الفصل السادس

حصاد مياه الأمطار والسيول

(٦,١) مقدمة

تشكل ندرة الموارد المائية هاجساً كبيراً يحد من تنفيذ الخطط والبرامج المائية، الإنمائية والخدمية، وقد أثر ذلك على رفاهية المواطن وإنتاجيته وصحته وبيئته. إن مستوى استخدامات المياه أصبح معياراً حقيقياً لتحديد مدى تقدم المجتمع وتطوره. يزداد الاهتمام بوضع المياه في المناطق الجافة نظراً لشحها والحاجة الماسة لها في مختلف مجالات التنمية، وتعتبر إدارة مياه الأمطار عن طريق ما يعرف بحصاد المياه من الوسائل المتاحة للتصدي لشح المياه.

تعتبر معدلات سقوط الأمطار من أكثر الموارد الطبيعية أهمية في البيئات الجافة وشبه الجافة. وفي كثير من الدول العربية تشكل هذه المعدلات المصدر الوحيد لجريان المياه السطحية وتغذية المخزون الجوفي. كما أن فقدان مياه الأمطار القليلة دون الإفادة منها في الاستخدام الزراعي والمنزلي، إلى جانب سوء إدارة الأرض يعتبران عاملين معنويين يسهمان في عملية التصحّر وزيادة معدل الفقر في المناطق الجافة. ويجب إعطاء رعاية لمياه الأمطار وإدارة الأرض على نحو ملائم ليعطي فرصة لنجاح الزراعة. وتعد عملية حصاد المياه مفتاح استخدام مياه الأمطار على نحو أفضل لغايات زراعية، فهي تشكل زيادةً في كميّة المياه المتاحة في وحدة المساحة المحصولية، وتقلل من تأثير الجفاف، وتستخدم مياه الجريان على نحو مفيد. وتزداد أهمية حصاد الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تنعدم الأنهر دائمة الجريان وتصبح تقنية حصاد مياه الأمطار أكثر ملاءمة لدعم الموارد المائية.

ويقصد بحصاد مياه الأمطار تجميعها في عدة أشكال خلال فترة زمنية معينة من الدورة الهيدرولوجية التي تبدأ من وصول الأمطار إلى أسطح المباني أو الأراضي وحتى مرحلة الجريان للمياه في شكل سيول أو بتحويل جزئي لتصريف الأودية والأنهار أو حجز مياه النهر أو الوادي عن طريق بناء سد في مجراه أو منشآت تحويلية بهدف

التخزين والاستفادة من هذه المياه في أوقات انعدام هطول الأمطار أو أوقات الجفاف، حيث يقل تصريف أو يتوقف جريان الأودية. وتشكل الاستفادة من تجميع مياه الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة، التي غالباً ما تهطل فيها الأمطار خلال أشهر قليلة من السنة، أهمية كبرى تفوق مثيلاتها في المناطق الرطبة، وتزداد أهميتها في المناطق التي تنعدم أو تقل فيها مصادر أخرى كالمياه الجوفية أو المياه المنقولة وتصبح في هذه الحالة الوسيلة الأكثر جدوى لتأمين حياة الإنسان والحيوان والنبات. ورغم ارتباط عمليات حصاد مياه الأمطار ببعض العوامل الرئيسة التي لا يمكن التحكم فيها كالظروف المناخية السائدة أو ظروف طبيعة التربة، إلا أن حسن استثمار واستخدام المتوفر من مياه الأمطار، مهما كان قليلاً، يؤمن مصادر أساسية للمياه في بعض الحالات.

(٢ , ٦) مفهوم حصاد المياه

يقصد بحصاد المياه بأنها عملية تجميع مياه الأمطار أو السيول من سطح ما وتخزينه في مكان محدد لاستخدامها لأغراض الري التكميلي للمحاصيل الزراعية أو للشرب أو سقاية الحيوان أو تغذية المياه الجوفية. ويطلق مصطلح حصاد المياه على أية عملية مورفولوجية أو كيميائية أو فيزيائية تنفذ على الأرض من أجل الاستفادة من مياه الأمطار، سواءً بطريقة مباشرة عن طريق تمكين التربة من تخزين أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار الساقطة عليها وتخفيف سرعة الجريان الزائد عليها. هذا الأمر من شأنه أن يسهم في تقليل الانجراف بطريقة غير مباشرة، وذلك بتجميع مياه الجريان السطحي في منطقة تصريف وتخزين غير معرضة للانجراف.

كذلك فإن فلسفة حصاد مياه الأمطار وحفظ رطوبة التربة تقوم على التقليل من انجراف التربة الزراعية، وفي ذلك إيجاد حلول عملية لاستصلاح الأراضي المنجرفة عن طريق الحد من تدهور خواصها الطبيعية وتقليل جريان المياه السطحية وزيادة مخزون المحتوى المائي للتربة في المناطق المزروعة. بالإضافة إلى تجميع مياه الأمطار بوسائل علمية وإعادة استعمالها في ري المحاصيل عند الضرورة.

تعريف حصاد المياه

تعرف عملية حصاد مياه الأمطار والسيول بأنها تلك التقنية التي تستخدم في حجز وتخزين مياه الأمطار والسيول في فترات سقوطها بطرق تختلف باختلاف الغاية من تجميعها ومعدلات تساقطها وإعادة استخدامها عند الحاجة إليها سواء للشرب أو للري التكميلي أو لتغذية المياه الجوفية. كما يمكن تعريف حصاد المياه بأنه وسيلة

متكاملة لجمع وتخزين مياه الجريان فوق سطح الأرض الناتجة عن مياه الأمطار أو السيول. ويمكن اعتباره وسيلة لتجميع وتخزين مياه الأمطار والجريان السطحي في مكان محدد بهدف الاستفادة منه في بعض الاستخدامات.

وقد تتم عملية حصاد المياه بصورة طبيعية بدون تدخل الإنسان في أعقاب عواصف شديدة، إذ تتدفق المياه إلى المناطق المنخفضة مشكلة مساحات يستثمرها المزارعون في الزراعة.

(٦,٣) المكونات الرئيسة لنظام حصاد مياه الأمطار والسيول

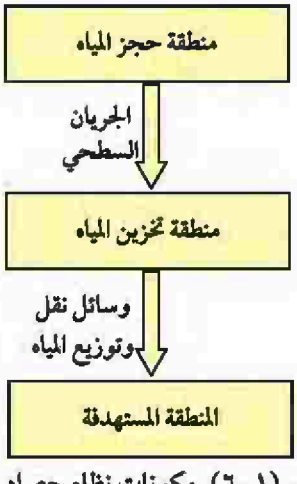
تتلخص مكونات نظام حصاد المياه كما في الشكل رقم (٦,١) في أجزاء ثلاثة هي:

١- منطقة حجز المياه

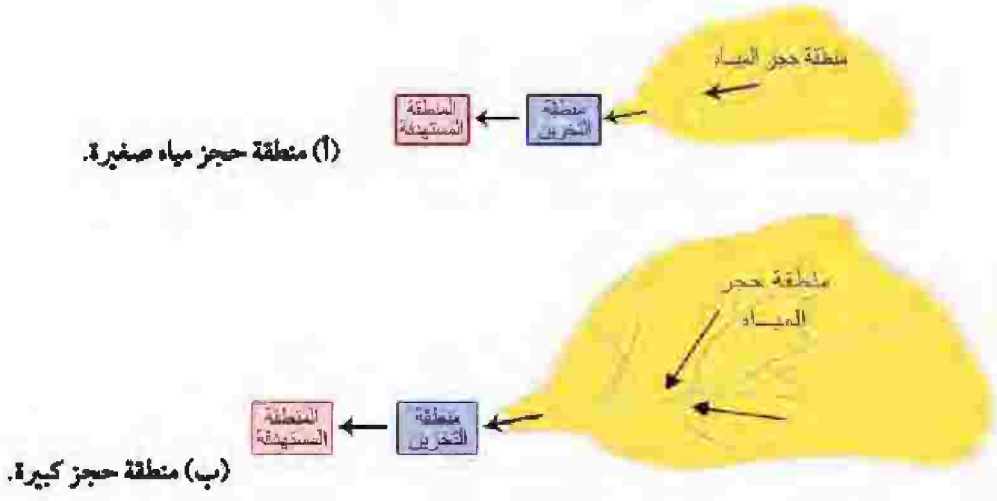
ويتم فيها حجز أو جمع المياه بشكل مؤقت تمهيداً لنقلها إلى منطقة التخزين. ويمكن أن تكون منطقة الجمع صغيرة ولا تتجاوز بضعة أمتار مربعة، كما بالشكل رقم (٦,٢ أ)، أو كبيرة تصل إلى عدة كيلو مترات مربعة، كما بالشكل رقم (٦,٢ب). ويمكن أن تكون أرضاً زراعية، أو صخرية، أو هامشية أو حتى سطح منزل أو طريقاً معبداً.

٢- منطقة التخزين

وهو المكان الذي تحتجز فيه المياه الجارية من وقت جمعها وحتى استخدامها، ويمكن أن يكون التخزين في خزانات أرضية أو تحت الأرض مثل الخزانات الجوفية أو شبه الجوفية أو خزانات أسمنتية أو بلاستيكية أو في التربة ذاتها كرطوبة تربة، أو في طبقات المياه الجوفية.



الشكل رقم (٦,١). مكونات نظام حصاد مياه الأمطار.



الشكل رقم (٢, ٦). اختلاف مساحة مناطق حجز المياه.

٣- المنطقة المستهدفة

وهي المنطقة التي تستخدم فيها المياه التي جرى حصادها لاستخدامها لري المزارع أو في شرب الحيوان أو في الاستخدام المنزلي.

وقد تتطلب أنظمة حصاد المياه في بعض الأحيان نظام أو وسيلة للنقل وذلك لنقل وتوزيع هذه المياه من منطقة التخزين إلى المنطقة أو المناطق المستهدفة عن طريق قنوات أو أخاديد أو بضخها في أنابيب بواسطة مضخات.

(٦, ٤) العوامل المحددة لنظام حصاد مياه الأمطار

١- إن حصاد مياه الأمطار لن يكون اقتصادياً في المناطق ذات معدلات أمطار سنوية تقل عن ٥٠ – ٨٠ مم.

٢- يجب توفر المعلومات المتعلقة بمقدر الأمطار وشدتها وتكرارها لمختلف المناطق المستهدفة ومناطق حصد المياه.

٣- يجب اختيار وتطبيق أساليب حصاد المياه بعناية وحذر لتخفيف الآثار الجانبية، فمن الممكن أن تسبب أنظمة حصاد مياه الأمطار سيئة التصميم والإدارة انجراف التربة أو فيضانات موضعية.

٤- يجب الأخذ في الاعتبار درجة ميل الموقع حيث أن للميل أثر هام في سرعة الجريان السطحي وكميته ومن الثابت أن أكفأ حصاد مياه يأتي من الأحواض المائية ذات الميول القصيرة قليلة الانحدار، ويجب أن يتراوح الميل ما بين ١-٥٪.

٥- يجب أن تتصف منطقة التخزين في حصاد مياه الأمطار بالثبات أمام عوامل التعرية وحركة السير المعتادة على الأقدام.

٦- قد يتحتم عمل سياج حول منطقة التخزين لتجنب التلوث البيئي.

٧- وتحتاج مياه الجريان الملوثة إلى معالجة قبل أن يستعملها الإنسان مثل استخدام المصافي أو مصائد السلت.

٨- يجب توفير الخبرة في مصمم نظام الحصاد ومن يقوم بإدارة الحصاد المائي.

٩- يجب عند إنشاء نظام الحصاد التأكيد على أهمية صيانة النظام دورياً للحفاظ على كفاءة تجميع وحصد المياه.

(٥, ٦) فوائد حصاد المياه

وعموماً فإن مشاريع حصاد مياه الأمطار يمكن أن تحقق الفوائد أو الأهداف التالية:

١- توفير عامل الاستقرار لسكان مناطق هذه المشاريع والمناطق المجاورة ورفع مستوى معيشتهم نتيجة زيادة الإنتاج وتوفير فرص عمل إضافية، وبالتالي زيادة الدخل، وبالتالي التخفيف من هجرة أهل الريف إلى المدن.

٢- ترسيخ صياغة مفاهيم صيانة الترب والتحكم في عمليات انجرافها والعمل على توسيع نشر هذه المفاهيم بين المزارعين والمستفيدين.

٣- نقل تقنيات حصاد المياه لمشاريع رائدة إلى مناطق مثيلة وتحقيق الانتشار الواسع بها.

٤- دعم برامج الأمن المائي والأمن الغذائي في المناطق الجافة.

٥- الحد من عمليات الزحف الصحراوي في المناطق الرعوية والهامشية بالاستفادة من تقنيات حصاد المياه وفق الظروف البيئية السائدة في المنطقة بما يكفل تحقيق التوازن البيئي فيها.

٦- تدريب الكوادر الفنية على تقنيات حصاد المياه ونقل وتبادل تقنيتها.

٧- يُمكن من الزراعة في البيئات الجافة ذات الأمطار القليلة وغير المنتظمة خصوصاً ذات التربة الملائمة للزراعة.

٨- يمكن رفع إنتاجية المحاصيل في المناطق التي كميات المطر فيها قليلة وتؤثر على الإنتاجية، بإعطاء المحاصيل كفايتها من المياه.

٩- يمكن بها تلبية بعض احتياجات الإنسان والحيوان في المناطق التي لا تكفي المياه بها لهذه الأغراض.

١٠- تمكن في المناطق الجافة التي تعاني التصحر تحسين الغطاء النباتي وتحجيم التدهور البيئي.

(٦,٦) تقنيات حصاد مياه الأمطار والسيول

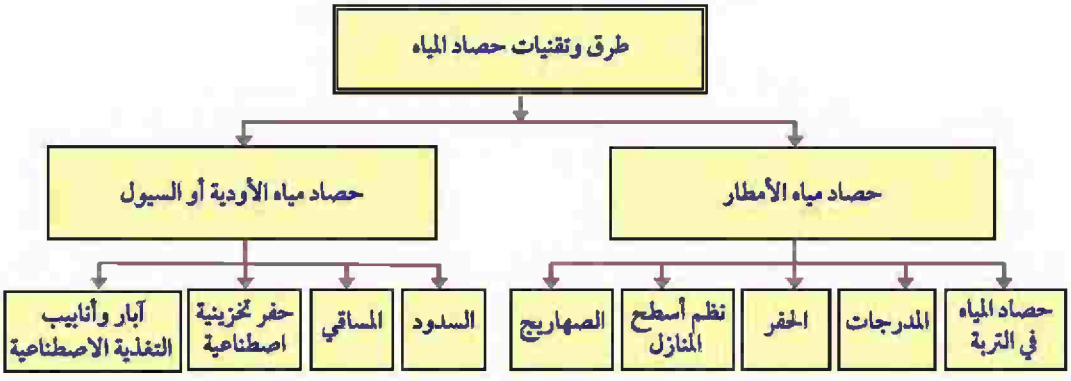
تعتبر تقنيات حصاد مياه الأمطار والسيول إحدى الوسائل القديمة جداً التي قام بها الإنسان في مناطق شتى من العالم لتعظيم الاستفادة منها. ويعتبر المؤرخون أن العرب الأنباط (٥٠٠ ق.م) هم أول من برع في تصميم وتطوير تقنيات حصاد مياه الأمطار. كما بلغت تلك التقنيات أوج ازدهارها في الأردن خلال الحكم الروماني في الفترة الممتدة من ٦٣ ق.م حتى ٦٣٦ م، وهناك مؤشرات على أن هذه التقنيات استخدمت في عديد من المناطق مثل شمال أفريقيا وبعض الدول الأسيوية وفلسطين ومصر والصين. ولهذا فهي تقنيات ليست بجديدة بل تضرب جذورها في عمق التاريخ.

تم استنباط معظم تقنيات حصاد المياه وذلك لاستخدامها لنمو المحاصيل أو لتأهيل وتطوير الأراضي الرعوية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، وذلك في ظل ظروف عدم كفاية الأمطار للزراعة المطرية أو شح المياه لاستخدامها لأغراض الري. تجمع مياه الأمطار من الأرض وذلك من خلال عمل معالجات للاستفادة القصوى من جريان المياه لموقع محدد مثل أرض زراعية، والتخزين بواسطة سدود أو تخزينها في التربة أو حتى استخدامها لتغذية المياه الجوفية.

وبالتالي فإن نظام حصاد المياه يضمن أن نسبة معتبرة من مياه الأمطار قد تم الاستفادة منها. وباستخدام تقنيات حصاد المياه، فإن سقوط المطر بمليمترات قليلة يتم تجميعها يمكن أن تساوي مئات المليمترات لسقوط مطر غير مجمع، عندما يتم إمدادها لأرض زراعية في منطقة شبه جافة. وطورت تقنيات حصاد المياه في العقود الماضية في إطار المشاريع التي تهدف إلى محاربة آثار الجفاف والتصحر في دول ذات طابع صحراوي والأقاليم الأخرى شبه الجافة والتي من بينها جزء كبير من الدول العربية. ويمكن تصنيف تقنيات حصاد مياه الأمطار والسيول حسب المصدر على النحو التالي:

- تقنيات حصاد مياه الأمطار.
- تقنيات حصاد الأودية أو السيول.

ويوضح الشكل رقم (٣, ٦) تصنيفاً عاماً لتقنيات حصاد المياه المستخدمة في المنطقة العربية.



الشكل رقم (٣, ٦). تصنيف تقنيات حصاد مياه الأمطار.

(١, ٦, ٦) تقنيات حصاد مياه الأمطار

من الجدير ذكره أن تقنية حصاد مياه الأمطار متعددة وتختلف من موقع لآخر حسب صفات التربة الطبيعية وطبوغرافية الموقع ومعدل كثافة هطل الأمطار والاستعمال الأفضل للأراضي. وعلى اعتبار أن حصاد مياه الأمطار يعد تقليداً قديماً تم استخدامه منذ آلاف السنين في معظم الأراضي الجافة من العالم، إلا أن ثمة تقنيات كثيرة قد جرى تطويرها، معظمها لأغراض الري، بينما طورت تقنيات أخرى من أجل حفظ المياه ليصار إلى استهلاكها من قبل الإنسان والحيوان. وقد تختلف تسميات هذه التقنيات أحياناً تبعاً للمنطقة، في حين يأخذ بعضها الاسم ذاته، مع أنها مختلفة تماماً من الناحية العملية. تعتبر هذه التقنيات تقليدية ويتم تجميع مياه الأمطار على السطح أو تحت سطح الأرض للاستخدام فيما بعد. من أنواع تقنيات حصاد مياه الأمطار التي يمكن وصف بعضها كالآتي:

أولاً: حصاد المياه في التربة

هذا النوع من التقنيات قد يستخدم لحصاد المياه بواسطة التدخل البشري فيشمل تجميع مياه الأمطار بعد سقوطها وجريانها على سطح الأرض في مكان محدد، ومن ثمّ يصار إلى جمعه أو توجيهه، أو كليهما معاً، من أجل استعماله في منطقة مستهدفة. وإضافة إلى استخدام حصاد المياه لأغراض زراعية، يمكن تطويره لتزويد الإنسان

والحيوان بمياه الشرب، إلى جانب استخدامه لأغراض منزلية وبيئية. ويمكن حساب قيمة الجريان السطحي خاصة للأحواض الصغيرة بالعلاقة الهيدرولوجية التجريبية التالية:

$$Q_r = 0.992\, C_r\, A\, R_r \qquad (٦,١)$$

حيث إن:

Q_r = معدل حصاد الأمطار من المساحة أي التصرف الناتج من الجريان السطحي (م^٣/ ساعة).

C_r = معامل الجريان السطحي والذي تتوقف قيمته على طبيعة سطح التربة وقوامها وميلها لمنطقة حصاد الأمطار، ويوضح الجدول رقم (٦,١) قيم معامل الجريان السطحي لظروف مختلفة.

A = مساحة منطقة حصاد الأمطار (هكتار).

R_r = معدل الأمطار الساقطة (مم/ سنة).

الجدول رقم (٦,١). قيم معامل الجريان السطحي لظروف مختلفة.

التضاريس والنبات	قوام التربة		
	رملية لومية	طينية و طمية لومية	طينية متراصة
غابة			
مستوية، ميل ٠ – ٥٪	٠,١٠	٠,٣٠	٠,٤٠
متموجة، ميل ٥ – ١٠٪	٠,٢٥	٠,٣٥	٠,٥٠
شديدة الانحدار ، ميل ١٠ – ١٥٪	٠,٣٠	٠,٥٠	٠,٦٠
مراعي			
مستوية	٠,١٠	٠,٣٠	٠,٤٠
متموجة	٠,١٦	٠,٣٦	٠,٥٥
شديدة الانحدار	٠,٢٢	٠,٤٢	٠,٦٠
مزروعة أو محروثة			
مستوية	٠,٣٠	٠,٥٠	٠,٦٠
متموجة	٠,٤٠	٠,٦٠	٠,٧٠
شديدة الانحدار	٠,٥٢	٠,٧٢	٠,٨٢

من الجدير ذكره أن تقنية حصاد مياه الأمطار وحفظ رطوبة التربة متعددة وتختلف من موقع لآخر حسب صفات التربة الطبيعية ومعدل كثافة هطل الأمطار والاستعمال الأفضل للأراضي، وهي تعتمد اعتماداً مباشراً على الخطوط الكنتورية (ميل الأرض)، وعمق ونوعية التربة في تحديد اتجاه وكثافة هذه الأعمال ونوع التقنية المراد إنشاؤها. ومن بعض الوسائل والطرق المستخدمة في تقنية حصاد مياه الأمطار في التربة ما يلي:

١ - أحواض جريان سطحي صغيرة

وهي أحواض جريان صغيرة تتخذ شكل المعين أو المستطيل، وتحيط بها متون ترابية قليلة الارتفاع. ويتم توجيه الأحواض بحيث يكون انحدار الأرض الأكبر موازياً للقطر الطويل للمعيّن، مما يؤدي إلى جريان المياه إلى أدنى ركن وهو المكان الذي يزرع فيه النبات.

وتتراوح الأبعاد المعتادة لهذه الأحواض من ٥-١٠ م عرضاً، ومن ١٠-٢٥م طولاً (الشكل رقم ٤, ٦). ويمكن إنشاء أحواض جريان صغيرة مهما كانت درجة الميل تقريباً، بما في ذلك السهول ذات الانحدار ١-٢٪، غير أنه قد يحدث انجراف للتربة فوق المنحدرات التي تزيد عن ٥٪، الأمر الذي يتطلب زيادة ارتفاع المتن. كما تعتبر هذه الأحواض الأكثر مواءمة لزراعة الأشجار المثمرة كالمشمش، والزيتون، واللوز، والرمان، هذا ويمكن استخدامها لمحاصيل أخرى أيضاً. وعندما يتم استخدامها من أجل الأشجار، فإنه يجب أن يكون عمق التربة كافياً لتحتفظ بكمية كافية من المياه على امتداد موسم الجفاف.

الشكل رقم (٤, ٦). نظام الأحواض وتجميع مياه الجريان عند أدنى ركن للحوض حيث يتم زراعة النبات.

٢- شرائط الجريان السطحي

تعد تقنية شرائط الجريان السطحي مناسبة للمناطق قليلة الانحدار، حيث تستخدم الشرائط لدعم المحاصيل الحقلية في البيئات شديدة الجفاف (مثل محصول الشعير في البادية)، حيث يكون الإنتاج مجازفة، والإنتاجية منخفضة. ويتم تقسيم الأرض إلى شرائط على امتداد خطوط الكنتور. ويستخدم الجزء العلوي من الشرائط كمستجمع للمياه، بينما يزرع الجزء السفلي للشريط بالمحاصيل. ويجب ألا يكون الشريط المزروع بالمحاصيل عريضاً جداً (١-٣ م)، في حين يحدد عرض شريط المستجمع بما يتوافق والكمية المطلوبة من مياه الجريان (الشكل رقم ٥ ,٦). ويمكن أن تتم زراعة المحاصيل باستخدام خطوط الجريان بشكل آلي تماماً ولا تتطلب إلا القليل من اليد العاملة. وتتم حراثة الأشرطة المزروعة ذاتها كل عام. وقد يكون تنظيف أشرطة المستجمع ورصّها أمراً مطلوباً لتحسين الجريان السطحي.

الشكل رقم (٥ ,٦). شرائط الجريان السطحي.

وتستخدم المدخلات الزراعية مثل الأسمدة ومبيدات الآفات، فوق المساحة المزروعة إلى جانب استخدام المياه. وإذا ما توافرت الإدارة الجيدة، فإنه يمكن للحراثة المتواصلة للخط المزروع بالمحاصيل أن تزيد من خصوبة التربة وتحسن من بنيتها، الأمر الذي يكسب الأرض المزيد من القدرة الإنتاجية. ويمكن استخدام أشرطة المستجمع للرعي عقب حصاد المحصول. هذه التقنية تستخدم لري المحاصيل الحقلية مثل النجيليات والبقوليات في مناطق متدنية الأمطار وقليلة الانحدار، كما يوضح ذلك الشكل رقم (٦ ,٦).

الشكل رقم (٦, ٦). شريط للجريان السطحي عقب عاصفة مطرية.

٣- نظم ما بين الصفوف Inter-row system

قد تكون نظم جمع المياه ما بين الصفوف أفضل تقنية يمكن استخدامها فوق الأراضي المنبسطة (الشكل رقم ٦, ٧). ويتم إنشاء سدود أو حواجز عرضية مثلثية الشكل على طول المنحدر الرئيس للأرض. وعند زراعة محاصيل مرتفعة القيمة مثل الأشجار المثمرة والخضروات يمكن إحكام عمل السدود وربما تغطيتها بصفائح بلاستيكية أو بمواد حاجزة للمياه لزيادة الجريان السطحي. ويتم بناء متون أو سدود بارتفاع يتراوح ما بين ٤٠ إلى ١٠٠ سم على مسافات من ٢-١٠ م.

ويتم جمع مياه الجريان المتجهة إلى أسفل المنحدر بين المتون، عندئذ يتم توجيهها نحو خزان موجود في نهاية القناة أو نحو محصول مزروع ما بين المتون. ويجب تعشيب منطقة المستجمع ورصها بصورة منتظمة لضمان الحصول على جريان سطحي مرتفع.

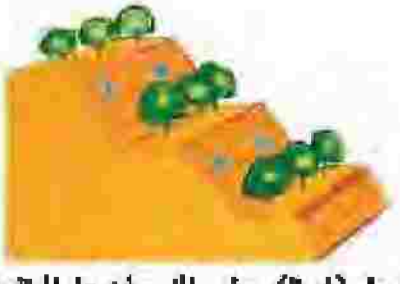
الشكل رقم (٦, ٧). تقنية ما بين الصفوف يقوم بتركيز مياه الجريان في أحد الأحواض.

ثانياً: المدرجات

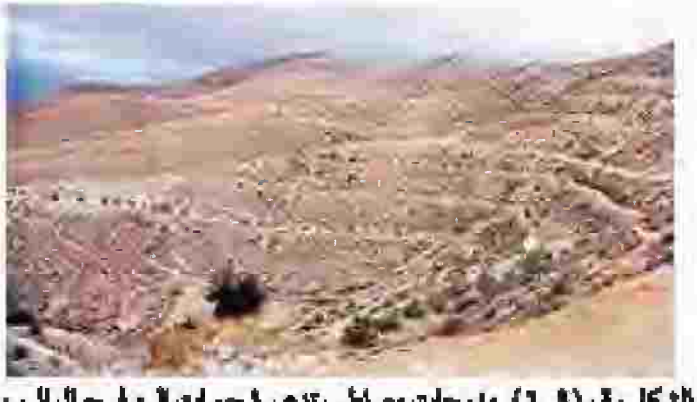
هذه التقنية هي أحد أقدم المنشآت المائية التي استخدمت على المرتفعات والجبال لحصاد مياه الأمطار. ومن أهم أنواع هذه التقنية ما يلي:

١- مدرجات مصاطب كنتورية Contour-Bench Terrace

يتم إنشاء مدرجات مصاطب كنتورية فوق مناطق شديدة الانحدار للجمع ما بين حفظ التربة وحفظ المياه من جهة وتقنية حصاد المياه من جهة أخرى. وعادة ما يتم عمل المدرجات المخصصة لزراعة المحاصيل بشكل مستوٍ ويتم تدعيمها بجدران حجرية للحدّ من سرعة تدفق المياه والتحكم بالانجراف (الشكل رقم ٦,٨). وتزود هذه المدرجات بمياه جارية إضافية تأتي من مناطق أشد انحداراً غير مزروعة تقع ما بين المدرجات. وعادة ما تزود المدرجات بمصارف للتخلص من الفائض من المياه بشكل آمن. وتستخدم هذه النظم بشكل متكرر لزراعة الأشجار والشجيرات، وتعتبر المدرجات الجبلية العظيمة في اليمن مثالاً جيداً على هذا النظام (الشكل رقم ٦,٩). وقد يتم إنشاؤها فوق سفوح الجبال الشاهقة وقد تم إنجازه بطريقة يدوية. أما الناحية السلبية في هذا النظام فتتمثل في ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته.



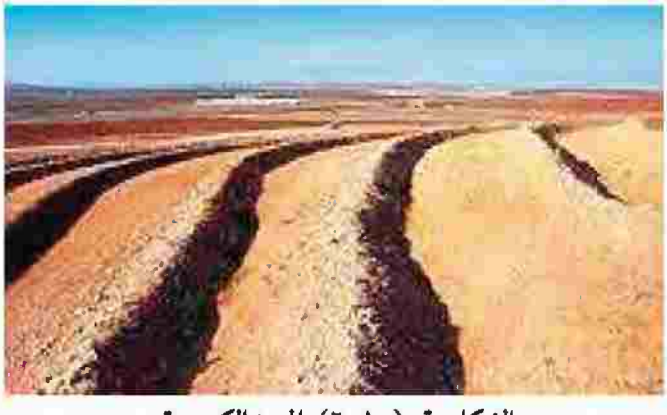
الشكل رقم (٦,٨). يوضح المدرجات على المرتفعات.



الشكل رقم (٦,٩). مدرجات مصاطب تدعم شجيرات البن في جبال اليمن.

٢- المتون الكنتورية Contour Bunds

وهي حواجز ترابية يتم إنشاؤها على طول خطوط الكِفاف، تبعد الواحدة عن الأخرى عادة مسافة تتراوح ما بين ٥-٢٠ م (الشكل رقم ٦,١٠). وتتركز الزراعة على مسافة ١-٢ م أعلى المتن، أما ما تبقى من المسافة فيشكل المستجمع. ويختلف ارتفاع كل متن تبعاً لدرجة ميل الأرض، وتحتجز مياه الجريان المتوقعة مُقدم هذا المتن. وقد تُدَعم المتون بالحجارة إذا لزم الأمر. وتعتبر عملية إنشاء المتون تقنية بسيطة يمكن تنفيذها إما يدوياً بوساطة آلة يجرها حيوان، أو بوساطة جرّار مزود بالتجهيزات المناسبة. ويمكن إنشاؤها على نطاق واسع من المنحدرات، من ١٪ حتى ٥٠٪.



الشكل رقم (٦,١٠). المتون الكنتورية.

٣- المتون الهلالية وشبه المنحرفة Semi-circular and Trapezoidal Bunds

هي حواجز أو متون ترابية على شكل نصف دائرة، أو هلال، أو شبه منحرف تكون مواجهة لأعلى المنحدر بشكل مباشر (الشكل رقم ٦,١١). ويتم إنشاؤها على مسافات تتيح لمستجمعٍ كافٍ القيام بتجهيز مياه الجريان المطلوبة، فتتجمع أمام الحاجز وهو المكان الذي تزرع فيه النباتات. وعادة ما يتم إنشاء هذه الحواجز على شكل صفوف متفاوتة.

ويتراوح قطر الدائرة أو المسافة ما بين نهايتي الحاجز من ١-٨ متر، بينما يبلغ ارتفاعه ما بين ٣٠-٥٠ سم. إن حفر التربة في الجانب العلوي لخط المتن عند إنشائه يسبب انخفاضاً ضئيلاً في مستوى التربة، حيث تتوقف المياه عن الجريان وتتجمع عند المتن وتخزن في منطقة جذور النبات. كذلك، فإن درجة الانحدار ستزداد مما يرفع من

معامل الجريان السطحي؛ وبهذه الحالة يمكن استخدام هذه التقنية فوق الأرض المنبسطة، مع إمكانية استخدامها أيضاً فوق المنحدرات التي لا تزيد عن ١٥٪. وتُستخدم هذه المتون والحواجز بشكل رئيس من أجل إعادة إحياء المراعي الطبيعية أو من أجل إنتاج الأعلاف، إلا أنه يمكن استخدامها أيضاً لزراعة الأشجار، والشجيرات، وأحياناً من أجل زراعة المحاصيل الحقلية، والخضروات.

الشكل رقم (١١, ٦). متون هلالية الشكل في صفوف متفاوتة في الحقل.

ثالثًا: الحفر

١ – الحفر الصغيرة Small pits

يعود تاريخ عمل الحفر إلى زمن بعيد جداً، ويجري استخدامها بشكل رئيس في المناطق الغربية والشرقية من إفريقيا، مع أنها انتشرت أيضاً في بعض مناطق العالم العربي. وتعتبر هذه التقنية ممتازة من أجل إعادة إحياء الأراضي الزراعية المتدهورة. ويتراوح قطر الحفرة من ٣, ٠–٢ م. يتم عمل حفر بعمق يتراوح بين ٥–١٥سم، حيث يمزج السماد العضوي ومختلف أنواع الأعشاب مع قليل من التربة ويوضع المزيج في الحفرة (الشكل رقم ١٢, ٦). أما باقي التربة فتستخدم لتشكيل حاجز ترابي هلالي صغير عند أسفل المنحدر الذي توجد فيه الحفرة. وتستخدم الحفر مع السدود والمتون لحفظ جريان المياه، الذي تتباطأ سرعته بسبب وجود الحواجز. ويسمح هذا النظام بإعادة استخدام كثير من الأراضي الزراعية المتدهورة.

وتستخدم نظم الحفر بشكل رئيس من أجل زراعة المحاصيل الحولية، ولاسيما المحاصيل الحبيّة كالدخن، والذرة الصفراء، والذرة الرفيعة. ولكن إذا ما تم عمل الحفر في أرض منبسطة بدلاً من أرض منحدرة، عندها

يمكن اعتبار ذلك أقرب إلى إحدى تقنيات حفظ الرطوبة في التربة لا عملية لحصاد المياه. وتكون الحاجة إلى اليد العاملة لعمل الحفر، وقد تشكل استثماراً لا بأس به خلال السنة الأولى أو خلال السنوات اللاحقة، ويجب إعادة ترميم الحفر عقب كل عملية حراثة. ويمكن تحوير محراث قرصي خاص من أجل عمل حفر صغيرة لإعادة إحياء المراعي الطبيعية.

الشكل رقم (١٢ ,٦). نظام الحفر الصغيرة لتجميع كميات من مياه الجريان في الحفر التي يزرع فيها المحصول.

٢ – الحفر الكبيرة Big pits

تتألف الحفر الكبيرة وتسمى أحيانا بالخزانات عادة من أحواض ترابية يتم حفرها في الأرض في مناطق قليلة الانحدار تستقبل مياه الجريان القادمة إما من الوادي أو من منطقة مستجمع مائي. وتعتبر الحفر خزانات اصطناعية، وقد تكون على السطح أو تحت سطح الأرض وفي تربة تكون في معظم الأحوال لا تسمح بتسرب المياه أو يتم معالجتها لتكون مادة صلبة.

ويتم بناؤها عادة بعمل جدران حجرية (الشكل رقم ١٣ ,٦). وتتراوح الطاقة الاستيعابية لهذه البرك من بضعة آلافٍ من الأمتار المكعبة، وهنا يطلق عليها اسم الحفائر، إلى عشرات الآلاف من الأمتار المكعبة. وتعد هذه الخزانات أو الحفر شائعة جداً في الهند، حيث تدعم ما يزيد عن ثلاثة ملايين هكتار من الأراضي المزروعة. أما في السودان، والأردن، وسورية، فتعتبر الخزانات الأصغر حجماً هي الأكثر شيوعاً وتستخدم بشكل رئيس لاستهلاك المياه من قِبل الإنسان والحيوان، الشكلين رقمي (١٤ ,٦) و (١٥ ,٦).

الشكل رقم (١٣ ,٦). خزانات رومانية قديمة في غرب آسيا.

الشكل رقم (١٤ ,٦). الحفائر في السودان تزود الإنسان والحيوان بالمياه خلال الموسم الجاف.

الشكل رقم (١٥ ,٦) منطقة تجميع مياه الأمطار محفورة في الأرض دون جدران حجرية.

وترتبط بالحفر العديد من المشكلات مثل تعرض المياه الراكدة للتلوث، وتصبح موقعاً لاستقطاب الحشرات، وبؤرة للأمراض. كما تعتبر مصدر خطرٍ قد يسفر عن حوادث غرق تمس الإنسان والحيوان على حد سواء لعدم وجود

سياج حولها. كما أنها ينتج عنها فاقد مرتفع للمياه نتيجة التسرب والتبخر. وهناك تحسينات عديدة يتم تقديمها من حين لآخر للتغلب على هذه المشاكل مثل عمل سياج وتبطين أحواض الترسيب لهذه الخزانات.

رابعًا: نظم الأسطح Rooftop Systems

تقوم نظم الأسطح بجمع مياه الأمطار وتخزينها من أسطح المنازل أو المباني الكبيرة، والساحات، وما يشابه ذلك من سطوح بما في ذلك الشوارع، مما يمكّن من جمع وتخزين معظم مياه الأمطار (الشكلين رقمي ٦, ١٦ و٦, ١٧). ويمكن لهذه النظم توفير مياه الشرب والري التكميلي في المناطق النائية، وتعتمد كيفية استخدام المياه بعد حصادها على نوع السطح المستخدم في جمعها ودرجة نظافته، إضافة إلى احتياجات المستخدمين لهذه المياه.

خامساً: الصهاريج

هذا النوع من الخزانات هو أحواض محلية، يتم إنشاؤها تحت الأرض، وهي ذات طاقة استيعابية تتراوح من ١٠-٥٠٠ م^3. ويتم فيها تخزين المياه حتى يتم استهلاكها من قبل الإنسان والحيوان في كثير من المناطق، كما في الأردن وسورية، يتم حفر هذه الخزانات في الصخور، وفي هذه الحالة تكون طاقها الاستيعابية صغيرة في العادة. وفي الشمال الغربي من مصر، يقوم المزارعون بحفر خزانات كبيرة (٢٠٠-٣٠٠ م^3) في رسوبيات التراب تحت طبقة من الصخر لتشكل الطبقة الصخرية سقف الخزان، بينما تغطى الجدران بطبقة من الحصى. أما الخزانات الإسمنتية الحديثة، فيتم إنشاؤها في مناطق لا توجد فيها طبقة صخرية (الشكل رقم ٦, ١٨).

الشكل رقم (٦, ١٦). نظم حصاد المياه من الأسطح.

الشكل رقم (٦, ١٧). نظم حصاد المياه من الأسطح ومنطقة التخزين.

الشكل رقم (٦, ١٨). منطقة تجميع مياه الأمطار باستخدام صهاريج كبيرة.

وفي هذه الخزانات تجمع مياه الجريان من مستجمع مجاور أو تأتي عبر قناة من مستجمع بعيد. وعادة ما يُحول أول جريان لمياه المطر في الموسم بعيداً عن الخزان للتقليل من احتمال حدوث التلوث. وفي بعض الأحيان، يتم إنشاء أحواض للترسيب بهدف التقليل من كمية الرواسب، غير أن المزارعين ينظفون الخزان عادة مرة في السنة أو مرة كل سنتين. أما الطريقة النمطية لرفع المياه فتعتمد على استخدام الدلو والحبل.

وتعد الخزانات الأرضية حيوية للسكان في المناطق النائية حيث لا يتوافر أي مصدر آخر للمياه (الشكل رقم ٦, ١٩). ولا يزال هذا الخزان يقدم الدعم للإنسان والحيوان والحدائق في المناطق الريفية. كما أن لها دوراً حيوياً في الحفاظ على وجود السكان الريفيين في هذه المناطق. واليوم، غالباً ما تستخدم هذه الخزانات لدعم حدائق المنزل، إضافة إلى تلبية المتطلبات المنزلية. أما المشكلات المرتبطة بهذا النوع من الخزانات فتشمل كلفة إنشائها، وطاقتها المحدودة، والرواسب، والمواد الملوثة التي تأتي من المستجمع.

الشكل رقم (٦,١٩). الخزانات الأرضية في المناطق النائية.

(٦,٦,٢) تقنيات حصاد مياه الأودية (السيول)

يستخدم مجرى الوادي في هذا النظام لتخزين المياه إما على السطح وذلك بوقف تدفق المياه، أو في التربة وذلك بإبطاء التدفق وتمكين المياه من التسرب داخل التربة. تعتبر تقنيات حصاد مياه السيول من أهم التقنيات لحصاد المياه خاصة إذا كان جريان مياه الوادي بكميات كبيرة وتشمل هذه التقنيات السدود، المساقي، الافلاج أو الهدارات. أما خصائص ومميزات هذه التقنيات فيمكن التطرق إليها في الآتي:

١ – السدود

السد هو إنشاء ترابي أو أسمنتي يقام فوق وادٍ أو منخفض بهدف حجز المياه. السد يعتبر حاجز يبنى باتجاه النهر أو الوادي لتجميع المياه ويكون عموديا على اتجاه انحدار المياه. والسدود من أقدم المنشآت المائية التي عرفها الإنسان، وكان أول سد بني في التاريخ هو سد مأرب في اليمن، حيث بني في القرن الخامس قبل الميلاد. وقد يكون السد صغيرًا أو كبيرًا حسب الغرض ومساحة الوادي وكمية مياه السيول المتدفقة. وتوضح الشكلين رقمي (٦,٢٠) و (٦,٢١) بعض منها، وسوف يتم التطرق إلى السدود بالتفصيل في نهاية الفصل.

الشكل رقم (٦,٢٠). سد مبني بالأحجار لحصد المياه في الوادي.

الشكل رقم (٢١ ,٦). سد ترابي صغير انهار نتيجة عدم كفاية المفيض (المسيل).

٢- المساقي

يتألف هذا النظام من مستجمع، أو كما يعرف بمسقاة، ويشغل المنحدر المجاور لأرضٍ مزروعة مستوية وقد يحيط بمناطق المستجمعات أحياناً متون صغيرة قد تزود بمفيضات (ممرات مائية) لجعل الجريان يتدفق بين قطع الأراضي دون أن يتسبب في حدوث انجراف. أو تقسم قطع الأراضي الكبيرة ١٠٠٠-٥٠٠٠ م^{٢} إلى قسمين، قسم علوي ويستخدم كمستجمع لتجهيز مياه الجريان السطحي، وآخر سفلي يستخدم كمنطقة للزراعة. وأهم مشاكل هذا النظام عدم وجود تناسق في توزيع المياه فوق المنطقة المزروعة (الشكل رقم ٢٢ ,٦). وقد يوجد أكثر من مسقاة على جانبي الوادي تستخدم لمزارع تقع على جوانب الوادي، وقد تستخدم مساقي داخلية لتوصيل مياه السيول إلى مزارع بعيدة عن الوادي.

الشكل رقم (٢٢ ,٦). نظام المسقاة لري مزارع الزيتون بالمياه.

٣- حفر تخزينية اصطناعية

يتم ذلك بإنشاء حفر اصطناعية تخزينية كبيرة في الوادي يتم فيها تحويل جزء من مياه السيول المتدفقة في الأودية نتيجة هطول الأمطار نحو تلك الحفر، بأبعاد حوالي ١٠٠×٣٠٠ م وبعمق حوالي ٩-١٥ م. والهدف من ذلك تجميع مياه السيول في تلك الأودية حتى يستفيد الأهالي من مياه السيول لأغراض الشرب وأغراض ري المزارع القريبة وتغذية المياه الجوفية للآبار القريبة من الوادي، كما في الشكل (٢٣ , ٦).

الشكل رقم (٢٣ , ٦). حفرة تخزينية كبيرة لحصاد المياه في الأودية لأغراض متنوعة.

تصميم وبناء حفر التخزين اصطناعياً

يختار موقع الحفرة في مكان تتركز فيه مياه السيول الجارية ويستقبل الموقع أكبر تدفق مائي وهذا يتم بواسطة أجهزة تحديد الارتفاعات والانخفاضات، كما يجب توافر خرائط تربه وجيولوجية للموقع قبل بدء التنفيذ. وبعد تحديد موقع الحفرة، يبدأ الحفر في باطن الأرض، وقد تكون تربة الموقع صخرية وهذا يزيد في تكاليف الحفر لكنه يزيد في كفاءة البئر على التخزين، أو قد تكون تربة الموقع طينية وهذا يقلل من تكاليف الحفر، ولكنه يزيد في تكاليف التشطيب، ويستمر الحفر إلى أن يصل الحجم المطلوب لتكون الآبار بأشكال منها المخروط ومنها الاسطواني بعد ذلك يجب مراعاة بناء حوض صغير لاستقبال المياه قبل دخولها الحفرة أو البركة لترسيب الأتربة أو المواد العالقة التي تكون جرفتها مياه الأمطار كما يمكن تصفية المياه لأغراض الشرب عن طريق إقامة خزان إسمنتي يربط بأسفله بأنبوب إلى الحفرة ويوضع في أسفله طبقة من الحصى بسمك ٣٠ سم ويعلوها طبقة من الرمل الناعم بسمك ٥٠سم وتصل المياه إلى الحفرة من قناة التجميع وتصب على لوح من الخشب يوضع فوق طبقة

الرمل لتجنب حفرها في حالة سقوط المياه عليها مباشرة وتعمل هذه الأحواض بكفاءة على تصفية المياه من الأتربة والمواد العالقة بها. قد تبطن الحفر بالاسمنت أو بأغطية بلاستيكية أيضا لمنع التسرب، كما في الشكل رقم (٦,٢٤). مع ملاحظة القيام بأعمال الصيانة للقنوات الموصولة للمياه إلى الحفرة.

٤- آبار وأنابيب التغذية الاصطناعية

وفيها يتم تجميع مياه السيول المتدفقة داخل حفرة كبيرة بالوادي تدق بها أنابيب بأعماق تتراوح بين ٣٠-٤٠ م أسفل سطح الأرض (الشكل رقم ٦,٢٥)، راجع الفصل الرابع "المياه الجوفية وتغذيتها وتلوثها"، وتستخدم هذه الأنابيب في تصريف المياه المتجمعة إلى باطن الأرض لتغذية المياه الجوفية. ويجب أن تكون المياه المستعملة في هذه الطريقة ذات نوعية جيدة حتى لا تلوث المياه الجوفية.

الشكل رقم (٦,٢٤). إنشاء حفر تخزينية كبيرة لحصاد المياه في الأودية لأغراض متنوعة.

الشكل رقم (٦,٢٥). تغذية المياه الجوفية باستخدام أنابيب التغذية الصناعية.

(٦,٧) اعتمادية توفر المياه Water supp reliability

يمكن تعريف اعتمادية توفر المياه بأنها نسبة توفر المياه لسد حاجة الكائنات الحية وخصوصاً الإنسان لسنوات محددة بالنسبة إلى السنوات الكلية على المدى الطويل. ويمكن التعبير عنها كالتالي:

$$WR = \frac{n_{ws}}{n} \times 100 \qquad (٦,٢)$$

حيث إن:

WR = اعتمادية توفر المياه، ٪.

n_{ws} = عدد السنوات التي يتم توفير الطلب على المياه.

n = عدد السنوات الكلية على المدى الطويل.

تعني الاعتمادية نسبة توفر المياه للغرض المطلوب، ويعطي ارتفاع الاعتمادية على إمدادات المياه الاستقرار في الإنتاج الصناعي والزراعي عندما يكون إمدادات المياه لغرض الإنتاج وتوفير حياة أفضل عند استخدام المياه للأغراض المنزلية. ولكن على الجانب الآخر تتطلب الاعتمادية العالية إلى مدخلات أكثر لمستلزمات الموارد المائية المخطط لها. ذلك من منظور المنفعة العامة للمجتمع وتختلف الاعتمادية على إمدادات المياه على الأغراض المستخدمة للمياه. فتتراوح الاعتمادية على إمداد المياه للأغراض المنزلية من ٩٠-٩٧ ٪ . أما لغرض الري فتعتمد الاعتمادية على نوع المحصول وطريقة الري وحالة المناخ وكذلك توافر المياه. ويبين الجدول رقم (٦,٢) الاعتمادية لأغراض الري.

الجدول رقم (٦,٢). الاعتمادية لأغراض الري على حسب المناخ.

نظام الري	المناخ وتوفر المياه	الاعتمادية
الري السطحي	مناطق جافة	٥٠ – ٧٥ ٪
	مناطق شبه جافة	٧٠ – ٨٠٪
	مناطق رطبة مع توفر المياه	٧٥ – ٨٥٪
نظم الري الحديث	مناطق جافة إلى رطبة	٧٥ – ٩٥٪

ويمكن تقدير اعتمادية توفر المياه من نظام حصاد المياه. ولكن قبل ذلك لابد من شرح منحنى التوزيع التكراري الهيدرولوجي لتساقط المطر السنوي. من المعلوم أن تساقط المطر من حيث الكمية والزمن يتأثر بعوامل مناخية وهيدرولوجية متنوعة، ولصعوبة تحديد كل عامل من هذه العوامل على التساقط المطري فإنه يمكن معرفة بيانات الأمطار لفترة طويلة نسبياً لعدد من السنوات مثلاً ٣٠ سنة ثم ترتيبها تنازلياً حسب كمية الأمطار الساقطة سنوياً، ومن تلك البيانات يمكن رسم منحنى التوزيع التجميعي (التراكمي) أي المتكرر Cumulative Frequency Distribution Pattern، وكذلك يمكن حساب معامل التكرار التجريبي (P) للمطر من المعادلة التالية:

$$P = \frac{m}{n+1} \qquad (٦,٣)$$

حيث إن :

m = الترتيب السنوي حسب كمية الأمطار السنوي من الأكبر إلى الأقل.

n = عدد السنوات الكلية للأمطار.

كذلك يمكن حساب التكرار المطري السنوي باستخدام طريقة نظرية بعد معرفة كمية الأمطار مثل x_1، x_2، x_3، ..... x_n لسنوات معينة n. فإنه يمكن إيجاد معامل الاختلاف (التغير) ومعامل الانحراف من المعادلات التالية:

$$Cv = \frac{1}{x_a}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_a)^2}{n-1}} \qquad (٦,٤)$$

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_a)^3}{x^3{}_a (n-1)Cv^3} \qquad (٦,٥)$$

حيث إن:

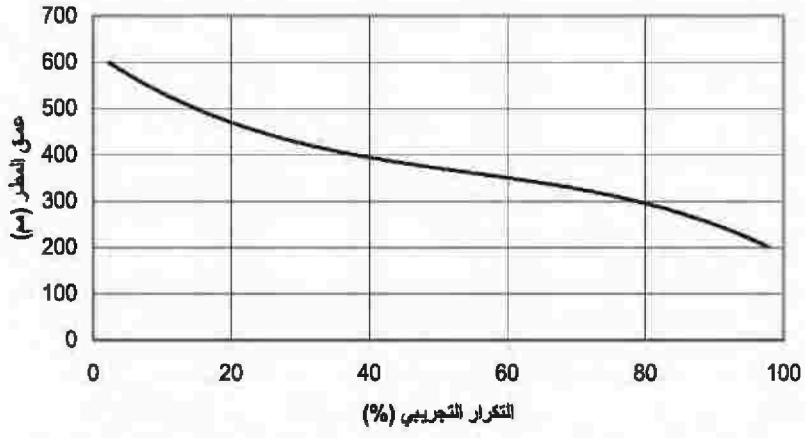
x_i = مقدار التساقط في السنة i .

x_a = متوسط التساقط السنوي لكل الفترة.

Cv = معامل الاختلاف.

Cs = معامل الانحراف.

ويمكن رسم منحنى التوزيع التجريبي بتوقيع بيانات كميات مياه الأمطار السنوية المتجمعة بحيث يتم ترتيب الأعماق المتجمعة تنازلياً مع نسبة التكرار التجريبي (٪)، ثم يتم توقيع كميات الأمطار على المحور الصادي بينما نسبة التكرار التجريبي على المحور السيني كما في الشكل رقم (٦, ٢٦). ومن منحنى التوزيع التجريبي نحدد نسبة إمداد المياه أو الاعتمادية على مياه الأمطار.



الشكل رقم (٦, ٢٦). منحنى التوزيع التجريبي لسقوط الأمطار خلال فترة ما.

كمية الأمطار التصميمية

ترتبط كمية سقوط الأمطار التصميمية على الاعتمادية. ويمكن تحديدها من خلال طريقتين، وهما الطريقة التجريبية والطريقة النظرية.

أولاً: الطريقة التجريبية Empirical method

يمكن تقدير الأمطار التصميمية باستخدام الطريقة التجريبية باتباع الخطوات التالية:

١ - تحديد مقدار الطلب المتعلق بنسبة إمكانية توفر إمداد المياه. ويحسب من المعادلة التالية:

$$m=\frac{(n+1)P}{100} \qquad (٦,٦)$$

حيث إن:

P = نسبة الاعتمادية أو إمكانية توفر إمداد المياه عند الطلب.

n = عدد بيانات الأمطار السنوية.

m = مقدار الطلب المتعلق بنسبة إمكانية توفر إمداد المياه.

٢- معرفة كمية الأمطار بواسطة ترتيب سلسلة بيانات هطول الأمطار تنازلياً.

ثانياً: الطريقة النظرية Theoretical method

ويمكن تقدير كمية الأمطار التصميمية بالطريقة النظرية باتباع الخطوات التالية:

١ - حساب متوسط سقوط الأمطار R_o ومعامل الاختلاف C_v باستخدام سلسلة من البيانات الطويلة.

ويحسب متوسط سقوط الأمطار من المعادلة التالية:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (٦,٧)$$

حيث إن:

R_o = متوسط الأمطار الساقطة.

x_i = كمية الأمطار الساقطة في سنة i .

وقيمة معامل الاختلاف أو معامل التغير (Cv) تحسب من المعادلة رقم (٤ ,٦) السابقة أما معامل الانحراف Cs فيمكن اعتبارها تساوي 2 Cv . ومن منحنى التوزيع التجريبي نحدد نسبة إمداد المياه أو الاعتمادية على مياه الأمطار.

تقدير مساحة المستجمع

لتقدير مساحة المستجمعات لحجز مياه الأمطار، بالإضافة إلى معلومات عن حصة إمدادات المياه والطلب على اعتمادية إمداد المياه يجب علينا معرفة تصميم مساحة مجمعات سقوط الأمطار حيث يبنى نظام حصاد مياه الأمطار WRH على كفاءة تجميع مياه الأمطار (RCE):

١ - كفاءة تجميع مياه الأمطار

يمكن إيجادها من المعادلة التالية:

$$RCE = \frac{W_{Runoff}}{W_{Rain}} \times 100\% \qquad (٦,٨)$$

تتأثر هذه الكفاءة بعدة عوامل منها: خواص الأمطار الساقطة (كمية وكثافة الأمطار)، مادة سطح المستجمع، ميل السطح، محتوى الماء على السطح قبل سقوط الأمطار، طول السطح في اتجاه ميله. وتسبب سقوط الأمطار بكمية وكثافة عالية إلى ارتفاع في قيمة كفاءة التجميع، وأيضاً ترتفع قيمة الكفاءة مع الأسطح التجميعية السطحية غير القابلة للنفاذ، وأيضا مع ميول سطحية حادة وارتفاع في المحتوى المائي قبل سقوط الأمطار.

٢- كفاءة تجميع مياه الأمطار RCE لكل عملية سقوط أمطار

عادة تقدر تجريبيا حيث تقاس الأمطار الساقطة والجريان السطحي أثناء سقوط الأمطار وبالتالي تحسب الكفاءة من المعادلة رقم (٦,٨). ولتقليل وقت التجربة يمكن إجراء الاختبار بواسطة رشاشات تحاكي سقوط الأمطار. وفي هذه الحالة من المهم التأكد من التوزيع المنتظم للمياه الساقطة على سطح المستجمع وأيضا المحافظة على ثبات كثافة المياه الساقطة أثناء فترة التجربة. وتقاس الأمطار بواسطة أوعية صغيرة موزعة على السطح بمسافات بينها تقدر من ٣٠ - ٥٠ سم. ويتم تقدير حجم المياه بداخل الأوعية وحساب متوسط الأمطار الساقطة من المعادلة التالية:

$$R_a = \frac{10.\sum_{i=1}^{n} V_i}{n.A} \qquad (٦,٩)$$

حيث إن:

R_a = متوسط الأمطار الساقطة (مم).

V_i = الحجم الصافي للمياه في الأوعية (سم٣).

A = مساحة الوعاء (سم٢).

وينبغي أن لا يزيد الخطأ النسبي للاختبار عن ٠,٢ كما هو موضح في المعادلة التالية

$$E = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_a} \leq 0.2 \qquad (٦,١٠)$$

حيث إن:

V_{max} و V_{min} و V_a = أكبر وأقل ومتوسط حجوم المياه في الأوعية على الترتيب.

ولقد أجرى معهد بحوث جنسيو بالصين اختبار على كفاءة تجميع مياه الأمطار لمواد سطحية مختلفة وصفات مختلفة للأمطار الساقطة (كمية وكثافة)، ولقد تم اختبار أكثر من ٧٠٠ حالة لسقوط الأمطار (طبيعي واصطناعي). ومعادلات الانحدار بين الكفاءة وكثافة الأمطار والمحتوى الرطوبي قبل سقوط الأمطار مع ثماني أنواع من المواد المستخدمة للمستجمع. وتم استنتاج المعادلات التالية حسب مادة سطح المستجمع لمياه الأمطار كالتالي:

بلاطة خرسانية

$$RCE=1-0.071R^{-0.0739}I^{0.467} \quad (٦,١١)$$

خرسانة

$$RCE=1-0.314R^{-0.12}e^{2.82I} \quad (٦,١٢)$$

قرميد أسمنتي

$$RCE=1-0.071R^{-0.0739}I^{0.467} \quad (٦,١٣)$$

قرميد طيني مصنوع آليا

$$RCE=1-0.551e^{-0.0485R}I^{0.127} \quad (٦,١٤)$$

طبقة بلاستيكية رقيقة مغطاة بالرمل

$$RCE=1-1.651R^{0.508}e^{-0.668I} \quad (٦,١٥)$$

تربة كلسية

$$RCE=1-1.681R^{-0.235}I^{-3I} \quad (٦,١٦)$$

تربة مضغوطة بميل ٢٪

$$RCE=1-3.95R^{-0.408}I^{-0.32}e^{9.55W} \quad (٦,١٧)$$

تربة مضغوطة بميل ٥٪

$$RCE=1-0.028R^{-0.244}e^{-1.79I}W^{-2.2} \quad (٦,١٨)$$

وهناك مثالين لكفاءة تجميع الأمطار **RCE** للمعادلات السابقة الأول لسطح خرساني والثاني لسطح تربة مضغوطة كما في الشكلين رقمي (٦, ٢٧) و (٦, ٢٨) على التوالي.

٣- كفاءة التجميع السنوي لمياه الأمطار

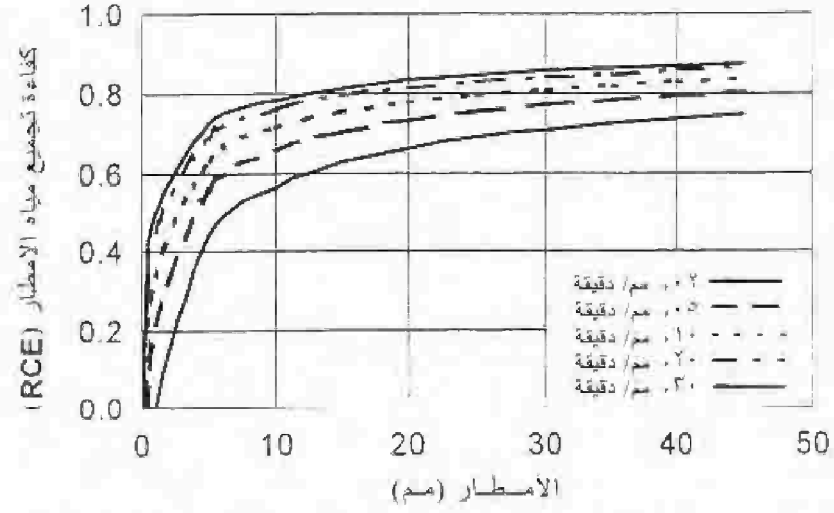
لتقدير مساحة المستجمعات لابد من الحاجة إلى تقدير RCE السنوية. يمكن أن تحسب RCE السنوية من المعادلة التالية:

$$RCE_y=\frac{\sum_{i=1}^{n} RCE_i \times R_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i} \quad (٦,١٩)$$

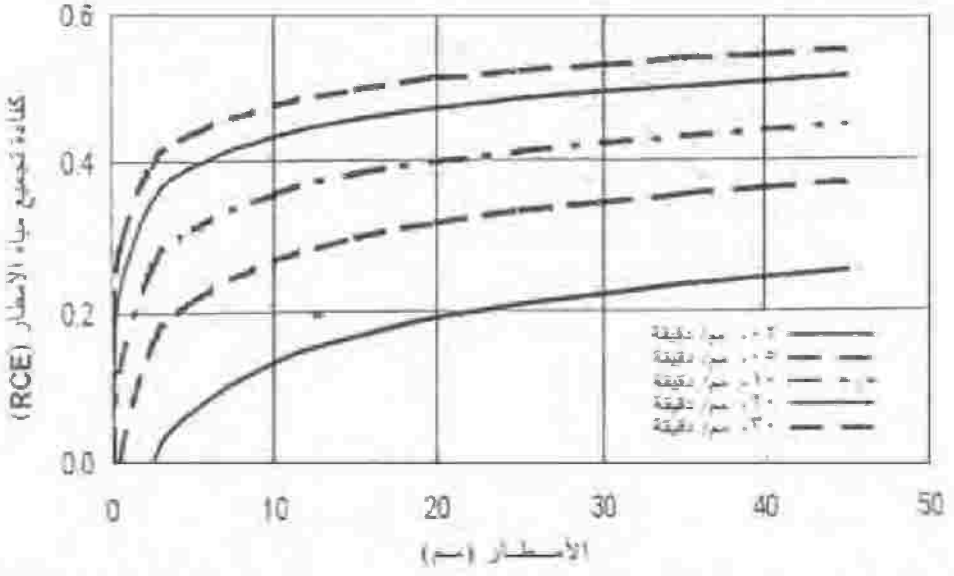
حيث إن:

RCE_y و RCE_i = كفاءة التجميع السنوية وكفاءة التجميع للحدث i على الترتيب.

n = عدد مرات حدوث سقوط الأمطار في السنة.



الشكل رقم (٦, ٢٧). كفاءة تجميع الأمطار RCE مع كثافة السقوط وكمية الأمطار لسطح خرساني.



الشكل رقم (٦, ٢٨). كفاءة تجميع الأمطار RCE مع كثافة السقوط وكمية الأمطار لسطح تربة مضغوطة.

٤- كفاءة تجميع مياه الأمطار السنوية الموصى بها من ممارسات الكود الصيني الموضحة بالجدول رقم (٦,٣).

الجدول رقم (٦,٣). كفاءة تجميع الأمطار لتساقط سنوي مختلف تبعاً لنوع مادة سطح المستجمع.

نوع مادة سطح المستجمع	كفاءة تجميع الأمطار السنوية RCE (٪) مع اختلاف التساقط السنوي		
	٢٥٠-٥٠٠ مم	٥٠٠-١٠٠٠ مم	١٠٠٠-١٥٠٠ مم
خرسانة	٨٥-٧٥	٩٠-٧٥	٩٠-٨٠
بلاط أسمنتي	٨٠-٦٥	٨٠-٧٠	٩٠-٨٠
بلاط طيني (مصنوع آلياً)	٥٥-٤٠	٦٠-٤٥	٦٥-٥٠
بلاط طيني (مصنوع يدوياً)	٤٠-٣٠	٤٥-٣٥	٦٠-٤٥
بناء في حالة جيدة	٨٠-٧٠	٨٥-٧٠	٨٥-٧٥
طريق ممهد بالاسفلت بحالة جيدة	٨٠-٧٠	٨٥-٧٠	٨٥-٧٥
طريق أرضي، ساحة، فناء	٣٠-١٥	٤٠-٢٥	٥٥-٣٥
تربة مع أسمنت	٥٥-٤٠	٦٠-٤٥	٦٥-٥٠
شرائح بلاستيك عارية	٩٢-٨٥	٩٢-٨٥	٩٢-٨٥
شرائح بلاستيك مغطاة برمال/ تربة	٥٠-٣٠	٥٥-٣٥	٦٠-٤٠
ميل طبيعي (به نباتات غير كثيفة)	١٥-٨	٣٠-١٥	٥٠-٣٠
ميل طبيعي (به نباتات كثيفة)	١٥-٦	٢٥-١٥	٤٥-٢٥

٥- تقدير مساحة المستجمع (منطقة تجميع الأمطار)

يمكن حساب مساحة المستجمع لنظام حصاد الأمطار من المعادلة التالية:

$$A=\frac{W_d}{R_p \times RCE_y} \qquad (٦,٢٠)$$

حيث إن:

A = مساحة المستجمع.

W_d = الطلب للمياه في السنة الواحدة.

R_p = كمية مياه الأمطار المرتبطة بالاعتمادية P.

RCE_y = كفاءة تجميع مياه الأمطار السنوي.

تستخدم المعادلة رقم (٦,٢٠) لغرض واحد من إمداد المياه ونوع واحد من المستجمعات. ففي حالة تعدد أغراض إمداد المياه وأكثر من نوع للمستجمعات سوف تستخدم معادلة أكثر تعقيدا. وفي حالة استخدام نوعين أو أكثر من الأسطح فإن المعادلة كالتالي:

$$A_i = \frac{W_d}{R_p} \Big/ \sum_{i=1}^{n} RCE_{yi} \qquad (٦,٢١)$$

حيث إن:

A_i = مساحة المستجمع للنوع i لسطح.

RCE_{yi} = كفاءة تجميع الأمطار السنوية لنوع سطح المستجمع i.

n = عدد أنواع مواد سطح المستجمع.

وعندما يكون هناك عدة استخدامات للمياه مع اعتمادية للطلب مختلفة، فيجب أن تختلف كمية الأمطار التصميمية. ففي هذه الحالة تحسب مساحة الأنواع المختلفة من المستجمعات لكل إمداد مياه ومن ثم نحصل على المساحة الكلية لكل مستجمع بواسطة إضافة المساحة للإمداد المختلفة

$$A_i = \sum_{j=1}^{m} A_{ji} \qquad (٦,٢٢)$$

حيث إن:

A_i = مساحة المستجمع لنوع السطح i .

A_{ij} = مساحة المستجمع لنوع السطح i للإمداد j من المياه.

ويمكن تلخيص خطوات إجراء تقدير مساحة المستجمع كالتالي:

الخطوة الأولى: تقدير حصة إمداد المياه لمختلف أنواع إمداد المياه.

الخطوة الثانية: حساب كمية المياه المطلوبة لمختلف أغراض إمداد المياه.

الخطو ة الثالثة: تقدير الاعتمادية لمختلف أنواع إمداد المياه.

الخطوة الرابعة: حساب كمية الأمطار التصميمية السنوية عند الاعتمادية إما بالطريقة التجريبية أو النظرية.

الخطوة الخامسة: تقدير كفاءة تجميع مياه الأمطار السنوية لمختلف أنواع مواد سطح المستجمع.

الخطوة السادسة: حساب مساحات أنواع المواد المختلفة من المستجمع لكل نوع من إمداد المياه ومن ثم الحصول على المساحات الكلية لنفس النوع من مادة المستجمع بواسطة إضافة مساحات الناتجة من إمدادات المياه.

٦- تقدير مساحة المستجمع (منطقة تجميع الأمطار) عن طريق جداول تصميمية

وهو إجراء بسيط لتقدير مساحة المستجمع حيث أعدت جداول تصميمية لتقدير مساحة المستجمع باستخدام الطرق السابقة، وفي هذه الجداول دونت مساحة أنواع مختلفة من المستجمعات لكل ١ م^3 من إمدادات المياه عند اعتمادية ٥٠ و ٧٥ و ٩٠٪. كما في الجداول أرقام (٦,٤) و (٦,٥) و (٦,٦) على التوالي.

الجدول رقم (٤ , ٦). مساحة المستجمع (م٢) لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪.

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٢	٢٥٠	٥,٤	٦,٢	١٠,١	١٣,٥	٢٧,٠	٥,٨	٤,٨	٥٠,٧	٥٠,٧
	٣٠٠	٤,٤	٥,١	٧,٩	١٠,٦	١٨,٨	٤,٧	٣,٩	٣٣,٨	٣٣,٨
	٤٠٠	٣,٢	٣,٧	٥,٥	٧,٦	١٢,١	٣,٥	٢,٩	٢١,١	٢١,١
	٥٠٠	٢,٥	٢,٧	٤,١	٥,٥	٨,١	٢,٧	٢,٣	١٣,٥	١٣,٥
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٢	٦,٠	٢,٢	١,٩	٨,٥	٩,٤
	٨٠٠	١,٥	١,٦	٢,٣	٣,٠	٤,١	١,٦	١,٤	٥,١	٦,٠
	١٠٠٠	١,٢	١,٢	١,٧	٢,٣	٢,٩	١,٣	١,١	٣,٤	٤,١
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٧	٢,٠	١,٠	٠,٩	٢,٣	٢,٧
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٧	١,٩
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٧	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	٠,٩	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٢
٠,٢٥	٢٥٠	٥,٥	٦,٣	١٠,٢	١٣,٦	٢٧,٣	٥,٨	٤,٨	٥١,١	٥١,١
	٣٠٠	٤,٥	٥,١	٧,٩	١٠,٧	١٨,٩	٤,٨	٤,٠	٣٤,١	٣٤,١
	٤٠٠	٣,٣	٣,٧	٥,٦	٧,٥	١٢,٢	٣,٥	٢,٩	٢١,٣	٢١,٣
	٥٠٠	٢,٦	٢,٧	٤,١	٥,٥	٨,٢	٢,٧	٢,٣	١٣,٦	١٣,٦
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٣	٦,١	٢,٢	١,٩	٨,٥	٩,٥
	٨٠٠	١,٥	١,٦	٢,٣	٣,٠	٤,١	١,٦	١,٤	٥,١	٦,١
	١٠٠٠	١,٢	١,٢	١,٦	٢,٣	٢,٩	١,٣	١,١	٣,٤	٤,١
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٧	٢,٠	١,١	٠,٩	٢,٤	٢,٧
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٦	٠,٨	١,٧	١,٩
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	٠,٩	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٢

تابع الجدول رقم (٤, ٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪							
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٣	٢٥٠	٥,٥	٦,٣	١٠,٣	١٣,٧	٢٧,٥	٥,٩	٤,٩	٥١,٥	٥١,٥
	٣٠٠	٤,٥	٥,٢	٨,٠	١٠,٧	١٩,١	٤,٨	٤,٠	٣٤,٤	٣٤,٤
	٤٠٠	٣,٣	٣,٨	٥,٦	٧,٦	١٢,٣	٣,٥	٣,٠	٢١,٥	٢١,٥
	٥٠٠	٢,٦	٢,٧	٤,١	٥,٦	٨,٢	٢,٨	٢,٣	١٣,٧	١٣,٧
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٣	٦,١	٢,٣	١,٩	٨,٦	٩,٥
	٨٠٠	١,٥	١,٦	٢,٣	٣,٠	٤,٢	١,٧	١,٤	٥,٢	٦,١
	١٠٠٠	١,٢	١,٢	١,٨	٢,٣	٢,٩	١,٣	١,١	٣,٤	٤,١
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٨	٢,٠	١,١	٠,٩	٢,٤	٢,٨
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٧	١,٩
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	١,٠	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٢
٠,٣٥	٢٥٠	٥,٦	٦,٤	١٠,٤	١٣,٩	٢٧,٨	٦,٠	٤,٩	٥٢,١	٥٢,١
	٣٠٠	٤,٥	٥,٢	٨,٠	١٠,٩	١٩,٣	٤,٩	٤,٠	٣٤,٨	٣٤,٨
	٤٠٠	٣,٣	٣,٨	٥,٧	٧,٧	١٢,٤	٣,٦	٣,٠	٢١,٧	٢١,٧
	٥٠٠	٢,٦	٢,٨	٤,٢	٥,٦	٨,٣	٢,٨	٢,٤	١٣,٩	١٣,٩
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٣	٤,٣	٦,٢	٢,٣	٢,٠	٨,٧	٩,٧
	٨٠٠	١,٦	١,٦	٢,٣	٣,١	٤,٢	١,٧	١,٤	٥,٢	٦,٢
	١٠٠٠	١,٢	١,٣	١,٨	٢,٣	٣,٠	١,٣	١,١	٣,٥	٤,٢
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٨	٢,١	١,١	٠,٩	٢,٤	٢,٨
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٧	٢,٠
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	١,٠	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٣

تابع الجدول رقم (٤, ٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪							
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٤	٢٥٠	٥,٦	٦,٥	١٠,٥	١٤,١	٢٨,١	٦,٠	٥,٠	٥٢,٧	٥٢,٧
	٣٠٠	٤,٦	٥,٣	٨,٢	١١,٠	١٩,٥	٤,٩	٤,١	٣٥,٢	٣٥,٢
	٤٠٠	٣,٤	٣,٨	٥,٧	٧,٨	١٢,٦	٣,٦	٣,٠	٢٢,٠	٢٢,٠
	٥٠٠	٢,٦	٢,٨	٤,٢	٥,٧	٨,٤	٢,٨	٢,٤	١٤,١	١٤,١
	٦٠٠	٢,٢	٢,٣	٣,٣	٤,٤	٦,٣	٢,٣	٢,٠	٨,٨	٩,٨
	٨٠٠	١,٦	١,٦	٢,٤	٣,١	٤,٣	١,٠	١,٥	٥,٣	٦,٣
	١٠٠٠	١,٢	١,٣	١,٨	٢,٣	٣,٠	١,٣	١,٢	٣,٥	٤,٢
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٨	٢,١	١,١	١,٠	٢,٤	٢,٨
	١٤٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٨	٢,٠
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٥
	١٨٠٠	٠,٧	٠,٦	٠,٩	١,٠	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٣

(١) بها نباتات غير كثيفة (٢) بها نباتات كثيفة

الجدول رقم (٥ , ٦). مساحة المستجمع (م٢) لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪.

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٢	٢٥٠	٦,٢	٧,١	١١,٦	١٥,٥	٣١,٠	٦,٦	٥,٥	٥٨,١	٥٨,١
	٣٠٠	٥,١	٥,٨	٩,٠	١٢,١	٢١,٥	٥,٤	٤,٥	٣٨,٧	٣٨,٧
	٤٠٠	٣,٧	٤,٢	٦,٣	٨,٥	١٣,٨	٤,٠	٤,٠	٢٤,٢	٢٤,٢
	٥٠٠	٢,٩	٣,١	٤,٦	٦,٣	٩,٣	٣,١	٣,١	١٥,٥	١٥,٥
	٦٠٠	٢,٤	٢,٥	٣,٧	٤,٨	٦,٩	٢,٥	٢,٥	٩,٧	١٠,٨
	٨٠٠	١,٧	١,٨	٢,٦	٣,٤	٤,٧	١,٩	١,٩	٥,٨	٦,٩
	١٠٠٠	١,٤	١,٤	٢,٠	٢,٦	٣,٣	١,٥	١,٥	٣,٩	٤,٦
	١٢٠٠	١,١	١,١	١,٦	٢,٠	٢,٣	١,٢	١,٢	٢,٧	٣,١
	١٤٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٣	١,٦	١,٧	١,٠	١,٠	١,٩	٢,٢
	١٦٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٣	١,٥	٠,٩	٠,٩	١,٥	١,٦
	١٨٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٨	١,٣	١,٤
٠,٢٥	٢٥٠	٦,٥	٧,٥	١٢,١	١٦,١	٣٢,٣	٦,٩	٦,٩	٦٠,٥	٦٠,٥
	٣٠٠	٥,٣	٦,١	٩,٤	١٢,٦	٢٢,٤	٥,٦	٥,٦	٤٠,٤	٤٠,٤
	٤٠٠	٣,٩	٤,٤	٦,٦	٨,٩	١٤,٤	٤,١	٤,١	٢٥,٢	٢٥,٢
	٥٠٠	٣,٠	٣,٢	٤,٨	٦,٥	٩,٧	٣,٣	٣,٣	١٦,١	١٦,١
	٦٠٠	٢,٥	٢,٦	٣,٨	٥,٠	٧,٢	٢,٧	٢,٧	١٠,١	١١,٢
	٨٠٠	١,٨	١,٩	٢,٧	٣,٦	٤,٩	٢,٠	١,٧	٦,١	٧,٢
	١٠٠٠	١,٤	١,٥	٢,١	٢,٧	٣,٥	١,٥	١,٣	٤,٠	٤,٨
	١٢٠٠	١,٢	١,٢	١,٧	٢,١	٢,٤	١,٢	١,١	٢,٨	٣,٣
	١٤٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٦	١,٨	١,٠	٠,٩	٢,٠	٢,٣
	١٦٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٣	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٥	١,٧
	١٨٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٥

تابع الجدول رقم (٥, ٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪							
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٣	٢٥٠	٦,٨	٧,٨	١٢,٧	١٦,٩	٣٣,٨	٧,٢	٦,٠	٦٣,٣	٦٣,٣
	٣٠٠	٥,٥	٦,٣	٩,٨	١٣,٢	٢٣,٤	٥,٩	٤,٩	٤٢,٢	٤٢,٢
	٤٠٠	٤,٠	٤,٦	٦,٩	٩,٣	١٥,١	٤,٣	٣,٦	٢٦,٤	٢٦,٤
	٥٠٠	٣,٢	٣,٤	٥,١	٦,٦	١٠,١	٣,٤	٢,٩	١٦,٩	١٦,٩
	٦٠٠	٢,٦	٢,٧	٤,٠	٥,٣	٧,٥	٢,٨	٢,٤	١٠,٥	١١,٧
	٨٠٠	١,٩	٢,٠	٢,٨	٣,٧	٥,١	٢,٠	١,٨	٦,٣	٧,٥
	١٠٠٠	١,٥	١,٥	٢,٢	٢,٨	٣,٦	١,٦	١,٤	٤,٢	٥,١
	١٢٠٠	١,٢	١,٢	١,٧	٢,٢	٢,٥	١,٣	١,١	٢,٩	٣,٤
	١٤٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٧	١,٨	١,١	١,٠	٢,١	٢,٤
	١٦٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٤	١,٦	٠,٩	٠,٩	١,٦	١,٨
	١٨٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٢	١,٤	٠,٨	٠,٨	١,٤	١,٥
٠,٣٥	٢٥٠	٧,١	٨,٢	١٣,٣	١٧,٧	٣٥,٥	٧,٦	٦,٣	٦٦,٥	٦٦,٥
	٣٠٠	٥,٨	٦,٧	١٠,٣	١٣,٩	٢٤,٥	٥,٢	٥,٢	٤٤,٣	٤٤,٣
	٤٠٠	٤,٢	٤,٩	٧,٢	٩,٨	١٢,٨	٤,٦	٣,٨	٢٧,٧	٢٧,٧
	٥٠٠	٣,٣	٣,٥	٥,٣	٧,٢	١٠,٦	٣,٦	٣,٠	١٧,٧	١٧,٧
	٦٠٠	٢,٧	٢,٨	٤,٢	٥,٥	٧,٩	٢,٩	٢,٥	١١,١	١٢,٣
	٨٠٠	٢,٠	٢,١	٣,٠	٣,٩	٥,٤	٢,١	١,٨	٦,٦	٧,٩
	١٠٠٠	١,٦	١,٦	٢,٣	٣,٠	٣,٨	١,٧	١,٥	٤,٤	٥,٣
	١٢٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,٣	٢,٦	١,٤	١,٢	٣,١	٣,٦
	١٤٠٠	١,١	١,١	١,٥	١,٨	١,٩	١,١	١,٠	٢,٢	٢,٥
	١٦٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٣	١,٤	١,٧	١,٠	٠,٩	١,٧	١,٨
	١٨٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٢	١,٤	٠,٩	٠,٨	١,٤	١,٦

تابع الجدول رقم (٥, ٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪							
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٤	٢٥٠٠	٧,٥	٨,٦	١٤,٠	١٨,٧	٣٧,٣	٨,٠	٦,٦	٧٠,٠	٧٠,٠
	٣٠٠٠	٦,١	٧,٠	١٠,٩	١٤,٦	٢٥,٩	٦,٥	٥,٤	٤٦,٧	٤٦,٧
	٤٠٠٠	٤,٥	٥,١	٧,٦	١٠,٣	١٦,٧	٤,٨	٤,٠	٢٩,٢	٢٩,٢
	٥٠٠٠	٣,٥	٣,٧	٥,٦	٧,٦	١١,٢	٣,٨	٣,٢	١٨,٧	١٨,٧
	٦٠٠٠	٢,٩	٣,٠	٤,٤	٥,٨	٨,٣	٣,١	٢,٦	١١,٧	١٣,٠
	٨٠٠٠	٢,١	٢,٢	٣,١	٤,١	٥,٦	٢,٣	١,٩	٧,٠	٨,٣
	١٠٠٠٠	١,٦	١,٧	٢,٤	٣,١	٤,٠	١,٨	١,٥	٤,٧	٥,٦
	١٢٠٠٠	١,٣	١,٤	١,٩	٢,٤	٢,٨	١,٤	١,٣	٣,٢	٣,٨
	١٤٠٠٠	١,١	١,١	١,٦	١,٩	٢,٠	١,٢	١,١	٢,٣	٢,٦
	١٦٠٠٠	١,٠	١,٠	١,٣	١,٥	١,٨	١,٠	١,٠	١,٨	١,٩
	١٨٠٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٣	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٥	١,٧

(١) بها نباتات غير كثيفة (٢) بها نباتات كثيفة

الجدول رقم (٦, ٦). مساحة المستجمع (م٢) لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪.

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪							
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالرفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٢	٢٥٠	٧,١	٨,٢	١٣,٣	١٧,٧	٣٥,٤	٧,٦	٦,٢	٦٦,٣	٦٦,٣
	٣٠٠	٥,٨	٦,٦	١٠,٣	١٣,٨	٢٤,٦	٦,٢	٥,١	٤٤,٢	٤٤,٢
	٤٠٠	٤,٢	٤,٨	٧,٢	٩,٨	١٥,٨	٤,٥	٣,٨	٢٧,٦	٢٧,٦
	٥٠٠	٣,٣	٣,٥	٥,٣	٧,٢	١٠,٦	٣,٦	٣,٠	١٧,٧	١٧,٧
	٦٠٠	٢,٧	٢,٨	٤,٢	٥,٥	٧,٩	٢,٩	٢,٥	١١,١	١٢,٣
	٨٠٠	٢,٠	٢,٠	٣,٠	٣,٩	٥,٣	٢,١	١,٨	٦,٦	٧,٩
	١٠٠٠	١,٦	١,٦	٢,٣	٢,٩	٣,٨	١,٧	١,٥	٤,٤	٥,٣
	١٢٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,٣	٢,٦	١,٤	١,٢	٣,١	٣,٦
	١٤٠٠	١,١	١,١	١,٥	١,٨	١,٩	١,١	١,٠	٢,٢	٢,٥
	١٦٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٣	١,٤	١,٧	١,٠	٠,٩	١,٧	١,٨
	١٨٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٢	١,٤	٠,٩	٠,٨	١,٤	١,٦
٠,٢٥	٢٥٠	٧,٧	٨,٨	١٤,٣	١٩,١	٣٨,٣	٨,٢	٦,٨	٧١,٧	٧١,٧
	٣٠٠	٦,٣	٧,٢	١١,١	١٤,٩	٢٦,٦	٦,٧	٥,٦	٤٧,٨	٤٧,٨
	٤٠٠	٤,٦	٥,٢	٧,٨	١٠,٥	١٧,١	٤,٩	٤,١	٢٩,٩	٢٩,٩
	٥٠٠	٣,٦	٣,٨	٥,٧	٧,٨	١١,٥	٣,٩	٣,٣	١٩,١	١٩,١
	٦٠٠	٢,٩	٣,١	٤,٥	٦,٠	٨,٥	٣,١	٢,٧	١٢,٠	١٣,٣
	٨٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٢	٥,٨	٢,٣	٢,٠	٧,٢	٨,٥
	١٠٠٠	١,٧	١,٧	٢,٥	٣,٢	٤,١	١,٨	١,٦	٤,٨	٥,٧
	١٢٠٠	١,٤	١,٤	٢,٠	٢,٤	٢,٨	١,٥	١,٣	٣,٣	٣,٩
	١٤٠٠	١,٢	١,٢	١,٦	١,٩	٢,١	١,٢	١,١	٢,٤	٢,٧
	١٦٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٥	١,٨	١,١	١,٠	١,٨	٢,٠
	١٨٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٣	١,٦	٠,٩	٠,٩	١,٦	١,٧

تابع الجدول رقم (٦,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٣	٢٥٠	٨,٣	٩,٦	١٥,٦	٢٠,٨	٤١,٧	٨,٩	٧,٤	٧٨,١	٧٨,١
	٣٠٠	٦,٨	٧,٨	١٢,١	١٦,٣	٢٨,٩	٧,٣	٦,١	٥٢,١	٥٢,١
	٤٠٠	٥,٠	٥,٧	٨,٥	١١,٥	١٨,٦	٥,٤	٤,٥	٣٢,٦	٣٢,٦
	٥٠٠	٣,٩	٤,٢	٦,٣	٨,٤	١٢,٥	٤,٢	٣,٦	٢٠,٨	٢٠,٨
	٦٠٠	٣,٢	٣,٣	٤,٩	٦,٥	٩,٣	٣,٤	٢,٩	١٣,٠	١٤,٥
	٨٠٠	٢,٣	٢,٤	٣,٥	٤,٦	٦,٣	٢,٥	٢,٢	٧,٨	٩,٣
	١٠٠٠	١,٨	١,٩	٢,٧	٣,٥	٤,٥	٢,٠	١,٧	٥,٢	٦,٣
	١٢٠٠	١,٥	١,٥	٢,١	٢,٧	٣,١	١,٦	١,٤	٣,٥	٤,٢
	١٤٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,١	٢,٣	١,٣	١,٢	٢,٦	٢,٩
	١٦٠٠	١,١	١,١	١,٥	١,٧	٢,٠	١,١	١,١	٢,٠	٢,٢
	١٨٠٠	١,٠	١,٠	١,٣	١,٤	١,٧	١,٠	٠,٩	١,٧	١,٩
٠,٣٥	٢٥٠	٩,١	١٠,٥	١٧,١	٢٢,٨	٤٥,٥	٩,٨	٨,٠	٨٥,٣	٨٥,٣
	٣٠٠	٧,٤	٨,٦	١٣,٢	١٧,٨	٣١,٥	٨,٠	٦,٦	٥٦,٩	٥٥,٩
	٤٠٠	٥,٤	٦,٢	٩,٣	١٢,٥	٢٠,٣	٥,٨	٤,٩	٣٥,٩	٣٥,٦
	٥٠٠	٤,٣	٤,٦	٦,٨	٩,٢	١٣,٧	٤,٦	٣,٩	٢٢,٨	٢٢,٨
	٦٠٠	٣,٥	٣,٦	٥,٤	٧,١	١٠,٢	٣,٧	٣,٢	١٤,٢	١٥,٨
	٨٠٠	٢,٦	٢,٦	٣,٨	٥,٠	٦,٩	٢,٨	٢,٤	٨,٥	١٠,٢
	١٠٠٠	٢,٠	٢,١	٢,٩	٣,٨	٤,٩	٢,٢	١,٩	٥,٧	٦,٨
	١٢٠٠	١,٦	١,٧	٢,٣	٢,٩	٣,٤	١,٨	١,٥	٤,٠	٤,٦
	١٤٠٠	١,٤	١,٤	١,٩	٢,٣	٢,٥	١,٥	١,٣	٢,٨	٣,٢
	١٦٠٠	١,٢	١,٢	١,٦	١,٨	٢,١	١,٣	١,٢	٢,١	٢,٤
	١٨٠٠	١,١	١,٠	١,٤	١,٦	١,٩	١,١	١,٠	١,٩	٢,١

تابع الجدول رقم (٦, ٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪							
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٤	٢٥٠	١٠,١	١١,٦	١٨,٨	٢٥,١	٥٠,١	١٠,٧	٨,٨	٩٤,٠	٩٤,٠
	٣٠٠	٨,٢	٩,٤	١٤,٦	١٩,٦	٣٤,٨	٨,٨	٧,٣	٦٢,٧	٦٥,٧
	٤٠٠	٦,٢	٦,٩	١٠,٢	١٣,٨	٢٢,٤	٦,٤	٥,٤	٣٩,٢	٣٩,٢
	٥٠٠	٤,٧	٥,٠	٧,٥	١٠,٢	١٥,٠	٥,٠	٤,٣	٢٥,١	٢٥,١
	٦٠٠	٣,٨	٤,٠	٥,٠	٧,٨	١١,٢	٤,١	٣,٥	١٥,٧	١٧,٤
	٨٠٠	٢,٨	٢,٩	٤,٢	٥,٥	٧,٦	٣,٠	٢,٦	٩,٤	١١,٢
	١٠٠٠	٢,٢	٢,٣	٣,٢	٤,٢	٥,٤	٢,٤	٢,١	٦,٣	٧,٥
	١٢٠٠	١,٨	١,٨	٢,٦	٣,٢	٣,٧	١,٩	١,٧	٤,٤	٥,١
	١٤٠٠	١,٥	١,٥	٢,١	٢,٥	٢,٧	١,٦	١,٥	٣,١	٣,٥
	١٦٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,٠	٢,٣	١,٤	١,٣	٢,٣	٢,٦
	١٨٠٠	١,٢	١,١	١,٦	١,٧	٢,٠	١,٢	١,١	٢,٠	٢,٣

(١) بها نباتات غير كثيفة (٢) بها نباتات كثيفة

فيمكن تقدير مساحة المستجمع لأنواع متعددة في الجداول السابقة على حسب كميات إمدادات المياه المختلفة من خلال العلاقة التالية:

$$A_i = W_{dj} \times a_i \qquad (٦,٢٣)$$

حيث إن:

A_i = المساحة المطلوبة لكمية إمداد المياه W_{dj}.

a_i = المساحة المطلوبة لتجميع ١ م^3 ويمكن إيجادها من الجداول السابقة.

إذا كان يوجد نوعين أو أكثر من المستجمعات، أولا نقدر مساحة نوع الأول A_1 وبعد ذلك تقدير مساحة النوع الثاني A_2 من العلاقة التالية:

$$A_2 = \left(W_d - \frac{A_1}{a_1} \right) \times a_2 \qquad (٦,٢٤)$$

٧- تقدير السعة التخزينية

أ) المعادلة الأساسية

إن المعادلة الأساسية لحساب السعة التخزينية كالتالي:

$$V_{i+1} = V_i + Fl_{in} - Ws - L_{i,i+1} \qquad (٦,٢٥)$$

حيث إن:

V_i و V_{i+1} = السعة التخزينية الحجمية عند زمن ti و ti+1 على الترتيب.

Fl_{in} = السريان الداخل إلى النظام.

Ws = إمداد المياه للمستخدمين في الفترة من t_i إلى t_{i+1}.

$L_{i,i+1}$ = فواقد المياه (البخر والتسرب) في الفترة من t_i إلى t_{i+1}.

من المعادلة السابقة يمكن حساب الاتزان المائي في فترة معينة ومنها نوجد السعة الحجمية للتخزين للخزان.

في حالة كون السريان الداخل للنظام صغيرا جدا أو تأول السعة التخزينية الحجمية إلى الصفر عندها يحث ندرة المياه. وإذا كان السريان الداخل كبير جدا والسعة التخزينية محدودة ومن ثم يحدث فقد للمياه. ونعبر عن ذلك بالمعادلتين التاليتين:

يحدث ندرة المياه عند

$$Ws < Fl_{in} - (V_{i+1} - V_i) - L_{i,i+1} \qquad (٦,٢٦)$$

يحدث فقد المياه عند

$$V_{max} < V_i + Fl_{in} - Ws - L_{i,i+1} \qquad (٦,٢٧)$$

ب) طريقة السنة النموذجية

يجرى الحساب على سنة نموذجية واحدة بالخطوات التالية:

١- اختيار السنة النموذجية

تختار السنة النموذجية المرتبطة بالاعتمادية باستخدام منحنى التوزيع التجريبي. ويمكن اختيار السنة النموذجية وفقا لسقوط الأمطار للفترة الحرجة من ندرة المياه. الفترة الحرجة تكون الفترة عند تفاوت إمداد المياه والطلب الكبير عليها. فمثلا في الفترة من شهر مايو إلى يونيو تكون فترة حرجة عندها يحتاج المحصول للماء بينما يوجد ندرة في سقوط الأمطار. وبالتالي نجهز المنحنى التجريبي للأمطار من مايو إلى يونيو. ومن ثم تكن السنة النموذجية المختارة هي السنة التي تكون الأمطار من مايو إلى يونيو بالاعتمادية ٧٥٪ أو ٥٠٪ على المنحنى التجريبي.

وتكون أفضل فترة لحساب السعة التخزينية باستخدام المعادلة الأساسية بالنسبة للأغراض المنزلية تكون ١٠ أيام أو شهر بخطأ صغير أما بالنسبة لأغراض الري فيكون عند ١٠ أيام فقط بسبب أن الري يتم من ٢- ٣ مرات في موسم النمو.

٢- تجهيز السريان الداخل لنظام حصاد الأمطار

يكون السريان الداخل متمثل في الجريان السطحي للأمطار الساقطة. يختلف معامل الجريان السطحي على حسب خصائص الأمطار في كل حدث. وبالتالي يحسب السريان الداخل لنظام الحصاد في كل حدث ولكل ١٠ أيام أو شهر. وعند حساب الجريان السطحي للأمطار نحتاج لحساب كفاءة تجميع مياه الأمطار والتي تتأثر بخواص الأمطار ونوع المستجمع ومساحته كما وضح سابقا.

٣- تجهيز إمداد المياه مع الزمن

الماء المستخدم في الأغراض المنزلية يمكن أن يأخذ توزيع منتظم على السنة كاملة. وإذا كانت البيانات متاحة يكون التوزيع غير منتظم باعتبار الاختلافات الموسمية على طلب المياه. أما أغراض الري فيقدر إمداد المياه على حسب جدولة الري.

٤- حساب حجم التخزين

يجرى الحساب على كامل السنة بفترات محددة (١٠ أيام أو شهر) ونختار أقصى حجم تخزين محسوب خلال السنة. ويبدأ الحساب عند الوقت الحرج التي عندها التخزين يؤول للصفر. ويحدد الفترة الحرجة بطريقة المحاولة والخطأ. وإذا في عملية الحسابات حدث إن الحجم أعطى بقيمة سالبة يعني أن بداية الحسابات غير صحيح ولابد من إعادة الحسابات ببداية مختلفة. والمثال التالي يوضح الحسابات كل ١٠ أيام.

تقدير التغذية الجوفية من نظام حصاد الأمطار باستخدام طريقة الاتزان المائي

يقدر مقدار التغذية الجوفية الممكنة (R_{ep}) في أيام عدم سقوط الأمطار باستخدام الاتزان المائي التي عندها يفترض كون الجريان السطحي لداخل المنشأة يساوي الصفر. ويحسب مقدار حجم التغذية الجوفية على أساس الفواقد وبالإضافة إلى الماء المخزن في المنشأة كما هو موضح في الشكل رقم (٦, ٢٩) والمعادلة التالية:

$$R_{ep} = P + R_{in} + \Delta h - O_t - E \qquad (٦, ٢٨)$$

حيث إن:

Rep = التغذية الجوفية (مم).

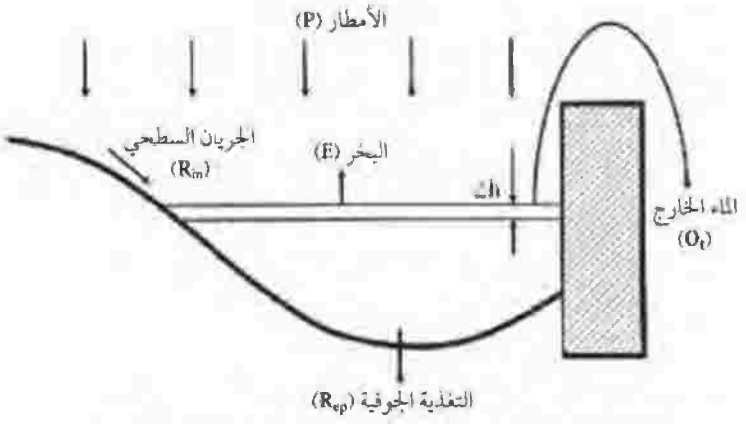
P = الأمطار (مم).

R_{in} = الجريان السطحي الداخل (مم).

Δh = مقدار التغير في مستوى عمق الماء في المنشأة (مم).

O_t = كمية الماء الخارج من المنشأة (مم).

E = البخر اليومي (مم).



الشكل رقم (٦, ٢٩). التغذية الجوفية من نظام حصاد الأمطار.

ويحسب حجم المياه المخزنة V من المعادلة التالية $V = R_{ep} \times A_s$ حيث إن A_s متوسط مساحة منطقة تخزين الماء.

ويحسب حجم التغذية الجوفية في أيام سقوط الأمطار على أساس العلاقة بين حجم التغذية الجوفية في أيام عدم سقوط الأمطار ومتوسط عمق الماء في المنشأة كالتالي:

$$R_{ep} = a h_{av}^{b} \qquad (٦,٢٩)$$

حيث إن:

a و b = ثوابت تجريبية.

h_{av} = متوسط عمق الماء ويحسب من المعادلة $h_{av} = (h_t + h_{t+1})/2$.

كفاءة التغذية للمنشأة

تقدر كفاءة التغذية بواسطة العلاقة بين حجم التغذية الجوفية وحجم الماء المخزن في المنشأة لكل عام ويعبر عنها كالآتي:

$$E_{recharge} = \frac{R_{ep}}{V_{run-on}} \qquad (٦,٣٠)$$

حيث إن:

$E_{recharge}$ = كفاءة التغذية للمنشأة.

R_{ep} = الحجم الكلي للتغذية الجوفية لفترة معينة (م٣).

V_{run-on} =الحجم الكلي للماء المجمع في مساحة التخزين لفترة معينة (م٣).

العوامل المؤثرة على كميات الحصاد المائي

من العوامل المؤثرة بشكل رئيس على كميات تخزين المياه ما يلي:

١ - خصائص سطح التربة

تؤثر خصائص سطح التجميع بشكل مباشر على كمية ومعدل المياه المخزنة من خلال العوامل التالية:

الميل: عند اختيار منطقة الحجز يجب أن لا يتجاوز ميل سطح الحجز بمقدار ٥٪. وفي حالة زيادة الميل عن ذلك سوف يؤدي إلى عمليات انجراف للتربة.

طول السطح: يؤثر طول سطح التربة بشكل مباشر على مساحة سطح التخزين وعلى الفترة الزمنية اللازمة للتخزين.

الغطاء النباتي: يؤثر الغطاء النباتي من خلال:

- يزيد من الناقلية الهيدروليكية.
- يزيد من ظهور ظاهرة البقع المائية وبالتالي تزيد عملية التبخر.
- تشكل حواجز أمام المياه وبالتالي زيادة كمية الماء المتبخر.

ويمكن أن تساهم عمليات رص (انضغاط) سطح التربة compaction of the soil surface على تحسين عملية حصاد المياه بشكل ملحوظ وبتكلفة قليلة.

٢- نوع التربة

يؤثر نوع التربة التي تتساقط عليها الأمطار على كمية المياه المحجوزة ويلعب قوام التربة دوراً رئيساً في ذلك، فقوام التربة يؤثر على معدل التسرب ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة حيث التربة الرملية والحصوية يزيد فيها معدل التسرب مقارنة بالتربة الطمية والطينية. كما أن وجود فراغات (مسام) وبقايا جذوع الأشجار يؤثر على عملية التسرب.

٣- خصائص التساقط المطري

تؤثر خصائص هطول الأمطار بشكل أساسي على معدلات التسرب وبالتالي على كمية المياه المحجوزة.

ومن أهم خصائص هطول الأمطار ما يلي:

كمية عاصفة مطرية Rainstorm amount: ويقصد بها كمية التساقط المطري لمرة واحدة خلال فترة زمنية معينة والتي تحدث بشكل متتابع في منطقة حجز معينة وتقاس بالمليمتر ماء. ومع زيادة كمية التساقط المطري تزداد رطوبة التربة ويمكن أن تتحول فيما بعد إلى مياه مخزنة.

شدة تساقط المطر Rainstorm Intensity: ويقصد بها كمية التساقط المطري في مدة معينة وتقاس بالمليمتر ماء لكل ساعة وذلك خلال فترة زمنية معينة. وعادة ما تكون شدة التساقط قليلة في البداية ثم تزداد مع الزمن. فإذا ما تجاوزت شدة التساقط معدل التسرب فإن ذلك يزيد من إمكانية حصاد المياه.

توزيع التساقط المطري Rainstorm Distribution: يتأثر توزيع التساقط المطري بوجود رطوبة مسبقة في تربة مكان حجز الماء. وغالباً ما يحدث ذلك عند الفترات المطرية المتباعدة على أرض جافة مما يسبب تسرب هذه المياه خلال الشقوق وبالتالي نقص كمية المياه المحجوزة بها.

(٨, ٦) عوامل تصميم نظام حصاد مياه الأمطار

أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم نظم الحصاد المائي ما يلي:

١ – شدة سقوط المطر، وهو مقدار المطر الساقط في وحدة الزمن (مم/ ساعة).

٢ – زمن شدة سقوط المطر (استمرارية)، وهو استمرارية هذا المطر بهذه الشدة لفترة ما من الزمن كأن يقال أن المطر الذي بلغت شدته ١٠٠ مم/ ساعة قد أستمر لزمن ١٥ دقيقة.

٣– تكرار المطر، أي تكرار شدة المطر وديمومته في وحدة الزمن. كأن يقال أن المطر الذي كانت شدته ١٠٠ مم/ ساعة الذي أستمر ١٥ دقيقة متواصلة يتكرر كل خمس سنوات أو يتكرر مرتين في السنة وهكذا.

٤ – خصائص الجريان السطحي للتربة السطحية ونفاذية التربة.

٥ – قدرة التربة على تخزين الماء (عمق التربة وقوامها).

٦ – تضاريس المنطقة المعينة.

٧– نوع وحجم الاستخدام.

في حالة الاستخدام الزراعي يرتكز أي نظام لحصاد المياه على عاملين هما:

١ – التقاط مياه الجريان وتخصص له مساحة الالتقاط (C: Catchment).

٢ – مياه الجريان وتخصص له مساحة مزروعة (CA: Cultivated Area).

تتطلب عملية تصميم نظام حصاد المياه هذه إلى تحديد مساحة الالتقاط والمساحة المزروعة والنسبة بينهما بالاعتماد على ثوابت تصميم هذا النظام وهي:

أ) التساقط المتجاوز المحتمل أو تساقط الضمان أو التساقط التصميمي (Dr)

وتمثل كمية التساقط المحتملة التي يبنى على أساسها نظام حصاد المياه بكيفية تلبي حاجة النبات من الماء، فإذا كانت كمية التساقط أقل من التساقط التصميمي خلال موسم المطر، فإن ذلك قد يشكل خطراً على المحصول من جراء النقص المائي. وعادة يأخذ التساقط التصميمي أو تساقط الضمان عند احتمال ٦٧٪ وهو يعني أن نظام حصاد المياه بني على كمية احتياجات النبات من سنتين إلى ثلاث سنوات.

ب) معامل الجريان السطحي Runoff Coefficient (Rc)

وهو نسبة عمق الجريان على عمق التساقط، ويتأثر بعوامل عدة والتي من أهمها نسبة الانحدار، نوعية التربة، الغطاء النباتي، الرطوبة داخل التربة، مدة وشدة العاصفة المطرية... الخ ويتراوح معامل الجريان بشكل عام من

١,٠-٥,٠ ويعتمد تحديده تجريبياً، وهو من أهم مستلزمات تصميم أنظمة حصاد المياه. حيث إن العنصر الرئيس لتقنيات حصاد مياه الأمطار هو النسبة ما بين مساحة جريان المياه ومساحة تجميع المياه، فتكون مساحة جريان المياه مثالية إذا كان لها معامل جريان سطحي كاف ومساحة لتجميع المياه.

ج) عامل كفاءة استعمال المياه المحصودة Efficiency Factor (Ef)

إن جزءاً من المياه المحصودة تتعرض للتبخر والتسرب في الحقل لذا يستعمل هذا العامل للدلالة على كفاءة استعمال الماء المجمع عن طريق الجريان وتوزيعه على المساحة المزروعة. وتعتمد قيمة هذا العامل حسب نظام حصاد المياه وحسن التهيئة. فتكون كفاءة توزيع المياه مرتفعة مثلاً عند تسوية الأرض وتقدر فعالية استخدام المياه المحصودة ما بين ٠,٥-٠,٧٥.

د) الاحتياجات المائية Crop Water Requirement (CWR)

تختلف الاحتياجات المائية حسب نوع النبات والمناخ السائد. وهناك طرق متعددة لحساب الاحتياج المائي والتي من أهمها معادلة بنمان-مونتيث.

لتحديد نسبة مساحة الالتقاط على المساحة المزروعة بالنسبة للمحاصيل والشجيرات الرعوية فإن الحسابات تركز على قاعدة أساسية في تصميم نظم حصاد المياه وهي المساواة بين الاحتياجات المائية التكميلية (CWRS) وكمية المياه المحصودة والجريان (Wh). حيث تقدر كمية المياه الملتقطة أو المحصودة Wh على النحو التالي:

$$Wh = C \times Dr \times Rc \times Ef \qquad (٦,٣١)$$

كما تقدر كمية الاحتياجات المائية التكميلية (CWRS) كما يلي:

$$CWRS = CA\ (CWR - Dr) \qquad (٦,٣٢)$$

من المعادلتين السابقتين نحصل على النسبة بين مساحة الالتقاط إلى المساحة المزروعة كالتالي:

$$C/CA = \frac{CWR - Dr}{Dr \times Rc \times Ef} \qquad (٦,٣٣)$$

أما تحديد مساحة الأحواض الصغيرة للجريان السطحي بالنسبة للأشجار المثمرة والشجيرات، فهي تختلف في تصميمها عن نظم حصاد المياه بالنسبة للزراعات المحصولية والرعوية، باعتبار أن غرس الأشجار تستغل تقريباً في كل الحالات عن طريق نظام الأحواض الصغيرة. ففي هذا النظام يرتكز التصميم على تقدير مساحة الحوض الصغير باعتبارها في نفس الوقت المساحة المخصصة لالتقاط الماء ونمو غراس الأشجار المثمرة. وتكمن صعوبة

التصميم لمثل هذه الأنظمة في تحديد منطقة انتشار الجذور الفعالة باعتبار أن مساحتها تتغير حسب نمو الجذور بالنسبة للأشجار الحديثة الغرس وتعتبر عادة مساحة الجذور الفعالة معادلة لمساحة الإسقاط الرئيس لتاج الشجرة، نستعمل المعادلة التالية لتحديد مساحة الحوض:

$$A_C = \frac{A_R (CWR - Dr)}{Dr \times Rc \times Ef} \qquad (٦,٣٤)$$

حيث إن :

A_C = مساحة الحوض الكلية (م٢).

A_R = المساحة المستغلة بجذور النبات (م٢).

بعد إتمام تحديد مساحة التقاط الماء (المستجمع) ومساحة الزراعة يمكن التخطيط والتصميم وتنفيذ الطرق المختلفة لحصاد مياه الأمطار.

اختيار الموقع والتقنية

تعتمد ملائمة منطقة ما لحصاد المياه على قدرتها على تلبية المتطلبات التقنية الأساسية للنظام. إضافة إلى ذلك يجب أن تتوافق أية تقنية يتم اختيارها والظروف الاجتماعية والممارسات الزراعية، وعند وضع خطط لتطوير هذه النظم، يجب أن تتوافر بيانات ملائمة حول المناخ، والتربة والنباتات المزروعة والتي ستزرع، والطبوغرافيا، والجوانب الاقتصادية الاجتماعية الخاصة بمنطقة المشروع، وتعتبر الزيارات الميدانية، ومعاينة الموقع والمصورات الطبوغرافية والصور الجوية، وصور الأقمار الصناعية أو ما يسمى الاستشعار عن بعد (RS) ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) من بين الوسائل والأساليب المستخدمة في اكتساب البيانات، من أجل وضع خطط نظم حصاد المياه وتصميمها، وتنفيذها، وكإحدى وسائل المساعدة في اختيار الطريقة المثلى، يمكن الاستفادة من نتائج الأبحاث والدراسات المتقدمة والتي تقدم خطوطاً إرشادية عامة حول متطلبات أكثر تقنيات حصاد المياه أهمية.

ويتم تحديد الموقع والطرق من خلال وضع الغاية التي تستخدم فيها المياه التي يتم حصادها بعين الاعتبار. وستكون مسألة القرب من موقع السكن ونظافة المياه من الجوانب التي ستؤخذ في الحسبان عند استخدام المياه منزلياً أو لسقاية الحيوان، مع وجوب تلبية الاحتياجات المختلفة من المياه من أجل الزراعة أو من أجل استخدام متعدد الأغراض. ومع إمكانية تنفيذ نظم حصاد المياه فوق نطاق واسع من المنحدرات. إلا أن الطبوغرافيا تظل عاملاً رئيساً يدخل في اختيار التقنية الملائمة، فعلى وجه العموم، وليس دائماً، يتم استخدام الأراضي الأشد انحداراً

ذات التربة القليلة العمق كمستجمعات للمياه (منطقة الالتقاط) بينما تخصص المنحدرات الأقل ميلاً للزراعة، إذ تكون التربة فيها أكثر عمقاً، وهذه العملية تسمح للتربة الأقل عمقاً وإنتاجاً في مشاركة نصيبها من مياه الأمطار مع التربة الأكثر عمقاً وإنتاجية.

أما بالنسبة للتربة التي تتسم بمعدلات رشح مرتفعة، كالتربة الرملية على سبيل المثال، فهي غير مواتية لتكون مستجمعات لحصاد المياه من دون القيام ببعض التدابير لتحريض الجريان وغالباً ما تقتصر ملاءمتها على استخدامها كمستجمع صغير لحصاد المياه من أجل استهلاكها من قبل الإنسان والحيوان أو من أجل إنتاج زراعي محصولي مرتفع القيمة. ويجب أن يؤخذ قوام التربة في الحسبان لأن ذلك يؤثر على درجة انجراف تربة المستجمع، ويعتبر قوام التربة وعمقها عاملين مؤثرين في إجمالي طاقة تخزين المياه في التربة، وهذا بدوره يتحكم بكمية المياه التي يمكن توفيرها لري المحاصيل خلال الفترات الجافة.

وتعد حقوق المياه وحيازة الأراضي واستخدامها من بين المشكلات التي قد تشكل أحياناً عائقاً أمام اختيار الموقع والتقنيات المناسبة. ففي الماضي أخفق الكثير من مشروعات حصاد المياه بكل بساطة نتيجة عدم أخذ مسائل كهذه بعين الاعتبار بشكل كامل. وتزيد الملكية الجماعية للأراضي من عدد الخيارات المتاحة، بما في ذلك اختيار مستجمع كبير. وقد تكون النظم ذات النطاق الواسع أكثر اقتصادية إذ أنها تتطلب مقداراً أقل من العمل على مستوى الإنشاء وأعمال الصيانة في وحدة المساحة.

ونتيجة للتغيرات التي أصابت الأوضاع الاجتماعية من ناحية الملكية الخاصة والحوافز الاقتصادية والتطلعات الشخصية، أصبح اليوم صغار المزارعين أكثر تقبلاً لفكرة إنشاء نظام مستجمع مائي صغير في الأرض التي يملكونها، إلا أن قدرة المزارع على تشغيل النظام وصيانته تبقى عائقاً أمام استخدام نظم أكثر تعقيداً. أما الجوانب الأخرى التي يجب أخذها بعين الاعتبار أيضاً عند اختيار النظم فتتمثل في متطلبات الإنشاء ومن ذلك توفر المواد والعمالة التي تتمتع بالمهارة.

اختيار المزروعات

تعد الأنواع المحلية للمحاصيل والأشجار المثمرة والنباتات الرعوية هي الأفضل تكيفاً مع البيئة على وجه العموم ويجب أن تحظى بالأولوية مقارنة مع الأنواع المدخلة. غير أن حصاد المياه قد يعطي المزارعين إمكانية زراعة أنواع ملائمة والتي كانت تصاحب زراعتها سابقاً مجازفة كبيرة. وقد تكون الأصناف المحسنة ملائمة، على اعتبار

أن إدخالها قد تم عقب القيام ببرامج بحثية وتكيفية للتحقق من قابليتها للنمو. ويجب أن تكون المحاصيل والأشجار المنتخبة قادرة على التكامل مع نظام زراعي محلي وقادرة على تحمل الغمر لعدة أيام وملائمة لمعظم نظم حصاد المياه في أعقاب العواصف المطرية الشديدة.

ولذلك يوصى باختيار أشجار وشجيرات ومحاصيل متحملة للجفاف، ولضمان أكبر كفاءة من استخدام المياه والحصول على حصاد سريع للمياه، فإنه يجب إعطاء الأولوية للمحاصيل الشتوية، وعندما يقع الاختيار على الأشجار، فإن توفر تربة عميقة ذات طاقة تخزينية كافية للمياه يعتبر أمراً أساسياً من أجل توفير رطوبة كافية خلال فترة الجفاف أثناء الموسم، أو يمكن استخدام الري التكميلي (استخدام كميات محدودة من المياه خلال فترات الإجهاد كمكمل لمياه الأمطار) يزيد كمية الإنتاج بشكل جوهري ويعمل على استقراره. ويمكن أن تزود مشاريع حصاد المياه التربة بالرطوبة الأساسية في مناطق لا يتوفر فيها الري بشكل عامل. يتم أحيانًا في بعض المواقع بناء أحواض خزن سطحية أو بحيرات جبلية صغيرة لحصاد المياه في المناطق الجبلية حتى يمكن استخدامها في الري التكميلي. وقد أوضح العمل البحثي في دول متعددة كسوريا واليمن والأردن والمغرب والسودان وتونس إمكانية هائلة في تحسين كفاءة استخدام المياه لإنتاج محاصيل شتوية وصيفية كالقمح والخضروات.

تصميم النظام

يجب أن يضمن تصميم نظام حصاد المياه بشكل معقول توافر كمية معينة من المياه من أجل استخدامها لهدف، ومن الأهمية بمكان أن يؤكد على أنه ليس من الضروري دائماً تلبية الحاجة المحتملة إلى المياه بشكل كامل في البيئات الأكثر جفافاً، حيث يمكن للمحاصيل من النمو بشكل اقتصادي وإعطاء إنتاج دون تلبية كامل احتياجاتها من المياه، ويجب أن تسمح كمية المياه التي صمم نظام حصاد المياه من أجلها، الحصول على عائدات اقتصادية واجتماعية وبيئية مثلى.

أما بالنسبة لنظم المستجمعات الصغيرة، فإن منطقة المستجمع يجب أن تكون قادرة على تزويد المنطقة المستهدفة بكمية المياه حسب التصميم. ويمكن أن يحدد حجم المستجمع تبعاً لمواصفات التساقط المطري وانحدار الأراضي وخصائص التربة والغطاء النباتي والمزروعات والاعتبارات الاقتصادية. وثمة حاجة إلى العناية بتصميم وتوفير منشآت لحصاد المياه من أجل نقل المياه ومن ثم تخزينها وتوزيعها. كما يجب أن يتمتع تصميم النظام بالمرونة الكافية للسماح بأية تغيرات ضرورية في المنطقة المزروعة بالمحصول أو في نمط المحصول خلال التنفيذ والعمليات المستقبلية.

تشمل الخطوات الأساسية لتصميم نظم حصاد المياه ذات المستجمع الصغير ما يلي:

١- تحديد معامل الجريان السطحي السنوي للتصميم الخاص في الموقع المختار. وهذا المعامل يساوي نسبة كمية الجريان السنوية إلى كمية التساقط المطري السنوي. وتعتمد قيمة هذا المعامل على كمية التساقط المطري وشدته، كما تعتمد على التربة والطبوغرافيا وسطح الأرض وحجم المستجمعات الصغيرة، ولا يمكن تطبيق المعاملات التي يتم الحصول عليها في التقنيات الصالحة للمستجمعات الكبيرة على المستجمعات الصغيرة. ويمكن تحديد معامل الجريان تجريبياً في الحقل باستخدام قطع حقلية أو استخدام نظم محاكاة الأمطار صناعياً في الحقل. ونظراً لكون معامل الجريان السنوي للتصميم يعتمد على خصائص التساقط المطري، فإن القيمة التي يتم اعتمادها يجب أن تكون ذات مستوى مقبول من الاحتمالية. ويمكن لمعالجة التربة فيزيائياً أو كيميائياً أو كليهما معاً أن تزيد من معامل الجريان بشكل معنوي. ويوضح الجدول رقم (٦,٧) العلاقة بين نوع المعالجة ومعامل الجريان السطحي، غير أن المعالجة ترفع من التكاليف. لكن هذه المعالجة والتي تهدف إلى زيادة الجريان تعلل من الناحية الاقتصادية، وذلك اعتماداً على الهدف من نظام حصاد الماء.

الجدول رقم (٦,٧). العلاقة بين طريقة المعالجة ومعامل الجريان السطحي.

طريقة المعالجة	معامل الجريان ٪
تنظيف المستجمع	٣٠-٢٠
تسوية السطح	٤٠-٢٥
دمك (رص) التربة	٦٠-٤٠
تعديل التربة	٩٠-٧٠
منع تسريب السطح (إضافة أسفلت)	٨٠-٦٠
غطاء كتيم (إضافة أسفلت أو بلاستيك)	١٠٠-٩٥

٢- تحديد الاحتياجات المائية للمزروعات (CWR) ضمن التصميم وتحت ظروف حصاد المياه وعادة ما يتم تحديد هذه المتطلبات كجزء من حاجة المحصول إلى المياه بدون "إجهاد"، تلك الحاجة المرتبطة عموماً باستخدام المدخلات والإدارة المناسبة للنظام وقد تستخدم الأساليب العادية لتقدير البخر-نتح المرجعي (ETo) ومن ثم معامل المحصول (Kc) للحصول على الاحتياج المائي، وذلك بطرق متعددة حيث:

$$CWR = Kc \cdot ETc \qquad (٦,٣٥)$$

في حين يعكس معامل الإجهاد الذي جرى تقديره مستوى الإجهاد المتوقع للمحصول تحمله خلال الفترة الجافة.

٣- يجب ألا يعتمد تصميم نظام حصاد الماء على القيم المتوسطة للتساقط المطري في المنطقة بل على قيم أدنى وذات احتمالات حدوث أعلى، وذلك لضمان إمكانية نجاحه، ويجب أن تعتمد نظم حصاد المياه لري الأشجار والشجيرات، والمحاصيل الدائمة على بيان التساقط المطري بعد معالجته احتمالياً. وعموماً يجب أن يكون بمقدور التصميم أن يزود النبات بالمياه بشكل اقتصادي مدة ستتان على الأقل في كل ثلاث سنوات عند احتمال ضمان ٦٧٪.

٤- اعتماداً على نتائج الخطوات السابقة، يتم تحديد نسبة مساحة المستجمع أو مساحة الالتقاط (C) إلى المساحة المزروعة (CA). ويجب إعطاء وسماح بسبب عدم التساوي في توزيع المياه والتسرب العميق في منطقة المحصول من خلال عامل كفاءة التخزين، والذي يمثل نسبة حجم المياه المحصودة المخزنة في العمق الفعال من منطقة الجذور إلى إجمالي حجم المياه المحصودة وتتراوح القيم النموذجية بكفاءة التخزين هذه من ٠,٥٠ إلى ٠,٧٥.

٥- إذا ما عرفت المساحة المزروعة ومساحة الالتقاط أو المستجمع، فإنه يمكن تحديد أبعادها اعتماداً على نمط النظام، ونوع المحصول والطبوغرافيا. ويمكن التخطيط بعد ذلك لأعمال الهندسة المطلوبة، لتشمل وضع مخطط للنظام، وتفاصيل حول الأعمال الترابية أو الحجرية وكمياتها، وحول المنشآت الأخرى للتحكم بالمياه.

تحتاج المستجمعات الكبيرة ونظم مياه السيول عادة إلى تصميم السدود والمنشآت التحويلية والنظم الضرورية لنقل المياه وتوزيعها، وقد تشمل هذه النظم أيضاً مرافق لتخزين المياه من أجل الاستخدام اللاحق لها. ولا يمكن للمصمم التحكم في حجم المستجمع الكبير أو منطقة مستجمع مياه السيل، إنما تنحصر مهمته في تحديد نطاق المنطقة المزروعة التي يجب خدمتها بالجريان المتوقع.

قد يتم تحديد الجريان من خلال وسائل القياس والمنشآت الموجودة في الوادي، أو باستخدام العلاقات الرياضية ذات العلاقة والتي تشمل تحديد التساقط الأكثر وزمن تركيز مسقط المياه، أو المستجمع ومنها يمكن تحديد الجريان الأكبر، ونادراً ما يتم قياسه من خلال المقاطع العرضية للجريان ومقاييس السرعة، كذلك يمكن أن يقدر الجريان من خلال المحاكاة، وعلى اعتبار أن هذه النظم (نظم المستجمعات الكبيرة ومياه السيول) ذات النطاق الواسع تتجاوز قدرة المزارعين الفرديين، فإن ثمة حاجة لإسهام المهندسين من أجل وضع التصميم.

التشغيل والصيانة

تعتبر الإدارة السيئة والافتقار إلى الصيانة من الأسباب الرئيسة لإخفاق مشروعات حصاد المياه، إذ تتطلب النظم الكبيرة نسبياً خلق شراكات وجمعيات محلية من أجل إدارة المرافق والاتصال بالوكالات الحكومية المعنية، وثمة حاجة منذ بداية المشروع إلى دلائل إرشادية وإجراءات لتشغيل كافة مكونات نظام حصاد المياه وصيانتها.

وغالباً ما يجب فحص ومراقبة النظم الجديدة، لاسيما خلال السنة الأولى والثانية عقب الإنشاء. ويجب فحص المستجمعات الصغيرة عقب كل عاصفة مطرية تتسبب في الجريان، حتى يتسنى إصلاح أي تهدم صغير في الأكتاف على الفور. ويجب إعطاء اهتمام خاص للقنوات والأكتاف الترابية ومرافق تخزين المياه والمفيضات ومنشآت تحويل مجارى المياه، وإضافة إلى المنشآت المستهدفة، يجب توفير الحماية للمستجمعات المعالجة من الضرر الذي قد تحدثه الحيوانات الرعوية، كما يجب إزالة الطمي والرسوبيات الأخرى من نظم نقل وتوزيع المياه ومن مرافق تخزينها.

وقد يحتاج المزارع الذي يعتبر الري بالنسبة إليهم أمراً غير مألوف إلى تقديم النصح لهم حول تقنيات الري والأنشطة ذات الصلة، ويجب أن تشمل هذه النصائح أساليب لتحسين التربة والتحكم بالانجراف، ويتعين حماية تلك النظم التي تقدم مياه الشرب من التلوث والعمل على تنظيفها بشكل دوري. ويعتبر تنظيف المستجمع سنوياً، وصيانة مصايد الطمي وأحواض الترسيب والخزانات الأرضية من التدابير الضرورية أيضاً.

(٩, ٦) المنشئات المائية للمحافظة على مياه الأمطار والسيول

إن حصاد مياه الأمطار والسيول لا يتم بدون إقامة منشئآت مائية للمحافظة على تلك المياه حتى حصدها، مثل إنشاء وتصميم الخزانات التي تتجمع فيها المياه، وتمهيد الطرق اللازمة لتوجيه المياه لتلك الخزانات سواء ممرات صغيرة أو قنوات. وفي بعض الحالات يتطلب أيضا وجود سدود لتجميع المياه وللتحكم في الفيضان، والأنواع المختلفة من الأبنية الهيدروليكية الملحقة. وإن تصميمات الأبنية الهيدروليكية تشمل حجم وشكل ومواصفات المكونات المختلفة للبنية الهيدروليكية. وحتى تتم تلك الأبنية بطريقة صحيحة لابد من إجراء بعض الدراسات المتعلقة بالمياه وبمنطقة الإنشاء، مثل هيدرولوجيا المياه السطحية، وهيدروليكا الممرات أو القنوات المائية المكشوفة، ونقل ترسيب الرواسب، وتصميم الأبنية الهيدروليكية بما فيها السدود والمفائض والقنوات، ومباني الملاحة والتحكم في الفيضان، وأنظمة الإمداد بالمياه، وحماية الشواطئ، والطاقة المائية، ومنشآت الري.

وقد تتركز تلك المشروعات أساساً على الجوانب الهندسية، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أثارها العكسية على الموارد الطبيعية الأخرى والبيئة. وإن التخطيط والتصميم لمشروع هندسة مصادر المياه يجب أن يشتمل على التوقع لمعدل التدفق الحجمي للمياه، وطرق التحكم في حجم المياه والتدفق.

إن المشروع النموذجي يشمل التحليل الهيدرولوجي والتحليل الهيدروليكي وتقييم المياه السطحية وتصميم الأبنية الهيدروليكية والتحليل الاقتصادي لمشروعات تطوير مصادر المياه وتقييم الآثار البيئية للأنشطة المتعلقة بالمياه. وبالإضافة إلى ذلك لابد من أن يكون هناك وصف مختصر للموقع ومكانه والبيئة المائية في الجوار القريب أيضاً. وذلك قد يشمل المجاري المائية القريبة والبحيرات ومتوسط المطر السنوي وسقوط الجليد والمسارات الخاصة بالجريان السطحي للماء وتبخر المياه من السطح الحر بالمنطقة. وبالنسبة لتقرير التصميم، فإنه قد يشمل الموقع والغرض من الأبنية الهيدروليكية.

في حالة الدراسة المتعلقة بهيدرولوجية المياه السطحية فيجب أن يشمل الامتداد الفعلي وأنواع التربة وغطاءها والطول الهيدروليكي وانحدارات مجاري السريان الفرعية، والبيانات الأخرى المتعلقة بتقدير أزمنة التركيز وأزمنة الإعاقة وأعماق التساقط للفترات المطلوبة وفترات العودة (الرجوع)، ومعلومات حول سقوط الجليد وذوبانه. وفي حالة دراسة التصميم، فإن ذلك قد يشمل وصف بنيات المجاري المائية حيث توجد البنيات الهيدروليكية (أقصي تدفق محتمل، التدفق المنخفض، ومساحة منطقة الصرف). وبيانات حول متوسط التساقط والتسرب والبخر-نتح وموقع وأحجام البحيرات والمياه الأرضية في منطقة الدراسة.

أسس التخطيط لمشروعات حصاد المياه

إن تساقط الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة غالباً ما يكون غير كاف لتلبية الاحتياجات الأساسية للإنتاج الزراعي لأن توزيعه يكون على نحو غير متوازن خلال موسم النمو، وغالباً ما يأتي على شكل أمطار فجائية غزيرة، فمن غير الممكن لهذا النوع من التساقط أن يدعم زراعة مجدية اقتصادية. ففي المناطق الجافة وشبه الجافة عادة ما يكون التساقط محصوراً بين ١٠٠-٣٠٠ مم/ السنة ويأتي على شكل عواصف عشوائية لا يمكن التنبؤ بها حتى أن معظم هذه المياه المتساقطة يضيع نتيجة التبخر والجريان مما يؤدي إلى تكرار فترات الجفاف خلال موسم النمو.

يلعب سطح التربة دوراً مهماً في الجريان والرشح ومن ثم تغذية المياه الجوفية، ويمكن أن تسبب مياه الجريان السطحي انجراف التربة وتشكيل الأخاديد.

إن فقدان التساقط المتدني أصلاً بالتبخر والجريان... الخ، يتمخض عنه انخفاض كبير في الإنتاج الزراعي أو انعدامه، وتتفاقم هذه المشكلة مع وجود ظروف طبيعية أخرى غير مواتية كارتفاع درجة الحرارة خلال فترات الزراعة ووجود ترب سطحية قليلة العمق أو ترب عميقة ذات نوعية رديئة.

وإن ضعف مستوى الوعي بإمكانات حصاد المياه وجوانبه التقنية والاجتماعية والاقتصادية تساهم في فقدان المياه دون الاستفادة منها في الاستخدامات المختلفة إلى جانب سوء إدارة الأراضي، واللذان يعتبران عاملان أساسيان في عملية تدهور الأرض والتصحر وزيادة معدل الفقر في المناطق الجافة وشبه الجافة، لهذا يجب زيادة الاهتمام بمياه الأمطار ورعايتها وإدارة الأرض على نحو ملائم لتحقيق فرصة نجاح الزراعة. وتعتبر عملية حصاد المياه مفتاح استخدام مياه الأمطار على نحو أفضل لغايات زراعية فهي تشكل زيادة في كمية المياه المتاحة في وحدة المساحة المحصولية وتقلل من تأثير الجفاف، وتستخدم مياه الجريان على نحو مفيد.

ويمكن أن تتم عملية حصاد المياه بصورة طبيعية أو بتدخل العنصر البشري ويمكن مشاهدة الحصاد الطبيعي في أعقاب العواصف المطرية الشديدة، إذ تجري المياه إلى المناطق المنخفضة مشكلة مساحات يستثمرها المزارع في الزراعة، وأما بالنسبة لحصاد المياه بواسطة التدخل البشري فيشمل تركيز الجريان ومن ثم يتم جمعه أو توجيهه أو كليهما معاً، من أجل استعماله في منطقة مستهدفة. وإضافة إلى استخدام حصاد المياه لأغراض زراعية، يمكن تطويره لتزويد الإنسان والحيوان بمياه الشرب، إلى جانب استخدامه لإغراض منزلية وبيئية.

ويتضمن التخطيط لمشروعات الحصاد المائي ما يلي:

- **تعيين الأهداف:** من خلال قائمة من الأهداف المحددة أو النتائج التي يتوقع أن يحققها المشروع أو ينجزها.
- **تحليل النطاق:** ويشمل هذا تحديد تتابع المهام التقنية اللازم إنهاؤها لتحقيق الأهداف المذكورة (مثل جمع المعلومات، وفحص الموقع، والتحليلات التي تشمل نماذج الحاسب، وإعداد التصاميم والرسومات، وإعداد التقارير).
- **جمع البيانات والتحليل:** إن ذلك يشمل بيانات خاصة بالموقع ومعلومات هيدرولوجية إقليمية يتم تجميعها من مصادر مختلفة مثل بيانات نزول المطر والتدفق بالمجرى المائي بالنسبة للمحطات الموجودة في المنطقة،

والبيانات الجيولوجية المائية الخاصة بالطبقة الحاملة للمياه، وبيانات عن المسح الطبوغرافي واستخدامات المياه السطحية والمياه الأرضية، وبيانات عن الظروف المناخية في المنطقة. ثم يتم تحليل وفحص البيانات من أجل استخلاص أو تحديد القيم أو أنظمة البيانات من أجل استخدامها في الدراسة والتصميم.

• **متطلبات البرامجيات والمعدات الأخرى:** يشمل ذلك التعرف على نماذج الكمبيوتر والمعدات (مثل خدمات نظم المعلومات الجغرافية، ومعدات مسح الحقل وجمع البيانات) المطلوبة من أجل استكمال التحليلات اللازمة أو لإعداد التصميمات المقترحة للأبنية الهيدروليكية.

• **تقدير التكلفة:** ويشمل هذا تقدير ساعات العمل والأنشطة الأخرى التي قد تؤثر على تكلفة المشروع (مثل عمليات المسح والمراقبة الميدانية وتفتيش الموقع ووسائل الاتصالات والعروض والتحليلات وإنتاج التقارير والرسومات وخطط الإنشاء).

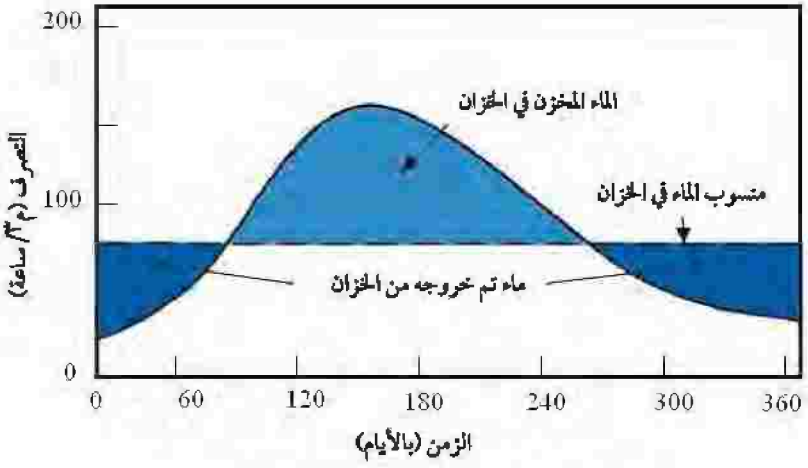
• **الجدولة:** ويشمل هذا إعداد جدول لاستكمال المهمات الفنية مع التوثيق المتعلق بها، ولابد من ملاحظة أن جمع البيانات الميدانية والمعلومات المتعلقة بذلك من مصادر مختلفة ولابد من استكمالها قبل أداء أي مهام أخرى.

(١, ٩, ٦) الخزانات المائية

الخزانات هي المنشآت التي تساعد على حجز المياه خلفها وتساعد على زيادة مصادر المياه، ويمكن تصنيف الخزانات حسب الغرض الذي تنشأ من أجله، ويمكن تصنيفها كما يلي:

١- **خزانات التخزين:** وهي خزانات الغرض منها تخزين المياه الفائضة عن حاجة الإنسان خلال موسم زيادة المياه نتيجة الأمطار والفيضانات في المجاري المائية، ويمكن أن تعاد هذه المياه إلى المجاري المائية تدريجياً في أوقات قلة المياه لاستخدامها.

٢- **خزانات السيطرة على الفيضانات:** يعمل هذا النوع من الخزانات على حجز مياه الفيضانات وتخزينها من أجل تقليل مخاطر الفيضان وتقليل حدوث الفيضان. وتتلخص طريقة عمل تلك الخزانات في تمرير كميات من المياه إلى المجرى المائي بحيث لا تزيد عن السعة القصوى للمجرى. والفرق في كميات المياه الداخلة إلى الخزان والخارجة منه يتم خزنها، وتعاد إلى المجرى مرة ثانية تدريجياً بعد تجاوز فترة الفيضانات، ثم البدء بالاستعداد لاستقبال الموجة الأخرى القادمة (الشكل رقم ٦, ٣٠). الفرق بين هذا النوع من الخزانات والنوع السابق هو أن هذا النوع يحتاج إلى بوابات أكبر قادرة على تفريغ الخزان بالسرعة الممكنة.



الشكل رقم (٦,٣٠). المنحنى المائي الطبيعي لخزان معين.

٣- خزانات التوزيع: هي خزانات صغيرة الحجم تنشأ ضمن نظام توزيع المياه في المدن، تُخزن المياه أثناء الفترات التي لا تكون هناك أي حاجة للماء أو تكون الحاجة للمياه قليلة، وهذه الخزانات يمكن أن تزود المدن بالمياه في فترات الاحتياجات القصوى (فترات الاحتياجات الحرجة) بمعدلات أكبر من معدلات التصرف الداخل إليها. وهذا النوع من الخزانات يساعد محطات التصفية في العمل بصورة مستمرة وبمعدلات ثابتة.

٤- خزانات التصفية: تستعمل هذه الخزانات لتصفية المياه العالقة بترسيبها في قاع الخزان قبل خروجها من الخزان لاستخدامها في الأغراض المنزلية أو الصناعية.

(٦,٩,١,١) الصفات الطبيعية للخزانات

سعة الخزان Capacity of the reservoir

هو أقصى حجم للمياه يمكن أن يستوعبه الخزان، ويمكن حساب سعة الخزان المنتظم باستخدام معادلات الأحجام المجسمة تبعاً لشكل الخزان، أما الخزانات غير المنتظمة فيمكن حساب سعتها بواسطة المسح الطبوغرافي.

مناطق الخزن Storage areas

يمكن تقسيم مناطق الخزن خلف السدود التي تعتبر خزانات للمياه كما موضح بالشكل رقم (٦,٣١) لتشتمل على ما يلي:

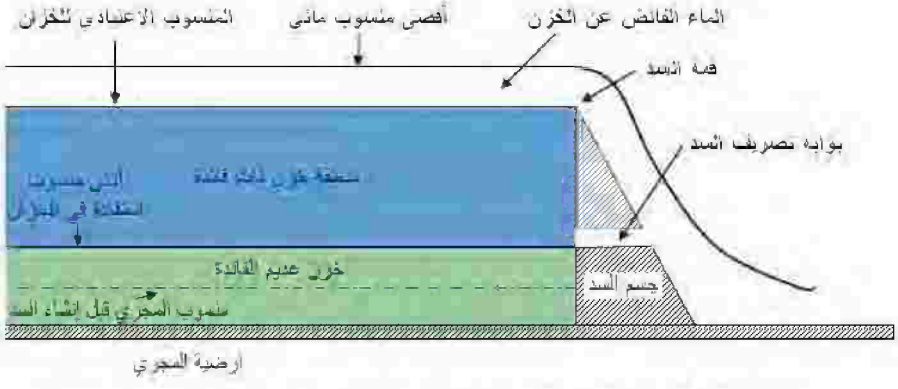
١- المنسوب الاعتيادي للخزان: وهو يعبر عن أقصى ارتفاع يصل إليه منسوب الماء بالخزان خلال الظروف الطبيعية.

٢- أدنى منسوب للخزان: وهو يمثل أقل ارتفاع لمنسوب المياه والذي يمكن مروره إلى منطقة الاستفادة أو أمام السد خلال الظروف الطبيعية، وهذا المنسوب يحدده مكان أدنى فتحة مخرج موجودة بجسم السد.

٣- الماء الفائض عن الخزن: وهو يمثل المخزون غير المتحكم فيه، أي أنه الجزء من المياه الذي يفوق سعة الخزان، وبالتالي يمر فوق جسم السد ولا يستفاد منه لأي غرض، ويستمر هذا الماء بالتدفق إلى أن ينتهي الفيضان.

٤- منطقة الخزن الفعالة: وهي تعبر عن الكمية المخزنة والتي يمكن الاستفادة منها، وهي المنطقة المحصورة بين قمة السد وأدنى منسوب للخزان.

٥- منطقة الخزن غير الفعالة: وهي تعبر عن الكمية المخزنة عديمة الفائدة والتي لا يستفاد منها، وهي المنطقة المحصورة بين أدنى منسوب للخزان ومنسوب أرضية الخزان.



الشكل رقم (٦,٣١). مقطع في خزان يبين مناطق الخزن خلفه.

حصيلة الخزان Reservoir Yield

تعبر عن كمية المياه التي يمكن أن يجمعها من الخزان في فترة زمنية معينة، والفترة الزمنية يمكن أن تكون يوم واحد في حالة الخزانات الصغيرة، أو سنة في حالة الخزانات الكبيرة، وتعتمد حصيلة الخزان على مقدار التدفق الداخل إلى الخزان وهو يتغير من سنة إلى أخرى.

حصيلة الخزان الآمنة Safe yield or Firm yield

وهي أكبر كمية من المياه يمكن الحصول عليها بصورة مؤكدة وآمنة من الخزان خلال فترة الجفاف الحرجة. وتعرف الفترة الحرجة بأنها الفترة التي يكون فيها الجريان الطبيعي أقل ما يمكن، أي أن تصرف مجرى

الوادي أو النهر لهذه الفترة قليل للغاية. ويمكن التعبير عن العلاقة بين سعة الخزان وحصيلته بالمعادلة البسيطة التالية:

$$\Delta S = V_i - V_o \qquad (٦,٣٦)$$

حيث إن:

ΔS = الزيادة في حجم الخزن.

V_i = حجم الماء الداخل للخزان.

V_o = حجم الماء الخارج من الخزان (الحصيلة).

ويجب عند تصميم أي خزان حساب سعته اللازمة لتفي بالأهداف المرجوة منه، ويجب أيضاً الأخذ بعين الاعتبار مقدار البخر من المسطح المائي خلف السد.

إدارة الخزانات

رغم ما يوفره التخزين من مياه يستفاد منها في أوقات الحاجة هنالك آثار سلبية كثيرة، ولذا ظهرت مجالات بحوث واعدة لتقليل تلك الآثار أهمها دراسة طبيعة الطمي وأساليب الترسيب وآثارها على التخزين، فواقد البخر من المسطحات المائية وكيفية تقليلها، والبحث عن أساليب الإدارة المناسبة تقليلاً للآثار السلبية وتجويداً للأداء لمنفعة الجهات المتنافسة على المياه المتاحة (زراعة، وصناعة، وكهرباء، وشرب... الخ).

انتقال المواد العالقة في الأنهار أو السيول

تحمل الأنهار والسيول بعض المواد العالقة، إضافة إلى أن الجريان يؤدي إلى نقل وتحريك الأجسام الصلبة على أرضية هذه المجاري المائية. فالمواد العالقة كبيرة الحجم والثقيلة والمواد المتحركة في قاع القناة تترسب في بداية الخزان مكونة الدلتا، والجزيئات الأقل حجماً تبقى عالقة لمدة أطول حتى تترسب عند مسافات بعيدة من بداية الخزان، كما أن الجزيئات الصغيرة جداً تبقى عالقة لفترة طويلة، وإن قسماً منها يمر مع المياه من بوابات السد.

يمكن قياس كمية المواد العالقة بواسطة أخذ عينات مائية من المجرى المائي، ثم تتم تصفيتها لإزالة المواد الرسوبية الموجودة فيها، ثم تجفف هذه المواد ويتم وزنها، ويعبر عن كمية المادة الرسوبية كجزء لكل مليون بالمعادلة التالية:

$$V_s = \frac{M_s}{M_s + M_w} \times 10^6 \qquad (٦,٣٧)$$

حيث إن:

V_s = حجم المادة الرسوبية (جزء لكل مليون).

M_s = وزن المادة الرسوبية.

M_w = وزن الماء.

وغالباً يكون الوزن النوعي للمواد العالقة يساوي ٢,٦٥ طن/م٣.

(٦,٩,١,٢) الترسبات في الخزانات وعمرها الافتراضي

تُعد مشكلة الترسبات في الخزانات من أهم المشاكل التي تواجه العاملين والمسؤولين والمصممين لهذه الخزانات، فالخزانات على المدى البعيد تمتلئ بالمواد الرسوبية، فإذا كانت الكميات كبيرة إذا ما قورنت مع سعة الخزان، فإن ذلك يؤدي إلى قُصر عمر الخزان الافتراضي، فعند التخطيط لمثل هذه المشاريع يجب تقدير كميات المواد الرسوبية المتوقعة بشكل تقريبي، وعليه يمكن استخدام الرسم البياني الخاص بمعدل المواد المترسبة الذي تم رسمه بناءً على بيانات تم جمعها من معظم الخزانات في العالم، وهذا الشكل يبين الوزن النوعي للمواد المترسبة ونسبة الداخل منها إلى الخزان. ويمكن أيضاً معرفة مقدار حمل الترسبات في المجاري المائية. ويمكن التعبير عن مقدار الترسبات في الخزانات بالاستعانة بمصطلح "كفاءة الترسيب Trap Efficiency"، والتي تعرف بأنها دالة لنسبة سعة الخزان إلى مجموع الماء الداخل إلى الخزان. وعادة تقل كفاءة الترسيب مع تقدم عمر الخزان نتيجة لتقلص سعته بسبب تجمع المواد المترسبة فيه.

$$E_s = \frac{M_S}{M_{si}} \times 100 \qquad (٦,٣٨)$$

حيث إن:

E_s = كفاءة الترسيب.

M_s = وزن المادة الرسوبية التي خزنت في الخزان.

M_{si} = وزن المادة الرسوبية الداخلة للخزان.

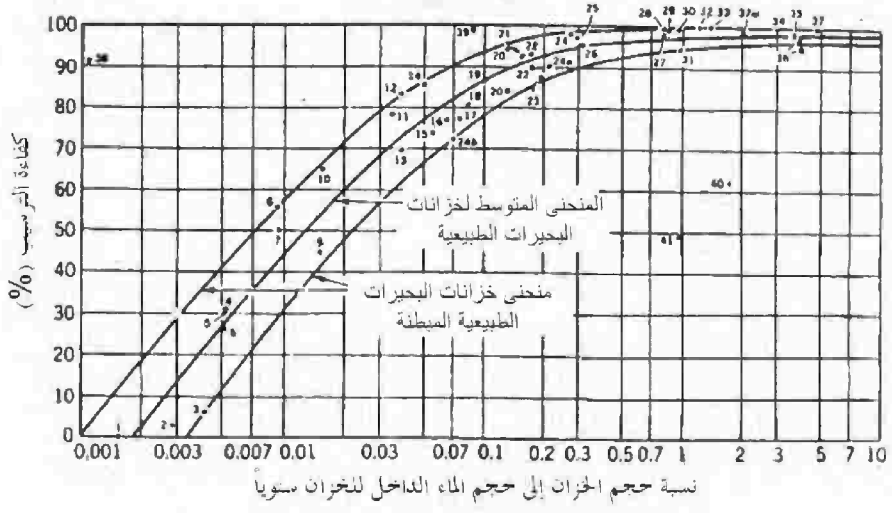
قد تأخذ عملية امتلاء الخزان بالمواد المترسبة فترة زمنية طويلة جداً، غير أنه من الممكن أن يكون عمر الخزان الافتراضي قد انتهى؛ لأن سعته قد امتلأت بالمواد الرسوبية، وبالتالي لا يمكن أن يؤدي الخزان الغرض الذي أقيم من أجله. ولتقدير كمية المواد التي يمكن أن تترسب في الخزان يمكن استخدام الرسم البياني الذي يربط كفاءة

الترسيب E_s بنسبة حجم الخزان V_T إلى حجم الماء الداخل للخزان V_{wi} فمن هذا الرسم نحدد كفاءة الترسيب E_s (الشكل رقم ٦,٣٢)، ثم نحسب وزن المادة الرسوبية التي خزنت في الخزان في السنة M_s من المعادلة رقم (٦,٣٨) بمعرفة وزن المادة الرسوبية الداخلة للخزان في السنة M_a، ويمكن إيجاد حجم المواد المترسبة في الخزان في السنة V_s باستعمال الوزن النوعي للمواد المترسبة γ_s من المعادلة التالية:

$$V_s = M_s \times \gamma_s \qquad (٦,٣٩)$$

ثم يحسب الزمن T_1 اللازم لملء جزء من الخزان بقسمة حجم هذا الجزء من الخزان V_{T1} على حجم المواد المترسبة في الخزان في السنة V_s، ومن هذه المعلومات يمكن تقدير عمر الخزان الفعلي T_T وذلك بجمع الزمن اللازم الذي يحتاجه لملء أجزاء حجم الخزن الحرج.

$$T_1 = \frac{V_{T1}}{V_s} \qquad (٦,٤٠)$$



الشكل رقم (٦,٣٢). كفاءة الترسيب في الخزانات.

السيطرة على الترسبات

عند تصميم الخزان يجب أن تخصص منطقة أو جزء من الخزان لتستوعب أكبر قدر ممكن من الترسبات، وهذه العملية تقلل من خطورة ترسب المواد لفترة طويلة. أما الطرق الممكن استخدامها للتقليل من الترسبات في الخزان هي اتباع طرق المحافظة على التربة ضمن المسافة المؤدية إلى الخزان، وهذا يمكن تحقيقه من خلال ما يلي:

١ – استخدام المدرجات وزراعة الشرائح وزراعة المساحات الكنتورية ضمن حوض تغذية الخزان.

٢ – استخدام السدود الحاجزة.

٣ – زراعة كافة الأراضي المجاورة للنهر والأراضي الوقعة ضمن حوض التغذية للتقليل من تأثير التعرية وبالتالي تقليل الترسبات.

٤ – استخدام وسائل تصريف الترسبات من خلال بوابات مثبتة عند مناسيب مختلفة من أرضية السد.

خزانات تصفية وتنقية المياه

تنشأ هذه الخزانات بشكل عام من مادة الخرسانة المسلحة، وقد تكون مستطيلة أو دائرية الشكل، وعادة تكون الخزانات المستطيلة ذات العرض الصغير وسرعة التدفق المنخفضة أفضل من الخزانات الدائرية الذي يكون فيها الجريان شعاعي. ويجب أن تصمم سعة الخزان وأبعاده الأخرى بشكل يساعد على ترسيب أكبر قدر ممكن من المواد العالقة، وبصفة عامة فإن أحواض الترسيب، تحت الظروف الطبيعية، لها القدرة على التخلص من ٧٠٪ من المواد العالقة في الماء.

تعمل خزانات التصفية إما بشكل متقطع أو بشكل مستمر، فالخزانات التي بشكل متقطع تقوم بتخزين الماء الخام في حالة السكون لمدة زمنية محددة، وبعد ٢٤ ساعة يسحب الماء النقي بعد أن تترسب المواد العالقة على أرضية الحوض خلال تلك الفترة الزمنية، وبعد ذلك ينظف الخزان من المواد المترسبة ثم يملأ الحوض بالماء الخام مرة أخرى لبدء عملية التصفية مرة أخرى، وهذا النوع من الخزانات يكون جريان الماء فيه متقطع لمدة ٢٤ إلى ٣٦ ساعة. لذا لابد في مثل هذا النوع من خزانات التصفية أن يكون هناك أكثر من خزان لكي تستمر عملية التصفية (على الأقل خزانين)، ولكن لم تعد الآن هذه الخزانات مفضلة لأنها تحتاج إلى وقت طويل وعمالة وجهد كبيرين بالإضافة إلى ضرورة إنشاء عدد أكثر من خزان.

والنوع الثاني من خزانات التصفية وهو الذي يعمل بشكل مستمر حيث يكون فيه الجريان مستمر، تكون فيها سرعة التدفق بطيئة، ولا يكون الماء فيها ساكن، تكون عملية التصفية بهذه الخزانات سهلة، حيث يدخل الماء من جهة الأمامية للخزان، ويخرج من نهايته، ويجب أن تكون سرعة التدفق بطيئة بقدر يكفي للترسب، وذلك بواسطة تطويل مسافة سريان الماء داخل الخزان أي تطويل الخزان. ويتم التحكم بالسرعة كي تكون فترة انتقال الجزيئات من بداية الخزان إلى نهايته أكبر قليلاً من الوقت اللازم لترسيب هذه الجزيئات.

إن معظم المواد العالقة الموجودة في الماء يكون وزنها النوعي أكبر من الوزن النوعي للماء، ولذلك تترسب هذه المواد بالجاذبية الأرضية في المياه الساكنة، ويدعى الخزان التي تترسب فيه هذه المواد بخزان الترسيب. أما متوسط الفترة الزمنية التي يبقى فيها الماء محجوزاً يدعى زمن الحجز (detention time).

تصميم خزانات الترسيب من النوع المستمر

تعتمد نظرية الترسيب على أن المواد المترسبة تتوزع بانتظام، فإذا كان التصرف الداخل للخزان (Q) والخزان مستطيل الشكل والسرعة داخله منتظمة (V) (الشكل رقم ٦,٣٣)، وتحسب من المعادلة:

$$V = \frac{Q}{B\ H} \qquad (٦,٤١)$$

حيث إن:

V = سرعة التدفق الأفقية داخل الخزان، م/ ث.

Q = التصرف الداخل للخزان، م٣/ ث.

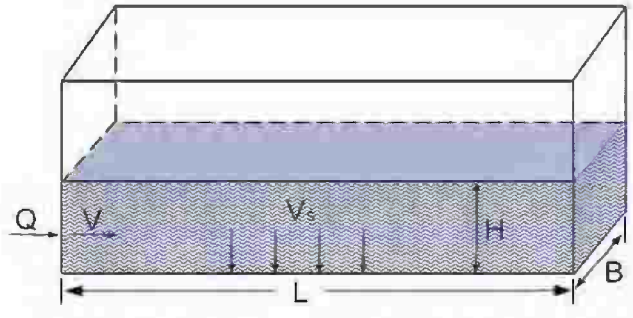
B = عرض الخزان، م.

H = ارتفاع الماء في الخزان، م.

فإن كل جزيئة من المواد العالقة تتحرك بسرعة أفقية V وبسرعة ترسيب لأسفل V_s، يمكن جمعهم في علاقة مشتركة كالتالي:

$$\frac{V}{V_s} = \frac{L}{H} \qquad (٦,٤٢)$$

حيث إن: L = طول الخزان.



الشكل رقم (٦,٣٣). أبعاد خزان الترسيب المستمر مستطيل الشكل.

ويمكن صياغة المعادلة السابقة في الصورة التالية:

$$V_s = \frac{V.H}{L} \qquad (٦,٤٣)$$

وبالتعويض عن V من المعادلة رقم (٦,٤١) نحصل على:

$$V_s = \frac{Q}{BH} \times \frac{H}{L} = \frac{Q}{BL} \qquad (٦,٤٤)$$

وهذا يعني بأن كل الجزيئات التي تكون سرعة الترسيب فيها تساوي أو أكبر من هـذا المقـدار ستترسـب في الحوض، ثم تزال الترسبات بالطرق اليدوية أو الآلية.

معدل التدفق الفائض (معدل التحميل السطحي Overflow rate)

هو معدل تدفق الماء الخام داخل خزان الترسيب لوحدة المساحة، ويعتبر هام جداً بالنسبة لتصميم الأحواض ذات التدفق المستمر، ويتراوح مقداره ما بين ٥٠٠ - ٧٥٠ لتر/ساعة/م٢ في أحواض الترسيب العادية، أما في أحـواض الترسيب التي يضاف إليها الكيمياويات فيتـراوح معـدل التدفق الفائض ما بين ٥٠٠ - ١٠٠٠ لتر/ساعة/م٢، وإذا تم تخفيض هذا المعدل يؤدي ذلك إلى ترسيب حتى الجزيئات الصغيرة التي تكون فيها سرعة الترسيب قليلة. ويمكن تخفيض التدفق الفائض لتصرف معين بزيادة مساحة سطح الخزان (العرض × الطول)، وتؤدي زيادة مساحة الحوض إلى زيادة كفاءة الترسيب. وأبعاد خزانات الترسيب المعتادة تتراوح بين ٣ - ٥,٤ م بالنسبة للعمق H، والحد الأدنى المسموح به ١,٨ م، والحـد الأقصـى ٦م، أما الطـول L لا يزيد طولها عن ٤٠م، وعرض الخزان B يتراوح ما بين ١٠-١٢م. وغالباً ما يكون الطول L من ٤ إلى ٦ أمثال العرض B. وبالنسبة للأحواض الدائرية يفضل بأن لا يزيد القطر عن ٤٠م.

زمن حجز الماء في خزان الترسيب

هو متوسط الفترة الزمنية النظرية اللازمة لمرور كمية معينة من الماء خلال الخزان، أي متوسط الزمن اللازم لتعبئة الخزان بالماء في حالة كون الخزان مسدود من الناحية الأخرى، أي أنه الزمن اللازم ليبقى فيه الماء محجوزاً داخل الخزان، ويمكن إيجاد زمن الحجز T بصفة عامة كالتالي:

$$T = \frac{\forall}{Q} \qquad (٦,٤٥)$$

حيث إن: $\forall$ = حجم الخزان.

وبالنسبة للخزانات الطولية تكون المعادلة:

$$T=\frac{BLH}{Q}=\frac{BLH}{VBH}=\frac{L}{V} \qquad (٦,٤٦)$$

بالنسبة للخزانات الدائرية تكون المعادلة:

$$T=\frac{d^2(0.011d+0.785H)}{Q} \qquad (٦,٤٧)$$

حيث إن:

d = قطر الخزان.

H = عمق الماء عند المدخل.

يتراوح زمن الحجز عموماً ما بين ٤ – ٨ ساعة بالنسبة لخزانات الترسيب العادية، ومن ٢-٤ ساعة بالنسبة للخزانات التي يضاف إليها مواد كيماوية.

زمن تدفق الماء في الخزان

هو متوسط الزمن الفعلي t الذي تحتاجه كمية محددة من الماء للمرور من خلال خزان الترسيب، وهذا الزمن عادة يكون أقل من زمن الحجز. والعلاقة بين زمن حجز الماء T وزمن تدفق الماء في الخزان t تدعى كفاءة الإزاحة (DISPLACMENT EFFICIENCY) E_D والتي تساوي:

$$E_D=\frac{t}{T}\times 100 \qquad (٦,٤٨)$$

وتتراوح كفاءة الإزاحة عادة ما بين ٢٥٪ – ٥٠٪ في خزانات الترسيب العادية.

العوامل المؤثرة في ترسيب المواد العالقة، وأهمها ما يلي:

١ – السرعة الأفقية لتدفق الماء الخام الذي يحمل المواد العالقة، فكلما كانت المساحة التي يتدفق منها الماء أكبر كلما كانت سرعة التدفق أقل، وبالتالي تترسب الجزيئات بسهولة أكبر.

٢– لزوجة الماء الخام الناقل للمواد العالقة، فاللزوجة تتناسب عكسياً مع درجة الحرارة، فكلما زادت درجة حرارة الماء قلت لزوجته مما يؤدي إلى سهولة الترسيب. ولكنه يصعب التحكم في درجة حرارة الماء الخام، لذا يمكن إهمال هذا العامل عند التصميم.

٣– الوزن النوعي للمواد العالقة، فكلما كان الوزن النوعي للجزيئات العالقة كبير كلما كانت أسرع في الترسيب.

٤- حجم وشكل جزيئات المواد العالقة، حيث أن شكل وحجم هذه الجزيئات له الأثر الكبير في عملية الترسيب، فمثلاً إذا كانت الجزيئة كروية الشكل فإن وزنها وحجمها يتناسب مع قطرها (d^3)؛ لأن حجمها الكروي يساوي ($V = \frac{\pi d^3}{6}$)، ومساحة مقطعها ($A = \frac{\pi d^2}{4}$)، لذا فإن الجزيئات ذات الأقطار الكبيرة تترسب بسهولة والعكس صحيح.

ويمكن التعبير عن سرعة ترسب الجزيئات العالقة بواسطة قانون ستوك، الذي يشتمل على معظم العناصر سابقة الذكر بالصيغة التالية:

$$V_s = \frac{g}{18}(S_s - 1)\frac{d^2}{\nu} \qquad (٦,٤٩)$$

حيث إن:

V_s = سرعة الترسيب، م/ ث.

d = قطر الجزيئة للمواد العالقة، م.

S_s = الكثافة النسبية للمواد العالقة، بدون وحدات، وهي تساوي $S_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$.

ν = اللزوجة الكينماتيكية للماء الخام، م٢/ ث، وهي تساوي $\nu = \frac{\mu}{\rho}$.

μ = اللزوجة الديناميكية أو المطلقة للماء الخام، كجم/ م.ث.

ρ = الكثافة للماء ويعبر عنها أيضاً ρ_w، كجم/ م٣.

ρ_s = كثافة المواد العالقة، كجم/ م٣.

تطبق المعادلة رقم (٦,٤٩) في حالة رقم رينولد أقل من ٠,٥ ($Re < 0.5$)، ويمكن التعبير عن رقم رينولد بالمعادلة التالية:

$$R_e = \frac{V_s.d}{\nu} \qquad (٦,٥٠)$$

قام هيزن بتعديل المعادلة رقم (٦,٤٩) بإدراج درجة حرارة الماء كمؤشر يؤثر على اللزوجة (ν)، كي تصبح كما يلي في حالة القطر أقل من ٠,١ مم ($d < 0.1$):

$$V_s = 418\,(S_s - 1)\left(\frac{3T + 70}{100}\right)d^2 \qquad (٦,٥١)$$

أما في حالة القطر أكبر من ١ , ٠ مم (d >0.1)، تصبح المعادلة كما يلي:

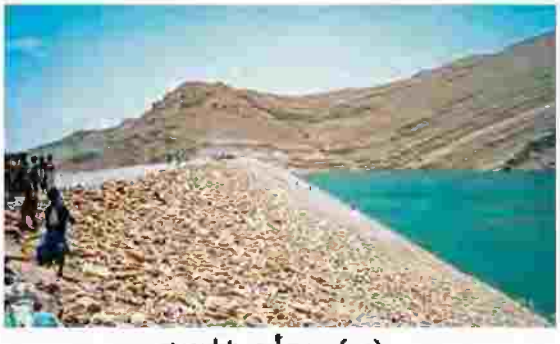
$$V_s = 418\,(S_s - 1)\left(\frac{3T + 70}{100}\right)d \qquad (٦,٥٢)$$

وبشكل عام تكون سرعة الترسيب الفعلية في أحواض الترسيب أقل بكثير من السرعة النظرية المحسوبة بواسطة المعادلات المذكورة سابقاً؛ لأن الجزيئات الفعلية ليست كروية.

(٦,٩,٢) السدود Dams

السد هو إنشاء هندسي يقام فوق وادٍ أو منخفض بهدف حجز المياه. السد يعتبر حاجز يبنى باتجاه جريان النهر أو الوادي لتجميع المياه ويكون عموديا على اتجاه انحدار المياه. والسدود من أقدم المنشآت المائية التي عرفها الإنسان، وكان أول سد بني في التاريخ هو سد مأرب في اليمن، حيث بني في القرن الخامس قبل الميلاد، ومر عليه عدة ترميمات، حتى هدم وتم إعادة بنائه ١٩٨٦م (الشكل رقم ٦,٣٤).

(أ) سد مأرب القديم



(ب) سد مأرب الحديث

الشكل رقم (٦,٣٤). صور لسد مأرب القديم والحديث.

(٦,٩,٢,١) الصفات الطبيعية للسدود

تستعمل في إقامة السدود أنواع متعددة من مواد البناء الأساسية مثل الردم الترابي والردم الصخري والحجارة مع قالب ترابي، أو الخرسانة للواجهة فقط، أو الخرسانة لكل السد، أما المواد الأخرى مثل الطوب والأخشاب والمعادن والإسفلت والبلاستيك والمطاط وغيرها من مواد حاجزة أو عازلة تستخدم على نطاق ضيق، ويعتمد اختيار المادة التي يبنى منها السد على عدة عوامل مثل نوع التربة في موقع بناء السد وارتفاع وحجم السد ودرجة ميل وجهة السد وخلف السد وكمية المياه القصوى التي يمكن حجزها من خلال السد وشكل وحجم فتحات تصريف المياه من السد وقت الحاجة لها وغيرها من خصائص للسد، ولكن بصفة أساسية تكون

الاعتبارات الاقتصادية وتكلفة الإنشاء من المحددات لاختيار نوع مادة البناء، حيث إنه من الممكن تشييد السد من أي مادة تقريباً. ولكن قد تكمن خطورة السد إذا لم يبنى وفق أسس ومعايير هندسية وجيولوجية معينة حيث أنه عند تهدمه يؤدي إلى تدمير هائل للسكان أسفل منطقة السد. بالإضافة إلى ما يحدثه من دمار هائل قد يؤدي إلى زيادة التعرية في المنطقة التي تزيد من عملية الانزلاقات في المنطقة.

وللسدود صفات طبيعية متعددة تميز كل منها عن الآخر، فليس هناك سداً مشابه لسد أخر في صفاته، ومن أهم الصفات التي تفرق بين السدود:

١- السعة التخزينية القصوى للسد.

٢- مادة إنشاء السد.

٣- ارتفاع السد وعمق المياه الأقصى الذي يمكن حجزها بالسد.

٤- حجم وأبعاد السد.

٥- كيفية ضمان ثبات السد ودعمه من الانهيار.

٦- كيفية تصريف المياه من السد، وشكل الفتحات في جسم السد.

٧- نوعية المياه التي يحجزها السد، وسرعة دخولها لمنطقة حجز المياه.

أهداف السدود

تبنى السدود للأغراض التالية:

١- تخزين المياه.

٢- تغذية المياه الجوفية.

٣- الحد من الفيضانات وخطورتها.

٤- توليد الطاقة الكهربائية.

٥- تنمية المنطقة سياحياً.

أهم أجزاء السد

١- جسم السد.

٢- المفيض.

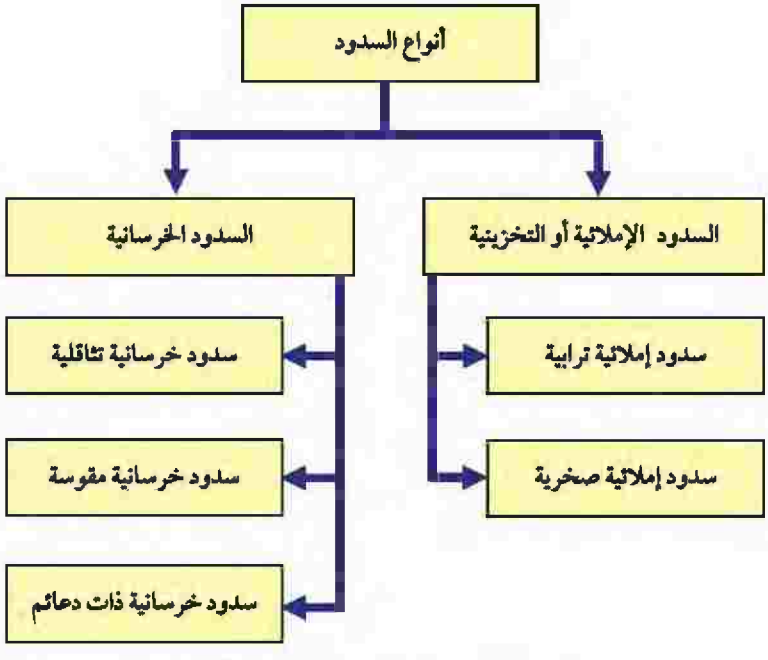
٣- بحيرة التخزين.

وجسم السد هو الهيكل الأساسي للسد والذي يعمل على حجز المياه وتجميعها في بحيرة التخزين، أما المفيض فهو عبارة عن فتحة أو عدة فتحات لتحويل أو لتصريف مياه الفيضان الزائدة من بحيرة التخزين لمنعها من أن تتجاوز حد الامتلاء مما قد يتسبب في إحداث أضرار بالسد أو حدوث فيضانات في منطقة الحجز، أما بحيرة التخزين فهي أي شكل من أشكال أحواض تخزين المياه أو بحيرة صناعية.

(٦, ٩, ٢, ٢) أنواع السدود ومكوناتها

يتم تصنيف السدود حسب أشكالها والمواد التي استخدمت في بنائها والأهداف التي شيدت من أجلها. إن الأنواع الشائعة من السدود هي التي تنشأ من نوع واحد من المواد أو ذات الردم الترابي والردم الصخري مع قالب ترابي، أو ذات الواجهة الخرسانية، والخرسانية التي تعتمد على الجاذبية أو القوس أو الدعامات الواقية.

إن عملية اختيار النوع الملائم من السدود لمكان معين يعد من أهم المشاكل التي تواجه المصممين، خاصة من النواحي الهندسية والمالية. فالناحية الهندسية يمكن أن تحدد بواسطة طبيعة التضاريس والمقاطع الجيولوجية للموقع والعوامل المناخية السائدة في المنطقة. أما التكلفة فتعتمد على نوع المواد الأولية المستخدمة في الموقع. تقسم السدود إلى نوعين حسب الشكل وحسب مواد الأساس (foundation materials) (الشكل رقم ٦, ٣٥).



الشكل رقم (٦, ٣٥). تقسيمات أنواع السدود.

النوع الأول: السدود الإملائية أو التخزينية Fill dams

وتنقسم إلى نوعين:

١- إملائية ترابية earth fill dams.

٢- إملائية صخرية rock fill dams.

والسدود الإملائية الترابية وتسمى بالسدود الترابية، ويتم بنائها في الوديان في مستهدف مائي يهدف إلى تأمين مياه الشرب للحيوانات وأغراض الري للمواقع القريبة من السد مثل المزارع.

وأهم الشروط التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار موقع السد الترابي:

١- يجب أن يكون السد الذي يحجز الماء أقصر ما يمكن.

٢- يجب أن يقع السد على تربة جافة متماسكة خالية من الأحراش وجذور الأشجار.

٣- يجب أن يكون ارتفاع السد يتناسب مع كمية المياه المتوقع وصولها إلى موقع خزان السد.

٤- يجب أخذ اقتصادية المشروع بعين الاعتبار.

٥- يجب الحرص على وجود بجسم السد متطلبات التخفيف ونظام تحويل الماء عند الحاجة.

أما السدود الإملائية الصخرية هي سدود صخرية ترابية يتم بناءها في مواقع معينة وهي عادة أصغر من السدود الترابية.

النوع الثاني: السدود الخرسانية Concrete dams

تعتمد السدود الخرسانية في إنشائها على مادة الخرسانة وتقسم هذه السدود الخرسانية إلى ثلاثة أنواع بناء على شكلها ومواد الأساس المستخدمة في بنائها وهي:

١- خرسانية تثاقلية.

٢ - خرسانية مقوسة.

٣- خرسانية ذات دعائم.

١ - السدود الخرسانية التثاقلية gravity dams

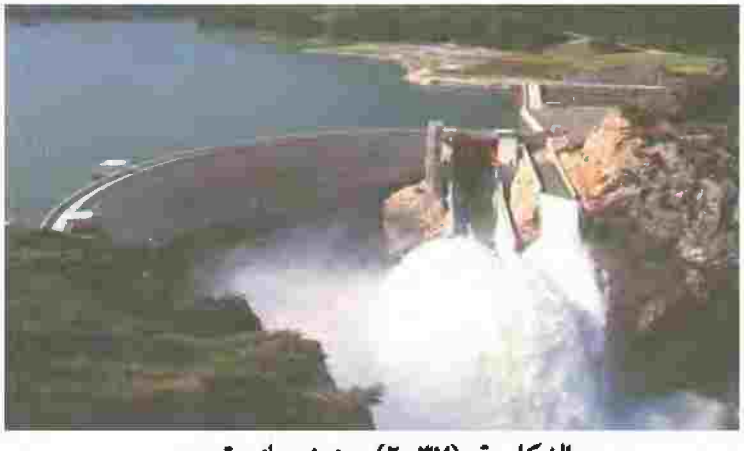
هي سدود ضخمة تقوم بمقاومة القوى الكبيرة بشكل كلي وتعتمد في قوتها على وزن الإسمنت المقاوم للضغط الجانبي للماء side pressure والهزات الأرضية earthquakes وقوة الجاذبية الأرضية gravity وهي تتطلب كثير من الإسمنت و لهذا تعتبر من أكثر السدود تكلفة، كما يوضح الشكل رقم (٦,٣٦) صورة لذلك.

الشكل رقم (٦,٣٦). سد خرساني تثاقلي.

٢- السدود الخرسانية المقوسة

تعتمد السدود الخرسانية المقوسة في أنشاؤها أيضاً مثل السدود الخرسانية التثاقلية على كمية الإسمنت المستخدمة في السد لمواجهة مختلف القوى المؤثرة على السد ولكن كمية الإسمنت المستخدمة في هذه السدود أقل وتتخذ شكلا مقوسا، ويوضح الشكل رقم (٦,٣٧) صورة للسد الخرساني المقوس.

يرتبط تصميم السدود المقوسة دائما وكأي إنشاء هندسي بجيولوجية المنطقة أو طبيعة التربة والتضاريس. ويعتبر من أبسط أشكال السدود وأقلها تكلفة من حيث المواد والتصميم من أي نمط من أنماط السدود الأخرى. وتستخدم هذا النوع من تصميم السدود في الأماكن الضيقة والصخرية، حيث يكون السد على شكل قوس منحني يحجز خلفه الكميات الهائلة من مياه الأنهار.



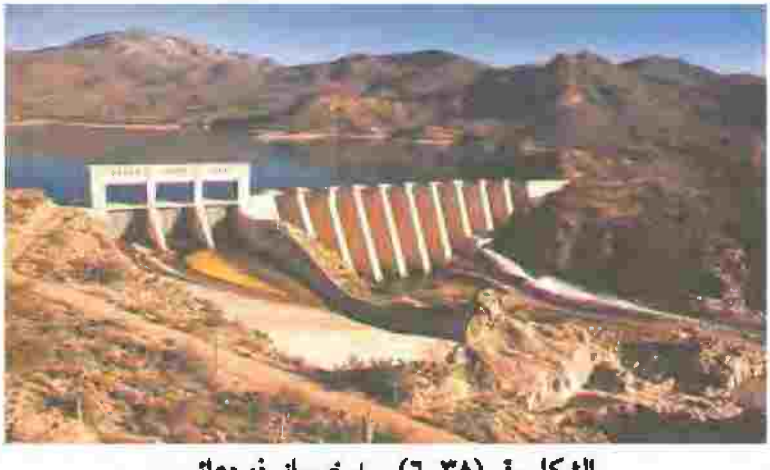
الشكل رقم (٦,٣٧). سد خرساني مقوس.

ويقوم الشكل الهندسي المقوس للقوس خلال عملية ضغط المياه المحجوزة خلف السد، حيث تقوم المياه بتطبيق ضغوط كبيرة على السطح الخلفي المحدب للجدار، مما يسبب انضغاط القوس الجداري باتجاه التماسك والتقارب للمادة الجدارية من بعضها البعض بسبب شكلها الهندسي الواضح أما وزن السد فيضغط أيضا على القاعدة المصممة أساسا لهذا العمل الإنشائي الضخم.

٣- السدود الخرسانية ذات الدعائم

تسمى السدود الخرسانية المدعمة buttress dam وتعتمد على دعائم كما هو موضح بالشكل رقم (٦,٣٨)، وكمية إسمنت أقل من السدود التثاقلية.

السدود المدعمة قد تكون هذه السدود منبسطة قليلاً أو كثيراً أو مقوسة، ولكن هناك دائما أساسيات تصميمية تميزها عن غيرها وهي سلسلة من الدعائم أو التعزيزات تستخدم لنقل القوى المؤثرة على الجدار إلى المنطقة الأخرى أكثر تحمل كالأرض أو أساسات داعمة أخرى. حيث تقوم هذه الدعائم الإنشائية بتقوية ودعم بناء السد من الجهة الخارجية في اتجاه مجرى الوادي أو النهر.



الشكل رقم (٦,٣٨). سد خرساني ذو دعائم.

(٦,٩,٢,٣) الدراسات المطلوبة قبل بناء السد الخرساني

١- دراسات جيولوجية، وتشمل:

- دراسات للطبقات الجيولوجية للمنطقة.

- دراسات لطبيعة المنطقة التكوينية ونشاطها الزلزالي.

- دراسات لهيدرولوجية المنطقة (كمية الأمطار الساقطة والمياه السطحية).

- دراسات هيدروجيولوجية المنطقة (المياه الجوفية في المنطقة).

- دراسات للتراكيب الجيولوجية الموجودة في المنطقة من فوالق وطيات وصدوع.

- دراسات لطبوغرافية المنطقة.

وتشكل الدراسات الجيولوجية الدقيقة لآفاق التربة لاختيار موقع السد الحجر الأساس لثباته واستقراره، لكنها غير كافية دون النظر لتصميمها الهندسي ومواصفات مواد البناء وظروف وتقنيات استخدامها، فعيوب تصاميم هياكل التسليح لأسس وقواعد السدود تظهر مع الزمن.

٢- دراسات الخصائص الكيميائية والفيزيائية لموقع السد، وتشمل ما يلي:

- قياس نفاذية التربة.

- أخذ عينات من المنطقة وقياس خواصها وخواص الصخور مثلا قوة تحملها لقوى الإجهاد (stress) المختلفة.

- حساب سعة السد التخزينية storage capacity.

- حساب قوة تحمل السد للمياه bearing capacity.

- بالإضافة إلى الخصائص الأخرى الموجودة في منطقة السد.

٣- دراسة تأثير القوى والعوامل المائية المختلفة على المنشأة المائية.

حتى يمكن تحديد كميات المواد التي تدخل في تشييد السد تبعاً للمتوقع من ضغوط مائية على السد حتى لا يحدث ضرر بجسم السد، وأيضاً أبعاد السد خصوصاً سمك السد يدخل في تحديدها القوى المائية المؤثرة على جسم السد والتي يحددها بالطبع ارتفاع الماء في خزان التجميع والمؤثر على واجهة السد.

٤- تأثير الحمولات والقوى غير المائية على المنشأة المائية.

وتشمل دراسة الحمولات الدائمة، والحمولات المؤقتة منها: الحمولات المؤقتة طويل الآجل، والحمولات المؤقتة قصيرة الآجل، والحمولات الخاصة.

(٦, ٩, ٢, ٤) القوى المؤثرة على السدود

توجد عدة قوى تؤثر على السدود، وتحاول إزاحته من موقعه ودفعه، مما يؤدي إلى عدم استقرار هذه السدود وبالتالي تحطمها أو انكسارها، أما القوة التي تعادل جميع هذه القوى كي يستقر السد فهي وزن السد نفسه، والضغوط المؤثرة على السدود هي:

١- ضغط الماء الإستاتيكي.

٢- قوى دفع الماء إلى الأعلى.

٣- تأثير الهزات الأرضية.

٤- ضغط المواد المترسبة.

٥- ضغط التموجات المائية.

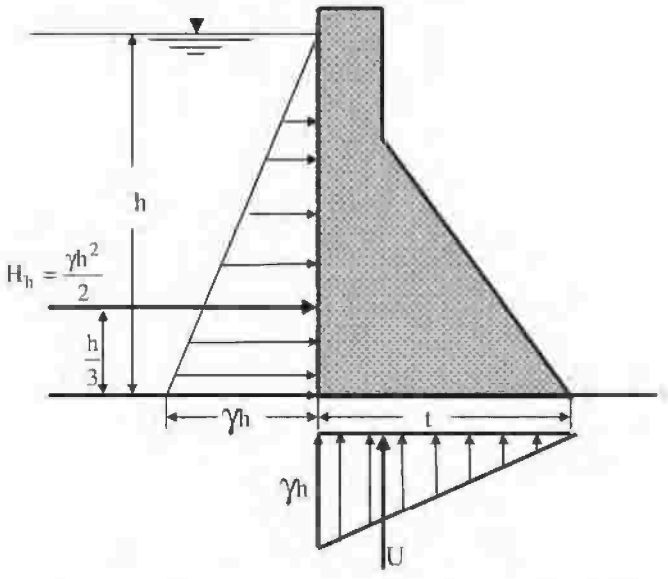
٦- ضغط الثلوج.

قوة ضغط الماء: تعد هذه من أهم القوى الخارجية المؤثرة على السد، فالضغط الأفقي الناتج عن وزن الماء المحصور خلف السد يمكن تقديره بواسطة حساب الضغط الهيدروستاتيكي، وهذا يتمثل بمثلث شدة الضغط، والذي يساوي صفر في الأعلى و γh عند القاعدة، وعليه يكون مقدار المركبة الأفقية لهذه القوة الهيدروستاتيكية على الوجه العمودي للسد H_h وتساوي $\gamma h^2/2$ ، وأن تأثير هذه القوة يمر من مسافة مقدارها h/3 من القاعدة (الشكل رقم ٦, ٣٩).

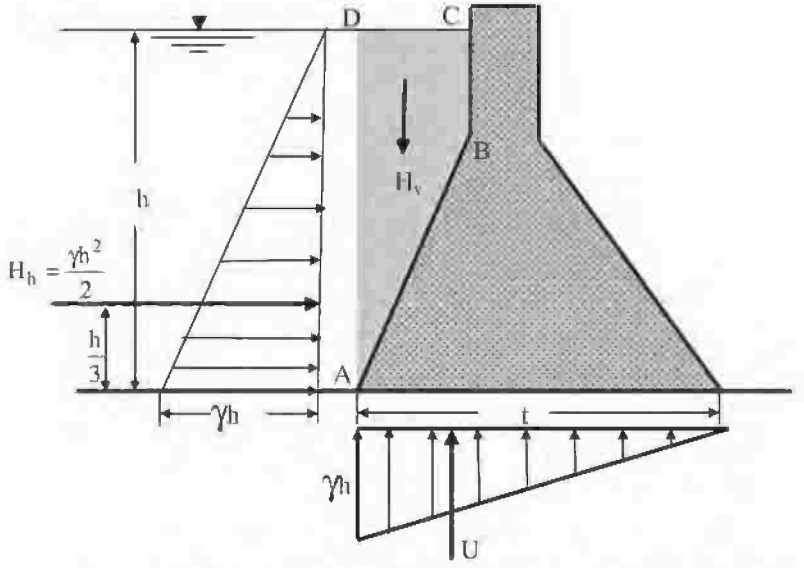
$$H_h = \frac{\gamma h^2}{2} \qquad (٦, ٥٣)$$

وإذا كان السد مائل في مقدمته، أو جزء منه رأسي والجزء الآخر مائل (الشكل رقم ٦, ٤٠)، ففي مثل هذه الحالة تحلل محصلة القوى إلى محصلتين، واحدة أفقية H_h والأخرى عمودية H_v. ويكون مركز تأثير القوى الأفقية H_h من مسافة h/3 فوق القاعدة، ومقدارها يساوي ($H_h = \gamma h^2/2$) كما في حالة السد الرأسي، ومقدار القوى الرأسية H_v يساوي وزن الماء المحصور في المساحة ABCD وتؤثر عند مركز هذه المساحة.

$$H_V = (W_w)_{ABCD} = \gamma\,(V_w)_{ABCD} \qquad (٦, ٥٤)$$



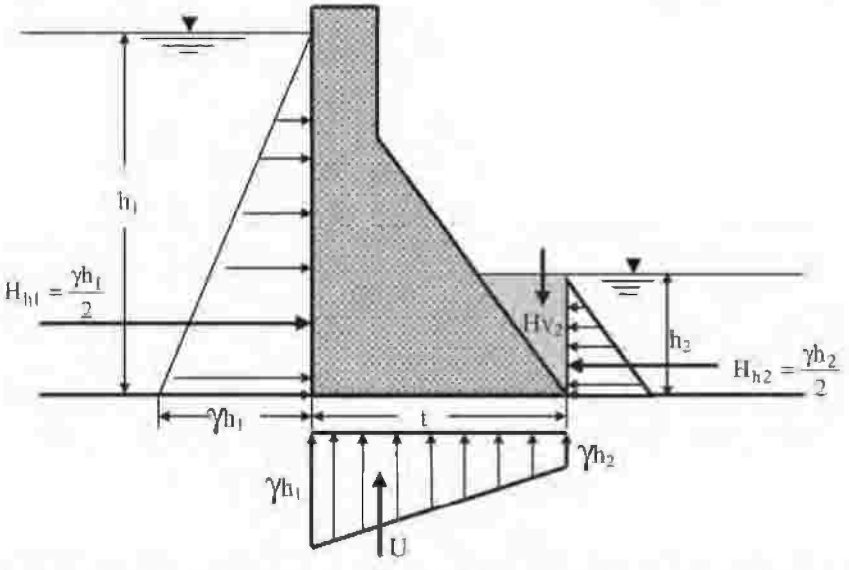
الشكل رقم (٦,٣٩). القوى المؤثرة على سد رأسي أو قائم الزاوية.



الشكل رقم (٦,٤٠). القوى المؤثرة على سد وجهه جزء منه ذو ميل.

ويمكن وجود قوى أفقية أخرى خلف السد في حالة وجود مياه أيضاً خلف السد بارتفاع h_2 وهذه المياه تؤثر بقوة أفقية في حالة جسم السد في الخلف رأسي وقوى أفقية ورأسية في حالة جسم السد في الخلف به ميل، كما في الشكل رقم (٦,٤١).

قوى دفع الماء إلى الأعلى: يترشح الماء من خلال المسامات والشقوق ومن خلال جسم السد إلى أرضيته من خلال المفاصل بين السد والأساس عند القاعدة، وبالتالي ينتج عنه ضغط على قاعدته باتجاه الأعلى، وهذا الضغط يعد ثاني أهم ضغط خارجي يسلط على السد، وهو يحاول أن يقلل من وزن السد ويرفعه إلى أعلى أو بمعنى أدق قلبه (إمالته) وبالتالي يقلل من استقرار السد. ويرمز بقوة دفع الماء إلى أعلى بالرمز U وهي تتأثر بارتفاع الماء أمام السد حيث هي محصلة قوى ضغط الماء على القاعدة إلى أعلى وهذه الضغوط تأخذ شكل مثلث أقصى قيمة له تساوي γh وهي عند جانب القاعدة الملامس للماء وصفر عن حافة القاعدة البعيدة، وتؤثر القوى U في مركز هذا المثلث، كما يتضح من الشكلين رقمي (٦,٣٩) و (٦,٤٠).



الشكل رقم (٦,٤١). القوى المؤثرة على سد رأسي في الأمام ومائل في الخلف مع وجود ماء خلف السد.

أما في حالة وجود مياه خلف السد أيضا تكون القوى U محصلة شبه منحرف قاعدته الكبرى γh_1 وهي عند جانب القاعدة الملامس للماء أمام السد و γh_2 عن حافة القاعدة الملامسة للماء خلف السد، كما في الشكل رقم (٦,٤١)، ويمكن حساب قوة الضغط للأعلى في هذه الحالة كالتالي:

$$U = \gamma \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) t \qquad (٦,٥٥)$$

حيث إن:

U = قوى دفع الماء للأعلى لوحدة الطول.

γ = الوزن النوعي للماء.

t = عرض قاعدة السد في الأسفل.

h_1 = ارتفاع الماء في مقدمة السد.

h_2= ارتفاع الماء في مؤخرة السد.

ويكون تأثير هذه القوى عادة من خلال مركز مساحة الضغط، فإذا كانت (h_2=0) أي لا يوجد ماء خلف السد فيعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$U = \gamma \left(\frac{h}{2}\right) t \qquad (٦,٥٦)$$

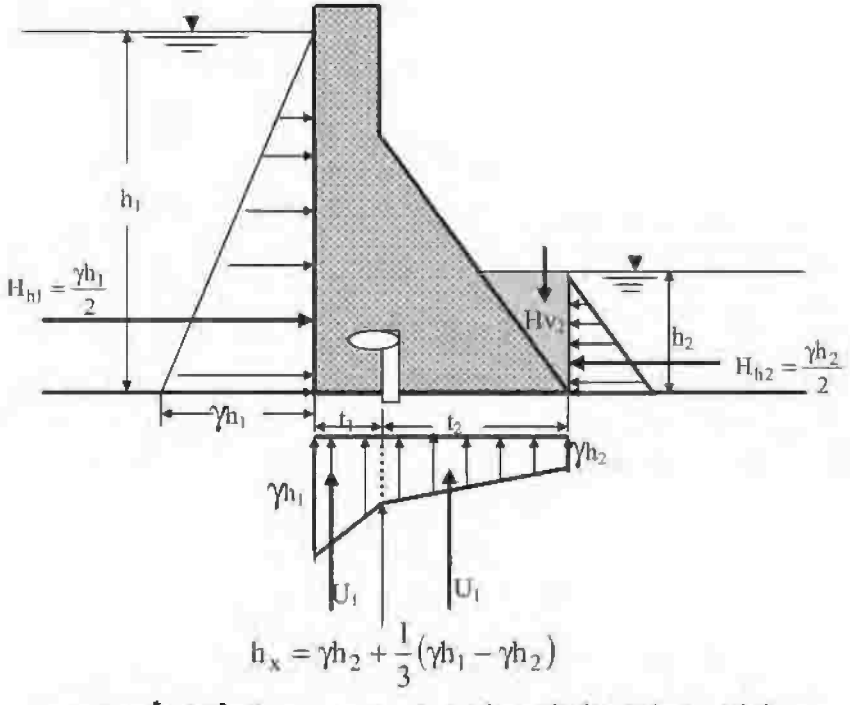
أما في حالة وجود مصرف تخفيف داخل السد يعمل على تقليل قيمة هذه القوى لمنع عدم استقرار السد، كما في الشكل رقم (٦, ٤٢)، فتكون الحسابات كما يلي:

$$h_x = \gamma h_2 + \frac{1}{3}(\gamma h_1 - \gamma h_2) \qquad (٦,٥٧)$$

$$U_1 = \frac{\gamma}{2}\left[h_1 + h_2 + \frac{1}{3}(h_1 - h_2)\right] x\ t_1 \qquad (٦,٥٨)$$

$$U_2 = \frac{\gamma}{2}\left[2h_2 + \frac{1}{3}(h_1 - h_2)\right] x\ t_2 \qquad (٦,٥٩)$$

$$U = U_1 + U_2 \qquad (٦,٦٠)$$



الشكل رقم (٦, ٤٢). القوى المؤثرة على سد مزود بمصرف تخفيف أو مرشح.

انهيار السدود

يمكن تعريف انهيار السد بأنه حركة أحد أجزاء السد أو أساساته، بحيث إن السد لا يستطيع الاحتفاظ بالماء وعلى العموم ينتج عن الانهيار تدفق كميات كبيرة من المياه مما يعرض حياة الناس وممتلكاتهم للخطر. ولكن هناك عوامل كثيرة ساهمت في التقليل من حوادث الانهيارات مثل التقدم العلمي وطرق التصميم والبناء الصحيحة والمراقبة والصيانة المستمرة للسد بعد البناء.

انهيار السدود يعتبر كارثة كبرى لما يسببه من دمار على المناطق المحيطة بالسد، فالمياه التي تدفق بشدة عند انهيار السدود تسبب غرق للمحاصيل الزراعية وهدم للمنازل والأشجار فهي تعمل عمل السيول بل أشد قوة منها، وتعتبر خطر بالغ على حياة الإنسان، ولكل هذه الأسباب لابد لنا من معرفة أسباب انهيار السد والتي يمكن تقسيمها إلى نوعين:

أولاً: أخطاء في تصميم السد وتشمل

١ – عدم القيام بدراسة كافية عن موقع السد وعن المواد المستخدمة في البناء.

٢- أخطاء في مصارف التخفيف لمنع انقلاب السد: وظيفتها الأساس استقبال الماء المتسرب من السد وطبقات التأسيس وصرفها نحو الخارج بشرط أن تحقق الفعالية الهيدروليكية والميكانيكية.

٣- أخطاء في تنفيذ الكتلة الخرسانية (عوامل الإماهة، الهدرجة، درجة الحرارة، والخلطة الوزنية المناسبة للمواد الأولية للكتلة الخرسانية، ونوعية مادة الإسمنت).

٤ – أخطاء في تصميم التسليح وحساب إجهاد القص الأفقي والرأسي، وميل جوانب جسم السد.

٥ – أخطاء تنفيذية في عملية صب الخرسانة أو في عدم تراص وتثبيت الأحجار والوصلات الاستنادية.

٦ – أخطاء في حساب منسوب الفيضان التصميمي وعدم تقدير ارتفاع منسوب الفيضان الأقصى المتوقع.

٧- أخطاء في حساب تحمل جسم السد للزلازل الأرضية.

ثانياً: أخطاء محلية أثناء تشغيل السد وتشمل

١ – جريان الماء فوق السد والناتج عن موجة فيضانية ذات تصريف كبير وعدم كفاية منشآت الحماية لصرف هذه الموجة.

٢ – حركة في الأساسيات الصخرية أو المنطقة المتاخمة وضعف في جيولوجية المنطقة.

٣- زيادة قوى الرفع المائي للأعلى المطبقة على قاعدة السد عن القوى التي صمم السد عليها.

٤ – نشؤ تسرب وتشكل ممرات تسرب دقيقة في أساسيات السد خصوصاً في السدود الترابية والركامية.

٥- انهيار السفوح الأمامية أو الخلفية للسد. وهو يحدث في السدود الترابية والركامية ولا يحدث في السدود الخرسانية.

٦- حدوث هزات أو انزلاقات أرضية غير متوقعة ولم يعمل حسابها في التصميم.

٧- عدم كفاءة المفيض على تصريف الفيضان، وعدم قدرة التصريف ناتج عن طرق قديمة في تقدير الفيضان أو تغير في تصريف النهر في الحوض الساكب فوق السد. ويمكن أن يعود السبب إلى حدوث (رد فعل قوي) في دعائم المفيض والذي يؤدي إلى عدم إمكانية تشغيل بوابات المفيض والذي بدوره يؤدي إلى زيادة منسوب المياه فوق جسم السد.

٨- انغلاق فتحات التصريف التدريجي يمكن أن يكون خطيراً وخصوصاً عندما يرتفع الضغط الداخلي والذي بدوره يؤدي إلى عدم ثبات السد، وكذلك التسرب الزائد يؤدي إلى حدوث فتحات داخلية تحت أو حول السد والتي تتلف أساسات السد وجوانبه.

٩- الابتعاد عن تعليمات التشغيل، وعدم التقيد بتعليمات تشغيل المفيض (مكان التصريف).

١٠- عدم مراقبة السد بانتظام وعدم توافر الخبرة الكافية في تشغيل السدود وهندستها، ومن النتائج المترتبة على هذا أن يتطور نقص غير ملاحظ إلى مشكلة كبيرة ينتج عنها وقوع حوادث.

١١- عدم تحليل قراءات الأجهزة والملاحظات اليومية، وعدم الرسم المستمر لقراءات الأجهزة الذي يعطي صورة سريعة عن أي شيء غير طبيعي، وهذا يعطي الفرصة للتحقق من الوضع وإجراء الصيانة اللازمة في الوقت المحدد.

(٦,٩,٢,٥) السدود في المملكة العربية السعودية

تتراوح تقديرات كميات مياه الأمطار الجارية (السيول) ما بين ٢٠٠٠ إلى ٢٤٠٠ مليون م^3 في السنة، ٦٠٪ منها في المنطقة الغربية وحوالي ١٠٪ في منطقة جبال طويق. وقد ارتفع هذا التقدير إلى حوالي ٥٠٠٠ مليون م^3 عام ١٩٩٨م. يتوالى تنفيذ السدود بمختلف مناطق المملكة العربية السعودية حتى بلغ عددها حتى عام ٢٠٠٦م ٢٣٠ سدا بسعة تخزينية إجمالية تقدر بحوالي ٨٥٠ مليون م^3 موزعة بين المناطق المختلفة ويوضح الشكل رقم (٦,٤٣) بعض السدود بالمملكة.

وحازت السعودية في عام ١٩٩٩م تبعاً لتصنيف الهيئة العالمية للسدود الكبيرة (ICOLD) على المرتبة الرابعة في الشرق الأوسط بعد كل من تركيا وإيران وسوريا.

وتتنوع السدود المشيدة في السعودية ما بين ردمية وخرسانية وتبلغ نسبة السدود الردمية في السعودية ٥٨,٥٠٪ وتتميز بقلة تكلفتها وسهولة إنشائها ولكن يعيبها عدم مقاومتها للفيضانات، بينما تبلغ نسبة السدود

الخرسانية بالسعودية ٤١,٥٪ وتتميز هذه النوعية بمقاومتها للفيضانات وعوامل التعرية وله ثلاثة أنواع ثقلية ومدعمة ومقوسة ولكن تكلفت السدود الخرسانية عالية وتستغرق وقت أطول للتنفيذ وتصنف السدود ما بين سطحية وجوفية.

سد الملك فهد – بيشة تاريخ التنفيذ: ١٤١٩ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٣٢٥ مليون م٣

سد نجران – نجران تاريخ التنفيذ: ١٤٠٠ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٨٦ مليون م٣

سد جازان – جازان تاريخ التنفيذ: ١٣٩٠ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٥١ مليون م٣

سد العقيق – الباحة تاريخ التنفيذ: ١٤٠٨ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٢٢,٥ مليون م٣

سد الفرعة – ينبع – المدينة المنورة تاريخ التنفيذ: ١٤٠٢ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٢٠ مليون م٣

سد حوطة بني تميم – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٤٠٥ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ٣,٥ مليون م٣

الشكل رقم (٤٣, ٦). أهم السدود بالمملكة مرتبة حسب سعتها.

سد الفيض – عسير تاريخ التنفيذ: ١٤٠٥ هـ

نوع السد: ترابي سعة التخزين: ٢,٥ مليون م٣

سد ثادق – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٦ هـ

نوع السد: ترابي سعة التخزين: ٢ مليون م٣

سد حريملاء – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٠ هـ

نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١,٥ مليون م٣

سد المجمعة – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٨٩ هـ

نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١,٣ مليون م٣

سد الأملاح – سدير تاريخ التنفيذ: ١٤٠٢ هـ

نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١,٠ مليون م٣

سد مرات – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٨ هـ

نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٠,٤ مليون م٣

سد ملهم – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٠ هـ

نوع السد: ركامي سعة التخزين: ٢٠٠ ألف م٣

سد عقدة – حائل تاريخ التنفيذ: ١٣٩٦ هـ

نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١٠٠ ألف م٣

تابع الشكل رقم (٤٣, ٦).

بدأت السعودية في إنشاء منظومة سدود في عام ١٩٥٦م من خلال إنشاء سد وادي عكرمة في الطائف لتزداد حتى مطلع ١٩٨٠م إلى ٣٧ سداً وخلال أقل من ربع قرن وبالتحديد ٢٠٠٥م ارتفعت إلى ٢١٥ سد موزعة على مناطق المملكة.

وبالنسبة لسعة السدود التخزينية في المملكة فتختلف من سدود صغيرة لا تزيد طاقتها الإنتاجية عن ٥٠ إلف م^3 ومنها المتوسطة التي تصل إلى ٢٠ مليون م^3 ومنها الضخمة مثل سد الملك فهد الواقع على وادي بيشة بمنطقة عسير الذي يصل تخزينه إلى ٣٢٥ مليون م^3، حيث يمثل ٣٩ ٪ من مجموع سعة تخزين السدود حتى فبراير ٢٠٠٤م. وقد بلغت سعة التخزين الإجمالية للسدود في السعودية في عام ١٩٩٢م حوالي ٢٥٩ مليون م^3 وقد تضاعفت أكثر من ثلاث مرات خلال ٢٢عام لتصل إلى ٨٣٣ مليون م^3 في عام ٢٠٠٥م، ووصلت إلى ١٦١٤ مليون م^3 في عام ٢٠٠٩م.

(٦, ٢, ٩, ٦) الأهداف الرئيسة من إنشاء السدود بالمملكة

تقام السدود في المملكة لتغذية الطبقات الجوفية، توفير المياه للآبار في المناطق الزراعية، تأمين مياه الشرب لبعض المناطق من خلال محطات التنقية المقامة عليها، تأمين مياه الري للأغراض الزراعية، وحماية المدن والقرى من أخطار السيول وغوائل الفيضانات للحفاظ على أرواح وممتلكات المواطنين.

ويمكن إيجاز الأغراض الرئيسة من إنشاء السدود بالمملكة كالتالي:

١- تأمين مياه الشرب للمواطنين.

٢- حماية المدن والقرى من أخطار السيول.

٣- تأمين المياه للري الزراعي.

ولا يمكن القول بأن السدود تنفذ لتحقيق غرض واحد فقط بل يكون الهدف الرئيس تحقيق ذلك الهدف ويصاحبه تحقيق أهداف تبعاً لكل موقع.

ونظراً لاختلاف تضاريس المملكة وحجم الأودية فيها تعددت نوعية السدود المقامة والتي تنحصر في السدود الخرسانية والسدود الترابية والسدود الركامية والسدود الجوفية. وتختلف أنواع السدود في المملكة تبعاً للهدف من السد كالتالي:

أولاً: سدود الحماية والتحكم

وهي السدود التي تنفذ وهدفها الأساسي حماية التجمعات السكانية (مدينة أو قرية) فيتم حجز مياه السيول في السد وتصريفها مباشرة من خلال فتح المعابر (البوابات) بنسب محددة تبعاً لسعة مجرى الوادي خلف السد بما لا يلحق الأضرار بالمنشآت والمرافق الواقعة على ضفافه، ومن أمثلة ذلك سد وادي نجران.

ثانياً: سدود توفير مياه الشرب

وهي السدود التي تنفذ بغرض توفير مياه الشرب وهي على نوعين:

١- السدود التي يكون عليها محطات تنقية لتوفير مياه الشرب للمواطنين وهذه السدود يكون لها برنامج تحسب فيه الموازنة المائية بين كمية التغذية الشهرية للسيول التي ترد للسد وكمية السحب اليومي للمحطة وما يفقد بالبخر مع صرف جزء مما يرد لتغذية الوادي بصفة منتظمة ومن أمثلة ذلك سد العقيق بالباحة الذي تبلغ مساحته التخزينية ٥ , ٢٢ مليون م٣.

٢- السدود التي تعلو آبار مشاريع مياه الشرب وهذه يتم تشغيلها تبعا لحاجة الآبار حيث يتم فتح البوابات بسعة محددة تحقق التغذية المنتظمة للآبار وتفتح البوابات على الأقل مرة كل شهر للتخلص من المياه الآسنة والرواسب المتواجدة أمام البوابات.

ثالثاً: سدود الاستعاضة لتغذية المياه الجوفية

وهي السدود التي تنفذ لزيادة تغذية المخزون الجوفي في الطبقة الرسوبية ورفع مستوى المياه للآبار على امتداد الوادي خلف السد ويتم تشغيلها كالآتي:

١- حيث إن أغلب تلك السدود على الأودية التي تنتشر على ضفافها المزارع والتي يرغب أصحابها بأن تصلهم السيول لتغمر مزارعهم فإن السدود تفتح وبشكل كامل في السيل الأول في كل موسم حتى ترتوي المزارع ثم تغلق بوابات السد.

٢- يتم فتح البوابات بعد ذلك بنسب محددة (تبعا لوقت السيول) وحسب حاجة الآبار الزراعية وذلك لزيادة منطقة الترشيح بالإضافة إلى حوض السد.

رابعاً: سدود توفير مياه الري

وهي السدود التي تنفذ لتوفير مياه الري للمناطق الزراعية الواقعة خلفها ويتم تجميع السيول التي ترد للسد ثم تصريفها عند بدء الموسم الزراعي من خلال فتح البوابات بمعدل منتظم تبعا لسعة قنوات الري ومساحة المناطق المروية في المناطق التي يتم ريها.

وبعد نهاية موسم السيول وجفاف أحواض التخزين يتم العمل على إزالة ما يتراكم من رسوبيات أمام السد ويكون ذلك سهلا في المناطق الجافة، أما في المناطق الرطبة التي تكثر بها الأمطار فإنه قد يتعذر تنظيف السد في كل عام، علما أنه يتم فتح بوابات السدود عند بداية وصول السيول للسدود حتى تمر معظم الرسوبيات الواردة، كما يتم فتح البوابات عند فيضان السد وذلك إلى أن يثبت منسوب المياه في السد ليتبع ذلك برامج التشغيل الخاصة، وعند فتح بوابات السدود وخصوصا القريبة من المجمعات السكنية فإنه يتم التنسيق مع الدفاع المدني للتأكد من إخلاء المواطنين وخلافه لمجرى الوادي وكذلك يتم إشعار كافة الجهات المختصة بالمنطقة والمزارعين قبل فتح السدود مع تجهيز القنوات والحواجز وكل مرافق المشروع قبل بدء عملية الري.

وفي السدود الكبيرة التي تقام على الأودية التي تتدفق بها المياه في أغلب فترات العام فإنه يتم اعتبار حجم الرسوبيات ضمن الحجم التخزيني في سعة السد حيث يصعب إزالتها كما تم دراسة إنشاء مصدات الرسوبيات على الفروع الرئيسة المغذية للوادي التي ترد بها النسبة العظمى من الرسوبيات لحجز جزء من الرسوبيات خارج بحيرة السد.

وبالإضافة إلى برامج التشغيل الخاصة بالسدود فإنه يتم متابعة الوضع الإنشائي للسدود وتقييم حالتها بعد كل سيل بالإضافة إلى الزيارات الميدانية الدورية للسدود من قبل المختصين لإصلاح ما يوجد بها من ملاحظات من خلال متعهدي التشغيل والصيانة المكلفين بصيانة السدود الصغيرة والمتوسطة (التي لا تتجاوز طاقتها التخزينية ٢٠ مليون م٣) وبالنسبة للسدود الكبيرة فإنه يوجد إدارات خاصة بكل منها تتولى أعمال تشغيلها بصفة مباشرة وكذلك أعمال صيانتها ومتابعة أجهزة الرصد وتسجيل القراءات الخاصة بها في مختلف المواقع بصفة منتظمة ومكثفة أثناء السيول وتقييم النتائج واصطلاح ما يلزم معالجته وإصدار التقارير السنوية عند التشغيل لكل السدود وكميات السيول التي وردت وأعمال الصيانة التي تمت. ولكن في الواقع قد لا يحدث اتباع عملي لبرامج التشغيل في كثير من هذه السدود ويحدث تهاون من قبل إداراتها في تطبيق هذه البرامج من التشغيل والصيانة.

ويتضح من دراسة أعداد السدود وسعاتها التخزينية، على ضوء البيانات الواردة بالجدول رقم (٦,٨) ما يلي:

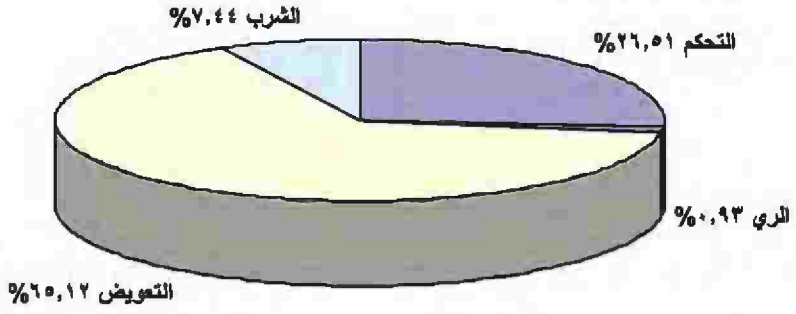
١- أن السدود المقامة لغرض التعويض أكثر انتشاراً، حيث بلغ عددها ١٤٠ سداً حتى عام ٢٠٠٣م، تمثل ٦٥,١٢٪ من إجمالي عدد السدود في المملكة البالغ ٢٣٠ سداً، يليها السدود المقامة لغرض التحكم وبلغ عددها ٥٧ سداً، تمثل ٢٦,٥٪ من إجمالي عدد السدود. كما بلغ عدد السدود المقامة لأغراض الشرب ١٦ سداً، تمثل ٧,٤٤٪، بينما يمثل عدد السدود المقامة لغرض الري ٠,٩٣٪ من إجمالي عدد السدود المقامة في المملكة حتى عام ٢٠٠٣م (الشكل رقم ٦,٤٤).

الجدول رقم (٦,٨). تطور العدد التراكمي للسدود وسعاتها التخزينية وفقاً لأغراضها في المملكة حتى عام ٢٠٠٣م.

السنة	التحكم		الري		التعويض		الشرب		الحماية		الإجمالي	
	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*
١٩٩٢	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٨	١٧١,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٣	٤٤٩,٧٥
١٩٩٣	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٩	٤٩٦,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٤	٧٧٤,٧٥
١٩٩٤	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٩	٤٩٦,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٤	٧٧٤,٧٥
١٩٩٥	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٩	٤٩٦,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٤	٧٧٤,٧٥
١٩٩٦	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١٢٠	٤٩٨,٣٩	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٥	٧٧٧,٠٤
١٩٩٧	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١٢٢	٤٩٨,٨٢	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٧	٧٧٧,٤٧
١٩٩٨	٥١	١٥٩,٠٢	٢	٥١,٥	١٢٣	٤٨٢,٨	١٤	٧٠,٨٩	-	-	١٩٠	٧٦٤,٢
١٩٩٩	٥١	١٥٩,٠٢	٢	٥١,٥	١٢٥	٤٨٣,٧	١٥	٧١,١٧	-	-	١٩٣	٧٦٥,٤
٢٠٠٠	٥٤	٢٠٢,٩	٢	٥١,٥	١٢٦	٤٨٤,٠	١٥	٧١,١٧	-	-	١٩٧	٨٠٩,٥
٢٠٠١	٥٥	٢٠٤,٢	٢	٥١,٥	١٢٧	٤٩٤,٠	١٦	٧٣,١٧	-	-	٢٠٠	٨٢٢,٨
٢٠٠٢	٥٧	٢٠٥,١	٢	٥١,٥	١٣٤	٤٩٩,٢	١٦	٧٣,١٧	-	-	٢٠٩	٨٢٨,٩
٢٠٠٣	٥٧	٢٠٥,١	٢	٥١,٥	١٤٠	٥٠٣,١	١٦	٧٣,١٧	-	-	٢١٥	٨٣٢,٨

* السعة التخزينية (مليون م^3).

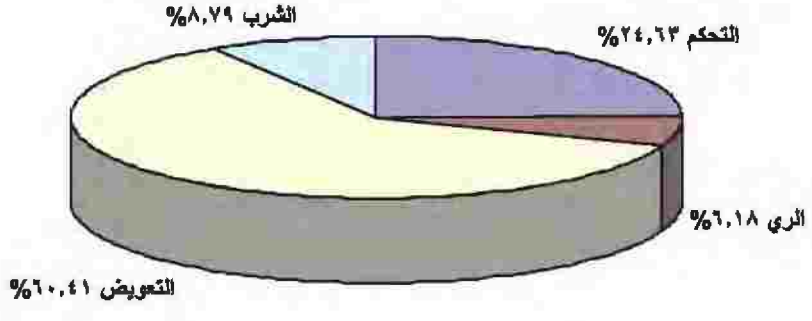
المصدر: وزارة التخطيط، مصلحة الإحصاءات العامة، الكتاب الإحصائي السنوي، أعداد متفرقة.



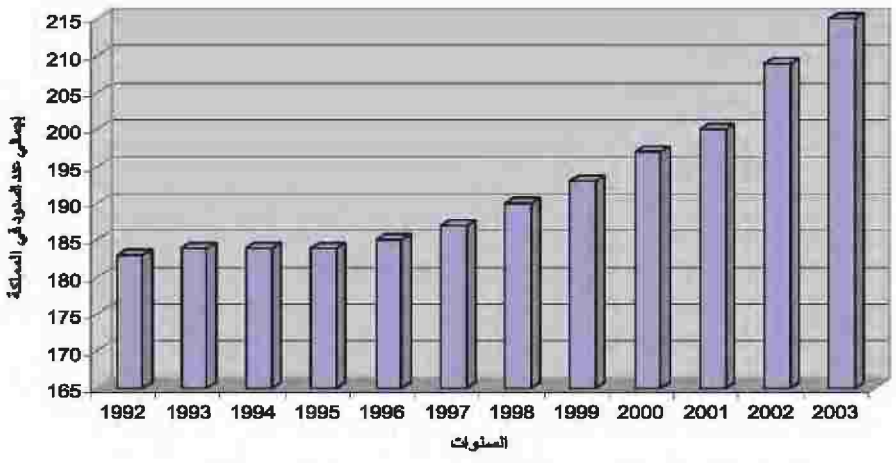
الشكل رقم (٦, ٤٤). نسب عدد السدود المقامة في المملكة لمختلف الأغراض حتى عام ٢٠٠٣م.

٢- تحتل السعات التخزينية للسدود المقامة لغرض التعويض المرتبة الأولى، إذ بلغت ٥٠٣,١ مليون م٣، تمثل ٦٠,٤٪ من إجمالي السعات التخزينية للسدود المقامة في المملكة البالغة ٨٣٢,٨ مليون م٣ حتى عام ٢٠٠٣م. في حين تحتل السعات التخزينية للسدود المقامة بغرض التحكم المرتبة الثانية، حيث تمثل ٢٤,٦٣٪ من إجمالي السعات التخزينية للسدود في المملكة، ويأتي أخيراً السعات التخزينية للسدود المقامة بغرض الشرب والري بنسب بلغت ٨,٩٪، ٦,٢٪ لكل منهما على التوالي (الشكل رقم ٦, ٤٥).

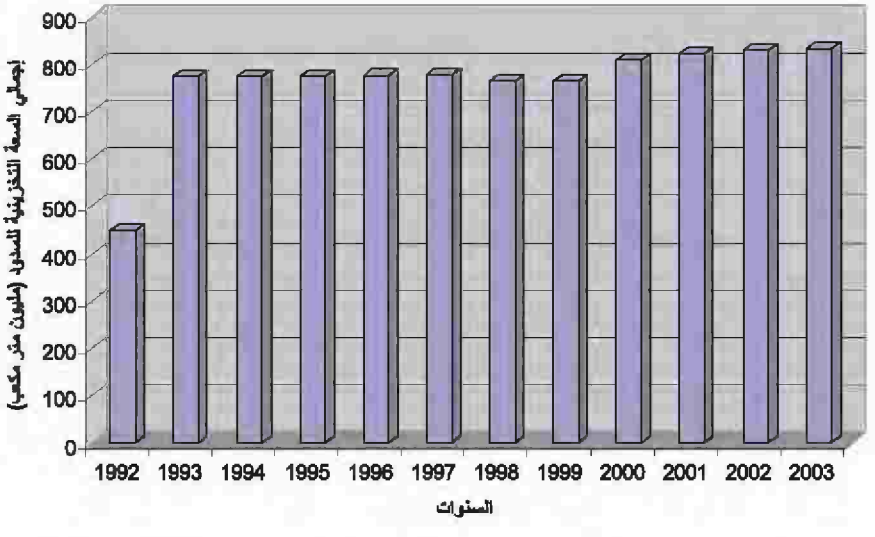
ويوضح الشكلين رقمي (٦, ٤٦) و (٦, ٤٧) تطور إجمالي عدد السدود في المملكة والسعة التخزينية لها على التوالي خلال الفترة من ١٩٩٢م إلى ٢٠٠٣م.



الشكل رقم (٦, ٤٥). نسب السعة التخزينية للسدود المقامة في المملكة لمختلف الأغراض حتى عام ٢٠٠٣م.



الشكل رقم (٤٦ , ٦). تطور إجمالي عدد السدود في المملكة (مليون م^3).



الشكل رقم (٤٧ , ٦). تطور إجمالي السعة التخزينية للسدود في المملكة (مليون م^3).

(٦ , ١٠) أمثلة محلولة

المثال رقم (١ , ٦)

يظهر الجدول التالي توزيع سقوط الأمطار في منطقة ما خلال ٤٤ سنة، حيث يبين العمود (١) السنة والعمود (٢) عمق المطر في تلك السنة، المطلوب تقدير كمية الأمطار الساقطة عند اعتمادية ٧٥٪ .

الحل

توزيع سقوط الأمطار في منطقة ما خلال ٤٤ سنة

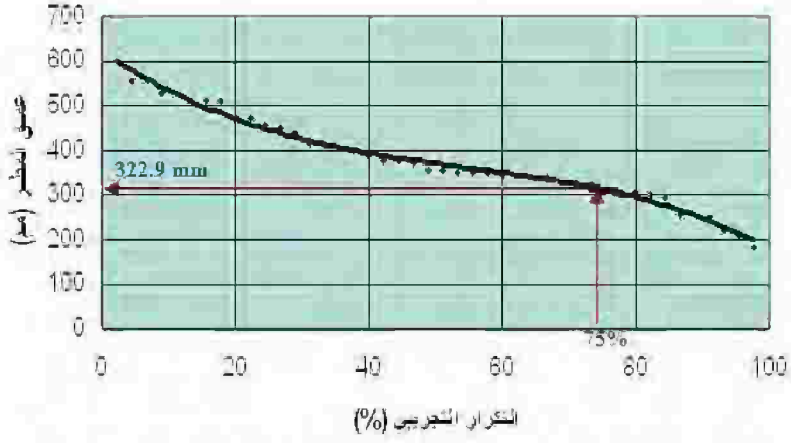
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
	عمق المطر	ترتيب السنوات حسب عمق المطر			التكرار
السنة	(مم)	ترتيب تنازلي لعمق المطر (مم)		الترتيب	التجريبي (٪)
١٩٥٧	٥٥٤,٨	١٩٦٧	٦٠٠,٤	١	٢,٢
١٩٥٨	٣٣٧,٧	١٩٥٧	٥٥٤,٨	٢	٤,٤
١٩٥٩	٣٤٦,٨	١٩٩١	٥٥٤,٨	٣	٦,٧
١٩٦٠	٢٥٦,٢	١٩٦٤	٥٣٠,٠	٤	٨,٩
١٩٦١	٥٠٩,٥	١٩٩٨	٥٣٠,٠	٥	١١,١
١٩٦٢	٣٧٦,٦	١٩٧٩	٥١٢,٨	٦	١٣,٣
١٩٦٣	٣٥٧,٢	١٩٦١	٥٠٩,٥	٧	١٥,٦
١٩٦٤	٥٣٠,٠	١٩٩٥	٥٠٩,٥	٨	١٧,٨
١٩٦٥	٣٢٢,٩	١٩٦٦	٤٧١,٩	٩	٢٠,٠
١٩٦٦	٤٧١,٩	٢٠٠٠	٤٧١,٩	١٠	٢٢,٢
١٩٦٧	٦٠٠,٤	١٩٧٨	٤٥٤,٥	١١	٢٤,٤
١٩٦٨	٣٥٢,١	١٩٨٤	٤٥٢,٦	١٢	٢٦,٧
١٩٦٩	٢١٩,٨	١٩٩٠	٤٤١,٦	١٣	٢٨,٩
١٩٧٠	٤٠٨,٩	١٩٧٧	٤١٦,٠	١٤	٣١,١
١٩٧١	٢٠٩,٧	١٩٧٠	٤٠٨,٩	١٥	٣٣,٣
١٩٧٢	٢٥٢,٤	١٩٨٥	٤٠٦,٩	١٦	٣٥,٦
١٩٧٣	٤٠٠,٤	١٩٧٣	٤٠٠,٤	١٧	٣٧,٨
١٩٧٤	٣٠٥,٧	١٩٨٣	٣٩٠,٠	١٨	٤٠,٠
١٩٧٥	٣٢٩,٩	١٩٦٢	٣٧٦,٦	١٩	٤٢,٢
١٩٧٦	٣٤٩,٣	١٩٩٦	٣٧٦,٦	٢٠	٤٤,٤
١٩٧٧	٤١٦,٠	١٩٨٠	٣٧٠,٩	٢١	٤٦,٧
١٩٧٨	٤٥٤,٥	١٩٦٣	٣٥٧,٢	٢٢	٤٨,٩
١٩٧٩	٥١٢,٨	١٩٩٧	٣٥٧,٢	٢٣	٥١,١

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
	عمق المطر	ترتيب السنوات حسب عمق المطر			التكرار
السنة	(مم)	ترتيب تنازلي لعمق المطر (مم)		الترتيب	التجريبي (٪)
١٩٨٠	٣٧٠,٩	١٩٨٧	٣٥٢,٥	٢٤	٥٣,٣
١٩٨١	٣٢٨,٥	١٩٦٨	٣٥٢,١	٢٥	٥٥,٦
١٩٨٢	١٨٥,٠	١٩٧٦	٣٤٩,٣	٢٦	٥٧,٨
١٩٨٣	٣٩٠,٠	١٩٥٩	٣٤٦,٨	٢٧	٦٠,٠
١٩٨٤	٤٥٢,٦	١٩٩٣	٣٤٦,٨	٢٨	٦٢,٢
١٩٨٥	٤٠٦,٩	١٩٥٨	٣٣٧,٧	٢٩	٦٤,٤
١٩٨٦	٣٠٧,٨	١٩٩٢	٣٣٧,٧	٣٠	٦٦,٧
١٩٨٧	٣٥٢,٥	١٩٧٥	٣٢٩,٩	٣١	٦٨,٩
١٩٨٨	٢٩٦,٢	١٩٨١	٣٢٨,٥	٣٢	٧١,١
١٩٨٩	٣٠١,٧	١٩٦٥	٣٢٢,٩	٣٣	٧٣,٣
١٩٩٠	٤٤١,٦	١٩٩٩	٣٢٢,٩	٣٤	٧٥,٦
١٩٩١	٥٥٤,٨	١٩٨٦	٣٠٧,٨	٣٥	٧٧,٨
١٩٩٢	٣٣٧,٧	١٩٧٤	٣٠٥,٧	٣٦	٨٠,٠
١٩٩٣	٣٤٦,٨	١٩٨٩	٣٠١,٧	٣٧	٨٢,٢
١٩٩٤	٢٥٨,٢	١٩٨٨	٢٩٦,٢	٣٨	٨٤,٤
١٩٩٥	٥٠٩,٥	١٩٩٤	٢٥٨,٢	٣٩	٨٦,٧
١٩٩٦	٣٧٦,٦	١٩٦٠	٢٥٦,٢	٤٠	٨٨,٩
١٩٩٧	٣٥٧,٢	١٩٧٢	٢٥٢,٤	٤١	٩١,١
١٩٩٨	٥٣٠,٠	١٩٦٩	٢١٩,٨	٤٢	٩٣,٣
١٩٩٩	٣٢٢,٩	١٩٧١	٢٠٩,٧	٤٣	٩٥,٦
٢٠٠٠	٤٧١,٩	١٩٨٢	١٨٥,٠	٤٤	٩٧,٨

يستكمل الجدول بالأعمدة من العمود (٣) إلى العمود (٦)، أما في العمود (٣) حتى العمود (٥) يتم بهم ترتيب أعماق المطر تنازليا وتسجل في العمود (٤) تلك الأعماق بينما يسجل في العمود (٣) السنة المقابلة بينما يسجل في العمود (٥) الترتيب بدءاً من الواحد حتى ٤٤، وفي العمود (٦) تحسب قيمة نسبة إمكانية توفر إمداد

المياه P من خلال المعادلة رقم (٦,٣) فتكون قيمتها في العام الأول (١×١٠٠/ (٤٤+١))= ٢,٢ وفي العام الثاني (٢×١٠٠/ (٤٤+١))= ٤,٤ وهكذا حتى العام الأخير.

ثم يتم رسم منحنى التوزيع لسقوط الأمطار خلال ٤٤ سنة بين العمود (٦) في المحور الأفقي والعمود (٤) في المحور الرأسي (الشكل رقم ٦,٤٨). يمكننا من الجدول السابق أو الشكل رقم (٦,٤٨) تقدير كمية الأمطار الساقطة عند اعتمادية ٧٥٪ وهي عند سنة ١٩٩٩ ومقدارها ٣٢٢,٩ مم.



الشكل رقم (٦,٤٨). منحنى توزيع سقوط الأمطار خلال ٤٤ سنة في منطقة ما.

المثال رقم (٦,٢)

بافتراض أن كمية الاستخدام المنزلي للمياه في السنة الواحدة ١٨ م^3 باعتمادية ٩٠٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٩٠٪ تكون ٢٥٢مم، استخدم سطح من البلاط بمساحة ٨٠ م^2 وسطح مبطن بالخرسانة كمستجمعات لمياه الأمطار. وكانت كفاءات تجميع مياه الأمطار لسطح من البلاط ولسطح مبطن بالخرسانة ٠,٤٥، ٠,٧٥ على الترتيب. أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع.

الحل

نحسب كمية مياه الأمطار المجمعة من سطح البلاطات

$$A_1 = \frac{W_{d1}}{R_p \times RCE_y}$$

$$W_{d1} = R_p \times RCE_y \times A_1 = \frac{252}{1000} \times 0.45 \times 80 = 9.07\ m^3$$

ثم نحسب كمية الماء المتبقية على السطح مبطن بالخرسانة

$$W_{d2} = W_{dt} - W_{d1} = 18 - 9.07 = 8.93\,m^3$$

ومن ثم تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع

$$A_{2d} = \frac{W_{d2}}{R_p \times RCE_y} = \frac{8.93 \times 1000}{252 \times 0.75} = 47.2\,m^2$$

المثال رقم (٦, ٣)

من المثال السابق، بالإضافة للاستخدام المنزلي، استخدم مياه للري بمقدار ٢٥ م^3 باعتمادية ٧٥٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٧٥٪ تكون ٣٢٣مم، واستخدم السطح مبطن بالخرسانة لتجميع مياه الري، فأوجد المساحة الكلية لهذا السطح.

الحل

تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع لمياه الري

$$A_{2irri} = \frac{W_{d2}}{R_p \times RCE_y} = \frac{25 \times 1000}{323 \times 0.75} = 103.2\,m^2$$

ولذلك تكون المساحة الكلية للسطح المبطن بالخرسانة

$$A_t = A_{2d} + A_{2irri} = 47.2 + 103.2 = 150.4\,m^2$$

المثال رقم (٦, ٤)

باستخدام بيانات الطلب على المياه في المثالين السابقين رقم (٦, ٢) ورقم (٦, ٣) للاستخدام المنزلي ومياه الري. وبافتراض أن كمية سقوط الأمطار السنوية ٣٨٠ مم و C_v تساوي ٠, ٢٦. أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع.

الحل

يمكن إيجاد مساحة تجميع ١ م^3 لكل من نوعين المستجمعين وذلك عند كمية سقوط أمطار سنوية ٣٠٠ و ٤٠٠ مم وC_v ٠, ٢٥ و ٠, ٣٠ لاعتمادية ٩٠٪ من الجدول رقم (٦, ٦)، ومنها نقدر مقدار مساحة المستجمع للـ ١م^3 عند سقوط الأمطار السنوية ٣٨٠ مم و C_v تساوي ٠, ٢٦ كما في الجدول التالي:

المساحة A_o م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٨٠ مم	المساحة A_o م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية			المادة
	٤٠٠ مم	٣٠٠ مم	Cv	
$\frac{(11.1-7.8)}{(400-300)}\times(400-380)+7.8=8.46$	٧,٨	١١,١	٠,٢٥	
$\frac{(12.1-8.5)}{(400-300)}\times(400-380)+8.5=9.22$	٨,٥	١٢,١	٠,٣٠	سطح بلاط
$\frac{(9.22-8.46)}{(0.3-0.25)}\times(0.26-0.25)+8.46=8.61$			٠,٢٦	
$\frac{(6.3-4.6)}{(400-300)}\times(400-380)+4.6=4.94$	٤,٦	٦,٣	٠,٢٥	
$\frac{(6.8-5.0)}{(400-300)}\times(400-380)+5.0=5.36$	٥,٠	٦,٨	٠,٣٠	سطح خرساني
$\frac{(5.36-4.94)}{(0.3-0.25)}\times(0.26-0.25)+4.94=5.02$			٠,٢٦	

ويتضح من الجدول:

مساحة المستجمع لنوع سطح البلاط لتجميع ١ م^3 = ٨,٦١ م^2

مساحة المستجمع لنوع السطح المبطن بالخرسانة لتجميع ١ م^3 = ٥,٠٢ م^2

في حالة إمداد المياه للغرض المنزلي تكون كمية مياه الأمطار المجمعة الكلية من سطح البلاطات

$$W_{d1}=\frac{A_1}{a_1}=\frac{80}{8.61}=9.3\,m^3$$

إذن نحسب كمية الماء المتبقية على السطح مبطن بالخرسانة

$$W_{d2}=W_{dt}-W_{d1}=18-9.3=8.7\,m^3$$

ومن ثم تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع

$$A_{2d}=W_{d2}\times a_{2d}=8.7\times5.02=43.7\,m^2$$

وبالنسبة لإمداد المياه لغرض الري على النوع الثاني من المستجمع.

يمكن ايجاد مساحة تجميع ١ م^3 للسطح المبطن بالخرسانة من المستجمع وذلك عند كمية سقوط أمطار سنوية ٣٠٠ و ٤٠٠ مم وCv ٠,٢٥ و ٠,٣٠ لاعتمادية ٧٥٪ ومنها نقدر مقدار مساحة المستجمع للـ ١م^3 عند سقوط الأمطار السنوية ٣٨٠ مم و Cv تساوي ٠,٢٦ كما في الجدول التالي:

المادة	Cv	المساحة A_o م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٠٠ مم	المساحة A_o م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٤٠٠ مم	المساحة A_o م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٨٠مم
	٠,٢٥	٥,٣	٣,٩	$\frac{(5.3-3.9)}{(400-300)}\times(400-380)+3.9=4.18$
سطح خرساني	٠,٣٠	٥,٥	٤,٠	$\frac{(5.5-4.0)}{(400-300)}\times(400-380)+4.0=4.3$
	٠,٢٦			$\frac{(4.3-4.18)}{(0.3-0.25)}\times(0.26-0.25)+4.18=4.2$

ويتضح من الجدول أن مساحة المستجمع لنوع السطح المبطن بالخرسانة لتجميع ١ م^3 = ٤,٢ م^2

ومن ثم تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع لتجميع مقدار ٢٥ م^3 من مياه الأمطار

$$A_{2irri}=W_{d2}\times a_{2irri}=25\times4.2=105m^2$$

المثال رقم (٦,٥)

في مشروع مكافحة التصحر تم زراعة نباتات رعوية بطريقة الكتوف أو الحواجز الكنتورية، فإذا كان التساقط التصميمي Dr يساوي ١٢٥ مم عند احتمال ٦٧٪، ومعامل الجريان السطحي Rc يساوي ٠,١، والاحتياجات المائية التكميلية CWR تساوي ٢٥٠ مم، وكفاءة استعمال المياه المحصودة Ef تساوي ٠,٥. احسب النسبة بين مساحة الالتقاط إلى المساحة المزروعة.

الحل

يمكن حساب النسبة بين مساحة الالتقاط إلى المساحة المزروعة C/CA بتطبيق المعادلة رقم (٦,٣٣):

$$C/CA=\frac{CWR-Dr}{Dr\times Rc\times Ef}=\frac{250-125}{125\times0.1\times0.5}=20$$

المثال رقم (٦,٦)

الجدول التالي يوضح السريان الداخل إلى مستجمع مبطن بالخرسانة في منطقة ما في الصين، في الثلث الأخير من شهر ابريل (١٠ أيام) سنة ١٩٦٥م، احسب الجريان السطحي خلال العشرة أيام.

الحل

الحل موضح بتكملة الجدول بحساب كثافة المطر ثم الجريان السطحي لكل حالة مطر من المعادلة رقم (٦, ١٢) حسب نوع مادة السطح وهي:

$$RCE = 1 - 0.314 R^{-0.12} e^{2.82I}$$

اليوم	الوقت	الأمطار (مم)	الأمطار في المرة (مم)	كثافة المطر (مم/ دقيقة)	الجريان السطحي فوق سطح خرساني لمساحة ١٠٠م٢ (م٣)
٢١	٠٥:٢٠				
٢١	٠٧:٤٥	٢,٦	٢,٦	٠,٠١٧٩	
٢١	١٠:٣٥				١,٩١
٢١	١٣:١٢	٠,١	٠,١	٠,٠٠٠٦	٠,٠٦
٢٦	٠٧:١٥				
٢٦	٠٨:٠٠	٠,٢	٠,٢	٠,٠٠٤٤	٠,١٢
٢٦	١٨:٥٠				
٢٦	٢٠:٠٠	٦,٩	٦,٩	٠,٠٩٨٦	٥,٦٠
٢٦	٢٠:٠٠				
٢٧	٠٢:٠٠	٢٤,٨	٢٤,٨	٠,١٠٣٣	٢٠,٨٤
٢٧	٠٢:٠٠				
٢٧	٠٥:١٥	٢,٦	٢,٦	٠,٠١٤٤	١,٩٠
٢٨	١٧:١٥				
٢٨	١٨:٤٥	٣,٢	٣,٢	٠,٠٣٥٦	٢,٤١
٢٩	٠٨:٠٠	٠,٢	٠,٢	٠,٠٠١٢	٠,١٢
٣٠	١٨:٢١				
٣٠	٢٠:٠٠	٠,٥	٠,٥	٠,٠٠٥٠	٠,٣٣
٣٠	٢٠:٠٠				
٣٠	٢٣:٤٩	٣,٣	٣,٣	٠,٠١٨٣	٢,٤٥
			مجموع ١٠ أيام =		٣٠,٧٥

المثال رقم (٦,٧)

في مشروع مكافحة التصحر تم زراعة أشجار مثمرة بطريقة الأحواض الصغيرة، فإذا كان التساقط التصميمي Dr يساوي ١٦٠ مم عند احتمال ٦٧٪، ومعامل الجريان السطحي Rc يساوي ٠,٢٥، والاحتياجات المائية التكميلية CWR تساوي ٣٠٠ مم، وكفاءة استعمال المياه المحصودة Ef تساوي ٠,٦٣. احسب مساحة الحوض الكلية A_c إذا كانت المساحة المتوقعة والمستغلة بجذور الأشجار A_R تساوي ٩٠٠ م٢.

الحل

يمكن حساب مساحة الحوض الكلية A_c مباشرة من المعادلة رقم (٦,٣٤)

$$A_C = \frac{A_R(CWR - Dr)}{Dr \times Rc \times Ef} = \frac{900(300-160)}{160 \times 0.25 \times 0.63} = 5000\,m^2$$

المثال رقم (٦,٨)

احسب العمر المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٥٠ مليون م٣، إذا علمت أن المعدل السنوي للماء الداخل للخزان يقدر بحوالي ٢٠٠ مليون م٣، وأن متوسط الرسوبيات الداخلة للخزان سنوياً تقدر بحوالي ٠,٩ مليون طن. مع العلم بأن الوزن النوعي للمواد المترسبة ٢,٢ طن/ م٣، وينتهي الاستفادة من الخزان عندما يمتلئ ٨٠٪ من حجمه الأولي.

الحل

حجم الخزان الأولي

$$V_{TI} = 50 \times 10^6\ m^3$$

حجم الخزان في نهاية عمره

$$V_{Te} = (100-80) \times 50 \times 10^6 = 10 \times 10^6\ m^3$$

نقسم حجم الخزان إلى أجزاء كل منها $10 \times 10^6\ m^3$ تبدأ من الحجم الأولي $50 \times 10^6\ m^3$ ثم $40 \times 10^6\ m^3$ ثم $30 \times 10^6\ m^3$ وهكذا حتى نصل إلى الحجم النهائي للخزان، ونحسب عدد السنوات التي تستغرق لملء الخزان بالترسبات خلال تلك الفترات، ويمكن تلخيص الحسابات في الجدول التالي:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
حجم الخزان في بداية كل مرحلة	نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل للخزان سنوياً	كفاءة الترسيب E_t	متوسط كفاءة الترسيب E_s	مقدار المواد المترسبة سنوياً		حجم الجزء من الخزان الذي تم ترسيبه	عدد سنوات ملء هذا الحجم
(مليون م٣)		(٪)	(٪)	(مليون طن)	(مليون م٣)	(مليون م٣)	(سنة)
٥٠	٠,٢٥	٩٤					
			٩٣,٥	٠,٨٤٢	٠,٣٨٣	١٠	٢٦,١
٤٠	٠,٢٠	٩٣					
			٩١,٥	٠,٨٢٤	٠,٣٧٤	١٠	٢٦,٧
٣٠	٠,١٥	٩٠					
			٨٨,٥	٠,٧٩٧	٠,٣٦٢	١٠	٢٧,٦
٢٠	٠,١٠	٨٧					
			٨٢,٥	٠,٧٤٣	٠,٣٣٨	١٠	٢٩,٦
١٠	٠,٠٥	٧٨					
العمر الكلي للخزان							١١٠ سنة

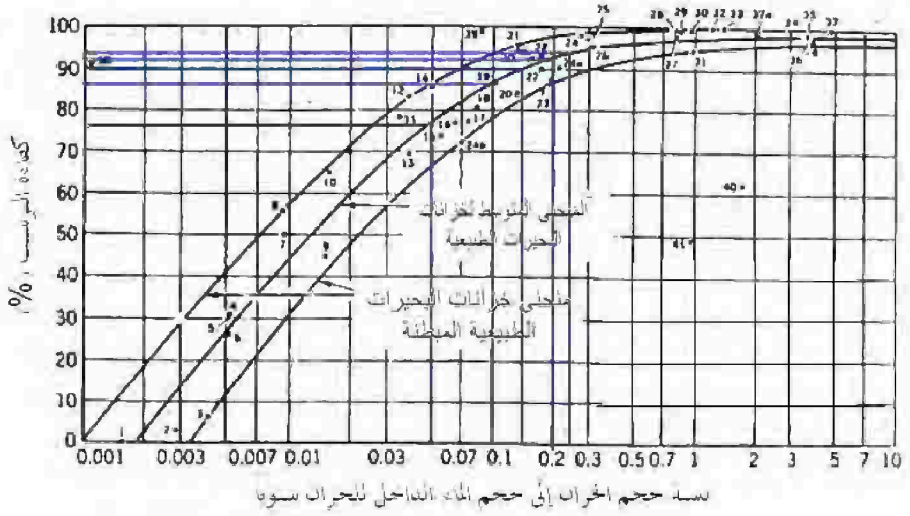
خطوات الحساب الموضحة نتائجها في الجدول السابق:

العمود (١): حجم الخزان في بداية كل مرحلة ٥٠، ٤٠، ٣٠، ٢٠، ١٠ مليون م٣.

العمود (٢): نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل سنوياً للخزان

$$\frac{V_{T1}}{V_{wi}} = \frac{50}{200} = 0.25 \quad , \quad \frac{V_{T2}}{V_{wi}} = \frac{40}{200} = 0.20 \quad , \quad \frac{V_{T3}}{V_{wi}} = \frac{30}{200} = 0.15$$

وهكذا حتى آخر حجم



العمود (٣): كفاءة الترسيب E_s، ونحصل عليها من الشكل رقم (٦,٣٢) عند كل نسبة في العمود رقم (٢) كما موضح بالرسم، مع ملاحظة أننا نتعامل دائماً مع المنحنى الأوسط الذي يمثل متوسط الخزانات الصغيرة غير المبطنة ما لم يذكر في السؤال عكس ذلك، ومن الرسم نجد أن

$$E_{s1} = 94\% \quad , \quad E_{s2} = 93\% \quad , \quad E_{s3} = 90\%$$

وهكذا حتى آخر حجم

العمود (٤): متوسط كفاءة الترسيب بين المرحلتين، ويحسب من العمود ٣، ويجب وضع القيمة بين الحجم الأول والحجم الثاني؛ لأنها تعبر عن الكفاءة خلال تلك الفترة

$$E_{s1-2} = \frac{E_{s1} + E_{s2}}{2} = \frac{94+93}{2} = 93.5 \qquad E_{s2-3} = \frac{E_{s2} + E_{s3}}{2} = \frac{93+90}{2} = 91.5$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٥): وزن المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون طن، وتحسب عند كل مرحلة بضرب الكفاءة المتوسطة (العمود ٤) في وزن الرسوبيات التي تدخل سنويا للخزان (٠,٩ مليون طن) كالتالي

$$W_{s1-2} = W_{si} \times E_{s1-2} = 0.9 \times \frac{93.5}{100} = 0.842 \qquad W_{s2-3} = W_{si} \times E_{s2-3} = 0.9 \times \frac{91.5}{100} = 0.824$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٦): حجم المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون متر مكعب، ويحسب عند كل مرحلة بقسمة وزن الرسوبيات المترسبة في الخزان (العمود ٥) على الوزن النوعي للمواد المترسبة (٢,٢ طن/ م^3)

$$V_{s1-2} = \frac{W_{s1-2}}{\gamma_s} = \frac{0.842}{2.2} = 0.383 \qquad V_{s2-3} = \frac{W_{s2-3}}{\gamma_s} = \frac{0.824}{2.2} = 0.374$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٧): حجم الجزء من الخزان الذي تم ملؤه بالرسوبيات خلال المرحلة بوحدة مليون م^3، ويحسب من العمود ١

$$V_{T1-2} = V_{T1} - V_{T2} = 50 - 40 = 10 \qquad V_{T2-3} = V_{T2} - V_{T3} = 40 - 30 = 10$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٨): عدد السنوات التي يمتلئ فيه الجزء من الخزان بالرسوبيات خلال المرحلة بوحدة سنة، وتحسب بقسمة حجم جزء الخزان (العمود ٧) على حجم المواد المترسبة سنوياً (العمود ٦)

$$T_{1-2} = \frac{V_{T1-2}}{V_{s1-2}} = \frac{10}{0.383} = 26.1 \qquad T_{2-3} = \frac{V_{T2-3}}{V_{s2-3}} = \frac{10}{0.374} = 26.7$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

نحسب عمر الخزان بالسنوات بجمع الأزمنة للمراحل الأربعة الموجودة في العمود ٨

$$T = T_{1-2} + T_{2-3} + T_{3-4} + T_{4-5} = 26.1 + 26.7 + 27.6 + 29.6 = 110.1$$

وبالتالي يكون عمر الخزان بالسنوات يساوي ١١٠ سنة.

المثال رقم (٩, ٦)

احسب العمر المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٨٠ مليون م٣، إذا علمت أن الخزان تنعدم فائدته عندما يصبح حجمه ١٠ مليون م٣، والمعدل السنوي للماء الداخل للخزان يقدر بحوالي ٣٠٠ مليون م٣، وأن متوسط الرسوبيات الداخلة للخزان سنوياً تقدر بحوالي ١,٥ مليون طن. مع العلم بأن الوزن النوعي للمواد المترسبة ٢,٤ طن/ م٣.

الحل

يمكن الحل كما في المثال السابق بتقسيم حجم الخزان إلى أجزاء، وهي الطريقة الأكثر دقة، ويمكن الحل باعتبار الخزان مرحلة واحدة وهو ما سوف نتبعه في حل هذا المثال حتى يتم معرفة الطريقتين:

حجم الخزان الأولي

$$V_{T1} = 80 \times 10^6 \ m^3$$

حجم الخزان في نهاية عمره

$$V_{Te} = 10 \times 10^6 \ m^3$$

نحسب عدد السنوات التي تستغرق لملء الخزان بالرسوبيات من حجمه الأولي إلى الحجم غير المفيد، ويمكن تلخيص الحسابات في الجدول التالي:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
حجم الخزان في بداية كل مرحلة	نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل للخزان سنوياً	كفاء الترسيب E_s	متوسط كفاء الترسيب E_s	مقدار المواد المترسبة سنوياً		حجم الجزء من الخزان الذي تم ترسيبه	عدد سنوات لملء هذا الحجم
(مليون م٣)		(٪)	(٪)	(مليون طن)	(مليون م٣)	(مليون م٣)	(سنة)
٨٠	٠,٢٧	٩٤					
			٨١	١,٢١٥	٠,٥٠٦	٧٠	١٣٨,٣
١٠	٠,٠٣	٦٨					
						العمر الكلي للخزان	١٣٨ سنة

خطوات الحساب الموضحة نتائجها في الجدول السابق:

العمود (١): حجم الخزان في بداية عمره وفي نهاية عمره ٨٠، ١٠ مليون م٣.

العمود (٢): نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل سنوياً للخزان

$$\frac{V_{T1}}{V_{wi}} = \frac{80}{300} = 0.27 \quad , \quad \frac{V_{T2}}{V_{wi}} = \frac{10}{300} = 0.03$$

العمود (٣): كفاءة الترسيب E_s، ونحصل عليها من الشكل رقم (٦,٣٢) عند كل نسبة في العمود رقم (٢) كما موضح بالرسم، مع ملاحظة أننا نتعامل دائماً مع المنحنى الأوسط الذي يمثل متوسط الخزانات الصغيرة غير المبطنة ما لم يذكر في السؤال عكس ذلك، ومن الرسم نجد أن

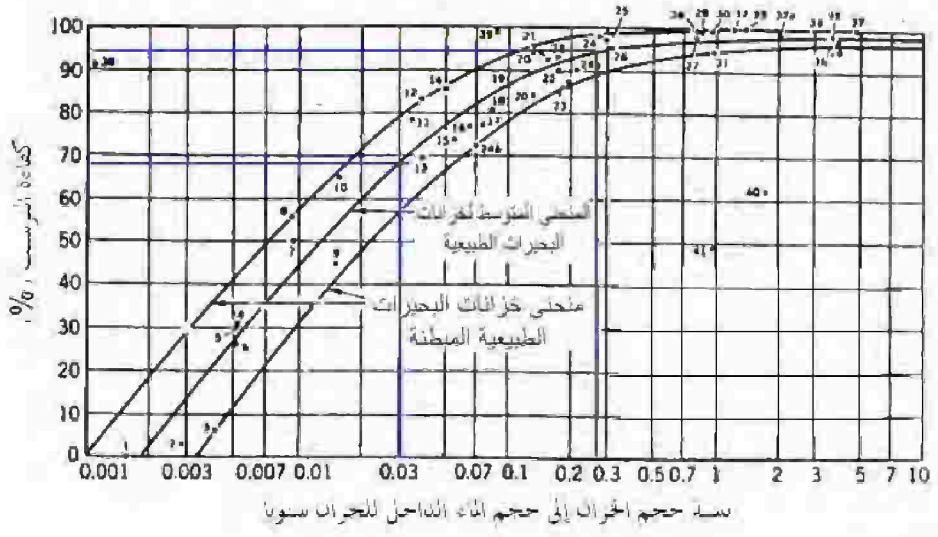
$$E_1 = 94\% \quad , \quad E_2 = 68\%$$

العمود (٤): متوسط كفاءة الترسيب بين المرحلتين، وتحسب من العمود (٣)، ويجب وضع القيمة بين الحجم الأول والحجم الثاني؛ لأنها تعبر عن الكفاءة خلال تلك الفترة

$$E_{s1-2} = \frac{E_{s1} + E_{s2}}{2} = \frac{94+68}{2} = 81$$

العمود (٥): وزن المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون طن، وتحسب بضرب الكفاءة المتوسطة (العمود ٤) في وزن الرسوبيات التي تدخل سنويا للخزان (١,٥ مليون طن) كالتالي

$$W_s = W_{si} \times E_{av.} = 1.5 \times \frac{81}{100} = 1.215$$



العمود (٦): حجم المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون متر مكعب، وتحسب عند كل مرحلة بقسمة وزن الرسوبيات التي المترسبة في الخزان (العمود ٥) على الوزن النوعي للمواد المترسبة (٢,٤ طن/م٣)

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{1.215}{2.4} = 0.506$$

العمود (٧): حجم الخزان الذي تم ملئه بالرسوبيات بوحدة مليون متر مكعب، ويحسب من العمود ١

$$V_{T1-2} = V_{T1} - V_{T2} = 80 - 10 = 70$$

العمود (٨): عدد السنوات التي يمتلئ فيها الخزان بالرسوبيات بوحدة سنة، وتحسب بقسمة حجم الخزان (العمود ٧) على حجم المواد المترسبة سنوياً (العمود ٦)

$$T_{1-2} = \frac{V_{T1-2}}{V_{s1-2}} = \frac{70}{0.506} = 138.3$$

وبالتالي يكون عمر الخزان بالسنوات يساوي ١٣٨ سنة.

المثال رقم (٦,١٠)

الجدول التالي يبين قياسات تدفق الماء من وإلى أحد الخزانات الإملائية، حدد مقدار حجم الماء الموجود في الخزان عند الساعة الخامسة بعد الظهر إذا علمت أن حجم الماء في الخزان الساعة العاشرة صباحاً كان ٥٠٠٠ م٣.

الزمن (الوقت) (ساعة)	التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ ث)	التصرف الخارج من الخزان (لتر/ ث)
١٠,٠٠	٥٦٧	٨٥٠
١٢,٠٠	٧٣٦	٧٣٦
١٤,٠٠	١١٩٠	٥٦٧
١٦,٠٠	١٥٣٠	٣٤٠
١٨,٠٠	١٣٦٠	٢٣٠
٢٠,٠٠	١٠٠٠	٢٣٠

الحل

المطلوب حجم الماء بالخزان في الساعة الخامسة بعد الظهر V_{17} وهو يساوي حجم الماء بالخزان الساعة العاشرة صباحا V_{10} + مقدار التغير في المخزون من الساعة العاشرة صباحاً إلى الساعة الخامسة بعد الظهر ΔS_{10-17}، أي أن

$$V_{17} = V_{10} + \Delta S_{10-17}$$

حيث يكون التغير في المخزون عند أي ساعة يساوي الحجم الداخل – الحجم الخارج، أي أن

$$\Delta S = V_{in} - V_{out}$$

نكمل جدول المعطيات حتى حساب حجم الماء الصافي

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)
الزمن (ساعة)	التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ ث)	التصرف الخارج من الخزان (لتر/ ث)	متوسط التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ ث)	متوسط التصرف الخارج من الخزان (لتر/ ث)	التصرف الصافي (لتر/ ث)	الحجم الصافي م٣
١٠,٠٠	٥٦٧	٨٥٠				
			٦٥١,٥	٧٩٣	١٤١,٥-	١٠١٨,٨-
١٢,٠٠	٧٣٦	٧٣٦				
			٩٦٣	٦٥١,٦	٣١١,٥+	٢٢٤٢,٨+
١٤,٠٠	١١٩٠	٥٦٧				
			١٣٦٠	٤٥٣,٥	٩٠٦,٥+	٦٥٢٦,٨+
١٦,٠٠	١٥٣٠	٣٤٠				
			١٤٤٥	٢٨٥	١١٦٠+	٤١٧٦+
١٨,٠٠	١٣٦٠	٢٣٠				
			لا داعي لحسابها*			
٢٠,٠٠	١٠٠٠	٢٣٠				
					المجموع	١١٩٢٦,٨+

* ما يهمنا في الحسابات هو حتى الساعة ١٧؛ لأن المطلوب حجم الماء بالخزان عند هذا الوقت وبالتالي ما بعد هذا الوقت لن يدخل في الحساب.

خطوات الحساب:

العمود (٤): يمثل متوسط التصرف الداخل للخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12 ويضع الرقم بين الصفين

$$Q_{in10-12} = \frac{Q_{in10} + Q_{in12}}{2} = \frac{567 + 736}{2} = 651.5 \text{ L/s}$$

وهكذا نحسب متوسط التصرف الداخل للخزان بين باقي الفترات.

العمود (٥): يمثل متوسط التصرف الخارج من الخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12 ويضع الرقم بين الصفين

$$Q_{out10-12} = \frac{Q_{out10} + Q_{out12}}{2} = \frac{850 + 736}{2} = 793 \text{ L/s}$$

وهكذا نحسب متوسط التصرف الخارج من الخزان بين باقي الفترات.

العمود (٦): نحسب صافي التصرف في كل مرحلة، فنحسب أولا صافي التصرف بين متوسط التصرف الداخل للخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12 وبين متوسط التصرف الخارج من الخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12

$$Q_{10-12} = Q_{in10-12} - Q_{out10-12} = 651.5 - 793 = -141.5 \text{ L/s}$$

وهكذا نحسب صافي التصرف في كل مرحلة.

العمود (٧): نحول صافي التصرف خلال الفترة إلى صافي حجم في كل مرحلة، فنحسب أولا صافي الحجم للفترة بين الساعة 10 والساعة 12 من صافي التصرف للفترة بين الساعة 10 والساعة 12 من خلال الزمن خلال الفترة وهو ساعتين

$$V_{10-12} = Q_{10-12} \times t_{10-12} = -\frac{141.5}{1000} \times 2 \times 3600 = -1018.8 \text{ m}^3$$

$$V_{12-14} = Q_{12-14} \times t_{12-14} = +\frac{311.5}{1000} \times 2 \times 3600 = +2242.8 \text{ m}^3$$

$$V_{14-16} = Q_{14-16} \times t_{14-16} = +\frac{906.5}{1000} \times 2 \times 3600 = +6526.8 \text{ m}^3$$

$$V_{16-17} = Q_{16-17} \times t_{16-17} = +\frac{1160}{1000} \times 1 \times 3600 = +4176 \text{ m}^3$$

ثم نجمع هذه التصرفات جمع جبرياً للحصول على صافي الحجم الداخل والخارج للخزان من الساعة 10 إلى الساعة 17

$$\Delta S_{10-17} = V_{10-17} = -1018.8 + 2242.8 + 6526.8 + 4176 = +11927\ m^3$$

إذاً حجم الماء في الخزان الساعة 17

$$V_{17} = V_{10} + \Delta S_{10-17} = 5000 + 11926 = 16927\ m^3$$

المثال رقم (٦, ١١)

إذا علمت بأن الاحتياجات المائية لكل ساعة لمنطقة ما في أقصى أيام الاستهلاك مبينة في الجدول التالي. وأن معدل الضخ من البئر المغذي للخزان ثابت خلال الـ ٢٤ ساعة فما هو أقل معدل ضخ مطلوب؟ وما هي سعة الخزن اللازمة (كمية المياه المسحوبة من الخزان)؟

الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)	الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)	الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)
١,٠٠	٤٥	٩,٠٠	٤٩	١٧,٠٠	٥٨
٢,٠٠	٣٨	١٠,٠٠	٥٤	١٨,٠٠	٥٩
٣,٠٠	٣٤	١١,٠٠	٥٥	١٩,٠٠	٥٩
٤,٠٠	٣٣	١٢,٠٠	٦٣	٢٠,٠٠	٥٨
٥,٠٠	٣١	١٣,٠٠	٦٥	٢١,٠٠	٥٧
٦,٠٠	٣٢	١٤,٠٠	٦٣	٢٢,٠٠	٥٩
٧,٠٠	٣٥	١٥,٠٠	٦٠	٢٣,٠٠	٥٩
٨,٠٠	٤٤	١٦,٠٠	٥٨	٢٤,٠٠	٥٦

الحل

نجمع الاحتياجات الكلية خلال اليوم أي خلال ٢٤ ساعة كما في الجدول التالي فنجد أن مجموع الاحتياجات الكلية المطلوبة في اليوم ١٢٢٤ م٣، وحيث أن معدل التصرف من البئر الذي يمد الخزان ثابت، ولتقليل التكاليف يكون أقل معدل ضخ مطلوب هو

$$1224/24 = 51\ L/s$$

وبالتالي كما يتضح من الجدول التالي هناك ساعات بها تخزين للمياه؛ لأن الاحتياجات أقل من معدل ضخ البئر (٥١ لتر/ ث) العمود (٣)، ثم في ساعات الاستهلاك الكبيرة نعود نسحب من الخزان ليعوض عجز إنتاجية

البئر عن الاحتياجات المائية كما في العمود (٤). لاحظ أن كمية الخزن الكلية في اليوم تساوي كمية المياه المسحوبة من الخزان = ١١٨ لتر/ ث. وهذا أقل حجم لسعة الخزن؛ لأن المسموح أن يكون حجم الخزن يساوي أو أكبر من المسحوب من الخزان (١١٨ لتر/ ث).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)
الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)	إضافة للخزان (+) (لتر/ ث)	سحب من الخزان (−) (لتر/ ثانية)
١,٠٠	٤٥	٦	
٢,٠٠	٣٨	١٣	
٣,٠٠	٣٤	١٧	
٤,٠٠	٣٣	١٨	
٥,٠٠	٣١	٢٠	
٦,٠٠	٣٢	١٩	
٧,٠٠	٣٥	١٦	
٨,٠٠	٤٤	٧	
٩,٠٠	٤٩	٢	
١٠,٠٠	٥٤		٣
١١,٠٠	٥٥		٤
١٢,٠٠	٦٣		١٢
١٣,٠٠	٦٥		١٤
١٤,٠٠	٦٣		١٢
١٥,٠٠	٦٠		٩
١٦,٠٠	٥٨		٧
١٧,٠٠	٥٨		٧
١٨,٠٠	٥٩		٨
١٩,٠٠	٥٩		٨
٢٠,٠٠	٥٨		٧
٢١,٠٠	٥٧		٦
٢٢,٠٠	٥٩		٨
٢٣,٠٠	٥٩		٨
٢٤,٠٠	٥٦		٥
المجموع	١٢٢٤	١١٨	١١٨

اذاً سعة الخزن الأقل ١١٨ لتر/ ث، وأقل حجم خزن

$$V_T = Q \times t = \frac{118}{1000} \times 1 \times 3600 = 424.8 \text{ m}^3$$

المثال رقم (٦, ١٢)

أوجد سرعة الترسيب V_s لجزيئات المواد العالقة الموجودة في خزان ترسيب، الماء تحت ظروف رقم رينولد أقل من ٠,٥ ($Re < 0.5$). علماً بأن قطر الجزيئات ٥×١٠$^{-٣}$ سم، وكثافتها النسبية ٢,٦٥. ودرجة حرارة الماء ٢٠م°، واللزوجة الكينماتيكية عند هذه الدرجة هي ١,٠١٠×١٠$^{-٢}$ سم^{٢}/ ث.

الحل

أولاً: الحل بمعادلة ستوك

$$V_s = \frac{g}{18}(S_s - 1)\frac{d^2}{\nu} \qquad V_s = \frac{981}{18}(2.65-1)\frac{(5\times10^{-3})^2}{1.010\times10^{-2}} = 0.222 \text{ cm/sec}$$

ثانياً: الحل بمعادلة هيزن وفي حالة قطر جزيئات أقل من ١,٠ مم (٠,٠٥ مم)

$$V_s = 418(S_s - 1)\left(\frac{3T+70}{100}\right)d^2 \qquad V_s = 418(2.65-1)\left(\frac{3\times20+70}{100}\right)0.05^2 = 2.24 \text{ mm/sec}$$

المثال رقم (٦, ١٣)

صمم خزان ترسيب مناسب لترسيب المياه الخام التي تقدر بـ ١٢ مليون لتر/ يوم. افترض بأن مدة حجز المياه في الخزان هي ٦ ساعات، وسرعة التدفق ٢٠ سم/ دقيقة.

الحل

$B = ?$ $L = ?$ $H = ?$ $Q = 12 \times 10^6$ L/day $T = 6$ hr $V = 20$ cm/s

طول الخزان

$$L = T\ V = 6 \text{ hr} \times 20\frac{\text{cm}}{\text{min}} \times \frac{60}{100} = 72 \text{ m}$$

حجم الخزان $\forall$

$$\forall = Q\ T = \frac{12\times10^6}{24\times10^3} \times 6 = 3000 \text{ m}^3$$

مساحة مقطع الخزان A

$$A = \frac{\forall}{L} = \frac{3000}{72} = 41.67 \text{ m}^2$$

بفرض عمق الماء في الخزان H يساوي ارتفاع الخزان يساوي ٤ م، فيكون عرض الخزان B

$$B = \frac{A}{H} = \frac{41.67}{4} = 10.42 \text{ m}$$

وبفرض وجود ارتفاع حر F يساوي ٠,٥ م فوق سطح الماء كعامل أمان، وبالتالي يكون أبعاد الخزان: ٤,٥ م ارتفاع، ١٠,٤٢ م عرض، ٧٢ م طول.

المثال رقم (٦,١٤)

يمر من خزان ترسيب ماء مقداره ٢ مليون لتر/ يوم، عرض الخزان ٦م، وطوله ١٥م، وارتفاع الماء فيه ٣م. أوجد:

- مدة حجز الماء لهذا الخزان.
- متوسط سرعة تدفق الماء في الخزان.
- مقدار المادة الصلبة المترسبة في الخزان لكل يوم، إذا علمت بأن تركيز المواد الصلبة العالقة في الماء تساوي ٦٠ جزء بالمليون، وكثافتها النسبية تساوي ٢، وكفاءة الترسيب للمادة الصلبة في الخزان تساوي ٧٠٪.
- معدل التدفق الفائض.

الحل

$Q = 2 \times 10^6$ L/day $B = 6$ m $L = 15$ m $H = 3$ m
$T = ?$ $V = ?$ $Ws = ?$ $Q_o = ?$
$Pp = 60/10^6$ $S_o = 2$ $Es = 70\ \%$

حجم الخزان

$$\forall = B\,L\,H = 6 \times 15 \times 3 = 270 \text{ m}^3$$

معدل التدفق

$$Q = 2\times10^6 \text{ L/day} = \frac{2\times10^6}{1000\times24} = 83.33 \text{ m}^3/\text{hr}$$

مدة الحجز

$$T = \frac{\forall}{Q} = \frac{270}{83.33} = 3.24 \text{ hr}$$

سرعة التدفق

$$V = \frac{Q}{B\cdot H} = \frac{83.33}{6\times3} = 4.63 \text{ m/hr} = 7.72 \text{ cm/min}$$

معدل التدفق الفائض

$$Q_o = \frac{Q}{B \cdot L} = \frac{83.33}{6 \times 15} = 0.926 \ m^3/hr/m^2$$

كمية المادة الصلبة في التصرف

$$Q_s = pp \times Q = \frac{60}{10^6} \times 2 \times 10^6 = 120 \ L/day$$

حجم المادة الصلبة المترسبة في اليوم

$$\forall_s = 120 \ Lit$$

وزن المادة الصلبة المترسبة في اليوم

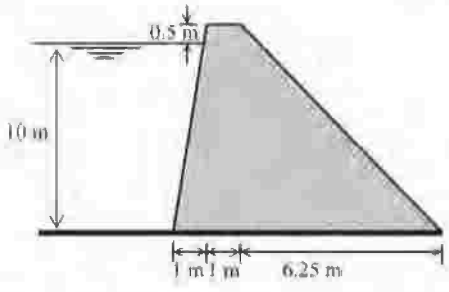
$$W_s = \gamma_s \cdot \forall_s = (2 \times 1000) \times \left(\frac{120}{1000}\right) = 240 \ kg$$

الوزن الفعلي للمادة الصلبة المترسبة

$$(W_s)_{act} = E_s \cdot W_s = 0.70 \times 240 = 168 \ kg$$

المثال رقم (٦, ١٥)

السد الموضح بالشكل التالي هو سد خرساني يحجز مياه خلفه بارتفاع ١٠م، فإذا علمت أن الوزن النوعي للخرسانة ٢٢٤٠ كجم/ م٣، احسب القوى التالية والمؤثرة على السد:



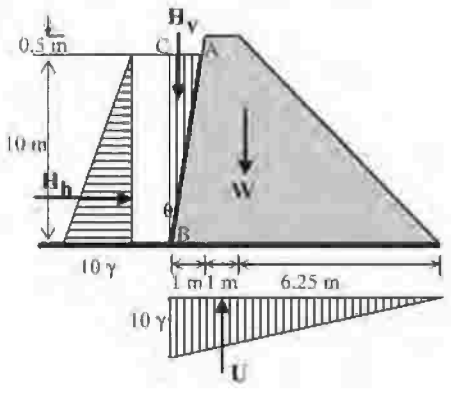
١- القوى المؤثرة لأسفل.

٢- القوى المؤثرة لأعلى.

٣- القوى الأفقية.

الحل

نرسم جميع القوى المؤثرة على جسم السد وهي قوى ضغط الماء على واجهة السد وحيث أن وجه السد مائل فهناك قوى رأسية لأسفل H_v بالإضافة للقوى الأفقية الأساسية H_h، وهناك قوى رأسية لأعلى U تؤثر على قاعدة السد لوجود الماء على جانب السد، بالإضافة لوزن السد W وهي تعتبر قوى رأسية لأسفل. وتحسب جميع هذه القوى لوحدة العرض من السد.



١- القوى الرأسية المؤثرة لأسفل:

أ) وزن السد W

$$W = V \cdot \gamma = \left[\left(\frac{8.25+1}{2}\right)\times 10.5\times 1\right]\times 2240 = 108,780 \text{ kg}$$

ب) وزن عمود الماء H_v في المساحة ABC

نحسب أولاً المسافة CA

$$\tan\theta = \frac{1}{10.5} = \frac{CA}{10} \qquad CA = \frac{1\times 10}{10.5} = 0.95 \text{ m}$$

$$H_v = V_w \cdot \gamma_w = \left[\left(\frac{8.25\times 0.95}{2}\right)\times 1\right]\times 1000 = 4,762 \text{ kg}$$

٢- القوى الرأسية المؤثرة لأعلى U:

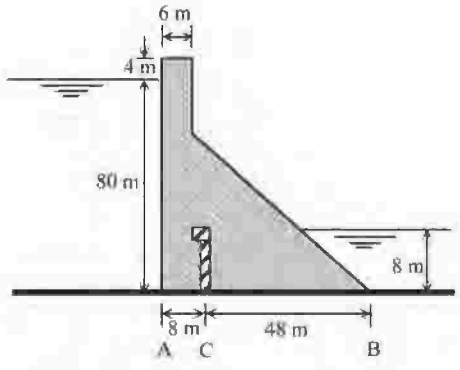
$$U = \gamma_w \left(\frac{h}{2}\right) t \cdot b = 1000\times\frac{10}{2}\times 8.25\times 1 = 41,250 \text{ kg}$$

٣- القوى الأفقية H_h:

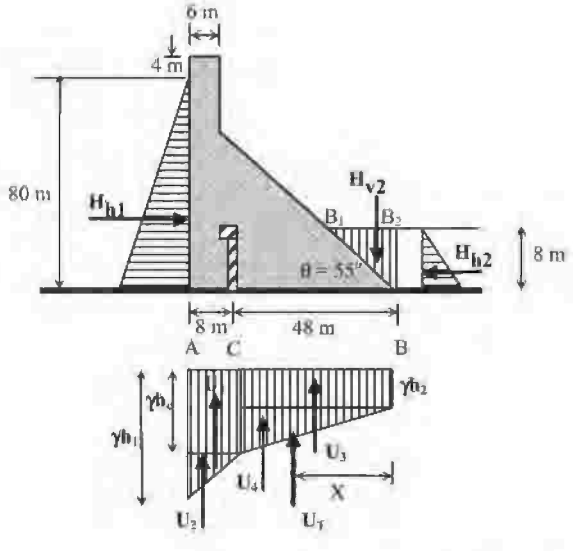
$$H_h = \frac{h^2}{2} \cdot \gamma_w \cdot b = \frac{10^2}{2}\times 1000\times 1 = 50,000 \text{ kg}$$

المثال رقم (٦, ١٦)

أوجد مقدار شدة الضغط لأعلى عند A & B وعند مصرف التخفيف في أسفل السد الخرساني المبين في الشكل التالي. ثم أوجد الضغط الكلي لأعلى وبين موقع تأثير هذه القوى على القاعدة، وقارن هذه الحالة مع حالة عدم وجود مصرف تخفيف في السد. أوجد أيضاً قوة الضغط الأفقية والرأسية إلى أسفل الناتجة عن تأثير وجود الماء على جانبي السد.



الحل



أولاً: القوى الرأسية لأعلى في حالة وجود مصرف تخفيف

شدة الضغط عند النقاط A، B، C

$$P_A = \gamma h_1 = 1000 \times 80 = 80,000 \text{ kg/m}^2$$

$$P_B = \gamma h_2 = 1000 \times 8 = 8,000 \text{ kg/m}^2$$

$$P_C = \gamma h_c$$

$$h_C = h_2 + \frac{1}{3}(h_1 - h_2) = 8 + \frac{1}{3}(80 - 8) = 32 \text{ m}$$

$$P_C = \gamma h_C = 1000 \times 32 = 32,000 \text{ kg/m}^2$$

قوى الضغط الكلي المؤثرة لأعلى:

$$U_1 = \gamma h_c \times AC \times b = 1000 \times 32 \times 8 \times 1 = 256,000 \text{ kg}$$

$$U_2 = \gamma \frac{(h_1 - h_c)}{2} \times AC \times b = 1000 \times \frac{(80-32)}{2} \times 8 \times 1 = 192,000 \text{ kg}$$

$$U_3 = \gamma h_2 \times CB \times b = 1000 \times 8 \times 48 \times 1 = 384,000 \text{ kg}$$

$$U_4 = \gamma \frac{(h_c - h_2)}{2} \times CB \times b = 1000 \times \frac{(32-8)}{2} \times 48 \times 1 = 576,000 \text{ kg}$$

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \quad U_T = 256,000 + 192,000 + 384,000 + 576,000 = 1408,000 \text{ kg}$$

موقع تأثير القوى الكلية U_T:

بأخذ العزوم حول أي نقطة A أو B وليكن B

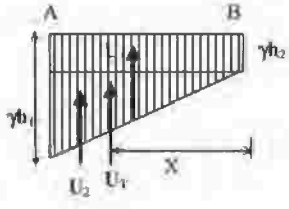
$$1408,000\ (X) = 256,000(48+4) + 192,000\left(48 + \frac{2}{3} \times 8\right) + 384,000(24) + 576,000\left(\frac{2}{3} \times 48\right)$$

$$X = 36.4 \text{ m}$$

ثانياً: القوى الرأسية لأعلى في حالة عدم وجود مصرف تخفيف

$$U_1 = \gamma h_2 \times AB \times b = 1000 \times 8 \times 56 \times 1 = 448,000 \text{ kg}$$

$$U_2 = \gamma \frac{(h_1 - h_2)}{2} \times AB \times b = 1000 \times \frac{(80-8)}{2} \times 56 \times 1 = 2016,000 \text{ kg}$$



$$U_T = U_1 + U_2 = 448,000 + 2016,000 = 2464,000 \text{ kg}$$

موقع تأثير القوى الكلية U_T:

بأخذ العزوم حول أي نقطة A أو B وليكن B

$$2464,000\ (X) = 448,000\left(\frac{56}{2}\right) + 2016,000\left(\frac{2}{3} \times 46\right)$$

$$X = 35.6 \text{ m}$$

وبمقارنة الحالتين، يتضح أن حالة وجود مصرف تخفيف فإن القوى الكلية التي تعمل على رفع جسم السد لأعلى أقل بكثير من حالة عدم وجود مصرف بفرق يساوي

$$\Delta U_T = 2464,000 - 1408,000 = 1056,000 \text{ kg}$$

أي وجود مصرف تخفيف أدى لنقصان في القوى لأعلى بنسبة

$$\%\Delta U_T = \frac{1056,000}{2464,000} \times 100 = 43\%$$

أما القوى الأخرى الأفقية أو الرأسية لأسفل لا تتأثر بوجود المصرف أو عدم وجوده.

قوى الضغط الرأسية إلى أسفل نتيجة تأثير الماء خلف السد

- وزن عمود الماء في المساحة BB_1B_2

نحسب أولاً المسافة B_1B_2

$$\tan 55 = \frac{8}{B_1B_2} \qquad B_1B_2 = 5.6 \text{ m}$$

$$H_v = V_w \cdot \gamma_w = \left[\left(\frac{5.6 \times 8}{2}\right) \times 1\right] \times 1000 = 22,400 \text{ kg}$$

قوى الضغط الأفقية نتيجة تأثير الماء أمام السد

$$H_{h1} = \frac{h_1^2}{2} \cdot \gamma_w \cdot b = \frac{80^2}{2} \times 1000 \times 1 = 3200,000 \text{ kg}$$

قوى الضغط الأفقية نتيجة تأثير الماء خلف السد

$$H_{h2} = \frac{h_2^2}{2} \cdot \gamma_w \cdot b = \frac{8^2}{2} \times 1000 \times 1 = 32,000 \text{ kg}$$

(٦,١١) مسائل منوعة

١ - أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع إذا كانت كمية الاستخدام المنزلي للمياه في السنة الواحدة ٢٠ م^3 باعتمادية ٩٥٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٩٥٪ تكون ١٨٠ مم، استخدم سطح من البلاط بمساحة ٦٠ م^2 وسطح مبطن بالخرسانة كمستجمعات لمياه الأمطار. وكانت كفاءات تجميع مياه الأمطار لسطح البلاط ولسطح مبطن بالخرسانة ٠,٤٥ ، ٠,٧٥ على الترتيب.

٢- إذا كانت كمية الاستخدام المنزلي للمياه في السنة الواحدة ١٦م٣ باعتمادية ٨٠٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٨٠٪ تكون ٢٧٥ مم، استخدم سطح من البلاط بمساحة ٧٥ م٢ وسطح مبطن بالخرسانة كمستجمعات لمياه الأمطار. وكانت كفاءات تجميع مياه الأمطار لسطح من البلاط ولسطح مبطن بالخرسانة ٥٥ , ٠ و ٦٥ , ٠ على الترتيب. أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع. وإذا استخدم مياه لغرض الري بمقدار ٢٨م٣ باعتمادية ٧٠٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٧٠٪ تكون ٣٠٢مم، واستخدم السطح مبطن بالخرسانة لتجميع مياه الري اوجد المساحة الكلية لهذا السطح.

٣- إذا كانت شدة سقوط الأمطار (I) على مستجمع لحصاد مياه الأمطار مصنوع من تربة كلسية والنوع الآخر من قرميد إسمنتي ٠٥ , ٠ مم/ دقيقة وكمية مياه الأمطار الساقطة (R) عليهما ٣٠ مم و ٢٥ مم على الترتيب، وإذا استخدم كمية مياه مقدارها ٣٠ م٣ لغرض الري باعتمادية ٨٠٪ ومقسم بالتساوي بين نوعين التبطين للمستجمع وكانت كمية الأمطار التصميمية (Rp) بهذه الاعتمادية ٢٨٠ مم أوجد كفاءة التجميع لمياه الأمطار، والمساحة الكلية لهذا السطح.

٤- أوجد كفاءة التجميع لمياه الأمطار وكمية الجريان السطحي لمستجمع مصنوع من تربة مضغوطة بميل ٢٪ محتواها الرطوبي ١٥٪ ومعدل شدة سقوط الأمطار ٢ , ٠ مم/ دقيقة وكمية مياه الأمطار الساقطة ٤٥ مم وإذا كان حجم الماء المخزن ١٧ م٣ لهذا المستجمع بمتوسط مساحة لسطح الماء ٢٠م٢ ومقدار البخر اليومي ٥ مم والتغير في مستوى الماء بمقدار ٤سم، أوجد الحجم الكلي للتغذية الجوفية من المستجمع وكذلك كفاءة التغذية الجوفية للمستجمع.

٥- تم تقدير تكلفة إنشاء سد عند ارتفاعات مختلفة كما هو مبين في الجدول التالي، المطلوب اختيار الارتفاع الاقتصادي الأمثل، مع رسم العلاقة بين ارتفاع السد (محور أفقي) والتكلفة لكل وحدة خزن (محور رأسي).

الحالة	ارتفاع السد (متر)	تكلفة الإنشاء (مليون دولار)	الخزن (مليون م٣)
١	١٠	٤	٥٠
٢	٢٠	٨	١١٠
٣	٣٠	١٢	١٨٠
٤	٤٠	١٨	٢٥٠
٥	٥٠	٢٧	٣٥٠
٦	٦٠	٣٩	٥٠٠
٧	٦٥	٥٠	٦٠٠

٦- مستجمع سطحه مصنوع من البلاستيك المغطى بالرمال واقع في منطقة ما وسجلت بيانات سقوط الأمطار في كل ١٠ أيام من شهر يناير حتى شهر إبريل كما في الجدول الموضح وكان حجم المياه في بداية هذه الفترة ٥٢١٠ م٣ ومقدار إمداد المياه لغرض الري ٥٥٠ م٣، احسب السعة التخزينية لهذا المستجمع في هذه الفترة:

تاريخ التسجيل	الأمطار الساقطة (مم)	شدة سقوط الأمطار (مم/ دقيقة)
١٠ يناير	١٩,٢	٠,١٠٢٠
٢٠ يناير	٢٦,٣	٠,١٢٣٠
٣٠ يناير	١٧,٠	٠,١١١٠
١٠ فبراير	١٢,٥	٠,٠٩٥٠
٢٠ فبراير	١١,٤	٠,٠٨٩٠
٢٨ فبراير	١٠,٠	٠,٠٧٤٠
١٠ مارس	١٣,٠	٠,٠٩٠٠
٢٠ مارس	٩,٦	٠,٠٦٨٠
٣٠ مارس	٨,٨	٠,٠٥٩٠
١٠ ابريل	٥,٢	٠,٠٣٠٠
٢٠ ابريل	٣,٢	٠,٠٠١٨
٣٠ ابريل	٢,٣	٠,٠٠١٧

٧- الجدول التالي يبين قياسات تدفق الماء من وإلى أحد الخزانات المائية، حدد مقدار حجم الماء الموجود في الخزان عند الساعة الخامسة بعد الظهر إذا علمت أن حجم الماء في الخزان الساعة العاشرة صباحاً كان ٥٠٠٠م٣.

التصرف الخارج من الخزان (لتر/ ثانية)	التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ ثانية)	الوقت (دقيقة:ساعة)
٨٥٠	٥٦٧	١٠:٠٠
٧٣٦	٧٣٦	١٢:٠٠
٥٦٧	١١٩٠	١٤:٠٠
٣٤٠	١٥٣٠	١٦:٠٠
٢٣٠	١٣٦٠	١٨:٠٠
٢٣٠	١٠٠٠	٢٠:٠٠

٨- إذا علمت بأن الاحتياجات المائية لكل ساعة لمنطقة ما في أقصى أيام الاستهلاك مبينة في الجدول التالي، فإذا علمت أن معدل الضخ من البئر ثابت خلال الـ ٢٤ ساعة فما هم أقل معدل ضخ مطلوب؟ وما هي سعة الخزن اللازمة (كمية المياه المسحوبة من الخزان)؟

الوقت في نهاية الساعة	الاحتياجات (لتر/ ثانية)	الوقت في نهاية الساعة	الاحتياجات (لتر/ ثانية)	الوقت في نهاية الساعة	الاحتياجات (لتر/ ثانية)
١:٠٠	٤٥	٩:٠٠	٤٩	١٧:٠٠	٥٨
٢:٠٠	٣٨	١٠:٠٠	٥٤	١٨:٠٠	٥٩
٣:٠٠	٣٤	١١:٠٠	٥٥	١٩:٠٠	٥٩
٤:٠٠	٣٣	١٢:٠٠	٥٨	٢٠:٠٠	٦٢.٥
٥:٠٠	٣١.٥	١٣:٠٠	٥٧	٢١:٠٠	٦٥
٦:٠٠	٣٢	١٤:٠٠	٥٩	٢٢:٠٠	٦٣
٧:٠٠	٣٥	١٥:٠٠	٥٩	٢٣:٠٠	٦٠
٨:٠٠	٤٤	١٦:٠٠	٥٨	٢٤:٠٠	٥٦

٩- خزان أنشئ على جدول معدل حجم السنوي فيه ٥٠٠٠ هكتار.متر، زمن القياسات تبين بأن متوسط الرسوبيات الداخلة إلى الخزان سنوياً تساوي ٢٨٠٠٠٠ طن، والوزن النوعي لهذا الرسوبيات ١,٢ طن/ م٣، علماً بأن حجم الخزان الأولي ٢٥٠٠ هكتار.متر. احسب عمر الخزان الافتراضي المتوقع، علماً بأن حياة الخزان الفعلية تنتهي عندما يمتلئ الخزان بمقدار ٨٠٪ من سعته الأولى بالمواد الرسوبية.

١٠- احسب العمر الافتراضي المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٤٠٠٠ هكتار.متر، إذا كان المعدل السنوي للماء الداخل إلى الخزان يقدر بحوالي ٨٠٠٠ هكتار.متر، علماً بأن المعدل السنوي للترسبات الداخلة في الخزان تقدر بحوالي ٢٠٠٠٠٠ طن، مع العلم أن الوزن النوعي للمواد المترسبة يساوي ١,١٢ طن/ م٣، وتنتهي الاستفادة من هذا الخزان عندما يمتلئ ٨٠٪ من حجمه الأولي بالمواد المترسبة.

١١- احسب العمر الافتراضي المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٢٠ مليون م٣، إذا كان المعدل السنوي للمياه الداخلة إلى الخزان يقدر بحوالي ٥٠٠ مليون م٣، والمعدل السنوي للترسبات الداخلة في الخزان ٠,٤ مليون طن، والوزن النوعي للمواد المترسبة يساوي ١,١٢ طن/ م٣، وتنتهي الاستفادة من هذا الخزان عندما يمتلئ ٧٠٪ من حجمه الأولي بالمواد المترسبة.

١٢- يمر من خزان ترسيب ماء مقداره ٦ مليون لتر/ يوم، عرض الخزان ١٠ م، وطوله ٣٠ م، وارتفاع الماء فيه ٣ م، أوجد ما يلي:

أ) مدة حجز الماء لهذا الخزان.

ب) سرعة تدفق الماء في الخزان.

ج) معدل تدفق الفائض.

د) مقدار المادة الصلبة المترسبة في الخزان لكل يوم، إذا علمت بأن تركيز المواد الصلبة العالقة ٤٨ جزء في المليون، وكثافتها النسبية ١,٨، وكفاءة إزاحة المادة الصلبة من الحوض ٧٥٪.

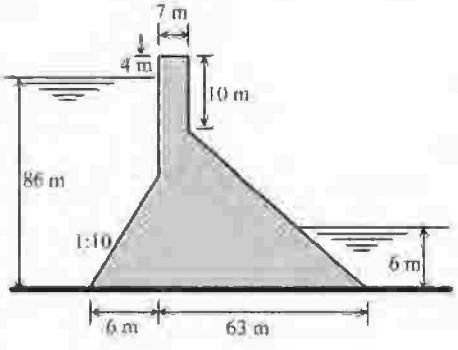
١٣- خزان ترسيب مستطيل الشكل يستخدم لتنقية ١,٨ مليون لتر لكل يوم من المياه الخام، مدة الترسيب تساوي ٤ ساعات، وسرعة التدفق ٨ سم/ دقيقة، عمق الماء في المنطقة التي تتجمع فيها المواد الرسوبية يساوي ٢,٤م. فإذا تم تقدير سمك المادة المترسبة بمقدار ٢,١ م، احسب: طول الخزان، عرض الخزان.

١٤- خزان ترسيب دائري مجهز بمعدات ميكانيكية لإزالة المواد المترسبة يستخدم لتصفية ٣,٥ مليون لتر/ يوم ماء خام. فإذا كانت مدة حجز الماء في الخزان ٥ ساعات، وعمق الخزان ٣ م، كم يكون قطر الخزان؟

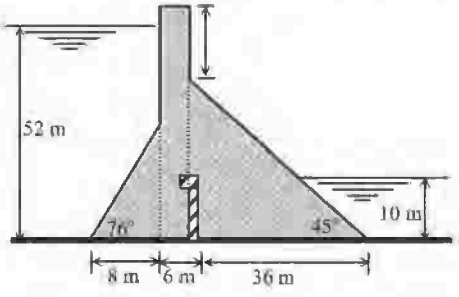
١٥- خزان ترسيب من النوع المستمر، عمقه ٣ م وطوله ٦٠ م، كم هي سرعة تدفق الماء التي يمكن أن توصي بها لإزالة الجزيئات بشكل فعال أقطارها ٠,٠٢٥ مم عند درجة حرارة ٢٥م°. الكثافة النسبية لجزيئات المادة الصلبة العالقة ٢,٦٥، واللزوجة الكينماتيكية ٧ للماء ٠,٠١ سم٢/ ث.

١٦- خزان ترسيب مستطيل الشكل يستوعب ١٠ مليون لتر/ يوم من الماء الخام، وخزان آخر مقترح لحجز المياه لترسيب الجزيئات التي يكون قطرها أكبر من ٠,٠٤ مم، ونسبة عرضه إلى طوله يساوي ١/ ٣. افترض بأن الكثافة النسبية للمادة العالقة تساوي ٢,٦٥ عند درجة الحرارة ٢٠ م°. أوجد أبعاد الخزان، إذا علمت أن عمق الخزان ٣,٥ م، واحسب مدة الحجز.

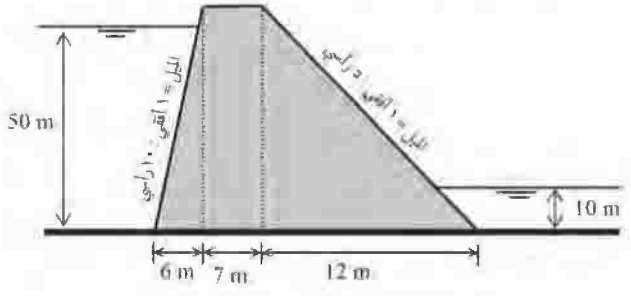
١٧- أوجد مقدار القوى الأفقية والعمودية المؤثرة على السد المبين مقطعة في الشكل والمقترح إنشائه من الخرسانة، الوزن النوعي للخرسانة يساوي ٢,٤ طن/ م٣.



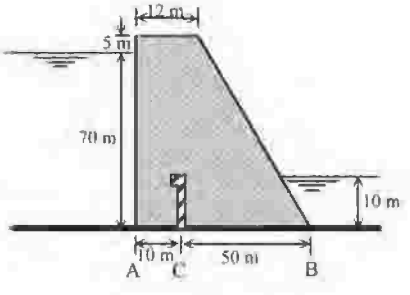
١٨- أوجد مقدار شدة الضغط الدافعة إلى الأعلى عند النقطة A و B و C الواقعة في أسفل السد الخرساني المبين مقطعه في الشكل أدناه، ثم أوجد القوى المؤثرة للأعلى، وبين موقع تأثيرها على القاعدة من النقطة B. ثم أوجد القوى الأفقية والرأسية إلى أسفل الناتجة عن تأثير الماء على جانبي السد.



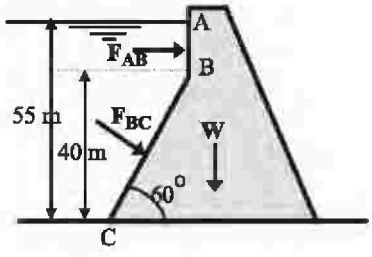
١٩- أوجد القوة الأفقية والرأسية الناتجة من تأثير الماء على السد الموضح بالشكل.



٢٠- أوجد مقدار شدة الضغط لأعلى عند A & B وعند مصرف التخفيف في أسفل السد الخرساني المبين في الشكل التالي. ثم أوجد الضغط الكلي لأعلى وبين موقع تأثير هذه القوى على القاعدة، وقارن هذه الحالة مع حالة عدم وجود مصرف تخفيف في السد. أوجد أيضاً قوة الضغط الأفقية والراسية إلى أسفل الناتجة عن تأثير وجود الماء على جانبي السد.



٢١- أوجد مقدار قوة ضغط الماء على جانب السد الموضح بالشكل لوحدة العرض. وإذا كان وزن السد W يساوي ٤٨ طن. احسب مجموع القوة الأفقية والرأسية المؤثرة على السد.



٢٢- أوجد مقدار قوة ضغط الماء على جانب السد ABC الموضح بالشكل إذا علمت أن عرض السد ٨٠ م.