المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
journal homepage:www.ijeit.misuratau.edu.ly
IJEIT
جامعة مصراتة MISURATA UNIVERSITY

تصميم هندسي صديق للبيئة لتخفيض تأثير فيضانات مياه الأمطار

أبوبكر علي الأميلس
كلية الهندسة – جامعة مصراتة، قسم الهندسة المدنية،
مصراتة، ليبيا
a.alamailes@eng.misuratau.edu.ly

علي أحمد المطردي
كلية الهندسة – جامعة مصراتة، قسم الهندسة الميكانيكية،
مصراتة، ليبيا
ali.mutordi@eng.misuratau.edu.ly

الملخص--- **تضمنت الدراسة تطوير تصميم هندسي لتخفيض تأثير فيضانات مياه الأمطار. اعتمد مبدأ أن يكون التصميم صديقا للبيئة قدر الإمكان وذلك بالاعتماد المواد الطبيعية مثل الصخور والتخلي عن المواد الصناعية مثل الأنابيب قدر المستطاع. تم تطوير هذا التصميم باستخدام تقنيات التطوير منخفض التأثير (Low Impact Development, LID). تم الاعتماد في هذه الدراسة على خمسة وعشرين عامًا من بيانات الطقس التاريخية لمناخ البحر الابيض المتوسط، والتي تشمل درجة الحرارة وهطول الأمطار، وتم اختيار مدينة طرابلس، ليبيا لتكون موقع الدراسة الذي يمثل مناخ هذه المنطقة. والموقع عبارة عن مبنى مستقل إنشائيا من مستشفى معيتيقة المركزي، حيث تم تقسيمه إلى ثلاث مستجمعات مائية صغيرة. تم اختيار ثلاث تقنيات من تقنيات النظام المنخفض التأثير لتشكيل نظام تقنيات الإدارة المتكاملة. يهدف هذا النظام المتكامل من التقنيات إلى الحفاظ على هيدرولوجيا منطقة الدراسة كما كانت قبل التطور العمراني. من خلال هذا النظام يتم التقاط الجريان السطحي الذي ينشأ بواسطة الأسطح الغير منفذة واحتجازه في وحدات الاحتفاظ الطبيعية صغيرة الحجم ويسمح له بالتخلل في طبقات التربة. ولكي لا يتأثر النظام الهيدرولوجي لن يتم التقاط الجريان السطحي بالكامل، ولكن فقط الكمية التي تتجاوز مقدار الجريان السطحي قبل تطور المنطقة. كما تم من خلال هذه الدراسة بحث إمكانية استخدام المياه المحتجزة في إنشاء مساحات خضراء من الأشجار المحلية دائمة الخضرة. تم اعداد محاكات للدرة الهيدرولوجية للمياه باقتراح وجود شجرة الزيتون كاملة النمو بها. النتائج المتحصل عليها تبين أنه يمكن تجميع كمية الجريان السطحي للموقع بعد التطور في مساحة وحدات الاحتفاظ الطبيعية مقدارها (18.45%) من المساحة الكلية للموقع. وتبين إمكانية استخدام المياه المخزنة طبيعيا في تربة وحدات الاحتفاظ الطبيعية في الحصول على ما مقداره (13%) من المساحة الكلية كمساحة خضراء مكونة من أشجار الزيتون التي تم اقتراحها لهذه الدراسة.**

الكلمات المفتاحية— **وحدة الاحتفاظ الطبيعية، المصارف الفرنسية، الجريان السطحي، التبخر نتح، الدورة الهيدرولوجية.**

1. المقدمة

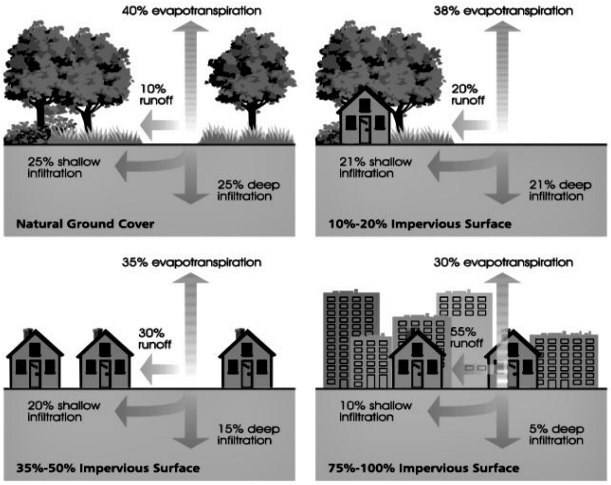
تعتبر مياه الامطار مصدرًا رئيسيًا للمياه على سطح الأرض، فعند هطولها يتخلل جزء منها سطح الأرض ويعود جزء آخر إلى الغلاف الجوي في صورة بخار، بينما يتحول الجزء المتبقي إلى جريان سطحي. هذا الجريان السطحي يتم السيطرة عليه بنظام معين وخاصة في المناطق الحضارية، وذلك بنقله وتصريفه من المساحات (غير منفذة) التي يتجمع بها كالأرصفة والطرق، ومنع الآثار السلبية الناتجة من تجمع هذا الجريان وتحوله إلى فيضانات.

مع استمرار التطور الحضاري والعمراني، ومشاريع التنمية الزراعية والاقتصادية التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بموارد المياه وتزايد عدد السكان، تزداد احتياجات الإنسان للمياه بصورة مستمرة.

كما أن نسبة تلوث المياه بسبب النشاطات الاقتصادية والعمرانية ترتفع. عليه فإن فهم البيئة المائية وتلوثها وآثار هذا التلوث على الإنسان، وعلى بقية عناصر البيئة على الأرض يستحق كل اهتمام ودراسة.

استلمت الورقة بالكامل في 25 سبتمبر 2024 وروجعت في 17 اكتوبر 2024
وقبلت للنشر في 27 ديسمبر 2024
ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 30 ديسمبر 2024

تكمن المشكلة الرئيسية التي تعالجها هذه الدراسة في تأثير التطور العمراني السريع على البيئة، حيث تحولت الأراضي الطبيعية ذات الأسطح المنفذة الى مباني ومساحات ذات أسطح غير منفذه بعد التطور، وأدى ذلك لتغيير كبير في الدورة الهيدرولوجية للمياه (كيفية تدفق المياه) (شكل 1). فأثناء تساقط الأمطار على الأسطح الغير منفذة يتسبب ذلك في حدوث جريان سطحي للمياه دون حدوث تخلل لها في الأرض وهذا يؤدي لحدوث فيضانات التي تسبب في أضرار مادية، وخسارة المحاصيل الزراعية بسبب الاختناق، وتأثيرات اقتصادية سلبية، وانتشار للأمراض كالكوليرا، وتلوث المياه الجوفية.



شكل 1. تأثير التطور العمراني على الدورة الهيدرولوجية لمياه الامطار [1]

ان استخدام الأنظمة التقليدية تقلل من الفيضانات بشكل جيد الا انها تعتبر مكلفة اقتصاديا من حيث التنفيذ، وصعوبة صيانتها، بالإضافة الى أن استخدامها يقلل من تغذية المياه الجوفية في المنطقة مع مرور الوقت. هذا سيزيد الوضع سوءاً، لان كمية المياه الموجودة في التربة ستكون أقل لتلبية احتياجات النبات. هذا سيؤدي إلى ازدياد الحاجة لري النباتات باستخدام المياه الجوفية والتي يتناقص مقدار تغذيتها من مياه الأمطار عما كان سابقا. وهذا سيزيد من تكلفة إنشاء المناظر الخضراء أو اختفاءها وظهور التصحر وزيادة ظهور المباني والأرصفة الغير منفذة للمياه وتفاقم المشكلة.

تتمثل فكرة هذه الدراسة في تطوير تصميم هندسي لتجميع مياه الأمطار وتصريفها بكيفية صديقة للبيئة، وذلك باستخدام نظام التطوير منخفض التأثير على البيئة (LID). وهو نظام يعمل على الحد من تأثير التطور العمراني على المشاكل المتعلقة بالنظام الهيدرولوجي للمنطقة المطورة، بحيث يتم هذا من خلال تقليل الجريان السطحي لمياه الأمطار وإعادتها للأرض بطريقة تكافئ النظام الهيدرولوجي الطبيعي الموجود قبل عملية التطور. وهذا ما يختلف به هذا النظام عن النظم التقليدية التي تعمل على تجميع مياه الأمطار من خلال شبكات التصريف إلى أحواض تخزين بحيث ينتهي المطاف بالمياه المجمعة بعيدا عن منطقة هطولها مما يؤدي إلى التغير في الدورة الهيدرولوجية للمياه بها.

2. منطقة الدراسة

بيئة تنفيذ المشروع هو جزء مستقل إنشائيا من مستشفى معيتيقة العسكري (الشكل 2)، حيث يقع المستشفى في دولة ليبيا شرق مدينة طرابلس بمنطقة سوق الجمعة. تقدر مساحة المبنى في منطقة الدراسة 853 متر مربع، وتبلغ المساحة الخضراء المجاورة للمبنى 564 متر مربع. وباعتبار هذه المنطقة تقع على شاطئ البحر الأبيض المتوسط فهي تتمتع بمناخه المعروف بأنه حار جاف صيفا معتدل ممطر شتاءً، وتصنف تربة هذه المنطقة تصنف بأنها تربة رملية [3]. ومما يجعل اختيار المنطقة مناسبا لهذه الدراسة، كونها منطقة متحضرة ذات كثافة سكانية عالية ومعرضة لهذا النوع من مشاكل الفيضانات عند هطول الأمطار.

شكل 2. صورة جوية لمنطقة الدراسة.

3. الدورة الهيدرولوجية الطبيعية

يتكون الماء في عدة أماكن وعلى عدة أنماط على سطح الأرض وفوقها وفي داخلها، وتحوله من نمط إلى آخر وانتقاله من موقع إلى آخر يكون ما يعرف بالدورة الهيدرولوجية. هذه الدورة عبارة عن نظام مغلق لا بداية ولا نهاية له يشمل أغلفة الأرض جميعها (الغلاف الغازي والغلاف المائي والغلاف اليابس) [1].

عندما يحدث تبخر (Evaporation) لمياه المسطحات (المحيطات، والبحيرات، والأنهار)، أو من أوراق النباتات على صوة نتح (Transpiration)، تتصاعد الأبخرة إلى طبقات الجو العليا حيث تحملها الرياح، فإذا وجدت الظروف المناسبة يحدث تكثف لهذه السحب المشبعة ويتساقط منها الماء أو الثلج (Precipitation). عندما تتساقط المياه على سطح الأرض فإن جزءًا منها يحدث له تبخر مرة أخرى إما بالبخر أو النتح أو كليهما والجزء الآخر يخترق سطح الأرض إلى الأسفل بالتخلل (Infiltration) مغذيا الخزان الجوفي، والجزء الفائض لمياه الأمطار (بعد التخلل والبخر)، يسيل على سطح الأرض في صوة جريان سطحي (Surface Runoff)، ثم يحدث تبخر وتتصاعد أبخرة مكونة سحب ثم يحدث تساقط وهكذا في عملية دورية منتظمة [10].

4. التطوير منخفض التأثير
Low Impact Development

هو نهج للتحكم في مياه الأمطار مختلف تماما عن وسائل التصريف التقليدية. يمثل هذا النظام تقدما مهما في أحدث التقنيات في إدارة مياه الأمطار. كما يعزز القدرة على حماية جودة المياه السطحية والجوفية، والحفاظ على السلامة البيئية من الفيضانات المحتمل حدوثها مستقبلا [11][5].

يحقق نظام LID التحكم في مياه الأمطار من خلال توجيه الجريان السطحي إلى وحدات طبيعية تنشأ في أقرب نقطة عن مصدر المياه في المساحات المخصصة للحدائق والمناظر الطبيعية، بحيث تتميز هذه الوحدات بخواص هيدرولوجية تمكنها من استيعاب الجريان السطحي الموجه إليها. أهم ما يميز هذا النظام هو التقليل من تأثيرات مياه الأمطار إلى الحد الممكن عمليا، والحفاظ على الموارد الطبيعية والنظم البيئية، والحفاظ على دورات الصرف الطبيعي، وتقليل استخدام الأنابيب. كذلك يعمل النظام على توفير تدابير تخزين الجريان السطحي الموزعة على المساحة المتاحة للحدائق والمساحات الخضراء للمنطقة باستخدام مجموعة من وحدات وعناصر الاحتجاز والاحتفاظ الطبيعية للجريان السطحي.

ويعمل النظام على توفير تقنية محسنة لحماية البيئة للمياه في المستقبل ويشجع التثقيف العام والمشاركة في حماية البيئة والمساعدة في بناء المجتمعات على أساس هذه الثقافة. بالإضافة إلى ما ذكر، فإن استخدام هذا النظام يؤدي إلى تقليل تكاليف إنشاء وصيانة البنية التحتية للتحكم في مياه الأمطار ويعمل على تقديم مفاهيم وتقنيات وأهداف جديدة لإدارة مياه الأمطار، مثل خصائص المناظر الطبيعية (وحدات الاحتفاظ الطبيعي، والمستنقعات النباتية).

الهدف الأساسي لتقنيات النظام منخفض التأثير هو محاكاة هيدرولوجيا المنطقة التي تحت التطوير باستخدام تقنيات تصميم الموقع التي تحتجز وتخزن الجريان السطحي وتساعد في زيادة نسبة تخلله وتسمح بتبخره جزء منه. يساعد استخدام هذه التقنيات على تقليل معدل الجريان السطحي الخارج من الموقع (الفيضانات) وضمان التغذية الكافية للمياه الجوفية [5].

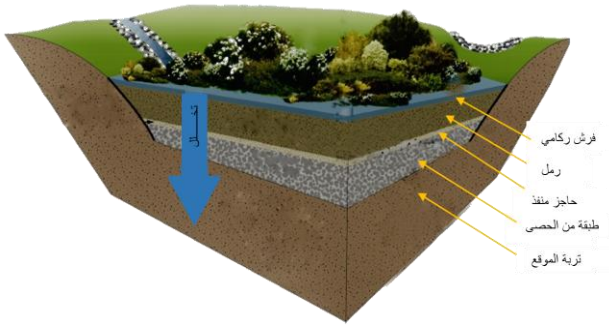
ونظرا لأن كل جانب من جوانب تطوير الموقع يؤثر على الاستجابة الهيدرولوجية له، فإن تقنيات LID تركز بشكل أساسي على هيدرولوجيا الموقع [11].

من أهم التقنيات المستخدمة في هذا النظام هي وحدات الاحتفاظ الطبيعي، المستنقعات النباتية. كما أنه يوجد بعض التقنيات الأخرى التي تعمل على تجميع وتقليل معدل الجريان السطحي أي أن لها نفس خصائص نظام LID ومنها قناة التصريف الفرنسية، والفرش الركامي.

أ. وحدة الاحتفاظ الطبيعي Bioretention

هو عبارة عن منخفض يحتوي على ردم ذو مسامية عالية نسبيا تحت السطح المزروع، حيث يزيد هذا الردم من معدل التخلل بينما تعمل النباتات أيضا على تسهيل ترشح الجريان السطحي وزيادة التبخر (شكل 3).

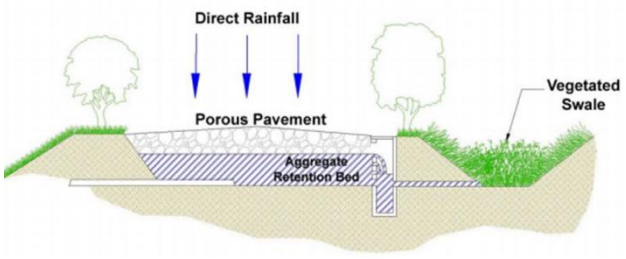
الغرض الأساسي من وحدة الاحتفاظ الطبيعي هو تقليل معدلات الجريان السطحي الخارج من موقع معين كما يمكن استخدامها في إزالة مجموعة واسعة من الملوثات، مثل المواد الصلبة العالقة والمعادن والبكتيريا [2].



شكل3. وحدة الاحتفاظ الطبيعي [10].

ب. المستنقعات النباتية Vegetated Swales

هي تقنية تشبه وظيفيا إلى حد كبير وحدة الاحتفاظ الطبيعي. يتمثل الفرق في أن المستنقعات النباتية أضيق من وحدات الاحتفاظ الطبيعي (شكل 4). لذلك يتم استخدامها عندما تكون المساحات محدودة كأرصفة الطرق والجزر الوسطية [5].



شكل 4. المستنقعات النباتية [10].

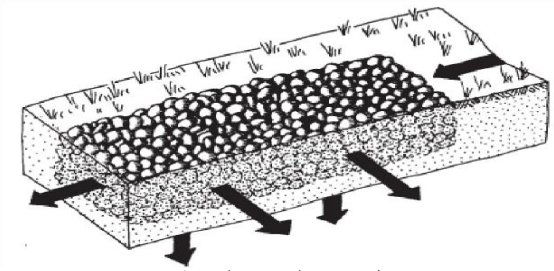
ج. فرش ركامي Gravel mulch

تتمثل هذه التقنية في استخدام الركام الكبير نسبيا كفرش لتغطية في الحدائق حول النباتات أو تستخدم كممرات. وهي تمثل إحدى الطرق الأكثر حداثة للتعامل مع المناظر الطبيعية في تغطية التربة والحد من نمو الأعشاب الضارة وتخفيض سرعة الجريان السطحي والسماح لمياه الأمطار بالترشح

والتخلل خلال التربة، وتعتبر طريقة صديقة للبيئة وتدوم لفترات طويلة [7].

د. *قناة التصريف الفرنسية French Drain*

هي عبارة عن خنادق مبطنة بطبقة غير منفذة ومملوءة بالحصى الخشن أو الصخور، وتكون منحدرة برفق لنقل مياه الجريان السطحي من وإلى وحدات الاحتفاظ الطبيعي (شكل5). يتم تثبيت هذه المصارف بشكل عام بالقرب من حافة المباني [5].

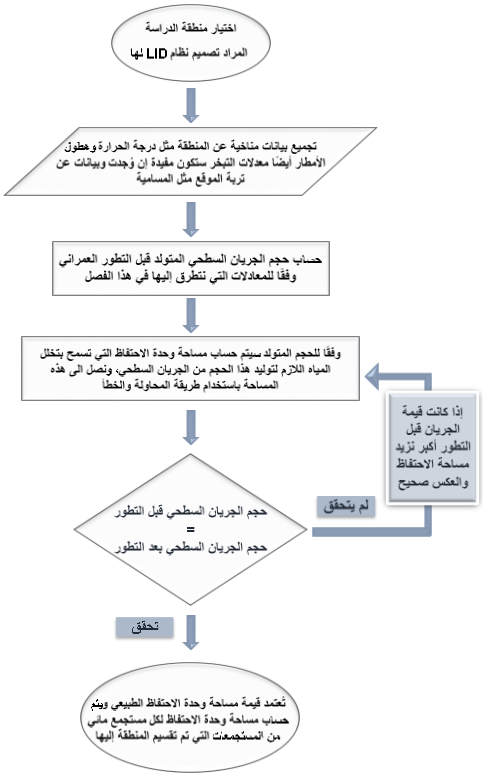


شكل 5 . قناة التصريف الفرنسية [5].

5. المحاكات ومنهجية البحث

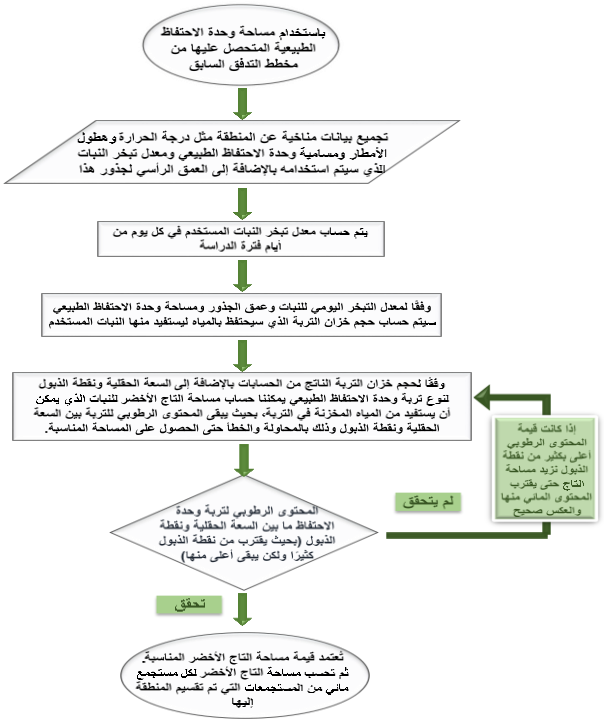
لتحقيق الهدف الأساسي وهو الحفاظ على الخصائص الهيدرولوجية للمنطقة كما كانت قبل التطور العمراني. يتم الجمع بين تقنيات **LID** على نطاق صغير بما في ذلك وحدات الاحتفاظ الطبيعي لتشكيل نظام إداري متكامل للجريان السطحي (**Integrated Management Practices, IMP**).

استخدم لهذا الغرض 25 عامًا من البيانات اليومية لدرجات الحرارة وهطول الأمطار [4]. ذلك ليتم ملاءمة التصميم مع مناخ البحر الأبيض المتوسط لشرق مدينة طرابلس. يعتمد التصميم على دليل التطوير منخفض التأثير (**UFC 3-210-10**13514)، ودليل الهيدرولوجيا الحضرية لمستجمعات المياه الصغيرة [12]. تم إجراء بعض التعديلات على تقنيات **LID** لتقليل تكلفة البناء والصيانة. والمخطط الانسيابي التالي (شكل 6) يوضح أهم الخطوات التي سيتم اتباعها بالإضافة إلى أهم المعلومات اللازم توفرها لإجراء محاكاة تعمل على الحفاظ على الخصائص الهيدرولوجية للمنطقة وذلك لحساب حجم وحدة الاحتفاظ الطبيعي.



شكل 6 . مخطط حساب مساحة وحدة الاحتفاظ الطبيعي.

كما أن المخطط الانسيابي التالي (شكل 7) يوضح أهم الخطوات التي سيتم اتباعها بالإضافة إلى أهم المعلومات اللازم توفرها لإجراء محاكاة تعمل على حساب المساحة الخضراء (التاج الأخضر) التي يمكن الحصول عليها من الماء المحفوظ في وحدات **LID** .

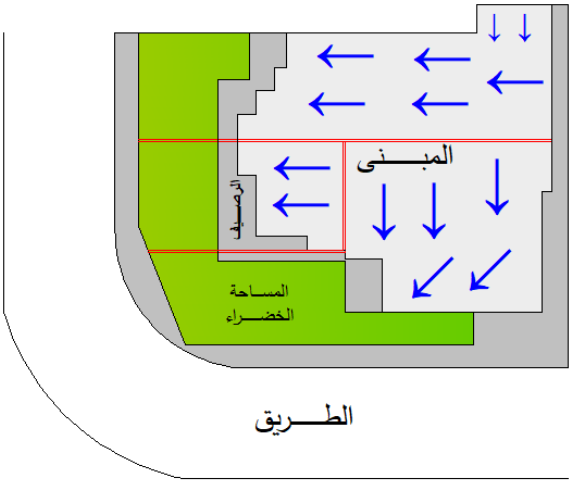


شكل 7 . مخطط حساب مساحة التاج الأخضر.

ووفقا للخرائط الجيولوجية للمنطقة فإن تربة الموقع عبارة عن تربة رملية، وهذه التربة صالحة للحد من مقدار الجريان السطحي ولكنها غير مناسبة للاحتفاظ بالمياه ليستفيد بها النبات، حيث تكون المسامات بين حبيباتها كبيرة جدًا مما يسمح للمياه بالترشح بسرعة خلالها ودخول الهواء للتربة بسهولة، مما يزيد من صعوبة تشبع التربة الرملية بالمياه [3]. لذلك سيتم ردم منطقة وحدة الاحتفاظ الطبيعي بطبقة ذات سمك 1.5 متر (5 قدم تقريبًا) من التربة الزراعية وهي عبارة عن خليط من التربة الطينية والطمية والتي تكون ذات معدلات تخلل معتدلة ومناسبة لنمو النباتات.

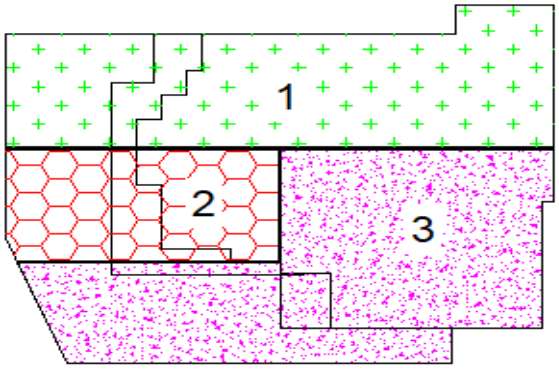
أ. *اختيار التقنيات المستخدمة في نظام التطوير منخفض التأثير*

لتصميم نظام **IMP**، تم تقسيم الموقع (المبنى+ الرصيف + المساحة الخضراء المجاورة له) إلى مجموعة من مساحات الصرف الصغيرة (مساحة تجميع مياه الأمطار). وفقًا لوكالة حماية البيئة الأمريكية (**Environmental Protection Agency) (EPA**). تم تقسيم السطح إلى ثلاث مستجمعات مائية، حيث سيتم تثبيت تقنيات **LID** في كل مستجمع لالتقاط الجريان السطحي في أقرب نقطة ممكنة لمصدرها، وكذلك لتوفير أماكن تخزين المياه للنباتات. في هذه الدراسة، يظهر اتجاه مسارات الجريان السطحي على سطح المبني في شكل 8، مع افتراض أن المساحة الخضراء والرصيف ينحدران نحو الشارع لتصريف المياه خارج الموقع في حالة العواصف المطرية الشديدة التي تفوق استيعاب نظام **IMP**.



شكل 8 . اتجاه الجريان السطحي على سطح المبنى.

بعد تحديد مسارات الجريان السطحي، يتم تقسيم منطقة الدراسة إلى مستجمعات مائية الموضحة في الشكل **9**.

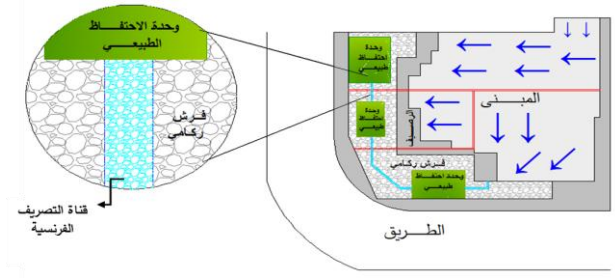


شكل 9 . تقسيم منقطة الدراسة إلى مستجمعات مائية.

وهناك اشتراطات ولوائح لاستخدام تقنيات **LID** حيث يجب وضع تقنيات **LID** على بعد 10 أقدام (3 متر تقريبا) على الأقل من المباني لمنع الرطوبة في الطوابق السفلية مثل القبو. كما لا ينبغي وضع تقنيات **LID** فوق خزان للصرف الصحي. ويجب عدم وضع هذه التقنيات بالقرب من بئر مياه الشرب لمنع تسرب أي ملوثات إليه، ويجب توخي الحذر عند حفر التربة لتجنب إتلاف أي جذور الأشجار إن وجدت. كما يجب مراعاة المسافة الآمنة من أي منشآت مدفونة موجودة، مثل أنابيب المياه [5].

وبناء على الاشتراطات السابقة، تم اختيار ثلاث تقنيات **LID** ليتم تثبيتها لنظام **IMP** المحدد وتشمل هذه التطبيقات: وحدة الاحتفاظ الطبيعي، وقناة التصريف الفرنسية، والفرش الركامي. ونظرًا لأن التربة الزراعية التي تم وضعها لديها معدل تخلل معتدل، فإن التربة قادرة على تخلل المياه إلى الأرض، بالتالي ليست هناك حاجة لأنابيب صرف سفلية للتخلص من المياه الزائدة. مع ذلك، يتم تصميم المساحة الخضراء بحيث تكون منحدرة انحدارا بسيطا نحو الشارع حيث يتم توجيه الجريان السطحي الزائد عن قدرة استيعاب التربة.

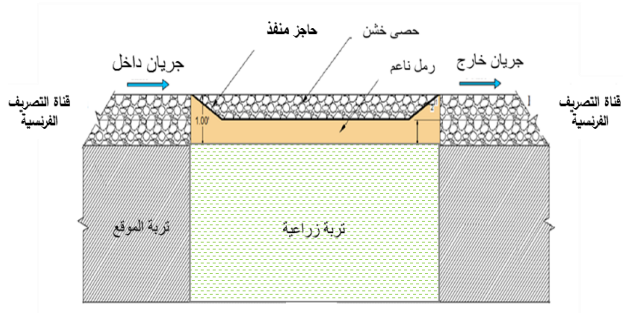
تكون وحدات الاحتفاظ الطبيعي منحدرة نحو بعضها البعض ومتصلة بقناة التصريف الفرنسية؛ لذلك في العواصف الكبيرة عندما يتجاوز جريان مياه الأمطار معدل التخلل، ويغمر المساحة الخضراء المجاورة للمبنى، سيتم نقل المياه عن طريق قناة التصريف الفرنسية من وحدة إلى أخرى، وأخيراً إلى الشارع حيث يمكن التقاطها بواسطة نظام الصرف المحلي. من أجل ضمان أن الجريان السطحي المتولد في كل مساحة تجميع سيتم احتجازه بواسطة وحدة **LID** المصممة له، يجب أن تنحدر الساحة الموجودة في المستجمع المائي بلطف نحو وحدة الاحتفاظ الطبيعي أو باتجاه قناة التصريف الفرنسية المرتبط بها (10) وهذه الخطوة لن تتعارض مع الانحدار العام للجزء المعشب باتجاه الطريق.



شكل 10 . موقع تقنيات LID ومسار الجريان السطحي.

ب. *تصميم وحدة الاحتفاظ الطبيعي* Bioretention Cells Design

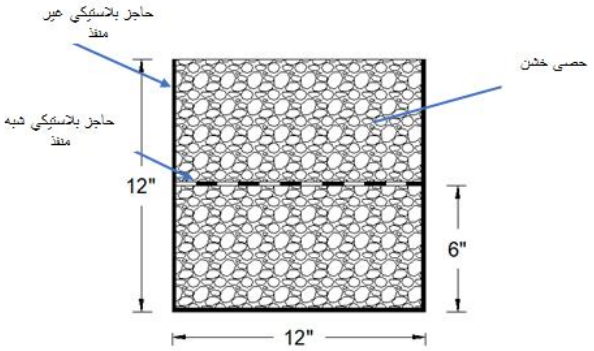
كما ذكر سابقًا، ليس هناك حاجة لمد أنابيب أرضية لنقل مياه الأمطار الزائدة عن قدرة تخلل التربة، حيث يتم تبسيط التصميم بنقل التدفق الزائد تحت تأثير قوة الجاذبية إلى وحدة الاحتفاظ الطبيعي التالية بواسطة قناة التصريف الفرنسية حتى تصبح جميع الوحدات غير قادرة على الاحتفاظ بالجريان السطحي، ومن ثم يتم تمرير الماء إلى الطريق. تحتوي وحدة الاحتفاظ الطبيعي المبينة في الشكل (11) على ردم ذي مسامية عالية تحت السطح النباتي، تكون الطبقة العلوية من الردم المسامي عبارة عن حصى خشن بمسامية فعالة تبلغ حوالي30%، ويكون سمك هذه الطبقة ست بوصات أي ما يعادل 15سم تقريبا، والتي من خلالها يمكن أن يمتص الماء في الست بوصات السفلية بمعدل تخلل مرتفع (أكثر من 0.3 بوصة/ساعة) من الرمل الناعم ومسامية بنسبة 33٪. يتم تثبيت حاجز بلاستيكي منفذ بين الطبقتين لمنع نمو الحشائش. يؤدي تخزين المياه مؤقتًا في الحصى المسامي أثناء التخلل إلى التخلص من المخاوف المتعلقة بالسلامة والحشرات (مثل البعوض). أي من المهم الحصول على معدل تخلل مرتفع بدرجة كافية والاحتفاظ به قبل أن يتمكن البعوض من التكاثر. توصي وكالة حماية البيئة الأمريكية بوقت تصريف معتدل يبلغ 48 ساعة أو أقل لمنع انتشار البعوض. يتم استيفاء هذا الشرط أيضًا في التصميم [12]. تنحدر حواف وحدة الاحتفاظ الطبيعي بنسبة 2:1 للتحكم في أي تآكل أو نحر قد يكون ناتجًا عن الجريان السطحي.



شكل 11 . مقطع عرضي لوحدة الاحتفاظ الطبيعي.

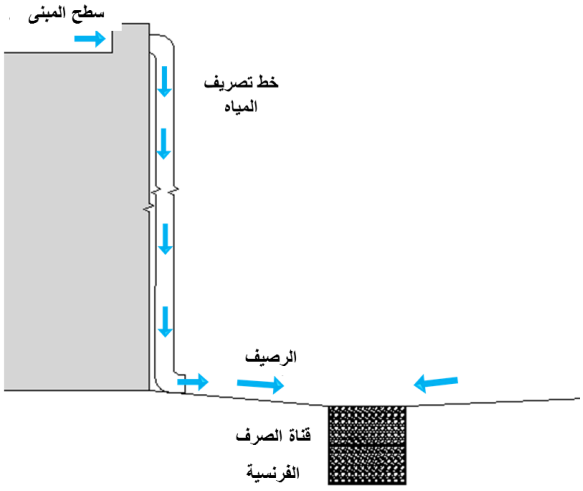
ت. *تصميم قناة التصريف الفرنسية* French Drains Design

تعتبر قناة التصريف الفرنسية مكونًا مهمًا في نظام الإدارة المتكاملة (**IMP**). يتم تبسيط التصميم بحيث لا يتم استخدام الأنابيب من أجل تقليل التكلفة وتسهيل عملية التشغيل (الشكل 16). تم فرض أبعاد قناة التصريف الفرنسية بحيث يكون عمقها قدم واحدة، وعرضها قدم كذلك. يتم تثبيت البلاستيك المثقب في المنتصف لتقليل تبخر المياه، ويحيط البلاستيك الغير منفذ بالقناة لمنع نمو الأعشاب الضارة ومنع المياه من التخلل إلى التربة في هذه المنطقة لعدم استفادة النباتات منها.



شكل 12 . مقطع عرضي لقناة التصريف الفرنسية.

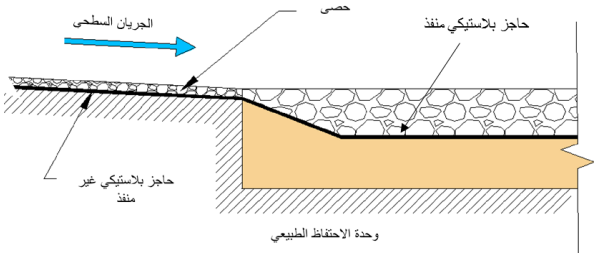
لقناة التصريف الفرنسية أكثر من دور تلعبه نظام (**IMP**)ومن أهم هذه الأدوار هو استقبال الماء من السطح ونقله إلى وحدات الاحتفاظ الطبيعي (الشكل 13). كما تقوم بجمع الجريان السطحي من المناطق المجاورة للقناة والتي تنحدر برفق تجاهها، وتنقله إلى وحدات الاحتفاظ الطبيعي. وتمرر هذه القنوات عبر المساحة الخضراء ويربط وحدات الاحتفاظ الطبيعي ببعضها البعض لإعادة توجيه الفائض من الوحدات المغمورة إلى الوحدة التالية ثم إلى الشارع.



شكل 13 . وظائف قناة التصريف الفرنسية.

ث. *تصميم الفرش الركامي Gravel Mulch Design*

بعد تحديد المستجمعات المائية وتنفيذ مكونات **IMP** السابقة، يتم تغطية المساحة المتبقية من المساحة الخضراء بالفرش. عادة يتكون الفرش من حاجز الأعشاب الموجود في المساحة ومغطى بغطاء من الحصى أو الرمل الخشن بسمك من بوصة إلى بوصتين. ولكن في هذا المقترح تم استبدال حاجز الأعشاب المنفذ بحاجز بلاستيكي غير منفذ من أجل تجميع المزيد من المياه من المساحة المخصصة للتعشيب بخلاف وحدات الاحتفاظ الطبيعي (الشكل 14).



شكل 14 . الفرش الركامي المنحدر باتجاه وحدة الاحتفاظ الطبيعي.

ج. *تحديد حجم وحدات الاحتفاظ الطبيعي*

كما ذكر سابقًا، يهدف التصميم إلى تجميع الجريان السطحي الزائد الناتج عن تغير ظروف سطح الموقع. لذا تم تطوير طريقة لتقدير الجريان السطحي قبل التطوير وبعده بناءً على طريقة معامل الجريان السطحي (**Curve Number CN**) الموضحة في دليل **TR-55**. [12]
ويمكن تقدير حجم الجريان السطحي من المعادلة التالية:

$$Q = \frac{(p-I_a)^2}{(p-I_a)+S} \quad (in) \qquad (1)$$

حيث
Q= الجريان السطحي بالبوصة.
p= هطول الأمطار بالبوصة، يتم استخدام 25 عامًا من البيانات اليومية.
S= الحد الأقصى المحتمل للاحتفاظ بعد بدء الجريان السطحي بالبوصة.
I_a= الفواقد الابتدائية بالبوصة.
الفواقد الابتدائية (I_a) هو جميع الفواقد قبل بدء الجريان السطحي. وهي تشمل المياه المحتجزة في المنخفضات السطحية والمياه التي تعترضها النباتات والتبخر والتخلل. I_a متغير بدرجة كبيرة ولكنه يرتبط عمومًا بمعاملات التربة والغطاء. من خلال دراسة العديد من المستجمعات المائية الصغيرة، وجد أن I_a يمكن حسابها بالمعادلة التجريبية التالية:

$$I_a = 0.2 * S \quad (in) \qquad (2)$$

يرتبط S بظروف التربة والغطاء النباتي للمستجمعات المائية من خلال معامل الجريان السطحي (CN)، حيث يتراوح نطاق CN من 0 إلى 100، ويرتبط S بـ CN بواسطة العلاقة التالية:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad (3)$$

تعكس قيمة CN الدرجة التي ستولد بها ظروف سطح الأرض الجريان السطحي. وبالنسبة لأي موقع مطور سيكون هناك أكثر من نوع واحد من أغطية الأسطح، لذلك يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب قيمة (CN) المركب للموقع:

$$CCN = \frac{(A_1*CN_1+ A_2*CN_2 +A_3*CN_3 \ldots\ldots\ldots A_n*CNn)}{(A_1+A_2+A_3 \ldots\ldots\ldots\ldots A_n)} \qquad (4)$$

حيث
CCN = معامل الجريان السطحي المركب.
$A_1, A_2, A_3 \ldots\ldots\ldots A_n$ = مساحات الأسطح التي تغطي المنطقة.
$CN_1, CN_2, CN_3 \ldots\ldots\ldots CN_n$ = معامل الجريان السطحي لمساحات الأسطح التي تغطي المنطقة.
ولهذه الدراسة، فُرض أن نوع التربة هو تربة طينية طميية، وأن يكون غطاء التربة قبل التطوير صحراويًا مع غطاء نباتي فقير، ونوعين مختلفين من الغطاء السطحي متضمنة لسطح ما بعد التطور. وعليه فإن قيم معامل الجريان السطحي للأسطح المختلفة يكون كما بالجدول التالي:

جدول 1. معامل الجريان السطحي لمجموعة مختلفة من الأسطح

نوع السطح			معامل الجريان السطحي CN
	قبل التطور	تصحر مع غطاء نباتي فقير	77
	بعد التطور	شارع، سقف، ورصيف	98
		فرش ركامي مع حاجز يمنع الأعشاب الضارة	96
		طبقة بسمك قدم واحدة من حصى عالية المسامية (سطح وحدة الاحتفاظ الطبيعي)	0

بعد تحديد قيمة معامل الجريان السطحي للموقع يتم ايجاد حجم الجريان السطحي من خلال المعادلة التالية:

$$V = Q * A \qquad (5)$$

حيث:
V = حجم الجريان السطحي (acre-in)
Q = الجريان السطحي (in).
A = مساحة المستجمع المائي (acre).
ولتحديد حجم وحدة الاحتفاظ الطبيعي، يجب افتراض العمق (D) أولاً بناءً على مادة الردم والمساحة المتاحة في العشب. يجب أن تتمتع مادة الردم

بمعدل تخلل مرتفع ومسامية عالية. وتُستخدم معادلة الاتزان التالية لتحديد حجم أي وحدة احتفاظ طبيعي لتستوعب الجريان السطحي الزائد بعد تغيير ظروف ما قبل التطور إلى ظروف ما بعد التطور.

$$Bioretention\ volume\ =\ As\ *\ \varphi\ *\ D \qquad (6)$$

حيث:

As= المساحة السطحية لوحدة الاحتفاظ الطبيعي (acre).

Φ= نسبة مسامية مادة الردم (%).

D= عمق وحدة الاحتفاظ الطبيعي (in).

لحساب حجم كل وحدة احتفاظ طبيعي في كل مستجمع مائي، تم استخدام بيانات هطول الأمطار اليومية لمدة 25 عامًا، وتم إجراء المحاكاة لتشمل جميع المعلومات الثابتة بما في ذلك مساحة كل نوع سطح في المستجمع المائي، ومسامية الردم، وعمق وحدة الاحتفاظ الطبيعي المفترض. يمكن تغيير هذه المعلومات بناءً على خصائص المستجمعات المائية والتصميم. يستخدم جدول البيانات مدخلات المستجمعات المائية والمعلومات المصممة لتقدير إجمالي جريان المياه لمدة 25 عامًا من المستجمعات المائية قبل التطور والمستجمعات المائية بعد التطور. يجب على مستخدم جدول البيانات أن يكرر (يخمن على التوالي) منطقة وعمق وحدات الاحتفاظ الطبيعي التي ستؤدي إلى تطابق الجريان السطحي قبل التطور وبعده بحيث تحقق المعادلة التفاضلية (الجريان السطحي قبل التطور يساوي الجريان السطحي الملتقط بعد التطور)

د. *تصميم المناظر الطبيعية البعلية Passive Rainwater Landscape Design*

بعد تحديد حجم وحدات الاحتفاظ الطبيعي، يتم إجراء موازنة هيدرولوجية (**Hydrological Water Balance**) بين المياه المخزنة في التربة في هذه الوحدات والمعايير الهيدرولوجية الأخرى بما في ذلك هطول الأمطار والبخر الكلي والجريان السطحي. عملية المحاكاة هي تحديد مساحة التاج الأخضر(المساحة الخضراء من المنظور العلوي) للأشجار عالية التحمل للجفاف وذات جذور مكتملة النمو، والتي يمكن ريها بالمياه التي يتم احتجازها وتخزينها في التربة في نظام (**LID**) المصمم. يتم هنا استخدام نفس التقسيم الفرعي للمستجمعات المائية الذي تم استخدامه لتصميم (**LID**). ويتم استخدام 25 عامًا من البيانات اليومية لهطول الأمطار ودرجات الحرارة لتصميم المناظر الطبيعية البعلية. سيتم حساب مساحة التاج الأخضر لكل مستجمع مائي بناءً على ميزاتها وخصائصها. وتكون معادة الموازنة الهيدرولوجية كالتالي:

$$\Delta S = P + R - ET \qquad (7)$$

حيث:

ΔS= التغير في حجم المياه المخزنة في التربة (ft^3).

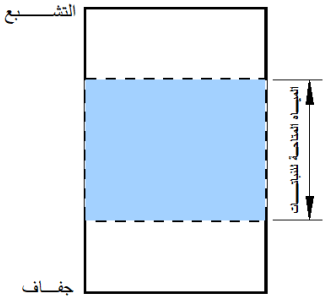
P = حجم هطول الأمطار (ft^3).

R = حجم الجريان السطحي (ft^3)

ET = البخر الكلي (ft^3).

في هذا التصميم، خزان المياه هو عبارة عن المياه المحتجزة في تربة وحدات الاحتفاظ الطبيعي والمتاحة للنبات. حيث أن المياه المتاحة للنبات هي المياه الغير مقيدة (مياه التوتر السطحي) الموجودة في التربة والتي يمكن للنبات امتصاصها. يقع هذا الماء في النطاق بين محتويين من مياه التربة هما نقطة الذبول (Wilting point) والسعة الحقلية (Field capacity) والموضحتين في (الشكل 15). السعة الحقلية هي النسبة المئوية للرطوبة (θ) المتبقية في التربة بعد 48-72 ساعة قبل مغادرة المياه منطقة الجذور. يكون المحتوى الرطوبي للتربة مساويا للسعة الحقلية عندما تتشبع التربة نتيجة للري أو لهطول أمطار غزيرة. يختلف الوقت الذي تستغرقه المياه لمغادرة منطقة الجذور حسب معدلات الصرف، ففي التربة الطينية تستغرق 3 أيام بينما في التربة الرملية تستغرق يوم واحد، بينما نقطة الذبول هي أقل محتوى رطوبي للتربة التي يصل فيها النبات إلى حالة الذبول الدائم، وعند الوصول إلى هذه النقطة ويتأثر النبات تأثرا بالغا لا يمكن تعويضه مرة أخرى بزيادة الرطوبة. [2]

قيمة السعة الحقلية للتربة المستخدمة في هذه الدراسة هي 31%، بينما قيمة نقطة الذبول هي15%.[2]

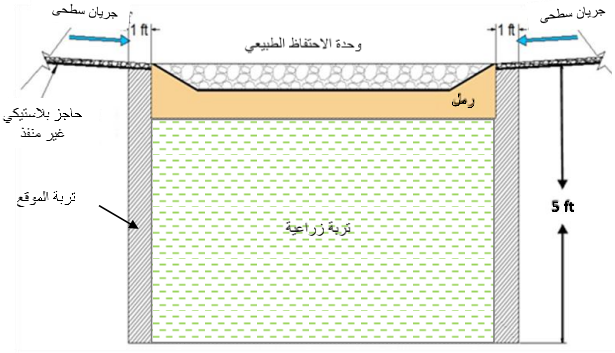


شكل 15 . المحتوى الرطوبي للتربة.

التصميم البعلي (سلبي) لتجميع مياه الأمطار (**Passive Rainwater Harvesting**) هو التصميم الذي يستخدم التربة بدلاً من الخزانات الصناعية لتخزين المياه [5]. في هذه الدراسة يهدف التصميم إلى التخلص من الحاجة إلى ري النباتات المزروعة حول المناطق المطورة (Landscape plants). ما لم تتم مواجهة فترة جفاف طويلة، حيث تستخدم النباتات مياه الأمطار المجمعة والمحتجزة في وحدات الاحتفاظ الطبيعي وتخزينها في التربة الموجودة فيها.

لذلك يتم اختيار نبات يكون محليًا وناشئًا في ظروف مناخ البحر المتوسط، ويتناسب مع هذه الاستراتيجية حيث يتمتع بمقاومة عالية للجفاف والظروف البيئية القاسية واستهلاك منخفض للمياه عندما تكون مكتملة النمو، ويكون دائم الخضرة. طبقا لهذه المواصفات تم اختيار شجرة الزيتون. فبالإضافة إلى امتلاكها للميزات المذكورة، فإن شجرة الزيتون من الأشجار المعمرة وتعتبر ثروة لما لها من فوائد اقتصادية وصحية وبيئية. كما تتميز بامتداد جذورها لمسافة كافية للاستفادة بأكبر كمية ممكنة من المياه المخزنة في وحدة الاحتفاظ الطبيعي حيث وجد أن الامتداد الرأسي لجذور شجرة الزيتون مكتملة النمو يتراوح ما بين (1.2-1.7) م في حين أن امتداد الجذور الأفقي لشجرة الزيتون مكتملة النمو يصل إلى 12م. [2]

حدود حجم خزان المياه موضحة في الشكل (16). عادة يكون السطح المتاح لتخلل المياه ضيقًا عند السطح ثم يتشتت تدريجياً عندما يتعمق الماء بشكل أكثر في التربة. لذلك يتم إضافة قدم واحدة لكل جانب من وحدات الاحتفاظ الطبيعي. يتم تحديد الحد السفلي من خلال عمق الجذر، ويكون لشجرة الزيتون 1.5 متر (خمسة قدم).



شكل 16 . حدود تخزين المياه في التربة.

وبناء على ما سبق فيمكن حساب حجم خزان التربة من المعادلة التالية:

$$V_s\ =\ \theta\ *\ ((L+1)\ *\ (B+1))\ *\ D \qquad (8)$$

حيث:

V_s = حجم الخزان (ft^3).

θ = نسبة المحتوى المائي.

L = طول وحدة الاحتفاظ الطبيعي (ft).

B=عرض وحدة الاحتفاظ الطبيعي (ft).

D= عمق جذور النبات (ft).

البخر الكلي **Evapotranspiration (ET)** هو فقدان الماء في الغلاف الجوي من التربة عن طريق التبخر من سطح التربة والنتح من النباتات التي تنمو عليها. ويعتبر عاملاً معقدًا في توازن الماء لأنه يتأثر بالعديد من العوامل؛ وهناك عدة استخدام العديد من الطرق لتقدير معدل البخر الكلي.

البخر الكلي للنبات المستخدم عندما يكون مكتمل النمو وفي الظروف الصعبة (ندرة المياه الموجودة في التربة) هو $1.38\ mm/_{day}$. [8]
ونظرا للارتباط المباشر بين درجة الحرارة والتبخر، تم توزيع معدل البخر الكلي بين الأيام بناءً على قياسات درجة الحرارة في هذه الأيام مما يعني أن اليوم سيكون له معدل ET يتوافق مع درجة حرارته. وتم حساب معدل البخر الكلي بوحدة $(in/_{day})$ باستخدام المعادلة التالية:

$$(ET)_i\left(\frac{in}{day}\right) = \frac{T_i}{\sum_{i=n}^{i=1} T} * \left(ET\frac{in}{year} * N\right) \quad (9)$$

حيث:
T درجة حرارة أكبر من 32-درجة فهرنهايت.
N = عدد البيانات السنوية.
بعد حساب البخر الكلي اليومي $(in/_{day})$، يكون حجم فقدان الماء عن طريق التبخر كالتالي:

$$ET\ (ft^3) = Ac\ (ft^2) * ET\ (ft) \quad (10)$$

حيث:
Ac = مساحة التاج الأخضر للنبات المستخدم.

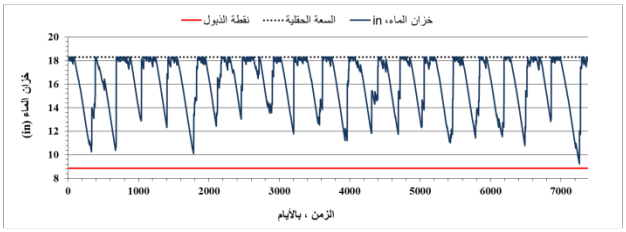
أما بالنسبة لحجم التساقط **Precipitation (P)** فيشمل حجم مياه الأمطار الساقطة مباشرة على وحدة الاحتفاظ الطبيعي فقط، والتي تدخل في الموازنة المائية. ويمكن حساب هذا الحجم باستخدام المعادلة التالية:

$$P\ (ft^3) = P\ (ft) * As \quad (11)$$

حيث:
As = مساحة وحدة الاحتفاظ الطبيعي.

وأما بالنسبة لحجم الجريان السطحي **(Runoff)** حجم الجريان السطحي المتضمن في الموازنة المائية هو مقدار الجريان الكامل المتولد في مساحات تجميع مياه الأمطار، وذلك لتوجيهه ونقله إلى وحدات الاحتفاظ الطبيعي. ومع ذلك يمكن أخذ الحد الأقصى لحجم الجريان في الاعتبار في هذه المحاكاة باعتبار أنه يساوي سعة وحدة الاحتفاظ الطبيعي. ويتم نقل أي جريان فائض إلى الوحدة التالية أو إلى الشارع. ويمكن حساب الحجم باستخدام نفس الطريقة المستخدمة عند حساب حجم وحدات الاحتفاظ الطبيعي.

بعد تحديد كيفية حساب المعاملات الرئيسة لمعادة الاتزان الهيدرولوجي تم تطوير لمحاكاة لحساب مساحة التاج الأخضر والتي يمكن زراعتها بشكل سلبي (زراعة بعلية) عندما تكون الجذور مكتملة النمو. حيث يُفترض أن التربة في خزان المياه مروية ووصلت إلى السعة الحقلية بكامل حجم التخزين قبل اليوم الأول، وبالتالي فإن حجم التخزين في اليوم الأول يساوي سعة حقل التربة مضروبًا في حجم التخزين. بعد ذلك، في الأيام التالية، استهلك حجم التخزين الذي يساوي الحد الأدنى للقيمة بين حجم تخزين سعة التربة، أو القيمة القصوى بين حجم التخزين عند نقطة الذبول أو حجم الماء الحالي بالإضافة إلى الهطول المباشر على وحدة الاحتفاظ الطبيعي مضافا إليه القيمة الدنيا ما بين الجريان السطحي المتولد في المستجمعات المائية وحجم وحدة الاحتفاظ الطبيعي مطروحًا منه معدل التبخر النتح مضروبًا في منطقة التاج الأخضر.
يتم تمثيل التغيير في خزان المياه في التربة بيانيا لكامل 25 عامًا ويتم تعديل مساحة التاج الأخضر عن طريق المحاولة والخطأ للحصول على مساحة يكون فيها المحتوى الرطوبي أعلى من نقطة الذبول.
يُظهر المخطط التالي (الشكل 17) الحالة التي تكون فيها مساحة التاج الأخضر معتدلة حيث يمكن تغذيتها بشكل بعلي بالمياه المخزنة في التربة دون الحاجة لري النباتات وبفقد ضئيل للمياه حيث يمكن الحصول على هذه القيمة بعد عدة تكرارات.



شكل 17 . التغير في المياه المخزنة في حالة مساحة التاج الأخضر معتدلة.

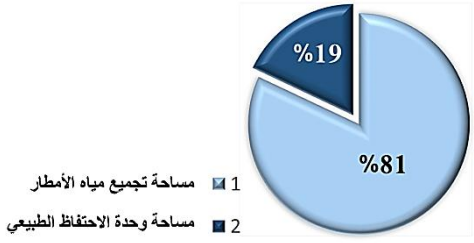
6. النتائج

أظهرت نتائج تصميم نظام التطوير المنخفض التأثير **(LID)** أن نظام تقنيات الإدارة المتكاملة **(IMP)** المصمم لمنطقة الدراسة يمكنه تجميع الجريان السطحي الزائد، الناتج عن تحويل الأراضي الطبيعية ذات الأسطح المنفذة إلى مباني ومساحات ذات أسطح غير منفذة عند أقرب نقطة ممكنة من مصدره. هذا يحافظ على هيدرولوجية المنطقة كما كانت قبل تطويرها. كما أظهرت النتائج أيضًا أنه يمكن الحصول على منظر طبيعي بعلي فعال (أي دون الحاجة لريه) يتكون من أشجار محلية ذات قدرة عالية لتحمل الجفاف بعد اكتمال نموها ودائمة الخضرة (شجرة الزيتون) وذلك باستخدام المياه المحجوزة في تقنيات نظام الإدارة المتكاملة.

تقنية وحدة الاحتفاظ الطبيعي لهذه الدراسة يختلف حجمها بين المستجمعات المائية الثلاثة الموضحة في الشكل (9)، وذلك نتيجة التباين في مساحة السطح الغير منفذ في هذه التقسيمات. يتم التحكم في حجم وحدات الاحتفاظ الطبيعي من خلال كمية مياه الجريان السطحي الموجه نحو هذه الوحدات.

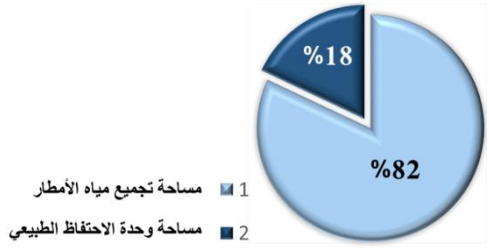
تعتمد كمية مياه الجريان السطحي على نوع السطح ومساحة المنطقة المحيطة بوحدات الاحتفاظ الطبيعي، حيث عندما تكون نفاذية السطح منخفضة تتولد كمية كبيرة من الجريان السطحي، وذلك لأن كمية مياه التي تمتصها التربة تكون صغيرة.

من خلال النتائج المتحصل عليها من المحاكاة المستخدمة، التي كانت عبارة عن مساحة وحدة احتفاظ الطبيعي في كل مستجمع مائي من المستجمعات التي تم تقسيم منطقة الدراسة إليها. يمكن إيجاد كلا من النسبة المئوية التي تمثلها مساحة تجميع مياه الأمطار، والنسبة المئوية التي تمثلها مساحة وحدة الاحتفاظ الطبيعي من إجمالي المستجمع المائي التي وضعت به، وذلك لكل مستجمع مائي من المستجمعات الثلاثة. ففي المستجمع المائي الأول، تمثل مساحة المستجمع المائي ما نسبته 38% من المساحة الكلية. في هذه المساحة تم تنفيذ وحدة احتفاظ طبيعية واحدة فيها وكانت نسبته، كما بالشكل (18)، من المستجمع المائي 19% والجزء المتبقي 81% يكون عبارة عن مساحة تجميع لمياه الأمطار.



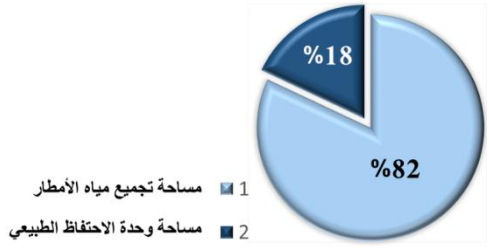
شكل 18 . توزيع مساحات المستجمع المائي الأول.

أما بالنسبة للمستجمع المائي الثاني فتمثل مساحة المستجمع المائي ما نسبته 18% من المساحة الكلية. في هذه المساحة تم تنفيذ وحدة احتفاظ طبيعية واحدة فيها وكانت نسبتها من المستجمع المائي 18% والجزء المتبقي 82% يكون عبارة عن مساحة تجميع لمياه الأمطار (الشكل 19).



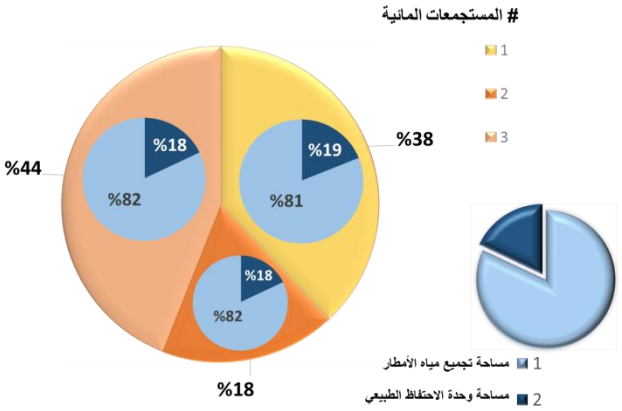
شكل 19 . توزيع مساحات المستجمع المائي الثاني.

وأخيرا فإن مساحة المستجمع المائي الثالث تمثل ما نسبته 44% من المساحة الكلية. في هذه المساحة تم تنفيذ وحدة احتفاظ طبيعية واحدة فيها وكانت نسبتها من المستجمع المائي 18% والجزء المتبقي 82% يكون عبارة عن مساحة تجميع لمياه الأمطار (الشكل 20).



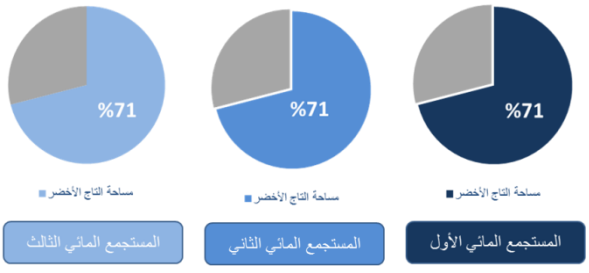
شكل 20 . توزيع مساحات المستجمع المائي الثالث.

والشكل التالي (شكل 21) يوضح ملخص لنسبة مساحات المستجمعات المائية من المساحة الكلية لموقع الدراسة نسبة مساحة وحدة الاحتفاظ الطبيعي في كل مستجمع.



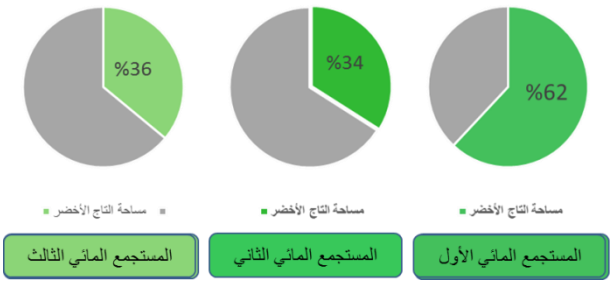
شكل 21 . نسب السمتجمعات المائية للمساحة الكلية ونسب وحدات الاحتفاظ الطبيعية.

أما فيما يتعلق بنتائج المساحات الخضراء البعلية التي يمكن تغذيتها بالمياه المحصورة في وحدات الاحتفاظ الطبيعية في كل مستجمع فتضمنت مساحة التاج الأخضر لكل منظر طبيعي بعلي حيث تختلف مساحات المناظر الطبيعية التي يمكن تغذيتها بشكل بعلي لنبات مكتمل النمو باختلاف نوع هذا النبات. ونظرا لاختيار نوع نبات واحد لجميع المستجمعات المائية (الزيتون) فإن نسبة مساحة التاج الأخضر بالنسبة لوحدة الاحتفاظ الطبيعية كانت متساوية كما هو موضح بالشكل التالي (شكل 22).



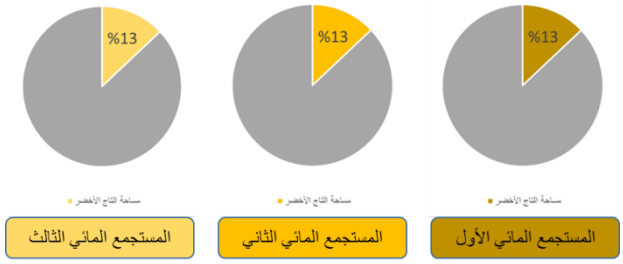
شكل 22 . نسب مساحة التاج الأخضر بالنسبة لوحدة الاحتفاظ الطبيعي لكل مستجمع.

أما بالنسبة لمساحة التاج الأخضر بالنسبة للمساحة الخضراء لكل مستجمع فإنها تختلف من مستجمع لآخر كما هو مبين بالشكل (23)، وذلك نظرا لاختلاف مساحات وحدات الاحتفاظ الطبيعي في كل مستجمع باختلاف مساحات التجميع المختلفة واختلاف مساحات الاسطح الغير منفذة في كل مستجمع عن المستجمع الآخر.



شكل 23 . نسب مساحة التاج الأخضر بالنسبة للمساحة الخضراء لكل مستجمع.

مساحة التاج الأخضر الموضحة في الشكل السابق تمثل نسب مختلفة من المساحة الكلية لكل مستجمع، حيث تشكل 13% من المساحة الكلية تعطي منظرا جماليا للموقع دون الحاجة إلى ري هذه المساحة، والشكل التالي (شكل 24) يوضح هذه النسب المتساوية.



شكل 24 . نسب مساحة التاج الأخضر بالنسبة للمساحة الكلية لكل مستجمع.

7. الخلاصة والتوصيات

من خلال نتائج تصميم نظام التطوير منخفض التأثير لمنطقة الدراسة، ومن خلال محاكاة الميزانية المائية وفقًا للظروف المناخية لفترة دراسة 25 سنة، يمكن استنتاج أنه بالإمكان تكييف نظام تحكم متكامل في الجريان السطحي الناتج من فيضانات مياه الأمطار ليتماشى مع مناخ البحر المتوسط. حيث وفرت هذه المحاكاة حلاً بديلاً للنُظم التقليدية لإدارة مياه الأمطار. فهذا النظام يتم من خلاله توفير تقنية جديدة يمكنها التخزين للجريان السطحي والتخلل والتبخر والاحتفاظ به واحتجازه بشكل طبيعي. وهذه التقنية تحاكي العمليات الهيدرولوجية للمنطقة وتعالج الأضرار البيئية الناتجة عن التغيير فيها، حيث أن مقدار الجريان السطحي الناتج من الموقع بعد التطوير سيكون مساويا لمقدار الجريان السطحي قبل التطوير.

فيمكن لسلسلة من تقنيات LID أن تشكل نظام ممارسات الإدارة المتكاملة (IMP) الذي يسيطر بشكل كبير على تراكم كميات مياه الجريان السطحي، بحيث لن يحدث فيضان ما لم تتعرض المنطقة إلى عاصفة أكبر من تلك التي حدثت في الخمسة والعشرين سنة المدروسة. ومن خلال المياه المخزنة في تقنيات النظام (وحدات الاحتفاظ الطبيعي) فإنه لن يكون هناك حاجة إلى ري المناظر الخضراء الطبيعية والتي هي عبارة عن أشجار الزيتون الدائمة الخضرة والعالية التحمل لظروف الجفاف وذات الفوائد الغذائية والصحية المعروفة. ويمكن السيطرة على حجم أكبر من الجريان السطحي بتوفير مساحات أكبر من وحدات الاحتفاظ الطبيعية مع الأخذ في الاعتبار التغيرات الهيدرولوجية التي قد تترتب على ذلك. إن أهم مزايا هذا النظام هو التشجيع على المحافظة على بيئة نظيفة وذلك بزيادة المساحات الخضراء داخل المدن وذلك لانخفاض تكلفة إنشاء هذه المساحات بالري البعلي، وبالتالي المساهمة في معالجة مشكلة التصحر.

وبناء على النتائج المتحصل عليها والاستنتاجات التي تم الوصول إليها، فإنه يوصى باختبار ملائمة هذا التصميم لمناطق أخرى ذات ظروف مناخية وجيولوجية وطبوغرافية مختلفة. وتطبيق التصميم على مناطق

أكبر مثل الأحياء السكنية، باتباع نفس المبادئ. كما يوصى بتجربة تقنيات LID الأخرى غير تلك المستخدمة في هذه الدراسة مثل المستنقعات النباتية بين الطرق. أما فيما يتعلق بالبيانات اللازمة لإجراء مثل هذه الدراسات فإنه يوصى بقياس معدلات التبخر الفعلية للنباتات المحلية التي تزرع بشكل سلبي لأنها قد تكون أقل من النباتات المروية وبالتالي يمكن الحصول على مساحة تاج أخضر أكبر. يوصى أيضا بإجراء دراسات جيوتقنية لتربة الموقع المراد تطبيق مثل هذا التصميم عليه، لدراسة طبقاتها، وذلك لمعرفة مدى ملائمتها للزراعة، وبالإضافة إلى معرفة درجة مساميتها. يمكن أيضا في دراسات مستقبلية تجربة فصائل أخرى من النباتات لمعرفة كيف يتغير حجم المناظر الطبيعية البعلية مع المتطلبات المائية باختلاف نوع النبات. حيث يمكن تضمين النباتات ذات المتطلبات المائية الأعلى في تصميم النظام ليكون شبه سلبي، حيث يجب ري النباتات في أوقات معينة خلال العام لتلبية احتياجاتها من المياه.

8. المراجع

أ. *المراجع العربية*

[1] خليفة درادكة .1987. هيدرولوجية المياه الجوفية. عمان، دار مجدلاوي للنشر والتوزيع.

[2] فاروق الفتياني، محمد أبو رحيم، عبدالله حسن، عاطف جبران. 1999. شبكات الري والصرف. الإسكندرية\مصر، نور الإسلام للطباعة.

[3] مصلحة المساحة الليبية.1977. الاطلس الوطني.

[4] المركز الوطني للأرصاد الجوية. 2021. طرابلس\ليبيا.

ب. *المراجع الأجنبية*

[5] Abubaker Alamailes. 2011. *Adaptation of Low Impact Design to the Desert Southwest*. The University of Texas at El Paso.

[6] North, G.R., Pyle, J.A. and Zhang, F. eds., 2014. *Encyclopedia of atmospheric sciences* (Vol. 1). Elsevier.

[7]] Erik swartzendruber. 2019. What about Gravel mulch. 2021. https://www.bentonswcd.org/2019-01-11-the-dirt-what-about-gravel-mulch

[8] Santos, F.L., 2018. Olive water use, crop coefficient, yield, and water productivity under two deficit irrigation strategies. *Agronomy*, 8(6), p.89.

[9] Oberascher, M., Zischg, J., Palermo, S.A., Kinzel, C., Rauch, W. and Sitzenfrei, R., 2019. Smart rain barrels: Advanced LID management through measurement and control. In *New Trends in Urban Drainage Modelling: UDM 2018 11* (pp. 777-782). Springer International Publishing.

[10]] Madhab Behera. 2017. *Watershed development for sustainable resource utilization*. College of Forestry, Bhubaneswar.

[11] County, P.G.S., 1999. Low-impact development design strategies: An integrated design approach. *Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.*

[12] Cronshey, R., 1986. *Urban hydrology for small watersheds* (No. 55). US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.

[13] Willmott, C. J., C. M. Rowe, and Y. Mintz. 1985. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Journal of Climatology* 5 (6): 589-606.