الفصل التاسع

استخدام المياه فى الرى والطاقة

Water use in Irrigation and Power

١- أهمية كفاءة استخدام المياه:

الماء ضروري للنبات بسبب ضرورة أخذ النبات لكميات مختلفة من المـــاء فـــي المراحل المختلفة لنمو النبات. في حالة عدم الإمداد الموقـــوف للنبـــات بالمـــاء فإنـــه يعرض لتأثيرات ضارة، التي ينتج عنها انخفاض المحصول. فلقد وجـــد أن الإنتاجيـــة الحالية لأنواع الحاصلات مثل الحنطة ترتبط بتوقيت وكمية المياه بسبب أن إنتاجيتهـــا أو معدل النمو يكون أسرع، ذلك رغم أنها لا تحتاج ماء زائد عن الأنـــواع التقليديـــة. يجب معرفة أن استخدام الأسمدة الأساسي للأنواع الجديدة فإنه لا يزيد من متطلبـــات الماء للحاصلات الزراعية ولكن يحقق زيادة في الإنتاج بكمية معينة من الماء، لـــذلك فإن كفاءة الماء تزداد باستخدام الأسمدة.

٢- المصطلحات الأساسية وهى:

أ- استهلاك المستخدم (Cu) (Consumptive use)

الاستهلاك هو كمية المياه المستخدمة بواســـطة النبـــات لأداء نـــشاطه الأيـــضي (Metabolic) وتلك المفقودة بسبب البخر والنتح. نظرًا لأن الماء المستخدم في أيـــض النبات يكون مهملاً لكل الأغراض العملية، فإن استهلاك المستخدم يساوي عدديًا البخر والنتح (Evapotranspiration).

أو $C_u = E_T$

وهذا يقدر عمومًا بعمق الماء بالملليمتر.

ب- سقوط المطر المؤثر (R_e) (Effective Rain Fall)

سقوط المطر المؤثر هو الترسيب الساقط خلال فترة النمو للمحصول والذي يكون متاحًا لمطابقة متطلبات البخر والنتح للمحصول. ولا يشمل الترسيب الذي يفقد سواء بالتدفقات فوق سطح الأرض (Run off) أو التسرب العميق أسفل منطقة الجذور للنبات.

جـ- الحمل لرطوبة التربة (Carry-Over Soil Moisture)

الحمل لرطوبة التربة هو الرطوبة المخزنة في عمق منطقة الجذور في التربة قبل زراعة المحصول. هذه الرطوبة تساهم كذلك في تحقيق متطلبات البخر والنتح للنبات.

د - معامل الذبول (Wilting Coefficient)

معامل الذبول هو نسبة المحتوى من المياه بالوزن التي عندها يذبل النبات أو يهن. النباتات عموماتهن (Droop) عندما يزيد معدل النتح (فقد النبات للماء خلال الأوراق) عن المعدل الذي عنده يمكن للجذور أن تمتص الرطوبة من التربة وتنقلها إلى الأوراق. النباتات تذبل باستمرار عند نقص المياه، عندما يكون دفع الجذور ليس كبيرًا بما يكفي للحصول على الماء الطافي في الوقت المناسب لمنع حدوث الذبول. كمية الرطوبة في التربة في هذه الحالة تسمى نسبة الذبول المستديم (Percentage of Perpanent Wilting). وهي تكون عالقة بقوة (١٥ جوي).

هـ- كفاءة الري (Irrigation Efficiency) (η):

كفاءة الري هي نسبة مياه الري المستخدمة المخزنة في التربة والمتاحة لاستخدام الاستهلاك بواسطة النبات. عند قياس الماء عند دخول الحقل، فإنه يسمى كفاءة الري الحقلي(Farm Irrigation Efficiency).

و- متطلبات مياه الري Irrigation water requirement (IR)

هي مياه الري المطلوب استخدامها لإنجاح نمو الحاصلات. ويتم الحصول عليها بقسمة صافي متطلبات الري على كفاءة الري.

$$I_R = \frac{N_{IR}}{I_\eta}$$

حيث:

N_{IR} = هو صافي ماء الري المطلوب ويمكن تعريفه بعمق مياه الري بخلاف الترسيبات، ومخزون رطوبة التربة أو المياه الأرضية اللازمة لتلبية متطلبات حاجة النبات للنتح والبخر.

٢- علاقة المحصول والماء: (Pertaining to Crop and Water)

الفترات الحرجة لنمو المحصول:

تلك هي فترات أو مراحل محددة خلال موسم النمو والتي تحدث النمو الواضح في النبات. أي نقص في محتوى التربة من الرطوبة المتاحة خلال تلك الفترات سوف يكون له تأثير ضار على إنتاجية المحصول. لذلك، فإن تلك تعرف بالفترات الحرجة لنمو الحاصلات الزراعية. (Critical Peroids of crop Growth). فى حالة القمح فإنها تكون سبعة مراحل للنمو وهى:

النتوء والبروز (Emergence) – ٢٥ يوم

ظهور أعلى الجذر (Grownroot Development) – ٢٠ يوم

الحرث - Tillering – ٢٠ يوم

القلق Jointing – ٢٠ يوم

امتلاء الحبة Grain Filling – ٥٠ يوم

إجمالي فترة النمو = ١٣٥ يوم

من هذه تعتبر الفترات الحرجة هي النتوء والبروز وظهور جذور النبات، الحرث، امتلاء الحبة. من المهم أن الري يجب أن يتم توفيره خلال الفترات الحرجة لإزالة نقص الرطوبة في التربة.

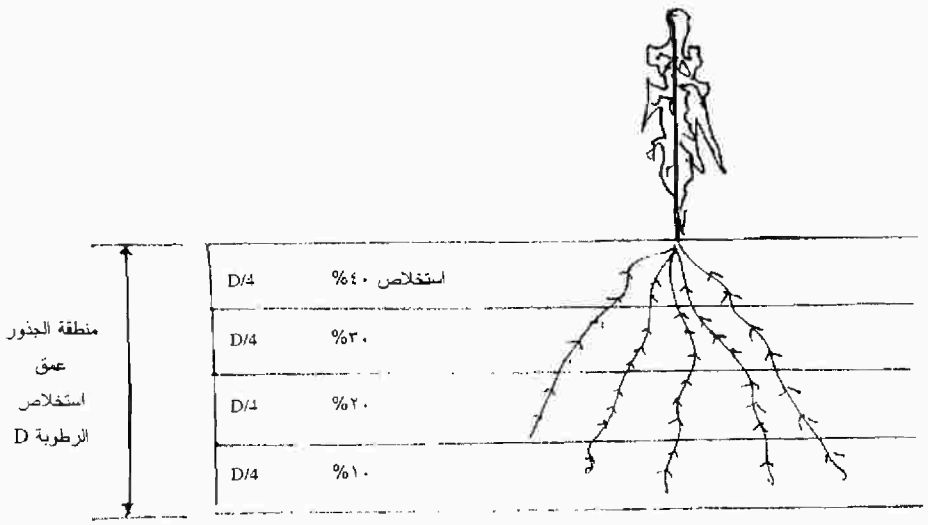
عمق منطقة الجذور(Root zone Depth)

عمق منطقة الجذور هو العمق الذي تخترقه جذور النبات في التربة لتنمية نظامها الجذري. من المهم أن يتم توفير الرطوبة للتربة في الجوار الملاصق لجذور النباتات لتتمكن من سحب الماء اللازم لنموها. عمق منطقة الجذور يعتمد أساسًا على أنواع المحاصيل والتربة. بينما تخترق جذور الذرة، القطن، والحنطة التربة الصلبة ذات النفاذية إلى عمق، ١,٠ متر، فإن قصب السكر يصل عمق اختراقه إلى ٢ متر. من الملاحظ أن جذور معظم الحاصلات في عمق أكبر في التربة الرملية عنها في حالة التربة الطفلية.

عمق منطقة الجذور لاستخلاص الرطوبة:

Root zone moisture Extraction Depth (D)

هو العمق لمنطقة الجذور للنبات الذي منه يستخلص النبات الرطوبة من جذوره. الإطار العام للاستخلاص في التربة المتجانسة حيث الرطوبة المتاحة موضحة في الشكل (٩/١) يبين أن حوالي ٤٠% من الرطوبة المستخلصة تأتي من الربع العلوي لمنطقة الجذور، ٣٠% من الربع الثاني و٢٠% من الربع الثالث و١٠% من الربع عند قاع منطقة الجذور. القيم لمختلف الحاصلات تقع في المجال من ± ١٠%. يجب ملاحظة أن عمق استخلاص الرطوبة لمنطقة الجذور يساوي عدديًا عمق منطقة الجذور. ولكن، لتعيين متطلبات مياه الري، فإن عمق التربة يكون هو العمق الذي يمكن جذور النبات متوسط النضج من استخلاص رطوبة التربة إلى الحد من استبداله بالري.



شكل (٩/١) الإطار العام لإستخلاص الرطوبة فى منطقة الجذور

مستوى الرطوبة (Moisture level)

الإنتاج المحصولي يقاسي بسبب نقص الرطوبة في التربة، الهدف الرئيسى من الري هو التغلب على نقص الرطوبة وذلك بتوفير الرطوبة عند الجذب المنخفض الكافي (Sufficiently low Tension) خلال منطقة الجذور لمحصول معين. لذلك فإنه يكون من الضروري استمرار أدنى مستوى من الرطوبة بنسبة ٥٠% لمعظم المحاصيل. هذا يعني أنه في حالة هبوط مستوى الرطوبة في التربة إلى ٥٠%، فإنه يجب استخدام الري. إذا كان عند كل ري يتم الوصول للتربة إلى أقصى طاقة حقلية (١٠٠% لرطوبة التربة المتاحة)، عندئذ يتم تأكيد مستوى الرطوبة ما بين الطاقة الحقلية و ٥٠% في كل الأوقات. الأداء العادي للري هو المحافظة على مستوى الرطوبة في فصل الربيع عند ٥٠% من مستوى رطوبة التربة المتاحة بعد الرية الأولى لنمو المحصول. في فصل الخريف وفي فصل الشتاء فإن الأمطار قد تصل بنسبة الرطوبة إلى ما يزيد عن ١٠٠% من مساحة المحصول. في هذه الحالة، يتم الري فقط عند هبوط مستوى الرطوبة إلى حوالي ٦٠ – ٧٠ من الرطوبة المتاحة.

٣- علاقة الرى والأرض (Pertaining To irrigation on Land)

إجمالى الإدارة للمساحة: (Gross Commanded Area) (GCA)

وهذه تعرف بإجمالي المساحة المروية التي يمكن إدارتها بقناة الري. مثل هذه المساحة تكون عادة محصورة على الأجناب بالصرف الذي خلاله لا يمكن وصول أي ري آخر. علاقة الري بالأرض تشمل المساحة غير المزروعة مثل البرك، الغابات، والأرض القلوية والقاحلة والطرق والمنازل.. الخ.

مساحة الخدمة الزراعية (CCA – Culturable commanded Area)

وهذه هي المساحة الزراعية المخدومة بقناة الري التي تمكن من النمو الكافي للنبات. مساحة الخدمة الزراعية تتحدد بطرح كل الأرض القابلة للزراعة من إجمالي الأرض التي يمكن إدارتها بقناة الرى. Vi:

GCA = CCA – المساحة غير المزروعة من GCA

كثافة أو شدة الرى: (Intensity of Irrigation)

كثافة أو شدة الري هي نسبة المساحة الزراعية المخدومة بقناة الرى (CCA) والمقترح ريها سنويًا. حيث الري يتم طبقًا لفصل المحصول أي الربيع أو الخريف، فإن التعريف المحدد لكثافة الري هو نسبة المساحة الزراعية المروية (CCA) في نفس الوقت في موسم محصول واحد.

نسبة المحصول (Crop Ratio)

هي نسبة المساحات المحصولية للخريف والربيع وهي تسمى كذلك نسبة إلى الخريف وإلى الربيع.

تجاوز التطابق (Overlap Allowance)

الحاصلات من موسم ما قد تمتد إلى موسم آخر. عند وجود مثل هذا التطابق فإن كلا الموسمين يحتاج إلى الماء في نفس الوقت، مما خلق زيادة الطلب على الماء.

لتوفير هذه الزيادة، فإن تجاوز التطابق بمقدار ٥% من صرف قناة الماء يتم تـوفيره. هذا يعْني أن صرف القناة يزداد بنسبة ٥% لهذه الفترة من التطابق.

معامل السعة (Capacity Factor)

معامل السعة هو نسبة متوسط الصرف للقناة عند نقطة الصرف الكامل للإمـداد المقرر أو سعة القناة عند تلك النقطة. كامل السعة يتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٠,٩

الدلتا (Δ) (Delta):

الدلتا هي عمق الماء الذي ينتج فوق مساحة معينة عند الري من صـرف معـين لطول زمن معين. تحديدًا، الدلتا هي عمود الماء اللازم لنضج المحصول خلال فتـرة نموه. ويعبر عنه عادة بالسنتيمتر.

القيم المتوسطة لدلتا بعض الحاصلات الهامة.

متوسط الدلتا لمختلف الحاصلات

المحصول		دلتا (سم)
أ- الربيع	القمح	٣٥ – ٦٠ سم
	العلف	٣٠ – ٥٠ سم
ب- الخريف	الأرز	١٢٠ – ١٨٠سم
	الذرة	٤٥ – ٦٠ سم
	القطن	٥٠ – ٧٥ سم
	قصب السكر	١٤٠ – ٢٠٠ سم

الفترة الأساسية: (B) (Base Period)

الفترة الأساسية هي الفترة الزمنية بالأيام ما بين أول ري بالماء للمحـصول فـي وقت نثر البذور إلى آخر ريه قبل الحصاد.

المقنن: Duty (D):

المقنن هو العلاقة بين كمية الماء والمساحة التي يتم استخدام هذه الكمية من المياه عليها للمحصول الجاري نموه. بمعنى آخر فإن المقنن هو عدد الهكتارات لمحـصول

معين إلى حالة النضج بالإمداد المستمر للمتر المكعب من الماء على الهكتار (ICu mec.) المتدفق باستمرار فى الفترة الأساسية.

مقنن مياه القناة قد يكون عاليًا أو منخفضًا طبقًا لمكان نقط التحكم. المقنن العالي يعني أن كمية صغيرة من الماء يمكن أن تنضج مساحة كبيرة نسبيًا للمحصول والمقنن المنخفض يحدث عندما يكون العكس صحيح أي كمية كبيرة من الماء تنضج مساحة محصول صغيرة نسبيًا. عند حساب مقنن مياه القناة عند بداية الشغل (Head of Work)، فإنها تسمي المقنن الكلي (Cross Duty) الذي هو مقنن منخفض. ولكن المقنن المحسوب عند المخرج يسمى معامل الخروج (Outlet Factor)، وهو مرتفع. ذلك لأن كمية كبيرة من الماء تفقد أثناء الرحلة من بداية الشغل إلى قناة الحقل بحيث أن الماء المتاح للري عند الطرف النهائي (Tail End) يكون أقل كثيرًا والمساحة المطلوب زراعتها تكون أكبر كثيرًا.

العلاقة بين المقنن (D) والفترة الأساسية (B) ودلتا (Δ) تم استنتاجها كالآتي:

<u>من خلال تعريف المقنن والدلتا:</u>

١ متر مكعب / الثانية من الماء لعدد (B) يوم يعطي عمق (Δ) متر فوق (D) هكتار من الأرض.

أو ١ متر مكعب / الثانية لمدة يوم واحد تعطي عمق (Δ) متر فوق $\frac{D}{B}$ هكتار.

أو ١ متر مكعب / الثانية لمدة يوم واحد تعطي $\frac{D \times \Delta}{B}$ هكتار. متر ماء الآن:

١ متر مكعب/ الثانية من الماء المتدفق لمدة يوم يقيس:

١ × ٦٠ × ٦٠ × ٢٤ = ٨٦٤٠٠ متر مكعب من الماء

= ٨٦٤٠٠ متر مربع × متر

واحد هكتار = ١٠٠٠٠ متر مربع.

∴ ١ متر مكعب / الثانية = $\frac{86400}{10000}$ = ٨,٦٤ هكتار متر

وحيث أن ١ متر مكعب / الثانية لمدة يوم واحد تعطي:

$$\text{هكتار متر ماء} = \frac{D \times \Delta}{B}$$

$$\therefore \frac{D \times \Delta}{B} = ٨,٦٤$$

$$\therefore D = \frac{B\ 8.64}{\Delta}$$

حياة الري: (Irrigation Watering)

الرية الأولى أو رية التحاريق (Poleo)

وهي الرية الأولى قبل نثر البذور بهدف إضافة إلى الكامن إلى المنطقة غير المشبعة من التربة للنمو الأولى للمحصول.

الرية الأولى بعد نمو النبات إلى عدة سنتيمترات أو التي تسمى الرية الثانية من البداية أو رية المحاياه (Kor watering). وهذه عمومًا تتطلب أقصى عمق للماء ويسمى عمق ماء المحاياه (Kor).

ولذلك فإنه هام لتصميم قنوات الري – فترة الري هذه تسمى فترة المحاياه (Kor period).

مثال:

مجرى مائي له GCA = ١٢٥٠ هكتار، CCA = ٨٠% من GCA. كثافة الري لمحصول القمح هي ٤٥% وللأرز ٣٠%. القمح له فترة ري المحاياه (Kor Peroid) ٢٨ يوم بينما الأرز له ٢٠ يوم مع إهمال الفقد، احسب الصرف الخارج. عمق ريه المحاياه للقمح والأرز هي ١٢سم، ٢٠سم على التوالي.

الحل:

GCA = ١٢٥٠ هكتار

CCA = ١٢٥٠ × ٠,٨ = ١٠٠٠ هكتار.

المساحة المروية للقمح = ١٠٠٠ × ١٠٠/٤٥ = ٤٥٠ هكتار.

المساحة المروية للأرز= ١٠٠٠ × ٣٠ / ١٠٠ = ٣٠٠ هكتار

إعادة كتابة المعادلة = $D = \frac{8.64\,B}{\Delta}$

المقنن أو معامل الخروج = $\frac{\text{٨٠٦٤ × فترة ري المحاياه بالأيام}}{\text{عمق مياه المحاياه بالمتر}}$

Duty For wheat المقنن للقمح = $\frac{٢٨ \times ٨,٦٤٠}{٠,١٢}$ = ٢٠١٦ هكتار/متر مكعب/الثانية

Duty For Rice المقنن للأرز = $\frac{٢٠ \times (٨,٦٤)}{٠,٢}$ = ٨٦٤ هكتار/متر مكعب/الثانية

الصرف عند المخرج = $\frac{\text{المساحة المروية}}{\text{المقنن}}$

الصرف عند المخرج للقمح = $\frac{٤٥٠}{٢٠١٦}$ = ٠,٢٢ متر مكعب/ثانية

الصرف عند المخرج للأرز = $\frac{٣١٠}{٨٦٤}$ = ٠,٣٦ متر مكعب/ثانية

استخدام مياه الري (Application of Irrigation Water)

المشكلة الأساسية المتعلقة بالاستخدام الكفؤ للمياه في الري هو تأكيد كمية المياه المطلوب استخدامها وأفضل وقت للري. من المهم أن الكمية الصحيحة من الماء يتم استخدامها طبقًا لحاجة المحصول بما يحقق أفضل نمو للمحصول وإعطاء أقصى إنتاجية. في حالة استخدام الماء الزائد عن الحاجة للوصول إلى مستوى الرطوبة للتربة طبقًا لقدرة الحقل، فإن الماء الزائد يفقد إما بالتسرب العميق أو التدفق السطحي أو الانسياب السطحي (Run off). على الجانب الآخر، في حالة عدم استخدام الماء الكافي، فإن إنتاجية المحصول تقل.

كمية الماء اللازم استخدامها عند كل رية تعتمد على كمية الرطوبة المتاحة العالقة على التربة في عمق استخلاص الرطوبة المستخدم في تصميم النظام وعلى مستوى الرطوبة المتاح عند بداية الري. لذلك فإن صافي كمية المياه اللازم استخدامها عند كل رية تصبح عندئذ الكمية التي يمكن للتربة أن تحتجزها ما بين قدرة الحقل (Field

(Capacity وبداية مستوى الرطوبة. فمثلاً، إذا كانت التربة تحتجز ١٥سم، من الرطوبة المتاحة في عمق رطوبة التربة التصميمى وأن الري التالي بدأ عند مستوى ٦٠%، فإن الكمية الصافية التي يجب أن تضاف إلى التربة عند كل رية هي:

١٥ × ٦٠/١٠٠ = ٩سم

توقيت الري: (Timing of Irrigation)

توقيت الري يعتمد على عاملين وهما:

تكرار الري (Irrigation Frequency) فترة الري (Irrigation Peroid).

- ***تكرار الري:***

تكرار الري هو عدد الأيام بين الاستخدام للمياه أو الري خلال فترة أعلى استخدام استهلاكي لنمو المحصول. أي أنه الفترة الزمنية حيث لا يتم استخدام الري. وهو يعتمد على معدل الاستخدام الاستهلاكي لنمو المحاصيل والرطوبة المتاحة في استخلاص الرطوبة ما بين السعة الحقلية (Field capacity) وبداية مستوى الرطوبة للري. كلما زاد المعدل الذي يتم عنده استخلاص رطوبة التربة عند نتح البنات عند أقصى معدل، فإن التكرار سوف يكون أقل. هذا يكون واضحًا من العلاقة الآتية:

$$\text{تكرار الري} = \frac{\text{الرطوبة المتاحة فى عمق الاستخلاص بالسنتيمتر}}{\text{فترة ذروة الاستخدام الاستهلاكى سم/اليوم}}$$

- ***فترة الري: (Irrigation period)***

فترة الري هي الفترة بالأيام لاستخدام رية واحدة على المساحة عند نمو المحصول.

متطلبات الري للحاصلات:

صافي متطلبات الري يمكن تمثيلها تحديدًا بالمعادلة الآتية:

$$N_{IR} = C_u - (R_e + G_w)$$

حيث:

C_u = الاستخدام المستهلك للماء.

R_e = سقوط المطر لمؤثر

Gw = مساهمة المياه الجوفية

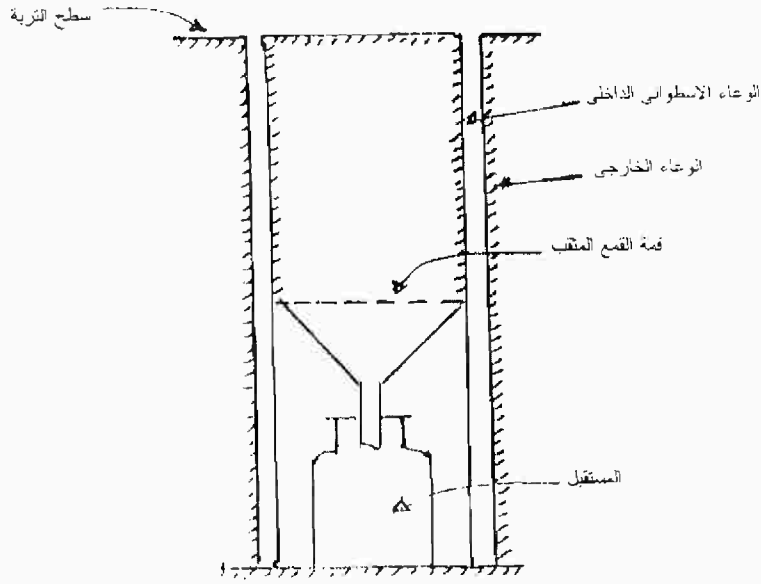
بينما الاستخدام الاستهلاكى يتم تقديره باستخدام المعادلة التي تم مناقشتها في الفصل رقم (٤)، فإن سقوط المطر المؤثر، والمياه الأرضية، والذي يكون من الصعب تعيينهم، مساهمتهم ليست كبيرة عمومًا. لإيجاد متطلبات الري على نظام قناة، فإنه يتم اختيار فترة من ١٠ إلى ١٥ يوم، مقادير حاجات الري للمحاصيل لهذه الفترة (ηir) يتم تعيينها بطرح مقادير مساهمة المطر المؤثر، المياه الجوفية.. إلخ، من إجمالي متطلبات المياه. تلك المقادير الدورية المتكررة (Periodic Values) عند إضافتها على المدة الكلية (Entire period) توفر إجمالي متطلبات الري للمكان بعد التصميم لكفاءة الري أى:

$$N_{IR} = \sum nir$$

$$I_R = \frac{N_{IR}}{1_\eta}$$

قياس المطر المؤثر (Measurement of Effective Rain fall)

سقوط المطر المؤثر هو الجزء من المطر الساقط الذي يستخدمه المحصول لتلبية متطلبات استخدامه الاستهلاكي. مقداره يتوقف على عدة عوامل مثل كمية وشدة سقوط المطر، النقص الأولى في الرطوبة، معاملات التحكم في معدل التسرب للتربة والمحصول. لذلك فإنه لا توجد علاقة واحدة لتفسير كل العوامل السابق ذكرها. أفضل طريقة لقياس سقوط المطر المؤثر هي بمساعدة جهاز سقوط المطر المؤثر. نموذج لجهاز سقوط المطر المؤثر (Effective Rain Fall) موضح في الشكل (٩/٢).



شكل (٩/٢) جهاز سقوط الأمطار المؤثر

يتم وضع الجهاز في حقل المحصول ونفس المحصول يتم نموه في الجهاز كما في الحقل. عمق التربة في الوعاء يساوي عمق منطقة الجذر المؤثر للمحصول (Effective Root Zone of crop). الوعاء يتم ريه بالماء مع الحقل وبعد كل رية أو سقوط المطر، فإن الماء المسحوب خلال قمة القمع المثقب والقمع يتم تجميعه في المستقبل. إجمالي سقوط المطر ناقص مياه الصرف المستجمعة في المستقبل تعطي سقوط المطر المؤثر شريطة عدم وجود فقد بالتدفق السطحي في الحقل.

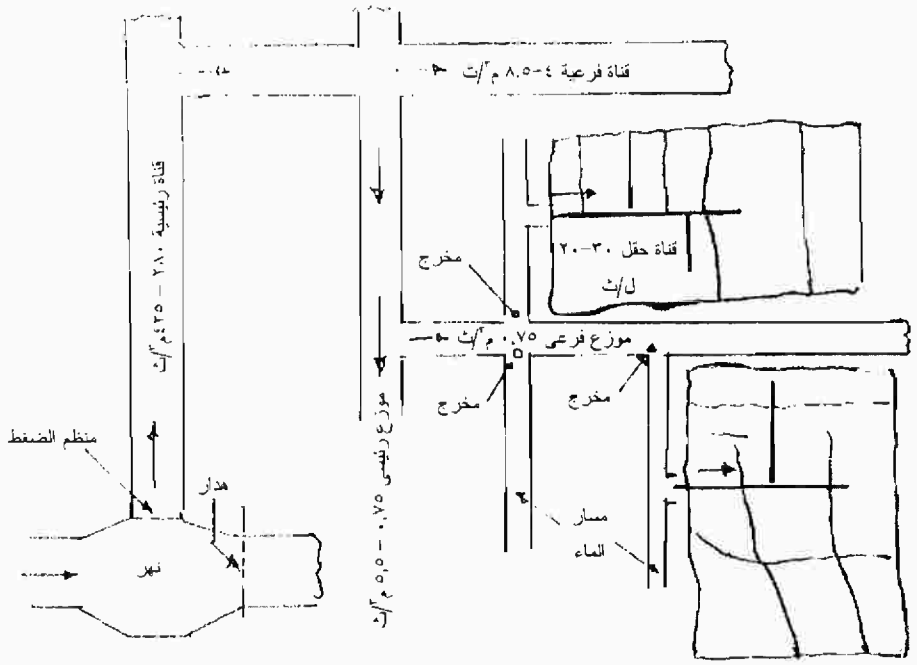
مساهمة المياه الجوفية (Ground water contribution)

مساهمة المياه الجوفية كبيرة من خلال الخاصية الشعرية (Capillarity) إلى منطقة الجذور للمحصول وذلك في حالة أن يكون خط المياه الجوفية عاليًا (أي ضحلاً). مقدار المساهمة يعتمد على عمق خط المياه، مكونات التربة وبنائها وعمق الجذور للمحصول.

فقد المياه في القنوات (Water Losses In Canals)

حيث أن المياه تتدفق من موقع سد تحويل مياه النهر إلى القنوات (Head Work) والتي تشمل القناة الرئيسية والقناة الفرعية والموزعات الصغيرة الكثيرة، قنوات المياه

حتى قنوات حقل المزارع، فإن المياه تعبر مسافة كبيرة شكل (٩/٣). نتيجة لذلك فإنه يتم فقد كمية كبيرة من الماء في هذه الرحلة. من المهم حساب فقد الماء لتصميم سعة القناة.



شكل (٩/٣) مخطط عام لنظام قناة الرى

فقد الماء في القناة يحدث لسببين رئيسيين هما: البخر، والتسرب (Evaporation and percolation). من بين هذه يكون. الفقد بالتسرب هو الأعلى والأكثر. الفقد في قنوات الحقل يصل إلى ٣٠% من إمداد المياه إلى الحقل. الفقد بالبخر يكون أقل نسبيًا، مقدار ٠,٢٥ إلى ١% من الصرف الكلي للقناة.

الفقد بالتبخر:

الفقد بالتبخر في نظام قنوات الري يتوقف على عاملين وهما:

(١) المناخ (٢) مساحة سطح المياه المكشوفة.

عامل المناخ يشمل درجة الحرارة السائدة، الرطوبة، سرعة الرياح. حيث زيادة درجة الحرارة، زيادة سرعة الرياح وانخفاض الرطوبة للمنطقة يزيد من معدل الفقد بالبخر. الاتساع الكبير لسطح الماء حيث العمق الضحل للماء يزيد كذلك من معدل الفقد بالبخر كذلك، ونتيجة لتأثير العوامل السابق ذكرها، قد لا يكون هناك اختلاف كبير في معدل الفقد بالبخر خلال الليل والنهار.

الفقد بالتسرب والارتشاح: (See page loss)

الفقد بالتسرب والارتشاح والذي هو الأهم يتوقف على العوامل الآتية:

أ – مسامية التربة. التسرب يكون عاليًا في التربة الرملية عنه في التربة الطفلية.

ب– موضع خط المياه الجوفية. عندما يكون خط المياه الجوفية قريبًا من مسطح الأرض، فإن مياه التسرب يمكن أن تتدفق مباشرة من مياه القناة إلى خزان المياه الجوفية ولذلك فإن الفقد بالتسرب يزداد.

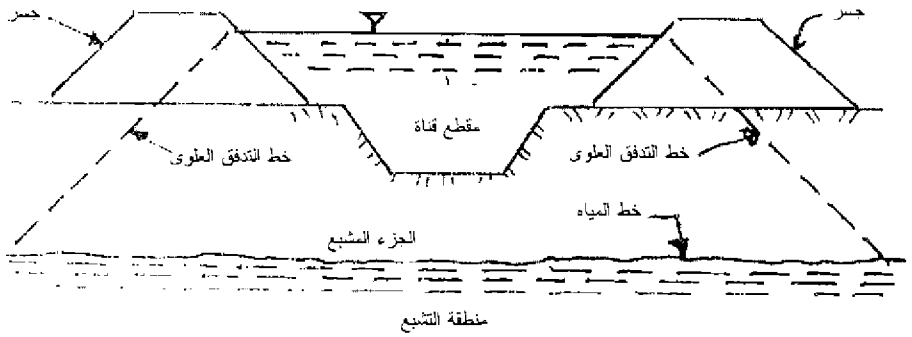
جـ– تبطين نظام القناة: عند تبطين أرضية وأجناب القناة بالمواد المناسبة غير المسامية، فإن الفقد بالتسرب سوف يقل كثيرًا.

د – عكارة مياه القناة: عند احتواء مياه القناة على جسيمات العكارة العالقة، فإن هذه تسبب الانسداد لفجوات ومسام التربة حيث تتم إعاقة مرور مياه التسرب والرشح بما يقلل من الفقد بالتسرب.

من بين العوامل السابقة، فإن موضع خط المياه الجوفية هو الأكثر أهمية. عندما يكون خط المياه الجوفية عاليًا وقريبًا من سطح الأرض الطبيعية، فإن مياه التسرب يكون لها تدفق مباشر ومستمر إلى الخزان الجوفي (منطقة التشبع) نظرًا لأن التربة السفلية تكون آلية التشبع. العملية يمكن تسميتها بالفقد بالتسرب بسبب الارتشاح شكل (٩/٤).

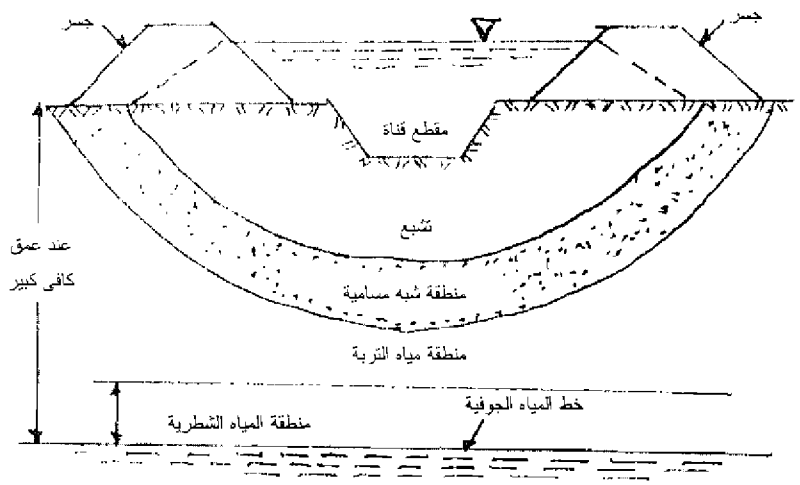
ولكن عندما يكون خط المياه الجوفية منخفضًا وعلى عمق كبير، فإن الماء المتسرب في التربة لا يمكنه التدفق مباشرة إلى خزان المياه الجوفية. أولاً، يتم البلل

للتربة التحتية المحلية أسفل قاع القناة مكونًا ما يسمى البصيلة المشبعة (Saturated Bulb). قد يقابل عندئذ منطقة شبه مسامية قبل عبور مناطق مياه الخاصية الشعرية ثم الوصول إلى خط المياه وإلى الخزان الجوفي. العملية تسمى الفقد بالتسرب بسبب الامتصاص شكل (٩/٥).



شكل (٩/٤) فقد التسرب بسبب الرشح الأرضى

الفقد بالتسرب يعبر عنه عادة بالمتر المكعب في الثانية لكل مليون متر مربع من مساحة سطح الماء المكشوف. عادة يتم استخدام الرقم ٢,٤٤ متر مكعب في الثانية لكل مليون متر مربع عند تصميم قناة الري. مع التبطين، يفترض أن الفقد بالتسرب يكون مابين ٠,١٥ إلى ١,٥ لكل مليون متر مربع.



شكل (٩/٥) الفقد بالتسرب بسبب الامتصاص

طرق المحافظة على المياه (Water saving Methods)

تستخدم عدة طرق لخفض التسرب بالفقد من القنوات. الطرق الرئيسية تشمل تبطين القناة، الري بالرش، الري بالتنقيط. الوصف المختصر لتلك الطرق كالآتي:

١- تبطين القناة: (Canal Lining)

تبطين القناة يتم لتحقيق الأغراض الآتية:

أ- خفض الفقد بالتسرب. كما سبق الإشارة إليه، فإن ذلك يمكن أن يكون مرتفعًا حتى ٤٥% من إجمالي صرف القناة. مع المحافظة على المياه من هذا الفقد، فإنه يكون من الممكن امتداد الري إلى مساحات أكبر في زمام القناة.

ب- تحسين كفاءة القنوات الموجودة: عند تبطين قاع وأجناب القناة، فإنها تصبح ملساء، مع خفض مقاومة التدفق وبالتالي زيادة سرعة تدفق الماء. لذلك، فإن قدرة الصرف للقناة تزداد.

جـ- الزيادة في مساحة الأرض المخدومة بواسطة القناة: Increase in the Canal Command:

يمكن المحافظة على استمرار السرعة العالية في القناة وذلك بتوفير الميل المناسب والذي يكون أكثر استواء عن الميل للقناة بدون تبطين. الميل المستوي يرفع مستوى الإمداد الكامل للقناة مع نتيجة أنه يمكن توفير الري لرقعة أكبر من الأراضي مع زيادة خدمة القناة.

د - خفض مقطع القناة: سرعة التدفق العالية تمكن كذلك من خفض المقطع، لحمل نفس الكمية من الماء مقارنة بنفس القنوات غير المبطنة.

هـ- تحقيق استقرار إضافي لمقطع القناة: عند تبطين القاع والجناب للقناة بأنواع من المواد القوية غير المسامية، فإنه يتم حماية مقطع القناة ضد القوى التي تعمل على تغير حالات النظام.

و- منع الإعاقة المائية (Prevent Water Logging) التبطين يساعد في إعاقة هروب مياه التسرب إلى الخزان الجوفي حيث تكون النتيجة أن خط المياه يكون غير قادر على الارتفاع ومسببًا إعاقة للتربة.

ز- ضمان استمرار العمل في القناة: حيث أن نمو الأعشاب يمنع تمامًا في القنوات المبطنة، وترسيب الغرين يكون أقل نسبيًا، فإنه يكون من الممكن ضمان استمرار عمل القنوات بدون التوقف السنوي للصيانة وإزالة الحشائش والذي يقلل من تكاليف الصيانة.

أنواع البطانات الرئيسية (Types of lining)

١- التبطين بالخرسانة الأسمنتية: وهذه تشمل:

- البطانة الخرسانية باستخدام الخرسانة العادية.
- استخدام الخرسانة سابقة التجهيز.
- استخدام ردغة المونة الأسمنتية المضغوطة على انحدارات التربة.
- البطانة بالخرسانة الأسمنتية تكون بسمك ما بين ١٠-١٢,٥ سم.

٢- التبطين بالطوب المبنى بالمونة الأسمنتية بسمك من ١٠-١٥ سم.

٣- البطانة بالبناء الحجري باستخدام الكتل الحجرية والمونة الأسمنتية.

٤- التبطين الأسفلتي: وذلك بنشر البيتومين أو القار أسفل المستوى.

٥- استخدام البطانة من التربة المتاحة، حيث تستخدم التربة والأسمنت والماء لعمل خليط قابل للاستخدام.

٦- التبطين بمواد التربة (Earth lining)،

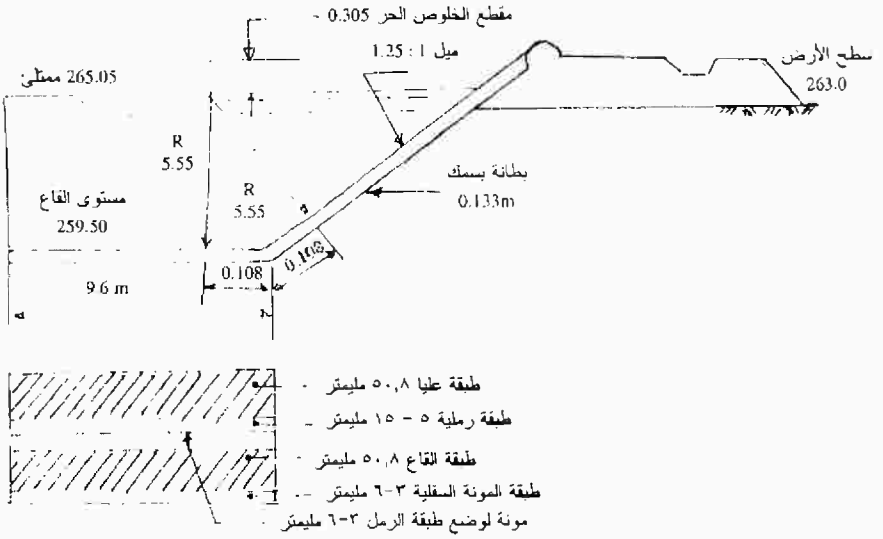
حيث تستخدم الطفلة والماء والتي تشكل طبقة غير مسامية.

٧- البطانة المصنوعة من مواد أخرى مثل الأسفلت الأسمنتي، البنتونايت أو أنواع الطفلة الأخرى، البلاستيك، المطاط المخلق.. إلخ.

تبطين القنوات عملية مكلفة ولذلك فإنها تستخدم على أساس تفضيلي بعد التحليل الاقتصادي الجيد غالبًا في التربة المسامية، وفي القنوات المنبسطة، وفي الامتدادات حيث خط المياه يكون عاليًا.

الخاصية الأساسية للبطانة الجيدة هي إحكام الماء، انخفاض التكلفة، استقرار الإنشاء، الكفاءة الهيدروليكية (أي أن البطانة يجب أن تكون ذات سطح ناعم لضمان الطاقة الكاملة لصرف القناة) والتحمل.

نموذج لتبطين قناة بالطوب والبناء موضح في الشكل (٩/٦).



شكل (٩/٦) نظام التبطين للقناة (مقترح)

الري بالرش (Sprinkler Irrigation)

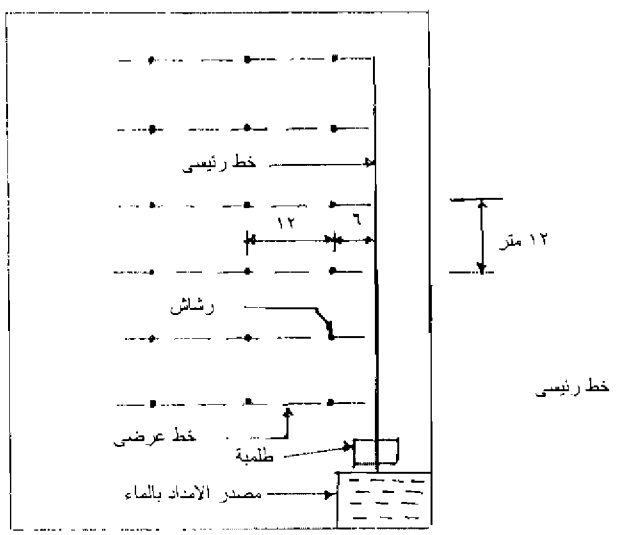
الري بالرش هو طريقة هامة للاستخدام الاقتصادي للمياه على الأرض مع أدنى فقد في المياه. الطريقة التي تحاكي سقوط المطر وتصور استخدام المياه في شكل الرش الساقط بمعدل ثابت بما يناسب معدل الرشح للتربة حيث تتسرب المياه خلال التربة ولا يحدث تدفق سطحي. لذلك فإن المحاصيل يمكن إمدادها بالماء المناسب وفي الوقت المناسب والذي يحقق أفضل إنتاجية محصولية والتي تزيد كثيرًا عن حالة استخدام الري السطحي. طريقة الري بالرش تشمل أساساً ضخ الماء تحت الضغط في رشاشات والتي تشمل الأنابيب المزودة بفتحات ضيقة مثل البزبوز (Nozzles) ومنتظمة على فترات محددة وتنشر الماء فوق التربة في شكل الرش. بضبط الفتحة الضيقة للبزبوز، ضغط الضخ، الفواصل بين الرشاشات فإنه يمكن إمداد المياه بمعدل ثابت ليناسب معدل الرشح للتربة. الشكل (٧) يوضح المخطط العام لنظام الري بالرش. يتم أولاً ضخ المياه في الخط الرئيسي ثم في خطوط الأنابيب العرضية والتي تكون موضوعة بفواصل ١٢ مترًا. النافورات (الفتحات الضيقة) المثبتة على الفرعات العرضية تكون بفواصل ٦-١٢ متر. أقطار الأنابيب للإمداد بالمياه يتم تعيينها بأقصى

معدل تدفق وطول الأنابيب المستخدمة. الأقطار تتراوح من ٢٥ ملليمتر حتى ١٠٠ ملليمتر (للقطر الداخلي). مواد الأنبوبة تكون عمومًا من الألمونيوم. طبقًا لضغط الماء، فإن الرشاشات يمكن أن تكون من نوعين. وهما:

نوع الرأس الدوار (Rolating Head) المستخدم لأداء الضغط العالي عمومًا في ٢,٧٥كجرام/سم^{٢} وأكثر.

ونوع الرأس الثابتة (Fixed Head) الذي يستخدم للضغط المنخفض في المجال من ٠,٧٥ – ٢ كجرام/سم^{٢}.

النوع الأخير يستخدم لري الأعشاب، بساتين الفاكهة، حديقة الزينة. قطاع الري بالرش يمكن أن ينشأ أنابيب موضوعة تحت الأرض ولها رشاشات مثبتة على أعمدة حمل (Risers) أو المستخدم أكثر، هو أن النظام قد يكون متحركًا حيث خطوط الرش المحمولة ومجموعة الضخ المحمولة. النوع المحمول هو الأكثر قبولاً حيث يمكن ري مساحات أكبر من الأرض الزراعية حيث بعد تمام الري في الموضع الأول يمكن تحريك المعدة إلى الموضع الثاني في نفس الحقل أو في حقل آخر.



شكل (٩/٧) مخطط لنظام الرى بالرش

الري بالرش يوفر مميزات عديدة مقارنة بالري السطحي التقليدي. وهذه تشمل الآتي:

١- الاستخدام الاقتصادى للماء: الماء الذي يمكن توفيره من الري بالرش يمكن أن يصل إلى ٧٠% بما يكفي لري مساحة إضافية بمقدار الضعف من ٢-٣.

٢- الوفر في الأراضي والتي تشغلها القنوات، حيث تصل إلى ١٠%.

٣- الأرض يلزم تسويتها في حالة الري بالجاذبية. الري بالرش يناسب كل حالات طبوغرافية الأرض.

٤- الري بالرش يناسب كل أنواع التربة باستثناء الطفلة الثقيلة، وكل أنواع الحاصلات باستثناء الأرز وقصب السكر.

٥- يمكن كذلك استخدام الأسمدة خلال الري بالرش. هذا يضمن التوزيع الكفؤ لماء الري المخصب بالسماد في التربة مع أدنى فقد بسبب الارتشاح أو الصرف الزائد. نتيجة لذلك فإن إنتاج المحصول يكون عاليًا.

٦- الرش مناسب تحديدًا في الأرض الجافة والمسارات المشابهة التي يصعب ريها بسهولة بواسطة قناة الري.

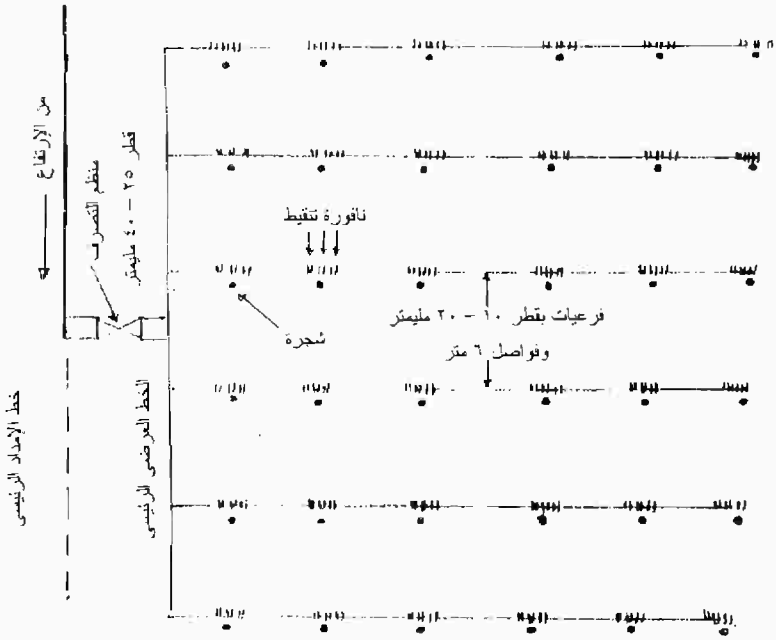
الري بالتنقيط: (Drip Irrigation)

الري بالتنقيط تم استخدامه حديثًا كطريقة للري حيث يتم الإمداد بالماء ليقابل مباشرة استخدام الاستهلاك للماء بواسطة النبات وذلك بالمحافظة على أدنى رطوبة للتربة في منطقة الجذور. الفقد بسبب التسرب والبخر يتم تجنبه وري النبات يتم خلال كميات محددة وموقوتة من المياه. وهذا لا يفيد فقط في تعظيم الوفر في استخدام المياه ولكن يحسن كذلك من إنتاجية المحصول. الطريقة التي بدأ إدخالها في إسرائيل ثم تثبيتها بعد ذلك في كثير من الدول مثل استراليا، جنوب أفريقيا، والمكسيك والولايات المتحدة.

طبقًا لمدلول الاسم، فإن الماء يتم استخدامه في شكل نقاط للماء. يتم ضخ المـــاء خلال أنابيب مرنة ثم وصوله إلى النبات خلال ثقوب التنقيط (Drip Nozzles).

نظام الري بالتنقيط يشمل: مضخة لرفع الماء – خزان علـــوي للمحافظـــة علـــى الضغط المطلوب للري – التصرف المنتظم للتحكم في ضغط وكمية الماء – خطـــوط رئيسية وعرضية – ثقوب التنقيط (Dripping Nozzles).

الشكل (٩/٨) يبين المخطط العام لنظام الري بالتنقيط. يتم الإمداد بالمـــاء للخـــط الرئيسي من الخزان العلوي حيث يتم تخزينه بالضخ من مصدر الإمداد بالمـــاء. مـــن الخط الرئيسي يتم توجيهه إلى الخط العرضي الرئيسي (Main lateral) من خلال منظم الصرف ثم إلى التفرع الجانبي (Laterals) أو خطـــوط الثقـــوب أو الـــسيولة القليلـــة (Trickle Line) التي تكون بفواصل ٦ متر عمومًا. كـــل خطـــوط الأنابيـــب تكـــون مصنوعة من الـــ بي في سي. خط الفرع الجانبي الرئيسي يكـــون بقطـــر ٢٥ – ٤٠ ملليمتر بينما خطوط التفرعات الجانبية تكون بقطر ١٠–٢٠ ملليمتر. فتحـــات ثقـــوب التنقيط تكون مثبتة على خطوط التفرعات الجانبية وتصرف الماء للنبات خلال التربـــة السفلية. الفواصل بين ثقوب التنقيط يتوقف على نوع المحصول الجاري ريه، مـــسافة الزرع، نوع التربة والنظم الزراعية. ثقب واحد لكل نبات للبدء بها والعدد يمكـــن أن يزداد إلى إثنين لكل نبات مع نضج النبات إلى ثلاثة بحيث أن يـــتم تغطيـــة منطقتـــه الجذرية بكفاءة. حيث تكون مياه الري محتوية على كمية من الملوثات العالقـــة، فإنـــه يمكن إنشاء وحدة ترشيح لإزالة تلك الملوثات وذلك لتجنب حدوث الانسداد في فتحات الثقوب الصغيرة. يمكن كذلك استخدام السماد في نفس الوقت بخلطه في ميـــاه الـــري ويكون عمومًا الخزان العلوي مما يمكن الماء الغني بالسماد من السقوط مباشرة مـــن الثقوب إلى منطقة جذور المحصول.



شكل (٩/٨) مخطط نظام الرى بالتنقيط

<u>الري بالتنقيط يوفر عدد من المميزات:</u>

١-الاقتصاد في استخدام الماء. من خلال تجنب الفقد بالتسرب والرشح والبخر والإمداد بالماء مباشرة لتحقيق الاستخدام الاستهلاكى للماء بواسطة النبات، يوجد وفر صافي بنسبة ١٥-٢٠% من كمية الماء الذي يتم الإمداد به للري.

٢-التجانس في توزيع المياه. بالثقوب التي تصرف نفس كمية الماء على فواصل متساوية، فإن توزيع الماء يكون عالي التجانس وتام التحكم فيه.

٣-كما في حالة الري بالرش، فإن تسوية الأرض ليست ضرورية، حيث الطريقة مناسبة للمسارات عالية الميول.

٤-الري بالتنقيط مناسب للحاصلات – مثل الخضروات والنباتات البستانية حيث يحقق إنتاجية عالية ونوعية منتجات أفضل. وهو مناسب كذلك للتربة عالية النفاذية خاصة التربة الرملية الخشنة.

٥-المياه الغنية بالأسمدة وكيماويات المبيدات يتم تغذيتها مباشرة في منطقة جذور النبات، مع تجنب التسرب العميق في التربة. هذه الطرق تحقق المحافظة الجيدة على الأسمدة والكيماويات الأخرى.

٦- نظرًا لأنه مناطق الجذور للنبات هي التي يتم ريها فقط والمناطق الأخرى من الأرض تظل جافة، فإن نمو الحشائش يكون عند أدناه.

أهمية تنمية الطاقة المائية: Importance of Hydropower Devefopment

من بين المصادر الكبيرة لتوليد الطاقة مثل الطاقة الحرارية، الطاقة المائية، الطاقة الذرية فإن الطاقة المائية هي الأكثر أهمية، لكونها الأرخص في تكلفة الطاقة.

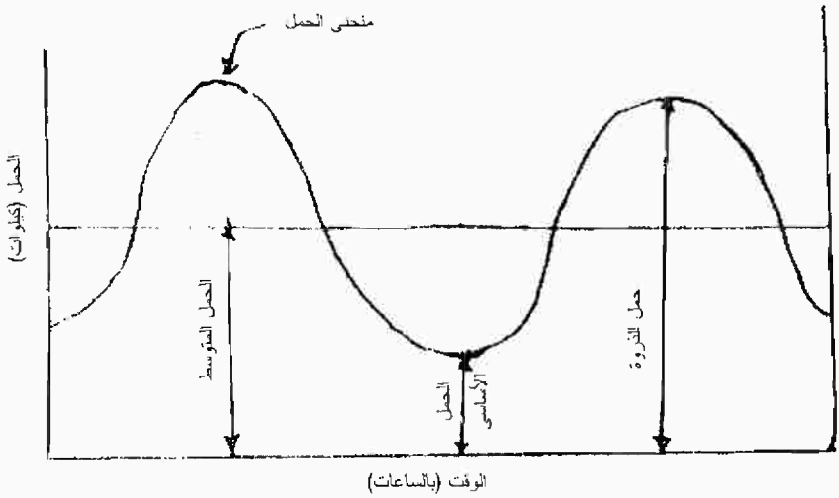
السلبية الرئيسية لاستخدام الطاقة المائية هي أن كمية المياه المؤكدة خلال العام قد تكون غير متاحة في الأماكن حيث النقص فى سقوط الأمطار حيث الخزانات لا يتم امتلائها بسهولة. ولكن بسبب التطوير فى الضخ للتخزين، حيث يمكن تفادي الندرة. ففي ساعات الذروة يستخدم الماء في توليد الطاقة، نفس الماء يمكن ضخه ثانيًا نحو التخزين في اتجاه المنبع خلال الساعات التى يكون الطلب على الكهرباء ضعيفًا مع وفرة الطاقة المتاحة. قبل مناقشة محطات الطاقة المائية سوف نبدأ أولاً مناقشة المصطلحات الأساسية المستخدمة في الطاقة المائية.

المصطلحات الأساسية للطاقة:

الحمل الأساسي، وحمل الذروة: (Base Load, Peak Load) في محطات الطاقة المائية لا يمكن التخزين الاقتصادى للطاقة على مستوى كبير. يتوقف توليد الطاقة على الاستخدام الكهربي أو الطلب على الطاقة والذي يتغير مع الوقت خلال مختلف ساعات اليوم).

الحمل الأساسى:

هو الطاقة المطلوبة للإمداد بها باستمرار فى معظم الأوقات التى تستوجب تشغيل المولدات الكهربية. إطار التغير فى الطاقة أو الحمل مع الوقت يسمى منحنى الحمل شكل (٩).



شكل (٩/٩) مخطط لمنحنى الحمل

من منحنى الحمل يمكن ملاحظة أنه عند ساعة معينة من اليوم، يكون الطلب أو الحاجة إلى الطاقة عند أقصاها أو قيمة الذروة. حمل الذروة يعرف عمومًا بأنه ذلك الحمل الذي يحمل عند معدل يزيد عن $\frac{1}{3}$ ١ ضعف الحمل المتوسط بما يمكن من إمداد فترات الجزء المتقلب وغير المستقر من الحمل أو متطلبات الطاقة. متوسط الحمل يؤخذ كمتوسط الحمل للفترة المدروسة.

معامل الحمل (Load Factor)

معامل الحمل هو نسبة متوسط الحمل إلى حمل الذروة خلال فترة معينة. التطابق مع طريقة تغيير الحمل، فإن معامل الحمل يمكن حسابه يوميًا، أسبوعيًا، شهريًا أو سنويًا. حيث أن المساحة تحت منحنى الحمل تمثل الطاقة المستهلكة بالكيلوات ساعة، فإن معامل الحمل يمكن كذلك تعريفه بنسبة الطاقة المستخدمة إلى طلب الذروة، إذا افترض الاستمرار لمدة ٢٤ ساعة في اليوم.

$$\text{معامل الحمل} = \frac{\text{الطاقة المستهلكة في ٢٤ ساعة}}{\text{طلب الذروة أو الحمل} \times \text{٢٤ ساعة}}$$

يجب الإشارة إلى أنه بينما حمل الذروة يعين الطاقة لوحدات التوليد، فإن معامل الطاقة يعطي فكرة عن درجة الاستخدام لتلك الطاقة. لذلك، فإن معامل الحمل بنسبة ٦٠% سوف يعني أن المولدات الكهربية تنتج فقط ٦٠% من أقصى طاقة إنتاجية لها.

معامل الضرورة الإنتاجية (Capacity Factor)

كذلك يسمى معامل محطة التوليد (Plant Factor)، معامل القدرة الإنتاجية هو مقياس لاستخدام محطة التوليد. وهو يعرف بنسبة متوسط الحمل إلى الطاقة الإنتاجية المنشأة للمحطة فمثلاً، محطة طاقة بطاقة إنتاجية أساسية ٥٠٠٠٠ كيلوات ساعة ومنتجة خرج مقداره ٤,٥ × ١٠^{٦} كيلوات ساعة عند العمل لمدة ١٥٠ ساعة فيكون لها معامل قدره إنتاجية = $\frac{٤,٥ \times ١٠^{٦}}{٥٠٠٠٠ \times ١٥٠}$ = ٠,٦

إذا كانت المحطة تعمل بحيث أن حمل الذروة يصبح مساويًا إلى القدرة الإنتاجية الأساسية للمحطة، فإن معامل الحمل يكون مساويًا لمعامل القدرة الإنتاجية.

معامل الاستخدام (Utilization Factor)

معامل الاستخدام هي مقياس الاستخدام للمحطة الذي يتأثر بالإمداد بالمياه. تحديدًا، هو كذلك نسبة كمية الماء المستخدمة حقيقة لتوليد الطاقة إلى تلك المتاحة من المصدر. عندما يكون هناك الماء الكافي لتشغيل المحطة عند القدرة الإنتاجية، فإن معامل الاستخدام يساوي هو نفسه معامل القدرة الإنتاجية. ولكن، طبقًا للعجز في الإمداد بالماء، فإن خرج الإنتاج قد ينخفض، الذي يمكن أن ينقص أو يزيد معامل الاستخدام طبقًا لمعامل حمل المحطة. علميًا يمكن أن يتغير من ٠,٤ إلى ٠,٩.

أقصى ضغط، الضغط الصافي: Gross Head, Net Head

الضغط الكلي في المحطة المائية هو الفرق الإجمالي في الارتفاع بين أقصى سطح في الخزان عند السد ومستوى الماء في النهر حيث يكون مكان التسرب السفلي (لتصريف الماء من محطة التوليد بالماء – Tail Race). صافي الضغط (Net Head) (يسمى كذلك الضغط المؤثر) هو الضغط المتاح لإنتاج الطاقة بعد طرح الفقد

بالاحتكاك، الدخول، ضغط السرعة الذي لا يتم استعادته في أنبوب السحب (Draft Tube).

قوة محركة ثابتة، قوة محركة ثانية: Firm Power Secondary Power

القوة المحركة الثابتة (التي تسمى كذلك القوة المحركة الأولية) هي أقصى معدل سنوي يمكن من توليد الطاقة من محطة الطاقة المائية بدون توقف. هذه قوة محركة مستقلة تمامًا وتقابل أدنى تدفق للتيار المتاح في كل الأوقات لذلك فإن القوة المحركة الثابتة تكون متاحة للمستهلكين خلال الـ ٢٤ ساعة من اليوم. القوة المحركة الثانية هي القوة المحركة الزائدة أو غير الثابتة والتي تكون متاحة بشكل متقطع في ساعات الذروة. استخدامها يكون أساسًا لتخفيف الحمل على محطات إنتاج الطاقة التي تعمل باستمرار في نظام شبكة الربط الموحد وبذا تحقق بعض الاقتصاد والكفاءة للنظام.

التخزين، والتخزين قصير المدى: (Storage, Pondage)

التخزين يعني به السعة التخزينية في حالة خزانات التخزين. السعة التخزينية للخزان تتحدد بطريقة منحنى الكتلة (Mass curve) (الفصل ٥) طبقًا للتدفق الداخل للنهر وما يقابله من الطلب على الطاقة. هذا يمكن من تعيين التخزين الضروري للمحافظة ليس فقط على الإمداد بالماء لمحطة الطاقة المائية عندما يكون التدفق الداخل إلى النهر زائدًا عن الطلب، ولكن كذلك للمحافظة على استمرار التدفقات في سنة الجفاف التي تلي السنة العادية لسقوط الأمطار.

التخزين قصير المدى (Pondage) يستخدم في حالة محطات الطاقة لقناة التحويل والبرك، الخزانات الموازية(Balancing Reservoirs) والأحوزة الأمامية (Fore bays) لإمداد التقلبات لضمان التدفق الثابت والمنتظم للتربينات تحت اختلاف ظروف الحمل. تلك التقلبات تحدث بسبب التغيرات المفاجئة أما في طلب الحمل على التربينات أو في التدفقات الداخلة الطبيعية في العام . في الحالة الأولى، قد يكون هناك زيادة مفاجئة في الحمل على التربينات والذي يستلزم الزيادة الفورية في التدفقات الداخلة إلى التربينات التي يمكن تحقيقها بمخزون الماء المتاح في البركة التي تم إنشائها لهذا الغرض في

الحالة الثانية، الزيادة في التدفقات الطبيعية يمكن تخزينها مؤقتاً كتخزين مؤقت وذلك لتلبية متطلبات الماء الزائد في حالة ذروة الحمل (Peak load). مع أخذ الفترة الزمنية فى الاعتبار، فإن التخزين المؤقت يمكن أن يكون تخزين يومي لتسوية التغيرات اليومية في التدفقات أو تخزين أسبوعي لتلبية الطلبات الأسبوعية. وفي كثير من الدول المتقدمة، ذات الأجازات في نهاية الأسبوع حيث يقل الطلب على الماء والذي يمكن تخزينه للاستخدام خلال أيام الأسبوع.

معامل التخزين القصير: (Pondage Factor)

معامل التخزين القصير هو النسبة ما بين إجمالي ساعات التدفق الداخل (In flow) في فترة زمنية معينة إلى إجمالي عدد الساعات لمحطة الطاقة التي تعمل خلال نفس الفترة الزمنية. فمثلا محطة الطاقة التى تعمل كمحطة حمل الذروة لمدة ٨ ساعات في اليوم يكون لها معامل تخزين قصير $\frac{٢٤}{٨} = ٣$. إذا كانت هذه المحطة تعمل كمحطة حمل الذروة (Peak load plant) لمدة ٦ أيام في الأسبوع، عندئذ فإن معامل التخزين القصير سوف يكون $\frac{٧}{٦} \times ٣ = ٣,٥$. معامل التخزين القصير هو مؤشر تقريبي للتخزين المؤقت اللازم خلال أوقات عدم استخدام الذروة في تشغيل محطة الطاقة.

أنواع محطات الطاقة الكهربائية المائية:

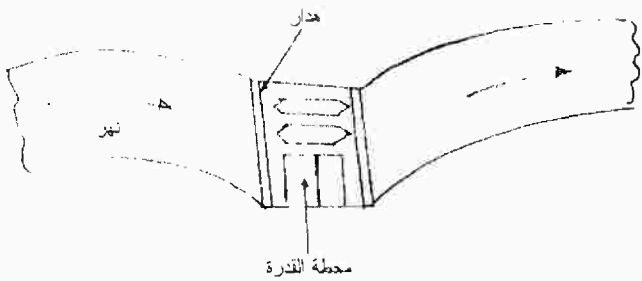
Types of Hydro Electric Power Plants:

طبقاً للظواهر الطبوغرافية، والهيدرولوجية ونظام التشغيل، فإن محطات الطاقة المائية يمكن أن تنقسم إلى:

- محطات النهر الجاري (Run – of – River Plants)
- محطات طاقة السد: Dam Power Plant
- محطات قناة التحويل: Diversion Canal Plants
- محطات التحويل بين أحواض الأنهار (Interbasin Diversion Plants)
- محطات المد (Tidal Plants)
- محطات التخزين بالضخ (Pumped Storage Plants)

محطات النهر الجاري:

هذه المحطة توضع عبر تدفق النهر بالطريقة التي لا تغير من نظام النهر شكل (٩/١٠). محطة الطاقة توضع مع هدار بعرض المجرى والتي تخدم كذلك في تنظيم تدفق النهر. نظرًا لعدم تصور خزانات ضخمة، فإن تلك المحطات لها برك أو أحواض صغيرة لتوفير التخزين المؤقت الضروري لتسوية التغيرات اليومية. وهي أساساً منشأة ذو ضغط منخفض.

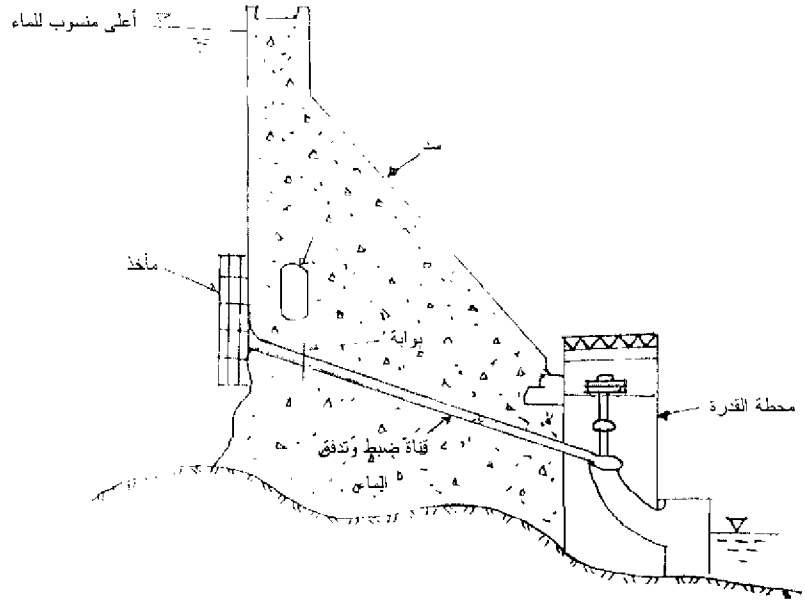


شكل (٩/١٠) محطة الطاقة لنهر جارى

محطات النهر الجارى تتطلب كمية مناسبة وثابته من التدفق، ميول مستوية نسبياً، ونظم ثابتة للنهر.

محطات طاقة السد: Dam Power Plants

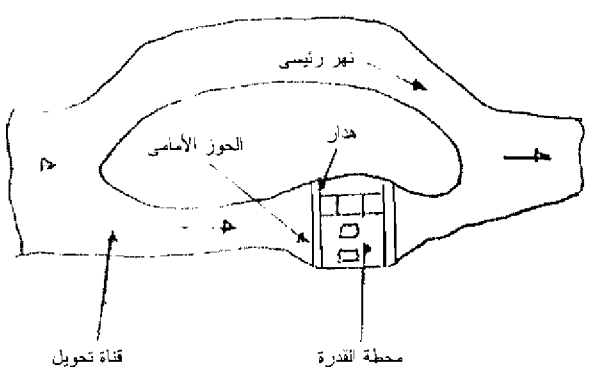
محطة طاقة السد تتصور إنشاء سد فى النهر لخلق خزان وتوفير الضغط اللازم لإنتاج الطاقة. محطة الطاقة توضع عند طرف السد فى إتجاه المصب شكل (٩/١١) المياه تتدفق خلال قناة ضبط جريان الماء (بربخ Penstock) المنشأ فى السد ويرسل الماء من الخزان إلى التربين. بعد توليد الطاقة، الماء يترك المحطة ليتصل بمجرى النهر الرئيسى. محطات طاقة السد تكون ذات ضغط ما بين المتوسط والعالى.



شكل (٩/١١) محطة الطاقة فى السد

محطات قناة التحويل:

في هذه المحطات يتم تحويل الماء من النهر خلال قناه إلى غرفة الطاقة والتى تسمى كذلك (Power House or power canal) التي توضع بعيدًا عن قناة التحويل شكل (٩/١٢). بعد التدفق خلال غرفة محطة الطاقة يتم صرف الماء إلى المصب الرئيسي للنهر. لتحقيق متطلبات التخزين المؤقت (Pondge) فإنه يتم إنشاء حوض يسمى الحوز الأمامي (Forebay) قبل غرفة الطاقة مباشرة.

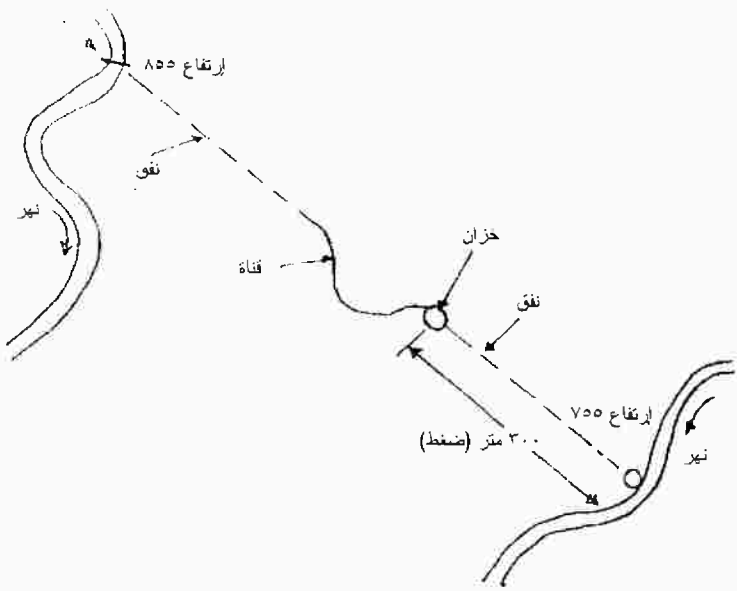


شكل (٩/١٢) محطة القدرة لقناة التحويل

محطة قناة التحويل هي تدفق للضغوط المتوسطة. تنمية وزيادة الضغط يمكن تحقيقه بسبب استواء ميول القاع لقناة محطة الطاقة مقارنة بتلك للنهر الذي له منعطف أطول، للتغطية أحياناً يكون للنهر سقوط طبيعي بما يوفر الضغط الضروري لمحطات قناة التحويل.

محطات الطاقة بالتحويل بين الأنهار: (Inter Basin Diversion plants)

في تلك المحطات يتم تحويل الماء من حوض نهر إلى حوض نهر آخر إلى مكان حيث المستوى المنخفض بما يعطي ضغوط عالية، أحد الأمثلة في الشكل (٩/١٣).

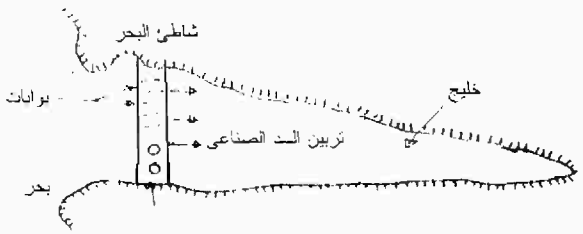


شكل (٩/١٣) التحويل من حوض نهر إلى آخر عند مستوى منخفض

محطات طاقة المد (Tidal power plants)

هذه المحطات تستخدم طاقة المد لمياه البحر. محطة المد الشكل (٩/١٤) تشمل سد صناعي على النهر (Barrage) الذي يغلق فم الخليج لخلق خزان. على أحد أجناب السد، توجد بوابات لدخول الماء خلال فيضان المد. على الجانب الآخر في جسم السد الصناعي تقام التربينات والمولدات لإنتاج الطاقة الكهربية خلال انحسار المد (Ebb

(Tide). المد يمكن أن يصل إلى ارتفاع ١٥ متر، ويستفاد بارتفاع وسقوط المـــاء فـــي توليد الطاقة الكهربائية المائية. محطة لارانس في فرنسا بطاقة ٢٤٠ ميجـــاوات هـــي مثال لمحطة الطاقة بالمد.



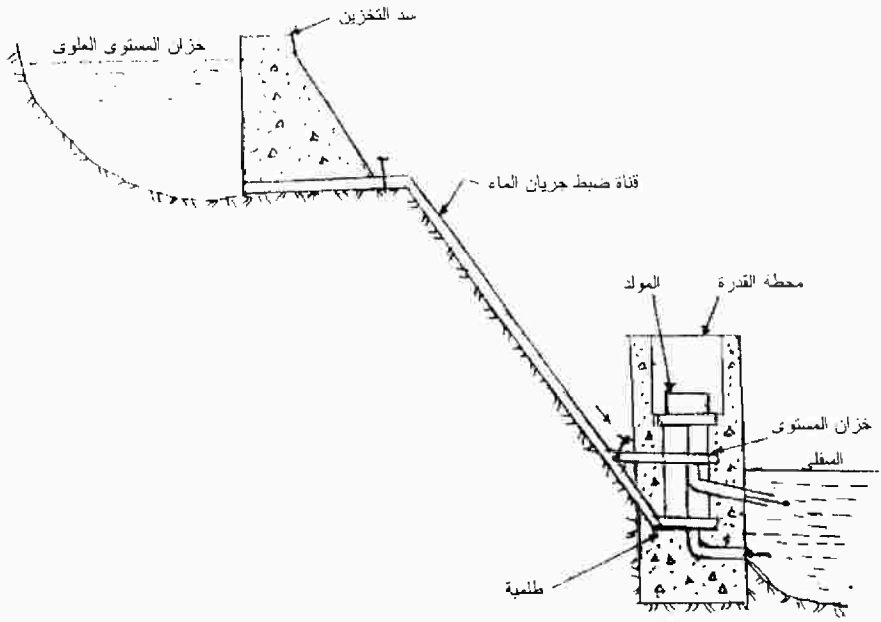
شكل (٩/١٤) محطة الطاقة بالمد

محطات التخزين بالضخ:

محطات التخزين بالضخ هي الطريقة الأقرب نحـــو التخـــزين الكبيـــر للطاقـــة الكهربية. وهذه تستخدم مبدأ استغلال الطاقة الكهربية الزائدة في غير ساعات الـــذروة في ضخ كمية ضخمة من الماء إلى خزان حفظ عند مستوى عالي، والذي يعود عندئذ لتوليد الطاقة في فترات ذروة الأحمال. وهذا يضمن الاتزان الجيد للحمل على نظـــام التوزيع. بجانب أنه في حالة التدوير لنفس الماء ثانيًا وهكذا، فإنه يمكن العمـــل بهـــذا النظام باستخدام كمية محدودة من الماء والذي يعني أقصى استفادة باستخدام المياه فـــي حالة ندرة المصادر المائية.

المحطة شكل (٩/١٥) تشمل أساسًا سد التخزين بخزان عالي المستوى ومحطـــة طاقة وخزان المستوى المنخفض. محطة الطاقة مزودة بتربين عكـــسي (Reversible Turbine) للعمل كمضخة أو تربين طبقًا لاتجاه الدوران. الماء يمر من خزان المستوى المرتفع إلى غرفة محطة الطاقة خلال قناة ضبط جريان الماء (Penstock) ومن غرفة محطة الطاقة إلى خزان المستوى السفلي ويتحرك في أي من الاتجاهين طبقًـــا لحالـــة الاستخدام إما لتوليد الطاقة أو للضخ.

هذا النوع من المحطات يكون من المفضل له الاشتراك مع محطات طاقة أخـــرى مثل محطات الطاقة الحرارية أو الطاقة النووية حيث يمكن بسهولة التقسيم لأخذ الحمل الأساسي للمحطة الأساسية والتخزين لساعات الذروة.



شكل (٩/١٥) محطة الضخ للتخزين

حسابات الطاقة المائية *(Hydro power calculations)*

الطاقة النظرية المتاحة من سقوط الماء يمكن حسابها باستخدام العلاقات الآتية:

معدل الشغل المستخدم (Rate of Work Done) = WQH Kgm/s

$$P_1 = \frac{WQH}{75}$$

حيث:

P_1 = Theoretical Output In Metric HP

أى:

P_1 = تساوى الخرج النظرى مقدر بـــ HP مترى (حصان مترى)

W = وحدة الوزن للماء = ١٠٠٠ كجرام / المتر المكعب

Q = كمية الماء المتاح لتوليد الطاقة المائية أو التدفق خلال التربين بالمتر المكعب فى الثانية

H = الضغط المتاح (الإرتفاع) بالمتر

حيث أن كلا من المولد والتربين متصلين معا بعمود إدارة واحد، فإن الطاقة المائية المتاحة تكون كالآتى:

الخرج أو المقدرة الفعلية المؤثرة (Effective Output) =

القدرة الفعلية النظرية × الكفاءة الكلية

أو $P_e = P_t \times \eta_0$

$$= \frac{1000\ QH}{75} \times \eta_0$$

$$= 13.33\ QH\eta_0$$

حيث أن واحد حصان متري (Imetric HP) = ٠,٧٣٥٥ كيلوات

∴ طاقة الحصاد المتاحة = P_e

$$= 0.7355\ QH\ \eta_0 \times 13.33$$

$$= 9.8\ QH\ \eta_0\ KW$$

مثال:

المولدات التربينية ذات قدرة ٥٠٠٠٠ كيلوات، تغير الحمل هو ما بين ١٠٠٠٠ كيلو عند الأدنى إلى ٤٠٠٠٠ كيلوات عند الأقصى يتم تعيين الآتي:

أ – معامل الحمل: Load Factor

ب– معامل السعة: Capacity Factor

جـ– عامل الاستخدام: Utilization Factor

الحل:

متوسط الحمل = $\frac{١٠٠٠٠ + ٤٠٠٠٠}{٢}$ = ٢٥٠٠٠ كيلوات

معامل الحمل = $\frac{\text{متوسط الحمل}}{\text{أقصى حمل}} = \frac{٢٥٠٠٠}{٤٠٠٠٠}$ = ٦٢,٥%

معامل السعة = متوسط الحمل / السعة المقامة

= ٢٥٠٠٠ / ٥٠٠٠٠ = ٥٠%

معامل الاستخدام = الطاقة المستخدمة / الطاقة المتاحة

= ٤٠٠٠٠ / ٥٠٠٠٠ = ٨٠%

مثال:

يتم تقدير السعة المشيدة ومقدار الحجز المؤقت لمحطة طاقة مائية على نهر جاري وله البيانات الآتية:

التدفق اليومي للنهر = ٢٤ متر مكعب في الثانية

صافي الارتفاع على المحطة = ١٢ متر

كفاءة المحطة = ٧٥%

المحطة تعمل ستة أيام في الأسبوع.

الحل:

متوسط التدفق الداخل إلى المحطة = $\frac{٢٤ \times ٧}{٦}$

= ٢٨ متر مكعب في الثانية

السعة المشيدة للمحطة طبقًا للمعادلة:

$$P_e = 13.33\ Qh\eta_o$$

$$= \frac{٧٥}{١٠٠} \times ١٢ \times ٢٨ \times ١٣,٣٣$$

= ٣٣٥٩ حصان

التخزين المؤقت لتخزين يوم واحد تدفق.

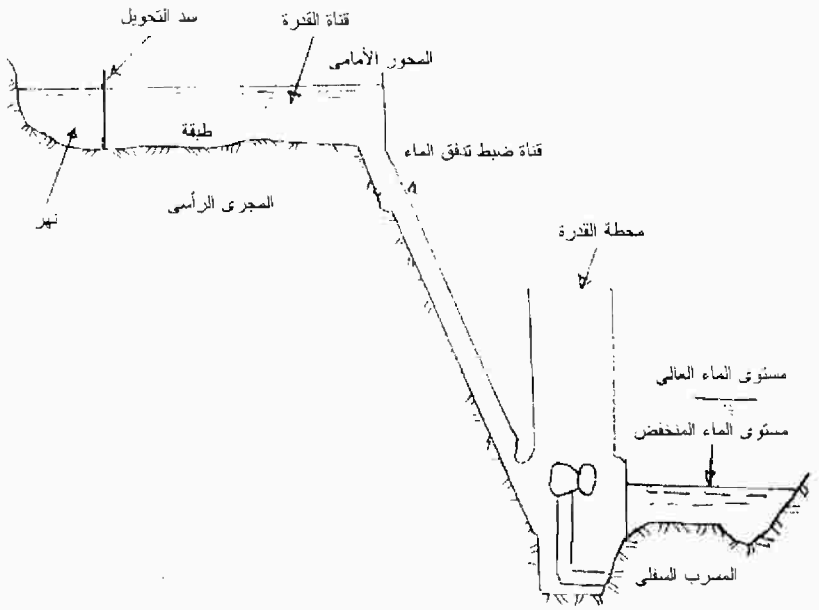
= ٢٤ × ٣٦٠٠ × ٢٤

= ٢,٠٧ × ١٠^٦ متر مكعب

= ٢ مليون متر مكعب.

مكونات محطات الطاقة المائية: (Components of Hydropower plants)

المحطة بالطاقة المائية لتوليد الكهرباء تتكون عمومًا من بعض أو من كل المكونات الآتية: الشكل (٩/١٦).



شكل (٩/١٦) مكونات محطة الطاقة المائية

أ – المجرى الصاعد:

(مجرى الماء الرأسي نحو آلة تدار هيدروليكيا) Head Race، قناة المأخذ (In take conduits)

هذه تصل الخزان أو الحوز الأمامي (Fore by) مع غرفة محطة الطاقة. تلك يمكن أن تكون في شكل قناة مكشوفة أو أنبوبة ضغط، طبقًا لحالات الموقع. قناة أو أنبوبة الضغط قد تكون قناة لضبط جريان الماء (Penstock) أي أنبوبة طويلة من الصلب أو الخرسانة لمرور المآخذ الموسع (Flared) في جسم السد أو النفق بطول عدة كيلومترات قليلة. مجرى أو ماسورة الضغط لا تتبع الكنتورات الأرضية وسرعة الماء تكون عمومًا أعلى (٢,٥ إلى ٣ متر في الثانية) عن حالة القناة المكشوفة، أحيانًا قد يكون من المفضل استخدام القناة المكشوفة جزئيًا أو كليا كقناة

رئيسية. الميزة الرئيسية للقناة المكشوفة هو أنه يمكن استخدامها للري أو للملاحة كذلك.

قناة ضبط جريان الماء (Penstock) عبارة عن أنابيب بقطر كبير مصنوعة من الخرسانة المسلحة أو الصلب ولها مآخذ في الحوز الأمامي (Fore bay) أو الخزان. من المهم حجز الارتفاع العالي للماء فوق قناة ضبط الجريان بحيث أن الهواء لا يمكن أن يدخل قناة ضبط الجريان الذي يكون دوامة كبيرة (whirlpool) ويقلل من خروج الماء. عمومًا يوجد أنبوبة تصريف للهواء على قناة ضبط الجريان اللازم لدخول الهواء في قناة ضبط الجريان عندما تكون بوابات الضغط (Head Gates) مغلقة والماء يتم سحبه بواسطة التربينات.

ب- الحوز الأمامي(Forebay):

الحوز الأمامي هو أساسًا خزان حفظ يتم تجهيزه عند رأس مجرى المآخذ أو الحوز الأمامي الذي يغذي التربينات بالماء. في حالة عدم الحاجة إلى الحمل بواسطة التربينات، فإذا الماء يتم تخزينه مؤقتًا في الحوز الأمامي ومع زيادة الحمل، يتم سحب الماء من الحوز الأمامي. لذلك، فإن الأحوزة الأمامية تعمل كخزان ناتج.

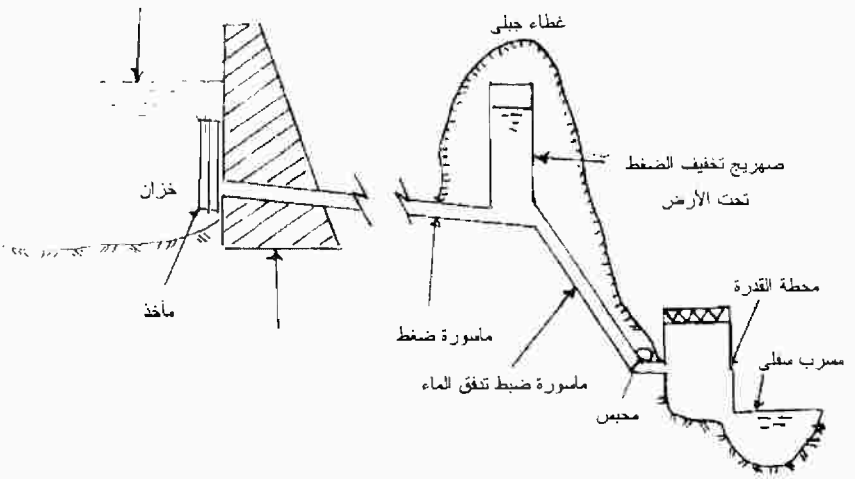
عند وضع غرفة محطة الطاقة عند قاعدة السد فإن الخزان يشكل الحوز الأمامي. فمثلاً، في سد هوفر في الولايات المتحدة حيث غرفة محطة الطاقة (Power House) يكون عند طرف قناة الطاقة (power canal)، فإن الحوز الأمامي يتم إيجاده بتوسيع القناة في شكل حوض صغير لتخزين الماء لاحتياجات الطاقة المفاجئة. هذا يمكن أن يسمى خزان الموازنة Balancing Reservoir – شكل (١٣). أحيانًا يمكن إقامة الحوز الأمامي بإنشاء سد صغير عبر المجرى الطبيعي. مع إقامة السد، فإن سعة الحوز الأمامي تزداد كثيرًا.

صهريج منع الاندفاع المفاجئ في الضغط: (Surge Tank)

صهريج منع الاندفاع المفاجئ في الضغط من التجهيزات العادية في محطات توليد الطاقة بالضغط (الارتفاع) العالي حيث يتم أخذ الماء إلى غرفة الطاقة خلال

أنابيب ضغط أو أنفاق وأحوزة أمامية. وهو لا يعتبر ضروري في حالة محطات الضغط (الارتفاع) المتوسط لمحطات النهر الجاري، محطات الطاقة بالسد، ومحطات قنوات التحويل.

صهريج منع الإرتفاع المفاجئ فى الضغط هو أساسا صهريج ضغط ينشأ ما بين الخزان وأنبوبة الضغط على أحد الأجناب وغرفة الطاقة وقناة ضبط جريان الماء (Penstock) على الجانب الآخر شكل (٩/١٧).



شكل (٩/١٧) إنشاء صهريج تخفيف الضغط

وظيفة ذلك الصهريج هو التحكم في تغيرات الضغط الناتج من سرعة التغيرات في تدفق خط الأنابيب، وبذا عدم حدوث المطرقة المائية وتأثيراتها وكذلك تنظيم الإنتاج للطاقة بتوفير ضغط الإسراع الضروري . (Accelerating Head) عندما يكون هناك خفض مفاجئ في الحمل على التربين، فإن المسئول عن التربين يقوم بضبط تدفق الماء للمحافظة على ثبات سرعة التربين. لذلك، فإن بوابات التربين يتم قفلها بحيث يتم إيقاف الماء المتحرك ودفعه إلى الخلف. كتلة الماء المتحركة يتم إسراعها فجأة بما يسبب حدوث ضغوط المطرقة المائية (Water Hammer). صهريج منع حدوث هذا الاضطراب يعمل كمستقبل لتخزين الماء المنظم بذا خفض سرعة التدفق في الحوز الأمامي وبذا يمكن تجنب حدوث المطرقة المائية. كما في حالة زيادة الحمل على التربينات فإن القائم بالتشغيل والتحكم (Governor) يعيد فتح البوابات بنسبة زيادة

الحمل بما يزيد من تدفق المياه في التربينات وضغط تباطؤ السرعة (Decelerated Head) التي سبق تكوينه في الصهريج يكون كافيًا لتوفير الحاجة لزيادة التدفق. عمومًا يوضح صهريج منع الاضطراب هذا قريبًا التربين لتوفير الزيادة المفاجئة في الطلب على الماء لحين وصول السرعة، في الجزء العلوي لأنبوب (مجرى) الضغط إلى قيمة جديدة تقابل التدفق الزائد. لخفض ارتفاع الصهريج فإن الوضع يكون عادة عند الاتصال لمجرى (أنبوبة) الضغط وقناة ضبط تدفق الماء (penstock) مع التغطية بجزء من التل أو جبل.

محطة توليد القدرة (Power Hose)

الغرض الرئيسي من محطة توليد القدرة هو لدعم ومساندة المعدات الهيدروليكية ومعدلات توليد الطاقة. قد يكون لها شكل العمود الرأسي أو العمود الأفقي. محطة توليد الطاقة ذات الشكل العمودي (vertical) تتكون من ثلاث أجزاء وهي: المنشأ السفلي (Substructure) والمنشأ المتوسط (Intermediate structure) والمنشأ العلوي (super structure) في حالة محطة توليد القدرة ذات العمود الأفقي (Horizontal shaft)، فإن المنشأ المتوسط يكون غير موجود حيث التربين والمولد يكونوا في مباني متجاورة عند نفس المستوى.

المنشأ السفلي:

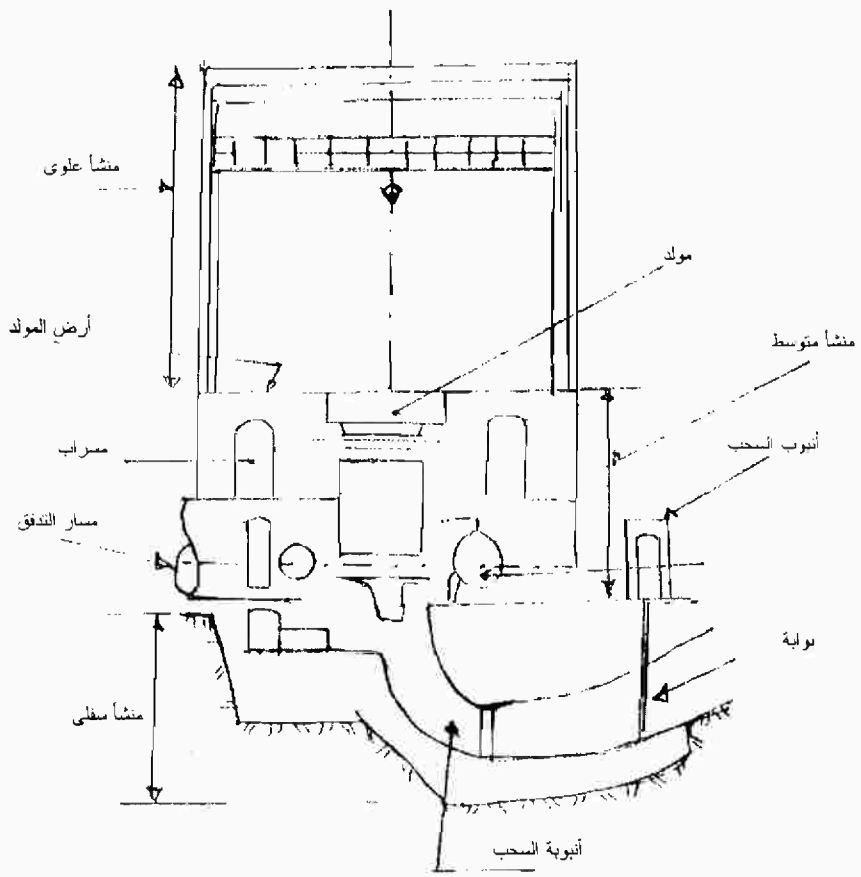
المنشأ السفلي لمحطة توليد القدرة هو ذلك الجزء الذي يكون أسفل مستوى التربين شكل (١٨) وعمومًا يوضع أسفل مستوى الأرض. وهذا يشمل أنبوب السحب (Draft Tube) ، قناة المسرب السفلي (لتسريب الماء من تدوير التربين –Tail Race، بالوعة صرف المياه العادمة (waste water Drains).دهليز الصرف والطلاء الأسمنتى (Drainage and Grout Galleries) نظرًا لأن المنشأ السفلي يقوم بنقل حمل المنشأ العلوي والمنشأ المتوسط إلى الأساس السفلي، فإنه يكون من الضروري أن تكون مادة الأساس قوية. إذا كانت التربة صخرية عند عمق متوسط، فإن المنشأ السفلي يمكن أن يحمل عليها وإذا كانت التربة ترابية،فإن قدرة التحميل للتربة ستكون كافية لحمل الحمل الراكب أو المضاف (Superincumbent load). المنشأ السفلي يكون عادة من كتلة ضخمة من الخرسانة الأسمنتية المسلحة والمنشأ يزود بطابق سفلي (Basement Flow) لاحتواء الوحدات المختلفة بشكل جيد.

المنشأ المتوسط (Intermediate structure)

المنشأ المتوسط يأتي فوق المنشأ السفلي من أعل أنبوب السحب إلى أعلى أساس المولد (شكل ٩/١٨). هذا يحتوي على التربين والتي تشمل غطاءها (Casing)، والدهاليز (Galleries) للمعدات الإضافية ونظام المحرك المؤازر في نظام التحكم الآلي (Servo-Motor).

أرضية التربين تكون مباشرة فوق مستوى التربين ويمكن أن تستخدم للاقتراب نحو مشغل التربين (Runner) وحلقة الضبط.

أرضية التوربين تكون أسفل أرضية المولد وتمكن من الاقتراب منه بسلالم.



شكل (٩/١٨) مكونات محطة الطاقة بالعامود الرأسى

المنشأ العلوي: Super Structure

المنشأ العلوي لمحطة توليد القدرة يمتد من أرض المولد إلى سقف المنشأ ويشمل المولدات، وعناصر التحكم (Governors)، المستثير (Exciter)، حجرة التحكم والمعدات الإضافية اللازمة للتهوية والتبريد، الجزء الهام في معدات محطة توليد الطاقة هو الرافعة المعلقة على مستوى السقف. المنشأ العلوي له ثلاث أحوزة (3Bays) وهي: حوزة المحرك ذات وحدات التوليد، حوزة الرفع والخدمة لتداول أجزاء المحرك الضخمة وتحميلها وتنزيلها وتقريبها وحوزة التحكم والتي تحتوي التحكم الرئيسي والمعدات الأخرى المستخدمة في التشغيل.

أنبوب السحب والمسرب السفلي لتسريب مياه التدوير:

Draft Tube And Tail Race:

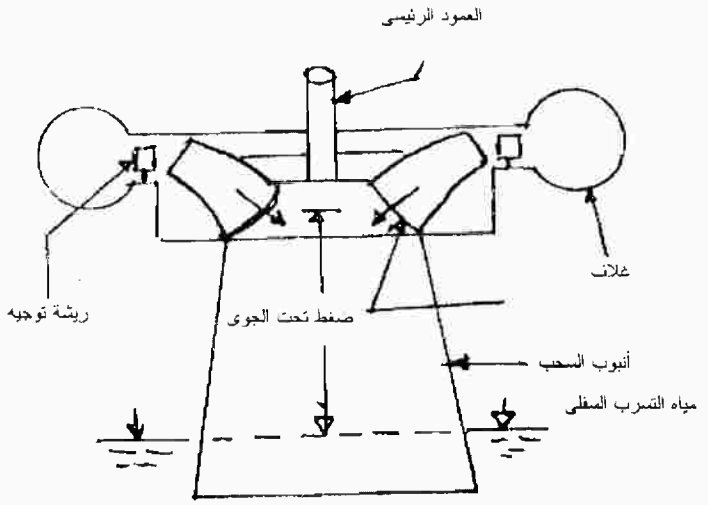
أنابيب السحب يتم توفيرها أساسًا لاستعادة ضغط السرعة (Velocity Head) عند مخرج مشغل التربين (Runner outlet) ومنعها من الذهاب للصرف كفاقد. وهي كذلك تمكن التربين من الوضع عند ارتفاع أعلى قليلاً بدون الفقد في ميزة فرق الارتفاع. وذلك يتم تحقيقه نتيجة للضغط دون الجوي الذي يتوفر عند مخرج مشغل التربين. الشكل (١٩). أنابيب السحب من نوعين:

الأنبوب القمعي بالمقطع الدائري أو نوع الكوع بالمساحة التي تزداد بالتدريج.

المسرب السفلي (Tail Race): وهو عبارة عن القناة التي يتم فيها صرف الماء بعد المرور خلال التربين. طبقًا للظواهر الطبوغرافية للمساحة، فإن التدفق الخارج يمكن صرفه مباشرة للمجرى حيث تكون محطة الطاقة قريبًا من المجرى أو أن التدفق الخارج قد ينصرف فى قناة ذات طول كبير حيث يوجد المجرى بعيدًا عن محطة الطاقة.

في أي الحالات، فإن القناة يجب أن يتم تبطينها جيدًا لمنع البرى أي خفض ارتفاع مياه التسرب عند برى قاع القناة. حيث أن المسرب السفلي لصرف المياه يمكن من أكبر استخدام للضغط العالي، فإنه يكون مكونًا هامًا خاصة للمحطات ذات الضغط

المنخفض (Low Head) ولذلك يتم تصميمها طبقاً للمعلومات حول ارتفاع ماء التسرب السفلي (Tail Water) عند مختلف معدلات التدفق.



شكل (٩/١٩) أنبوب سحب قمعى