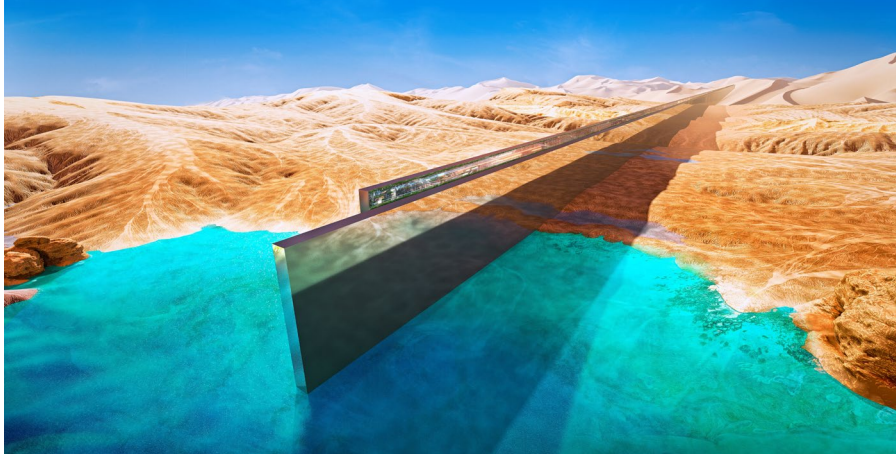


إرشادات التخطيط للنمو الحضري المستدام في المملكة العربية السعودية - نسخة محدثة

كفاءة
المركز السعودي لكفاءة الطاقة
Saudi Energy Efficiency Center

KAPSARC
مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية
King Abdullah Petroleum Studies and Research Center

2024

شكر وتقدير

نتقدم بجزيل الشكر إلى فريق المؤلفين والجهات الذين أسهموا في تحديث هذه الإرشادات التي نصدرها بعنوان "إرشادات التخطيط للنمو الحضري المستدام في المملكة العربية السعودية - نسخة محدثة"، تقديرًا لجهودهم القيمة ولما بذلوه من وقت في وضع هذه الإرشادات ونشرها، وهم:

عبد الله المدني، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

أنفينا أرورا، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

محبوب أنور، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

بشير اللقماني، المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC)

فاتح بلعيد، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

نواف النفيسي، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

نورة الحسين، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

تركي العمير، المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC)

وكالة التخطيط الحضري في وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان

مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)

المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC)

الهيئة الملكية للجبيل وينبع (RCJY)

الهيئة الملكية لمدينة الرياض (RCRC)

هيئة تنظيم المياه والكهرباء (WERA)

شركة روشن (ROSHN)

مركز دعم هيئات التطوير (DASC)

الهيئة العامة للنقل (TGA)

الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية (MODON)

هيئة تطوير المنطقة الشرقية (SDA)

الهيئة الملكية لمدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة (RCMC)

نبذة عن مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحوثًا مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بشتى أنواعها بالإضافة إلى الدراسات البيئية المرتبطة بها. وتتمثل مهمة كابسارك في تعزيز فهم تحديات الطاقة والفرص التي تواجه العالم اليوم وفي المستقبل من خلال بحوث غير منحازة ومستقلة وعالية الجودة لما فيه صالح المجتمع، ويقع كابسارك في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

هذا الدليل متوفر أيضًا باللغة الإنجليزية

الفهرس

مقدمة 6

الموقع 10

مدخل 12

اختيار الموقع 14

الأراضي الحضرية غير المنماة 16

التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام 18

مصطلحات أساسية 20

قائمة الامتثال للمواصفات 21

التخطيط الحضري والنقل 22

مدخل 24

الكثافة العمرانية 26

أفضل الممارسات في استخدام الأراضي 32

النقل 36

مصطلحات أساسية 50

قائمة الامتثال للمواصفات 54

الفهرس

أنظمة تبريد المناطق 56

مدخل 58

مكونات أنظمة تبريد المناطق 60

إرشادات الطاقة 64

مسار مشروعات تبريد المناطق 66

الكثافة وتقسيم المناطق 68

مرونة التصميم وكثافة المشروع العمراني 74

مخطط المردود المالي 76

الجدوى المالية 80

قائمة الامتثال للمواصفات 88

ملحق: إدارة مياه التبريد ومعالجتها 94

مصطلحات أساسية 128

كفاءة الطاقة وترشيد استهلاك المياه في المباني 130

مدخل 132

استخدام الطاقة في المباني وترشيد استهلاكها 134

مصطلحات أساسية 146

قائمة الامتثال للمواصفات 148

الأماكن العامة 150

مدخل 152

وسائل النقل البديلة 160

التشجير الحضري 166

البنية التحتية للأماكن العامة 170

مصطلحات أساسية 172

قائمة الامتثال للمواصفات 174

الاختصارات 176

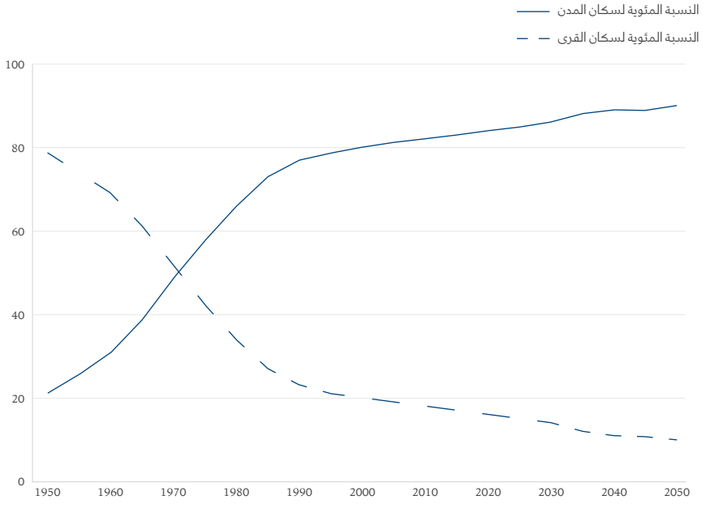
المراجع 178

مقدمة

بلغت نسبة سكان المناطق الحضرية في المملكة العربية السعودية 84.5% في عام 2021 (World Bank, 2022)، ويُتوقع تزايد النسبة إلى 97.6% بحلول عام 2030 (UN-Habitat, 2016)، وهذا يجعل مدن المملكة مراكز كبرى لاستهلاك الطاقة. بالإضافة إلى ذلك من المتوقع أن يصل عدد سكان المملكة إلى ما بين 50 و60 مليون نسمة بحلول عام 2030 (Fitaihi, 2023; Alyusuf, 2022)، مما سيؤدي إلى جهود تنمية واسعة النطاق، يصاحبها تسارع في استهلاك الموارد.

ومن هنا تصبح مبادئ التخطيط الحضري المستدام المتفِقة مع أهداف رؤية السعودية 2030 ومبادراتها ضرورية لتحقيق كفاءة استهلاك الطاقة. وإن من أهداف رؤية المملكة 2030 تصنيف ثلاث مدن سعودية ضمن قائمة أفضل 100 مدينة على مستوى العالم، ومن السبل لتحقيق هذا الهدف توفير بيئة معيشية جيدة وجاذبة، وتطوير المدن، وتحقيق الاستدامة البيئية.

في هذا الإطار تسعى المملكة العربية السعودية إلى بناء مجتمع سعودي حيوي يحقق الاستدامة ويستخدم الطاقة بكفاءة أكبر وينعم برغد الحياة، فتطوير المدن وإدارتها ينعكس على مستوى الرخاء في الدولة وتحقيق الرفاه لجميع المواطنين السعوديين أيًا كانت المنطقة التي يقطنونها. أما التحدي الذي تواجهه المدن السعودية اليوم فيتمثل في تركز السكان في المناطق الحضرية.



الشكل 1: النمو السكاني في المناطق الحضرية والقروية في المملكة العربية السعودية خلال الفترة من عام 1950 إلى عام 2050 (Saudi Cities Report- UN-Habitat, 2019)

فكما جاء في تقارير برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (UN-Habitat, 2019)، بلغت نسبة سكان المدن في المملكة نحو 83% في عام 2015. ومن المتوقع أن ترتفع هذه النسبة ليصبح 9 من كل 10 أشخاص في المملكة يعيشون في المدن بحلول عام 2050 (الشكل 1). بالإضافة إلى ذلك تواجه المدن السعودية العديد من التحديات على المدى الطويل، منها الحاجة إلى تعزيز الإنتاجية، وتوفير وحدات سكنية ميسورة التكلفة، وإنشاء مساحات آمنة للتجمعات السكانية، وتلبية احتياجات سكان المملكة الذين تتزايد أعدادهم وترتفع متوسطات أعمارهم باطراد، وضمان العيش في مجتمع حيوي يضم فئات متنوعة، ومواجهة تداعيات التغير المناخي.

ونظرًا إلى حاجة المواطنين إلى مدن توفر لهم فرصًا اجتماعية واقتصادية متنوعة، وتحافظ على مواردهم البيئية والثقافية القيمة. تبرز ضرورة وضع سياسات تضمن تحقيق نفع فعلي للمدن السعودية من خلال الاستثمار في الأنظمة الحضرية وإدارتها، على صعيد كفاءة استخدام الطاقة والاستدامة وزيادة جودة الحياة. كذلك لا بد أن يتوفر للمواطنين خيارات متنوعة لنمط الحياة الجيد، وأن يتيسر حصولهم على الخدمات والسلع بسهولة وبتكلفة مناسبة، مع تقليل الاعتماد على الكربون في الحياة اليومية. ويتأتى ذلك من خلال تمكين المواطنين بالتعليم والتدريب وتوفير فرص العمل المناسبة، وكذلك توفير ما يكفي من الوحدات السكنية الملائمة، وتقليل الاعتماد على المركبات الخاصة والوقود الأحفوري، وإعادة النظر في تخطيط مدن المملكة وتجمعاتها السكانية.

وتشكل التحديات والفرص المرتبطة بتحقيق كفاءة الطاقة والاستدامة والرفاهية في المدن جزءًا من منظومة مترابطة ونشطة ودائمة التغير. والعمل على تحقيق أحد أهداف هذه المنظومة يمكن أن يؤثر في الأهداف الأخرى إما بالإيجاب أو بالسلب. فعلى سبيل المثال يمكن أن يسهم رفع كفاءة وسائل النقل العام في حل مشكلة الاختناقات المرورية وتحسين البيئة والفرص المتاحة (أي تحقيق كفاءة استخدام الطاقة)، ويمكنه أيضًا تقليل انبعاثات غازات الدفيئة (أي تحقيق الاستدامة) وتسهيل الوصول إلى المرافق التعليمية والصحية والترفيهية بتكلفة مناسبة (أي تحقيق الرفاهية). وبالمثل فإن اعتماد تقنيات مثل الجيل الخامس للاتصالات والذكاء الاصطناعي وتطوير نظام نقل ذكي سيعزز المردود المالي ويقلل الحاجة إلى زيارة الجهات لاستخراج الوثائق والسجلات (أي يحقق الاستدامة وكفاءة الطاقة)، وكذلك يفسح المجال أمام تعزيز الأنظمة التعليمية الاجتماعية والثقافية والتشاركية (بمعنى أنه يوفر مقومات حياة جيدة).

في هذا الإطار تُرسي إرشادات التخطيط للنمو الحضري المستدام في المملكة العربية السعودية -ويشار إليها فيما بعد باسم الإرشادات- أول إطار عمل وطني للمدى الطويل، يقدم المشورة فيما يتعلق باختيار المواقع وتخطيط النقل الحضري ونظم تبريد المناطق السكنية والبناء وإدارة المياه وتصميم المناطق العامة في المدن. وتهدف المملكة من خلال هذه الإرشادات إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة وتحقيق مزيد من الاستدامة وتحسين مقومات الحياة في المدن الكبرى.

أهمية هذه الإرشادات

أصبحت قضايا المناطق الحضرية تأتي على رأس قائمة السياسات الوطنية، إذ إن الأهمية التي تمثلها المدن ومناطقها الحضرية الكبرى للاقتصاد الوطني، فضلًا عن دورها الإستراتيجي بوصفها مراكز للتجارة الدولية، تدفع الحكومات إلى مراجعة الدعم المقدم. وتتجاوز الفلسفة الأساسية التي تنطلق منها هذه الإرشادات المفاهيم القاصرة التي اعتمدت عليها بعض السياسات التي تؤثر تأثيرًا مباشرًا أو غير مباشر في التنمية الحضرية. فعلى سبيل المثال تتطلب مواجهة ظاهرة الاحتباس الحراري اتباع منهجية وطنية متكاملة في معالجة أوضاع المدن، لذا ينبغي للمملكة -نظرًا إلى دورها الرئيس في رسم مستقبل النظم الحضرية- أن تكون رائدة في هذا المجال. ولأنه من المؤكد أن المدن تتأثر تأثرًا كبيرًا بالقرارات التي تتخذها الحكومات وقطاع الأعمال والأفراد، فمن الضروري أن نعي التبعات التي يمكن أن تسفر عنها قراراتنا على المدن، وأن نصوغ تطلعاتٍ وتوجهات واضحة يمكن من خلالها توجيه القرارات والإجراءات على المدى الطويل.

الحوكمة على المستوى الوطني والمناطقي ومستوى المدن

نظرًا إلى أن المملكة تضم 13 منطقة إدارية متنوعة الهويات والثقافات والخصائص المناخية، فإن هذه الإرشادات تقدم لوائح عامة تتفق مع الرؤية الوطنية الشاملة. وفي العموم ينبغي اضطلاع ثلاثة مستويات حكومية بتنفيذ هذه الإرشادات، وهي مستوى المدن والمستويات المناطقية والوطنية (الشكل 2). وتُعد هذه المستويات الثلاثة مهمة في إدارة المدن وتحديد ملامحها، ويجب أن يكون لكل مستوى منها سياساته وخططه وضوابطه الخاصة المتفقة مع طيف واسع من المعايير والأهداف الدولية، بما فيها أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة. وتوفر هذه المستويات الحكومية المختلفة معظم المرافق والخدمات التي تضمن رفاهية السكان، مثل الخدمات الصحية والتعليمية وخدمات الأمن. وتضخ هذه المستويات الحكومية الاستثمارات في مجالات البنية التحتية، من طرق وسكك حديدية، فضلًا عن الاستثمار في مرافق أخرى مثل الكهرباء والمياه أو تنظيمها. كما تنهض هذه المستويات الحكومية مجتمعة

بالمسؤولية الأكبر فيما يتصل بالتخطيط للنمو والتطوير الحضريين وإصدار التصاريح الرسمية لعمليات تخطيط الأراضي والانتفاع بها.

ولضمان تلبية البنية التحتية والخدمات لاحتياجات المجتمعات الحضرية على أكمل وجه، من المهم أن يشرف عليها أقرب مستوى حكومي مختص بها، وفقًا لمبدأ لامركزية السلطة. وترى حكومة المملكة العربية السعودية أن دورها لا يغني عن الأدوار التي تؤديها المستويات الحكومية الأخرى وهو مكمل لها.

المستوى الوطني

- يطرح التخطيط الإستراتيجي على المستوى الوطني توجيهات إستراتيجية واسعة النطاق تغطي ربوع المملكة.

مستوى المناطق

- إطار العمل العمراني ومخططه الإستراتيجي اللذين تضعهما أعلى المستويات في المناطق الإدارية يقدمان توجيهات لسياسات التخطيط لتحقيق أفضل استيعاب للنمو السكاني وإدارته، ولتحقيق الأهداف المتعلقة بالتوظيف والإسكان داخل المنطقة، وذلك على المدى القصير والمتوسط والطويل.

- يجب أن تصدّق الإدارة أو الوزارة المختصة على الخطط المقدمة.

مستوى المدن

- تقدم الخطط والسياسات المحلية تخطيطًا هيكليًا متكاملًا وتفصيليًا يشمل قطاعات مختلفة.

- يجب أن تصدق الإدارة أو الوزارة المختصة على الخطط المقدمة.

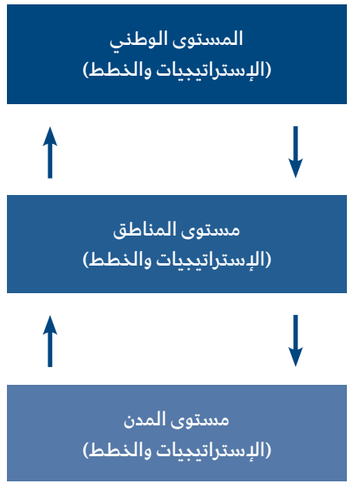
وينبغي أن يتألف المستوى الحكومي المحلي من هيئات محلية (مثل البلديات) تتأسس بما يتفق مع الخصائص المحلية في مناطق المملكة المختلفة مثل المساحة وعدد السكان. كما يجب أن يكون للهيئة الحكومية المحلية الحق في إدارة الشؤون الحكومية للمجتمع المحلي بصورة مستقلة، مع مراعاة التشريعات المعمول بها على المستوى الوطني. كذلك لا يجوز للهيئات الحكومية الوطنية والإقليمية المساس بحق الهيئات الحكومية المحلية في ممارسة صلاحياتها أو أداء أعمالها، كما لا يجوز لها إعاقة ذلك، مع وجوب أن تخضع الهيئات المحلية للمحاسبة أمام الإدارة أو الوزارة المختصة.

القطاع الخاص والتجمعات السكانية

للقطاع الخاص دور كبير في رسم ملامح المدن، إذ إن للمشروعات والاستثمارات الخاصة تأثيرًا قويًا على السوق، وهو ما يؤثر بدوره في النسيج الاقتصادي والبيئي والاجتماعي للمدن. ويتزايد حاليًا إسهام القطاع الخاص في توفير البنية التحتية الحيوية في المدن، مثل بنية منظومات الطاقة والغاز والاتصالات والنقل. كذلك يؤثر كل من الأفراد والأسر في عملية تخطيط المدن وإدارتها، بوصفهم مستهلكين للسلع والخدمات وموظفين ومواطنين، وذلك من خلال تعاملهم مع الحكومات وشركات القطاع الخاص. لذا فإن تحقيق التفاعل المستمر مع المجتمع المحلي والقطاع الخاص يعدُّ ضروريًّا لنجاح عمليات تخطيط المدن وإدارتها.

المهام الرئيسة

تستهلك المركبات الخفيفة والثقيلة أكثر من 800 ألف برميل من مكافئ النفط يوميًّا، وهو ما يمثل نحو 19%[1] من استهلاك الطاقة الأولية في المملكة العربية السعودية. وعلى



الشكل 2: مستويات التخطيط الإستراتيجي

[1] https://www.seec.gov.sa/en/energy-sectors/land-transport-sector/

مدار السنوات العشر الماضية تعاون المركز السعودي لكفاءة الطاقة مع مختلف الأطراف المعنية بالنقل لخفض الاستهلاك اليومي من مكافئ النفط في قطاع النقل البري بما يقرب من 75 ألف برميل مقارنةً بسيناريو العمل كالمعتاد. وتجدر هنا الإشارة إلى أنه من الممكن تحقيق أقصى قدر من كفاءة الطاقة باستكشاف طرق ومجالات جديدة لذلك، منها المبادرات الرامية إلى تحقيق كفاءة الطاقة في تصميم المباني والتخطيط الحضري وأنظمة تبريد المناطق السكنية. وفي هذا المجال تُعنى هذه الإرشادات بجوانب كفاءة استخدام الطاقة لتحقيق مزيد من كفاءة الطاقة في المدن. وقد أرست المملكة في أواخر عام 1960 ضوابط لتخطيط المدن، إذ أخذت الأحياء السكنية وشبكات التوزيع الفائقة في التطور لاستيعاب النمو الحضري المتسارع. ومنذ ذلك الحين شهد المد الحضري في المملكة نموًا متسارعًا مصحوبًا بارتفاعات غير مسبوقة في معدلات النمو السكاني والتنمية الاقتصادية والتصنيع، وهو ما وضع المملكة العربية السعودية ضمن قائمة أكبر 10 دول مستهلكة للنفط على مستوى العالم. وقد واجهت القيادة السعودية الواعية هذا النمو المطرد في استهلاك الطاقة بتطبيق سلسلة من إستراتيجيات ترشيد الاستهلاك لتحقيق كفاءة الطاقة في المملكة.

ومن هنا يعالج المسؤولون وصانعو السياسات في المدن السعودية الكبرى تزايد الاستهلاك المحلي للطاقة باتخاذ عدة مبادرات لتحسين رفاه المواطنين وجعل المدن أكثر مرونة واستدامة. ويُعنى هذا الدليل بخفض استهلاك الطاقة من خلال اتباع نهج مستدام للتخطيط الحضري وتصميم التجمعات السكانية الحضرية. وجدير بالذكر أن إرشادات التخطيط الحضري المستدام تهدف إلى هدفين رئيسين:

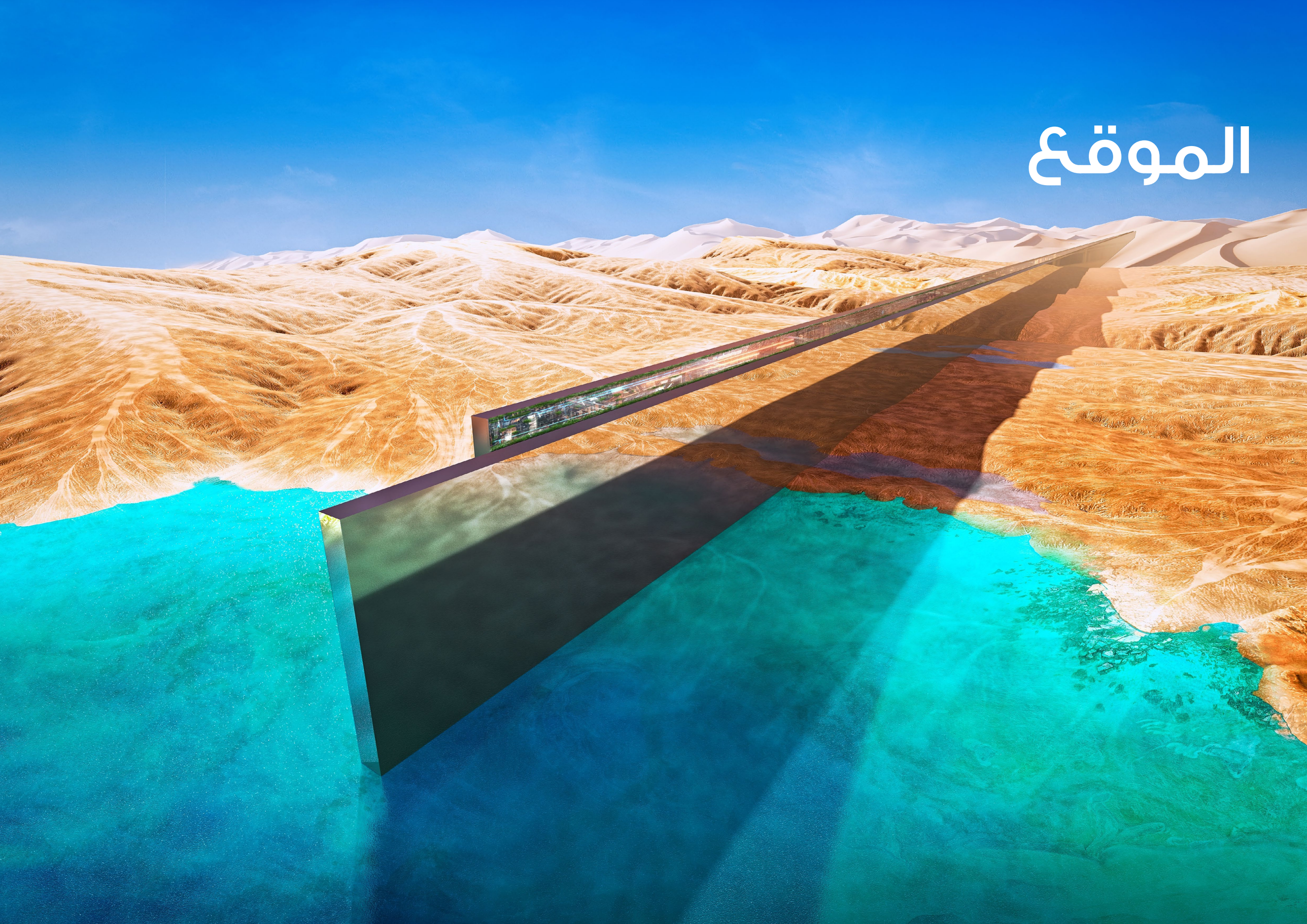
- الحد من استهلاك الوقود في مجال النقل من خلال وضع إرشادات وخطط تنفيذية لتحقيق النمو الذكي والكثافة المطلوبة وتنويع مصادر الطاقة المستخدمة والتطوير الموجه نحو وسائل النقل العام.

- الحد من استهلاك الطاقة على مستوى البلديات من خلال وضع إرشادات وخطط تنفيذية في مجالات تبريد المناطق السكنية وترشيد استهلاك المياه وتحقيق كفاءة الطاقة في المباني.

مراجعة الوثائق

أجرينا سلسلة من ورش العمل التي تضمنت نقاشات مثرية من الأطراف المعنية. وكذلك راجعنا العديد من اللوائح التنظيمية والتوجيهات الرسمية لضمان أن تكون هذه الإرشادات متسقة معها على جميع المستويات الوطنية والإقليمية والمحلية، فضلًا عن إجراء تحليل مرجعي لكل قسم من أقسام الوثيقة لتحديد أفضل الممارسات والمعايير. وقد أثمرت هذه الجهود عن وضع دليل إرشادي منقح للتخطيط الحضري المستدام في المملكة العربية السعودية، روعي فيه أن تكون الإرشادات معممة وعالية المستوى، وأن تهتم في المقام الأول بجهود تحقيق الاستدامة في مجال الطاقة. زيادة على ذلك فإن هذه الإرشادات تتبع السياسات واللوائح التنظيمية القائمة التي تهدف إلى تنفيذ مبادرات رؤية السعودية 2030.

الموقع



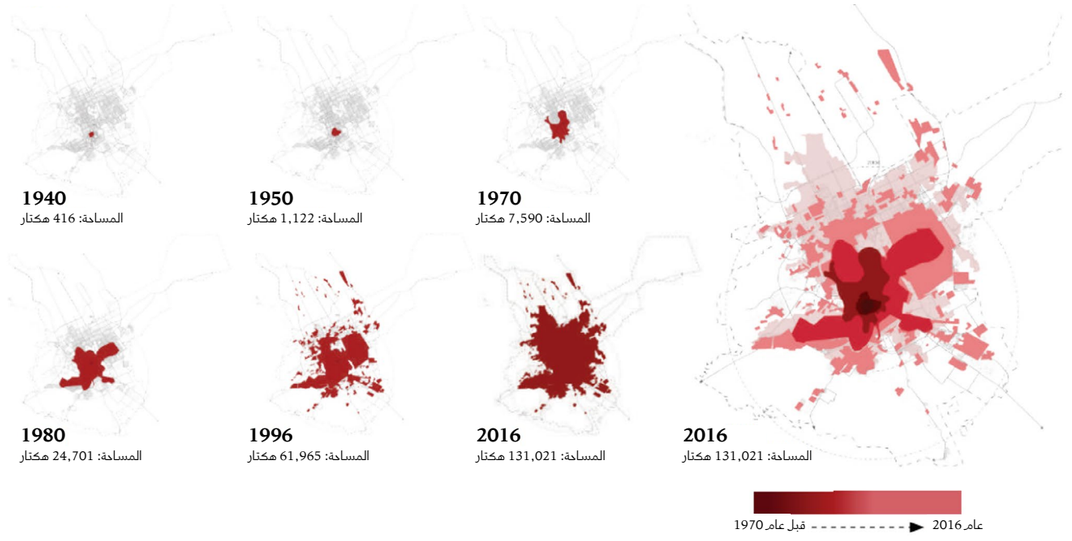
الموقع

مدخل

أسفر التطور الحضري السريع الذي شهدته المملكة العربية السعودية خلال السنوات الأخيرة عن عدد من التحديات المتمثلة في التمدد العمراني والاستهلاك غير المستدام للموارد الطبيعية وزيادة الطلب على البنية التحتية والخدمات. ومع ارتفاع معدلات النمو السكاني في العديد من المدن السعودية، فإن نطاق المساحات الحضرية يتزايد بمعدل أسرع، وهو ما يؤدي إلى ظهور أنماط لاستخدام الأراضي قد لا تتسم بالكفاءة اللازمة، وفائض في الأراضي الشاغرة المتمتعة بالخدمات البلدية، وارتفاع تكاليف السكن وزيادة معدلات التلوث البيئي.

أطلقت المملكة في السنوات الماضية العديد من المبادرات الهادفة إلى تحقيق الاستدامة والكفاءة في المناطق الحضرية. وتعد الإستراتيجية العمرانية الوطنية إحدى أهم المبادرات الهادفة إلى توجيه سياسات وأولويات التنمية المكانية وإدارتها لتحقيق منظومة عمرانية مستدامة مع الحفاظ على الموارد الطبيعية. ويهدف برنامج مستقبل المدن السعودية إلى الحد من التمدد العمراني والتعامل مع قضايا التوسع الحضري من منظور مبادئ تخطيطية مناسبة ومدروسة. ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات حول أثر التمدد العمراني والتوصيات المتعلقة بالحد منه في إرشادات تقييم استدامة المخططات المحلية التي وضعها المركز السعودي لكفاءة الطاقة بالتعاون مع وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان في عام 2023.

مدينة الرياض



الشكل 3: التوسع العمراني في مدينة الرياض (City Profiles, Future Saudi Cities Program, 2019)

> *مع معدلات التوسع العمراني السريع في مختلف المدن السعودية، تنتج أنماط استخدام غير فعالة للأراضي، وفائض من الأراضي المخدومة الشاغرة، وارتفاع تكاليف الإسكان، وزيادة في معدلات التلوث البيئي.*

المدينة	نسبة مساحة الأراضي الحضرية غير المنماة (%)	
	ضمن حدود النطاق العمراني	ضمن مساحة الكتلة العمرانية
عرعر	%65	%31
بريدة	%68	%37
الدمام	%46	%48
حائل	%90	%55
المدينة المنورة	%41	%12
تبوك	%71	%36

المصدر: تقرير المدن، برنامج مستقبل المدن السعودية (City Profiles, Future Saudi Cities Program, 2019).

الجدول 1: الأراضي غير المنماة في بعض المدن السعودية

السنة	المساحة بالهكتارات	تعداد السكان
1947	300	35,000
1961	1,460	150,000
1971	1,700	404,650
1976	6,650	-
1978	-	1,312,000
1980	11,415	-
1987	36,700	-
1995	39,173	1,790,000
2005	74,647	-
2010	105,000	-
2016	-	3,456,259
2019	176,500	4,470,705

المصدر: تعداد المملكة العربية السعودية (Governmental Census, 2016) وأمانة محافظة جدة (Jeddah Municipality, 2020).

الجدول 2: النمو العمراني التاريخي لمدينة جدة

يعد اختيار المواقع التي ستشملها جهود التطوير أحد القرارات الحيوية التي تضمن الالتزام برؤية المملكة للتنمية المستدامة.

اختيار الموقع

يعد اختيار المواقع التي ستشملها جهود التطوير أحد القرارات الحيوية التي تضمن الالتزام برؤية المملكة للتنمية المستدامة. فعندما تُقام المنشآت في مواقع شتى من المملكة دون احتساب عوامل النقل والبنية التحتية وخطط إعادة التطوير، فقد يؤدي ذلك إلى تفاقم مشكلات التمدد العمراني وزيادة الاستهلاك الإجمالي للوقود، ليس الاستهلاك الفردي فحسب، بل الاستهلاك الوطني، في ظل تزايد عدد السكان. يمكن لمخططي المدن الاستعانة بالمعايير الآتية في اختيار الموقع المناسب لخطط التطوير:

المعيار	الوصف
ملاءمة الموقع	يجب اختيار موقع يتميز بخصائص معينة متعلقة بعدة جوانب مثل التضاريس وطبيعة الأرض والموارد المائية والموارد الطبيعية والقيمة التراثية، لتقليل احتمالات حدوث أي تأثيرات سلبية.
الاتصال	يجب اختيار موقع يتميز بقربه من البنية التحتية القائمة، مثل المناطق الحضرية وشبكات النقل والكهرباء والمياه والصرف الصحي. وذلك لخفض احتمالات حدوث تأثيرات اقتصادية وبيئية سلبية.
مواءمة تقسيم المناطق	يجب أن يُقسَّم الموقع إلى مناطق تقسيمًا مناسبًا وموائمًا للقواعد التخطيطية المرعية، أو أن يكون الموقع قابلًا لإعادة التقسيم.

وللحصول على إرشادات اختيار مواقع التطوير الصناعي يُرجى الاطلاع على معايير واشتراطات البناء في المدن الصناعية الصادرة عن الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية (MOD-STD-111-03)، ومعايير تنمية مدينة الجبيل الصناعية (T08-T10-G65-20TV-GA-008-0).

إن تطوير الأراضي الشاغرة غير المنماة داخل المناطق الحضرية أو إعادة تطويرها يسهم إسهامًا كبيرًا في إنعاش المجتمعات السكانية والحفاظ على الموارد والأراضي وتقليل عدد الكيلومترات التي تقطعها المركبات في مناطق التمدد العمراني. و من أجل تشجيع تطوير هذه الأراضي غير المنماة، يمكن أن توضع مجموعة من الحوافز. وعلى البلديات أن تقرر ما الأنسب منها لإدارتها و قدراتها على فرض التطبيق.

الاستخدامات المثلى للأراضي

شهدت مدينة الرياض خلال الفترة ما بين عامي 1990 و2013 تراجع معدل تطوير الأراضي الشاغرة غير المنماة داخل النطاق الحضري مع ارتفاع معدلات الكتل العمرانية على أطراف المدن بنسبة بلغت نحو 23%. وقد أدى ذلك إلى تفشي ظاهرة التمدد العمراني، ومن ثم إلى انخفاض الكثافة العمرانية وظهور أنماط جديدة لاستعمال الأراضي أكثر إهدارًا للموارد وأقل كفاءة. يعد تطوير الأراضي غير المنماة داخل حدود النطاق العمراني المجاورة للمباني القائمة ثاني أنماط التمدد الحضري في مدينة الرياض، وقد أسهم هذا النمط من التطوير في زيادة مساحة الكتلة العمرانية داخل النطاق الحضري لمدينة الرياض بنسبة 36% بين عامي 1990 و2000، وبنسبة 25% بين عامي 2000 و2013. أما الدمج الحضري الناتج عن ضم التجمعات القروية أو الحضرية الواقعة خارج النطاق الحضري ثم تحويلها إلى مناطق ذات استخدامات حضرية، فقد أسهم في إجمالي التوسع الحضري لمدينة الرياض بنسبة 21% بين عامي 1990 و2000، وبنسبة 9% بين عامي 2000 و2013.

نوع التوسع الحضري (%)	2000 – 1990	2013 – 2000
التطوير الطرفي	%43	%66
تطوير مواقع سد الفجوات	%36	%25
تطوير الدمج الحضري	%21	%9

المصدر: قاعدة بيانات التوسع الحضري لبرنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (UN-Habitat Urban Expansion Database)

الجدول 3: تكوين المناطق المضافة في مدينة الرياض

حوافز التطوير في المواقع الحضرية غير المنماة بدرجة كافية

تحديد مناطق التطوير ذات الأولوية: ينبغي على البلديات تحديد المناطق ذات الأولوية للتطوير في المناطق التي يمكن أن تحقق الكثافة والتنوع الموصَى بهما في هذه الإرشادات، مع الأخذ في الحسبان وجود البنية التحتية لخدمات النقل سواء الحالية أو المزمعة. ويمكن أن تسهم البلديات في خلق الطلب على العقارات في هذه المناطق من خلال قصر الاستئجار أو عمليات البناء على المناطق ذات الأولوية (مثلاً، مناطق المدارس والمباني الإدارية الحكومية والوحدات السكنية). كما يمكن للبلديات الاعتماد على قوتها الشرائية في تقديم حوافز كبيرة لملاك الأراضي تحثهم على الشروع في تطويرها.

التراخيص المستعجلة: يمكن أن يمنح مالك الأرض الذي يسعى للحصول على ترخيص للتطوير في منطقة مصنفة بأنها ذات أولوية ترخيصًا مستعجلًا من أجل التحفيز وتسهيل عملية التطوير.

الاستثمار في البنية التحتية: يمكن أن تجذب البلديات المزيد من جهود التطوير من خلال الاستثمار في البنية التحتية في المناطق الأولى بالتطوير، ومنح الأولوية لمشروعات التطوير الساعية إلى مد البنية التحتية والخدمات بالقرب من تلك المناطق.

تقديم الحوافز: ينبغي أن تشهد المناطق الأولى بالتطوير ارتفاعًا في أسعار العقارات مدفوعًا بحرص البلديات على تحقيق التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام وتطوير الأراضي غير المنماة في هذه المناطق. وبالإضافة إلى رفع قيمة العقارات، يمكن للبلديات أن تقدم منحًا أو خصومات لدعم الجدوى المالية لمشروعات التطوير، أو مكافآت عن زيادة الحد الأقصى للكثافة بغرض تشجيع أعمال التطوير.

خيار تحويل الأراضي إلى مرافق عامة: يمكن أن تشجع البلديات ملاك الأراضي الشاغرة في مراكز المدن أو مناطق التطوير ذات الأولوية على تحويل أراضيهم بصورة مؤقتة إلى متنزه عام أو أي نوع آخر من المرافق العامة. وفي هذه الحالة يصبح مالك الأرض مسؤولًا عن إنشاء المرفق العام وصيانته وتشغيله إلى أن تصادق البلدية على ترخيص مشروع التطوير.

فرض غرامات على الأراضي الشاغرة غير المنماة: تصبح الأرض الشاغرة الواقعة في مراكز المدن أو مناطق التطوير ذات الأولوية عرضةً لغرامة مالية تُقدَّر حسب مساحة الأمتار المربعة غير المنماة، إلى أن يشرع مالك الأرض في تطويرها بعد الحصول على التصاريح (بما يتفق مع نظام رسوم الأراضي البيضاء).

يمكن أن يحدث التطوير الموجه نحو النقل العام (TOD) على نطاق واسع ويتضمن استخدامات مختلفة ضمن شبكة طرق متصلة جيدًا،وهذا يسهم في تسهيل التنقل الآمن وتحقيق مزيج متوازن من استخدامات الأراضي. كما يوفر هذا النوع من التنمية كثافة أعلى وعمرانًا متضامًّا قائمًا على مزيج من استخدامات الأراضي، يقع على بُعد خطوات من وسائل النقل العام، ويدعم خطط كفاءة الطاقة والاستدامة طويلة المدى. ويعد التطوير الموجه نحو النقل العام (TOD) أحد أدوات التخطيط الحضري التي تجمع بين عناصر استخدامات الأراضي وتخطيط النقل والتصميم الحضري والتجديد الحضري والتطوير العقاري والتمويل وتحصيل قيمة الأراضي وإرساء البنية التحتية، سعيًا إلى تحقيق تنمية حضرية أكثر استدامة. وسوف نعرض المزيد من التفاصيل حول مبادئ هذا النوع من التطوير في قسم التخطيط الحضري والنقل.

المناطق المتأثرة بمشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام

يقع نطاق تأثير التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام بالقرب من محطات النقل أو على امتداد مسارات النقل. وبصورة عامة يغطي نطاق المناطق المتأثرة مساحةَ دائرةٍ يتراوح نصف قطرها بين 400 و800 متر حول محطة النقل.

تحقيق الاستدامة من خلال التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام

كفاءة استخدام الطاقة

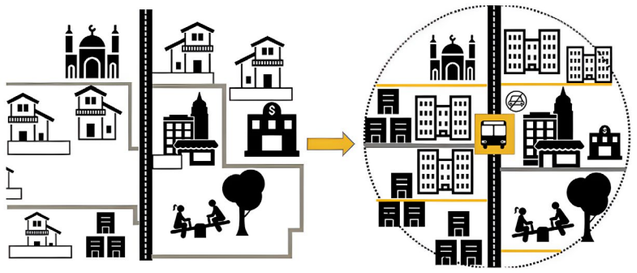
يسهم التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام في تشجيع التخطيط المستدام لاستخدام الأراضي، كما أن له القدرة على خفض معدلات استهلاك الطاقة والحد من انبعاثات غازات الدفيئة (GHG)، عن طريق تقليل عدد الكيلومترات التي تقطعها المركبات (VKT)، وتمهيد الطرق للمشاة والدراجات. إذ إن استهلاك الأراضي الناتج مباشرة عن التمدد العمراني يحد من اتساع المواطن الطبيعية التي تعد بمثابة مصارف للكربون.

كفاءة البنية التحتية

تتطلب التنمية الموجهة لاستخدام السيارات المزيد من الموارد والأراضي، وهو ما يتسبب في تراجع وفرة الموارد الطبيعية ويزيد الضغط على البنية التحتية للطرق ومواقف السيارات. لذلك فإن تحقيق نمو حضري متضام ومترابط ومتناسق يمكن أن يخفض بصورة ملحوظة تكلفة تطوير البنية التحتية ويرفع كفاءة البنية التحتية الحضرية.

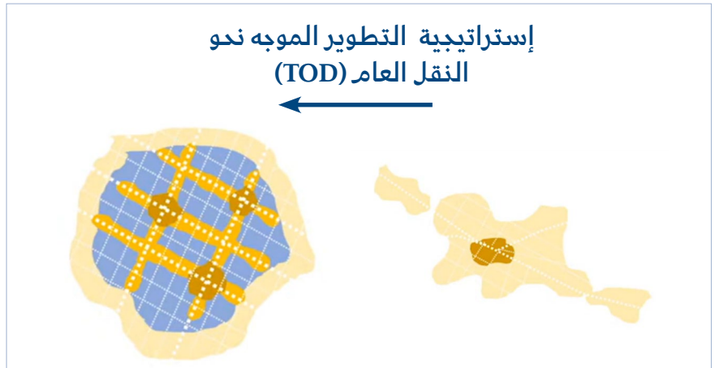
الاستدامة الاقتصادية

يمكن خفض التكلفة الرأسمالية لبنية المدن التحتية من خلال إستراتيجية نمو حضري متضام. إذ توفر الأحياء السكنية المتضامّة فرص عمل أيسر وأنشطة أكثر تنوعًا، كما تسهم في تعزيز جودة الحياة.



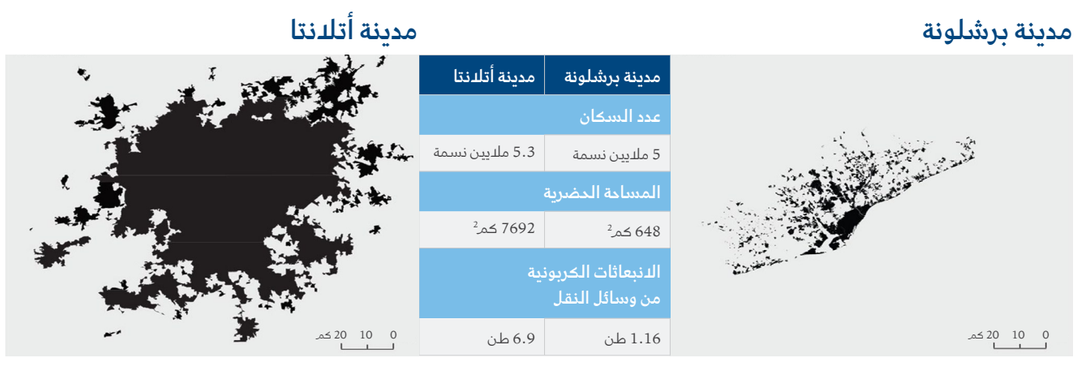
المصدر: الكتيب الإرشادي لمدينة دلهي حول سياسات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام

الشكل 5: نطاق تأثير التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام



المصدر: معهد الموارد العالمية (World Resources Institute)

الشكل 4: إستراتيجية التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام



الشكل 6: مقارنة بين الانبعاثات الكربونية الناتجة عن وسائل النقل في مدينتين إحداهما متضامّة والأخرى ذات مراكز مترامية (LSE Cities, 2014).

مصطلحات أساسية

تطوير مواقع سد الفجوات: ويقصد به عمليات التطوير الجديدة داخل الأراضي غير المستخدمة وغير المستغلة بالكامل الواقعة في نطاق جهود التنمية الحالية. وتقع هذه الأراضي عادة -وليس دائمًا- داخل المناطق الحضرية. ويهدف هذا النوع من التطوير إلى تشجيع الكثافة العمرانية وإفساح المجال للنمو الحضري المستدام بيئيًّا من خلال توظيف البنية التحتية القائمة للمرافق ووسائل النقل.

التطوير الطرفي: هو أحد أشكال التوسع الذي يشهد تطوير استخدامات الأراضي في مناطق مجاورة للأراضي المستخدمة، وتكون فيه شبكات البنية التحتية الجديدة -من طرق ومرافق- امتدادًا للشبكات القائمة.

تطوير الدمج الحضري: ويقصد به تطوير التجمعات القروية أو الحضرية الواقعة خارج النطاق الحضري، ثم نقلها من فئة حضرية إلى أخرى.

مكافأة زيادة الحد الأقصى للكثافة: هي حافز تشجيعي يسمح للمطوِّرين بزيادة الحد الأقصى المسموح به لمساحة التطوير داخل موقع بعينه.

مسارات النقل: مناطق للمشاة تحيط بالمحطات جميعها على امتداد خطوط النقل.

قائمة الامتثال للمواصفات

اختيار الموقع	نعم	لا	لا ينطبق
الموقع المقترح مناسب من حيث التضاريس وطبيعة الأرض ومصادر المياه، وليس أرضًا محمية.			
الموقع المقترح قريب بدرجة مناسبة من البنية التحتية المطلوبة.			
يتوافق الموقع المقترح مع الاشتراطات الحالية لتقسيم المناطق.			
عملية اختيار الموقع جرت بالامتثال لإرشادات التخطيط الحضري المستدام الواردة في الإستراتيجية العمرانية الوطنية 2030 (NSS).			

التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام	نعم	لا	لا ينطبق
تقع منطقة التطوير على بعد 400 إلى 800 متر من إحدى محطات النقل العام، أو وفق ما توصي به إستراتيجية التنمية في المدينة، إن وُجدت.			
تسمح منطقة التطوير بحركة آمنة للمشاة بين وسائل النقل العام وأراضي المنطقة باستخداماتها المختلفة والمناطق المحيطة.			
منطقة التنمية العمرانية تسمح بزيادة الكثافة العمرانية في المستقبل.			

التخطيط
الحضري والنقل

التخطيط الحضري والنقل

مدخل

تواجه المدن السعودية -مثلها مثل مدن كثيرة حول العالم- زيادة سريعة في الطلب على الطاقة في قطاع النقل. ورغم أن رفع كفاءة وقود المركبات يمكن أن يخفف من حجم الطلب على الطاقة، فإن متوسط نصيب الفرد من الكيلومترات التي تقطعها المركبات آخذ في الارتفاع، مما يجعل خفض ذلك المتوسط على المدى البعيد ضروريًا لتحقيق أهداف الطاقة المستدامة.

في هذا الصدد توضّح البحوث العلاقة بين شكل البنية التحتية الحضرية و النقل و مقدار المسافات المقطوعة باستخدام المركبات. وهنا نجد أن بعض السمات الأساسية التي تؤثر على كم المسافات المقطوعة باستخدام المركبات هي كثافة الوظائف وأماكن السكن، ونسبة المناطق السكنية إلى المناطق المخصصة لأغراض أخرى في الأحياء السكنية، ومدى توفر وسائل النقل البديلة، ومواقع الأماكن المركزية المهمة في كل منطقة، والتصميم العمراني للمساحات العامة. كما تتأثر حركة التنقُّل باجتماع بعض العناصر مثل سهولة التنقل بين نقطة البداية والوجهة، وتصميم المكان بما يلائم الاستخدام البشري، وتنوُّع وسائل النقل. فعندما تكون تلك العناصر جميعها حاضرة، غالبًا ما تصبح المسافة المقطوعة باستخدام المركبات أقل كثيرًا مما تكون عليه عندما يغيب عنصر أو أكثر منها. ومن ثم تهدف إرشادات النقل واستخدام الأراضي الموصى بها هنا إلى تحقيق التوازن بين هذه العوامل بهدف الحد من استهلاك الطاقة، من خلال خفض حجم المسافات المقطوعة باستخدام المركبات.

فالمدن الجديدة الواقعة خارج المراكز المكتظة في الأقاليم الكبرى ذات النمو المتسارع، يمكن تصميمها وتشييدها بما يجعلها أنسب لتحقيق هدف خفض المسافات المقطوعة باستخدام المركبات. وهذه المدن الجديدة كثيرًا ما تتمتع ببنية تحتية عصرية وتتبنى أهدافًا طموحة، كما أنها تعكس بوضوح الرؤية المستقبلية لمدينة أو حكومة أو ثقافة معينة. لذا فإن مثل هذه المدن ترتبط ارتباطًا أصيلًا بتوجهات الاقتصاد السياسي المحلي والوطني. من هذا المنطلق تهدف هذه الإرشادات والتوصيات الإستراتيجية إلى دعم النمو الحضري الجديد دعمًا مستدامًا.

وهذه الإرشادات للتخطيط الحضري والنقل تهدف إلى خفض استهلاك الطاقة من خلال وضع الخطط والتصميمات اللازمة لتأسيس أنظمة نقل حضري مستدامة. ويسعى هذا القسم إلى:

- خفض استهلاك الوقود المستخدم في وسائل النقل من خلال وضع إرشادات تخطيط وتنفيذ رامية إلى تحقيق النمو الذكي، والكثافة العمرانية المطلوبة، والتطوير الموجه نحو وسائل النقل، وتنويع استخدامات الأراضي.

إن أبرز التأثيرات المرجوّه من هذه الإرشادات تكمن في خفض متوسط المسافة التي تقطعها المركبات لكل شخص. و يعتمد هذا التحول في استهلاك الطاقة المرتبطة بالنقل على مزيجٍ من الجهود المشتركة التي

> *تواجه المدن السعودية -مثلها مثل مدن كثيرة حول العالم- زيادة سريعة في الطلب على الطاقة في قطاع النقل.*

تشجع خيارات نقل بديلة مثل سهولة الوصول إلى سائل نقل مختلفة، والتطوير الموجه نحو وسائل النقل العام، وتحقيق الكثافة العمرانية، وتنويع استخدامات الأراضي. فعلى سبيل المثال لن تحقق مشروعات النقل نجاحًا كبيرًا دون وجود كثافة عمرانية كبيرة، ولن يحرز تحقيق الكثافة العمرانية نجاحًا كبيرًا دون مشروعات النقل. ولتحقيق ذلك التضافر ينبغي الدمج الفعال بين عمليات التخطيط في مجالَي المواصلات واستخدام الأراضي. فمن المتعارف عليه أن مدى الانخفاض الإجمالي في استخدام وقود النقل يعتمد على كثافة جهود التنمية وحجم الاستثمار في أنظمة النقل المستدام في المشروعات الجديدة. كذلك يتوقف حجم الاستثمار على نوعية التجمعات السكانية، حيث إن المجتمع الأصغر حجمًا لا يحتاج إلى المستوى ذاته من بنية النقل العام التحتية التي تحتاجها المدن الأكبر.

في عام 2021، شكل قطاع النقل حوالي 28% من إجمالي استهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية (IEA، 2021)، ويمكن أن تؤدي التدخلات في النقل واستخدام الأراضي في التطورات الجديدة إلى تقليل الاعتماد على السيارات بشكل كبير، وبالتالي استهلاك الوقود. وتُبرز هذه النتائج التغيير الذي يمكن أن يلحق بإجمالي المسافات المقطوعة باستخدام المركبات عند تكثيف الهيكل الحضري وتنويع عناصره واختيار مواقع مناسبة للمشروعات العمرانية الجديدة. واستنادًا إلى المعايير المحددة في هذه الإرشادات، يمكن خفض استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 33% تقريبًا مقارنة بسيناريو العمل كالمعتاد.

ترتبط مسألة الكثافة العمرانية ارتباطًا وثيقًا بالتوسع الحضري وطبيعة تطور المدن. ويمكن اعتبار الكثافة العمرانية والتصميمات العمرانية المتضامة معيارين مختلفين ولكن مترابطين، علمًا بأنَّ كليهما مهم للتنمية الحضرية المستدامة وتطوير المدن. وفي حين أنه من المستحسن أن تكون المدن على قدر كبير من التضام، فإن الإفراط في الكثافة العمرانية يمكن أن يؤثر سلبًا على مقومات الحياة لسكان المدن وصحتهم وجودة معيشتهم ورفاههم. وهنا يبرز سؤال محوري: ما الكثافة العمرانية المثلى في هذا السياق، وما نوع التصميم الحضري الذي ينبغي وضعه لتحقيقها (مثل أن يكون متضامًا أو ترامياً، رسميًا أو غير رسمي) وما النهج الإداري الذي سيتبعه (مثل أن يكون مركزي الإدارة أو لا مركزي الإدارة)؟ وتجدر الإشارة إلى أنه ينبغي في جميع الحالات إضفاء توازن على الكثافة العمرانية من خلال اتباع خيارات مناسبة في التصميم الحضري.

الممارسات المثلى

تُستخدم الكثافة العمرانية لتحديد متوسط عدد الأشخاص أو أفراد الأسرة الذين يعيشون معًا أو المساحة أو عدد الوحدات السكنية المقامة فوق قطعة أرض واحدة، وعادةً ما يُعبَّر عنها بنسبة عدد المساكن لكل هكتار. ويمكن قياس كثافة المناطق الحضرية بطرق مختلفة:

أ. **نسبة البناء من مساحة الأرض (FAR):** إجمالي المساحة الطابقية للمباني مقسومة على مساحة قطعة الأرض المقام عليها المبنى. على سبيل المثال إذا كانت نسبة البناء من مساحة الأرض تساوي 3، فإنَّ هذا يعني أن إجمالي المساحة الطابقية للمبنى تبلغ ثلاثة أضعاف المساحة الإجمالية لقطعة الأرض المقام عليها، كما هي الحال في المباني متعددة الطوابق (انظر الشكل 7).

ب. **الكثافة السكنية:** عدد الوحدات السكنية في المنطقة.

ج. **الكثافة السكانية:** عدد السكان القاطنين في منطقة معينة.

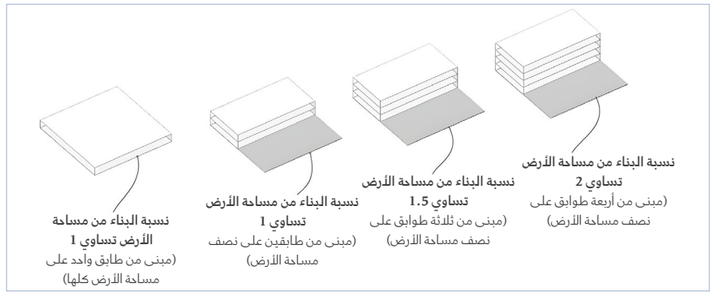
وتنقسم المدن إلى ثلاث فئات واضحة تتسم كل منها بخصائص محددة وسمات كثافة معينة وتطور تاريخي فريد:

أ. فئة المدن الأمريكية الشمالية والأسترالية ذات الارتفاعات المنخفضة والكثافة السكانية المنخفضة (مثل لوس أنجلوس وفينيكس وملبورن وبيرث) التي لا يزيد عدد سكانها عن -1000 2500 نسمة في الكيلومتر المربع (عادة ما تكون ذات كثافة منخفضة).

ب. فئة المدن الأوروبية المتضامة متعددة المراكز ذات الارتفاعات المتوسطة (مثل برشلونة وباريس وبرلين وأثينا) ويتراوح عدد سكانها ما بين 3000 و6000 نسمة في الكيلومتر المربع (عادة ما تكون ذات كثافة متوسطة).

ج. فئة المدن الآسيوية ذات الارتفاعات العالية التي تنتشر فيها أبراج شاهقة (مثل شنغهاي وبكين وطوكيو وبانكوك) وتضم نحو 10,000 نسمة في الكيلومتر المربع (عادة ما تكون ذات كثافة عالية).

وتعكس هذه الحالات المختلفة مناهج تخطيطية متنوعة وتقدم مؤشرات جديرة بالدراسة. على سبيل المثال تتبع سنغافورة منهجية تخطيط مركزي، تشترك فيه العديد من شركات التصميم والتنمية العمرانية لخلق تنوع حضري غني يضم فئات كثافة مختلفة. أمَّا مدينة هونغ كونغ، فتتسم بشكل عام موحّد وكثافة تعتمد على الأبراج السكنية الشاهقة. وفي مدينة سيدني ينحصر التصميم الذي تشارك في وضعه أطراف متعددة في المباني المفردة، ما أسفر عن نَسَق عام متباين تتجاور فيه الأحياء عالية الكثافة والأحياء منخفضة الكثافة. كذلك تجدر الإشارة إلى أنَّ سنغافورة وهونغ كونغ تتبعان نسقًا تخطيطيًا مركزيًا تصاغ فيه القرارات وفقًا للضوابط الحكومية الصارمة المتعلقة بالتنمية الحضرية. على النقيض نجحت مدينتا فانكوفر وسيدني في تطبيق منهجية تشاركية وإشراك التجمعات السكانية في تحديد المشروعات.



الشكل 7: مثال لنسبة البناء من مساحة الأرض

حقوق نشر الصورة: https://www.propertyhunt.sg/pinnacle-duxton/

الشكل 8: مشروع ذا بيناكل آت دكستون السكني في المنطقة الغربية من سنغافورة

حقوق نشر الصورة: Fraser Property, 2023 <https://www.frasersproperty.com.au/>

الشكل 9: مشروع سنترال بارك (Central Park) الجديد في سيدني، وهو مشروع تنمية عمرانية ذو استخدامات أراض متعددة، عالي الكثافة يقع في وسط المدينة، بالقرب من محطة السكك الحديدية المركزية، وعلى مسافة قريبة من ثلاث جامعات يمكن قطعها سيرًا على الأقدام

الإرشادات

ليس بالضرورة أن تكون المدن ذات الكثافة العالية والارتفاعات الشاهقة الخيار الأفضل، حيث إن إقامة المشروعات السكنية المتضامة التي تتميز بكثافة متوسطة وتعتمد على تطوير الأراضي الحضرية غير المنماة تُعد خيارًا أفضل، وتتحقق هذه المشروعات بإقامة بنايات تتكون من 4 إلى 8 طوابق. ويعد هذا النموذج مثالاً ناجحًا لتخطيط مدينة متضامة وصديقة للبيئة ومتنوعة الاستخدامات ومواتية للمشاة. وهنا تتفاوت أنواع الكثافة تفاوتًا كبيرًا، إذ تتراوح ما بين 1,000 و10,000 نسمة لكل 100 هكتار.

إرشادات الكثافة المنخفضة

غالبًا ما تضم المناطق منخفضة الكثافة مساكن مستقلة لكل أسرة على حدة، وتتكون من مبانٍ منشأةٍ على قطع أراضٍ منفصلة عن بعضها البعض وبتصميم يعتمد على استخدام السيارات الخاصة في التنقل. ويتسم أسلوب استخدام الأراضي هنا بالفصل بين كل قطعة أرض والأخرى، وتقل الكثافة عن 4,000 نسمة في كل كيلومتر مربع.

نوع الحي السكني	الكثافة والتنوع والموقع
• أغلبه مساكن منفصلة لكل أسرة • منازل شبه منفصلة، وبيوت مكونة من طابقين	• من 4 إلى 8 أسر في كل هكتار • من 1000 إلى 3999 نسمة في كل 100 هكتار • مسجد ومتجر للتجزئة ومتنزه خاص بالحي على مسافة 500 متر • جامع ومدارس ومكاتب تجارية ومكاتب بلدية على مسافة 1500 متر • تقع داخل المناطق الحضرية القائمة أو بجوارها

إرشادات الكثافة المتوسطة

تضم الأحياء السكنية متوسطة الكثافة مشروعات واقعة في الضواحي أو على أطراف المناطق الحضرية، وتتألف من مساكن مكونة من 3 إلى 4 طوابق تكاد تلاصق حدود قطعة الأرض المجاورة لها، وإما أن تكون مخصصة لعدة أسر أو مساكن مخصصة لأسرة واحدة. وتستخدم هذه الأحياء السكنية وسائل النقل العام، كما أنها مواتية للمشاة، مع تخصيص بعض الأراضي لاستخدامات مختلطة والحفاظ على كثافة تتراوح ما بين 4,000 و6,999 نسمة في كل 100 هكتار.

نوع الحي السكني	الكثافة والتنوع والموقع
• منازل متجاورة متعددة الطوابق لأسرة واحدة وبنايات منخفضة الارتفاع • مشروعات متوسطة الكثافة واقعة في الضواحي أو على أطراف المناطق الحضرية	• من 9 إلى 14 أسرة في كل هكتار • من 4,000 إلى 6,999 نسمة في كل 100 هكتار • حجم كل قطعة يتراوح بين 600-500 متر مربع • مسجد ومتجر للتجزئة ومتنزه خاص بالحي على مسافة 400 متر • جامع ومدارس ومكاتب تجارية ومكاتب بلدية على مسافة 1,300 متر • نسبة تتراوح ما بين 15 و20% من مساحة الأرض مخصصة لاستخدامات مختلفة • تقع داخل المناطق الحضرية القائمة أو بجوارها وعلى بعد كيلومترين من أماكن حيويه مشابهه لوسط المدينة

إرشادات الكثافة العالية

عادة ما تُشيَّد الأحياء ذات الكثافة العالية التي تضم مساكن ومبانيَ تجارية مكونة من أكثر من خمسة طوابق في هيئة بؤرٍ سكنية حول المسارات المخصصة لوسائل النقل العام. كما تضم هذه الأحياء شوارع مهيأة للمشاة، وعددًا من قطع الأراضي متنوعة الاستخدامات، ومتاجر تشغل الطوابق الأرضية، وتتراوح كثافتها ما بين 7,000 و9,999 نسمة في كل 100 هكتار.

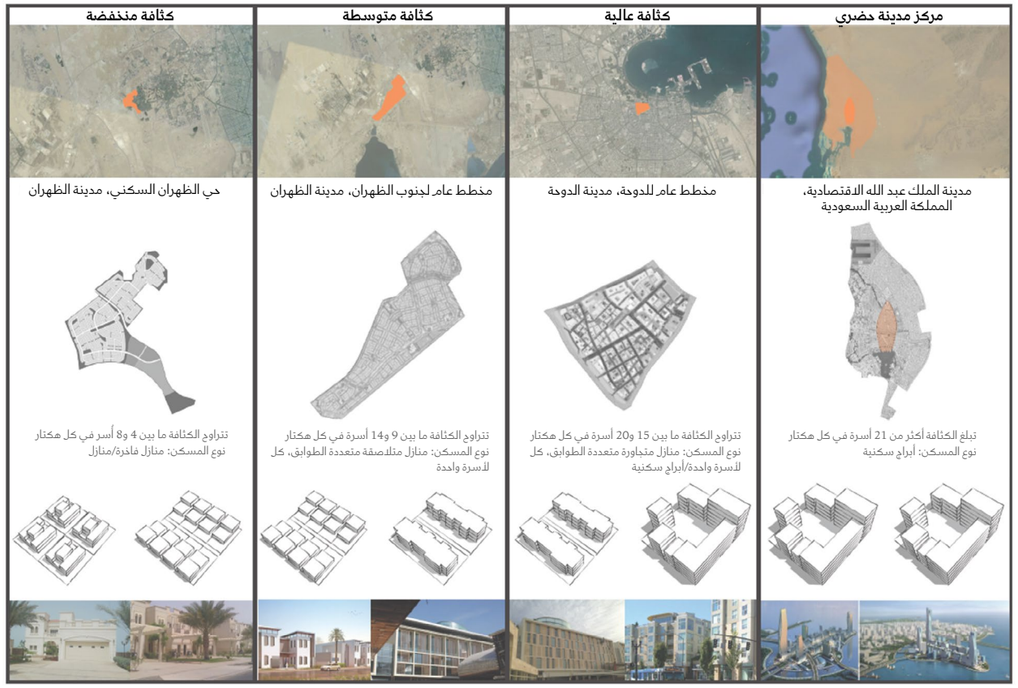
نوع الحي السكني	الكثافة والتنوع والموقع
• أبراج شاهقة • أحياء سكنية حضرية ذات أراض متعددة الاستخدامات بالقرب من مركز المدينة	• من 15 إلى 20 أسرة في كل هكتار • من 7,000 إلى 9,999 نسمة في كل 100 هكتار • الحد الأدنى لنسبة البناء من مساحة الأرض يتراوح ما بين 2 و5% • مسجد ومتجر للتجزئة ومتنزه خاص بالحي على مسافة 300 متر • جامع ومدارس ومكاتب تجارية ومكاتب بلدية على مسافة 1,000 متر • نسبة تتراوح ما بين 35 و40% من مساحة الأرض مخصصة لاستخدامات مختلفة • تقع داخل المناطق الحضرية القائمة أو بجوار مناطق حضرية أكبر مساحة

إرشادات مراكز المدن الحضرية

تحتوي مراكز المدن الحضرية على عدد كبير من الأبراج المتقاربة التي تقع حول وسائل النقل العام بما يخصص لها من مسارات، أو حول القطارات النفقية. ويتسم معظم هذه المباني بتنوُّع استخداماته، كما تضم هذه المباني متاجر للتجزئة في طوابقها الأرضية، وتتجاوز كثافتها 10 آلاف شخص في كل 100 هكتار.

نوع الحي السكني	الكثافة والتنوع والموقع
• مركز مدينة حضري عالي الكثافة متعدد الاستخدامات موجه نحو وسائل النقل العام.	• أكثر من 21 أسرة في كل هكتار • أكثر من 10,000 نسمة في كل 100 هكتار • الحد الأدنى لنسبة البناء من مساحة الأرض هو 5% • مسجد ومتجر للتجزئة ومتنزه خاص بالحي على مسافة 250 مترًا • جامع ومدارس ومكاتب تجارية ومكاتب بلدية على مسافة 800 متر • أكثر من 40% من مساحة الأرض مخصص لاستخدامات متنوعة • تقع داخل المناطق الحضرية القائمة وداخل مركز المدينة

تجدر الإشارة هنا إلى أنَّ كل فئة من فئات الأحياء السكنية التي تشكل جزءًا من تجمع سكاني جديد يجب أن تُشيَّد بما يطابق معايير الأداء المحددة لتلك الفئة من الأحياء. وتقدم الصورة التالية (الشكل 10) مثالاً للكثافة المختلفة في التكوينات الحضرية.



الشكل 10: أمثلة لفئة الحي السكني والإسكان حسب الكثافة

نستعرض أدناه الإرشادات الخاصة بحجم تجمعات السكان لكل نوع من الأحياء السكنية، مع اقتراحات للتطبيق:

الحجم الافتراضي للتجمع السكاني	% الكثافة المنخفضة	% الكثافة المتوسطة	% الكثافة العالية	% مراكز المدن
50,000-5,000	%4	%63	%33	%0
100,000-50,000	%4	%48	%45	%3
300,000-100,000	%4	%26	%42	%28
أكثر من 300,000	%7	%20	%39	%34

من الضروري التخطيط لاستخدام الأراضي ولتنميتها العمرانية في المستقبل بطريقة تتسق مع أهداف المجتمع وغاياته (Behrend, 2017). فمع تطور المدن المستمر، تظهر تحديات جديدة مرتبطة باستخدام الأراضي والطابع المجتمعي، من بينها التنافس الشديد بين التجمعات السكانية المجاورة على تحديد الاستخدام المنشود للأراضي، وتزايد الاهتمام بإعادة تطوير المواقع المتهالكة، في الوقت الذي تبقى فيه إدارة المرور على شبكات الطرق القائمة أولوية، ويتطلب تعزيز الدعم لحركة النقل كثافات سكانية أعلى لتتسق مع تطوير مسارات النقل. كذلك يُتوقع أن يتزايد معدل تهالك أنظمة البنية التحتية العامة. لذلك أوْلت إستراتيجية التنمية اهتمامها لتعمير الأراضي الحضرية الشاغرة غير المنماة، لضمان بناء مشروعات إعادة التطوير على أكمل وجه، ثم بعد ذلك الالتفات إلى الأراضي المهجورة والمشتبه في تلوثها بسبب مخلفات سابقة، والأراضي غير المعمورة.

وبمرور الوقت يُتوقع أن تسفر قرارات تقسيم الأراضي إلى عدة مناطق عن تغيرات تؤدي تدريجيًا إلى تحقيق المزيد من الترابط بين عمليات تقسيم المناطق والمواقع وتخطيطها. لذا ينبغي تخطيط الموقع بعناية لضمان اتباع سياسة ثابتة عند اتخاذ قرارات التخطيط والتنمية، إذ إن التغيرات التي تطرأ على التجمعات السكانية والتي ربما تتعارض مباشرة مع الخطط الموضوعة للموقع قد تقوض الأهداف طويلة المدى الموضوعة للمدينة، وهو ما ينبغي تجنبه.

الإرشادات

يجب إعطاء الأولوية للتعليمات التالية عند تخطيط استخدام الأراضي على المستوى المناطقي ومستوى المدن:

أ. إنشاء أحياء متضامة ذات استخدامات متنوعة للأراضي تتيح للسكان الوصول إلى العمل والمرافق ومنشآت التعليم والخدمات ووسائل النقل العام سيرًا على الأقدام.

ب. تسليط اهتمام مشروعات التنمية الجديدة على تطوير الأراضي الحضرية الشاغرة غير المنماة أولًا ثم تطوير المناطق المهجورة والمشتبه في تلوثها بسبب مخلفات سابقة، ثم المناطق غير المعمورة.

ج. الاستعانة بنماذج تنمية جديدة تتيح خلق مزيج واسع من أنواع المساكن والأحياء السكنية لاستيعاب مجموعة متنوعة من السكان من ذوي الدخل المتفاوت والأوضاع الاجتماعية المختلفة.

د. تحسين جودة المناطق والأحياء السكنية بما يدعم الشعور بأصالة المكان وحيويته.

> *"من الضروري التخطيط لاستخدام الأراضي ولتنميتها العمرانية في المستقبل بطريقة تتسق مع أهداف المجتمع وغاياته."*

هـ. الحفاظ على المباني والمواقع التاريخية وإعادة استخدامها.

و. الحفاظ على سلامة الأنظمة البيئية والتراث البيئي والخصائص البيئية للمدن في جميع أنحاء المملكة ودعم تلك العناصر، من أجل الأجيال الحالية والمستقبلية.

ز. خفض استهلاك الموارد والطاقة من خلال وضع خطط مناسبة لاستخدام الأراضي وتنميتها العمرانية، ووضع الضوابط الضرورية لذلك.

ح. حفاظ مشروعات التنمية الجديدة على الاتساق مع الكيانات والعناصر القائمة في البيئة المحلية.

عوامل ينبغي مراعاتها

يجب أن تتضمن منهجية التخطيط لاستخدام الأراضي مدخلات من آراء المستفيدين من العامة. كما يجب أن تأخذ في الحسبان أنماط استخدام الأراضي القائمة، وأن تحقق الاستفادة المثلى من الأراضي. وعلى وجه التحديد تنبغي مراعاة العوامل التالية عند إعداد تخطيط استخدام الأراضي:

الاستخدام الحالي للأراضي

قد لا يكون تخطيط الأحياء القائمة مراعيًا لاحتمالات التغيير. لذلك إذا لزم إجراء تغييرات، فتنبغي دراستها في ظل الخطط الموضوعة مسبقًا من حيث الأهداف والغايات وخيارات تقسيم الأراضي إلى عدة مناطق.

التقسيم الحالي للأراضي

ينبغي الأخذ في الحسبان أن التقسيمات الحالية للأراضي إلى عدة مناطق سوف تتحول بمرور الوقت إلى تقسيمات أكثر سلاسة تعتمد على الاستخدامات المختلفة للأراضي. وينبغي الاستعانة بالتقسيم الحالي في وضع آلية للتعامل مع احتمالات التغير في المنطقة، وهو ما من شأنه أن يرشد خطى عملية التحول المستقبلي نحو منهجية جديدة لاستخدام الأراضي.

أنماط استخدام الأراضي في المنطقة

ينبغي أيضًا مراعاة أنماط استخدام الأراضي في التجمعات السكانية المحيطة وفي المنطقة كاملة، ومواءمتها مع الخطط الجديدة.

الاستعانة برؤى التجمعات السكانية في إطار مخطط "الوقاية والتحسين والتغيير"

إن الاستعانة برؤى السكان وآرائهم حول أنماط استخدام الأراضي وغيرها من قضايا التخطيط المجتمعي من خلال المشاركة المجتمعية تسهم في نجاح عمليات تخطيط استخدام الأراضي ورسم توجهاتها. في هذا الصدد تسهم آلية التخطيط المعروفة باسم "الوقاية، التحسين، التغيير" في توجيه دفة النقاشات في أثناء عملية التخطيط، كما تساعد على تحديد المدى المتوقع للتغيير في مناطق مختلفة من المدينة. فقد تظهر بعض السمات التي يجب الحفاظ عليها أو إصلاحها للارتقاء بأفضل مميزات المدينة. أما بعض السمات الأخرى الأقل استحسانًا فيكون لها تأثير مختلف في تصورات المجتمع والحراك الاقتصادي فيه، ومن ثم ينبغي أن تخضع هذه المناطق أو السمات لتغيير ملحوظ أو تحول تام. تجدر الإشارة هنا إلى أنَّ المناطق التي ينبغي تغييرها هي المناطق المزمع أن تستوعب النمو المتوقع وتدعم وسائل النقل العام وتطبق المبادئ الإرشادية، وهي كذلك المناطق متنوعة الاستخدام التي تحتاج إلى تغييرات في تقسيمها على المدى القصير لتحقيق رؤية الخطة الموضوعة للمدينة.

> *"تسهم آلية التخطيط المعروفة باسم "الوقاية، التحسين، التغيير" في توجيه دفة النقاشات في أثناء عملية التخطيط، كما تساعد على تحديد المدى المتوقع للتغيير في مناطق مختلفة من المدينة."*

فئات مخطط استخدام الأراضي:

أ. أراض زراعية شاغرة

تُخصص المناطق الزراعية لاستخدامات زراعية في الأساس وتقع خارج نطاق المدن. وتتضمن هذه المناطق أراض للاستخدامات السكنية، لكنها تقتصر في المقام الأول على أنماط سكن مرتبطة بالإنتاج الزراعي في المنطقة. علاوة على ذلك يمكن أن توجد هذه الأراضي خارج الكتل العمرانية بهذه المناطق. وتُمثِّل الأراضي الزراعية الشاغرة معظم المساحات الواقعة خارج مناطق النمو والتوسع الحضري ذات الأولوية في المدن.

ب. مناطق للتحول من أراض زراعية شاغرة إلى أراض سكنية

تضم هذه الفئة المناطق الواقعة خارج الحدود الحالية للمدن التي تشهد ضغوطًا تستلزم بناء مشروعات تنمية سكنية أو التي ربما تشهد مثل هذه الضغوط عما قريب. وفي حالة تحويل هذه المناطق إلى مناطق سكنية، ينبغي مراعاة قربها من حدود مدينة للاستفادة من المرافق وأنظمة النقل الحالية. ولا ينبغي التفكير في تنمية تلك المناطق إلا بعد ضم المشروعات السكنية القائمة خارج المدينة إلى نطاق سلطات البلدية وإمدادها بالخدمات الحكومية.

ج. أراض سكنية

منخفضة الكثافة: تشمل الفئة السكنية منخفضة الكثافة الأحياءَ السكنية التقليدية في المدن، التي تعيش فيها كل أسرة في منزل مستقل، وتغطي هذه المنطقة معظم مساحة أراضي المدينة. ويتمثل نوع السكن السائد هنا في المنازل المنفصلة التي يكون كل منها لأسرة على حدة، وإن كان يُسمَح في بعض المناطق بوحدات سكنية متلاصقة تسكنها أسرٌ مفردة. وعادة ما تصل الكثافة في الفئة السكنية منخفضة الكثافة إلى ثماني أسر في الهكتار الواحد.

متوسطة الكثافة: تشمل استخدامات الأراضي السكنية متوسطة الكثافة المساكنَ المتصلة كالمنازل المتجاورة متعددة الطوابق التي يكون كل منها لأسرة واحدة، والمجمعات السكنية والبنايات منخفضة الارتفاع. وينبغي أن تتراوح الكثافة ما بين 9 و14 أسرة في كل هكتار. وعادة ما تكون المناطق متوسطة الكثافة مجاورة لمناطق ذات كثافات استخدام أعلى تضم مؤسسات تجارية ومدارس وتقع على طول محاور الحركة. ويمكن أن يفصل هذا التقسيم لاستخدام الأراضي بين المناطق السكنية منخفضة الكثافة، ومناطق الاستخدام الأكثر كثافة للأرض، وتشهد المناطق السكنية متوسطة الكثافة بطبيعتها عددًا أكبر من الرحلات التي تقطعها المركبات في كل هكتار مقارنة بالمناطق السكنية منخفضة الكثافة. وقد تختلف سمات المشروعات السكنية متوسطة الكثافة عن السمات المتعارف عليها للأحياء التي تعيش فيها كل أسرة على حدة.

عالية الكثافة: تشمل استخدامات الأراضي السكنية عالية الكثافة الأبراج الشاهقة متعددة الطوابق والمجمعات السكنية الكبيرة، وينبغي أن تتراوح الكثافة السكانية فيها ما بين 15 و20 أسرة أو أكثر في كل هكتار. وتحدد خطة استخدام الأراضي التجمعات السكنية التي تناسبها هذه الاستخدامات. وعادة لا تكون المناطق السكنية ذات الكثافة العالية مجاورة للمناطق ذات المساكن المخصصة لأسر مفردة، وإن كان هذا قد لا ينطبق على المناطق التي تُبنى حديثًا في حال كان التخطيط هناك يراعي دمج الفئات المختلفة. وعلى غرار الأراضي المستخدمة بكثافة متوسطة، عادة ما تكون الأراضي المستخدمة بكثافة عالية مجاورة لمناطق ذات كثافة استخدام أعلى تضم منشآت تجارية ومدارس وتقع على طول محاور الحركة. وتنتِج هذه الاستخدامات بطبيعتها عددًا أكبر من رحلات المركبات في كل هكتار مقارنة بالمناطق السكنية منخفضة الكثافة.

د. أراض تجارية

المؤسسات التجارية الحضرية: تضم فئةُ المؤسسات التجارية الحضرية منافذَ المبيعات والخدمات على امتداد الطرق المجمِّعة والرئيسة التي تخدم التجمعات السكانية. وتتيح هذه الفئة عددًا من استخدامات الأراضي مثل استخدامها لإنشاء البنوك والمطاعم ومتاجر الأغذية ومحطات الوقود والمتاجر الصغيرة ومتاجر المعدات والأدوات والمكاتب المهنية، وغيرها من المؤسسات التجارية التي تبيع بضائع أو تقدم خدمات. وغالبًا ما تحدد طبيعة المؤسسات التجارية الحضرية موقعها على طول المحاور التجارية الرئيسة بهدف جذب العملاء لإدرار الربح.

منشآت تجارية على الطرق السريعة: وتشمل المؤسسات التجارية ذات كثافة الاستخدام العالية التي تتطلب مساحة كبيرة من الأرض لممارساتها التجارية. ومن أمثلة استخدامات الأراضي في تلك المناطق استخدامها لمبيعات السيارات والمركبات الترفيهية والفنادق الصغيرة ودور الحضانة، وغيرها من الخدمات التي تجري في أماكن مفتوحة مثل محطات الوقود والمطاعم ومتاجر التجزئة "السلاسل الكبيرة". ولأن هذه الاستخدامات يمكن أن تؤدي إلى زيادة حجم الحركة المرورية، عادة ما تنحصر مواقعها في الطرق الرئيسة والمناطق الواقعة عند تقاطعات الطرق السريعة.

وسط المدينة: يضم وسط المدينة مناطق تسمح بتشكيلة من استخدامات الأراضي، للمساحات المكتبية والبيع بالتجزئة والخدمات والسكن والمرافق العامة. وسيظل وسط المدينة مركزًا للأنشطة المجتمعية بإفساحه مساحات للأنشطة المالية والمدنية والمتاجر المتخصصة والمطاعم، إذا صُممت المباني والمواقع بما يتوافق مع سياق بيئتها. ويُسمَح هنا باستخدامات سكنية ويُحبَّذ أن تكون واقعة فوق المنشآت التجارية.

هـ. صناعية:

تغطي الأراضي لأغراض الصناعة والتصنيع القائمة بالفعل في قلب المدينة وعلى طول خطوط السكك الحديدية أو محاور الحركة. وتمثل هذه المناطق قاعدة توظيفية واقتصادية مهمة تخدم التجمع السكاني الحضري وستظل هكذا في المستقبل المنظور. ويُسمح في هذه المناطق بالتوسع في المباني لاستيعاب النشاطات المتغيرة، عندما يكون في الإمكان معالجة الآثار التي قد تترتب على ذلك في الأحياء السكنية أو مشروعات التنمية التجارية المجاورة.

و. متنزهات ومساحات مفتوحة:

تعد المتنزهات والمساحات المفتوحة عنصرًا مهمًا للغاية في مناطق التجمعات السكانية وتصميمها العام، لأنها تتيح فرصًا متنوعة للأنشطة الترفيهية الخارجية. وينبغي ألا تقل مساحة المتنزهات والمساحات المفتوحة عما يتراوح بين 3 و4 أمتار مربعة لكل فرد.

ز. المرافق المجتمعية أو المباني العامة:

تشمل هذه الفئة المدارس العامة، والمباني الحكومية في المدن والمحافظات، والمؤسسات التي تديرها الدولة، والمؤسسات الدينية.

وينبغي وضع خريطة لاستخدامات الأراضي تسهم في رسم مخطط للموقع المقترح واستخدامات الأراضي المختلفة داخل كل من التجمع السكني ومنطقة التوسع الحضري. ويمكن اتباع منهجية "المناطق الجديرة بالدراسة" لضم مناطق جديدة مخصصة لاستخدامات معينة إلى النطاق الحضري. ويمكن مطالعة هذه المنهجية في الكتيب رقم 2 بعنوان المخطط الهيكلي لتنمية مدينة الرياض الكبرى 2030 "Arriyadh Metropolitan (Structure Plan 2030). وتتطلب المناطق الجديرة بالدراسة تخطيطًا تفصيليًا قبل وضع التصور النهائي لاستخدامات الأراضي الجديدة أو مشروعات التنمية الجديدة في خرائط استخدامات الأراضي في النطاق الحضري. وينبغي الاسترشاد بخريطة استخدامات الأراضي عند دراسة النمو المستقبلي ومشروعات التنمية، مع مراعاة أن الخريطة تُعدّ نموذجًا إرشاديًا عامًّا ربما يتغير مع التنمية. كذلك ينبغي دراسة التغيرات المقترح إدخالها على استخدامات الأراضي من حيث أثرها في خدمة التجمعات السكنية في ضوء الخطة الكلية لاستخدام الأراضي. كما ينبغي إدخال هذه التغييرات جميعها من خلال عملية تعديل رسمية.

إن الحرص في تصميم الشوارع على أن تكون أكثر ملاءمة للمشاة وراكبي الدراجات من المركبات الخاصة من شأنه أن يشجع الأفراد على قضاء حوائجهم دون الاعتماد على السيارات. كذلك فإنَّ تأسيس نظام نقل سلس يتيح للركاب التبديل بسهولة بين الحافلة والقطار أو المترو من شأنه أن يجذب مزيدًا من مستخدمي وسائل النقل تلك (NSW Government, 2018a).

ويؤدي التخطيط الحضري دورًا مهمًا في الحياة المدنية يمكن أن يسهم في خفض استهلاك الطاقة في مجال النقل الحضري بصورة ملحوظة. فالمدن يمكن أن تحافظ على وظيفتها الرئيسة وهويتها المكانية إذا راعت "التكثيف" في مخططاتها بدلًا من ترامي مناطقها الحيوية كما في مدينة لوس أنجلوس. ويمكن خفض حجم التنقلات في الخطط العمرانية بإتاحة استخدامات متنوعة في الأحياء السكنية، مما يخفض من انبعاثات الغازات الدفيئة، إذ يرتبط استهلاك الطاقة في المدن مباشرة بعدد السكان في كل كيلومتر مربع ومن ثم بكمية الطاقة المستخدمة هناك. وهنا يوضح الشكل (11) أن المدينة ذات الكثافة السكانية العالية (أي المدينة المتضامة) تستهلك طاقة أقل في النقل، لأن المدينة المتضامة ذات الأراضي متنوعة الاستخدام يمكن أن تحقق انخفاضًا واضحًا في المسافات المقطوعة باستخدام السيارات. وهنا يسهم تخطيط استخدام الأراضي وسياسات النقل في خفض الطاقة اللازمة للتنقل في المدن، ما يؤدي إلى خفض انبعاثات الكربون.

يوضح الشكل (12) أنَّ المسافة المقطوعة سنويًا بالمترو في المدن منخفضة الكثافة تكون أقل مقارنة بها في المدن عالية الكثافة، وأنَّ عدد ركاب المترو في المدن عالية الكثافة (مثل سول) يكون أكبر مما يدل على وجود علاقة مهمة بين الكثافة السكانية وعدد ركاب المترو.

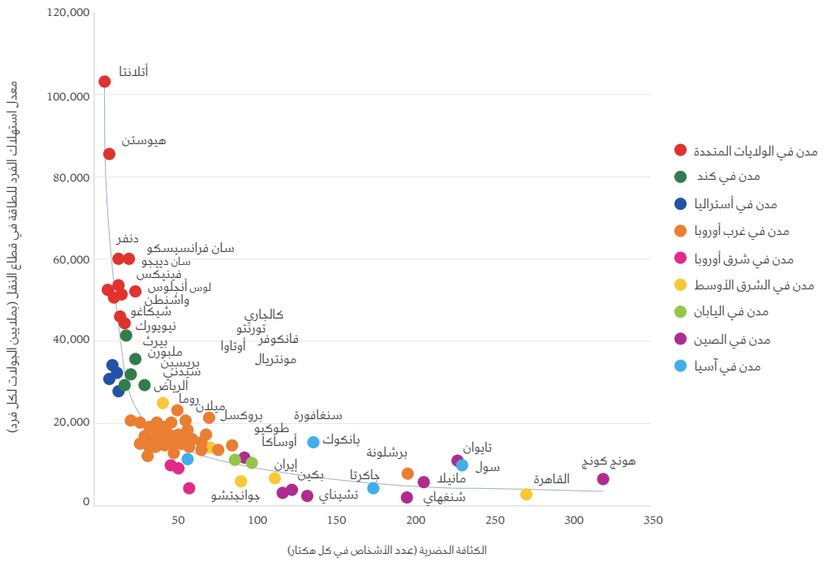
التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام

تُعرف مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام بأنها مشروعات

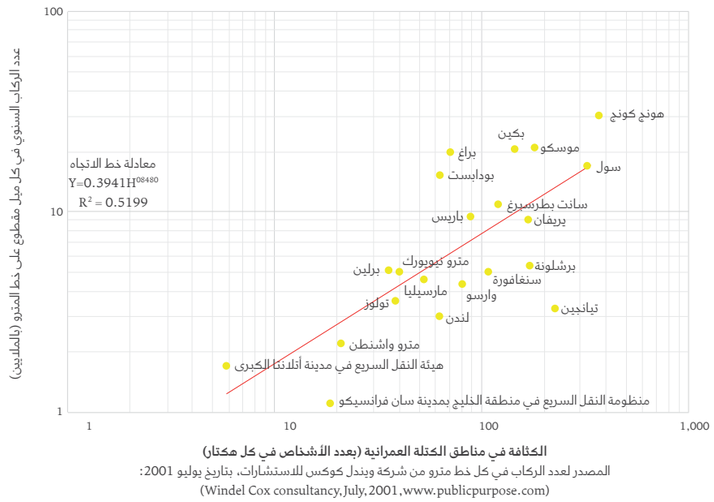
- تتراوح كثافتها بين المتوسطة والعالية، تقع على مقربة من محطات النقل العام الكبرى، بحيث يمكن قطع المسافة من وإلى تلك المحطات سيرًا على الأقدام، وتوفر مزيجًا من فرص السكن والتوظيف والتسوق المصممة للمشاة دون استبعاد إمكانية التنقل بالسيارات. وتُشجع
- هذه المشروعات استخدامات الأراضي التي تعتمد على النقل العام، لتتيح
- خيارات نقل أكثر توازنًا، بحيث يصبح التنقل باستخدام وسائل النقل العام
- أو التنقل الذي يتطلب نشاطًا بدنيًا (كالمشي وركوب الدراجات) خيارًا جاذبًا
- مثل خيار التنقل بالسيارات الخاصة. وينبغي ألا يواجه المواطنون أي عوائق في الوصول إلى مناطق المشروعات المحفِّزة لاستخدام وسائل النقل العام وفي التنقل داخلها.

عناصر رئيسة

- التوزيع الأمثل لاستخدامات الأراضي، على النحو التالي:
  - الحرص على أن تكون هذه الاستخدامات داعمة للنقل العام.
  - تقليل الاستخدامات غير الداعمة للنقل العام.
  - تشجيع المزج بين استخدامات الأراضي المختلفة.
  - إقامة مشروعات استخدامات الأراضي عند أقرب مسافة ممكنة من محطات النقل العام.
- تشجيع الكثافة
- إنشاء طرق مترابطة سهلة الاستخدام للمشاة وراكبي الدراجات، تكون كالتالي:
  - قصيرة
  - مترابطة
  - مباشرة
  - سهلة الاستخدام
- الحرص على وضع تصميم حضري جيد.
- تصميم نمط المشروعات المتضامة.
- تنظيم كل ما يتعلق بمواقف السيارات.
- الحرص على أن تكون كل محطة تخدم غرضًا.



الشكل 11: الكثافة الحضرية واستهلاك الطاقة في مجال النقل (WHO, 2011)



الشكل 12: العلاقة بين الكثافة السكانية وكثافة استخدام المترو (Bertaud and Richardson, 2004)

الممارسات المثلى

تتمثل مبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام في:

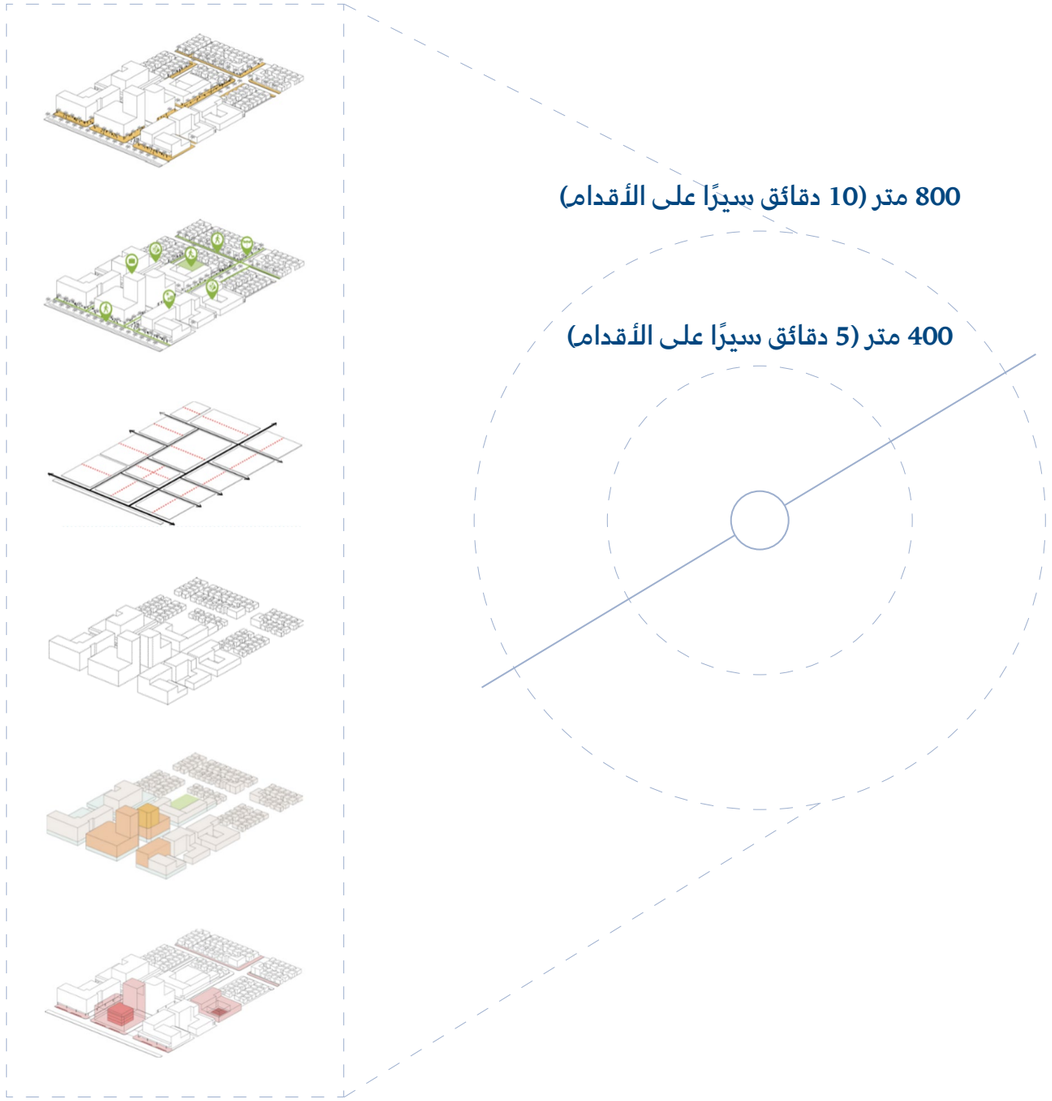
- تشييد مناطق للمشاة: إنشاء أحياء تشجع السير على الأقدام، مثل جادة برودواي وميدان تايمز وميدانَي هيرالد وجريلي ومتنزه ماديسون سكوير بارك في مدينة نيويورك.
- تشييد مناطق لاستخدام الدراجات: إعطاء الأولوية لشبكات النقل غير المزود بمحركات، كما هي الحال في العاصمة الدانماركية كوبنهاجن.
- إنشاء شبكات طرق مترابطة: إنشاء شبكات كثيفة من الشوارع والمسارات، كما هي الحال في سنغافورة.
- إنشاء شبكات نقل عام: إنشاء مشروعات تنمية عمرانية بالقرب من وسائل نقل عام ذات مسارات مخصصة لها، كما هي الحال في منطقة هاماربي سيوستاد في جنوب مدينة ستوكهولم.
- التنوع: التخطيط لإرساء مزيج من الاستخدامات المتنوعة للأراضي، كما في القرية الأوليمبية في مدينة فانكوفر.
- الكثافة: تحقيق المستوى الأمثل من الكثافة وسعة النقل العام، مثل مشروع سنترال سانت جايلز في مدينة لندن.
- المناطق المتضامة: إنشاء مناطق وضواحٍ ليست بعيدة عن المركز الحضري، مثل حي باريس ريف جوش في مدينة باريس.

الإرشادات

ينبغي تطبيق مبادئ مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام على تلك الفئة من المشروعات بجميع أنواعها، بدءًا من مشروعات التنمية في مناطق النقل العام الكبرى، ووصولًا إلى مناطق النقل العام المحلية في الأحياء السكنية. وهنا سوف يختلف تطبيق هذه المبادئ باختلاف نسب استخدام الأرض ومستوى كثافة المدينة والمنهجية المتبعة، كما يجب أن يكون التطبيق متسقًا مع الغرض من إنشاء المناطق المختلفة. وتضم المناطق التي تقام فيها مشروعات تنمية رفيعة محفزة لاستخدام وسائل النقل العام بؤرًا رئيسة ومحاور مجهزة لخطوط النقل السريع. ويمكن تصنيف مناطق المشروعات المُحفِّزة لاستخدام وسائل النقل العام في كافة أنحاء المدينة إلى أربعة أنواع رئيسة: المناطق الحضرية ومناطق الضواحي والمناطق غير المعمورة ومناطق أخرى (الجدول 4).

وتتحدد أولوية إقامة المشروعات في منطقة ما وفقًا للمسافة التي يُحبِّذ المستخدِم قطعها مشيًا للوصول إلى وسائل النقل العام، والتي تعادل ما يُقدَّر بنحو 10-5 دقائق مشيًا، أو 800-400 متر. وعند تلك المسافات التي تمثل أنصاف أقطار محيطة بالمحطة، يمكن إقامة مشروعات التنمية المُحفِّزة لاستخدام وسائل النقل العام على مساحة تتراوح ما بين 300 و400 فدان من الأرض.

فئات مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام	الخصائص
مناطق حضرية	• بؤر حول محور رئيس • إمكانية استخدام الأراضي لأغراض تجارية وسكنية ولأغراض مدنية تتفاوت حسب حجم البؤرة • مستويات خدمية مختلفة باختلاف نوع البؤرة • منطقة يمكن تنميتها على طول محور النقل العام
مناطق الضواحي	• منطقة تضم أراض لاستخدامات متنوعة • منطقة مواتية لزيادة كثافة الاستخدام في مساحة لم تعد ذات استخدامات اقتصادية • ذات إمكانية لتسيير الحافلات فيها
مناطق أراض غير منماة	• منطقة غير مُشيدة بالقدر الكافي تمثل بؤرة لأحد التجمعات السكانية • مناطق جديدة مخطط لإنشائها حول مسارات النقل العام • مناطق ستتطور بمرور الوقت لتكتسب خصائص مطابقة وأغراض استخدام مشابهة للبؤر الحضرية • بؤرة مواتية للأحياء السكنية التي تضم مشروعات سكنية وتجارية محلية النطاق مدعومة بوسائل النقل العام المحلية
أخرى	• مستوى عال من الاستخدامات المؤسسية، مع عدد كبير من مستخدمي وسائل النقل العام



الشكل 13: مثال يوضح تصور لمشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام وعناصرها الرئيسة

المناطق الحضرية: تشمل المناطق الحضرية محاور وبؤرًا حضرية محددة في المخطط العام الرئيس للمنطقة المحلية. وينبغي تخصيص المحور الرئيس لأكبر وسيلة نقل تتمتع بمسارات مخصصة لها في المدينة، كما ينبغي أن يكون هذا المحور الرئيس مركزًا لكبرى مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام. ويجب أن تخدم مناطق البؤر الطرفية (بصفتها مركزًا تتقاطع عنده مسارات عدة أنماط من وسائل للنقل) كإحدى أهم محطات النقل، ومن المرجح أن تجتذب هذه البؤر معظم مشروعات التنمية الواقعة خارج نطاق وسط المدينة. كذلك يمكن أن تصبح مناطق المحطات المختلفة مواقعَ لبدء مشروعات التنمية أو إعادة العمل عليها على طول المحور، وإن كان من المستبعد أن تحتاج كل محطة إلى إقامة مشروعات جديدة. ومن الضروري تطبيق مبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام بما يتناسب مع مساحة المنطقة، لضمان أن تصبح هذه البؤر داعمة للنقل المحلي وتؤدي الدور المرسوم لها في البنية الحضرية. وينبغي أن تكون الإرشادات الخاصة بالمشروعات الحضرية على أعلى مستوى في هذا السياق.

عناصر التصميم المتعارف عليها:

- الاهتمام الكبير ببناء طابع المكان، من خلال إنشاء مبانٍ فريدة وجذابة وأعمال فنية في الأماكن العامة وما إلى ذلك داخل منطقة المشروع.
- تتراوح النسبة التي يغطيها المشروع من قطعة الأرض ما بين 50 و70%.
- رصيف عريض يتراوح اتساعه ما بين 1.8 و2.5 متر بحد أدنى و4.5 متر بحد أقصى في المناطق ذات الكثافة المرورية العالية (يبلغ العرض المثالي 3.5 متر أو أكثر)، مع زراعة أشجار ظليلة.
- نسبة البناء من مساحة الأرض: تتراوح بين 2% و5% بحد أدنى.
- حجم المشروع: من 3 إلى 10 طوابق، بشرط موافقة الجهة المختصة.
- استخدام أراض يدعم أعلى مستوى من الكثافة (أراض تستخدم لأغراض متنوعة ومتاجر للتجزئة وأراض للاستخدام السكني والتجاري) متجمعة في نطاق يبلغ 800 متر من محطة النقل العام.
- إنشاء "محطات بلدية": إقامة المشروعات داخل البؤرة بأكملها في صورة بلدات تعتمد على مسارات النقل العام.

نظرًا إلى أن المناطق الحضرية تعد مركزًا لمسارات النقل العام، فسوف تجذب المشروعات المشتركة المعنية بإنشاء مواقف لركن السيارات الخاصة وركوب وسائل النقل العام، وما إلى ذلك.

> *تجب إقامة محطات النقل العام في أماكن مناسبة لتكون المسافة المقطوعة سيرًا على الأقدام مثالية، سواء بين 250 و400 متر للوصول إلى مقر العمل، أو بين 500 و800 متر للوصول إلى المناطق السكنية.*

- إرشادات مناسبة لتنظيم كل ما يتعلق بمواقف السيارات.
- خدمات ومرافق عالية الجودة لراكبي الدراجات (مواقف آمنة للدراجات، وما إلى ذلك).
- تجب إقامة محطات النقل العام في أماكن مناسبة لتكون المسافة المقطوعة سيرًا على الأقدام مثالية، سواء بين 250 و400 متر للوصول إلى مقر العمل، أو بين 500 و800 متر للوصول إلى المناطق السكنية، حيثما أمكن ذلك.

مناطق الضواحي: تشمل المناطق الواقعة على طول مسارات النقل العام. وتندرج الطرق غير المخصصة للنقل العام تحت هذه الفئة ضمن مناطق مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام. ويجب أن يكون تصميم المشروع في الضواحي مشابهًا لتصميمه في المناطق الحضرية ولكن على نطاق أصغر. ويتمثل الهدف بعيد المدى هنا في الاستعانة بمبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام في الارتقاء بمسارات النقل في الضواحي إلى مستوى المناطق الحضرية. ويمكن أن تستفيد محاور النقل العام في مناطق الضواحي من مبادئ هذه المشروعات عند مواقع رئيسة، مثل النقاط التي يتقاطع عندها مساران للنقل. كما ينبغي أن تكون مشروعات التطوير الموجه نحو النقل العام المقامة على طول محاور الضواحي هي النقطة الرئيسة التي يمكن منها الوصول إلى الأحياء المحيطة. ولأنَّ كل واحد من هذه المحاور يُعدّ محورًا رئيسًا، فإنه يسمح بمشروعات أوسع نطاقًا ويسمح بقدر أكبر من كثافة استخدام الأراضي. كذلك ينبغي مع مرور الوقت زيادة الكثافة العمرانية وكثافة استخدام الأراضي بالقرب من المشروعات الواقعة في نطاق محاور الضواحي.

عناصر التصميم المتعارف عليها:

- مباني بحجم متوسط وكثافة استخدام أراض متوسطة.
- أرصفة عريضة تمتد على مسافة قدرها 800 متر من منطقة المحطة.
- نسبة البناء من مساحة الأرض: بين 1% و5% بحد أدنى.
- حجم المشروع: من 3 إلى 8 طوابق، بشرط موافقة الجهة المختصة.
- يلزم تخصيص مرافق وخدمات لراكبي الدراجات عند محطات النقل العام، ويُستحسن أن تكون مؤمَّنة.
- خلق بيئة إيجابية للمشاة، بالاستفادة من بنود حقوق المشاة في توسيع الأرصفة وزراعة أشجار ظليلة.
- ينبغي أن يكون التصميم واستخدام الأراضي قائمين على اعتبارات واقعية ومناسبَين للاستخدامات الحالية، لكن من المهم أيضًا التخطيط لتكثيف استخدام الأراضي في المستقبل بما يتيح إنشاء خطوط لوسائل النقل ذات المسارات المخصصة لها على محور النقل.
- الحد من الاستخدامات الجديدة للسيارات على بعد 800 متر من مناطق المحطات.
- الحرص على إنشاء أرصفة لا يقل عرضها عن 1.8 متر.
- وضع إرشادات مناسبة لتنظيم كل ما يتعلق بمواقف السيارات.
- تشجيع استخدام وسائل النقل الأخرى مثل الدراجات، بتخصيص أماكن لإيقاف الدراجات، وغير ذلك من الخدمات الأخرى المتعلقة براكبي الدراجات، مثل إنشاء منحدرات للدراجات عند سلالم المحطات، حيثما أمكن ذلك.
- التأكد من أن لافتات الحافلات والمحطات محددة وواضحة.

مناطق غير معمورة: تتسم هذه المناطق كالبؤر الجديدة أو المناطق الجديدة غير المشيدة، بإمكان التخطيط لها وتصميمها وإنشائها وفقًا لمبادئ التطوير الموجه نحو

وسائل النقل العام منذ البداية. فتطبيق هذه المبادئ مبكرًا في مرحلتي التخطيط والإنشاء يزيد من فرصة بناء خدمات النقل واستخدامها في وقت أسرع. وبالاسترشاد بتلك المبادئ يمكن تعمير مناطق جديدة لم تكن معمورة من قبل داخل الأراضي المجاورة لوسائل النقل العام. وبذلك يصبح إنشاء خطوط النقل ذا جدوى مع تزايد عدد السكان وكثافتهم ووصولهما بمرور الوقت إلى المستوى الذي يستدعي استخدام وسائل النقل العام. وينبغي عمومًا أن تؤمن مناطق الأراضي غير المنماة (كما هي الحال مع مناطق مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام جميعها) تلبية احتياجات الكثافة المتنوعة، التي يمكن أن تكون منخفضة. كذلك تشتمل هذه المناطق في خطتها على بؤر مخصصة لتجمعات سكانية، مثل الأحياء السكنية. ويُتوقع أن تستفيد بؤر التجمعات السكانية داخل هذه المناطق من التخطيط لها وفق مبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام.

عناصر التصميم المتعارف عليها:

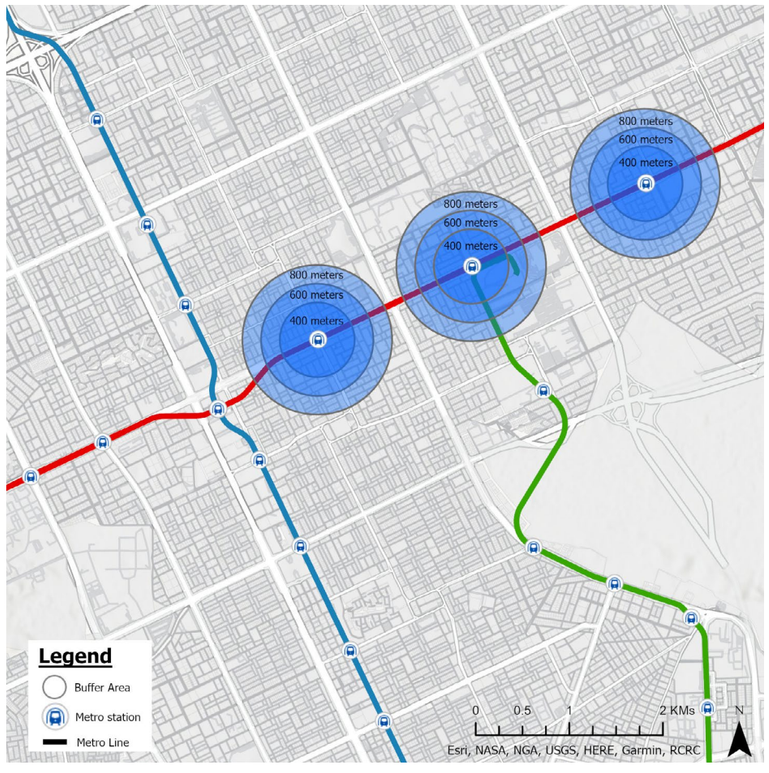
- التخطيط لإفساح المجال لعدة استخدامات للمباني والأراضي تشكل تجمعات منذ البداية.
- نسبة البناء من مساحة الأرض: بين 1% و5% بحد أدنى.
- حجم المشروع: من 3 إلى 8 طوابق، بشرط موافقة الجهة القائمة على المشروع.
- إنشاء بؤرة للتجمعات السكانية الجديدة قرب مركز المنطقة، مع إتاحة وصول هذه البؤر إلى وسائل النقل العام.
- التخطيط المبكر لممرات المشاة ومساراتهم لرفع جودة ترابط الطرق على المدى البعيد.
- وضع إرشادات مناسبة لتنظيم كل ما يتعلق بمواقف السيارات.
- الحرص على توفير مسارات مناسبة للمشاة تصل بين المباني ومحطات الحافلات.
- مراعاة النقل العام منذ بداية التخطيط لتقسيم الأراضي وتخصيصها لاستخدامات جديدة.

مناطق أخرى: أما آخر فئات المناطق التي يمكن تطبيق مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام فيها فهي البؤر التي تضم مراكز الأنشطة الرئيسة المشار إليها في المخطط الرئيس المحلي للمنطقة. فمراكز الأنشطة الرئيسة تجذب العديد من ركاب وسائل النقل لأنها تضم المطارات والمراكز الصحية والكليات والجامعات. لذا ينبغي تطبيق مبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام في هذه المناطق كما هي الحال في البؤر الأخرى من المناطق الحضرية أو الضواحي. وتتميز كل منطقة من مناطق كثافة الاستخدام بخصائص فريدة ومن ثم يجب أن تطبق تلك المبادئ وفقًا لاحتياجات المنطقة والغرض من إنشائها. ومع تطور هذه المناطق ونموها يمكن تطبيق مبادئ بعينها من بين مبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام. كذلك فقد تتحول المناطق الأخرى من المدينة إلى مناطق بارزة تتميز بكثافة الاستخدام، وعندئذ يكون تطبيق مبادئ هذه المشروعات فيها هي الأخرى منشودًا.

> *"تطبيق مبادئ التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام مبكرًا في مرحلتي التخطيط والإنشاء يزيد من فرصة بناء خدمات النقل واستخدامها في وقت أسرع."*

عناصر التصميم المتعارف عليها:

- حجم المباني وكثافة استخداماتها يتراوح مستواهما بين متوسط وعال.
- نسبة البناء من مساحة الأرض: بين 2% و5% بحد أدنى.
- حجم المشروع: من 3 إلى 10 طوابق، بشرط موافقة الجهة المشرفة على المشروع.
- أرصفة أعرَض تمتد على مسافة قدرها 800 متر من منطقة المحطة.
- مستوى عالٍ من الخدمات المتاحة للمشاة.
- يلزم إنشاء مرافق لراكبي الدراجات عند محطات النقل العام، ويُستحسن أن تكون مؤمَّنة.
- خلق بيئة إيجابية للمشاة، بالاستفادة من بنود حقوق المشاة في توسيع الأرصفة وزراعة أشجار ظليلة.
- ينبغي أن يكون التصميم واستخدامات الأراضي قائمين على اعتبارات واقعية ومناسبَين للأغراض الحالية، ولكن من المهم أيضًا التخطيط لاستيعاب كثافة الاستخدام في المستقبل بما يُيسر استخدام وسائل نقل ذات مسارات مخصصة لها على محور النقل.
- الحد من الاستخدامات الجديدة للسيارات على بعد 800 متر من منطقة المحطة.



الشكل 14: مثال للمشروعات الجديدة على طول محور النقل العام.

- ينبغي أن تكون المسارات التي تصل بين وسائل النقل محددةً بوضوح، وأن يُشار إليها بلافتات تسهُل قراءتها وفهمها.

نظرًا إلى أن هذا القسم المعني بالنقل مخصص لمشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام، فإن الصورة السابقة توضح أهمية إنشاء المشروعات الجديدة على طول محاور النقل. ويتضح هنا أن كل منطقة فاصلة تضم ثلاثة أنواع من الكثافة: الكثافة العالية في المركز (بما في ذلك مركز المدينة)، والكثافة المتوسطة، والكثافة المنخفضة.

نظام التنقل كخدمة – العميل في بؤرة الاهتمام

تقدم تطبيقات نظام التنقل كخدمة (MaaS) عدة أنواع من خدمات النقل مجمّعة في خدمة تنقل واحدة يمكن الحصول عليها عند الطلب (Signor, 2019). وتتولى هذه المنصات الرقمية تجميع البيانات المأخوذة من وسائل نقل متعددة، كالسكك الحديدية والحافلات وسيارات الأجرة والدراجات المؤجرة، وتحليلها لتتيح أمام العملاء عدة خيارات لتخطيط رحلاتهم. يتطلب ذلك على سبيل المثال أن يحصل مطوِّرو خدمات النقل الرقمية على بيانات جداول مواعيد وسائل النقل وشراء التذاكر رقميًا. وتتضمن مميزات خدمات النقل الرقمية الآتي:

- الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.
- الحد من الازدحام المروري على الطرق.
- تحسين جودة الهواء نتيجة خفض استخدام السيارات وتقليل ازدحام الطرق.
- تحسين صحة المستخدمين بتشجيع زيادة الاعتماد على وسائل التنقل التي تتطلب نشاطًا بدنيًا.
- رفع جودة تجربة الركاب بإتاحة نظام مبسط لشراء التذاكر.
- رفع كفاءة إدارة الطلب على التنقل والبنية التحتية لأنظمة النقل بالاستفادة من بيانات العملاء وبيانات حركة التنقل التي يحصل عليها المعنيون من تطبيقات خدمات النقل الرقمية.

وللحصول على المميزات المذكورة أعلاه، يجب أن تتحلى الجهات برؤية وإستراتيجية واضحتَين تستطيع من خلالهما توفير خيارات أكثر مرونة وبالمعلومات الصحيحة الخاصة بخدمات النقل العام وخدمات النقل عند الطلب. وينبغي أن يعمل أي تطبيق لخدمات النقل الرقمية بهذه الإستراتيجية، وأن تعي جميع الأطراف المعنية -الجهات المحلية، ومشغلو التطبيق، ومشغلو وسائل النقل- دورها في هذه المنهجية المتكاملة. فمن الضروري تبني رؤية شاملة لاحتياجات المستهلكين فيما يتعلق بوسائل النقل حتى يتسنى تحقيق الهدف من وراء تطبيقات خدمات النقل الرقمية وضمان تحقق جدواها البيئية والاجتماعية والاقتصادية والصحية.

أمثلة ناجحة لهذه التطبيقات

تطبيق ويم Whim: فنلندا (مدينتا توركو وهلسنكي) ومدن أنتويرب وفيينا واليابان.

تطبيق فين موبيل Wien Mobil: النمسا.

تطبيق موبيليتي شوب Mobility Shop: ألمانيا (مدينة هانوفر).

تطبيق أوبيجو UbiGo: العاصمة السويدية، ستوكهولم.

حقوق نشر الصورة: Good Design Award (G-Mark), https://www.g- mark.org/award/describe/49069?locale=en

الشكل 15: مثال لمفهوم تطبيقات خدمات النقل الرقمية، تطبيق ويم

إرشادات

يتوقف إنشاء نظام فعال متكامل ومترابط لخدمات النقل الرقمية على التركيبة السكانية، ومستوى "دراية العملاء بالتطبيقات والأنظمة الرقمية"، وتوفر البيانات، ووجود خدمات النقل، وتحقق مستوى كاف من التطور التقني، سواء من حيث البنية التحتية الرقمية أو تقنيات التطبيقات (Transit, 2021). أمَّا فيما يتعلق بالسكان والتركيبة السكانية، فيجب أن يكون لتطبيق خدمات النقل الرقمية قاعدة كافية من المستخدمين، ما يعني أنه من الأسهل إنشاء تطبيقات خدمات النقل الرقمية الضرورية والمفيدة في المناطق المكتظة بالسكان. كذلك تحتاج المناطق غير الحضرية لتلك الخدمات، لكن يجب أن تتخذ التطبيقات أشكالًا مختلفة فيها. وإجمالًا يتضح جليًّا أنَّ مراكز المدن هي المناطق التي تحتاج هذه التطبيقات بشدة، في حين أن المناطق الريفية يُحتمل ألا تحتاجها بالقدر ذاته.

- وتمثل منظومة النقل العام حجر الأساس الذي ترتكز عليه العديد من مبادرات تطبيقات خدمات النقل الرقمية. كما يمكن تقديم تشكيلة من خدمات النقل الخاص القائمة -مثل سيارات الأجرة- في العروض التي تقدمها هذه التطبيقات. علاوة على ذلك تضم هذه التطبيقات بعض وسائل النقل الجديدة تمامًا مثل الزلاجات الكهربائية. غير أن إنشاء منظومة متكاملة ومترابطة من تطبيقات خدمات النقل الرقمية يعتمد أساسًا على توفر وسائل النقل القائمة التي يمكن ضمها إلى خدمات النقل المدرجة في هذه التطبيقات.

ومن أجل التخطيط لتأسيس خدمات نقل رقمية فعالة وتنفيذها، يجب على الجهات المحلية التعاون مع مقدمي الخدمة ومشغلي وسائل النقل لتحقيق ما يأتي:

- إعداد خطة إستراتيجية لتشجيع ابتكار تطبيقات خدمات النقل الرقمية وفق السياق المحلي.
- ابتكار تطبيقات خدمات النقل الرقمية بطريقة منهجية.
- توسعة نطاق خدمات النقل الرقمية على المستوى الإقليمي لتصبح ذات كفاءة أكبر.
- وضع سياسات لركن السيارات واستخدام الشوارع لتشجيع تشارك المركبات.
- تشجيع ظهور مشروعات جديدة من خلال التوفيق بين معايير ركن السيارات ومعايير المشروعات السكنية (الجديدة)، وتقليص مساحات أماكن وقوف السيارات، وتخصيص مواقف للسيارات المُتشارَكة، وإتاحة المزيد من خدمات النقل الرقمية أمام السكان.

نظام إصدار التذاكر الموحد

تهدف خدمات (MaaS) إلى إرساء نظام موحّد لإصدار التذاكر يتبع هيئة النقل العام. وتتيح واجهة البيانات في تطبيق خدمات النقل الرقمية ومنصته -التي تضم نظام إصدار تذاكر النقل العام- إدراج مقدمي الخدمات المحليين في النظام، كما أنها تقدم مجموعة متنوعة من التذاكر الموحدة. فعلى سبيل المثال يمكن الجمع بين تذاكر النقل العام وتذاكر حضور الفعاليات، كذلك يمكن استخدام تذكرة الحافلة أو القطار نفسها في جميع أنحاء المنطقة. علاوة على ذلك تصلح التذكرة الواحدة للقيام بأربع رحلات (لكل اتجاه) في اليوم الواحد، وهو ما ينطبق أيضًا على التذاكر الموحدة.

البنية التحتية الأساسية

يجب أن تكون البنية التحتية الرقمية -لا سيما البنية التحتية في المناطق مثل شبكات الهواتف المحمولة-

كبيرةً بما يكفي لاستيعاب تدفق البيانات اللازمة لتشغيل خدمات النقل الرقمية. وينبغي أن توفر هذه الخدمات خيارات من وسائل نقل بديلة، فإذا لم تكن الشبكة الأساسية للمشاة وراكبي الدراجات ووسائل النقل العام وتأجير السيارات وما إلى ذلك متوفرة، فلن تتمكن خدمات النقل الرقمية من تقديم البدائل للمستخدمين. أيضًا يُسهم وجود مراكز لتجمُع وسائل النقل في ضم عدة خيارات من عروض النقل العام والتشاركي. وتتميز العروض المقدمة باعتمادها على وسائل نقل بعينها، بينما يتناسب اتساع نطاق الخيارات الذي تطرحه مع احتياجات كل منطقة. ويمكن أن تشمل الخيارات التي تقدمها هذه المراكز عددًا من خدمات النقل التشاركي والخدمات التي تقدَّم عند الطلب، منها الآتي:

- **النقل حسب الطلب:** أي توفير أنظمة خدمات نقل حسب الطلب تدعم سهولة التنقل في المدن والمراكز الحضرية.
- **تأجير المركبات:** بالوصول إلى شبكات متفرعة واسعة النطاق توفر المركبات عند الطلب للمستخدمين وخدمات تأجير السيارات للرحلات الطويلة.
- **نوادي السيارات قليلة الانبعاثات:** توفير خدمات تشارُك السيارات أو الشاحنات الصغيرة مع إتاحة المركبات الهجينة والمركبات قليلة الانبعاثات الكربونية عندما يصبح استخدامها في هذه التطبيقات مجديًا اقتصاديًا.
- **تشارُك استخدام الدراجات:** توفير خدمات استلام الدراجات وتسليمها (سواء الدراجات الهوائية والكهربائية) عند الطلب لدى مجموعة متنوعة من المواقع، سواء بغرض القيام برحلات الاتجاه الواحد (من نقطة ما إلى نقطة أخرى) أو ذهابًا وإيابًا.
- **دراجات التزلج الكهربائية:** توفير خدمة تأجير دراجات التزلج الكهربائية داخل المجمعات السكنية الخاصة سهلة الاستخدام للمشاة، وهو ما يمكن أن يتوسع لينتشر في مناطق أخرى.
- **تشارُك الرحلات:** تقديم خدمات تشارُك الرحلات في المركبات الهجينة والمركبات قليلة الانبعاثات مع توفير محطات شحن.

الربط بين الحركة والمكان

ترى منهجية الربط بين الحركة والمكان أن شبكات النقل تؤدي وظيفتين: فهي تنقل الأشخاص والبضائع، وتخدم أيضًا كمكان يقصده الأشخاص (أي أنها وجهة بحد ذاتها) (NSW Government, 2022b). يحثنا هذا التصور على الانتباه إلى عاملَين عند وضع تخطيط الشبكة وعند إنشائها، وهما تلبية احتياجات السكان في التنقل، واحتياجاتهم المحلية. ولعل أحد العناصر المهمة لنجاح مشروعات الربط بين الحركة والمكان هو تحقيق التكامل مع المنطقة المحيطة. لذلك ينبغي أن تتزامن خطة الربط بين الحركة والمكان المستقبلية مع إستراتيجية الشوارع والتنقل المنصوص عليها في "دليل التصميم الحضري" السعودي، التي وضعتها وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان في عام 2022.

الممارسات المثلى

طبقت أستراليا سياسة تخطيط الأماكن وفقًا للاحتياجات المحلية على مستوى إدارة الحكومات الفيدرالية وحكومات الولايات والحكومات المحلية، من خلال استشارة

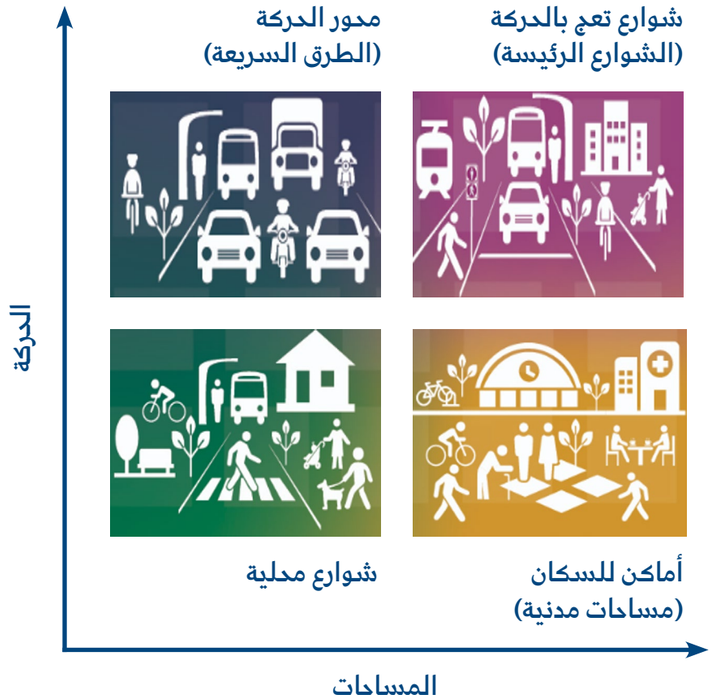
المؤسسات المجتمعية ووكالات التخطيط المختلفة على مدى العقود القليلة الماضية. ففي نيو ساوث ويلز يعكس الإطار الذي تتبناه المدينة للربط بين الحركة والمكان منهجيةً تعاونية لتخطيط المشروعات وتصميمها وتنفيذها وتشغيلها وفقًا لاحتياجات كل مشروع. أيضًا طبقت وزارة الزراعة في الولايات المتحدة الأمريكية منهجيات تخطيط الأماكن وفقًا للاحتياجات المحلية في سياق المتنزهات الوطنية والغابات. كذلك وضعت اسكتلندا إطار عمل قائم على تصميم الأماكن وفقًا لاحتياجات التجمعات السكانية المحلية. وتوجد حالات مماثلة في جميع أنحاء أوروبا، مثل ما في فرنسا وبولندا وإيطاليا وإسبانيا والبرتغال ودول أخرى.

الإرشادات

عند التخطيط لمشروع جديد، سواء أكان يقوم على أراضي بيضاء أم على التوسع الحضري، يأتي الربط بين المكان والحركة ضمن أهم العوامل. فعلى سبيل المثال تحدد الظروف المحلية المختلفة أولويات التخطيط للحركة داخل المشروع وفي محيطه، ونوعية المكان وتصميمه وشكله الجمالي. ويقدم الرسم التخطيطي التالي توضيحًا مبسطًا لهذه الفكرة.

في الغالب لا يضع تصميم الطرق السريعة طابع المكان ضمن أولوياته، إذ ينصب الاهتمام على توفير حركة مرور سريعة دون عوائق. يختلف ذلك بوضوح عن الوضع في القرى الصغيرة والمناطق الريفية على سبيل المثال، التي يمكن القول إن عملية الحركة تحظى فيها باهتمام أقل، في حين تزداد قيمة إحساس الارتباط بالمكان وطابعه. وتقع العديد من المشروعات في منطقةٍ وسط بين هذين الاعتبارَين، مثل مشروعات مراكز المناطق السكنية الجديدة التي تحتاج إلى مستويات كبيرة من الحركة وإلى الارتقاء بجودة المكان.

جدير بالذكر أن مفهوم الربط بين الحركة والمكان ينبغي أن يتخذ حيزًا كبيرًا في النقاشات التي تسبق التخطيط، ما يسهم بدوره في وضع خطط إستراتيجية قصيرة الأجل وطويلة الأجل للمواقع.



حقوق نشر الصورة: Movement and Place Framework, NSW Government, Australia
<https://www.movementandplace.nsw.gov.au>

الشكل 16: مفهوم منهجية الربط بين الحركة والمكان

مصطلحات أساسية

مسارات الدراجات: مسار الدراجات الهوائية أو النارية هو جزء منفصل من الطريق يخصص للدراجات. وتتبع مسارات الدراجات نفس اتجاه حركة السيارات وغالبًا تُحدد بإشارات ولافتات مميزة لتعيينها بوضوح. كما تحتوي التصميمات المبتكرة لمسارات الدراجات على أرصفة ملونة ومسارات منفصلة عن مسار المركبات وممرات للدراجات النارية في المناطق الحضرية. ولا تسير السيارات في تلك الممرات، كما ينبغي للسائقين الابتعاد عن هذه المسارات عندما يكون خط تحديدها متصلًا، بينما يمكنهم العبور أو الانعطاف عندما يكون الخط متقطعًا.

حقوق نشر الصورة: Shutterstock

الشكل 17: مسار للدراجات

تشارُك استخدام الدراجات: نظام تشارُك استخدام الدراجات هو خدمة توفِّر الدراجات للأفراد الذين لا يملكونها، حيث يستأجر المستخدمون الدراجات من خلال اشتراكات يومية أو سنوية أو حتى لكل استخدام. وتتمثل المزايا الرئيسة لنظام تشارُك استخدام الدراجات في إتاحة استخدام الدراجات مجانًا أو بتكلفة منخفضة للرحلات قصيرة المسافة في المناطق الحضرية، بوصف هذا بديلًا لوسائل النقل العام أو المركبات الخاصة، وهو ما يسهم في تخفيف الازدحام المروري والضوضاء وتلوث الهواء في المنطقة.

حقوق نشر الصورة: Ghetty

الشكل 18: خدمة تشارك الدراجات

تطوير المواقع المهجورة (Brownfield) : هي أراض سبق تعميرها ولم تعد مستخدمة في الوقت الحالي. وربما تحتوي هذه المواقع على هياكل إنشائية يكون من الممكن

حقوق الصورة: Water Boards, California

الشكل 19: أحد مشروعات المواقع المهجورة

تجديدها، أو قد تحتاج إلى إنشاء بنية تحتية جديدة لتواكب المشروع المزمع إقامته عليها. لذلك تتطلب إعادة تطوير المواقع المهجورة إعادة تأهيل قطع معينة من الأرض لاستخدامها لغرض جديد بعد انقطاع استخدامها لغرض سابق. وتُمثِّل إعادة تطوير الأراضي المهجورة عملية معقدة يشارك فيها العديد من الأطراف الفاعلة التي تملك العديد من المصالح في المنطقة، وتتمثل في ملاك الأراضي والمواطنين والمستثمرين ومخططي المناطق الحضرية والأراضي والسياسيين.

حقوق الصورة: Wolfram Burner on Flickr

الشكل 20: مسارات النقل السريع بالحافلات

النقل السريع بالحافلات (BRT): يُطلق عليه أيضًا اسم شبكة خطوط الحافلات، ويستخدِم هذا النظام الحافلات لتقديم خدمة نقل عالية السرعة والكفاءة. ولعل أبرز العوامل التي تؤدي إلى رفع كفاءة هذا النظام هي توفير مسارات مخصصة للحافلات وخدمات أكثر تواترًا وتقنيات جديدة.

حقوق نشر الصورة: The Canadian press/Larry MacDougal

الشكل 21: خدمة تشارُك السيارات

تشارُك السيارات: تشارُك السيارات هو أحد أنظمة التأجير قصير الأجل للسيارات بنظام السداد مقابل الاستخدام، ما يتيح استخدام السيارات دون تحمل التكلفة الباهظة لامتلاكها مثل أسعار الوقود والصيانة والتسجيل والضرائب ورسوم المرور والتأمين والنظافة. ويتناسب هذا النظام مع ظروف الأشخاص الذين يحتاجون إلى سيارة من حين إلى آخر والذين يقطنون مناطق تتوفر فيها مساحات محدودة لمواقف للسيارات والذين يحتاجون كذلك إلى استخدام

أنواع مختلفة من السيارات لأغراض متنوعة.

مشروعات الأراضي الخضراء: الأرض الخضراء هي أرض لم تُقم عليها أي مشروعات بعد، ولكن تقع في نطاق منطقة حضرية أو قروية، ويرغب مطورو الأراضي في إنشاء المشروعات عليها.

تطوير الأراضي الشاغرة غير المنماة: مشروعات التنمية الجديدة التي تقام داخل نطاق مشروع قائم. ومن بين مميزات هذه المشروعات قدرتها على تحقيق الربط بالبنية التحتية القائمة، مثل شبكات المياه والصرف الصحي وتجميع مياه الأمطار والكهرباء والاتصالات والنقل العام والطرق، دون الحاجة إلى توسيع نطاق المشروع ما قد يسهم في خفض تكلفة بنيته التحتية.

الجهة المحلية: تُعد الجهة المحلية (المعروفة أيضًا باسم جهة التخطيط المحلية) الهيئةَ الحكومية المحلية المخولة بموجب القانون بممارسة التخطيط الحضري لمنطقة معينة وتنظيم المشروعات فيها.

نظام التنقل كخدمة هي خدمات تحقق تكامُل أنواع عديدة من خدمات النقل المجمّعة في خدمة تنقُّل واحدة يمكن الحصول عليها عند الطلب. بعبارة أخرى، تتيح خدمات النقل الرقمية للمستخدمين الترتيب لاستخدام أنواع متعددة من خدمات التنقل وحجزها من خلال قناة رقمية مشتركة.

مراكز تجمُع وسائل النقل: مراكز تجمع وسائل النقل هي أماكن تقع داخل التجمعات السكنية، تجمع بين وسائل النقل العام وخدمات تشارك الدراجات والسيارات وغيرها من السبل التي تتيح للأشخاص التنقل بدون استخدام المركبات الخاصة.

الاستخدام المختلط: تتميز المشروعات التي تعتمد على مزيج من الاستخدامات بأنها مشروعات ملائمة للمشاة، تمزج بين اثنين أو أكثر من استخدامات الأراضي للأغراض السكنية أو التجارية أو المكتبية أو الثقافية أو المؤسسية أو الصناعية. ويُعد المزج بين استخدامات مختلفة للأراضي عنصرًا مهمًا للنمو الذكي، وهو إستراتيجية تخطيط تتبنى مفهوم التصميم وإقامة المشروعات السكنية بطريقة تخدم الاقتصاد والتجمعات السكانية والصحة العامة والبيئة.

تقاسم وسيلة النقل: يشير إلى تقسيم المستخدمين إلى فئات حسب واحد من أنماط التنقل. فمثلًا نجد أن المشي وركوب الدراجات مثالان على وسائل التنقل غير المزودة بمحركات، في حين أن السيارات الخاصة ووسائل النقل العام والحافلات الخاصة وسيارات الأجرة أمثلةٌ على وسائل النقل ذات المحركات.

الربط بين الحركة والمكان: هذه منهجية متعددة التخصصات تقوم على مفهوم تخطيط شبكات النقل وتصميمها وتنفيذها وتشغيلها وفقًا للاحتياجات المحلية. تُعنى هذه المنهجية بشبكة الأماكن العامة الناتجة عن إنشاء الطرق والشوارع، التي تربط بين هذه الطرق والشوارع وتؤثر فيها، كما تسعى هذه المنهجية لتحقيق أقصى كفاءة طاقة في هذه الشبكة من الأماكن العامة.

النقل متعدد الوسائل: يضم النقل متعدد الوسائل شبكات النقل التي تعتمد على وسائل نقل متعددة ومترابطة للنقل العام والمواصلات، مثل خطوط الحافلات المتصلة بخطوط المترو، التي تتصل بدورها بمرافق تشارُك الدراجات ثم بعربات الترام ثم بالنقاط المخصصة لإنزال الركاب.

المسارات المشتركة (علامة مرسومة على أرض الطريق): تشير هذه العلامة إلى أن راكب الدراجة له الحق في السير في المسار نفسه مع راكب السيارة. ويتعين على سائقي السيارات توخي الحذر عند استخدام هذه المسارات مع راكبي الدراجات، إذ يجب الابتعاد عن راكبي الدراجات بمسافة تبلغ 3 أقدام عند محاولة تجاوزهم، وتجنب الاقتراب الشديد عند السير وراءهم. ويشير رسم العلامة على الطريق إلى ضرورة ترك مسافة معقولة لمرور راكبي الدراجات. وقد تكون الأسهم في بعض الأحيان أقرب إلى وسط المسار، وقد لا توضع دائمًا داخل المسار. وبغض النظر عن مكان وضع هذه العلامات، فإن لراكبي الدراجات عمومًا الحق في استخدام المسار بشكل كامل بموجب القانون.

النمو الذكي: النمو الذكي هو أحد منهجيات التخطيط الحضري التي تُعنى بالمشروعات الواقعة في المناطق المتضامة المواتية للسير على الأقدام، وتسعى إلى الحد من التمدد العمراني وما ينجم عنه من ازدحام مروري. ويشجع النمو الذكي إقامة أنواع المشروعات التي يمكن أن توصف بأنها: مواتية للدراجات، وكثيفة العمران، ومحفزة لاستخدام وسائل النقل العام، وتتيح مزيجًا من الاستخدامات المختلفة للأراضي، وتتميز بإتاحة خيارات سكنية ومرافق متنوعة.

محور النقل: محاور النقل هي المناطق المحيطة بجميع المحطات على طول خطوط النقل التي يمكن فيها المشي. وتسهم تقنيات النقل المختلفة في تحديد طابع المناطق المعنية.

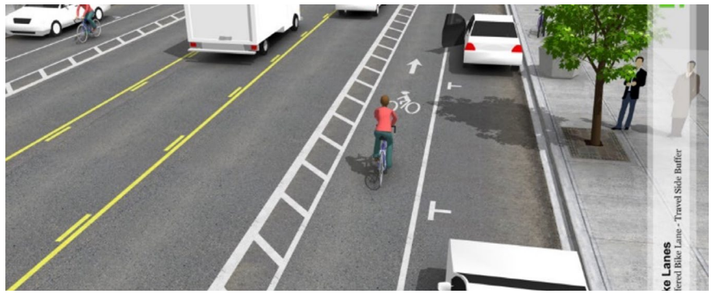
محطة النقل العام: هي محطة ركاب تندرج تحت أنظمة النقل الجماعي باستخدام المركبات أو السكك الحديدية. وتوفر المرافق الموجودة بمحطات النقل العام الصيانة والخدمات للمركبات العاملة ضمن نظام النقل العام، من ذلك الحافلات وسيارات الأجرة والسكك الحديدية وغيرها.

التمدد العمراني: يُشير هذا المصطلح إلى المشروعات رديئة التخطيط ومنخفضة الكثافة والمعتمِدة على استخدام السيارات المنتشرة على رقعة كبيرة من الأرض. ويتميز هذا النوع بوجود مسافات طويلة بين المنازل والمتاجر وأماكن العمل، ما ينتج عنه قدر كبير من الانعزال بين المناطق السكنية والمناطق التجارية. وغالبًا ما ينتج عن ذلك آثار بيئية واجتماعية سلبية، منها الازدحام المروري وتلوث الهواء وفقدان الغابات والأراضي والمجتمعات الزراعية.

الكيلومترات المقطوعة بالمركبة: يقيس هذا المؤشر عدد الكيلومترات التي تقطعها المركبات المزودة بالمحركات خلال فترة زمنية معينة وفي منطقة معينة.

حقوق نشر الصورة: Oxford Properties Group Inc

الشكل 22: مشروعات تمزج بين عدة استخدامات للأراضي



حقوق نشر الصورة: NACTO

الشكل 23: مسار مشترك

حقوق نشر الصورة: Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority

الشكل 24: أحد محاور النقل العام

قائمة الامتثال للمواصفات

القائمة	نعم	لا	لا ينطبق
الكثافة: يجب أن يتراوح عدد السكان بين 1000 و 10,000 نسمة لكل كيلومتر مربع كحد أدنى حسب مقياس الكثافة الذي يضم فئات الكثافة المنخفضة والمتوسطة والعالية ومركز المدينة.			
متطلبات تصريح البناء: زيادة نسبة البناء من مساحة الأرض لتصل إلى 5% كحد أدنى لمراكز المدن الحضرية و5%-2% للعقارات متعددة الوحدات السكنية ذات الكثافة المنخفضة إلى الكثافة العالية، مع تشجيع المشي وربط التجمعات السكنية بالمرافق القريبة.			
استخدام الأراضي ذات الكثافة المنخفضة: يجب أن تقع المرافق المحلية (المساجد والحدائق الصغيرة وغيرها) في نطاق 500 متر من المنازل، وأن تكون المرافق المستخدمة على مستوى التجمع السكني عمومًا (صالات الألعاب الرياضية والمتاجر الكبيرة وغيرها) في نطاق 1500 متر من المنازل.			
استخدام الأراضي ذات الكثافة المتوسطة: يجب أن تقع المرافق المحلية في نطاق 400 متر من المنازل، وأن تقع المرافق المستخدمة على مستوى التجمع السكني عمومًا في نطاق 1300 متر من المنازل.			
استخدام الأراضي ذات الكثافة العالية: يجب أن تقع المرافق المحلية في نطاق 300 متر من المنازل، والمرافق المستخدمة على مستوى التجمع السكني عمومًا في نطاق 1000 متر من المنازل.			
استخدام الأراضي في مركز المدينة الحضرية: يجب أن تقع المرافق المحلية في نطاق 250 مترًا من المنازل، والمرافق المستخدمة على مستوى التجمع السكني عمومًا في نطاق 800 متر من المنازل.			
مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام: يجب تخطيط مواقع محطات النقل لتكون على بعد مسافة سير مثالية تبلغ 400-250 متر للوصول إلى مقار العمل و800-400 متر في المناطق السكنية، حيثما أمكن ذلك. ويجب أن تبلغ مساحة الأرض المخصصة لأحد المشروعات الموجهة لاستخدام وسائل النقل العام 400-300 فدان. كذلك يجب أن تكون الأرصفة واسعة: من 1.8 إلى 2.5 متر كحد أدنى، ويمكن أن يصل اتساعها إلى 4.5 متر حسب كثافة التدفق المروري.			

ويمكن التعرف على قائمة الامتثال للمواصفات الخاصة بمدينة الرياض بمراجعة "دراسة مشروعات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام في مدينة الرياض" Riyadh Transit Oriented Development Study الصادرة عن الهيئة الملكية لمدينة الرياض. ومع ذلك يمكن أن تتباين قوائم المواصفات باختلاف المشروعات، ولذا ينبغي مواءمتها مع الخصائص المحلية.

أنظمة تبريد المناطق

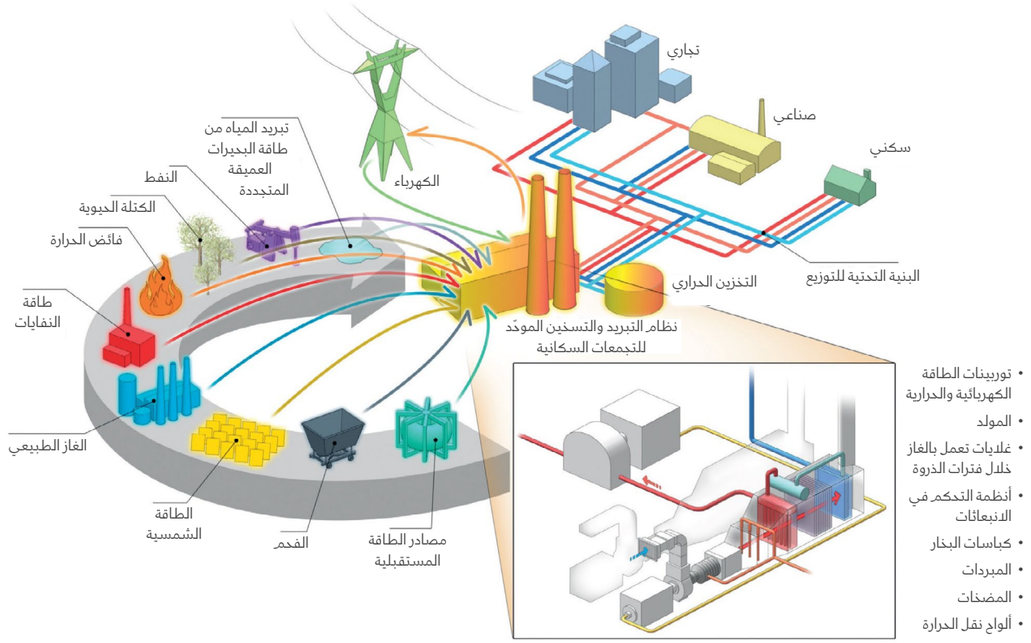
أنظمة تبريد المناطق

مدخل

تتولى أنظمة تبريد المناطق تبريد عدة مبانٍ أو منشآت من خلال محطة تبريد مركزية واحدة أو أكثر تتصل بالمساحات التي يشغَلها المستهلكون بشبكة من الأنابيب. وتتسم هذه الوسيلة بدرجة عالية من الكفاءة تُستخدم في إنتاج طاقة حرارية مولَّدة محليًا لتبريد المنازل والمنشآت التجارية والمؤسسية والنشاطات الصناعية. كما تعمل هذه الأنظمة على تجميع الطاقة المطلوبة في عدد كبير من المباني داخل شبكة طاقة واحدة، وذلك لتحقيق عائدات الإنتاج الضخم (وفُورات الحجم) بحيث يصبح استخدام هذه الأنواع من الوقود مفيدًا.

وتساعد أنظمة تبريد المناطق على حماية البيئة من خلال رفع كفاءة الطاقة وخفض الانبعاثات البيئية التي تشمل ملوثات الهواء وغازات الدفيئة وثاني أكسيد الكربون وسوائل التبريد المدمرة لطبقة الأوزون. كما أن نقل عملية إنتاج طاقة التبريد إلى إحدى المحطات في منطقة بعينها يحقق مركزية التشغيل والصيانة ويزيح أعباء الصيانة عن مُلاك المباني.

ويمكن تحقيق هذا كله من خلال إعادة استخدام الطاقة المهدرة واستغلالها بأمان في تطبيقات التبريد.



الشكل25: يمكن استخدام مصادر وقود متعددة في تبريد المناطق (Community, 2012)

إن الماء هو العنصر الأساسي في أنظمة تبريد المناطق، لذا يجب استخراج الماء من طبقات المياه الجوفية أو البحيرات أو الأنهار أو البحار الموجودة في المنطقة المعنية ومعالجته. بعدها تتولى محطات إنتاج الماء المُبَرَّد وتوزيعه من خلال أنابيب المياه (شبكة التوزيع) إلى المباني المزودة بمحطات نقل الطاقة (محطات فرعية). بعد ذلك تنقل المياه المبرَّدة بعض خصائصها التبريدية إلى المرافق التي جرى تركيبها في المبنى. وتعمل أنظمة التبريد داخل دائرة مغلقة تحتوي عادة على الأقل على خطي أنابيب للمياه ، واحد لنقل المياه المبرَّدة إلى المستخدم النهائي وآخر لإرجاعها إلى محطة الإنتاج. يعني ذلك أن أنظمة تبريد المناطق تتألف من أربعة عناصر رئيسة، هي:

- عمليات استخراج المياه ومعالجتها.
- محطات إنتاج أنظمة تبريد المناطق.
- شبكات توزيع.
- محطات نقل الطاقة.

الممارسات المثلى

يعرض هذا القسم تحليلًا للبنية التحتية الحالية في المملكة العربية السعودية، ويقدّم توصيات لتطوير أنظمة تبريد المناطق وتوفير الطاقة.

وتتباين النماذج المثلى لتصميم كل واحد من هذه العناصر وفقًا لمجموعة من الظروف المحيطة بكل حالة على حدة، مثل:

- خصائص الأحمال الموسمية واليومية.
- نوع حمل التبريد وجميع الاشتراطات المحددة الخاصة بموثوقية نظام التبريد.
- حجم موقع المحطة وأي ظروف أو معوقات متعلقة به.
- كثافة المنشآت في المنطقة وسمات المباني التي تتلقى الخدمة.
- مدى توفر الكهرباء والمياه والغاز الطبيعي في المنطقة وأسعارها.
- المواصفات والضوابط المحلية.
- أثر البنية التحتية في عملية مد الأنابيب.
- الموارد المؤسسية.
- المعايير المالية والأهداف الإستراتيجية للشركة المقدِّمة لخدمات تبريد المناطق.

تُعدّ الجدوى الاقتصادية أحد العوامل المحورية التي تحدد جدوى أنظمة تبريد المناطق، إذ يتطلب تصميم هذه الأنظمة اختيارًا دقيقًا لموارد المياه وآليات إدارتها، وتنويع الأحمال، واختيار عمليات التشغيل المثلى، والاستثمار في التقنيات المتطورة اللازمة. فبالنظر إلى أن استخراج المياه ومعالجتها يستهلك ما لا يقل عن 10% من مصادر الطاقة في المنظومة، وبالأخذ في الحسبان ندرة الموارد، فلا بد هنا من استخدام الموارد المائية بحذر ومن خلال رؤية اقتصادية واعية. لذلك من الممكن تنويع الأحمال بإنشاء أنظمة لتبريد المناطق لكل من القطاعين السكني والتجاري، إذ إنه من المعروف أن أوقات الذروة في احتياجات التبريد تتفاوت وفقًا لنوع المبنى. لذلك عندما تُوَزَّع أحمال التبريد على مدار اليوم، تبقى معدلات تشغيل المعدات ثابتة إلى حد بعيد، وهذا يخفض من تكلفة تشغيلها ويحد من الحاجة إلى صيانتها.

أخيرًا تسهم التقنيات المتقدمة في خفض استهلاك الماء والطاقة بصورة ملحوظة. ومن بين هذه التقنيات الواعدة نجد خزّانات الطاقة الحرارية، والمبردات التي تعمل بالغاز الطبيعي، والمبردات الحرارية العكسية التي تعمل بالطاقة الشمسية، ونفايات الصرف الصحي المعالَجة. تجدر الإشارة هنا إلى ندرة نفايات الصرف الصحي المعالَجة، وهو يشكل تحديًا كبيرًا يجب التصدي له بمشروعات التنمية والحلول المبتكرة. لذلك ينبغي تقييم التقنيات والمعدات المتاحة خلال عملية تخطيط المدن الجديدة لاتخاذ التدابير المناسبة.

التبريد في المملكة العربية السعودية: آفاقه المستقبلية وملاءمته للسياق المحلي

في المملكة العربية السعودية يشكل التبريد أكثر من 70% من ذروة الطلب على الكهرباء السكنية في الأيام شديدة الحرارة، وذلك وفقًا لتقديراتٍ وردت في بحوث منشورة وورش عمل عُقدت بالتعاون مع أطراف حكومية معنية. ويعد استهلاك الكهرباء في المملكة حتى اليوم أحد المسببات الرئيسة لانبعاثات الكربون في الدولة. إلا أن التقنيات الحديثة والنظيفة يمكن أن تسهم في إزالة الكربون في قطاع الكهرباء دون الحاجة إلى تغيير سلوك المستهلكين.

وتواجه جهود تكييف الهواء في المملكة العربية السعودية التحديات الآتية: نقص الأحواض الباردة الطبيعية (مثل الهواء والماء) التي تلزم إما للتبريد المباشر أو لسحب الحرارة في أنظمة تكييف الهواء، وندرة المياه الطبيعية، وتزايد الطلب على طاقة التبريد بسبب زيادة التعداد السكاني والتطور الاقتصادي، وارتفاع استهلاك الكهرباء للفرد الواحد، والاعتماد الشديد على الوقود الأحفوري في العديد من الاستخدامات ومنها التبريد، مع ما يصاحب ذلك من تداعيات بيئية، وارتفاع حجم التمويل الحكومي الداعم لتسعيرة المرافق، والحاجة إلى مزيد من التشريعات المنظِّمة لعمليات تبريد الهواء والتوسع العمراني. لذا صار من الضروري الاهتمام بنظم تبريد المناطق، بحيث تصبح هذه النظم أكثر حلول التبريد فعّالية.

الإرشادات العامة لأنظمة تبريد المناطق

تتطلب عملية تبريد المناطق تبريد مبانٍ أو منشآت متعددة بواسطة محطة تبريد مركزية واحدة أو أكثر تتصل بالمستخدمين بشبكة من الأنابيب. وتهدف مشروعات تبريد المناطق إلى الآتي:

- خفض إجمالي استهلاك التجمعات السكنية من الطاقة.
- تخفيف ذروة الطلب على الطاقة والضغط على البنية التحتية عن طريق موازنة الأحمال.

المعايير	الوصف
الحد الأدنى من الاعتبارات	• التنوع في تشارك أو طلب الأحمال (استخدامان مختلفان أو أكثر للمباني بأحمال مكمِّلة لبعضها البعض) • كثافة السكان في المشروع وحجمه (بحد أدنى 50,000-5000 شخص، كثافة متوسطة = 10 أسر/ هكتار) • استخدامات الأرض الخاضعة لمشروع التطوير
اعتبارات إضافية	• إمدادات المياه • إمدادات الطاقة • التكلفة/التشغيل طويل الأمد • فرص المشروعات التجارية
التطبيق الموصى به	• مناطق مقام عليها مشروعات لاستخدامات مختلفة • مراكز مدن • مشروعات سكنية كثيفة السكان • قواعد عسكرية/حرس وطني • شبكة مبانٍ (تابعة لجامعة أو مستشفى)

توجد بعض الظروف التي تجب مراعاتها عند إنشاء أنظمة تبريد المناطق خلال تخطيط المشروعات في الحواضر والمدن والأراضي الحضرية غير المنماة، وهي:

- كون التجمعات السكنية الجديدة تخلق بيئة حضرية كثيفة السكان يمكن معها الاعتماد على تقاسم الموارد.
- عند التخطيط لمشروعات إنشاء مبانٍ جديدة أو تطوير مواقع أراض بيضاء،لا سيما المشروعات الموجهة نحو وسائل النقل.
- إذا كان العمر الافتراضي لأنظمة التبريد في بعض المباني القائمة قد أوشك على الانتهاء وأصبحت بحاجة إلى الاستبدال.
- إذا كانت بعض المباني أو المشروعات القائمة تحت الترميم، أو كان أحد المواقع المهجورة أو المشكوك في تلوثها يخضع لعملية التنظيف البيئي تمهيدًا لتطويره.
- إذا ظهرت مخاوف لدى المسؤولين عن أحد التجمعات السكانية أو شبكات المباني تجاه أمن الطاقة وتقلب الأسعار والتكلفة على المدى الطويل.
- إذا ظهرت مشكلات نتيجة حدوث تكدس في شبكات توزيع الكهرباء أو ظهور ما يعوق تقديم الخدمة.
- إذا سنحت فرصة تجارية للتربح من بيع الطاقة.

تحديد الفرص الملائمة لإنشاء أنظمة تبريد المناطق

يتطلب إنشاء أنظمة تبريد المناطق التنسيق الدقيق بين عدة عوامل لتحسين كفاءتها. فلا بد من استحداث أفكار مبتكرة لتنفيذ مشروعات إمدادات الكهرباء والموارد المائية وتصريف المياه في أنظمة التبريد، وذلك لتلبية المتطلبات بكفاءة. ولأن مميزات محطات التبريد وأنظمة التبريد تتباين تباينًا كبيرًا، فإن الاختيار الدقيق لتصميم المحطات يضمن الاستفادة المثلى من هذه المميزات. ويعتمد تصميم المحطات على تخطيط المدن وتكلفة إقامة المحطات والمبادئ الهندسية. لذا من الضروري تحقيق الموازنة بين هذه العوامل الرئيسة للوصول إلى أنظمة تبريد للمناطق تتمتع بأعلى درجات الكفاءة، مع مراعاة تنوع خصائص المناطق المناخية داخل المملكة العربية السعودية.

جدير بالذكر أن التجمعات السكنية المتضامة التي تتنوع فيها المباني من حيث الكثافة والاستخدامات تقدم فرص استخدام أفضل للطاقة في أنظمة تبريد المناطق، كما أنها تتميز بكثافة سكانية عالية تسهم في الحد من التمدد العمراني وتدعم جودة أنظمة النقل العام. كذلك فإن وجود تجمع سكني متضام ومتنوع يجعل المنشآت السكنية والمدنية والتجارية والثقافية والترفيهية على بعد مسافات قصيرة بعضها من بعض بحيث يسهل قطعها مشيًا. هذه العوامل مجتمعة -إلى جانب استخدام الطاقة وأنظمة التبريد في المنطقة- تخلق بيئة جاذبة للسكن والعمل. كما يسهم المزج الجيد بين الاستخدامات المختلفة للمباني في زيادة الجدوى المالية للمشروع ويجذب انتباه الجهات التجارية المقدمة لخدمات الطاقة والمستثمرين والممولين.

نوع الحي السكني	الكثافة السكنية	كثافة السكان	مزيج الاستخدامات	كفاءة استهلاك الطاقة	العائد المادي	مزايا أخرى	يوصى به
كثافة منخفضة	4-8 أسر/هكتار	1000–3999 نسمة /كم^2	0%	لا، فشبكة التوزيع الممتدة على مساحة واسعة تقلل من كفاءة استهلاك الطاقة في النظام.	لا، فشبكة التوزيع الممتدة على مساحة واسعة تزيد من تكلفة البنية التحتية	لا ينطبق	لا
كثافة متوسطة	9-14 أسرة/ هكتار	4000 – 6999 نسمة /كم^2	15-20%	نعم، يحقق النظام كفاءة أكبر في استهلاك الطاقة من وحدات التمديد المباشر المنفصلة	لا، ليس دون حوافز؛ إذ إن التكلفة المنخفضة للطاقة في المملكة تطيل الوقت المطلوب لجني العائدات من الاستثمار فيها ليتجاوز عمر المعدات	لا ينطبق	يُنصَح بإجراء دراسة
كثافة عالية	15 20- أسرة/ هكتار	7000 – 9999 نسمة/كم^2	35-40%	نعم، إنها أعلى كفاءة بكثير من وحدات التكييف المباشر المفردة.	قد يعوض التوفير في الطاقة الأموال المنفقة في الاستثمار، ولكن تقديم الحوافز سيجلب العائدات في وقت أقل	قدرة أكبر على مضاعفة الأداء وتحسين الاعتمادية، تنويع لاستخدامات الأراضي وعمال التشغيل والصيانة، لا حاجة إلى إقامة أبراج فوق أسطح المنازل	نعم
مركز المدينة	> 20 أسرة/هكتار	>10,000 نسمة/كم^2	>40%	نعم، إنها أعلى كفاءة بكثير من وحدات التكييف المباشر المفردة ولكنها تتمتع بكفاءة معادلة لكفاءة سلسلة من محطات المرافق المركزية	قد يعوض التوفير في الطاقة القدر المستثمر من الأموال، ولكن تقديم الحوافز سيؤدي إلى جني العائدات في وقت أقل	قدرة أكبر على مضاعفة جودة الأداء وتحسين الاعتمادية، تنويع لاستخدامات الأراضي وعمال التشغيل والصيانة، لا حاجة إلى إقامة أبراج فوق أسطح المنازل	نعم

تحقيق كفاءة الطاقة وفقًا لعدة سيناريوهات ومعايير

أثبت استخدام أنظمة تبريد المناطق قدرةً على خفض استهلاك الطاقة مقارنة بأنظمة التبريد التي تقام داخل كل منشأة على حدة. يعود ذلك بدرجة كبيرة إلى الكفاءة العالية لمحطات التبريد المركزية الضخمة التي تعمل بالماء المبرد، مقارنة بأنظمة التبريد محدودة السعة التي تقام داخل كل منشأة. علاوة على ذلك فإن تخزين الطاقة الحرارية المستخدمة في التبريد يجعل معظم استهلاك الطاقة الكهربائية/الحرارية يحدث خارج فترات الذروة، وهذا يسهم في رفع كفاءة استهلاك الطاقة. فعلى سبيل المثال ذكرت إحدى الشركات الرائدة في مجال أنظمة تبريد المناطق أنها وفرت ما قدره 0.78 كيلوواط/ساعة (46%) في المتوسط لكل طن/ساعة تبريد في العديد من أنظمة تبريد المناطق التقليدية التي تعمل بالماء المبرَّد في دول مجلس التعاون الخليجي، مقارنة بوحدات تبريد المباني التي تعمل بالهواء البارد. جدير بالذكر أن هذا النوع من أنظمة تبريد المناطق يعتمد على كبس البخار الذي تولده الطاقة الكهربائية الأحفورية وعلى خطط/ممارسات تشغيل تقليدية وليس على خطط/ممارسات تشغيل متطورة تهدف إلى حفظ الطاقة.

كذلك يمكن توفير الطاقة في أنظمة تبريد المناطق باستخدام مصادر مستدامة للطاقة، وتقنيات مستدامة للتبريد والتخزين وتوزيع التبريد، مع الحرص على وضع الإستراتيجيات التنظيمية المناسبة.

- إن الاستغناء عن أنظمة التبريد المعتمدة على كبس البخار التي تعمل بطاقة الكهرباء الأحفورية والاستعاضة عنها إما بأنظمة التبريد المعتمدة على كبس البخار التي تعمل بطاقة الكهرباء المتجددة أو بأنظمة التبريد التي تعمل بامتصاص الحرارة المهدرة/المتجددة، أو كلا النظامين معًا (وهما الخياران اللذان خضعًا لكثير من الدراسة والبحث) أسفر عن عدة حالات انخفض فيها استهلاك الطاقة في أنظمة تبريد المناطق (بنسبة بلغت من 10% إلى 70%)، تباينت تبعًا لتصميم النظام أو أسلوب تشغيله ومنهجية نمذجته. ومن المعروف أن مميزات تخزين طاقة التبريد الحرارية تتزايد في المناطق التي تشهد تباينات كبيرة في درجات حرارة البيئة المحيطة بين النهار والليل في اليوم الواحد، مثلما هي حال مناخ دول مجلس التعاون الخليجي. كما أن تشغيل أنظمة التبريد خارج فترات الذروة يُعدّ واحدًا من مميزات تخزين الطاقة الحرارية، ما من شأنه أن يحقق الآتي:
  - خفض الطلب على الكهرباء في فترات الذروة.
  - خفض تكلفة الطاقة لكل من الجهة المتعهدة بتوفير خدمة التبريد والمستهلك.
  - رفع كفاءة استهلاك الطاقة الحرارية الشمسية من خلال امتصاص فائض الحرارة أو الكهرباء المتولد في أثناء فترات سطوع الشمس واستخدامه خلال فترات الطلب على الطاقة في الأوقات غير المشمسة.
  - خفض متطلبات سعة ووحدات التبريد.
  - رفع القدرة على الاعتماد على أنظمة التبريد بتخزين الطاقة الحرارية لتكون موردًا احتياطيًا.

إضافة إلى خفض استهلاك الطاقة عن طريق تشغيل عمليات التبريد لتكون على مستوى المنطقة، تستطيع أنظمة تبريد المناطق الحد من استهلاك الطاقة باستخدام تقنيات موفرة للطاقة في استخراج الماء أو تحليته، من ذلك الاستعانة بمصادر الطاقة المتجددة في تزويد محطات التبريد بالطاقة ورفع كفاءة المعدات.

الشكل 26: محطة الشعيبة لتحلية المياه في المملكة العربية السعودية (شركة أرامكو ARAMCO)

الشكل27: أنظمة التبريد داخل إحدى محطات تبريد المناطق (شركة أرامكو ARAMCO)

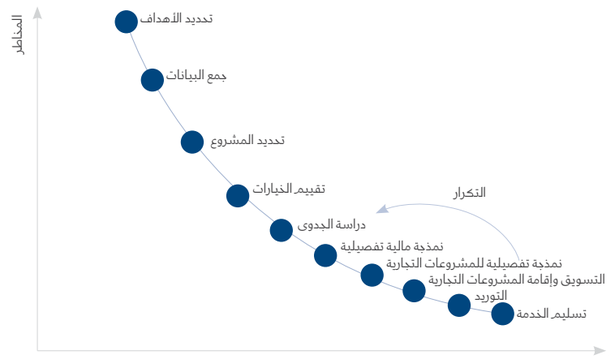
مسار مشروعات تبريد المناطق

تحديد أهداف مشروعات تبريد المناطق ودورة حياتها

مسار مشروعات أنظمة تبريد المناطق

بحسب بيانات المؤسسة الدولية لطاقة المناطق، توجد منهجية موثوقة لتطوير أنظمة تبريد المناطق تضمن الحد من مخاطر النهوض بهذه المشروعات. تتبع هذه المنهجية مسارًا تسلسليًا يبدأ من الخطوات الأولية وصولًا إلى تسليم الخدمة، وينقسم إلى عشر مراحل موصى بها لإقامة أنظمة تبريد المناطق:

- **المرحلة الأولى:** دراسة الأهداف التي تتبناها عادة التجمعات السكانية والجهات البلدية لتأسيس أنظمة تبريد المناطق.
- **المرحلة الثانية:** تحديد أنماط البيانات المطلوب جمعها، مع التركيز بوجه خاص على كثافة المباني ومزيج استخداماتها وتحقيق الأحمال الثابتة. كما تبحث هذه المرحلة آليات تجميع تلك البيانات وعرضها في صورة خرائط لتوزيع طاقة التبريد، بحيث تسهم في تخطيط شبكات الطاقة الحرارية.
- **المرحلة الثالثة:** وضع آليات لتحديد المباني المطلوب ترابطها ضمن نظام تبريد المناطق، ودراسة العوامل التي يمكن أن تشجع فئات مختلفة من ملاك المباني على المشاركة في المشروع.
- **المرحلة الرابعة:** تقييم الخيارات التقنية المثلى لتلبية الاحتياجات من طاقة التبريد في المباني المشاركة في المشروع وتحقيق أهدافه (تُسمّى هذه المرحلة أحيانًا دراسة جدوى عالية المستوى).
- **المرحلة الخامسة:** إخضاع المشروع لدراسة الجدوى، وهو إجراء تقني يهدف إلى دراسة الخيار المطروح بالتفصيل. تستعرض هذه المرحلة أنواع الوقود المختلفة وخيارات توليد الطاقة وتكوين معدات إنتاج الطاقة الحرارية وطرق تخزينها داخل مرفق المحطة، كما تستعرض أفضل المواقع وتصميم الشبكات والمسارات، إلى جانب وضع خطة لمراحل تنفيذ المشروع. كما تضع هذه المرحلة تقييمًا شاملًا للجدوى المالية للخيار المطروح.
- **المرحلة السادسة:** طرح النموذج المالي للمشروع ودراسة تكلفة رأس المال الإجمالية له وتكلفة تشغيله. تستعرض هذه المرحلة كذلك مصادر رأس المال المطروحة وتُحصي العائدات المتوقعة. كما تتحدد خلال هذه المرحلة المخاطر التي تهدد تحقيق الجدوى المالية للمشروع مع طرح السبل الملائمة لمواجهتها. ويلزم خلال هذه المرحلة إخضاع النموذج المالي لتحليل درجة التأثر بالمخاطر أو "اختبار الضغط" لتحديد قوّة المشروع وإحكام خطته.
- **المرحلة السابعة:** دراسة نماذج الأعمال أو النماذج التجارية التي يمكن تبنيها للنهوض بالمشروع. كما تتضمن هذه المرحلة دراسة العلاقة بين المخاطر والقواعد التنظيمية، بالإضافة إلى تأثير هذه العوامل على تكلفة رأس المال.
- **المراحل الثامنة والتاسعة والعاشرة:** مراجعة السياقَين التشريعي والتنظيمي ودراسة تأثيرهما في المشروع، مع التركيز على عمليات التوريد والإسناد وتسليم الخدمة.



حقوق نشر الصورة: Community Energy: Planning, Development, and Delivery, International District Energy Association, 2008

الشكل 28: مسار تطوير مشروعات تبريد المناطق

بوجه عام، تشكل تكلفة إقامة المشروع نصيبًا ضخمًا من إجمالي تكلفة رأس المال، إذ إن تكلفة تمويل كل مرحلة من مراحل المشروع يُتوقع أن تتصاعد تدريجيًا. غير أن احتمالات فشل المشروع تتضاءل مع التقدم فيه. لذا تساعد منهجية المراحل العشر، رغم أنها غير ملزمة، على تجنب إنفاق أموال كبيرة دون تحقيق جدوى، كما أنها تضع تسلسلًا مناسبًا للمشروع يمتد من الخطوات الأشمل إلى الخطوات الأضيق نطاقًا. فكلما أوشك المشروع على الانتهاء واقترب تسليم خدماته، ظهر المزيد من التفاصيل وازداد وضوح رؤية المشروع ونطاقه.

ينبغي العمل بهذه المراحل في كل مشروع جديد. ورغم أن عملية نمذجة الأعمال والنمط التجاري تأتي بالتفصيل في المراحل اللاحقة، فمن المهم دراسة هذه العملية منذ البداية ومراجعتها على مدار المشروع. على سبيل المثال تتباين معدلات العائد المتوقعة بتباين المستثمرين، لذا من الضروري وضع صورة واضحة لنموذج الأعمال منذ البداية. ويكتسب هذا الأمر أهمية خاصة عندما يكون أمام أحد مطوِّري المشروعات عدة خيارات لنماذج التوريد والتمويل والتشغيل نتيجةَ التفاوت المتوقع في اختيار التقنيات، أو عندما يرغب المشاركون في الحصول على سيناريوهات مقارنة لتقييم المخاطر. وإلى جانب منهجية المراحل العشر المستخدمة في تنفيذ مشروعات أنظمة تبريد المناطق، تجدر الإشارة إلى أن مجلس الوزراء السعودي صدَّق على القرار رقم 111 الذي بموجبه فُرضت رسوم على الاستهلاك الكثيف للكهرباء. وقد تزعمت وزارة الطاقة هذا القرار، ويهدف إلى تشكيل لجنة تضم القطاعات المعنية المنوط بها وضع المنهجيات والابتكارات اللازمة لتحقيق التبريد المستدام وكفاءة استهلاك الكهرباء والماء. ومن بين أعضاء اللجنة نجد وزارة المالية ووزارة الاستثمار ووزارة الاقتصاد والتخطيط وهيئات تنظيم المياه والكهرباء وعناصر محلية وجهات توريد حكومية. وسوف تتناول التوجيهات المتضمنة في هذه الإرشادات تكلفة المشروعات ونماذج الأعمال وأساليب التقييم والسياسات والرسوم والأطر القانونية بالتفصيل.

الكثافة وتقسيم المناطق

يمكن أن تؤدي إقامة مبانٍ ومشروعات وحواضر ومدن جديدة إلى خلق ما يكفي من الكثافة وعوامل النمو لتصبح أنظمة تبريد المناطق مجدية على مستويات الطاقة والاقتصاد والبيئة. ومن بين العناصر التي تسهم في التخطيط لبناء نظام تبريد مناطق جيد الآتي:

- أحمال الطلب.
- توجهات الطلب.
- الكثافة في المشروع.

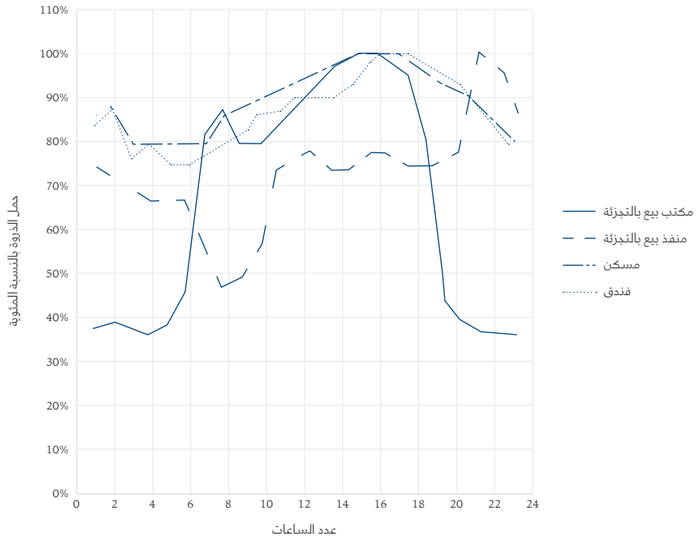
لتحقيق التصميم الجيد لأنظمة تبريد المناطق وتنفيذها، ستحتاج كل منطقة حضرية جديدة تقام فيها المشروعات إلى جمع بيانات تفصيلية. من هذا المنطلق تسهم دراسة البنية التحتية القائمة واستخداماتها في الوصول إلى قرارات مدروسة بخصوص المشروعات المستقبلية الموضوعة في المخططات الرئيسة، كما تسهم في توجيه توليد الطاقة. وتتضمن الأنشطة المطلوبة لتصميم أنظمة تبريد المناطق وتنفيذها ما يأتي:

- جمع بيانات المعدلات الحالية والمستقبلية لاستهلاك الطاقة في المباني القائمة والجديدة، مع الأخذ في الحسبان رفع كفاءة الطاقة فيها.
- وضع معدلات إنشاء المباني الجديدة في الحسبان.
- دراسة مصادر الطاقة والوقود وآليات توصيل هذه الطاقة أو نقلها.
- تقييم مميزات الموقع وعيوبه من حيث توفر مصادر الطاقة فيه وتوزيعها ونقلها واستخدام الأراضي فيه وشكل الموقع وطابعه العام.
- تقييم استدامة تقنيات الطاقة ذات الانبعاثات الكربونية المنخفضة أو الصفرية.

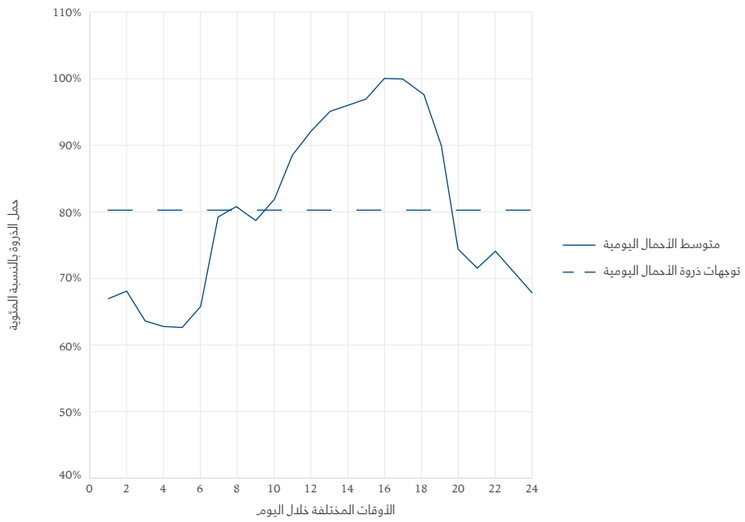
أحمال الطلب هي طاقة التبريد المستهلكة في كل مبنى أو مشروع، وتتباين وفقًا لحالة الطقس وأنماط نشاط شاغلي المبنى. على سبيل المثال غالبًا ما تأتي أنماط الطلب في المباني المخصصة لأغراض السكن والضيافة مختلفة عنها في المباني المخصصة للاستخدامات التجارية (التي تستخدم عادة طاقة التبريد في أوقات مختلفة من اليوم). أما حجم الأحمال في بعض المباني مثل الساحات ومراكز المؤتمرات وملاعب الكرة فيكون مرتبطًا بالفعاليات المقامة فيها، إذ لا تنشأ هذه الأحمال إلا في أيام إقامة الفعاليات. وعلى النقيض فإن بعض المباني مثل المستشفيات والجامعات والفنادق تُستخدم على مدار 24 ساعة في اليوم، لذا فإن أحمالها ثابتة.

ويسهم تجميع بيانات التوجهات اليومية للأحمال في وضع تصور لتوجهاتها السنوية التي تتباين غالبًا بين موسمي الصيف والشتاء. وتمثّل ذروة الأحمال الفترةَ التي تبلغ فيها مستويات الطلب أقصاها، بينما تمثّل الأحمال الأساسية الفترةَ التي يبلغ الطلب فيها أدنى مستوياته. ومن المهم وضع تصور لاتجاهات أحمال طاقة التبريد في أي مشروع لكي يتسنى وضع التصميم المناسب لنظام طاقة التبريد بالسعة الملائمة، لتلبية الطلب على التبريد.

كذلك فإن تنوُّع الاستخدامات النهائية للمرافق -الذي ينعكس في تباين توجهات الأحمال- يسهم في التقريب بين العرض والطلب لتحقيق الاستفادة القصوى من محطات التبريد المركزية. وجدير بالذكر أن محطات تبريد المناطق تعمل بأعلى درجات الكفاءة عندما تكون الأحمال ثابتة ومستقرة. أما الأحمال الفردية (لمناطق مفردة)، فأغلبها يشهد ارتفاعات مفاجئة أو "طفرات" في حجم الطلب.



الشكل 29: مثال لاتجاهات ذروة الأحمال على مدار اليوم في أنواع مختلفة من المباني (District, 2008)



الشكل 30: رسم توضيحي لاتجاهات ذروة الأحمال على مدار اليوم في نظام لتبريد المناطق يخدم مبانيَ متعددة الاستخدامات (District, 2008)

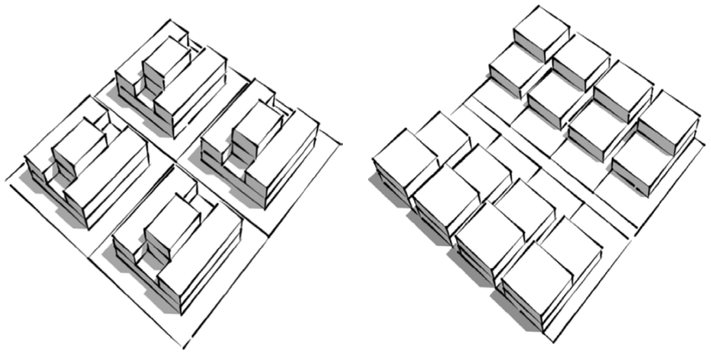
ومن المعروف أن سعة نظام التبريد المصمم لمبنى مُفرد يجب أن تستوعب ذروة حمله، إلا أن الوصول إلى ذروة استخدام طاقة التبريد في المباني المُفردة يستمر لجزء بسيط من الوقت. نتيجة لذلك تكون أغلب الأنظمة التي تعمل بالمياه المبرَّدة ذات سعة زائدة عن الحاجة وتعمل بمستويات أداء أدنى من مستوياتها المثلى، ومن ثم تحقق فعاليتها القصوى بعد مرور فترة من ثبات الطلب. وعند اشتراك عدة مبانٍ سكنية في محطة تبريد واحدة من خلال شبكة طاقة تابعة لأحد أنظمة تبريد المناطق، تتلاشى "الطفرات" في الطلب نتيجة تداخل فترات الطلب في المباني السكنية المستفيدة من الخدمة. وفي حال ضم مبانٍ تجارية إلى شبكة نظام تبريد المناطق، يزداد استقرار الأحمال بسبب تكامل أنماط استخدام الطاقة في ما بينها، ما ينتج عنه منحنى أحمال مستقر على مدار 18 ساعة.

يمثل تكييف الهواء الضغط الأكبر على شبكات الكهرباء، ويشكل غالبًا ما بين 50% و60% من ذروة الطلب على الكهرباء في المباني التي تستخدم أجهزة تبريد خاصة بها.

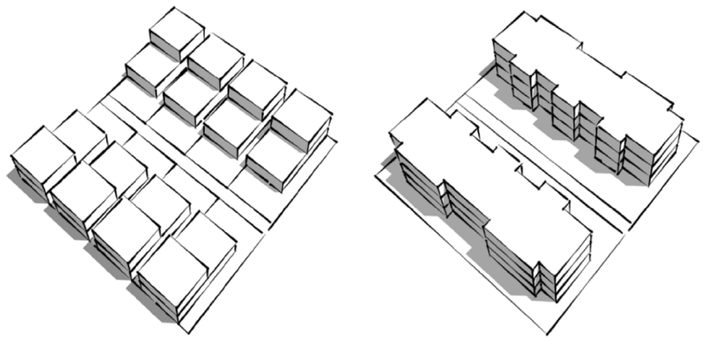
وينجم عن تنوع الاستخدام الجيد (أو تنوع الأحمال) ارتفاع الجدوى المالية للمشروع، ومن ثم جذب انتباه الجهات التجارية المقدمة لخدمات أنظمة تبريد المناطق، واستقطاب المستثمرين والممولين. كما تتميز المناطق التي تضم مزيجًا من استخدامات الأراضي وفيها قدر أكبر من التنوع في الأحمال بقابلية أكبر لتطبيق المشروع مقارنة بالمناطق التي ليس فيها سوى مبانٍ سكنية. كما أن الطلب على التبريد في هذه المناطق يكون كبيرًا وثابتًا على مدار 24 ساعة في بعض المباني مثل المستشفيات والفنادق والمجمعات السكنية الكبيرة والسجون وحمامات السباحة وصالات التزلج والقواعد العسكرية والجامعات. وعادة تضم هذه المباني مساحات يمكن إقامة محطات التبريد فيها، ما يجعلها مثالية لإنشاء شبكات الطاقة لأنظمة تبريد المناطق، كما تُعْرف أيضًا بمباني الأحمال الثابتة.

الأحياء السكنية **منخفضة الكثافة** التي تضم منازل منفصلة تسكنها عائلة واحدة هي الأقل ملائمةً لنظام تبريد المناطق واسع النطاق، إذ تستلزم المسافات الكبيرة الواقعة بين المنازل مد المزيد من أنابيب التوصيل التي ستحتاج إلى تكلفة صيانة عالية مع مرور الوقت. كما أن ربط المنازل المفردة بشبكة تبريد مناطق سيكون غير مجدٍ اقتصاديًا وليس له مردود مالي على المدى البعيد. بالإضافة إلى ذلك فإن مراكز التسوق والمدارس والتجمعات التجارية الواقعة في المناطق منخفضة الكثافة ربما تكون مواتية لاستخدام أنظمة تبريد المناطق ضيقة النطاق أو التشارك في محطة تبريد مركزية. ويتحدد ذلك من خلال تقييم أحمال طاقة التبريد وأحمال إمداد المياه المطلوبة لهذه المباني كما ينبغي، حتى يتسنى تصميم نظام الطاقة ونظام التبريد القادرين على تلبية الطلب فيها.

قد لا تكون المشروعات ذات **الكثافة السكانية المتوسطة** أو الواقعة على أطراف المناطق الحضرية ملائمة لإنشاء نظام تبريد مناطق واسع النطاق، غير أن المناطق التي تشهد تنويعًا في استخدامات الأراضي في هذه التجمعات يمكن أن تستوفي الحد الأدنى من المتطلبات اللازمة لنشر أنظمة تبريد المناطق فيها. ولا بد دائمًا من اختيار نماذج مرنة من هذه الأنظمة عند استخدام هذا النوع من التبريد في مثل تلك التجمعات، إذ يمكن أن تظهر الحاجة إلى التوسع فيها مع زيادة الكثافة السكانية في المنطقة.



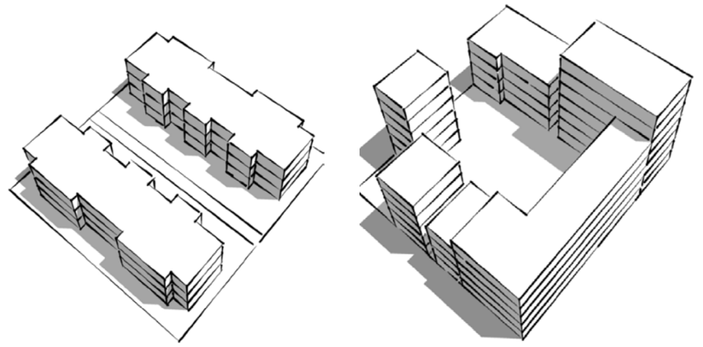
الشكل 31: مثال للكثافة المنخفضة (منازل واسعة لعائلات مفردة مبنية على رقعة أرض أكبر حجمًا)



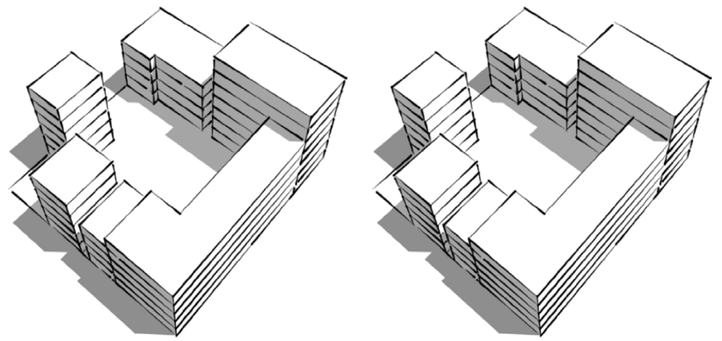
الشكل 32: مثال للكثافة المتوسطة (منازل واسعة لعائلات مفردة مبنية على رقعة أرض أصغر حجمًا)

تتسم المشروعات **عالية الكثافة** الواقعة في مراكز المدن أو مراكز المناطق الحضرية بارتفاع الكثافة السكانية وزيادة الطلب على التبريد، ومن ثم تحتوي على الكثافة اللازمة لاستخدام أنظمة تبريد المناطق واسع النطاق. وهنا يسهم تنوع استخدامات الأراضي وتنوع أنماط المباني في تحقيق أنظمة تبريد المناطق مستويات الأداء المثلى. كما أن إدخال نماذج مرنة من هذه الأنظمة تدريجيًا يضمن المرونة اللازمة في حالة حدوث توسعات عمرانية.

تضم فئة **الأحمال الثابتة** مبانيَ ذات طبيعة معينة مثل المستشفيات والفنادق والمجمعات السكنية الكبيرة والسجون وحمامات السباحة وصالات التزلج والقواعد العسكرية والجامعات، حيث يكون حجم الطلب على طاقة التبريد كبيرًا وثابتًا على مدار 24 ساعة. ويجدر بالقائمين على إدارة هذه المباني التابعة للقطاع العام وضع خطط طويلة الأجل لإمدادات الطاقة، كما يجب أن يسعوا دائمًا إلى خفض انبعاثات الكربون وتأمين الطاقة وتوفير طاقة التبريد بأسعار مناسبة. وتضم هذه المباني عادة مساحات يمكن إقامة محطات تبريد فيها، ما يجعلها الأساس المثالي لإنشاء شبكات الطاقة لأنظمة تبريد المناطق. وعلى نحو مماثل فإن الطلب على الطاقة في مراكز المؤتمرات والساحات الرياضية وملاعب الكرة عادةً يكون ضخمًا ويحدث في مناسبات متباعدة بحسب عدد الفعاليات مكتملة العدد التي تقام فيها ومعدل إقامتها. لذلك يمكن أن ينضم هذا النمط من المباني إلى فئة الأحمال الثابتة.



الشكل 33: مثال للكثافة المرتفعة (مبانٍ سكنية متوسطة الارتفاع أو منازل متجاورة ومتعددة الطوابق كل طابق منها لأسرة واحدة)



الشكل 34: مثال لوسط المدينة (أبراج سكنية)

لضمان تحقيق أنظمة تبريد المناطق لأفضل النتائج، ينبغي أن تصل كثافة الطاقة إلى حد معين. وتسهم شبكة أنابيب المياه المبرَّدة التي تنقل طاقة التبريد (نظام التوزيع) في نصيب كبير من تكلفة نظام تبريد المناطق. لذلك كلما قلت المسافة التي تنتقل عبرها طاقة التبريد قلت التكلفة، وكلما كانت المباني متراصة ذات كثافة عالية تزيد الطلب على التبريد، ارتفعت كفاءة الشبكة وزادت جدواها.

وعند دراسة آفاق التسويق لأنظمة تبريد المناطق، يجب وضع عامل آخر في الحسبان وهو حجم استهلاك الطاقة المتوقع في المباني المتصلة لكل قدم مربع من شبكة المياه المبرَّدة (أنابيب التوزيع) المزمع مدها (يوضح المربع أدناه معايير توزيع كثافة الطاقة المتعارف عليها في الولايات المتحدة الأمريكية محسوبة بالقدم المربع). هكذا يمكن لمصممي المشروعات وضع المخطط الأمثل للشبكة بهدف خفض التكلفة الناتجة عن تباين مستويات كثافة الطاقة.

كما أن الوقوف على حجم أحمال التبريد هو الأساس لتصميم أنظمة تبريد المناطق، إذ يضمن أن تكون للمحطة وشبكة التوزيع سعةٌ مناسبة، كما يضمن استيفاء حجم الحمل اليومي والموسمي بما يحقق الجدوى الاقتصادية، ويمثّل أساسًا متينًا لوضع التوقعات الدقيقة للعائدات. هنا يُحسب إجمالي توجهات أحمال التبريد اليومية ويُجمَّع ليشكل توجهات الأحمال السنوية التي تبين التوجهات المتباينة في كل موسم. وتأتي ذروة الأحمال في الفترة التي يبلغ فيها الطلب أقصى مستوياته، أما فترة الحمل الأساسي فهي التي يبلغ فيها الطلب أدنى مستوياته.

وتتولى أنظمة تبريد المناطق تبريد أنواع مختلفة من المباني، منها المكاتب التجارية ومراكز التسوق للبيع بالتجزئة والفنادق والمدارس والمستشفيات والمجمعات الصناعية والمباني السكنية. ويمثل المناخ أحد المحددات المحورية للاحتياجات من أحمال التبريد، ومن ثم لا بد أن تنبني تصميمات التجمعات السكانية المستقبلية بما يناسب البيئة، وذلك لوضع تصميمات تنسجم مع البيئة وتحقق انخفاض الأحمال وتحسّن كفاءة توليد الطاقة الحرارية. فاحتياجات المباني من أحمال التبريد تتحدد من خلال تصميم المبنى والأنشطة المختلفة داخله. لذلك فإن جودة إدارة عمليات التشغيل ربما تسهم في خفض أحمال التبريد غير الضرورية داخل المبنى أو المجمع السكني. أما في ما يتعلق بالمشروعات الواقعة في المناطق الحضرية، سواء عند الأطراف أو في الأراضي غير المنماة، فتسهم البيانات المجمعة على مدار السنوات الماضية في تقدير حجم الأحمال فيها ووضع إجراءات حماية البيئة في المستقبل.

كذلك من الضروري إجراء عمليات نمذجة دقيقة للاحتياجات المستقبلية للتجمعات السكانية، إذ إن المبالغة في تقدير الاحتياجات تمنح شعورًا كاذبًا بالأمان، وربما تؤدي المبالغة في تقدير أحمال التبريد في أحد الأحياء السكنية أو المدن الجديدة إلى النتائج الآتية:

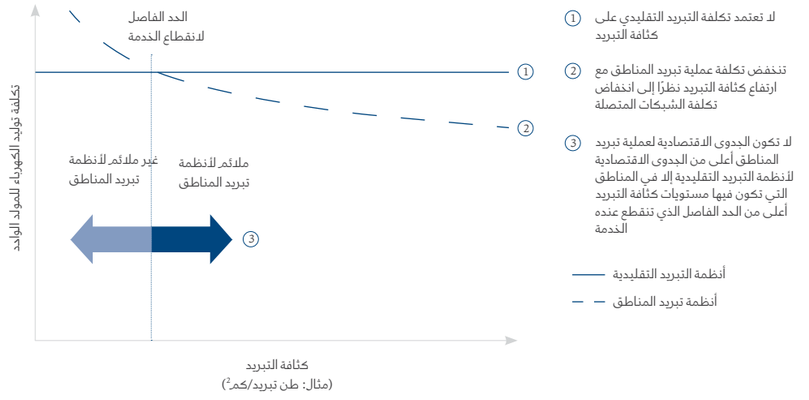
- المبالغة في الاستثمار في البنية التحتية اللازمة لإنشاء أنظمة تبريد المناطق.
- المبالغة في توقع العائدات.
- وقوع خلافات بين المهندسين بشأن عقود الأحمال.
- ضعف كفاءة الطاقة المستهلكة في إنتاج الأحمال المنخفضة خلال السنوات الأولى من تشغيل نظام تبريد المناطق.

مرونة التصميم

في الوقت الحالي ما زالت أنظمة تبريد المناطق محدودة الانتشار في المملكة، وتحتاج المحطات القائمة إلى أن يكون حجم الطلب ضخمًا أو متوقعًا لكي تعمل بكفاءة. لذلك من المتوقع أن تكون محطات التبريد ذات التصميم المرن أكثرَ كفاءة في استيعاب أحمال طاقة التبريد المطلوبة في المناطق المزمع إقامة المباني فيها خلال فترة تتراوح بين 10 أعوام و20 عامًا. وحتى في المناطق المتوقع تطويرها بوتيرة أسرع، تسهم وحدات التبريد المرنة في تحقيق أهداف الكفاءة التشغيلية بصورة أفضل من المحطات المتباعدة المفردة.

أيضًا يتيح إنشاء وحدات تبريد ذات تصميم مرن أمام المطورين فرصة التركيز على شبكة تبريد المنطقة عمومًا إلى جانب خطة ضخ التبريد والمشكلات المرتبطة بخصائص الموقع. ويعمل الجدول الزمني المُثقل بالخطط -الذي يحدد إطارًا زمنيًا ضيقًا لاستخراج التراخيص وتطوير الموقع- غالبًا على خفض مدة إنشاء المشروع.

يعود ذلك إلى أن تصنيع نظام التبريد المركزي في بيئة المصنع يتيح إنشاء نظام وحدات تبريد مرن وتجربة أدائه بالتزامن مع عمليات استخراج التراخيص والتأسيس وتجهيز شبكات أنابيب المياه الباردة التي تتطلبها أنظمة تكييف المناطق. وإضافةً إلى ذلك ستحقق كفاءة النظام المضمونة في هذه الحالة وفورات مربحة على مدى دورة حياة المشروع. وتفسر هذه المميزات العديدة الرواج المتزايد للحلول القائمة على وحدات التبريد المرنة.



الشكل 35: تكلفة تقنيات التبريد مقابل مستويات كثافة التبريد (Booz and Company)

ملحوظة: طن التبريد/كم^2 = عدد أطنان التبريد لكل كيلومتر مربع. تكلفة توليد الكهرباء للمولد الواحد= السعر المطلوب لتحقيق التعادل (تعادل الربح مع التكلفة).

يُعدّ نظام تبريد المناطق التزامًا طويل الأجل لا يتلاءم مع رغبة جني عوائد استثمار قصيرة الأجل. إلا أن لهذا النظام عدة مزايا، مثل تحقيق فائض من الطاقة الحرارية وخفض إنفاق الأسرة أو المبنى الكامل على أجهزة التكييف، مما يحد من التكلفة الإضافية للطاقة. وتتطلب المبردات المركزية وشبكات تبريد المناطق ومحطات التوليد المشترك نفقات رأسمالية أولية مرتفعة وتمويلًا مبدئيًا كثيفًا. لذا فإن هذه المشروعات لا تدر أرباحًا لملاك أنظمة تبريد المناطق إلا إذا عُدت استثمارات طويلة الأجل. كذلك فالمناطق ذات الكثافة السكانية الضعيفة أو كثافة الطاقة المنخفضة لا تُقبِل على الاستعانة بأنظمة تبريد المناطق، نظرًا إلى الارتفاع الملحوظ في قيمة الاستثمار لكل أسرة على حدة. ويشير مصطلح المردود المالي إلى الوقت الذي يصل فيه الاستثمار في تقنية معينة إلى نقطة تعادل الربح مع التكلفة، ومن ثم يبدأ في تحقيق العائد، وهو يعطي مؤشرًا عامًا لجدوى المشروع دون الحاجة إلى وضع تقلبات التدفقات النقدية المستقبلية في الحسبان. ويَستخدم صافي القيمة الحالية للمردود التدفق النقدي المخفّض لإعطاء أرباح المشروع قيمة كلية إما موجبة أو سالبة. فإذا كانت القيمة موجبة، فهذا يعني أن المشروع ذو جدوى، أما إذا كانت سالبة، فهذا يعني حاجة المشروع إلى مزيد من رأس المال حتى يصل إلى القيمة الموجبة. لذا من المهم وضع تصور للتكلفة على مدى 25 عامًا من دورة حياة مشروع تبريد المناطق لتحديد ما إذا كان هذا المشروع التابع للقطاع الحكومي استثمارًا مفيدًا أم لا. وتأخذ هذه المنهجية في الحسبان تكلفة رأس المال لكل خيار من الخيارات المطروحة إلى جانب أوجه التكلفة الأخرى على مدار فترة زمنية تمتد عادةً إلى 25 عامًا أو أكثر، بما فيها تكلفة رأس المال لكل خيار من خيارات التبريد، مع أخذ أوجه التكلفة الأخرى في الحسبان.

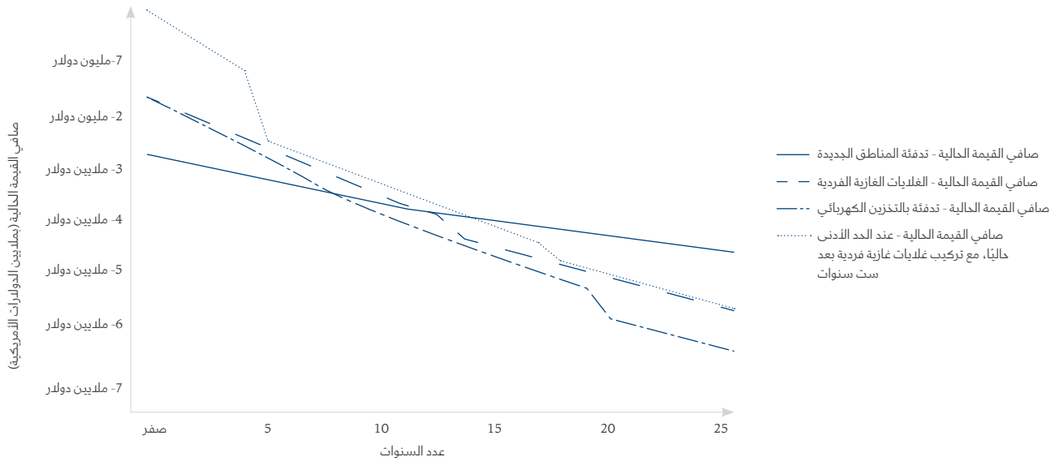
ويوضح الشكل (36) نطاقات المردود المالي لمختلف خيارات أنظمة تبريد المناطق التي استقيناها من بيانات مجمَّعة لبعض المشروعات الجديدة. ويلاحظ هنا أن أنظمة تبريد المناطق تحقق أعلى معدلات العوائد في المناطق الحضرية عالية الكثافة أو المناطق كثيفة الطاقة، غير أن ذلك لا يتحقق إلا بعد مرور 15-10 عامًا. لذا تتطلب هذه الأنظمة التزامًا طويل الأجل بنشرها وتطويرها حتى تجنى المكاسب المالية والمميزات الأخرى.

المميزات الأساسية لإنتاج الطاقة على مستوى مناطق التجمعات السكانية

المميزات الاقتصادية: يُسهِم إنتاج الطاقة على مستوى مناطق التجمعات السكنية في خفض التكلفة الرأسمالية والتشغيلية. كما يسهم التطوير الاقتصادي في ربط وسط المدينة بأنظمة تبريد المناطق وجعله مركزًا نابضًا بالحياة، إذ يحقق التطوير الاقتصادي أثرًا اقتصاديًا مضاعفًا، ومن ثم يستقطب مشروعات تجارية جديدة ويخلق أحياء سكنية مزدهرة تجذب السكان الجدد. كذلك يتمتع ملاك المباني المتصلة بأنظمة تبريد للمناطق بانخفاض تكلفة هذه الأنظمة وبتجنّب ما يرتبط بها من تكلفة رأسمالية، وينعمون بوفورات الحيز المكاني. كما يمكن أن تساعد الطاقة المتولدة من أنظمة تبريد المناطق بعض ملاك المباني في الحصول على شهادة الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة أو غير ذلك من شهادات الاعتماد البيئي، وهي وسيلة قيّمة لجذب المستأجرين في القطاعين التجاري والسكني. كما تتيح هذه المميزات لملّاك المباني لاحقًا طرح مبانٍ صديقة للبيئة في سوق الإيجارات.

ميزة الأمان: تضمن طاقة أنظمة تبريد المناطق المحلية موثوقية خدمات إمداد الطاقة كما تضمن مرونة توفير الوقود والمزيد من التحكم المحلي في إمدادات الطاقة. لذا فإن نقل إنتاج طاقة التبريد إلى محطة محلية يؤدي إلى تمركز عمليات التشغيل والصيانة ويرفع أعباءهما عن كاهل ملاك المباني. كما أن توليد الكهرباء والتبريد باستخدام تقنيات التوليد المشترك للكهرباء والطاقة الحرارية يقلل من الاعتماد على شبكات الكهرباء التي ربما تكون ضعيفة. وأخيرًا يمكن تشغيل العديد من تقنيات طاقة تبريد المناطق بأمان باستخدام نوع واحد من الوقود، ما يعزز الاستقلالية ويزيد من أمان إمدادات الطاقة وموثوقيتها ويخفض تكلفتها.

المميزات البيئية: يتسم نظام تبريد المناطق بكفاءة استهلاك الطاقة ويقلل من الانبعاثات ويحمي البيئة بفضل المنافع الناتجة عن عائدات الإنتاج الضخم، إذ تستغل هذه الأنظمة الطاقة التي تتعرض عادة للهدر وتستعين بمصادر الطاقة غير المُستغلة في نطاق المبني.



الشكل 36: تحليل تكلفة الطاقة على مدى دورتها في التجمعات السكانية

الجدوى المالية: يُعد تأسيس مشروع ناجح لإمداد طاقة أنظمة تبريد المناطق مهمة ضخمة تتطلب استثمارًا كبيرًا في الوقت والمال على مر الأعوام. لذلك ينبغي إجراء دراسة جدوى مالية تأخذ في الحسبان المنافع والفائدة المحتملة لهذا المشروع، وقدرته على مجابهة التحديات المالية، كما تجب مراعاة المردود المالي واعتبارات الإنشاء وتسليم الخدمة.

1. الآثار المالية	
دراسة تقنية تفصيلية	• إجراء دراسة جدوى أساسية ووضع نموذج مالي. • تقييم إمكانات توصيل الخدمة وملاءمة نظام الإمداد، استنادًا إلى عمر المبنى وأنظمة الطاقة الحالية. • تحديد الموقع الملائم لإقامة المحطة المركزية. • استكشاف فرص تحقيق كفاءة الطاقة وتقليل ذروة الأحمال عن طريق التخزين الحراري والتوليد المشترك للطاقة الكهربائية والحرارية والتدريج المرحلي لإمدادات الطاقة وتحديد مساراتها وأخذ قياسات الشبكات.
النمذجة المالية	• إعداد نموذج مالي أكثر تفصيلًا. • حساب تكلفة رأس المال المسبقة وتكلفة التشغيل طويلة الأجل.
2. نموذج الأعمال	
أربعة أنواع للشركات المالكة	• •الشركات الخاصة لإقامة المشروعات • الشركات الحكومية لإقامة المشروعات • اتفاقات الشراكة الهجينة (العامة/الخاصة) • كيانات الأغراض المحددة المملوكة لمساهمين
التطبيق الموصى به	مناطق التطوير ذات الاستخدامات المختلطة: • مراكز المدن • القواعد العسكرية • شبكات المباني (حرم الجامعات ومؤسسات الرعاية الصحية) • المدن الصناعية
3. الإنشاء والتسليم	
الشركات الخاصة لإنشاء المشروعات	• إعداد الوثائق والمستندات • تحديد معايير التقييم (تأسيس لجنة مختصة بالتقييم) • الترسية على مقدم العطاء المختار • التفاوض النهائي • الاتفاق المالي • بدء سريان العقود
الشركات الحكومية لإنشاء المشروعات	• تتولى الشركات الحكومية لتطوير المشروعات توريد عناصر المشروع المنفصلة • التوريد في صورة عقد تسليم جاهز • توريد خدمات التشغيل والصيانة والفوترة/ تحصيل الإيرادات • إبرام عقد الوكالة ضمن عقد التسليم الجاهز • بدء سريان العقود

اتفاقيات الشراكة الهجينة (العامة/ الخاصة)	الخيار 1 • تحديد هيكل المشروع • تحديد أدوار المشاركين • إعداد الوثائق والمستندات • تحديد معايير التقييم (تأسيس لجنة مختصة بالتقييم) • الترسية على مقدم العطاء المختار • التفاوض النهائي • الاتفاق المالي • بدء سريان العقود
اتفاقيات الشراكة الهجينة (العامة/ الخاصة)	الخيار 2 • تحديد هيكل المشروع • تحديد أدوار المشاركين • توريد عناصر المشروع المنفصلة • التوريد في صورة عقد تسليم جاهز • توريد خدمات التشغيل والصيانة والفوترة/ تحصيل الإيرادات • التعاقد على التسليم الجاهز • بدء سريان العقود

الآثار المالية: دراسة تقنية تفصيلية

يجب إجراء دراسات الجدوى والنمذجة المالية دوريًا، إذ إن كلًا منهما يعد دليلًا يسترشد به الآخر ويتأثر به. كذلك يجب أن يخضع الخيار التقني المناسب لدراسة جدوى تقنية تفصيلية فور الاتفاق عليه. كما ينبغي تقييم عمر المباني وأنظمة الطاقة الحالية للوقوف على إمكاناتها في إمداد الطاقة وملاءمتها لأنظمة التبريد المستقبلية. بالإضافة إلى ذلك يجب تحديد الموقع المناسب للمحطة المركزية وتحري إمكانات تخزين الطاقة الحرارية بوصفها عاملًا وقائيًا يسهم في تخفيف ذروة الأحمال في المنظومة كما يجب تحقيق الاستفادة المثلى من نظام تبريد المناطق على مدى واسع. علاوة على ذلك يمكن بحث إمكان التوليد المشترك للكهرباء والطاقة الحرارية لتحقيق مزيد من الكفاءة في إنتاج الطاقة الحرارية والكهربائية من مصدر وقود واحد. أما في ما يتعلق بالمشروعات الجديدة، فينبغي تحديد مراحل إنشاء المباني الجديدة والأطر الزمنية لهذه المراحل، فهذا سيسهم في وضع اعتبارات أنابيب شبكة المياه المبرَّدة ومساراتها والأحجام المثالية لها والوقوف على المواقع المناسبة لإنشاء المحطة المركزية لتبريد المناطق، وقد يكون له تأثير على تخطيط مراحل المشروع. ويسهم تحديد مسارات شبكة المياه المبرَّدة وحساب مقاييسها في توقع درجة حرارتها وحجم الضغط فيها.

ويجب أيضًا تحديد نوع الوصلات ونطاقها ونقاط تخفيف الضغط في مختلف أجزاء شبكة المياه المبرَّدة حتى يتسنى نقل الطاقة الحرارية إلى المنظومة الداخلية في المبنى.

تتأسس المشروعات في العادة تدريجيًا حتى الوصول إلى مرحلة إنشاء شبكة المياه المبرَّدة، ومن هنا تصبح الأحمال كبيرة بما يكفي لتسويغ إنشاء محطة تبريد مناطق متكاملة أو محطة توليد مشترك للطاقة الكهربائية والحرارية. وتتيح التصميمات المرنة لأنظمة التبريد تنفيذ هذا التدرج في التأسيس، لأنها تحقق مستويات بسيطة وثابتة من الإمدادات للمباني الجديدة عندما تكون المباني أو المراحل المستقبلية لا تزال قيد التنفيذ. توجد منهجية أخرى تتمثل في إنشاء شبكة عقدية تتألف من أنظمة محلية لإمداد طاقة تبريد المناطق يتحدد حجمها وفقًا لاحتياجات المنطقة المحيطة. ويمكن ربط هذه الأنظمة الأصغر حجمًا بعضها ببعض في ما بعد عندما تتزايد قدرتها على اختراق السوق ويتحسن ترابطها.

في هذه المرحلة يجب وضع تقديرات تقريبية لتكلفة رأس المال وعمليات التشغيل والصيانة والإيرادات المحتملة من مبيعات التبريد والكهرباء. ويمكن كذلك حساب العوائد ومراجعتها بناءً على العديد من تحليلات الحساسية للمخاطر، بما فيها نسب الدَّين إلى الأصول، والمتوسط المرجح لتكلفة رأس المال، وموارد رأس المال على اختلاف صورها. وقد تتمخض دراسة الجدوى هذه عن مجموعة متنوعة من الخيارات، منها استخدام تقنيات وتشكيلات تصميمية جديدة لتحديد الحل التقني الأمثل. ويجب حساب إيرادات المشروع بتحفظ وأن تتضمن هذه الإيرادات تكلفة رأسمال معقولة ومصروفات طارئة منطقية تعكس التحديات الناجمة عن مخاطر رأس المال. كذلك يجب حساب العوائد بالأخذ في الحسبان السيناريوهات المختلفة المبنية على الخيارات التقنية ومعدلات النمو الاقتصادي وأهداف التنمية.

> *ينبغي تقييم عمر المباني وأنظمة الطاقة الحالية للوقوف على إمكاناتها في إمداد الطاقة وملاءمتها لأنظمة التبريد المستقبلية.*

النمذجة المالية

تعد النمذجة المالية المعدَّة خلال مرحلة دراسة الجدوى التقنية إجراءً مبدئيًا، ومن ثم تحتاج بعدئذ لاستقصاء تفصيلي. فمن المعروف أن جدوى كافة مشروعات التنمية تتأثر بعوامل تقع خارج نطاقها. وقد يدخل في الحسبان أن هذه العوامل الخارجية تربط المشروع بمشروعات أخرى، وبالتوسع المستقبلي، وبتحقيق ثبات الأحمال، وعوائد الإنتاج الضخم. كما تتأثر جدوى المشروع على المديَين القصير والبعيد بنموذج الأعمال المختار. كذلك في المشروعات الأكثر تعقيدًا، ربما يجدر الحصول على الاستشارات المالية والقانونية من الخبراء حتى يتسنى وضع الهيكل التجاري اللازم لاستكمال منظومة تبريد المناطق.

- **الجدوى المالية:** يجب أن يسفر النموذج المالي عن قيمة موجبة.
- **أسعار تنافسية:** بالنسبة إلى العملاء من القطاع التجاري، يجب أن يكون للانضمام إلى شبكة طاقة المناطق ميزة تنافسية مقارنةً بمشروعات العمل المعتادة (مزايا على صعيد الإمداد بغاز التبريد وتكلفته، ومصادر الإمداد بمياه التبريد وتكلفتها، وتشغيل المحطة وصيانتها). أما بالنسبة إلى العملاء من القطاع السكني، فإن سهولة الحصول على الخدمة وجودتها يأتيان على القدر ذاته من الأهمية.
- **خفض الانبعاثات:** يجب دراسة هذا حسب كل منطقة. ومن المهم هنا تحديد آليات السوق التي يمكن أن تسهم في تحقيق أرباح مع التقدم في مجال الحد من الانبعاثات.
- **أمان الإمدادات:** يُعد هذا مهمًا للعملاء في القطاع التجاري ويكتسب أهمية خاصة في المرافق الحساسة مثل المستشفيات.
- **الاستدامة:** تسعى التجمعات السكانية إلى إقامة المشروعات الموجهة نحو وسائل النقل العام بهدف تأمين مقومات الحياة الجيدة والرفاه، وذلك من خلال خلق اقتصاد محلي قوي قادر على استقطاب مشروعات جديدة وشاغلين جدد. وغالبًا ما ترغب الشركات في أن تكون مقارها وسط مناطق صديقة للبيئة وتتطلع إلى تحقيق قيمة إستراتيجية بالاستثمار في تلك المواقع.

وبالأخذ في الحسبان العوامل السابقة، تصبح المهمة القادمة في المشروع هي حساب تكلفة رأس المال المسبقة وتكلفة التشغيل طويلة الأجل.

تكلفة رأس المال (المطلوبة لإتمام المشروع):

الأرض اللازمة لإنشاء مرفق المحطة

المحطة

محرك التوليد المشترك للطاقة الكهربائية والحرارية بحجم يلبي متطلبات الأحمال الأساسية، ومبردات احتياطية، ومبردات لفترات الذروة بغرض تلبية احتياجات فترات ذروة الأحمال، وما يلزم لذلك من مضخات.

محطات تبريد المناطق بمبردات ومضخات وأجهزة تحكم على أحدث المستويات التقنية لتحقيق أعلى مستوى من كفاءة الطاقة.

أنابيب لشبكة توزيع المياه المبرَّدة.

- تكلفة إمداد المستهلكين بوحدات نقل المياه المبرَّدة ومحطات نقل الطاقة لتبادل الطاقة الحرارية بين شبكة المياه المبرَّدة والمبنى.
- تكلفة مرنة تغطي تكاليف التراخيص الهندسية وموافقات استغلال الأرض ورسوم حق استخدام الطريق وتوصيل المرافق.
- تكلفة الإنشاء والتركيب.

التكاليف التشغيلية (المرتبطة بالمشروع على مدار 25 سنة):

- تكلفة الوقود المستخدم (الغاز الطبيعي أو النفط أو الكتلة الحيوية، أو كل ذلك معًا)
- تكلفة الكهرباء اللازمة للمبردات والإضاءة والضخ
- تكلفة الصيانة
- تكلفة الفوترة وجمع الإيرادات
- تكلفة إدارة التشغيل
- تكلفة خدمة العملاء بما يغطي حالات الطوارئ
- الفائدة على رأس المال والتعويضات
- تكلفة التأمين
- الضرائب العقارية وضرائب الدخل
- تكلفة الإسهام في صندوق احتياطي الإهلاك حتى يمكن استبدال النظام عند نهاية عمره الافتراضي، وذلك لتخفيف العبء المالي، وهو ما ينبغي حدوثه بعد سداد الديون ذات الأولوية
- أتعاب الاستشارات القانونية والمالية
- الرسوم الحكومية المتكررة المفروضة عند الحصول على التصاريح أو الموافقات البيئية
- تكلفة عمليات المراجعة المحاسبية السنوية المعنية بإمدادات الطاقة

يمكن تحقيق الإيرادات من خلال الخدمات الأساسية التي يقدمها المرفق، غير أنه يجب أيضًا الوقوف على هذه الإيرادات والرسوم والمزايا الضريبية الأخرى لتحسين الربحية. كما يمكن جني إيرادات الكهرباء إذا احتوى المشروع على محطة لتوليد الطاقة (على سبيل المثال محطة توليد مشترك للكهرباء والطاقة الحرارية). جدير بالذكر أن أسعار إمدادات الطاقة الحرارية تشمل عنصرين أساسيين وهما تسعيرة السعة وتسعيرة الاستهلاك. وتتحدد تسعيرة السعة وفق قيمة استرداد تكلفة المحطة وشبكة الأنابيب وتكلفة ضم مستخدمين إلى المرافق، وتكلفة تشغيل محطة تبريد المناطق وشبكة المياه المبرَّدة وصيانتهما. أما تسعيرة الاستهلاك فتتحدد وفق النفقات المتغيرة المباشرة، مثل تكلفة الوقود ومعالجة المياه كيميائيًا. ويمكن احتساب تسعيرة الصيانة بشكل منفصل لتغطي تكلفة صيانة المحطة والشبكة والمعدات التي يحتاجها العميل. كما يمكن الوضع في الحسبان العائد من تكلفة رسوم التطوير للتشجيع على إجراء التوسعات في المنظومة. وهنا يمكن أن تسهم الأرصدة الائتمانية والإعفاءات ومخصصات الإهلاك في خفض التكلفة.

ومن المتوقع أن يكون هذا النموذج المالي عرضة لمخاطر شتى، ومن ثم يجب وضع تقييم للمخاطر. ويستحسن إجراء تقييم المخاطر بالتعاوُن مع المساهمين الآخرين في المشروع، إذ إنهم قادرون على توقع بعض المخاطر التي ربما يغفلها مطورو المشروع. عندئذ يجب تقييم المخاطر من حيث إمكان حدوثها وخطورة تبعاتها. بعد ذلك، يمكن تصنيفها بوصفها مخاطر عالية أو متوسطة أو منخفضة وتوكل إلى الطرف الأقدر على التعامل معها. كما يجب وضع إستراتيجيات لإدارة المخاطر تظل قائمة بعد الشروع في إنشاء المشروع.

تتمثل المخاطر عادة في:

- العقبات التي تعترض تحقيق التوازن بين توليد الطاقة والطلب عليها، والتحديات التي تنجم عن مشكلة زيادة استهلاك المياه المبردة بما يرتبط بها من ضعف كفاءة نظام التبريد.
- تحديات استخراج تراخيص موقع المحطة والضوابط المتعلقة به.
- تجاوز التكلفة الإنشائية المخططة.
- عدم استيفاء المحطة مواصفات الكفاءة المحددة في التصميم.

- تعطل المحطة.
- تباين أسعار الوقود.
- تحديات ناجمة عن تباين أسعار المياه وتوافر مصادرها.
- تخلف العملاء عن السداد.
- التأخر في الحصول على التعويض التأميني عند حدوث تلف في الممتلكات.

نماذج العمل

توجد عدة أنماط لملكية مشروعات طاقة أنظمة تبريد المناطق. فمن الممكن أن يتبنى مديرو المشروعات الحكوميون المنهجية التجارية ذاتها التي يعتمدها مطورو المشروعات. ومن المعروف أن التجمعات السكانية المتنوعة والمتضامة تحتوي على مرافق سكنية وحضرية وشرائية وثقافية وترفيهية متقاربة مكانيًا، ما يتسبب في خلق أماكن عالية الجودة وجاذبة للسكن والعمل وإقامة المشروعات التجارية. وينبغي أن يراعي نموذج العمل المختار الموازنة بين أهداف المشروع من ناحية وتحقيق استقرار التشغيل والمتابعة وإدارة المخاطر كما ينبغي من ناحية أخرى. لذا توجد أربعة نماذج عمل أساسية في ما يتعلق بمشروعات طاقة أنظمة تبريد المناطق وهي: شركات إنشاء المشروعات الخاصة، وشركات إنشاء المشروعات الحكومية، والشراكات الهجينة التي تمزج بين القطاعين الحكومي والخاص، والكيانات المملوكة لمساهمين الموجهة لخدمة أغراض محددة. وفي جميع هذه الحالات يجب الأخذ في الحسبان مصادر تمويل المشروع والأدوار المنوطة بكل من الأطراف المشاركة في تشغيل مشروع طاقة منخفضة الكربون وتسليمه، ونسبة مشاركة القطاعين الحكومي والخاص.

ويتباين نطاق الخدمات التي يقدمها مطورو المشروعات ليشمل طيفًا عريضًا. ومن أمثلة هذه الخدمات وضع منهجية التصميم والإنشاء والتملك والتشغيل والصيانة، في حين قد يتخصص مطورون آخرون في مجموعة فرعية من هذه الخدمات.

ومن بين السمات الأساسية لكيانات تطوير المشروع أن لها ميزانيات ونماذج عمل منفصلة عن المؤسسة المُضيفة للمشروع وتكرس موارد لإدارة مشروع الطاقة. وتغطي خطة العمل فترة طويلة في العادة، ويجب أن تكون محكمة بالقدر الذي يحقق استقطاب الاستثمارات الخارجية لصالح المشروع.

تقدم **الشركات الخاصة لتطوير المشروعات** خدمات إدارة الطاقة للبلديات والحكومات والمؤسسات وكيانات القطاع الخاص الأخرى. كما تهتم بمد نطاق المشروعات إلى مبانٍ جديدة أو قائمة عندما تصبح تكلفة إمداد الطاقة أقل بالنسبة إلى مالك المبنى مقارنةً بتكلفة تركيب محطة جديدة أو استبدالها. وقد تحصل هذه الشركات على تمويل إضافي من جهات خارجية، إلا أنه يبقى لزامًا على ملاك المباني أو مطوريها ضخ رأس المال اللازم لإنشاء المشروع والتوسع فيه خلال فترة معقولة من مدة التعاقد.

أما **شركات تطوير المشروعات الحكومية** فتخدم بوجه عام المباني

مزايا المنهجية	عيوب المنهجية
• يقع الاستثمار وتحمل المخاطر المالية على كاهل الشركات الخاصة. • تضمن انضمام متخصصين ذوي خبرات واسعة في المجالات التقنية ممن لديهم مهارات إدارية وتشغيلية كبيرة، بحيث يمكن مواجهة المخاطر التقنية. • تضمن ملكية المشروع وتشغيله على المدى الطويل.	• تتطلب معدلات عوائد أعلى، وقد ترتفع تسعيرة الطاقة. • يفقد الرعاة الحكوميون السيطرة على المشروع ولا يمكنهم توجيه مساره المستقبلي لا سيما في المشروعات التي ينخفض فيها معدل العوائد. • يصبح العملاء مقيدين بشركة خاصة ومعرضين لمخاطر الاستغلال الاحتكاري ما لم تفرض الحكومة الاتحادية قيودًا على التسعيرة التي يتحملها المستهلكون.

أو العملاء داخل حدود مدينتهم أو حاضرتهم. كما يمكن أن تستحدث الحكومات المحلية كيانات تابعة للبلديات تتولى تأسيس شركات مختصة بطاقة أنظمة تبريد المناطق وتملُّكَها وتشغيلها. ومن الممكن كذلك خلق كيانات تابعة للبلدية أو كيانات ذات أغراض محددة تتبع نموذج عمل محدد مستقل عن البلدية وتتخصص في إدارة المشروع. ويستطيع هذا الكيان الاقتراض بضمان أصوله وتدفق إيراداته بعد وضع إستراتيجية لتمويل المشروع. إلا أن أي ديون تنشأ سوف تُدرج على الأرجح في حسابات البلدية، وهو ما يعني تحمل البلدية مخاطر المشروع المالية. ومن ثم يجب أن يتأسس العرض المقدم من هذه الشركات على مبادئ الاستثمار من أجل الادخار، ما يتيح أيضًا للمشروع الحصول على رأس المال بمعدلات قريبة من معدلات القطاع الحكومي. ورغم أن الملكية ستكون للبلدية، فإن أمورًا مثل التصميم التقني والإنشاء والتشغيل يمكن التعاقد بشأنها مع شركات القطاع الخاص المتخصصة، ويمكن أن يحتفظ القطاع الخاص بهذه الأصول بموجب ترتيبات تمويل التصنيع أو بإبرام صفقات لشراء أسهم من العائد المستقبلي مع بنوك. وبهذا يمكن التخفيف من المخاطر التقنية والمالية أو اجتيازها.

مزايا المنهجية	عيوب المنهجية
• البلدية هي المالك والمسيطر، ما يضمن الالتزام بالضوابط الاجتماعية والبيئية الموضوعة من قبلها. • تصبح ملكية البلدية للمشروع ضمانًا لتنفيذ اتفاقيات الحصول على التمويل، وسيكون هذا بتكلفةٍ أقل مقارنة بتكلفة اقتراض الشركات الخاصة. • يمكن أن تسهم حصص الأرباح في تقديم خدمات أخرى. • تتولى البلدية تنسيق التوسع المستقبلي والإشراف عليه.	• تعتمد الشركة على القوة المالية للبلدية، ومن ثم تظل مدرجة على كشف ميزانية البلدية. • يجب أن يكون الحد الأدنى لتصنيف أداء البلدية الاقتصادي عند درجة مقبول. • تتحمل البلدية المخاطر المالية.

نموذج العمل المُوصى به

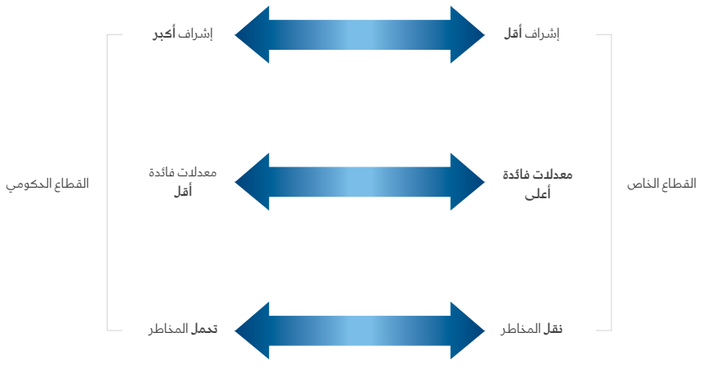
يمكن إبرام **اتفاقيات الشراكة الهجينة الحكومية والخاصة** بغرض تقاسم المخاطر بين القطاعين الحكومي والخاص وبحيث تتيح هذه الاتفاقيات الحصول على رأس المال الخارجي بمعدلات الفائدة الأقل المتاحة للقطاع الحكومي. وقد تأتي هذه الشراكات الهجينة في صورة مشروعات مشتركة أو كيانات مملوكة لمساهمين ذات أغراض محددة، بحيث يكون لكل طرف من الأطراف المشاركة عضوية في المشروع أو حصة في أسهم ملكيته. ومن المفيد هنا تحديد الأدوار المختلفة اللازمة لتسليم مشروع طاقة تبريد المناطق وتشغيله، وإسناد هذه الأدوار للأطراف المشاركة أو التعاقد بشأنها مع شركات متخصصة. كذلك يتطلب تأسيس المشروعات المشتركة أو الكيانات المملوكة لمساهمين ذات الأغراض المحددة الحصولَ على استشارات قانونية متخصصة. ويجب تحديد أهداف الشركة وهيكلها التنظيمي في مذكرة التفاهم وبنود التأسيس. يتبع ذلك إبرام مجموعة من العقود التي تحدد العلاقات المؤطرة لتقديم خدمات الطاقة. ورغم أن نماذج العقود متوفرة في مطبوعات متنوعة، فإنها ستتطلب حتمًا إدخال بعض التعديلات لكي تفي بالاشتراطات التي تضعها المؤسسة المُضيفة.

يوجد تشابه كبير بين **الكيانات المملوكة لمساهمين ذات الأغراض المحددة** والنهج الهجين، باستثناء أن الملكية فيها مشتركة بين عدة مساهمين. وهؤلاء يمكن أن يكونوا عملاء مستهلكين لطاقة التبريد أو هيئات بارزة مثل البلدية أو تجمعات سكانية.

ويتطلب نجاح تنفيذ مشروعات طاقة تبريد المناطق وإدارتها تحديدَ الأدوار والمسؤوليات. وهنا يحدد رائد المشروع معالمَ المشروع ويضمن الإسهام الفعال من جانب المساهمين، ثم يشرع في وضع دراسات الجدوى التقنية وتقييمات الاستثمار المالي وجمع التمويل المبدئي والترويج للمشروع. كما أنه من الضروري هنا وضع الضوابط اللازمة لتحديد معايير الأداء ومعايير حماية المستهلك والتأكد من الالتزام بها. ويجب أن تقتصر حوكمة هذا المشروع على هذه الشراكة، وأن تُعنى بتقديم التوجيه الإستراتيجي وضمان محاسبة المساهمين وبناء علاقات تعاوُن رفيعة المستوى. وبالنسبة إلى المطور، فدوره أقل وهو معنيٌ في المقام الأول بتصميم نظام طاقة تبريد المناطق وإنشائه وتسليمه النهائي. أما مالك الأصول فهو مصدر الأصول المادية ويمكن أن يكون أحد المصارف أو أحد المستثمرين. ويكون مشغل المشروع مسؤولًا عن التشغيل التقني للمشروع، بينما يكون تاجر التجزئة مسؤولًا عن بيع الطاقة على مستوى المشروع، في حين يتحمل مدير سلسلة التوريد مسؤولية توريد الوقود والمرافق والمعدات والخدمات الضرورية لإنشاء المشروع وتشغيله.

مزايا المنهجية	عيوب المنهجية
• تتفق بصورة وثيقة مع الأهداف الاجتماعية والبيئية التي يضعها القطاع الحكومي. • تتسم بقدرٍ أكبر من المرونة مقارنةً بالمنهجيات الحكومية أو الخاصة الخالصة. • من الممكن الحصول على رأس المال بمعدلات فائدة تُتاح للقطاع الحكومي بتكلفة منخفضة.	• يظل القطاع الحكومي متحمِّلًا جانبًا من المخاطر. • تتحمل ميزانية القطاع الحكومي التزامات القروض. • يجب الامتثال لإجراءات التوريد الحكومية.

إنشاء المشروع وتسليمه



شكل 37: سيناريوهات لنموذج عمل المشروع وجهات الإشراف الفاعلة وأسعار الفائدة والمخاطر(Us Community Energy guide)*

في ما يتعلق بالمشروع والجداول الزمنية التمهيدية وخطط العمل المحددة له، من المهم الاتصال بالممولين والمساهمين المحتملين وغيرهم من الأطراف المعنية من أجل الحصول على الموافقات والدعم. ومن الضروري هنا تقديم وصف لشكل المشروع ومراحل إنشائه الأولية وعرض رؤية عامة لخصائص النظام المحلي المعني بطاقة تبريد المناطق ومزاياه. وينبغي خلال مراحل إنشاء المشروع جميعها تحديد المستخدمين النهائيين ووضع إستراتيجية اتصالات لتحفيز المشترين وتحديد المواقع الحيوية لتجمّع العملاء. وغالبًا تنتج المباني الحكومية والبلديات الأحمال الثابتة في هذه المشروعات، ولذا يجب فهم متطلباتها من الطاقة فهمًا تامًا، بما في ذلك توقيت أعمال التجديد الضخمة أو عمليات إحلال المعدات أو تغيير أغراض استخدام المباني. ومن المهم إستراتيجيًا أيضًا منذ البداية إجراء مسح للسوق لتحديد المباني التي سوف تشترك في الخدمة، ويجب أن يُعطى هذا الأمر أولوية قصوى ويوكل به إلى أحد أعضاء الفريق المتخصصين في تطوير المشروعات التجارية.

جدير بالذكر أن التكلفة والأسعار المحددة في النموذج المالي ما هي إلا تقديرات وافتراضات. لذا فمن المهم تحديد ما إذا كانت الميزانيات محددة على أساس متين والتأكد من وجود البائعين المؤهلين والتحقق من أساسيات المشروع. وفي حال طرح المشروع أمام القطاع الخاص، يجب التحقق من الإقبال السوقي التنافسي على المشروع بمواصفاته المحددة، كما يجب أن يضطلع استشاري خبير بهذه المهمة، إذ إنها تستلزم التخصص. ومما لا شك فيه أن سوق خدمات الطاقة تتطور سريعًا، لذا يفضّل التماس المشورة حول مجموعة الخدمات المعروض تقديمها وتحديد الجهات التي يمكن الحصول منها على هذه الخدمات.

ويمكن إجراء اختبارات السوق بالاستعانة بمذكرة معلومات المشروع التي تضم مواصفات المشروع والمستندات والوثائق الأساسية مثل دراسة الجدوى التقنية. وتتيح هذه الاختبارات السوقية الفرصة لتعديل نموذج المشروع بحيث يصبح أكثر جاذبية للسوق. كذلك يمكن تحديد مقدمي الخدمات عن طريق إطلاق مناقصة للمشاركين المؤهلين تقدمها الجهة المعنية بغرض تعريف الفاعلين الإقليميين المختصين بالمشروع. ويمكن أن يتمخض هذا عن وضع قائمة بمقدمي العروض الذين ثبتت أهليتهم مسبقًا ومن ثم إتاحة الفرصة أمام رعاة المشروع للتحقق من التوقعات الواردة في النموذج المالي.

أما مسار التوريد فيعتمد على نموذج العمل المستهدف. ففي نموذج العمل القائم على القطاع الخاص تختار الهيئات الحكومية شركة خاصة لتتولى عملية التصميم والإسناد والتملك والتشغيل والصيانة في المشروع. وتحتاج هذه الهيئات الحكومية إلى تشكيل لجنة تقييم داخل المؤسسة المُضيفة للمشروع تضم مجموعة من ذوي المهارات والخبرات والتخصصات الملائمة. كما تظهر حاجة إلى الحصول على خدمات استشاري متخصص لإعداد شروط المناقصات بناءً على مذكرة معلومات المشروع أو طلب المؤهلات بعد تعديلهما. وتُنشر هذه الشروط بعد ذلك في وسائل الإعلام المناسبة بوصفها دعوة للمشاركة. ويكون ذلك باختبار مسبق لتحديد مدى أهلية الراغبين في المشاركة في المشروع يمكن من خلاله تحري المصداقية المالية والتقنية للمقاولين والشركاء أو أحدهما وتقييم خبراتهم السابقة. ويمكن الاستناد إلى اعتبارات مثل الخبرة التخصصية والوضع الائتماني في تقييم المتقدمين والمقارنة بينهم.

كذلك يمكن للهيئات العامة، عن طريق مواردها الداخلية، تأسيس كيانات داخلية لإعداد الخطط والمواصفات اللازمة للعطاءات وعمليات التوريد الجزئي. ويستلزم هذا المسار عادة تحمل المؤسسة المُضيفة للمشروع مسؤولية الاستعانة بخدمات شركة هندسة استشارية مؤهلة ومهندس معماري ومتخصصين قانونين ومتخصصي التراخيص والمهندسين التابعين للجهة المالكة للإشراف على الجودة وتنفيذ المشروع. وبتزويد المشروع بالطواقم المؤهلة تقنيًا، يمكن أن تكون هذه المنهجية مفيدة في خفض تكلفة المشروع، إلا أن المؤسسة المُضيفة تتحمل هنا النصيب الأكبر من المخاطر المالية للمشروع.

أما في نموذج عمل الشراكة الهجينة والكيانات المملوكة لمساهمين ذات الأغراض المحددة، فيكون أمام البلديات خيار تأسيس كيان ذي غرض خاص مثل جهات الشراكة أو المؤسسات ذات المسؤولية المحدودة، التي تتولى إنشاء كيان وظيفي مستقل ذي لائحة محلية، ويمكن لهذا الكيان أن يدرج تعريف بالمساهمين فيه وسجلاته المالية. وإذا وقع الاختيار على هذا المسار، فسيتطلب ذلك الاستعانة بمحامٍ متخصص لتجهيز الأوراق اللازمة لتأسيس الشركة. وفي حال تضمنت هذه الخطة هيئة حكومية، يظل المشروع ملزمًا بالإجراءات المتعلقة بالعطاءات والتوريدات الحكومية إضافةً إلى العمليات المذكورة أعلاه.

أما في حالة نموذج العمل القائم على ملكية مساهمين، فيعتمد مسار التوريد أيضًا على ماهية المساهمين. لذا يصبح من الممكن إقامة شركات خاصة غير هادفة للربح للتصرف بالنيابة عن العملاء الأساسيين كما في النموذج التعاوني. وهنا تبرز بعض الاعتبارات المهمة التي تلعب جميعها دورًا في الهيكل النهائي، وهي الاعتبارات الضريبية وأهداف المشروع والملكية والقدرة على اختراق السوق وتوفر رأس المال.

ويجب أن تتضمن خطة تسليم المشروع إنجاز مراحله الأساسية المنصوص عليها في العقد النهائي، كما يُنصح بتعيين مسؤول للإشراف على العقود يكون حلقة وصل بين أي طرفين ويتولى الإشراف على صياغة العقود والتعامل مع المشكلات التي قد تظهر. إضافةً إلى ذلك تظهر أثناء مرحلة تسليم المشروع تحديات مرتبطة بالحصول على التصاريح وحقوق استخدام الطرق والتخطيط المروري والعراقيل الناشئة عن حركة الإنشاءات في الشوارع، ومن هنا يكون من المناسب تعيين مسؤول اتصال مع السكان أو المتأثرين.

> *ينبغي خلال مراحل إنشاء المشروع جميعها تحديد المستخدمين النهائيين ووضع إستراتيجية اتصالات لتحفيز المشترين وتحديد المواقع الحيوية لتجمّع العملاء.*

قائمة الامتثال للمواصفات

يجب على **الجهة المرخص لها** استيفاء قائمة الامتثال للمواصفات.

المرخص له: أي شخص يصدر له من الهيئة المختصة ترخيص ساري المفعول، أو ترخيص إنتاج واستهلاك ذاتي، يسمح بمزاولة أنشطة تقديم خدمات تبريد المناطق.

المعايير والمتطلبات الفنية

المصدر: Regulatory Framework of District Cooling, WERA

المعايير الوطنية المبدئية المشروعات الحكومية التي تستوفي المعايير الآتية يجب أن يشمل نطاق عملها تبريد المناطق
المشروعات الحكومية
المشروعات الجديدة
المشروعات التي تتجاوز حاجتها من التبريد 15 ألف طن تبريد
المشروعات التي تتوفر لها كميات كافية من المياه المعالَجة
المشروعات كثيفة المنشآت (التي تتسم بالتنوع - مناطق متعددة الاستخدامات) التي تتحقق فيها أعلى نسبة لمساحة المباني إلى مساحة الأرض، وتقع بالقرب من المحطات والأبراج الشاهقة، **حيث تتراوح نسبة مساحة المباني إلى مساحة الأرض بين 1.2 و1.5.** تسمح نسبة المباني إلى مساحة الأرض البالغة 1.5 بإقامة المنازل الأفقية، في حين تسمح النسبة البالغة 1.2 بإقامة الأبراج الشاهقة المخصصة للأغراض المكتبية.

أ- الضوابط الفنية	نعم	لا	لا ينطبق
تقييم الأثر البيئي لمشروعات تبريد المناطق لضمان الالتزام بالمعايير البيئية والامتثال للإستراتيجية الوطنية للمياه والضوابط المحلية لإمدادات المحطات وتصريفها.			
متابعة جودة المياه وإبقائها عند المستوى المطلوب في جميع الأوقات في أثناء تشغيل محطة تبريد المناطق، وذلك باستخدام الأنظمة التي ترصد الامتثال لمعايير جودة المياه بشكل مستمر وآلي.			
لا تتجاوز معدلات تركيز المياه المُبرَّدة (في المنظومات المغلقة) القيم التي تحددها هيئة الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة.			
التقيد بالضوابط المنصوص عليها في توجيهات الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء (ASHRAE 12-2000) أو أي توجيهات مماثلة لتقليل احتمالات نمو بكتيريا الفيلقية المُستروحة في أنظمة المياه في المباني، وكذلك يجب الالتزام بالمتطلبات المحلية (كما حددتها هيئة الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة) للوقاية من بكتيريا الفيلقية المُستروحة في أبراج التبريد.			
تسجيل القراءات الآتية للمكثِّفات أو المياه التعويضية: • مستوى المانع • الناقلية • توازن الكالسيوم • الفيلقية المُستروحة • أعداد البكتيريا • عُسر الكالسيوم/العُسر الكلي • الكلوريد • القلوية الكلية • الحديد • حموضة المياه			
توفير خزانات ومضخات مخصصة لإمدادات المياه التعويضية المالحة إلى أبراج التبريد ومنع حدوث تلوث في أي من خزانات المياه الصالحة للشرب. كما يجب تخزين الحد الأدنى من المياه التعويضية، الذي يعادل استهلاك 24 ساعة، في أبراج التبريد في محطات تبريد المناطق جميعها (وفقًا للاستهلاك المقدر للمحطة في أوقات الذروة).			
أن تكون مواصفات مياه التصريف الخارجة من محطات تبريد المناطق مطابقة لمتطلبات وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان وشركة المياه الوطنية وهيئة الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة ووزارة البيئة والمياه والزراعة.			

ب- السماح باستخدام المياه المالحة أو مياه البحر	نعم	لا	لا ينطبق
الجهة المرخص لها تستخدم مياه الصرف المعالَجة أو مياه البحر، ويحظر عليها استخدام أي مياه أخرى مثل المياه المحلاة أو المياه الجوفية.			
تستخدم مياه الشرب في حالات الطوارئ، وتعرَّف حالة الطوارئ بأنها انقطاع أو نقص في إمدادات مياه الصرف المعالَجة أو المياه الرمادية لأسباب لا تعود إلى الجهة المرخص لها. ويجب أخذ موافقة الهيئة إذا تجاوزت الحالة الطارئة فترة 30 يومًا.			
يجوز بعد الحصول على موافقة الهيئة استخدام المياه الصالحة للشرب بوصفها مياهًا تعويضية على أساس دائم عند عدم توافر مياه الصرف وعدم إمكان توفير مصادر بديلة أخرى من المياه، وذلك بعد التنسيق مع الجهة مقدمة خدمات المياه.			

ج- استخدام أنظمة تخزين الطاقة الحرارية	نعم	لا	لا ينطبق
تركيب أنظمة تخزين الطاقة الحرارية في جميع محطات تبريد المناطق الدائمة والمستقبلية في حالة ثبوت الجدوى الفنية والاقتصادية لذلك. ويُحتمل أن تدخل في عمليات التركيب تلك منهجيات لتخزين الثلج أو المياه المُبرَّدة أو تخزين السوائل المُبرَّدة أو منهجيات تخزين المواد التي تغير أطوارها (تُحدد التقنية الأنسب حسب طبيعة كل مشروع). ويجب تقديم أي طلب للإعفاء من هذا الشرط إلى الهيئة، التي تتولى الموافقة أو الرفض بعد مراجعة الطلب.			
عند اعتماد خطة التشغيل الخاصة بإزاحة أقصى قدر من الأحمال، لا تزيد نسبة الحد الأقصى للأحمال الآنية في نظام تخزين الطاقة الحرارية عن 20% من الحد الأقصى لأحمال التبريد الآنية المحددة في المصنع.			
عند اعتماد منهجية نقل كامل الحمل أو جزء منه، تتحدد سعة الخزان (المقاسة بالطن/ساعة) وحجم جهاز التخزين بناءً على الحمل المتوقع ومواصفات التصميم القياسية ونوع التخزين وساعات الذروة التي يتطلبها التشغيل.			
تصميم الخزانات في أنظمة تخزين الطاقة الحرارية بحيث لا تتجاوز أعلى حرارة مكتسبة 1% من سعة التخزين خلال فترة مدتها 24 ساعة.			

د- الحد الأدنى لاستيفاء معايير الأداء الخاصة باستهلاك الطاقة الكهربائية والمياه	نعم	لا	لا ينطبق
على الجهة المرخص لها الالتزام بتحقيق الحد الأدنى من استهلاك الطاقة الكهربائية والمياه الذي اعتمدته الهيئة، والامتثال لأي ضوابط فنية أخرى تصْدرها الهيئة بهذا الخصوص، ويجب أن تنص على هذه الضوابط وثائق طرح المشروع.			

هـ- مياه الصرف في محطات تبريد المناطق	نعم	لا	لا ينطبق
على الجهة المرخص لها الالتزام بالأسلوب الأمثل لتصريف المياه في كل مشروع، بحسب معايير التخلص من الصرف الصادرة عن هيئة الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة بشأن صرف المياه في المشروعات الصناعية والبلدية.			
أولًا: على الجهة المرخص لها الالتزام باستيفاء مواصفات الإمدادات المعتمدة من الهيئة وبأي ضوابط فنية أخرى تصدرها الهيئة من وقت إلى آخر، مع الأخذ في الحسبان استثناء الجهات المرخص لها -التي تستهلك استهلاكًا ذاتيًا- من أحكام الفقرة التالية (الثانية) ومن أي أحكام تتعلق بتقديم الخدمة للمستهلك النهائي. **ثانيًا:** على الجهة المرخص لها بتقديم خدمات تبريد المناطق الامتثال للضوابط المعتمَدة من الهيئة المنظمة للعلاقة بين الجهة مقدمة الخدمة والمستهلك النهائي، التي تشمل الآتي: أ) الحقوق والالتزامات بين الجهة المرخص لها والمستهلك. ب) المواصفات المشروطة للأداء التشغيلي لخدمة تبريد المناطق. ج) الشروط الفنية لتوصيل الخدمة. د) مواصفات عدادات القراءة ومعاييرها. ه) ضوابط خدمات الفوترة والسداد.			

و- الالتزام باستيفاء مؤشرات الأداء الرئيسة

يضمن الالتزام باستيفاء مؤشرات الأداء الرئيسة تحقيق أنظمة تبريد المناطق الاستخدام والتشغيل المثاليين

مؤشر الأداء الرئيس		معادلة مؤشر الأداء الرئيس	الهدف المحدد
تبريد المناطق 1	عامل إتاحة التشغيل	**تبريد المناطق1 = (الساعات المتاحة/ساعات الفترة) × 100%** الساعات المتاحة: الفترة التي يمكن خلالها للجهة مقدمة خدمات تبريد المناطق تقديم الخدمة سواء كانت الخدمة تُقدَّم بالفعل أم لا. ساعات الفترة: إجمالي عدد الساعات في الفترة التي يشملها تقرير عمليات التبريد.	أدنى قيمة لنسبة إتاحة التشغيل هي 99.5% لإنتاج المياه المبرّدة
تبريد المناطق 2	استهلاك المياه التعويضية في برج التبريد	**تبريد المناطق2 = استهلاك المياه (بالمتر المكعب)/إجمالي حجم التبريد الفعلي (طن تبريد/ساعة)** يختلف الأداء بحسب نوع المياه المستخدمة للتبريد. إذا استُخدمت إحدى محطات التنقية، يشير استهلاك المياه إلى المدخلات من المياه في محطة التنقية. إذا لم توجد محطة تنقية، فإن استهلاك المياه يكون مساويًا لإجمالي المياه التعويضية.	مقدار المياه الصالحة للشرب: 0.008 متر مكعب/طن تبريد في الساعة مقدار المياه من نفايات الصرف المعالَجة: 0.012 متر مكعب/طن تبريد في الساعة
تبريد المناطق 3	كمية تصريف مياه الصرف	**تبريد المناطق3 = كمية مياه الصرف (بالمتر المكعب)/إجمالي حجم التبريد الفعلي (طن تبريد/ساعة)** يختلف الأداء بحسب نوع المياه المستخدم للتبريد. تشير كمية مياه الصرف إلى المياه المنصرفة من محطة التنقية (إن وجدت) بالإضافة إلى مياه تصريف الشوائب الصلبة في برج التبريد.	مقدار المياه الصالحة للشرب 0.0015 متر مكعب/طن تبريد في الساعة مقدار المياه من نفايات الصرف المعالجة 0055 متر مكعب/طن تبريد في الساعة
تبريد المناطق 4	استهلاك الكهرباء	**مؤشر استهلاك الكهرباء = استهلاك الكهرباء (كيلوواط ساعة)/إجمالي كمية التبريد الفعلية (طن تبريد/ساعة)** يشير استهلاك الكهرباء إلى إجمالي استهلاك محطة تبريد المناطق من الكهرباء بما في ذلك استهلاك المُبرِّدات وأبراج التبريد ومحطات التنقية (إن وجدت) ومضخات التشغيل ومضخات التوزيع وكل المعدات المساعدة الأخرى.	1 كيلوواط/طن تبريد في الساعة

ز- مواصفات إمدادات تبريد المناطق

يقدم الجدول تعريفًا للعناصر اللازمة لمتابعة الامتثال لمواصفات إمدادات تبريد المناطق، مع الأخذ في الحسبان أن هذه العناصر قابلة للتعديل وفق الحاجة

العنصر	الوصف	الفترة التي يشملها تقرير عمليات التبريد	الجهة المسؤولة
درجة حرارة الإمدادات	عدد الحالات التي لم تقدِّم فيها الجهة المرخص لها إمدادات مياه مُبرَّدة في نطاق درجة حرارة يتراوح بين 5.5 و6.5 مئوية في ظروف التشغيل العادية.	ربع سنوية	الجهة المرخص لها
درجة حرارة الاسترجاع	عدد الحالات التي لم يسترجع فيها المستهلك المياه المُبرَّدة عند درجة حرارة قيمتها 14 درجة مئوية أو أكثر.	ربع سنوية	المستهلك
انقطاعات التشغيل في النظام	عدد حالات انقطاع الخدمة المحددة في الخطة عند عدم تقديم الجهة المرخص لها للمستهلك إشعارًا خطيًا مسبقًا قبل 14 يومًا على الأقل من تاريخ الانقطاع، تحدد فيه تاريخ (تواريخ) تلك الانقطاعات ومدة الانقطاع في كل مرة.	ربع سنوية	الجهة المرخص لها
الفوترة	عدد الحالات التي لم تُصدر فيها الجهة المرخص لها فواتير للمستهلك بصفة شهرية أو ربع سنوية على الأقل وفقًا للرسوم المعلنة.	ربع سنوية	الجهة المرخص لها

إدارة مياه أبراج التبريد: رفع كفاءة استهلاك المياه في محطات تبريد المناطق المجهزة بمبرِّدات المياه

تستهلك أنظمة أبراج التبريد في محطات تبريد المناطق كميات ضخمة من المياه في عملية التبريد، إذ تتطلب قرابة ثلاثة جالونات من المياه في الدقيقة لكل طن تبريد تنتجه المنظومة. ومن ثم فإن المبنى التجاري متوسط الحجم الذي يحتاج إلى 500 طن تبريد يُتوقع أن يستهلك ما يزيد على 1500 جالون من المياه في الدقيقة لتبريده كاملًا. وتتباين درجات حرارة إمدادات المياه والمرتجع منها وفقًا لطاقة التبريد المستخدمة. وتجدر الإشارة هنا أيضًا إلى أن درجات حرارة إمدادات المياه يجب أن تتوافق مع اشتراطات الجودة في أنظمة تبريد المناطق، وأن درجات حرارة المياه المرتجعة يجب أن تتوافق مع اشتراطات الكفاءة في أنظمة تبريد المناطق. ويمكن أن تسهم صيانة أبراج التبريد إسهامًا ملحوظًا في خفض استهلاك المياه. علاوة على ذلك تتطلب عمليات إدارة المياه في أبراج التبريد الاستثمار في برامج صيانة شاملة ومنتظمة من أجل توفير المال والطاقة وفي الوقت ذاته إطالة العمر الافتراضي للبرج. ومن الواجب كذلك خفض استهلاك المياه الصالحة للشرب في معدات أبراج التبريد من خلال الإدارة الفعالة للمياه أو باستخدام مياه تعويضية غير صالحة للشرب أو اتخاذ كلا الإجراءين. كما يجب أن تتشكل المياه التعويضية في 50% منها على الأقل من مياه غير صالحة للشرب، مثل مياه الأمطار المجمَّعة والمياه المتكثفة في مكيفات الهواء والمياه الخارجة من أنظمة الترشيح في حمامات السباحة ومياه تصريف أبراج التبريد والمياه الجوفية الملوثة ومياه الصرف المعالَجة في محطات البلديات ومياه العمليات الصناعية ومياه الصرف ومياه الري المستربعة والمياه منخفضة الملوحة، وغير ذلك من أنواع المياه الناتجة المتأثرة بالأنشطة البشرية أو المعادن الطبيعية، أو أي مصدر آخر للمياه في الموقع غير المياه الطبيعية الجوفية أو السطحية. جدير بالذكر أن عدادات المياه الموجودة في الأبراج لضمان تعويض المياه وتصريف الضغط تسهم في خفض استهلاك المياه وخفض تكلفة التشغيل. إضافة إلى ذلك توفر أنظمة التحكم في نقل الماء الأدوات اللازمة لتشغيل المعدات وصيانتها في دورات صيانة وتشغيل متقدمة تضمن خفض استهلاك المياه في أبراج التبريد. ويمكن استخدام عدادات معدل نقل الماء المتصلة بمفاتيح التحكم في التشغيل الآلي في ضبط معدلات تفريغ الضغط لكي تتناسب مع التغير في معدلات التبخر وتضمن تحقيق نسبة تركيز أعلى، ما يعمل بدوره على رفع كفاءة استهلاك المياه عن طريق تجنب الاستهلاك غير الضروري للمياه التعويضية. وتؤثر إستراتيجيات خفض استهلاك المياه وتقنياتها المستخدمة

> *المبنى التجاري متوسط الحجم الذي يحتاج إلى 500 طن تبريد يُتوقع أن يستهلك ما يزيد على 1500 جالون من المياه في الدقيقة لتبريده كاملًا.*

في أبراج التبريد على كفاءة الطاقة في الموقع وتتطلب تحديد الجهات المنوطة بتلك العمليات، ولذا يجب وضعها ضمن خطة إدارة طاقة المشروع.

وتعتمد كمية المياه اللازمة لتشغيل برج التبريد على آلية تشغيل المنظومة ومقدار الطاقة غير المرغوب في استهلاكها التي تُرسل إلى البرج للتصرف فيها عبر عملية التبخير. إذ يرجع فقدان المياه في الأبراج إلى عمليات التبخر وتصريف المياه بغرض السيطرة على معدل تراكم المعادن (أي بعبارة أخرى على معدل تفريغ الضغط أو التفريغ السريع)، وعلى فقدان المياه بفعل الانجراف أو السحب أو التسرب أو الانسكاب أو التدفق الزائد. وتُعرف كمية المياه التي يُغذى بها النظام من جديد لتعويض المياه المفقودة باسم المياه التعويضية. وتؤدي الصيانة الجيدة لأبراج التبريد إلى إبقاء معدلات فقدان المياه عند مستويات منخفضة جدًا، وهو ما يتيح للمشروعات خفض استهلاك كميات كبيرة من المياه. كما تقوم عدادات معدل نقل الماء ووسائل منع الانجراف بخفض معدلات فقدان المياه وحفظ الموارد المائية من خلال ضبط معدلات تفريغ الضغط.

إمدادات المياه غير الصالحة للشرب: تسهم المياه التعويضية التي تأتي من مصادر مياه غير صالحة للشرب في خفض الطلب على إمدادات المياه الصالحة للشرب. ونظرًا إلى ضرورة التحكم في نمو الميكروبات داخل أبراج التبريد، يجب التأكد من أن مصادر المياه غير الصالحة للشرب لا تسبب تلوثًا حيويًا ولا تمد البكتيريا بمصادر غذائية، وأن برامج المعالَجة المستخدمة تناسب إمدادات المياه غير الصالحة للشرب. ويمكن استغلال المياه الناتجة عن التكثيف في أنظمة تكييف الهواء للحصول على بديل ممتاز لمياه التبريد في الأبراج، لأن هذه المياه تكون في العادة أنقى من المصادر الأخرى المتاحة. كما أن ذلك يغني عن الحاجة إلى إجراء عمليات معالجة مكثفة قبل بدء استخدام المياه في منظومة برج التبريد، بالإضافة إلى أنها مياه باردة، ما يعد ميزة كبيرة لتحقيق كفاءة الاستهلاك. أما مياه الأمطار المجمَّعة فهي مصدر مناسب لا سيما عندما يكون للمبنى أسطح كبيرة تتيح تجميع المياه أو عندما يمتاز المناخ بغزارة المطر وانتظام سقوطه. وبالنسبة إلى المياه الرمادية المعاد استخدامها، فيمكن الاستعانة بها في أبراج التبريد إذا عُولجت جيدًا، بوصفها مياهًا تعويضية. وتسهم المُركبات الموجودة في المياه الرمادية غير المعالجة جيدًا في زيادة احتمالات نمو البكتيريا والتقشُّر وتآكل بعض المعادن. ولهذا السبب يجب توخي الحذر في تصميم الأنظمة التي تستخدم المياه المعالجة المعاد تدويرها، كما يجب متابعتها للحد

> *يمكن استغلال المياه الناتجة عن التكثيف في أنظمة تكييف الهواء للحصول على بديل ممتاز لمياه التبريد في الأبراج، لأن هذه المياه تكون في العادة أنقى من المصادر الأخرى المتاحة.*

من تلك المخاطر. ويمكن لإعادة استخدام مياه الأغراض الصناعية في أبراج التبريد أن تتيح حلًا عمليًا في بعض فئات المباني التي تستخدم مصادر المياه غير الصالحة للشرب مثل مياه مصارف الأساس والمياه الخارجة من أنظمة ترشيح حمامات السباحة ومياه التناضح العكسي المرفوضة ومياه التبريد التي تستخدم لمرة واحدة في نظام التبريد. كما توفر المرافق البلدية في بعض المناطق إمدادات مياه معاد استخدامها وغير صالحة للشرب.

الرقابة الكيميائية والحيوية: يجب تكليف متخصصين في مجال معالجة المياه بتنفيذ برنامج يحقق أهداف خفض استهلاك المياه والسيطرة على التآكل والتقشُّر والترسب ونمو الميكروبات. ويسهم الحد من الرواسب المعدنية والتآكل في الحفاظ على كفاءة النظام ويمنع النمو الميكروبي. ويتسنى الحد من المحتوى المعدني بالجمع بين تفريغ الضغط لتخفيف الشوائب، والمعالجة الكيميائية التي تمنع ترسب المواد الصلبة الذائبة. كذلك تقلل المعالجة الفعالة من الحاجة إلى تفريغ الضغط، ومن ثم تسهم في خفض استهلاك المياه. ويمكننا تحقيق أقصى درجة من خفض استهلاك المياه بالجمع بين آليتي تفريغ الضغط والمعالجة الكيميائية ومواءمتهما بعضهما ببعض.

وقد ارتبطت نوبات تفشي بكتيريا الفيلقية المستروحة بتدهور مستوى عمليات معالجة المياه، إلا أن هذا النوع من البكتيريا يسهل السيطرة عليه. فقد أصدرت الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء دليلها الإرشادي رقم 12-2000 وعنوانه "الحد من فرص نمو الفيلقية المستروحة داخل أنظمة مياه المباني" *Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems*، الذي يقدم إرشادات لوضع برنامج مراقبة حيوية فعال. فعند استخدام المواد الكيميائية لمكافحة النمو الميكروبي، يجب ابتكار مبيدات حيوية فعالة بالاستعانة بأجهزة لمعايرة الجرعات المناسبة من هذه المبيدات. كما يتطلب الأمر استخدام وسائل رصد التآكل للتأكد من أن المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة فعالة مع المعادن الموجودة في المنظومة. يجب كذلك وضع مؤشرات للأداء تساعد في تقييم فاعلية أي عملية معالجة، مثل تحديد معدلات التآكل المقبولة بناءً على نوع المعدن، والحدود القصوى لتركيز الميكروبات. كما يتعين الاحتفاظ بسجلات المعالجة التي ينبغي أن تذكر نوعية المواد الكيميائية المستخدمة وتتحرى استخدام مواد كيميائية جديدة صديقة للبيئة، واتخاذ إجراءات متابعة أو استعانة بأنظمة المعالجة الفلترية مثل أنظمة تقنية القدرة النبضية. بالإضافة إلى ذلك فإن وضع جداول زمنية للصيانة يضمن انتظام عمليات الصيانة وفاعليتها، بما في ذلك رصد أي مشكلات تتعلق بالتسريب أو التدفق الزائد، والتأكد من انتظام عمليات التنقية وإعادة معايرة مستشعرات نقل الماء وفقًا لتوصيات المُصنِّع.

ويمكن أن تتضمن الحلول المقترحة لرفع كفاءة برج التبريد ابتكار تقنيات مستحدثة لإزالة الرطوبة بهدف خفض عناصر الرطوبة في هواء مدخل برج التبريد. كما يجب اتباع منهجيات تهدف إلى استدامة إمدادات المياه واستخدامها في أنظمة تبريد المناطق. فالمياه المطلوبة لأبراج التبريد تكون عادة إما شحيحة أو يصعب الحصول عليها في المنطقة المعنية، كما أنها تحتاج إلى معالجة قبل الاستخدام. ورغم أن مياه البحر يمكن استخدامها في أبراج التبريد، فإنها تتطلب أجهزة ومعدات مقاوِمة للتآكل والتلف عالية التكلفة. كذلك يمكن الاستعانة بمياه بديلة منخفضة الجودة مثل مياه الصرف المعالَجة والمياه الجوفية منخفضة الملوحة والمياه المحلاة جزئيًا، إلا أن ذلك يأتي مصحوبًا بارتفاع تكلفة رأس المال والصيانة.

فعلى سبيل المثال نجد أن برج التبريد في محطة تبريد المناطق بطريق الشيخ زايد في مدينة دبي يستخدم مياه الصرف المعالَجة بوصفها مياهًا تعويضية. ولكن توجد بعض التحديات التي تواجه استخدام مياه الصرف المعالَجة في أنظمة تبريد المناطق، مثل تذبذب مستوى الإمداد (من حيث الكمية والجودة والضغط)، بما يمكن ألا يتناسب مع حجم الطلب وإمكانات إدارة نواتج الصرف. كذلك يمكن الاستعانة بمصادر أخرى للمياه، مثل مياه البحر أو مياه الصرف المعالَجة واستخدامها مباشرة بوصفها مُكثفات تبريد متوسطة البرودة وطاردة للحرارة وليس بوصفها سوائل متبخرة في أبراج التبريد. وقد استخدمت البحرين هذه المنهجية في أحد أنظمة تبريد المناطق على أراضيها.

حقوق نشر الصورة: Sustainable District Cooling Systems: Status, Challenges, and Future Operations, with Emphasis on Cooling-Dominated Regions

شكل 38: برج تبريد نمطي في إحدى محطات تبريد المناطق

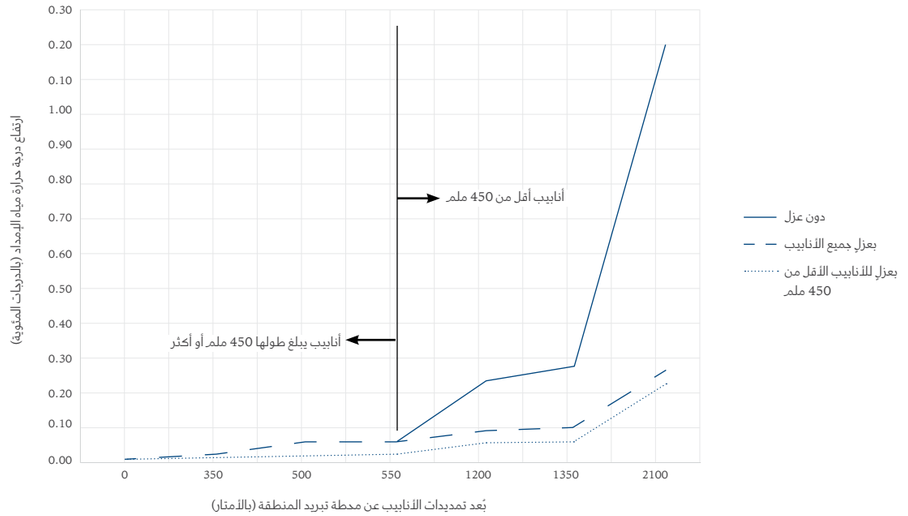
شبكات التوزيع وصيانة البنية التحتية

توزيع تبريد المناطق

يتحدد أفضل تصميم لمحطات تبريد المناطق طبقًا لتخطيط المدينة وتكلفة تركيب المرافق، وبحسب المبادئ الهندسية. وعند تصميم منظومات ضخمة لتوزيع المياه المبرَّدة، يتحدد حجم الأنابيب وفق أقصى سرعة لتدفّق المياه فيها وليس بحسب تراجُع الضغط فيها كما هي الحال في محطات المرافق المركزية الأصغر حجمًا، إذ إن تراجع الضغط في المحطات الضخمة ينخفض كثيرًا عند أقصى سرعة لتدفق المياه. ولهذا يمكن إنشاء محطات تبريد المناطق في مواقع بعيدة عن بؤر أحمال المياه المبردة دون أن يكون لذلك أثرٌ كبير في قوة الضخّ. وبالطبع كلما بعُدَت المحطات عن بؤر أحمال المياه المبردة، ازدادت كميات الطاقة اللازمة لضخ المياه المبردة، إلا أن تأثير الزيادة في استهلاك طاقة الضخ يأتي أقل من التكلفة المضافة لتركيب الأنابيب. وهكذا فإن موقع المحطة يصبح محل دراسةٍ اقتصادية بقدر ما هو محل دراسة هندسية.

جدير بالذكر أنه كلما ازدادت كثافة المدينة، قلت تكلفة أنظمة تبريد المناطق. ويدخل في تحديد كثافة المدينة عدة عوامل منها نسبة المباني التجارية مقابل المباني السكنية، وحجم المباني التجارية، والكثافة السكنية. وفي الغالب تُستخدم تقنيات المياه المبرَّدة في تبريد المباني التجارية، سواء عن طريق محطة موجودة في المنطقة أو مرفق مركزي تابع لمبنى. لذا ربما لا تحقق محطات تبريد المناطق المقامة في مدينة ذات مبانٍ تجارية ضخمة توفيرًا كبيرًا في الطاقة. من جانب آخر فإن تكلفة إنشائها في هذه المدن يمكن أن تكون أقل كثيرًا مقارنة بتكلفة إنشاء مرافق مركزية تابعة لمبان مفردة.

ويأتي أفضل تصميم لتوزيع المياه المبرَّدة داخل المنطقة في صورة منظومة حلقيّة أو منظومة حلقات متّحدة المركز وذلك في سياق المنظومات الضخمة. وتجدر هنا الإشارة إلى أن المنظومة الحلقية لا تحتاج إلى أنابيب كبيرة الحجم، مقارنة بحجم الأنابيب التي تحتاجها المنظومة الخطية، إذ إن المنظومة الحلقية تسمح بتغير شكل التنوع فيها باستمرار حسب موقع أحمال المياه المبردة. كما أنه من الأسهل توسيع المنظومة الحلقية وتوصيلها بمحطّاتٍ جديدة لتبريد المياه في أي موقع داخل الشبكة الحلقية.



الشكل 39: ارتفاع درجة حرارة إمدادات المياه في منظومة التوزيع، مثال لمنظومة عند نقطة حمل جزئي (District 2008)

محطات متعددة على طول المنظومة الحلقية في المنطقة

المميزات	العيوب
• إذا حدث عطل في إحدى المحطّات، تكون المحطّات الأخرى قيد التشغيل. • من السهل توسعة الشبكة إذا ظهرت الحاجة إلى إضافة محطّة جديدة للمنظومة الحلقية الخاصة بالمنطقة.	• تكلفة مبدئية أكبر ناتجة عن إنشاء محطّات متعددة. • يجب أن توضع خطة لإنشاء المحطة تضع في الحسبان الطرق الموصّلة إلى خدماتها ضمن حدود المدينة. • تتطلّب صيانة المحطّات المتعددة عددًا أكبر من كوادر الصيانة. ويُعد هذا شكل المحطة الموصى به في حال التخطيط لمدينة جديدة، وبعدئذ يمكن التخطيط لإنشاء محطّات متعددة في أطراف المدينة.

محطّة واحدة بعيدة

المميزات	العيوب
• هذا أسهل ترتيب لتقديم الخدمة، إذ تكون المعدات جميعها في مكان واحد. • المحطة بعيدة عن المدينة وعن أنظار سكّانها.	• إذا وقع ما يتسبب في تعطل المحطة عن العمل، فلن توجد عندئذ محطات أخرى قيد التشغيل. • ارتفاع التكلفة بالنظر إلى طول مسارات الأنابيب. • يجب أن يكون حجم الخط الأساسي الذي يمدّ المنظومة في المنطقة مناسبًا لاستيعاب التدفق الكامل للمياه المبردة. • من الصعب توسيع الشبكة نظرًا إلى القيود الموضوعة على حجم الخط الأساسي الواصل بين أجزاء المنظومة في المنطقة.

ونظرًا إلى عدم وجود محطّات عاملة أخرى، لا يوصى بتصميم المحطات بهذا الشكل عند التخطيط لإنشاء مدن جديدة. لكن هذا الخيار ربما يكون عمليًّا إنْ كانت المدينة قائمة وتسعى لإنشاء محطّة تبريد مناطق.

محطّة واحدة في موقع مركزي

المميزات	العيوب
• هذا أسهل ترتيب لتقديم الخدمة، إذ تكون المعدات جميعها في مكان واحد. • التكلفة أقل بسبب قرب المحطة من المنظومة الحلقية الخاصة بالمنطقة.	• إذا وقع ما يتسبب في تعطل المحطة عن العمل، فلن توجد عندئذ محطات أخرى قيد التشغيل. يجب أن توضع خطة لإنشاء المحطة والطرق الموصّلة لخدماتها ضمن حدود المدينة.

ونظرًا إلى أنه عندئذ لن توجد محطّاتٍ أخرى قيد التشغيل وإلى وجود صعوبات في التخطيط لإيصال الخدمة إلى مركز المدينة، لا يوصَى بهذه الفئة من المحطّات.

- **محطات النقل**

توجد في كل منشأة أو مبنى أو مسكن محطة لنقل الطاقة، أي معدات تنقل المياه المبرَّدة من شبكة التوصيل إلى المرافق التي يجري تركيبها الخاصة بالعملاء. ويتمثل دور محطات نقل الطاقة في توصيل برودة الماء وما يرتبط بها من خصائص إلى محطة ثانوية من خلال عملية تبادلية تتولى فيها المحطّات ضبط الواردات والمخرجات من المياه لتصبح درجات حرارتها ملائمة لاحتياجات العميل. أما النقطة التي تُحسب عندها الطاقة المستخدمة في التبريد فهي خارج المحطة، وذلك لقياس الطاقة المستهلكة مقابل الطاقة الراجعة إلى الشبكة المركزية. وفي المباني تحل هذه المعدات محل المعدات المطلوبة جميعها في العادة عند تركيب مرافق تكييف هواء مفردة، أي تحل محل وحدات التبريد والمضخّات وأبراج التبريد.

شبكة أنابيب التوزيع

بما أن المبدأ الذي تقوم عليه أنظمة تبريد المناطق هو إنتاج طاقة التبريد في موقع موحّد، فيجب أن تصل طاقة التبريد من هذا الموقع إلى المستهلكين جميعهم. لذا تتولى شبكة أنابيب التوزيع نقل المياه المبرَّدة إلى نقاط الاستهلاك. ويغطي مسار أنبوب التوزيع عمليتَي توصيل مختلفتَين: إحداهما لإمدادات المياه المبرَّدة والأخرى للمياه المبرَّدة الراجعة. **وتتفاوت حرارة المياه في مرحلتَي الإمداد والرجوع وفقًا لطاقة التبريد المستخدمة:**

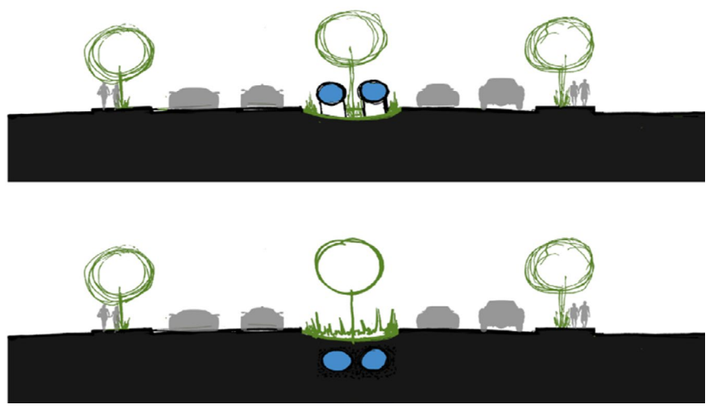
- **في حال الاستفادة المباشرة من المياه المبرَّدة:** تُضَخّ المياه من شبكة أنابيب التوزيع مباشرةً إلى نواقل الحرارة عند المستهلك النهائي. وتُستخدم هذه الطريقة في المرافق صغيرة الحجم حيث يمكن إصلاح أي عطل يظهر عند المستهلك النهائي بسهولة (إذ يكون لهذه الوحدات عادةً مالكٌ واحد). وفي هذه الطريقة، تبلغ عادة درجة الحرارة 7 درجات مئوية لمياه الإمداد و12 درجة مئوية للمياه المرتجعة.
- **في محطّات نقل الطاقة الكهربائية:** هنا تُنقل الطاقة داخل مبادل حراري إلى دائرة مياه أخرى. وتُستخدم هذه المحطّات على نطاق واسع لأنها تضمن أداءً ثابتًا للشبكة إذا وقع عطل عند المستهلك النهائي. وفي هذه الطريقة، تبلغ درجة الحرارة 4.4 درجة مئوية لمياه الإمداد و13.3 درجة للمياه المرتجعة. ويمكن إنشاء شبكة التوزيع فوق الأرض أو تحتها وفق ما تمليه ظروف المكان الذي ستُنشأ فيه. كما يمكن أن تُدفن الأنابيب الممتدة تحت الأرض مباشرة أو تمر فوق دهليز أو خندق، أو تمتد بطول قبو المبنى. كذلك يجب أن تضمن جميع هذه الترتيبات إمكان الوصول إلى خط الأنابيب كلَّ بضعة أمتار تحسبًا لظهور حاجة إلى الصيانة. ويتحقق ذلك بعزل نقاط قطع الإمداد عن بعضها البعض. ويتحدد اختيار خامة الأنابيب وفقًا للنتائج التي تسفر عنها دراسة مساحة التوزيع وشبكة المياه المبرَّدة. ومن بين المواد المناسبة متعدّد كلوريد الفينيل والفولاذ الكربوني. وعلى كل حال يجب عزل الأنابيب حراريًا لتقليص الفاقد من الطاقة إلى أدنى حد. وفي العادة تحصل الشبكات على الطاقة من عدة محطّات لتبريد المناطق مقامة في مواقع مختلفة، لذا فإن اختيار مواضع مناسبة لها يعدّ جانبًا محوريًا في عملية إمداد الأحمال الحرجة.

وتتميز محطات تبريد المناطق المنشأة حديثًا، لا سيما في الشرق الأوسط، بقدرة تبريدية تتراوح إجمالًا بين 10 آلاف و100 ألف طن تبريد، ونجد أن المشروعات الضخمة في مدن مثل دبي وأبو ظبي فيها محطّات تبريد للمناطق بقدرات تتجاوز 500 ألف طن تبريد. كما تفيد بعض التقارير بوجود محطّاتٍ لتبريد المناطق في الشرق الأوسط ذات قدرة تتجاوز مليون طن تبريد. وينتج عن هذه القدرات العالية تدفّقات ضخمة من المياه المبرَّدة تتطلّب إجراء دراسات مستفيضة لشبكات أنابيب المياه، تتناول:

- **مقدار هبوط الضغط:** يُقصد بذلك فرق الضغط الناتج بين نقطتين في أثناء مرور السائل خلال شبكة الأنابيب بفعل قوى الاحتكاك. ومن الضروري حساب ذلك لتحديد الحجم المناسب للمضخّات في المنظومة.
- **مقدار الضغط على الأنابيب:** من الضروري الالتزام بمواصفات التصميم ومعاييره المهمة، والحصول على مواصفات المنظومة وعلى المعلومات الداعمة والخاصة بمخطط مسارات الأنابيب وتفاصيل المعدات وخصائص السوائل وظروف التشغيل، كما ينبغي الاستعانة ببرمجيّات تحليل مع الوضع في الحسبان عوامل السلامة ومستويات الضغط المسموح بها. ويؤمّن هذا التحليل دورة الحياة الميكانيكية لمنظومة الأنابيب.
- **دراسات تحليلية للمياه:** يجب دراسة المياه لمنع تآكل الأنابيب والمعدات ثم استخدام بيانات هذه الدراسات في اختيار الموادّ المناسبة المستخدمة في صناعة المعدات، وتحديد المواد الكيميائية المطلوبة، وتنفيذ عمليات معالجة المياه اللازمة.
- **دراسات تحليلية لظاهرة الطَّـرْق المائي:** الطَّـرْقُ المائيُّ هو ارتفاع مفاجئ في الضغط، أو موجة ارتفاع به تنتج عن توقف اضطراري لمسار تدفق السائل أو عن تغيير هذا المسار اضطراريًا، ما يمكن أن يتسبب في مشكلات كبرى بدءًا من الضجيج والاهتزازات وانتهاءً بتداعي الأنابيب. وعليه من الضروري إجراء عمليات محاكاة خلال مرحلة التصميم لتفادي هذه المشكلات عند التشغيل.
- **دراسات التوازن المائي:** ينبغي إعداد دراسات التوازن المائي لتفادي حدوث عجزٍ في الخدمة في أي من مواضع الشبكة ولضمان عمل المعدات على أكمل وجه، وذلك لتحقيق كفاءة الطاقة وتوفير التكلفة وضمان رضا العملاء.

الدمج بين البنى التحتية

يوجد فصلٌ واضح بين أنواع البنى التحتية في المملكة العربية السعودية. ومع ظهور تحسن في الاتجاه نحو إستراتيجيات التصميم المستدام في المملكة، ينبغي تشجيع تحقيق التكامل بين أعمال الطُرق والبنية التحتية لأنابيب المياه على نحو يمنع الإسراف أو الهدر في المخططات وفي الموادّ المستخدمة. كما ينبغي تقصي إمكان إضافة تمديدات الأنابيب ضمن مخططات أعمال الطرق في المدن المزمَع إنشاؤها أو المدن قيد الإنشاء.



الشكل 40: تكامُل البنية التحتية مع أعمال الطرق (فوق الأرض وتحتها)

خطة تصريف الشوائب الصلبة في أبراج التبريد

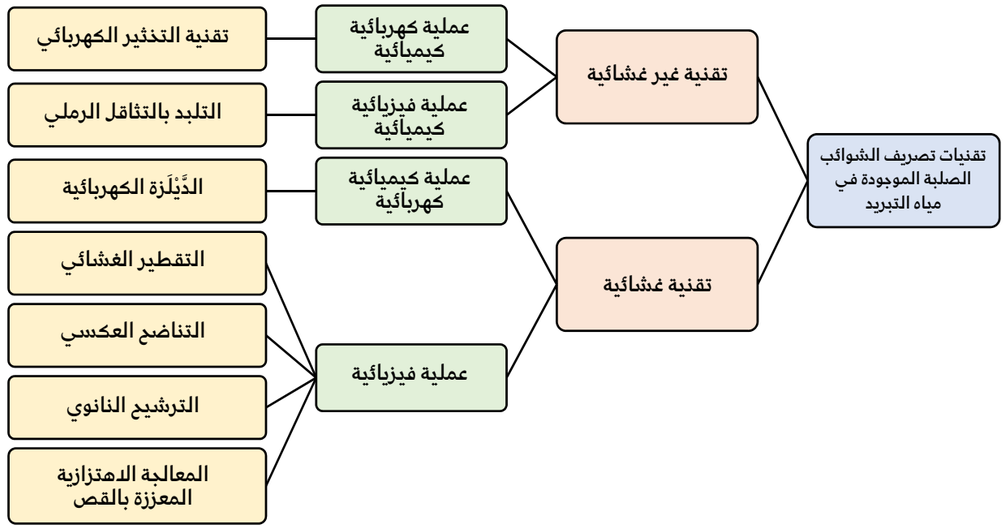
تقنيات معالجة الشوائب الصلبة في مياه التبريد

أبراج التبريد هي وحداتٌ تقوم بتشغيل الأجهزة التي تحتاج إلى التبريد على نحو يوفر الطاقة ويخفض التكلفة. ففي أثناء عملية التبريد يعاد توزيع المياه باستمرار في حين يتبخّر بعض منها، وذلك يؤدي إلى ارتفاع نسبة تركّز الملح والملوّثات بدرجات كبيرة. وبازدياد عدد دورات إعادة التوزيع، تتضاءل قابلية بعض المواد الصلبة للذوبان، ما يؤدي إلى ترسبها على السطح الدافئ لأنابيب المكثّفات. وهنا تتسبّب التكلسات الناتجة داخل وحدة برج التبريد في ضعف كفاءة نقل الحرارة لأنها تعزل السطح المعدني للبرج. ومع تكرار عملية إعادة توزيع المياه المركّزة، يمكن أن يَلحق ضررٌ دائم بمنظومة التبريد. ولهذا ينبغي تفريغ هذه المياه شديدة التركيز من المنظومة في عملية يطلق عليها تصريف الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد. وربما تشمل عملية التفريغ أكاسيد الحديد وفوسفات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم وسيليكات المغنيسيوم والسيليكا والعديد من الملوّثات، الطبيعية منها والصناعية. ويسهم تفريغ الشوائب الصلبة التي تحتوي عليها مياه التبريد في زيادة كفاءة نقل الحرارة، إذْ يعمل على خفض تركّز السيليكا وشوارد عسر المياه في المياه الموزّعة، ليصل بها إلى مستوى لا يسمح بتكوّن التكلسات. كما يستعان بقناة تعويضية من المياه النظيفة لتعويض المياه المفقودة نتيجة التبخّر وجراء تصريف الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد.

وتوجد عدة تقنياتٌ مستخدمة في معالجة الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد نذكر منها التناضح العكسي، والديلزة الكهربائية، والترشيح النانوي، والتخثير الكهربائي، والمعالجة الاهتزازية المعززة بالقص، والتلبد بالتثاقل الرملي، والتقطير الغشائي.

وناتج تصريف الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد يتمثل في قناة تحمل مياه صرف عالية التركيز وتحتوي على أنواع شتّى من الملوّثات التي يمكن أن تؤثر في المنظومة البيئية بأكملها إنْ لم تُعالج كما ينبغي. ويمكن إجراء عدة عملياتٍ لمعالجة قنوات تصريف الشوائب الصلبة، بعضها تقنيات متاحة مثل التناضح العكسي، والديلزة الكهربائية، والتقطير الغشائي، والتلبد بالتثاقل الرملي، وبعضها الآخر تقنيات ناشئة مثل التخثير الكهربائي، والمعالَجة الاهتزازية المعززة بالقص، والترشيح النانوي. أما من نادية اختيار أفضل تقنية، فمن بين أهم المعايير أن تكون التقنية خضراء وصديقة للبيئة، إضافةً إلى عاملَي التكلفة وجودة المعالجة. وقد اتضح بناءً على نتائج إحدى عمليات التقييم أن استخدام التقنيّات التي تعتمد على الأغشية نتج عنه مياه معالَجة عالية الجودة، إلا أن بعضًا منها -مثل الترشيح النانوي والتناضح العكسي- تسبب في مشكلة ترسبات تطلبت إجراءات صيانة أكبر. علاوة على ذلك فإن عمليتَي التخثير الكهربائي والمعالجة الاهتزازية المعززة بالقص تُنتجان سوائل ذات جودة عالية، لكنهما تستهلكان كميات كبيرة من الطاقة. وقد كانت التقنية الوحيدة التي تتطلّب كمية كبيرة من الموادّ الكيميائية في المنظومة هي التلبد بالتثاقل الرملي. أما بالنسبة إلى التقنيّات الأقل تكلفة، فنجد عمليتي التخثير الكهربائي والتقطير الغشائي، كما يمكن التوجه نحو تقنيتَي الديلزة الكهربائية والترشيح النانوي إنْ كان بالإمكان إجراء عمليات معالجة تمهيدية. وقد أثبتت المعالجة بتقنية التخثير الكهربائي فاعلية كبيرة في التخلص من الملوثات (99.54% لشوارد السيليكا) مقارنةً بتقنية الترشيح الفائق بالأغشية (التي خفضت السيليكا الغروانية بنسبة 65%). ولمعالجة الملوّثات نجد أن تقنيات الديلزة الكهربائية والتقطير الغشائي والتخثير الكهربائي تعالج تشكيلة واسعة من الملوّثات التي تدخل في نواتج تصريف الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد. أما في ما يتعلق باستهلاك الطاقة، فإن كلًا من تقنيّتَي التخثير الكهربائي والمعالجة الاهتزازية المعززة بالقص ثبت أنهما تستهلكان قدرًا كبيرًا من الطاقة (تبلغ ما يقارب 0.18-3.05 كيلوواط في الساعة/م3 في حال التخثير الكهربائي، وتبلغ ما يقارب 2.1 كيلوواط في الساعة/م3 في حال المعالجة الاهتزازية بالقص)، وهو ما يحدّ من إمكان استخدامهما في المشروعات الضخمة إلا إذا كان المشروع يستخدم مصادر الطاقة المتجددة. جدير بالذكر أن عمليات استعادة مياه الصرف المعالَجة وإعادة استخدامها أو حتى صرفها في البيئة البحرية يجب أن تخضع لمعايير وضوابط. ويمكن أن تسهم عمليات معالجة ناتج صرف الشوائب الصلبة وإعادة استخدامه في التغلب على مشكلة شحّ المياه وخلق بيئة أكثر استدامة.

ويُعَدّ ناتج تصريف الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد بمثابة قناة لتفريغ مياه الصرف الناتجة عن أبراج التبريد في البيئة البحرية أو محطّات معالجة مياه الصرف الصحّي، أو لإعادة استخدام هذه المياه في نشاطات أخرى مثل الرَّي. ولكلٍّ من نقاط التفريغ المذكورة ما يخصّها من الضوابط والحدود الموضوعة لمعالجة ملوّثات للمياه، وهي قيود يُقصد بها تفادي أي تداعيات سلبية وطويلة الأمد على البيئة والمجتمع.



الشكل 41: تقنيات معالجة ناتج تصريف الشوائب الصلبة الموجودة في مياه التبريد (Soliman et al., 2022 <http://mdpi.com/2071-1050/14/1/376/pdf>)

خيارات المحطّات ومنظوماتها

خيارات منظومات تبريد المناطق

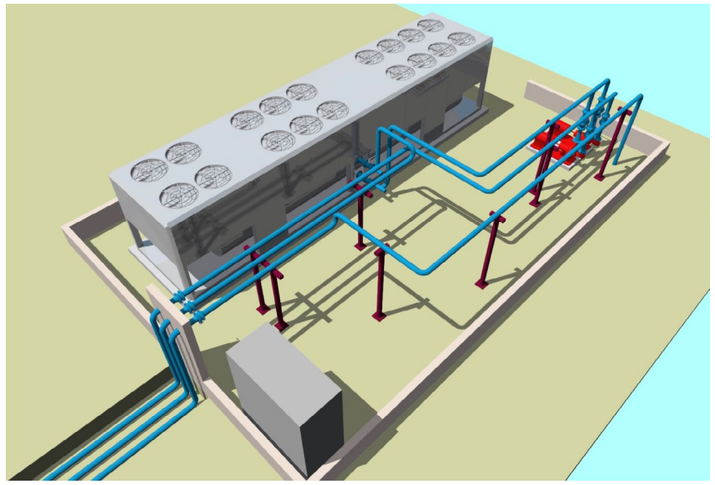
تبريد المناطق يتمثل في عمليتَي إنتاج طاقة التبريد وتوزيعها داخل مكان واحد، حيث تمتد المياه المبرَّدة عبر شبكة أنابيب، تشكلها غالبًا خطوط أنابيب معزولة ومدفونة تحت الأرض تتولى تكييف المساحات الداخلية للمباني الموجودة في منطقة ما. ويكفي ما تنتجه محطّة تبريد واحدة لتلبية متطلّبات عشرات المباني من طاقة التبريد. كذلك يمكن أن تعمل أنظمة تبريد المناطق بالكهرباء أو الغاز الطبيعي وأن تستخدم إما المياه العادية أو مياه البحر أو أي مصادر مياه أخرى. وأنظمة تبريد المناطق -إلى جانب كونها من خدمات المياه والكهرباء- تجسد شكلًا جديدًا من خدمات الطاقة. وتجدر هنا الإشارة إلى أن استخدام الوقود لتوليد الحرارة يتطلّب في معظم الحالات ترخيصًا مصَدّقًا عليه من وزارة الطاقة.

وعمومًا يمكن لمنظومات تبريد المناطق أن تحلّ محلّ أي نوع من منظومات تكييف الهواء، لكنها تنافس بالدرجة الأولى منظومات المبرِّدات بالهواء ثنائية الاتجاه في المباني الضخمة، وهي أنظمة تستهلك كميّات كبيرة من الكهرباء. وتتأثر هذه المنظومة المستخدمة لتكييف الهواء ببيئة تشغيل صعبة تتسم بالحرّ الشديد والرطوبة المالحة والرمال التي تحملها الرياح. لذلك يتدهور أداؤها وتقل كفاءتها واعتماديتها بمرور الزمن، ما يتسبب في تكلفة عالية من جراء الصيانة وتبديل المعدات وتغييرها بأخرى.

ويوجد ارتباط ضمني بين أنماط المبرِّدات وتصاميم محطّات التبريد، ولكل واحد من أنظمة التبريد بعض نقاط القوة. لذا فإن توخي الدقة في اختيار تصميم محطّات المبرِّدات يضمن تحقيق أقصى استفادة من مزاياها. وتعتمد معظم المحطّات الضخمة على المبرِّدات بالمياه التي تعمل بالطرد المركزي. أما المحطّات الهجينة فربما تحتوي أيضًا على مبرِّدات امتصاصيّة. وتقدم الفقرات الآتية شرحًا لعدة أنماط من هذه المنظومات، مع إبراز مميزات كل منظومة وعيوبها.

محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالهواء

كما يوحي الاسم فإن محطات المبرِّدات بالهواء هي محطّات مؤلَّفة من مبرِّدات تستخدم الهواء تتراص في خطوطٍ متوازية. ويعتمد كثيرٌ من هذه المحطّات، التي يتراوح حجمها بين الصغير إلى المتوسط، على المبرِّدات بالهواء، حيث يشيع استخدام المبرِّدات بالهواء ذات الكباس اللولبي في المناطق التي تستهلك ما يتراوح بين 150 إلى 400 طن تبريد. وتضمن مبرِّدات الكباس اللولبي بالهواء أداءً جيدًا جدًا لا سيما في الأحمال الجزئية، كما أن المبرِّدات بالهواء لا تحتاج إلى أبراج التبريد أو مضخّات المياه المكثفة أو المكثّفات، كما أنها لا تستهلك المياه كحال المبرَّدات بالمياه.



الشكل 42: محطّة أجهزة التبريد المبرَّدة بالهواء

المميزات	العيوب
• لا حاجة إلى مياه إضافية. • يمكن شراء المبردات بالهواء من المصنع مرة واحدة في صورة مجموعة متكاملة. • احتياجها إلى الصيانة أقل من احتياج منظومات التبريد بالمياه. • تحتاج إلى معدات أقل وتكلفة مبدئية أدنى نظرًا إلى أنها لا تستعين بمنظومة مائية ذات مكثّفات.	• لا تزيد كفاءتها عن كفاءة وحدات التمديد المباشر المتكاملة الموزَّعة إلّا بمقدار بسيط. • لا يزيد حجم أكبر مبرِّد بالهواء عن 550 طنًا، وعليه فإن المحطّة ستحتاج إلى وجود عدد من هذه المبردات، ما يمكن أن يجعلها باهظة التكلفة.

ولا يُوصَى بإنشاء محطّات المبرِّدات بالهواء في المناطق ذات الكثافة المنخفضة إلى المتوسطة، نظرًا إلى أن هذه المنظومة لا تحقق خفضًا كبيرًا في استهلاك الطاقة. وتوضح نتائج نماذج الطاقة المعروضة في آخر هذا التقرير أن نسبة خفض استهلاك الطاقة في منظومات المبرِّدات بالهواء لا تفوق نظيرتها في وحدات التمديد المباشر المتكاملة الموزَّعة إلا بمقدار 12%. لذا يجب ألا يستعان بهذه المنظومة إلا في المناطق شديدة الكثافة التي تشح فيها المياه، مثل المنطقة الوسطى في المملكة.

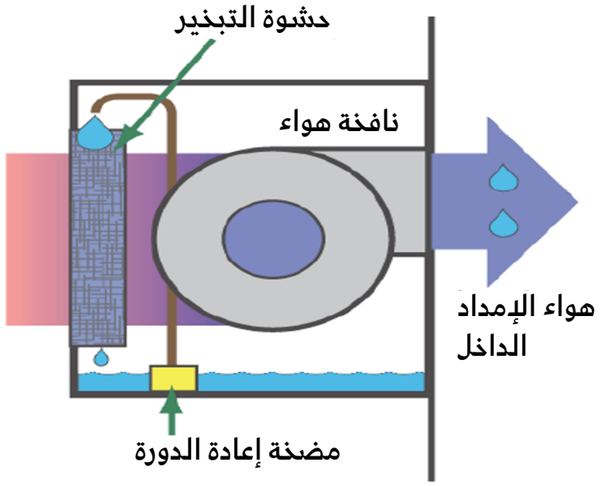
محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالتبخير

المبرِّدات بالتبخير هي في الأساس مبرِّدات تستخدم المياه لكنها موضوعة داخل صندوق تتكثّف داخله مادّة التبريد الغازيّة الساخنة بفعل المياه المنسابة فوق أنابيب المكثِّف وتبخّرها. وبهذا تكون درجة حرارة التكثُّف مرتبطة بدرجة حرارة بُصيلة رطبة في الوسط المحيط، مثلما هي الحال في المبرِّدات بالمياه.

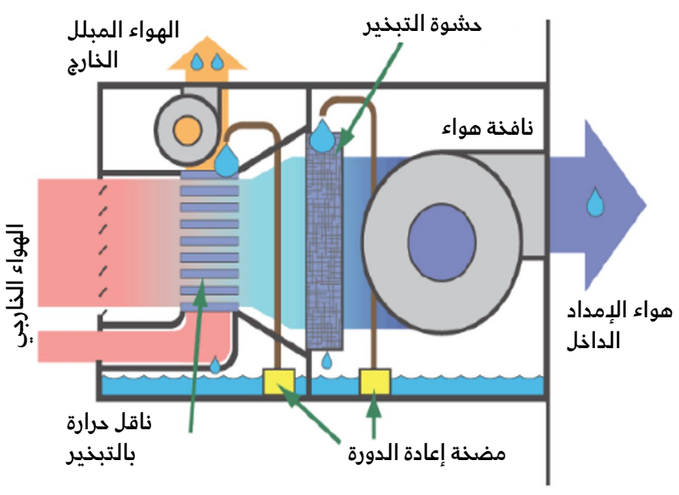
ويمثل المكثِّف وحوض تجميع المياه والمضخّة وغيرها من العناصر مكوّنات أساسية في المبرِّد. وفي حين يتطلّب المبرِّد بالمياه وجود برج تبريدٍ ومضخّة تكثيف وتمديدات للأنابيب في الموقع، تأتي محطّات المبرِّدات بالتبخير على هيئة مجموعة متكاملة من المصنع، كما أن عملية تركيبها سهلة وموفرة مثل المبرِّدات بالهواء، بينما تقارب جودة أدائها أداء المبرِّدات بالمياه. وتحتاج المبرِّدات بالتبخير إلى مياه إضافية ومعالَجة للمياه ومنافذ للتصريف.

المميزات	العيوب
• يمكن شراء المبرِّدات بالتبخير من المصنع مرة واحدة في صورة مجموعة متكاملة. • احتياجها إلى الصيانة أقل من احتياج منظومات التبريد بالمياه. • تحتاج إلى معدات أقل وتكلفة مبدئية أدنى نظرًا إلى أنها لا تستخدم منظومة مائية ذات مكثّفات. • تقترب مستويات كفاءتها في البيئات الجافة من مستويات كفاءة المبرِّدات بالمياه.	• لا تعمل بكفاءة كاملة في البيئات الرطبة. • يقترب حجمها من حجم أجهزة التبريد المبرَّدة بالهواء، كما أن حجمها يبلغ 550 طنًا بحد أقصى، وعليه فإن المحطّة ستحتاج إلى وجود عدد من المبرِّدات بالتبخير، ما يمكن أن يجعلها باهظة التكلفة.

> *تتيح المُبرِّدات بالتبخير الدرجة نفسها من التوفير وسهولة التركيب التي تقدمها المُبرِّدات بالهواء، بينما يأتي أداؤها مماثلًا لأداء المُبرِّدات بالمياه.*



الشكل 43: محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالتبخير المباشر

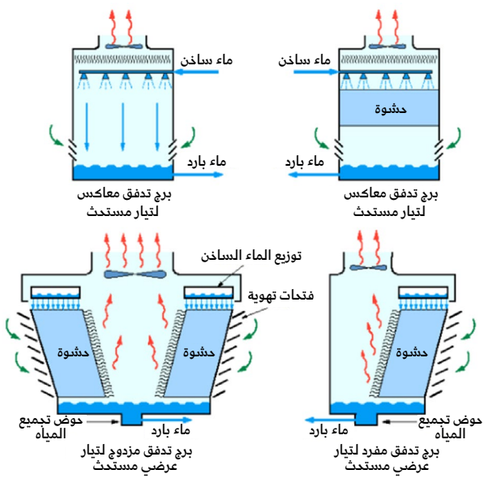


الشكل 44: محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالتبخير غير المباشر

محطة أجهزة تبريد عاملة بالطرد المركزي مع برج للتبريد

أجهزة التبريد العاملة بالطرد المركزي للمياه مع برج للتبريد هي الأكثر شيوعًا بين الأنظمة المستخدمة في محطات تبريد المناطق. وكما هي الحال في المبرِّدات بالهواء، تتكون المبرِّدات بالمياه من مبخِّر وكبّاس ومكثِّف. المبخِّر هو ناقل حرارة يخلص المبنى من الحر باستخدام مياه مبرَّدة، ويخفض درجة حرارة المياه في أثناء ذلك. ثم تُستخدم الحرارة المستخلصة في غلي سائل التبريد ليتحول من سائل إلى غاز. ومثل المبخِّر تمامًا يعمل الكباس عمل ناقل الحرارة، إلا أنه في هذه الحالة يزيل الحرارة من مادة التبريد، ما يؤدي إلى تكثف هذه المادة لتتحول من غاز إلى سائل. هنا تتسبب الحرارة في رفع درجة حرارة المياه، ومن ثمّ يحمِل ماء المكثِّف الحرارة إلى برج التبريد الذي يتولى طردها إلى الغلاف الجوي. يطرد برج التبريد الحرارة المجمَّعة من المبنى إضافة إلى تلك الناتجة عن عملية الكبس في المبرِّد. وتطرد أبراج التبريد مياه المكثِّف إلى الهواء المحيط مباشرة في حركة تشبه تدفق مياه الشلال، ما يتيح تبريد مياه المكثف لتقل عن درجة حرارة البُصيلة الجافة في الهواء المحيط. وهكذا تُبرَّد المياه بواسطة مزيج من التبريد دون نزع الرطوبة والتبريد مع نزع الرطوبة الذي ينتج عن تبخُّر جزء من المياه.

تشير نتائج نموذج الطاقة الواردة في نهاية هذا التقرير إلى أن استهلاك الطاقة السنوي في أنظمة المبرِّدات بالمياه يكون أقل بنحو 25% عنه مع وحدات التكييف القائمة على تمديدات مباشرة موزعة على مساكن مفردة. كذلك توضح النتائج أن الطلب على الطاقة في وقت الذروة يكون أقل بنحو 40% مع أنظمة المبردات بالمياه.



الشكل 45: محطة تبريد عاملة بالطرد المركزي مع برج للتبريد

المميزات	العيوب
• يمكن أن تصل كفاءة أجهزة التبريد العاملة بالطرد المركزي مع برج للتبريد إلى ضعف كفاءة المبردات بالهواء. • تصل سعة الشائعة الاستخدام منها إلى 2000 طن. • تكلفتها الأولية هي الأقل بين خيارات التبريد بالمياه. • تقترب كفاءتها من كفاءة المبرِّدات الأخرى التي تستخدم المياه (مثل أجهزة التبريد المبرَّدة بالتبخير) في المناخ الجاف.	• تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه التعويضية.

جهاز التبريد العامل بالطرد المركزي وحلقة الحرارة الأرضية

عند الجمع بين المبرِّدات بالمياه وحلقات الحرارة الجوفية يستعين النظام بالمبرِّدات نفسها المستخدمة في أبراج التبريد، لكن بدلًا من طرد الحرارة إلى الغلاف الجوي، تُطرد داخل الأرض من خلال حقول تجاويف رأسية.

وتتقرر جدوى استخدام المكثِّفات المتصلة بالأرض وفقًا لظروف التربة، مثل درجة الحرارة تحت الأرض ومنسوب سطح المياه الجوفية. كذلك ينبغي أن يكون منسوب سطح المياه الجوفية مرتفعًا حتى يتسنّى التخلص من حرارة مياه المكثِّف داخل حقل التجاويف الرأسية. وتوضّح الدراسات التي أجريت في المملكة العربية السعودية أن التربة مناسبة للأنظمة تحت الأرضية، رغم أن هذه الأنظمة ليست اقتصادية في الوقت الراهن بسبب انخفاض أسعار الكهرباء وارتفاع تكلفة الحفر.

وينبغي التفكير في استخدام النظام الذي يجمع بين المبرِّدات بالمياه وحلقات الحرارة الجوفية في المناطق التي تعاني ندرة في المياه، وحيثما تسمح خصائص التربة بذلك. وفي هذا السياق، تشير نتائج نموذج الطاقة إلى انخفاض استهلاك الطاقة في أنظمة التبريد العامل بالطرد المركزي وحلقة الحرارة الأرضية بنحو 33% سنويًا عنه في وحدات التكييف القائمة على تمديدات مباشرة موزعة على مساكن مفردة. كذلك توضح النتائج انخفاض الطلب على الطاقة في أوقات الذروة بنحو 50% في أنظمة التبريد العامل بالطرد المركزي وحلقة الحرارة الأرضية عنه في وحدات التكييف بالتمديدات المباشرة. ويجب اختبار خصائص التربة في كل موقع مرشَّح لإقامة المحطة لتقدير الجدوى. ومن المرجح أن يحقق استخدام حلقات الطاقة الجوفية الحرارية نجاحًا في المنطقتين الغربية والشرقية، وذلك لقربهما من البحر واحتمال ارتفاع مستوى سطح المياه الجوفية فيهما. كذلك يجدر التفكير في استخدام هذا النظام في منطقة الرياض، إذ إنه مستخدم حاليًا في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD).

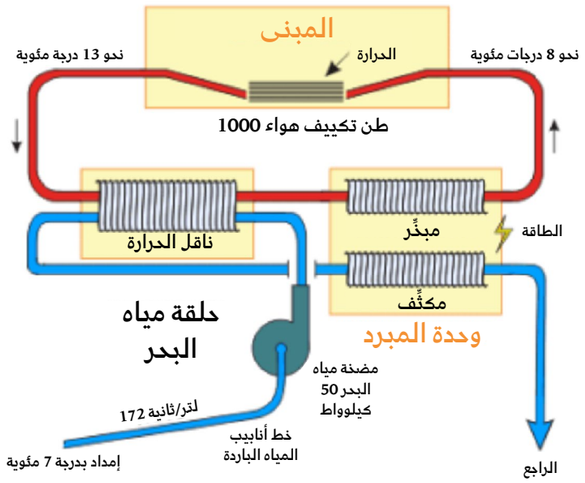
الشكل 46: مبرِّدات عاملة بالطرد المركزي وحلقة الحرارة الأرضية

المميزات	العيوب
• لا حاجة إلى مياه تعويضية. • يمكن أن تصل كفاءة هذا النوع إلى ضعف كفاءة المبرِّدات بالهواء. • تصل سعة أنواعها شائعة الاستخدام إلى 2000 طن.	• تكلفة حفر تجويف رأسي في الأرض باهظة. • تتقرر جدوى النظام وفق خصائص التربة. • يعمل النظام على أكمل وجه في ظل توازن بين أحمال التبريد والتدفئة، ما لا يتحقق في حال المناخ في المملكة.

جهاز التبريد العامل بالطرد المركزي المبرّد بالمياه وطرد الحرارة إلى مياه البحر

عند الجمع بين المبرِّدات التي تعمل بالمياه وبطرد الحرارة في مياه البحر يستعين النظام بالمبرِّدات نفسها المستخدمة في أبراج التبريد، لكن بدلًا من طرد الحرارة إلى الغلاف الجوي، تُطرد في مياه البحر من خلال حلقة أنابيب مغمورة.

وينبغي التفكير في استخدام المنظومة التي تجمع المبرِّدات التي تعمل بالمياه وطرد الحرارة في مياه البحر عندما تكون محطة التبريد ملاصقة للبحر. جدير بالذكر أنه توجد حاليًا محطات في المنطقة الغربية على طول ساحل البحر الأحمر تقوم بطرد الحرارة في البحر. غير أن ذلك يثير مخاوف بيئية متعلقة بارتفاع نسبة الملوحة في البحر الأحمر.



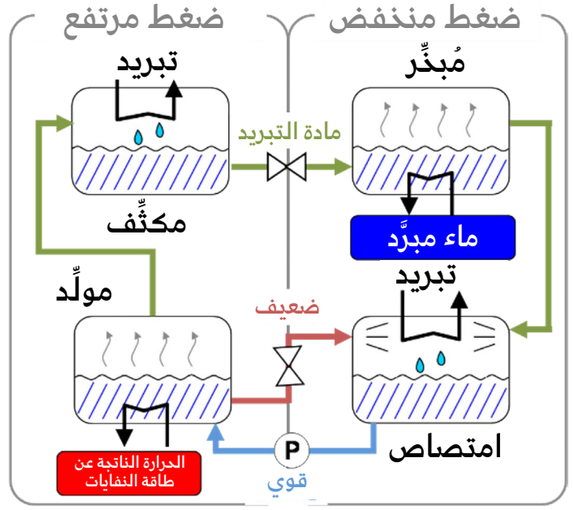
الشكل 47: مبرِّدات تعمل بالمياه والطرد المركزي للحرارة في مياه البحر

المميزات	العيوب
• لا حاجة إلى مياه تعويضية. • يمكن أن تصل كفاءة هذا النوع إلى ضعف كفاءة المبرِّدات بالهواء. • تصل سعة أنواع المبرِّدات بالمياه شائعة الاستخدام إلى 2000 طن.	• ليست ملائمة إلا إذا كانت المحطة تقع بالقرب من البحر. • يثير مد الأنابيب في البحر بعض المخاوف البيئية. • التكلفة باهظة نتيجة الحاجة إلى مد أنابيب مقاومة للصدأ.

أجهزة التبريد العاملة بالامتصاص والمبردة بالمياه

يوجد خيار آخر وهو مبرِّدات الامتصاص. يستعين مبرِّد الامتصاص بأحد مصادر الحرارة لتوليد الطاقة اللازمة لتشغيل نظام التبريد. وتُعدّ مبرِّدات الامتصاص بديلًا لمبرِّدات الطرد المركزي في حالة توفُّر أحد مصادر الحرارة مثل مجمِّعات الطاقة الشمسية أو الينابيع الحارة أو الحرارة الناتجة عن طاقة نفايات المحطات.

لذلك ينبغي التفكير في استخدام مبرِّدات الامتصاص عند توفر كمية كافية من المياه التعويضية ومصدر للحرارة. وبحسب المعلومات المتاحة، توجد 10 ينابيع حارة في المملكة العربية السعودية منها ستة في جازان وأربعة في الليث، تُقدَّر درجة حرارتها في العمق بنحو 100 درجة مئوية.



الشكل 48: مبرِّدات تعمل بالمياه وامتصاص الحرارة

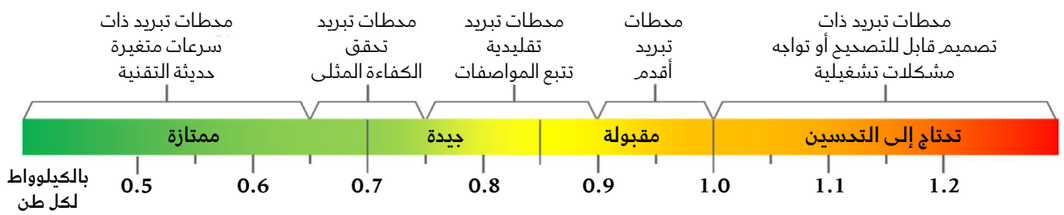
المميزات	العيوب
• مقارنة بمبردات الطرد المركزي، يتفوق هذا النوع عليها لأن متطلباتها من الكهرباء أقل من أي نظام تبريد، بنسبة تساوي تقريبًا 15 إلى 1. • متطلبات المياه التعويضية أعلى.	• ليست ملائمة إلا في وجود مصدر للحرارة مثل مجمِّعات الطاقة الشمسية. • ستكون التكلفة باهظة إذا استعانت بنظام مجمِّعات الطاقة الشمسية. • تحتاج طواقم الصيانة إلى مهارات إضافية مقارنة بمحطات تبريد الطرد المركزي التقليدية.

أنظمة المياه المبرَّدة المستدامة

تتشابه تصميمات أنظمة توزيع المياه المبرَّدة ذات السرعات المتغيرة تشابهًا كبيرًا مع التصميمات المعتادة للأنظمة الحديثة، إلا أنها تستخدم آليات تشغيل جديدة. ويمكن الاستعانة بمنهجيات التحكم التكراري القائم على الطلب وعلى الشبكات في جميع أنظمة التوزيع ذات السرعات المتغيرة. وعند تصميم أنظمة توزيع المياه المبرَّدة حديثة التقنية وذات السرعات المتغيرة وتشغيلها على النحو الصحيح، يمكن تلبية متطلبات جميع أنواع الأحمال مع ضمان التشغيل فائق الكفاءة.

تتيح أنظمة المياه المبرِّدة ذات السرعات المتغيرة قدرة تشغيلية سنوية للمحطة ولنظام التوزيع تقدّر بنحو 0.5 كيلوواط/طن، أي تستهلك ما يعادل نصف الطاقة المستهلكة في معظم المحطات الحالية. إضافة إلى ذلك تتيح هذه الأنظمة تحكمًا مبسطًا وثابتًا وفائق الكفاءة تنخفض معه الحاجة إلى الصيانة. ويعمل التحكم داخل إطار شبكة هذه الأنظمة على التنسيق بين المعدات ذات السرعات المتغيرة لضمان التشغيل الأمثل وفق الطلب الفعلي على النظام. كذلك تُصمم هذه المحطات بصورة تتيح التحكم المباشر في عناصرها وفي نظام التوزيع للحد من التراجع والتباين في مستويات الضغط.

وتتطلب تقنيات الأنظمة الحديثة ذات السرعات المتغيرة جهودًا خاصة على مدار مراحل التصميم والإنشاء والمبيعات. من هنا، يجب أن يتعاون المالك وفريق التصميم لضمان حل المشكلات التي قد تطرأ في هذه الأنظمة. وتكاد تقنيات السرعات المتغيرة أن تكون صالحة للاستخدام في جميع محطات التبريد، إلا أنه من المهم التركيز على الأداء المنشود من المحطة بحيث يحسم هذا الأداء التصميم والمعدات وعناصر التحكم بالمحطة. كذلك من الضروري ضمان أن المشروع قائم على قياسات واختبارات واعتبارات محاسبية محددة بما يضمن الحصول على الأداء المتوقع لمنظومة المياه المبرَّدة المستدامة.



معايير الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء لكفاءة محطات التبريد

الشكل 49: معايير الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء لكفاءة محطات التبريد (Hoiki, 2021)

أنظمة التحكم في تبريد المناطق وأساليب إدارتها

آليات عمل أنظمة التحكم في تبريد المناطق وأسلوب إدارتها

تكتظ المحطات الصناعية الحالية بمستشعرات تُنتج كميات ضخمة من البيانات. **إلا أن البيانات بدون أنظمة تحكُّم ما هي إلا معلومات بلا قيمة.** لذا يُمثل جمع البيانات وحفظها وفرزها وتحليلها عملية معقدة يجب تطويرها سريعًا وبكفاءة لاستقاء معلومات ثمينة. وتتيح أنظمة التحكم في تبريد المناطق متابعة معدَّات المحطة والتحكم فيها والتحذير من الظروف الطارئة، إضافة إلى تقديم البيانات اللازمة لإجراء الصيانة وحل المشكلات وإعداد التقارير الإدارية ومتابعة مؤشرات الأداء الرئيسة التي يجب على الجهات مزودة الخدمة تقديمها إلى هيئة تنظيم المياه والكهرباء، كما تفتح الفرصة للوصول إلى أفضل أداء وتقديم خدمات إنترنت الأشياء السحابية وخدمات الذكاء الاصطناعي وتعلُّم الآلة والمحاسبة والفوترة. كذلك تتولى آليات أنظمة التحكم متابعة شبكة محطات المدخلات بأكملها والتحكم فيها، ما يقدم للمشغلين معلومات آنية عن أداء الشبكة والمعدات والأجهزة. وبفضل هذا القدر من المعلومات والبيانات، يمكن أتمتة النظام للوصول بأداء المحطة إلى الكفاءة المثلى التي تلائم مع معدلات الطلب والطاقة. ولهذه الإمكانات دور كبير في تحسين كفاءة الطاقة وخفض تكلفة التشغيل.

وبذلك فإن آليات أنظمة التحكم في تبريد المناطق تسهم في إدارة محطات تبريد المناطق وتشغيلها **من خلال المهام الآتية:**

- التحكم المؤتمت في ظروف التشغيل ومتابعتها في المحطات المختلفة التابعة للجهة مقدمة الخدمة، مع ضمان أدنى قدر من التدخل من جانب المستخدم أو دون حاجة إلى تدخل المستخدم على الإطلاق.

- تقديم واجهة استخدام مشتركة للعاملين في الجهة مقدمة الخدمة تُمكِّنهم من متابعة المحطات والتحكم فيها إما داخليًا، أي في نطاق المحطة، أو من مراكز القيادة الموزعة توزيعًا إستراتيجيًا على المنطقة التي تغطيها الخدمة.

- الجمع المؤتمت الدقيق والآني لبيانات قياس الطاقة وتخزين هذه البيانات بتنسيق معين وفي موقع يمكن الوصول إليه بسهولة من جانب أنظمة المحاسبة في الجهة مقدمة الخدمة، وذلك لأغراض الفوترة والمتابعة وإعداد التقارير.

- الجمع والتخزين المؤتمت لأنواع أخرى من البيانات لأغراض الصيانة والوصول إلى كفاءة الطاقة المثلى.

- إصدار تحذيرات عندما تخرج ظروف التشغيل عن نطاقاتها المحددة والمألوفة أو عند اكتشاف عطل ما في المعدات، سواء اكتُشف العطل من داخل المحطة التي حدث فيها أو من مكان بعيد وفقًا لإجراءات التشغيل الموضوعة من جانب الجهة مقدمة الخدمة.

> *تكتظ المحطات الصناعية الحالية بمستشعرات تُنتج كميات ضخمة من البيانات. إلا أن البيانات بدون أنظمة تحكُّم ما هي إلا معلومات بلا قيمة. لذا يُمثل جمع البيانات وحفظها وفرزها وتحليلها عملية معقدة يجب تطويرها سريعًا وبكفاءة لاستقاء معلومات ثمينة.*

- وضع مقاييس تشغيل معينة تناسب ظروف السياق المراد أخذ قياساته.

- السماح لأي جهاز خاضع لآليات عمل أنظمة التحكم بتخطي هذه الآليات للخضوع إلى التحكم من داخل الموقع الموجود فيه.

- توفير واجهة استخدام مشتركة لمدخلات البيانات ومخرجاتها لتحقيق التبادل الآني للبيانات ومشاركتها مع الخدمات الخارجية مثل أنظمة إدارة الطاقة المتخصصة وأنظمة النمذجة والمحاكاة الحرارية الآنية (انظر District Cooling Best Practice Guide).

- إعداد التقارير التي تتيح لفريق الصيانة الحصول على تقرير يومي عن أنشطة الصيانة المطلوبة والإبلاغ عن أي تغير يطرأ على أداء إحدى المعدات.

الوصول إلى أفضل أداء للنظام من خلال فحص عدة عوامل تؤثر فيه مثل توقعات الطقس وأيام الأسبوع ومعدلات الطلب السابقة وتحديد عدد المبرِّدات التي سيجري تشغيلها ومتى يتعين خفض تكلفة الطاقة.

- كذلك تجب دراسة العديد من الاعتبارات العامة قبل اتخاذ أي إجراءات تهدف إلى تحديد آليات عمل أنظمة التحكم، ما يؤثر تأثيرًا كبيرًا على التصميم العام للنظام وتوزيعه:

- كيف ستشغل الجهة مقدمة الخدمة النظام وتعمل على صيانته؟ وهل ستتم عمليات التحكم والمتابعة على مستوى المحطة، أم عن بعد في مراكز القيادة الإستراتيجية، أم من خلال مزيج من الاثنين معًا؟

- في حالة إجراء عمليات التحكم والمتابعة عن بعد، هل توجد بنية تحتية للاتصالات مهيأة لاستيعاب الكم الكبير من الاتصالات بين المحطات اللازم لتطبيق هذه المنهجية؟

- هل سيعتمد تشغيل المحطات على العنصر البشري أم لا؟ وكيف ستكون المناوبة بين تشغيل الأجهزة وإيقاف عملها، بصورة يدوية أم مؤتمتة أم شبه مؤتمتة؟

- كيف ستُجمع بيانات قياس الطاقة، بصورة يدوية أم مؤتمتة أم من خلال آليات نظام التحكم؟ هل ستُجمع قياسات فرعية لشاغلي الوحدات كل على حدة، أم ستتولى الجهة مقدمة الخدمة قياس استهلاك الطاقة في المباني أو المجمعات السكنية بوصفها وحدات متكاملة؟

- كيف سيعاد توجيه البيانات إلى الأنظمة المحاسبية في الجهة مقدمة الخدمة؟

- هل توجد حاجة إلى الربط بين آليات عمل نظام التحكم والخدمات المقدمة من جهات أخرى، مثل برامج الوصول إلى أفضل كفاءة للطاقة أو برامج جدولة الصيانة؟

- تجب دراسة قدرة النظام على التحكم في المحطة ومتابعتها، وكذلك أداء أنظمة التوزيع وأنظمة نقل الطاقة وأنظمة التخزين بأقصى كفاءة ممكنة وبأقل تكلفة لتلبية طلب العملاء على خدمات التبريد بالمياه.

- ثبات أداء النظام: يجب أن يكون النظام متاحًا لاستخدام الجهة مقدمة الخدمة على مدار 24 ساعة يوميًا وطوال أيام السنة، مع الحد إلى أقصى درجة ممكنة من فترات التوقف عن العمل أو دون توقف على الإطلاق. وليس من المقبول حدوث "انهيارات" متكررة أو عشوائية للنظام.

- يجب الأخذ في الحسبان موثوقية أداء النظام.

- التخزين السحابي وإنترنت الأشياء: يعد الأمن السيبراني عاملًا مهمًا للغاية في أنظمة التحكم، ولا تتعارض متطلباته مع سهولة الحصول على الخدمة.

- من خلال آليات عمل أنظمة التحكم يستطيع المالك الاتصال الآمن بالمحطة من أي مكان في العالم إذا لزم الأمر.

- أصبح الآن من الممكن متابعة مؤشرات الأداء الرئيسة أو التحقق من أداء المحطة في أثناء الاجتماعات.

- يمكن أن تتضمن المواصفات الذكية تلقي رسائل بريد إلكتروني في حالة وجود إنذارات مهمة، أو تشغيل المضخات مع تثبيت جهاز حاسب لوحي أمامها لمتابعة مستويات الضغط.

وتوجد اعتبارات أخرى وهي:

- دقة البيانات التي يقدمها النظام وتوفرها.
- قدرة النظام على متابعة توليد الطاقة والطلب عليها واستهلاكها واتخاذ الإجراءات بناءً على البيانات الواردة، بهدف زيادة الكفاءة الإجمالية لدى إحدى الجهات مقدمة الخدمة.
- سهولة الاستخدام للعاملين في الجهة مقدمة الخدمة.
- سهولة تطوير الخدمة وصيانتها.
- إمكان دعم النظام من جانب موردين متعددين بدلًا من الارتباط بمورد واحد على مدار عمر النظام كاملًا.
- سهولة التعافي من الكوارث.
- القدرة على الاتصال بالأنواع المختلفة من المعدات الموجودة عادة في أنظمة المحطات والتوزيع ونقل الطاقة والتخزين.
- تكلفة تشغيل النظام الأولية والمستمرة.
- القدرة على التوسع مع نمو البنية التحتية لأنظمة المياه المبرِّدة لدى الجهة مقدمة الخدمة، بما يتضمن إدخال معدات جديدة دون التأثير في عمليات التشغيل الجارية (انظر District Cooling Best Practice Guide).

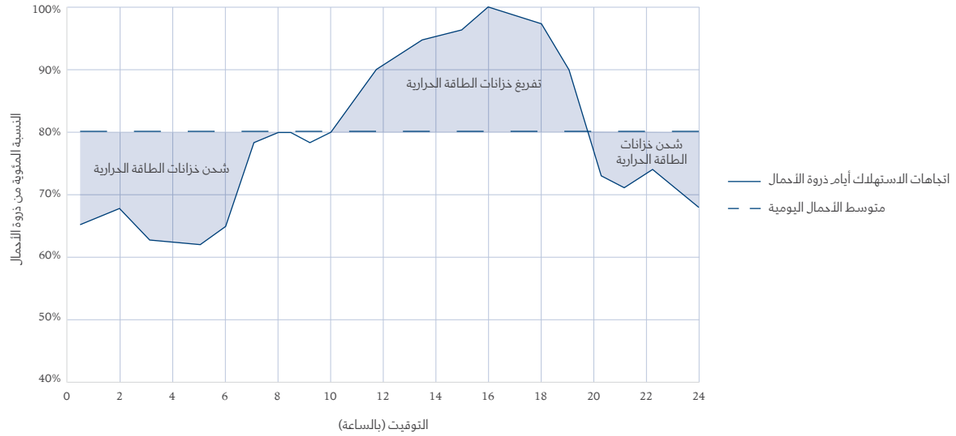
وتمثل آليات عمل أنظمة التحكم في تبريد المناطق العنصر الأخير بين عناصر تشغيل أي نظام لتبريد المناطق. وتستطيع محطة التشغيل في المنظومة المتكاملة من خلال هذه الآليات التحكم في معالجة المياه وفي محطات تبريد المناطق وشبكات التوزيع ومحطات نقل الطاقة للمستخدم النهائي، كما يتيح هذا التحكم المركزي والمستمر في شبكة تبريد المناطق تحقيقَ تطور دائم في كفاءة استهلاك الطاقة في النظام كاملًا. ويمكن أن يؤدي هذا النوع من الإدارة المركزية إلى تحسن مُعامِل الأداء بنسبة تصل إلى 60%، مقارنة بأنظمة التبريد المستقلة المُدارة كل على حدة، إذ يتولى الفنيون تشغيل محطات التبريد وإيقافها بناءً على عدة مقاييس (الطقس، استخدام الشبكة، ... إلخ).

تخزين الطاقة الحرارية

يسمح النظام المذكور أعلاه بإقامة مشروعات تخدم أغراضًا متعددة من أجل توزيع استهلاك خزانات الطاقة الحرارية والحفاظ على تشغيل النظام بمعدل كفاءة ثابت. هنا تستخدم الطواقم الفنية بيانات مأخوذة من عدة أنظمةٍ متابعةٍ مُشغلة آليًا لضمان جودة أداء الشبكة. وعند التخطيط لتأسيس نظام جديد لطاقة المناطق، من الضروري أن يؤسس المشرف على آليات عمل نظام التحكم لتواصل رسميّ مع الجهات المحلية المختصة والمؤسسات الخاصة والجهات الأمنية لضمان استمرارية الخدمة وأمانها. كذلك يتيح تخزين الطاقة الحرارية توزيع أحمال أجهزة التكييف وأحمال التبريد الأخرى في فترات الذروة على نحو اقتصادي وفعال، انتهاءً إلى الفترات خارج الذروة. لذا تتمثل الفائدة الرئيسة من استخدام نظام تخزين الطاقة الحرارية في خفض الطلب على الطاقة في أوقات الذروة، ومن ثم خفض تكلفة طاقة التشغيل من خلال خفض تكلفة الطلب على الطاقة أو تقليص التكلفة المقابلة لمدة استخدام الطاقة. وحتى مع وضع "تسعيرة موحدة" لرسوم الطاقة، توجد قيمة حقيقية لاستخدام نظام تخزين الطاقة الحرارية تعود على مستهلكي الطاقة. فتكلفة الطاقة الكهربائية وقيمتها تتغيران باستمرار (وفق العرض والطلب)، كما تتباينان تباينًا كبيرًا بين النهار والليل، إذ تتزايد تكلفة محطة الطاقة خلال فترات ذروة الطلب في أثناء النهار بدرجة أكبر كثيرًا مقارنة بالتكلفة خلال فترات انخفاض الطلب في الليل. وتدرك الجهات مقدمة خدمات الطاقة هذا التباين في التكلفة، حتى وإن كانت تحاسب العملاء وفق "تسعيرة موحدة" للطاقة. لذا يجب الاستعانة بنظام تخزين الطاقة الحرارية في "رسم" توجهات استخدام الأحمال، لا سيما لتقليص حجم الطاقة المستهلكة خلال فترات ارتفاع الطلب (فترات القيمة المرتفعة) وزيادة حجمها خلال فترات انخفاض الطلب (فترات القيمة المنخفضة). يتسبب هذا في توفير الجهات مقدمة خدمات الطاقة للمستهلكين "تسعيرة موحدة" أقل تكلفة للمستهلكين ذوي اتجاهات الأحمال المتذبذبة (تكلفة الخدمة تكون أقل). أما في حال الاستهلاك الضخم كما في أنظمة تبريد المناطق، فغالبًا ما ينتج انخفاض فوري في تكلفة صافي رأس المال بفضل اقتصاد الإنتاج الضخم الذي تتيحه أنظمة تخزين الطاقة الحرارية (لا سيما أنظمة تخزين الطاقة الحرارية العملية التي تستخدم الماء المبرَّد أو تخزين السوائل ذات درجة الحرارة المنخفضة)، وذلك مقارنةً بقدرة الأنظمة التقليدية المماثلة التي تعمل بالمياه المبرّدة (غير المعتمدة على تخزين الطاقة الحرارية). وعلى وجه التحديد، يمكن خفض تكلفة صافي رأس المال من خلال أنظمة تخزين الطاقة الحرارية في الحالات الآتية:

- تأسيس منظومة جديدة.
- توسع الأنظمة.
- إعادة تأهيل محطات التبريد.

وفي كل من هذه الحالات يتحقق خفض التكلفة، لأن تخزين الطاقة الحرارية يسمح بتقليص سعة محطة التبريد التوليدية. لذلك فبدلًا من الحاجة إلى مبرِّدات تلبي أقصى حاجة من الأحمال في أيام الذروة (إضافة إلى أي سعة احتياطية مطلوبة)، لا تحتاج المبرّدات إلا إلى أن تلبي متوسط الأحمال في أيام الذروة (بعمليات التوليد المشترك للطاقة الكهربائية والحرارية وعمليات إنتاج الطاقة داخل الموقع).



الشكل 50: إمكان تثبيت مستويات الأحمال عن طريق تخزين الطاقة الحرارية (District, 2008)

اختيار تقنيات تبريد المناطق الملائمة للمملكة العربية السعودية

سوق تبريد المناطق في منطقة الشرق الأوسط

من المتوقع أن يتسارع نمو سوق تبريد المناطق في منطقة الشرق الأوسط خلال العقد المقبل، بسبب الإقبال المتزايد على تبنّي تقنيات التبريد المستدامة والموفرة للطاقة بسبب مميزاتها البيئية والاقتصادية المختلفة.

وجدير بالذكر أن استهلاك الطاقة في الشرق الأوسط قد شهد نموًا

متسارعًا، إذ سجلت المنطقة أحد أعلى معدلات الاستهلاك في العالم. لذا تعطي الحكومات الإقليمية ورواد الصناعة الأولوية لاعتبارات الاستدامة في أثناء وضع خطط التنمية الحضرية.

وبالنظر إلى الظروف المناخية في أنحاء منطقة الشرق الأوسط، يعد تكييف الهواء متطلبًا أساسيًا طوال العام، وهو ما يعزز أهمية الاستدامة في هذا السياق. من هنا من المتوقع أن يرتفع الطلب على الأنظمة المركزية لتبريد المناطق، نظرًا إلى قدرتها على خفض البصمة الكربونية ودعم الاستدامة.

وتتفرع سوق تبريد المناطق في الشرق الأوسط إلى عدة شعب من حيث **تقنية الإنتاج ومجالات الاستخدام والدولة المستخدِمة.**

ففي ما يتعلق **بتقنية الإنتاج** تنقسم صناعة تبريد المناطق في الشرق الأوسط ما بين **التبريد الحر، والمبرِّدات الكهربائية، وتقنيات التبريد بالامتصاص.** ومن المتوقع أن يحقق قطاع المبرِّدات الكهربائية معدل نمو واضح حتى عام 2030 بسبب المعايير والضوابط الصارمة الموضوعة للحد من انبعاثات الكربون والسياسات الحالية التي تشجع إنشاء أنظمة مستدامة للتدفئة والتهوية وتكييف الهواء.

جدير بالذكر أن المبرِّدات بالمياه تحتاج إلى كمية أقل من الكهرباء لإنتاج مستوى التبريد نفسه الذي تنتجه المبرِّدات بالهواء.

غير أن التعديلات التي أُدخلت مؤخرًا على أنظمة التبريد بالهواء عززت من ملاءمتها لدرجات الحرارة في الشرق الأوسط، كما يجري حاليًا تطوير تقنيات المبرِّدات بالهواء لتصبح قادرة على العمل في ظل الظروف البيئية الخاصة بكل منطقة.

وفي ما يتعلق **بمجالات الاستخدام** تنقسم سوق تبريد المناطق في الشرق الأوسط ما بين القطاعات **السكنية والتجارية والصناعية**. ومن المتوقع أن يشهد القطاع الصناعي نموًا ضخمًا خلال العقد المقبل نتيجة نمو الاستثمارات في مشروعات البنية التحتية، التي ربما تؤدي إلى تصاعد الطلب على حلول مناسبة لتبريد المناطق.

أما في ما يتعلق **بالدولة المستخدِمة** فتوجد قطاعات مخصصة لهذه الصناعة في عدة دول هي **المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة وقطر والكويت والبحرين.** ومن المتوقع أن ترتفع قيمة سوق أنظمة تبريد المناطق في الشرق الأوسط ارتفاعًا كبيرًا بسبب الارتفاع المتسارع في درجات الحرارة والمبادرات الحكومية الداعمة لإنشاء أنظمة تبريد المناطق.

التبريد الحُر

يَستخدم التبريد الحُر الهواء المحيط الأكثر برودة (أي الأبرد من الدرجة المحددة للإمدادات من الماء المبرَّد) بدلًا من الاعتماد على دورة تبريد داخل المبرِّد. والاسم التقني المستخدم في عالم أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء لهذا النظام هو: النظام المقتصِد المتصل بمصدر مياه.

أما النظام المقتصِد المتصل بمصدر للهواء فيوضع غالبًا فوق أسطح المباني ذات وحدات التبريد المدمجة أو يتصل بوحدة داخلية لمعالجة الهواء، ما يسمح بدخول الهواء الخارجي المرشَّح إلى المكان عندما تنخفض درجات الحرارة الخارجية إلى أقل من 55 درجة فهرنهايت (12 درجة مئوية، وهي درجة حرارة الإمدادات المعتادة من الهواء المُبرَّد في الأماكن الداخلية)، ما يخفف من الحاجة إلى تشغيل دورة التبريد. وهكذا تُبرَّد الأماكن الداخلية دون أن يعمل نظام التبريد، ومن هنا جاء اسم "التبريد الحُر".

أنماط التبريد الحُر

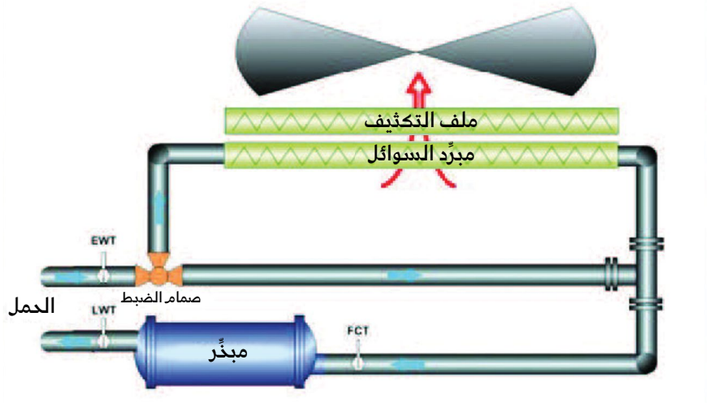
من الشائع في الأنظمة المبرَّدة بالماء استخدام ناقل حراري ضخم ذي لوح وإطار لنقل التبريد بين منظومة برج التبريد (عندما تنخفض درجة الحرارة إلى الحد المطلوب) ومنظومة الماء المبرّد. كذلك يوجد نظام ثيرموسيفون (thermosyphon) يستغل مياه المكثِّف التي تكون أبرد من المعتاد لتحريك مادة التبريد دون الحاجة إلى استخدام المكبس ولكن يحدث ذلك مع استمرار بعض أشكال النقل الحراري على مستويات مختلفة حسب اختلافات محددة في درجة الحرارة.

تشغيل التبريد الحُر

أثبت تشغيل هذه الأنظمة أنه يتسم بموثوقية وسهولة كبيرتَين، إذ يتصل نظام التبريد الحُر بالمبنى من خلال صمام منظِّم ثلاثي الاتجاهات متصل بأحمال المبنى أو بجانب التحميل في نظام الماء المبرّد، ونظام التبريد، ونظام التبريد الحُر المكون من أنبوب نحاسي/ملف زعنفي للماء مصنوع من الألومنيوم وملحق به مراوح المكثِّف.

أما في الأنظمة المتكاملة، فيوجد ملف لولبي للمياه ملتصق مباشرة بأنبوب نحاسي عادي/ملف زُعنفي لسائل التبريد مصنوع من الألومنيوم، ويستخدم على أنه سطح تكثيف للمبرِّد بالهواء وملحق به مراوح المكثِّف التي تسحب الهواء في الوقت نفسه من خلال الاثنين معًا (انظر الشكل 51).

1. **التشغيل في ظل ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة:** في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة، لا مجال للتبريد الحُر. لذا لا يعتمد نظام التبريد عندئذ على ملفات التبريد الحُر أو دوائره، بل يعتمد على التبريد الآلي بنسبة 100%.
2. **تشغيل المدى المتوسط أو التبريد المسبق:** بناءً على قوة التحكم التي يتطلبها النظام، يمكن أن يبدأ فتح الصمام ثلاثي الاتجاهات لإدخال ملفات التبريد



الشكل 51: نظام متكامل يوضّح عمليات نظام التبريد الحُر

الحُر به عند درجات حرارة تقل عن درجة الحرارة المحددة للماء المبرَّد، بقيمة تتراوح بين درجتين على مقياس فهرنهايت (–16 درجة مئوية) و4 درجات على مقياس فهرنهايت (–15 درجة مئوية). وتقوم هذه المنهجية على درجات الحرارة (أي إنها تعتمد على الفارق بين درجة الحرارة المحددة للماء المبرَّد ودرجة حرارة تشغيل التبريد الحُر) وتخفِّض الاستهلاك بدرجة أكبر كثيرًا مما يعتقد معظم غير ذوي الخبرة بتصميمات التبريد بالهواء. فإذا كان النظام يعمل عند درجة حرارة المياه المبرَّدة المعتادة (44 درجة فهرنهايت أو 6 درجات مئوية) فإنه سيبدأ بالاستفادة من التبريد الحُر عندما تصل درجة حرارة البُصيلة الجافة المحيطة في الهواء الخارجي إلى 42 درجة فهرنهايت (5 درجات مئوية). وفي درجات الحرارة هذه تظل الحاجة قائمة إلى نظام التبريد الآلي للوصول إلى السعة الكاملة، لكن الأحمال حينها تكون موزعة ويحقق النظام عندئذ أقصى استفادة ممكنة من البيئة المحيطة. بعد ذلك يستهلك نظام التبريد كل ما تبقى من طاقة بالاستعانة بما لا يزيد على 50% من قدرة الكباسات/سعة الجهاز. وفي هذا المثال ينخفض استهلاك الطاقة بمقدار النصف.

3. **التشغيل في فصل الشتاء:** بمجرد أن يصل النظام إلى النطاق الممتد بين 5 درجات فهرنهايت (–15 درجة مئوية) و9 درجات فهرنهايت (–12 درجة مئوية) تحت درجة الحرارة المحددة للمياه المبردة، يمكنه الوصول إلى كامل قدرته باستخدام ملفات التبريد الحُر. عند هذه النقطة سيكون الصمام الثلاثي مفتوحًا بنسبة 100% لدخول ملفات التبريد الحُر به وسيتوقف تشغيل نظام التبريد الآلي. وتجدر هنا الإشارة إلى أن النظام يصل إلى أقصى درجات كفاءة استهلاك الطاقة وتوفيرها عندما يتوقف تشغيل نظام التبريد الآلي. وبالطبع تستمر مراوح المكثِّف في سحب الهواء المحيط فوق ملفات التبريد الحُر، لكنها تتباطأ وتتوقف عن العمل إذا استمر انخفاض درجات الحرارة المحيطة، وهذا يعزز خفض استهلاك الطاقة.

4. **أوجه القصور:** يصل النظام إلى مرحلة التشغيل النهائية عند تلبية حجم الطلب على التبريد. عند هذه النقطة يبدأ الصمام ثلاثي الاتجاه في الاختناق مرة أخرى لتجنب التبريد الزائد وتوخي الحفاظ على درجة الحرارة المحددة. لذا يُستخدم محلول جليكول الإثيلين في مناخ دول الشمال لكي يقلل من احتمالات تجمد ملفات التبريد الحُر. إلا أنه في مناخ دول الجنوب التي تستخدم المياه، يظهر وجه جديد من أوجه القصور في ما يتعلق بنقطة التجمد. في هذه الحالة يُحظر ضبط النظام ليصل إلى درجات حرارة تقل عن 34 درجة فهرنهايت (1 درجة مئوية).

المُبرِّدات الكهربائية

تقوم المُبرِّدات الكهربائية بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة تبريد بهدف تلبية الطلب على التبريد. وتنقسم المُبرِّدات إلى نوعين هما المُبرِّدات بالمياه والمبرِّدات بالهواء. ويتشابه كلا النوعين في آلية عملهما على مدار الجزء الأكبر من عملية التبريد حتى وصول مادة التبريد إلى المكثِّف. هنا تتعامل المُبرِّدات بالمياه مع المياه بصورة تجعلها تحيط بأنابيب التبريد وتمتص الحرارة. بعد ذلك تُضخ المياه إلى برج التبريد لتصريف الحرارة. أما المُبرِّدات بالهواء فتستخدم مراوح مكثِّفة تتولى تدوير الهواء الخارجي من خلال المكثِّف الذي يمتص الحرارة من سائل التبريد. ومن المعروف أن المياه تتفوق على الهواء من حيث القدرة على توصيل الحرارة، لذلك فإن أداء المُبرِّدات بالمياه يكون عادة أكثر ثباتًا وكفاءة، كما أنها تتمتع بعمر أطول من نظيراتها المُبرِّدة بالهواء. ويشيع استخدام المُبرِّدات بالمياه في المنشآت متوسطة الحجم والضخمة (بشرط توافر إمدادات كافية من المياه) مثل المطارات والمستشفيات والفنادق ومراكز التسوق والمباني التجارية. على الجانب الآخر يغلب استخدام المُبرِّدات بالهواء في المنشآت صغيرة الحجم إلى المتوسطة التي يكون الحيز المتاح لها صغيرًا وكميات المياه المتاحة محدودة. وجدير بالذكر أن تركيب هذه النوعية من المُبرِّدات وصيانتها أقل تكلفة من المُبرّدة بالمياه، بيد أن عمرها الافتراضي يكون في العادة أقصر. وينتشر استخدام هذه المُبرِّدات في المباني القائمة بذاتها والمطاعم وفي فعاليات الشركات والأحداث الرياضية، وفي المنشآت المؤقتة.

مُبرِّدات امتصاص الحرارة

تتشابه دورة التبريد في المُبرِّدات التقليدية التي تعمل بكبس البخار والمُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص في أن كلا النوعين ينتج المياه المُبرَّدة عن طريق تبخير مادة التبريد وتكثيفها عند مستويات ضغط مختلفة داخل الجهاز. وفي حين تَستخدم المُبرِّدات التقليدية عملية آلية لكبس البخار الناتج عن مادة التبريد ونقله إلى المكثف، تعتمد مُبرِّدات الامتصاص على عملية كيميائية حرارية تستعين ببروميد الليثيوم والمياه لخلق تباين في الضغط بدلًا من الاعتماد على الضغط الآلي. كذلك فإن معظم المُبرِّدات التي تعمل بكبس البخار تتخذ من الكهرباء مصدرًا للطاقة اللازمة لتشغيل الجهاز، بينما تستخدم مُبرِّدات الامتصاص الحرارةَ مصدرًا للطاقة. وتكون تلك الحرارة عادة في صورة بخار أو مياه ساخنة أو مولَّدة بالغاز الطبيعي بواسطة الاحتراق المباشر.

وتقاس كفاءة طاقة المُبرِّدات بالامتصاص بناءً على الوقود المستهلك لكل طن تبريد، في حين تقاس كفاءة طاقة المُبرِّدات التي تعمل بكبس البخار وتدار بالمحركات بوحدة الكيلوواط لكل طن تبريد. ويُستخدم معامِل الأداء بوصفه وسيلة فعالة لقياس الأداء الكلي لطاقة المبرِّد. ويوضح الجدول أدناه نطاقات معامِلات الأداء في مختلف أنواع المبردات بالامتصاص وفقًا للمعلومات المقدمة من الشركات المصنعة (كلما زاد رقم معامل الأداء، زادت كفاءة المبرد):

ووفقًا للمعلومات المقدمة من الشركات المصنعة، يتراوح نطاق معامِل الأداء في المُبرِّدات بالمياه التي تستخدم المكبس اللولبي الدوار بين 3.90 و5.40، في حين يتراوح نطاق هذا المعامِل في المُبرِّدات بالمياه التي تعمل بالطرد المركزي بين 7.00 و8.79. لذلك فإن المُبرِّدات التي تعمل بكبس البخار وتدار بالمحركات أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة بنسبة تتراوح بين أربع وسبع مرات من المبردات التي تعمل بالامتصاص.

نوع مبرِّد الامتصاص	نطاق معامِل الأداء
مبرِّد أحادي التأثير يعمل بالمياه الساخنة أو بالبخار	0.60-0.75
مبرد مزدوج التأثير يعمل بالمياه الساخنة أو بالبخار	1.19-1.35
مبرد مزدوج التأثير يعمل بالحرق المباشر	1.07-1.18

في الوقت ذاته تعاني المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص من أوجه قصور جوهرية أخرى مقارنة بالمُبرِّدات التي تعمل بالطرد المركزي:

- تحتاج المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص إلى أبراج تبريد ذات سعة أكبر، مما يخلق تكلفة إضافية فوق تكلفة المحطة تتراوح بين 25 و30 دولارًا أمريكيًا لطن التبريد الواحد. لذلك إذا كانت الطاقة الإنتاجية للمحطة تبلغ 25 ألف طن

تبريد، فإن ذلك يعني زيادة التكلفة بقيمة 625 ألف دولار أمريكي (ما يعادل 2,350,000 ريال سعودي) بالإضافة إلى تكلفة رأس المال الإضافية الخاصة بإنشاء المحطة.

- تكلفة المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص أعلى من تكلفة نظيراتها التي تعمل بالطرد المركزي، ما يعني مزيدًا من تكلفة رأس المال الإضافية.

- تفرض المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص أعباء صيانة كبيرة، وهذا يعني ارتفاع نفقات التشغيل.

- تتطلب المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص استخدام مضخات أكبر حجمًا لأنها تحتاج إلى تدفق المياه بكميات أكبر، وهذا يعني أيضًا زيادة تكلفة رأس المال.

- تستهلك المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص كميات أكبر بكثير من مياه المكثف أثناء عملية التبخر، مقارنة بالمُبرِّدات التي تعمل بالطرد المركزي (تستهلك كمية أكبر بمقدار نصف المياه المكثفة أثناء عملية التبخر، مقارنة بالمبرِّدات التي تعمل بالطرد المركزي). وبالنظر إلى أن قضية المياه تشغل أهمية بالغة في منطقة دول مجلس التعاون الخليجي كما في العالم أجمع، فإن ذلك يمثل أحد أوجه القصور الخطيرة.

- تُنتِج المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص انبعاثات الكربون بكميات أكبر بكثير من المُبرِّدات التي تعمل بالطرد المركزي.

وإذا عقدنا مقارنة مباشرة حول كفاءة الطاقة بين هذين النوعين من المُبرِّدات، لوجدنا أن المُبرِّدات التي تعمل بكبس البخار وتدار بالمحركات تتفوق على المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص من جميع النواحي. بيد أن هناك بعض مجالات الاستخدام التي ربما تتمتع فيها المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص بميزة إضافية تتفوق بها على العاملة بكبس البخار والتي تدار بالمحركات. ومن بين أوجه الاستخدام تلك نجد الآتي:

- في المنشآت التي تضم محطة توليد مشترك للطاقة الكهربائية والحرارية أو أي عملية أخرى من عمليات توليد الطاقة الحرارية التي ينتج عنها طاقة حرارية زائدة (مهدرة). هنا تتيح المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص الاستفادة من تلك الطاقة الحرارية الزائدة لإنتاج مياه مُبرَّدة بدلًا من إهدارها بلا فائدة.

- في المنشآت التي تفتقر إلى بنية تحتية كهربائية جيدة أو إذا كان تأسيس مثل هذه البنية في تلك المنشآت باهظ التكلفة.

هنا لا تحتاج المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص إلى متطلبات كبيرة من الطاقة الكهربائية، مقارنة بالمُبرِّدات العاملة بكبس البخار والمحركات.

- في المنشآت التي تحتاج إلى طاقة كهربائية عالية وتتمتع بانخفاض تكلفة الوقود المستهلك فيها. هنا ربما تكون تكلفة تشغيل المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص أقل من نظيرتها التي تعمل بكبس البخار وتدار بالمحركات. إلا أن نجاح هذه العملية يتطلب أن تكون تكلفة الوقود منخفضة جدًا.

- في المنشآت التي تتطلب نظامًا ذا موثوقية عالية. هنا يسهم انخفاض المطلوب من الطاقة الكهربائية في المُبرِّدات التي تعمل بالامتصاص في تقليص متطلبات تشغيل مولدات الطوارئ عند ارتفاع الأحمال.

الاستعانة بمصادر الطاقة المتجددة في أنظمة تبريد المناطق

تعد الاستعانة بمصادر الطاقة المتجددة في أنظمة طاقة تبريد المناطق أحد الخيارات المطروحة لدعم الاستدامة البيئية رغم تكلفتها الضخمة خلال مرحلة الاستثمارات الأولية، إذ إنها تتسم بارتفاع تكلفتها الاستثمارية وانخفاض تكلفتها التشغيلية. إلا أن التحديات الرئيسة في هذا الصدد تتمثل في عدم ثبات وفرة مصادر الطاقة المستدامة، ما يتطلب إنشاء نظام لتخزين الطاقة الحرارية. ولتجنب هذه المشكلات مع الحفاظ على حصص الطاقة الكبرى التي تقدمها الطاقة الشمسية، ينبغي تصميم نماذج تنبؤية محكمة لإدارة أحمال الطاقة وسعة صهاريج تخزينها. لذلك لا بد من التركيز على رفع كفاءة محطات الإنتاج وشبكات التوزيع باستخدام نماذج حاسوبية تفصيلية وأدوات محاكاة وخوارزميات لتحقيق الكفاءة المثلى.

مجموعة من الخيارات التقنية لتبريد المناطق وبيان للمميزات والعيوب المتوقعة

ملخص لخيارات تقنيات تبريد المناطق الصالحة للاستخدام في المملكة

مشروعات تبريد المناطق الجارية في المملكة العربية السعودية

مركز الملك عبد الله المالي

شركة الرائدة للاستثمارات (جهة التوظيف) تعاقدت مع شركة تبريد السعودية على تشغيل وصيانة محطتَي تبريد المناطق الواقعتَين في مركز الملك عبد الله المالي، الذي يعد من بين أكثر المشروعات تميزًا في المملكة.

تتسم كل محطة بحِمل تبريد يبلغ 50 ألف طن تبريد، ويغطي العقد تشغيل محطتَي تبريد المناطق وصيانتهما

نظام طاقة تبريد المناطق	المميزات	العيوب	توصيات وأمثلة عملية
محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالهواء	• لا تحتاج إلى مياه تعويضية. • يمكن شراء المُبرِّدات بالهواء من المصنع مرة واحدة في صورة مجموعة متكاملة. • احتياجها إلى الصيانة أقل من احتياج منظومات التبريد بالمياه. • تحتاج إلى معدات أقل وتكلفة مبدئية أدنى لأنها لا تستخدم منظومة مائية ذات مكثِّفات.	• لا تزيد كفاءتها كثيرًا عن كفاءة وحدات التمديد المباشر الموزعة. • لا تتعدى سعة أكبر مبرِّد بالهواء 550 طنًا، وعليه فإن المحطة ستحتاج إلى وجود عدد منها، ما يمكن أن يجعلها باهظة التكلفة.	لا يُوصى بإنشاء محطات المبرِّدات بالهواء في المناطق ذات الكثافة المنخفضة إلى المتوسطة نظرًا إلى أن هذه المنظومة لا تحقق خفضًا كبيرًا في استهلاك الطاقة. ولا يجب التفكير في استخدام هذه المحطات إلا في المناطق ذات الكثافة العالية التي تندر فيها المياه، مثل المنطقة الوسطى. (Case study: Abdali Boulevar, Jordan)
محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالتبخير	• يمكن شراء المُبرِّدات العاملة بالتبخير من المصنع مرة واحدة في صورة مجموعة متكاملة. • تتطلب صيانة أقل من الأنظمة المُبرَّدة بالمياه. • تحتاج إلى معدات أقل وتكلفة مبدئية أدنى لأنها لا تستخدم منظومة مائية ذات مكثفات. • تقترب مستويات كفاءتها في البيئات الجافة من مستويات كفاءة المبرِّدات بالمياه.	• لا تعمل بالدرجة نفسها من الكفاءة في المناخ الرطب. • يقترب حجمها من حجم المُبرِّدات بالهواء، كما يبلغ الحد الأقصى لقدرتها نحو 500 طن، وعليه فإن المحطة ستحتاج إلى وجود عدد كبير من المُبرِّدات التي تستخدم التبخير، وهذا يمكن أن يجعلها باهظة التكلفة.	تتيح المُبرِّدات بالتبخير الدرجة نفسها من التوفير وسهولة التركيب التي تقدمها المُبرِّدات بالهواء، بينما يأتي أداؤها مماثلًا لأداء المُبرِّدات بالمياه. وتحتاج المُبرِّدات التي تستخدم التبخير إلى مياه تعويضية وإلى عمليات معالجة للمياه إلى جانب احتياجها إلى المصارف. لذا ينبغي وضع ذلك في الحسبان عند التفكير في إنشاء هذه المُبرِّدات في المناطق ذات المناخ الجاف مثل المنطقة الوسطى.
محطة أجهزة تبريد عاملة بالطرد المركزي مع برج للتبريد	• يمكن أن تصل كفاءة المُبرِّدات بالمياه إلى ضعف كفاءة المُبرِّدات بالهواء. • تصل سعة المبردات بالمياه شائعة الاستخدام إلى 2000 طن. • تكلفتها الأولية هي الأقل بين خيارات المبرِّدات بالمياه.	• تتطلب كميات كبيرة من المياه التعويضية.	تعدّ المنظومة التي تجمع المُبرِّدات بالمياه وأبراج التبريد منظومةً عالية الكفاءة يوصى باستخدامها عند توافر مصادر المياه الكافية لتلبية المطلوب من المياه التعويضية. (Case study: Empower—The Emirates Towers, United Arab Emirates)

نظام طاقة تبريد المناطق	المميزات	العيوب	توصيات وأمثلة عملية
أجهزة التبريد العاملة بالطرد المركزي وحلقة الحرارة الأرضية	• لا تحتاج إلى مياه تعويضية. • تصل كفاءة المُبرِّدات بالمياه إلى ضعف كفاءة المُبرِّدات بالهواء. • تصل سعة أنواع المُبرِّدات بالمياه شائعة الاستخدام إلى 2000 طن.	• تكلفة حفر التجاويف الرأسية باهظة. • تتقرر جدوى النظام وفق خصائص التربة. • يعمل النظام على أكمل وجه في ظل التوازن بين أحمال التبريد والتدفئة، وهذا لا يلائم المناخ السعودي.	ينبغي التفكير في استخدام المُبرِّدات بالمياه المزودة بأنظمة حلقية تعمل بالحرارة الأرضية في المناطق التي تندر فيها المياه وحيثما تسمح ظروف التربة. وينبغي كذلك التفكير في استخدام هذا النظام في منطقة الرياض، إذ إنه مستخدم في مركز الملك عبد الله المالي.
أجهزة التبريد العاملة بالطرد المركزي المبرَّدة بالمياه وطرد الحرارة إلى مياه البحر	• لا تحتاج إلى مياه تعويضية. • يمكن أن تصل كفاءة المُبرِّدات بالمياه إلى ضعف كفاءة المُبرِّدات بالهواء. • تصل سعة أنواع المُبرِّدات بالمياه شائعة الاستخدام إلى 2000 طن.	ليست مناسبة إلا في حالات قرب المحطة من البحر. • تثير بعض المخاوف البيئية من جراء مد الأنابيب في البحر. • التكلفة باهظة نتيجة الحاجة إلى مد أنابيب مقاومة للصدأ.	ينبغي التفكير في استخدام المنظومة التي تجمع بين المُبرِّدات بالمياه وطرد الحرارة في مياه البحر عندما تكون محطة التبريد ملاصقة للبحر. وفي الوقت الحالي تقوم المحطات العاملة في المنطقة الغربية على طول ساحل البحر الأحمر بطرد الحرارة في البحر. غير أن ذلك يثير مخاوف بيئية متعلقة بارتفاع نسبة الملوحة في البحر الأحمر.
أجهزة التبريد العاملة بالامتصاص والمبردة بالمياه	• مقارنة بمبردات الطرد المركزي، يتفوق هذا النوع عليها لأن متطلباته من الكهرباء أقل من أي نظام تبريد بنسبة تساوي تقريبًا 15 إلى 1. • تحتاج إلى كميات أكبر من المياه التعويضية.	• لا تكون مناسبة إلا عند توفر مصدر من مصادر الحرارة مثل مُجمِّعات الطاقة الشمسية. • ستكون التكلفة باهظة إذا استعانت بنظام مجمِّعات الطاقة الشمسية. • تحتاج طواقم الصيانة إلى مهارات إضافية، مقارنة بمحطات التبريد التقليدية التي تعمل بالطرد المركزي.	ينبغي التفكير في استخدام المبردات التي تعمل بالمياه وامتصاص الحرارة عند توفر كمية كافية من المياه التعويضية ومصدر للحرارة مثل مُجمِّعات الطاقة الشمسية أو الينابيع الحرارية أو الحرارة المهدرة في المحطات. وبحسب المعلومات المتاحة، توجد 10 ينابيع حارة في المملكة العربية السعودية منها ستة في جازان وأربعة في الليث. وتقدَّر درجة حرارتها في العمق بنحو 100 درجة مئوية.

ملاحظة: ربما يتحدد الاختيار المناسب من أنظمة طاقة تبريد المناطق وفقًا لكل حالة على حدة، حسب ما تمليه ظروف كل مشروع.

لمدة عشر سنوات (ويمكن تمديد هذه الفترة من خلال اتفاق مشترك بين جهة التوظيف والمقاول). وتصل السعة الإجمالية للمحطة -التي تستخدم نظام توزيع شبكي- إلى 100 ألف طن تبريد. وفي ما يأتي بيان تفصيلي بمواصفات المشروع:

نظام طاقة تبريد المناطق	المناخ والكثافة المناسبة	منطقة الاستخدام	أمثلة للمدن
محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالهواء	• صالحة للاستخدام في المناطق ذات الكثافة العالية التي تندر فيها المياه. • النطاق المناخي الصالح لاستخدام هذه التقنية يتراوح ما بين مناخ البحر الأبيض المتوسط والمناخ الصحراوي.	• المنطقة الوسطى	• الرياض
محطة أجهزة التبريد المبرَّدة بالتبخير	• صالحة للاستخدام في المناطق ذات المناخ الجاف.	• المنطقة الوسطى	• الرياض
محطة أجهزة تبريد عاملة بالطرد المركزي مع برج للتبريد	• صالحة للاستخدام ويوصى بها في المناطق التي تتمتع بإمدادات كافية من المياه.	• المدن الساحلية/المنطقة الغربية/ المنطقة الشرقية	• جدة • ينبع • الدمام
جهاز التبريد العامل بالطرد المركزي وحلقة الحرارة الأرضية	• صالحة للاستخدام في المناطق ذات الكثافة العالية التي تندر فيها المياه. • صالحة للاستخدام في المناخ الصحراوي.	• المنطقة الوسطى	• الرياض
جهاز التبريد العامل بالطرد المركزي المبرّد بالمياه وطرد الحرارة إلى مياه البحر	• صالحة للاستخدام عندما تكون محطة التبريد ملاصقة لمياه بحر.	• المدن الساحلية/المنطقة الغربية/ المنطقة الشرقية	• جدة • ينبع • الدمام
أجهزة التبريد العاملة بالامتصاص والمبردة بالمياه	• صالحة للاستخدام في حالة توفر كميات كافية من المياه التعويضية. • صالحة للاستخدام في حالة توفر مصدر للحرارة مثل مُجمِّعات الطاقة الشمسية أو الينابيع الحارة أو الحرارة المهدرة في المحطات.	• المنطقة الجنوبية	• جيزان • الليث

- المنطقة: الرياض
- مساحة المشروع: 1.6 مليون متر مربع
- نوع المنطقة: تجارية وسكنية
- مدة العقد: 10 سنوات
- السعة المنصوص عليها في العقد: 100 ألف طن تبريد
- نوع العقد: عقد تشغيل وصيانة
- رعاة المشروع: شركة تبريد السعودية (بنسبة 100%)
- التسعيرة: عقد محدد السعر
- المستفيد: العملاء داخل المركز المالي والزوار

البحر الأحمر

يجري حاليًا إنشاء مشروع البحر الأحمر ليصبح وجهة سياحية فاخرة وفريدة، تمزج بين الطبيعة والثقافة وروح المغامرة وترسي معايير جديدة للتنمية المستدامة تضع المملكة في مكانة مرموقة على خريطة السياحة العالمية.

وتمتلك شركة تبريد السعودية حصة قدرها 15% في هذا المشروع القائم بين القطاعَين العام والخاص، إذ توفر لشركة البحر الأحمر للتطوير خدمات التبريد للمشروع بموجب عقد امتياز للمرافق ينص على تزويد خدمات البناء والتشغيل ثم نقل الملكية، من خلال محطتَين لتبريد المناطق، تبلغ سعة كل منهما 16,250 طن تبريد. وبموجب هذا الاتفاق تحصل شركة تبريد السعودية على الامتياز الحصري لتقديم خدمات التبريد لمشروع البحر الأحمر. وفي ما يأتي بيان تفصيلي بمواصفات المشروع:

- المنطقة: الساحل الغربي للمملكة العربية السعودية، بين مدينتَي أملج والوجه.
- نوع المنطقة: مداخل الجزر والمنتجعات الجبلية والمناطق الصالحة للرياضات الصحراوية.
- مدة العقد: 25 سنة.
- السعة المنصوص عليها في العقد: 32,500 طن تبريد.
- نوع العقد: عقد بناء وتملك وتشغيل ونقل ملكية.
- رعاة المشروع: شركتَا تبريد السعودية وأكوا باور.
- التسعيرة: محددة حسب رسوم السعة ورسوم الاستهلاك.
- المستفيد: شركة البحر الأحمر للتطوير.

مصطلحات أساسية

عمليات الرقابة الحيوية: استخدام معالِجات المياه الكيميائية أو الفيزيائية لمنع نمو البكتيريا في أبراج التبريد.

عمليات تفريغ الصرف أو تصريف الشوائب الصلبة: إطلاق جزء من المياه المعاد تدويرها من برج التبريد. وتحمل هذه المياه موادً صلبة ذائبة يمكن أن تؤدي إلى تراكم المعادن.

المعالجة الكيميائية: يدخل في هذه العملية استخدام مواد كيميائية تعمل على إبادة الجراثيم، كما تشمل ضبط الإعدادات ومواءمتها وتبديد الشوائب ومنع التكلس بهدف مكافحة نمو الجراثيم والتكلس والتآكل في أبراج التبريد. وتشمل بدائل المعالجة الكيميائية التقليدية المعالجة بالأوزون والتأين والتعريض للأشعة فوق البنفسجية. ويَستخدم برج التبريد المياه لامتصاص الحرارة من أنظمة تكييف الهواء ولتنظيم درجة حرارة الهواء في المنشأة.

معدل التركيز: يساوي نسبة المواد الصلبة الذائبة في المياه المعاد تدويرها بنسبة هذه المواد في المياه التعويضية الداخلة. وترتفع هذه النسبة بانخفاض معدل تفريغ الصرف، وارتفاعها فوق نقطة معينة يؤدي إلى التكلس، كما تقل وفورات المياه عندئذ بعد الوصول إلى مستوى معين. ويشار إلى هذه النسبة أيضًا باسم عدد دورات التركيز، إذ تعبر الدورات في هذه الحالة عن عدد المرات التي تتركز فيها المعادن الذائبة في المياه مقارنة بتركيزها في المياه التعويضية، ولا تعبر عن عدد مرات تدفق المياه في البرج أو دورات التشغيل والإيقاف.

المياه الرمادية: بحسب التعريف الوارد في الملحق G بعنوان "أنظمة المياه الرمادية لمساكن الأسرة الواحدة" *Gray Water Systems for Single-Family Dwellings* الوارد في دليل "معايير السباكة الموحدة" *Uniform Plumbing* code، يشير مصطلح المياه الرمادية إلى "مياه الصرف المنزلية غير المعالَجة باستثناء تلك الناشئة عن المراحيض. وتشمل المياه الرمادية المياه المستخدمة الناتجة عن أحواض الاستحمام وغرف الاستحمام وأحواض الحمامات وكذلك المياه الناتجة عن غسالات الملابس وأحواض الغسيل. ولا ينبغي أن تشمل المياه الرمادية مياه الصرف الناتجة عن أحواض المطابخ أو غسالات الأطباق". أما دليل "معايير السباكة الدولية" *International Plumbing Code*، فيورد تعريفًا للمياه الرمادية في الملحق C بعنوان "أنظمة إعادة تدوير المياه الرمادية" *Gray Water Recycling systems*، يعرفها على أنها "مياه الصرف الناتجة عن المراحيض وأحواض الاستحمام والدوش وغسالات الملابس وأحواض الغسيل". كذلك تسمح بعض الولايات والسلطات المحلية بإدراج مياه الصرف الناتجة عن أحواض المطابخ ضمن أنواع المياه الرمادية. وتوجد بعض أوجه التباين الأخرى بين المواصفات الواردة في دليل "معايير السباكة الموحدة" ودليل "معايير السباكة الدولية" من جهة والمواصفات المطبقة في الولايات والمناطق المحلية. لذلك ينبغي على فرق العمل في المشروعات الالتزام بتعريفات المياه الرمادية التي تحددها الجهة ذات الاختصاص في مناطق إقامة المشروع.

الفيلقية المُستروحة: نوع من البكتيريا التي تنتقل عن طريق المياه وتؤدي إلى الإصابة بداء الفيالقة. وتنمو هذه البكتيريا في المياه بطيئة الحركة أو المياه الدافئة الراكدة، ويمكن العثور عليها في مواسير السباكة ورؤوس الاستحمام وخزانات المياه. ويُعزى تفشي بكتيريا الفيلقية المُستروحة إلى مكثفات البخار وأبراج التبريد.

المياه التعويضية: هي المياه التي تُغذى بها أنظمة أبراج التبريد لتعويض المياه المفقودة نتيجة التبخر أو التفريغ أو التصريف أو لأسباب أخرى.

المياه الصالحة للشرب: هي المياه التي تستوفي معايير جودة مياه الشرب التي وضعتها وكالة حماية البيئة الأمريكية أو تتفوق في جودتها على هذه المعايير، وتكون معتمَدة للاستهلاك البشري من جانب سلطات المحافظة أو السلطات المحلية ذات الاختصاص. ويمكن توفير هذه المياه عن طريق الآبار أو أنظمة شبكات مياه البلديات.

المياه الناتجة عن الصناعة: هي مياه تُستخدم في العمليات الصناعية والأنظمة الموجودة داخل المباني مثل أبراج التبريد والغلايات والمُبرِّدات. ويمكن أن يشير المصطلح أيضًا إلى المياه المستخدمة في عمليات تشغيل الأجهزة المنزلية مثل مياه غسالات الأطباق وغسالات الملابس وماكينات تحضير الثلج.

المياه المستصلحة: هي مياه الصرف التي خضعت للمعالَجة والتنقية لغرض إعادة الاستخدام.

مياه الصرف: المياه الناشئة عن الاستهلاك أو الاستخدام في المنازل أو التجمعات السكانية أو المزارع أو الصناعات التي تحتوي على مواد مذابة أو عالقة (Federal Remediation Technologies Roundtable).

كفاءة الطاقة وترشيد استهلاك المياه في المباني

كفاءة الطاقة وترشيد استهلاك المياه في المباني

مدخل

إن عملية إزالة الكربون في المدن لها دور مهم في تحقيق الأهداف المناخية والاستدامة. إلا أن معدلات طلب المباني على الطاقة في ازدياد، إذ ارتفعت معدلات الاستهلاك من 115 إكساجول في عام 2010 إلى نحو 135 إكساجول في عام 2021 وفقًا لبيانات الوكالة الدولية للطاقة (IEA, 2022). وتُعد المباني مسؤولة عن نحو 28% من حجم استهلاك الطاقة الأولية في المملكة العربية السعودية، إذ تستهلك ما يزيد على 75% من إنتاج المملكة من الطاقة الكهربائية، بمعدل نمو سنوي يصل إلى نحو 5%. وبالتزامن مع ذلك تُنذر توجهات النمو السكاني بتزايد معدلات استهلاك الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة محليًا. وفي هذا الإطار يتبنى المسؤولون وصناع السياسات في المدن السعودية الكبرى مبادراتٍ مختلفة تهدف إلى الارتقاء بجودة الحياة في المناطق الحضرية وجعل المدن أكثر مرونةً واستدامة.

يعد تحقيق الكفاءة في استخدام الطاقة والمياه أحد أهم الأولويات على طريق التحول للوصول إلى مستقبل يتميز بالاستدامة وأمن الطاقة. وبالنظر إلى دور كفاءة استهلاك الطاقة في تحسين مستوى معيشة السكان ورفاههم والتخفيف من آثار فقر الطاقة، فقد أصبحت إحدى السياسات التي لا غنى عنها لما لها من دورٍ بارز في تحقيق الأهداف المناخية.

وفي ظل سعي المملكة الحثيث لتحقيق الحياد الصفري بحلول عام 2060، تتجلى الأهمية البالغة لرفع كفاءة استهلاك الطاقة والمياه في البيئة العمرانية بوصفهما أحد سبل الإسراع بوتيرة التحول إلى الطاقة المستدامة وتحقيق الأهداف المناخية.

ومن المعروف أن الطاقة والمياه هما أساس تحقيق الجذب في البيئة الحضرية في المجتمعات الحديثة، ومن ثَمَّ فإن لهما مكانة رائدة في رسم مستقبل المدن المستدامة في المملكة. إضافة إلى ذلك فإن تحقيق كفاءة الطاقة والمياه في المباني يخلق فرصًا هائلة لرفع الإنتاجية وزيادة الثروة مع خفض الهدر في الموارد وتقليص الانبعاثات. كذلك يسهم تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في خلق مزيد من التكامل بين أهداف الأداء الاقتصادي من جهة وتعهدات تحقيق الاستدامة من جهة أخرى.

وقد أدى التقدم التقني الذي شهده العقد الماضي إلى انخفاض ملحوظٍ في كميات مدخلات الطاقة اللازمة لتشغيل الأجهزة المعتمِدة على الطاقة مثل أجهزة الطهي والإضاءة والتبريد والتدفئة. كذلك تشير التقديرات إلى أن تحسين كفاءة استهلاك الطاقة من شأنه أن يسفر عن خفض انبعاثات غازات الدفيئة بما يزيد عن ثلثِ كمية الانبعاثات المطلوب خفضها لمواجهة تبعات التغير المناخي (IEA, 2021).

من هذا المنطلق نطرح هنا إطارًا منهجيًا يهدف إلى تعزيز وتيرة الجهود المبذولة لتحقيق بيئة عمرانية أكثر مرونة تحقق استدامة بيئية أكبر.

الهدف

نورد في ما يأتي إرشادات معنية بأوجه استهلاك الطاقة والمياه في المباني، تنطوي على توصياتٍ رفيعة موجهة لصانعي القرار لدعم الجهود التي تبذلها المملكة في مجالي إزالة الكربون في البيئة العمرانية وترشيد استهلاك المياه. وتعرض هذه الإرشادات بالتفصيل كيف يمكن للمدن أن تستعين بعدد من الإجراءات المجربة والممكنات لوضع السياسات والتقنيات وآليات التمويل الداعمة لرفع كفاءة استهلاك الطاقة والمياه وتوفير الطاقة في البيئة العمرانية بالاستعانة بأساليب منخفضة التكلفة.

والهدف الرئيس لهذه الإرشادات هو دعم الجهود التي يبذلها صناع السياسات لتنفيذ خطط كفاءة استهلاك الطاقة والمياه من أجل الوصول إلى الأهداف الآتية:

- تحسين كفاءة الطاقة وترشيد استهلاكها.
- خفض استهلاك المياه في المدن.
- تحسين تصميم المباني.
- تشجيع الاعتماد على مواد البناء المستدامة المُنتَجة محليًا.
- رفع معدلات إعادة تدوير مواد البناء وإعادة استخدامها.
- رفع مستوى راحة المواطنين داخل المباني والارتقاء بجودة الحياة الحضرية وجعل المدن أكثر مرونة.

استخدام الطاقة في المباني وترشيد استهلاكها

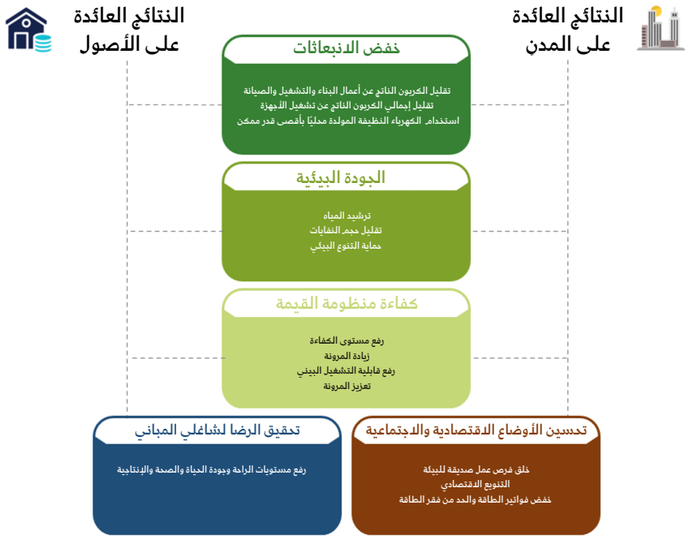
التآليات الضرورية لتحسين كفاءة الطاقة في البيئة العمرانية:	
تحسين مستوى البناء والتصميم	• تصميم المباني الجديدة وإنشاؤها على نحو سليم لتحقيق أكبر خفض ممكن لأحمال التدفئة والتبريد والتهوية والإضاءة. • إرساء مواصفات جديدة لكفاءة الطاقة والالتزام بها في المباني القائمة لضمان استيفاء معايير كفاءة الطاقة في عمليتَي التصميم والبناء. وقد أصبح من اللازم مؤخرًا أن تلتزم جميع مباني المملكة العربية السعودية باشتراطات كفاءة استهلاك الطاقة المنصوص عليها في كود البناء السعودي تحت الأرقام 601 و602.
تجديد المباني القائمة	• يُعد تجديدُ المباني القديمة أو الشعبية وتحديثُ الأنظمة كثيفة استهلاك الطاقة ضروريَين لرفع كفاءة استهلاك الطاقة في البيئات العمرانية التي تتسم بانخفاض معدل دوران مخزون الطاقة. • يتطلب هذا التجديد الالتزام بإطار سياسات محفِّزٍ وطرح نماذج مبدعة لأعمال التجديد وخفض تكلفة التمويل ووضع خطة لمراحل إنشاء المشروع.
إدارة الطاقة	• تعين أنظمة متابعة الطاقة وإدارتها على تحقيق خفض استهلاك الطاقة وتحسين كفاءتها. • استخدام أجهزةٍ وأنظمة ذكية لإدارة الطاقة والحرص على صيانتها. • العمل بنظام الشبكات الذكية لخلق توازن بين العرض والطلب على الطاقة ورفع كفاءة نظام التوزيع.
تغيير السلوكيات	• تشجيع السلوكيات التي تدعم الوصول إلى كفاءة الطاقة، وذلك لخفض استهلاك الطاقة وتوفير النفقات. • جعل الاعتبارات السلوكية جزءًا من برامج كفاءة الطاقة.

خطوات رفع كفاءة الطاقة في البيئة العمرانية:	
تقييم الأداء	• إتاحة المعرفة بسياق الطلب على الطاقة والعوامل المؤثرة فيه داخل البيئة العمرانية. • تقييم كفاءة الطاقة في المباني القائمة. • تحديد إمكان خفض الطلب على الطاقة والتحديات التي تواجه هذا المسعى، وحصر الموارد اللازمة، وتحديد الأولويات والأهداف المرحلية.
القيادة بالقدوة	• اختبار نجاعة الحلول المطروحة لتحديث تقنيات الطاقة الذكية واستخدامها في نطاق تجريبي قبل نشرها على نطاق واسع. • تحديث تقنيات كفاءة الطاقة وتشغيلها في المباني العامة لكي تصبح نموذجًا يحتذى به.
التوسع في التجارب الناجحة	• الاستفادة من خبرات أصحاب التخصص والأطراف المعنية. • الاستفادة من التجارب الناجحة والخبرات الوطنية والدولية لتنفيذ برامج كفاءة الطاقة والتوسع فيها.

1. أهمية تحسين كفاءة الطاقة واستخدام المياه في المباني وفوائدها

تعود كفاءة استخدام الطاقة والحفاظ على المياه على الأفراد والمجتمعات بعدة فوائد منها:

- خفض انبعاثات غازات الدفيئة نتيجة الحد من حرق الوقود.
- مساعدة الأسر والأعمال التجارية على خفض الإنفاق على فواتير المياه والكهرباء.
- خفض تكلفة تشغيل المباني وصيانتها خلال دورة حياتها.



الشكل 52: فوائد تحقيق كفاءة الطاقة

أنواع المباني

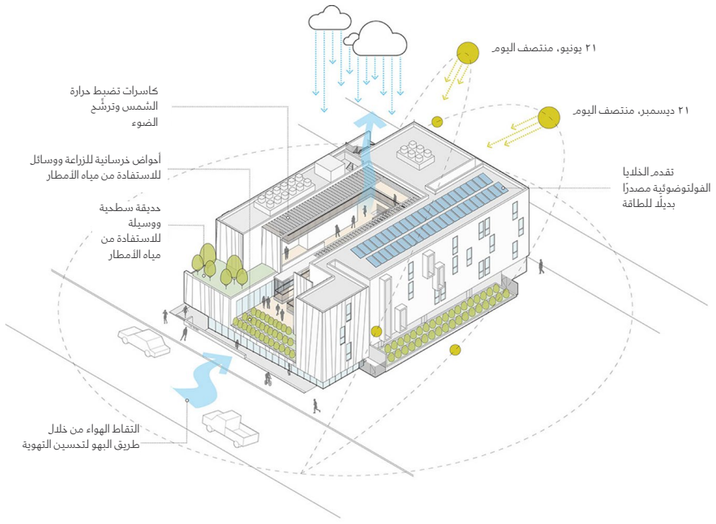
تسري الإرشادات على جميع أنواع المباني في المملكة. ويستعرض الشكل (53) فئات المباني المختلفة.

2. تصميم المباني وتحديد أغراضها لخفض استهلاك الطاقة وزيادة الإحساس بالراحة في المساحات الداخلية

ثمة أهمية كبرى للاستعانة بمفاهيم التصميم المستدام وكفاءة الطاقة في المشروعات الإنشائية الجديدة. كما أن التشجيع على ابتكار التصميمات التكاملية والمستدامة له دور في خفض استهلاك الطاقة ورفع مستوى راحة شاغلي المباني.

حقوق النشر: الشكل من الشرح التفصيلي لمؤلفي الدراسة

الشكل 53: أنواع المباني محل النظر والدراسة



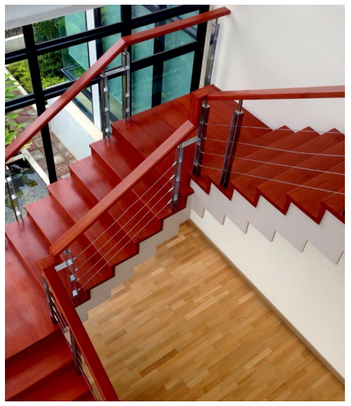
حقوق نشر الصورة: شركة بروكس وسكاربا المعمارية [Brooks + Scarpa Architects Inc.]

الشكل 54: الاستعانة بعدد من العناصر المستدامة المتنوعة لرفع مستوى أداء المبنى.

من هنا توضح الإرشادات الآتية الآليات التي يمكن من خلال تطبيقها تسخير تصميم المبنى والغرض منه لخفض البصمة الكربونية له.

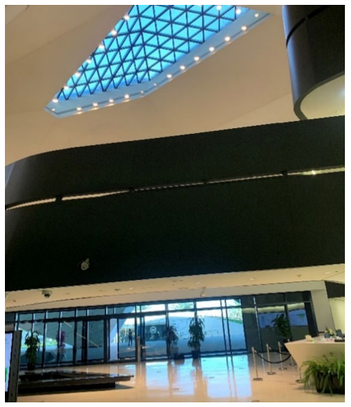
التصميم الإنشائي

- الاستفادة من الإمكانات التي تتيحها سمات المبنى والعناصر المختلفة فيه مثل الأرضيات قليلة العمق والنوافذ القابلة للفتح والمناور، للسماح للشاغلين بالاستمتاع بضوء النهار والتهوية الطبيعية **وبما يتوافق مع مواصفات كود البناء السعودي، في الفقرات 601 و602.**
- الاستعانة بالعناصر المعمارية العلوية، مثل المظلات أو السقائف أو العرائش أو الأفاريز عند المداخل والنوافذ، وذلك لتوفير الظل والحد من اكتساب المبنى للحرارة في أثناء النهار وخاصة عند واجهات المباني الجنوبية.
- الجمع بين طرق مختلفة للتظليل مثل الشرفات والمظلات والسقوف وغيرها، لتخفيف أثر عوامل المناخ على المبنى.
- الاعتماد قدر الإمكان على وسائل التهوية والإضاءة الطبيعية المتاحة في مواقف السيارات ذات الطابق الواحد أو متعددة الطوابق، مع الحفاظ على الخصوصية المعمارية.
- الاستعانة بالطلاء الأبيض أو العاكس للضوء في أسطح المباني، والمواد خفيفة الوزن في رصف الطرق، بما يضمن توجيه الحرارة بعيدًا عن المبنى ومن ثَمَّ خفض الحاجة إلى وسائل التبريد الصناعية.
- إدخال العناصر الإنشائية المعروفة باسم كاسرات أشعة الشمس لخفض حرارة المبنى وتشتيت ضوء الشمس.
- تجنب استخدام مواد البناء والتشطيب ذات القدرة العالية على نشر الوهج والحرارة في المباني المجاورة.
- التشجيع على استخدام السلالم بوضعها بالقرب من مدخل المبنى وتعليق لافتات عند المصاعد تدل الزائرين على موقع أقرب سلم.
- تصميم موقع السلالم في مخارج المباني بشكل جذاب بصريًا ليصبح السلم الخيار المفضل لشاغلي المبنى في أثناء صعودهم ونزولهم.
- الاستعانة بعناصر مثل الأسقف صديقة البيئة التي تحتوي على نباتات تتكيف مع بيئة المبنى.
- تنسيق البنى التحتية الطبيعية وإدخالها إلى المساحات العامة، مع استخدام ارتفاعات مختلفة من التشجير لوضع حدود حول المبنى ولحماية خصوصية شاغليه. وينبغي ألا يتعارض ذلك مع التوجيهات الإرشادية مثل التوجيهات الواردة في "الدليل الإرشادي الوطني للتصميم



حقوق نشر الصورة: كابسارك

الشكل 55: نموذج لسلالم



حقوق نشر الصورة: كابسارك

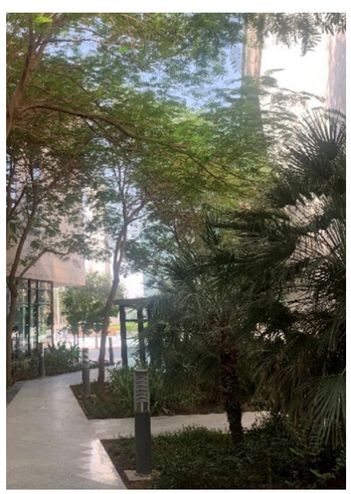
الشكل 56: إضاءة طبيعية

حقوق نشر الصورة: كابسارك

الشكل 57: أشجار وارفة

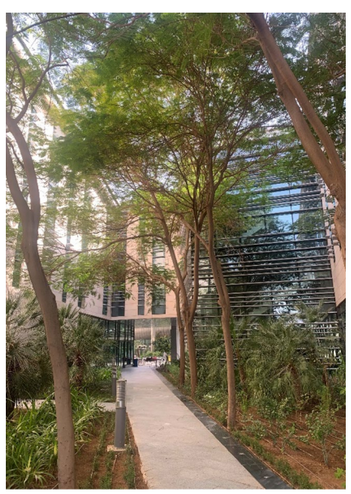
حقوق نشر الصورة: كابسارك

الشكل 58: تنسيق العمارة الخارجية بما يتماشى مع حجم المشروع ونوعه



حقوق نشر الصورة: كابسارك

الشكل 60: التكامل بين المساحات الخضراء وغير الخضراء في العمارة الخارجية بما يحقق خفض الحرارة وإبراز تصميم الموقع وخلق مساحات جذابة



حقوق نشر الصورة: كابسارك

الشكل 59: تصميم المساحات الانتقالية وتفاصيل النوافذ وتنسيق المساحات الخضراء في العمارة الخارجية للتعبير عن وحدة المكان

الحضري" و"دليل زراعة النباتات في المناطق الحضرية" و"دليل إرشادات التصميم لمشروع الرياض الخضراء".

- الارتقاء بالهوية المعمارية للمملكة باستخدامِ تصميماتٍ ومواد مميزة تُبرز الخصائص الفريدة للدولة، وذلك بما لا يتعارض مع الإرشادات المبيَّنة في "الدليل الإرشادي الوطني للتصميم الحضري" وغيره من الإرشادات المماثلة، مثل "دليل زراعة النباتات في المناطق الحضرية" و"دليل إرشادات التصميم لمشروع الرياض الخضراء".

تصميم الموقع

- اختيار مواقع المباني بما يحقق أقصى استفادة من مداخل التهوية ومخارجها المتواجهة والاستفادة من ضوء الشمس، وفي الوقت نفسه الحد من امتصاص الحرارة، لا سيما بالنسبة إلى الواجهات الجنوبية والغربية.

- الاستفادة من الأشجار الوارفة والعناصر المعمارية الظليلة لرفع مستوى الراحة وإتاحة خيارات التبريد السلبي. كذلك الحرص على أن تضم المناطق المزروعة مظلات ضخمة لتوفير الظل ولخفض استخدام الطاقة، لا سيما عند الواجهات الجنوبية.

- استخدم معدات الإضاءة التي تعتمد على الطاقة الشمسية لخفض استهلاك الكهرباء.

3. غلاف المبنى والأداء الحراري

غلاف المبنى

يؤثر الأداء الحراري لغلاف المبنى على معدلات طلب الطاقة فيه. ومن هنا كان من الضروري وضع الحد الأدنى لمعايير أغلفة المباني في كل المشروعات الإنشائية الجديدة للحد من استهلاك الطاقة. وسوف تساعد الإرشادات التالية على الحد من امتصاص الحرارة في المباني من خلال استغلال الواجهات والأسقف بما يضمن تخفيف أحمال التبريد التي تُعد مسؤولة عن قسم كبير من إجمالي استهلاك المباني للطاقة.

ولتحقيق أداء أفضل في استهلاك الطاقة، يُنصح بأن تكون مواصفات المشروعات الجديدة مطابقة للمعايير المنصوص عليها في **كود البناء السعودي، في الفقرات 601 و602** أو أن تكون أفضل إن أمكن **(انظر الفصل الخامس من كود البناء السعودي، الفقرة رقم 601 للاطلاع على المعايير الخاصة بجميع أنواع المباني ما عدا السكنية منخفضة الارتفاع، والفصل الخامس من كود البناء السعودي، الفقرة رقم 602، للاطلاع على المعايير الخاصة بالمباني السكنية منخفضة الارتفاع).**

الجسور الحرارية

في كل المباني الجديدة المكيفة، يجب أن تكون الجسور الحرارية معزولة عزلًا جيدًا أو أن تُزال تمامًا للحد من انتقال الحرارة. وتوجد الجسور الحرارية عادة عند التقاطعات بين الكمرات الخرسانية أو الحديدية وبين الحوائط والأعمدة الخارجية وفي الفتحات الموجودة حول أُطرِ الأبواب والنوافذ.

ومن الممكن تجنب إقامة الجسور الحرارية في كل أنواع المنازل من خلال زيادة كفاءة أغلفة المباني، علمًا بأن متوسط الناقلية الحرارية (النفاذية الحرارية) لغلاف المبنى يجب ألا يتجاوز 0.40 واط لكل متر مربع كلفن.

متطلبات الراحة الحرارية

ينبغي أن تتبع أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء كل المواصفات المنصوص عليها في **كود البناء السعودي، في الفقرات 601 و602 (انظر الفصل الخامس من كود البناء السعودي الفقرة 601 للاطلاع على المعايير الخاصة بجميع أنواع المباني ما عدا السكنية منخفضة الارتفاع، والفقرة رقم 602 للاطلاع على المعايير الخاصة بالمباني السكنية منخفضة الارتفاع).**

4. الأنظمة الموجودة في المباني

أجهزة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء وأنظمتها

لضمان كفاءة أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء ومنح شاغلي المبنى القدرة على التحكم في التهوية والحرارة، ينبغي تقييم أحمال التدفئة والتبريد في المباني الجديدة وفقًا للمعايير المنصوص عليها في كود البناء السعودي، **في الفقرتين 601 و602 (انظر الفصل السادس من كود البناء السعودي الفقرة رقم 601 للاطلاع على المعايير الخاصة بجميع أنواع المباني ما عدا السكنية منخفضة الارتفاع، والفقرة رقم 602 للاطلاع على المعايير الخاصة بالمباني السكنية منخفضة الارتفاع).**

الإضاءة

لضمان خلق بيئة مريحة وجاذبة بصريًا لشاغلي المبنى، ينبغي تصميم نظام إضاءة جيد وموفرٍ للطاقة يستخدم كلًا من الموارد الكهربائية والطبيعية ومزوَّدٍ بأدوات التحكم المناسبة. غير أنه من الضروري أن يتبع نظام الإضاءة المعايير المنصوص عليها في **كود البناء السعودي، في الفقرتين 601 و602 (انظر الفصل التاسع من كود البناء السعودي الفقرة 601 للاطلاع على المعايير الخاصة بجميع أنواع المباني ما عدا السكنية منخفضة الارتفاع، والفقرة رقم 602 للاطلاع على المعايير الخاصة بالمباني السكنية منخفضة الارتفاع).**

ويمكن الاستعانة بحلول الإضاءة الموفرة للطاقة في المباني الجديدة ومشروعات ترميم أو تجديد المباني القائمة باتباع الإرشادات الآتية:

- استخدم المصابيح الثنائية الباعثة للضوء (LED): يُوصى باستخدام هذه المصابيح بدلًا من المصابيح المتوهجة، نظرًا إلى كفاءتها العالية في استهلاك الطاقة وعمرها الطويل. يُذكر أن استهلاك هذه المصابيح للطاقة أقل من استهلاك المصابيح المتوهجة الشائعة أو مصابيح الفلورسنت المدمجة بنسبة تتراوح ما بين 70 و90%.

- الاستعانة بأدوات التحكم في الإضاءة: يُوصى أيضًا بتركيب مجموعة من مفاتيح خفض الإضاءة (بالقرب من مداخل الغرف) بحيث يُمنح شاغلي الغرفة القدرة على ضبط الإضاءة بما يتناسب مع أغراضهم وأذواقهم الشخصية.

5. أهداف عمليات تجديد المباني القائمة

يتعين على كل بلدية وضع أهداف لتجديد المباني على المديَين المتوسط والطويل، وذلك لتحسين كفاءة الطاقة في المباني القائمة. **وينبغي اختيار مبادرات التجديد بناء على ما يحقق فاعلية التكلفة منها.** ولذلك من الضروري اتباع الخطوات الآتية:

- تصميم قاعدة بيانات على مستوى كل مدينة لجمع المعلومات المهمة اللازمة لتقييم كفاءة الطاقة في المباني، مثل المعلومات عن حجم المبنى وعامِ إنشائه ونظام الإنشاء ونوع نظام الطاقة المستخدم فيه.

- الاستعانة بالبيانات التي جُمعتْ في تحديد المباني التي تعاني من انخفاض كفاءة الطاقة.

- وضع إستراتيجية تهدف إلى رفع مستوى كفاءة الطاقة في المباني المحددة.

> *استهلاك المصابيح الثنائية الباعثة للضوء LED للطاقة أقل من استهلاك المصابيح المتوهجة الشائعة أو مصابيح الفلورسنت المدمجة بنسبة تتراوح ما بين 70 و90%.*

6. الاستعانة بالتقنيات الذكية

يمكن الاستعانة بالأجهزة الذكية الموفرة للطاقة لرفع كفاءة تشغيل المباني والحد من هدر الطاقة وخفض تكلفتها، إلا أن الاستعانة بالتقنيات الذكية في المباني تتطلب دقةً في التخطيط والتنفيذ. وفي ما يأتي بعض الإرشادات الخاصة بتزويد المباني بمثل هذه الأجهزة.

خلق عقلية منفتحة وبيئة رقمية مستدامة

- **اعتماد نهج شامل** يسعى لإشراك الأطراف المعنية جميعها، كذلك منح المستخدمين مهلة كافية للتكيف مع الأنظمة الجديدة لضمان إقبالهم على استخدامها وقبولهم لها في ما بعد.
- **إجراء دراسات استطلاعية** لاختبار أداء التقنيات والخدمات المختلفة وإمكاناتها ومدى استدامتها.
- **الاستفادة من نتائج** الدراسات الاستطلاعية لتعزيز كفاءة الطاقة على مستوى المنظومة ومستوى المستخدِم.
- **نشر الوعي** وإبراز أثر التحول إلى استخدام الأجهزة الذكية الموفرة للطاقة، والمنافع التي ستعود من تحقيق كفاءة الطاقة.
- **تقديم حوافز مالية** للمستخدمين مقابل تركيب الأجهزة الذكية الموفرة للطاقة، وذلك في صورة إعانات أو خصومات أو ائتمانات ضريبية أو غيرها من الآليات المبتكرة التي تضمن أن تكلفة الاستثمار في هذه الأجهزة الذكية تغطيها الوفورات التي تتحقق من خفض تكلفة الطاقة.

وضع قائمة بأهداف الاستدامة وترشيد الطاقة

- استحداث نظام لتصنيف الأجهزة وفق كفاءتها في استهلاك الطاقة.
- استحداث مواصفات لتقييم استهلاك الطاقة في الأجهزة عندما تكون في وضع الاستعداد، مثل التشريعات الصارمة الواردة في مشروع إنرجي ستار (2019) والتوجيهات رقم EC/2005/32 1 [2](2017)الصادرة عن الاتحاد الأوروبي.
- الاستعانة بأنظمة التواصل مع العملاء لتنبيه المستخدمين إلى ضرورة خفض استهلاكهم للطاقة، وذلك مثلًا عن طريق إرسال معلومات للمستخدمين حول استخدامهم للطاقة في فترات سابقة وإحاطتهم علمًا بالمستوى الأمثل للاستهلاك وفق ظروفهم.

7. تحسين أوجه استخدام المواد وإعادة تدوير الموارد

- زيادة كميات مواد البناء المعاد تدويرها مع الحد من دفن النفايات، علمًا بأن أهداف إعادة التدوير تتحدَّد وفقًا لتوفُر المواد

> *يمكن الاستعانة بالأجهزة الذكية الموفرة للطاقة لرفع كفاءة تشغيل المباني والحد من هدر الطاقة وخفض تكلفتها.*

المراد إعادة تدويرها ومدى انخفاض تكلفتها.

- تحسين وسائل جمع مخلفات البناء وفرزها. فيجب توفُر حاويات تستوعب أنواع النفايات التالية، وذلك لتسهيل فصل النفايات حسب مصدرها ومن ثمَّ إعادة تدويرها:
  - المعادن
  - الأسمنت
  - الخشب
  - البلاستيك
  - المخلفات من المواد الأخرى
- تحسين خدمات استعادة النفايات في أثناء مراحل الإنشاءات لزيادة كم المواد المعاد استخدامها والمعاد تدويرها.
- اشتراط استخدام نسبة معينة من الخرسانة المعاد تدويرها في المشروعات الإنشائية الكبرى، **على أن تتحدَّد نسبة إعادة التدوير وفقًا لتوفُر المواد المعاد تدويرها ومدى انخفاض تكلفتها.**
- تشجيع استخدام المواد المستدامة المناسبة لإعادة الاستخدام أو إعادة التدوير أو كليهما.
- رفع معدل استخدام المدخلات المتجددة والمُنتَجة محليًا، على سبيل المثال باستخدام الأخشاب الرقائقية المغلفة التي تعزل الكربون وتحل محل الحديد والخرسانة في الإنشاءات.
- استخدام مواد محلية تُبرز الإرث المعماري للمملكة وتُخلِّف بصمةً كربونيةً أقل، والتأكد من تماشي المواد المستخدمة مع المناخ المحلي في الموقع.
- تجديد المباني القديمة وتوسعة استخدامها لتعزيز استدامة المباني وتمديد دورة حياتها، **علمًا بأن ذلك يخضع لاعتبارات خفض التكلفة في خيارات التجديد المختلفة.**
- التركيز الإستراتيجي على خفض وزن العناصر الإنشائية من خلال تبنِّي تصاميم ومواد مبتكرة.

استخدام المياه وإعادة تدويرها

1. التجهيزات الموفرة للمياه

- تركيب مرافق صحية تحقق كفاءة استهلاك المياه عن طريق خفض التدفق وخفض الطرد، وذلك بهدف ترشيد استهلاك المياه الصالحة للشرب وتقليل هدر المياه. ويُوصى باستخدام المرافق والتجهيزات الموفرة التي تفي بمعايير الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة أو تتفوق عليها.
- تزويد الصنابير بمهوِّيات لضمان أقصى قدر من كفاءة استخدام المياه.
- استخدام المَبْوَلات الجافة بوصفها وسيلة بديلة يمكن الاعتماد عليها في تقليص إجمالي استهلاك المياه الصالحة للشرب.
- التأكد من كفاءة عمل الأدوات الصحية وأنها تضخ الكمية المناسبة من الماء للتنظيف على أكمل وجه في كل مرة استخدام.
- يجب مراعاة جمع المياه المتكثِّفة والتخلص منها على الوجه الصحيح، وذلك في حالة تراكم المياه المتكثِّفة الناتجة عن عمل أجهزة التكييف. كذلك يجب تركيب أحواض لاستقبال نواتج التكثيف وأنابيبَ للصرف لضمان صرف المياه بالشكل المناسب وتجنب ركودها. أيضًا يجب أن تفصل بين أنبوب صرف نواتج التكثيف وأنبوب صرف المياه فجوة هوائية لا تقل عن 25 ملليمترًا.

قائمة الامتثال للمواصفات

القائمة	نعم	لا	لا ينطبق
الالتزام بمواصفات البناء ومعاييره القائمة.			
اتِّباع ممارسات البناء التي تضمن كفاءة الطاقة مثل التصميمات التي تستفيد من التعرض الطبيعي لأشعة الشمس، وتطبيق معايير كفاءة الطاقة في أنظمة الإضاءة والتدفئة والتهوية وتكييف الهواء، واستخدام الأجهزة والمعدات الموفرة للطاقة.			
تجديد المباني القائمة: تنفيذ برامجَ تُقدم حوافز أو تمويلًا مقابل عمليات التجديد التي تطبق كفاءة الطاقة.			
تشجيع الاستعانة بالطاقة المتجددة والتقنيات الذكية داخل المباني.			
رفع كفاءة الطاقة في المباني عن طريق المتابعة المستمرة ووضع معايير للأداء.			
تقييم المباني وفقًا لمؤشر الاستعداد الذكي.			
تبنِّي خطط للتدخل السلوكي ونشر الوعي العام.			
التعاون مع الأطراف المعنية بغرض تنفيذ المبادرات الرامية إلى تحقيق كفاءة الطاقة.			

[2] https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/european-standards/harmonised-standards/ecodesign_en

2. قياس استهلاك المياه

يجب تركيب العدادات في المباني الجديدة جميعها لمتابعة الطلب على المياه واستهلاكها في المبنى كاملًا وإبلاغ الجهات المختصة بهذه البيانات.

كذلك يجب تركيب عدادات مياه إضافية في المباني التي يبلغ حمل التبريد فيها 1 ميجاواط أو أكثر، أو تلك التي تبلغ مساحة أرضها الإجمالية 5000 متر مربع أو أكثر، بغرض تسجيل بيانات الاستهلاك الناتجة عن كل من الاستخدامات الكبرى للمياه في المبنى، والاستخدامات الأولية للمياه في المبنى وفي محيطه.

3. إعادة استخدام المياه المتكثِّفة

في كل المباني الجديدة التي تبلغ أحمال التبريد فيها 350 كيلوواط أو أكثر، يجب استعادة المياه المتكثِّفة الناتجة عن جميع أجهزة تكييف الهواء أو وحدات معالَجة الهواء، أو الأجهزة التي تتعامل مع خليط من الهواء الراجع والهواء الخارجي إذا كان الهواء الخارجي غير مبرَّد سابقًا، ومن ثَمَّ إعادة استخدام هذه المياه. وتشمل أوجه إعادة استخدام المياه المتكثِّفة أغراض الري أو تشغيل الأدوات الصحية في دورات المياه أو أي أغراض أخرى داخل المبنى بشرط ألا تتطلب هذه الأغراض تعرُّض جسم الإنسان لهذه المياه بصورة مباشرة.

4. تحقيق كفاءة الري

تلتزم المباني الجديدة جميعها بري المساحات الخضراء الخارجية باستخدام المياه غير الصالحة للشرب أو بالري بالتنقيط أو بأنظمة توصيل المياه الممتدة تحت التربة. علاوة على ذلك يجب تخصيص حيز لعمل أسقف صديقة للبيئة ضمن المساحات الخضراء الخارجية.

ويجب أن تشتمل أنظمة الري جميعها على أجهزةٍ تمنع التدفق العكسي تحسبًا لتوصيلها في أي وقت بمياه الشرب، كما يجب فحص أجهزة منع التدفق العكسي وفقًا لتوصيات الجهة المصنِّعة.

5. إعادة استخدام مياه الصرف

ينبغي تزويد المباني الجديدة جميعها بنظام لجمع المياه الرمادية وإعادة استخدامها (بنسبة تتراوح بين 15% و30%).

وفي كل السيناريوهات المصاحبة للعمل بنظام تجميع المياه الرمادية من المبنى وإعادة استخدامها أو استخدام مياه الصرف المعالَجة من مصادر أخرى، ينبغي اتباع الإرشادات الآتية:

أ. أن يكون المبنى مجهزًا بنظام أنابيب مزدوج لتجميع المياه الرمادية وإعادة تدويرها. ويجب أن تكون الأنابيب التي تحوي المياه الرمادية مطلية بلون مختلف عن المخصصة لمياه الشرب، وموسومة بعبارة "غير صالحة للشرب".

ب. يجب أن يكون هناك فاصل هوائي يمتد لما لا يقل عن 25 ملمتر يفصل بين أي مصدر للمياه الصالحة للشرب وأي نظام لتجميع المياه الرمادية.

ج. يجب أن تكون هناك فجوة هوائية تمتد لما لا يقل عن 25 ملمتر وتفصل بين أي مصدر للمياه الصالحة للشرب وأي نظام لتجميع المياه الرمادية.

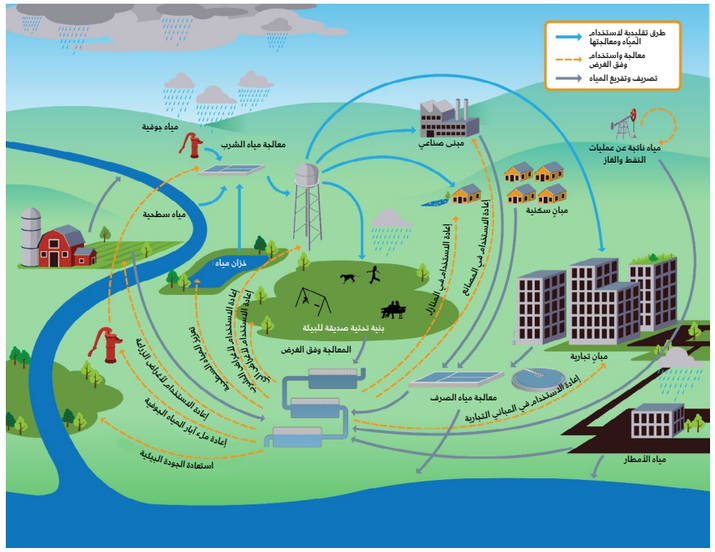
كذلك يجب استعادة ما لا يقل عن 50% من مياه الصرف الناتجة عن كل المنشآت التجارية الجديدة المخصصة لغسيل السيارات، ومن ثَمَّ إعادة استخدام تلك المياه.

6. برامج الحفاظ على المياه

ينبغي تنفيذ مبادرات ترشيد استهلاك المياه التي تضطلع بتعريف الشركات والصناعات والشاغلين بالممارسات الواجب اتباعها لخفض استهلاك المياه.

وعلى هذه البرامج تقديم معلومات عن تقنيات توفير المياه، مثل تركيب صنابير منخفضة التدفق واتباع ممارسات معينة في الري وتنسيق

> *"تلتزم المباني الجديدة جميعها بري المساحات الخضراء الخارجية باستخدام المياه غير الصالحة للشرب أو بالري بالتنقيط أو بأنظمة توصيل المياه الممتدة تحت التربة."*



حقوق نشر الشكل: وكالة حماية البيئة: https://www.epa.gov/waterreuse/basic-information-about-water-reuse

شكل 61: أمثلة لمصادر المياه واستخداماتها

مجالات التركيز الأساسية والقائمة المرجعية لعمليات التشغيل

يورِد الشكل الآتي ثلاثة مجالات أساسية جديرة بالاهتمام تعد من أفضل الممارسات، ويعرضها في قائمة مرجعية مكونة من 11 نقطة تمثل كل منها أحد الاعتبارات التطبيقية التي يجب أن يراعيها صناع القرار في المدن.

حقوق نشر الشكل: The World Energy Forum, 2022, Accelerating the Decarbonization of Buildings: The Net-Zero Carbon Cities Building Value Framework ، بعد إدخال بعض التعديلات التي أجراها مؤلفو الدراسة

الشكل 62: مجالات التركيز الأساسية والقائمة المرجعية لعمليات التشغيل

مصطلحات أساسية

فاصل هوائي: تصميم في شبكة الأنابيب يضمن تدفق مياه الصرف الناتجة عن أحد الأجهزة أو المرافق المُثبتة إلى حيز مفتوح قبل أن تدخل في أحد المرافق المثبتة أو الصهاريج الأخرى أو في جهاز الوقاية من التدفق العكسي المصمَّم لمنع تدفق المياه الملوَّثة مرة أخرى إلى شبكة المياه.

غلاف المبنى: هو العناصر الخارجية لهيكل إنشائي ما، ويمثّل فاصلًا بين الأجزاء الداخلية والخارجية للمبنى. وفي حالة المباني المكيفة، ينحصر غلاف المبنى في الأجزاء التي تعزل المناطق المتحكم في درجة حرارتها عن البيئة الخارجية.

نظام إدارة المباني: نظام تحكم حاسوبي يتولى متابعة أداء المعدات الكهربائية والميكانيكية في المبنى وتنظيم عملها، مثل الإضاءة والتهوية وأنظمة الحماية من الحريق وأنظمة الطاقة والأمان.

المياه السوداء: نوع من مياه الصرف شديدة التلوث وتحتوي على مخلفات بشرية. وتتطلب المياه السوداء معالجة إضافية مقارنة بالمياه الرمادية للتخلص من أي مسببات للأمراض وإزالة المواد العضوية كي تصبح صالحة لإعادة الاستخدام.

الإضاءة النهارية: استخدام ضوء الشمس الطبيعي لإضاءة المساحات الداخلية.

تحلية المياه: إزالة الأملاح والمعادن من مياه البحر كي تصبح صالحة للري أو الاستهلاك البشري.

البصمة البيئية: مقياس لحجم المساحات البرية والبحرية اللازمة لتأمين الموارد التي يحتاجها الاستهلاك البشري.

برامج التوعية البيئية: وسيلة لخلق وعي جمعي بالقضايا البيئية وبالفوائد التي تحققها جهود الحفاظ على البيئة داخل التجمعات السكانية أو المشروعات السكنية. وتعمل هذه البرامج على اجتذاب السكان عن طريق تعريفهم بأشكال المساهمات الفردية في جهود المحافظة على الموارد المتاحة داخل التجمعات السكانية.

العناصر المزجَّجة: كل مكونات غلاف المبنى التي تسمح بدخول الضوء، مثل النوافذ والألواح البلاستيكية والمناور والجدران المصنوعة من الكتل الزجاجية.

الأسطح الخضراء: أسطح مغطاة بالنباتات كليًّا أو جزئيًّا، تحتوي عادةً على غطاء نباتي وطبقة من التربة تُوضع بعناية فوق طبقة مقاومة للمياه. ويمكن أن تحتوي الأسطح الخضراء في بعض الأحيان على طبقات إضافية، مثل حواجز الجذور أو أنظمة للتصريف أو الري.

المياه الرمادية: نوع من مياه الصرف الناتجة عن الاستخدامات المنزلية باستثناء المياه السوداء. ويمكن تنقية المياه الرمادية في الموقع نفسه واستخدامها في الري أو نقل المخلفات أو الغسيل.

التسرب الهوائي: دخول الهواء الخارجي إلى المبنى على نحو غير مقصود، عادة من خلال شقوق في غلاف المبنى أو نتيجة لاستخدام الأبواب في الخروج والدخول. يطلق عليه كذلك مصطلح النفاذ الهوائي، وتتسبب فيه الرياح وانخفاض الضغط داخل المبنى مقارنة بخارجه إلى جانب تأثيرات الطفو الهوائي.

الطاقة الأولية: الوقود الخام الذي يُحرق من أجل توليد الحرارة والكهرباء، مثل الغاز الطبيعي أو زيت الوقود المستخدم في توليد الطاقة داخل المباني.

إعادة التدوير: ويقصد به معالجة المواد المستخدمة وتحويلها إلى منتجات جديدة، ما يحول دون إهدار الموارد المفيدة ويحد من استخدام المواد الخام ويخفض استهلاك الطاقة بالإضافة إلى الحد من تلوث الماء والهواء الذي يمكن أن ينتج عن التخلص من النفايات بالأساليب التقليدية.

الانعكاسية (انعكاس أشعة الشمس): مستوى كفاءة المواد في عكس الإشعاع الشمسي.

القيمة R: مقياس للمقاومة الحرارية يستخدم في البناء والإنشاءات. وفي ظل ظروف محددة، يعكس هذا المقياس التدفق الحراري ونسبة الاختلاف في درجة الحرارة داخل نطاق الجزء المعزول. والقيمة R هي عكس القيمة U.

الطاقة الثانوية: ناتج الطاقة (الحرارة أو الكهرباء) المولَّد من الوقود الخام، مثل الكهرباء المشتراة من شبكة توزيع الطاقة أو الحرارة المستقبلة من نظام التدفئة بالبخار في المنطقة.

محطة معالجة مياه الصرف الصحي: مرفق يتلقى مياه الصرف الصحي من البلدية عبر منظومة من الأنابيب والمضخات من أجل معالجتها معالجة ثلاثية المعايير.

طاقة الموقع: الطاقة المستهلكة (من الكهرباء والغاز الطبيعي) لكل قدم مربع من إجمالي مساحة المبنى. وتُقاس هذه الطاقة من داخل الموقع نفسه. ولعرض مقدار استهلاك الكهرباء والغاز الطبيعي معًا، تُحول قيمة الاستهلاك إلى الوحدات الحرارية البريطانية.

معامِل اكتساب الحرارة الشمسية: نسبة الإشعاع الشمسي الذي يدخل عبر النوافذ أو الأبواب أو المناور، إما مباشرةً أو عن طريق الامتصاص ثم الانبعاث نحو الداخل أو بكلتا الطريقتين. ويقاس معامِل اكتساب الحرارة الشمسية برقم بين 0 و1. وكلما انخفض معامل اكتساب الحرارة الشمسية لإحدى النوافذ، انخفضت كميات الحرارة الشمسية التي تمر من خلال النافذة.

طاقة المصدر: تأخذ في الحسبان الوقود المستهلك في توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها، بالإضافة إلى الفقد في الطاقة الناجم عن عمليات تخزين الغاز الطبيعي وتوزيعه وضخه.

نفايات الصرف الصحي المعالجة: سوائل ناتجة عن معالجة الصرف الصحي، تخلو من الملوثات ويمكن إعادة استخدامها أو إطلاقها في البيئة الطبيعية بأمان.

العزل الحراري: التقنيات أو العمليات أو المواد المستخدمة لخفض الحرارة. فيمكن أن تنتقل الحرارة بالتوصيل أو الحمل الحراري أو الإشعاع، لكن من الممكن التخفيف من أثرها بالتصدي لواحد أو أكثر من هذه العوامل. ويتوقف إمكان الاستعانة بهذه المنهجية على الخصائص الفيزيائية للمادة المزمع استخدامها لهذا الغرض.

النفاذية الحرارية (القيمة U): معامِل إجمالي انتقال الحرارة (بالواط)، إذ يحسب بوحدة الواط لكل متر مربع كلفِن. ويعبر هذا المعامِل عن كفاءة عناصر بناء المبنى في توصيل الحرارة، كما أنه يقيس معدل نفاذ الحرارة عبر عناصر البناء داخل مساحة محددة في ظل ظروف موحدة. والقيمة U هي عكس القيمة R.

النفاذية المرئية: جزء من الطيف المرئي لضوء الشمس تعتمد رؤيته على حساسية العين البشرية للضوء وينتقل من خلال زجاج النوافذ أو الأبواب أو المناور. وتقاس النفاذية المرئية برقم بين 0 و1. والمنتَج الذي يتسم بارتفاع النفاذية المرئية هو المنتَج الذي ينقل المزيد من الضوء المرئي.

الحرارة المهدرة: الحرارة الناتجة عن الأجهزة الكهربائية والميكانيكية أو العمليات الصناعية، التي يمكن إعادة استخدامها في توليد الطاقة أو في التسخين الأولي، وذلك لخفض الطلب على طاقة أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء.

قائمة الامتثال للمواصفات

القائمة	نعم	لا	لا ينطبق
استخدام أجهزة ومرافق موفرة للمياه لتحقيق أهداف مثل خفض استهلاك المياه لكل فرد وزيادة نسبة المياه المعاد استخدامها في إمدادات المياه بالمدينة.			
وضع أهداف للمحافظة على المياه وإعادة تدويرها.			
وضع أنظمة لإعادة استخدام المياه وفرض تطبيق هذه الأنظمة، مثل أنظمة تجميع المياه الرمادية ومياه الأمطار.			
رفع مستوى ممارسات الري باستخدام منهجيات منها الري بالتنقيط أو ترطيب التربة.			
الاعتماد على الصيانة الوقائية لتقليل فقد الماء من خلال إجراءات مثل إصلاح مواضع التسريب وتحسين البنية التحتية.			
إنشاء أنظمة حضرية تراعي توفير المياه، مثل الأرصفة المسامية والأسطح الخضراء.			

الأماكن العامة

الأماكن العامة

مدخل

تستهلك المركبات الثقيلة والخفيفة ما يزيد على 800 ألف برميل من مكافئ النفط يوميًّا، ما يمثل نحو 18% من استهلاك الطاقة الأولية في المملكة العربية السعودية (Saudi Energy Efficiency Center, 2022) وعلى مدار السنوات العشر الماضية تعاون المركز السعودي لكفاءة الطاقة مع الجهات المعنية المختلفة في قطاع النقل بهدف خفض استهلاك مكافئ النفط بنحو 75 ألف برميل يوميًّا مقارنة بسيناريو العمل كالمعتاد في قطاع النقل البري (Land Transport Sector, n.d.; Saudi Energy Efficiency Center, 2022) ويتحقق تحسين كفاءة الطاقة باستكشاف مجالات اهتمام جديدة، من بينها المبادرات الرامية إلى تحقيق كفاءة الطاقة في التخطيط العمراني وأنظمة تبريد المناطق. وتُعنى الإرشادات الموصى بها للأماكن العامة بجوانب كفاءة الطاقة في المساحات الخارجية، مما يسهم في خلق مدن موفرة للطاقة.

وكانت فكرة تطوير الأماكن العامة بإشراف الحكومة السعودية قد طُرحت لأول مرة بموجب المرسوم الملكي رقم 8723 الصادر بتاريخ 20/07/1357هـ (1937)، الذي منح بلدية مكة مسؤولية وضع خطط تطوير الأماكن العامة المحيطة بالمسجد الحرام (Ali Al-Hathloul & Anis-ur-Rahmaan, 1985). وقد انصبت جهود التخطيط الأولية على المشروعات الموجهة للمشاة في الأماكن العامة الأثرية في مكة والمدينة وجدة والرياض، واعتمدت على المشروعات الحضرية المتضامَّة وعلى المزج بين استخدامات الأراضي وكذلك المزج بين فئات المساكن (al Naim, 2013; BACKGROUND AND Purpose, n.d; Fathil et al., n.d.; Saoud Ba, M'phil & Salem Bsc,2002). وقد أسست شركة الزيت العربية السعودية (أرامكو) في عام 1938 أول معسكر نفطي تابع لها في إطار المشروعات الموجهة لاستخدام المركبات اعتمادًا على هيكل تخطيطي شبكي للشوارع (Ali Al-Hathloul & Anis-ur-Rahmaan, 1985; Osra et al., 2017). وفي عام 1947 أعد مهندسو المسح التابعين لشركة أرامكو مخططات لتقسيم الأراضي إلى مناطق فرعية في أجزاء من منطقتي الدمام والخُبر، امتثالًا لقرارات محافظ المنطقة الشرقية (Ali Al-Hathloul & Anis-ur-Rahmaan, 1985). وسرعان ما اتُّخِذت أنماط تقسيم الأراضي التي وضعتها شركة أرامكو نموذجًا للأحياء السكنية السعودية الحديثة التي تستوعب حركة المشاة والمركبات.

> *انصبت جهود التخطيط الأولية على المشروعات الموجهة للمشاة في الأماكن العامة الأثرية في مكة والمدينة وجدة والرياض، واعتمدت على المشروعات الحضرية المتضامَّة وعلى المزج بين استخدامات الأراضي وكذلك المزج بين فئات المساكن.*

وقد كان لمجلس البلدية لمدينة مكة وشركة أرامكو دورًا محوريًّا في التاريخ الحديث للأماكن العامة السعودية. ففي أوائل خمسينيات القرن العشرين انتقلت المقرات الوزارية السعودية إلى الرياض، وحينها ظهرت الحاجة إلى موظفين في المنطقة لتحقيق التوازن في سوق العمل (Harrington, 1958). واستجابة لتزايد الحاجة إلى المساكن والمرافق الاجتماعية والأنشطة التجارية في الرياض، تأسس مشروع تقسيم حي الملز في الفترة بين عامي 1953 و1957، معتمدًا على هيكل تخطيطي شبكي للشوارع (Harrington, 1958; M Al-Said, 2003). أما في أواخر عام 1960 فقد وُضعت ضوابط التخطيط السعودية وأصبحت تغطي المخططات الرئيسة لمدن كاملة، واستُخدم الهيكل التخطيطي الشبكي واسع النطاق للشوارع والأحياء السكنية الضخمة لاستيعاب التطور العمراني المتسارع (Ali- Al-Hathloul & Anis-ur-Rahamaan, 1985; M Al- Said, 2003) ومنذ ذلك الحين، شهد التوسع العمراني السعودي نموًا متسارعًا، في ظل طفرة في عدد السكان إلى جانب نمو اقتصادي وتطور في التصنيع، ما جعل المملكة واحدة من الدول العشر الأكثر استهلاكًا للنفط على مستوى العالم (Kahouli et al, 2022; Mezghani & ben Haddad, 2017; Oil Consumption by Country-Worldmeter, n.d.).

وقد استجابت القيادة السعودية الحكيمة لظاهرة تزايد استهلاك الطاقة بوضع مجموعة من إستراتيجيات ترشيد الاستهلاك الرامية إلى تحويل المملكة إلى دولة ذات كفاءة في الطاقة. على سبيل المثال، في عام 2020 نجح المركز السعودي لكفاءة الطاقة في توفير انبعاثات ما يزيد على 350 ألف برميل من مكافئ النفط يوميًا مقارنة بسيناريو العمل كالمعتاد (Saudi Energy Efficiency Center, 2022). علاوة على ذلك من المتوقع أن تنجح الجهود التي تبذلها المملكة في توفير انبعاثات نحو مليون برميل يوميًّا من مكافئ النفط مقارنة بسيناريو العمل كالمعتاد مع حلول عام 2030 (Saudi Energy Efficiency Center, 2022). وتسعى الجهود المشتركة بين المؤسسات في المملكة إلى تطبيق إستراتيجيات التطوير الموجه نحو وسائل النقل العام (TOD)، التي تُطبق حاليًا في الأماكن العامة في المناطق المحيطة بمشروع الملك عبد العزيز للنقل العام بمدينة الرياض ومشروع المسار الرياضي في مدينة الرياض ومشروع مؤسسة ألبن في مدينة ينبع الصناعية ومشروع بوابة الدرعية الضخم.

وتسهم المبادئ والإرشادات في خلق مدن مستدامة وموفرة للطاقة في ظل الضغوط التي تفرضها الزيادة السكانية والتوسع العمراني المستقبلي. كذلك تهدف إرشادات الأماكن العامة المستجدة إلى وضع مجموعة من إستراتيجيات المشروعات التي تدعم تحقيق كفاءة الطاقة دعمًا مباشرًا. وسوف تسهم هذه الإستراتيجيات في جعل التجمعات السكانية السعودية أكثر جذبًا وأقوى اقتصاديًّا وأكثر تنوعًا من الناحية الاجتماعية. وقد وُضعت هذه الإرشادات من خلال تعاون بين هيئات التخطيط السعودية والمركز السعودي لكفاءة الطاقة بهدف تطبيقها مستقبلًا واتخاذها مرجعًا للمراسيم الصادرة في مجال التخطيط وضوابط التطوير والإرشادات الفنية في مجالي التخطيط والتصميم. في هذا الإطار من الضروري وضع مخططات متعددة المراحل تتضمن إرشادات ومبادئَ ونماذجَ قبل الشروع في التنفيذ، وذلك للحيلولة دون إغفال الأهداف الشاملة التي يجب أن تتضمنها سياسات التخطيط، مثل رفع كفاءة الطاقة في المدن.

توجد ثلاثة عناصر فرعية مهمة تسهم في وضع تدابير توفير الطاقة في الأماكن العامة بما يؤدي إلى خفض عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات لكل فرد. وهذه العناصر هي وسائل النقل البديلة والتشجير الحضري والبنية التحتية الحضرية.

تتمثل معايير كفاءة الطاقة في الأماكن العامة في ثلاثة مقاييس إستراتيجية تحقق سهولة المشي أو ركوب الدراجات الهوائية في الشوارع (Doğan, 2021; Frank et al., 2010; Juul & Nordbø, 2023; Kim et al., 2019; Lam et al., 2022; Rahman & Nahiduzzaman, 2019; Roggers et al., 2011; Wey & Chiu, 2013). نجد أولاً مقاييس موضوعية ترصد أمورًا مثل كثافة المرافق (النقاط) ودرجة تقاربها (المسافة) ونمطها (نوع المرافق) بصفتها عناصر محورية في نمذجة نظم المعلومات الجغرافية. وتهتم هذه المقاييس الموضوعية برصد مدى سهولة المشي داخل الأحياء السكنية من ناحية المسافة. والنوع الثاني من المقاييس هو مقاييس ترصد تصميم البنية التحتية، وتتناول المسارات المخصصة للدراجات ومرافق خدمات الدراجات والشوارع المظللة التي تحفها الأشجار الوارفة والتدفق المروري والأرصفة ومعابر المشاة. أما النوع الثالث من المقاييس فيشمل مقاييس غير موضوعية ترصد أمورًا مثل التغيرات الثقافية، والوعي الاجتماعي، ومواقف الأشخاص من المشي وركوب الدراجات.

الممارسات المثلى

محور العليا-البطحاء في مدينة الرياض

أدرجت الهيئة الملكية لمدينة الرياض تجديد محور العليا-البطحاء ضمن مخطط أعمال خط المترو الأول التابع لمشروع الملك عبد العزيز للنقل العام بمدينة الرياض، الذي يمر محوره الممتد من الشمال إلى الجنوب بثمانية شوارع مختلفة كما هو موضح في الشكل (63)، وهي شارع العليا وشارع الملك فيصل وشارع المنصورية وشارع البطحاء وشارع إسلام أباد والطريق السريع رقم 500 وشارع الشباب وشارع محمد رشيد رضا. كذلك تغطي أعمال التجديد مساحة تزيد على 3000 كيلو متر مربع، وتشمل محور العليا-البطحاء الذي يبلغ طوله نحو 38 كيلومترًا إلى جانب 100 متر من كل الشوارع المتقاطعة معه باتساعات مختلفة (Schares et al., 2014) ويتمثل التحدي الذي يواجه هذا المشروع في خلق أماكن عامة مترابطة على مسافات ثابتة تدعم وجود وسائل مواصلات بديلة. ولا بد في هذا الصدد من التصدي لعدة عوائق تتمثل في بعض المباني والمداخل المنحدرة لمواقف السيارات الواقعة تحت الأرض وبعض الجدران ومواقف السيارات العلوية، فضلًا عن عوائق أخرى، وذلك من أجل تحويل محور العليا-البطحاء من مشروع موجه لاستخدام المركبات إلى مشروع موجه نحو استخدام وسائل النقل العام كما يوضح الشكلان (64) و(65).

حقوق نشر الصورة: Bishop et al.

الشكل 63: محور العليا-البطحاء

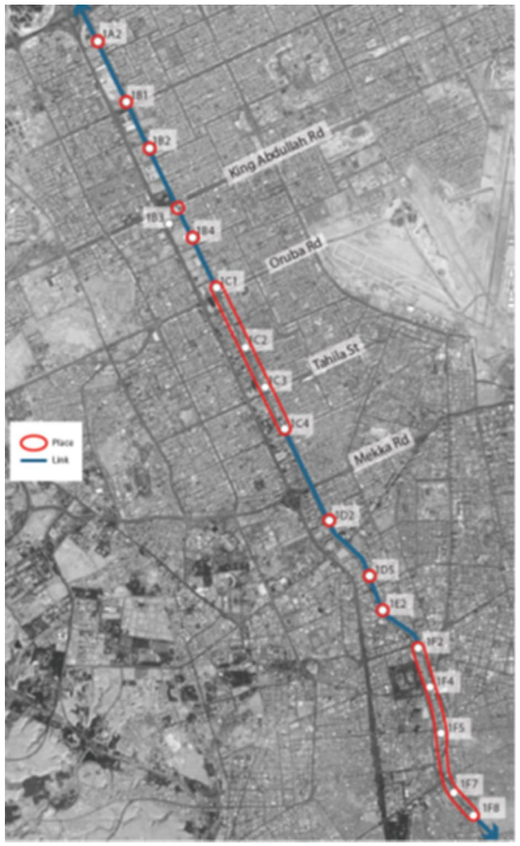
حقوق نشر الصورة: Lars Pertwee

الشكل 64: محور العليا-البطحاء قبل التجديد

حقوق نشر الصورة: Nawaf Alnafisee

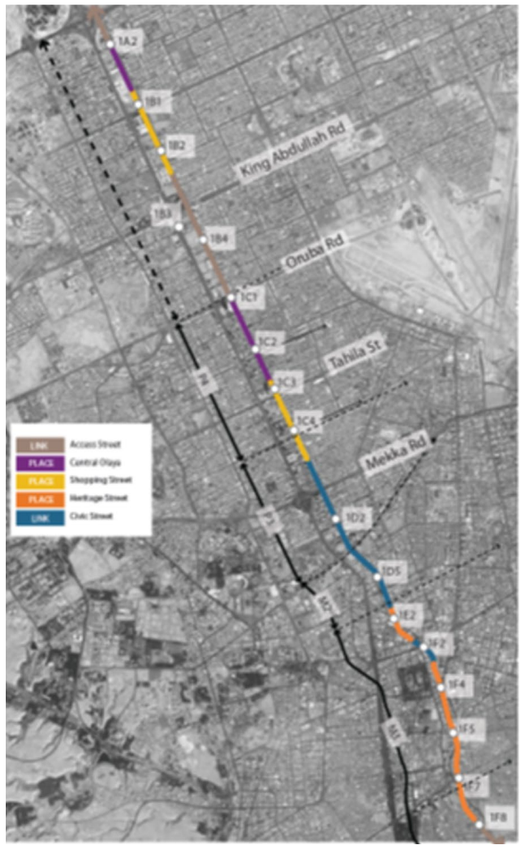
الشكل 65: محور العليا-البطحاء بعد التجديد

علاوة على ذلك ساهم "الدليل الإرشادي للتصميم العمراني لمدينة الرياض: محاور النقل العام- الطرق والشوارع الرئيسة" الذي أعدته الهيئة الملكية لمدينة الرياض في توجيه شركة المقاولات المنوطة بالأعمال نحو خلق أماكن عامة تتمتع بمرونة التصميم وذات نمط موحد في محور العليا-البطحاء، وهو ما منح الأولوية لتحرك المشاة بسهولة تدعم عمل منظومة النقل وكفاءتها. ووفقًا لهذا الدليل الإرشادي، تتبنى إستراتيجية تطوير الأماكن العامة في محور العليا-البطحاء منهجية تعرف باسم الحركة والمكان، وذلك للموازنة بين الأولويات في تصميم أقسام الشوارع المختلفة في كل منطقة ذات طابع مميِّز، كما يوضح الشكل (66) (Bishop et al., 2014). علاوة على ذلك تقسِّم هذه الإستراتيجية محور العليا-البطحاء إلى خمس مناطق مميزة، كما يوضح الشكل (67)، وهي شارع التراث وشارع الخدمات المدنية وشارع التسوق ومنطقة العليا المركزية وشارع موازٍ للطريق السريع. كما تتضمن أقسام الشوارع مناطق للمشاة ومناطق لركوب الدراجات ومناطق فاصلة ومناطق في وسط الشارع وطرقًا مزدوجة الاتجاه للمركبات وأماكن لركن السيارات ومناطق واجهات مبان. ومن الجدير بالذكر أن الأولوية القصوى تُمنح هنا لمناطق المشاة، وأن الأماكن العامة الواقعة على امتداد محور العليا-البطحاء مُصمَّمة بحيث يمكن تفادي أنواع مختلفة من عوائق المشاة ولتناسب عدة أنواع من استخدامات الأراضي وفئات المباني والشوارع والبنية الحضرية وموارد المياه، على نحو يمكّن من استخدام وسائل نقل أخرى كبديل للمركبات.



حقوق نشر الصورة: Bishop et al

الشكل 66: منهجية الربط بين الحركة والمكان منعكسة في تصميم محور العليا والبطحاء



حقوق نشر الصورة: Bishop et al

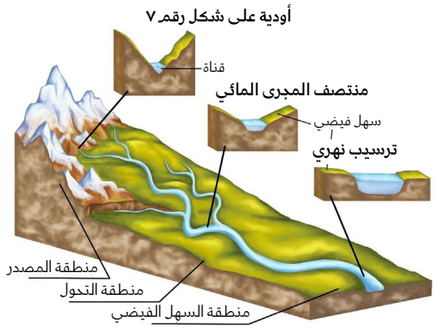
الشكل 67: منطقة بارزة على محور العليا-البطحاء متكاملة عبر إستراتيجية الربط بين الحركة والمكان

وادي حنيفة بمدينة الرياض

وضعت الهيئة الملكية لمدينة الرياض برنامج الإصلاح البيئي لوادي حنيفة وروافده، سعيًا إلى تعزيز مرونة التصميم الحضري لمدينة الرياض. وقد منح المخطط الشامل لتطوير وادي حنيفة الأولوية للحفاظ على الأماكن العامة وإصلاحها من خلال تنسيق المساحات الخارجية بوصفها إحدى عناصر البنية التحتية البيئية، وذلك بهدف تعزيز قدرة الأنظمة البيئية الحضرية على دعم الوجود البشري على امتداد مساحة يبلغ طولها 120 كيلومترًا ويتراوح عرضها من 100 إلى 1000 متر، كما يوضح الشكل (69) (Royal Comission for Riyadh City – Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and Its Tributaries, n.d). ويتكون الوادي من خمسة أقسام، كما هو موضح في الشكل (68)، وهي قاع الوادي والسهل الفيضي والمصاطب الرسوبية الأفقية والأودية والشعاب.

جدير بالذكر أن وادي حنيفة كان يعد في ما سبق مصدرًا للحجارة والكتل الصخرية اللازمة للبناء، كما أنه استُخدم منذ أوائل السبعينيات حتى أواخر الثمانينيات بوصفه مكبًا لنفايات البناء ومصرفًا لمياه الصرف الصحي الناتجة عن التوسع العمراني المتسارع الذي شهدته مدينة الرياض في ذلك الوقت، كما يوضح الشكل (70) (Royal Commission for Riyadh City-Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and Its Tributaries n.d.; Saudi Aramco World: A Wadi Runs Through It, n.d). إلا أن الهيئة الملكية لمدينة الرياض وضعت مخططًا شاملًا لتطوير وادي حنيفة استجابةً للتدهور الذي لحق بالتوازن البيئي الحضري في مدينة الرياض، سعيًا منها إلى مواجهة الكوارث، سواء الطبيعية أو الناجمة عن النشاط البشري، وحمايةً للأرواح البشرية في الوادي ولتفادي الأخطار الاجتماعية والبيئية والاقتصادية وتحسين جودة الحياة ودعم النمو المستدام والشامل في تلك المنطقة. وفي نوفمبر من عام 2010 صار وادي حنيفة واحدًا من أبرز مشروعات التطوير البيئي الحضري في العالم، إذ يضم نطاق أماكن عامة فريدًا يدعم وسائل النقل البديلة، وتشجيرًا حضريًا وبنية تحتية موفرة للطاقة، كما يوضح الشكل (71) المقتبس من المرجعين التاليين: (Royal Commission for Riyadh City-Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and Its Tributaries n.d.; Saudi Aramco World: A Wadi Runs Through It, n.d).

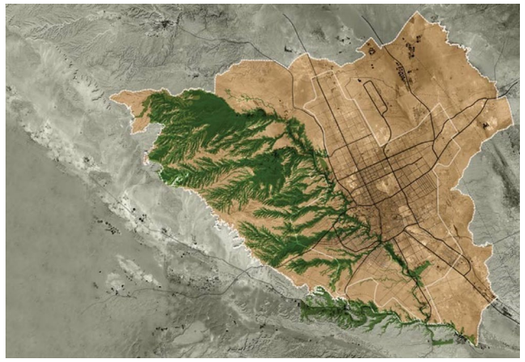
كذلك فإن نطاق الأماكن العامة في وادي حنيفة ملائم للسير على الأقدام وركوب الدراجات، إذ يضم ما يزيد على 45 كيلومترًا من مسارات المشاة المرصوفة بالحجارة إلى جانب 30 ألف شجرة صحراوية و7000 نخلة مزروعة في قاع الوادي (Royal Commission for Riyadh City-Environmental Rehabilitation Program for Waadi Hanifa and Its Tributaries, n.d.; Saudi Aramco World: A Wadi Runs Through It, n.d). علاوة على ذلك توجد ست متنزهات مفتوحة متصلة بالوادي. ويتميز نطاق الأماكن العامة في دعمه للتنمية الحضرية المستدامة بنمط تصميم مرن يظهر بشكل مستمر، ما جعل وادي حنيفة نموذجًا مرجعيًا عالميًا في مجال التنمية البيئية المستدامة، بعد حصوله على خمس جوائز دولية مرموقة عن معايير التميز الجديدة التي يرسيها في تصميم البيئات العمرانية.



الشكل 68: تقسيم وادي حنيفة: قاع الوادي والسهل الفيضي والمصاطب الرسوبية الأفقية والأودية والشعاب

حقوق نشر الصورة: الشكل مقتبس بعد إجراء بعض التعديلات من المرجع التالي: Royal Commission for Riyadh City- Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and Its Tributaries

الشكل 70: وادي حنيفة قبل البدء في برنامج الإصلاح البيئي الذي وضعته الهيئة الملكية لمدينة الرياض



حقوق نشر الصورة: الشكل مقتبس بعد التعديل من المرجع التالي: Royal Commission for Riyadh City-Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and Its Tributaries

الشكل 69: وادي حنيفة وروافده

حقوق نشر الصورة: الشكل مقتبس بعد إجراء بعض التعديلات من المرجع التالي: Royal Commission for Riyadh City- Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and Its Tributaries

الشكل 71: وادي حنيفة بعد البدء في برنامج الإصلاح البيئي الذي وضعته الهيئة الملكية لمدينة الرياض

سهولة حركة المشاة والوصول إلى الأماكن المختلفة

تقاس قدرة الأماكن العامة على تحقيق كفاءة الطاقة بسهولة إتاحتها لحركة المشاة، ما يضمن تحرك المشاة بقدر كبير من الراحة من نقطة جغرافية إلى أخرى داخل المناطق الحضرية دون الحاجة إلى الاعتماد على المركبات. وتقاس سهولة حركة المشاة باستخدام ثلاثة مقاييس رئيسة هي: سهولة الوصول إلى الخدمات وحالة مسارات المشاة ومدى استعداد الأشخاص للمشي. فأولًا، مقياس سهولة الوصول إلى الخدمات هو مقياس موضوعي تشكله ثلاثة متغيرات هي كثافة المرافق (النقاط) ودرجة تقاربها (المسافة) ونمطها (نوع المرافق)، وهي عناصر أساسية في نمذجة نظم المعلومات الجغرافية. ثانيًا، تمثل جودة مسارات المشاة مقياسًا موضوعيًا آخر، وهو يُعنى بعناصر مثل القدرة على الوصول إلى مسارات المشاة بأمان ووجود منحدرات الأرصفة ومعابر المشاة وأنفاق المشاة، وطبيعة حركة المرور في الطريق. ثالثًا، مدى الاستعداد للمشي هو مقياس شخصي يعتمد على النظرة المجتمعية لنشاط المشي في الشوارع.

وتسهم عوامل عدة في سهولة حركة المشاة، من أهمها الأرصفة ومعابر المشاة والمناخ المحلي. لذا يُنصح أن تصمم الشوارع التي تربط بين نقاط الوجهات المختلفة في الأحياء السكنية تصميمًا يحتوي على أرصفة، إذ إن وجود الرصيف في حد ذاته يفسح مجالًا للمشي. كذلك تمثل الأرصفة مسارات مهمة يستخدمها سكان الحي والزائرون في المشي بين مساحات ركن السيارات الموازية للرصيف والوجهات المختلفة. أما معابر المشاة فهي مسارات تمكّن المشاة من العبور بأمان من أحد جانبي الشارع إلى الجانب الآخر. والطريقة الأوفر والأكثر شيوعًا لتحقيق ذلك هي وضع علامات على الطريق تصل بين منحدرات الأرصفة لتُميز معابر المشاة. ويُذكر أن الجسور وأنفاق المشاة وسائل أخرى لعبور الشوارع، بيد أن لها تكلفة أعلى. كذلك من الضروري إقامة نقاط في منتصف معابر المشاة في الطرق الأوسع التي يتراوح عرضها ما بين 1.8 و2.5 متر على الأقل، كي تتيح للمشاة فرصة للتوقف قليلًا قبل عبور الجزء الباقي من الطريق. وعلى وجه التحديد ينبغي أن تكون الأرصفة واسعة بحيث يتراوح عرضها بين 1.8 و2.5 متر وتصل إلى 4.5 متر في مناطق الكثافة المرورية (3.5 متر أو أكثر هو العرض المثالي). وأيضًا من المهم أن يكون متوسط عرض مسار مرور المشاة للشوارع 1.5 متر حتى يضمن مرورهم بأمان.

أما المناخ المحلي فهو عنصر آخر يؤثر في حركة المشاة. ويشير مصطلح المناخ المحلي إلى منطقة محلية يختلف مناخها عن المناطق المحيطة

> *تقاس سهولة حركة المشاة باستخدام ثلاثة مقاييس رئيسة هي: سهولة الوصول إلى الخدمات وحالة مسارات المشاة ومدى استعداد الأشخاص للمشي.*

بها. لذلك من المهم توفير مسارات مظللة للمشاة تخفف الشعور بالحر. وهذا يمكن تحقيقه بعدة طرق من بينها الاستعانة بالغطاء النباتي. وتوجد طريقة أكثر فعالية وهي استغلال ظلال المباني أو الجدران أو المظلات، ما لا يتطلب ريًّا أو رعاية مثل الغطاء النباتي، مع الأخذ في الحسبان أنه حتى استخدام مواد فاتحة اللون وعاكسة للضوء في تحديد مسارات المشاة يساعد على تبريد البيئة المحيطة. وفوق ذلك فإن خصائص المواد (مثل لون المادة وقوامها ونوعها وحجمها) التي تُستخدم في تنسيق المساحات غير الخضراء تؤثر في حركة المشاة. ففي المناطق السكنية عالية الكثافة ومناطق التسوق والمناطق التي تحوي مساحات عامة مفتوحة كثيفة الاستخدام، يوصى باستخدام البلاط صغير الحجم المصنوع من الخرسانة أو الحجارة في أرصفة المشاة بدلًا من الخرسانة المصبوبة أو الأسفلت. ويرجع ذلك إلى أن المشي فوق وحدات رصف صغيرة الحجم ومختلفة في اللون والحجم عن المواد المستخدمة في رصف الطرق يعزز جودة تجربة المشاة.

علاوة على ذلك تضع المخططات الجيدة للأراضي في الحسبان قربَ الخدمات من المنازل. ومن بين إحدى القواعد الأساسية عند التعامل مع البيئات الصحراوية الحارة -كما في حالة المملكة العربية السعودية- ألا تبعد مواقع الخدمات الضرورية لحياة السكان أكثر من خمس دقائق مشيًا عن كل المنازل. وتتضمن هذه الخدمات المدارس والمساجد والمتنزهات والمراكز التجارية المحلية وساحات الألعاب. ولا يَفترض هذا التخطيط أن السكان جميعهم يفضلون الذهاب إلى تلك المرافق مشيًا في كل مرة، بل يهدف إلى إتاحة خيار المشي في حال رغبة البعض في ذلك، أو في أوقات انخفاض الحرارة خلال اليوم. وفي حالة اختيار بعض السكان الذهاب إلى أحد مراكز الخدمات بالسيارة، فإن قرب المسافة يقلل من إجمالي عدد الأميال التي تقطعها المركبات. أما الخدمات الخاصة بالمجتمع السكاني الأوسع، مثل متاجر التسوق والمكتبات العامة والمطاعم وأسواق المواد الغذائية فيمكن أن توجد على مسافة أبعد قليلًا من المنازل، على أن يكون بالإمكان الوصول إليها مشيًا أيضًا، أي أن الخدمات تكون قريبة إلى حدٍ يتيح الذهاب إليها مشيًا أو بالدراجة في أوقات انخفاض الحرارة خلال اليوم.

المساحات المفتوحة والربط بين الأماكن

المساحات المفتوحة هي نقاط وممرات في المناطق الحضرية تربط بين التجمعات السكانية داعمةً استخدام وسائل نقل متعددة. وللمساحات المفتوحة أشكال عديدة، من بينها المتنزهات وساحات الألعاب والساحات العامة والأرصفة والمناطق الترفيهية ومجمِّعات مياه الأمطار والمناطق الفاصلة. وتُولي المشروعات المستدامة في مجال تخطيط الأراضي -المقامة مؤخرًا في المملكة العربية السعودية مثل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية ومشروع محور العليا والبطحاء- أهميةً كبرى لخلق مساحات مفتوحة في تصميم المشروعات. ورغم أن نسبة المساحات المفتوحة تختلف من مشروع إلى آخر، فإن النسبة المثلى لها عند تخصيص الأراضي في المشروعات الجديدة تبلغ 10% من إجمالي مساحة الأرض. ويجب أن تكون هذه المساحات متاحة لعموم الأفراد، كما يفضَّل أن تكون جزءًا لا يتجزأ من خطة التصميم بحيث تحتل موقعًا ظاهرًا ويكون لها دور في خلق الطابع المميِّز للمشروع. وينبغي وضع مباني الخدمات المدنية وغيرها من المباني العامة المهمة داخل المساحات المفتوحة أو بالقرب منها، كما تجب مراعاة توفير ساحات مفتوحة متنوعة المساحات. على سبيل المثال يُحبذ أن تكون الحدائق الواقعة داخل الأحياء السكنية أصغر مساحةً، أما الحدائق الأكبر فيُفضل أن تخدم أحياءً متعددة. ويجب أن تصمم الميادين والساحات لتكون في مراكز المناطق كثيفة المباني لإتاحة عدة استخدامات للأراضي المفتوحة. كذلك ينبغي أن تمثل محاور حركة المشاة -مثل السكك والممرات داخل الأماكن المفتوحة- نقاط الوصل بين أقسام المشروع المختلفة.

مواصفات لتحقيق جودة مسارات المشاة

يجب مراعاة تصميم مسارات للمشاة يكون استخدامها سهلًا نسبيًا ولا تحتوي على أي عوائق غير ضرورية. وتتمثل إحدى القواعد العامة لتصميم الشوارع صديقة المشاة في توفير منطقة مخصصة للمشاة، يتراوح عرضها بين 1.5 متر في الشوارع الصغيرة و3 أمتار في شوارع التسوق ذات الأرصفة الأوسع. وينبغي ألا تحتوي تلك المناطق المخصصة على أي هياكل رأسية تعرقل الحركة مثل أعمدة الإنارة وأعمدة اللافتات والأشجار وأنابيب إطفاء الحرائق والمحولات الكهربائية والحوائط والأسيجة ومنحدرات الأرصفة وما إلى ذلك. وبما أن الكثير من تلك العوائق يمثل جزءًا من تنسيق الشارع، فلا

بد من تحديد أماكنها بما يراعى حركة المشاة في الشارع.

وتُعدّ التغيرات المفاجئة في ارتفاع مستوى المسارات أحد المعوقات الأخرى التي تجعل الأفراد يعزفون عن المشي أو ركوب الدراجات، إذ إن الأرصفة التي توفر أكبر قدر من الراحة في أثناء المشي هي الأرصفة المسطحة أو خفيفة الانحدار. ومن أمثلة التغيرات المفاجئة في الارتفاع، الارتفاعات المفاجئة التي قد توجد عند منازل الأرصفة والدرجات والأجزاء شديدة الانحدار وما إلى ذلك. وتتراوح نسبة الميل الطولي المثالي لمسارات المشاة بين 1 و5%، أما نسبة الميل العرضي المثلى فتتراوح بين 1 و2%. كذلك ينبغي تزويد مسارات المشاة التي تربط بين مستويات شديدة الانحدار بسلالم ذات حواجز. ونجد أن إحدى الطرق الشائعة التي يستخدمها المصممون والمهندسون لإنشاء أرصفة ذات انحدار خفيف في البيئة الحضرية هي استخدام منحدرات الأرصفة. وتتيح منحدرات الأرصفة للمشاة التحرك من منطقة في أعلى الرصيف إلى منطقة أدنى دون التعامل مع درجات رأسية. كذلك يجب تصميم منحدرات أرصفة عند معابر المشاة المؤدية إلى تقاطعات على الطريق (انظر الشكل 14). ومن الأفضل أن تكون مداخل المباني والأزقة والتقاطعات الصغيرة المخصصة لعبور المركبات على ارتفاع مساوي لارتفاع الرصيف، بحيث تنتفي الحاجة إلى استخدام منحدرات الأرصفة.

يجدر هنا القول إن تصميم الأماكن العامة له دور محوري في استيعاب حركة الدراجات والمشاة. وتوجد سبل عدة تتيح لمخططي المشروعات ومصممي المساحات الخارجية التخطيط لطرق تبطئ من حركة مرور السيارات وتتيح للأفراد التحرك بحرية وأمان، وتخلق بيئات جذابة من الناحية الجمالية. ويعد تصميم أقسام الطرق المتنوعة في أي مشروع –من أكبر الطرق إلى أصغر الأزقة– السبيل الأهم لتحقيق أهداف الاستدامة في نطاق الأماكن العامة. على سبيل التوضيح فإن تصميم مسارات ضيقة قدر الإمكان للسيارات قد يمنعها من السير بسرعة أكبر من اللازم داخل محيط الأحياء السكنية. كذلك ينبغي توفير أماكن لركن السيارات بموازاة الرصيف في غالبية شوارع الحي السكني، إذ إن ركنها على جانب الطريق يخدم التصميم الحضري.

تفصل السيارات المركونة منطقة المشاة عن مسارات المركبات مما يشكل حماية لهم، فضلًا عن أن توزيع أماكن ركن السيارات على طول الطرق في المنطقة يسهل على المستخدمين صف سياراتهم بالقرب من الوجهة المقصودة، وهذا يوفر ميزة إضافية تتمثل في تقليل عدد ساحات انتظار السيارات في مخططات المنطقة. كذلك ينبغي تصميم امتدادات الأرصفة (أي الامتدادات التي تربط الأرصفة بمسارات ركن السيارات) عند التقاطعات، لأن ذلك يبطئ من حركة المرور ويوفر الأمان للسيارات المصطفة ويقلص المسافة

> *رغم أن نسبة المساحات المفتوحة تختلف من مشروع إلى آخر، فإن النسبة المثلى لها عند تخصيص الأراضي في المشروعات الجديدة تبلغ 10% من إجمالي مساحة الأرض.*

التي يجب على المشاة قطعها لعبور الطريق. وينبغي مراعاة أن تكون جميع انعطافات الرصيف عند التقاطعات ضيقة قدر الإمكان، إذ إن الانعطافات الواسعة للأرصفة تسبب مشكلات في تصميم المكان العام لأنها تزيد من المسافة التي ينبغي على المشاة قطعها لعبور الشارع. وفي بعض الحالات ينبغي تصميم انعطافات واسعة للأرصفة لتسمح بصف الشاحنات أو عربات الطوارئ الأكبر حجمًا. إلا أنه في معظم الحالات تستطيع تلك المركبات الحركة في المنعطفات الضيقة.

المسارات المخصصة للدراجات

مسارات الدراجات هي المسارات المخصصة لحركة الدراجات في اتجاه واحد على الطريق، وتستخدم عادةً في الطرق الرئيسة بطيئة الحركة التي تحوي مسارات مخصصة لوسائل نقل أخرى. وتوجد مسارات الدراجات على الجانب الأيسر أو في مسارات مخصصة ذات حركة سير عكسية

على الطرق أحادية الاتجاه، كما توجد مسارات للدراجات تفصلها عن مسارات المركبات مساحات جانبية أكبر (تُحدد بخطوط مرسومة على الطريق). ويجب تحديد اتجاه مسارات الدراجات والمسارات المخصصة لراكبي الدراجات فقط بوضع علامات على الأرصفة (ويمكن أن يتضمن ذلك تلوين الرصيف).

يجب أن يتطابق مستوى فتحات التصريف وأغطيتها مع مستوى الطريق، ويجب ألا يعوق موقعها حركة راكبي الدراجات. ويبلغ العرض المثالي في تصميم مسارات الدراجات مترين في حالة المسارات القريبة من الأرصفة المجاورة لأماكن ركن السيارات في الشوارع، و1.8 متر عند وجود مساحة فاصلة بينها وبين مسارات ركن السيارات. ويبلغ العرض المناسب للمساحة الفاصلة نحو 0.6 متر، ويوصى بتمييزها بخطين أبيضين مع تظليل المسافة الواقعة بينهما بخطوط مائلة متقاطعة أو بعلامات على شكل حرف V إذا كان عرضها أكبر من 0.9 متر.

من ناحية أخرى ينبغي فصل مسارات الدراجات عن الأرصفة المخصصة للمشاة، إذ إن الجمع بين الدراجات والمشاة في المسارات الضيقة يمكن أن يشكّل خطرًا. وجدير بالذكر أن راكبي الدراجات تكون وجهاتهم غالبًا أبعد من المشاة، لذا يكون من الأنسب تصميم مسارات الدراجات بجانب مسارات المركبات. فضلًا عن ذلك فإن مسارات الدراجات تكون ممهدة بالأسفلت في العادة، إذ تتحرك الدراجات عالية السرعة بكفاءة أكبر فوق الأسطح الملساء. على الجانب الآخر يمكن أن تكون أرصفة المشاة إما ملساء أو خشنة.

أقسام الشوارع

تختلف أنواع الشوارع داخل مناطق العمران بناءً على عدد من العوامل. فيجب أن تكون الشوارع التي تتحمل كثافة مرورية كبيرة هي الأعرض، وتُعرف بالطرق الرئيسة. أما الشوارع ذات الحركة المرورية المتوسطة إلى المنخفضة فينبغي أن تكون أضيق، إذ إنها تخدم في الأساس المناطق السكنية، وتُعرف بالطرق الفرعية. وبما أن حركة المرور تكون أقل كثيرًا في الأزقة وعند مداخل المباني، فيخصص لها الأجزاء الأضيق من الشارع. وتمتد خطوط النقل العام على طول الطرق التي تشهد كثافة مرورية، مثل الشوارع الرئيسة، لأن أقسام الشارع في الطرق الرئيسة تكون واسعة بما يكفي لاستيعاب المسارات الإضافية.

ويجب أن يكون تصميم مناطق خطوط النقل والمسارات المخصصة لوسائل نقل بعينها -سواء أكانت واقعة في وسط الشارع أم على أطرافه- ملائمًا لإجمالي حركة المركبات والمشاة. كذلك يمكن تصميم مساحات في وسط الطريق تشكل قطعة من الأرض تفصل بين مسارات السير في اتجاهي الطريق، ويُفضل أن يكون عرضها 1.5 متر

> *توجد مسارات الدراجات على الجانب الأيسر أو في مسارات مخصصة ذات حركة سير عكسية على الطرق أحادية الاتجاه.*

على الأقل. بيد أنه من الأفضل حصر بناء جزر في الطرق الرئيسة الأكبر حيث تُصمم خطوط النقل أو الطرق تصميمًا يراعي طبيعة المنطقة.

إضافة إلى ذلك لا بد من فصل مسارات الدراجات عن مسارات المركبات في الشوارع الأعرض وتخصيص مسارات خاصة بها في وسط الطريق. أما في الشوارع الأصغر فيكفي إضافة مسارات للدراجات بجوار مسارات المركبات. وإذا كان مسموحًا بركن السيارات بموازاة الرصيف في أحد أقسام الشارع، فيجب دائمًا أن يكون ذلك على يمين اتجاه السير. كما ينبغي أن تكون المساحات المخصصة لصف السيارات بموازاة الرصيف أضيق من المسارات المجاورة. كذلك يتعين توفير الأرصفة على جانبي الشارع وفي الشوارع التي تربط بين جميع الوجهات المختلفة داخل الحي السكني.

أما في الطرق الأكثر اتساعًا، فينبغي فصل الأرصفة عن مسارات المركبات عن طريق وضع منطقة فاصلة مزروعة

بالأشجار أو مكسوة بتشكيلات من الحصى، ذلك لأن المشاة يشعرون براحة أكبر إذا كانوا أبعد قليلًا عن حركة المرور. وأخيرًا من الأفضل أن تُوضع عناصر تنسيق الشارع داخل المساحات الفاصلة من أجل الحفاظ على المنطقة المخصصة للمشاة، ومن هذه العناصر المقاعد وصناديق المهملات وأعمدة تثبيت الدراجات وعدادات انتظار السيارات وأعمدة الإضاءة ومحطات وسائل النقل والأشجار واللافتات.

تحدد القائمة الآتية العناصر التي ينبغي مراعاتها عادةً عند تنسيق الشوارع:

- عدد كاف من المسارات في كلا اتجاهي الطريق يتفق مع دراسات حركة المرور وتصميمات الطرق.
- تمتع المسارات بعرض مناسب يتماشى مع سرعة السيارات المحددة، إذ تحتاج الطرق الأسرع إلى مسارات أوسع.
- توفير مساحات لركن السيارات بموازاة الرصيف في اتجاه واحد أو في اتجاهي الشارع.
- تحديد ما إذا كانت توجد حاجة إلى إضافة رصيف في منتصف الطريق.
- موقع خطوط النقل والمسارات المخصصة للحافلات.
- موقع المسارات المخصصة للدراجات أو مسارات الدراجات النارية.
- موقع الأرصفة على جانبي الشارع وعرض هذه الأرصفة.
- موقع الأشجار في الشارع أو السدائل الظليلة.
- موقع عناصر تنسيق الشارع مثل المقاعد والإضاءة ومحطات وسائل النقل والأشجار واللافتات.

عناصر تنسيق الشوارع

إن بعض العناصر -مثل المقاعد العامة وحاويات القمامة وعناصر الإضاءة- لها دور في خلق تجربة مميزة على طول أرصفة المشاة. ومن الأفضل وضع المقاعد العامة في أماكن مناسبة على امتداد مسارات المشاة لتوفير فرصة للراحة بعد قطع مسافات طويلة. كذلك يحسُن وضع مقاعد عامة بالقرب من مداخل المباني وشوارع التسوق المزدحمة، حيث قد يرغب الأفراد في الحصول على بعض الراحة. كذلك تمثل حاويات القمامة وأوعية رماد السجائر عناصر مهمة في التصميمات الناجحة لتنسيق الشوارع. ففي ظل غياب هذه الحاويات تتحول القمامة والسجائر إلى أكوام من مهملات مبعثرة. كذلك ينبغي وضع هذه الحاويات قريبًا من مناطق الجلوس ومداخل المباني.

أيضًا تمثل الإضاءة على طول الأرصفة عنصرًا مهمًا من ناحية السلامة والشكل الجمالي. وتجدر الإشارة إلى

> *ينبغي أن تكون المساحات المخصصة لصف السيارات بموازاة الرصيف أضيق من المسارات المجاورة.*

أن الإضاءة الجيدة في الشوارع يجب ألا تكون مجهرة ولا خافتة أكثر مما يجب، لذا فإن الشوارع ذات الإضاءة المناسبة يكون توزيع الإضاءة فيها متساويًا ولا يكون فراغات معتمة. كذلك ينبغي أن يكون ارتفاع وحدات إضاءة الشوارع مناسبًا لمنطقة المشاة (بارتفاع 3.5-5 مترات) لتخدم المشاة على أكمل وجه وتسهم في التوزيع المتساوي للضوء. ولا بد من تنسيق توزيع مواقع أعمدة الإنارة ومواقع غرس الأشجار بحيث لا تحجب أوراق الأشجار الضوء.

محطات وسائل النقل

بالنظر إلى ضرورة إدخال وسائل النقل العامة في مشروعات التجمعات السكانية، فإنه يجب تخصيص مواقف لوسائل النقل مثل الحافلات أو المترو. وفي الحالات التي تُستَخدم فيها مواقف وسائل النقل بكثرة (أي في حالة محطات الحافلات أو الحافلات المكوكية التي تنطلق رحلاتها كل 10-5 دقائق)، يُكتفى بتركيب لافتة ووضع علامة على الرصيف للإشارة إلى المحطة. أما في حالة توقف وسائل النقل العام على فترات متباعدة، فيجب تصميم

محطات مغطاة لحماية المشاة من أشعة الشمس المباشرة والرياح. كما يوصَى بإنشاء محطات مبردة لوسائل النقل الأكبر التي تربط بين خطوط سير الحافلات، أو تربط بين محطات الانتقال من الحافلات إلى المترو، ما يهيّئ للمسافرين الحماية ودرجة الحرارة الملائمة في أثناء انتظارهم. جدير بالذكر أنه إذا كانت تجربة انتظار وسيلة النقل مريحة، فسوف يسهم ذلك في زيادة الإقبال على استخدام وسائل النقل العام.

اللافتات الإرشادية

تعد اللافتات من العناصر المهمة في الأماكن العامة، إذ تسهم في إرشاد المشاة وراكبي الدراجات وقائدي المركبات إلى وجهاتهم. وتُعد الأعمدة أكثر الأماكن ملاءمة لتثبيت الإشارات، أو يمكن أن توضع على جدران المباني المجاورة. وينبغي بصفة عامة تجنب وضع اللافتات على الحوائط الحاجزة للتربة في مناطق المشروعات الحضرية وعدم استخدام هذه الحوائط إلا إذا كانت هناك حاجة لها لحجز التربة. أما حوائط اللافتات القائمة بذاتها فتشغل حيزًا كبيرًا يمكن الاستفادة منه في سير المشاة. كذلك لا بد من وضع حجم خطوط الكتابة في الحسبان، إذ يجب أن يكون الخط كبيرًا بما يكفي ليقرأه المشاة عن قرب، أو يقرأه قائدو السيارات من مسافة معقولة إذ كانت اللافتة موجهة لهم. فضلًا عن ذلك ينبغي استخدام الأسهم وغيرها من الرموز المشابهة للتوجيه، كما أن الألوان المتباينة والمتكاملة تجعل اللافتات أسهل في القراءة وتبرزها وتميزها عن محيطها. وكثيرًا ما تستعين اللافتات بالرموز بدلًا من الكلمات لسهولة تمييزها من بعيد. وبالنسبة إلى المشاة يمكن وضع الخرائط أو جداول مواعيد الحافلات أو المعلومات الأكثر تفصيلًا عند مستوى الرؤية على هيئة نصوص ورسوم أصغر حجمًا.

السدائل الشجرية

للسدائل الشجرية الوارفة فوائد عديدة تخدم الاستدامة في المشروعات الحضرية. فالأشجار تحتاج قدرًا ضئيلًا نسبيًا من الري إذا قورنت بمسطحات النجيل، كما أنها تظلل بيئتها المحيطة، ما يمتد تأثيره إلى خفض استهلاك الطاقة في المباني والحد من درجة حرارة البيئة المحيطة في الأماكن العامة. وللأشجار قدرة على إضفاء حيوية وطابع مميز على الأحياء السكنية. ومن الملاحظ في المشروعات الحضرية السعودية

> *لا بد من تنسيق توزيع مواقع أعمدة الإنارة ومواقع غرس الأشجار بحيث لا تحجب أوراق الأشجار الضوء.*

الأخيرة التابعة لمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية ومرتفعات جبل والحي السكني بجنوب الظهران أن ما لا يقل عن نصف الطرق التي تضمها هذه المشروعات تحوي أشجارًا تُسيِّج محاور سير المركبات وتظلل أماكن ركن السيارات الموازية للأرصفة، بل والأرصفة نفسها. لذلك يجب أن تسعى كل المشروعات الحضرية الجديدة جاهدةً لتخصيص ما يكفي من المياه المستصلَحة في ميزانيات مياه الري لرعاية أشجار الشوارع، الموجودة في ما لا يقل عن 50% من الطرق.

> *للأشجار قدرة على إضفاء حيوية وطابع مميز على الأحياء السكنية.*

الحد من الجزر الحرارية الحضرية

يشير مصطلح الحد من الجزر الحرارية الحضرية إلى الجهود المبذولة للتخفيف من آثار التوسع الحضري على المناخ المحلي، لا سيما ارتفاع درجات الحرارة في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المجاورة. وتَنتج هذه الظاهرة عن امتصاص المسطحات الحضرية -كالمباني والطرق والأرصفة- للحرارة الشمسية ثم إعادة بثها، إلى جانب انكماش مساحات الغطاء النباتي وتزايد النشاط البشري. ويمكن أن تسهم زيادة المساحات الخضراء والغطاء النباتي في خفض درجة حرارة الهواء المحيط عن طريق توفير الظل وإطلاق الرطوبة خلال عملية النتح. بالإضافة إلى ما سبق يمكن أن يؤدي استخدام خامات عاكسة أو باردة أو ذات ألوان فاتحة إلى تقليل امتصاص أشعة الشمس وعكس كمية أكبر من ضوء الشمس إلى الغلاف الجوي. كذلك يمكن أن يؤدي تحسين التهوية الطبيعية وتصميم المباني والشوارع على نحو يدعم التهوية الطبيعية إلى تقليل الحاجة إلى تكييف الهواء ويسهم في تحسين جودة الهواء. فضلًا عن ذلك من الممكن أن يؤدي تصميم الأسقف والجدران الخضراء إلى الحد من كمية الحرارة التي تمتصها المباني ويحسن من جودة الهواء. وأخيرًا فإن نشر وسائل النقل المستدامة عن طريق تشجيع ركوب الدراجات والمشي واستخدام وسائل النقل العام يمكن أن يخفض عدد المركبات الموجودة على الطرق، التي تلعب دورًا في خلق تأثير الجزر الحرارية الحضرية. لذلك يمكن أن تسهم إستراتيجيات الحد من الجزر الحرارية الحضرية في خفض درجات الحرارة في المناطق الحضرية وتحسين جودة حياة السكان بصورة عامة.

البستنة المجتمعية

تُمثِّل الحدائق الملحقة بالتجمعات السكانية مساحات مشتركة يلتقي فيها الأفراد أو المجموعات لزراعة النباتات والخضراوات والفاكهة وحصادها. وربما تقع هذه الحدائق في المناطق الحضرية أو مناطق الضواحي، وغالبًا ما تقام فوق أراضٍ فضاء أو فوق أسطح المباني أو غيرها من المساحات غير المستغلة. وتوفر الحدائق المجتمعية مصدرًا للمنتجات الزراعية الطازجة للسكان الذين ربما لا يتسنى لهم الوصول إلى خيارات غذائية صحية. كما تمثل البستنة شكلًا ممتازًا من أشكال النشاط البدني، في حين تقدم الحدائق المجتمعية للأفراد مساحات للخروج في الهواء الطلق وزيادة نشاطهم البدني. إضافة إلى أنه يمكن لأعضاء التجمعات المحلية، من خلال التعاون في ما بينهم داخل مساحة مشتركة، بناء علاقات وتبادل المعارف والمهارات والسعي نحو أهداف مشتركة. كذلك فإن الحدائق المجتمعية تسهم في تحسين البيئة لأنها تتسبب في تقليل الانسياب السطحي لمياه الأمطار وتحسين جودة التربة وتؤدي إلى زيادة التنوع الحيوي. وأخيرًا يمكن أن تشكل الحدائق المجتمعية مصدرًا تثقيفيًا بتعريف المشاركين بأساليب البستنة وممارسات الزراعة المستدامة وأهمية التغذية الصحية. لذلك تمثل الحدائق المجتمعية بوجه عام أحد العوامل المؤثرة في الأماكن العامة، بما تقدمه من فوائد شتى للمشاركين فيها وللبيئة المحيطة.

> *توفر الحدائق المجتمعية مصدرًا للمنتجات الزراعية الطازجة للسكان الذين ربما لا يتسنى لهم الوصول إلى خيارات غذائية صحية.*

منهجية البستنة الجافة

البستنة الجافة هي أحد أنواع تصميم المساحات الخضراء في العمارة الخارجية، التي تحقق ترشيد استهلاك المياه باعتمادها على نباتات مقاومة للجفاف وأنظمة ري ذات كفاءة عالية وغيرها من أساليب الاقتصاد في استهلاك المياه. وقد صيغ المصطلح الإنجليزي الدال على هذا النهج "xeriscape" في ولاية كولورادو الأمريكية في ثمانينيات القرن العشرين، وهو مشتق من الكلمة اليونانية "xeros"، التي تعني جاف. وتعتمد منهجية البستنة الجافة على النباتات المحلية وغيرها من النباتات منخفضة استهلاك المياه التي تتطلب قدرًا ضئيلًا من الري التكميلي أو لا تحتاج إليه مطلقًا، ما يحد من الحاجة إلى الري ويقلص استهلاك المياه. ومن الممارسات الأخرى الشائعة الاستخدام في منهجية البستنة الجافة تغطيةُ التربة بطبقة غطاء عضوية للاحتفاظ بالبلل داخلها، وتجميع النباتات التي تتشابه في احتياجاتها المائية معًا، وتقليص مسطحات النجيل في المساحات المعشبة. تجدر الإشارة إلى إمكان الاستعانة بمنهجية البستنة الجافة في أنواع المناخ المختلفة، وإن كانت ذات أهمية خاصة في المناطق الجافة التي تندر فيها المياه.

إرشادات الري

ينبغي الحصول على كميات المياه اللازمة لأغراض الري جميعها من أحد مصادر المياه المستصلَحة، كالمياه الرمادية المعالَجة والمياه السوداء المعالَجة ومياه الأمطار المجمعة والنواتج الفرعية لأنظمة التبريد.

كذلك ينبغي أن تتحدد كمية المياه المستخدمة في الري وفقًا لميزانية مياه، بحيث يأتي إجمالي مياه الري اللازمة لري المساحات الخضراء في العمارة الخارجية من المصادر المتاحة من المياه المستصلَحة فقط، دون استخدام مياه الآبار أو المياه الصالحة للشرب في عمليات الري. يجب كذلك تحديد عدد المزروعات ليلائم كمية المياه المستصلَحة المتوفرة، بحيث تنحصر الزراعة في المزروعات التي لا تجاوز ذروة استهلاكها السنوي من المياه هذه الكميات. ويُسمح باستخدام المياه في ري النباتات دون تحديد الكميات خلال الثلاثين يومًا الأولى التي تعقب إتمام تنسيق المنطقة الخضراء، إلا أنه لا بد من الحصول على تصريح يسمح بهذا الاستثناء. أما بعد انقضاء مرحلة التجهيز الممتدة إلى ثلاثين يومًا، فيعود تطبيق بنود ميزانية المياه.

علاوة على ذلك لا يُسمح بالري

> *ينبغي أن تتحدد كمية المياه المستخدمة في الري وفقًا لميزانية مياه، بحيث يأتي إجمالي مياه الري اللازمة لري المساحات الخضراء في العمارة الخارجية من المصادر المتاحة من المياه المستصلَحة فقط.*

بأسلوب الرش إلا في أماكن الترفيه العامة أو الملاعب. لذلك تقتصر الاستعانة بالنجيل على الملاعب وأماكن الترفيه. أما بالنسبة إلى تنسيق الشوارع ومواقف السيارات والمناطق الفاصلة ومداخل المباني وغيرها من المساحات غير الترفيهية، فيمنع زراعة مسطحات النجيل.

وينبغي ألا تجرى عمليات الري إلا بعد غياب الشمس باستثناء حالة الري بالخاصية الشعرية، ويُحظر الري خلال الفترة بين التاسعة صباحًا والسابعة مساءً.

إضافة إلى ذلك يجب تغطية كل المناطق الزراعية المروية (باستثناء النجيل) بطبقات غطاء عضوي واقية متوفرة محليًا بسمك 70-50 مليمتر، وذلك لتغطية التربة العارية في المناطق المروية.

ويتعين صيانة منظومة الري ومتابعتها بصفة منتظمة، إذ ينبغي على أفراد الصيانة إجراء المتابعات المستمرة والإبلاغ عن أي مشكلات ومعالجتها، وإجراء صيانة شاملة لمنظومة الري كاملة أربع مرات سنويًا على الأقل. كذلك يجب إدخال تعديلات على عملية الري بناءً على ما إذا كانت الأراضي جافة أو مبللة، وما إذا كان الري بالرش مستخدمًا، كما تنبغي مواءمة عملية الري حسب تعرض المزروعات لأشعة الشمس وحسب احتياجات المزروعات الموسمية من الماء وبناءً على ما إذا كانت قد جرت إضافة أي مزروعات جديدة. ومن الضروري فحص صناديق صمامات أنظمة الري ومعاينة دوائر التحكم الخاصة بها بعد انقطاعات التيار الكهربائي، فربما تكون بحاجة إلى إعادة الضبط.

إرشادات وضع ميزانية المياه

1. تحديد مصدر المياه المستصلَحة المقرر استخدامها لأغراض الري. ينبغي على معظم المشروعات في المملكة العربية السعودية التفكير في استخدام مياه الصرف الصحي المعالَجة بوصفها مصدر الري الأساسي.

2. التشاور مع مدير المشروع لتحديد إجمالي كميات مياه الصرف الصحي المعالَجة اللازمة يوميًا للمشروع.

3. تصنيف فئات المساحات الخضراء في العمارة الخارجية للمشروع. ويمكن أن تتضمن فئات المساحات المروية أشجار الشوارع والمتنزهات ومناطق اللعب والساحات المدرسية والساحات العامة والمناطق الفاصلة في الشوارع والسكك والمناطق السكنية.

4. حساب مساحات كل فئة من فئات المساحات الخضراء. وبالنسبة إلى أشجار الشوارع يجب حساب طول الشوارع مع افتراض زراعة شجرة واحدة كل 10 أمتار على الأقل في المنتصف على كلٍ من جانبي الطريق.

5. تخصيص نسب من إجمالي كمية مياه الري المتاحة لكل فئة من فئات المساحات الخضراء. وهنا ينبغي أولًا تخصيص 20% من ميزانية المياه لتغطية أي احتياجات طارئة. يأتي بعد ذلك الهدف الرئيس وهو توفير كمية كافية من المياه لاحتياجات 50% من أشجار الشوارع في الطرق. وينبغي بعدها إعطاء الأولوية للمتنزهات العامة والميادين ومناطق اللعب، ثم تليها المناطق السكنية. وأخيرًا يمكن توجيه الكمية المتبقية من المياه إلى المناطق الفاصلة في الشوارع لري النباتات الكاسية للتربة.

6. الاستعانة بضوابط إدارة ري مسطحات النخيل أو غيرها من معايير الري المشابهة في منطقة الشرق الأوسط لتحديد احتياجات أنواع النباتات اليومية المختلفة من الماء (أي احتياجات الأشجار والنخيل والشجيرات والنباتات الكاسية للتربة، ... إلخ) لتبقى مزدهرة خلال أشد أيام العام حرًا.

7. وضع سيناريوهات لتنسيق تصميم المساحات الخضراء حسب كل نوع من أنواع هذه المساحات يسهم في فهم كمية المواد النباتية الممكن رعايتها باستخدام كمية المياه المخصصة (انظر الشكل (45) الذي يوضح كمية المواد النباتية التي يمكن عادةً رعايتها في فئات المساحات الخضراء المختلفة على امتداد منطقة تبلغ مساحتها 1000 متر مربع).

8. تغيير نسب مياه الري المخصصة لفئات المساحات الخضراء المختلفة بناءً على دراسة نتائج السيناريوهات المختلفة الموضوعة للمساحات المعشبة وبناءً على مدى تلبية هذه المساحات لاحتياجات المشروع.

9. التعامل مع ميزانية المياه النهائية بوصفها ركيزة لوضع مخطط غرس المزروعات في المشروع.

الشكل 72: مخطط المساحات الخضراء في مركز كابسارك، محددة بلون واضح

تقديرات مرحلة ما قبل التصميم				
المكان/البرنامج	النسبة المئوية من إجمالي المساحة	الكمية باللترات	النسبة المئوية من الإجمالي	الكمية باللترات
منطقة مسابقات	% 25	275,000	% 25.00	275,000
أشجار الشوارع	% 4.50	49,500	% 16.47	181,152
الوحدات	% 10.40	114,400	% 10.40	114,400
المساجد	% 5.45	59,950	% 4.40	48,439
أماكن المشروبات	% 7.00	77,000	% 3.07	33,766
أماكن التجمعات	% 5.20	57,200	% 2.57	28,245
متنزهات لتجمع الأفراد	% 6.7	74,250	% 5.13	56,419
أماكن ترفيهية *	% 25.70	282,700	% 14.62	160,830
أماكن التجديدات***			% 4.94	54,355
أماكن الظل****			% 1.67	18,334
الطوارئ	% 10	110,000	% 10	110,000
الإجمالي	**% 100**	**1,100,000**	**98.27%**	**1,080,939**

الجدول (1): ميزانية المياه المخصصة للمساحات الخضراء في مركز كابسارك
إجمالي المياه المعالجة*=1100 متر مكعب (1,100,000 لتر).
* من المخطط الرئيس الوارد في تقرير التنمية المستدامة.
** لحساب تقديرات ميزانية المياه، يضم هذا البند أماكن التجديدات ومناطق بوابات الوصول إلى المباني.
*** أُدرِج هذا البند ضمن الأماكن الترفيهية لحساب ميزانية المياه (انظر أعلاه).
**** لم يُدرج هذا البند ضمن تقديرات ميزانية المياه الأصلية.

البنية التحتية للأماكن العامة

الإضاءة الموفرة للطاقة

تتضمن منهجية تحقيق كفاءة الطاقة في الأماكن العامة استخدام أنظمة وتقنيات لخفض استهلاك الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة، إلى جانب المحافظة على أداء هذه الأماكن ورفع مستواها في تحقيق كفاءة الطاقة، مع الحفاظ على سلامتها وأمنها. ومن بين إجراءات تحقيق كفاءة الطاقة في تصميم الأماكن العامة الاستعانةُ بالمصابيح الثنائية الباعثة للضوء في الشوارع وغيرها من مرافق الإضاءة الخارجية. يعود ذلك إلى أن إضاءة هذه المصابيح أكثر توفيرًا للطاقة من المتوهجة أو مصابيح الفلوريسنت التقليدية، ويمكن أن تمتد صلاحيتها لفترات أطول 25 مرة، وهو ما يحد من تكلفة الصيانة. علاوة على ذلك تسهم أنظمة الإضاءة الذكية -التي تستخدم المستشعرات لتشغيل الإضاءة أو إيقافها بناءً على معدلات الإشغال أو توافر ضوء النهار- في تحقيق كفاءة الطاقة. ويَعرض دليل الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة رقم 2927:2019 تفاصيل الإضاءة الموفرة للطاقة. وجدير بالذكر أن لتصميم الأماكن العامة بما يراعي كفاءة الطاقة أهمية كبرى في خفض استهلاك الطاقة ورفع جودة الأماكن العامة والتخفيف من آثار التغير المناخي.

مصطلحات أساسية

نباتات موائمة للبيئة: نباتات تزدهر جيدًا داخل مواطنها الطبيعية ولا تحتاج إلا إلى الحد الأدنى من استخدام المبيدات أو التسميد أو الري أو الحماية في فصل الشتاء، وذلك بمجرد أن تمتد شبكة جذورها في التربة. وتتميز هذه النباتات بكونها قليلة المتطلبات ولا تتوغل في انتشارها.

الري بالتنقيط: أسلوب يسهم في توفير استهلاك المياه والأسمدة عن طريق السماح للمياه بالتقطر ببطء باتجاه جذور النباتات، إما من خلال سطح التربة أو مباشرة فوق طبقة الجذور، وذلك عن طريق شبكة من الصمامات والأنابيب والتوصيلات ونافثات المياه. ويجري الري بالتنقيط من خلال أنابيب ضيقة توصل المياه مباشرةً إلى جذور النبات.

البنية التحتية الخضراء: مفهوم قائم على منح الأولوية للبيئة الطبيعية في عمليات اتخاذ قرارات استخدام الأراضي. وتستعين البنية التحتية الخضراء بشبكة من المنظومات الطبيعية أو الاصطناعية لدعم احتياجات التوسع الحضري البشري عن طريق عمليات بيئية مثل تنقية المياه وتخصيب التربة ومكافحة التصحر. ورغم أنها أكثر استدامة من البنية التحتية الرمادية، فإن البنية التحتية الخضراء تتطلب مساحات مفتوحة أكبر، لذلك لا تكون مناسبة أحيانًا إلا في المشروعات الجديدة بينما لا تكون مناسبة في عمليات تحسين كفاءة طاقة البيئة الحضرية القائمة.

البنية التحتية الرمادية: الأنظمة الاصطناعية التقليدية للصرف ومعالجة المياه، بما فيها الأنابيب والصهاريج وأنظمة المعالجة الميكانيكية كثيفة استهلاك الطاقة.

المياه الرمادية: نوع من مياه الصرف الناتجة عن الاستخدامات المنزلية باستثناء مياه صرف المراحيض. ويمكن تنقية المياه الرمادية في الموقع نفسه واستخدامها في الري أو نقل المخلفات أو الغسيل.

المناخ المحلي: يقصد به إحدى مناطق الغلاف الجوي المحلي التي تختلف في مناخها عن المناطق المحيطة بها. وتوجد المناخات المحلية بالقرب من المسطحات المائية التي يمكن أن تسهم في تبريد الغلاف الجوي المحلي، أو في المناطق الظليلة والمساحات الخضراء في العمارة الخارجية حيث تسهم عمليات الحماية من إشعاع الشمس المباشر والنتح في تبريد المنطقة، أو في المناطق كثيفة التحضر حيث تمتص عناصر القرميد والخرسانة والأسفلت طاقةَ الشمس وترتفع درجة حرارتها ثم تعيد بث الحرارة في الهواء المحيط. وينتج عن ذلك جزيرة حرارية حضرية تعد أحد أشكال المناخ المحلي.

نباتات محلية: نباتات تطورت عبر آلاف السنين في منطقة معينة، بحيث أنها تكيفت مع الظروف الجغرافية والمائية والمناخية للمنطقة. وتعيش النباتات المحلية في تجمعات، إذ تتطور جنبًا إلى جنب مع نباتات أخرى. لذلك تمثل تجمعات النباتات المحلية موطنًا طبيعيًا لأنواع شتى من الحياة البرية المحلية، مثل الطيور والفراشات.

تصميمات موجهة للمشاة: إستراتيجيات تخطيط على مستوى الشوارع تهدف إلى زيادة سلامة المشاة وتحسين تجربتهم. ومن أمثلة التصميمات الموجهة للمشاة تنسيقُ عناصر الشوارع ومسارات المشاة وواجهات المتاجر الجذابة على مستوى الشارع والتمهيد المستمر والمتساوي للأرصفة.

الري بالرش: هو أحد أساليب الري الشائعة، ويعتمد على اندفاع المياه نحو المزروعات من مرشات عالية الضغط. ونظرًا إلى أن المياه تندفع عاليًا في الهواء، يتسبب هذا النوع من الري في هدر بعض المياه بسبب التبخر.

إدارة مياه الأمطار: إدارة جمع كميات مياه الأمطار ونوعيتها بحيث لا تتسبب في حدوث التعرية أو الترسب أو التلوث أو تتجاوز قدرة أنظمة التعامل مع مياه الأمطار في الهيئات البلدية.

الجريان السطحي لمياه الأمطار: تدفق المياه الذي يحدث عندما تتشبع التربة بالمياه المترشحة بحيث تبدأ مياه الأمطار الزائدة في الجريان فوق اليابسة، أو عندما لا يوجد ما يكفي من المساحات السطحية المسامية لترشح المياه، فتتجمع مياه الأمطار مسببة الفيضان. وينجم عن التوسع الحضري مزيدًا من التدفق السطحي نظرًا إلى كثرة المسطحات الصماء في التوسعات الحضرية، كالأرصفة والمباني التي لا تسمح بتسرب المياه إلى عمق التربة لتصل إلى الخزانات الجوفية. ويؤدي الجريان المتزايد إلى إبطاء عمليات تجدد المياه الجوفية، ومن ثم ينخفض منسوب المياه الجوفية وتزيد حدة موجات الجفاف.

نفايات الصرف الصحي المعالَجة: مياه ناتجة عن معالجة الصرف الصحي تخلو من الملوثات ويمكن إعادة استخدامها أو إطلاقها في البيئة الطبيعية بأمان.

الجزيرة الحرارية الحضرية: في العادة تكون منطقة حضرية كبيرة أشد حرارة بكثير من المناطق الريفية المحيطة بها. ويرجع ظهور الجزر الحرارية الحضرية في الأساس إلى تغيرات سطح اليابسة الناجمة عن نشاطات التنمية الحضرية، حيث يشيع استخدام المواد المحتفظة بالحرارة كالخرسانة والأسفلت.

إمكانية المشي: مقياس لمدى جذب بيئة معينة القاطنين بها إلى المشي.

البستنة الجافة: تصميم للمساحات الخضراء الخارجية يستلزم وضع خطة مناسبة لاختيار النباتات المحلية وتنسيق زراعتها على نحو لا يحتاج إلى ري تكميلي متواصل.

قائمة الامتثال للمواصفات

تسهم قائمة الامتثال للمواصفات في وضع عدد من الاشتراطات اللازمة لتحقيق كفاءة استهلاك الطاقة وتوليدها وكفاءة التوليد المشترك للطاقة في نطاق الأماكن العامة.

اشتراطات تحقيق كفاءة الطاقة في مخططات استخدام وسائل النقل البديلة	نعم	لا	لا ينطبق
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تحقيق كفاءة الطاقة باستخدام وسائل النقل البديلة بوصفه جزءًا من الدراسات المطلوبة، مثل دراسة مصادر المياه وبنية المنطقة وطبيعة تقنيات التربة.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي وجودَ شبكة مشاة متصلة تغطي 100% من التقسيم الفرعي.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي وجودَ شبكة متصلة لركوب الدراجات تغطي ما لا يقل عن 90% من التقسيم الفرعي.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تقليص النسبة المئوية لمساحة الطرق وبصمة الأسفلت.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تقليصَ بصمة مواقف السيارات.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي وجودَ ما لا يقل عن مسار واحد في كل 100 متر من طول المربعات السكنية.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي ألا يقل عرض أرصفة الممرات التجارية عن 2.5 متر.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي ألا يقل عرض أرصفة المحاور السكنية عما يتراوح بين 1.8 و2.5 متر.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للبناء أن يكون للمباني مداخل للمشاة تُفضي إلى شبكة مشاة تضم ساحة أو ميدانًا وليس موقفًا للسيارات.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للبناء أن يكون للمباني مداخل للمشاة متصلة برصيف لا يمتد لأكثر من 30 مترًا في جميع الاتجاهات.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي وجودَ مساحات مفتوحة بنسبة لا تقل عن 10%، تشمل المتنزهات وشبكات سير المشاة ومسارات الدراجات والساحات والميادين، ولا تضم طرقًا للمركبات أو بصمة لساحات الانتظار أو منشآت ملكية خاصة.			

اشتراطات تحقيق كفاءة الطاقة في مخططات التشجير الحضري	نعم	لا	لا ينطبق
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي الوفاء بمعايير كفاءة الطاقة في مخططات التشجير الحضري بما في ذلك البستنة الجافة ومراعاة أنواع النباتات وأنظمة الري المستخدمة وخطة إدارة ميزانية المياه.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تظليل ما لا يقل عن 80% من شبكة سير المشاة بالأشجار.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي أن تغطي المساحات الخضراء 9% من إجمالي مساحة أراضي التقسيم الفرعي المزمع.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تخصيص 1% من إجمالي مساحة أراضي التقسيم الفرعي لزراعة حدائق التجمعات السكانية.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للبناء أن يُنشأ ما لا يقل عن 75% من مواقف السيارات تحت الأرض للحد من تكوُّن الجزر الحرارية الحضرية.			

اشتراطات تحقيق كفاءة الطاقة في تخطيط البنية التحتية للأماكن العامة	نعم	لا	لا ينطبق
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي وضعَ خطة لتجميع مياه الصرف الناتجة عن استهلاك المياه في المباني الموجودة في نطاقات الأماكن العامة ومباني البلدية، كما تشترط إعادة استخدام المياه المعالَجة في أنظمة تبريد المناطق والري.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تصميمَ إضاءة الشوارع حسب دليل الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة رقم 2927:2019.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح لإقامة مواقف للسيارات تصميمَ إضاءة المساحات الخضراء حسب دليل الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة رقم 2927:2019.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للتقسيم الفرعي للأراضي تخصيص 1% من إجمالي مساحة أراضي التقسيم الفرعي لزراعة حدائق التجمعات السكانية.			
تشترط ضوابط الحصول على تصريح للبناء أن يُنشأ ما لا يقل عن 75% من مواقف السيارات تحت الأرض للحد من تكوُّن الجزر الحرارية الحضرية.			

الاختصارات

الاختصارات	
UPT	التخطيط الحضري والنقل
NSS	الإستراتيجية العمرانية الوطنية
MoMRAH	وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان
BAU	سيناريو العمل كالمعتاد
EV	المركبات الكهربائية
FAR	نسبة البناء من مساحة الأرض
HH	الأسرة الواحدة
km2	وحدة الكيلومتر المربع
LGA	الهيئة الحكومية المحلية
M&P	الربط بين الحركة والمكان
M	وحدة المتر
Ft	وحدة القدم
LUM	خريطة استخدام الأراضي
MaaS	خدمات التنقل الإلكترونية
Min	الحد الأدنى
ROW	حق المرور
TOD	التنمية المحفِّزة لاستخدام وسائل النقل العام
VKT	عدد الكيلومترات التي تقطعها المركبات
CWBD	تصريف الشوائب الصلبة في مياه التبريد
GCC	مجلس التعاون لدول الخليج العربية
RO	التناضح العكسي
ED	الفرز الغشائي الكهربائي
KAFD	مركز الملك عبد الله المالي
CO2	ثاني أكسيد الكربون
MD	تقنية التقطير الغشائي
EC	تقنية التخثر الكهربائي
NF	تقنية الترشيح النانوي
BSF	التلبد بالتثاقل الرملي
VSEP	المعالجة الاهتزازية المعززة بالقص
CTS	التخزين الحراري البارد
DC	تبريد المناطق
kWh	وحدة الكيلوواط/ساعة
NPV	صافي القيمة الحالية

الاختصارات	
TES	تخزين الطاقة الحرارية
PME	الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة
CHP	التوليد المشترك للطاقة الكهربائية والحرارة
ETS	محطة نقل الطاقة الكهربائية
Spv	مركبة خاصة
PD	مطور المشروع
PIM	مذكرة معلومات المشروع
TSE	تدفق الصرف المعالَج
ASHRAE	الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء
CUP	محطة المرافق المركزية
KPI	مؤشرات الأداء الرئيسة
UPC	معايير السباكة الموحدة
IPC	معايير السباكة الدولية
DPN	شبكة أنابيب التوزيع
DCICS	نظام التحكم في أجهزة تبريد المناطق
WERA	هيئة تنظيم المياه والكهرباء
IoT	إنترنت الأشياء
Capex	النفقات الرأسمالية
GIS	نظام المعلومات الجغرافية
OEM	الشركة المصنعة للمعدات الأصلية
RT	طن التبريد
COP	معامل الأداء
AHU	وحدة معالجة الهواء
DX	التمديد المباشر (أحد أنواع وحدات تكييف الهواء)
EJ	وحدة الإكساجول
IEA	الوكالة الدولية للطاقة
SBC	كود البناء السعودي
HVAC	التدفئة والتهوية وتكييف الهواء
LED	مصابيح الصمام الثنائي الباعث للضوء
DBOOM	منهجية التصميم والإنشاء والتملك والتشغيل والصيانة
SESD	جهاز توفير الطاقة الكهربائية الذكي
SASO	الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة
MW	وحدة الميجاواط
SHGC	معامل اكتساب الحرارة الشمسية
Tvis	النفاذية المرئية
GHG	غازات الدفيئة
W/m²K	وحدة الواط لكل متر مربع لكل كلفن (وحدة العزل الحراري)
SEEC	المركز السعودي لكفاءة الطاقة
Aramco	شركة الزيت العربية السعودية (أرامكو)
UDM	الدليل الإرشادي للتصميم العمراني وهندسة الشوارع
KAPSARC	مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)
RCRC	الهيئة الملكية لمدينة الرياض
OBC	محور العليا–البطحاء

المراجع

Aaltonen, Stella, Milla Wiren, Aki Koponen, and Helber Y. López Covaleda. 2020. *Guidelines on How to Implement MaaS in Local Contexts*. https://civitas.eu/resources/eccentric-replication-package-guidelines-on-how-to-implement-maas-in-local-contexts

al Naim, M. A. (2013). Urban :transformation in the city of riyadh A study of plural urban identity *Open House International*, vol. 38, no. 4, 2013, pp. 70–79, https://doi.org/10.1108/OHI-04-2013-B0008

AlGhamdi, Abeer. 2020. *Saudi Arabia Energy Report*. Riyadh: King Abdullah Petroleum Studies and Research Center. doi: 10.30573/KS--2020-DP25

Ali Al-Hathloul, S., & Anis-ur-Rahmaan, S. (1985). *The evolution of urban and regional planning in Saudi Arabia* .(Vol. 52, Issue 312)

Al-Said, F. A. M. 2003. "The Pattern of Structural Transformation of the Saudi Contemporary Neighbourhood: The Case of Al-Malaz, Riyadh, Saudi Arabia." In *Planning for a Globalising and Competitive World: Proceedings of the XXXIX International ISoCaRP Congress*, edited by Paolo La Greca. .Cairo: ISoCaRP

Alyusuf, A. (2022). Crown Prince: NEOM will be listed on Saudi stock market in 2024. URL: https://saudigazette.com.sa/article/623317 .accessed on July 14, 2023

Araner. 2020. *Technical Reference eBook: District Cooling*. https://content.araner.com/hubfs/ebooks/ARANER_-District_Cooling_Reference_Book.pdf

BACKGROUND AND PURPOSE. (n.d.). Retrieved March 5, 2023, from www.CDC.gov

Bertaud, A., and R. W. Poole Jr. 2007. "Intensity in Atlanta: Implications for Traffic and Transit (Policy Brief 61)." .Los Angeles: Reason Foundation

Bertaud, Alain, and Harry W. Richardson. 2004. "Transit and Density: Atlanta, the United States and Western Europe." In *Urban Sprawl in Western Europe and the United States*, edited by Chang-Hee Christine Bae and Harry W. Richardson, 293–310. .London: Ashgate

Bishop, E., Pertwee, L., & Mizakashani, M. (2014). *Olaya-Bat'ha Concept Design Report*. www.aecom.com.

C40 Cities Climate Leadership Group. 2016. *Good Practice Guide: Transit Oriented Development*. https://www.c40.org/wp-content/uploads/2022/02/C40-Good-Practice-Guide-Transit-Oriented-Development.pdf

CDC (Centers for Disease Control and Prevention). n.d. "Background and Purpose." Accessed March 5, 2023. www.CDC.gov

City of Hamilton. 2010. "Transit Oriented Development Guidelines for Hamilton (vol. 2)." Accessed January 2, 2023. https://www.hamilton.ca/build-invest-grow/planning-development/planning-policies-guidelines/transit-oriented-development

Behrend, Lukas. 2017. "Urban and Land Use Planning in Finland and Germany: Cases Helsinki and Hamburg." Working paper, City of Helsinki. https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/17_10_16_Tyopapereita_5_Behrend.pdf

City of Las Vegas. 2021. *City of Las Vegas Master Plan 2050*. https://files.lasvegasnevada.gov/planning/CLV-2050-Master-Plan.pdf

Department of Lands, Planning and the Environment, Northern Territory Government, Australia. 2015. *Northern Territory Compact Urban Growth Policy: A Strategic Planning Policy of the NT Planning Scheme 2020*. https://nt.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/228991/nt-compact-urban-growth-policy.pdf

Do□an, Umut. "Examining Urban Design Characteristics of City Centers Using Walkability Criteria: Case of Turkey." *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 147, no. 2, June 2021, p. 04021003, https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000663

ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program). 2014. *Planning Energy Efficient and Livable Cities* (Mayoral Guidance Note #6). Washington, DC: World Bank. https://www.esmap.org/node/55381

Eveloy, Valerie, and Dereje S. Ayou. 2019. "Sustainable District Cooling Systems: Status, Challenges, and Future Opportunities, with Emphasis on Cooling-Dominated Regions." *Energies* 12, no. 2: 235. https://doi.org/10.3390/en12020235

Fathil, F., Guediri, K., Zejno, B., Binti, A., Rahim, A., Shehu, F., Yapar, ,.O., Ahsan, A Alibasic, A., Ibrahim, H. A., Aslan, ,.S E Piscatori, J., Nielsen, J., & Kamali, .M. H n.d.). *Stages of development in*) *Arabic philosophical nomenclature: Emergence, progression and stability.* http://journals.iium.edu.my/irkh/index.php/ijrcs

Fitaihi, M., (2023). With Tourism Set to Boom, Saudi Arabia Must Upskill its Workforce. Think Research & Advisory, URL: https://srmgthink.com/en/featured-insights/14/with-tourism-set-to-boom-saudi-arabia-must-upskill-its-workforce accessed on .July 14, 2023

Flucon. n.d. "Energy Transfer Stations – ETS Rooms." Accessed on July 31, 2022. https://www.flucon.co/En-article-1035

Franchini, Giuseppe, G. Brumana, and A. Perdichizzi. 2018. "Performance Prediction of a Solar District Cooling System in Riyadh, – Saudi Arabia A Case Study." *Energy Conversion and Management* 166: 372–384. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.048

Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, L., Conway, T. L., & Hess, P. M. (2010). The development of a walkability index: application to the Neighborhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine*, *44*(13), 924–933. https://doi.org/10.1136/BJSM.2009.058701

Global Market Insights. 2022. "Middle East District Cooling Market Size by Production Technique, by Application, Regional Outlook, Application Potential, Competitive Market Share and Forecast, 2022–2030." https://www.giiresearch.com/report/gmi1119574-middle-east-district-cooling-market-size-by.html

Gudmundsson, Oddgeir. 2022. "The generations of district cooling." https://www.linkedin.com/pulse/generations-district-cooling-oddgeir-/gudmundsson

Harrington, C. W. (1958). The Saudi Arabian Council of Ministers. In Source: *Middle East Journal* (Vol. 12, Issue 1). Winter. https://about.jstor.org/terms

Hartman, Thomas. 2007. "Sustainable Chilled Water Systems." Presented at the 44th Annual Conference and Technical Exhibition, Georgetown, .Texas, May 12-14

Hioki. n.d. "ASHRAE Chiller Plant Efficiency Benchmark." https://www.hioki.com.sg/wp-content/uploads/2021/09/Picture-3.png

Huang, X., Q. Liang, Z. Feng, and S. Chai. 2020. "A TOD Planning Model Integrating Transport and Land Use in Urban Rail Transit Station Areas." *IEEE Access* 9: 1103–1115. doi:10.1109/ACCESS.2020.3047207

HVAC. n.d. "The Basics of Chillers." Accessed on July 31, 2022. https://www.hvacinvestigators.com/webinars/the-basics-of-chillers-how-they-work-where-theyre-used-and-/common-problems

IEA (International Energy Agency). 2021. "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector." https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050

Buildings: Sectorial Overview."" .2022 https://www.iea.org/reports/buildings

Juul, V., & Nordbø, E. C. A. (2023). Examining activity-friendly neighborhoods in the Norwegian context: green space and walkability in relation to physical activity and the moderating role of perceived safety. *BMC Public Health*, *23*(1), 259. https://doi.org/10.1186/S12889-023-15170-4/TABLES/3

Kahouli, B., Miled, K., & Aloui, Z. (2022). Do energy consumption, urbanization, and industrialization play a role in environmental degradation in the case of Saudi Arabia? *Energy Strategy Reviews, 40*. https://doi.org/10.1016/J.ESR.2022.100814

Kim, E. J., Won, J., & Kim, J. (2019). Is Seoul Walkable? Assessing a Walkability Score and Examining Its Relationship with Pedestrian Satisfaction in Seoul, Korea. *Sustainability 2019, Vol. 11, Page 6915, 11*(24), 6915. https://doi.org/10.3390/SU11246915

Lam, T. M., Wang, Z., Vaartjes, I., Karssenberg, D., Ettema, D., Helbich, M., Timmermans, E. J., Frank, L. D., den Braver, N. R., Wagtendonk, A. J., Beulens, J. W. J., & Lakerveld, J. (2022). Development of an objectively measured walkability index for the Netherlands. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 19*(1), 1–16. https://doi.org/10.1186/S12966-022-01270-8/TABLES/5

Land Transport Sector. (n.d.). Retrieved March 6, 2023, from https://www.seec.gov.sa/en/energy-/sectors/land-transport-sector

Lehmann, Steffen. 2016. "Sustainable Urbanism: Towards a Framework for Quality and Optimal Density?" *Future Cities and Environment* 2: 1–13. .doi:10.1186/S40984-016-0021-3

Lithgow City Council, Australia. 2021. "Development Control Plan (DCP) 2021." Accessed December 7, 2022. https://council.lithgow.com/development/development-control-/plans

LSE Cities. 2014. "Atlanta—Barcelona Note. New Climate Economy Cities Working Paper." Working paper, LSE Cities, London School of Economics .and Political Science

M Al-Said, F. A. (2003). *The Saudi Contemporary Neigbourhood: Al-.Malaz, 39 th ISoCaRP Congress*

Mezghani, I., & ben Haddad, H. (2017). Energy consumption and economic growth: An empirical study of the electricity consumption in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75*, 145–156. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.10.058

Mizesko, Dan. n.d. "Are absorption chillers energy efficient?" Accessed on July 31, 2022. https://climatecontrolme.com/2017/06/are-absorption-chillers-energy-efficient/ .accessed on July 31, 2022

Northamptonshire Council. 2008. "Northamptonshire Place and Movement Guide." Accessed January 10, 2023. https://www.east-northamptonshire.gov.uk/downloads/file/6491/northamptonshire_place_and_movement_guide

Northern Territory Planning Commission. n.d. "Central Alice Springs Area Plan. " https://planningcommission.nt.gov.au/projects/central-alice-springs-area-plan, accessed on 11 January 2023

NSW (New South Wales) Government. 2018a. "Future Transport Strategy 2056." Accessed November 15, 2022. https://www.future.transport.nsw.gov.au/documents/future-transport-strategy

2022b. "Practitioner's Guide to Movement and Place: Implementing Movement and Place NSW." Accessed December 14, 2022. https://www.movementandplace.nsw.gov.au/place-and-network/guides/practitioners-guide

Oil Consumption by Country - Worldometer. (n.d.). Retrieved March 6, 2023, from https://www.worldometers.info/oil/oil-/consumption-by-country

Osra, O., Jones, P., & Adnan Osra, O. (2017). PROCESSES OF URBAN TRANSFORMATION: EXPLORING THE NEXUS BETWEEN THE BUILT ENVIRONMENT AND ISLAMIC IDENTITY IN SAUDI ARABIA [BETWEEN 1938 AND 1990] Processes of Urban Transformation: Exploring the Nexus Between the Built Environment and Islamic Identity in Saudi Arabia (between 1938 and 1990). *International Journal of Contemporary Architecture, 4*(3). https://doi.org/10.14621/tna.20170303

Rahman, M. T., & Nahiduzzaman, K. M. (2019). Examining the walking accessibility, willingness, and travel conditions of residents in saudi cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(4). https://doi.org/10.3390/ijerph16040545

Rogan, Mark. n.d. "Free Cooling Fundamentals in Modular HVAC Chillers." Accessed on July 31, 2022. https://coolingbestpractices.com/industries/hvac/free-cooling-/fundamentals-modular-hvac-chillers

Rogers, S. H., Halstead, J. M., Gardner, K. H., & Carlson, C. H. (2011). Examining Walkability and Social Capital as Indicators of Quality of Life at the Municipal and Neighborhood Scales. *Applied Research in Quality of Life, 6*(2), 201–213. https://doi.org/10.1007/S11482-010-9132-4/METRICS

Royal Commission for Riyadh City - Environmental Rehabilitation Program for Wadi Hanifa and its .Tributaries n.d.). Retrieved March 14, 2023,) from https://www.rcrc.gov.sa/en/projects/wadi-hanifah

Saoud Ba, M'phil, R., & Salem Bsc, A. (2002). *Introduction to the Islamic City*. http://www.fstc.co.uk

Saudi Aramco World : A Wadi Runs Through It. (n.d.). Retrieved March 14, 2023, from https://archive.aramcoworld.com/issue/201201/a.wadi.runs.through.it.htm

Saudi Energy Efficiency Center. .(2022). *Energy in Transition*

Schares, J., Stadler, M., Reck, R., Mustschler, R., Vesligaj-Klose, S., & Andrea, M. (2014). *Metro Urban Design and Streetscape Manual*. https://www.rcrc.gov.sa/en/publication/metro-urban-design-and-streetscape-manual

SEEC (Saudi Energy Efficiency Center). *Energy in Transition*. 2022 "Land Transport Sector." Accessed March 6, 2023. https://www.seec.gov.sa/en/energy-sectors/land-transport-sector

Signor, Lidia, Piia Karjalainen, Maria Kamargianni, Melinda Matyas, Ioanna Pagoni, Tito Stefanelli, Giuseppe Galli et al. 2019. *Mobility as a Service (MaaS) and Sustainable Urban Mobility Planning*. Edited by ERTICO – ITS Europe. Brussels: ERTICO – ITS .Europe

Soliman, Mariam, Fadwa Eljack, Monzure-Khoda Kazi, Fares Almomani, Elalim Ahmed, and Ziad El Jack. 2022. "Treatment Technologies for Cooling Water Blowdown: A Critical Review." *Sustainability* 14, no. 1: 376. https://doi.org/10.3390/su14010376

The City of Calgary, Canada. 2008. "Transit-oriented Development (TOD) Program." Accessed November 16, 2022. https://www.calgary.ca/planning/transit-oriented-development.html#updates

Transit . 2021. *The Guide to Open Mobility-as-a-Service (MaaS)*. https://site.transitapp.com/wp-content/uploads/2021/06/Guide-Open-MaaS.pdf. accessed on December 14, 2022

US Community Energy Guide. WERA. Regulatory Framework of District Cooling. Accessed March 6, 2023 https://wera.gov.sa/en/LawsAndRegulations/-/RulesAndFrameworks/Documents/D8%A7%D9%84%D8%A5%D8%B7%D8%A7%D8%B1%20%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%86%D8%B8%D9%8A%D9%85%D9%8A%20%D9%84%D8%AA%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AF20%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%82%20-%20%D8%A7%D9%86%D8%AC%D9%84%D9%8A%D8%B2%D9%8A.pdf

UN-Habitat. (2019). Saudi cities report. United Nations. https://saudiarabia.un.org/en/40089-saudi-cities-report

Wey, W. M., & Chiu, Y. H. (2013). Assessing the walkability of pedestrian environment under the transit-oriented development. *Habitat International, 38*, 106–118. https://doi.org/10.1016/J.HABITATINT.2012.05.004

WHO (World Health Organization). 2011. *Health in the Green Economy: Health Co-benefits of Climate Change Mitigation – Transport Sector*. .Geneva: World Health Organization

Willoughby City Council. 2020. "Willoughby Local Environmental Plan." Accessed January 25, 2023. https://www.willoughby.nsw.gov.au/Development/Plan/Planning-Rules/WLEP

World Bank. 2021. *Mobility and Transport Connectivity Series: Adapting Mobility-as-a-Service for Developing Cities – A Context-sensitive Approach*. Washington, DC: .World Bank

KAPSARC
مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية
King Abdullah Petroleum Studies and Research Center

كفاءة
المركز السعودي لكفاءة الطاقة
Saudi Energy Efficiency Center