الجمهورية العربية السورية

جامعة حماه

كلية الهندسة الزراعية

السنة الثالثة

مقرر الري وإدارة الموارد المائية

قسم النظري

المحاضرة : الخامسة والسادسة

مدرس المقرر

الدكتور زياد الموسى المكسور

الدكتور زياد المكسور

كفاءة الري

يتم نقل ماء الري من مصادره إلى الحقول وتجهيزه للمحاصيل الزراعية بطرق مختلفة، وبعبارة أخرى فأن ماء الري ينقل من نقطة ضخه وحتى مكان استغلاله من قبل النبات، وعليه يتخلل هذه العملية بعض الفاقد المائي تؤثر على كفاءة الري، وفيما يلي بعض المصطلحات المتنوعة لكفاءة الري والتي يمكن من خلال معرفتها التوصل إلى الأسلوب الأمثل في إيصال الماء بكفاءة عالية:

1–كفاءة نقل الماء

هي كفاءة نقل الماء من مصدر الضخ حتى وصوله بداية الحقل، يشمل ذلك حساب الفاقد المائي نتيجة للبخر والرشح من قنوات نقل الماء إضافة لتلك الفواقد الناتجة عن طريق النتح من قبل النباتات النامية على ضفاف القناة. ويمكن تقدير هذه الكفاءة باستخدام المعادلة التالية:

$$E_c = 100\frac{W_f}{W_r} \qquad \text{......} \ (1)$$

E_c= كفاءة نقل الماء

W_f = كمية المياه الواصلة إلى بداية الحقل

W_r= كمية المياه التي يتم ضخها من المصدر

2– كفاءة إضافة الماء

وهي تمثل نسبة كمية المياه المخزونة في المنطقة الجذرية للمحصول في التربة إلى كمية المياه الواصلة إلى بداية الحقل.

الدكتور زياد الحسور

$$E_a = 100\frac{W_s}{W_f}$$

.....(2)

E_a= كفاءة إضافة الماء

W_s= كمية المياه المخزونة في منطقة الجذور

W_f= كمية المياه الواصلة إلى بداية الحقل

إن كفاءة إضافة المياه تبين مصادر الفاقد المائي في الحقل، والتي تكون على هيئة فاقد جريان سطحي (R_f) وفاقد تسرب عميق (D_f) أسفل منطقة الجذور، وعليه فأن:

$$W_f = W_s + R_f + D_f$$ ....(3)

إذن:

$$E_a = 100\frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f}$$

....(4)

وهذا يوضح بأن الفاقد المائي لا يعتمد على طريقة الري المتبعة فقط، وإنما على جملة من العوامل المشاركة في زيادة حجم الفاقد والتقليل من كفاءة الري وتشمل هذه على: (1) مقدار التصرف (2) خواص التربة (3) العمق (4) النفاذية (5) تركيب طبقات التربة (6) مدى استواء سطح الأرض (7) خواص النبات.

بناء على ما تقدم يتبين بأن كفاءة الري بطريقة الري السطحي تتراوح ما بين 40% و 60%، أما بطريقة الري بالرش فهي 60% – 75%، وطريقة الري بالتنقيط فتصل إلى أكثر من 90%.

3- كفاءة استعمال الماء

وهي نسبة كمية الماء المستغل بفائدة من قبل النبات خلال موسم النمو لتلك المياه المنقولة إلى الحقل.

$$E_u = 100\frac{W_u}{W_d}$$

. ...(5)

الدكتور زياد المكسور

E_u = كفاءة استعمال الماء

W_u= كمية الماء المستغل بفائدة من قبل النبات

W_d= كمية الماء المنقول إلى الحقل

4-كفاءة خزن الماء

هي نسبة كمية الماء المخزون في منطقة الجذور إلى كمية الماء المستنفذ من قبل النبات قبل الري.

$$E_s = 100\frac{W_s}{W_n} \quad \text{.....(6)}$$

E_s = كفاءة خزن الماء

W_s= كمية الماء المخزون في منطقة الجذور

W_n= كمية الماء المستنفذ بواسطة النبات في منطقة الجذور

وتصبح قيمة كفاءة الخزن مهمة جداً حينما لا تكون كمية الماء المخزون في منطقة الجذور كافية خلال فترة الري لما لها من تأثير على عملية غسل الأملاح من التربة وضرورة زيادته إلى القدر الذي يضمن ذلك.

5-كفاءة المقنن المائي

$$E_{cu} = 100\frac{W_{cu}}{W_d} \quad \text{.....(7)}$$

E_{cu} = كفاءة المقنن المائي

W_{cu}= المقنن المائي للمحصول

W_d= كمية الماء المفقودة بواسطة التسرب العميق والبخر وتلك المستنفذة من قبل منطقة الجذور

الدكتور زياد المكسور

وبدلالة هذه الكفاءة يمكن معرفة مقدار الماء المفقود بالبخر والتسرب العميق نتيجة كثافة الغطاء النباتي ونفاذية التربة العالية، ونوع التربة، ونظام توزيع المجموعة الجذرية للمحصول.

6- كفاءة توزيع الماء

تبين هذه الكفاءة دلالة مدى تجانس توزيع الماء ضمن منطقة الجذور، مما يؤدي إلى استجابة النبات للنمو بشكل جيد في حالة التوزيع المتجانس وبعكسه في حالة عدم التوزيع بشكل متجانس ضمن منطقة الجذور، وهذا يؤدي إلى جفاف قطاع التربة مما يتطلب عندئذٍ إضافة الماء لتجنب ما قد ينجم من جفاف وظهور الأملاح. ومعادلة كفاءة توزيع الماء يمكن أن تكتب بالصيغة التالية:

$$E_d = 100\left(1 - \frac{y}{d}\right) \quad \text{.....(8)}$$

E_d = كفاءة التوزيع

d= متوسط عمق الماء المخزون في منطقة الجذور

y= الزيادة أو النقصان عن معدل عمق الماء القياسي في منطقة الجذور

يمكن بواسطة هذه المعادلة تقييم طريقة الري نفسها بمواقع مختلفة، كما يمكن بواسطتها المقارنة بين كفاءة التوزيع لطرق الري المختلفة. القيم المنخفضة لكفاءة التوزيع تعني ضرورة إضافة كمية ماء إضافية أكثر بالإضافة إلى زيادة فترة التشغيل وما يرافقها من زيادة في التكاليف مقارنة بقيم كفاءة التوزيع العالية.

الدكتور زياد المكسور

أساسيات الصرف الزراعي

1- الصرف الزراعي

هو عملية التخلص من المياه الفائضة عن حاجة النبات سواء كانت هذه المياه سطحية أم تحت سطحية، وذلك باستخدام الصرف الطبيعي أو بواسطة تنفيذ شبكات صرف لهذا الغرض.

2- أسباب الصرف وأغراضه

تصنف الأسباب وتحدد الأغراض حسب طبيعة المنطقة التي تعاني من مشاكل تغدق التربة أو المراد الحفاظ عليها من مشاكل التملح، وعليه تقسم المناطق إلى مناطق رطبة وأخرى جافة.

2-1 المناطق الرطبة

1- التخلص من المياه الفائضة نتيجة جريان الماء السطحي الناتج عن العواصف المطرية الشديدة أو نتيجة للإفراط في إضافة مياه الري إلى الحقل.

2- خفض منسوب الماء الأرضي ومنع تغدق التربة

ينتج عن تحقيق هذين الهدفين ما يلي:

أ- تحسين خواص التربة (التهوية، والأكسدة، والحرارة وعلاقتها بالبكتيريا).

ب-تسهيل تنفيذ العمليات الزراعية نتيجة لتجفيف القشرة السطحية للتربة الزراعية.

2-2 المناطق الجافة

1- خفض منسوب الماء الأرضي ومنع تغدق التربة

2- غسل التربة من الأملاح الزائدة عن حاجة النبات

3- تعمل على المحافظة على الموازنة الملحية أي المحافظة على تركيز ملحي معين في التربة.

الدكتور زياد المكسور

3-2 تغدق الأراضي الزراعية

التغدق هو عبارة عن عملية ملئ الفراغات البينية للتربة وارتفاع الماء الأرضي إلى سطح التربة أو إلى منطقة الجذور التي تؤثر على إنتاجية الأراضي الزراعية. عادة تتأثر إنتاجية المحاصيل عندما تتشبع منطقة الجذور بالماء الأرضي نتيجة لرداءة التهوية داخل التربة، فالتغدق يؤثر على عملية تكون الغذاء الأولي الذي تحتاجه الجذور، ذلك نتيجة لملئ فراغات التربة بالماء بدلاً من الهواء الذي يعد عاملاً مهماً لوجود الأكسجين، مما يؤثر على عملية تكون النترات في التربة والتي يحتاجها النبات في نموه.

أنواع الصرف وأسس أختياره

والشكل العام لشبكة الصرف

3- أنواع الصرف:

هنالك أنواع مختلفة للصرف وذلك بحسب الغاية من وجوده وتبعاً للظروف الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية أو بحسب نوع النبات وظروف الاستثمار وكذلك تبعاً للإمكانات المادية والفنية المتاحة ونميز هنا:

أ-الصرف الأفقي ويقسم إلى نوعين:

الصرف الأفقي المكشوف: وهو عبارة عن خنادق أو أقنية مكشوفة تنفذ في الحقول بأعماق وتباعدات وميول معينة لتلتقط الماء الزائد وتطرحه خارج المنطقة المراد تصريفها .

الصرف الأفقي المغطى : وهي أنابيب موضوعة داخل التربة وتكون على أعماق وتباعدات وميول بأقطار معينة تؤدي نفس الغرض.

ب -الصرف الشاقولي:

هي أبار شاقولية بأعماق وأقطار وتباعدات معينة غايتها امتصاص الماء الزائد وطرحه خارجاً من خلال ضخ المياه في تلك الآبار وقد تكون تلك الآبار عبارة عن آبار امتصاص تذهب مياها إلى أعماق سحيقة في باطن الأرض من خلال ثقوب تنفذ بالطبقات الكتيمة الحاملة للماء وهذا النوع محدود الاستعمال.

ج- الصرف المختلط:

الدكتور زياد المكسور

هو خليط من النوعين السابقين ويستعمل تبعاً لوضع المنطقة الطبوغرافي وبحسب خواص وظروف الطبقة الترابية المراد تجفيفها وبحسب الإمكانية المادية المتوفرة.

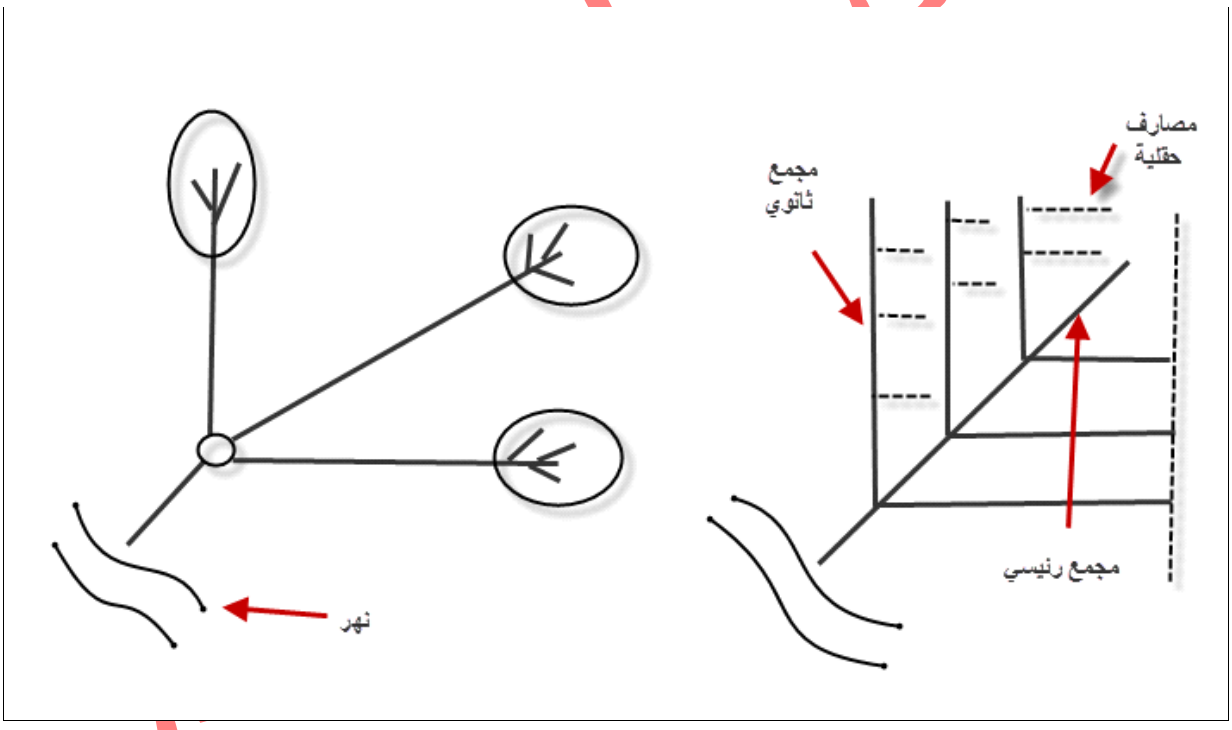
4 -أشكال تواجد شبكات الصرف

قد يشمل الصرف كامل المنطقة فنسميه بالصرف المنتظم أو العام ويمكن أن يتواجد في منطقة معينة تتطلب تصريفاً فنسميه صرفاً غير منتظم أو موضعي والصرف من حيث الاستعمال يقسم إلى:

1-الصرف الدائم : أو الاستثماري وهو الغالب يكون مرتبطاً بعمليات الزراعة والإنتاج الزراعي

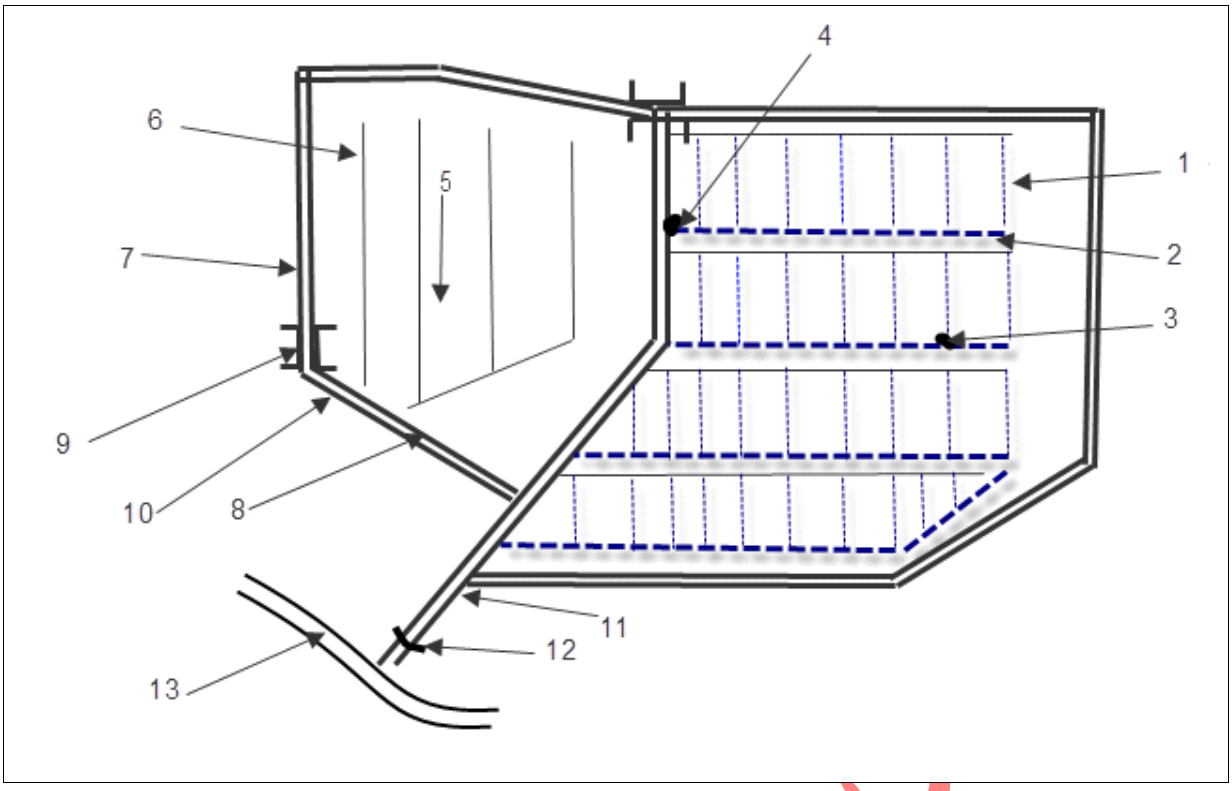
2-الصرف المؤقت :وهو حل آني قد تكون غايته تصريف الأمطار أو تجفيف مستنقع مؤقت بغية استصلاح أرضه وزرعتها.

يتواجد الصرف الدائم بمختلف أنواعه على شكل مجموعة أو مجموعات صرف ما في الشكلين التاليين.



5- الشكل العام لشبكة الصرف :

يبين الشكل التالي الشكل العام لشبكة الصرف وجميع مكوناتها في الحالة العامة :



1-مصرف حقلي مغطى

2-مجمع مغطى مطمور

3-غرفة وصل بالمجمع المغطى

4-نهاية المجمع المغطى

5-اتجاه جريان مياه الصرف الزراعي

6-مصرف مكشوف حقلي

7-قناة أو مصرف حماية

8-مجمع مكشوف

9-جسر عبور

10-طريق حقلي للمواصلات (بجوار المجمع المكشوف وقناة او مصرف الحماية)

11-المجمع الرئيسي

12-منشأة التحكم

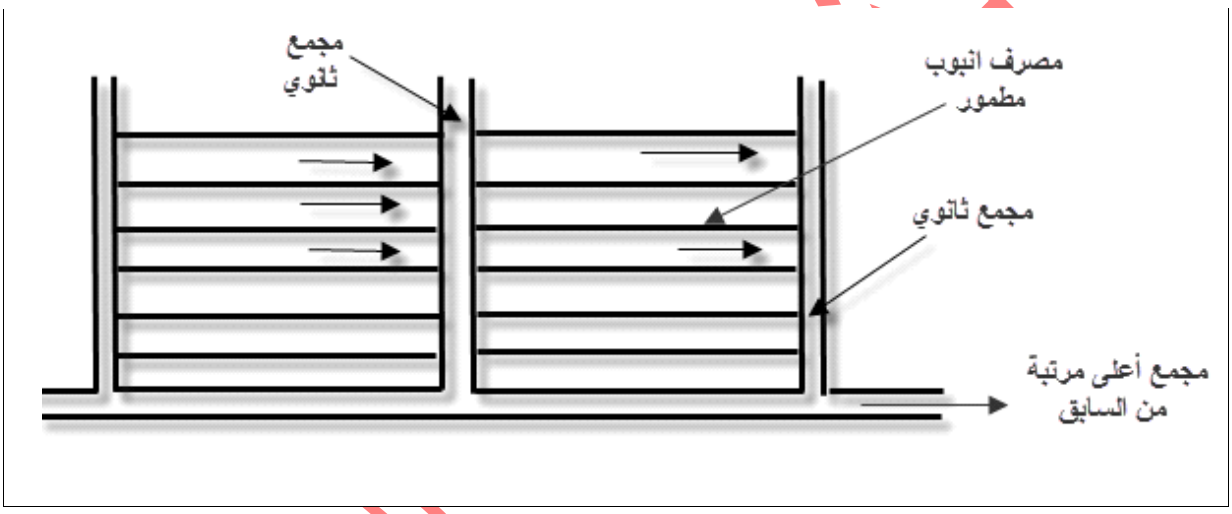
د زياد المكسور

13-المصب على نهر أو بحيرة أو منخفض .

من هذا الشكل نلاحظ أن مجموعة الصرف تلك احتوت صرفاً مكشوفاً و مغطى بالإضافة إلى المنشآت الملحقة بها.

وهذه الملحقات عديدة فمنها ما يؤدي خدمات كالطرق والجسور وأخرى منشآت حماية و وقاية للحفاظ على شبكة الصرف بحالة عمل دائم واستثمار أمثلين كأقنية الحماية من السيل السطحي الخارجي.

أن الصرف يكون مباشراً وذلك عندما تصب المصارف المغطاة في المجمعات المكشوفة أو النهر او البحيرة أو قد يكون غير مباشر حيث تصل مياه الصرف إلى مجمع ثانوي مغطى ومنه إلى مجمع آخر أعلى مرتبة منه وهكذا إلى نهاية الشبكة حيث توجد فوهة المفيض. كما في الشكل التالي.



6-أعماق توضع المصارف:أن عمق المصرف يتعلق بالظروف الهيدرولوجية والهدر وجيولوجية والوضع الطبوغرافي للمنطقة ،وكذلك بخواص التربة الفيزيائية .ولحدما بعمق توضع المياه الجوفية .كما ان الامكانيات المادية والفنية هي الاخرى تتحكم بهذا العمق من اجل تربة معينة يرتبط توضع المصارف بالتباعد فيما بينها .

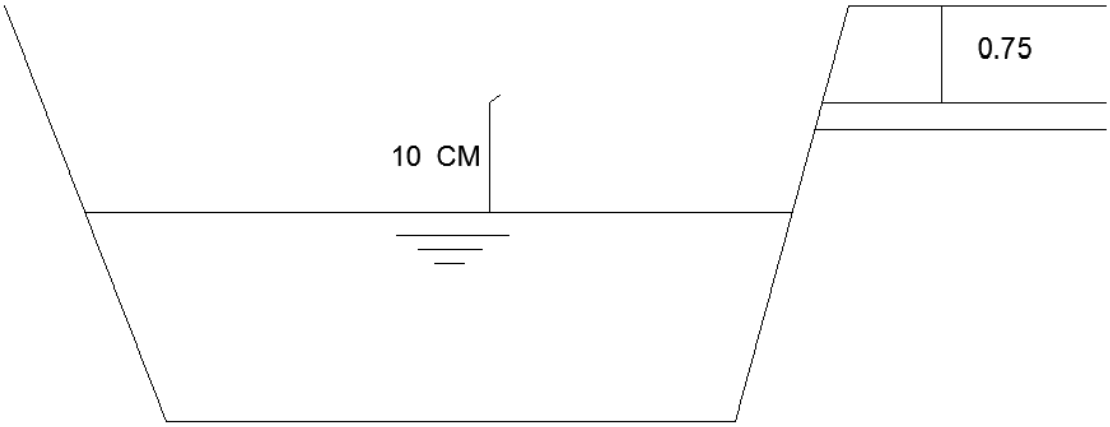
هناك اختلاق كبير في وجهات النظر لتحديد عمق المصارف في إنكلترا بحدود 1.2 m وفي المانيا 1 m -1.2 وفي التحاد السوفيتي اعطى العالم كوفدا العلاقة التالية لتحديد عمق وضع المصارف لظروف المناطقة الجافة وشبه الجافة بحيث يقل عن القيمة H_{cr}

$$H_{cr}=170 +8t$$

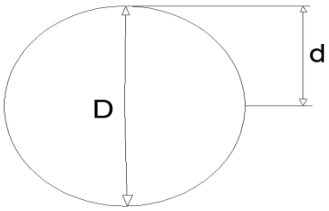
حيث t متوسط الحرارة السنوية بالدرجات .الصرف العميق يحقق شروطا حيوية جيدة للنبات ويهيئ ظروفا مائية أفضل كما أنه اقتصادي و لا نه يسمح بزيادة التباعد بين المصارف وبالتالي تقليل كلفتها

بما أن المصارف تصب في المجمعات فبديهي أن تكون المجمعات أخفض من المصارف وبمجال اتصال المصرف بمجمع مكشوف او نهر جار فيفضل ان يكون منسوب المولد السفلي للمصرف اعلى من مستوى الماء في المجرى بمقدار 10 cm – 30 وتبين اشكال التالية:

اتصال المصرف بالمجمع المغطى والمكشوف



مجمع رئيسي فوهة



مصروف صغير

زياد المكسور

7-الصرف الأفقي المكشوف

7-1محاسن الصرف ومساوئ الصرف في السواقي وحالات استعماله :

أولا- تفريغ حجوم مائية كبيرة من المياه السطحية بسرعة . إذ أن الصرف بالأنابيب لا يصرف الماء إلا ببطء .

ثانيا- يمكن استعمال شبكة الصرف بالسوقي كشبكة ري وخاصة في المناطق الجافة، وذلك بان نضع شكورة في الاقنية لسدها لكي تسمح بالري بالتسرب الجوفي، وهو ما يعرف بالري الباطني .

ثالثا- مجال الميول القليلة يكون الصرف بالسواقي أفضل منه بالأنابيب ، لان الأقنية تستطيع إمرار تدفق اكبر من اجل نفس الميل .

رابعا- بسبب قلة تكاليفه يمكن استعماله في الأراضي ذات القيمة الزراعية القليلة

خامسا- غسل الأراضي المكتسبة من البحر: وهي الطريقة المستعلمة في هولندا حيث يبدأ بعمل شبكة من أقنية الصرف إذ أنها تسمح في السنوات الأولى بغسل الأراضي من أملاحها بفاعلية كبيرة وبعد أن تصبح الأراضي صالحة للزراعة بشكل منتظم و كثيف يستعاض عن سواقي الصرف بأنابيب مطمورة تفرغ في سواقي مفتوحة كمجمعات .

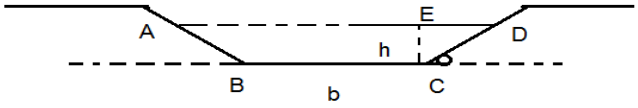
سادسا-ان ضياع مساحات لا بأس بها من الاراضي بالسواقي المكشوفة ومجمعاتها،يعتبر ميزة سلبية للغاية، لان هذه النسبة قد تصل الى 15% ثم ان وجود هذه السواقي يتطلب انشاء معابر (سيفون،عبارة، جسر) وهذه تكاليف اضافية

سابعا- الصرف بالسواقي يحتاج لنفقات استثمارية كبيرة ،بسبب الصيانة والتنظيف الدوري وتصحيح جوانب المصارف ، و ازلة الاعشاب المائية منها لأنها تعيق الجريان وتغير شروطه التصميمية.

2- 7-الحساب الهيدروليكي للمصارف والمجمعات المكشوفة:

يتم الحساب الهيدروليكي للمصارف والمجمعات بإيجاد المقطع الطولي والعرضي لها مع تحقيق بعض المواصفات الفنية المطلوبة ، وذلك وفق الاسس التالية:

آ- اعتماد مقطع عرضي وتحديد قيمة عامل خشونته وميل جوانبه الترابية $\cot g\ \theta$ حيث θ ميل الجوانب مع الافق حيث تكون المصارف المكشوفة غالبا بشكل شبه منحرف .



$ED=h.\ cotg\ \theta$

$AD=b+2h\ cotg\ \theta$

$$CD = \frac{h}{sin\,\theta} = h\sqrt{(1 + \ cotg\ \theta^2)}$$

إذ رمزنا لـ $cotg\ \theta$ بـ m : $m= cotg\ \theta$

(أي ميل الجوانب مع الشاقول) نكتب $ED=m.h$

$AD=b+2mh$

$CD=b+\sqrt{1+m^2}$

المحيط المبلول $P=b+2h\sqrt{1+m^2}$

المقطع المبلول $S=h(b=mh)$

بالتالي نصف القطر المائي $R=\frac{S}{P}=\frac{h(b+mh)}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$

والجدول التالي يبين نوع التربة وعامل الخشونة وميل الجوانب :

الدكتور زياد المكسور

نوع التربة	عامل الخشونة n	ميل الجوانب cot θ = m
رملية	0.026- 0.032	1.5 -2.0
غضارية	0.024- 0.029	0.5 – 1.5
سيليت ناعم	0.026 – 0.033	1.25 -1.75
بحصية	0.028 – 0.038	1 – 1.5

ب- اعتماد قيمة لعرض قاع المجرى المائي بحيث تتراوح بين 1 m – 0.5 لسهولة التنظيف .

ج- تحديد الميل الطولي من المخطط الطبوغرافي وتوجيه المصارف والمجمعات بحيث تتناسب ووضع الأرض وعلى أن تحقق حجم أعمال ترابية اقل ما يمكن ، وكذلك ظروف استثمار وجريان أمثل ، فلا تكون السرعة قليلة تؤدي الي انسداد المصارف نتيجة الترسبات، ولا هي كبيرة كي لا تتجرف جوانب المجرى أو قعره . ينصح بان لا يقل الميل الطولي للمصارف والمجمعات عن 0.0003

د- إجراء الحسابات الهيدروليكية لتحديد مقطع الجريان المائي **s** وارتفاعه h باعتبار الجريان مستقر وذاك وفق العلاقات التالية:

$$Q=V.S= C\sqrt{RI}\ S$$

$$S=(b+mh)\ h$$

$$P=b+2h\sqrt{1+m^2}$$

$$R=\frac{S}{P}$$

$$C=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}$$

في العلاقات السابقة:

Q=التدفق $m^3/\sec$

V=السرعة m/sec

S=المقطع المائي m^2

I=الميل الطولي بدون واحدة

R= نصف القطر الهيدروليكي ب m

P=المحيط المبلول ب m

C=ثابت شيزي يتعلق بأمثال الخشونة حسب مانغ n وبنصف القطر الهيدروليكي

b=عرض قاع المجرى ب m

$V=C\sqrt{R\,I}$

بفرض كامل التدفق K نوجده من العلاقة التالية : $K= SC\sqrt{R}$

$Q=K\sqrt{I}$

وبعد تدقيق السرعة نضيف قيمة احتياطية لارتفاع الجريان

$f=0.5v\sqrt{h} \leq \frac{h}{2}$

3 -7-المقطع الأفضلي :

يمكن تصميم المصارف المكشوفة ومجمعاتها هيدروليكيا انطلاقا من المقطع الأفضلي الذي يمرر تدفقا أعظميا .

بمعرفة الميل I للمصرف وميول الجوانب θ والمطلوب اختيار المقطع ذو التدفق الأعظمي من جميع المقاطع ذات المساحة الواحدة.

في الواقع عندما نغير h و b للمصرف بالمحافظة على مساحة ثابتة S للمقطع، نغير المحيط المبلول(p، p=AB+BC+CD) ، وبذلك نغير مقاومة المصرف المتناسبة مع السطح المبلول (p.L) وبالتالي نغير السرعة الوسطية V ، وكذلك التدفق Q = S.V ، فيتغير نتيجة ذلك ، فنرى انه للحصول على قيمة أعظمية لـQ يجب أن تكون V أعظمية أي أن تكون المقاومة اصغرية أي P اصغرية ولكن

$$P=b+2h\sqrt{1+m^2} \qquad (1)$$

والقيمتان h، b مرتبطتان بالعلاقة :

$S=(b+mh)h$ (2)

$\frac{s}{h} = b + mh$ ومنه

بالتالي

$b=\frac{s}{h} - mh$ (3)

بالتعويض بالعلاقة (1) ينتج

$P=\frac{s}{h} - mh + 2h\sqrt{1+m^2}$

$P=\frac{s}{h} + h\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)$

$\sqrt{1+m^2} - m=\lambda$ بفرض(4)

وهي قيمة ثابتة تصبح المعادلة السابقة بالشكل

$b=\frac{s}{h} + \lambda h$ (5)

$\frac{dp}{dh} = -\frac{s}{h^2} + \lambda$ منه الاشتقاق

القيمة الاصغرية لـ p توافق

$$\frac{dp}{dh} = 0$$

$$0 = \frac{s}{h^2} + \lambda$$

$$\lambda = \frac{s}{h^2}$$

$s= \lambda h^2$ (6)

$h=\sqrt{\frac{s}{\lambda}}$ او (7)

بعد حساب h بهذه المعادلة يمكن حساب b من المعادلة(3)

الدكتور زياد المكسور

تصلح المعادلتان 3 و 7 مهما كانت قيمة s فيمكن إذن حذف s بين هاتين المعادلتين بتعويض قيمة s في المعادلة 3 بقيمتها بالمعادلة 6 فينتج $b=\frac{h^2\lambda}{h}-mb$

$$b=(\lambda-m)h \quad (8)$$

هذه هي العلاقة التي يجب أن تحققها h و b لكي يكون التدفق أعظميا مهما كانت قيمة s من اجل مقطع مستطيل(m=0)، تصبح هذه المعادلة: b = 2 h أي إن عرض القناة يساوي إلى ضعف ارتفاع الماء لنلاحظ انه عندما تكون (8)محققة تكون s معطية بالعلاقة 6 و p تعطى بالعلاقة 5 بعد تعويض s بقيمتها يكون

$$P=\frac{h^2\lambda}{h}+\lambda h$$

$$P=\lambda b+\lambda h=2\lambda h \quad (9)$$

ينتج من ذلك ان قيمة نصف القطر المائي

$$R=\frac{S}{P}=\frac{h^2\lambda}{h2\lambda}=\frac{h}{2} \quad (10)$$

غير تابعة لميل جوانب المصرف ، أي مهما كانت الميول الجانبية للمصرف، فمن اجل المقطع الموافق للتدفق الأعظمي،يكون نصف القطر المائي مساويا نصف ارتفاع الماء.

مثال: قناة ترابية ميل جوانبها m= 1.5 وعامل خشونتها n = 0,03 وميلها الطولي 0.0013، تجفف قطعة ارض فيصل التدفق فيها الى θ = 6.5 والمطلوب دراستها هيدروليكيا بحيث تكون السرعة فيها

$$0.15< v \leq 0.8m/sec \ .$$

الحل:

بفرض عرض قاع القناة (المصرف) b= 0.8m يكون

$$S=h(b+mh)$$

$$S=h(0.8+1.5h)$$

$$p=b+2h\sqrt{1+m^2}$$

$$P=0.8+3.6h$$

$$R=\frac{s}{p}=\frac{(0.8+1.5h)h}{0.8=3.6h}$$

$$C=(\frac{1}{0.03})R^{\frac{1}{6}}$$

$$K=S\ C\ \sqrt{R}$$

$$K=(0.8+1.5h)h\times\frac{1}{0.03}.\ .\ R^{\frac{1}{6}}\ .\ R^{\frac{1}{2}}$$

$$=\frac{0.08+1.5h)h}{0.03}.R^{\frac{1}{6}+\frac{3}{6}=\frac{4}{6}=\frac{2}{3}}$$

$$K=\frac{(0.8+1.5h)h}{0.03}.\ R^{\frac{2}{3}}$$

$$K=\frac{(0.8+1.5h)h}{0.03}\ [\frac{(0.8+1.5h)h}{0.8+3.6h}]^{\frac{2}{3}}$$

بالتقريب المتتالي نفرض h ونحسب k ومن ثم Q.

بالحل

$$h=0.051$$

$$v=0.151m/sec$$

$$f=0.5v\sqrt{h}=0.017$$

$$H=h+f=0.051+0.017=0.068$$

الدكتور زياد المكسور