاعتبار الخصائص المحلية والاحتياجات المستقبلية، بدل الاقتصار على حلول منفصلة لكل منطقة.

كما ينبغي التمييز بين الوفرة المؤقتة والفائض القابل للنقل بصورة مستدامة؛ فوجود مياه في سد معين لا يعني بالضرورة إمكانية تحويلها كلها إلى منطقة أخرى، لأن جزءًا منها قد يكون ضروريًا للشرب والري والمحافظة على التوازنات البيئية.

## المكونات التقنية لمنظومة الربط المائي

تتكون منظومة الربط المائي عادة من منشآت سحب المياه، والقنوات أو الأنفاق الناقلة، ومحطات الضخ عند الحاجة، والخزانات الوسيطة، وأنظمة قياس التدفق والضغط والجودة. وقد تتطلب المشاريع الكبيرة

تجهيزات إضافية لتقليل فقدان المياه وتحسين كفاءة الطاقة وضمان السلامة التشغيلية.

ويجب أن تسبق تنفيذ هذه المنشآت دراسات هيدرولوجية وجيولوجية وهندسية، إلى جانب تقييم الأثر البيئي والاجتماعي وتحليل تكلفة البناء والطاقة والصيانة. كما ينبغي مقارنة بدائل الربط مع خيارات أخرى مثل تقليل التسربات، وتحلية مياه البحر، وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة، وتحسين كفاءة الري.

### الربط بين الأحواض المائية

يسمح الربط بين الأحواض بدراسة إمكانات نقل المياه بين مناطق مختلفة، وفق ما تسمح به الموارد المتاحة والبنى التحتية. وتتمثل أهميته في إمكانية دعم المناطق التي تواجه ضغطاً مائياً، خصوصاً عندما تكون الموارد المحلية غير كافية لتلبية الحاجيات الأساسية.

لكن نجاح هذه المشاريع يتوقف على تحديد الكميات الممكن نقلها خلال السنوات العادية والجافة، وضمان عدم الإضرار بالأحواض المصدرة للمياه، ومراعاة حقوق الاستعمال القائمة والاحتياجات البيئية. كما ينبغي وضع قواعد واضحة لتحديد أوقات النقل وكمياته، مع مراجعتها عند تغير الظروف المناخية.

### التضامن المائي بين الجهات

لا ينبغي أن يقتصر الربط المائي على الجانب الهندسي، بل يجب أن يقوم أيضاً على مبدأ التضامن بين الجهات. ويتطلب ذلك وضع آليات لتنسيق القرارات وتبادل المعلومات وتحديد الأولويات عند حدوث ندرة، مع ضمان توزيع عادل للمياه وحماية حاجيات السكان الأساسية.

ويمكن للجهات أن تستفيد من منظومة مشتركة لتتبع المخزون المائي والتوقعات المناخية والطلب المتوقع، بما يسمح باتخاذ قرارات مبنية على البيانات بدل الاستجابة المتأخرة للأزمات. كما يساهم التنسيق المؤسسي في الحد من تكرار المشاريع وتحسين توجيه الاستثمارات.

### الربط المائي والاقتصاد في الطاقة

تحتاج بعض مشاريع نقل المياه إلى ضخها لمسافات طويلة أو إلى ارتفاعات كبيرة، وهو ما قد يرفع تكاليف الطاقة والتشغيل. لذلك يجب تقييم استهلاك الطاقة منذ مرحلة التصميم، ودراسة إمكان الاستفادة من الطاقة المتجددة، وتحسين مسارات القنوات، واستعمال أنظمة التحكم لتشغيل المضخات في الأوقات الأكثر كفاءة.

ويجب أن تشمل المقارنة الاقتصادية التكلفة الكاملة للمشروع طوال عمره التشغيلي، وليس فقط تكلفة البناء، مع احتساب الصيانة والتجديدات واستهلاك الطاقة والمخاطر المرتبطة بتقلب الموارد المائية.

## التحديات البيئية والاجتماعية

قد يترتب عن نقل المياه بين الأحواض تأثير في النظم البيئية والمجتمعات المحلية، خاصة إذا أدى التحويل إلى تقليص التدفقات اللازمة للأنهار أو الأراضي الرطبة أو الأنشطة الاقتصادية المحلية. ولهذا ينبغي إجراء تقييم بيئي شامل، وإشراك الجهات المعنية، ووضع آليات للمراقبة والتعويض عند الاقتضاء، وضمان احترام القوانين الجاري بها العمل.

كما يجب أن تظل حماية الموارد المائية الجوفية ومنع التلوث وترشيد الاستهلاك جزءاً أساسياً من أي استراتيجية للربط المائي، لأن نقل المياه وحده لا يعالج جميع أسباب الخصاص.

## نحو منظومة وطنية مترابطة

يمكن تطوير الربط المائي ضمن رؤية وطنية تجمع بين الأحواض والسدود والخزانات وشبكات التوزيع، وتستند إلى معلومات دقيقة حول الموارد والحاجيات. وفي هذا السياق، يمكن للبنك المائي الجهوي والوطني أن يشكل آلية مقترحة لتجميع البيانات وتتبع المخزون وتنسيق قرارات التوزيع، بينما تساهم الأنظمة الذكية في مراقبة التدفقات واكتشاف الأعطال والتنبيه بالحاجيات.

ويقتضي هذا التصور تحديد المسؤوليات المؤسسية، وتوحيد معايير تبادل البيانات، وتطوير أنظمة الإنذار المبكر، ووضع خطط بديلة لمواجهة الأعطال أو فترات الجفاف الحاد.

## خلاصة الفصل

يمثل الربط المائي بين الأحواض والجهات خيارًا يستحق الدراسة ضمن استراتيجية الأمن المائي بالمغرب، لكنه ليس حلًا مستقلًا عن بقية التدابير. فنجاحه يرتبط بمدى توافر موارد قابلة للنقل، والجدوى الاقتصادية والتقنية، وحماية البيئة، وتحقيق العدالة في توزيع المياه.

ومن ثم، فإن بناء منظومة مائية متكاملة يستدعي الجمع بين الربط المائي وترشيد الاستهلاك وتنويع مصادر المياه وتحديث الشبكات وتطوير الحكامة. ويمهد هذا الفصل للانتقال إلى دراسة ربط السدود بالسدود، باعتباره أحد المكونات التقنية الممكنة لتعزيز التنسيق بين منشآت التخزين والتوزيع.

بدر شاشا

## الفصل الثالث

ربط السدود بالسدود: نحو شبكة وطنية متكاملة لتخزين المياه وتوزيعها

## تمهيد

تحتل السدود مكانة مهمة في منظومة تدبير الموارد المائية بالمغرب، إذ تساهم في تخزين المياه وتنظيم الاستفادة منها وتلبية جزء من حاجيات السكان والقطاعات الاقتصادية. ومع تزايد تحديات الجفاف والتغيرات المناخية، تبرز أهمية تطوير طرق جديدة لتنسيق عمل السدود، وعدم الاقتصار على تدبير كل سد بصورة منفصلة عن باقي المنشآت المائية.

وينطلق هذا الفصل من فكرة ربط السدود بالسدود، باعتبارها تصورًا هندسيًا واستراتيجيًا يهدف إلى دراسة إمكانيات نقل المياه بين منشآت التخزين، وفق شروط دقيقة تراعي الموارد المتاحة وحاجيات المناطق والتكاليف والآثار البيئية.

## مفهوم ربط السدود

يقصد بربط السدود إنشاء منظومة من القنوات أو الأنفاق أو الأنابيب ومحطات الضخ والمنشآت المساعدة التي تسمح بنقل المياه من سد إلى آخر، أو بربط مجموعة من السدود ضمن شبكة مشتركة. ويمكن أن يكون هذا الربط مباشرًا بين سدين، أو جزءًا من منظومة أوسع تربط عدة أحواض مائية.

ولا يعني الربط ضرورة نقل المياه باستمرار، بل يمكن تشغيله وفق الحاجة وحالة المخزون والتوقعات المناخية، مع تحديد كميات النقل وأوقاته بناءً على معايير تقنية وبيئية واضحة.

### أهداف الربط بين السدود

يهدف هذا التصور إلى تحسين استغلال الطاقة التخزينية المتاحة، وتوفير مرونة أكبر في توزيع الموارد المائية، ودعم المناطق التي تواجه خصائصًا خلال فترات معينة. كما يمكن أن يساعد على تنسيق قرارات التخزين والتحويل وتقليل الاعتماد على مصدر واحد في حالات الطوارئ.

وتتوقف الفائدة الفعلية على طبيعة كل حوض مائي، ومدى توفر موارد قابلة للتحويل، وموقع السدود وارتفاعاتها، والمسافة الفاصلة بينها، وحاجيات السكان والأنشطة الاقتصادية.

### التصميم الهندسي للشبكة

يتطلب إنشاء شبكة لربط السدود دراسة دقيقة للمسارات الممكنة، والخصائص الجيولوجية والتضاريسية، والضغط والتدفق، وقدرة القنوات والأنابيب على نقل المياه. كما ينبغي تحديد الحاجة إلى محطات الضخ والخزانات الوسيطة وأجهزة التحكم والصمامات وأنظمة قياس التدفق والجودة.

وفي المناطق التي تسمح فيها التضاريس بالجريان الطبيعي، يمكن دراسة حلول تستفيد من فرق الارتفاع لتقليل استهلاك الطاقة. أما عندما يتطلب نقل المياه ضخها إلى مستويات أعلى، فيجب احتساب تكاليف الطاقة والتشغيل والصيانة على مدى العمر التشغيلي للمشروع.

### التنسيق بين السدود ومخزون المياه

يمكن تدبير السدود المرتبطة ضمن نظام موحد لتبادل المعلومات حول مستوى المخزون والواردات المائية والتوقعات المناخية وحاجيات المناطق. ويساعد هذا التنسيق على اتخاذ قرارات أفضل بشأن توقيت التخزين أو التحويل، مع مراعاة الخصائص الخاصة بكل سد.

ويجب ألا يؤدي نقل المياه من سد إلى آخر إلى الإضرار بالحد الأدنى الضروري لتلبية حاجيات الشرب أو الري أو المتطلبات البيئية في المنطقة المستفيدة منها المياه في الأصل. ولهذا ينبغي وضع قواعد تشغيل واضحة ومراجعتها عند تغير الظروف.

### الربط الذكي بين السدود

يتيح التطور التكنولوجي إمكان تطوير شبكة ذكية لمراقبة السدود والقنوات ومحطات الضخ. ويمكن لهذه الشبكة أن تعتمد على أجهزة

الاستشعار والعدادات الرقمية وأنظمة المعلومات الجغرافية والتنبؤات المناخية، من أجل توفير بيانات دقيقة حول المخزون والتدفقات وجودة المياه وحالة المنشآت.

كما يمكن استخدام نماذج التحليل والتنبؤ لمقارنة سيناريوهات مختلفة لتوزيع المياه، وتحديد أوقات التشغيل الأكثر كفاءة، والكشف المبكر عن التسربات والأعطال. وتظل القرارات الأساسية خاضعة للمراقبة البشرية والقواعد القانونية ومعايير السلامة.

#### الجوانب الاقتصادية والبيئية

يحتاج ربط السدود إلى استثمارات قد تشمل إنشاء القنوات والأنفاق ومحطات الضخ وأنظمة المراقبة، إضافة إلى تكاليف الصيانة والطاقة والإصلاح. ولذلك ينبغي مقارنة كلفة الربط بالمنافع المتوقعة، ودراسة البدائل الممكنة مثل تقليل التسربات وتحتية مياه البحر وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة وتحسين كفاءة الري.

ومن الناحية البيئية، يجب تقييم آثار نقل المياه على الأحواض المصدرة والمستقبلة، وعلى الأنهار والفرشات المائية والأنظمة البيئية المحلية. كما ينبغي مراعاة مخاطر تدهور جودة المياه وانتقال الملوثات أو الأنواع البيولوجية بين الأحواض، ووضع إجراءات مناسبة للوقاية والمراقبة.

## مراحل تنفيذ مشروع الربط

تبدأ عملية إعداد المشروع بجمع المعطيات الهيدرولوجية والهندسية وتحديد السدود المرشحة للربط، ثم إعداد دراسة الجدوى وتحليل الطلب المتوقع والموارد المتاحة. وتلي ذلك دراسة المسارات والتكاليف والآثار البيئية والاجتماعية، قبل الانتقال إلى التصميم التفصيلي والتراخيص والتنفيذ.

وبعد تشغيل الشبكة، ينبغي تتبع أدائها بصورة مستمرة وقياس كميات المياه المنقولة واستهلاك الطاقة ومعدلات الفقد وكلفة الصيانة، مع إجراء مراجعات دورية تضمن تحسين التشغيل والاستجابة للظروف المناخية المتغيرة.

## العلاقة بين ربط السدود والبنك المائي الوطني

يمكن أن يشكل البنك المائي الجهوي والوطني المقترح إطارًا لتجميع البيانات المتعلقة بمخزون السدود والموارد المتاحة والحاجيات المحلية وقرارات النقل. ويساعد هذا الإطار على توفير صورة شاملة عن الوضع المائي، وتنسيق عمليات التحويل بين المنشآت وفق قواعد شفافة تحدد الأولويات والمسؤوليات.

ويمكن ربط هذه المنظومة بنظام رقمي وطني يتيح للجهات والمؤسسات المختصة الاطلاع على البيانات الضرورية، مع حماية المعلومات الحساسة وضمان دقتها وتحديثها بصورة منتظمة.

## خلاصة الفصل

إن ربط السدود بالسدود يمثل تصورًا يمكن أن يعزز مرونة تدبير المياه بالمغرب إذا استند إلى دراسات دقيقة وتخطيط متكامل. ولا تتحقق فائدته بمجرد إنشاء القنوات والمنشآت، بل تتطلب منظومة حكمة واضحة، وتنسيقًا بين الأحواض والجهات، ومراقبة ذكية، وحماية للموارد والأنظمة البيئية.

ويؤكد هذا الفصل أن مستقبل تدبير المياه لا يرتبط فقط بزيادة قدرات التخزين، بل كذلك بتحسين التنسيق بين المنشآت القائمة، وترشيد الاستهلاك، وتنويع مصادر المياه، والاستفادة من التكنولوجيا في اتخاذ القرارات. ويمهد ذلك لدراسة البنك المائي الجهوي والوطني باعتباره آلية مقترحة لتنسيق المعلومات والموارد والحاجيات ضمن رؤية وطنية شاملة.

بدر شاشا

## الفصل الرابع

## البنك المائي الجهوي والوطني: رؤية جديدة لتدبير المخزون المائي بالمغرب

### تمهيد

أصبحت الحاجة إلى تطوير أساليب تدبير الموارد المائية ضرورة استراتيجية تفرضها التحولات المناخية وتزايد الطلب على الماء وتفاوت الموارد بين الأحواض والجهات. ولم يعد التدبير الفعال للماء يعتمد فقط على بناء السدود وإنشاء القنوات، بل أصبح يتطلب أيضاً منظومة متكاملة لجمع المعلومات وتحليلها وتنسيق القرارات المتعلقة بالتخزين والتوزيع والاستعمال.

ومن هذا المنطلق، يقترح هذا الفصل مفهوم البنك المائي الجهوي والوطني، بوصفه آلية مؤسسية ورقمية تهدف إلى تتبع الموارد المائية المتاحة، وتحديد الحاجيات، وتنظيم المعلومات المتعلقة بالمخزون والتدفقات، وتعزيز التضامن المائي بين الجهات.

### مفهوم البنك المائي

لا يقصد بالبنك المائي مؤسسة مالية تقليدية، بل منظومة لتدبير المعلومات والموارد المائية، يمكن أن تجمع بين قاعدة بيانات وطنية ومنصات جهوية وآليات للتخطيط وتنسيق توزيع المياه. ويهدف هذا التصور إلى توفير صورة واضحة ومحدثة عن الوضع المائي، تساعد

المسؤولين والجهات المختصة على اتخاذ قرارات مبنية على معطيات دقيقة.

ويمكن أن يشمل البنك المائي معلومات عن مخزون السدود، وحالة الفرشات المائية، والواردات المتوقعة، والطلب المنزلي والفلاحي والصناعي، وجودة المياه، وكميات المياه المحلاة والمعالجة، إضافة إلى بيانات الشبكات والخسائر المسجلة أثناء النقل والتوزيع.

### البنك المائي الجهوي

يمثل المستوى الجهوي حلقة أساسية في تدبير الموارد المائية، لأنه أقرب إلى الخصائص المحلية وحاجيات السكان والأنشطة الاقتصادية. ويمكن لكل منصة جهوية أن تتولى تجميع البيانات المتعلقة بالأحواض والسدود والفرشات المائية ومصادر التزويد وشبكات التوزيع الواقعة ضمن نطاقها.

وتساعد هذه المعلومات على إعداد توقعات للحاجيات، وتحديد المناطق المعرضة للخصائص، ومراقبة تطور المخزون، واقتراح التدابير المناسبة عند تراجع الموارد. كما تتيح للجهات المعنية تقييم فعالية مشاريع ترشيد الاستهلاك وصيانة الشبكات وإعادة استعمال المياه المعالجة.

ويجب أن تعمل هذه المنصات وفق معايير وطنية موحدة، حتى تكون البيانات قابلة للمقارنة والتبادل بين الجهات، مع مراعاة الاختلافات الطبيعية والاقتصادية لكل منطقة.

## البنك المائي الوطني

يشكل المستوى الوطني الإطار الذي يجمع المعلومات الجهوية ويحولها إلى رؤية شاملة حول الموارد والحاجيات والمخاطر المائية. ويمكن أن يساعد في تنسيق السياسات والاستثمارات، وتحديد الأولويات الوطنية، ودراسة إمكانيات نقل المياه بين الأحواض، وتوقع آثار الجفاف على المدى القصير والمتوسط.

ويتيح هذا المستوى مقارنة السيناريوهات المختلفة لتوزيع الموارد، وتقييم مدى قدرة المنظومة الوطنية على الاستجابة للطلب، وتحديد المناطق التي تحتاج إلى دعم إضافي. كما يمكن أن يوفر مؤشرات تساعد على توجيه الاستثمارات نحو المشاريع الأكثر جدوى، بعد إخضاعها للدراسات التقنية والاقتصادية والبيئية اللازمة.

## آلية تدبير المخزون المائي

يقوم البنك المائي المقترح على تسجيل المخزون المتاح في مختلف المنشآت، وتقدير الموارد التي يمكن تعبئتها، ومتابعة الواردات والتوقعات المناخية، ومقارنة ذلك بالحاجيات الفعلية والمتوقعة. وينبغي

التمييز بين المخزون الإجمالي والمياه القابلة للاستعمال، لأن بعض الموارد قد تكون ضرورية للاحتياجات البيئية أو غير قابلة للتعبئة تقنيًا أو اقتصاديًا.

كما يتطلب التدبير تحديد قواعد واضحة لتخصيص المياه عند الندرة، مع إعطاء الأولوية لتأمين الماء الصالح للشرب والصحة العامة، ومراعاة الحاجيات الأساسية الأخرى والالتزامات البيئية والقوانين الجاري بها العمل.

### التضامن المائي بين الجهات

يمكن للبنك المائي أن يدعم التضامن بين الجهات من خلال توفير معلومات موحدة حول الفائض القابل للتعبئة والخصائص المسجل والحاجيات المستقبلية. ويساعد ذلك على دراسة عمليات التحويل المائي وتنسيقها بطريقة شفافة، مع ضمان عدم نقل الخصائص من منطقة إلى أخرى أو الإضرار بالموارد المحلية.

ويتطلب هذا التضامن آليات واضحة للتشاور وتحديد المسؤوليات وتبادل البيانات، إضافة إلى خطط للطوارئ تحدد كيفية الاستجابة لفترات الجفاف الحاد أو الأعطال التي قد تصيب منشآت التخزين والنقل.

### الحكامة والشفافية

يتطلب إحداث البنك المائي تحديد الإطار القانوني والمؤسساتي الذي ينظم عمله، وتوزيع المسؤوليات بين الجهات المختصة، ووضع قواعد لجمع البيانات وتدقيقها وتحديثها. كما ينبغي تحديد مستويات الولوج إلى المعلومات، ونشر المؤشرات العامة التي تساعد على تعزيز الشفافية والثقة، مع حماية البيانات التي تستوجب السرية لأسباب أمنية أو تشغيلية.

ومن الضروري أن يخضع النظام للمراقبة والتقييم المستمرين، وأن تكون قرارات تخصيص المياه قابلة للتفسير والمراجعة وفق معايير واضحة ومعلنة.

## التمويل والاستدامة

يتطلب إنشاء البنك المائي وتطويره استثمارات في البنية الرقمية والموارد البشرية وأنظمة القياس والمراقبة والصيانة. ويمكن دراسة تمويله ضمن البرامج العمومية المخصصة للماء والرقمنة والبحث العلمي، مع تقييم التكاليف والمنافع على المدى الطويل.

ولا ينبغي أن يقتصر الاستثمار على اقتناء البرمجيات والأجهزة، بل يجب أن يشمل تدريب الكفاءات، وتوحيد طرق جمع البيانات، وصيانة الأنظمة، وضمان استمرارية الخدمات الرقمية وحماية المعلومات من الأعطال والهجمات الإلكترونية.

## خلاصة الفصل

### الفصل الخامس: الربط الذكي وإدارة الموارد المائية بالتكنولوجيا والذكاء الاصطناعي في المغرب

#### مقدمة الفصل

أصبحت التكنولوجيا الحديثة من الأدوات الأساسية التي يمكن أن تساعد الدول على مواجهة تحديات ندرة المياه والتغيرات المناخية. وفي المغرب، حيث تتزايد الضغوط على الموارد المائية بسبب توالي سنوات الجفاف وتفاوت التساقطات بين الجهات، تبرز الحاجة إلى تطوير أساليب تدبير المياه بالاعتماد على البيانات الرقمية والأنظمة الذكية والتوقعات العلمية.

يقوم الربط الذكي على استخدام التكنولوجيا لتنسيق حركة المياه بين السدود والأحواض المائية وشبكات النقل ومراكز التوزيع، مع مراقبة المخزون والحاجيات بشكل مستمر. ولا يقتصر هذا التصور على نقل المياه من منطقة إلى أخرى، بل يشمل اتخاذ قرارات دقيقة حول توقيت النقل وكمياته، مع مراعاة الاستهلاك والطاقة والآثار البيئية.

#### مفهوم الربط المائي الذكي

الربط المائي الذكي هو منظومة متكاملة تجمع بين البنية التحتية المائية والتقنيات الرقمية، بهدف تحسين تدبير الموارد المائية وتقليل الهدر ورفع كفاءة التوزيع. ويمكن أن تشمل هذه المنظومة أجهزة الاستشعار، والعدادات الذكية، وأنظمة المراقبة عن بُعد، وقواعد البيانات الجغرافية، ونماذج التنبؤ بالموارد المائية.

ومن خلال هذه الأدوات، يصبح من الممكن متابعة مستوى المياه في السدود، وقياس تدفقات المياه داخل القنوات، ورصد التسربات، وتقدير الحاجيات المستقبلية للمدن والقرى والقطاعات الاقتصادية. وتبقى فعالية هذه التقنيات مرتبطة بجودة البيانات، والصيانة المستمرة، وتكوين الموارد البشرية.

### الذكاء الاصطناعي في خدمة الأمن المائي

يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساهم في تحليل كميات كبيرة من البيانات المتعلقة بالتساقطات ودرجات الحرارة ومخزون السدود والاستهلاك المائي. وتساعد هذه التحليلات على بناء توقعات أكثر دقة، واكتشاف الأنماط التي يصعب ملاحظتها بالوسائل التقليدية، ودعم المسؤولين في اختيار السيناريوهات المناسبة.

ومن التطبيقات الممكنة تطوير نماذج تتوقع تطور الطلب على المياه خلال الفترات المقبلة، وتقدير احتمالات انخفاض المخزون في بعض

الأحواض، واقتراح طرق لتوزيع الموارد المتاحة وفق الأولويات المعتمدة. غير أن توصيات الأنظمة الذكية ينبغي أن تخضع للمراجعة البشرية، وأن تستند إلى معطيات موثوقة، وألا تحل محل المسؤولية المؤسسية والقانونية.

## منظومة رقمية لمراقبة السدود

يمكن تطوير منصة رقمية وطنية تربط، تدريجيًا، البيانات المتاحة لدى المؤسسات المكلفة بالمياه، بما يسمح بتكوين صورة واضحة عن وضعية السدود ومعدلات الواردات والتفريغات والحاجيات. وتستطيع هذه المنصة عرض المعلومات على شكل خرائط ومؤشرات وتقارير دورية تساعد على فهم الوضع المائي على المستوى الوطني والجهوي.

ويمكن تجهيز المنشآت المائية، بحسب الأولويات والإمكانات، بأجهزة لقياس مستوى المياه والتدفق والضغط وجودة المياه. وتتيح هذه التجهيزات رصد التغيرات بسرعة أكبر، والتنبيه إلى الأعطاب المحتملة، وتحسين عمليات الصيانة والتدخل.

## الربط الذكي بين السدود والأحواض المائية

إن ربط السدود لا يحقق أقصى فعاليته بمجرد إنشاء القنوات والمنشآت الناقلة، بل يحتاج إلى نظام معلوماتي يساعد على تنسيق تشغيلها. ويمكن للمنصة الذكية أن تجمع بيانات المخزون والطلب وتكلفة الضخ

والطاقة المتاحة والقيود البيئية، ثم تعرض سيناريوهات مختلفة لنقل المياه بين الأحواض عند الحاجة.

ويجب أن تراعي هذه القرارات حقوق الاستعمالات المحلية، والحاجيات الأساسية للسكان، ومتطلبات الفلاحة والصناعة، والحد الأدنى الضروري لاستمرار الأنظمة البيئية. كما ينبغي تجنب نقل المياه بصورة آلية اعتماداً على مستوى المخزون وحده، لأن لكل حوض ظروفه واحتياجاته ومخاطره الخاصة.

#### الاستشعار عن بُعد والخرائط الرقمية

توفر صور الأقمار الصناعية وتقنيات الاستشعار عن بُعد فرصاً لمتابعة تغير المساحات المزروعة، ورصد بعض المؤشرات المرتبطة برطوبة التربة والغطاء النباتي، وتقدير التغيرات في المسطحات المائية. وعند دمج هذه المعلومات مع القياسات الميدانية، يمكن تحسين فهم الوضع المائي وتوجيه عمليات المراقبة نحو المناطق الأكثر عرضة للضغط.

كما تساعد نظم المعلومات الجغرافية على تحديد مواقع المنشآت المائية وشبكات النقل ومناطق الطلب، وتحليل المسافات والارتفاعات والمخاطر الجغرافية. وتُعد هذه الأدوات مهمة في إعداد الدراسات الأولية واختيار مسارات المشاريع وتقييم آثارها المحتملة.

الري الذكي وترشيد الاستهلاك

يمثل القطاع الفلاحي أحد المجالات التي يمكن أن تستفيد من الحلول الرقمية، من خلال أنظمة الري التي تعتمد على رطوبة التربة والظروف المناخية واحتياجات المحاصيل. ويساعد استعمال هذه البيانات على تحديد توقيت الري وكمياته بصورة أكثر ملائمة، وتقليل ضياع المياه عندما تُطبق الأنظمة بطريقة صحيحة.

ولا يقتصر ترشيد الاستهلاك على التكنولوجيا وحدها، بل يحتاج كذلك إلى صيانة شبكات الري، واختيار الزراعات الملائمة للظروف المائية، وتوعية المستعملين، وتوفير المواكبة التقنية والاقتصادية للفلاحين. فالتقنيات الذكية تكون أكثر نجاحًا عندما تندمج في سياسة شاملة للاستعمال المستدام للمياه.

### كشف التسربات وتقليل ضياع المياه

يمكن للعدادات الذكية وأجهزة قياس الضغط والتدفق أن تساعد على اكتشاف الاختلالات في شبكات توزيع الماء الصالح للشرب. وعند تحليل البيانات ومقارنة الاستهلاك الفعلي بالمعدلات المعتادة، يمكن تحديد المناطق التي تستحق الفحص الميداني، وتوجيه فرق الصيانة إلى الأعطاب المحتملة بسرعة أكبر.

ويؤدي الحد من التسربات إلى المحافظة على الموارد وتقليل تكاليف المعالجة والضخ، كما يمكن أن يحسن استمرارية التزويد بالماء. ولهذا

ينبغي أن يحظى تحديث شبكات التوزيع وصيانتها بالأهمية نفسها التي تحظى بها مشاريع إنشاء منشآت جديدة.

## ربط التكنولوجيا بالبنك المائي الجهوي والوطني

يمكن أن يشكل البنك المائي الجهوي والوطني، بوصفه تصورًا مقترحًا لمنظومة تدبير وتنسيق المعلومات المائية، قاعدة رقمية تستفيد من تقنيات الربط الذكي. إذ يمكن تجميع بيانات المخزون والواردات والاستهلاك والحاجيات والتوقعات في منصة موحدة، مع تحديد صلاحيات الوصول إلى المعلومات وتحيينها وفق معايير واضحة.

على المستوى الجهوي، تساعد المنصة على متابعة وضعية الموارد والحاجيات المحلية وإعداد السيناريوهات المناسبة. أما على المستوى الوطني، فيمكن أن تدعم المقارنة بين الأحواض وتنسيق القرارات الكبرى وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تدخل عاجل. ويظل هذا التصور رهينًا بتطوير الإطار المؤسسي والتقني اللازم، ولا ينبغي اعتباره مؤسسة قائمة بذاتها ما لم يتم إحداثها رسميًا.

## الأمن السيبراني وحماية البيانات

كلما ازدادت رقمنة المنشآت المائية، ازدادت أهمية حماية أنظمتها من الاختراق والتعطيل والتلاعب بالبيانات. لذلك ينبغي اعتماد ضوابط للأمن السيبراني، وتحديد صلاحيات المستخدمين، وتأمين الاتصالات،

وإنشاء نسخ احتياطية، ووضع خطط لاستمرارية الخدمة عند حدوث أعطال تقنية.

كما ينبغي التحقق من جودة البيانات قبل استخدامها في القرارات الحساسة، وتوثيق مصادرها وتواريخ تحديثها، ووضع آليات لاكتشاف المعلومات غير المكتملة أو غير المنطقية. ولا يمكن لنظام ذكي أن يقدم نتائج موثوقة إذا كانت البيانات التي يعتمد عليها ضعيفة أو متناقضة.

### التحديات المالية والبشرية والبيئية

يتطلب تطوير الربط الذكي استثمارات في المعدات والبرمجيات والاتصالات والصيانة والتكوين. وقد تواجه بعض المناطق صعوبات مرتبطة بضعف البنية الرقمية أو نقص الكفاءات المتخصصة، وهو ما يستدعي تنفيذ المشاريع تدريجياً وفق الأولويات، بدل اعتماد حلول مكلفة يصعب تشغيلها أو صيانتها.

ومن الضروري كذلك تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لكل مشروع لنقل المياه، لأن التكنولوجيا لا تلغي محدودية الموارد ولا تعالج وحدها جميع أسباب الإجهاد المائي. ويجب أن تظل حماية الأحواض والفرشات المائية وترشيد الطلب والحد من التلوث عناصر أساسية في أي استراتيجية رقمية.

### خطة مقترحة للتنفيذ في المغرب

يمكن البدء بتحديد مجموعة من المنشآت والشبكات ذات الأولوية، ثم توحيد مؤشرات القياس ومعايير تبادل البيانات بينها. وبعد ذلك، يمكن إطلاق مشاريع تجريبية لمراقبة المخزون والتدفقات واكتشاف التسربات، مع تقييم نتائجها من حيث الدقة والتكلفة والنجاعة قبل توسيعها.

وتتطلب المرحلة التالية ربط الأنظمة المتفرقة ضمن منصة قابلة للتطوير، وتكوين فرق تقنية قادرة على تشغيلها وصيانتها، ووضع قواعد واضحة لتبادل المعلومات واتخاذ القرار. وينبغي نشر مؤشرات مائية دورية ومفهومة للعموم كلما سمحت اعتبارات الأمن وحماية المعطيات بذلك، حتى تتعزز الشفافية والثقة في تدبير الموارد.

## خاتمة الفصل

يمثل الربط الذكي فرصة لتطوير تدبير الموارد المائية في المغرب من خلال الجمع بين المنشآت الهندسية والبيانات الدقيقة والتحليل العلمي والتخطيط الاستباقي. ويمكن للتكنولوجيا والذكاء الاصطناعي أن يساعدوا على تحسين مراقبة السدود، وتنسيق نقل المياه، والحد من التسربات، وترشيد الاستهلاك، ودعم اتخاذ القرار في فترات الجفاف.

غير أن نجاح هذه الرؤية لا يرتبط بالتكنولوجيا وحدها، بل يتطلب حكمة واضحة، وتمويلًا مستدامًا، وكفاءات بشرية مؤهلة، وبيانات

موثوقة، واحترامًا للعدالة المجالية والضوابط البيئية. وعندما تندمج هذه العناصر في إطار وطني منسق، يمكن للربط الذكي أن يصبح رافعة مهمة لتعزيز الأمن المائي والاستعداد لتحديات المستقبل.

بدر شاشا

يمثل البنك المائي الجهوي والوطني تصورًا مقترحًا لتطوير حكمة الموارد المائية بالمغرب، من خلال جمع المعلومات وتحليلها وتنسيق القرارات المتعلقة بالمخزون والحاجيات والتوزيع. ويمكن لهذا التصور أن يعزز التكامل بين السدود والأحواض وشبكات النقل، وأن يدعم التخطيط المسبق والاستجابة للأزمات.

غير أن نجاحه يتطلب إطارًا مؤسسيًا واضحًا، وبيانات موثوقة ومحدثة، وتعاونًا بين الجهات، وضمان العدالة والشفافية وحماية الموارد البيئية. ويمهد هذا الفصل للانتقال إلى الربط الذكي، باعتباره الوسيلة التقنية التي يمكن أن تجعل منظومة تدبير المياه أكثر دقة وسرعة وفعالية.

بدر شاشا

الفصل السادس: الحكمة المائية والعدالة المجالية في توزيع الموارد المائية بالمغرب

## مقدمة الفصل

لا يقتصر تحقيق الأمن المائي على بناء السدود وإنشاء قنوات نقل المياه وربط الأحواض المائية، بل يتطلب أيضاً حكمة فعالة تضمن حسن استعمال الموارد المتاحة وتوزيعها بطريقة عادلة ومستدامة. فالماء مورد حيوي يرتبط بالحياة والصحة والغذاء والتنمية الاقتصادية والاستقرار الاجتماعي، ولذلك فإن تدبيره يحتاج إلى رؤية شاملة تجمع بين التخطيط العلمي والمسؤولية المؤسسية والمشاركة المجتمعية.

ويواجه المغرب تحديات مائية متزايدة نتيجة توالي فترات الجفاف، وتفاوت التساقطات بين المناطق، وتزايد الطلب على المياه في المدن والقرى والقطاع الفلاحي والأنشطة الاقتصادية. وأمام هذه التحديات، تصبح الحكمة المائية عنصراً أساسياً لضمان التوازن بين الموارد المتاحة والحاجيات المتنامية، ولتفادي القرارات التي قد تعالج أزمة منطقة على حساب منطقة أخرى.

## مفهوم الحكمة المائية

تعني الحكمة المائية اعتماد قواعد واضحة وشفافة لتخطيط الموارد المائية وتخصيصها ومراقبتها وتقييم نتائج تدبيرها. وتشمل تحديد المسؤوليات بين المؤسسات، وتنسيق السياسات العمومية، وتوفير

البيانات الدقيقة، وربط القرارات بالأهداف البيئية والاجتماعية والاقتصادية.

وتقوم الحكامة الجيدة على التخطيط بعيد المدى، والمحاسبة، والشفافية، والتقييم المستمر، والقدرة على تعديل القرارات عند تغير الظروف المناخية أو الاقتصادية. كما تتطلب التنسيق بين مختلف المتدخلين، حتى لا تعمل المؤسسات بصورة منفصلة أو تتخذ قرارات متعارضة بشأن المورد المائي نفسه.

### العدالة المجالية في توزيع المياه

تقوم العدالة المجالية على مراعاة اختلاف ظروف المناطق وحاجيات سكانها وقدرتها على الوصول إلى الموارد المائية. فبعض الجهات تتوفر على موارد سطحية مهمة، بينما تعتمد مناطق أخرى بدرجة أكبر على المياه الجوفية أو على منشآت نقل المياه أو على حلول محلية للتزويد.

ولا تعني العدالة توزيع الكميات نفسها على جميع المناطق دون اعتبار لظروفها، بل تعني اعتماد معايير منصفة وشفافة تراعي عدد السكان والحاجيات الأساسية والموارد المتاحة والخصائص المناخية والاقتصادية والقيود البيئية. ويجب أن تضمن هذه المعايير وصول السكان إلى الماء الصالح للشرب، مع تدبير الحاجيات الأخرى وفق الأولويات والقواعد المعتمدة.

## أولوية الماء الصالح للشرب

ينبغي أن يحتل تزويد السكان بالماء الصالح للشرب مكانة أساسية في تخطيط الموارد وتدبير فترات الندرة. ويتطلب ذلك إعداد خطط استباقية للمدن والقرى، وتأمين مصادر بديلة عند الضرورة، وصيانة شبكات التوزيع، والحد من التسربات، وتحسين مراقبة جودة المياه.

كما ينبغي الاهتمام بالمناطق القروية والنائية التي قد تواجه صعوبات مرتبطة بتباعد التجمعات السكانية أو ارتفاع تكلفة المنشآت أو محدودية المصادر المحلية. ويمكن الجمع بين حلول مختلفة، مثل تقوية الشبكات، وإنشاء خزانات محلية، وتجميع مياه الأمطار حيث تسمح الظروف، والاستفادة من الموارد البديلة بعد التحقق من سلامتها وجدواها.

## دور المؤسسات في تدبير الموارد المائية

تتطلب الحكامة المائية توزيعاً واضحاً للاختصاصات بين المؤسسات الوطنية والجهوية والمحلية، مع تحديد آليات التنسيق وتبادل المعلومات. فالتخطيط الوطني يساعد على تحديد التوجهات الكبرى والأولويات، بينما يسمح التدبير الجهوي بفهم خصوصيات الأحواض المائية والحاجيات المحلية.

ويجب أن تكون القرارات المتعلقة بتخصيص المياه ونقلها وتشغيل السدود مبنية على بيانات موثوقة ودراسات تقنية وبيئية واقتصادية. كما ينبغي توضيح المسؤولية عن التنفيذ والمراقبة والصيانة، وتقييم النتائج بصورة دورية حتى يمكن تصحيح الاختلالات وتحسين أداء المنظومة.

### الحكامة في مشاريع الربط المائي

تحتاج مشاريع الربط بين الأحواض والسدود إلى قواعد دقيقة تحدد متى يمكن نقل المياه، وما الكميات المناسبة، وما الشروط التي ينبغي احترامها لحماية المناطق المصدرة للمياه والمناطق المستقبلية لها. ولا يكفي أن يكون النقل ممكنًا من الناحية الهندسية، بل يجب أن يكون مبررًا من الناحية المائية والاقتصادية والبيئية.

ومن الضروري تقييم أثر كل مشروع على المخزون المحلي، وعلى المياه الجوفية، وعلى الأنشطة الاقتصادية، وعلى النظم البيئية. كما ينبغي احتساب تكاليف الطاقة والصيانة والاستثمارات، ومقارنة نقل المياه بحلول أخرى مثل تقليل التسربات، وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة، وتحلية مياه البحر في المواقع الملائمة.

### البنك المائي أداة للشفافية والتنسيق

يمكن تطوير فكرة البنك المائي الجهوي والوطني بوصفها آلية مقترحة لتجميع البيانات حول الموارد والحاجيات والمخزون والالتزامات المائية. ولا يُقصد بالبنك هنا مؤسسة مالية، بل منظومة معلوماتية وتديرية تساعد على توضيح الوضع المائي وتنسيق القرارات بين المستويات الجهوية والوطنية.

ويمكن لهذه المنظومة أن توفر مؤشرات حول مخزون السدود، وتقديرات الطلب، وحجم الموارد المخصصة لمختلف الاستعمالات، وتطور الوضعية المائية عبر الزمن. كما يمكن أن تساعد على مقارنة السيناريوهات قبل اتخاذ قرارات نقل المياه، وتوثيق أسباب الاختيارات المتخذة، بما يعزز الشفافية ويحد من تضارب المعلومات.

### المشاركة المجتمعية والتوعية المائية

لا يمكن تحقيق الأمن المائي بالقرارات الإدارية والمشاريع الهندسية وحدها، لأن سلوك المستهلكين والفاعلين الاقتصاديين يؤثر مباشرة في حجم الطلب على المياه. ولذلك ينبغي تعزيز التوعية بأهمية ترشيد الاستهلاك، وتشجيع الممارسات التي تحد من الهدر في المنازل والمدارس والمؤسسات والمزارع.

كما يمكن إشراك الجماعات الترابية وجمعيات مستعملي المياه والفلاحين والخبراء والجامعات في التشخيص المحلي وتقييم البرامج. وتساعد المشاركة على تحديد الاحتياجات الفعلية، وفهم الصعوبات التي

تواجه السكان، وتحسين قبول التدابير المتخذة، خصوصًا في فترات الجفاف التي قد تتطلب إجراءات استثنائية.

## تدبير النزاعات حول المياه

قد تظهر خلافات بين المناطق أو القطاعات الاقتصادية عندما تصبح الموارد المائية محدودة. ويمكن الحد من هذه الخلافات عبر وضع معايير معلنة لتخصيص المياه، وتوفير معلومات دقيقة، وإحداث آليات للتشاور والتظلم، والاعتماد على الدراسات العلمية عند المفاضلة بين الخيارات.

وينبغي أن تراعي آليات حل النزاعات القوانين المنظمة للماء والحقوق المعترف بها، مع إعطاء الأولوية للحاجيات الأساسية وحماية الموارد على المدى الطويل. كما يتعين تجنب الاستنزاف غير المستدام للمياه الجوفية، لأن الإفراط في الاستغلال قد يؤدي إلى تدهور يصعب تداركه ويزيد من حدة التنافس بين المستعملين.

## الشفافية والمحاسبة ومؤشرات الأداء

تحتاج الحكامة الفعالة إلى مؤشرات واضحة تقيس مدى نجاح السياسات المائية. ويمكن أن تشمل هذه المؤشرات استمرارية التزويد بالماء الصالح للشرب، ومعدلات ضياع المياه في الشبكات، وكفاءة

استعمال مياه الري، وتطوير المخزون، وجودة المياه، وتكاليف النقل والصيانة، ومدى احترام القيود البيئية.

ويجب نشر المعلومات المناسبة للعموم بلغة واضحة، مع التمييز بين القياسات الفعلية والتقديرات والتوقعات. كما ينبغي إخضاع المشاريع والبرامج لتقييم دوري يوضح النتائج المحققة والتحديات المتبقية، ويساعد على توجيه الاستثمارات نحو الحلول الأكثر نجاعة.

### تمويل مستدام للمشاريع المائية

تتطلب المحافظة على المنشآت المائية وتطويرها موارد مالية مستمرة لا تقتصر على مرحلة البناء. فالسدود والقنوات ومحطات الضخ والمعالجة تحتاج إلى صيانة دورية وتجديد للمعدات وتكوين للعاملين ومراقبة للسلامة.

ومن ثم، ينبغي أن يستند تمويل المشاريع إلى دراسات تحدد تكاليف الاستثمار والتشغيل والصيانة طوال عمر المنشأة، مع مراعاة القدرة على تحمل التكاليف بالنسبة إلى السكان والفئات الهشة. كما ينبغي تقييم البدائل المختلفة قبل الالتزام بمشاريع كبرى، حتى تُوجَّه الموارد المالية إلى الحلول التي تحقق أكبر منفعة مائية واجتماعية وبيئية.

مقترح لإرساء حكمة مائية متكاملة في المغرب

يمكن تعزيز الحكامة المائية من خلال بناء إطار تنسيقي يجمع التخطيط الوطني والتدبير الجهوي والمراقبة المحلية. ويقوم هذا الإطار على توحيد المؤشرات الأساسية، وتحسين تبادل البيانات، وتحديد المسؤوليات، وإعداد خطط لمواجهة الجفاف، ووضع معايير واضحة لتخصيص الموارد ونقل المياه بين الأحواض.

ويمكن أن تدعم منصة رقمية وطنية هذا التنسيق من خلال عرض البيانات المحدثة وتوفير أدوات للمقارنة بين السيناريوهات. كما يمكن اعتماد تقارير دورية لتقييم الأداء، وإجراء مشاورات مع الجهات المعنية قبل اتخاذ القرارات التي تؤثر بشكل كبير في توزيع المياه أو في استدامة الموارد.

ويجب تنفيذ هذا التصور تدريجياً، مع الاستفادة من التجارب القائمة وتحديد الثغرات القانونية والمؤسسية والتقنية التي تحتاج إلى معالجة. فالغاية ليست إضافة هياكل جديدة دون ضرورة، بل تحسين التنسيق والفعالية والمحاسبة داخل المنظومة المائية.

## خاتمة الفصل

تمثل الحكامة المائية والعدالة المجالية ركيزتين أساسيتين لتحقيق الأمن المائي في المغرب. فالمشاريع الهندسية والتقنيات الذكية لا تحقق كامل أهدافها إلا إذا ارتبطت بقواعد عادلة لتوزيع المياه، وبتنسيق فعال بين

المؤسسات، وبمشاركة المجتمع، وبمراقبة مستمرة للنتائج والآثار البيئية.

إن بناء منظومة مائية متوازنة يتطلب الجمع بين حماية الموارد المحلية والتضامن بين الجهات وترشيد الطلب والاستثمار في البنية التحتية وصيانة المنشآت القائمة. ومن خلال الشفافية والتخطيط العلمي والمسؤولية المشتركة، يمكن للمغرب أن يعزز قدرته على مواجهة الجفاف، ويحسن استمرارية التزويد بالمياه، ويضمن حق الأجيال القادمة في موارد مائية مستدامة.

بدر شاشا

الفصل السابع: تحلية مياه البحر وإعادة استعمال المياه العادمة في تعزيز الأمن المائي بالمغرب

## مقدمة الفصل

أصبح تنويع مصادر المياه ضرورة استراتيجية لمواجهة التغيرات المناخية وتوالي سنوات الجفاف وتزايد الطلب على الماء في المغرب. فلم يعد الاعتماد على التساقطات المطرية والسدود والمياه الجوفية وحدها كافياً لضمان الاستقرار المائي في جميع المناطق، خصوصاً عندما تتراجع الواردات المائية وتزداد الضغوط على الفرشات الجوفية.

ومن هذا المنطلق، تبرز تحلية مياه البحر وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة باعتبارهما خيارين يمكن أن يسهما في تنويع الموارد وتخفيف الضغط على المياه التقليدية. ويمكن دمج هذين الخيارين ضمن رؤية وطنية متكاملة تشمل السدود والربط بين الأحواض والربط الذكي والبنك المائي الجهوي والوطني بوصفه تصورًا مقترحًا لتنسيق المعلومات والموارد.

### تحلية مياه البحر: مورد استراتيجي متجدد

تعتمد تحلية مياه البحر على إزالة الأملاح والشوائب من مياه البحر لإنتاج مياه يمكن استعمالها وفق معايير الجودة المطلوبة. وتستخدم تقنيات مختلفة في هذا المجال، من أبرزها التناضح العكسي، الذي يعتمد على أغشية خاصة لفصل الأملاح عن الماء تحت ضغط مناسب.

وتكمن أهمية التحلية في إمكانية توفير مصدر مائي لا يعتمد مباشرة على كمية الأمطار أو الواردات إلى السدود. ويمكن أن يكون هذا المصدر مهمًا للمدن الساحلية والمناطق التي تتوفر على شروط مناسبة لإنشاء محطات التحلية وربطها بشبكات التوزيع أو بمنشآت نقل المياه.

### دور التحلية في الأمن المائي المغربي

يمكن للتحلية أن تساعد على تأمين جزء من حاجيات الماء الصالح للشرب، وأن تخفف الضغط عن السدود والفرشات الجوفية عندما تُدار

ضمن تخطيط متوازن. كما يمكن أن توفر موردًا إضافيًا لبعض الأنشطة الاقتصادية، بحسب جودة المياه المنتجة وتكلفة المعالجة والنقل.

غير أن التحلية ليست حلًا مجانيًا أو خاليًا من التحديات. فهي تتطلب استثمارات مهمة، وطاقة لتشغيل المحطات، وصيانة للأغشية والمعدات، وتدبيرًا بيئيًا دقيقًا للمياه المركزة الناتجة عن العملية. ولذلك يجب تقييم كل مشروع وفق موقعه وحاجياته وكلفته وآثاره البيئية قبل اعتماده.

### الربط بين محطات التحلية والمدن والجهات

تتحدد قيمة محطة التحلية بقدرتها على إيصال المياه المنتجة إلى المستعملين. ولهذا ينبغي التخطيط للمحطة وشبكات النقل والخزانات ومحطات الضخ باعتبارها منظومة واحدة. كما يجب دراسة المسافات والارتفاعات والطلب المتوقع وكلفة الطاقة والقدرة الاستيعابية لشبكات التوزيع.

ويمكن، في المواقع التي تسمح ظروفها التقنية والاقتصادية بذلك، دراسة ربط محطات التحلية بخطوط نقل المياه أو ببعض منشآت التخزين، حتى تتوفر مرونة أكبر في تلبية الحاجيات خلال فترات الجفاف. لكن هذا الربط يحتاج إلى دراسات هندسية وبيئية واقتصادية دقيقة، ولا ينبغي افتراض أن نقل المياه المحلاة لمسافات طويلة هو الخيار الأقل تكلفة في جميع الحالات.

## الطاقة المتجددة ومحطات التحلية

تستهلك عمليات التحلية الطاقة، ولذلك فإن تحسين كفاءة المحطات وربطها، حيثما أمكن، بمصادر الطاقة المتجددة يمكن أن يساعد على تقليل البصمة الكربونية والتعرض لتقلبات أسعار الطاقة. ويمكن دراسة التكامل مع الطاقة الشمسية أو الريحية وفق ظروف الموقع وطبيعة التشغيل واحتياجات استقرار الإمداد الكهربائي.

كما ينبغي اعتماد أنظمة لمراقبة الاستهلاك الطاقوي وكفاءة المعدات، وإجراء الصيانة الوقائية، وتقييم الأداء الفعلي للمحطة بصورة منتظمة. فالنجاح لا يقاس بكمية المياه المنتجة فقط، بل كذلك بتكلفة إنتاجها واستدامة تشغيلها وجودتها وأثرها البيئي.

## التدبير البيئي لمياه الرجيع الملحي

ينتج عن تحلية مياه البحر تيار مائي مرتفع الملوحة يُعرف بالرجيع الملحي. ويتطلب التعامل معه دراسة طبيعة الوسط البحري وخصائص التيارات البحرية وموقع التصريف ودرجة التخفيف الممكنة، مع احترام الشروط التنظيمية والبيئية المعتمدة.

ويمكن الحد من الآثار المحتملة من خلال اختيار الموقع المناسب، وتصميم نظام تصريف ملائم، ومراقبة جودة المياه البحرية قبل التشغيل وبعده، ودراسة التقنيات التي تسمح بتقليل الأثر أو الاستفادة من بعض مكونات الرجيع الملحي عندما تكون مجدية وآمنة. ويجب أن يظل تقييم الأثر البيئي جزءًا أساسيًا من دورة حياة المشروع.

### إعادة استعمال المياه العادمة المعالجة

تنتج المدن والتجمعات السكانية كميات مهمة من المياه العادمة، ويمكن بعد جمعها ومعالجتها وفق مستويات مناسبة إعادة استعمالها في بعض المجالات بدل تصريفها دون الاستفادة منها. وتساعد هذه الممارسة على تقليل الطلب على المياه العذبة وتخفيف الضغط على الموارد الطبيعية.

وتختلف استعمالات المياه المعالجة حسب مستوى المعالجة والمعايير الصحية والبيئية المعتمدة. ويمكن أن تشمل بعض الاستعمالات سقي المساحات الخضراء، وري محاصيل ملائمة وفق الضوابط المعمول بها، وبعض الاستخدامات الصناعية، وتطبيقات أخرى تسمح بها جودة المياه والأنظمة المنظمة لها.

### معايير الجودة والسلامة الصحية

يتطلب نجاح إعادة الاستعمال التأكد من أن جودة المياه المعالجة تتناسب مع الغرض المحدد لها. فالمياه المخصصة لاستعمال معين لا يمكن اعتبارها صالحة تلقائيًا لاستعمال آخر، كما أن جودة المياه قد تتغير تبعًا لطبيعة المياه العادمة وكفاءة محطة المعالجة والصيانة وظروف التشغيل.

لذلك يجب وضع برامج للمراقبة المنتظمة، وإجراء التحاليل اللازمة، وتحديد المسؤوليات المتعلقة بالتشغيل والصيانة، وتأمين شبكات نقل المياه المعالجة بما يمنع الخلط غير المقصود بينها وبين مياه الشرب. كما ينبغي توعية المستعملين بشروط السلامة والتعامل الصحيح مع هذه الموارد.

### استعمال المياه المعالجة في الفلاحة والصناعة

يمكن أن تساعد المياه المعالجة على توفير جزء من احتياجات الري أو بعض العمليات الصناعية عندما تتوافق جودتها مع المتطلبات التقنية والصحية والبيئية. ويتيح ذلك تحرير جزء من المياه العذبة لاستعمالات أكثر حساسية، ومنها التزويد بالماء الصالح للشرب.

غير أن نجاح هذه المشاريع يتوقف على انتظام الإمداد، وقرب مصدر المياه من موقع الاستعمال، وتكلفة المعالجة والضخ، وملاءمة نوعية المياه للتربة والمحاصيل أو العمليات الصناعية. كما ينبغي مراقبة تراكم

الأملاح وبعض الملوثات المحتملة، حتى لا يؤدي الاستعمال المتكرر إلى آثار سلبية على التربة أو البيئة.

## التكامل بين التحلية والمياه المعالجة والسدود

تحتاج المنظومة المائية المتكاملة إلى تنسيق مصادر المياه المختلفة بدل تدبير كل مصدر بمعزل عن الآخر. ويمكن أن تؤدي محطات التحلية دورًا في تأمين جزء من حاجيات بعض المناطق الساحلية، بينما توفر المياه المعالجة موردًا بديلًا لبعض الاستعمالات غير المخصصة للشرب، وتساهم السدود والمياه السطحية والجوفية في تلبية الحاجيات وفق ظروف كل حوض.

ويجب أن يستند توزيع الأدوار بين هذه المصادر إلى دراسات الطلب والتكلفة والجودة والاستدامة. فالمياه المحلاة أو المعالجة لا ينبغي أن تُستخدم دون مراعاة كلفتها وملاءمتها، كما ينبغي عدم الاستمرار في استنزاف المياه الجوفية لمجرد توفر مورد بديل في منطقة أخرى دون وجود شبكة نقل مناسبة ومجدية.

## علاقة هذه المصادر بالبنك المائي الجهوي والوطني

يمكن أن يتضمن التصور المقترح للبنك المائي الجهوي والوطني بيانات حول الطاقة الإنتاجية لمحطات التحلية، والكميات المنتجة فعليًا، وحجم

المياه العادمة المعالجة، والكميات المعاد استعمالها، وتكاليف التشغيل، ومؤشرات الجودة والطلب.

وتساعد هذه المعلومات على تقدير الموارد المتاحة فعليًا، وتحديد الفجوة بين العرض والطلب، واختيار الحلول المناسبة لكل جهة. كما يمكن أن تدعم المقارنة بين سيناريوهات الاستثمار في التحلية أو إعادة الاستعمال أو تقوية الشبكات أو تقليل التسربات، مع مراعاة التكاليف والآثار البيئية والاجتماعية.

### التحديات المالية والمؤسسية

تتطلب مشاريع التحلية والمعالجة استثمارات في البناء والمعدات والشبكات، إضافة إلى نفقات مستمرة للطاقة والمواد والصيانة والمراقبة. ولهذا ينبغي إعداد دراسات مالية تأخذ بعين الاعتبار التكلفة الكاملة طوال عمر المشروع، وتحدد مصادر التمويل ونموذج التشغيل وتوزيع المسؤوليات.

كما يحتاج توسيع إعادة الاستعمال إلى تنسيق بين الجهات المسؤولة عن التطهير السائل والمياه والبيئة والفلاحة والصناعة والجماعات الترابية. ويجب تحديد المعايير والضوابط وآليات المراقبة بوضوح، مع بناء الثقة لدى المستعملين من خلال نشر معلومات دقيقة عن الجودة والسلامة والأداء.

## خطة مقترحة لتوسيع الاستفادة من الموارد البديلة

يمكن البدء بتحديد المناطق التي تعاني عجزاً مائياً متكرراً، ثم تقييم ملائمة التحلية أو إعادة الاستعمال أو الجمع بينهما وفق الموارد المحلية والطلب المتوقع والبنية التحتية المتاحة. وينبغي أن تتضمن الدراسات مقارنة واضحة بين البدائل من حيث التكلفة والطاقة والآثار البيئية والقدرة على ضمان الإمداد.

وبعد تحديد المشاريع ذات الأولوية، يمكن تنفيذ مراحل تجريبية أو توسعات مدروسة، مع اعتماد مؤشرات لقياس كمية المياه المنتجة والمستعملة وتكلفة المتر المكعب وجودة المياه ومستوى الاعتمادية. كما ينبغي تقوية شبكات التوزيع والصيانة والتكوين بالتوازي مع إنشاء المحطات، حتى لا تبقى القدرة الإنتاجية دون استفادة فعلية.

## خاتمة الفصل

تمثل تحلية مياه البحر وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة عنصرين مهمين في تنويع مصادر المياه بالمغرب، ويمكن أن يسهما في تخفيف الضغط على السدود والمياه الجوفية وتعزيز مرونة التوريد خلال فترات الجفاف. لكن فعاليتهما ترتبط بحسن اختيار المواقع والتقنيات، وتوفير الطاقة، وضمان الجودة، وتدبير الآثار البيئية، وتطوير شبكات النقل والتوزيع.

إن المستقبل المائي المستدام يتطلب منظومة تجمع بين حماية الموارد التقليدية، وترشيد الاستهلاك، وتقليل التسربات، وإعادة الاستعمال الآمن، والتحلية في المواقع المناسبة، والتنسيق الذكي بين مختلف المصادر. ومن خلال التخطيط العلمي والشفافية والتقييم المستمر، يمكن للمغرب أن يوسع خياراته المائية ويحسن قدرته على مواجهة الأزمات وضمان حاجيات الأجيال القادمة.

بدر شاشا

الفصل الثامن: الاستراتيجية الوطنية المتكاملة للأمن المائي في المغرب — من ربط السدود إلى البنك المائي والربط الذكي والتنمية المستدامة

تأليف: بدر شاشا

مقدمة الفصل

يمثل الماء أساس الحياة والتنمية والاستقرار الاجتماعي والاقتصادي، ولا يمكن لأي مشروع تنموي أن يحقق أهدافه دون توفر موارد مائية كافية وآمنة ومستدامة. وفي المغرب، أصبح الأمن المائي قضية استراتيجية ترتبط بالتغيرات المناخية وتوالي فترات الجفاف وتفاوت التساقطات وتزايد الطلب على المياه بفعل النمو الحضري والفلاحي والصناعي والسياحي.

إن مواجهة هذه التحديات لا تتحقق بحل واحد، ولا بمجرد بناء سدود جديدة أو نقل المياه من منطقة إلى أخرى. بل تحتاج إلى منظومة وطنية متكاملة تجمع بين تعبئة الموارد، وحماية المخزون، وترشيد الاستهلاك، وإصلاح الشبكات، وتنويع مصادر المياه، وتحسين الحكامة، وتوظيف التكنولوجيا، وضمان العدالة في توزيع الموارد.

ويقدم هذا الفصل تصورًا استراتيجيًا مقترحًا لتكامل هذه العناصر، مع التمييز بين المنشآت والبرامج القائمة فعلًا وبين الأفكار التي تحتاج إلى دراسات ومراحل تنفيذ وموافقات مؤسسية.

## الرؤية الوطنية للأمن المائي

تقوم الرؤية المقترحة على اعتبار المياه ثروة وطنية محدودة ينبغي تدبيرها وفق قواعد الاستدامة والتضامن والمسؤولية. ويجب أن تجمع السياسة المائية بين حماية الموارد المحلية والتعاون بين الأحواض عند الضرورة، مع إعطاء الأولوية للحاجيات الأساسية للسكان والمحافظة على النظم البيئية.

ولا يعني الأمن المائي توفير أكبر كمية ممكنة من المياه بأي تكلفة، بل يعني ضمان إمدادات موثوقة تتناسب مع الحاجيات والقدرة الاقتصادية والحدود البيئية. فقد يكون تقليل التسربات أو تحسين الري أو إعادة استعمال المياه المعالجة أكثر نجاعة في بعض الحالات من إنشاء مشروع جديد لنقل المياه لمسافات طويلة.

ولهذا ينبغي أن تنطلق القرارات من تقييم علمي للموارد والطلب والكلفة والآثار البيئية والاجتماعية، وأن تخضع المشاريع الكبرى للمقارنة والتقييم قبل اختيار الحل الأنسب.

### تشخيص الموارد المائية في المغرب

تتوزع الموارد المائية بين المياه السطحية التي تشمل الأنهار والسدود، والمياه الجوفية المخزنة في الفرشات المائية، ومياه الأمطار التي يمكن جمعها أو الاستفادة منها محلياً، إضافة إلى الموارد البديلة مثل مياه البحر المحلاة والمياه العادمة المعالجة.

وتختلف وفرة المياه من منطقة إلى أخرى، كما تختلف من سنة إلى أخرى. وقد تتعرض بعض الأحواض إلى انخفاض كبير في الواردات خلال سنوات الجفاف، بينما تواجه مناطق أخرى تحديات مرتبطة بارتفاع الطلب أو محدودية البنية التحتية أو تدهور جودة المياه.

ويقتضي التشخيص الوطني جمع بيانات محدثة عن المخزون والواردات والتفريغات والاستهلاك وحالة الشبكات وجودة المياه الجوفية والسطحية. كما يجب التمييز بين الكميات المخزنة نظرياً والكميات التي يمكن توفيرها فعلياً، لأن بعض الموارد تكون مقيدة بالجودة أو الموقع أو تكاليف النقل أو متطلبات حماية البيئة.

## السدود بوصفها ركيزة للتخزين والتنظيم

تؤدي السدود دورًا مهمًا في تخزين المياه وتنظيم جزء من تدفقاتها، وتوفير المياه للشرب والري وبعض الاستخدامات الاقتصادية، إضافة إلى أدوار أخرى تختلف حسب تصميم كل منشأة ووظيفتها. غير أن فعالية السد لا ترتبط بسعته وحدها، بل تتأثر بحجم الواردات المائية، والتبخر، والترسبات، والطلب، وقواعد التشغيل والصيانة.

ويجب اعتماد تدبير استباقي للمخزون يراعي التوقعات المناخية والحاجيات المستقبلية، مع المحافظة على مستويات تشغيل مناسبة والسلامة التقنية للسدود. كما ينبغي الاستثمار في صيانة المنشآت القائمة وتحسين مراقبتها، لأن حماية البنية التحتية الموجودة قد تحقق فوائد مهمة قبل التوسع في بناء منشآت جديدة.

## ربط السدود بالسدود

يقوم الربط بين السدود على إنشاء منظومة تسمح بنقل المياه بين بعض المنشآت عندما تتوفر شروط تقنية واقتصادية وبيئية مناسبة. ويمكن لهذا الربط أن يتيح مرونة إضافية في تدبير الموارد، وأن يساعد على الاستفادة من الفائض المتاح في بعض المواقع خلال فترات محددة لتلبية حاجيات في مواقع أخرى.

لكن الربط لا يعني أن جميع السدود يمكن وصلها مباشرة أو أن المياه قابلة للنقل دون قيود. فالمسافات والارتفاعات والضغط والتضاريس والطاقة المطلوبة والقدرات الاستيعابية ومخاطر الأعطاب كلها عوامل تؤثر في جدوى المشروع.

وينبغي أن تُصمم شبكة الربط وفق دراسات هيدرولوجية وهندسية ومالية وبيئية، مع تحديد قواعد التشغيل والجهات المسؤولة عن الصيانة ومصادر التمويل وآليات مراقبة التدفقات. كما يجب ضمان ألا يؤدي نقل المياه إلى إضعاف الأمن المائي للمناطق التي تعتمد على المنشآت المصدرة.

### الربط بين الأحواض المائية

يهدف الربط بين الأحواض إلى نقل المياه بين مناطق مائية مختلفة عندما تسمح الظروف بذلك، بهدف تقليل الاختلالات المجالية في توفر الموارد وتعزيز استمرارية التزويد. ويجب أن يُبنى هذا الخيار على تقييم واقعي للفائض المتاح والطلب في الحوض المستقبل، وعلى مراعاة حاجيات السكان والأنشطة الاقتصادية والأنظمة البيئية في الحوض المصدر.

ولا ينبغي اعتبار الفائض مجرد ارتفاع مؤقت في المخزون، بل يجب تقييم احتمالات تراجع الواردات والحاجيات المستقبلية والحدود البيئية. ومن الضروري أيضاً مقارنة النقل بحلول أخرى مثل تقليل التسربات

وتحسين كفاءة الري وإعادة استعمال المياه المعالجة وتحلية مياه البحر في المناطق الملائمة.

## البنك المائي الجهوي والوطني

يقترح هذا الكتاب تطوير مفهوم البنك المائي الجهوي والوطني بوصفه منظومة معلوماتية وتديرية تجمع البيانات المتعلقة بالموارد والمخزون والحاجيات والتخصيصات والتوقعات. والمقصود بالبنك هنا ليس مؤسسة مالية، بل آلية مقترحة لتنسيق المعلومات ومساعدة المؤسسات على اتخاذ قرارات أكثر وضوحًا وشفافية.

على المستوى الجهوي، يمكن أن يجمع البنك بيانات السدود والفرشات الجوفية وشبكات التوزيع والطلب الفلاحي والحضري والموارد البديلة. وعلى المستوى الوطني، يمكن دمج المعلومات الجهوية في لوحة قيادة تساعد على مقارنة الوضعيات المائية وتحديد المخاطر وتقييم سيناريوهات التدبير.

وينبغي أن يحدد هذا النظام مصادر البيانات ومسؤولية تحديثها وصلاحيات الوصول إليها، وأن يميز بين القياسات الفعلية والتقديرات والتوقعات. كما يجب ألا يؤدي تجميع البيانات إلى إخفاء الفوارق المحلية، بل أن يساعد على فهمها ومعالجتها.

## الربط الذكي والذكاء الاصطناعي

يمكن للتكنولوجيا أن تجعل إدارة الموارد المائية أكثر دقة من خلال أجهزة الاستشعار والعدادات الذكية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد وتحليل البيانات. وتساعد هذه الأدوات على مراقبة مستويات السدود والتدفقات والضغط وجودة المياه، كما يمكن أن تدعم اكتشاف التسربات والتنبؤ بالطلب وتحليل مخاطر الجفاف.

ويمكن تطوير نماذج للذكاء الاصطناعي تقارن بين سيناريوهات توزيع المياه وفق المخزون والطلب وكلفة الطاقة والقيود البيئية. لكن هذه النماذج يجب أن تعتمد على بيانات موثوقة وأن تخضع للمراجعة البشرية، وألا تتحول إلى بديل عن المسؤولية القانونية والمؤسسية.

ومن الضروري كذلك حماية الأنظمة الرقمية من الاختراق والتعطيل، وتوفير نسخ احتياطية وخطط لاستمرارية التشغيل، وتكوين أطر متخصصة في تشغيل هذه التقنيات وصيانتها.

## تحلية مياه البحر

توفر تحلية مياه البحر مصدرًا إضافيًا يمكن أن يساعد على تأمين جزء من الحاجيات، خصوصًا في المناطق الساحلية التي تسمح ظروفها بإنشاء محطات مناسبة وربطها بالشبكات. ويمكن أن يساهم هذا الخيار في تخفيف الضغط على السدود والمياه الجوفية إذا تم دمجها ضمن سياسة متوازنة لتدبير الطلب.

غير أن التحلية تحتاج إلى استثمارات وطاقة وصيانة ومراقبة مستمرة للجودة. كما تتطلب معالجة الأثر البيئي للرجيع الملحي، واختيار مواقع المحطات بعناية، ودراسة تكاليف نقل المياه المنتجة إلى المستهلكين.

ويمكن بحث التكامل بين محطات التحلية ومصادر الطاقة المتجددة حيث تسمح الظروف التقنية والاقتصادية بذلك. وينبغي تقييم كل مشروع على أساس كلفته الإجمالية واستدامة تشغيله ومساهمة الفعلية في الأمن المائي.

### إعادة استعمال المياه العادمة المعالجة

تمثل المياه العادمة المعالجة موردًا يمكن الاستفادة منه في بعض الاستعمالات بدل الاعتماد الكامل على المياه العذبة. وقد تشمل الاستخدامات الممكنة سقي المساحات الخضراء وبعض المحاصيل الملائمة أو بعض العمليات الصناعية، بشرط احترام معايير الجودة والسلامة الخاصة بكل استعمال.

ويتطلب ذلك تطوير محطات المعالجة وشبكات نقل المياه المعالجة، ومراقبة الجودة بصورة منتظمة، ومنع الخلط بينها وبين شبكات مياه الشرب. كما يجب مراعاة آثار الأملاح والملوثات المحتملة على التربة والمحاصيل والبيئة.

ويمكن أن يساهم توسيع إعادة الاستعمال في تحرير جزء من المياه العذبة للحاجيات الأساسية، لكن نجاحه يرتبط بقرب المحطات من مواقع الاستعمال وبانتظام الإمداد وتكلفة المعالجة والضخ وقبول المستعملين.

## حماية المياه الجوفية

تعد المياه الجوفية موردًا مهمًا، خصوصًا في المناطق التي تعتمد عليها في الشرب والري. غير أن الإفراط في الضخ قد يؤدي إلى انخفاض مستويات المياه وتدهور جودتها وارتفاع ملوحتها في بعض المناطق، كما قد يضر بالتوازن المائي على المدى الطويل.

ولذلك ينبغي مراقبة مستويات الفرشات الجوفية ومعدلات السحب وجودة المياه، وتطوير خطط لتقليل الاستنزاف وتشجيع الاستعمال الكفاء. كما يمكن دراسة تغذية الفرشات بشكل اصطناعي في المواقع المناسبة، بعد التحقق من جودة المياه المستخدمة والظروف الجيولوجية والهيدرولوجية ومتطلبات الحماية الصحية والبيئية.

ولا بد من إدماج المياه الجوفية في منظومة المعلومات المائية حتى لا تُتخذ قرارات نقل أو تخصيص المياه السطحية دون فهم العلاقة بينها وبين الموارد الجوفية.

ترشيد الاستهلاك وإصلاح شبكات التوزيع

إن كل كمية من المياه يتم توفيرها عبر تقليل التسربات أو تحسين الاستعمال تمثل مكسباً للأمن المائي. ولهذا ينبغي تطوير برامج لفحص الشبكات وإصلاح الأعطاب وتجديد الأجزاء المتدهورة وتركيب أجهزة قياس مناسبة وتحليل بيانات الاستهلاك.

كما يتطلب ترشيد الاستهلاك توعية الأسر والمؤسسات وتشجيع التجهيزات المقتصدة للمياه، ومراجعة الممارسات التي تؤدي إلى الهدر. ويمكن للمؤسسات العمومية أن تكون نموذجاً من خلال مراقبة استهلاك مبانيها وحدائقها ومرافقها وإعداد خطط لتقليل الفاقد.

ويجب أن ترافق هذه الجهود سياسات واضحة لحماية الفئات الهشة وضمان وصول السكان إلى حاجاتهم الأساسية، حتى لا يتحول ترشيد الاستهلاك إلى عبء غير متوازن على الأسر محدودة الدخل.

## الفلاحة والأمن الغذائي والمائي

يرتبط الماء بالأمن الغذائي ارتباطاً وثيقاً، لأن القطاع الفلاحي يحتاج إلى موارد مائية تتناسب مع المحاصيل والظروف المناخية. ومن الضروري تحسين كفاءة الري، ومواكبة الفلاحين تقنياً، واختيار الزراعات الملائمة للموارد المتاحة، وتطوير أساليب تدبير التربة وتقليل التبخر.

ولا يكفي اعتماد تقنيات الري الحديثة وحدها لضمان خفض الاستهلاك الكلي، فقد يؤدي تحسين الكفاءة في بعض الحالات إلى توسيع المساحات المزروعة وزيادة الطلب الإجمالي. لذلك ينبغي تقييم أثر التدخلات على مجموع الاستهلاك، وليس فقط على كمية المياه المستعملة في الحقل الواحد.

كما يجب تحقيق توازن بين احتياجات الفلاحة والماء الصالح للشرب والأنشطة الاقتصادية الأخرى، وفق قواعد معلنة تأخذ بعين الاعتبار الظروف المائية والاجتماعية والاقتصادية لكل منطقة.

### الحكامة والعدالة المجالية

تحتاج المنظومة المائية إلى توزيع واضح للمسؤوليات وتنسيق بين المؤسسات الوطنية والجهوية والمحلية. كما تتطلب نشر المعلومات المناسبة للعموم، واعتماد مؤشرات لتقييم الأداء، وإجراء مشاورات مع المتدخلين، وتحديد آليات لمعالجة النزاعات حول تخصيص المياه.

وتقوم العدالة المجالية على مراعاة الحاجيات الأساسية للسكان وظروف الأحواض والموارد المتاحة وتكاليف إيصال المياه. ولا تعني العدالة توزيع كميات متساوية على جميع المناطق مهما اختلفت ظروفها، بل تعني اعتماد معايير شفافة ومنصفة تضمن الحقوق الأساسية وتحافظ على استدامة الموارد.

ويجب أن تراعي المشاريع الكبرى آثارها على المناطق المصدرة والمستقبلية للمياه، وأن تُقِيم آثارها البيئية والاجتماعية والاقتصادية قبل اتخاذ القرار النهائي.

## التمويل والاستثمار والصيانة

لا يقتصر تمويل الأمن المائي على بناء المنشآت، بل يشمل تشغيلها وصيانتها وتجديد معداتها وتكوين العاملين ومراقبة الجودة والسلامة. وقد يؤدي إهمال الصيانة إلى انخفاض كفاءة المنشآت وارتفاع كلفة إصلاحها مستقبلاً.

لذلك ينبغي إعداد دراسات مالية تقارن بين البدائل، وتحدد تكلفة الاستثمار والتشغيل والصيانة طوال العمر المتوقع للمشروع. كما يجب تقييم كلفة الطاقة والضخ والمعالجة والنقل، وعدم اتخاذ قرارات استثمارية اعتماداً على كلفة البناء وحدها.

ويجب أن يراعي التمويل القدرة على تحمل التكاليف بالنسبة إلى السكان والقطاعات الاقتصادية، وأن تكون المسؤوليات المالية والتشغيلية واضحة. ويمكن توجيه الاستثمارات نحو المشاريع ذات الأولوية بناءً على أثرها في استمرارية التزويد وتقليل الفاقد وحماية الموارد وتحسين القدرة على مواجهة الجفاف.

## حماية البيئة والتنوع البيولوجي

إن الأمن المائي لا يتحقق باستنزاف الأنهار والفرشات الجوفية أو الإضرار بالمناطق الرطبة والأنظمة البيئية. فهذه الأنظمة تؤدي وظائف مهمة في حفظ التوازن الطبيعي ودعم التنوع البيولوجي وتحسين جودة المياه في بعض الحالات.

ولهذا يجب أن تتضمن مشاريع السدود والربط والتحلية والمعالجة تقييمات بيئية ملائمة، ومراقبة للآثار خلال التنفيذ والتشغيل، وخططاً لتقليل الضرر ومعالجته. كما ينبغي مراعاة التدفقات البيئية اللازمة، وحماية مصادر المياه من التلوث، وتدبير الرواسب والمخلفات بطريقة سليمة.

وتساعد حماية الأحواض ومناطق تغذية المياه الجوفية على المحافظة على المورد من المنبع، وتقلل الحاجة إلى معالجة بعض المشكلات بعد وقوعها.

### التغيرات المناخية والاستعداد للجفاف والفيضانات

تفرض التغيرات المناخية اعتماد تخطيط مرّن يستعد لفترات الجفاف الطويلة وللأحداث المطرية الشديدة التي قد تسبب فيضانات وأضراراً بالبنية التحتية. ويجب أن تتضمن الخطط المائية سيناريوهات متعددة، بدل الاعتماد على متوسطات تاريخية قد لا تعكس جميع المخاطر المستقبلية.

ويمكن استخدام بيانات الأرصاد الجوية والمراقبة الميدانية والنماذج المناخية لتطوير أنظمة إنذار مبكر وتحديث خطط تدبير السدود ومصادر التزويد. كما ينبغي حماية المنشآت من المخاطر الطبيعية، وتحديد إجراءات واضحة عند انخفاض المخزون أو حدوث أعطال أو تلوث مفاجئ.

ويجب أن تكون خطط الطوارئ معروفة للمؤسسات المعنية، وأن تُختبر بصورة دورية، مع توفير قنوات للتواصل مع السكان حول إجراءات الترشيح أو الانقطاع المؤقت أو تغيير مصادر التزويد عند الضرورة.

### دور البحث العلمي والجامعات

يمكن للجامعات ومراكز البحث أن تساهم في تطوير نماذج للتنبؤ بالموارد المائية، وتحسين تقنيات المعالجة والتحلية، ودراسة المياه الجوفية، وتحليل آثار تغير المناخ، وتقييم كفاءة سياسات التدبير.

وينبغي تعزيز التعاون بين الباحثين والمؤسسات المكلفة بالماء والقطاع الخاص والجماعات الترابية، حتى تتحول نتائج الأبحاث إلى أدوات عملية تساعد على اتخاذ القرار. كما يمكن دعم مشاريع الابتكار التي تستهدف تقليل كلفة المراقبة والصيانة وتحسين كفاءة استعمال المياه.

ويجب أن تقوم القرارات الكبرى على أدلة علمية قابلة للفحص، وأن تُحدّث التقديرات عندما تظهر بيانات جديدة أو تتغير الظروف المائية.

## التعليم والتوعية والمسؤولية المجتمعية

تبدأ الثقافة المائية من المدرسة والأسرة والمجتمع المحلي. ويمكن إدماج مفاهيم الاقتصاد في الماء وحماية مصادره في الأنشطة التعليمية، وتنظيم حملات توعوية تشرح العلاقة بين الاستهلاك اليومي والمخزون المائي والتغيرات المناخية.

كما يمكن تشجيع المؤسسات والمقاولات والفنادق والمرافق العامة على وضع خطط لتقليل الاستهلاك ومراقبة التسربات وإعادة استعمال المياه حيث تسمح القوانين والمعايير بذلك. وتزداد فعالية هذه الجهود عندما تكون الرسائل واضحة، والنتائج قابلة للقياس، والممارسات المستدامة متاحة وميسورة للمستعملين.

## خطة تنفيذ وطنية مقترحة

تبدأ المرحلة الأولى بإعداد تشخيص موحد للموارد والحاجيات وحالة المنشآت والشبكات، وتحديد الثغرات في البيانات والتنسيق والصيانة. وينبغي خلال هذه المرحلة ترتيب الأولويات بحسب خطورة العجز المائي وعدد السكان المتأثرين وكلفة الحلول وآثارها البيئية.

وتشمل المرحلة التالية إطلاق مشاريع تجريبية قابلة للتقييم، مثل أنظمة مراقبة رقمية لبعض المنشآت، وبرامج تقليل التسربات، ومشاريع لإعادة استعمال المياه المعالجة، وتحسينات تشغيلية في شبكات التوزيع. وتُقاس النتائج قبل توسيع التجربة إلى مناطق أخرى.

بعد ذلك، يمكن تطوير منصة وطنية لتنسيق البيانات، وربطها تدريجيًا بالأنظمة الجهوية، وتوفير أدوات تحليل السيناريوهات وتقييم المخاطر. ويجب أن يصاحب ذلك تحديد المسؤوليات القانونية والمؤسسية، وتكوين الموارد البشرية، ووضع قواعد للأمن السيبراني وحماية البيانات.

أما مرحلة التوسع، فتتطلب تقييمًا دوريًا للمشاريع وتحديثًا للخطط بحسب نتائج التنفيذ والتغيرات المناخية وتطور الطلب. وينبغي أن يكون التوسع مرتبطًا بالأدلة والقدرة على التشغيل والصيانة، لا بمجرد الرغبة في زيادة عدد المنشآت.

## مؤشرات قياس النجاح

يمكن تقييم الاستراتيجية المقترحة عبر مؤشرات تشمل استمرارية التزويد بالماء الصالح للشرب، ومعدلات التسرب في الشبكات، وكفاءة استعمال مياه الري، وحالة المخزون المائي، وتطور مستويات المياه

الجوفية، وكمية المياه المعالجة المعاد استعمالها، وأداء محطات التحلية.

كما يمكن قياس كلفة إنتاج ونقل المتر المكعب، واستهلاك الطاقة، وجودة المياه، وسرعة إصلاح الأعطاب، ومدى احترام المتطلبات البيئية، ودرجة توفر البيانات وتحديثها. وينبغي نشر نتائج هذه المؤشرات بصورة دورية مع توضيح منهجية الحساب وحدود البيانات المتاحة.

ويجب ألا تُستخدم المؤشرات بمعزل عن بعضها؛ فزيادة كمية المياه المنقولة مثلاً لا تعني بالضرورة تحسن الأمن المائي إذا ارتفعت التكلفة كثيراً أو تضرر الحوض المصدر أو استمر الهدر في الشبكات.

## خاتمة الفصل

إن بناء أمن مائي مستدام في المغرب يتطلب الانتقال من التدبير المنفصل للمنشآت والمصادر إلى منظومة متكاملة تربط بين التخزين والنقل والمراقبة والترشيد والمعالجة والتخطيط. وتوفر السدود والربط بين الأحواض والتحلية وإعادة الاستعمال أدوات مهمة، لكن قيمتها الحقيقية تتحدد بمدى تكاملها مع الحكامة والعدالة المجالية وحماية البيئة والتمويل المستدام.

ويمثل البنك المائي الجهوي والوطني، بوصفه تصورًا مقترحًا، فرصة لتوحيد المعلومات وتسهيل المقارنة بين الحاجيات والموارد، بينما يمكن للربط الذكي والذكاء الاصطناعي تحسين التوقعات ودعم القرار. غير أن التكنولوجيا لا تعوض عن ضرورة إصلاح الشبكات وترشيد الطلب وحماية المياه الجوفية والالتزام بالمسؤولية المؤسسية.

إن الرهان الحقيقي ليس فقط توفير المياه في الحاضر، بل ضمان استدامتها للأجيال المقبلة. ويتطلب ذلك إرادة مشتركة وتخطيطًا علميًا وشفافية في القرار وتعاونًا بين المؤسسات والمجتمع، حتى يصبح الأمن المائي أساسًا للتنمية المتوازنة والاستقرار والكرامة الإنسانية في جميع جهات المغرب.

بدر شاشا

الفصل التاسع: النموذج العلمي المتكامل للأمن المائي في المغرب —  
هندسة الربط بين السدود والأحواض والبنك المائي الذكي باستخدام  
الرياضيات والهيدرولوجيا والذكاء الاصطناعي

تأليف: بدر شاشا

تمهيد علمي

إن تدبير الموارد المائية في المغرب لم يعد مجرد عملية لتخزين مياه الأمطار في السدود أو نقل المياه عبر القنوات، بل أصبح مسألة علمية متعددة التخصصات تتداخل فيها الهيدرولوجيا والهندسة المدنية والميكانيك والطاقة والاقتصاد والبيئة والإحصاء وعلوم الحاسوب. وكل قرار يتعلق بتخزين المياه أو تحويلها من حوض إلى آخر يجب أن يستند إلى معرفة دقيقة بالموارد المائي، وبالطلب الحالي والمستقبلي، وبالكلفة التقنية والاقتصادية، وبالأثار البيئية والاجتماعية.

ويقترح هذا الفصل إطارًا علميًا لتطوير منظومة وطنية متكاملة للأمن المائي، تربط بين القياسات الميدانية والنماذج الرياضية ومنشآت التخزين وشبكات النقل والبنك المائي الرقمي. وهو إطار تصوري قابل للدراسة والتطوير، وليس وصفًا لمنظومة واحدة مكتملة مطبقة بالفعل في المغرب.

### الماء بوصفه نظامًا ديناميكيًا

يتغير المورد المائي باستمرار بفعل التساقطات والتبخر والتسرب إلى التربة والجريان السطحي والتغذية الجوفية والسحب البشري. ولهذا لا يمكن تمثيل المخزون المائي برقم ثابت، بل يجب فهمه بوصفه متغيرًا يتغير مع الزمن والمكان والظروف المناخية.

تقوم المعادلة الأساسية لتوازن المياه على العلاقة التالية:

التغير في المخزون = الواردات - الصادرات - الاستهلاك الصافي  $\pm$  التغيرات الأخرى.

ويمكن التعبير عنها رياضياً على النحو التالي:

$$\Delta S = Q_{in} - Q_{out} + P - E - W + R$$

حيث يمثل  $\Delta S$  التغير في المخزون، ويمثل  $Q_{in}$  التدفقات الداخلة، و  $Q_{out}$  التدفقات الخارجة، و  $P$  المساهمة الفعلية للتساقطات داخل النظام، و  $E$  التبخر، و  $W$  السحب الصافي، و  $R$  مجموع المساهمات أو الخسائر الأخرى التي يحددها تعريف النظام المدروس.

يجب تعريف كل حد بدقة حتى لا يحدث احتساب مزدوج. فعلى سبيل المثال، إذا كانت الواردات الداخلة تشمل أصلاً الجريان الناتج عن التساقطات، فلا ينبغي إضافة ذلك الجريان مرة ثانية بوصفه حدًا مستقلًا. ويجب كذلك اعتماد وحدة زمنية موحدة، مثل اليوم أو الشهر أو السنة، ووحدة حجم متسقة، مثل المتر المكعب.

### الميزانية المائية للحوض

الحوض المائي مجال طبيعي تتجمع فيه المياه وتتجه نحو مخرج أو شبكة تصريف محددة. ويتيح تحليل الميزانية المائية فهم العلاقة بين

التساقطات والتبخر والجريان السطحي والتغذية الجوفية والاستعمالات البشرية.

يمكن تمثيل الميزانية المائية للحوض خلال فترة زمنية محددة بالعلاقة:

$$P = ET + Q + \Delta S + G\_loss$$

حيث  $P$  حجم التساقطات المكافئ، و  $ET$  التبخر والنتح، و  $Q$  الجريان الخارج من الحوض، و  $\Delta S$  التغير في المخزون الأرضي والسطحي بحسب حدود النموذج، و  $G\_loss$  صافي التدفقات الجوفية الخارجة أو غير المحتسبة ضمن الحدود الأخرى. ويجب تعديل هذه الصيغة وفق النظام الهيدرولوجي والحدود المكانية المختارة.

ولا يمكن بناء نموذج دقيق اعتماداً على متوسط التساقطات وحده. فالتوزيع الزمني للأمطار، وشدة العواصف، ورطوبة التربة، والغطاء النباتي، وخصائص الصخور والتربة، واستعمالات الأرض، كلها تؤثر في كمية المياه التي تتحول إلى جريان أو تتسرب إلى باطن الأرض.

الرصد الهيدرولوجي وجمع البيانات

يحتاج النظام الوطني المقترح إلى شبكة قياس تتضمن محطات للأمطار والحرارة والتبخر ومستويات المياه والتدفقات، إضافة إلى قياسات جودة المياه ومستويات الفرشات الجوفية واستهلاك الشبكات.

وينبغي أن تسجل البيانات مع تاريخ القياس وموقعه ووحدته وأداة القياس ودرجة الثقة فيه. كما يجب أن تكون هناك آليات لاكتشاف القيم غير المعقولة والتكرارات والفجوات الزمنية والأعطال المحتملة في أجهزة الرصد.

يمكن الاستفادة من صور الأقمار الصناعية لتقدير بعض المؤشرات، مثل مساحة المسطحات المائية أو رطوبة التربة أو حالة الغطاء النباتي، لكن هذه المنتجات لا تحل محل القياسات الميدانية في جميع الحالات. بل ينبغي دمجها مع القياسات الأرضية والتحقق من دقتها محلياً.

### النمذجة الهيدرولوجية والتنبؤ بالواردات

تسعى النماذج الهيدرولوجية إلى تحويل بيانات الطقس والتربة والتضاريس إلى تقديرات للجريان والتغذية والتدفقات المتوقعة. ويمكن استخدام نماذج مختلفة بحسب حجم الحوض والبيانات المتاحة والغرض من الدراسة.

تحتاج عملية النمذجة إلى معايرة النموذج باستخدام بيانات تاريخية، ثم اختباره على فترة مستقلة لم تُستخدم في المعايرة. ويجب تقييم الأداء عبر مؤشرات إحصائية مناسبة، وتحليل الأخطاء، واختبار قدرة النموذج على تمثيل فترات الجفاف والعواصف وليس السنوات المعتدلة فقط.

ولا ينبغي تقديم التوقعات على أنها يقين. الأفضل عرض نطاقات أو سيناريوهات توضح ما يمكن أن يحدث في ظل ظروف مناخية مختلفة، مع تحديث التوقعات كلما ظهرت معلومات جديدة.

### السدود ومعادلة توازن المخزون

يمكن تمثيل مخزون سد خلال فترة زمنية بالعلاقة:

$$S(t+1) = S(t) + I(t) - R(t) - E(t) - L(t)$$

حيث  $S(t)$  هو المخزون في بداية الفترة، و  $I(t)$  الواردات، و  $R$  التصريفات أو الكميات المسحوبة، و  $E$  خسائر التبخر، و  $L$  الخسائر الأخرى المحددة في النموذج.

ويجب احترام حدود السعة التخزينية الدنيا والعليا للسد، مع مراعاة متطلبات السلامة والتشغيل والتصريفات البيئية. كما ينبغي ألا يُعامل

كامل المخزون على أنه قابل للاستعمال، لأن بعض الكميات قد تكون مرتبطة بقيود تشغيلية أو بجودة المياه أو بموقع المأخذ.

وتحتاج قواعد تشغيل السد إلى موازنة عدة أهداف، تشمل التزويد بالماء الصالح للشرب، والري، والسلامة من الفيضانات، والحاجيات البيئية، وتوليد الطاقة حيث يكون ذلك جزءاً من وظيفة المنشأة. وقد تتعارض هذه الأهداف في بعض الظروف، ولذلك يلزم اعتماد قواعد معلنة لإدارة المفاضلات.

### علم هيدروليكا نقل المياه

يعتمد نقل المياه عبر الأنابيب والقنوات على قوانين ميكانيكا الموائع. وتتأثر التدفقات بالقطر والطول والخشونة والانحدار والضغط واللزوجة ودرجة الحرارة والملحقات الهندسية.

في الأنابيب المضغوطة، يمكن تقدير فاقد الضغط الناتج عن الاحتكاك باستخدام معادلة دارسي-وايسباخ:

$$h_f = f (L/D) (v^2/2g)$$

حيث  $h_f$  فاقد الارتفاع الهيدروليكي، و  $f$  معامل الاحتكاك، و  $L$  طول الأنبوب، و  $D$  قطره الداخلي، و  $v$  سرعة الماء، و  $g$  تسارع الجاذبية.

توضح المعادلة أن الفاقد يتأثر بطول الأنبوب وسرعة الجريان وقطره وطبيعة الاحتكاك. ويضاف إلى ذلك الفاقد المحلي الناتج عن الصمامات والأكواع والمداخل والمخارج والتغيرات الهندسية.

ويجب عند تصميم خطوط النقل اختيار الأقطار والمواد ومواقع محطات الضخ بطريقة تحقق التوازن بين كلفة الإنشاء وكلفة الطاقة والصيانة والاعتمادية. فالأنبوب الأصغر قد يقلل الاستثمار الأولي، لكنه قد يزيد فاقد الضغط والطاقة اللازمة للضخ، بينما قد يرفع الأنبوب الأكبر كلفة البناء دون مبرر اقتصادي كافٍ.

### الطاقة اللازمة لضخ المياه

عندما يتطلب نقل المياه رفعها إلى منسوب أعلى أو التغلب على فاقد الضغط، تصبح الطاقة عنصراً أساسياً في حساب جدوى المشروع.

يمكن تقدير القدرة الهيدروليكية المطلوبة بالعلاقة:

$$P_h = \rho g Q H$$

أما القدرة الكهربائية التقريبية المطلوبة فتُحسب بقسمة القدرة الهيدروليكية على الكفاءة الإجمالية للمضخة والمحرك والنظام:

$$P_e = \rho g Q H / \eta$$

حيث  $\rho$  كثافة الماء، و  $g$  تسارع الجاذبية، و  $Q$  معدل التدفق، و  $H$  الارتفاع الديناميكي الكلي، و  $\eta$  الكفاءة الإجمالية.

توضح هذه العلاقة أهمية دراسة الارتفاعات ومعدل التدفق وكفاءة المعدات قبل اتخاذ قرار الربط. ويجب أيضاً حساب الطاقة السنوية بحسب ساعات التشغيل وتغير الطلب، وليس الاكتفاء بقدرة المحطة الاسمية.

ويُستحسن مقارنة بدائل التشغيل، مثل الضخ خلال فترات انخفاض كلفة الكهرباء عندما تسمح قواعد التخزين بذلك، أو الاستفادة من الطاقة المتجددة ضمن تصميم موثوق. غير أن تشغيل المضخات يجب أن يظل مرتبطاً بسلامة المنشآت وتوافر المياه ومتطلبات التزويد، لا بسعر الطاقة وحده.

ربط السدود: من الفكرة إلى النموذج الهندسي

يبدأ تصميم الربط بين السدود بتحديد المنشآت التي يمكن أن تتبادل المياه، وتحديد الفائض المتاح في كل موقع، والحاجيات المستقبلية،

والمسار الطبوغرافي، والضغط المطلوب، وكلفة الطاقة، والقيود البيئية.

ثم تُبنى نماذج هيدروليكية تحاكي التدفقات والضغط وحالات التشغيل المختلفة، بما في ذلك الأعطال وانقطاع الكهرباء وارتفاع الطلب وتراجع الواردات. ويجب أن تتضمن الدراسة تحليلًا للاندفاعات المائية المفاجئة، المعروفة بالطرق المائي، واختيار وسائل الحماية المناسبة وفق الحسابات الهندسية.

ولا ينبغي اعتماد شبكة وطنية واحدة باعتبارها حلًا متجانسًا لكل المناطق. فقد تكون بعض الوصلات مناسبة بين منشآت متقاربة، بينما تحتاج مناطق أخرى إلى حلول محلية أو إلى تحلية المياه أو إعادة استعمالها أو تحسين شبكتها بدل إنشاء خطوط نقل طويلة.

الربط بين الأحواض ومبدأ الفائض الآمن

يتطلب نقل المياه بين الأحواض تعريفًا واضحًا للفائض القابل للتحويل. ولا يكفي أن يكون مخزون السد مرتفعًا في لحظة معينة، بل يجب تقدير احتمالات الواردات المستقبلية وحاجيات الحوض المصدر والقيود البيئية ودرجة عدم اليقين المناخي.

يمكن تعريف كمية التحويل المتاحة بأنها كمية لا تتجاوز الفائض المحسوب بعد خصم الحاجيات ذات الأولوية والاحتياطي التشغيلي

والقيود البيئية. ويجب أن يخضع هذا التعريف لقواعد رسمية واضحة، وأن يتغير بحسب الظروف المائية.

ومن الأفضل أن تكون قواعد التحويل ديناميكية، فتسمح بتعديل التدفقات عند تغير مستوى المخزون أو توقعات الأمطار أو الطلب، مع حماية الحوض المصدر من استنزاف غير مستدام.

### النموذج الرياضي لتوزيع المياه

يمكن صياغة توزيع المياه بين المناطق باعتباره مسألة تحسين رياضي. وتتمثل الفكرة في اختيار كميات النقل والتخصيص التي تحقق أهدافاً محددة، مثل تقليل العجز في تزويد السكان أو خفض كلفة الطاقة أو تقليل الخسائر، مع احترام قيود المخزون والقدرات الاستيعابية.

يمكن كتابة دالة هدف عامة على النحو التالي:

$$\text{Min } Z = \alpha C + \beta D + \gamma E_{\text{env}} + \delta R$$

حيث  $C$  الكلفة الإجمالية، و  $D$  مقدار العجز في تلبية الطلب، و  $E_{\text{env}}$  مؤشر الأثر البيئي، و  $R$  مؤشر المخاطر أو عدم الاعتمادية. أما  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  و  $\delta$  فهي أوزان يحددها أصحاب القرار وفق الأولويات والسياسات المعتمدة.

هذه الصيغة إطار توضيحي وليست نموذجًا جاهزًا للتشغيل. فاختيار الأوزان يحتاج إلى مشاورات وتحليل حساسية، كما يجب تجنب جمع مؤشرات بوحدات مختلفة دون تطبيع أو تعريف علمي مناسب.

وتشمل القيود الرياضية سعة الأنابيب ومحطات الضخ، وحدود مخزون السدود، والحد الأدنى من الإمداد للمناطق، والقيود البيئية، وتوازن التدفقات بين العقد المختلفة في الشبكة.

### البنك المائي الرقمي

يقترح الكتاب إنشاء بنك مائي جهوي ووطني بوصفه منصة معلومات وتنسيق تدبيري، لا مؤسسة مالية. ويمكن أن يضم سجلًا موحدًا للمنشآت والمخزونات والقياسات والتوقعات والحاجيات ومشاريع النقل والصيانة.

يحتاج البنك إلى بنية بيانات واضحة تحدد مصدر كل معلومة ووقت تحديثها ووحدتها ودرجة الثقة فيها. كما يجب التمييز بين البيانات المرصودة والتقديرات والنماذج التنبؤية، حتى لا تُعامل التوقعات على أنها حقائق مؤكدة.

ويمكن للمنصة أن تعرض لوحات متابعة للمخزون والتدفقات والطلب وجودة المياه والأعطال، وأن تتيح اختبار سيناريوهات بديلة قبل اتخاذ القرار. ويجب أن تكون صلاحيات الاطلاع والتعديل محددة، وأن تخضع البيانات الحساسة للحماية المناسبة.

## الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي

يمكن استخدام التعلم الآلي في مهام محددة، مثل التنبؤ بالطلب، أو تقدير احتمالات الأعطال، أو اكتشاف القيم الشاذة في القياسات، أو تحسين جداول صيانة الشبكات. غير أن نجاح هذه الأدوات يعتمد على جودة البيانات وتمثيلها لمختلف الظروف.

ينبغي تقسيم البيانات إلى مجموعات للتدريب والتحقق والاختبار، وتجنب تسرب المعلومات بين هذه المجموعات. كما يجب اختبار النموذج على سنوات جفاف وأحداث استثنائية، وتقييم أدائه عبر مقاييس مناسبة لطبيعة المهمة.

ويجب ألا يصدر النظام توصيات توزيع المياه دون رقابة بشرية واضحة، خصوصاً عندما يتعلق الأمر بالحاجيات الأساسية أو بقيود بيئية أو بقرارات ذات آثار اجتماعية. كما ينبغي توثيق طريقة عمل النموذج وحدوده وأسباب التوصيات التي يقدمها قدر الإمكان.

## التوأم الرقمي للشبكة المائية

التوأم الرقمي هو تمثيل حاسوبي لنظام مادي، مثل شبكة نقل أو مجموعة سدود، يتم تحديثه بالبيانات الفعلية لمحاكاة حالته وتوقع سلوكه في سيناريوهات مختلفة.

يمكن لتوأم رقمي مقترح أن يربط مستويات المخزون والتدفقات والضغوط واستهلاك الطاقة وبيانات الصيانة. ويسمح ذلك باختبار أثر إغلاق خط أو تعطل مضخة أو انخفاض الواردات قبل اتخاذ الإجراء في الواقع.

لكن التوأم الرقمي لا يكون مفيداً بمجرد إنشاء صورة ثلاثية الأبعاد للمنشآت. بل يحتاج إلى نموذج رياضي معاير، وبيانات محدثة، وتعريف واضح لحدود النظام، وآليات للتحقق من دقة المحاكاة.

## المياه الجوفية والنمذجة الهيدروجيولوجية

تحتاج إدارة الفرشات الجوفية إلى معرفة طبقات التربة والصخور وخصائص النفاذية ومناطق التغذية ومواقع الآبار ومعدلات السحب واتجاهات حركة المياه. ويمكن للنماذج الهيدروجيولوجية أن تساعد على تقدير أثر الضخ على مستويات المياه وعلى تداخل المياه المالحة في المناطق المعرضة لذلك.

ويجب ألا يُحدد الضخ المستدام من بئر واحد بمعزل عن مجموع الآبار والتغيرات المناخية والاحتياجات البيئية. كما أن انخفاض مستوى الماء في بئر لا يكفي وحده لإثبات حالة الفرشة كلها؛ إذ يتطلب التقييم شبكة قياسات وتفسيرًا جيولوجيًا وهيدرولوجيًا.

ويمكن دراسة التغذية الاصطناعية للفرشات في المواقع المناسبة، بشرط التأكد من جودة المياه الداخلة وقدرة الطبقات على استقبالها ومنع التلوث. ويجب متابعة النتائج على مدى زمني مناسب قبل تعميم المشروع.

### تحلية مياه البحر ضمن منظومة متعددة المصادر

تمثل التحلية خيارًا لتوفير مورد إضافي في المواقع الملائمة، لكنها تتطلب حسابات متكاملة تشمل استهلاك الطاقة والمواد الكيميائية والصيانة ونقل المياه والرجيع الملحي والأثر البيئي.

ويجب مقارنة كلفة المياه المحلاة بكلفة البدائل المتاحة، مع مراعاة موثوقية الإمداد والطلب المستقبلي والمسافة بين المحطة ومناطق الاستهلاك. كما ينبغي دراسة العلاقة بين التحلية والموارد التقليدية حتى لا يؤدي توفر مصدر جديد إلى إهمال ترشيد الاستهلاك.

### إعادة استعمال المياه المعالجة

يمكن للمياه العادمة المعالجة أن تخفف الضغط على المياه العذبة في استعمالات محددة. ويجب تحديد درجة المعالجة المطلوبة بحسب الاستخدام النهائي، وإجراء مراقبة منتظمة للجراثيم والمواد الكيميائية والأملاح وغيرها من المؤشرات ذات الصلة.

كما يجب إنشاء شبكات منفصلة عند الحاجة، ووضع إجراءات واضحة لمنع الخلط مع مياه الشرب، وتحديد المسؤوليات عن التشغيل والتحليل والصيانة. وتحتاج الجدوى الاقتصادية إلى احتساب تكلفة المعالجة والضخ والنقل والمراقبة، وليس تكلفة المعالجة وحدها.

### النموذج الاقتصادي لدورة حياة المشروع

يجب تقييم المشاريع المائية على أساس تكلفة دورة حياتها، التي تشمل الإنشاء والتشغيل والطاقة والصيانة والتجديد وإدارة المخاطر والآثار البيئية. وقد يكون المشروع الأقل كلفة عند البناء أعلى كلفة بعد سنوات بسبب استهلاك الطاقة أو الأعطال أو صعوبة الصيانة.

يمكن استخدام القيمة الحالية للتكاليف لمقارنة البدائل، مع اختيار معدل خصم وفترة تحليل مناسبين وإجراء تحليل حساسية لتغير أسعار الطاقة والطلب والواردات المائية. وينبغي أيضاً تقييم المنافع الاجتماعية والاقتصادية، مع توضيح الافتراضات وعدم المبالغة في تقدير العائد.

وتحتاج القرارات الاستثمارية إلى دراسة توزيع التكاليف والمنافع بين الجهات، حتى لا تتحمل منطقة كلفة كبيرة بينما تتركز المنافع في منطقة أخرى دون آليات عادلة للتعويض أو التضامن.

## المخاطر وعدم اليقين

تتعرض المشاريع المائية لمخاطر مناخية وهندسية ومالية وبيئية ورقمية. وقد تشمل هذه المخاطر انخفاض الواردات، وتعطل المضخات، وانقطاع الطاقة، وتلوث المياه، وتجاوز التكاليف، وفشل أجهزة الاستشعار أو تعرض الأنظمة الإلكترونية للهجمات.

يجب إعداد سجل للمخاطر يحدد احتمال كل خطر وشدة أثره وإجراءات الوقاية والاستجابة والجهة المسؤولة عنه. ويمكن استخدام تحليل السيناريوهات والمحاكاة الاحتمالية لفهم نطاق النتائج المحتملة بدل الاعتماد على توقع واحد.

ويجب اختبار الخطط البديلة دوريًا، بما في ذلك مصادر التزويد الاحتياطية وخطط الإصلاح والتواصل مع السكان، مع مراجعة الدروس المستفادة بعد كل حادثة أو موسم جفاف.

## الحماية البيئية في النموذج العلمي

يجب أن يضم النموذج العلمي حدودًا بيئية واضحة، مثل المحافظة على تدفقات لازمة للنظم المائية، ومنع استنزاف الفرشات الجوفية، والحد من التلوث، ومراقبة آثار المنشآت على الأحياء والموائل الطبيعية.

ولا ينبغي التعامل مع البيئة على أنها عنصر إضافي يمكن تجاهله عند ارتفاع الطلب. بل يجب إدماج القيود البيئية في النموذج منذ البداية، وتقييم أثر كل بديل على المدى القريب والبعيد.

كما ينبغي مراقبة جودة المياه في نقاط متعددة، وتحديد مؤشرات للملوحة والمواد العضوية والملوثات ذات الصلة، واتخاذ إجراءات مبكرة عندما تظهر تغيرات مقلقة.

## خطة البحث والتطوير

يمكن أن تبدأ خطة البحث بتجميع البيانات المتاحة وتحديد الفجوات، ثم اختيار أحواض أو منشآت تجريبية تمثل ظروفًا مختلفة. ويبنى لكل حالة نموذج أولي يُختبر مقابل القياسات الفعلية، وتُقارن نتائجه بنماذج مرجعية أبسط.

بعد ذلك، يمكن اختبار أدوات رقمية لمراقبة التدفقات أو كشف التسربات أو توقع الطلب، مع توثيق الدقة والكلفة وسهولة الصيانة. وينبغي ألا يُعمم أي نظام قبل إثبات فائدته العملية ومقارنة أدائه بالحلول القائمة.

ويجب أن تتعاون الجامعات ومراكز البحث والمؤسسات المائية والمهندسون والمستعملون في تقييم النتائج. كما ينبغي نشر منهجية الدراسة والافتراضات وحدودها، بما يسمح بالمراجعة العلمية والتحسين المستمر.

## الموارد البشرية والتكوين

يتطلب تنفيذ منظومة مائية ذكية مهندسين في الهيدرولوجيا والهيدروليكا والطاقة، وخبراء في البيانات ونظم المعلومات الجغرافية والأمن السيبراني، وتقنيين في تشغيل الأجهزة وصيانة المنشآت، وأطراً في الاقتصاد والقانون والبيئة.

ولا يكفي شراء التكنولوجيا دون بناء القدرة على تشغيلها. لذلك ينبغي إعداد برامج للتكوين المستمر، وتطوير إجراءات تشغيل واضحة، ونقل المعرفة بين فرق العمل، وضمان توفر قطع الغيار والدعم الفني وخطط الاستمرارية.

كما يجب أن تكون أدوات اتخاذ القرار مفهومة للمستخدمين، وأن تتيح مراجعة التوصيات وتوثيق القرارات وأسبابها.

## الحكامة والشفافية والمساءلة

تحتاج المنظومة إلى توزيع واضح للمسؤوليات بين المؤسسات المعنية، وتحديد الجهة التي تملك البيانات والجهة التي تحدثها والجهة التي تتخذ القرار التشغيلي. ويجب أن توجد آليات لتدقيق البيانات والتحقق من جودة النماذج ومراجعة القرارات ذات الأثر الكبير.

كما ينبغي نشر مؤشرات مختارة حول المخزون والتزويد وجودة المياه ومعدلات التسرب ومشاريع الصيانة، مع احترام المتطلبات القانونية وحماية المعلومات الحساسة. وتساعد الشفافية على بناء الثقة وتمكين الباحثين والمجتمع من فهم التحديات ومتابعة النتائج.

### مؤشرات التقييم العلمي

تشمل المؤشرات الممكنة دقة توقع الواردات، والخطأ في تقدير الطلب، ونسبة الفاقد في الشبكات، وكلفة الطاقة لكل متر مكعب منقول، واستمرارية التزويد، وجودة المياه، وسرعة اكتشاف الأعطال وإصلاحها، واتجاهات المخزون الجوفي.

كما ينبغي قياس أثر المشاريع على الحوض المصدر والحوض المستقبل، ومدى احترام القيود البيئية، وتكلفة دورة الحياة، وموثوقية البيانات. ويجب تحديد طريقة حساب كل مؤشر ومصدره وفترة تحديثه حتى تكون المقارنات عادلة وقابلة للتكرار.

## خاتمة الفصل

يؤكد هذا التصور العلمي أن الأمن المائي لا يعتمد على منشأة واحدة أو تقنية منفردة، بل على تكامل التخطيط والقياس والنمذجة والهندسة والطاقة والاقتصاد والبيئة والحكامة. وتتيح المعادلات الرياضية فهم توازن المياه، وتساعد نماذج الهيدروليكا على تصميم النقل، بينما يمكن للبنك المائي الرقمي والتوائم الرقمي والذكاء الاصطناعي أن تدعم القرار إذا استندت إلى بيانات موثوقة ورقابة بشرية.

ويظل ربط السدود والأحواض خيارًا يحتاج إلى تقييم دقيق لكل حالة، وليس هدفًا هندسيًا مستقلًا عن حاجيات السكان وحقوق الحوض المصدر وكلفة الطاقة وحماية الطبيعة. كما أن التحلية وإعادة الاستعمال وحماية المياه الجوفية وترشيد الاستهلاك يجب أن تُدرس ضمن منظومة واحدة تتكامل فيها الحلول بحسب خصائص كل منطقة.

إن الانتقال نحو أمن مائي مستدام في المغرب يتطلب الاستثمار في المعرفة والبيانات والتكوين والصيانة والشفافية، إلى جانب الاستثمار في المنشآت. ومن خلال هذا النهج يمكن تطوير سياسة مائية أكثر مرونة وقدرة على مواجهة الجفاف والتغيرات المناخية، مع ضمان استعمال مسؤول للموارد وحماية حقوق الأجيال المقبلة.

بدر شاشا#### الفصل العاشر: الموسوعة العلمية المتكاملة للأمن المائي في المغرب

#### من الهيدرولوجيا والهندسة والرياضيات إلى الذكاء الاصطناعي  
والربط الوطني والبنك المائي المستدام

تأليف: بدر شاشا

يمثل هذا الفصل امتداداً علمياً للمشروع الفكري المتعلق بتدبير الموارد المائية في المغرب، ويهدف إلى بناء تصور شامل يجمع بين العلوم الطبيعية والهندسة والتكنولوجيا والاقتصاد والقانون والبيئة والتخطيط الاستراتيجي. وتتمثل الفكرة الأساسية في الانتقال من التعامل مع الماء بوصفه مورداً منفصلاً داخل سد أو بئر أو شبكة توزيع، إلى التعامل معه باعتباره نظاماً وطنياً مترابطاً يتطلب القياس والتحليل والتنبؤ والتنسيق والمراقبة المستمرة.

إن قوة أي سياسة مائية لا تقاس بعدد السدود التي تُبنى، أو بطول القنوات التي تُنجز، أو بكمية المياه التي تُنقل بين المناطق فقط، بل تقاس بقدرتها على توفير الماء بالجودة المطلوبة وفي الوقت المناسب، مع المحافظة على استدامة الموارد، وضمان عدالة التوزيع، وتقليل الهدر، والتحكم في التكاليف، والاستعداد لفترات الجفاف والفيضانات.

ومن هذا المنطلق، يقدم هذا الفصل تصوراً علمياً متكاملًا يجمع بين الميزانية المائية، ونمذجة الأحواض، وهندسة السدود، والربط بين المنشآت، وتحلية مياه البحر، وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة،

وتدبير المياه الجوفية، والطاقة، والذكاء الاصطناعي، والتوأمة الرقمي، والبنك المائي الجهوي والوطني، إلى جانب الحكامة والتمويل والتشريع والبحث العلمي.

ويجب التمييز بين المبادئ العلمية الراسخة، والمعادلات المستخدمة في النمذجة، والمقترحات التي تحتاج إلى دراسات ميدانية. فالمفاهيم الواردة هنا تشكل إطارًا للتطوير والبحث واتخاذ القرار، ولا تعني أن جميع الحلول المقترحة مطبقة بالفعل أو أن تنفيذها ممكن في كل منطقة دون دراسة.

#### #### الرؤية المركزية: المغرب باعتباره منظومة مائية مترابطة

يمكن تصور المنظومة المائية الوطنية باعتبارها شبكة واسعة تتكون من مصادر المياه، ومنشآت التخزين، ومحطات المعالجة، وشبكات النقل والتوزيع، ومناطق الاستهلاك، والأنظمة البيئية، ومراكز المعلومات واتخاذ القرار.

تبدأ هذه المنظومة بالتساقطات التي تتوزع بشكل غير متساوٍ مكانيًا وزمنيًا، ثم تتحول أجزاء منها إلى جريان سطحي أو تغذية للمياه الجوفية أو تبخر ونتح. وتصل بعض التدفقات إلى السدود، بينما تمر تدفقات أخرى عبر الأنهار والأودية، أو تتسرب إلى الطبقات الجوفية، أو تستعمل في الفلاحة والمدن والأنشطة الاقتصادية.

ويعني هذا الترابط أن القرار المتخذ في جزء من المنظومة يمكن أن يؤثر في أجزاء أخرى. فزيادة ضخ المياه الجوفية قد تؤثر في مستويات الفرشات وفي الينابيع، ونقل المياه بين الأحواض قد يغير توازن الموارد في الحوض المصدر، كما أن تشغيل محطة ضخ كبيرة قد يرفع تكاليف الطاقة ويؤثر في الكلفة النهائية للمياه.

لذلك يقترح هذا الكتاب اعتماد منظور وطني موحد للمعلومات والتخطيط، مع الاحتفاظ بخصوصية كل حوض وجهة. فالمنظومة الوطنية لا ينبغي أن تلغي التدبير المحلي، بل يجب أن تمنحه بيانات أدق وأدوات أفضل للتنسيق.

ويقوم هذا التصور على مبدأ أساسي: كل قطرة ماء يجب أن تفهم ضمن مصدرها، ومسارها، وكلفتها، وجودتها، والجهة المستفيدة منها، وأثر استعمالها على المستقبل.

### #### الأسس الفيزيائية والعلمية لدورة الماء

الماء جزء من دورة طبيعية مستمرة تشمل التبخر والنتح والتكاثف والتساقطات والجريان والتسرب والتخزين. وتتحكم في هذه الدورة الطاقة الشمسية والجاذبية وخصائص الغلاف الجوي والتربة والصخور والغطاء النباتي.

عندما تتساقط الأمطار، لا تتحول جميع الكميات إلى مياه متاحة للسدود. فجزء منها يتبخر أو يُحتجز مؤقتًا فوق النباتات أو داخل التربة، وجزء يتسرب إلى الطبقات الأرضية، وجزء يتحول إلى جريان سطحي. وتختلف النسب بحسب شدة المطر، ورطوبة التربة قبل التساقط، وانحدار الأرض، ونوع الصخور، والغطاء النباتي، واستعمالات الأرض.

لهذا السبب لا يكفي حساب كمية الأمطار السنوية لتحديد الموارد القابلة للاستغلال. فقد تتساوى منطقتان في مجموع التساقطات، لكن تختلفان في كمية الجريان التي تصل إلى السدود، أو في قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، أو في معدل تغذية الفرشات الجوفية.

كما أن التغير المناخي قد يؤثر في توزيع الأمطار وشدتها ومدتها، وفي معدلات التبخر والنتح، وفي توقيت الجريان. ولذلك يجب أن يعتمد التخطيط المائي على تحليل تاريخي للبيانات وعلى سيناريوهات مستقبلية متعددة، لا على افتراض أن السنوات المقبلة ستكرر الماضي بصورة مطابقة.

### ### الميزانية المائية: المعادلة الأساسية لكل مشروع

تمثل الميزانية المائية حجر الأساس في دراسة أي حوض أو سد أو فرشة جوفية أو شبكة نقل. وهي تقوم على مبدأ حفظ الكتلة: كمية الماء الموجودة في نظام معين تتغير بسبب التدفقات الداخلة والخارجة، وبسبب عمليات التخزين والفقد التي تقع داخله.

يمكن كتابة الصيغة العامة على النحو التالي:

$$\Delta S = I - O$$

حيث:

\* : التغير في المخزون خلال الفترة المدروسة.

\* : مجموع التدفقات الداخلة إلى حدود النظام.

\* : مجموع التدفقات الخارجة من حدود النظام.

وعند الحاجة إلى تفصيل العناصر، يمكن كتابة العلاقة على النحو التالي:

$$\Delta S =$$

$$P + Q_{\mathrm{in}} + G_{\mathrm{in}}$$

$$- Q_{\mathrm{out}} - ET - W - G_{\mathrm{out}}$$

حيث تمثل التساقطات المباشرة داخل النظام، و التدفقات السطحية الداخلة، و التدفقات الجوفية الداخلة، و التدفقات السطحية الخارجة، و التبخر والنتح، و السحب الصافي الذي يغادر حدود النظام، و التدفقات الجوفية الخارجة.

هذه الصيغة تحتاج إلى تعديل بحسب حدود النظام. فإذا كان الجريان الناتج عن التساقطات محسوبًا بالفعل ضمن التدفقات الداخلة، فلا ينبغي احتساب التساقطات مرة ثانية. وإذا عاد جزء من المياه المستعملة إلى النهر أو الفرشة الجوفية، فيجب تمثيل هذه العودة بصورة متسقة بدل اعتبار كامل المياه المسحوبة استهلاكًا نهائيًا.

وتكمن أهمية الميزانية المائية في أنها تكشف التناقضات بين البيانات. فإذا أظهرت القياسات أن المخزون ارتفع بمقدار لا تفسره الواردات والتدفقات المعروفة، فقد تكون هناك بيانات ناقصة أو أخطاء في القياس أو عمليات لم تدخل في النموذج.

ومن ثم، ينبغي أن تكون الميزانية المائية أداة للمحاسبة العلمية والتدقيق، وليس مجرد جدول للأرقام.

### ### الهيدرولوجيا المغربية وخصوصية الأحواض المائية

لا يمكن بناء نموذج وطني ناجح دون فهم الاختلافات بين الأحواض المائية المغربية. فكل حوض له خصائصه المناخية والتضاريسية

والجيولوجية، كما تختلف فيه أنماط الاستعمالات البشرية وحالة البنية التحتية والقدرة على تخزين المياه ونقلها.

وتؤثر الجبال في توزيع التساقطات وفي سرعة الجريان، بينما تؤثر طبيعة الصخور والتربة في التسرب والتغذية الجوفية. كما تؤثر المساحات الزراعية والمدن والمنشآت الصناعية في الطلب على المياه وفي جودة الموارد المتاحة.

ولهذا يجب إعداد ملف علمي لكل حوض يتضمن بيانات التساقطات ودرجات الحرارة والتبخر والتدفقات السطحية والمخزون السدّي وحالة المياه الجوفية والحاجيات البشرية والبيئية. ويُستحسن أن يتضمن الملف أيضاً خرائط للمخاطر، مثل المناطق المعرضة للفيضانات أو تراجع الفرشات الجوفية أو تدهور جودة المياه.

ولا ينبغي أن تكون حدود الأحواض مجرد حدود إدارية في قاعدة البيانات، بل يجب أن تعكس الحدود الهيدرولوجية الفعلية، مع توضيح العلاقات بين المياه السطحية والجوفية، وبين المناطق الواقعة أعلى الحوض والمناطق الواقعة أسفله.

**### بناء قاعدة بيانات هيدرولوجية متكاملة**

تحتاج قاعدة البيانات إلى جمع القياسات التاريخية والحديثة من مصادرهما المختلفة، مع توحيد الوحدات والتواريخ والإحداثيات الجغرافية وأساليب التحقق من الجودة.

وينبغي أن تتضمن كل قراءة معلومات عن موقعها ووقت تسجيلها وأداة القياس ودقتها والجهة المسؤولة عنها. كما يجب تسجيل حالات توقف الأجهزة أو تغييرها، لأن الاختلاف بين أجهزة القياس قد يؤثر في مقارنة السلاسل الزمنية.

ويمكن استعمال نظم المعلومات الجغرافية لربط البيانات بالخرائط، بحيث يستطيع المحلل معرفة موقع كل محطة، والقرب من مجرى مائي، وخصائص التضاريس، ومناطق الاستعمال الزراعي والحضري.

وتُعد البيانات الناقصة مشكلة علمية حقيقية. فلا يجوز ملء جميع الفجوات بصورة آلية دون توضيح طريقة التقدير. ويمكن استخدام الاستيفاء أو النماذج الإحصائية عند ملأها، لكن يجب تمييز القيم المقدرة عن القياسات الفعلية.

#### ### التنبؤ بالواردات المائية

يساعد التنبؤ بالواردات على تحسين قرارات تخزين المياه وتوزيعها، لكنه لا يلغي عدم اليقين المرتبط بالمناخ. فالتوقعات الجوية قصيرة

المدى تختلف عن التوقعات الموسمية، وهذه بدورها تختلف عن السيناريوهات المناخية طويلة المدى.

يمكن بناء نموذج تنبؤ يعتمد على المتغيرات الجوية والهيدرولوجية المتاحة، مثل التساقطات ودرجات الحرارة ورطوبة التربة والتدفقات السابقة. ويجب تحديد أفق التنبؤ بوضوح: هل الهدف تقدير الواردات خلال الأيام المقبلة، أم الموسم المطري، أم عدة سنوات؟

ويحتاج النموذج إلى المعايرة والاختبار. ويجب تخصيص فترة مستقلة للتحقق من الأداء، لأن اختبار النموذج على البيانات التي استُخدمت لبنائه قد يعطي انطباعاً مضللاً عن دقته.

ومن الأفضل أن يقدم النظام أكثر من سيناريو، مثل سيناريو منخفض للواردات، وسيناريو متوسط، وسيناريو مرتفع، مع تحديد الاحتمالات أو نطاقات عدم اليقين عندما تسمح البيانات بذلك. ويساعد هذا الأسلوب على اتخاذ قرارات مرنة بدل بناء خطة كاملة على رقم واحد قد لا يتحقق.

#### #### السدود: التخزين والتشغيل والسلامة

السد منشأة هندسية وهيدرولوجية معقدة، ولا يمكن تقييمه من خلال سعته التخزينية وحدها. إذ يجب التمييز بين السعة الإجمالية والسعة

المتاحة للاستعمال، وبين المياه المخزنة فعليًا والمياه التي يمكن إيصالها إلى المستفيدين وفق شروط التشغيل.

يمكن تمثيل التغير في مخزون السد بالعلاقة:

$$S_{t+1}=S_t+I_t-R_t-E_t-L_t$$

حيث المخزون في بداية الفترة، و الواردات، و التصريفات والسحوبات، و خسائر التبخر، و الخسائر الأخرى التي يشملها النموذج.

ويجب أن يراعي النموذج القيود التشغيلية، ومنها حدود المخزون المسموح به، وقدرات المآخذ والمنافذ، وقواعد تصريف مياه الفيضانات، ومتطلبات السلامة، والحاجيات البيئية.

كما تتطلب السدود مراقبة هندسية مستمرة لحالة المنشأة، والتشوهات والتسربات والضغط داخل جسم السد والأساسات، وفق نوع السد وتصميمه. ويجب أن تكون هناك خطط للصيانة والفحص وإدارة المخاطر، مع تحديد المسؤوليات وإجراءات الاستجابة للطوارئ.

**### الترسيبات وفقدان السعة**

تحمل الأنهار والأودية الرواسب التي يمكن أن تترسب داخل الخزانات. ويتفاوت معدل الترسيب حسب خصائص الحوض والغطاء النباتي والانجراف وشدة السيول وطبيعة الصخور.

ويمكن متابعة تطور السعة من خلال المسوحات المناسبة والقياسات الميدانية وتقنيات الاستشعار عن بُعد حيث تكون صالحة لذلك. وتساعد هذه البيانات على فهم معدل فقدان السعة وتقدير الحاجة إلى تدابير إدارة الرواسب.

ولا ينبغي افتراض أن إزالة الرواسب هي الحل الأفضل في كل الحالات؛ إذ يجب تقييم التكلفة والآثار البيئية وإمكانية معالجة المشكلة من المنبع عبر حماية التربة وإدارة الحوض. وقد تكون التدابير الوقائية أكثر جدوى في بعض المواقع.

### #### التبخر من المسطحات المائية

يمكن أن يشكل التبخر خسارة مهمة من الخزانات، وتتأثر قيمته بدرجة الحرارة والرطوبة والرياح والإشعاع الشمسي ومساحة سطح الماء.

وتختلف كمية التبخر من فترة إلى أخرى، ولذلك ينبغي إدراجها في النماذج التشغيلية عند توفر بيانات مناسبة. كما يجب تقييم الحلول المقترحة لتقليل التبخر بعناية، لأن بعضها قد يكون مرتفع التكلفة أو غير ملائم بيئياً أو هندسياً.

والهدف العلمي ليس إزالة التبخر بصورة مطلقة، بل فهم حجمه النسبي ومقارنته بالخسائر الأخرى واختيار التدابير التي تحقق فائدة حقيقية بتكلفة مقبولة.

### #### ربط السدود: هندسة شبكة وطنية مرنة

يمثل ربط السدود أحد الخيارات التي يمكن دراستها لتحسين مرونة تدبير المياه. وتقوم الفكرة على نقل المياه بين منشآت محددة عندما تسمح الظروف الهيدرولوجية والهندسية والاقتصادية والبيئية بذلك.

لكن نجاح الربط لا يتحقق بمجرد إنشاء قناة أو أنبوب. بل يجب أن يسبق المشروع تحليل للفائض المتاح في المنشأة المصدر، والحاجيات في المنشأة المستقبلة، والمسافة والارتفاعات، والطاقة المطلوبة، وقدرات النقل، وجودة المياه، والآثار على المناطق المعنية.

وقد يكون الربط بالجاذبية ممكناً في بعض المسارات، بينما يتطلب مسار آخر محطات ضخ متتابعة. ويختلف الاختيار حسب التضاريس والضغط المطلوب والتكاليف التشغيلية ومدى موثوقية الطاقة.

### #### الفاقد الهيدروليكي في خطوط النقل

تُستخدم معادلة دارسي-وايسباخ لتقدير فاقد الارتفاع الهيدروليكي الناتج عن الاحتكاك في الأنابيب:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

حيث فاقد الارتفاع، و معامل الاحتكاك، و طول الأنبوب، و قطره الداخلي، و سرعة الماء، و تسارع الجاذبية.

وتوجد أيضاً خسائر موضعية بسبب الصمامات والأكواع والتفرعات والمداخل والمخارج. ولذلك يجب أن يشمل التصميم مجموع الفواقد، إضافة إلى فروق المناسيب والضغط اللازم عند نقطة الوصول.

### الطاقة المطلوبة للضخ

يمكن حساب القدرة الهيدروليكية التقريبية بالعلاقة:

$$P_h = \rho g Q H$$

وتُحسب القدرة الكهربائية التقريبية وفق الكفاءة الإجمالية:

$$P_e = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

حيث كثافة الماء، و معدل التدفق، و الارتفاع الديناميكي الكلي، و الكفاءة الإجمالية للمضخة والمحرك.

توضح هذه المعادلة أن ارتفاع المسار ومعدل التدفق وكفاءة المعدات تؤثر مباشرة في الطاقة اللازمة للنقل. ويجب حساب كلفة الطاقة على مدى سنوات التشغيل، لا الاكتفاء بكلفة إنشاء الخط.

كما يجب أن يتضمن التصميم وسائل حماية من تغير الضغط المفاجئ، وصمامات مناسبة، وأنظمة مراقبة للضغط والتدفق، وإجراءات تشغيل آمنة عند انقطاع الطاقة أو تعطل إحدى المحطات.

#### #### المرونة التشغيلية للشبكة

ينبغي ألا تعتمد الشبكة المقترحة على مسار واحد فقط إذا كان تعطل هذا المسار سيؤدي إلى توقف التزويد عن منطقة واسعة. ويمكن دراسة مسارات بديلة أو نقاط تخزين وسيطة أو قدرات احتياطية عندما تبررها الكلفة والمخاطر.

وتُختبر الشبكة باستخدام نماذج تحاكي حالات التشغيل العادية والطارئة، مثل انخفاض مخزون المصدر، وزيادة الطلب، وانقطاع الكهرباء، وتعطل مضخة، أو الحاجة إلى صيانة خط رئيسي.

والهدف هو معرفة حدود النظام قبل وقوع الأزمة، وتحديد الإجراءات التي تسمح باستمرار الخدمات الأساسية.

### ### الربط بين الأحواض ومفهوم الفائض القابل للتحويل

لا يكفي ارتفاع مخزون سد معين لإثبات وجود فائض آمن قابل للنقل. فالمخزون قد يكون ضروريًا لتلبية الطلب المحلي خلال الأشهر المقبلة، وقد تكون الواردات المستقبلية غير مؤكدة، كما أن الحوض المصدر قد يحتاج إلى المحافظة على تدفقات بيئية أو تغذية مناطق تعتمد على المياه الجوفية.

لذلك يجب حساب الفائض وفق نموذج يضم المخزون الحالي، والتوقعات المناخية، والحاجيات المستقبلية، والاحتياطي التشغيلي، والقيود البيئية، وقدرات النقل.

ويمكن صياغة مسألة التخصيص باعتبارها عملية تحسين تحقق عدة أهداف في الوقت نفسه، مثل تقليل العجز في التزويد، وخفض الكلفة، والحد من الآثار البيئية، وتحسين موثوقية الخدمة.

$$\min Z = \alpha C + \beta D + \gamma E + \delta R$$

حيث الكلفة، و العجز عن تلبية الطلب، و مؤشر الأثر البيئي، و مؤشر المخاطر. أما الأوزان فتحدد وفق أهداف السياسة المائية، بعد دراسة الحساسية والمفاضلات.

هذه المعادلة إطار مفاهيمي عام؛ إذ يتطلب التطبيق الحقيقي تعريفاً دقيقاً لكل متغير ووحدته، وتحديد القيود والحدود، واختيار طريقة التحسين الملائمة.

وينبغي أن تكون قواعد التحويل قابلة للتعديل عندما تتغير الظروف، وأن تتضمن ضمانات لحماية الحوض المصدر من الاستنزاف، مع توثيق القرارات ومبرراتها.

**#### البنك المائي الجهوي والوطني: العقل المعلوماتي للمنظومة**

يقترح هذا الكتاب تطوير البنك المائي باعتباره منصة مؤسساتية ورقمية لتجميع المعلومات المائية وتحليلها وتنسيق استعمالها. والمقصود بالبنك هنا ليس مؤسسة مالية، بل منظومة مقترحة لإدارة المعرفة المتعلقة بالماء، بحيث تصبح القرارات مبنية على بيانات قابلة للتحقق بدل الاعتماد على معلومات متفرقة أو متأخرة.

يمكن أن يتكون البنك المائي من مستويين مترابطين. يجمع المستوى الجهوي المعلومات المتعلقة بالسدود والآبار والشبكات والطلب المحلي وجودة المياه والمشاريع، بينما يتيح المستوى الوطني رؤية شاملة للعلاقات بين الأحواض والجهات، ويساعد على تحليل المخاطر والبدائل.

ويجب أن تكون مسؤولية كل معلومة واضحة: من يقيسها؟ ومن يتحقق من جودتها؟ ومتى يتم تحديثها؟ ومن يحق له الاطلاع عليها أو تعديلها؟ كما ينبغي تسجيل تاريخ التغييرات حتى يمكن تتبع كيفية تطور البيانات والقرارات.

### ### مكونات قاعدة بيانات البنك المائي

يمكن أن تشمل قاعدة البيانات سجل المنشآت المائية، وسعات التخزين، ومستويات المخزون، والتدفقات الداخلة والخارجة، ومعدلات السحب، وحالة الشبكات، وجودة المياه، وبيانات المياه الجوفية، والطلب القطاعي، والطاقة المستهلكة، ومشاريع الصيانة والتوسعة.

ويجب ألا تخلط المنصة بين القياسات الفعلية والتقديرات والنماذج التنبؤية. فعلى سبيل المثال، يجب أن يظهر مستوى المخزون المقاس في تاريخ محدد بصورة منفصلة عن المخزون المتوقع بعد شهر أو ثلاثة أشهر.

كما ينبغي أن ترافق البيانات درجة من الثقة أو مؤشر جودة عند توفر المعلومات اللازمة، حتى يعرف صانع القرار ما إذا كان يعتمد على قياس حديث وموثوق أو على تقدير تقريبي يحتاج إلى التحقق.

#### #### لوحة القيادة المائية

يمكن للوحة القيادة أن تعرض المخزون واتجاه تغيره، والطلب المتوقع، والتدفقات بين المنشآت، وحالة الأعطال، واستهلاك الطاقة، ومؤشرات الجودة، والمناطق التي قد تتعرض للعجز.

ويجب أن تُصمم اللوحة لتدعم القرار، لا لمجرد عرض الرسوم البيانية. فعندما يظهر خطر محتمل، ينبغي أن يستطيع المستخدم معرفة مصدر البيانات، والافتراضات المستخدمة، والسيناريوهات البديلة، والجهة المسؤولة عن الإجراء.

ويمكن للمنصة أن تتيح إعداد تقارير دورية ومقارنة التوقعات بالنتائج الفعلية، مما يسمح بتحسين النماذج بمرور الوقت.

#### #### الشفافية وحماية البيانات

ينبغي أن تحدد قواعد البنك المائي البيانات التي يمكن نشرها للعموم، والبيانات التشغيلية التي تتطلب صلاحيات محددة، والبيانات الحساسة التي تحتاج إلى حماية إضافية.

ويجب أن يتضمن النظام النسخ الاحتياطي، وتسجيل عمليات الدخول والتعديل، وإدارة الصلاحيات، وخطط استعادة الخدمة عند الأعطال. كما ينبغي ألا يؤدي تعطل المنصة الرقمية إلى توقف جميع الوظائف المائية؛ بل يجب أن توجد إجراءات تشغيل بديلة تحافظ على الخدمات الأساسية.

### ### الذكاء الاصطناعي في تدبير المياه

يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساعد في تحليل كميات كبيرة من البيانات التي يصعب على الإنسان فحصها يدويًا بصورة مستمرة. لكنه ليس بديلًا عن المعرفة الهندسية أو عن جودة القياسات أو عن المسؤولية المؤسسية.

ومن الاستخدامات المحتملة التنبؤ بالطلب، واكتشاف القراءات غير المعتادة، وتقدير احتمالات الأعطال، وتحليل صور الأقمار الصناعية، وتحديد أولويات الصيانة، ومقارنة سيناريوهات تشغيل الشبكات.

ويجب اختيار الأداة بحسب المهمة. فقد تكون النماذج الإحصائية التقليدية أكثر وضوحًا وملاءمة في بعض التطبيقات، بينما تكون نماذج

التعلم الآلي مفيدة عندما توجد بيانات كثيرة وعلاقات معقدة يمكن التحقق منها.

### ### التنبؤ بالطلب المائي

يتأثر الطلب بدرجة الحرارة وعدد السكان والنشاط الاقتصادي والمساحات الزراعية وأساليب الري وسلوك المستهلكين. ويمكن تطوير نموذج يتنبأ بالطلب اليومي أو الأسبوعي أو الموسمي بحسب طبيعة الخدمة.

ويجب اختبار النموذج في فترات مختلفة، بما في ذلك موجات الحرارة وفترات الجفاف والتغيرات المفاجئة في الاستهلاك. كما ينبغي مراقبة خطأ التنبؤ، لأن الخطأ المتكرر قد يؤدي إلى سوء تخصيص المياه أو إلى تشغيل غير اقتصادي لمحطات الضخ.

### ### اكتشاف التسربات

يمكن استخدام بيانات الضغط والتدفق والعدادات للكشف عن تغيرات غير معتادة قد تشير إلى تسرب أو عطل أو قراءة خاطئة. وقد تساعد الخوارزميات على تحديد المناطق التي تستحق الفحص أولاً.

لكن التنبيه الرقمي لا يثبت وحده وجود تسرب. فقد تكون هناك أسباب أخرى، مثل تغير الطلب أو عطل في جهاز القياس أو تدخل تشغيلي. ولذلك يجب ربط التنبيهات بإجراءات تحقق ميدانية واضحة.

### ### الصيانة التنبؤية

تستطيع أنظمة التحليل أن تستفيد من سجلات الأعطال ومدة التشغيل والاهتزازات والضغط واستهلاك الطاقة لتقدير احتمالات تعطل بعض المعدات.

ويمكن أن تساعد هذه التقديرات على جدولة الصيانة قبل وقوع الأعطال المكلفة، لكن فعاليتها تتوقف على جودة سجل الصيانة وعلى ملائمة النموذج لنوع المعدات وظروف تشغيلها.

### ### الرقابة البشرية على القرارات الآلية

يجب أن تبقى القرارات ذات الأثر الكبير على تزويد السكان أو تخصيص المياه أو حماية البيئة خاضعة لمسؤولية بشرية واضحة. وينبغي توثيق التوصيات الآلية وأسباب قبولها أو رفضها، مع إمكانية مراجعتها عند ظهور معلومات جديدة.

ولا يجوز التعامل مع مخرجات النموذج على أنها حقائق مطلقة؛ فالذكاء الاصطناعي قد يخطئ عندما تتغير الظروف أو تظهر حالات لم يتدرب عليها.

#### #### التوأم الرقمي: محاكاة الشبكة قبل التدخل فيها

التوأم الرقمي هو نموذج حاسوبي يمثل نظامًا ماديًا ويُحدَّث ببياناته من أجل محاكاة حالته وتوقع سلوكه. ويمكن تصور توأم رقمي لمجموعة سدود وخطوط نقل ومحطات ضخ، بحيث يربط المخزون والتدفق والضغط والطاقة وحالة المعدات.

ويمكن اختبار سيناريوهات مثل انخفاض الواردات، أو إغلاق خط للصيانة، أو تعطل مضخة، أو زيادة الطلب في منطقة معينة. وتسمح المحاكاة بمقارنة البدائل قبل تنفيذها في الواقع، ما يقلل الحاجة إلى التجربة المباشرة في الظروف الخطرة.

لكن بناء التوأم الرقمي يتطلب نماذج هيدروليكية معايرة وبيانات موثوقة وتحديثًا مستمرًا. ولا تكفي صورة ثلاثية الأبعاد للمنشآت لكي تُعد توأمًا رقميًا فعالًا.

كما ينبغي توثيق حدود النموذج، وتحديد ما يستطيع محاكاته وما لا يستطيع، ومقارنة مخرجاته بالقياسات الفعلية بصورة دورية.

### ### المياه الجوفية: المخزون الخفي الذي يحتاج إلى حماية

تُعد المياه الجوفية جزءًا أساسيًا من الأمن المائي، لكنها لا تُرى مباشرة مثل المياه المخزنة في السدود. ويعتمد فهمها على علم الهيدروجيولوجيا الذي يدرس حركة المياه داخل الصخور والترربة، ومناطق التغذية والتصريف، وخصائص النفاذية والتخزين.

وقد يؤدي الضخ المفرط إلى انخفاض مستويات المياه، وزيادة عمق الضخ وتكاليف الطاقة، وتدهور جودة المورد، أو حدوث تداخل للمياه المالحة في بعض المناطق الساحلية.

ولهذا يجب مراقبة مستويات المياه في شبكة من الآبار، وقياس معدلات السحب وجودة المياه، وربط البيانات بالظروف المناخية والجيولوجية. ولا يمكن الحكم على حالة فرشاة كاملة انطلاقًا من قراءة بئر واحد فقط.

### ### تقدير السحب المستدام

لا توجد قيمة واحدة صالحة لجميع الفرشات لتحديد كمية الضخ المستدامة. فالأمر يتوقف على معدل التغذية، والتدفقات الخارجة طبيعيًا، والارتباط بالأنهار والينابيع، والحاجيات البيئية، والتغيرات المناخية، وجودة المياه.

وينبغي أن يستند تحديد حدود السحب إلى نموذج هيدروجيولوجي وقياسات مستمرة وتحليل طويل المدى، مع مراجعة الحدود عندما تتغير الظروف.

#### #### التغذية الاصطناعية للفرشات

يمكن دراسة تغذية بعض الفرشات بصورة اصطناعية عبر إدخال المياه إلى مناطق مناسبة تسمح بالتسرب، لكن نجاح العملية يتطلب شروطاً جيولوجية وهيدروجيولوجية وصحية محددة.

ويجب التأكد من جودة المياه المستخدمة، ومن قدرة الطبقات على استقبالها، ومن عدم نقل الملوثات إلى المياه الجوفية. كما يجب مراقبة مستويات المياه وجودتها قبل المشروع وبعده، وإجراء تجارب محدودة قبل التوسع.

#### #### تحلية مياه البحر: مورد إضافي يحتاج إلى تخطيط متكامل

توفر تحلية مياه البحر خياراً لتأمين جزء من الحاجيات في المناطق الملائمة، ولا سيما عندما تتوافر إمكانية إنشاء المحطات وربطها بشبكات التوزيع. لكنها ليست حلاً بلا تكلفة، إذ تحتاج إلى الطاقة والمواد والمعدات والصيانة ومعالجة الرجيع الملحي.

ويجب تقييم المشروع على أساس كلفة دورة الحياة، التي تشمل إنشاء المحطة وتشغيلها ونقل المياه المنتجة إلى المستهلكين وتجديد المعدات وإدارة الآثار البيئية.

كما يجب دراسة موثوقية مصدر الطاقة، والطلب المتوقع، وملاءمة الموقع، والتأثير على البيئة البحرية. ويمكن بحث التكامل مع مصادر الطاقة المتجددة حيث تكون الظروف التقنية والاقتصادية مناسبة، مع توفير حلول موثوقة لاستمرارية التشغيل.

ولا ينبغي أن يؤدي توفر المياه المحلاة إلى إهمال تقليل التسربات وترشيد الطلب وحماية المياه الجوفية؛ فالمصدر الإضافي يكون أكثر فائدة عندما يعمل ضمن منظومة متعددة المصادر.

### ### إعادة استعمال المياه العادمة المعالجة

تسمح المعالجة المناسبة للمياه العادمة بإعادة استعمال جزء منها في بعض الأنشطة، ما يقلل الضغط على الموارد العذبة. غير أن الاستخدام الآمن يتطلب تحديد جودة المياه المطلوبة بحسب الاستعمال، ومراقبة المؤشرات الصحية والكيميائية، ووضع ضوابط تمنع الخلط مع مياه الشرب.

ويجب دراسة المسافة بين محطة المعالجة وموقع الاستعمال، وكلفة الضخ والنقل، وانتظام الإمداد، والآثار المحتملة للملوحة أو الملوثات المتبقية على التربة والنباتات.

كما ينبغي تحديد الجهة المسؤولة عن أخذ العينات والتحليل والصيانة، ووضع إجراءات للتعامل مع أي إخفاق في الجودة. ولا يكفي أن تكون المياه معالجة؛ بل يجب التأكد من ملائمتها للاستعمال المحدد وفق المعايير المعتمدة.

### #### تجميع مياه الأمطار والتدبير المحلي

يمكن أن تساهم حلول محلية في تخفيف الضغط على الشبكات، مثل جمع مياه الأسطح في المنشآت المناسبة، وتحسين نفاذية بعض المساحات، وحماية مجاري السيول، وإنشاء مرافق ملائمة لتجميع مياه الأمطار حيث تسمح الظروف.

وتتوقف جدوى هذه الحلول على كمية الأمطار وتوزيعها، وطبيعة السطح، وجودة المياه، وحجم التخزين، ومتطلبات السلامة والصيانة. كما ينبغي عدم جمع مياه ملوثة أو استخدامها في أغراض غير مناسبة دون معالجة.

وتساعد هذه الحلول على تنويع مصادر التزويد وتقليل الجريان السطحي في بعض المواقع، لكنها لا تحل محل التخطيط على مستوى الأحواض أو الاستثمارات الضرورية في الشبكات.

### #### الفلاحة: من كفاءة الري إلى الإنتاجية المائية

تُعد الفلاحة من أهم المجالات التي تتطلب تخطيطاً دقيقاً للموارد المائية. ولا يكفي تقييم الأداء الزراعي من خلال كمية الإنتاج وحدها؛ بل ينبغي النظر أيضاً إلى كمية الماء المستعملة، واستدامة التربة، ونوعية المحاصيل، والعائد الاقتصادي والاجتماعي.

يمكن استخدام مفهوم الإنتاجية المائية، الذي يربط بين الناتج وكمية المياه المستهلكة أو المستخدمة، مع تعريف المقام بوضوح بحسب نوع الدراسة. وقد يكون الناتج كمية المحصول أو قيمته الاقتصادية أو مؤشراً غذائياً، بينما قد يمثل الماء السحب الإجمالي أو الاستهلاك الفعلي أو مياه الري المقدمة إلى الحقل.

ويجب الحذر من مقارنة مؤشرات محسوبة بطرق مختلفة. فالماء المسحوب من النهر ليس بالضرورة مساوياً للماء المستهلك داخل الحقل، لأن جزءاً من مياه الري قد يعود إلى المجاري أو يتسرب إلى الفرشات الجوفية.

### #### الري بالتنقيط والري الموضعي

يمكن للري بالتنقيط أن يحسن التحكم في توصيل المياه إلى منطقة الجذور، ويقلل بعض أشكال الفقد عندما يصمم ويشغل بصورة سليمة. لكن نجاحه يعتمد على نوع التربة والمحصول والمناخ وجودة المياه والصيانة وتدبير الضغط.

ويحتاج النظام إلى مراقبة الانسداد والتسرب والضغط وانتظام التوزيع، وإلى ضبط مواعيد الري وكمياته وفق احتياجات النبات وظروف التربة.

كما ينبغي قياس أثر التحديث على مجموع الاستهلاك الزراعي. فإذا أدت زيادة الكفاءة إلى توسيع المساحة المزروعة أو تكثيف الإنتاج، فقد يرتفع الاستهلاك الإجمالي رغم انخفاض كمية المياه لكل وحدة إنتاج.

### ### اختيار المحاصيل والتخطيط الزراعي

يتطلب الأمن المائي توافقاً بين نوع الزراعة والموارد المتاحة. وينبغي أن يستند الاختيار إلى ظروف التربة والمناخ والأسواق والدخل الفلاحي والحاجيات الغذائية، وليس إلى كمية الماء وحدها.

كما يجب توفير معلومات واضحة للفلاحين حول التوقعات المائية ومخاطر الجفاف والبدائل الممكنة، مع مراعاة تكاليف الانتقال من نمط زراعي إلى آخر.

### ### المدن وشبكات التوزيع

تحتاج المدن إلى أنظمة تضمن إنتاج الماء الصالح للشرب ومعالجته ونقله وتخزينه وتوزيعه بجودة مستقرة. ويجب أن تتكامل هذه المراحل ضمن نظام مراقبة يمتد من المصدر إلى المستهلك.

وتشمل الأولويات صيانة الأنابيب، ومراقبة الضغط، وإصلاح التسربات، وتجديد المعدات، وتطوير العدادات، وتحليل الاستهلاك، وتأمين مصادر التزويد الاحتياطية عند الحاجة.

ويجب أن تراعي إدارة الشبكات المناطق ذات الكثافة السكانية العالية، والمرافق الحيوية، والمستشفيات، والمدارس، والأنشطة التي يتسبب توقف المياه فيها في أضرار كبيرة.

### ### حساب الفاقد المائي

يمكن التمييز بين المياه التي تدخل الشبكة، والمياه التي تصل إلى المستهلكين وتحتسب، والمياه التي لا تحقق عائداً أو لا تُسجل بصورة صحيحة. ويحتاج تحليل الفاقد إلى بيانات عن العدادات والتسربات والاستهلاك المصرح به والاستهلاك غير المقاس.

ولا ينبغي اعتبار كل الفرق بين المياه المنتجة والمياه المفوترة تسرباً مادياً؛ فقد يشمل أخطاء القياس أو الاستهلاك غير المسجل أو عوامل محاسبية. لذلك يجب تحليل مكونات الفاقد قبل اختيار الحل.

### ### جودة المياه: من المصدر إلى المستهلك

لا تتحقق قيمة الماء بمجرد توفره من حيث الحجم؛ بل يجب أن يكون ملائماً للاستعمال المقصود. وتختلف متطلبات الجودة بين مياه الشرب ومياه الري والاستعمالات الصناعية والمياه المعالجة المخصصة لإعادة الاستعمال.

وتشمل مراقبة الجودة مؤشرات فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية، بحسب طبيعة المصدر والمخاطر المحتملة. ويجب أن تكون هناك خطة لأخذ العينات وتحديد تواترها ومواقعها وطرق تحليلها ومعايير التعامل مع النتائج غير المطابقة.

كما ينبغي حماية مصادر المياه من التلوث الناتج عن الصرف الصحي والمخلفات الصناعية والأنشطة الزراعية والتخلص غير السليم من النفايات. فالوقاية من التلوث قد تكون أقل كلفة وأكثر استدامة من محاولة إزالة الملوثات بعد انتشارها.

### ### أنظمة الإنذار المبكر لجودة المياه

يمكن إنشاء نظام تنبيه يربط القياسات غير المعتادة بإجراءات تحقق واستجابة. فعند ظهور تغير مفاجئ في مؤشر جودة، يجب التأكد من سلامة الجهاز ومن العينة، ثم تقييم مصدر الخطر واتخاذ الإجراء المناسب وفق خطة معتمدة.

ولا ينبغي أن يؤدي تنبيه واحد غير مؤكد إلى قرار غير متناسب، كما لا يجوز تجاهل إشارات متكررة دون تحقيق. ويتطلب النظام تحديد المسؤوليات وقنوات التواصل مع الجهات المختصة والجمهور عند الحاجة.

### ### التغير المناخي والمرونة المائية

يؤثر التغير المناخي في توقيت التساقطات وشدتها وتوزيعها، وفي الحرارة والتبخر والطلب على المياه. ولهذا يجب أن تكون الخطط المائية قابلة للتحديث، وأن تعتمد على أكثر من سيناريو مستقبلي.

ويشمل التخطيط المرن دراسة فترات الجفاف الممتدة، والأحداث المطرية الشديدة، والتغيرات المحتملة في الطلب، ومخاطر تعطل البنية التحتية. ويجب أن تتضمن الخطط إجراءات تختلف بحسب مستوى الخطر، مع تحديد متى يتم الانتقال من التشغيل العادي إلى التدبير الاستثنائي.

### ### خطة الاستعداد للجفاف

يمكن تقسيم الاستجابة إلى مستويات تشغيلية تحددها مؤشرات واضحة، مثل اتجاه المخزون، وتوقعات الواردات، ومعدل الطلب، والقدرة على تأمين التوريد الأساسي.

وقد تشمل الإجراءات المبكرة إصلاح التسربات ذات الأولوية، وتعزيز المراقبة، وتعديل بعض الاستعمالات غير الأساسية، وتوفير معلومات دقيقة للمستهلكين. أما الإجراءات الأكثر صرامة فيجب أن تستند إلى قواعد قانونية واضحة ومراعاة العدالة وحماية الحاجيات الأساسية.

وينبغي مراجعة الخطط بعد كل موسم جفاف لاستخلاص الدروس وتحسين النماذج والإجراءات.

### ### إدارة مخاطر الفيضانات

لا يقتصر الأمن المائي على نقص المياه؛ إذ يمكن للأمطار الغزيرة أن تسبب فيضانات وأضرارًا بالبنية التحتية والأراضي والسكان.

وتحتاج إدارة الفيضانات إلى خرائط للمناطق المعرضة للخطر، وأنظمة إنذار مناسبة، وخطط إخلاء عند الضرورة، وصيانة منشآت تصريف المياه، ومراقبة الأودية والمناطق المنخفضة.

كما يجب تنسيق تشغيل السدود مع قواعد السلامة وإدارة الواردات والتصرفات، دون افتراض أن كل سد يمكن أن يؤدي الوظيفة نفسها أو أن جميع الخزانات تملك هامشًا تشغيليًا متماثلًا.

### ### الطاقة والأمن المائي

تربط علاقة وثيقة بين الماء والطاقة. فإنتاج المياه المحلاة ومعالجة المياه وضخها ونقلها قد يتطلب كميات كبيرة من الطاقة، بينما تعتمد بعض الأنشطة الطاقية بدورها على المياه.

ولهذا ينبغي إدراج الطاقة في التخطيط المائي منذ مرحلة التصميم، وتقدير استهلاكها لكل متر مكعب بحسب مصدر المياه والمسار وطريقة المعالجة.

كما يمكن تقييم استخدام الطاقة المتجددة في بعض المنشآت، لكن يجب مراعاة استمرارية التشغيل واحتياجات التخزين الكهربائي أو مصادر الدعم، عند الحاجة. ويجب أن تكون أي منظومة طاقة مرافقة قادرة على تلبية متطلبات السلامة والتزويد.

ويمكن مقارنة خيارات نقل المياه بالجاذبية وخيارات الضخ عندما تكون البدائل متاحة، مع احتساب كلفة الإنشاء والطاقة والصيانة طوال عمر المشروع.

#### #### الاقتصاد المائي وتمويل المشاريع

يتطلب اختيار المشاريع المائية تقييمًا اقتصاديًا واجتماعيًا وبيئيًا. ويجب أن تشمل الدراسة كلفة البناء والتشغيل والطاقة والصيانة والتجديد، إلى جانب المخاطر المحتملة والمنافع المتوقعة.

يمكن استخدام القيمة الحالية للتكاليف لمقارنة البدائل، بعد تحديد فترة التحليل ومعدل الخصم والافتراضات المتعلقة بالطلب والطاقة والصيانة. كما ينبغي إجراء تحليل حساسية لمعرفة مدى تغير النتائج إذا ارتفعت الأسعار أو انخفضت الواردات أو تغيرت الحاجة إلى المياه.

ولا ينبغي اتخاذ قرار استثماري استنادًا إلى كلفة الإنشاء فقط. فقد يكون الحل الأقل كلفة في البداية أكثر تكلفة على المدى الطويل، بسبب ارتفاع الطاقة أو كثرة الأعطال أو صعوبة الصيانة.

#### #### العدالة في توزيع التكاليف والمنافع

قد تتجاوز منافع مشروع معين المنطقة التي يقع فيها، كما قد تتحمل منطقة مصدر المياه آثارًا لا تتحملها المنطقة المستفيدة بالدرجة نفسها. ولذلك يجب أن تشمل الدراسة توزيع المنافع والتكاليف والآثار الاجتماعية والبيئية.

وينبغي أن تكون آليات التمويل والتعويض والتضامن واضحة ومؤسسة على قواعد قانونية ومالية قابلة للمراجعة. كما يجب حماية قدرة الأسر محدودة الدخل على الحصول على الماء الأساسي، مع تشجيع الاستعمال الكفء ومنع الهدر.

### ### الحكامة والقانون والمؤسسات

لا تنجح المنظومة العلمية دون إطار مؤسساتي يحدد المسؤوليات وطرق اتخاذ القرار وآليات التنسيق والمراقبة والمساءلة. ويجب أن تكون العلاقة بين المؤسسات المكلفة بالتخطيط والتشغيل والتوزيع وحماية البيئة واضحة، مع تحديد الجهة المسؤولة عن كل مرحلة.

كما ينبغي أن تستند مشاريع الربط والسدود والتحلية والمعالجة إلى الدراسات المطلوبة والتراخيص والالتزامات القانونية ذات الصلة، وأن تُدرس آثارها قبل التنفيذ.

وتساعد الشفافية على تحسين الثقة العامة، خاصة عندما تُنشر مؤشرات الأداء ونتائج التقييم وملخصات القرارات الكبرى. وينبغي أن

تكون المعلومات المنشورة دقيقة ومؤرخة، مع توضيح ما إذا كانت الأرقام قياسات فعلية أو تقديرات أو توقعات.

### #### البحث العلمي والجامعات والمختبرات

يمكن للجامعات ومراكز البحث أن تساهم في تطوير النماذج الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية، وتحسين تقنيات معالجة المياه، وتطوير أدوات مراقبة التسربات، ودراسة كفاءة الري، وتحليل المخاطر المناخية.

ويجب أن تربط برامج البحث بين الأسئلة العلمية والحاجيات العملية. فعلى سبيل المثال، يمكن اختبار نموذج تنبؤ في حوض محدد، ومقارنة نتائجه بالقياسات، وتحديد أسباب الخطأ قبل استخدامه في قرارات تشغيلية.

كما ينبغي نشر المنهجيات والافتراضات وحدود الدراسة، وإتاحة البيانات غير الحساسة للباحثين حيث تسمح القوانين بذلك. ويساعد هذا على تكرار النتائج والتحقق منها وتحسينها.

### #### التعليم والتكوين والثقافة المائية

يتطلب الأمن المائي موارد بشرية قادرة على تشغيل المنشآت وصيانة الأجهزة وتحليل البيانات وتفسير النماذج. ولهذا يجب الاستثمار في تكوين المهندسين والتقنيين والباحثين والأطر الإدارية.

كما ينبغي نشر الثقافة المائية بين السكان، وشرح العلاقة بين الاستهلاك والمخزون والجفاف وكلفة المعالجة والنقل. وتكون حملات التوعية أكثر فعالية عندما تقدم معلومات عملية، وتساعد الناس على تغيير السلوك، وتعرض نتائج يمكن قياسها.

ويمكن للمدارس والجامعات والمؤسسات العامة والمقاولات والجمعيات أن تساهم في هذه الثقافة من خلال برامج تعليمية ومشاريع محلية لمراقبة الاستهلاك وتقليل الهدر.

### ### النموذج الرياضي الوطني لتوزيع المياه

يمثل بناء نموذج رياضي وطني إحدى أهم الخطوات لتحويل الرؤية العامة إلى أداة قابلة للتحليل والتقييم. ويمكن تمثيل النظام باعتباره شبكة تتكون من عقد تمثل السدود ومحطات التحلية ومراكز التخزين ومناطق الطلب، وروابط تمثل الأنهار والأنابيب والقنوات ومحطات الضخ.

تحتوي كل عقدة على معطيات تتعلق بالمخزون أو الطلب أو القدرة على المعالجة أو النقل. أما كل رابط فيُوصف بقدرته القصوى على نقل المياه، وكلفته، وخسائره، وقيود تشغيله.

### توازن التدفقات داخل الشبكة

يجب أن تحقق كل عقدة توازنًا بين التدفقات الداخلة والخارجة والتغير في المخزون. ويمكن تمثيل ذلك بصورة عامة:

$$S_{\{i,t+1\}} = S_{\{i,t\}} + I_{\{i,t\}} - O_{\{i,t\}} - L_{\{i,t\}}$$

حيث مخزون العقدة في الفترة ، و مجموع التدفقات الداخلة، و مجموع التدفقات الخارجة والاستخدامات المحسوبة، و الخسائر الصافية وفق تعريف النموذج.

ويجب فرض قيود على الحد الأدنى والأقصى للمخزون، وعلى قدرات الأنابيب ومحطات الضخ والمعالجة، وعلى كميات المياه المتاحة فعليًا.

### تقليل العجز والكلفة

يمكن أن يسعى النموذج إلى تقليل مجموع العجز في تلبية الطلب وكلفة التشغيل والنقل، مع المحافظة على القيود البيئية ومتطلبات السلامة.

ويمكن كتابة صيغة مبسطة لدالة الهدف:

$$\min Z = \sum_{i,t} c_{i,t} x_{i,t} + \lambda \sum_{i,t} d_{i,t}$$

حيث يمثل كمية المياه المخصصة أو المنقولة وفق تعريف المتغير، و كلفتها، و العجز عن تلبية الطلب، و وزن العجز في دالة الهدف.

لكن هذه الصيغة وحدها لا تكفي لتحديد السياسة المثلى. إذ يجب تحديد الأولويات الاجتماعية والبيئية، والحد الأدنى من التوريد الأساسي، وقواعد التعامل مع الجفاف، وقيود الحوض المصدر، وتكلفة الطاقة، وعدم اليقين في الواردات.

ومن الأفضل اختبار النموذج تحت سيناريوهات متعددة، ثم مقارنة النتائج وتحديد القرارات التي تبقى جيدة في ظروف مختلفة، بدل البحث عن حل مثالي لسيناريو واحد فقط.

### النموذج العلمي المتكامل: كيف تعمل جميع المكونات معاً؟

يمكن بناء منظومة معلوماتية وعلمية مقترحة تتكون من طبقات مترابطة.

تجمع طبقة الرصد البيانات من محطات القياس والسدود والآبار وشبكات التوزيع ومحطات المعالجة. وتتحقق طبقة جودة البيانات من الوحدات والتواريخ والقيم الشاذة ومصادر القياس.

ثم تستخدم طبقة النمذجة هذه البيانات لتقدير الواردات والمخزون والطلب والتدفقات الممكنة. وتختبر طبقة المحاكاة سيناريوهات التشغيل، بينما تقارن طبقة التحسين البدائل الممكنة وفق القيود والأهداف المحددة.

أما طبقة القرار فتقدم النتائج إلى المسؤولين، مع إظهار الافتراضات والمخاطر والآثار المتوقعة. وتعود النتائج الفعلية بعد التنفيذ إلى النظام لمقارنة التوقعات بالواقع وتحسين النماذج.

هذا الترابط هو ما يمنح المنظومة قيمتها، وليس مجرد جمع أجهزة أو برامج منفصلة.

**### خريطة تنفيذ المشروع الوطني المقترح**

## مرحلة التشخيص وبناء البيانات

حصر المصادر والمنشآت والشبكات والقياسات المتاحة، وتحديد الفجوات في المعلومات، وتقييم حالة البنية التحتية والمخاطر المائية.

## مرحلة النمذجة والتجارب

اختيار حالات تجريبية، وبناء نماذج هيدرولوجية وهيدروليكية، واختبار أدوات مراقبة التسربات والتنبؤ بالطلب، والتحقق من النتائج ميدانياً.

## مرحلة التكامل والربط

دراسة وصلات الربط ذات الأولوية، وتحليل كلفة الطاقة، وتحديد قواعد تشغيل السدود والشبكات، وربط المعلومات الجهوية بمنصة وطنية.

## مرحلة التقييم والتوسع

تدقيق النتائج، وتقييم الأثر الاقتصادي والبيئي والاجتماعي، وإصلاح أوجه القصور، ثم توسيع المشاريع التي تثبت جدواها وقدرتها على الاستمرار.

هذه المراحل تمثل تسلسلاً مقترحاً، وليست جدولاً زمنياً رسمياً أو التزاماً بتنفيذ جميع المشاريع. ويجب تحديد مدة كل مرحلة بعد معرفة الموارد البشرية والمالية والبيانات المتاحة.

### مؤشرات قياس نجاح المنظومة

يجب أن يعتمد تقييم المشروع على مؤشرات قابلة للقياس والتحقق. ومن أهمها استمرارية التزويد بالماء الصالح للشرب، ونسبة الفاقد في الشبكات، ودقة التنبؤ بالواردات، وتكلفة الطاقة لكل متر مكعب منقول، وحالة المخزون السدّي والجوفي، وجودة المياه، وكمية المياه المعالجة المعاد استعمالها.

كما ينبغي قياس سرعة اكتشاف الأعطال وإصلاحها، ونسبة البيانات المحدثة، ومدى الالتزام بمتطلبات السلامة، وكلفة الصيانة، والآثار البيئية، ومدى عدالة التوزيع بين المناطق.

ويجب تحديد خط أساس لكل مؤشر قبل تنفيذ المشروع، حتى يمكن مقارنة الوضع السابق بالوضع اللاحق. كما ينبغي توثيق طريقة الحساب والفترة الزمنية ومصدر البيانات، لأن المؤشر الذي لا يمكن التحقق منه لا يصلح وحده للحكم على النجاح.

ولا ينبغي التركيز على كمية المياه المنقولة فقط. فقد ترتفع الكميات المنقولة بينما تزداد تكاليف الطاقة أو تتراجع موارد الحوض المصدر.

ولذلك يجب أن يجمع التقييم بين الأداء التقني والاقتصادي والاجتماعي والبيئي.

## المبادئ الأخلاقية والعلمية للأمن المائي

الماء مورد أساسي للحياة، ولهذا يجب ألا تتحول النماذج الحسابية إلى أدوات لاتخاذ قرارات تتجاهل الحاجيات الإنسانية أو الأضرار البيئية.

وينبغي أن تكون الأولويات واضحة، وأن تُراعى الحاجيات الأساسية للسكان، وأن تُفسر القرارات التي تؤثر في توزيع المياه بين المناطق والقطاعات. كما يجب أن تخضع البيانات والنماذج للمراجعة، وأن تُصحح الأخطاء عندما تظهر.

ومن الناحية العلمية، يجب الاعتراف بعدم اليقين. فلا يوجد نموذج يتنبأ بجميع الأحداث المستقبلية بدقة مطلقة، ولا توجد تقنية تلغي مخاطر الجفاف أو الأعطال أو التلوث. إن قيمة العلم تكمن في تقليل عدم اليقين، وتوضيح حدود المعرفة، وتحسين الاستعداد للمخاطر الخاصة الاستراتيجية للفصل

إن الرؤية العلمية للأمن المائي في المغرب تقوم على تكامل المصادر والبنية التحتية والبيانات والإنسان. فالسدود توفر التخزين، والربط قد يحسن المرونة حيث تثبت جدواه، والتحلية توفر مصدرًا إضافيًا في المناطق المناسبة، وإعادة الاستعمال تخفف الضغط على المياه العذبة،

بينما تساعد حماية الفرشات الجوفية وترشيد الاستهلاك على الحفاظ على الموارد.

وتوفر الرياضيات والهيدرولوجيا والهندسة أدوات لفهم التوازنات وحساب التدفقات والطاقة والتكاليف. ويمكن للذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي أن يحسنا التنبؤ والمحاكاة، بينما يتيح البنك المائي المقترح تجميع المعلومات وتنسيق القرارات. غير أن جميع هذه الأدوات تحتاج إلى بيانات موثوقة، وخبرات مؤهلة، وتمويل مستدام، وقواعد واضحة للمسؤولية والمراقبة.

إن بناء منظومة مائية وطنية متكاملة لا يعني تنفيذ كل مشروع ممكن، بل اختيار الحلول المناسبة لكل حوض وفق ظروفه واحتياجاته وحدوده البيئية. ويقتضي ذلك دراسة البدائل ومقارنتها، واختبار المشاريع قبل التوسع، وتقييم النتائج بصورة مستمرة.

إن أقوى استراتيجيات مائية ليست التي تنقل أكبر كمية من المياه، بل التي تحقق أكبر منفعة مستدامة من الموارد المتاحة، بأقل هدر ومخاطر وتكلفة ممكنة، مع ضمان حاجيات السكان وحماية البيئة وحقوق الأجيال المقبلة.

بهذه الرؤية، يصبح تدبير الماء مشروعاً علمياً وتنموياً طويل المدى، يجمع بين المعرفة والابتكار والحكمة والمسؤولية، ويضع الأمن المائي في صميم التنمية المستدامة بالمغرب.

بدر شاشا

### #### الفصل الحادي عشر

#### حماية الثروة المائية في المغرب: من تدبير التساقطات والفيضانات إلى الابتكار الصناعي والذكاء الاصطناعي والرقابة الصارمة

تأليف: بدر شاشا

يمثل الماء أساس الحياة والتنمية والاستقرار الاقتصادي والاجتماعي. وفي المغرب، لم يعد تدبير الموارد المائية مسألة مرتبطة فقط ببناء السدود أو حفر الآبار أو إنشاء قنوات نقل المياه، بل أصبح تحديًا وطنيًا متكاملًا يجمع بين حماية الموارد من الضياع، والاستعداد للجفاف والفيضانات، وتطوير التكنولوجيا، وإنتاج الطاقة النظيفة، وتشجيع البحث العلمي، وتغيير سلوك المجتمع، وتطبيق القانون على كل من يستغل الماء بطريقة غير قانونية أو يلوّثه أو يهدره.

إن الثروة المائية ليست كمية المياه التي تسقط من السماء فحسب، بل هي مجموع ما يستطيع المجتمع جمعه وتخزينه وحمايته ومعالجته وتوزيعه واستعماله بكفاءة، مع الحفاظ على حق الأجيال المقبلة في الحصول على الماء. وقد تتحول التساقطات الغزيرة إلى فيضانات مدمرة إذا غابت المنشآت المناسبة، وقد تتحول مياه الأمطار إلى مورد

استراتيجي إذا وُجهت نحو مناطق التخزين والتغذية الجوفية، كما يمكن أن تتحول السدود من منشآت لتخزين المياه فقط إلى مراكز متكاملة لإنتاج الطاقة وتطوير الصناعة والبحث العلمي.

ومن هذا المنطلق، يقترح هذا الفصل رؤية عملية تقوم على الانتقال من تدبير الأزمات بعد وقوعها إلى الوقاية والاستباق، ومن التعامل مع الماء باعتباره موردًا مستهلكًا إلى اعتباره ثروة وطنية يجب حمايتها واستثمارها بعقلانية، ومن الاعتماد على الحلول التقليدية وحدها إلى توظيف الذكاء الاصطناعي والرقمنة والابتكار الهندسي.

#### #### الماء بين التساقطات والحرارة والتغيرات المناخية

تتأثر الموارد المائية بتغير كميات التساقطات وتوزيعها الزمني والمجالي، وبفترات الحرارة المرتفعة، وبالتبخر، وبحالة التربة والغطاء النباتي، وبطبيعة استعمال الأراضي. ولذلك فإن تدبير الماء لا يمكن أن يعتمد على المعدلات السنوية وحدها، لأن سنة قد تعرف تساقطات مهمة في فترة قصيرة، بينما تعاني مناطق أخرى من الجفاف خلال الفترة نفسها.

قد تهطل أمطار غزيرة خلال ساعات محدودة، فتجرف التربة وتغمر الطرق والمناطق المنخفضة، بينما لا يستفيد المخزون المائي بالقدر الممكن من هذه الكميات. ويحدث ذلك عندما تكون التربة مشبعة بالمياه، أو عندما تكون الأراضي مغطاة بالإسمنت، أو عندما تكون

المجاري الطبيعية مسدودة، أو عندما لا توجد منشآت مناسبة لاحتجاز جزء من الجريان السطحي وتوجيهه.

وفي المقابل، تؤدي موجات الحرارة إلى ارتفاع التبخر من المسطحات المائية والتربة، وإلى زيادة حاجيات النباتات والمحاصيل من الماء، وقد ترفع الطلب على مياه الشرب في المدن. ولهذا يجب أن تجمع السياسة المائية بين إدارة التساقطات وإدارة الطلب، فلا يكفي تخزين المياه إذا كانت طرق استعمالها تتسم بالتبذير أو إذا كانت شبكات التوزيع تعاني من التسربات.

وتقتضي الاستجابة لهذه التحديات إنشاء منظومة وطنية للرصد تجمع بيانات محطات الأرصاد الجوية، ومستويات السدود، ورطوبة التربة، وتدفقات الأودية، وحالة المياه الجوفية، ودرجات الحرارة، وحاجيات المدن والقطاع الفلاحي. ويجب تحويل هذه البيانات إلى قرارات عملية قابلة للتنفيذ، مثل رفع درجة التأهب قبل الفيضانات، وتعديل برامج توزيع المياه خلال الجفاف، وتحديد المناطق التي تحتاج إلى تدخل عاجل.

إن الهدف ليس التحكم في الطبيعة، فهذا أمر غير ممكن، بل تحسين الاستعداد للأحداث المناخية، وتقليل الخسائر، والاستفادة من أكبر قدر ممكن من المياه ضمن حدود السلامة البيئية والهندسية.

**#### من ضياع مياه الأمطار إلى اقتصاد جمع المياه**

تضيع كميات من مياه الأمطار بسبب سرعة الجريان السطحي، أو عدم وجود منشآت ملائمة لتجميعها، أو تدهور التربة، أو انسداد قنوات التصريف، أو وصول المياه المحملة بالأتربة والملوثات إلى البحر دون الاستفادة الممكنة منها. ولا يعني ذلك أن كل مياه الجريان يمكن أو ينبغي تخزينها، لأن الأودية تحتاج إلى تدفقات طبيعية تحافظ على الأنظمة البيئية وتحد من تدهور المصببات.

لكن من الممكن تطوير منظومة متدرجة لجمع مياه الأمطار وفق خصائص كل منطقة. ففي المدن، يمكن تجهيز بعض الأسطح والمنشآت العمومية بخزانات لتجميع مياه الأمطار واستعمالها في الري والتنظيف بعد التأكد من ملائمتها لهذا الغرض. ويمكن إنشاء أحواض احتجاز مؤقتة في المواقع المناسبة لتخفيف ضغط المياه على شبكات التصريف، مع توفير مسارات آمنة لتصريف الفائض.

وفي المناطق القروية، يمكن الاستفادة من تقنيات حصاد مياه الأمطار، مثل الحواجز الصغيرة المدروسة هندسيًا، وأحواض التجميع، والخنادق الترابية، ومشروعات تثبيت التربة، وإعادة تأهيل المدرجات الزراعية. ويمكن لهذه الحلول أن تساعد على الحد من انجراف التربة وتحسين تسرب المياه إلى الطبقات الجوفية، شريطة احترام طبيعة الحوض المائي وعدم الإضرار بحقوق المستعملين في المناطق الواقعة أسفل المنشآت.

أما مياه الأمطار التي تتجمع فوق الطرق والمناطق الصناعية، فلا ينبغي توجيهها مباشرة إلى خزانات الاستعمال من دون تقييم جودتها. فقد تحتوي على الزيوت والمعادن الثقيلة والمخلفات، ولذلك يجب فصل مياه الجريان الملوثة عن المياه الأنظف، وتوفير أنظمة للترسيب والترشيح والمعالجة حسب طبيعة الموقع.

ويمكن للمغرب أن يطور برامج محلية تجعل المدارس والمستشفيات والأسواق والمباني الإدارية نماذج عملية في الاقتصاد في الماء. فكل منشأة عمومية يمكن أن تصبح فضاءً لتجميع مياه الأمطار، وقياس الاستهلاك، وكشف التسربات، ونشر الوعي لدى المواطنين.

### #### الفيضانات: من الخطر إلى فرصة للتدبير الذكي

تُعد الفيضانات من أخطر الأحداث التي يمكن أن تصيب المدن والقرى والبنية التحتية، إذ قد تتسبب في خسائر بشرية ومادية، وتدمير الطرق والجسور، وإتلاف المحاصيل، وتلوث مصادر المياه، وتعطيل النشاط الاقتصادي. ومع ذلك، فإن الفيضانات ليست مجرد مشكلة تصريف للمياه، بل هي قضية تخطيط عمراني وتدبير للأحواض المائية وإنذار مبكر وصيانة مستمرة.

تبدأ الوقاية من احترام المجاري الطبيعية للأودية وعدم البناء في المناطق المعرضة للغمر دون تقييم المخاطر. كما تتطلب إعادة تأهيل قنوات التصريف، وصيانة المنشآت المائية، وإزالة النفايات من المواقع

التي تعيق حركة المياه، وإنشاء أحواض لتجميع الجريان في الأماكن الملائمة، وتوفير خرائط دقيقة للمناطق المعرضة للفيضانات.

ويجب أن تعتمد منظومة الإنذار المبكر على محطات قياس الأمطار، وأجهزة رصد منسوب المياه، والتنبؤات الجوية، والنماذج الهيدرولوجية التي تقدر سرعة وصول المياه وحجم الجريان المتوقع. ويمكن إرسال تنبيهات إلى السلطات المحلية وفرق التدخل والسكان عبر الرسائل الهاتفية والمنصات الرقمية ووسائل الإعلام.

ويمكن للذكاء الاصطناعي أن يساعد في تحليل كميات كبيرة من البيانات واكتشاف الأنماط التي تشير إلى احتمال وقوع فيضان، لكنه لا يعوض الخبرة الهندسية ولا القياسات الميدانية ولا خطط الإخلاء. لذلك يجب اختبار النماذج باستمرار، والتحقق من دقتها، وتحديد المسؤوليات بوضوح، ووضع بدائل عند انقطاع الكهرباء أو الاتصالات.

أما مياه الفيضانات، فيمكن الاستفادة من جزء منها بعد انحسار الخطر، من خلال توجيهها إلى منشآت ملائمة للتخزين أو إلى مناطق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، إذا كانت نوعية المياه والتربة والظروف الهيدرولوجية تسمح بذلك. ولا يجوز تحويل المناطق السكنية إلى أحواض احتجاز أو إقامة حواجز عشوائية قد تنقل الخطر إلى جماعات أخرى.

إن التدبير الناجح للفيضانات لا يقاس فقط بسرعة تصريف المياه، بل أيضاً بعدد الأرواح التي تمت حمايتها، وحجم الخسائر التي جرى تفاديها، وقدرة المنطقة على التعافي، ومدى الاستفادة الآمنة من المياه بعد انتهاء الحدث.

### ### السدود المغربية: حماية المخزون وتقليل ضياع المياه

تُعد السدود من أهم المنشآت الاستراتيجية في تدبير الموارد المائية، لأنها تتيح تخزين جزء من الواردات المائية واستعمالها في فترات الحاجة، وتساهم في تأمين مياه الشرب والري وبعض الاستعمالات الصناعية، كما يمكن أن تؤدي دوراً في الحماية من الفيضانات وإنتاج الطاقة.

غير أن وجود السد لا يعني أن كل المياه التي تصل إليه ستبقى متاحة للاستعمال. فالمخزون يتأثر بالتبخر، والترسبات التي تتراكم في قاع الحوض، والتسربات الطبيعية، ومتطلبات التصريف البيئي، وطبيعة الاستعمالات المبرمجة. ولذلك فإن حماية السدود تتطلب سياسة مستمرة للصيانة والمراقبة والتخطيط.

ومن المشكلات التي تستحق اهتماماً خاصاً تراكم الأوحال والرواسب داخل الخزانات. فعندما تنقل الأودية كميات كبيرة من التربة نتيجة انجراف المنحدرات وتدهور الغطاء النباتي، تستقر بعض هذه المواد في قاع السد، وقد تؤدي تدريجياً إلى تقليص حجمه التخزيني الفعلي.

وتختلف سرعة هذه العملية من سد إلى آخر تبعًا لخصائص الحوض والجيولوجيا والتساقطات واستعمال الأراضي.

وتبدأ معالجة هذه المشكلة من أعلى الحوض المائي، وليس من السد وحده. فحماية الغابات، وإعادة تأهيل الأراضي المتدهورة، ومكافحة الانجراف، وتنظيم الرعي في المناطق الهشة، وصيانة المدرجات الزراعية، كلها إجراءات تساعد على تقليل كمية التربة التي تصل إلى المجاري المائية.

ويمكن، في المواقع التي تسمح بذلك، إنشاء منشآت صغيرة لتثبيت الرواسب، أو أحواض للترسيب، أو حواجز مناسبة للحد من سرعة الجريان. لكن هذه المنشآت يجب أن تخضع لدراسة هندسية وبيئية، لأن الحواجز غير المدروسة قد تعطل حركة الرواسب الطبيعية أو تتسبب في أضرار أسفل المجرى.

أما داخل السدود، فينبغي إجراء قياسات دورية للأعماق ومقارنة النتائج بالخرائط الأصلية، لتحديد حجم الترسبات وتطورها. وبعد ذلك يمكن اختيار الحل المناسب، سواء تعلق الأمر بتحسين تدبير الواردات، أو تهيئة بعض المداخل، أو إزالة الرواسب في مواقع محددة، أو اعتماد حلول أخرى وفق الكلفة والأثر البيئي والسلامة.

ولا ينبغي التعامل مع إزالة الأوحال باعتبارها عملية بسيطة، إذ قد تتطلب معدات خاصة، ومساحات للتجفيف، وتحاليل لتحديد طبيعة

الرواسب، وخطة لتدبير المواد المستخرجة. فقد تكون بعض الرواسب ملوثة نتيجة الأنشطة الصناعية أو الحضرية، مما يجعل نقلها أو إعادة استعمالها مشروطاً بنتائج التحاليل.

### #### تقليل التبخر وحماية المياه المخزنة من الحرارة

تزداد أهمية التبخر خلال الفترات الحارة والجافة، خاصة في الخزانات الواسعة والمناطق التي تسجل درجات حرارة مرتفعة ورياحاً قوية. ولذلك فإن دراسة فقدان المياه بالتبخر يجب أن تكون جزءاً من التخطيط المائي، مع مراعاة أن حجم الفقد يختلف باختلاف مساحة سطح الخزان وعمقه والظروف المناخية.

يمكن استخدام بيانات الأقمار الصناعية ومحطات الطقس وأجهزة القياس الميدانية لتقدير التبخر ومتابعة تغير مساحة المسطحات المائية. وتسمح هذه البيانات بتحسين توقعات المخزون، وتحديد الفترات التي تستدعي مراجعة برامج التوزيع، وتقييم أثر تغير المناخ على الموارد المائية.

كما يمكن دراسة بعض التقنيات التي تحد من التبخر في أحواض صغيرة أو منشآت محددة، لكن تعميمها على السدود الكبرى ليس دائماً ممكناً أو اقتصادياً. فالتغطية قد تؤثر في جودة المياه والأنظمة البيئية، وقد تتطلب صيانة مستمرة أو مواد مكلفة.

ومن الحلول التي تستحق الدراسة في مواقع مناسبة، تركيب ألواح شمسية عائمة أو منشآت طاقة فوق أجزاء من المسطحات المائية. وقد تساعد هذه التجهيزات على تقليل التبخر محلياً، إلى جانب إنتاج الكهرباء، لكن ينبغي تقييم تأثيرها على جودة المياه والأحياء المائية والملاحة والصيانة وسلامة المنشأة.

ويجب أن تظل الأولوية لحماية المخزون المائي من التلوث، وضبط الاستهلاك، وتحسين كفاءة الشبكات، لأن تقليل الطلب والفواقد قد يحقق نتائج مهمة دون الحاجة إلى حلول مكلفة في جميع المواقع.

#### الطاقة الشمسية فوق السدود والطاقة المائية من منشآت التخزين

يمكن للسدود أن تتحول إلى منصات متعددة الوظائف، تجمع بين تخزين المياه وإنتاج الطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية، مع إمكانية استعمال الكهرباء في تشغيل محطات الضخ والمعالجة والمراقبة الرقمية.

ومن الابتكارات الممكنة تركيب الألواح الشمسية على بعض الأراضي التابعة لمنشآت السدود، أو على الأسطح والمواقف والمباني التقنية، أو فوق أجزاء مدروسة من المسطحات المائية. ويتيح ذلك الاستفادة من المساحات المتاحة دون التوسع بالضرورة في استغلال الأراضي الزراعية.

أما الطاقة الكهرومائية، فيمكن إنتاجها من خلال التوربينات التي تستفيد من فرق الارتفاع وتدفق المياه. وتتوفر بعض السدود على إمكانات لتطوير أو تحديث تجهيزات إنتاج الكهرباء، كما يمكن دراسة استغلال فروق الضغط في بعض قنوات نقل المياه، إذا سمحت الظروف التقنية والتشغيلية بذلك.

ويجب التمييز بين إنتاج الطاقة من تدفقات مائية متاحة أصلاً وبين ضخ المياه إلى ارتفاعات أعلى بغرض تخزين الطاقة. ففي حالة الضخ والتخزين، تُستخدم الكهرباء لضخ المياه إلى خزان مرتفع، ثم تُسترجع طاقة جزء منها عند إعادة المياه إلى مستوى أدنى. وهذه المنظومة قد تساعد على موازنة إنتاج الطاقة الشمسية والريحية، لكنها تستهلك طاقة، ولا تنتج طاقة صافية من دون مصدر خارجي.

ولهذا يجب إجراء دراسة شاملة لكل مشروع، تشمل فرق الارتفاع، وحجم التدفق، وكفاءة المضخات والتوربينات، وكلفة التجهيزات، والربط بالشبكة الكهربائية، ومتطلبات الصيانة، وأثر التشغيل على مخزون مياه الشرب والري.

ولا يجوز تحويل المياه المخصصة للشرب أو الزراعة إلى وسيلة لإنتاج الطاقة بطريقة تهدد الأمن المائي. ويجب أن يكون تشغيل المنشآت وفق قواعد واضحة تعطي الأولوية للاحتياجات الأساسية، وتحترم التصريفات البيئية، وتراعي فترات الجفاف.

ويمكن للمغرب أن يطور نموذجًا تجريبيًا يجمع بين الألواح الشمسية والطاقة الكهرومائية وتدبير السدود رقميًا، ثم يقيم نتائجه قبل توسيع التجربة. ويتيح ذلك تحويل المنشآت المائية إلى مراكز إنتاج للطاقة النظيفة والابتكار الهندسي، مع المحافظة على وظيفتها الأساسية في تأمين الموارد المائية.

### ### الذكاء الاصطناعي في خدمة الماء

لم يعد تدبير المياه يعتمد على القياسات التقليدية وحدها، بل أصبح من الممكن الاستفادة من أجهزة الاستشعار وشبكات الاتصال والأقمار الصناعية والنماذج الرياضية والذكاء الاصطناعي لتحسين دقة القرارات.

يمكن تركيب أجهزة لقياس مستوى المياه في السدود، وتدفق الأودية، والضغط داخل القنوات، ومعدلات الاستهلاك في المدن، ورطوبة التربة في الأراضي الزراعية. وتُجمع هذه المعلومات في منصة رقمية تسمح للمهندسين والمشغلين بمتابعة الوضع بصورة مستمرة.

ويمكن للذكاء الاصطناعي أن يساعد في توقع الطلب على الماء، وتقدير الواردات المحتملة إلى السدود، والكشف عن الأنماط غير العادية في الاستهلاك، وتحديد المناطق التي قد تعرف تسربات، وتحسين برامج الري وفق حاجيات النباتات والظروف الجوية.

كما يمكن تطوير نموذج رقمي لكل حوض مائي، يضم بيانات التساقطات والتضاريس والتربة والسدود والآبار ومراكز الاستهلاك. ويسمح هذا النموذج بمحاكاة سيناريوهات متعددة، مثل انخفاض التساقطات أو ارتفاع الحرارة أو تعطل قناة رئيسية أو وقوع فيضان.

لكن التكنولوجيا ليست بديلاً عن الحكامة. فالنتائج تعتمد على جودة البيانات، وعلى صيانة الأجهزة، وعلى التحقق من النماذج، وعلى وجود خبراء قادرين على تفسير المخرجات. كما يجب حماية الأنظمة الرقمية من الاختراق، وتحديد صلاحيات الولوج إلى البيانات، ووضع خطط لاستمرار الخدمة عند حدوث أعطال.

ويُقترح إنشاء مركز وطني للابتكار في المياه يربط بين مؤسسات البحث العلمي والجامعات ومكاتب الدراسات والوكالات المختصة والشركات الصناعية، من أجل تطوير حلول مغربية تناسب الخصائص المناخية والهندسية والاجتماعية للبلاد.

#### #### ربط السدود والذكاء الاصطناعي في منظومة واحدة

إن ربط السدود لا ينبغي أن يكون مجرد شبكة من القنوات والأنفاق ومحطات الضخ، بل يجب أن يكون منظومة وطنية تتخذ قراراتها بناءً على المعلومات المتاحة، وعلى حاجيات السكان، وعلى الوضع الهيدرولوجي لكل حوض.

فقد تعرف منطقة تساقطات مهمة ومخزوناً مرتفعاً، بينما تعاني منطقة أخرى من عجز مائي. وفي هذه الحالة، يمكن دراسة تحويل جزء من الموارد بين الأحواض إذا كانت الإمكانيات الهندسية والبيئية والقانونية تسمح بذلك، وإذا لم يؤد التحويل إلى الإضرار بحقوق المستعملين أو الأنظمة البيئية في منطقة المصدر.

ويمكن للمنصة الرقمية أن تقارن بين مستوى المخزون في السدود، والتوقعات المناخية، والطلب الحضري والفلاحي والصناعي، والطاقة المتاحة للضخ، وقدرة القنوات على نقل المياه. وبعد ذلك تقترح سيناريوهات للتوزيع، على أن تعتمد القرارات النهائية وفق قواعد تشغيل معلنة وتحت إشراف الجهات المختصة.

كما يمكن للربط الذكي أن يساعد في اكتشاف التسربات داخل الأنابيب، وتحديد نقاط الضغط غير الطبيعي، وتخطيط أعمال الصيانة قبل وقوع الأعطال الكبرى. ويساهم ذلك في تقليل الفواقد وتحسين استمرارية الخدمة.

غير أن كل مشروع للربط المائي يحتاج إلى دراسة جدوى مستقلة، لأن نقل المياه لمسافات طويلة أو إلى ارتفاعات كبيرة قد يتطلب طاقة وكلفة مرتفعتين. ولهذا يجب مقارنة خيار الربط بخيارات أخرى، مثل إصلاح الشبكات، وإعادة استعمال المياه المعالجة، وتحلية مياه البحر، وتحسين كفاءة الري، وترشيد الطلب.

### ### البنك المائي الجهوي والوطني

يمكن تطوير مفهوم البنك المائي باعتباره نظامًا مؤسسيًا ورقميًا لتجميع المعلومات عن الموارد المائية المتاحة والحاجيات والاستعمالات والالتزامات البيئية، وليس باعتباره بنكًا ماليًا بالمعنى التقليدي.

ويعمل المستوى الجهوي على متابعة الموارد المحلية، ومستويات السدود، وحالة الفرشات المائية، والطلب الحضري والفلاحي والصناعي، ومشروعات المعالجة وإعادة الاستعمال. أما المستوى الوطني، فيجمع البيانات الجهوية ويتيح رؤية شاملة تساعد على التخطيط والتنسيق بين الأحواض.

ويجب أن يتضمن النظام سجلًا للموارد المتاحة، ومؤشرات عن جودة المياه، وتوقعات للطلب، وبيانات عن الآبار المرخصة، ومعلومات عن استعمال المياه المعالجة، ومتابعة للمشروعات الكبرى. كما يمكن ربطه بأنظمة الإنذار المبكر الخاصة بالجفاف والفيضانات.

ويجب أن تكون البيانات الأساسية متاحة للجهات المختصة والباحثين والجمهور وفق قواعد واضحة، مع حماية المعلومات الحساسة وضمان دقة الأرقام المنشورة. كما ينبغي الفصل بين البيانات المقاسة فعليًا والتوقعات والنماذج التقديرية حتى لا تُتخذ قرارات بناءً على معلومات غير مؤكدة.

ومن المهم ألا يتحول البنك المائي إلى منصة لجمع المعلومات فقط، بل يجب أن يرتبط بقرارات فعلية، مثل تحديد أولويات الاستثمار، وتحسين توزيع المياه في فترات الندرة، ومتابعة احترام التراخيص، وتقييم نتائج السياسات العمومية.

### ### حماية المياه الجوفية ومراقبة الآبار غير المرخصة

تعتبر المياه الجوفية موردًا استراتيجيًا، خصوصًا خلال فترات الجفاف، لأنها تساعد على تلبية جزء من الحاجيات المنزلية والفلاحية والصناعية. غير أن الاستغلال المفرط قد يؤدي إلى انخفاض مستويات الفرشات المائية، وارتفاع كلفة الضخ، وتدهور جودة المياه، وقد يسمح في المناطق الساحلية بتداخل المياه المالحة مع المياه الجوفية العذبة.

ولهذا فإن حماية الفرشات المائية تتطلب معرفة حجم التغذية الطبيعية، ومعدلات الضخ، والتغيرات الموسمية في مستويات المياه، وخصائص الطبقات الجيولوجية، والآثار المحتملة للاستعمالات المختلفة.

ويجب أن تتم مراقبة الآبار وفق القوانين الجاري بها العمل، مع التمييز بين الآبار المرخصة وغير المرخصة، والتحقق من حجم الضخ وطبيعة الاستعمال والآثار على الموارد المشتركة. ويمكن استعمال قواعد بيانات رقمية وخرائط جغرافية لتحديد مواقع الآبار، وتحديث معلومات التراخيص، وربطها بنتائج القياسات الميدانية.

وفي الحالات التي يثبت فيها وجود استغلال غير قانوني، ينبغي تطبيق الإجراءات القانونية المختصة بعد التحقق من الوقائع، مع ضمان حق المعنيين في سلوك المساطر القانونية. كما يجب توفير مسار واضح لتسوية الوضعيات التي تسمح القوانين بتسويتها، من دون أن يؤدي ذلك إلى تشجيع الاستغلال غير المشروع.

وتحتاج المناطق التي تعرف ضغطًا كبيرًا على المياه الجوفية إلى برامج خاصة، تشمل تحديد سقوف للضخ عندما تكون ضرورية قانونًا وعلميًا، وتشجيع الري المقتصد للماء، ومراقبة جودة المياه، وتطوير بدائل ملائمة للاستعمالات التي يمكن تحويلها إلى مصادر أخرى.

ولا يكفي حفر بئر جديد كلما انخفض مستوى المياه؛ بل يجب طرح سؤال أساسي: هل تسمح الفرشة المائية بتجديد الكميات التي يجري استخراجها؟ إن الاستدامة تقتضي ألا يتجاوز الاستغلال المستمر قدرة المورد على التجدد، إلا في حدود خطط استثنائية مدروسة ومحددة.

#### #### شرطة الماء والرقابة الصارمة

تتطلب حماية الموارد المائية وجود منظومة فعالة للمراقبة وتطبيق القانون. ويمكن أن تؤدي الجهات المختصة بمهام شرطة الماء دورًا مهمًا في رصد المخالفات، والتحقق من التراخيص، ومراقبة الاستغلال غير القانوني، والتصدي للتلوث، وحماية الملك العمومي المائي.

ولا ينبغي أن تقتصر الرقابة على الآبار وحدها، بل يجب أن تشمل جميع الأنشطة التي يمكن أن تؤثر في الموارد المائية، مثل التحويلات غير المرخصة، والتصريفات الملوثة، والاعتداء على مجاري الأودية، واستغلال المياه دون سند قانوني، والإضرار بمنشآت التوزيع أو القياس.

ويمكن تطوير نظام رقمي لتسجيل المخالفات ومحاضر المعاينة، وتحديد المواقع الجغرافية، وتوثيق نتائج التحاليل، ومتابعة الإجراءات المتخذة. كما يمكن استعمال صور الأقمار الصناعية والطائرات المسيرة في الحالات التي يسمح فيها القانون بذلك، مع ضرورة التحقق الميداني وعدم اعتبار الصور وحدها دليلاً نهائياً على المخالفة.

ويجب أن تكون الرقابة عادلة وشفافة، وأن تطبق المعايير نفسها على مختلف المستعملين، سواء تعلق الأمر بأفراد أو ضيعات كبيرة أو فيلات أو شركات أو منشآت صناعية. فالماء مورد مشترك، ولا ينبغي أن تتحول القدرة المالية لأي مستعمل إلى وسيلة لتجاوز القانون أو استنزاف الموارد على حساب الآخرين.

كما ينبغي أن تشمل المراقبة المنشآت العمومية نفسها، لأن حماية الماء مسؤولية مشتركة. فكل تسرب في شبكة عمومية، وكل منشأة معالجة لا تعمل بالكفاءة المطلوبة، وكل مشروع يسبب تلوثاً يمكن تفاديه، يمثل خسارة للموارد وللمال العام.

إن الرقابة الصارمة لا تعني الاقتصار على العقوبات، بل تشمل الوقاية والتوعية والمساعدة على الامتثال، مع تطبيق الجزاءات التي ينص عليها القانون عند ثبوت المخالفة.

#### #### الفيلات والمساح والاستعمالات الخاصة للمياه

يمكن للمنازل الكبيرة والفيلات والمساح والحدائق الخاصة أن تشكل مصدرًا مهمًا للطلب على الماء في بعض المناطق، خصوصًا خلال فترات الحرارة والجفاف. لكن معالجة هذه المسألة يجب أن تعتمد على قياس الاستهلاك والموارد المتاحة والقواعد القانونية، وليس على الأحكام العامة أو على نوع السكن وحده.

ومن الممكن تشجيع تجهيزات الاقتصاد في الماء داخل المساكن، مثل الصنابير منخفضة التدفق، وأنظمة كشف التسربات، والري بالتنقيط للحدائق، واستعمال النباتات الملائمة للمناخ المحلي، وتجميع مياه الأمطار للاستعمالات غير الصالحة للشرب بعد التأكد من سلامة النظام.

كما يمكن دراسة أنظمة تسعير تراعي حجم الاستهلاك وتوفير الحماية للاحتياجات الأساسية للأسر، مع احترام القواعد المنظمة للتعرفة. وينبغي أن تُبنى أي إجراءات خاصة بفترات الجفاف على قرارات معلنة ومتناسبة مع درجة الضغط على الموارد، وأن تطبق على جميع الفئات المعنية وفق معايير واضحة.

أما المساح والمنشآت الترفيهية، فيمكن تشجيع تقنيات تقليل التبخر، والصيانة الجيدة لتجنب تسرب المياه، وإعادة استعمال مياه التنظيف حيث تسمح المعايير الصحية بذلك. ويمكن للسلطات المختصة أن تعتمد إجراءات استثنائية عند الضرورة، شريطة أن تكون قانونية ومعلنة وقابلة للتقييم.

ويجب كذلك منع الربط غير القانوني بشبكات الماء، أو استعمال المياه المخصصة لأغراض معينة خلافًا لشروط الترخيص. والغاية هي ترسيخ مبدأ المسؤولية في الاستهلاك، لا تحويل السياسة المائية إلى أداة للتمييز بين المواطنين.

### #### الشركات الصناعية ومعالجة المياه المستعملة

تستهلك بعض الأنشطة الصناعية كميات مهمة من الماء، وقد تنتج مياهًا مستعملة تحتوي على مواد عضوية أو كيميائية أو زيوت أو معادن أو أملاح مرتفعة التركيز. وإذا صُرفت هذه المياه دون معالجة مناسبة، فإنها قد تلوث الأنهار والمياه الجوفية والتربة، وتؤثر في صحة الإنسان والأنظمة البيئية، وترفع كلفة معالجة مياه الشرب.

لذلك يجب أن تكون حماية الموارد المائية جزءًا أساسيًا من شروط الترخيص الصناعي والمراقبة البيئية. وينبغي تحديد نوعية المياه المستعملة وكميتها، وخصائص الملوثات المحتملة، وطريقة المعالجة،

وشروط التصريف أو إعادة الاستعمال، وفق طبيعة النشاط والمعايير القانونية المعمول بها.

ولا تكفي إقامة محطة معالجة داخل المصنع إذا كانت لا تعمل بصورة منتظمة أو إذا كانت لا تلائم طبيعة الملوثات. ولهذا ينبغي مراقبة أداء المنشآت، وإجراء التحاليل الدورية، والاحتفاظ بسجلات موثوقة، والتأكد من معالجة الحمأة الناتجة عن عمليات التنقية بطريقة آمنة.

ويمكن للمنشآت الصناعية أن تطور أنظمة لإعادة استعمال المياه داخل وحداتها، مثل استعمال المياه المعالجة في التبريد أو التنظيف أو بعض العمليات الصناعية التي لا تتطلب مياهًا صالحة للشرب، مع احترام متطلبات الجودة والسلامة لكل استعمال.

كما يمكن تشجيع المناطق الصناعية على إنشاء محطات معالجة مشتركة عندما تكون طبيعة الأنشطة تسمح بذلك، مع وضع آليات دقيقة لمراقبة المياه الداخلة إلى المحطة وتحديد مسؤولية كل مستعمل. أما الصناعات التي تنتج ملوثات خاصة، فقد تحتاج إلى معالجة أولية داخل الموقع قبل تصريف المياه إلى الشبكة المشتركة.

ويجب أن تخضع الشركات المخالفة لإجراءات قانونية متناسبة مع طبيعة المخالفة وآثارها، بما في ذلك إلزامها بإصلاح الأضرار أو وقف التصريف غير المطابق أو استكمال المعالجة المطلوبة، وفق اختصاصات الجهات المعنية.

ومن الضروري أيضاً نشر ثقافة صناعية جديدة تعتبر الماء عنصراً من عناصر الإنتاج المستدام. فالمصنع الذي يقلل استهلاكه، ويعيد استعمال المياه، ويعالج مخلفاته، ويراقب التسربات، يستطيع أن يخفض كلفته التشغيلية وأن يحد من المخاطر البيئية في الوقت نفسه.

### ### خلق منطقة صناعية متخصصة في تكنولوجيا الماء

يمكن للمغرب أن يدرس إنشاء منطقة صناعية وابتكارية متخصصة في تكنولوجيا المياه، تجمع بين الإنتاج الصناعي والبحث العلمي والتكوين والتجارب التطبيقية. ويجب أن تقوم هذه المنطقة على حاجيات حقيقية للسوق، وأن تستفيد من القرب من الجامعات ومراكز البحث والبنية التحتية، وأن تراعي توفر الطاقة والماء المعالج والنقل والخدمات.

يمكن أن تضم المنطقة شركات متخصصة في تصنيع أجهزة قياس التدفق والضغط، وأجهزة كشف التسربات، وأجهزة الاستشعار، ومعدات الري المقتصد، وأنظمة التحكم الرقمي، ومكونات محطات المعالجة، والأغشية والمرشحات، والمضخات ذات الكفاءة العالية، ومعدات إنتاج الطاقة المرتبطة بالمياه.

كما يمكن أن تستقبل شركات ناشئة تعمل على تطوير برامج الذكاء الاصطناعي، ونظم المعلومات الجغرافية، والتنبؤ بالفيضانات، وتحليل بيانات السدود، ومراقبة جودة المياه، وتحسين كفاءة شبكات التوزيع.

ويمكن تخصيص فضاء للتجارب الصناعية يسمح باختبار المعدات في ظروف قريبة من الواقع قبل اعتمادها على نطاق واسع. وتستطيع الجامعات والمؤسسات العمومية والشركات التعاون في مشاريع مشتركة، مع تحديد حقوق الملكية الفكرية، وشروط نشر النتائج، وآليات تحويل الابتكارات إلى منتجات قابلة للاستعمال.

ويجب ألا تتحول المنطقة الصناعية إلى تجمع لمصانع تستهلك الماء والطاقة دون مردودية واضحة، بل ينبغي أن تعتمد معايير للاستدامة، وإعادة الاستعمال، والاقتصاد في الموارد، والتدبير السليم للنفايات. ويمكن منح الأفضلية في البرامج التحفيزية للمشروعات التي تثبت مساهمتها في تحسين كفاءة الماء أو إنتاج حلول قابلة للتوسع.

كما يمكن تطوير برامج لتكوين التقنيين والمهندسين في صيانة محطات المعالجة، وتشغيل أنظمة التحكم، وتحليل البيانات، وتصميم المضخات والقنوات، ومراقبة الجودة. ويساعد ذلك على خلق فرص عمل متخصصة، وتقليل الاعتماد على استيراد بعض الخدمات والمعدات، وتطوير خبرة صناعية وطنية.

**#### البحث العلمي والجامعات: بناء معرفة مغربية في الماء**

لا يمكن حل التحديات المائية المعقدة من خلال البنية التحتية وحدها. فالسدود والقنوات ومحطات التحلية والمعالجة تحتاج إلى معرفة علمية

مستمرة، وإلى قياسات موثوقة، وإلى مهندسين وباحثين وتقنيين قادرين على تطوير الحلول وتحسينها.

ولهذا ينبغي تعزيز البحث في الهيدرولوجيا، والهندسة المدنية، والجيولوجيا المائية، وتحلية مياه البحر، وإعادة استعمال المياه المستعملة، والطاقة المتجددة، والمواد المقاومة للتآكل، والاستشعار عن بعد، والذكاء الاصطناعي، والاقتصاد المائي، والسياسات العمومية.

ومن الضروري توفير قواعد بيانات علمية قابلة للاستخدام، تضم سجلات التساقطات والتدفقات ومستويات المياه الجوفية وجودة المياه والترسبات ودرجات الحرارة. ويجب توثيق طرق القياس ومصادر البيانات ومستوى عدم اليقين، لأن النموذج العلمي الجيد لا يمكن أن يعوض بيانات ضعيفة أو غير متجانسة.

ويمكن للجامعات المغربية أن تطور مختبرات مشتركة مع الجهات المسؤولة عن الماء، بحيث تُوجّه مشاريع الطلبة والباحثين نحو مشكلات واقعية، مثل تقليل الترسبات في السدود، وتحسين أداء المضخات، وتطوير أجهزة منخفضة التكلفة للكشف عن التسربات، وتحليل نوعية المياه المعالجة، وتقدير مخاطر الفيضانات.

كما يمكن دعم مسابقات الابتكار المائي، وتوفير منح للبحث التطبيقي، وإنشاء حاضنات للشركات الناشئة، وتمويل النماذج الأولية التي تثبت

جدواها. وينبغي أن تخضع المشروعات للتقييم العلمي والاقتصادي والبيئي، وأن تُنشر نتائجها بوضوح سواء كانت ناجحة أو غير ناجحة.

إن بناء قاعدة علمية وطنية في الماء يتيح للمغرب تطوير حلول تتلاءم مع مناخه وأحواضه المائية وبنيته الاقتصادية، بدل الاعتماد الكامل على حلول مصممة لظروف مختلفة.

### ### تطوير عقلية المجتمع: الماء مسؤولية يومية

تحتاج السياسة المائية إلى بنية تحتية قوية وقوانين فعالة، لكنها تحتاج أيضاً إلى تغيير في السلوك اليومي. فالتسرب الصغير الذي يستمر طويلاً، والري في أوقات غير مناسبة، وغسل المساحات بكميات كبيرة من مياه الشرب، والتخلص من الزيوت والمواد الكيميائية في المصارف، كلها ممارسات يمكن أن تؤدي إلى خسائر أو أضرار قابلة للتقليل.

ويبدأ التغيير من المدرسة، حيث يمكن إدماج التربية المائية في الأنشطة العلمية، وتعليم الأطفال دورة الماء، وأهمية الأحواض المائية، ودور السدود، ومخاطر التلوث، وأساليب ترشيد الاستهلاك. ويمكن تنظيم زيارات تربوية إلى منشآت المعالجة والسدود ومختبرات مراقبة الجودة، وفق شروط السلامة.

كما يمكن للجمعيات المحلية والمجالس المنتخبة والجامعات ووسائل الإعلام أن تشارك في نشر المعلومات المبسطة حول الوضع المائي، مع تجنب التهويل أو نشر أرقام غير موثوقة. فالمواطن يحتاج إلى معرفة حجم التحدي، والإجراءات المطلوبة منه، والبدائل المتاحة، ونتائج السياسات المتخذة.

ويجب أن تستهدف حملات التوعية الفلاحين وأصحاب المصانع وأصحاب الحدائق والمقاولات وموظفي الجماعات المحلية، لأن احتياجات كل فئة مختلفة. فالفلاح يحتاج إلى إرشاد حول توقيت الري واحتياجات المحاصيل، بينما تحتاج المنشأة الصناعية إلى معلومات حول إعادة الاستعمال والمعالجة، ويحتاج سكان المدن إلى أدوات لكشف التسربات وترشيد الاستهلاك.

ولا ينبغي أن تقوم التوعية على اللوم وحده، بل على توفير البدائل والمساعدة التقنية والحوافز المناسبة. فطلب الاقتصاد في الماء يصبح أكثر فاعلية عندما تتوفر أجهزة مقتصدة، وخدمات صيانة، ومعلومات واضحة، وقواعد عادلة تطبق على الجميع.

#### #### الإرشاد المائي للفلاحين والمقاولات والمواطنين

يمكن إنشاء برامج إرشاد مائي على المستوى الجهوي، تتعاون فيها المصالح المختصة والجماعات المحلية والجامعات والمهنيون. وتوفر هذه البرامج استشارات حول تقنيات الري، واختيار المحاصيل الملائمة

للموارد المتاحة، وصيانة المضخات، ومراقبة التسربات، واستعمال المياه المعالجة، وحماية الآبار من التلوث.

وفي القطاع الفلاحي، يمكن تقديم خدمات لقياس رطوبة التربة وتحديد حاجيات النباتات من الماء، مع الاستفادة من بيانات الطقس وأجهزة الاستشعار. وتساعد هذه الأدوات على تجنب الري الزائد، لكن يجب أن تكون ملائمة لطبيعة التربة والمحصول، وألا تؤدي إلى إهمال الاحتياجات الفعلية للنبات.

كما ينبغي مساعدة المزارعين على فهم العلاقة بين كمية الماء المستعملة والمردودية الاقتصادية للمحصول. فليس الهدف تقليل الماء بأي ثمن، بل تحسين العائد من كل متر مكعب مع الحفاظ على خصوبة التربة واستدامة الفرشة المائية.

أما المقاولات، فيمكن مساعدتها على إجراء تدقيق مائي يحدد نقاط الاستهلاك المرتفع، وفرص إعادة الاستعمال، والتكاليف المرتبطة بالتسربات، وإمكانية تحسين نظم التبريد والتنظيف. ويمكن أن تصبح هذه التدقيقات أداة عملية لتقليل الضغط على الموارد، خصوصاً في المناطق الصناعية التي تعرف ندرة مائية.

**#### إعادة استعمال المياه المعالجة**

تمثل المياه العادمة المعالجة موردًا يمكن الاستفادة منه في بعض الاستعمالات، بدل الاعتماد الكامل على المياه العذبة. ويمكن، وفق نوعية المعالجة والمعايير الصحية والبيئية، استخدامها في ري بعض المساحات الخضراء، أو بعض الزراعات المناسبة، أو تنظيف الطرق، أو بعض العمليات الصناعية.

لكن إعادة الاستعمال لا تعني أن كل مياه الصرف صالحة لجميع الأغراض. فالمياه التي تحتوي على ملوثات كيميائية أو أحياء دقيقة قد تحتاج إلى مراحل إضافية من المعالجة والتطهير. كما يجب مراقبة الملوحة والمواد المتبقية والعناصر التي يمكن أن تتراكم في التربة أو تؤثر في المحاصيل.

ويحتاج كل مشروع إلى تقييم مصادر المياه المستعملة، وخصائصها، ومستوى المعالجة، ونوعية الاستعمال النهائي، وطرق النقل والتخزين، وآليات المراقبة. وينبغي حماية شبكات المياه الصالحة للشرب من أي اتصال غير آمن مع شبكات المياه المعالجة، مع وضع علامات واضحة على الأنابيب ونقاط الاستعمال.

ويمكن للمناطق الصناعية أن تستفيد من إعادة استعمال المياه داخل المنشآت أو بين المصانع، إذا كانت الجودة مناسبة. وقد يساهم ذلك في تقليل استهلاك المياه العذبة وخفض حجم التصريفات، لكن النجاح يتطلب تنسيقًا بين المستعملين واستمرارية في مراقبة الجودة.

### #### تحلية مياه البحر ضمن منظومة متكاملة

تتيح تحلية مياه البحر مصدرًا إضافيًا للمياه، خصوصًا للمناطق الساحلية التي تعاني من الضغط على الموارد التقليدية. ويمكن أن تساهم في تأمين مياه الشرب وبعض الاستعمالات الصناعية، كما قد تخفف الضغط على بعض السدود والفرشات المائية عندما تكون المشاريع ملائمة اقتصاديًا وبيئيًا.

لكن التحلية تحتاج إلى الطاقة والاستثمارات والصيانة، وتنتج محلولًا ملحيًا مركّزًا يتطلب تدبيرًا مسؤولًا لتقليل آثاره على البيئة البحرية. ولذلك يجب تقييم موقع المحطة، ومصدر الطاقة، وطريقة تصريف المحلول الملحي، وكلفة الإنتاج والنقل، ومدى ملائمة المياه المنتجة للاستعمال المقصود.

كما ينبغي ألا تؤدي وفرة المياه المحلاة في بعض المناطق إلى زيادة الاستهلاك بصورة غير مستدامة. فالتحلية أداة لتوسيع مصادر الإمداد، وليست مبررًا لإهمال ترشيد الاستعمال أو معالجة التسربات أو حماية المياه الجوفية.

ويجب أن تعمل التحلية ضمن مزيج مائي متوازن يضم السدود، والمياه الجوفية، وإعادة الاستعمال، وحصاد الأمطار، وتحسين كفاءة الشبكات، وفق الخصائص المحلية لكل منطقة.

### ### مراقبة جودة المياه وحماية الصحة العامة

إن كمية المياه ليست المعيار الوحيد للأمن المائي؛ فجودة المياه عنصر أساسي لا يقل أهمية. فقد يكون المخزون متوفرًا، لكنه غير صالح لبعض الاستعمالات بسبب التلوث الجرثومي أو الكيميائي أو ارتفاع الملوحة أو وجود مواد غير مرغوبة.

ولهذا ينبغي تعزيز شبكات المراقبة التي تشمل مصادر المياه ومحطات المعالجة وشبكات التوزيع ومواقع التصريف الصناعي. وتحتاج هذه الشبكات إلى مختبرات مجهزة، وطرق أخذ عينات موحدة، وبرامج تحليل دورية، ونظام لتوثيق النتائج وإبلاغ الجهات المعنية عند ظهور مؤشرات خطر.

ويمكن استعمال أجهزة استشعار لقياس بعض المؤشرات بصورة مستمرة، مثل درجة الحموضة والتوصيلية الكهربائية والعكارة، لكن هذه الأجهزة لا تكفي وحدها لاكتشاف جميع الملوثات. ولذلك يجب دعمها بالتحاليل المخبرية المتخصصة وفق طبيعة المخاطر.

وعند اكتشاف تلوث، يجب تحديد مصدره واتخاذ التدابير المناسبة لحماية السكان والبيئة، بما في ذلك وقف التصريف الملوث عند الضرورة، ومعالجة المصدر، وإبلاغ الجهات المعنية، ومتابعة الوضع حتى استعادة شروط السلامة.

كما ينبغي الاهتمام بالمياه الجوفية والآبار القريبة من المناطق الصناعية ومواقع التخلص من النفايات، لأن بعض الملوثات قد تنتقل ببطء وتبقى في البيئة مدة طويلة. والوقاية من التلوث غالباً أقل كلفة من معالجة آثاره بعد انتشاره.

### ### تمويل الابتكار المائي وتحويل الحلول إلى مشاريع

تحتاج المشاريع المائية إلى تمويل مستقر، لكن توجيه الأموال يجب أن يعتمد على الأولويات والنتائج المتوقعة، لا على حجم المنشأة أو كلفتها وحدهما.

فقد يكون إصلاح شبكة توزيع متسربة أقل كلفة وأكثر فائدة في منطقة معينة من بناء منشأة جديدة، بينما قد تكون التحلية أو الربط بين الأحواض ضرورياً في منطقة أخرى. ولهذا يجب تقييم كل مشروع وفق أثره على الأمن المائي، وكلفته خلال دورة حياته، واستهلاكه للطاقة، وأثره البيئي، وقدرته على التكيف مع تغير المناخ.

ويمكن أن تشمل مصادر التمويل الميزانيات العمومية، وبرامج الاستثمار الترابي، والشراكات القانونية مع القطاع الخاص، وصناديق البحث والابتكار، وبرامج التعاون العلمي. لكن ينبغي تحديد المسؤوليات ومؤشرات الأداء وطرق المراقبة قبل إطلاق المشروعات.

كما يجب احتساب تكاليف الصيانة والتجديد والتشغيل، لا تكاليف البناء فقط. فالمنشأة التي تُبنى دون توفير الموارد اللازمة لصيانتها قد تفقد جزءاً من فعاليتها بعد سنوات قليلة.

ويمكن تخصيص برامج لدعم الشركات الناشئة التي تطور حلولاً قابلة للقياس، مثل أجهزة كشف التسربات منخفضة التكلفة، أو أنظمة مراقبة جودة المياه، أو برامج تحسين الري، أو معدات المعالجة وإعادة الاستعمال. ويجب أن يكون الدعم مرتبطاً باختبارات مستقلة ونتائج واضحة، بما يضمن أن تتحول الأفكار الواعدة إلى منتجات نافعة.

### ### خارطة طريق مقترحة للتنفيذ

تبدأ المرحلة الأولى بتشخيص الوضع المائي على المستوى المحلي والجهوي، وجمع البيانات عن السدود والآبار وشبكات التوزيع والتساقطات والفيضانات والتلوث والاستعمالات المختلفة. وينبغي تحديد نقاط الضعف التي يمكن معالجتها بسرعة، مثل التسربات الكبيرة أو منشآت التصريف المسدودة أو غياب أجهزة القياس.

وتتمثل المرحلة التالية في إطلاق مشروعات تجريبية محددة، مثل نظام ذكي لمراقبة سد، أو مشروع لتجميع مياه الأمطار في مؤسسة عمومية، أو محطة لإعادة استعمال المياه المعالجة، أو برنامج لكشف الآبار غير المرخصة، أو مشروع لتقليل استهلاك الماء في منطقة صناعية.

بعد ذلك، تُقاس النتائج وفق مؤشرات واضحة، مثل كمية المياه التي تم توفيرها فعلياً، وانخفاض الفواقد، وتحسن جودة المياه، وتقليل أضرار الفيضانات، وكمية الطاقة المستهلكة لكل متر مكعب، وعدد المنشآت التي تحترم شروط المعالجة.

وعندما تثبت التجربة نجاحها، يمكن توسيعها تدريجياً إلى مناطق أخرى مع تكييفها حسب الظروف المحلية. ويجب أن يصاحب ذلك تكوين الموارد البشرية، وتوفير ميزانيات الصيانة، وتحديث القواعد التنظيمية عند الحاجة، ونشر النتائج حتى تستفيد المؤسسات الأخرى من التجربة.

ومن المهم أن تتولى كل جهة دورها بوضوح، مع التنسيق بين السلطات المائية والبيئية والصناعية والجماعات المحلية ومؤسسات البحث والمستعملين. فالعمل المتفرق قد ينتج مشروعات جيدة لكنها معزولة، بينما يسمح التنسيق بإنشاء منظومة متكاملة.

#### #### مؤشرات قياس النجاح

يمكن تقييم السياسة المائية من خلال مؤشرات كمية ونوعية، منها نسبة الفواقد في شبكات التوزيع، وتطور المخزون القابل للاستعمال في السدود، ومستويات المياه الجوفية، ومعدل إعادة استعمال المياه المعالجة، وحجم المياه التي جرى توفيرها من خلال تحسين الكفاءة.

كما يمكن قياس مدى انتظام مراقبة الآبار، وعدد المنشآت الصناعية التي تستوفي شروط المعالجة، وسرعة الاستجابة للتلوث، ودقة الإنذار المبكر بالفيضانات، وحجم الخسائر التي أمكن تفاديها، وعدد الابتكارات التي انتقلت من المختبر إلى التطبيق.

وينبغي أن تُنشر هذه المؤشرات بصورة دورية، مع توضيح طرق حسابها ومصادرها وحدود دقتها. كما يجب التمييز بين النتائج التي تحققت فعليًا والنتائج المتوقعة في الدراسات، حتى يتمكن المواطن والباحث وصانع القرار من تقييم الأداء على أساس معلومات موثوقة.

ولا ينبغي الاعتماد على مؤشر واحد للحكم على نجاح السياسة المائية. فقد تنخفض الفوائد في شبكة معينة، لكن يزداد الضغط على المياه الجوفية في منطقة أخرى. لذلك يجب قراءة المؤشرات ضمن صورة شاملة تراعي الموارد والطلب والطاقة والبيئة والعدالة في التوزيع.

### ### الخلاصة: من تدبير الندرة إلى بناء حضارة مائية

إن مستقبل الماء في المغرب يرتبط بالقدرة على الجمع بين المعرفة العلمية والابتكار الهندسي والرقابة القانونية والتربية المجتمعية والاستثمار المستدام. فالتساقطات ليست مجرد حدث مناخي، والفيضانات ليست مجرد مشكلة تصريف، والسدود ليست مجرد خزانات، والآبار ليست مجرد مصادر فردية للمياه، والمصانع ليست

مجرد مستهلكين، بل جميعها عناصر داخل منظومة واحدة يتأثر كل جزء فيها بالآخر.

إن حماية السدود من الترسبات، وتقليل ضياع المياه، وتحسين الاستعداد للفيضانات، وتطوير الطاقة الشمسية والكهرومائية، واستخدام الذكاء الاصطناعي، ومراقبة المياه الجوفية، وإلزام المنشآت بمعالجة مياهها المستعملة، كلها خطوات يمكن أن تساهم في تقوية الأمن المائي إذا نُفذت وفق دراسات علمية وحكامة واضحة.

كما أن إنشاء منطقة صناعية متخصصة في تكنولوجيا الماء، ودعم الجامعات ومراكز البحث، وتكوين المهندسين والتقنيين، وتشجيع المقاولات الناشئة، يمكن أن يحول التحديات المائية إلى مجال للابتكار وخلق فرص العمل وتطوير الصناعة الوطنية.

أما المواطن، فدوره أساسي في الاقتصاد في الماء وحماية البيئة والإبلاغ عن التسربات والمخالفات وفق القنوات القانونية. ودور المؤسسات هو توفير الخدمات والبنية التحتية والمعلومات والرقابة العادلة. ولا يمكن لأي طرف أن يحقق الأمن المائي بمفرده.

إن الرؤية المستقبلية تقوم على اعتبار الماء ثروة وطنية مشتركة، وعلى تدبيره وفق العلم والقانون والمصلحة العامة، وعلى الجمع بين الحزم في مواجهة الاستغلال غير المشروع والتشجيع على الابتكار والاستعمال المسؤول.

فالمغرب الذي يحمي قطرات المطر، ويصون مخزون السدود، ويعالج المياه المستعملة، ويطور التكنولوجيا، ويشجع البحث العلمي، ويحترم الطبيعة، يستطيع أن يبني منظومة أكثر قدرة على مواجهة الجفاف والحرارة والفيضانات، وأن يحول الأمن المائي من استجابة ظرفية للآزمات إلى مشروع تنموي طويل الأمد.

بدر شاشا

### خاتمة الكتاب

إن تدبير الموارد المائية في المغرب لم يعد مجرد مسألة تقنية مرتبطة ببناء السدود وحفر الآبار ونقل المياه، بل أصبح قضية استراتيجية تتصل بالأمن الغذائي والطاقي والصناعي والصحي والبيئي، وباستقرار المجتمع وقدرته على مواجهة التغيرات المناخية.

لقد حاول هذا الكتاب تقديم رؤية متكاملة تجعل من الربط المائي بين الأحواض، وربط السدود بالسدود، والبنك المائي الجهوي والوطني، والذكاء الاصطناعي، وإنتاج الطاقة المتجددة، ومعالجة المياه المستعملة، والبحث العلمي، والرقابة القانونية، عناصر مترابطة ضمن منظومة وطنية لتدبير الماء.

إن نجاح هذه الرؤية يتطلب الانتقال من التدبير القائم على رد الفعل إلى التخطيط الاستباقي، ومن الاعتماد على منشآت التخزين وحدها إلى تنويع مصادر المياه، ومن الاستهلاك غير المراقب إلى الكفاءة والمسؤولية، ومن الحلول المنعزلة إلى التنسيق بين المؤسسات والجهات والمستعملين.

ولا يمكن أن يكون الربط المائي حلاً مطلقاً لكل المشكلات، كما لا يمكن للتحلية أو السدود أو التكنولوجيا أن تعوض وحدها حماية الفرشات

المائية وترشيد الطلب ومكافحة التلوث. ولذلك ينبغي تقييم كل مشروع وفق جدواه الاقتصادية والهندسية والبيئية، مع احترام حقوق السكان والأنظمة الطبيعية ومتطلبات الأجيال المقبلة.

ويطرح مفهوم البنك المائي، كما يقترحه هذا الكتاب، إمكانية بناء منصة مؤسسية ورقمية تجمع المعلومات عن الموارد المتاحة والحاجيات والمخزون والجودة والاستعمالات، بما يساعد على تحسين القرار وتوجيه الاستثمار وتعزيز الشفافية. أما الربط الذكي فيمكن أن يرفع كفاءة تشغيل المنشآت ويطور الإنذار المبكر ويحد من الفواقد، شريطة توفر بيانات دقيقة وكفاءات بشرية وحكمة واضحة.

ويظل البحث العلمي أساساً لكل تقدم مائي مستدام. فالمغرب يحتاج إلى جامعات ومختبرات ومقاولات مبتكرة قادرة على تطوير حلول محلية في معالجة المياه، وكشف التسربات، ومراقبة السدود، وتوقع الفيضانات، وتحسين الري، وإنتاج الطاقة، وحماية المياه الجوفية. كما يحتاج إلى مواطن واع يدرك أن المحافظة على الماء مسؤولية يومية ومشاركة.

إن مستقبل الأمن المائي لا يُبنى بالمشروعات الكبرى وحدها، بل كذلك بالصيانة، والمراقبة، والتكوين، والإنصاف في التوزيع، وتطبيق القانون، وتقييم النتائج، والتعلم المستمر من التجارب.

ويخلص هذا الكتاب إلى أن الماء يجب أن يُدار باعتباره ثروة وطنية مشتركة، وأن حماية هذه الثروة مسؤولية المؤسسات والباحثين والمقاولات والفلاحين والمواطنين جميعاً. ومن خلال الجمع بين العلم والابتكار والحكمة والاستدامة، يستطيع المغرب تعزيز قدرته على مواجهة الندرة والجفاف والفيضانات، وبناء نموذج مائي أكثر مرونة وعدلاً وفعالية.

بدر شاشا

## ملخص الكتاب

يتناول كتاب «تدبير الموارد المائية في المغرب: الربط المائي، البنك المائي الجهوي والوطني، ربط السدود بالسدود والربط الذكي» التحديات التي تواجه الموارد المائية المغربية، ويقترح مقاربة متكاملة تجمع بين الهندسة المائية والتخطيط الاستراتيجي والتكنولوجيا والحكمة والبحث العلمي.

ينطلق الكتاب من أهمية الماء في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، ويعرض التحديات المرتبطة بتفاوت التساقطات بين المناطق، وتكرار فترات الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة والتبخر، والفيضانات، وتراجع مخزون بعض الفرشات المائية، وترسب الأوحال في السدود، وفواقد شبكات التوزيع والتلوث.

ويشرح الكتاب إمكانات الربط المائي بين الأحواض وربط السدود بالسدود، مع التأكيد على ضرورة دراسة كلفة النقل والطاقة والآثار البيئية وحقوق المستعملين. كما يقدم مفهوم البنك المائي الجهوي والوطني بوصفه تصورًا مقترحًا لمنظومة رقمية ومؤسسية تتولى جمع بيانات الموارد والمخزون والحاجيات والجودة، وتساعد على تنسيق القرارات.

ويبحث الكتاب في دور الذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بعد وأجهزة القياس والنماذج الرياضية في توقع الواردات المائية والفيضانات، والكشف عن التسربات، وتحسين توزيع المياه وتشغيل المنشآت. كما يتناول إمكانات إنتاج الطاقة الشمسية والكهرومائية، وتحتلية مياه البحر، وتجميع مياه الأمطار، وإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة.

ويؤكد الكتاب أهمية حماية المياه الجوفية ومراقبة الآبار، وتطبيق التشريعات المائية والبيئية، وإلزام الأنشطة الصناعية باحترام شروط المعالجة، وتحسين كفاءة الاستعمال المنزلي والفلاحي والصناعي. ويقترح دعم البحث العلمي، وتطوير منطقة للابتكار والصناعة المائية، وتعزيز التكوين والإرشاد وتغيير السلوك المجتمعي.

ويخلص الكتاب إلى أن الأمن المائي يتطلب تنويع مصادر الإمداد، وحماية الموارد، وتقليل الفواقد، وتطوير البيانات، وتنسيق المؤسسات، وربط الاستثمار بالنتائج، واعتماد مقاربة مستدامة تراعي العدالة والبيئة وحقوق الأجيال القادمة.

بدر شاشا