Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 18, No. 66, January 2023, 278 - 303

GREEN INFRASTRUCTURE AS AN EFFECTIVE RAINWATER MANAGEMENT APPROACH IN CITIES

Maha Abdel Sattar Abdel Rasheed

Housing &Architecture Institute, Housing and Building National Research Center, Giza, Egypt.

Corresponding: maha_a_sattar@yahoo.com

Received: 25 Sept. 2022 **Accepted: 6 Dec. 2022**

ABSTRACT

Several cities in the world, including some Egyptian cities, are exposed to heavy rainstorms due to climatic changes. These storms may have a recurrence rate of decades, but their damage cannot be overlooked due to the heavy human and material losses they cause. In this research, we study how to deal with the harmful effects of rainstorms for cities and the resulting rapid and sudden floods that cause many losses in lives and property. That is by studying the means of green infrastructure as an approach based on maintaining the hydrological cycle of water in the safe management of dense rainwater and effective in urban areas. The research concludes that there are promising possibilities for the application of green infrastructure means in new Egyptian cities, which may be exposed to those rainstorms, because of their environmental and aesthetic benefits in addition to being effective means of rainwater management and avoiding the bad effects caused by urban floods.

KEYWORDS

Hydrological cycle - Urban floods – Surface runoff - Cities

البنية التحتية الخضراء كنهج فعال لإدارة مياه الأمطار في المدن

مها عبد الستار عبد الرشيد

معهد بحوث العمارة والإسكان – المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء – الجيزة – مصر

بريد إلكتروني: maha_a_sattar@yahoo.com

ملخص

تتعرض عدة مدن فى العالم ومن بينها بعض المدن المصرية إلى عواصف مطيرة شديدة الهطول بسبب التغيرات المناخية، تلك العواصف التي قد يكون معدل تكرارها يصل إلى عقود من السنوات إلا أن أضرارها لا يمكن إغفالها لما تسببه من خسائر بشرية ومادية فادحة. يتم في هذا البحث دراسة كيفية مواجهة الأثار الضارة للعواصف المطيرة للمدن وما ينتج عنها من فيضانات سريعة ومفاجئة تسبب خسائر عديدة في الأرواح والممتلكات، ويكون ذلك من خلال دراسة وسائل البنية التحتية

الخضراء كنهج يعتمد على الحفاظ على الدورة الهيدرولوجية للمياه في إدارة مياه الأمطار الكثيفة بشكل امن وفعال في المناطق الحضرية، ويخلص البحث في النهاية إلى وجود إمكانيات واعدة لتطبيق وسائل البنية التحتية الخضراء في المدن المصرية الجديدة والتي قد تتعرض لتلك العواصف المطيرة، وذلك لما لها من فوائد بيئية وجمالية بالإضافة لكونها وسائل فعالة لإدارة مياه الأمطار وتلافى الأثار السيئة التي تسببها الفيضانات الحضرية.

الكلمات المفتاحية
الدورة الهيدرولوجية – الفيضانات الحضرية – الجريان السطحى – المدن

1 - مقدمة

يرتبط الاستقرار الاجتماعي والتنمية الاقتصادية ارتباطًا وثيقًا بالوجود المستدام لموارد المياه، خاصة فى المدن والتى تضم حاليا ما يقرب من نصف سكان العالم وتعتبر مراكزا للإبداع والتطور والازدهار، وهو الأمر الذى يعنى ضرورة مواجهة التحديات التى تؤثر على مواصلة النمو المستدام لتلك المدن والحفاظ على كافة الموارد البيئية المتجددة ولاسيما الموارد المائية.

وتواجه مصر حاليا تحديات إقليمية بشأن موارد المياه الطبيعية، مما يحتم ضرورة الاهتمام بإدارة تلك الموارد وترشيدها لتجنب الدخول فى حالة من الفقر المائى قدر الإمكان، خاصة وأن مصر تقع ضمن نطاق البلاد ذات المناخ الجاف الصحراوى، والمرشح للتعرض لنوبات من ارتفاع درجات الحرارة والجفاف بسبب التغيرات المناخية.

من جهة أخرى تعرضت مصر فى السنوات الأخيرة إلى تقلبات مناخية أدت إلى أحداث عواصف شديدة أعقبها هطول أمطار غزيرة تصل إلى حد الفيضانات المفاجئة والسيول مسببة بذلك خسائر كبيرة، وبرغم تلك الخسائر إلا إن حجم تلك الأمطار يعتبر موردا جيدا للمياه إذا ما تمت إدارته والاستفادة منه كمصدر للمياه العذبة بدلا من كونه مصدرا للأزمات والتلوث.

يتم في هذا البحث دراسة كيفية مواجهة الأثار الضارة للعواصف المطيرة للمدن وما ينتج عنها من فيضانات سريعة ومفاجئة تسبب خسائر عديدة في الأرواح والممتلكات، ويكون ذلك من خلال دراسة وسائل البنية التحتية الخضراء كنهج يعتمد على الحفاظ على الدورة الهيدرولوجية للمياه في إدارة مياه الأمطار الكثيفة بشكل امن وفعال في المناطق الحضرية، مما يمكن معه تجنب أحداث الجريان السطحى الشديد الذى قد يصل في بعض الأحيان إلى سيول جارفة.

1-1 المشكلة البحثية

تتعرض بعض المناطق الحضرية في أنحاء مختلفة في مصر لتقلبات جوية ينتج عنها تكرار أحداث عواصف مطيرة شديدة الهطول لم تكن تحدث من قبل، وقد تسببت تلك الأمطار في زيادة الجريان السطحى للمياه الذى يصل إلى حد الفيضانات الحضرية السريعة وما يعقبها من خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات بالإضافة إلى فيضان مياه الصرف الصحى بسبب عدم قدرة تلك الشبكات على استيعاب مياه الأمطار الواردة إليها.

1 -2 الهدف

دراسة كيفية تطبيق وسائل البنية التحتية الخضراء لإدارة مياه العواصف في المدن وهى وسائل تعتمد على النظم البيئية الطبيعية في التعامل مع مياه الأمطار، بهدف تلافى الأثار السيئة والمدمرة للجريان السطحى الناتج عن الهطول الشديد والحفاظ على الخصائص الهيدرولوجية للمناطق الحضرية الأكثر عرضة له، وأيضا بهدف تخفيف الضغط على شبكات الصرف الصحى والتي ليست مصممة لاستيعاب كميات الأمطار الواردة إليها أثناء تلك العواصف. وسوف يتم ذلك من خلال المحاور التالية:

1-3 محاور البحث

يتكون البحث من المحاور التالية

- المحور الأول يتناول دراسة الدورة الهيدرولوجية للمياه في الطبيعة ومظاهر التغير بها والأثار المترتبة على هذا التغير في المدن، وخاصة فيما يتعلق بحدوث العواصف المطيرة وما ينتج عنها من الجريان السطحى لمياه الأمطار مسببا للفيضانات الحضرية المفاجئة، والإشارة إلى تكرار حدوث تلك العواصف في بعض المدن المصرية خاصة المدن التي تقع شرق إقليم القاهرة الكبرى؛
- المحور الثانى يتناول دراسة الحلول غير التقليدية لإدارة مياه الأمطار في المدن خاصة تلك التي تفوق مقدرة شبكات الصرف التقليدية على استيعابها، مثل وسائل البنية التحتية الخضراء التي تحافظ على الدورة الهيدرولوجية للمياه في المناطق الحضرية وتعزز استدامة النظم البيئية والموارد الطبيعية للمياه؛
- المحور الثالث يتناول دراسة جانب من الحلول القائمة على نهج البنية التحتية الخضراء التي اتبعت في عدد من مدن العالم ومن بينها مدينة القاهرة الجديدة لمواجهة الأثار السيئة للجريان السطحى الذى يعقب حدوث عواصف مطيرة؛

- المحور الرابع والأخير يتناول استخلاص النتائج والتى تتمثل فى طرح أهم الفرص والتحديات الكامنة في تطبيق نهج البنية التحتية الخضراء على مستوى المدن المعاصرة خاصة المدن المصرية، ثم فى النهاية الخروج بمقترحات وتوصيات تساهم فى تعزيز كيفية إدارة مياه الأمطار في المدن المصرية، مع التركيز على التجمعات الحضرية الجديدة لمواجهة احتمالات تكرار أحداث الهطول المطرى الشديد في المستقبل.

2- الدورة الهيدرولوجية للمياه [1]

الدورة الهيدرولوجية هي عملية مستمرة من التبخير والتكثيف للمياه بين الأرض وطبقات الجو (شكل 1)، حيث تتبخر المياه بفعل حرارة سطح الأرض من البحار والمحيطات إلى أعلى ثم تتكثف مرة أخرى في طبقات الجو العليا الأكثر برودة مكونة للسحب، تتحرك السحب بفعل تيارات الهواء من منطقة لأخرى ثم تتساقط منها الأمطار نحو الأرض مرة أخرة متخذة عدة مسارات يمكن إيجازها كما يلى

1 – تتساقط في المناطق شديدة البرودة على شكل ثلوج مكونة لمسطحات الجليد في قطبى الكرة الأرضية؛

2 – تتساقط على هيئة أمطار فوق المسطحات المائية من أنهار وبحار ومحيطات؛

3 – تتساقط على الغطاء الطبيعى للأرض وتتسلل إلى داخل طبقات الأرض مكونة للمياه الجوفية وهى إما تكون سطحية مثل الأبار والينابيع أو تكون عميقة مثل خزانات المياه الجوفية.

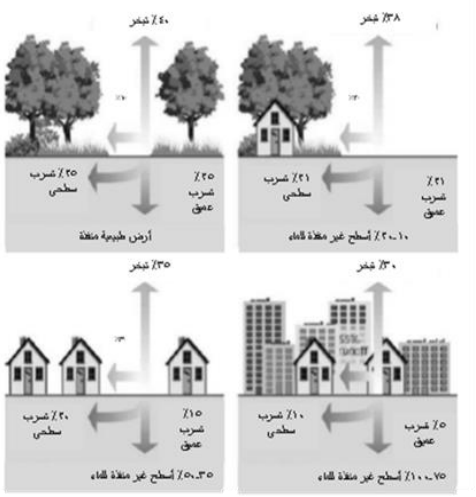
شكل 1 الدورة الهيدرولوجية للمياه في الطبيعة [2]

ويحدث التغير فى الدورة الهيدرولوجية للمياه بسبب ارتفاع درجة حرارة الأرض الناتج عن الاحترار المناخى مما يعنى مزيدا من التبخر وبالتالي مزيدا من التكثيف، فتتغير تبعا لذلك أنماط هطول الأمطار في بعض المناطق وتزداد فترات الجفاف في مناطق أخرى، كما قد يحدث تقلبات جوية بين مزيد من الأمطار يعقبها مزيد من الجفاف في مناطق بعينها.

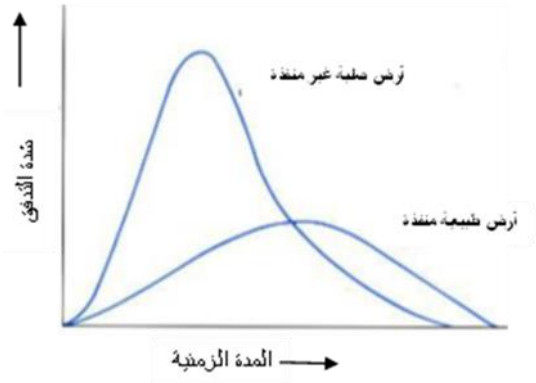
2-1 الدورة الهيدرولوجية للمياه في المدن

إن التدخل المباشر في مسار الدورة الطبيعية للمياه مثل إقامة السدود على الأنهار والجداول، واستخراج المياه السطحية والجوفية لأغراض الري وغيرها، وإزالة الغابات على نطاق واسع والتحضر وبناء المنشآت والأسطح غير المنفذة للمياه، جميعها تعد من الأنشطة البشرية التي تحدث في نطاق المدن، وتعتبر سبب رئيس في وقوع تغيرات في المناخ ونشوء ظواهر مناخية متطرفة تتمثل في العواصف المطيرة الشديدة.

هذه العواصف التي يعقبها هطول أمطار غزيرة تؤدى إلى أحداث جريان سطحى جارف يزداد بازدياد الأسطح غير المنفذة للمياه، وقد قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بتحديد العلاقة بين شدة وحجم الجريان السطحى ودرجة التحضر (شكل 2 وشكل 3)، حيث يتضح من شكل 2 أنه كلما زادت نسبة التحضر زادت نسبة المياه المعرضة للجريان السطحى و في المقابل تقل نسبة المياه التي تمتص عبر طبقات الأرض، كما يتضح من شكل 3 أن تدفق مياه الأمطار في المناطق الحضرية تبلغ ذروتها في وقت أسرع بكثير عنها في المناطق الطبيعية، وهو الأمر الذى يترتب عليه درجة خطورة الفيضان وسرعته [3].



شكل 2 العلاقة بين درجة التحضر وحجم الجريان السطحى للأمطار المصدر بتصرف [4]



شكل 3 العلاقة بين الأسطح غير المنفذة وشدة تدفق الجريان السطحى المصدر بتصرف [3]

2-2 الفيضانات الحضرية المفاجئة في المدن

وهى فيضانات تحدث بسبب شدة الجريان السطحى الناتج عن هطول المطر بغزارة والذى يؤدى إلى:

- فيضان مفاجئ بسبب الحركة السريعة لمياه الامطار خلال فترة قصيرة على الأسطح غير المنفذة السائدة في المناطق الحضرية، وقد تسقط من مناطق مرتفعة نحو مناطق أخرى أقل ارتفاعا، محدثة سيول جارفة مما يتسبب في تهديد الأرواح والممتلكات.
- غمر الأراضى بمياه الصرف الصحى بسبب عدم قدرته على استيعاب كمية مياه الأمطار الواردة إليه، فتتدفق المياه إلى الشوارع والمنشآت المجاورة، وعادة ما يكون مستوى المياه ضحلا.

2-2-1 مخاطر الفيضانات الحضرية المفاجئة

تنقسم خطورة تلك الفيضانات الى شقين [4]

الشق الأول: جريان مياه الامطار الغزيرة فوق الاراضى الصلبة للمدن الذى يحمل معه الكثير من الملوثات مثل:

- الرواسب من مخلفات البناء؛
- الزيوت والشحوم والمواد الكيميائية السامة من السيارات؛
- مبيدات الآفات والعناصر الغذائية من المروج والحدائق؛
- الفيروسات والبكتيريا والمغذيات من فضلات الحيوانات الأليفة وأنظمة الصرف الصحي الرديئة.

تلك الملوثات تصب مباشرة في مسطحات المياه الطبيعية مسببة أضرارا بيئية كبيرة بها، بالإضافة إلى أن تلك الأمطار ان كانت ليس لها شبكات صرف منفصلة فإنها تصب في شبكات الصرف الصحى، وبالتالي يحدث ضغطا مفاجئا على تلك الشبكات فتنفجر وتخرج مياه الصرف الصحى مختلطة بمياه الأمطار فوق الأسطح الصلبة مسببة مزيد من التلوث.

الشق الثانى: القوة التدميرية التي تصاحب الجريان السطحى لمياه الأمطار خاصة اذا كانت غزيرة وكثيفة وتتحرك من مناطق مرتفعة الى مناطق أخرى أقل ارتفاعا، وهى بذلك تتحول إلى سيول جارفة تمثل خطورة كبيرة على الأرواح والممتلكات والمرافق والخدمات المختلفة.

تؤدى العوامل السابقة إلى وجود ما يسمى بالمخاطر المتسلسلة في المدن، وهذا يعني أن الخطر الأساسي (العاصفة الشديدة) تتبعه سلسلة من المخاطر الأخرى مثل فيضانات الأمطار الغزيرة التي تؤدي إلى تلوث إمدادات المياه، والانهيارات الأرضية التي تدمر المنازل والبنى التحتية، وتعطيل أنظمة النقل وقطع الطرق وتوقف الخدمات [5].

يتضح مما سبق أنه من المحتمل أن يتسبب الاحترار المناخى عالميا فى زيادة التبخر والنتح ومحتوى الرطوبة في الغلاف الجوي، وهو ما يرتبط بحدوث تغيرات في أنماط هطول الأمطار وقد يؤدي إلى زيادة كبيرة في حالات هطول الأمطار الشديدة. كما أن آثار هذا الاحترار تكن أكثر وضوحا في المدن مكونة جزرا حرارية في قلب المدن وخاصة المدن الكبرى،

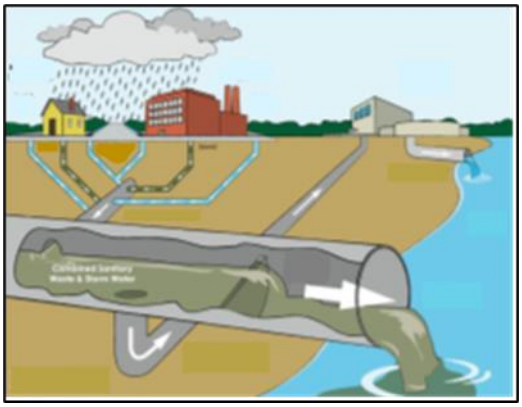
مما يؤدى إلى زيادة كثافة هطول الأمطار وارتفاع معدل التكرار في تلك المدن، مع ارتباط هذه الآثار بالتوسع الحضري المستمر وزيادة الأسطح غير المنفذة للمياه [4].

2-3 إدارة مياه الأمطار بالطرق التقليدية

تعتمد الطرق التقليدية على نقل مياه الأمطار من خلال خطوط الصرف إلى مناطق تجمع المياه الطبيعية، وقد تكون خطوط الصرف مخصصة لمياه الأمطار فقط كشبكة منفصلة أو فى شبكة الصرف الصحى التي تنقل المياه الرمادية إلى محطات المعالجة، وفي الحالتين لا يتم الاستفادة من مياه الأمطار (شكل 4) [6].

كما إن الصرف الصحى التقليدي قد ينجح في احتواء معدلات سقوط الأمطار الطبيعية التى تتبع القياسات التاريخية عن طريق نقلها بكفاءة عبر الأنابيب بعيدا عن المناطق الحضرية، ولكن مؤخرا تشير نماذج تغير المناخ إلى أن أنماط هطول المطر لن يتبع الاتجاهات السابقة والتى على أساسها صممت شبكات الصرف الصحى التقليدية، بالإضافة إلى أن تغيير هذه الشبكات أمر بالغ الصعوبة والتكلفة في المناطق الحضرية القائمة [7].

إن من أبرز عيوب شبكات صرف مياه الأمطار إذا كانت منفصلة هو أنها تحمل جميع التدفقات الأتية من جريان المياه فوق الأسطح المرصوفة بكل ما تحمله من ملوثات، ويتم تصريفها في المياه السطحية (أنهار أو جداول) بدون تنقية فتحدث بذلك تدهورا في نوعية المياه بسبب تلك الملوثات. كما أن تصريف مياه الأمطار مع المياه الرمادية في شبكات الصرف الصحي يعد هدرا لهذه المياه وتحميلا زائدا على محطات المعالجة بدون ضرورة، بالإضافة إلى أنها تسبب فيضان تلك الشبكات إذا تجاوزت المياه قدرتها الاستيعابية.



شكل 4 إدارة مياه الأمطار بالطرق التقليدية [**8**]

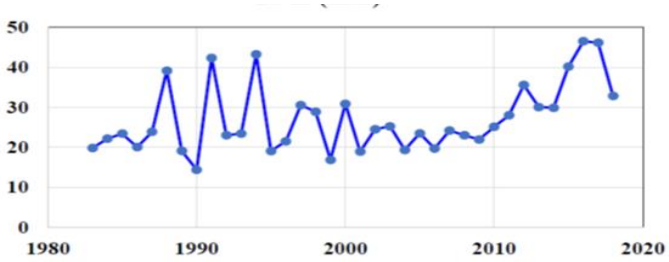
2-4 هطول الأمطار في مصر

تشير توقعات هطول الأمطار في مصر مستقبلا إلى انخفاض بنسبة 7٪ في هطول الأمطار بالقرب من الساحل بحلول عام 2050، بينما من المتوقع حدوث انخفاض بنسبة 9٪ في الأجزاء الوسطى من البلاد مع أكبر انخفاض متوقع خلال يونيو ويوليو وأغسطس بنسبة 22٪ ، يليها سبتمبر وأكتوبر ونوفمبر بنسبة 11٪ [9]

بشكل عام، هناك تباين كبير في جميع أنحاء البلاد في جميع جوانب هطول الأمطار المختلفة. وخلصت النتائج إلى أن موسم الأمطار في مصر يمتد من أكتوبر إلى مارس حيث تتلقى بعض المحطات كميات كبيرة من الأمطار. من ناحية أخرى، يمتد موسم الجفاف من أبريل إلى سبتمبر.

أي تواجه مصر انخفاضًا واضحا من الناحية الإحصائية في إجمالي كميات الأمطار السنوية على مدار الثلاثين عامًا الماضية، أدى إلى انخفاض توافر المياه في بعض المناطق وزيادة فترات الجفاف ونوبات الجفاف، وانخفاض في هطول الأمطار في الشتاء وأوائل الربيع. كما تعرضت إلى عدة فيضانات مفاجئة في السنوات الأخيرة، نتيجة زيادة تواتر أحداث هطول الأمطار الشديدة في مختلف الأنحاء، لاسيما في شبه جزيرة سيناء وسواحل البحر المتوسط وشرق القاهرة الكبرى [10].

ويوضح الشكل 5 التذبذب في معدلات هطول المطر السنوي من عام 1983 الى عام 2018 [11]



شكل 5 التذبذب في معدل هطول الأمطار بين 1983 – 2018

1-4-2 الفيضانات الحضرية المفاجئة في مصر

شهدت مصر منذ منتصف القرن الماضى أحداث فيضانات وسيول جارفة فى مناطق مختلفة بسبب الهطول الغزير للأمطار بشكل مفاجئ، وتتميز تلك الفيضانات بالندرة وأنها لا تتكرر سوى مرة او مرتين على الأكثر على مدار 100 عام، ولكن بسبب التغيرات المناخية التى باتت اثارها واضحة ازدادت معدلات الهطول الغزير للأمطار، وازدادت معها حوادث السيول الشديدة وما تبعها من خسائر فادحة. كما إن أكثر المناطق التى شهدت أحداث متكررة للفيضانات هى شبه جزيرة سيناء وساحل البحر الأحمر بسبب تضاريس الجبال، وأيضا لأن الطبيعة الصحراوية لديها قدرة على تخزين مياه الأمطار بشكل أفضل، فإنه يمكن أن توفر الأمطار المياه اللازمة للرى وتشكيل البرك والبحيرات بين الوديان لتعزيز الحياة البرية. ولكن فى الأونة الأخيرة تكررت أحداث هطول أمطار غزيرة فى مناطق أخرى متفرقة فى البلاد بشكل أصبح يمثل عبئا على المناطق السكنية سواء كانت حضرية أو ريفية ومسببة للعديد من الخسائر فى الأرواح والممتلكات الخاصة والعامة. ويوضح جدول رقم 1 الأحداث المتكررة للعواصف الشديدة التي صاحبها فيضانات مفاجئة في مصر في العشر سنوات الأخيرة

جدول رقم 1 أحداث الفيضانات في مصر ما بين 2010 و 2020
المصادر: [11، 12، 13]

التاريخ	المناطق المتضررة	الخسائر
مارس 2020	القاهرة الكبرى – القاهرة الجديدة – شبه جزيرة سيناء – شمال الصعيد	وفاة 27 شخص وانهيارات في الطرق وخسائر 1.2مليار جنيه
أكتوبر 2019	القاهرة – القاهرة الجديدة – اسكندرية – ميت غمر	أضرار بمبنى المطار وغلق الطرق وتضرر المنازل والسيارات
أبريل 2018	العين السخنة – القاهرة الجديدة	غمر الطرق والمنازل وانقطاع المياه والكهرباء
أكتوبر 2016	راس سدر – الغردقة – شرم الشيخ – قنا	26 وفاة وانجراف ألاف المنازل واغلاق الطرق والموانئ وتضرر أكثر من 32000 شخص
فبراير 2015	الأسكندرية – مطروح – البحيرة – جنوب الصعيد	35 وفاة تدمير 180 منزل غرق الأراضى وتدمير الطرق
مارس – مايو 2014	طابا – سوهاج – أسوان – كوم امبو	انهيار أحد السدود وتدمير الطرق
2013	جنوب سيناء – أسيوط – سوهاج	خسائر في الممتلكات الخاصة والعامة بلغت 750 مليون جنيه
2012	دهب – سانت كاترين	انهيار أحد السدود
2010	أسوان – شمال سيناء	8 وفيات وتدمير في الطرق والبنية التحتية و1381 منزل

يلاحظ من الجدول السابق تكرار هطول الأمطار الغزيرة فى الأعوام 2018، 2019، 2020 على إقليم القاهرة الكبرى والمدن الجديدة المجاورة لها فى القوس الشرقى الممتد حتى خليج السويس، وهى أمطار تسببت فى فيضانات وسيول تعتبر مدمرة بسبب ارتفاع معدلات التحضر والتى لم تراعى الطبيعة البيئية والجيولوجية فى تلك المنطقة [11]. وقد توالت هذه العواصف على النحو التالى:

- في 24 أبريل 2018 شهدت منطقة القاهرة الكبرى عاصفة ممطرة غير معتادة، وتساقطت الأمطار بشكل مستمر لمدة ثمانى ساعات، مع نبضات متقطعة للأمطار تصل إلى 200 مم / ساعة. وتم تسجيل أسوأ حادث في حى

النرجس، عندما انهار جزء من الجدار الخرسانى لمنطقة الغابة المتحجرة واجتاحت المياه المتدفقة من ورائه المساكن المقابلة له وغمرت أقبية تلك المساكن غمرا كاملا.

- كما تسببت ساعات من الأمطار الغزيرة في 22 أكتوبر 2019 في فيضانات مفاجئة في أجزاء من القاهرة. وكانت الأجزاء الشمالية الشرقية من القاهرة الكبرى هي الأكثر تضررا، بما في ذلك مدينة نصر والمناطق المحيطة بمطار القاهرة الدولي. وتأخرت الرحلات الجوية بعد أن ألحقت الفيضانات أضرارا بمبنى ركاب وأغلقت الطرق المحيطة ومنع الركاب من الوصول إلى المطار. تم إغلاق المدارس والجامعات في أجزاء من القاهرة والجيزة والقليوبية.
- وفى 12 مارس 2020 وقعت عواصف مطيرة وصفت بأنها الأسوأ منذ عام 1994 فى محافظات السويس والقاهرة والوادى الجديد، واجتاحت السيول إحدى الضواحى العشوائية فى مدينة 15 مايو ودمرتها بالكامل بالإضافة إلى وقوع انهيارات ارضية بالطرق والمحاور الرئيسية للعاصمة ومدينة القاهرة الجديدة، ووفاة 27 شخص فى مناطق متفرقة وانقطاع الخدمات والمرافق وخروج شبكات الصرف الصحى من الخدمة فى المناطق المتضررة [14].

إن العامل المشترك بين أحداث العواصف المطيرة والتي يصاحبها هطول مطرى وفيضانات مفاجئة في الأعوام الأخيرة هو كمية الأمطار، والتي قد تبلغ 50 – 200 مم في عدة ساعات في منطقة لا يتجاوز مجموع الأمطار المتساقطة عليها 33 مم طول العام، يضاف إلى ذلك ارتفاع معدل التنمية العمرانية بشكل كبير يفوق العقود السابقة مما يزيد من شدة الجريان السطحى للمياه.

كما إن تكرار العواصف المطيرة شديدة الهطول فى مناطق تعرف تاريخيا بأنها جافة أو شبه جافة، مثل مدن ومحافظات الصعيد فى الجنوب والمنطقة الواقعة جنوب شرق القاهرة الكبرى حتى خليج السويس تعتبر دليلا كافيا على تغير المناخ، ومع التسليم باستمرار تلك التغيرات برغم عدم اليقين بتوقع حجم وتوقيت تلك العواصف فى المستقبل، فإن الأمر يستلزم ضرورة الاهتمام بإيجاد وسيلة فعالة لإدارة مياه العواصف ومنع الأثار السيئة للجريان السطحى الناجم عنها.

يتم في الجزء التالى تناول المحور الثانى من هذا البحث وهو التعرف على وسائل البنية التحتية الخضراء في إدارة مياه الأمطار والأكثر شيوعا في مختلف بلدان العالم، وتستخدم تلك الوسائل أساسا بغرض الحفاظ على الدورة الهيدرولوجية للمياه في الطبيعة، وتغذية المياه الجوفية في باطن الأرض كمخزون هام يمكن الاستعانة به في فترات الجفاف، وذلك بدلا من إهدار مياه الأمطار في شبكات الصرف الصحى.

3- البنية التحتية الخضراء

تعرف البنية التحتية الخضراء في المناطق الحضرية Urban Green Infrastructure (UGI) بأنها نهج استراتيجي يهدف إلى الحفاظ على المناطق المفتوحة من خلال تطوير شبكات من المساحات الخضراء والزرقاء، والتي يتم تصميمها وإدارتها لتقديم العديد من خدمات النظام البيئي والمزايا الأخرى على جميع المستويات المكانية بالمدينة، وهى بذلك تكون قادرة على معالجة مجموعة واسعة من التحديات الحضرية مثل التنوع البيولوجى والتكيف مع تغير المناخ ودعم الاقتصاد الأخضر وتحسين التماسك الاجتماعى، بالإضافة إلى تعزيز الرفاهة البيئية وتحسين جودة الحياة [15].

3-1 نشأة وتطور البنية التحتية الخضراء

إن نشأة هذا المفهوم بدأت في أوائل التسعينيات من القرن الماضى عندما تبنته إحدى البرامج الوطنية الأمريكية في تصميم وتخطيط المجتمعات الحضرية واهتمامها بتنسيق المناظر الطبيعية، وكان تحت مسمى التخطيط المستند للموارد الطبيعية في تصميم الموقع، بهدف الحفاظ على المسطحات المائية والموارد الطبيعية الأخرى من خلال تخطيط استخدام الأراضى أولا ثم تصميم وتنسيق المواقع [16].

ثم ظهر مصطلح البنية التحتية الخضراء لأول مرة فى عام 1994 بولاية فلوريدا في تقرير لحاكم الولاية حول استراتيجيات الحفاظ على الأراضى، وأهمية تشييد بنية تحتية للنظم الطبيعية باعتبارها على قدر متساو من الأهمية بجانب البنية التحتية الرمادية إن لم تكن أكثر أهمية [17].

ثم انتشرت ممارسات البنية التحتية الخضراء بطرق مختلفة من قبل كيانات مختلفة ولكن يظل أساس تطبيقها يكمن في الحفاظ على الاتصالية بين العناصر الطبيعية في المدينة، سواء كانت حدائق مركزية أو غابات على مقياس واسع ثم الربط فيما بينها بالممرات المائية والأشجار والمتنزهات وصولا إلى الحدائق المنزلية الصغيرة، وتكمن أهمية هذا الربط في استعادة وحفظ الموائل البرية؛ وتنقية الهواء والماء؛ وتقليل متطلبات الطاقة؛ وتخفيف جزر الحرارة الحضرية؛ وعزل الكربون وتخزينه؛ وتعزيز الجماليات وقيم الممتلكات.

2-3 البنية التحتية الخضراء لإدارة مياه الأمطار

فى نهاية التسعينيات انتشر مفهوم البنية التحتية الخضراء في مجال إدارة مياه الأمطار المصاحبة للعواصف، حيث تم تصميم مجموعة متنوعة من الوسائل ذات تقنية بسيطة معتمدة على البيئة مثل التربة والنباتات التي تلتقط مياه الأمطار في موضع سقوطها وتصفيها وتنقيها، وهى بذلك تحاكى العمليات الطبيعية الهيدرولوجية وتقلل من الجريان السطحى الملوث، وتحول هطول الأمطار إلى موردا للمياه بدلا من كونه مصدر للملوثات [18].

هذه الوسائل يتم تصميمها وتنفيذها ضمن إطار تصميم وتنفيذ الموقع بمستويات مختلفة بدأ من الوحدات السكنية وصولا إلى مختلف الأماكن العامة في المدينة، وهى وسائل لا تستهلك طاقة وقليلة التكلفة من حيث الصيانة والتشغيل ولهذا يطلق عليها مصطلح التنمية منخفضة التأثير Low Impact Developmen (LID) ويستخدم هذا المصطلح على نطاق واسع مرادفا لمصطلح البنية التحتية الخضراء لإدارة مياه العواصف أو الأمطار.

1-2-3 مميزات نهج البنية الخضراء في إدارة مياه الأمطار

تكمن مميزات هذا النهج في الفوائد المباشرة وغير المباشرة التي يمكن تحقيقها بيئيا [19، 20]

فوائد بيئية مباشرة

- تقليل شدة الجريان السطحى الذى قد يتسبب في أحداث سيول جارفة؛
- تخفيف أحمال زائدة على شبكات الصرف الصحى التقليدية؛
- إعادة شحن وتغذية المياه الجوفية؛
- تنقية مياه العواصف من ملوثات الطرق قبل وصولها إلى مستجمعات المياه الطبيعية؛
- تخزين مياه الأمطار بتقنيات مبسطة غير مكلفة لإعادة استخدامها مرة أخرى.

فوائد بيئية غير مباشرة

- متوافق مع حماية واستعادة الدورة الهيدرولوجية الطبيعية، مما يدعم المرونة المناخية؛
- يوفر ويحافظ على موائل الحياة البرية؛
- يدعم نمو مظلة الأشجار لزيادة الظل، والذي يمكن أن يقلل بشكل كبير من تأثيرات الجزر الحرارية الحضرية؛

فوائد اجتماعية

- يضيف قيمة للممتلكات من خلال الاستخدام الفعال للمساحة والموارد؛
- توفير فرص متعددة الاستخدامات، التي تعمل على تحسين نوعية حياة المجتمع،
- يعزز تنسيق الموقع ليلائم الأنشطة السكنية.

3-3 نهج البنية التحتية الخضراء في المناخ الحار الجاف (المناطق القاحلة)

تصنف المناطق الحارة بمتوسط درجة حرارة يصل إلى 30 درجة مئوية لأغلب شهور العام أما المناطق الجافة هى التى تتلقى كمية أمطار تقل عن 25 ملم من المطر على مدار العام ، وبالتالى تصبح المناطق الحارة الجافة هى المناطق التى يزيد فيها معدل البخر عن معدل هطول المطر وندرة الغطاء النباتى [21].

ومن المتوقع أن تشهد هذه المناطق درجات حرارة أعلى في العقود المقبلة وستكون مواسم الجفاف أكثر حدة، على الرغم من أن التغيرات في كمية هطول الأمطار قد تختلف من منطقة لأخرى، إلا أنه يُتوقع هطول أمطار غزيرة وفيضانات وهو الأمر الذى يجعل المدن ذات المناخ الحار الجاف أكثر عرضة لمخاطر الجريان السطحى خاصة مع التوسع الحضرى المتزايد. يضاف لما سبق احتمالية نقص موارد المياه بسبب زيادة الطلب عليها واستخراج مزيد من إمدادات المياه الجوفية وقلة توافر المياه السطحية. لهذه الأسباب فإن البنية التحتية الخضراء ربما تكون أكثر أهمية في المناخ الحار الجاف، حيث أن الباحثين والمتخصصين في التصميم في هذه المناطق محدودة المياه يدركون أهميتها بشكل متزايد كنهج فعال ليس فقط لإدارة مياه الأمطار ولكن أيضًا للحفاظ عليها [20]

4-3 وسائل نهج البنية التحتية الخضراء

تختلف وسائل نهج البنية التحتية الخضراء في إدارة مياه المطر باختلاف الوظيفة التي تحققها وإمكانيات الموقع الذى تطبق فيه تلك الوسيلة، ويمكن تصنيف تلك الوظائف كما يلى

التخزين: مثل براميل المطر فوق سطح الأرض أو صهاريج كبيرة تحت سطح الأرض؛
البخر: مثل الأسطح الخضراء؛
التسلل: البلاط المنفذ للمياه؛
الترشيح البيولوجى: حدائق المطر و خلايا الاحتفاظ البيولوجى والخنادق الرطبة؛

الترشيح الجاف: مثل خنادق الترشيح؛ غرف الترشيح؛ الأبار الجافة
وفيما يلى سوف يتم شرح كل وسيلة مما سبق مع ذكر مميزاتها وكذلك الاعتبارات التصميمية والتنفيذية التى يجب مراعاتها لنجاح التطبيق.

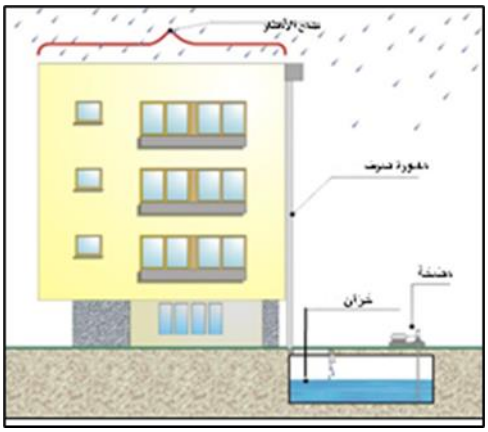
3-4-1 وسائل التخزين: براميل أو صهاريج المطر

هي وسيلة تصلح للتطبيق على مستوى المبنى سواء سكنى أو غير سكنى، حيث يتم جمع مياه الأمطار التي تسقط فوق سطح المبنى في براميل أو صهاريج مصنعة من مواد مناسبة لتخزين المياه، مما يساهم في تقليل الجريان السطحى أثناء هطول المطر [22] بالإضافة إلى أنه يمكن الاستفادة من تلك المياه على النحو التالى [23]:

- ري الحدائق المحيطة بالمبنى من خلال مخرج مزود بصنبور في الصهريج؛
- أعمال التنظيف داخل المبنى وخارجه؛
- إذا تمت معالجة المياه بأنظمة أخرى متطورة فيمكن استخدامها كمياه صالحة للشرب.

وتبلغ السعة النموذجية لصهاريج الأمطار للمنازل المنفردة من 190 إلى 400 لتر أما تلك المستخدمة في المنشأت الضخمة غير السكنية قد تبلغ سعتها من 750 إلى 40000 لتر [24] كما يتضح من شكلى 6 و 7.

شكل 6 تخزين مياه الأمطار في براميل فوق سطح الأرض [23]



شكل 7 تخزين مياه الأمطار في صهاريج تحت سطح الأرض [25]

3-4-1-1 مميزات وسائل التخزين

تعتبر هذه الوسيلة من أبسط التطبيقات التي تتعامل مع مياه الأمطار وتتميز بسهولة التنفيذ والصيانة ويمكن للسكان التعرف على طرق العناية والصيانة اللازمة للاستفادة من مياه الأمطار التي يتم جمعها، كما أنها مياه ليست محملة بالملوثات الجارية في الطرق لأنها تجمع من على أسطح المباني وبالتالي يمكن استخدامها في رى الأشجار المثمرة إذا ما تمت عملية تنظيف الصهاريج بانتظام، وقد أثبتت الدراسات إن إعادة استخدام تلك المياه يمكن أن يوفر من استهلاك المياه المنزلية بنسبة 55% منها مما يقلل الطلب على موارد المياه الأخرى [24].

3-4-1-2 اعتبارات التنفيذ [22]

- في الأجواء الباردة لابد أن يتم عزل صهاريج مياه الأمطار لمنع تجمد المياه بداخلها وذلك بأن تكون تحت الأرض على عمق مناسب أو يتم دمجها داخل المبنى؛
- في المناطق التي تتعرض لهطول الأمطار طول العام يجب أن يتم حساب سعة الصهريج بحيث يتناسب وكمية الأمطار ومعدل استهلاك المخزون منها؛
- في المناطق التي تتعرض لأمطار في مواسم محددة يجب الاهتمام بالتنظيف المستمر للصهاريج في مواسم الجفاف.

3-4-2 وسائل البخر / النتح: الأسطح الخضراء

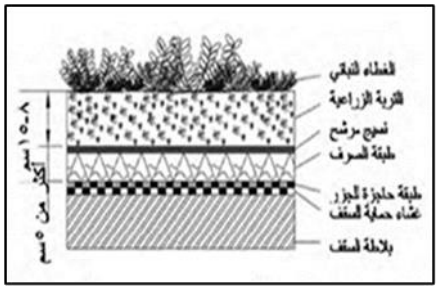
إن وسائل الأسطح الخضراء تعرف أيضا باسم الأسطح النباتية أو حدائق السطح وهى تبنى عن طريق إضافة غطاء نباتى وطبقة من التربة الزراعية للأسطح الخرسانية الصلبة للمباني السكنية وغير السكنية، وتعتبر الوسيلة الأكثر شيوعا فى قلب المناطق الحضرية. وهى تقلل من الجريان السطحى للأمطار بسبب اختزان وسط التربة لمياه الأمطار المتساقطة والتشبع بها ويقوم النبات بامتصاص هذه المياه في غير أوقات المطر ويعيده إلى الهواء عن طريق النتح. ويوجد نوعين من الأسطح الخضراء تبعا لنوعية النبات المستخدم كما يتضح من شكلى 8 و 9

- النوع الأول الأسطح الخضراء واسعة النطاق وهى تزرع بنباتات قصيرة عشبية خفيفة الوزن وغير عميقة الجذور تعتبر أسهل في الصيانة وأقل تكلفة، وهى تشكل حملا إضافيا على السطح يتراوح ما بين 60 إلى 100 كجم لكل متر مربع؛ ومن الممكن تجهيز حاويات (trays) عازلة للماء لهذا النوع وتركيبها في المكان مباشرة.
- النوع الثانى الأسطح الخضراء الكثيفة وهى تزرع بنباتات كثيفة شجرية ذات جذور أعمق وتحتاج لعناية أكبر وقدرة تحمل إنشائية أعلى حيث يتراوح الحمل ما بين 230 إلى 380 كجم لكل متر مربع.
- يمكن المزج مابين النوعين السابقين في تنسيق حدائقى للأسطح الخضراء.

يتكون السطح الأخضر من 6 طبقات أساسية تعلو الهيكل الخرسانى للسطح كما يتضح من شكل 10 وهى كالتالى [26]:
1 – طبقة النبات وهى إما تكون واسعة النطاق أو كثيفة أو مزيج من النوعين معا
2 – طبقة التربة الزراعية وهى تكون في حدود من 8 إلى 15 سنتيمتر للنباتات واسعة النطاق وفى حدود من 15 إلى 25 سنتيمتر للنباتات الكثيفة ويجب أن تكون خليط من الرمال والطين وتحتوى على نسبة ضئيلة من السماد العضوى (5%)،
3 – طبقة من نسيج مرشح لتصفية المياه الزائدة من الشوائب،
4 – طبقة للاحتفاظ بالرطوبة والصرف وهى تتكون غالبًا من عناصر البولي إيثيلين المعاد تدويرها بحيث تتشكل من منخفضات صغيرة تحتفظ بمياه الأمطار لامتصاص النبات خلال فترات الجفاف وتسمح بتصريف المياه الفائضة، ويختلف سمك هذه الطبقة اعتمادًا على مستوى إدارة الجريان السطحي المطلوب، وقدرة تحمل السطح.
5 – طبقة حاجزة للجذور وهى غشاء مطاطى يمنع تغلل الجذور ووصولها إلى السقف الانشائى،
6 – الطبقة الأخيرة عازلة للمياه والرطوبة والتى تعلو البلاطة الخرسانية للسقف مباشرة ويفضل ان تكون ذات سمك مناسب لحماية الهيكل الانشائى.

شكل 8 حديقة سطح كثيفة النبات [19]

شكل 9 حديقة سطح واسعة [19]



شكل10 قطاع في حديقة واسعة النطاق [26]

3-2-4-1 مميزات الأسطح الخضراء [19، 26، 27]

- يتمثل الهدف الأساسى من زراعة الأسطح هو التعامل مع مياه الأمطار أثناء العواصف لتجنب جريان سطحى غير مرغوب، وهو مايحدث بالفعل بسبب أن كمية كبيرة من مياه الأمطار تمتص عبر طبقة التربة الزراعية حتى التشبع مما يؤخر ذروة التدفق لمدة قد تصل إلى ساعة أو أكثر كما يمنع شدة الجريان السطحى بنسبة تتراوح من 50 إلى 90%.
- تعتبر الأسطح الخضراء ملائمة للمبانى السكنية والتجارية خاصة التى تتميز باتساع الأسطح ويمكن دمجها فى الأبنية الجديدة أو القديمة بعد التأكد من تدعيم الهيكل الإنشائى.
- تكون الأسطح الخضراء بمثابة عازل جيد للحرارة للفراغات الداخلية للمبنى وبالتالي تقل تكاليف استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 50% من تكلفة التبريد صيفا و25% من تكلفة التدفئة شتاءا.
- يساعد وجود السطح الأخضر على تقليل درجات حرارة الهواء حول المبنى، مما يقلل من تأثير الجزر الحرارية ويقلل من إنتاج الضباب الدخاني الذي يتشكل في الحرارة الشديدة فوق الأسطح التقليدية الكبيرة. كما أن الغطاء النباتي على الأسطح الخضراء يستهلك ثاني أكسيد الكربون ويزيد من المستويات المحلية للأكسجين والرطوبة.
- زراعة الأسطح تحمى سطح المبنى من أشعة الشمس الضارة مما يطيل العمر الافتراضى له.
- تساعد التربة والغطاء النباتي على تقليل انتقال الصوت، وبالتالي تقليل مستويات الضوضاء.
- توفر الأسطح الخضراء فرصا للزراعة الحضرية بالإضافة إلى الترفيه وتعزيز التفاعلات المجتمعية وزيادة القيمة الجمالية للبيئة الحضرية، كما أنها تنمى وعى المجتمع بأهمية الأمطار كمورد للمياه وتوفير فرص للتعلم.

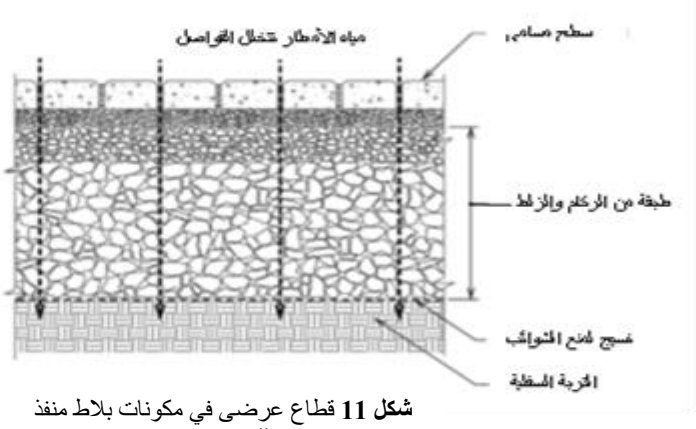
3-4-2-2 اعتبارات التنفيذ [27، 28، 29]:

- التأكد من تحمل الهيكل الإنشائى لأحمال الأسطح الخضراء التي تزيد من الأحمال الكلية وبشكل عام إذا زاد وزن المتر المربع للسطح النباتى عن 80 كجم فإنه يجب استشارة المهندس الإنشائى، ويجب الإشارة إلى ظهور شركات متخصصة في تصميم وتنفيذ الأسطح النباتية خفيفة الوزن.
- الاهتمام بالعزل الجيد للسطح الإنشائى وحمايته من الرطوبة والماء ومنع اختراق الجذور عن طريق تركيب طبقة حاجزة له، وفى بعض الأحيان يفضل تزويد حديقة السطح بأجهزة متطورة تكشف عن أماكن تسرب الماء.
- يجب دراسة موقع السطح من حيث الشمس والإظلال واتجاه الرياح ويفضل أن تتعرض النباتات للشمس.
- اختيار النباتات الملائمة للبيئة المحلية منخفضة النمو وتتحمل فترات الجفاف، والاهتمام بالرى المكمل في غير أوقات المطر، ويمكن إضافة نظام للرى فى أوقات محددة فى حالة الأسطح الخضراء الكثيفة.
- لا يفضل اللجوء لوسيلة الأسطح الخضراء في المناطق التي يكون فيها إعادة تغذية المياه الجوفية أو السطحية له الأولوية.
- لا يفضل تركيب الأسطح الخضراء على الأسقف المائلة بدرجة تزيد عن 30 أفقيا.
- ضرورة تسهيل الوصول للسطح بطريقة أمنة للعناية بالنباتات وتوفير أماكن تخزين للأدوات المستخدمة.

3-4-3 وسائل التسلل: الأسطح المنفذة للمياه [30]

نظرًا لأن الأسطح الصلبة تعتبر سبب رئيس لجريان مياه الأمطار فإن نهج البنية التحتية الخضراء يوصى بالرصف المنفذ للمياه في مناطق تتخلل تلك الأسطح الصلبة، يسمح هذا الرصف لمياه الأمطار بالتسلل من خلاله عبر طبقات الأرض وصولا إلى مستوى المياه الجوفية، ويتكون الرصف المنفذ من سطح مسامى محمول على طبقات محددة هندسيا من الزلط والركام مما يسمح بمرور مياه المطر فور سقوطها كما يتضح من شكلى 11 و 12.

هذه الأسطح قد تكون أسفلت مسامى أو خرسانة مسامية سابقة التصنيع أو بلاطات أسمنتية، ويتم تصميم الطبقات التي توضع أسفل الأرضية المنفذة بمواصفات هندسية تسمح بتسلل جيد للمياه، ويمكن تزويد طبقة الزلط والركام بأنبوب مثقوب ينقل الماء الزائد إلى شبكات الصرف القريبة إذا كانت التربة الطبيعية للموقع قليلة النفاذية للماء.



شكل 11 قطاع عرضى في مكونات بلاط منفذ للمياه [30]

شكل 12 بلاطات أسمنتية منفذة للمياه [30]

3-4-3-1 مميزات الأرصفة المنفذة

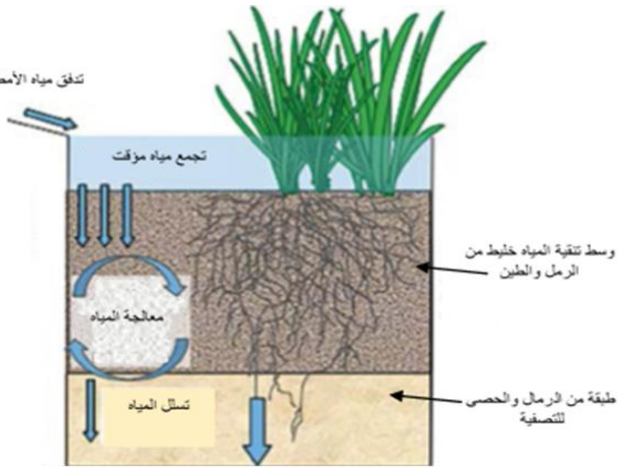
- تقليل شدة الجريان السطحى
- إعادة شحن المياه الجوفية
- تنقية مياه المطر من الشوائب
- مناسبة للمناطق الحضرية القائمة بالفعل

3-4-3-2 اعتبارات التنفيذ

- تقل قدرة تحمل تلك الأسطح للأوزان الثقيلة مقارنة بالأسطح الصلبة لذا يفضل أن تكون في ممرات المشاة أو ممرات ركوب الدراجات أو في أماكن انتظار السيارات؛
- لأن هذه الوسيلة ليست مصممة لفلترة المياه فور سقوطها لذا لا يفضل وجودها بجانب مناطق ذات أحمال ملوثات عالية حتى لا تتسرب تلك الملوثات مع مياه المطر؛
- غير مناسبة للأماكن شديدة الازدحام أو تلك المعرضة لكثافة مرورية عالية؛
- يجب تنظيف السطح المنفذ عقب العواصف الترابية الشديدة لأن الرمال تتخلل في المسام وتسبب انسدادها.

4-4-3 وسائل الترشيح البيولوجى

هى وسائل تلتقط مياه الأمطار فور سقوطها أو ما يرد إليها من الأسطح الصلبة المجاورة، ومن خلال الخصائص الطبيعية للتربة والغطاء النباتى تقوم هذه الوسائل بترشيح المياه وتخليصها من الرواسب الخشنة والملوثات العالقة عبر أوراق وسيقان النبات، ثم تعمل الجذور على امتصاص المركبات العضوية وفى النهاية يتم تنقية المياه عبر طبقات محددة من التربة، وذلك قبل تسللها لأسفل لشحن المياه الجوفية أو جمعها وتخزينها أو تصريفها نحو مستجمع مياه سطحي. ويوضح الشكل 13 كيفية عمل هذه المرشحات، ومن أشهر أنواع هذه الوسائل حدائق المطر (شكل 14) وأحواض الاحتفاظ البيولوجى (شكل15) والخنادق العشبية أو الخنادق الرطبة (شكل16).



شكل 13 قطاع عرضى لنموذج مرشح بيولوجى [31]

شكل 14 نموذج لحديقة المطر كجزء من تنسيق الموقع السكنى [32]

1-4-4-3 مميزات المرشحات البيولوجية [31، 35]:

مرونة التصميم من حيث اختيار الحجم والموقع ونوعية النبات الملائم للبيئة، حيث يمكن دمجها في قلب البيئات الحضرية كعنصر جمالى وأيضا تناسب البيئات السكنية متخللة الحدائق والممرات الصغيرة.

- تزيل الملوثات مثل عنصرى النيتروجين والفوسفور بنسبة تتراوح من 50 إلى 65 % اعتمادا على نوعية النبات المستخدم وأيضا حجم الجريان السطحى الوارد إليها.
- تزيل الرواسب بنسبة 95 % إذا تم اختيار وسط ترشيح جيد.
- تعمل جذور وسيقان النبات على الحفاظ على مسامية التربة وبالتالي تقاوم الانسداد.
- تقلل من شدة تدفق المياه أثناء الجريان السطحى بنسبة كبيرة وتساهم في إعادة شحن المياه الجوفية.
- الصيانة سهلة وغير مكلفة وتشبه صيانة الحدائق العادية.
- يؤدي استخدام المرشحات البيولوجية إلى تقليل التكاليف المطلوبة لإنشاء أنظمة نقل مياه الأمطار التقليدية في موقع ما وتقليل العبء على المرافق المركزية الكبيرة.

2-4-4-3 اعتبارات التنفيذ [24]

- يمكن للمرشحات البيولوجية التعامل مع مياه الأمطار للعواصف الصغيرة والمتوسطة بكفاءة، أما في حالة العواصف الشديدة فإنه يفضل دمج وسائل البنية التحتية الخضراء مع البنية التحتية التقليدية للتعامل معها
- حدائق المطر تستطيع احتواء الجريان السطحى الوارد إليها من أسطح صلبة لا تتجاوز مساحتها 2 هكتار (5 فدان تقريبا)
- يفضل تجنب إقامتها بجوار نقاط التلوث الساخنة مثل محطات الوقود والمناطق الصناعية وما شابه ذلك
- تجنب إقامتها فوق شبكات الصرف الصحى أو بجوار الأساسات للمبانى أو بجوار جذور الأشجار العميقة ويفضل أن تكون على بعد منهم لا يقل عن 3 أمتار، وفى مناطق مشمسة ومستوية أو ذات انحدار لا يزيد عن 1 :10 .
- يجب إجراء اختبار الترشيح على التربة التي سوف يتواجد بها المرشح البيولوجى للتأكد من قدرتها على تصريف مياه المطر بكفاءة، بالإضافة إلى الاهتمام بزراعة النباتات ذات الجذور الغليظة لتساعد في تنقية المياه قبل التسلل لباطن لأرض.

- عند حدوث العاصفة يمتلئ سطح المرشح ببركة من الماء التى يجب ألا يزيد ارتفاعها عن 20 سم وأن تكون مؤقتة بحيث تجف في أقل من 24 ساعة لمنع تكاثر البعوض.
- عندما لا يكون مطلوب إعادة شحن المياه الجوفية في منطقة حضرية معينة، فإنه في هذه الحالة يجب تبطين القاع بطبقة عازلة ودمج أنبوب مثقوب لنقل الماء الزائد لأقرب تجمع للمياه السطحية أو لشبكات الصرف الصحى.

3-4-5 خنادق الترشيح الجافة [24] (خنادق التسلل) Infiltration trenches

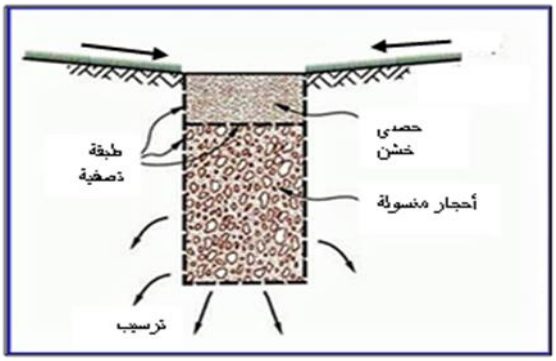
هى وسائل تعتمد على تنقية مياه المطر وعزل الرواسب من خلال وسط مسامى جاف مثل الرمال أو الحصى وذلك بواسطة خنادق مستطيلة مبطنة بنسيج تنقية من الشوائب ومملوءة بأحجار نظيفة، تعمل على تنقية مياه الأمطار من الشوائب والمواد

شكل 15 حوض احتفاظ بيولوجى [33]

شكل 16 خندق عشبى لترشيح مياه المطر [34]

العالقة قبل تسللها من خلال التربة للمياه الجوفية (شكل 17)، وهى مناسبة للمواقع التي تقتصر فيها المساحات المتاحة لتصريف الأمطار على ممرات أو شرائح ضيقة بين الممتلكات (شكل 18).

وتعتمد فكرة خنادق الترشيح على تخزين المياه فى الفراغات بين الأحجار ثم تتسرب المياه ببطء إلى باطن الأرض لشحن المياه الجوفية، وتوضع طبقة أفقية من نسيج التصفية أسفل سطح الخندق مباشرة مغطاه بطبقة إضافية من الحصى الخشن



شكل 17 نموذج قطاع عرضى في خندق ترشيح جاف [36]

شكل 18 خندق ترشيح [36]

بارتفاع لا يزيد عن 15 سم تساهم فى الاحتفاظ بمزيد من الرواسب بالقرب من السطح مما يحول دون انسداده بالكامل وإمكانية تغيير طبقة الحصى العلوية فقط [27]، ولأنها تتكون من الحصى والأحجار أسفل سطح الأرض فإنها لا تلعب دورا كبيرا في تنسيق المناظر الطبيعية للموقع.

3-4-5-1 مميزات خنادق الترشيح

- تقليل حجم الجريان السطحى لمياه الأمطار في العواصف الصغيرة والمتوسطة؛
- تقليل مخاطر الفيضانات الحضرية في اتجاه الأنهار أو المسطحات المائية؛
- إعادة شحن المياه الجوفية؛
- يحافظ على التوازن المائى الطبيعى للموقع؛
- مناسبة للتطبيق في المساحات المحدودة والتي لا تتطلب الاهتمام بتنسيق مسطحات خضراء؛

- يمكن للخندق الواحد استيعاب الأمطار الجارية من مسطح 5 أفدنة كحد أقصى [37]؛
- كفاءة إزالة الملوثات مثل النيتروجين والفوسفور وبعض المعادن بنسبة تصل إلى 70% و 80% [38].

3-4-5-2 اعتبارات التنفيذ

- تتوقف كفاءة عمل خنادق التسلل على معدل نفاذية التربة الطبيعية للموقع، وبالتالى يجب إجراء اختبار للتربة وأن لا تزيد نسبة الطمى أو الطين لها عن 40% بحد أقصى؛
- يفضل أن لا يتم استقبال مياه الأمطار من مناطق عالية التلوث مثل محطات التزود بالوقود أو المناطق الصناعية؛
- يجب المعالجة المسبقة للمياه قبل دخولها لخندق التسلل خاصة من الطرق كثيفة الحركة؛
- يجب حفر خندق الترشيح على بعد لا يقل عن 4 أمتار من أساسات المبانى، و30 متر من أبار المياه الخاصة، 366 متر من أبار المياه العامة، 122 متر من مسطحات المياه مثل الأنهار [37]؛
- يعمل خندق الترشيح على تصريف مياه الأمطار التى تتدفق على فترات متقطعة ويكون غير مناسب فى المناطق التى يكون سقوط الأمطار بها مستمر؛
- أهمية الكشف عن مدى تسلل مياه الأمطار بعد كل عاصفة ممطرة كبيرة وتنظيف وإعادة تأهيل الجزء العلوى من الخندق؛
- لتجنب مخاطر تلوث التربة وبالتالى تلوث المياه الجوفية تشير الأدلة المتوفرة من دراسات المراقبة إلى أن خنادق الترشيح الموزعة الصغيرة لا تلوث التربة الأساسية حتى بعد 10 سنوات من التشغيل [24].

تجدر الإشارة إلى وجود وسائل أخرى للترشيح الجاف مثل:

- الأبار الجافة وهى غرف صغيرة تحت الأرض يتم توصيلها بماسورة صرف الأمطار من أسطح المنازل المنفردة؛ شكل 19 [39]
- غرف الترشيح وهى مشابهة لخندق الترشيح ولكنها تتطلب مسطحات كبيرة لإنشائها تحت الأرض مثل مناطق انتظار السيارات. شكل 20 [24]

يتضح من تناول وسائل البنية التحتية الخضراء الأكثر شيوعا عبر العالم أنها بالرغم من كونها ذات عدة فوائد بيئية واجتماعية مباشرة، إلا أن تطبيقها يتطلب اعتبارات عديدة تتعلق بالجوانب المختلفة للموقع، ويلخص الجدول 2 الفوائد البيئية والاجتماعية لوسائل البنية التحتية الخضراء التي تم شرحها

شكل 19 بئر جاف [39]

شكل 20 غرف الترشيح [24]

والاجتماعية لوسائل البنية التحتية الخضراء
المصدر: الباحثة بناء على الدراسة النظرية

	الفائدة / الوسيلة	جمع مياه المطر	الأسطح الخضراء	الأسطح المنفذة	الترشيح البيولوجى	الترشيح الجاف
فوائد بيئية	تحسين جودة المياه	■	■	□	■	■
	الحد من خطورة الفيضانات	■□	■	■	■	■
	تخفيف الضغط على شبكات الصرف	■	■	■	■	■
	تقليل الطلب على موارد المياه الأخرى	■	■	□	□	□
	إعادة شحن المياه الجوفية	□	□	■	■	■
	تحسين جودة الهواء	□	■	□	■	□
	تقلل من تأثير الجزر الحرارية	□	■	□	■	□
فوائد اجتماعية	تحقيق قيم جمالية	□	■	□	■	□
	تقلل من الضوضاء	□	■	□	■□	□
	خلق أماكن ترفيه	□	■	□	■□	□
	تحقيق ترابط اجتماعى	□	■	□	□	□
	تدعم الزراعة الحضرية	■	■	□	■	□
	تعزز الوعى وفرص الثقافة	□	■	□	■	□

■يحقق الفائدة □لا يحقق الفائدة ■□ يحققها جزئيا

يتضح من الجدول السابق أن كل من وسيلة زراعة أسطح المباني ووسيلة الترشيح البيولوجى يعتبران من أكثر وسائل البنية التحتية الخضراء تحقيقا للغالبية العظمى من الفوائد البيئية والاجتماعية.

باستعراض ما سبق يكون قد تم تغطية المحورين الأول والثانى من هذه الدراسة، وسوف يتم في الجزء التالى تناول المحور الثالث وهو دراسة بعض من التجارب القائمة على نهج البنية التحتية الخضراء، والتي اتبعت لإدارة مياه الأمطار باعتبارها مورد تنموى هام معرض للخطر بسبب التغيرات المناخية.

4- تجارب قائمة على نهج البنية التحتية الخضراء

تم اختيار التجارب فى ثلاث مدن مختلفة و هي مدينة نيو أورلينز بولاية لويزيانا الأمريكية ومدينة أمستردام عاصمة هولندا ومدينة القاهرة الجديدة في مصر، وقد روعى أن تكون تجارب ذات تنوع في الخصائص التالية (جدول 3)

1. حجم الموقع التي يطبق فيه نهج البنية التحتية الخضراء؛
2. طبيعة المناخ وبالتالي اختلاف المخاطر الناجمة عن التغيرات المناخية؛
3. استخدام وسائل مختلفة للبنية التحتية الخضراء؛
4. الهدف الذى من أجله يتم اتباع هذا النهج.

جدول 3 مقارنة خصائص التجارب العالمية الواردة في البحث
المصدر الباحثة

المدينة	طبيعة المناخ	طبيعة المخاطر	حجم الموقع	الوسائل المستخدمة	الهدف من التجربة
نيو أورلينز	حار رطب	أعاصير مدمرة	مدرسة	احتباس حيوى وتجميع مياه وحدائق سطح	تعليمى اجتماعى وترفيهى
أمستردام	بارد رطب	فيضانات حضرية	حى سكنى	تجميع مياه وحدائق سطح	إدارة وتخزين مياه الأمطار
القاهرة الجديدة	حار جاف	الجريان السطحى	مدينة	حدائق مطر وخنادق جافة وبلاط منفذ	حماية شبكات الصرف والممتلكات

4-1 مدينة نيو أورلينز

تقع مدينة نيو أورلينز على ضفاف نهر المسيسيبي في أتجاه مصب خليج المكسيك، وهى أكبر مدن ولاية لويزيانا الأمريكية.

4-1-1 الطبوغرافية والمناخ

تحيط المياه بالمدينة من ثلاث جهات وهى ذات مستوى منخفض نسبيا عن مستوى المياه، تم بناء نيو أورلينز على مستنقعات منخفضة على طول نهر المسيسيبي وجزء كبير من مساحتها المجاورة للنهر يتسم بالمنحدرات والتعاريج الرطبة (أهوار) [40] ومناخ المدينة شبه استوائى فالصيف طويل حار شديد الرطوبة تتراوح معدلات درجة الحرارة من 32 إلى 40 درجة مئوية، والشتاء قصير معتدل يندر فيه تساقط الثلوج، ويبلغ معدل الأمطار السنوي 1590 ملم /سنة أغلبها تسقط في فصل الصيف بسبب عواصف استوائية [41]

4-1-2 مخاطر تغير المناخ

تشكل الأعاصير تهديدا عالى الخطورة للمدينة بسبب انخفاض منسوبها عن منسوب المياه المحيطة بها، ووفقا لإدارة الطوارئ الفيدرالية فإن نيو أورلينز من أكثر المدن المهددة بالأعاصير ومعرضة بشكل خاص لأخطار التغيرات المناخية مثل ارتفاع سطح البحر والحرارة الشديدة والأمطار غزيرة الهطول، مما قد يؤدى إلى تدهور الأراضى الرطبة [42]. ويعتبر إعصار كاترينا 2005 من أشد تلك الأعاصير تدميرا حيث تسبب في انهيار السدود وغرق 80 بالمائة من المدينة [40]

4-1-3 نهج البنية التحتية الخضراء [42]

قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) بتبنى مشروع تجريبي في أحد الأحياء في المدينة وقد تم اختيار أكثر الأحياء تضررا من إعصار كاترينا وهو حى (Lower Ninth Ward) لبناء وسائل البنية التحتية الخضراء في المدارس والحدائق العامة، وذلك بهدف دعم المرونة الحضرية، وتوعية السكان وطلاب المدارس بكيفية التعايش مع مياه الأمطار الغزيرة واعتبارها موردا هاما بدلا من كونها مصدرا للتهديد. وتتلخص فائدة هذا المشروع فى استخدام البنية التحتية الخضراء لتعزيز الفرص التعليمية بالتركيز على المدارس، وقد تم اختيار إحدى المدارس الثانوية التي سبق ودمرت تماما في الإعصار وهى مدرسة (Lowless High School) كما يتضح من الشكل (21)، مما يتيح فرص أكبر للتوعية بأهمية ممارسات البنية التحتية الخضراء في دعم التماسك المجتمعى وتقديم خدمات أيكولوجية بالإضافة إلى اعتبارها وسيلة تعليمية يمكن تكرارها في مواقع مشابهة مما يحدث تغييرا نوعيا في مفهوم الأفراد عن كيفية التعامل مع مياه الأمطار. ويوضح شكل (22) حالة موقع المدرسة قبل المشروع

شكل 21 الموقع العام لمشروع البنية التحتية الخضراء 1-فناء المدرسة2- مبانى المدرسة [42]

شكل 22 حالة الموقع العام قبل المشروع [42]

استخدمت الأشجار التاجية كسياج للفناء وأماكن الانتظار وأيضا أحواض الاحتباس البيولوجى على أطراف الموقع، وتم تقسيم أسطح الأبنية المدرسية ما بين مناطق تجميع مياه الأمطار في صهاريج ومناطق ذات سطح أخضر كما يتضح في شكل 23

شكل 23 الموقع العام للمدرسة [42]

شكل 24 جانب من فناء المدرسة وهو حديقة ترفيهية

ويوضح شكل 24 جانب من فناء المدرسة وهو منطقة خضراء ترفيهية.

2-4 مدينة أمستردام

هي عاصمة هولندا وأكبر مدنها تقع في الشمال الغربى في مقاطعة شمال هولندا حيث تبعد عن بحر الشمال 22 كم فقط.

1-2-4 الطبوغرافية والمناخ [43]

تبلغ مساحة المدينة 219 كم مربع ويمر بها نهر الأمستل الذى يتفرع منه العديد من القنوات التي تتخلل أحياء المدينة، وتشكل الحدائق والمحميات الطبيعية نحو 12 % من مساحتها. والمناخ بارد رطب ممطر شتاءا ومعتدل صيفا، حيث يبلغ كمية الأمطار 850 ملم / سنة موزعة على فصلى الخريف والشتاء على هيئة زخات متقطعة، الرياح مستمرة طول العام وشديدة في أحيان كثيرة، يندر سطوع الشمس في أشهر الشتاء كما يكون على فترات قليلة في الصيف.

2-2-4 مخاطر تغير المناخ [44]

تقع هولندا بالكامل تقريبا في أرض منخفضة عن سطح البحر مما يعرضها للغمر بالمياه حال ارتفاع منسوب البحر جراء الاحترار العالمى، كما أن متوسط درجات الحرارة في المدن الهولندية ارتفع بمقدار 1.7 درجة مئوية منذ عام 1900 وحتى 2017، نتيجة لذلك تتعرض المدن الهولندية ولاسيما أمستردام لتأكل السواحل بالإضافة إلى ازدياد فترات هطول الأمطار المصاحبة للعواصف الشديدة. ووفقًا لتقرير لوكالة التقييم البيئي الهولندية فإن 29٪ من هولندا معرضة لخطر فيضان الأنهار كما أن 55٪ من البلاد معرضة لخطر الغمر تحت الماء، وأنه ينبغي اعتبار هولندا حساسة للفيضانات بسبب تغير المناخ.

3-2-4 نهج البنية التحتية الخضراء [45]

قام الاتحاد الأوروبى بمبادرة لتشجيع الحلول المبتكرة التي تهدف لمواجهة التحديات الحضرية المختلفة، وذلك بالتعاون مع شركاء التنمية في المدن التابعة للاتحاد، ومن ضمن تلك الحلول مشروع يهدف للتكيف مع التغيرات المناخية من خلال الدمج بين الطبيعة (المسطحات الخضراء والزرقاء) والحلول التكنولوجية الذكية وهو مشروع RESILIO الذى يرمز إلى:

"Resilience network of smart innovative climate adaptive rooftops"

وقد تم البدء في المشروع عن طريق اختيار أحد الأحياء السكنية التي تضم مجموعة من مبانى الإسكان الاجتماعى، والتي تتعرض للتلفيات سواء في أسطح المبنى أو شبكات الصرف جراء أحداث الفيضانات الحضرية المتكررة وهو حى Slotermeer السكنى بوسط امستردام (شكل 25). ويتلخص المشروع في إنشاء أسطح خضراء فوق عدد محدد من المبانى ويتميز بإمكانية تخزين مياه الأمطار في حاويات خاصة ويوضح شكل 26 مواقع تلك المبانى

شكل 25 الحى السكنى Slotermeer [45]

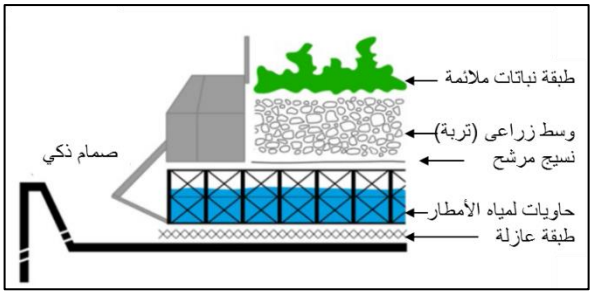
شكل 26 أسطح المنازل المختارة بلون اخضر [45]

4-2-4 الدمج بين الأسطح الخضراء والحلول الذكية

أتفق شركاء المصلحة في مبادرة Recilio على تحويل 10000متر مربع من أسطح المباني السكنية إلى أسطح خضراء وزرقاء تكون من أهم وظائفها هو استيعاب مياه الأمطار الغزيرة وتخزينها كما يظهر في شكل 27 [46]، مع تزويد الأسطح بتكنولوجية ذكية لتعظيم الفائدة منها كما يلى [47]:

1. سقف أخضر مبتكر خفيف الوزن؛
2. أجهزة للتنبؤ بموعد هطول الأمطار؛
3. أجهزة استشعار تقيس حالة النبات ومستوى المياه في الحاويات؛
4. صمامات ذكية لتصريف المياه الزائدة ببطء قبل حدوث أمطار جديدة؛
5. أنابيب ليفية دقيقة لري النبات بالمياه المخزنة في الحاويات أثناء فترات انقطاع المطر؛
6. أجهزة دقيقة وحساسة لقياس درجات الحرارة والرطوبة في التربة والنبات وأيضا قياس سرعة الرياح.

ويوضح الشكل 28 أحد تلك الأسطح بعد الإنتهاء منه



شكل 27 مكونات الأسطح الخضراء التي تم تنفيذها [46]

شكل 28 الشكل النهائي لأحد الأسطح الخضراء [45]

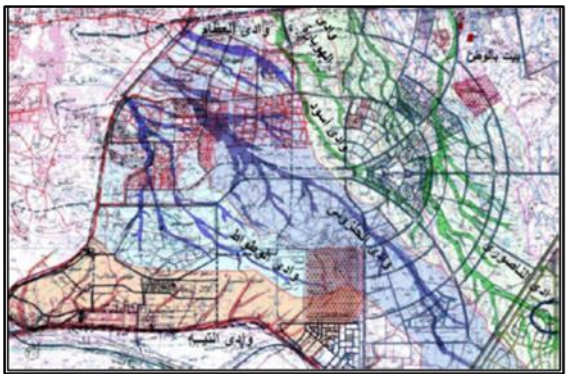
يمكن القول أن تلك الأجهزة الذكية من شأنها أن توفر قاعدة معلومات ضخمة تفيد البحث العلمى في هذا المجال، وهو الأمر الذى يعتبر أحد المكاسب الإضافية لهذا المشروع بجانب نجاحه في التكيف مع أحداث الفيضانات الحضرية المتزايدة على المدينة. ويعتبر هذا المشروع (2016 – 2021) هو بداية لتعميم تنفيذ تلك الأسطح الذكية في باقى أحياء المدينة.

3-4 مدينة القاهرة الجديدة

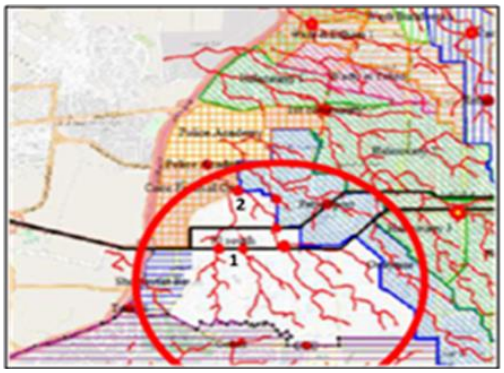
تقع المدينة فى القوس الشرقى لإقليم القاهرة الكبرى وتم البدء فى تأسيسها عام 2000 لكى تكون بمساحة 70580 فدان ثم أضيفت لها مساحة 15 ألف فدان شرقا وجنوبا ليصبح إجمالى مساحتها 85580 فدان [48]

1-3-4 الطبوغرافية والمناخ [48، 49]

ترتفع المدينة فوق سطح البحر 350 متر جهة الشرق والجنوب ويبلغ أقل ارتفاع لها 170 متر فوق سطح البحر فى الشمال الغربى، ويمر بها عدد من مستجمعات المياه الطبيعية (الأودية) أشهرها وادى الحلزونى ووادى الوطواط (شكل 29)، وتتسم طبيعة التربة بأنها تربة رملية ذات مسامية تصل إلى 30% ويتخللها بعض التكوينات الصخرية في الجنوب، ولم يثبت وجود مياه جوفية في المنطقة على عمق قريب. مناخيا تعتبر مدينة القاهرة الجديدة من المناطق الصحراوية الجافة التي يندر بها سقوط الأمطار، فهى لا تتجاوز 34ملم طول العام وتتركز أغلب فترات المطر في شهور الشتاء من ديسمبر حتى مارس، ومعدل تكرار العواصف الشديدة هو مرة كل مائة عام بهطول مطرى يبلغ 46 ملم في العاصفة الواحدة وهو ما حدث بالفعل في عاصفة 13 مارس 2020.



شكل 29 الخريطة المساحية الرسمية للقاهرة الجديدة موضحا بها الأودية الطبيعية لتجمع المياه [49]



شكل 30 تقاطع المحاور الرئيسية مع الأودية الطبيعية لتجمع المياه، [50]

2-3-4 مخاطر تغير المناخ

لم يعتمد المخطط العمرانى للمدينة على اتباع مسارات أودية المياه الطبيعية والتي تكونت عبر التاريخ وذلك بسبب شدة جفاف المنطقة وندرة الأمطار، ولكن بعد حدوث هطول مطرى شديد في ثلاثة أعوام متعاقبة من 2018 إلى 2020 على المدينة، تم رصد حركة الجريان السطحى لمياه الأمطار وتجمعها في مناطق معينة على المحاور الرئيسية للمدينة مسببة العديد من المشاكل والخسائر، وذلك نتيجة لتقاطع تلك المحاور مع هذه الأودية وخاصة وادى الحلزونى ووادى الوطواط كما يتضح من الشكل (30).

نتج عن هذه التقاطعات حدوث تجمعات كبيرة للمياه بالمحاور الرئيسية للمدينة وذلك أثناء عاصفة 13 مارس 2020، حيث بلغ حجم مياه الأمطار 5 مليون متر مكعب في يوم واحد في حين أن أقصى قدرة استيعابية لشبكات الصرف هي ربع مليون متر مكعب يوميا فقط، مما يؤكد استحالة صرف تلك الأمطار من خلال شبكات الصرف الصحى ويجب البدء في إيجاد حلولا واقعية للتعامل مع مثل هذه العواصف لتلافى الأضرار والخسائر الناجمة عنها [49].

3-3-4 نهج البنية التحتية الخضراء [50]

تم اختيار نهج البنية التحتية الخضراء وهى تعتبر الأكثر ملائمة للوضع العمرانى القائم بناء على إمكانيات تسريب مياه الأمطار خلال مسامية التربة واستخدام النباتات الملائمة للبيئة، حيث ترتكز الحماية الأساسية على تصميم الحدائق والجزر الوسطى في الشوارع وعمل البلاطات المنفذة فى الطرق التي تتدفق إليها المياه كأدوات مدروسة لتحرك مياه الأمطار داخلها، عن طريق اختيار مجموعة من الحدائق في مسارات تجمع المياه، يتمّ خفض منسوبها عن منسوب الطرق والمباني المحيطة بها لكى تتحرك مياه الأمطار نحوها وتتسرب من خلال التربة. وبالتالى فقد تم تحديد مواقع 12 حديقة لتجهيزهم كحدائق أمطار بمناطق مختلفة بإجمالى سعة تسريب وتخزين جوفى يبلغ 168 ألف متر مكعب من مياه الأمطار، تم الانتهاء من تنفيذ 4 حدائق منهم بالفعل نجحوا في استيعاب وتسريب المياه الواردة إليهم بنسبة 100% أثناء اختبارهم.

شكل 31 أماكن تراكم المياه ومسارات الجريان السطحى ومواقع حدائق المطر
الباحثة بناء على الزيارات الميدانية

1-3-3-4 المرحلة الأولى حماية محور التسعين الجنوبى

حيث تم إنشاء 3 حدائق عميقة في مسارات تدفق المياه وعمل تبليط مسامى في كل من طريق الخدمة الملاصق للمحور وشارع (1) الموازى له كما يتضح من الشكل 31

وتوضح الأشكال (32، 33، 34) حدائق المطر والتبليط المسامى الذى تم الانتهاء من إنشائهم واختبارهم

شكل 32 أحد حدائق المطر العميقة
الباحثة فى2022/3/31

شكل 33 بلاط منفذ للمياه في شارع الخدمة
بمحور التسعين الجنوبى
الباحثة في 2022/3/31

شكل 34 بلاط منفذ للمياه في شارع (1)
الموازى لمحور التسعين الجنوبى
الباحثة في 2022/3/31

شكل 35 1- حديقة المطر أمام مسجد الشرطة 2- خندق التسلل بمحور العروبة (الباحثة بناء على الزيارات الميدانية)

شكل 36 حديقة مسجد الشرطة (الباحثة 2022/3/31)

شكل 37 خندق التسلل الجاف بمحور العروبة (الباحثة 2022/3/31)

4-3-3-2 المرحلة الثانية حماية محور العروبة

وهى منع وصول المياه وتراكمها أمام مسجد الشرطة من خلال وسائل البنية التحتية الخضراء وهي: حديقة مطر عميقة أمام المسجد بمسطح 10600 متر مربع، خندق تسلل جاف محاط بشرائط عشبية للتنقية في الجزيرة الوسطى لمحور العروبة بطول 2 كيلومتر [50]. وقد تم تنفيذ كل من الحديقة وخندق التسلل الذى تم اختباره بنجاح.
ويتضح من شكل 35 الموقع العام لحديقة مسجد الشرطة ومحور العروبة ويوضح كل من شكل 36 و 37 الحديقة وخندق التسلل بمحور العروبة على الطبيعة بعد الانتهاء من تنفيذهما.

4-3-3-3 المرحلة الثالثة استكمال أعمال البنية التحتية الخضراء [50]

وذلك لصرف مياه المطر بمركز المدينة عن طريق

- تنفيذ مجموعة من الحدائق العميقة (A) وعددهم 6 حدائق تم الانتهاء من 3 حدائق منهم بالفعل؛
- تنفيذ مجموعة من الحدائق السطحية (B) وعددهم 6 حدائق؛
- تنفيذ طرق ذات تبليط مسامى منفذ للمياه في عدة أماكن لانتظار السيارات في مركز المدينة عند نقاط تجمع المياه أمام المستشفى الجوى ومجمع البنوك والمطاعم؛
- إغلاق بلاعات صرف المطر في المناطق التي تم تغطيتها بمنظومة البنية التحتية الخضراء.

4-3-3-4 ملاحظات ميدانية

لاحظت الباحثة وجود إهمال واضح في الاهتمام بنظافة حدائق المطر العميقة التي اكتملت وكذلك خندق التسلل الجاف بمحور العروبة، وهو الأمر الذى يعنى بالتبعية إهمال عنصر الصيانة مما ينبئ باحتمال تعرض تلك المشروعات للفشل والانهيار أمام أول عاصفة ممطرة تهاجم القاهرة الجديدة. كما يتضح من الأشكال 38، 39، 40.

الأشكال 38، 39، 40
جانب من الإهمال في نظافة مشروعات البنية التحتية الخضراء بمدينة القاهرة الجديدة كما رصدته الباحثة في الزيارات الميدانية

4-4 الدروس المستفادة من التجارب السابقة

من استعراض التجارب السابقة يمكن استخلاص مايلى

- إن تجربة مدرسة نيو أورلينز تعتبر نموذجا جيدا لإتاحة فرص أكبر للتوعية بأهمية ممارسات البنية التحتية الخضراء في دعم التماسك المجتمعى وتقديم خدمات أيكولوجية، بالإضافة إلى اعتبارها وسيلة تعليمية يمكن تكرارها في مواقع مشابهة مما يحدث تغييرا نوعيا في مفهوم الأفراد عن كيفية التعامل مع مياه الأمطار، ولكنها في الوقت ذاته لا يمكن الاعتماد عليها وحدها في مواجهة الأعاصير العنيفة مثل إعصار كاترينا.
- إن تجربة مدينة أمستردام تعتبر نموذجا رائدا في الدمج بين وسائل البنية التحتية الخضراء ووسائل التكنولوجيا الذكية من أجل التكيف مع التغيرات المناخية، وذلك مع الأخذ في الاعتبار لأهمية وجود الدعم الكافى لتمويل مثل تلك التجارب وأيضا الاستمرار في الاستفادة من قاعدة المعلومات التي توفرها تلك التكنولوجيا في دعم وتطوير الوسائل التطبيقية لنهج البنية التحتية الخضراء.
- أخيرا فإن خطة حماية عمران مدينة القاهرة الجديدة تتميز بأنها اعتمدت على الاستفادة من مقومات البيئة الصحراوية الرملية للمدينة من حيث قدرتها على تسريب مياه الأمطار وترشيحها وشحن المخزون الجوفى للمياه، وأيضا توافر النباتات الملائمة لتلك البيئة من حيث تحملها لأوقات الجفاف وقدرتها على النمو بأقل كمية من مياه الري التكميلي، هذا بالإضافة إلى الاستفادة من الفراغات العمرانية البينية غير المستغلة وتحويلها إلى حدائق أمطار. ولكن يجب الإشارة إلى أهمية استمرار العناية بنظافة وصيانة تلك الحدائق حتى لا تتعرض للتلف.

باستعراض التجارب السابقة يكون قد تم استيفاء المحور الثالث من هذا البحث، وفى الجزء التالى يتم تناول المحور الرابع والأخير والذى يتناول استخلاص النتائج والمتمثلة فى طرح أهم الفرص والتحديات الكامنة في تطبيق نهج البنية التحتية الخضراء على مستوى المدن المعاصرة خاصة المدن المصرية، ثم فى النهاية الخروج بمقترحات وتوصيات تساهم فى تعزيز كيفية إدارة مياه الأمطار في المدن المصرية، مع التركيز على التجمعات الحضرية الجديدة لمواجهة احتمالات تكرار أحداث الهطول المطرى الشديد في المستقبل.

5– النتائج (استخلاص الفرص والتحديات):

تم تناول أهم ممارسات البنية التحتية الخضراء من خلال الدراسات النظرية والتجارب الفعلية في بيئات حضرية مناخية مختلفة، وفيما يلى يتناول البحث مجموعة من الفرص الكامنة في هذا النهج وأيضا بعض التحديات التي تواجه التوسع في دعم تلك الممارسات على مستوى العالم.

1-5 الفرص الكامنة في نهج البنية التحتية الخضراء

- توفر ممارسات هذا النهج مميزات الحفاظ على الدورة الهيدرولوجية والتنوع البيئي في نطاق المدن حتى تلك المكتظة بالسكان والعمران الكثيف، فهى ممارسات تم توظيفها أساسا لتعمل في المناطق الحضرية، كما أنها يمكن تنفيذها على مستوى الوحدة السكنية وأيضا على مستوى الفراغات العامة مهما اختلفت صفاتها وأحجامها.
- ولأن دائما ما تبدأ المدن في البحث عن كيفية تطبيق هذا النهج بعد تعرضها لأحداث فيضانات حضرية خطرة جراء التغيرات المناخية وما ينتج عنها من خسائر، يسعى صناع القرارات التخطيطية إلى البحث عن أكثر الحلول فعالية وفائدة وأقلها تكلفة وفى أغلب السياقات يكون هذا النهج في مقدمة البدائل المطروحة.
- لا يمكن أن تحل أنظمة الصرف التقليدية محل نهج البنية التحتية الخضراء في مواجهة عدم اليقين المتأصل في توقعات التغيرات المناخية، وذلك بسبب صعوبة إجراء تعديلات وتحديثات على شبكات الصرف التقليدية، وفى المقابل فإن وسائل البنية التحتية الخضراء سواء كانت منفردة أو مجتمعة تعتبر منخفضة التكلفة وأكثر مرونة في التخفيف من الأثار السيئة للفيضانات الحضرية والجريان السطحى.
- ن إدارة وتشغيل وسائل هذا النهج لا تتطلب خبرات معقدة بل أنه في أغلب تلك الوسائل يمكن للسكان أنفسهم التدريب على كيفية تشغيل وصيانة هذه الوسائل في حدود البيئة السكنية الخاصة بهم، وذلك مع توفير بعض الدعم والإرشادات من قبل الإدارات المحلية، وهو الأمر الذى من شأنه خلق الوعى البيئي من خلال الممارسة الفعلية ومجال جيد للتعلم والترفيه.

2-5 التحديات التي تواجه نهج البنية التحتية الخضراء

يواجه نهج البنية التحتية الخضراء عدة تحديات في مجالات مختلفة يمكن إيجازها فيما يلى

1-2-5 تحديات التصميم والتخطيط

إن أداء وسائل البنية التحتية الخضراء وفوائدها تختلف باختلاف المحتوى العمرانى والموقع، ولكن برغم ذلك فإن معايير التصميم تتضمن نهجًا واحدًا لمختلف الظروف، كما توجد صعوبات تصميمية وتخطيطية أخرى تتمثل في تحديد الموقع الأمثل والمساحة الملائمة لمشروعات البنية الخضراء في المدن المزدحمة عمرانيا.

2-2-5 تحديات التقنية والابتكار

الحواجز التقنية تمثل عائقا كبيرا أمام انتشارها بشكل واسع، فحتى الأن لا يزال قبول هذه التقنيات منخفضًا جدًا في البلدان النامية (برغم كونها تقنيات سهلة) حيث تكون الفيضانات الحضرية شائعة بسبب النمو الحضري غير المستدام بشكل عام.
ولأن هذا النهج يعتبر جديد نسبيا فإنه يواجه تحديات إيجاد حلول مبتكرة للربط بين البنية التحتية الرمادية والمسطحات الخضراء والزرقاء (نُهج مختلطة) للوصول إلى أقصى فائدة من خدمات النظم البيئية فى المناطق الحضرية. كما أن ربط هذا النهج بالحلول الذكية المتمثلة فى الأجهزة المتطورة كما فى تجربة أمستردام يتطلب مهارات تقنية وإمكانيات مادية مرتفعة.

3-2-5 تحديات تنظيمية

عدم وجود آليات تنظيمية محددة لإدماج البنية التحتية الخضراء فى الكيانات الرسمية، وذلك من حيث الترتيبات القانونية التى تلزم المحليات بتحمل مسؤولية الإنشاء والصيانة المستمرة، ويعود ذلك إلى غياب الإدراك بأهمية هذا النهج فى بعض البلدان.
كما أن عدم القدرة على تخطيط وتصميم وسائل البنية التحتية الخضراء بشكل متكامل على مستوى إقليمى يعود إلى غياب التنظيم بين التخصصات والقطاعات المختلفة داخل المحليات، ويرجع ذلك إلى التباين فى الكفاءات والموارد، ولكن يظل تطبيق هذا النهج ممكنا بدعم من جهات مانحة قادرة على تمويل المبادرات التى تهدف لتحقيق التكيف فى مواجهة التغيرات المناخية.

4-2-5 تحديات اقتصادية

تتزايد تكلفة الأخطار والكوارث الناجمة عن تغير المناخ مما يجعل المدن تواجه تحديات اقتصادية عديدة بعد كل حدث فيضان أو جريان سطحى بسبب الخسائر والتلفيات، وفى المقابل يوجد أيضا صعوبة فى الحصول على مصادر تمويلية كافية لبناء وتأسيس مجموعات متكاملة من وسائل البنية الخضراء بسبب عدم وضوح كيفية تقدير خدمات النظم البيئية اقتصاديا، كما أنه بدون وجود تمويل كافى لبناء القدرات المحلية لصيانة وتجديد تلك الوسائل قد يؤدى ذلك إلى تدهورها وعدم قيامها بوظيفتها على المدى البعيد، وهكذا تظهر باستمرار إشكالية من يمول مشروعات البنية التحتية الخضراء، فيجب على الحكومات البحث عن مصادر تمويلية متعددة بالإضافة إلى أهمية تحمل مالكى العقارات جزء من هذا التمويل، وقد يرفض البعض تحمل هذا العبء المالى خاصة مع عدم إدراك أهمية تلك المشروعات.
كما أن مطورى التجمعات السكنية المتكاملة والفاخرة مازالوا يعتبرون أن ممارسات هذا النهج ليس أكثر من تقنيات حديثة ذات انجازات وفوائد محدودة قد يقابلها تكلفة زائدة وبالتالى يعزفون عن تطبيقها.

3-5 مقترحات البحث لتعزيز نهج البنية التحتية الخضراء

- يقترح البحث تعميم الحلول القائمة على نهج البنية التحتية الخضراء خاصة فى المدن الساحلية والتى يزيد فيها معدل سقوط الأمطار عن 200ملليلتر فى العام وذلك بهدف الاستفادة من مياه الأمطار وتخزينها لحين الحاجة إليها؛
- أيضا من الممكن تكرار هذا النهج فى المدن الجديدة خاصة الصحراوية منها والتى تتميز بتربة جيدة الامتصاص لمياه الأمطار مما يساهم فى شحن المياه الجوفية والحفاظ على الدورة الهيرولوجية للمياه؛
- تعزيز ثقافة الاهتمام بالمناطق الخضراء فى المدن المصرية الكبيرة وإدخال مفهوم الحفاظ على المياه بما فيها تجميع مياه الأمطار خاصة فى حالات الهطول الشديد للاستفادة منها لاحقا؛
- تحفيز المطورين العقاريين على إدخال هذا النهج فى التصميم العمرانى فى التجمعات السكنية المتكاملة لما له من فوائد بيئية واجتماعية وأيضل كوسيلة من وسائل التكيف مع التغيرات المناخية.

6- الخلاصة

تم فى هذا البحث تناول إشكالية حدوث العواصف الناتج عنها هطول مطري غزير فى المدن وما يتبعها من فيضانات حضرية مفاجئة وجريان سطحى، وتعرض بعض المدن المصرية لمثل تلك العواصف فى السنوات الأخيرة، مما يستلزم ضرورة إيجاد وسائل مناسبة بيئيا واقتصاديا لمواجهة مثل تلك الفيضانات. كما تم وصف وسائل البنية التحتية الخضراء كنهج يتعامل مع مياه الأمطار الغزيرة من خلال البيئة الطبيعية مثل النبات والتربة، حيث يتم التقاط مياه الأمطار فى موضع سقوطها وترشيحها لشحن المياه الجوفية أو لتجميعها والاستفادة منها كمورد للمياه العذبة، مع استعراض لثلاث تجارب فى ثلاث مدن مختلفة لتطبيق أفضل ممارسات هذا النهج. ثم فى النهاية استنتج البحث الفرص والتحديات الكامنة فى تطبيق هذا النهج مع طرح بعض المقترحات التى تساهم فى تعزيه والاستفادة من تطبيقاته فى المدن المصرية.

7- التوصيات

لم يعد هناك مجال للشك فى ضرورة الاستعداد الجيد لتداعيات التغيرات المناخية وما يتبعها من أخطار مؤكدة أو متوقعة فى شتى أنحاء البلاد ولاسيما الأخطار الناجمة عن العواصف المطيرة شديدة الهطول، وبناء على ذلك يوصى البحث بالأتى:

توصيات عامة

1- ضرورة تطوير منظومة تكنولوجية متطورة للتنبؤ المسبق بموعد وشدة العواصف المطيرة شديدة الهطول على كافة أنحاء الجمهورية.
2- إصدار دليل إرشادى لحماية العمران من الأمطار الغزيرة.
3- وضع كود ملزم للتعامل مع مياه الأمطار في المدن المصرية.

4- تحديد أماكن التجمعات السكنية سواء كانت ريفية أو حضرية والتي قد تكون معرضة في المستقبل لمخاطر الفيضانات المفاجئة والجريان السطحى ووضع خطط بعيدة المدى للتعامل مع هذه المخاطر.
5- وضع خريطة حديثة مفصلة لتوضيح مناطق الأودية الطبيعية لمستجمعات المياه ومخرات السيول واعتبارها أماكن معرضة للمخاطر ولا تصلح للتنمية الحضرية أو المشروعات التنموية.

توصيات خاصة بتطبيق نهج البنية التحتية الخضراء

1- تنفيذ مشروعات تجريبية إرشادية لوسيلة من وسائل البنية التحتية الخضراء في إحدى المدن التي تعرضت لهطول أمطار غزيرة وذلك على غرار مشروع حماية العمران فى مدينة القاهرة الجديدة
2- ضرورة وضع أليات تنظيمية وقانونية لدمج مشروعات البنية التحتية الخضراء في الخطط الحضرية باعتبارها وسيلة من وسائل التكيف التي تتعامل مع أخطار التغيرات المناخية.
3- وضع معايير لتصميم واعتبارات تنفيذ وسائل البنية التحتية الخضراء المختلفة بما يتناسب مع الظروف الاقتصادية والاجتماعية للبيئة الحضرية في المحتوى المحلى.
4- العمل على تدريب كوادر فنية في الإدارات المحلية تكون متخصصة في تنفيذ وصيانة وسائل البنية التحتية الخضراء، بحيث تماثل في الأهمية للكوادر المسؤولة عن صيانة شبكات الصرف التقليدية.
5- الاهتمام بتطبيق وسائل البنية التحتية الخضراء في المدن الساحلية التي يزداد فيها معدل هطول الأمطار عن 200 مليلتر في العام مثل مدينتى الأسكندرية ومرسى مطروح، بحيث يمكن تخزين مياه تلك الأمطار للاستفادة منها في أوقات الجفاف، وتخفيف الضغط على شبكات الصرف التقليدية.
6- الاهتمام بتصميم وتكوين شبكة متكاملة من عناصر البنية التحتية الخضراء في المدن المصرية التقليدية بالوادى والدلتا، وذلك بحيث تكون متدرجة بدءا من التشجير بجانب البنايات السكنية ووصولا إلى خلق مسطحات خضراء في الميادين الكبيرة والفراغات غير المستغلة، وذلك من شأنه أن يحسن من المناخ المحلى ويقلل من تأثير الجزر الحرارية خاصة فى المدن الإقليمية مثل القاهرة الكبرى.
7- الاهتمام بتوعية كافة أفراد المجتمع بأهمية الحفاظ على المسطحات الخضراء، وتعريفهم بالدور الذى تقوم به وسائل البنية التحتية الخضراء في حماية البيئة الحضرية من أخطار تغير المناخ.
8- إلزام مطورى التجمعات السكنية في المدن الجديدة وخاصة تلك الواقعة في البيئات الصحراوية الجافة بدمج وسائل البنية التحتية الخضراء على مستوى التخطيط والتصميم العمرانى، مثل البلاطات المنفذة للمياه في الممرات وغيرها، وذلك من خلال اشتراطات البناء مع توفير الدعم الفني والتقنى وتوفير إرشادات للتنفيذ والصيانة.
9- تحفيز ملاك العقارات في التطورات السكنية الجديدة بتحمل إنشاء بعض وسائل البنية التحتية الخضراء مثل الأسطح الخضراء وحدائق المطر، وذلك من خلال تقديم تسهيلات لتنفيذها وصيانتها.
10- توجيه الدراسات والبحوث في هذا المجال نحو البحث في أفضل الممارسات الممكنة للدمج بين وسائل البنية التحتية الخضراء معا بما يتلائم مع الظروف المحلية، وأيضا دمج هذا النهج مع النهج التقليدي للصرف للحصول على أفضل نتائج تخفيف الفيضانات والجريان السطحى للأمطار.

8- المراجع

[1] Ball, P., 2000, "The hydrological cycle" Springer Nature. Published online at

https://www.nature.com/articles/news000127-12#article-info retrieved at 3/2022

[2] https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-poster-natural-water-cycle

[3] UACDC., 2010, "Low Impact Development, A Design Manual for Urban Areas" University of Arkansas Community Design Center, USA.

https://www.scribd.com/document/377066890/UACDC-2010-Low-Impact-Development-Manual retrieved at 3/2022

[4] Arazan, N., 2003, "Green Infrastructure and Low Impact Development with 319 Funds" EPA Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Published online at www.epa.gov retrieved at 3/2022.

[5] UN-HABITAT, 2011, "Cities and Climate Change" Global Report on Human Settlements.

[6] Pour Hadi, S., H., et-al., 2020, "Low Impact Development Techniques to Mitigate the Impacts of Climate-Change-Induced Urban Floods: Current Trends, Issues and Challenges", Sustainable Cities and Society. doi: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373

[7] Gambaro, M., et-al., 2012, THE DESIGN IN THE SUSTAINALBLE MANAGEMENT OF STORMWATER: THE CASE STUDY OF THE PROVINCE OF VARESE (ITALY), Conference paper published online at https://www.researchgate.net/publication/318471635 retrieved at 3/2022

[8] Daley, M., 2019, "Green Infrastructure toolkit" Capital District Regional Planning Commission, NY., USA.

[9] https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/egypt/climate-data-projections

retrieved at 3/2022

[10] Climate Risk Profile: Egypt (2021): The World Bank Group. Published online at www.worldbank.org retrieved at 3/2022.

[11] Saber, M., et-al, 2020, (Impacts of Triple Factors on Flash Flood Vulnerability in Egypt: Urban Growth, Extreme Climate, and Mismanagement) Geosciences Journal, published online at 24 Oct. 2020, www.mdpi.com/journal/geosciences

[12] https://reliefweb.int/disaster/fl-2016-000114-egy retrieved at 5/2021.

[13] https://floodlist.com/africa/egypt-storm-floods retrieved at 5/2021.

[14] El-Fakharany, M.A., et.al., (2021) "Flash flood hazard assessment and prioritization of sub-watersheds in Heliopolis basin, East Cairo, Egypt" Arabian Journal of Geosciences (2021) 14:1693

[15] Hansen, R., et-al., June, 2017, "Urban Green Infrastructure Planning: A Guide for Practitioners" the EU FP7 project "GREEN SURGE" Published online at Sept. 2018,

https://www.researchgate.net/publication/319967102 retrieved at 5/2021.

[16] Dickson, D., Dec., 10, 2013, "LID vs. Green Infrastructure" an article published online at: https://clear.uconn.edu/2013/12/10/lid-vs-green-infrastructure/# retrieved at 8/2021.

[17] Firehock, K., January, 2010, " A Short History of the Term Green Infrastructure and Selected Literature" http://www.gicinc.org/PDFs/GI%20History.pdf retrieved at 8/2021.

[18] Denchak, M., March, 4, 2019, "Green Infrastructure: How to Manage Water in a Sustainable Way" natural resource defense council published online at: http://www.nrdc.org/stories/green_infrastructure

[19] Grant, J., and Gallet, D., 2010, "The Value of Green Infrastructure A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits" Center for Neighborhood Technology, USA. Published online at: www.cnt.org/publications retrieved at 12/2021

[20] U.S. EPA., May, 2009, "Green Infrastructure in Arid and Semi-Arid Climates"

www.epa.gov retrieved at 8/2021.

[21] National Park Service, "Arid and Semi-arid Region Landforms" https://www.nps.gov/subjects/geology/arid-landforms.htm last update: September 13, 2019,

retrieved at 12/2021.

[22] UACDC., 2010, "Low Impact Development, A Design Manual for Urban Areas" University of Arkansas Community Design Center, USA.

https://www.scribd.com/document/377066890/UACDC-2010-Low-Impact-Development-Manual retrieved at 8/2021

[23] Douglas, M., Richard, D., 2003, "The Practice of Low Impact Development" Department of Housing and Urban Development, USA., Published online at: https://www.huduser.gov/portal/publications/practLowImpctDevel.pdf retrieved at 8/2021.

[24] Dahlla, S., Zimmer, Ch., 2010, " LOW IMPACT DEVELOPMENT STORMWATER MANAGEMENT PLANNING AND DESIGN GUIDE" Credit Valley Conservation, Toronto, Canada. Published online at: http://cvc.ca/low-impact-development retrieved at 9/2021

[25] بطيشة، أيمن، 2019 "المرونة الاستباقية لمدن دلتا النيل في أوقات التغير العالمى" معهد البحوث البيئية والتغيرات المناخية، ورشة عمل المدن المرنة (9/30 – 10/2) المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء، مصر.

[26] خاطر، دينا سعيد، 2014، "الأسطح الخضراء فى الإسكان، دراسة لزراعة أسطح المبانى القائمة فى المناطق ذات الكثافة السكانية العالية" رسالة ماجستير فى التخطيط والتصميم البيئى، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، الجيزة.

[27] MAPC., 2017, "Massachusetts Low Impact Development Toolkit", Metropolitan Area Planning Council, Massachusetts. Published online at:

http://www.mapc.org/wp-content/uploads/2017/11/LID_toolkit_factsheets_7-9.pdf

[28]USKH Inc., 2008, "Low Impact Development Design Guidance Manual" Watershed Management Services, Municipality of Anchorage, Alaska, USA. retrieved at 10/2021

https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/lid_design_guidance_uskh.pdf

[29] Dibble Engineering Report, 2015, "low impact development toolkit prepared for the city of mesa" Arizona, USA. Published online at: http://www.mesaaz.gov retrieved at 10/2021

[30] David, R., et-al., 2017, "Removing Barriers to Low Impact Development (LID)" California Stormwater Quality Association, USA. https://www.casqa.org retrieved at 11/2021

[31] Payne, E., et-al., 2015., "Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems", Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Melbourne, Australia.

Published online at: www.watersensitivecities.org.au retrieved at 12/2021

[32] https://megamanual.geosyntec.com/npsmanual/bioretentionareasandraingardens.aspx

n. a. update, retrieved at 12/2021

[33] Massachusetts State, (un-dated) "Low Impact Development for Developers and Planning Boards" Publishad online at:

https://www.mass.gov/doc/smart-growthsmart-energy-slideshowslow-impact-development-lid-for-developers/download retrieved at 12/2021

[34] Ekka, S., Hunt, B., 2020, " Swale Terminology for Urban Stormwater Treatment Urban Waterways" An article published online at: https://content.ces.ncsu.edu/swale-terminology-for-urban-stormwater-treatment retrieved at 12/2021

[35] Smith, M., Meishka, L., 2013, "City of Camden Green Infrastructure Design Handbook" Cooper's Ferry Partnership with EPA Contract No. EP-C-11-009. Published online at: http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_support.cfm retrieved at 12/2021

[36] Stauffer, B., undated, "Stormwater Management"

https://sswm.info/ar/water-nutrient-cycle/wastewater-treatment/hardwares/semi-centralised-wastewater-treatments/stormwater-management retrieved at 12/2021

[37] Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual, 2013, "4.6 Infiltration Trench BMP Summary Fact Sheets" Storm Water Service. Published online at: http://charlottenc.gov retrieved at 12/2021

[38] NWRM., 2014, "Individual NWRM, Infiltration Trenches" Natural Water Retention Measures Project Funded by *European Commission*, a report published online at: http://www.nwrm.eu retrieved at 1/2022

[39] https://www.thisoldhouse.com/sidewalks/21016375/how-to-install-a-dry-well

[40] ASCE Report, 2007, "The New Orleans hurricane protection system: what went wrong and why" a report / by the American Society of Civil Engineers, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, USA.

[41] New Orleans climate, https://www.tripreport.com/cities/new_orleans/climate retrieved at 4/2022

[42] EPA, 2016, "Green Infrastructure and Climate Change: Collaborating to Improve Community Resiliency" Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, USA.

[43] Amsterdam Climate, Weather by Month, Temperature, Precipitation https://www.climatestotravel.com/climate/netherlands/amsterdam retrieved at 4/2022

[44] Nwanazia, Ch., March, 2022, " The effect of climate change on the Netherlands: what's going to happen?" An Article Published online at: https://dutchreview.com/expat/effects-of-climate-change-in-the-netherlands/ retrieved at 7/2022

[45] Kapetas, L., January, 2021, "Assessing the hydraulic performance of Blue-Green Infrastructure: the case study of Amsterdam's adaptive smart network blue-green roofs" Project Description Published online at: https://uia-initiative.eu/en/news/assessing-hydraulic-performance-bluegreen-infrastructure-case-study-amsterdams-adaptive-smart retrieved at 7/2022

[46] Kapetas, L., 2020, ”The RESILIO project: Journal N° 1" Project led by the City of Amsterdam

[47] Project Smart Roof 2.0, March, 2017, "From blazing hot to cool and green" Project Information, https://www.marineterrein.nl/en/project/project-smartroof-2-0/ retrieved at 7/2022

[48] أبو النجا، علياء حسن، 2016 (التوصيف لبيئي لمدينة القاهرة الجديدة) الإدارة العامة لشؤون البيئة، جهاز مدينة القاهرة الجديدة.

[49] الزعفرانى، عباس، 2020 (الخطة القومية لحماية العمران المصرى من الفيضانات والسيول) وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية، مصر.

[50] الزعفرانى، عباس، 2021 (المشروع الريادى لحماية القاهرة الجديدة من مياه الأمطار) وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية، مصر.