أساسيّات الرّيْ

جورج هارغريفز
غاري ميركلي
هندسة البيولوجيا والري
جامعة ولاية يوتا

المقدمة

إن مستقبل العالم يعتمد إلى حد كبير على كيفية إدارتنا للموارد الطبيعية. ومنذ العام 1900 كان هناك زيادة بمقدار 9 أضعاف في إنبعاثات الكربون العالمية نتيجة حرق الوقود المتحجر، وأن سكان العالم كان قد زاد حوالي 3.7 أضعاف هذا القرن. وقد تم تدمير مساحات شاسعة من الغابات، وأن الأراضي المروية الآن تقوم بإنتاج 40% من التزويد العالمي من الغذاء. ونتيجة لإستنزاف إحتياطات المياه الجوفية وكذلك الزيادة في السكان، فإن المساحة المروية لكل فرد قد تدنّت. وتبعاً لذلك، فإن ري أراضي رسوبية إضافية يعتبر ضرورة إستراتيجية لجميع البشر.

والكثير من الأراضي الرسوبية لا يمكن أن تصبح منتجة من دون التنمية المسبقة للموارد المائية على شكل تحكم في الفيضان، والصرف والري. وإنتاج الكهرباء من الطاقة المائية وكذلك إنتاج الكحول من المحاصيل المروية، كما تم ممارستة في البرازيل، يمكن أن يبطّيء من عملية زيادة إنبعاثات الكربون. ومثل تلك التطويرت المتنوعة لا تعتبر منفصلة من ناحية مثالية؛ بل على العكس، فإنه يجب أن يتم إعتبارها كأجزاء مكملة لخطة التنمية الشاملة. وحفظ الموارد الطبيعية وزيادة إنتاجية الأراضي المروية هي أيضاً ضرورات إستراتيجية. والكثير من التكنولوجيا الموجودة تعتبر قابلة للنقل والتحول بشكل كبير وأن النواتج المحصولية يمكن أن تزداد بشكل كبير على الأراضي الموجودة بالفعل تحت الري.

وقد عمل المؤلفون في الكثير من الدول بالإتصال مع مسوحات الموارد، والتدريس، وتخطيط وتنمية وإستخدام الري كأداة لزيادة الإنتاج وكذلك توفير فرص العمل. وقد قاموا بالكتابة بشكل مكثف وقد تم تكريمهم بالنسبة لإنجازاتهم. ولهم الخبرة الكبيرة بكل شيء من تطويرات تكنولوجيا الري البسيطة البدائية إلى التطوير المعقد للري في الولايات المتحدة الأمريكية وكذلك في عدد كبير من الدول حول العالم. وكلا المؤلفين كانوا قد كرسّوا أعمالهم في التدريس، والبحث والإستشارات في الري الزراعي وأن هذا الكتاب سوف يعطي الحوافز من أجل التقصّي والتوثيق للموارد الأرضية والمائية، وتحسين التنمية، وزيادة النواتج المحصولية، وحفظ الموارد الطبيعية، وكذلك تحسين البيئة.

ونود أن نقدّر الهيئة التدريسية في قسم هندسة البيولوجيا والري في جامعة ولاية يوتا لمساهمتهم خلال عملية تحضير هذا الكتاب. ونود أن نشكر عالياً السيد بابوكانان كاسيلينغام للمساعدة في تصحيح المادة وكذلك لتقديمة الإقتراحات القيّمة. وقد تم إهداء هذا الكتاب لزوجاتنا، سارا هارغريفز و بونغبان ميركلي.

المحتويات

1. المقدمة 1
1-1 أساسيات الري 1
1-2 تعريف الري 1
1-3 وجهات نظر إحصائية للري الزراعي 3

2. العوامل التي تؤثر على إنتاج المحاصيل 7
2-1 المقدمة 7
2-2 طاقة الحرارة، والإشعاع، والتبخر 8
2-3 التغير المناخي 12
2-4 خصوبة وتسيمد التربة 13
2-5 توفر وتوزيع الماء 18
2-6 تهوية وتصريف التربة 21
2-7 كثافة النبات، والمسافات، ومؤشر مساحة الورقة 22
2-8 نوع المحصول 23

3. الترب الزراعية 26
3-1 المقدمة 26
3-2 نسيج وتركيب التربة 26
3-3 تصنيف وتقييم التربة 28
3-4 تصنيف مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي 29
3-5 عمر وتضاريس التربة 30
3-6 كيمياء التربة 31
3-7 معدلات الترشيح 31
3-8 علاقات التربة والماء 33
3-9 عادلات محتوى ماء التربة 36
3-10 طاقة ماء التربة 38
3-11 قياس محتوى ماء التربة 39

4. تقييم مصادر الري 41
4-1 المقدمة 41
4-2 الطقس 41
4-3 الهيدرولوجيا 43
4-4 العوامل البشرية والعوامل الأخرى 46
4-5 التنمية المتكاملة 47

5. طرق الري 50

5-1 المقدمة 50
5-2 الري بالشرائح المدرج 51
5-3 الري بالأحواض 52
5-4 الحواجز الكنتورية 52
5-5 الري بالأتلام 53
5-6 الري تحت السطحي 54
5-7 الري بالرش 55
5-8 الري بالتنقيط 56
5-9 إختيار طريقة الري 58
5-10 تدريج وتسوية الأراضي 60
5-11 معدات وممارسات التسوية بالليزر 62
5-12 حسابات الميل القطري 63
5-13 تقييم نظام الري 64

6. المتطلبات المائية للمحصول 68
6-1 المقدمة 68
6-2 الطرق المباشرة 69
6-3 الطرق غير المباشرة 69
6-4 طاقة التبخر 70
6-5 البخرنتح المرجعي 71
6-6 الإشعاع الشمسي من خارج الأرض 76
6-7 متطلبات الري 79
6-8 معاملات المحصول 79

7. جدولة الري 88
7-1 المقدمة 88
7-2 إستنزاف الماء المسموح به 89
7-3 مراقبة ماء التربة 92
7-4 جدولة الريات 94
7-5 ري الأرز 95

8. الصرف 97
8-1 المقدمة 97
8-2 فوائد الصرف 98
8-3 الصرف السطحي 98
8-4 الجريان تحت السطحي 99
8-5 المسافات بين المصارف 101
8-6 أنواع المصارف 105
8-7 حل مشاكل الأملاح 106

9. قياس التدفق.....110
9-1 المقدمة.....110
9-2 مفاهيم أساسية.....111
9-3 دقة قياس التدفق.....112
9-4 طرق قياس القنوات المفتوحة البسيطة.....113
9-5 الهدارات.....116
9-6 معادلات تصريف الهدار ذو العتبة الحادة.....118
9-7 المجاري الصناعية.....123
9-8 الهدارات ذات العتبة العريضة.....129
9-9 معايرة بوابات القناة.....133
9-10 عدادات التدفق التجارية.....137
9-11 عداد قياس التيار.....137

10. السياسات والإدارة.....142
10-1 المقدمة.....142
10-2 إدارة المياه.....143
10-3 إختيار خليط من المحاصيل.....145
10-4 حجم المزرعة المروية.....147
10-5 إدارة المستجمعات المائية.....147
10-6 التنظيم والإدارة.....148
10-7 آبار المياه الجوفية.....150
10-8 قوانين وحقوق المياه.....150
10-9 جعل الري مربحاً.....152

الملاحق
الملحق أ الأطلس الزراعي العالمي للمياه والطقس
الملحق ب تعريف المصطلحات
الملحق ت الوحدات والثوابت الفيزيائية
الملحق ث قائمة الرموز

المراجع

نص تكنولوجيا تطبيقية من أجل التعليم
الري على المستوى المتوسط

نص تكنولوجيا تطبيقية من أجل التعليم
الري على المستوى المتوسط

جورج هارغريفز، إستاذ بحث فخري
و
غاري ميركلي، أستاذ

مركز الري الدولي
قسم هندسة البيولوجيا والري
جامعة ولاية يوتا، لوغن، يوتا

قام بترجمة هذا الكتاب إلى اللغة العربية

د. ياسر كمال نزال
مختبر أبحاث مياه يوتا

أيار 2007

الوحدة الأولى

المقدمة

1- 1 أساسيات الري

كتاب أساسيات الري هو عبارة عن نص شامل حول مباديء أساسيات وممارسات الري للري الزراعي التطبيقي. وهذا الكتاب لإستعمال المدرّسين لمساقات المباديء في الري، وللمزارعين الذين لديهم بعض مباديء المعرفة الفنيّة، وكذلك للإداريين الذين هم بحاجة إلى الفهم العام للري كمساعد في قرارات حُسُنْ الإدارة في تطوير وتخطيط مصادر المياه. لذا، فإن كل مجال موضوع تم عرضه في هذا الكتاب يمكن فقط أن يتم إعتباره كمقدمات، وأن تصميم نظم الري ليس مشمولاً هنا. والقاريء المهتم يمكن أن يغوص أكثر عمقاً إلى كل من المجالات من خلال الإشارة إلى مواد أخرى أكثر تخصصاً، بما في ذلك العديد من النصوص الممتازة حول المفاهيم المتنوعة لتصميم نظام الري والذي يعتبر متوفراً حالياً. والكثر من تلك الكتب والكتيبات الإرشادية تم سردها في المراجع وقائمة الكتب في خلف هذا الكتاب.

التطورات والتكنولوجيا الحديثة تم شمولها هنا عندما يكون لديها تطبيقات عملية واضحة، ولكن بالنسبة لأغلب أجزاء المادة فإن الكثير من المحتويات تعتبر عملية جداً والكثير أساسياً غير عملياً. وعلى الرغم من ذلك، فإن بعض المواد التي تم تغطيتها في هذا الكتاب تذهب إلى ما وراء مفاهيم المباديء في محاولة لوصف العلاقات والآليات المستخدمة من قبل علماء ومهندسي بشكل أفضل.

1- 2 تعريف الري

كان قد تم ممارسة الري لما يزيد عن 5000 سنة وقد كان أساسياً من أجل تنمية بعض الحضارات الأولى. وأقدم ممارسة ري كانت بواسطة التحويل بواسطة الجذب الأرضي ومن رفع المياه بواسطة الطاقة البشرية والحيوانية أو بواسطة جريان الماء. وقد أدركت الحضارات الأولى أن العناصر الأساسية لنموالنبات هي المياه والطاقة ومغذيات النبات. ومنذ ذلك الحين، لقد أصبح إستخدام الأحواض المستوية المحاطة بسواتر (حواجز) ترابية أو حواف صغيرة شائعة لزراعة الأرز وحبوب الغذاء الأخرى. وفي العصر الصناعي والتكنولوجي، فإن فرص وطرق الري تم التوسع بها بشكل كبير. وتشتمل ممارسات الري الحالية على طرق ري سطحي متنوعة، وطرق الري بالرش، والرذاذ، والتقطير أو التنقيط. ومن ناحية مثالية، فإنه تم معاملة الري على أنه المركب الرئيسي في منظومة التنمية الزراعية المتكاملة والتي فيها يتم تعظيم العوائد المحصولية و/أو الأرباح من خلال إعتبار تأثير نوع المحصول، وكثافة الزراعة، وتهوية التربة، وممارسات الإدارة الأخرى على العوائد المحصولية.

والمصطلح "ري" يستعمل أحياناً مع الإشارة إلى كل من التزويد المائي للمحاصيل وكذلك تصريف المياه الزائدة. وفي الواقع، فإن العديد من نقاشات الري تعتبر غير كاملة بشكل محزن ومن دون إعتبارات بالنسبة للصرف، وخصوصاً عندما يتم إعتبار نظم الزراعة والإنتاج الزراعي المتكامل. وربما يتم معاملة الري بشكل منفصل عندما يتم مناقشة تصميم وتشغيل نظم إضافة الماء

داخل المزرعة، ولكن يجب أن يتم إعطاء الصرف أهمية متساوية من وجهة النظر الشاملة إذا ما أريد للزراعة أن تكون ملائمة في منطقة معينة لما يزيد عن عدة سنوات. والإجراءات بالنسبة لصرف المياه السطحية وتحت السطحية الزائدة تعتبر دائماً ضرورية بالنسبة للزراعة المستدامة. لهذا، فإنه في بعض الحالات يعتبر الصرف الطبيعي ملائماً (فعلى سبيل المثال، الأرض تعتبر واقعة بشكل كبير فوق ممرات مائية موجودة) وأنه لا يوجد حاجة إلى بنية تحتية للتخلص من الماء الزائد من الري، والأمطار، والجريان السطحي. وفي العديد من المناطق الزراعية في المناطق المطرية الحارة فإن الهطول المطري يعتبر أكثر من ملائماً لتلبية المتطلبات المائية للمحصول، ونظم الصرف تعتبر أكثر أهمية من نظم الري في تلك المناطق.

والتزويدات المائية من الجداول، والخزانات، والآبار، أو المصادر الأخرى تعتبر وبشكل متكرر محدودة بالمقارنة مع المناطق الجيدة نسبياً للري وكذلك الإحتياجات بالنسبة للمحاصيل التي يمكن أن يتم إنتاجها على أراضي مروية. وعلم الري أصبح مهتماً بشكل متزايد بمسائل ذات علاقة بكم هي الأراضي التي سيتم ريها بالتزويد المتاح وبأي تكلفة. وفي بعض المناطق الجغرافية، فإن النمو السكاني يتعدى الزيادات في إنتاج الغذاء. وهكذا، فإن هناك حاجة إلى التوسع السريع في الري من أجل الحد من المخاطر في الزراعة ومن أجل زيادة إنتاج الغذاء. ولغاية الآن، فإن التوسع السريع في الري ربما لا يتوافق مع التخطيط الجيد من أجل تنمية المصادر المستقبلية الشاملة. والتطور السريع مع التكنولوجيا الحالية ربما تعمل على تلويث المصادر المائية، مما يتسبب في مشاكل خطيرة بالنسبة للأجيال القادمة.

وفي عام 1994 قام كل من Powers و Stuver بتعريف إدارة المياه على أنها ضبط توزيع المصدر وإستعمال الماء لأغراض معينة. وتحتوي إدارة الري على تحديد متى يتم الري، والكمية التي يتم إضافتها عند كل ريّة وخلال كل مرحلة من نمو النبات، وتشغيل وصيانة نظام الري، وفي نفس الوقت الأخذ بعين الإعتبار توفر الماء والموازنة المائية الكليّة. وتشتمل الموازنة المائية الكليّة على التدفقات المائية الداخلة و التدفقات المائية الخارجة من منطقة الري، وعموماً تشتمل على كل من التفاعلات الهيدرولوجية السطحية وتحت السطحية.

ويوجد هناك تعريفات متنوعة للري، وكل واحد منها يعتمد على وجهة النظر أو النظام التي تم إشتقاقه منها. لهذا، فإن التعريف الشائع والعام للري *هو إضافة الماء إلى التربة لغرض دعم نمو االنبات*. وبتحديد أكبر، فيوجد هناك عدد من الأهداف التي يتم تحقيقها بشكل مثالي بواسطة الري: (1) لإضافة الماء إلى منطقة جذور النبات من أجل نمو النبات؛ (2) لتزويد مخزون ماء التربة كتأمين ضد الجفاف قصير المدة؛ (3) لتبريد التربة و/أو الهواء المحيط بالنباتات، لإيجاد بيئة صغيرة مفضلة لنمو النبات؛ (4) للحد من أو منع الآثار الضارة للتجمد قصير الأمد؛ (5) لغسل أو تخفيف الأملاح في التربة؛ (6) لتنعيم الطبقات الصلبة وكتل التربة (الكَدَرْ)؛ (7) لتأخير تكوين البراعم بواسطة التبريد بواسطة التبخر؛ و (8) لطرح تدفق الفضلات السائلة (المياه العادمة) من المزارع. وهذه ليست جميع الأهداف التي يمكن أن يتم ذكرها بالنسبة للري، وفقط يمكن للقليل من تلك التي تم ذكرها أعلاه أن يتم تطبيقها في أي حالة معينة، ولكنها بمجموعها تمثل الأسباب الرئيسية للري في المناطق الزراعية.

1- 3 وجهة النظر الإحصائية للري الزراعي

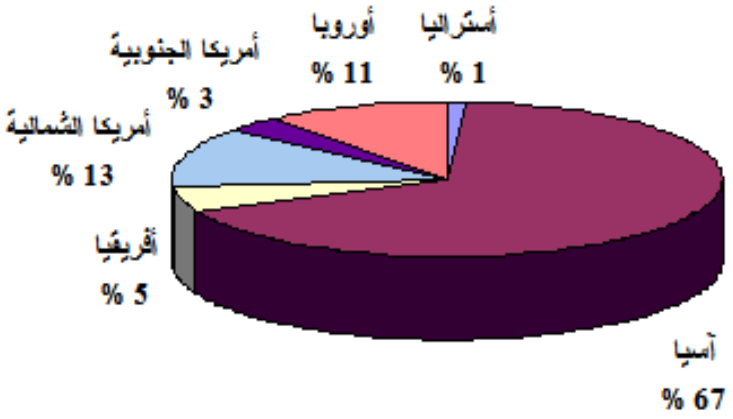
تعتبر نسبة 17% من الأرض المزروعة العالمية المقدرة مروية وتنتج حوالتي 40% من الغذاء العالمي. وبقية الأرض الزراعية والتي نسبتها 83% تعتبر غير مروية، أو "مطرية" (بعلية). ومن المجموع الكلي للمساحة المروية في العالم اليوم، فإن 10% تعاني من التملّح بدرجة خطيرة تحد من إنتاج المحاصيل. والتملّح يزداد في حدود 2 مليون هكتار سنوياً. والمساحات الكبيرة من الأراضي المروية تعتمد على السحب من المياه الجوفية، أو "الحفر العميق" للمياه الجوفية. ويعتبر 40% من مصادر المياه العذبة في غرب الولايات المتحدة الأمريكية من المياه الجوفية، والعديد من المساحات الزراعية السابقة كان قد تم تركها بسبب النضوب الخطير للأحواض الجوفية، مما يجعلها غير إقتصادية للأستمرار بالضخ. السحب الجائر للأحواض الجوفية يمكن أن يؤدي إلى دمار لا يمكن الرجوع عنه عندما يتم إنهيار الأحواض جزئياً نتيجة للفراغات الناتجة من سحب الماء. وتقدر نسبة الري من المياه الجوفية ذات السحب الجائر 10% في الصين، و 33% في إيران، و 75% في الجزيرة العربية. والأحواض الجوفية في شمال أفريقيا، وعلى الأقل 6 من الولايات الغربية للولايات المتحدة الأمريكية، ووسط المكسيك، ومناطق أخرى هي في طور النضوب. والأحواض الكبيرة والقديمة في ليبيا تعتبر حالياً تحت الضخ من أجل الري وأغراض أخرى، وأنه يقدر بأنه سوف يتم إستنزاف المصادر خلال 50 سنة وذلك لأنه بالضرورة لا يوجد تغذية من مياه الأمطار.

ومنذ العام 1984 فإن حصة الفرد من إنتاج حبوب الغذاء كانت قد إنخفضت بنسبة 15% تقريباً. وهناك حاجة متزايدة للحفاظ على الطبيعة، والحياة البرية، وكذلك البيئة. لهذا، فإن الطبيعة والحياه البرية لديها فرصة قليلة لبقائها من دون التدهور الخطير في الأماكن التي يعد العديد من الناس فيها فقراء، وجائعين، أو بدون عمل. لا يوجد أمة يمكن وبنجاح أن تنشيء الإزدهار في بيئة غير محسّنة، وأن توفر الغذاء بكثرة يتطلب غالباً تحسين إستعمال الرض والمصادر المائية, وهكذا، فإن أهمية الري لم تكن أبداً بهذه الأهمية.

وكان علماء السكان قد توقعوا زيادة في عدد سكان العالم إلى ما يزيد على 10 بليون شخص حتى العام 2050 (Brown وآخرون 1997). ومثل معدل النمو هذا سوف يؤدي إلى إجهاد (كَرْبْ) شديد على البيئة وعلى قابلية الزراعة لتزويد الغذاء الكافي. وكان العديد من الخبراء قد توقعوا مجاعات على نطاق واسع ونقص غذاء إقليمي في العقود القادمة. وسوف تصبح الإستثمارات في الري وإدارة مصادر المياه أكثر أهمية في السنوات القادمة. والكثير من تلك الإستثمارات سوف تأتي على شكل إدارة مياه وإنتاجية محسّنة، وليست على شكل توسع "أفقي" مع تطويرات لأراضي جديدة. وكان يوجد أكثر من 100% زيادة في إنتاج الغذاء الكلي في العالم النامي خلال السنوات الثلاثين الماضية، ولكن حصة الفرد من الإنتاج الزراعي كانت قد زادت بشكل قليل، ما عدا بعض المناطق في آسيا والتي كانت فيها الزيادة 40% أو أكثر. وسوف تكون تحدٍ صعب متزايد بالنسبة للإنتاج الزراعي ليحافظ على الخطى مع النمو السكاني العالمي.

والعديد من المناطق في الدول النامية والتي أتمت حديثاً مشاريع ري كانت قد شهدت إنجراف تربة متوسط إلى عالي. والكثير من هذه المشكلة يعتبر نتيجة لنقص الخبرة في الري في المناطق التي كانت تزع تقليدياً بمحاصيل مطرية أو بعلية (غير مروية)، أو التي لم يكن فيها سابقاً إنتاج زراعي. وتعتبر الإمكانية لتطوير أراضي جديدة تحت الري هي كبيرة في أمريكا الوسطى والجنوبية، وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. ولكن تم توقع أن تكاليف التطوير في أفريقيا جنوب الصحراء الكبري بأن تكون أكبر بكثير منها في أمريكا الجنوبية.

ويوجد في العالم تقريباً 250 مليون هكتار مروية، والتوزيع التقريبي لها مبيّن في الشكل 1-1. ولدى الولايات المتحدة بعض من 20 مليون هكتار مروية، والتي منها حوالي 60% يتم ريها بالجذب الأرضي أو الطرق السطحية (الأتلام، الأحواض، و الشرائح)، وأن 30% أو يزيد



الشكل 1-1: نسب المساحة المروية حسب القارة.

يتم ريها بالرش. حوالي 17% من المساحة المروية في الولايات المتحدة هي موجودة في كاليفورنيا، مع كل من تكساس ونبراسكا تحتلان أكبر ثاني وثالث مساحة مروية في الولايات المتحدة.

ونتيجة للتغير المناخي الناتج من تراكم ثاني أكسيد الكربون، فإن درجات الحرارة سوف تزداد، وأن رطوبة التربة في الصيف يتوقع لها أن تنخفض في معظم مناطق شمال أمريكا (الجغرافيا الوطنية، 1998). وسوف يخلق الإستنزاف السريع لمخزون المياه الجوفية وتلك التوجهات حاجة لتطوير سريع لمصادر المياه السطحية.

وتستخدم الولايات المتحدة ما يقدر من 120.000 مليون متر مكعب من مياه الري في السنة على حوالي 240.000 مزرعة. ويعتبر نصف مياه الري تقريباً في الولايات المتحدة يأتي من ضخ آبار المياه الجوفية، وأن معدل الإضافة السنوي في حدود 570 مليميتر. وتستخدم الزراعة المروية في غرب الولايات المتحدة الأمريكية بشكل مثالي 80 إلى 85% من مجموع المياه العذبة المحوّلة أو التي تم ضخها للزراعة، والصناعة، وللبلديات، ولأغراض أخرى. لهذا، فإن معظم المياه السطحية من الأنهار والبحيرات لا يتم "تحويلها" وذلك بسبب الهموم البيئية وكذلك تكاليف التطوير. وفي النهاية يتم جريانها خارجياً إلى البحر. وعالمياً، فإن أحواض المياه الجوفية يتم إستنزافها بسرعة، ولكن فقط جزء من المياه السطحية كان قد تم تطويرها للري ولإستعمالات أخرى. وتعادل كمية المياه السطحية المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية حوالي 1/ 9 من جريان نهر المسيسيبي.

ودائماً على الأغلب ما ينتج عن إضافة مياه الري بعض جريان المياه السطحي و/أو التسرب العميق، وهذه "الفواقد" تكون مسؤولة عن ما يتم الإشارة إليه *بالجريان أو التدفق الراجع*. والجريانات الراجعة من الري (سطحية وتحت سطحية) تميل إلى تقليل فوائد تحسين كفاءة الري، ما عدا من حيث كلفة إضافة الماء في المقام الأول، وفي تدهور نوعية الماء الإعتيادية. وهذا يعني أنه لا يعتبر دائماً مفيداً أن يتم زيادة كفاءة الري إلا إذا تم أخذ خطوات لتعويض الجريانات الراجعة المنخفضة.

وعالمياً، فإن أكثر من 95% من المساحة المروية هي بواسطة الطرق السطحية، وأن أكثر من نصف المساحة المروية تعتبر موجودة في خمسة دول: الهند، والصين، والولايات المتحدة، وروسيا، والباكستان. وهكذا، فإن معظم الأراضي المروية في العالم هي في آسيا، والتي فيها 90% من مساحة الإنتاج العالمي للأرز وأن نصف السكان تقريباً يعملون في القطاع الزراعي (منظمة الفاو، 1981). ويوجد أيضاً مساحات كبيرة في العالم تحت ظروف إنتاج زراعي مطري (بعلي)، أو غير مروي. وهناك مساحات عديدة في جنوب شرق آسيا وشبة القارة الهندية تعتمد على المطر كمياه ري، ولكن تلك المناطق أيضاً لديها المئات من مشاريع الري التي تكمّل بمياه المطر وتسمح بإنتاج موسم جاف. حتى أن بعض المناطق الأكثر هطولاً للمطر من العالم لديها فترات بدون مطر وكذلك سنوات طارئة من الجفاف النسبي. وأن نظم الري في تلك المناطق يمكن أن تقوم بتقديم إنتاج زراعي متناغم بدرجة كبيرة جداً. وغالباً ما ترتبط السدود ومحطات الطاقة المائية (الهيدروليكية) بمشاريع ري كبيرة. وقد أشارت الدولية للوسط المائي المحدودة في عام 1997 إلى أن 27.4% قدرات الطاقة المائية العالمية كان قد تم تطويرها. لهذا، فإن عملية جرد القدرات الكاملة لم يتم إستكمالها.

وتأتي مصر في المرتبة 15 من حيث المساحة المروية، ولكنها ليست مثل الدول الأخرى ذات المساحة المروية الكبيرة نسبياً، فإن مصر تعتبر خامس أكبر الدول في العالم ويقدر بأن يكون لديها حوالي 8% من المياه العذبة في العالم، وهذه الدولة ما زالت ليست من ضمن أول عشرة دول من حيث المساحة المروية. ويوجد هناك الكثير من الإحتمالية لتطوير إضافي للري في البرازيل وفي مناطق أخرى من أمريكا الجنوبية، ولكن في العديد من المناطق الأخرى من العالم فإن التوقعات بتطوير أراضي ري جديدة تعتبر قليلة نسبياً. وذلك لأن أفضل وأكثر الأراضي خصوبة كان قد تم تطويرها، وأن الأراضي الجديدة يمكن أن تتطلب إستثمارات كبيرة نسبياً مع الكلف التشغيلية العالية، ومن الممكن مستويات متدنية من الإنتاج الزراعي المحتمل. وفي حالات أخرى، فإن الأراضي تعتبر متوفرة ولكن الماء غير متوفر.

وقد شهد القرن العشرين توسع مثير في مجموع المساحة المروية في العالم. وكان قد تم تقدير أنه في العام 1900 فإن حوالي 40 مليون هكتار كان قد تم ريها حول العالم. وهكذا، فإنه خلال القرن العشرين كان قد كان هناك زيادة في المساحة المروية بمقدار ستة أضعاف. والفترة القصوى لتطوير الري (سيركا، 1973) رأى إضافة حوالي 6 مليون هكتار في السنة من الأراضي التي كانت سابقاً غير مروية. وفي الأعوام 1993 و 1994 فإن معدل التطوير كان تقريباً 2 مليون هكتار في السنة (براون، رينر، وفلافين، 1997).

ويتم غالباً تصميم مشاريع الري حول متوسط قدرة معدل تدفق حوالي 1 لتر/ث/هكتار. وتكاليف التطوير تتراوح ما بين 1000 إلى 2000 دولار أمريكي لكل هكتار. ويعتبركل من التصريف السيء و الفيضان هي المحددات الأساسية للإنتاج الزراعي في العديد من المناطق من العالم، وأن تكاليف الإنتاج والتطوير تعتبر مرتبطة بشكل مباشر بأسعار البترول (الطاقة والأسمدة).

وفي الكثير من الحالات كان قد تم إثبات أنه من غير الواقعي أن يتم التوقع أن يقوم مستخدمي المياه بإعادة دفع تكاليف تطوير نظم الري. لهذا، فإن تكاليف التشغيل والصيانة على الأقل يتم دفعها بشكل جزئي من خلال رسوم مستخدمي المياه في معظم المشاريع. والتطور الكامل لمشروع الري يتم إنعكاسه بواسطة نسبة تكاليف التشغيل والصيانة التي تم تحمّلها بواسطة القائمين على الري أنفسهم. وفي الكثير من مشاريع الري الحديثة جداً حول العالم فإن تكاليف التشغيل والصيانة تعتبر مدعومة، وموظفي المشروع يكونوا في الأغلب مستخدمين حكوميين. لهذا، فإن التوجهات الحديثة هي باتجاه خصخصة (أو "نقل") مشاريع الري، وهي على الأغلب مع التحسينات الناتجة في التشغيل والصيانة والربحية.

الوحدة الثانية

العوامل المؤثرة في إنتاج المحاصيل

2- 1 المقدمة

لقد تم الشروع في العديد من مشاريع تطوير الري حول العالم، وقد فشل العديد من الحصول على الفوائد المتوقعة. ويوجد هناك العديد من الأسباب لماذا ربما تكون الفوائد والإنتاجية الزراعية أقل من المستوى المرغوب فيه. لهذان فإن أحد الإعتبارات هي درجة تعقيد المعرفة المطلوبة من أجل التقدم السريع في نوعية وكمية الإنتاج. وربما يقوم المهندس بتصميم مرافق جيدة، وأن شركة البناء ربما تتبع أفضل الممارسات، وأنه ربما يكون المصدر المائي كافياً. لكن ولمرات عديدة لم يتم إعارة الإنتباه الكافي لعوامل الإنتاج غير الماء.

وقد تقدمت التكنولوجيا الزراعية بشكل سريع خلال النصف الأخير من القرن العشرين. وفي بعض المناطق فإن معدل النواتج الحصولية قد زادت عن الضعف. وبالنسبة لبعض الحاصيل فإن النواتج قد زادت أربعة أضعاف. ويعتبر الري وسيلة من أجل التقدم باتجاه المستويات التكنولوجية المرتفعة، وأنه يجب أن يستخدم كوسيلة من أجل التقدم إلى مستويات مرتفعة من الإنتاج، وإيجاد "الطبقة المتوسطة" في القطاع الزراعي في الدول النامية، وتعظيم عائد المزرعة من الموارد المتاحة، وتحسين البيئة، وكذلك حفظ الموارد، وكذلك أهداف أخرى. ومن أجل تلك الأسباب، فإنه يعتبر من المستحسن أن معرفة عوامل الإنتاج المحصولي تتطور كمدخل إلى الفهم المتطور لأهمية الري.

ويعتبر الماء فقط واحد من العوامل المتعددة التي تؤثر على المحصول وإنتاجية المحاصيل الزراعية. وتعتبر أمراض النبات والتنافس من الأعشاب ربما يكون لها الأثر الكبير على سواء أم لا أنه من المفيد أن يتم ري محصول معين. لهذا، فإنه إذا ما تم ضبط الأمراض والأعشاب بشكل ملائم، فإن النواتج المحصولية يتم تحديدها بشكل كبير بواسطة عوامل الإنتاج الستة التالية، وهي:

1. الطاقة (حرارة الهواء و الإشعاع الشمسي)؛
2. خصوبة التربة وإضافة الأسمدة؛
3. توفر الماء وتوزيعه؛
4. تهوية التربة والصرف (التصريف أو البزل)؛
5. كثافة النبات (المسافة و مؤشر أو معامل مساحة الورقة)؛ و
6. صنف أو جنس المحصول.

يعتبر الإنتاج النباتي هو علم معقد. والفشل في إعطاء الإهتمام المناسب أي من العوامل الأساسية للإنتاج ربما يعمل على تقليل النواتج بشكل كبير تحت إمكاناتها. وتهوية التربة السيئة أو الإختيار السيء لصنف المحصول الذي سيتم زراعته ربما يقلل من النواتج المحصولية المحتملة إلى فقط نصف الكمية الممكنة خلافاً لذلك.

وتعتبر مشاكل الدول النامية والتي تنتج من تدني الإنتاجية الزراعية والزيادة السكانية السريعة ليس لها حلول سهلة. والري وإدارة المياه وحدها، أو الإستعمال المناسب للأسمدة مع القليل من

الإنتباه غلى عوامل الإنتاج الأخرى، ربما لا تعمل على إنتاج عوائد محصولية مرضية. لهذا، فإنه عندما يتم تحسين جميع عوامل الإنتاج، ربما يصبح الري والتسميد مهماً جداً وكعناصر رئيسية من أجل زيادة الإنتاج المحصولي.

وفي الكثير من الحالات فإن تطويرات الري كانت قد فشلت في تلبية توقعات ما قبل المشروع من النواتج المحصولية والأرباح، ولكن هذا الفشل ربما لا يعود إلى النواقص في التصميم الهندسي. وفي حالات كثيرة فإن إدارة الري، بما في ذلك ك من الري والصرف، قد كان أقل من الملائم. وفي حالات أخرى فإن النواقص الرئيسية قد كانت تتعلق بعوامل إنتاج أخرى. لذلك، فإنه يعتبر من المناسب أن يتم وصف عوامل الإنتاج الأساسية بإيجاز قبل عرض التفاصيل المتعلقة بالري، والصرف، وإدارة المياه.

2- 2 طاقة الحرارة، والإشعاع، والتبخر

نمو المحصول وتطوره يتأثر بالحرارة، والإشعاع الشمسي، وطاقة التبخر، وكذلك على مدى الحرارة اليومية. والعدد الكلي لأيام درجة النمو في العادة يستخدم من قبل الباحثين في العوامل الجينية للمحصول من أجل نمذجة نمو المحصول وتطوره. ويتم حساب ايام درجة النمو بطرق مختلفة ومتعددة بالإعتماد على نوع المحصول ونموذج العائد المحصولي.

ما هي أيام درجة النمو؟

أيام درجة النمو، تعتبر الأساس بالنسبة لنوع ساعة الظواهر البيولوجية بالنسبة لظروف الطقس، والتي تستخدم لتقدير فترات مراحل نمو المحصول المختلفة. وهذه أيضاً يتم الإشارة إليه بساعة "الوحدة الحرارية". والساعات البيولوجية (الفينولوجية) هي عبارة عن محاولة لقياس أو تخمين تأثيرات حرارة الهواء المحيط على سرعة النضوج بالنسبة للمحاصيل الحولية (السنوية).

وبالنسبة لمحصول أو مجموعة محاصيل معينة، فإن النتائج التجريبية يتم إستخدامها لتحديد درجات الحرارة القصوى والدنيا، أو درجات الحرارة الأساسية (الجوهرية). بالنسبة للذرة، فإنها قد تكون 10 درجة مئوية و 30 درجة مؤية (50 درجة فهرنهايت و 86 درجة فهرنهايت). ويتم حساب أيام درجة النمو على أنها معدل حرارة الهواء ناقصاً منها الحرارة الدنيا المحددة، ولكن بالنسبة لأي يوم معين لا يمكن أن تكون أقل من صفر ولا أكثر من الفرق ما بين درجات الحرارة الأساسية. والقيم اليومية لأيام درجة النمو يتم تراكمها ومقارنتها بقيم عادية ومقبولة تدل على نهاية مرحلة نمو محصول معينة. وهكذا، فإن هذا يعتبر مسؤولاً عن الأثر التي يحدثها الجو الدافيء (ضمن حدود) على تسريع نمو المحصول. وقد تم إقتراح وتطبيق ساعات بيولوجية (فينولوجية) أخرى متنوعة من قبل الباحثين.

وضمن مدى درجات حرارة، فإن النواتج المحصولية المحتملة كان قد تم إظهارها أن تتعلق بصورة خطية (نسبية) مع إمكانات التبخر. ويمكن أن يتم عرض كثافة النبات المثلى أو مؤشر مساحة الورقة المثلى لتكون دالة الإشعاع الشمسي. ومدى معدل الحرارة المثلى لأصناف نباتات معينة تتباين إلى حد ما مع الإجناس المختلفة للأصناف وكذلك مع مدى درجة الحراة اليومية.

ويتأثر نمو وتطور النبات بحساسية فترة تعرض الكائن الحي اليومية للضوء، والتي هي، الإرتفاع وطول اليوم. وغالباً ما تحتوي نماذج العائد المحصولي على معامل حساسية فترة تعرض النبات اليومية للضوء. ومعدل درجة الحرارة اليومي (الفرق ما بين درجات حرارة الهواء القصوى والدنيا على مدار فترة 24 ساعة) يمكن أن يتم إستخدامه لتقدير الإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية الدنيا. ومعدل درجات الحرارة اللازمة لنمو النبات تتأثر بالإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية، أو بمدى درجة حرارة الهواء اليومية. وهكذا، فإن بعض المحاصيل تنتج بشكل أفضل عندما يكون مدى درجة الحرارة منخفض. وأيضاً تتأثر درجة الحرارة المثلى من أجل نمو النبات بعوامل أخرى. الذرة التي تنتج في تربة جيدة التهوية ربما تعطي أقصى نمو على معدل درجة حرارة يساوي 28 درجة مئوية، ولكن مع تربة سيئة التهوية، فإن معدل النمو ربما ينخفض بالنسبة لدرجة حرارة فوق 21 درجة مئوية.

وفي عام 1987 قام كل من هارغريفز وساماني بمراجعة الأدبيات المتوفرة وقاموا بوضع قائمة بمعدل درجة الحرارة المثلى والفعالة بالنسبة لخمسة مجموعات محاصيل من منظمة الزراعة والأغذية التابعة للأمم المتحدة (FAO 1978). والقائمة المعطاة في الجدول 2-1 هي نسخة مزيدة لقائمتهم، مع إضافات من قبل آدم (1953) ولورينز وميناردِ (1988). ويجب فقط أن تستخدم كدليل، وذلك لأن معدل درجة الحرارة الأكثر تفضيلاً يتأثر بجنس المحصول وكذلك تداخلات عامل الطقس.

الجدول 2-1: درجات الحرارة المثلى والفعالة لمحاصيل مختارة.

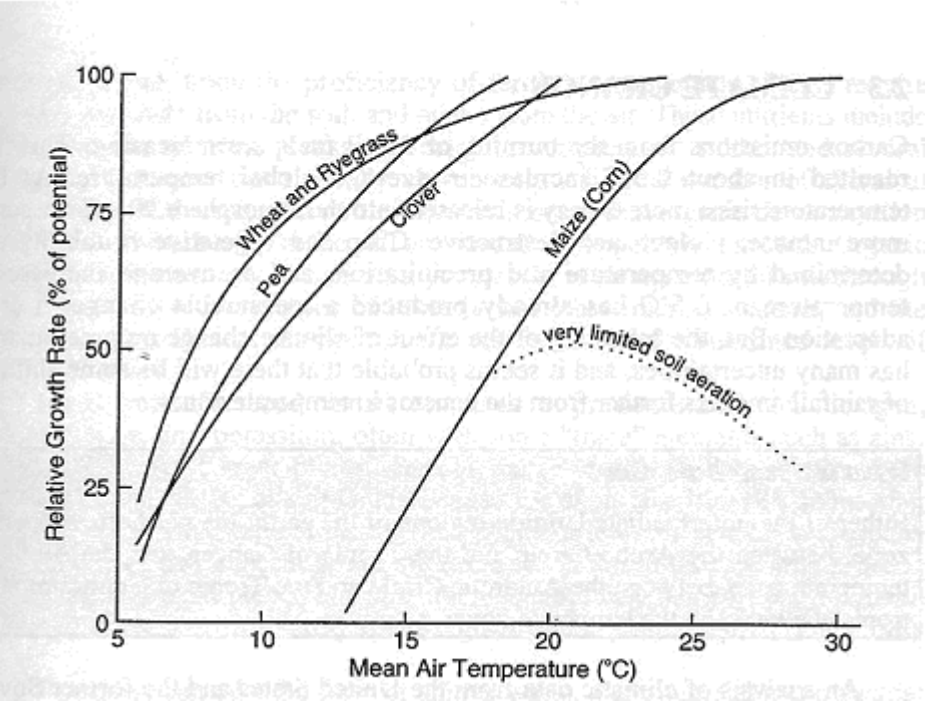
مجموعة المحصول الأولى	الحرارة المثلى: 15-20 درجة مئوية؛ المدى الفعال: 5-30 درجة مئوية-القهوة العربية، الخرشوف، الهليون، الشعير، الشمندر، القرنبيط، نبتات بروكسل، الملفوف، القرنفل، الجزر، الزهرة، الكرفس، الشوندرة، السلق، الأجاص الخضري، الحمص، الأقحوان، الصليبيات، الخيار، الفاصوليا الفرنسية، الثوم، الزنبق، العنب، البصل الأخضر، الفاصولياء، العدس، الخس، بذور الكتان، الشمام، الخردل، الشوفان، الزيتون، البصل، البقدونس، الجزر الأبيض، البازيلاء، القرع، البطاطس، ثفل العنب، الورد، الجاودار (نوع من الشعير)، الفاصوليا الخضراء، البازيلاء الجنوبية، السبانخ، الكوسا، الفراولة، قصب السكر، عباد الشمس، الذرة الحلوة، فلفل حلو، بندورة، والقمح.
مجموعة المحصول الثانية	درجة الحرارة المثلى: 25-30 درجة مئوية؛ المدى الفعال: 10-35 درجة مئوية- الأفوكادو، الموز، الكاسافا (المنيهوت)، بذور زيت الخروع، الكاكاو، جوز الهند، القطن، اللوبيا ذات العين السوداء، الباذنجان، التين، الفاصوليا الفرنسية، العنب، نوع من البطاطس الحلوة الضخمة، الفستق، الفلفل الحار، الفول الأخضر، التيل، المنغا، البامية، نخيل الزيت، الزيتون، شجر المطاط (نوع من مطاط أمريكا الجنوبية)، الأرز، نوع من القهوة المتأصل في غرب أفريقيا، الروزيل، العُصْفُرْ، السمسم، عباد الشمس، البطاطس الحلوة، الدخان، البندورة، البطيخ، نوع من البطاطس الضخمة البيضاء.
مجموعة المحصول الثالثة	درجة الحرارة المثلى: 30-35 درجة مئوية؛ المدى الفعال: 15-45 درجة مئوية- الذرة (الصفراء)، الأرز، الدخن (الطحانة أو

	الزوانة)، ذرة المكانس، و قصب السكر.
مجموعة المحصول الرابعة	درجة الحرارة المثلى: 20-30 درجة مئوية؛ المدى الفعال: 10-35 درجة مئوية-الذرة الصفراء، الدخن (الطحانة أو الزوانة)، و ذرة المكانس.
مجموعة المحصول الخامسة	درجة الحرارة المثلى: 25-35 درجة مئوية؛ المدى الفعال: 10-45 درجة مئوية-الأناناس و السيزال (ليف أبيض متين تصنع منه الحبال).

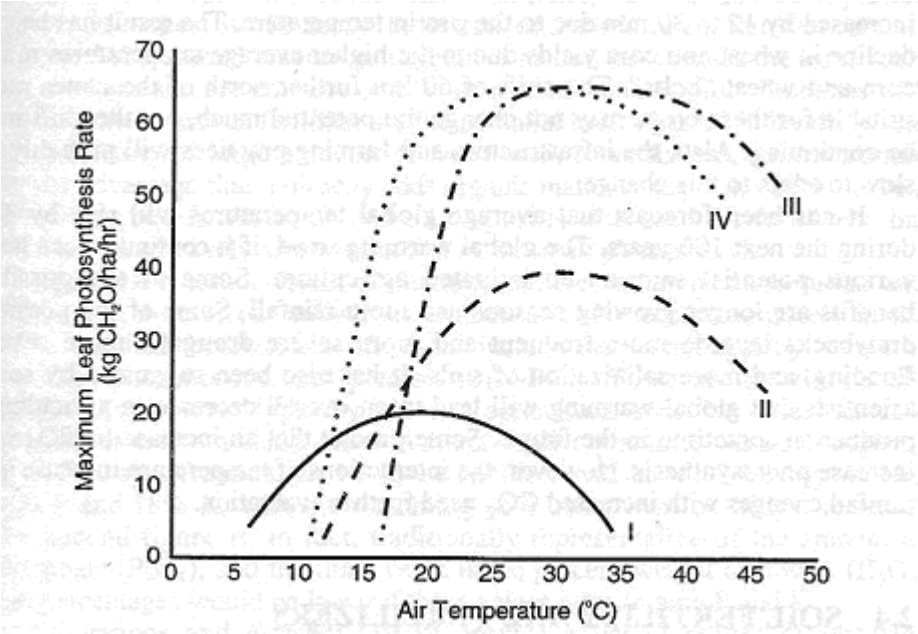
والعديد من أجناس المحاصيل تم وضعها في قائمة في أكثر من مجموعة محاصيل واحدة. والأجناس أو الأصناف المختلفة لنفس أنواع المحاصيل لها متطلبات درجة حرارة مختلفة. وأيضاً، فإن الرطوبة النسبية المرتفعة مرتبطة بمدى درجة حرارة يومي منخفض. وأن الحرارة النسبية ومدى درجة الحرارة يمكن أن يغيروا مدى معدل درجة الحرارة المثلى لبعض المحاصيل. ومن القيمة المنخفضة للمدى الفعال وحتى الحرارة الدنيا المبينة في المدى الأمثل، فإن معدل النمو النسبي يزداد مع إزدياد الحرارة. ومعدل الزيادة في العادة يقل إلى حد ما مع زيادة درجة الحرارة، ولكن بالنسبة للكثير من المحاصيل فإن الزيادة الخطية مع الحرارة تعطي تقديراً معقولاً في هذا المدى. وحالما يتم الوصول إلى مدى درجة الحرارة المثلى، فإن معدل النمو النسبي يميل إلى أن يستوي مع زيادة الحرارة، ومن ثم ينحدر عندما يتم تجاوز درجات الحرارة المثلى.

ودجات الحرارة المثلى بالنسبة للكثير من محاصيل الأشجار تتأثر بمرحلة دورة النمو. فمحاصيل الحمضيات تنتج بشكل جيد في مدى واسع من الظروف الجوية، ولكن يجب أن يكون مدى درجة الحرارة من 5 درجة مئوية إلى 38 درجة مئوية. ويجب أن يكون هناك حرية من التجمدات القاتلة (-1 أو -2 درجة مئوية). ودرجات الحرارة القصوى بالنسبة للوز، والتين، والدراق، والأجاص، و الأجاص المجفف يجب أن لا تتعدى 38 درجة مئوية. ما عدا بالنسبة للحمضيات، فإن تلك المحاصيل تتطلب موسم سكون ينتج عن درجات شتاء منخفضة. التفاح والمشمش يجب أن يكون لها درجات حرارة قصوى تساوي 30 درجة مئوية، أو أقل، والكرز يجب أن يكون لديه درجة حرارة هواء تقريبية تساوي 20 درجة مئوية خلال فترة إنتاج الثمار. ومعظم شجيرات الفراولة، والعليق، وتوت الندى، وأنواع من العليق، وصنف التوت الأحمر المسود والحلو، وتوت العليق تفضل الأيام المشمسة الدافئة (ولكن ليست حارّة) خلال فترة 6 أشهر من نمو الورقة (النموات الأولى للأوراق) حتى نهاية موسم الحصاد. ودرجات الحرارة خلال فترة النمو ودورة إنتاج الثمار يجب أن لا تنخفض تحت 4 درجة مئوية، ولا يجب أن تكون فوق 25 درجة مئوية.

الشكل 2-1 يوضح معدلات النمو النسبية لأربعة محاصيل من قياسات قطعة أرض للبحث. وتعتبر هذه المعدلات مثالية ولكنها تتباين مع عوامل أخرى وكذلك مع الأصناف المستنبتة لأنواع النباتات. والشكل 2-2 يظهر معدل العلاقة التقريبية في ما بين معدل درجة الحرارة



الشكل 2-1: تأثير حرارة الهواء على نمو المحصول بالنسبة لبعض أنواع المحاصيل المختارة.



الشكل 2-2: معدل العلاقة ما بين معدل أقصى تمثيل ضوئي للورقة والحرارة بالنسبة لمجموعات المحصول I، II، III، و IV (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة 1978).

ومعدل التمثيل الضوئي للورقة. ويجب أن يضع الواحد في إعتباره أن هناك تباينات كثيرة من تلك المعدلات نتيجة للفروقات في الصنف وفي عوامل أخرى مثل مدى درجة الحرارة اليومية وطول اليوم.

2- 3 التغير المناخي

تعتبر عملية إنبعاث الكربون من إحتراق الوقود المستحاث في إزدياد. ونتج عن هذا زيادة في حدود 5 درجات مئوية في معدل درجة الحرارة الكونية. وكلما إرتفعت درجة الحرارة، فإنه يتم إطلاق طاقة أكثر إلى الجو. وتصبح العواصف أكثر كثافة، وشديدة، ومدمرة. ويتم تحديد درجة ملائمة المحصول والغطاء الخضري بواسطة درجة الحرارة والأمطار، وأن معدل زيادة في درجة الحرارة بحدود 0.5 درجة مئوية كان قد أدى إلى تغير قابل للقياس في تكيف المحصول. ولكن، نمذجة تأثير التغير المناخي على السقوط المطري له الكثير من الشك والغموض، ويبدوا من المحتمل أنه سوف يكون هناك بعض التحول في كميات الهطول المطري على مسافة أبعد من خط الإستواء في المناطق المعتدلة.

ماذا يقصد بالمنطقة المعتدلة؟

هي أي من مناطق العرض المتوسطة من الأرض: المنطقة المعتدلة الشمالية، ما بين دائرة القطب الشمالي ومدار السرطان، والمنطقة المعتدلة الجنوبية، ما بين دائرة القطب الجنوبي ومدار الجدي. والمدارات تقع ما بين المناطق المعتدلة.

ويشير تحليل بيانات الطقس من الولايات المتحدة الأمريكية والإتحاد السوفيتي السابق إلى أن خطوط التساوي الحرارية قد إنحرفت بحوالي 60 كيلومتر إلى الشمال وبمعدل زيادة في طول موسم النمو الخالي من الصقيع 5 أيام أو أكثر. والقيم السنوية للبخرنتح المرجعي (ET_o) كانت قد زادت بحوالي 12-30 مليمتر نتيجة للإرتفاع في درجة الحرارة. والنتيجة كانت إنخفاض في النواتج المحصولية من القمح والذرة نتيجة لمعدل الحرارة المرتفع في "أحزمة" الذرة والقمح. والتحوّل بمقدار 60 كيلوميتر إضافية إلى شمال المناطق التي تعتبر مناسبة لتلك المحاصيل ربما لا تغير الإحتمالية (القابلية) كثيراً، ولكن التحوّل ربما يكون مستمراً. وأيضاً، من المحتمل أن البنية التحتية والممارسات الزراعية سوف تبين أنها تتكيف مع هذا التغير.

لقد تم التوقع بأن معدل درجة الحرارة الكوني سوف يرتفع 3 درجات مئوية خلال المئة عام القادمة. ونمط أو توجه الإحترار الكوني، إذا ما إستمر، يمكن أن يكون له تأثيرات محتملة ومتباينة على الزراعة المروية. وبعض الفوائد الممكنة هي مواسم النمو الأطول وأمطار أكثر. وبعض العوائق الممكنة تشمل موجات الجفاف المتكررة والأكثر شدّة، وفيضانات شديدة أكثر، وتملح تربة بشكل أكبر. وكان قد تم الإقتراح من قبل بعض العلماء أن الإحترار الكوني سوف يؤدي إلى إنخفاض شامل في الإنتاجية الزراعية في وقت ما في المستقبل. والبعض يتوقع أن زيادة ثاني أكسيد الكربون سوف تزيد من التمثيل الضوئي. وبناء على هذا، فإن تداخلات أو تفاعلات الزيادة في الحرارة والتغير في الهطول المطري مع زيادة ثاني أكسيد الكربون تحتاج إلى تقييم إضافي.

2- 4 خصوبة التربة والأسمدة

إن إضافة الكميات المثلى من السماد لها على الأغلب القابلية على مضاعفة النواتج المحصولية عن تلك الممكنة من دون التسميد. وتعتمد القابلية الإنتاجية والإقتصادية لمشاريع الري التي تم تطويرها حديثاً في الأغلب، وإلى حد كبير، على مدى إتقان إدارة الخصوبة. وتحتاج النباتات إلى العديد من المغذيات من التربة ، والأخرى من الجو. وتلك المغذيات تشتمل على النيتروجين، والفوسفات، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والحديد، ومغذيات عديدة أخرى. وتستطيع جذور النبات وبشكل مثالي أن تمتص فقط عدد محدد من المركبات الكيميائية من المغذيات المطلوبة، وهذا يعني أن التحلل العضوي وتجوية (تآكل، تعرية) المعادن في التربة تعتبر مطلوبة لدعم نموالنبات. وفي العادة يحدث التحلل العضوي على نطاق واسع في التربة الزراعية من خلاب نشاطات العديد من البكتيريا والكائنات الحية الأخرى، وأن وجود النيتروجين الكافي في التربة يعتبر مهماً من أجل المستويات المستدامة لنشاط البكتيريا.

الكثير من الأسمدة المصنّعة يغلب فيها النيتروجين، والفسفور، والبوتاسيوم، وعلى الأغلب مع بعض العناصر "الصغرى" مثل الزنك، والمنغنيز. والنباتات الكبيرة مثل الذرة الصفراء (الذرة)، تميل لأن تحتاج نيتروجين أكثر من النباتات الصغيرة وذلك لأن النيتروجين مهم جداً في دعم النمو الخضري. وبعض مغذيات النبات المطلوبة تعتبر في الحقيقة سامة للنباتات عندما تتعدى التراكيز الصغيرة الحد المطلوب في التربة. فعلى سبيل المثال، فإن البورون يعتبر مطلوباً لمعظم النباتات، ولكن عندما يوجد أكثر من 1 جزء في المليون في ماء التربة فإنه يعمل وبشكل كبير جداً على الحد من النمو والإنتاجية للكثير من أنواع المحاصيل.

ويمكن أن تكون الأسمدة على شكل فضلات حيوانية، ومواد نباتية ونواتج صناعية. وبعض أنواع المحاصيل يتم الإشارة إليها على أنها "السماد أو الزبل الأخضر" ويتم إستعماله من أجل تحسين خصوبة التربة وكذلك خصائص التربة الفيزيائية. والسماد الأخضر عبارة عن محصول يتم زراعتة ولكن لا يتم حصادة بالمعنى التقليدي، ولكن يتم حراثتة مع التربة والتي يتحلل فيها. وتعتبر الأسمدة الصناعية أو المصنّعة غير "طبيعية" مثل الزبل أو السماد الحيواني أو المواد الخضرية، ولكنها تحتوي على نفس مغذيات التربة الأساسية وهي لا تسبب تلوث كما هو الحال مع الزبل. وتعتبر مشاكل إستعمال الفضلات الحيوانية كسماد هي إحتمالية الخطر الصحي إثناء التعامل مع تلك الفضلات، وكذلك إمكانية وجود الكميات الكبيرة من بذور الأعشاب. وعلى الرغم من ذلك، فإن الزبل الحيواني له أفضلية وهي أنه يعمل على إضافة المواد العضوية مباشرة إلى التربة، والتي تعتبر مفيدة جداً لبعض الترب. والأسمدة القابلة للتحلل أيضاً يتم إستخدامها كأسمدة، ولكن في العادة على نطاق صغير نسبياً، بمعنى، على قطع صغيرة من الأرض.

والأشكال الأكثر شيوعاً للأسمدة النيتروجينية هي كبريتات الأمونيوم ونيترات الأمونيوم، ولكن الأمونيا اللامائية أيضاً يتم إستخدامها بشكل كثيف في الولايات المتحدة الأمريكية. وتشتمل فئات الأسمدة المعيارية (القياسية) النسب من حيث وزن النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم (N-P-K). وهذه تعتبر مركبات الأسمدة الثلاثة الرئيسية التي يتم إضافتها بشكل مثالي إلى الترب الزراعية، ولكن بعض المركبات الكيميائية يتم إضافتها بشكل شائع بكميات أصغر بكثير. وكمثال على مواصفات الـ N-P-K، هو السماد 18-18-18 سوف يكون لديه 18% نيتروجين من حيث الوزن، و 18% فسفور و 18% بوتاسيوم، مع الباقي 46% تكون مواد داخلية أو مواد "مضافة" أو حاملة. والرقم الثاني هو، في الواقع، يمثل بشكل تقليدي لكمية الفوسفات (P_2O_5)، والقيمة الثالثة هي نسبة وزن البوتاس (K_2O). وتلك النسب من الممكن أن تكون أقل من ذلك إذا كانت تلك القيم في صورة الفسفور (P) والبوتاسيوم (K) النقية.

وفي عام 1979 قام كل من دوورينبوس وكاسّام بتقديم قائمة بمديات المتطلبات السمادية لـ 26 محصول. والمستويات في المتطلبات بالنسبة للنيتروجين (N) بالنسبة للمحاصيل البقولية تتباين ما بين الصفر و 40 كغم لكل هكتار، وبالنسبة للمحاصيل غير البقولية، من 40 إلى 300 كغم لكل هكتار. بالنسبة للفوسفات (P_2O_5) والبوتاس (K_2O) فإن المستويات هي 15 إلى 110 و 24 إلى 480 لكل هكتار، بالتتابع. والنتائج من التجارب الحقلية، وفحوصات التربة، والفحوصات المخبرية، والتفاعلات المعروفة، وكذلك نماذج النواتج المحصولية يمكن أن تكون مفيدة جداً لتحديد الكميات المرغوب فيها وتكرارات إضافة الأسمدة.

وكذلك قام كل من دوورينبوس وكاسّام في عام 1979 بإعطاء جدول يشتمل على متطلبات الأسمدة بالنسبة لكل فترة نمو لأنواع مختلفة من المحاصيل. والجدول 2-2 هو عبارة عن ملخص لمتطلبات الأسمدة من جدولهم. ويتم رؤية أن متطلبات الأسمدة يمكن أن تتباين بشكل كبير. بالنسبة للبقوليات، فإن تدعيم بحوالي 20 كيلوغرام من النيتروجين يعطي في العادة نتائج جيدة. ومعظم المحاصيل الأخرى تتطلب على الأقل 100 كيلوغرام من النيتروجين لكل هكتار. ويعتبر متوسط متطلبات كل من الـ (P_2O_5) و (K_2O) هي في حدود 100 كيلوغرام لكل هكتار بالنسبة لمعظم المحاصيل الزراعية.

الجدول 2-2: متطلبات الأسمدة بالكيلوغرام لكل هكتار بالنسبة لفترات نمو محاصيل مختلفة (تم تبنيها من Doorenbos و Kassam 1979).

نوع المحصول	النيتروجين		الفوسفات		البوتاس	
	المدى	المعدل	المدى	المعدل	المدى	المعدل
الموز والأناناس	400-200	282	156-108	129	576-132	309
الأشجار المثمرة والعنب	250-100	168	168-84	122	276-60	194
البقوليات	40-0	22	156-36	101	192-30	89
حبوب الغذاء	200-100	135	192-48	101	144-30	85
الخضروات	170-80	109	264-60	132	192-42	131
المحاصيل الحقلية	200-40	106	216-36	106	192-30	108

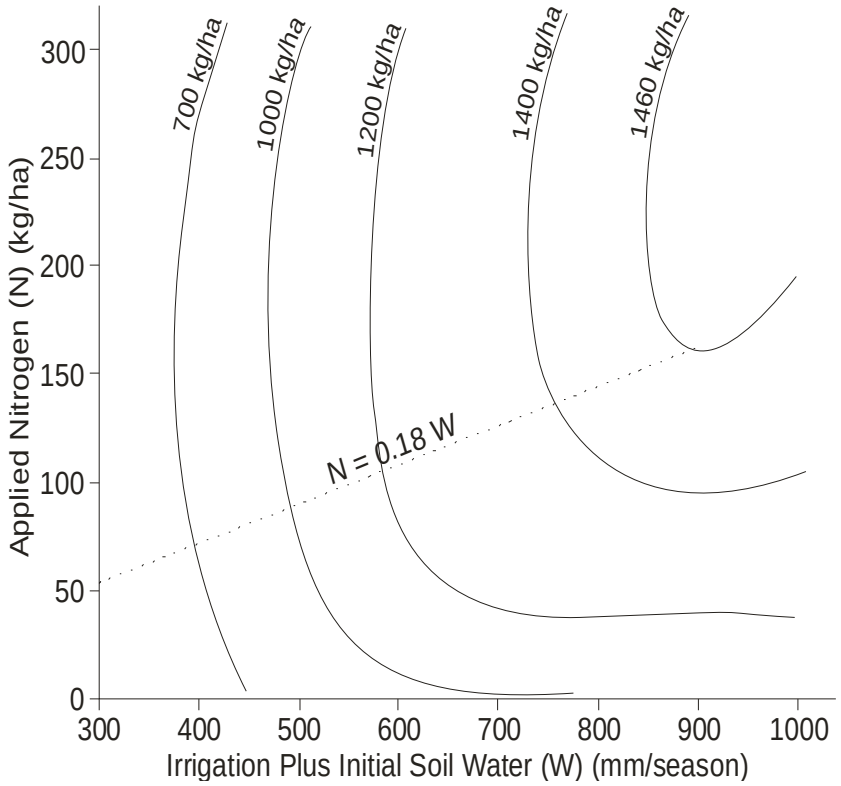
وإستجابة الناتج المحصولي للسماد يمكن أن يتم توضيحها كدالة للكمية المضافة. وإذا كانت Y هي الناتج المحصولي و F هي كمية السماد، فإنه يمكن أن يتم تقريب دالة الناتج المحصولي المثالية بواسطة المعادلة:

$$Y = a + bF - cF^2 \qquad (1\text{-}2)$$

بحيث أن a تساوي الناتج المحصولي من دون إضافة سماد، F؛ b هي الميل الإبتدائي (الأولي) لمنحنى الناتج المحصولي (الزيادة في Y مقسومة على الزيادة في F بالنسبة للـ 25 إلى 50 كيلوغرام لكل هكتار من F المضافة)؛ و c يتم تحديدها من كمية F المطلوبة عندما تكون Y أقصى ما يمكن. وإذا كان الماء هو العامل المحدد، فإن قيم كل من a، و b، و c سوف تكون مختلفة عن القيم المقابلة لكفاية الماء الكلية، لذا، فإن الشكل الرياضي للعلاقة سوف يكون متشابهاً.

ويمكن أن يتم إستخدام المعادلة 2-1 لتمثل النتائج من البحث مع إضافات متنوعة من N، و P، و K. والمعادلات المشتقة من عامل إنتاج واحد تعتبر مفيدة. لذلك، فإن المعرفة بتفاعلات أو تداخلات عاملي إنتاج تعتبر في العادة ذات فائدة أكثر. وخطوط النواتج المحصولية المتساوية أو الفوائد

المتساوية أو الربح الصافي، يمكن أن يتم تطويرها بيانياً كدوال لمعاملين. والشكل 2-3 يشير إلى خطوط تَساوي الكميات (خطوط النواتج المحصولية المتساوية) لمعدل خط إنتاج القطن من 3 سنوات من النتائج الحقلية في وادي سان جواكين في كاليفورنيا. وشكل التفاعلات أو التداخلات بالنسبة للنيتروجين والماء على الناتج المحصولي يعتبر مثالياً للكثير من المحاصيل. ويبدوا أن معدل الإضافة الأمثل للنيتروجين بالكيلوغرام لكل هكتار لتجارب القطن تلك هي بحدود 0.18 مضروبة في الماء المتوفر بالمليميتر لكل موسم محصولي.

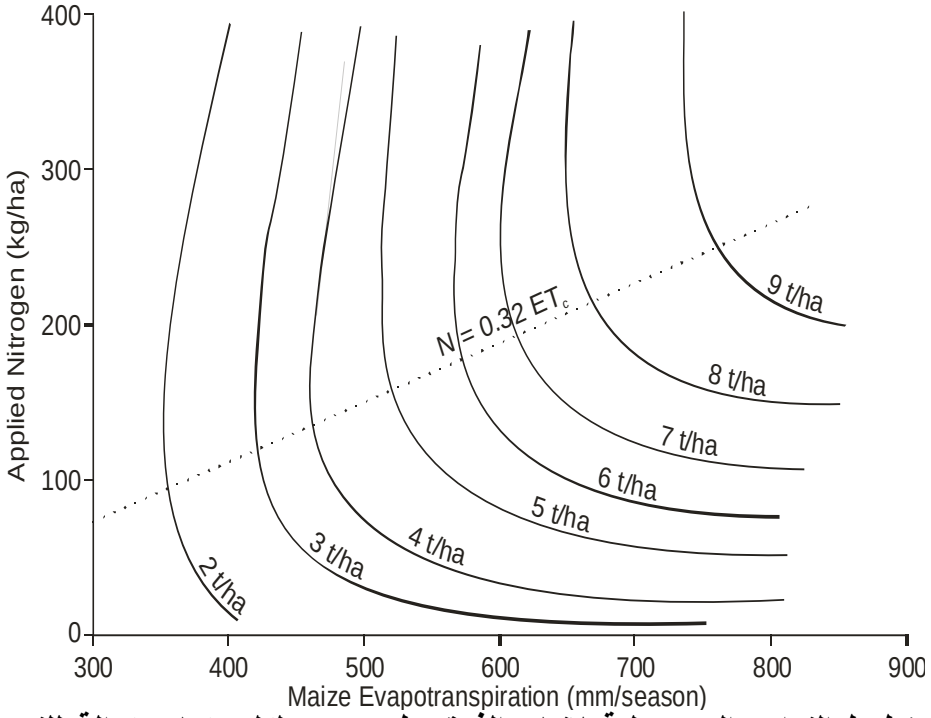


الشكل 2-3: خطوط النواتج المحصولية لإنتاج القطن بالكيلوغرام لكل هكتار.

والشكل 2-4 يعطي خطوط النواتج المحصولية لإنتاج الذرة الصفراء من سنوات عديدة من البحث. ويبدوا أن تسميد النيتروجين الأمثل لكل هكتار هو حوالي 0.32 مضروبه في البخرنتح الموسمي بالمليميتر. والشكل 2-3 و 2-4 تمثلان خطوط النواتج المحصولية المتساوية لمعدل النواتج المحصولية. وإحتمالية معينة لناتج محصولي مثل 75% إحتمالية الناتج المحصولي المؤكد يمكن أن يتم إستخدامها للإشارة إلى إعتمادية الناتج المحصولي. وقامت بعض الدراسات بإعطاء خطوط نواتج محصولية متساوية لمعدل صافي الأرباح وكذلك مقارنات لمعدل الأرباح مع تلك عند 75% مستوى إحتمالية. وقد تم تجهيز رسومات بيانية مماثلة لمحاصيل متنوعة. وشكل خطوط النواتج المحصولية المتساوية كان في العادة مشابهة لتلك التي في الأشكال 2-3 و 2-4. ويمكن أن يتم كتابة معادلة مثالية للإضافات المثلى من النيتروجين بالكيلوغرام لكل هكتار (على سبيل المثال) كدالة للبخرنتح المحصولي الموسمي الكلي بالمليميتر عمق ماء (ET_c). وتنص المعادلة على أن الإضافة المثلى للنيتروجين هي ناتج معامل ومعدل إستعمال المحصول للماء:

$$N = K\ (ET_c) \qquad (2\text{-}2)$$

في حين أن K هي عبارة عن معامل تجريبي تم تحديده من بيانات البحث المتوفرة لنوع محصول وموقع محدد؛ ET_c هي عبارة عن معدل الإستعمال المائي الحقيقي للمحصول بالمليميتر لكل موسم؛ وقيمة N هي بالكيلوغرام لكل هكتار.

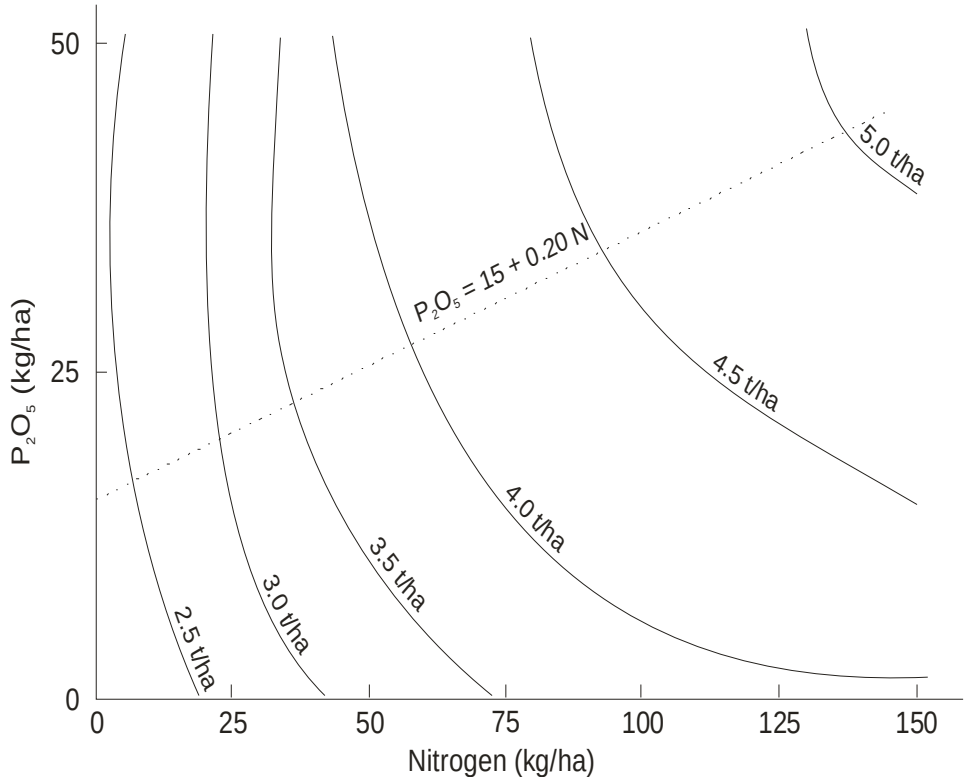


الشكل 2-4: خطوط النواتج المحصولية لإنتاج الذرة (طن متري لكل هكتار) كدالة للنيتروجين المضاف.

وبيانات الناتج المحصولي كان قد تم تقييمها من تجارب البحث بالنسبة للذرة الصفراء، والقمح، والقطن، وشمندر السكر. والقيم المثلى الظاهرة لـ K بالنسبة للبيانات التي تم تقييمها كانت 0.32، 0.12، 0.18، و 0.15، على التوالي. وبالنسبة لمجموعة واحدة من بيانات البحث على النواتج المحصولية للقطن، فإن قيمة $K = 0.10$ كان قد تم الحصول عليها. وهذه القيمة تبدو قليلة؛ لهذا، فإن أنواع مختلفة من نفس صنف المحصول تستجيب للتسميد بطريقة مختلفة. على الرغم من أن شكل التداخل أو التفاعل يبدوا عام إلى درجة كبيرة، فإن القيمة ربما تتباين بشكل كبير جداً مع النوع وكذلك مع تأثير مغذيات النبات الأخرى، والطقس، والإدارة، وكذلك عوامل أخرى.

والشكل 2-5 يبيّن معدل التداخل أو التفاعل للنيتروجين (N) والفوسفات (P_2O_5) على معدل خطوط النواتج المحصولية المتساوية بالنسبة لإنتاج الذرة الصفراء في الأراضي الجافة. وقد كان هناك بعض التشكك (الشّك) فيما يتعلق بقيمة الجزء المحصور (المعترض). وقد تم القيام بتقييم إضافي بواسطة الرسم البياني للتفاعلات أو التداخلات للفسفور (P_2O_5) والنيتروجين (N) على صافي الأرباح بالنسبة لإحتمالات مختلفة للنواتج المحصولية. وبالإستناد إلى خطوط النواتج المحصولية المتساوية للأرباح المقدّرة، فإن علاقة الفسفور $(P_2O_5) = 15 + N0.2$، مع القيمة

القصوى لـ N = 150 كيلوغرام/هكتار يبدوا أن عرض (تمثيل) مرضي جداً للتفاعل الأمثل على النواتج المحصولية والأرباح. وبالنسبة لبعض التجارب الحقلية فإن إضافة السماد يضاعف صافي الأرباح.



الشكل 2-5: خطوط النواتج المحصولية لإنتاج ذرة الأراضي الجافة (طن متري لكل هكتار) ويشتمل على إضافات مختلفة من النيتروجين (N) والفوسفات (P_2O_4).

وربما أن المقارنة المفيدة فيما يتعلق بعوامل إنتاج المحصول هي أنه عندما يكون لوعاء عدة فتحات على طول أحد الجوانب، فإنه يمكن فقط أن يتم تعبئته بالماء حتى أدنى فتحة. وأي واحد من عوامل الإنتاج أو أي عنصر مهم لنمو المحصول يمكن، إذا كان محدداً بشكل جدي أو ناقصاً، أن يحدد الحد الأعلى للنواتج المحصولية على الرغم من أن كل الإعتبارات الأخرى هي قريبة من الحد الأمثل. وبالنسبة للكثير من المحاصيل والظروف الزراعية، فإن العامل المحدد الخطير أو الحاسم سوف يكون إما الماء أو النيتروجين، أو كليهما.

2- 5 توفر وتوزيع الماء

الماء يتم إمتصاصه من خلال جذور النبات من محلول التربة، ومن ثم يمر للأعلى عبر النبات، وينتح أو يتبخر من أوراق النبات. والماء أيضاً يتبخر من أسطح التربة والنبات. وأنه يعتبر من الصعب أن يتم قياس كميات التبخر والنتح بشكل منفصل. ولهذا السبب فإنه في العادة يتم قياسهما أو تقديرهما معاً على صورة بخرنتح، ولكن الجزء الأكبر من الإستهلاك المائي بواسطة النباتات هو

عبارة عن نتح. وضمن مدى درجات الحرارة المناسبة، فإن نمو وإنتاج المحصول لها تقريباً علاقة طردية مع النتح، وبالنسبة للأهداف العملية، فإنه غالباً ما يتم إفتراض أنه يتعلق طردياً مع إستهلاك النبات للماء أو البخرنتح (ET).

والماء من الري أو المطر لا يكون متوفراً للنبات بشكل متناسق وذلك لأن بعض أجزاء الحقل تحصل على ماء أكثر من الأجزاء الأخرى. وضمن نفس الحقل، فإنه التربة ربما لا تكون متشابهة (متساية) وبالتالي فإن قدرات الإحتفاظ بماء التربة ومعدلات الرشح ربما تتباين بشكل كبير. وتبعاً لذلك، عندما يكون الماء كافياً تماماً لجميع أجزاء الحقل فإنه سوف يكون هناك زيادة أو فقدان (ضياع) كبيرة من بعض أجزاء الحقل. وعندما يتم الإقتراب من أقصى نواتج محصولية، فإن الكفاءات تنخفض وتعمل على الحصول على علاقة أسية تقريباً ما بين النواتج المحصولية والماء المتاح.

وفي عام 1975 قام هارغريفز بالحصول على بيانات نواتج محصولية من محاصيل متنوعة وكذلك تجارب بحثية ومقارنة النواتج المحصولية بالماء المتاح (ماء التربة الأولي المخزّن في التربة زائد السقوط المطري لموسم النمو زائد مياه الري المضافة). وكان قد تم إستخدام النواتج المحصولية النسبية (Y) من أجل أن يتم مقارنة محاصيل مختلفة ووحدات نواتج محصولية. وقيمة الوحدة الواحدة لـ (Y) كانت قد إستخدمت من أجل أقصى ناتج محصولي لكل محصول، و (X) عبارة عن وحدة واحدة للماء المطلوب للحصول على أقصى إنتاج. والبيانات التي تم إستخدامها غطّت مدى قيم لـ X من 0.30 إلى 1.2. وكان قد تم إيجاد أن معظم بيانات النواتج المحصولية التي تم تقييمها يمكن أن يتم تمثيلها بالمعادلة التالية:

$$Y = 0.8X + 1.3X^2 - 1.1X^3 \qquad (3\text{-}2)$$

في حين أن Y هي عبارة عن الناتج المحصولي النسبي (كسر)؛ و X هي العمق النسبي للماء المضاف. وقد تم تطبيع المعادلة بحيث أنه بالنسبة لـ X = 1، Y = 1.

وفي عام 1979 قام كل من دوورينبوس وكاسّام باستخدام طريقة لتقدير إستجابة الناتج المحصولي للماء. والنقص في الناتج المحصولي تحت أقصى قيمة بالنسبة للظروف السائدة يفترض أنه يتناسب طردياً مع قيمة البخرنتح الحقيقي (ET_a)، والتي هي أقل من أقصى بخرنتح كامن أو محتمل (ET_m). و ET_m هي عبارة عن البخرنتح تحت الظروف التي يكون فيها ماء التربة المتاح لا يحدد الناتج المحصولي. والعلاقة تُعرَفْ بنموذج ستيوارت (ستيوارت وآخرون 1977) ويتم كتابته بالطريقة التالية:

$$\left(1-\frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right) \qquad (4\text{-}2)$$

في حين أن Y_a هي عبارة عن الناتج المحصولي الحقيقي؛ و Y_m هي عبارة عن أقصى ناتج محصولي محتمل؛ و K_y هو معامل إستجابة الناتج المحصولي بالنسبة لكفاية الماء؛ وكل من ET_a و ET_m هي كما تم تعريفها أعلاه.

الجدول 2-3 يوضح تأثير توزيع الماء المتاح على النواتج المحصولية للمحاصيل. وإعتبارات خصائص التربة، والهطول المطري الفعّال، وجدولة الري تعتبر متضمنة في الوحدات المتعاقبة من هذا الكتاب.

الجدول 2-3: معامل إستجابة الناتج المحصولي، K_y (من Doorenbos و Kassam 1979).

المحصول	فترة النمو الخضري			فترة الإزهار	تكوين الثمار	فترة النضج	فترة النموالكلية
الفصة			1.1-0.7				1.1-0.7
الموز							1.2- 1.35
الفاصولياء			0.2	1.1	0.75	0.2	1.15
الملفوف	0.2				0.45	0.6	0.95
الحمضيات							1.1-0.8
القطن			0.2	0.5			0.85
العنب						0.25	0.7
الفستق الأرضي			0.2	0.8	0.6	0.2	1.25
الذرة الصفراء			0.4	1.5	0.5	0.2	1.1
البصل			0.45		0.8	0.3	1.15
البازيلاء	0.2			0.9	0.7	0.2	1.1
الفلفل							1.1
البطاطا	0.45	0.8			0.7	0.2	0.8
العصفر		0.3		0.55	0.6		0.9
الذرة البيضاء			0.2	0.55	0.45	0.2	0.85
فول الصويا			0.2	0.8	1.0		1.1-0.6
شمندر السكر							1.2
قصب السكر			0.75		0.5	0.1	0.95
عباد الشمس	0.25	0.5		1.0	0.8		0.9
الدخان	0.2	1.0					1.05
البندورة			0.4	1.1	0.8	0.4	1.1
البطيخ	0.45	0.7		0.8	0.8	0.3	1.0
القمح (شتوي)			0.2	0.6	0.5		1.15
القمح (ربيعي)			0.2	0.65	0.55		

وقد تم إعطاء قيم K_y في الجدول 2-3. وتعتبر مرحلة الإزهار هي المرحلة الحرجة لمعظم المحاصيل. فعلى سبيل المثال، فإن قيمة K_y للذرة الصفراء بالنسبة لفترة الإزهار هي 1.5، مما يشير إلى أنه مع قيمة ET_a 10% أقل من ET_m خلال هذه الفترة، فإن الناتج المحصولي الحقيقي (Y_a) بالنسبة للموسم سوف يكون 15% أقل من Y_m. وعلى العكس، فإن 10% نقص ينتشر بالتساوي على طول فترة النمو الكليّة يمكن أن تعطي 12.5% إنخفاض في الناتج المحصولي الموسمي. والنقص في ظروف فترة واحدة بحيث أن النقص في الفترة التالية تعتبر أقل فاعلية في تخفيض النواتج المحصولية. وأيضاً فإن هناك تفاعلات متنوعة من عوامل أخرى توثر على النواتج المحصولية. والجدول 2-3، لذلك، تم التوصية به أساسياً كدليل يشير إلى الأهمية النسبية للماء الكافي خلال المراحل المختلفة من نمو المحصول.

وكان قد تم إقتراح دوال نواتج محصولية أخرى. فعلى سبيل المثال، كان قد تم الإقتراح أن النتح، T، يتم إستخدامه بدلاً من ET لتحديد الناتج المحصولي النسبي للمحصول. وفي عام 1987 قام هِلْ وآخرون بتطوير دالة ناتج محصولي لمحصول مضاعفة بالإستناد إلى عجز ماء منطقة الجذور ومرحلة النمو:

$$Y = 100\prod_{i=1}^{n}\left(\frac{T_a}{T_m}\right)_i^{\lambda_i} \qquad (5\text{-}2)$$

في حين أن Y هي عبارة عن الناتج المحصولي النسبي (%)؛ و T_a هي عبارة عن النتح الحقيقي (مثلاً، مليميتر/يوم)؛ و T_m هي عبارة عن أقصى نتح محتمل؛ و λ هي عبارة عن أس مناسب (قيمة معايرة)؛ و Π هي عبارة عن دالة جاما؛ والرمز السفلي I يشير إلى مرحلة النمو. وعدد مراحل النمو، n، هو على الأغلب من 4 إلى 6. ويتم تطبيق المعادلة 2-5 في نهاية كل مرحلة نمو بواسطة إستخدام القيم التراكمية لـ T_a و T_m خلال المرحلة. وعلى الرغم من هذا، فعندما تكون نسبة T_m/T_a هي أكبر من 100 – قيمة حد العتبة المحددة، فإن الناتج المحصولي النسبي لتلك المرحلة يفترض به أن يكون 100%. وقد تم ترجيع كل من T_a و T_m إلى الصفر في نهاية كل مرحلة نمو لكل نوع محصول.

وقد تم إدماج المفاهيم المذكورة أعلاه في الناتج المحصولي للمحصول أو في نماذج نمو وتطور المحصول. بعض النماذج تستخدم نتح محصول مقدّر (T)، وأخرى تستخدم البخرنتح المحصولي (ET)، وكذلك بعض تقديرات تفاعلات الخصوبة والصرف على الناتج المحصولي. ومعظم نماذج النواتج المحصولية للمحاصيل تتطلب توفر بيانات الطقس اليومية. على الرغم من أن بعض النماذج كان قد تم تطويرها من أجل إنتاج القيم اليومية من المعدلات الشهرية وإنحرافاتها المعيارية. ومعظم نماذج النواتج المحصولية للمحصول تتطلب حسابات البخرنتح المحصولي المرجعي (ET_o). وكما تم توضيحه بواسطة جنسن وآخرون في العام 1990، فإن قيم ET_o تتباين بشكل كبير بالإعتماد على الطريقة وبيانات الطقس المستخدمة لحساب ET_o. ولهذا السبب، فإن هيئات متنوعة الآن تقوم بمحاولة معايرة طرق لحساب ET_o.

2- 6 تهوية وصرف التربة

أينما يكون الصرف الطبيعي غير ملائم وأن الصرف الإصطناعي لا يمكن أن يتم تقديمه لأسباب إقتصادية، فإن الأراضي في العادة لا يمكن أن يتم ريها بشكل دائم. ويعتبر الأرز حالة شاذة، وعلى الرغم من أن الأرز ينمو بشكل جيد في مياه راكدة، فإن الصرف يعتبر مطلوباً لمعظم عمليات تجهيز الأرض والحصاد. وري الأراضي التي فيها مستوى الماء الأرضي أقل من 30 متر تحت السطح في الأغلب تؤدي في النهاية إلى التغدّق، والتملّح أو كليهما. وقد تم وصف التحكم في الملوحة وطرق الصرف في أجزاء أخرى، ولكن في هذه الوحدة فإن التأكيد هو على تهوية التربة كعامل إنتاج. ودرجة التهوية، أو كمية الأكسجين المتوفر لجذور النبات، له تأثير كبير ومباشر على معدل نمو النبات. ويوجد هناك الكثير من التأثيرات الثانوية المتعلقة بحرارة التربة، والسمّية النوعية أو المحددة، وأمراض النبات، وكذلك توفر المغذيات.

ويعتبر التنفس أساسي بالنسبة لإمتصاص الماء والأيونات بواسطة جذور النبات. وقلّة محتوى الأكسجين (O_2) في التربة سوف يقلل من إمتصاص الماء والمغذيات بواسطة النبات وذلك بسبب إنخفاض نفاذية الجذر للماء. وأحد النتائج الضارة هي إنخفاض نتح الماء الذي ربما يؤدي إلى الذبول (الذبول المبلل). والنباتات ذات التهوية الجيدة ربما تحصل على إثنين إلى أربعة أضعاف كمية الماء التي تحصل عليها النباتات ذات التهوية الرديئة أو السيئة. وفي الترب ذات التهوية الرديئة، فإن التنفس اللاهوائي يؤدي إلى أكسدة غير تامّة للمواد العضوية وربما يؤدي إلى نواتج سامة للنباتات. وتعرض الجذور لهجوم بواسطة الفطريات، والكائنات الحية الأخرى يزداد على الأغلب. ومع التهوية الرديئة، فإن النيترات (NO_3) ربما يتم فقدة بواسطة نزع النيترات (تحويل النيترات إلى نيتروجين).

والمتطلب الأول لناتج محصولي عالي لمحصول هو القامة الجيدة (نمو محصول متناسق وكثيف). وللتهوية دور معم في بقاء النبات في المراحل الأولى من النمو. وإذا تم زارعة المحصول من أجل الثمر أو الحَبْ، فإنه سوف ينتج نقص في النواتج المحصولية نتيجة قلّة مستويات الأكسجين (مستويات متدنية من التنفس) عند مراحل الإزهار أو التفتّح. والتهوية الرديئة ربما أيضاً تؤدي إلى تقليل نمو الجزء العلوي من النبات وهذا يمكن أن يقلل الناتج المحصولي سواء كان المحصول يزرع لثمره أو لنموه الخضري.

وعملية التمثيل الضوئي تؤدي إلى إنتاج الكربوهيدرات من الماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2). والتفاعل يحتاج إلى طاقة بينما يتم تحرير الطاقة ليتم إستخدامها في عمليات نمو النبات المختلفة. والمتطلبات بالنسبة للتنفس والطاقة من التنفس تزداد بصورة أسية مع الزيادة في الحرارة. وعلى درجات الحرارة العالية فإن تغدّق التربة ليوم واحد فقط ربما يكون مدمراً جداً لإنتاج المحصول أو حتى يكون مميتاً بالنسبة للمحاصيل الحساسة. والشكل 2-1 يبيّن درجة حرارة مثلى بحوالي 28 درجة مئوية بالنسبة للذرة الصفراء مع ظروف تربة جيدة التهوية وحرارة مثلى بحوالي 21 درجة مئوية بالنسبة للترب رديئة التهوية. وفوق تلك القيم فإن النمو ينحدر بسرعة مع زيادة الحرارة.

في عام 1992 قام غوبتا وآخرون باقتراح نموذج يتألف من حد عتبة أولي وإنحدار خطي في الناتج المحصولي لكل يوم غمر. وقاموا بتقديم جداول تظهر فواقد الناتج المحصولي لمحاصيل مختلفة وعلى مواقع متعددة ولمراحل مختلفة من النمو. ومعدل حد العتبة هو فقط ساعات قليلة. وفقد الناتج المحصولي يعتبر متبايناً بدرجة كبيرة ولكن بمعدل 10% لكل يوم غمر. وبعد هطول مطري شديد فإن الترب ذات النسيج الناعم ربما تتطلب أربعة أيام ليتم تصريفها إلى السعة الحقلية بعد أن

يكون قد تم تصريف الماء من السطح. والحاجات إلى الصرف السطحي تختلف مع المحصول، ونسيج التربة، وإحتمالية كميات وفترات الهطول المطري الكثيف. والهطول المطري الكثيف يتم الإشارة إليه بـ 75% إحتمالية الكميات التي تتعدى $1.33 \times ET_o$ (أنظر إلى تعريف "مؤشر أو مقياس توفر المياه" في قائمة المصطلحات.

وتعتمد مقاومة النبات لنقص التهوية في منطقة الجذور على درجة حرارة الهواء، ومدى درجة الحرارة اليومية، وصنف النبات، وكذلك نوع النبات أو نوعه الجيني ضمن الصنف. ويوجد هناك تباينات كبيرة في متطلبات الطقس والنبات للتهوية والصرف، ولكن بشكل عام، من دون الصرف الطبيعي أو الإصطناعي المناسب، فإنه يمكن أن يكون هناك إنتاج زراعي محدود لوقت قصير نسبياً. وعلى العكس، فإن الأرز في الأغلب يتم زراعته تحت ظروف التربة المشبعة ويعتبر ملاحظة شاذة بالنسبة لتلك القاعدة.

2- 7 كثافة ومسافة ومؤشر مساحة ورقة النبات

ضمن حدود، فإن الناتج المحصولي لكل نبات يزداد مع توفر مصادر النمو أو عوامل الإنتاج المقابلة. والنواتج المصولية لكل وحدة مساحة تزداد مع زيادة أعداد النباتات حتى يكون العدد الكلي للنبات كافياً لأقصى إستفادة من المصدر. والناتج المحصولي الكلي لكل وحدة مساحة حينها تبقى بشكل عام ومعقول ثابتة مع زيادة العدد الكلي للنبات عن المدى الأمثل. وربما يتضمن هذا المدى الأعداد الكلية للنباتات لضعفين أو أربعة أضعاف العدد الكلي المطلوب لإستفادة مصدر مثلى. وخلف هذا المدى للأعداد الكلية للنبات، فإن الناتج المحصولي لكل وحدة مساحة ينخفض.

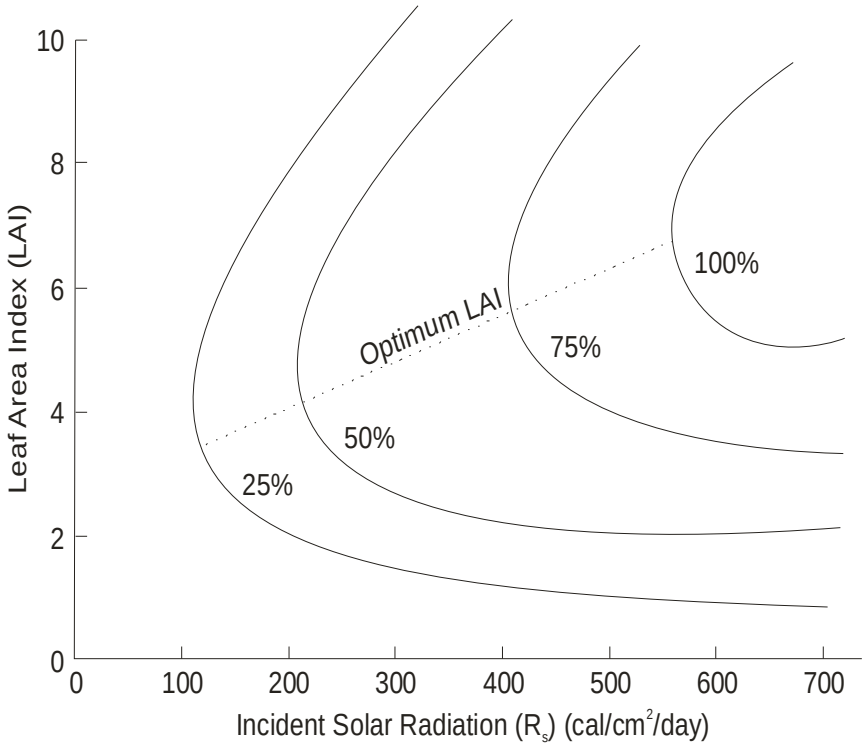
والعدد الكلي المرغوب فيه للنبات يختلف مع توفر الموارد. وأفضل عدد نباتات لكل هكتار بالنسبة للزراعة المروية ربما يكون ضعفين أو أكثر عنها في زراعة الأراضي الجافة. وكمية الطاقة الشمسية المتوفرة أيضاً لها تأثير مهم على الأعداد الكلية المثلى للنبات أو على مؤشر مساحة الورقة المرغوب فيه.

ما هو مؤشر مساحة الورقة؟

هو المجموع الكلي لمساحة أوراق النبات لكل وحدة مساحة من سطح التربة، بينما فقط الجهة العلوية من الورقة هي التي تؤخذ في الإعتبار. بالنسبة لمعظم المحاصيل الناضجة فإن هناك تداخل كبير في الأوراق ويكون مؤشر مساحة الورقة ما بين 3 و 5.

وقد قامت الدراسات المتنوعة بعمل مؤشر مساحة ورقة أمثل أو إرتفاعات أعشاب المراعي المثلى من أجل أقصى نمو لأعشاب علف الماشية. ويعتبر الشكل 2-6 هو المقارنة المثالية لمؤشر مساحة الورقة الأمثل بالنسبة لمعدلات متفاوتة من الإشعاع الشمسي الساقط على السطح، R_s، بوحدة الكالوري/سم^2/يوم. وقد تم الحصول على أقصى إنتاج مواد جافة عندما كان مؤشر مساحة الورقة يساوي تقريباً 2.6 زائد $0.007\ R_s$ (مؤشر مساحة الورقة = $2.6 + 0.007\ R_s$)، كما تم الإشارة إليه بالخط المتقطع في الشكل 2-6. وفي هذا الشكل، فإن الخط المتقطع يمثل مؤشر مساحة الورقة الأمثل بالنسبة لقيمة معينة لـ R_s، وتمثل المنحنيات نسب مختلفة من الناتج المحصولي النسبي للمحصول.

وتتأثر مسافة النبات بعمليات الحراثة والممارسات الثقافية المتوارثة مثل المسافة ما بين الخطوط والمسافة ضمن الخطوط. وتتفاوت المحاصيل في قدرتها على التكيّف للإستفادة من المسافة الطولية المطلوبة عندما تكون المسافة في الخط هي عبارة فقط عن جزء صغير بالنسبة للمسافة بين الخطوط.



الشكل 2-6: الناتج المحصولي النسبي لمواد المحصول الجافة في خطوط النواتج المحصولية.

ومع محصول معين، فإنه كلما كانت النباتات الفردية أفضل في قدرتها على الإنتشار وإعتراض الضوء، كلما كان العدد الكلي الأمثل أقل لكل وحدة مساحة. بمعنى، أن كثافة النبات لا تحتاج لأن تكون أعلى من تلك التي تعطي تغطية كاملة للأرض (تظلل سطح الأرض بشكل كامل) عند النضج.

2- 8 صنف المحصول

بالنسبة لظروف معينة لموارد تتضمن التربة، والمغذيات، والطقس، وموارد أخرى، فإن صنف واحد لجنس نبات معين ربما يُنْتِجْ بصورة أفضل من صنف آخر. فعلى سبيل المثال، لقد تم إستخدام المعاملات الجينية للمحصول لـ 14 صنف ذرة صفراء مع مجموعة واحدة من ظروف المورد مع نموذج نيتروجين الذرة الصفراء-CERES (Jones و Kiniry 1986). والنواتج المحصولية التي تم توقعها من النموذج والمعاملات الجينية تم عرضها في الجدول 2-4. والنواتج المحصولية للحبوب تتباين ضمن مدى 2.7 مضروباً في أقل توقع. وإذا، تحت نفس ظروف المورد

أن صنف واحد سوف يعطي ناتج محصولي تقريباً ثلاثة أضعاف صنف آخر، فإنه يعتبر ذات أهمية كبيرة أن الصنف الأفضل بالنسبة لظروف المورد يتم إختياره.

الجدول 2-4: الأجناس المتأصلة والنواتج المصولية المحسوبة-أنواع الذرة الصفراء والتقديرات بالنسبة للإنتاج البعلي من CERES-نيتروجين الذرة-سان جيرومينو، السيلفادور (1989 Karahliloglu).

Cultivar Name	Region	P1	P2	P5	G2	G5	Grain Yield (kg/ha)	BioMass (kg/ha)
B56 X OH 43	1	162	0.80	685	784	6.90	3860	11184
B60 X R 71	1	172	0.80	685	710	7.70	4242	11186
B59 X C103	1	172	0.80	685	825	10.15	5453	11645
PIO 3382	2	200	0.70	800	650	8.50	5364	11827
PIO 3901	2	215	0.76	600	560	9.00	3473	11171
PIO 3780	2	200	0.76	685	600	9.60	5062	11687
W 64A X W117	3	245	0.00	685	825	8.00	4097	12136
B 14 X OH43	3	265	0.80	665	780	6.90	3116	11903
B 8 X 153R	3	218	0.30	760	595	8.80	5059	11808
PIO 3147	4	225	0.76	685	834	10.00	4712	11951
PV 82S	4	260	0.50	750	600	8.50	4658	11939
B 73 X MO17	4	220	0.52	880	730	10.00	5265	12190
H 610	5	340	0.52	900	520	6.50	4163	11703
PIO X 304C	5	360	0.52	900	550	5.6	1995	10753

Regions: 1. Northern United States, 2. Northern Nebraska, Iowa, Illinois, Indiana, 3. Southern Nebraska, S. Iowa, S. Illinois, S. Indiana, 4. Central Missouri, Kansas to North Carolina southward, 5. Tropical.

Genetic Coefficients: P1 is for growing degree days (based on a minimum of 8°C) from seedling emergence to the end of the juvenile phase (days·°C), P2 is for photoperiod sensitivity coefficient (1/hr), P5 is for growing degree days (based on a minimum of 8°C) from the silking stage to physiological maturity (days·°C), G2 is for the potential kernel number (kernels/plant), and G5 is for the potential kernel growth rate (mg/kernel-day).

وتعتبر نماذج نمو وتطور المحصول متوفرة بالنسبة لمعظم الحبوب الغذائية، والكسافا (المنيهوت)، والفستق الأرضي، وفول الصويا، ومحاصيل أخرى. والمعاملات الجينية للمحصول تعتبر متوفرة بالنسبة لمقارنات الأنواع باستخدام نماذج النواتج المحصولية بالنسبة للعديد من المحاصيل. وهذا العلم أو المنهجية قد تم إتمامه بسرعة بالنسبة لمحاصيل مختلفة. ولقد تم القيام بتجارب أنواع في حقول محطات البحث لسنوات كثيرة. ويعمل توفر الري على تحسين الرغبة في إختيار الأنواع المحسّنة. وكلا نتائج التجارب الحقلية وكذلك إستخدام نماذج الناتج المحصولي للمحصول يجب أن يتم إستخدامها لكي يتم إختيار أفضل الأنواع بالنسبة للزراعة المروية.

والنسبة الكبيرة من البحث الزراعي العالمي كانت قد تألفت من تجارب أنواع محاصيل. وعملية تبني نوع معين يعتبر بأكبر القياسات يتم تحديده بواسطة الطقس. وعمل الخرائط أو عملية تحديد الأحوال الجوية المشابهة على مستوى العالم وكذلك إستعمال التحاليل المشابهة لتلك التي تم عرضها في الجدول 2-4 لديها القدرة على خفض الحاجة لتجارب النوع لدرجة كبيرة. وإختيار الأنواع يمكن أن يتم القيام بها بالإستناد إلى تبادل المعلومات بالنسبة لأية أصناف تعطي إنتاج أفضل في ظروف طقس معينة. ويمكن لعملية تسجيل ونشر المعاملات الجينية للمحصول، وظروف الطقس، وظروف أخرى والنواتج المحصولية أن تزيد من الإمكانية لإستعمال نماذج النواتج المحصولية للمحصول من أجل إختيار المحصول.

وفي عام 1987 قام Samani وآخرون بعرض منهجية من أجل إستخدام معدل القيم الشهرية للحرارة، والبخرنتح المرجعي، وعدد الأيام الممطرة، وكميات الهطول المطري، وكذلك الإنحرافات

المعيارية لمعدل قيم تلك الأشهر الأربعة من أجل تمثيل بيانات الطقس اليومية. والمقارنات التي تم عرضها تشير إلى أن النواتج المحصولية للمحصول التي تم نمذجتها من بيانات الطقس التي تم تمثيلها تعتبر مشابهة إلى درجة كبيرة لتلك التي تم حسابها باستخدام البيانات اليومية التاريخية أو القديمة. والجدول 2-4 يشير إلى كيف يمكن أن تتم عملية إختيار النوع من نمذجة الكمبيوتر للنواتج المحصولية. وعملية الإختيار من نماذج الناتج المحصولي يمكن حينها أن يتم التحقق منها بواسطة التحقق أو الفحص الميداني.

وتعتبر التكنولوجيا الزراعية عالية النقل أو التنقل وأن المعلومات العالمية المتعلقة بالتربة والطقس أصبحت أكثر وسهلة الوصول إليها. والمعرفة بظروف المواقع التي فيها يعطي محصول معين نواتج محصولية جيدة يمكن أن يساعد بشكل كبير في عملية إختيار أفضل المحاصيل بالنسبة لظروف معينة من التربة والطقس. وسوف يقوم أطلس مياه وطقس العالم الذي تم تطويره حديثاً إلى حد كبير بتسهيل عملية نقل التكنولوجيا الزراعية. والأطلس يعتبر سهل الوصول من خلال الشبكة العالمية على الموقع: http://atlas.usu.edu (أنظر الملحق أ).

الوحدة الثالثة

الترب الزراعية

3- 1 المقدمة

طرق الري، وجدولة الري، وممارسات الإدراة، والقرارات المناسبة لجدوى الري تعتمد إلى حد كبير على التربة وظروف التضاريس. وقرارات الإدارة المتعلقة بالري تتأثر بخصائص الإحتفاظ بالماء للترب ومعدلات الرشح. وأيضاً توفر الماء والتي تعتبر بشكل متكرر مكوّن لتطوير الري. ومساحة الأرض الكلية المناسبة للزراعة المروية ربما تتعدى إمكانية مصدر الري المائي بحد واسع في الكثير من المواقع. لهذا، فإن عملية إختيار الأراضي التي سيتم ريها يجب أن تتضمن إجراء أو معيار لتصنيف الأراضي والترب بالنسبة لقيمتها النسبية أو ملائمتها للري. ومصادر المعلومات المفيدة تشتمل على مسوحات التربة، وتصنيفات التربة، وتصنيفات الأراضي، وخرائط التضاريس (الطوبوغرافية) والخرائط الجيولوجية أو خرائط شكل الأرض (الجيومورفولوجي)، والدراسات بالنسبة لعلاقات ماء التربة. وقد تم تقديم هذه الوحدة من أجل إيجاد وعي بالمعلومات المطلوبة من أجل التخطيط والإدارة الجيدة للري، ومن أجل تقديم بعض أساسيات علاقات ماء التربة التي يتم الحاجة إليها من أجل التحاليل والمفاهيم مثل موازنة ماء منطقة الجذور.

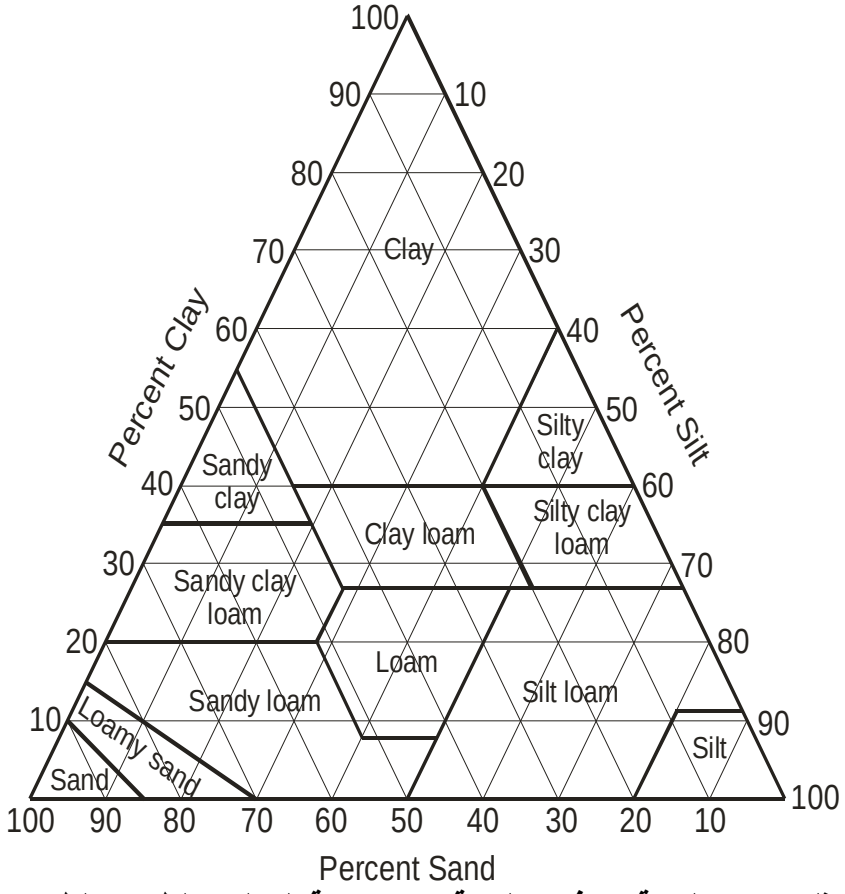
وبواسطة أي من التصنيفات المتعددة فإن هناك تنوع هائل للترب حول العالم. وعلم دراسة أصل الكلمة "تربة" يؤدي إلى شيء يعني أرض أو أرضية. ومن وجهة النظر الزراعية، يمكن أن يتم التفكير بالتربة على أنها مثل الوسط لنمو النبات ومن أجل تخزين الماء ضمن منطقة جذور النبات. والترب الزراعية تتألف بشكل رئيسي من المعادن، والمواد العضوية، والماء والهواء. ومن ناحية مثالية، فإن حوالي نصف حجم التربة يعتبر حجم فراغي (بيني)، والذي هو عبارة عن فراغ فاصل أو ناتج عن صدع يتم حجزه بالماء والهواء. ومعظم الترب الزراعية لديها فقط نسبة صغيرة من المواد العضوية مع سيادة المعادن الصلبة، والتي في العادة لها كثافة جزيئات منتظمة بدون تحيز بحوالي 2.65 غرام/سم^3.

3- 2 نسيج وتركيب التربة

الترب على الأغلب يتم وصفها من حيث النسيج والتركيب. وبالعرف أو التقليد، فإن نسيج التربة يشير إلى نسبة كميات المواد غير العضوية، وهذا يتعلق بتركيب التربة، والذي يعتبر مؤشراً على مثل تلك الخصائص الكلية مثل معدل الرشح أو الترشح وقدرة الإحتفاظ بالماء. ويتأثر التركيب بالنسيج، والتفاعلات الكيميائية، والأعمال الميكانيكية مثل الدَكْ أو الرَصْ من الآلات الزراعية. وتركيب التربة ينتج من تجميع أو "تلبّد" جزيئات التربة المفردة في كدرات أو كتل. والترب المتجزئة أو المتشتتة هي تلك التي "فقدت" تركيبها، ولها مسامية قليلة جداً، ويمكنها أن تدعم فقط أدنى حركة مياه-وهذا يمكن أن يحدث لبعض الترب الطينية وأنه يجب دائماً أن يتم تجنب هذا في الحقول الزراعية. والآليات المتضمنة في درجة تلبّد التربة تعتبر معقدة إلى درجة كبيرة.

والفئات النسيجية المختلفة للتربة تستند إلى نظام تم تطويره منذ عدة عقود مضت والذي فيه نسبة النسب المؤية (بالوزن) للرمل، والطمي، والطين يتم إستعمالها لتحديد الفئة. والشكل 3-1 يبيّن

مخطط مثلث نسيج التربة والذي كان قد تم قبوله بشكل عام للإستخدام مع الترب الزراعية، والذي يتألف من 12 فئة مختلفة، وكل واحدة مع إسم وصفي. وهذا النظام الخاص للتصنيف يستند فقط إلى نسب كميات أحجام جزيئات التربة المختلفة، وكان قد تم تطبيقه في جميع أنحاء العالم.



الشكل 3-1: مثلث نسيج التربة مع فئات التربة حسب نسبة الرمل، والطمي والطين.

والرمل يعتبر هو أبسط نسائج التربة من حيث الخصائص الفيزيائية والكيميائية – والرمل يعتبر من ناحية نسبية غير متماسك أو مترابط وخامل كيميائياً. والرمل لديه فراغات مسامية غير شعرية ذات حجم كبير نسبياً (الفراغات ما بين جزيئات التربة والتي يتم تصريفها بشكل حر من خلال الجاذبية الأرضية) وتميل لأن يكون لها صرف وتهوية طبيعية. وعلى العكس، فإن الرمل له قدرة إحتفاظ قليلة للماء ومسامات قليلة بالمقارنة مع نسائج تربة أخرى. والترب الطينية لها جزيئات صغيرة جداً منها في الرملية وتميل لأن تشكّل تركيبات فيزيائية معقدة، مع مسامية عالية و وفرة كبيرة من الفراغات الشعرية. والترب الطينية لها معدلات ترشح ماء منخفضة نسبياً وأن عملية تصريفها أكثر صعوبة، كما بعض الترب الطينية تظهر خصائص التمدد والإنكماش مع محتويات ماء مختلفة. والترب المخلوطة تحتوي تقريباً على نسب متساوية من الرمل، والطمي والطين، وتميل إلى أن تدمج الخصائص المفضلة للرمل، والطين، والتي يمكن أن يتم التفكير بها على أنها شديدة نسيجياً. وتجاوزاً فإنه على الأغلب يتم الإشارة إلى الترب الطينية *بالثقيلة* أو الترب *الناعمة*، بينما الترب الرملية يمكن أن يقال عنها أنها *خفيفة* أو *خشنة*. وهذه العبارات الموضوعية تتعلق إلى أبعد حد بالفعالية أو الصلاحية (من حيث العمليات الزراعية) و تماسك أو ترابط التربة.

وبعض تصنيفات التربة تشير إلى أربعة مركبات: المواد المعدنية، والمواد العضوية، والهواء والماء. والمواد العضوية تعتبر موجودة بكميات مختلفة في جميع الترب الزراعية، وتلك التي ذات كميات كبيرة نسبياً من المواد العضوية أحياناً يطلق عليها الخث أو الدبال. والترب ذات النسب من 20 إلى 30% أو أكثر مواد عضوية من ناحية الوزن لديها خصائص فيزيائية تكون السيادة فيها للمواد العضوية، وليست بالأجزاء المعدنية. ووجود المواد العضوية يمكن أن يكون لديه تأثير عميق على التركيب والخصائص الفيزيائية للتربة، وكذلك على مسامية و فعالية أو صلاحية التربة. وبعض الترب الطينية يمكن أن يكون من الصعب أن يتم حراثتها ما عدا ضمن مدى ضيّق جداً من المحتويات المائية – في أحد الحالات ربما تكون التربة جافة جداً وقاسية، ولكن بوجود الماء الكثير فإنها تكون زلقة و لزجة. والمواد العضوية على الأغلب ودائماً تحسّن الخصائص الفيزيائية للتربة، وتعمل على زيادة المسامية.

3- 3 تصنيف وتقييم التربة

وكما تم ذكره أعلاه، فإن الترب الزراعية على الأغلب يتم مقارنتها وتمييزها حسب *النسيج* و *التركيب*، والتي يعتبران تصنيفان مستقلان نسبياً. وتصنيف التربة النسيجي المقياسي يشتمل على ثلاثة مكونات غير عضوية: الطين والطمي والرمل. ونسبة النسب المؤية لتلك المكونات الثلاثة تحدد التصنيف النسيجي، مثل "الرملية المخلوطة"، "الطينية"، "الطمية الطينية المخلوطة". وتركيب التربة يشير إلى "تفكك أو إنحلال" أو "كثافة أو صلابة أو سماكة" (مقدار الفراغات المسامية)، وكذلك ضبط الجزيئات الغروية الصغيرة. وكل من النسيج والتركيب لهما علاقة مباشرة مع نفاذية التربة، أو المعدل الذي من خلاله يستطيع الماء أن يتسرب إلى الأسفل في التربة من السطح.

ويوجد هناك العديد من الطرق لتقييم الترب أو تصنيف الأراضي فيما يتعلق بإمكاناتها الزراعية. ومؤشر ستوري (جامعة كاليفورنيا 1978) يقدم طرق بسيطة ولكن فعالة من أجل تصنيف إمكانية الإستفادة والقدرة الإنتاجية من التربة. والتصنيف هو عبارة عن نسبة مئوية مع حد أقصى 100% تم حسابه كناتج لأربعة تصنيفات نسبة مئوية. والعوامل الأربعة يتم تعريفها كما يلي:

أ. **المقطع العرضي أو الجانبي**: المقاطع العرضية للتربة تنقسم إلى 9 مجموعات بالإستناد إلى التربة أو تطوير المقطع العرضي، والموقع الجيولوجي، ومصدر المعادن التي تشكل التربة. وضمن كل مجموعة مقطع عرضي فإن تصنيف النسبة المئوية يختلف أساسياً مع عمق التربة ودرجة تطوير المقطع العرضي.

ب. **نسيج السطح**: الترب الرملية المخلوطة الناعمة، الترب المخلوطة، والطمية المخلوطة تم تصنيفها 100% ما عدا عندما تكون بها حجارة أو حصى، وفي أي حال فإن الحد الأقصى هو 70 إلى 80%. والترب ذات النسيج الخشن وذات النسيج الناعم أو الترب ذات النسيج الثقيل تم إعطاءها تصنيفات أقل.

ت. **الميل**: الترب التي تكون تقريباً مستوية (0-2%) يتم تصنيفها 100%. والميول ذات الإنحدار الشديد (45% أو أكثر) يتم تصنيفها 5-30%.

ث. **إعتبارات أخرى**: هذا العامل يشتمل على الصرف، والقلوية، ومستوى المغذيات، والحموضة، والإنجراف، والتموجات في سطح الأرض التي تسبب تباينات في الإرتفاعات لا تتعدى أقدام قليلة.

ومثال تطبيقي على تصنيف تربة مؤشر ستوري تم إعطاءه في الجدول 3-1. الجدول 3-2 يبيّن كيف أن الترب تتجمّع بواسطة المديات ي تصنيفات مؤشر.

الجدول 3-1: عينة تصنيف التربة بمؤشر ستوري (Storie).

العامل	الترتيب
A. تربة رسوبية حديثة مع قطاع غير متماسك	%100
B. تربة طينية طمية عالية الكلس	%80
C. متعرجة (3-8%)	%90
X. مستوى مغذيات معتدل	%95
مؤشر ستوري المركب (100% x (0.80 x0.90 0.95)	%68

الجدول 3-2: درجات تربة موضوعية حسب مديات مؤشر ستوري.

الدرجة	المدى في مؤشر ستوري
1 (ممتاز)	80 إلى 100%
2 (جيد)	60 إلى 79%
3 (وسط)	40 إلى 59%
4 (رديء)	20 إلى 39%
5 (رديء جداً)	10 إلى 19%
6 (غير زراعية)	أقل من 10%

3- 4 مكتب إستصلاح تصنيف الأراضي الأمريكي

قام مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي بتطوير نظام خرائط للتربة أو تخطيط التربة على أساس التخمين المنتظم للتربة، وظروف التضاريس، والصرف أو خصائص الأرض. وعمل الخرائط أو التصنيف يستند على تقييم قدرة الأراضي في غرب الولايات المتحدة الأمريكية لإعادة دفع تكاليف تطوير الري من خلال إنتاج المحاصيل. والأراضي تنقسم إلى 6 فئات كما تم إعطاءه في الجدول 3-3.

الجدول 3-3: تصنيف أراضي مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي.

الفئة	الوصف
1	الأرض تعتبر مناسبة جداً للتطوير
2	الأرض أقل مرغوبة بسبب خصائص التربة، والتضاريس، أو الصرف
3	الأراضي التي تعتبر الأقل مناسبة والتي لها أقل إحتمالية القدرة على التسديد
4	أراضي مع عجوزات كثيرة ولكنها تعتبر قادرة على تكاليف التسديد عندما تتطور
5	الأرض ليست مناسبة للري تحت الظروف الحالية ولكنها تستحق أن يتم عزلها من أجل الدراسة الإضافية
6	الأراضي تعتبر أنها وبشكل دائم غير قابلة للزراعة

وفي الكثير من دراسات تصنيف الأراضي فقط الفئات 1، 2، 3، و 6 هي التي تم عمل خرائط لها. وقد تم تأسيس مواصفات محددة لكل مساحة مشروع رئيسية قبل تصنيف الأرض. وقد وضعت تلك التصنيفات الحدود لكل فئة أرض فيما يتعلق بنسيج التربة، والعمق، والقدرة على الإحتفاظ بالماء، والنفاذية، والملوحة، وخصائص أخرى للتضاريس. ومعظم الخصائص كان قد تم تحديدها لكل من سطح التربة والطبقات أو الآفاق المتنوعة من التربة التحتية. التضاريس، والصرف الطبيعي، والغطاء النباتي، ودرجة وجود الحجارة، والإعتبارات الأخرى التي ربما تؤثر على تكاليف التطوير أن إنتاج المحصول تم عمل خرائط لها و/أو تم وصفها. وخلال مسوحات عمل الخرائط، فإن أية تفاصيل يمكن أن تؤثر على تخطيط تطوير الري تم ملاحظتها.

وفي الكثير من الحالات فإنه يمكن أن يتم توفير المعلومات الأكثر قيمة من خلال دراسة مسوحات التربة المنشورة المتنوعة، ودراسات حفظ التربة، والخرائط الجيولوجية، ودراسات شكل الأرض (الجيومورفولوجية) والتقارير. وحدود الخارطة ما بين التشكيلات الجيولوجية هي على الأغلب أيضاً الحدود ما بين أنواع التربة، أو فئات الأرض. والتشكيلات الكلسية أو الجيرية والصخور النارية الأساسية تتحد وبشكل متكرر مع الترب الأكثر خصوبة والتي لديها قدرات تبادل قاعدية عالية. والتشكيلات الجيولوجية الأقدم في الأغلب ترتبط مع الترب ذات الإمكانات الزراعية الرديئة أو السيئة. ودراسات حفظ التربة غالباً ما تحتوي على معلومات حول معدلات الترشح والسعات الحقلية لمختلف أنواع الترب.

3- 5 عمر التربة والتضاريس

بشكل عام، فإن لدى الجيولوجيا والمادة الأم التأثير الكبير على خصائص الترب التي لم يتم تطويرها. والخصائص الفيزيائية والكيميائية يتم تحديدها بشكل كبير بواسطة طبيعة المادة الأم، وعمر التربة، وكمية الغسيل و التحلل التي كانت قد حدثت. والكثير من الترب الأفضل بالنسبة لتطوير الري تعتبر وبدون تحيز هي الترسبات الطميّة التي لم يتم تطويرها من المادة الأم البحرية الكلسية (الجيرية) أو من الصخور النارية الأساسية.

التضاريس والموقع أو المركز لها علاقة بشكل متكرر بنسيج التربة. أينما يكون جريان الماء السطحي بطيئاً، فإن الرمال والمواد الخشنة تترسب أولاً، بينما الطين في العادة يترسب في مواقع تكون فيها حركة الماء أصبحت بطيئة جداً أو حتى راكدة. وكما تم ذكره سابقاً، فإن الترب ذات النسيج المتوسط (مثلاً الترب المخلوطة والطمية المخلوطة) يتم تصنيفها أنها عالية بالنسبة للتنمية الزراعية.

3- 6 كيمياء التربة

نوعية التربة بالنسبة للري تتأثر بالحموضة أو القلوية، والملوحة، وقدرة التبادل القاعدي، والإشباع القاعدي، ومستوى المغذيات (الخصوبة)، وبواسطة ظروف أو عناصر أخرى. والمدى الأمثل لدرجة حموضة التربة (pH) بالنسبة للمحاصيل المروية فإنها تتباين إلى حد ما. ودرجة الحموضة 6.5 تعتبر هي الأمثل للكثير من المحاصيل، وعلى الرغم بشكل عام، أن هناك مدى للقيم المناسبة. ودرجة الحموضة يجب أن لا تكون أقل من 5 أو أكثر من 8.5 بالنسبة للمحاصيل الإعتيادية التي يتم إنتاجها تحت الري. والترب القلوية هي تلك التي لها درجة حموضة أكبر من 7. وهناك هطول مطري أكثر في شرق الولايات المتحدة منها في الغرب، وكنتيجة لذلك فإن الترب

الزراعية تميل لأن تكون حامضية أكثر بكثير في الشرق. والجير في الأغلب يتم إضافته إلى الترب الحامضية من أجل رفع درجة الحموضة، ولكن هذا لم يحدث أبداً على الأغلب على الترب الموجودة في غرب الولايات المتحدة الأمريكية.

ما هي درجة الحموضة (pH)؟

حموضة أو قلوية محلول ماء التربة يتم تقديره كميّاً بواسطة الأساس 10 لوغاريثم مقلوب تركيز أيون الهيدروجين في مول/لتر. والقيمة الناتجة يطلق عليها درجة حموضة (pH) المحلول. وفي شكل صيغة أو معادلة فإن: $pH = \log (1/H^+)$. ويعتبر تدريج درجة الحموضة من صفر إلى 14، في حين أن الصفر هي بالنسبة لمحلول الحامض القوي و 14 تتوافق مع القاعدية القوية. ودرجة الحموضة التي تساوي 7 هي "متعادلة".

3- 7 معدلات الترشح

عندما تكون التربة جافة، فإنه يتم إمتصاص الماء (يترشح) بسرعة. وبعد 20 إلى 30 دقيقة فإن معدل الإمتصاص يقل كلما تم تعبئة الفراغات الهوائية بالماء. وبعد ساعة أو ساعتين، فإن الترشح في العادة يحدث بمعدل ثابت وبطيء – وهذا المعدل يطلق عليه معدل الترشيح الأساسي (الثابت). والجدول 3-4 يعطي معدلات الترشيح الأساسية التقريبية بالنسبة لمختلف أنواع التربة، على الرغم من أن بعض الترب تظهر خصائص ترشيح مختلفة جداً، وبالرغم من ذلك فإن نسائجها تعتبر متشابهة. فعلى سبيل المثال، فإن ترب السيررادو (السافانا) في وسط البرازيل لها معدلات ترشيح عالية نسبياً بالرغم من أن نسيجها يعتبر بشكل سائد هو الطين.

الجدول 3-4: معدلات الترشيح الأساسية لمختلف نسائج التربة.

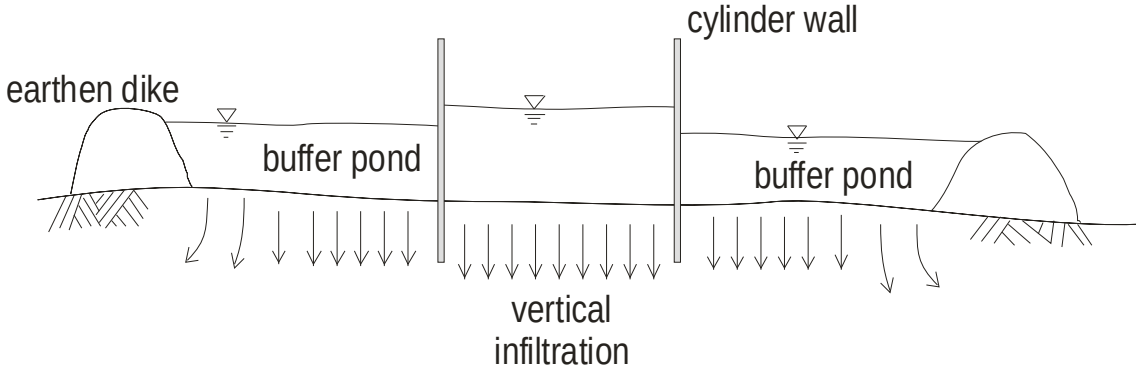
نوع التربة	معدل الترشيح الأساسي (ملم/ساعة)
طينية	5 – 1
طينية مخلوطة	10 – 5
طمية مخلوطة	20 – 10
رملية مخلوطة	30 – 20
رملية	30 أو أكثر

والمعرفة بمعدل الترشيح الأساسي تعتبر مطلوبة عندما يتم إختيار طريقة الري (أنظر الوحدة 5). والري السطحي لا يعتبر مرغوباً به على الترب ذات معدلات الترشيح العالية وذلك لأن الترشيح السريع يجعل من توزيع الماء المتناسق صعباً أو مستحيلاً. ويعتبر كل من نظام الرش والتنقيط ذو رغبة أقل على الترب ذات معدلات الترشيح المنخفضة وذلك لأن تبريك الماء على السطح والجريان السطحي يميل لأن يحدث، مما يقلل من تناسق إضافة الماء. وعملية تبليل كامل سطح التربة لفترة زمنية طويلة يعمل على الحد من تهوية التربة، ويقلل تنفس النبات، وبشكل متكرر يعمل على تخفيض النواتج المحصولية للمحصول.

وتعتبر معدلات الترشيح مفيدة أيضاً من أجل تقدير كمية المطر الفعّال. وإذا هطل المطل بسرعة أعلى من معدل الترشيح، فإنه سوف ينتج عنه جريان سطحي إلا إذا تم القيام ببعض الإحتياطات للحفاظ على الماء الزائد على التربة من أجل زيادة زمن الفرصة بالنسبة للمطر ليدخل التربة. على الرغم من أنه ربما يكون للمحصول أو النمو الخضري، وعمليات الحراثة، وممارسات الإدارة التأثير الكبير على كمية الجريان السطحي. ومقارنات المساحات أو الحقول مع نفس أو ميول و نسائج تربة متشابهة ربما يؤدي إلى مدى واسع من إختلافات الترشيح بالنسبة للميول والنسائج المتشابهة.

معدلات ترشيح التربة يمكن أن يتم قياسها باستخدام أجهزة قياس الترشيح الأسطوانية، وطريقة التبريك، والتدفق الداخل-الخارج في أتلام، والأتلام المسدودة (التبريك)، وكذلك من خلال إستخدام معدات خاصة مثل أجهزة قياس الترشيح باستخدام تلم إعادة التدوير. وجهاز قياس الترشيح الأسطواني ،كما هو مبيّن في الشكل 3-2، يتم صنعة في العادة من الفولاذ وكذلك يمكن أن يكون بحلقة أسطوانية واحدة أو حلقتين أسطوانيتين لهما نفس المركز. والأسطوانات ذات الحلقتين لها الميزة بأن قياس الترشيح يعتبر أكثر دقة من حيث الترشيح العمودي إلى داخل التربة نتيجة لوجود منطقة عازلة أو واقية خارجية، والتي من المفترض أن يتم الإحتفاظ بها على نفس مستوى عمق الماء في الحلقة الداخلية. كما أنه من الممكن أن يتم تطبيق الأسطوانات مزدوجة الحلقات باستخدام الحواجز (السواتر) الأرضية بالنسبة للبركة الواقية.

والحلقات الأسطوانية تعتبر مفيدة جداً بالنسبة للري بالأحواض أو الشرائح والتي فيها يكون الترشيح بالضرورة عمودياً خلال فترات الري الحقيقي. على الرغم من أنه بالنسبة للري بالأتلام فإنه من المفضل أن يتم الأخذ بالإعتبار الترشيح ذو البعدين (العمودي والأفقي) بواسطة إجراء فحص التدفق الداخل-الخارج أو الأتلام المسدودة. وفحوصات التدفق الداخل-الخارج و التلم المسدود أيضاً تعطي تكامل مكاني كبير، بينما فحوصات الحلقة الأسطوانية تعتبر أساسياً قياسات نقطة بالنسبة للترشيح، والكثير من العينات تعتبر مطلوبة على طول مساحة الحقل من أجل تحديد معاملات الترشيح الممثلة. ويعتبر الترشيح باستخدام تلم إعادة التدوير عبارة عن



الشكل 3-2: جهاز قياس الترشيح الحلقي الأسطواني مع بركة فاصلة لتشجع على الترشيح العمودي تحت الإسطوانة.

حزمة من الأجهزة أو الآلات التي تشغّل الماء عبر مقطع قصير من التلم ومن ثم قياس معدل الترشيح كدالّة للزمن؛ وله ميزة الأخذ في الإعتبار كل من الشكل الهندسي للأتلام وكذلك حركة الماء على طول التلم، العاملين اللذين يمكن أن يؤثرا بشكل كبير على معدل الترشيح.

وفي حالة الري بالرش فإن أثر حبات الماء الساقطة على سطح التربة يمكن أن يسبب إنسداد جزئي ومن ثم يقلل معدل الترشيح. وهذ يعتبر صحيحاً بشكل خاص مع الرشاشات التي تُخْرِجْ حبات ماء كبيرة على ترب ذات نسيج ثقيل (الطين). وسرعة حبات الماء كلما إقتربت من سطح التربة من الرشاشات تصل سرعتها النهائية قبل أن ترتطم بالأرض (Keller و Bliesner 1990). وهكذا، فإن معدل الترشيح الذي تم قياسه من أجهزة قياس الترشيح الأسطوانية و الطرق الأخرى ربما تكون غير دقيقة تحت ظروف الري بالرش، وخاصة مع الترب ذات النسيج الثقيل.

3- 8 علاقات التربة والماء

كميات الماء المتوفرة في التربة والتي يمكن أن يتم إستعمالها لنمو وتطور المحصول تعتمد على عدة متغيرات. وتلك المتغيرات تشتمل على عمق وكثافة الجذور الفعالة للمحصول (كم الدرجة الجيدة التي يستكشف نظام الجذر فيها التربة)، وكذلك مقدرة التربة على تخزين الماء المتوفر. وخصائص التربة الأساسية التي يتم إستخدامها لتقدير الكمية المحتملة لمخزون الماء المتوفر تشتمل على السعة الحقلية (FC) ونقطة الذبول الدائم (PWP)، والماء المتاح (AW).

وربما يتم تعريف السعة الحقلية على أنها محتوى ماء التربة مباشرة بعد أن تصريف الماء السريع بواسطة الجذب الأرضي، بعد الري والذي كانت التربة فيه مشبعة بشكل مؤقت. وبشكل مثالي يمكن أن يتم الوصول إلى السعة الحقلية بعد يوم إلى ثلاثة أيام بعد الري والتي فيها تكون منطقة جذور النبات قد تعبأت بالكامل. ويمكن أن يتم قياس السعة الحقلية مباشرة كنسبة حجمية، والتي يمكن أن يتم التعبير عنها من حيث مليميتر/متر عمق تربة. ويمكن أن يتم حساب السعة الحقلية من الكثافة الكليّة ونسبة (جزء) وزن الماء في عينة التربة.

والكثافة الكليّة ربما تختلف مع الري، وكذلك مرور آليات المزرعة، أو ممارسات الحراثة (العمليات الزراعية). وبالنسبة للترب الزراعية، فإنها يمكن أن تتباين من 1.1 غرام/سم^3 بالنسبة للطين ذات التركيبة العالية إلى 1.8 غرام/سم^3 بالنسبة للتربة الرملية المضغوطة بلطف. بالنسبة للتقديرات المرتبطة بجدولة الري، فإن قيمة متوسطة تساوي 1.4 أو 1.5 يتم إفتراضها بشكل متكرر بالنسبة لنسائج التربة المتوسطة.

والسعة الحقلية هي عبارة عن كمية أو نسبة الماء في حجم تربة والتي يمكن أن يتم الإحتفاظ بها أو مسكها عكس (ضد) تصريف الجذب الأرضي. وهذا يحدث عادة ما بين 1/ 10 شد ضغط جوي بالنسبة للترب الخشنة و 1/ 3 ضغط جوي بالنسبة للترب الثقيلة. والطريقة العملية لتحديد السعة الحقلية هي أن يتم إختيار مساحة أرض من دون نباتات عليها، وأن يتم غمر المساحة بالماء حتى إشباع التربة، ومن ثم قم بتغطيتها بمشمّع أو بالبلاسيتيك لمنع التبخر، ومن ثم خذ عينات تربة بعد أن تكون التربة قد تصرّفت حتى السعة الحقلية. وزمن التصريف المطلوب هو عادة ما بين يوم بالنسبة للترب ذات النسيج الرملي أو الخشن وربما تكون في حدود 4 أيام بالنسبة للترب ذات النسيج الناعم أو الثقيل. ويجب أن يتم وضع العينات في علب وذلك لمنع الجفاف الإضافي قبل التوزين، ثم قم بتوزينها، وتجفيفها بالفرن، ومن ثم حساب نسبة الماء لكل وحدة حجم أو وحدة وزن تربة جافة. والسعة الحقلية الحجمية هي نسبة الماء الذي يتم مسكه في التربة بعد تصريف الماء بواسطة الجذب الأرضي لكل وحدة وزن تربة جافة مضروبة في كثافة التربة الكليّة. ومن خلال قياس حجم العينة المأخوذة، فإنه لا يكون هناك حاجة لحساب الكثافة الكليّة. وبالنسبة لبعض الترب الرملية، فإن السعة الحقلية ربما تكون أقل من 8%، بينما بالنسبة للطين المحتوي على المواد العضوية ربما يتعدى 40%.

الطبقات ذات النفاذية القليلة، والطبقات الرملية أو التي تحتوي على حجارة، وكذلك إعماق الماء الأرضي الضحلة (القريبة من السطح) تميل إلى أن تُبَطّيء التصريف. ومستوى الماء الأرضي يجب أن يكون من 1 إلى 3 متر تحت مستوى العينة المقاسة. وعندما يتم إضافة ماء زائد، فإن المحتوى المائي على الأعماق المنخفضة ريما يزداد لعدة أيام كلما تحرك الماء للأسفل. وتصريف بعض الترب يكون بطيء جداً لدرجة أن التحديد الكمي للسعة الحقلية يكون صعباً. وعلى أية حال، فإن قيمة السعة الحقلية لا تكون دقيقة أبداً.

نقطة الذبول الدائم (PWP) هي عبارة عن نسبة ماء التربة (وزن التربة الجاف) والتي عندها يذبل النبات ولا ينتعش. وهو تقريباً يساوي كمية الماء التي يتم مسكها عند ضغط 15بار (15 شد ضغط جوي). ونقطة الذبول الدائم ربما يتم تقديرها بالنسبة لمعظم الترب ذات النسيج المتوسط وتكون في حدود نصف السعة الحقلية. والماء المتاح (AW) يمكن تعريفه على أنه السعة الحقلية (FC) – نقطة الذبول الدائم (PWP). وعادة يتم التعبير عن الماء المتاح كعمق ماء متوفر لكل متر عمق تربة. وهذا يتم حسابه من خلال ضرب الماء المتاح كنسبة وزن جاف في الكثافة الكليّة. وقدرات الإحتفاظ بالماء المثالية للترب بالمليميتر/متر عمق تربة تم إعطاءها في الجدول 3-5.

الجدول 3-5: الماء المتاح بالنسبة لنسائج تربة متنوعة.

نسيج التربة	الماء المتاح (ملم/م)
رملية خشنة	65-20
رملية ناعمة	85-60
رملية مخلوطة	110-65
مخلوطة رملية	130-90
مخلوطة رملية ناعمة	170-100
مخلوطة طمية	230-150
مخلوطة طينية طمية	160-130
طينية طمية	170-125
طينية	150-110
الخث والدبال	240-160

ملاحظة: تم تصنيف هذا الجدول من مصادر متعددة ويمثل معدل قيم الماء المتاح تقريبية.

نسيج التربة لا يعتبر المؤشر الجيد للماء المتاح وذلك لأن التباين في خصائص الإحتفاظ بالماء ضمن نسيج تربة معين يكون كبيراً جداً. وحوالي نصف مثلث نسيج التربة (أنظر الشكل 3-1) يتألف من النسائج الطينية والطينية المخلوطة. والتربة ذات نسبة الطين الأكثر من 55% ربما يتم عمل خريطة لها على أنها طينية ولكن لها خصائص إحتفاظ ماء مختلفة جداً عن تلك الترب ذات نسبة الطين التي تساوي 90%. السعة الحقلية، أو حد التصريف الأعلى، تعتبر مؤشراً أفضل بكثير للماء المتاح. ويعتبر حد التصريف الأعلى معادلاً للسعة الحقلية.

وفي عام 1989 قام Bowers وآخرون بمقارنة قيم السعة الحقلية والماء المتاح لحوالي 2300 مقطع عرضي لتربة في كاليفورنيا. وتم عرض عينة إلى 3 عينات لكل مقطع عرضي. وتم القيام بالمقارنة من خلال إختيار سعة حقلية معينة، ووضع القيم المعينة في جدول بالنسبة للماء المتاح، ومن ثم حساب معدل قيمة الماء المتاح و إنحرافه المعياري (CV). وفي دراسة أخرى، تم

عمل إنحدار خطي لقيم السعة الحقلية من 8% إلى 41% نسبة حجمية. والصيغة أو المعادلة التي تم الحصول عليها هي:

$$AW = 2.3 + 0.37\ FC \qquad (1\text{-}3)$$

ومعامل التحديد (r^2) كان 0.98 بالنسبة للبيانات التي تم إستخدامها لمعايرة المعادلة. وبالنسبة لكل قيمة سعة حقلية فإنه كان هناك تباين كبير في قيم الماء المتاح حول القيمة المتوسطة. ومعدل الإنحراف المعياري كان 21%. وفي عام 1992 قام Jensen وآخرون بإعطاء 8 قيم متوسطة مماثلة أو مطابقة للماء المتاح والسعة الحقلية. وتلك القيم المتوسطة الثمانية للماء المتاح لها معدل 13% أكثر من القيم المماثلة للماء المتاح من المعادلة 3-1. وفي عام 1994 قام Allen بتطوير معادلة من بيانات تم إعطاءها من قبل Jensen وآخرون في العام 1990 وهي كما يلي:

$$AW = 1.55\ (FC)^{0.66} \qquad (2\text{-}3)$$

والمعادلة 3-2 تعطي إلى حد ما قيم مرتفعة للماء المتاح عن تلك من المعادلة 3-1. ويوجد هناك تباين كبير وواضح في تلك العلاقات ولكن تعتبر المعادلات ذات مرتبة أعلى بالنسبة لتقدير الماء المتاح من نسيج التربة لوحده.

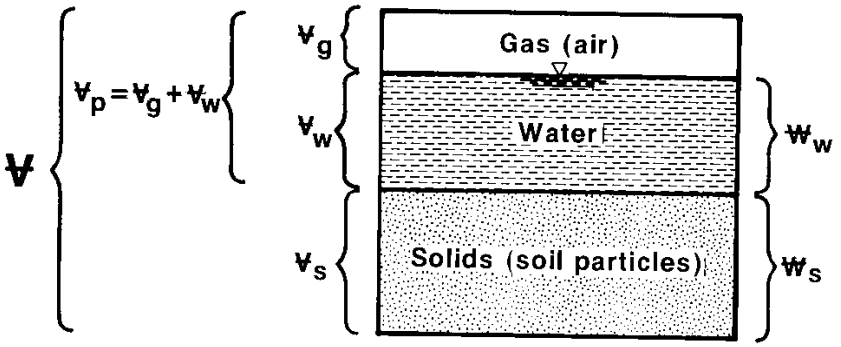
وعندما يقوم النبات باستخدام الماء من أعلى 50% من الماء المتاح فإنه يكون هناك إجهاد قليل. وفي المدى الأقل، فإن النبات يواجه زيادة في الإجهاد المائي، وعندما يتم الوصول إلى نقطة الذبول الدائم، فإن الإستعمال المائي بواسطة النبات يصل الصفر. وبالنسبة لجدولة الري، فإنه يفترض أن يتم إضافة ماء التربة عندما يتم إستنفاذ ما بين 25% إلى 75% من الماء المتاح. والمعدل الموصى به الكلي للإستنفاذ هو حوالي 50% من الماء المتاح. وجزء أو نسبة الإستنفاذ الموصى بها الحقيقية تعتمد على البخرنتح الكامن للمحصول ونوع المحصول. وكل تلك الإعتبارات تم شرحها بتوسع في الوحدة 7.

3- 9 معادلات محتوى ماء التربة

تم أدناه تقديم عدة معادلات لتعريف العبارات (المصطلحات) المشتركة والتي تتعلق بمحتوى ماء التربة. المسامية، Φ، هي ببساطة نسبة الفراغات البينية (الهواء والماء) التي تتعلق بحجم التربة الكلي. وتميل المسامية إلى أن تكون أعلى بالنسبة للترب ذات النسيج الناعم (الطين)، ولكنها أيضاً دالّة لتركيب التربة:

$$\phi = \frac{V_{air} + V_{liquid}}{V_{total}} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \qquad (3\text{-}3)$$

في حين أن المصطلحات الحجمية تم تعريفها في الشكل 3-3، مع V_{liquid} هي حجم الماء في التربة؛ ρ_b هي الكثافة الكليّة (معرّفة أدناه)؛ ρ_s هي كثافة جزيئات التربة (حوالي 2.65 غرام/سم^3 بالنسبة لمعظم الترب الزراعية). وتميل المسامية لأن تتباين ما بين 0.3 إلى 0.6 (الجدول 3-6)، أو 30% إلى 60%.



الشكل 3-3: مكعب الماء والتربة من أجل تعريف الخصائص الفيزيائية للتربة المختلفة.

الجدول 3-6: القيم المثالية للكثافة الكلية للتربة ومسامية التربة.

نوع التربة	الكثافة الكلية (غرام/سم^3)	المسامية (%)
الطينية	1.3-1.1	61-53
المخلوطة	1.4-1.3	53-47
الرملية	1.8-1.4	47-30

ويحدث الإشباع عندما تكون فراغات التربة البينية معبأة بالماء بشكل كامل (لا يوجد هواء). ويمكن أن يتم تعريف الإشباع، S، كدالّة للمحتوى المائي الحجمي والمسامية كما يلي:

$$S = \frac{V_{liquid}}{V_{air} + V_{liquid}} = \frac{\theta_v}{\phi} \qquad (4\text{-}3)$$

في حين أن S هي الإشباع وبصورة كسر؛ و θ_v هي المحتوى المائي الحجمي، والذي يتم تعريفه كما يلي:

$$\theta_v = \frac{V_{liquid}}{V_{total}} = S\phi \qquad (5\text{-}3)$$

وجزء المحتوى المائي ذو الكتلة الجافة هو عبارة عن نسبة كتلة الماء في حجم تربة معين إلى كتلة الجزيئات الصلبة:

$$\theta_m = \frac{\rho_w V_{liquid}}{\rho_s V_{solid}} \qquad (6\text{-}3)$$

في حين أن θ_m هي جزء المحتوى المائي في الكتلة الجافة؛ و ρ_w هي كثافة الماء. وتعتمد كثافة الماء على الكيماويات المذابة في الماء، ولكنها عادة ما تؤخذ أعلى بقليل من 1 غم/سم^3.
ويمكن أن يتم تعريف الكثافة الكليّة على أنها نسبة كتلة جزيئات التربة الصلبة إلى حجم التربة الكلّي (أنظر الجدول 3-6):

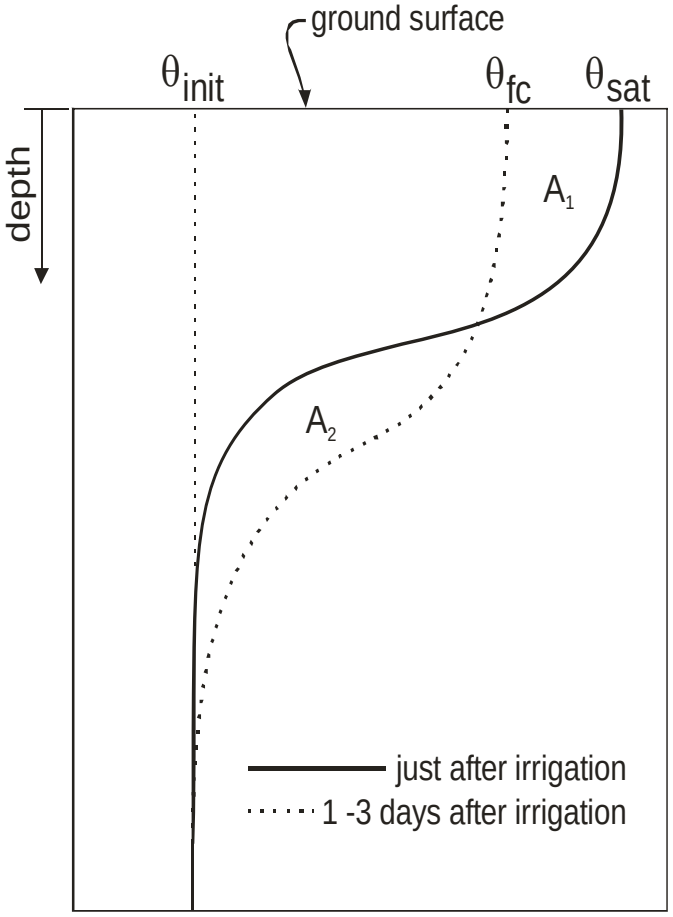
$$\rho_b = \frac{\rho_s V_{solid}}{V_{total}} = \rho_s(1-\phi) \quad (7\text{-}3)$$

والماء المتاح للنبات (AW) هو عبارة عن الفرق في المحتوى المائي عند السعة الحقلية (θ_{fc}) ونقطة الذبول (θ_{wp})، مضروبة في العمق الفعال لمنطقة الجذور (R_z). والماء المحجوز (الممسوك) في التربة ما بين درجة الإشباعة والسعة الحقلية هو عادة متاح للنبات، ولكن بشكل عام يتم إهماله وذلك لأن معظم الترب الزراعية يتم تصريفها إلى السعة الحقلية في يوم إلى 3 أيام. وإهمال الماء ما بين درجة الإشباع والسعة الحقلية يمكن أن يتم إعتباره عامل سلامة في حسابات التصميم فيما يتعلق بقدرة أو طاقة نظام الري. وبصيغة معادلة، فإن الماء المتاح هو عبارة عن:

$$AW = (\theta_{fc} - \theta_{wp})R_z \quad (8\text{-}3)$$

والعجز المسموح به إدارياً (MAD) هو عبارة عن جزء الماء المتاح الكلي الذي يسمح باستنفاذه من التربة قبل الري. وقيمة العجز المائي المسموح به إدارياً تميل إلى أن تكون أصغر بالنسبة للمحاصيل ذات القيمة العالية، إلا إذا كان ضرورياً أن يتم إجهاد النباتات من أجل إنتاج مقبول (مثلاً، القطن والبطيخ). والعجز المائي المسموح به إدارياً يستخدم على الأغلب في حسابات تصميم نظام الري الأوليّة.

ويبيّن الشكل 3-4 عينتين لمنحنيات محتوى ماء تربة: واحد بالنسبة لتوزيع ماء التربة في منطقة الجذور مباشرة بعد إتمام ريّة، والتي فيها محتوى ماء التربة عند السطح هو عند أو قريب من الإشباع، والآخر لماء تربة تم إعادة توزيعه بعد عدة أيام من الري. وهذا يمثل حالة مثالية لمقطع عرضي متساوي لتربة، والتي فيها وصل محتوى ماء التربة إلى السعة الحقلية من يوم إلى 3 أيام بعد الري. والشكل 3-4 تم رسمه مع الإفتراض أن المحتوى المائي الأولي (قبل الري مباشرة) هو أقل من السعة الحقلية وأنه يعتبر ثابتاً مع العمق؛ على الرغم من أن هذا مثالي إلى حد ما وذلك لأن المحتوى المائي الأولي يمكن أن لا يكون متساوياً بشك عام، وأن وجود مستوى ماء أرضي مرتفع يمكن أن يحوّل الأجزاء السفلى من المنحنيات إلى اليمين. وفي الشكل، فإن المناطق A_1 و A_2 تعتبر متساوية إلا إذا تم إزالة الماء من التربة بواسطة التبخر و/أو النتح.



الشكل 3-4: عينة منحنيات لمحتوى الماء الحجمي مقابل العمق من سطح التربة.

3- 10 طاقة ماء التربة

الطاقة الكامنة هي مشابهة للحرارة، كما أن محتوى ماء التربة هو مشابه لمحتوى الحرارة. الطاقة الكامنة لماء التربة يتم في الإغلب التعبير عنها بوحدات سنتيميتر ماء. وشد ماء التربة هي ضغط سالب، والضغط السالب هو بالنسبة للضغط الجوي. والطاقة الكلية الكامنة لماء التربة في تربة هو في العادة يساوي مجموع ضغط الجذب الأرضي، والمحلول، والطاقة الكامنة للوسط:

$$\psi_t = \psi_z + \psi_p + \psi_s + \psi_m \qquad (9\text{-}3)$$

في حين أن ψ_t هي عبارة عن الطاقة الكامنة الكليّة؛ و ψ_z هي عبارة عن الطاقة الكامنة للجذب الأرضي؛ ψ_p هي عبارة عن طاقة الضغط الكامنة؛ و ψ_s هي عبارة عن الطاقة الكامنة للمحلول؛ و ψ_m هي عبارة عن الطاقة الكامنة للوسط.

وطاقة الجذب الأرضي الكامنة يتم عمل مرجعية لها من خلال نظام مرجعي مفترض وأن أهميته هي تماماً لأغراض المقارنة عند إرتفاعات مختلفة في المقطع العرضي للتربة. وبصيغة أخرى، تعتبر طاقة الجذب الأرضي الكامنة هي مصطلح نسبي. وطاقة الضغط الكامنة تساوي صفر

إلا إذا كانت التربة مشبعة. وهذا التعبير أو المصطلح يساوي صفر فوق السطح المائي الحر، ويزداد بصورة خطية تحته. ويمكن أن يتم قياس طاقة الضغط الكامنة باستخدام البيزوميتر (جهاز لقياس الضغط العالي)، وأن الوحدات في العادة هي السنتيمتر ماء. والطاقة الكامنة للمحلول تتعلق بالأسموزية و الأغشية شبة المنفذة (مثل جذور النبات، على سبيل المثال) والتي تميل لأن تترك الأملاح خلفها. ويمكن على الأغلب أن يتم تقدير الطاقة الكامنة للمحلول على أنها 0.36 مضروبة في التوصيل الكهربائي (EC) بالنسبة لمتسخلص التربة ضمن مجال 3 إلى 30 ديسيسيمنز/متر. والطاقة الأسموزية الكامنة تزداد كلما زادت ملوحة ماء التربة، مما يجعلها تصبح صعبة بالنسبة لجذور النبات بأن تقوم باستخلاص الماء من التربة.

والطاقة الكامنة للوسط تتعلق بقوى إدمصاص التربة، ويمكن أن يتم قياسها باستخدام جهاز التنشيوميتر. والطاقة الكامنة للوسط تكون صفر تقريباً بالنسبة لظروف التربة المشبعة، وتكون سالبة 0.1 إلى 0.3 بار (-100 إلى -300 سم إرتفاع رأس ماء) عند السعة الحقلية، ويكون سالباً 15 بار (-15.000 سم) عند نقطة الذبول. والبار يساوي تقريباً الضغط الجوي، وأن 1 سنتيبار (0.01 بار)، سنتيبار، يساوي حوالي 10 سم إرتفاع رأس ماء.

3- 11 قياس محتوى ماء التربة

يمكن ان يتم إستخدام عدة طرق من أجل تحديد محتوى ماء التربة، مع طرق جديدة تحت التطوير. وقد تكون أكثر إجراء دقة هي الطريقة الوزنية، والتي فيها يتم أخذ عينات تربة إلى المختبر ويتم توزينها، ومن ثم تجفيفها في فرن لعدة ساعات، ومن ثم يتم توزينها مرة أخرى. والفرق في الوزن يماثل كتلة الماء في التربة. وللطريقة الوزنية سيئتها بأنها تأخذ عدة ساعات من أجل تجميع وتجهيز عينات التربة، وكذلك تتطلب معدات مخبرية.

والمجس النيوتروني أصبح شائعاً جداً بالنسبة لأخذ قياسات محتوى ماء التربة. والجهاز يعتبر دقيق وسريع التطبيق، ولكنه أيضاً باهظ الثمن عند عدة آلاف من الدولارات أو يزيد. والقياسات باستخدام المجس النيوتروني يجب أن تبدأ عند حوالي 9 إنش تحت سطح التربة وذلك لتجنب الأخطاء الحدية (الحدود)، ولكن هذا يعتمد على محتوى التربة المائي (مع ماء أكثر، فإن مناطق تاثير المجس تقل). ومواسير الوصول العمودية من أجل إدخال المجس هي في العادة من الألمنيوم أو البولي فينيل كلورايد (PVC) ولكن المعايرة تختلف بالنسبة لتلك المادتين – قراءة المجس لا تتأثر بالألمنيوم، ولكن البولي فينيل كلورايد به بعض الهيدروجين، وهذا له تأثير على القراءة. وتعتبر المجسات النيوترونية مشعة ويمكن أن تكون ضارة للصحة إذا لم يتم التعامل معها بشكل ملائم. ويجب أن يحصل المستخدمون على التدريب الرسمي على تطبيقات وتخزين تلك الأجهزة، ويجب أن يقوموا بلبس إشارات يمكن أن يتم تأشيرها بالنسبة لمستوى التعرض للإشعاع.

والموجات الراديوية يتم إستخدامها لتحديد محتوى ماء التربة. وتلك الأجهزة أصبحت أكثر نقاوة وآمنة أكثر من المجسات النيوترونية، ولكنها يمكن أن تكون مرتفعة الثمن. وتقنيات حديثة أخرى مثل جهاز إنعكاس سيادة الزمن كان قد تم تطبيقه، وأن الكثير من تلك الأجهزة ما زالت تحت البحث. وقطع الأحجار المسامية كان قد تم إستخدامها لعدة سنوات من أجل قياس محتوى ماء التربة. وتعتبر بسيطة ورخيصة الثمن، ولكن ليست دقيقة بشكل خاص. ومعايرة قطع الأحجار المسامية تميل لأن تتحوّل مع الوقت، وأنها أيضاً تعتمد على ملوحة ماء التربة. وأجهزة التنشيوميتر تستخدم لقياس الطاقة الكامنة لوسط التربة وليس المحتوى المائي.

الوحد الرابعة

تقييم مصادر الري

4- 1 المقدمة

تعتبر المعرفة بالمصادر المتاحة للري وبالحاجة للري ضرورية لتقييم فوائد الري المحتملة. وإذا كانت ظروف الطقس، والتربة، والمصدر المائي، وسعر السوق والطلب جميعها مشجعة، فإنه ربما يكون مجدياً أن يتم تمويل تطوير الري. وبالنسبة لمشاريع الري الكبيرة، فإنه يتم التحري بشكل متكرر عن المصادر وبتفصيل كبير. وبالنسبة لمشاريع التطوير الصغيرة، فربما يكون لدى المزارعين المعرفة الكافية بالمصادر من أجل أخذ القرارات السليمة فيما يتعلق بتركيب مضخة من أجل أخذ الماء من نهر أو تطوير الري من آبار، ضمن الإمكانات الأخرى.

والوحدة تصف بعض المصادر الأساسية التي يجب أن يتم إعتبارها ويقدم الإرشاد فيما يتعلق بالطرق من أجل تحري وتقييم المصادر الأكثر أهمية.

4-2 الطقس

معدل نمو المحصول وتطوره يتم تحديده من خلال توفر الطاقة والماء عندما تكون عوامل الإنتاج الأخرى مشجّعة أو تقريباً عند المستوى الأمثل. وفي هذا الإطار، فإن توفر الطاقة يمكن أن يتم تقريبه مع عاملين إثنين رئيسيين: حرارة الهواء وأشعة الشمس المباشرة. ومعظم المحاصيل الزراعية يمكن أن يتم تقسيمها إلى مجموعتين فيما يتعلق بمتطلباتها من الحرارة من أجل النمو (أنظر الجدول 2-1). ومحاصيل الموسم البارد يعطي نمو قليل على درجات حرارة تحت 5 درجة مئوية تقريباً ولها نمو أمثل في مدى درجات حرارة 15 إلى 20 درجة مئوية. ومحاصيل الموسم الدافيء لها حد أدنى بحدود 10 درجات مئوية. ومدى النمو الأمثل هو من 25 إلى 30 درجة مئوية. وبالنسبة لمحاصيل قليلة فإن المدى الأمثل يبدأ عند 25 إلى 30 درجة مئوية وينتهي عند حوالي 35 درجة مئوية.

وبعض المحاصيل ترتعش في الجو الرطب وآخرى تتناسب مع الظروف الجافة. والتمثيل الكلوروفيلي يتم تحديده بشكل كبير بواسطة الإشعاع الشمسي ويتأثر بحرارة الهواء. وكمية الإشعاع الشمسي التي تصل سطح الأرض يمكن أن يتم تقديرها من خط العرض، والمدى ما بين أقصى وأدنى درجة حرارة، أو مدى درجة الحرارة. والقيم المنخفضة لمدى درجة الحرارة في الأغلب يرتبط مع القيم المرتفعة لأدنى رطوبة نسبية. وكنتيجة لتلك العلاقات، فإن قيم أقصى وأدنى درجة حرارة، والأمطار، وخط العرض تعتبر في العادة ملائمة لتحديد إحتمالات الطقس من أجل الإنتاج الزراعي.

والقيمة المتوسطة (P_m) والإنحراف المعياري (SD) للمطر تعطي مؤشر مفيد من أجل تقييم الهطول المطري كمصدر زراعي. والإنحراف المعياري يعتبر قيمة إحصائية إلى حد أن 67% من القيم التاريخية التي تم قياسها هي ضمن مدى الوسط الإحصائي زائد أو ناقص إنحراف معياري واحد. والإنحراف المعياري للقيم الشهرية المتوسطة لدرجة الحرارة هي في عادة في مدى 2% إلى 10% من القيمة المتوسطة طويلة الأمد. والإحتمالية 75% للهطول المطري المؤكد (P_{75}) للفترات

الشهرية أو كل 10 أيام تعتبر مفيدة كمؤشر لإعتماد الهطول المطري للإنتاج الزراعي. والإحتمالية 75% تعني أنه في 3/ 4 من السنوات فإن الكمية المحددة *أو أكثر* سوف تحدث في المعدل. أو، في 1/ 4 من السنوات فإن أقل من هذه الكمية سوف يتم ملاحظتها، في المعدل. والمطر الغزير يعتبر ضار للإنتاج الزراعي، ويسبب إنجراف التربة، ويتداخل مع إدارة المحصول، ويقلل من تهوية التربة. لهذا، فإنه يعتبر مرغوباً أن يتم تقييم إحتمالية كميات الهطول المطري العالي غير العادي.

خصائص المحصول، وخط العرض، ومعدل درجة الحرارة، ومدى درجة الحرارة يمكن أن يتم إستخدامها ليس فقط لتحديد قابلية الطقس، ولكن أيضاً لتقدير المتطلبات المائية للمحصول. وإذا كانت جميع العوامل الأخرى تعتبر قريبة من المستوى الأمثل، والقابلية لإنتاج المحصول يمكن أن يتم تحديدها من:

1. معدل درجة الحرارة، ومدى درجة الحرارة، وطول اليوم (ساعات السطوع الشمسي).
2. كفاية وموثوقية الماء، بما في ذلك التحرر من كميات الهطول المطري الغزيرة.

في عام 1977 قام هارغريفز باقتراح تصنيفات للطقس والإنتاجية الزراعية بالإستناد إلى الهطول المطري أو مؤشر كفاية الرطوبة. ومؤشر كفاية الرطوبة هو إحتمالية 75% لهطول مطري مؤكد (P_{75}) مقسومة على البخرنتح المرجعي (ET_o). والتصنيفات تم إعطاؤها في الجدول 4-1.

الجدول 4-1: تصنيفات الطقس والإنتاجية بالإستناد إلى مؤشر الرطوبة المتوفرة.

المعايير	تصنيف الطقس	تصنيف الإنتاجية الزراعية
جميع الشهورمع مؤشر الرطوبة المتوفرة من صفر-0.33	جافة جداً	ليست مناسبة للزراعة البعلية
1 -2 شهر من مؤشر الرطوبة المتوفرة من 0.34 فما فوق	جافة	مناسبة محدودة للزراعة المروية
3-4 شهور من مؤشر الرطوبة المتوفرة من 0.34 فما فوق	شبة جافة	الإنتاج محتمل لمحاصيل تحتاج إلى موسم نمو من 3-4 أشهر
5 أشهر متتابعة أو أكثر من مؤشر الرطوبة المتوفرة من 0.34 فما فوق	رطبة-جافة	الإنتاج محتمل لمحاصيل تحتاج إلى موسم نمو من 5 أشهر أو أكثر
1-2 شهر مع مؤشر رطوبة متوفرة فوق 1.33	رطبة إلى حد ما	تحتاج إلى صرف طبيعي أو صناعي من أجل إنتاج زراعي طبيعي
3-5 شهور مع مؤشر رطوبة متوفرة فوق 1.33	متوسطة الرطوبة	تحتاج إلى صرف جيد من أجل إنتاج زراعي طبيعي
6 شهور أو أكثر مع مؤشر رطوبة متوفرة فوق 1.33	رطبة جداً	تحتاج إلى صرف جيد جداً من أجل إنتاج زراعي طبيعي

ولقد تم إستخدام المعايير المذكورة أعلاه من أجل عمل مناطق أصغر من المناطق الأكبر من أجل إحتمالية الإنتاج الزراعي ومن أجل المتطلبات بالنسبة لإحتياجات الري والصرف. واستخدام قيم مؤشر كفاية الرطوبة من أجل كل 10 أيام فترة زمنية يعتبر أكثر فائدة من تلك التي من أجل الفترة الزمنية الشهرية (كل شهر). ويمكن أن يتم حساب مؤشر كفاية الرطوبة بشكل موثوق من سجلات الأمطار والحرارة. وحساب البخرنتح المرجعي (أنظر الوحدة 6) من الحرارة تلغي الكثير من الأخطاء التي تنتج من التقديرات الرديئة (أو القياسات) للإشعاع الشمسي، و سَيْر الرياح، ونقص ضغط البخار.

وكان قد تم إستخدام الجدول 4-1 بشكل أساسي من أجل التقسيم إلى مناطق صغيرة حسب إحتمالية الإستخدام الزراعي للمناطق الإستوائية مع 12 شهر موسم نمو خالي من الصقيع. وبالنسبة للطقس المعتدل، هناك حاجة لعمل مخصصات من أجل مياه التربة المنقولة من الموسم الشتوي. وكمة المياه المنقولة تتباين مع نوع التربة، وممارسات الإدارة، وعوامل أخرى.

وقد قام معهد إدارة المياه الدولي باختيار الرمز A_{75} (مؤشر الكفاية عند 75% مستوى إحتمالية المطر) بدلاً من مؤشر كفاية الرطوبة ليتم إستخدامه في الدراسات حول العالم. ويقوم معهد إدارة المياه الدولي باستخدام صافي البخرنتح لتؤشر على الحاجة للري والصرف. وصافي البخرنتح يساوي $P_{75} - ET_o$ (75% إحتمالية كمية مطر).

وقيم P_{75} للإستعمال في حساب مؤشر كفاية الرطوبة أو A_{75} كان قد تم حسابها لدول ومناطق مختلفة بواسطة طرق توزيع إحتمالية جاما. وقيم معدل السقوط المطري (P_m) والإنحراف المعياري يمكن أن يتم إستخدامهما لحساب P_{75}. والمعادلة هي:

$$P_{75} = P_m - 0.74\ SD \qquad (1\text{-}4)$$

وتعتبر المعادلة 4-1 أسهل بكثير للإستخدام من إحتمالات جاما. والفرق في القيم المحسوبة نادراً ما تكون ذات أهمية.

4-3 الهيدرولوجيا

معدل أو متوسط كمية الهطول المطري أو الجريان المائي يعتبر بشكل متكرر من المعايير الرديئة (السيئة) للإستعمال في تخطيط تطوير الري. والمعدل السنوي للإبتعاد عن متوسط الأمطار ربما يكون أقل من 10% أو ربما يتجاوز 40%. وتعتبر الكميات الشهرية متوفرة بشكل أكبر. ويوجد هناك أحياناً عدة سنوات من زمن التأخير (الإعاقة) ما بين كميات السقوط المطري وتأثيرة على الجريان الأساسي (الحد الأدنى من الجريان) للمجرى المائي، ويعتبر التأثير تراكمياً. وفي فترة زمنية تساوي 18 سنة (1950-1967) فإن معدل الأمطار لعشرين محطة أفريقية غربية تجاوزت متوسط المدى الطويل في 17 سنة وكانت فقط أدنى بقليل من الحد الطبيعي لسنة واحدة. وهذه الفترة من الهطول المطري الكافي تبعها فترة مقابلة من السقوط المطري الأقل من المعدل.

وخلال الفترة الطويلة من الهطول المطري الأعلى من المعدل بكثير فإن الجريان الأساسي في المجاري المائية والأنهر زادت بشكل تدريجي. ومستويات المياه الجوفية ونواتج الينابيع والآبار ربما تزداد بشكل كبير. وفي الفترات الطويلة الأقل من معدل السقوط المطري فإن بعض المجاري المائية والينابيع والآبار ربما تجف أو يحصل لها إنخفاض شديد في التدفقات. والتداخلات

(التفاعلات) ما بين المياه السطحية والجوفية يمكن أن تكون معقدة أو يمكن أن تشتمل على إعاقات زمنية واضحة. والفهم التفصيلي لتلك العلاقات تتطلب دراسة الأساسيات الهيدرولوجية.

ومن أجل التخطيط لتطويرات الري، فإنه كان قد تم إستخدام العديد من المعايير المختلفة من أجل تقييم درجة وثوق المصادر المائية. وأحياناً فإن 75% إحتمالية جريان مائي مؤكد (Q_{75}) يتم إستخدامها. وفي مناسبات أخرى، فإن جريان المجرى المائي خلال سجل فترات الجفاف الشديد كان قد تم إستخدامها من أجل التصميم. وبشكل متكرر فإن بعض درجات العجز المائي كان قد تم إعتبارها مقبولة، فعلى سبيل المثال، فإن العجز في أي واحدة من السنوات لا يجوز أن تجاوز 30%. وقيم Q_{75} يمكن أن يتم حسابها من توزيع جاما أو من المعادلة 4-1.

وفي بعض الحالات فإن جريان المجرى المائي سوف يكون فائضاً بشكل كبير عن متطلبات الري. لهذا، فإنه وبشكل متكرر كثيراً فإن مساحة الأرض المناسبة للري تتعدى إمكانات المصدر المائي، وهذا يعني أنه لا يوجد ماء كافي لري كامل المساحة. وفي تلك الحالات، فإن جميع السجلات والمعلومات المتوفرة عن الأمطار، ومعدل جريان المجرى المائي، والجريان الأساسي، والمستويات المائية في الآبار يجب أن يتم الكشف عنها وتقييمها. المعدل والإنحراف المعياري الشهري للقيم اليومية للمطر والمجرى المائي يجب أن يتم تلخيصها. ومعدلات (متوسطات) القيم الشهرية للأيام الماطرة، الرقم الشاذ ليوم ماطر، أقصى جريان مجرى مائي، والمستويات الدنيا المدققة لجريان المجرى المائي يجب أيضاً أن يتم حسابها ووضعها في تقرير.

سجلات مستويات الماء في الآبار، والطبقات التي يمكن أن تواجه في الأعماق المختلفة، وناتج البئر معبّراً عنه بوحدة الحجم لكل وحدة زمن لكل وحدة هبوط في مستوى الماء يجب أن يتم الحصول عليها. التضاريس والخرائط الجيولوجية تقدم بشكل متكرر بعض المعلومات فيما يتعلق بالموقع المحتمل وكذلك مدى الأحواض الجوفية.

وكميات الهطول المطري التي يمكن أن يتم إستخدامها بواسطة المحاصيل تتأثر بالكثافات (عمق الهطول المطري ومدته)، ومعدلات ترشيح التربة، و ممارسات الإدارة التي تحدد *زمن الفرصة* بالنسبة للماء ليدخل التربة، وكذلك ظروف التربة. وبعض الإطلاع أو المعرفة بكميات الأمطار الشاذة يتم الحاجة إليها بالنسبة لتصميم مرافق الصرف، قنوات أو مهارب مياه الفيضان، ونواقل لمياه الصرف أو المياه العادمة تحت الطرق، وأعمال مائية أخرى.

وتشير دراسة سجلات الهطول المطري حول العالم إلى أنه بالنسبة لفترة إعادة أو تكرار من 5 سنوات إلى 200 سنة، فإن معدل أعماق الهطول المطري الذي يعبّر عنه ككسر أعماق يوم المشاهدة للهطول المطري يعتبر تقريباً ثابتاً. وبالنسبة لتكرار معين أو فترة إعادة أو رجوع فإن نسب معدل أعماق الهطول المطري إلى كميات أعماق يوم المشاهدة تعدّل تقريباً كما هو مبيّن في الجدول 4-2.

الجدول 4-2: معدل إعماق الهطول المطري كجزء من أعماق الهطول المطري ليوم مشاهدة بالنسبة للفترات المختلفة.

المدة	5 دقائق	15 دقيقة	30 دقيقة	1 ساعة	2 ساعة	6 ساعة	2 يوم	3 يوم
النسبة	0.15	0.28	0.40	0.50	0.60	0.78	1.19	1.32

وكما هو مشاهد في الجدول 4-2، فإن ساعة واحدة إحتمال أعماق هطول مطري تساوي تقريباً أعماق يوم مشاهدة مقسوماً على 2. وفي عام 1961 وجد Hershfield أن 1440 دقيقة (24 ساعة) إمكانية كميات هطول مطري تعدّل 1.13 مضروبة في الهطول المطري الشاذ لعمق يوم المشاهدة بالنسبة لنفس التكرار. واستخدام تلك العلاقة مع النسب (المعدلات) التي تم إظهارها أعلاه

تشير إلى أنه بالنسبة لأزمان المدة، t، من 0.5 إلى 72 ساعة، فإن العمق المحتمل للهطول المطري يعتبر دالة الجذر الرابع للزمن، $t^{0.25}$.

وبالنسبة لتكرار معين أو فترة رجوع (T) من 5 سنوات إلى 200 سنة، فإن قيم عمق يوم المشاهدة يمكن أن يتم إستخدامها لتقدير القيم الشاذة لأعماق يوم المشاهدة بالنسبة لأي فترة رجوع معينة. وقيمة عمق يوم المشاهدة تلك مقسومة على 2 سوف تقرّب العمق الممكن أو المحتمل (D) بالنسبة لزمن (t) يساوي ساعة واحدة. وبالنسبة لأي تكرار آخر (T) من 5 سنوات إلى 200 سنة وكذلك لفترات (t) من 0.5 إلى 72 ساعة أو ساعات أكثر، فإن العمق المحتمل أو الممكن للهطول المطري يمكن أن يتم تقديره من المعادلة التالية:

$$\frac{D_1}{D_2} = \left(\frac{t_1 X T_1}{t_2 X T_2} \right)^{0.25} \qquad (2\text{-}4)$$

وهناك علاقة ما بين معدل كميات الهطول السنوي وقيم أعماق يوم المشاهدة الشاذة. والقيم الشاذة لأعماق يوم المشاهدة من ثلاث قارّات كان قد تم مقارنتها مع معدل كميات الهطول السنوي. والمدى 5(معدل كميات الهطول السنوي)$^{0.5}$ تغطي 70% من قيم أعماق يوم المشاهدة الشاذة من سجلات 30 سنة، أو أكثر. والقيم البعيدة عن القيم الأخرى تميل لأن تحدث بشكل رئيسي تحت الظروف الجبلية. وتعتبر هذه العلاقة مفيدة كتقدير أولي تقريبي للقيم الشاذة المحتملة.

وأحداث الفيضانات الشاذة التي تنتج من كميات الأمطار غير العادية يمكن أن تؤدي إلى الكثير من الفقد أو تدمير السدود، ومرافق المصدر المائي، أو الممتلكات. وإحتمالية الأحداث غير العادية هي بشكل متكرر تكون قليلة التقدير. ومقارنة القيم الشاذة لأعماق يوم المشاهدة (ODD_x) خلال 30 سنة سجلات مع المعدل الشهري لكميات الهطول خلال أقصى شهر (PM_x) تشير إلى أن القيم الشاذة لأعماق يوم المشاهدة (ODD_x) تتجاوز أقصى شهر (PM_x) بحوالي 50% من السجلات أو القيود. وأيضاً، فإن ODD_x تتجاوز ضعف PM_x في حوالي 10% من السجلات. والعمر النافع للعديد من مرافق المصدر المائي يعتبر بشكل متكرر ومفترض أنه يكون 40 سنة أو أكثر. وفي مرحلة التخطيط فإن بعض التقديرات يجب أن يتم القيام بها لإحمالية خطر الدمار أو الفشل نتيجة للفيضان غير العادي أو السقوط المطري. وقد تم عرض النقاش أعلاه لتسهيل التقييمات الأولية للمخاطر المحتملة.

السقوط المطري ناقصاً البخرنتح من المستجمع المائي يحدد بشكل كبير الجريان، أو جريان المجرى المائي. ومجموع القيم الموجبة الشهرية للسقوط المطري ناقصاً البخرنتح المرجعي يمكن أن يتم إستخدامه كقيمة بديلة لتقدير معامل التغير للجريان. وإذا كان معدل السقوط المطري الذي تم قياسه يمثل ذلك الذي للمستجمع المائي، فإن معامل التغير للقيمة البديلة سوف تكون مشابهة جداً لمعامل تغير الجريان. وتعتبر هذه العلاقة مفيدة جداً في تحديد قيمة سجلات الجريان القصيرة. ويمكن أن يتم إستخدام سجلات الطقس الطويلة لمقارنة التباين طويل الأمد للقيمة البديلة مع التباين طويل الأمد خلال فترة القياسات القصيرة.

وأحياناً يعتبر من الضروري أو المرغوب فيه أن يتم تقدير القيم الشهرية لتدفق المجرى المائي من مستجمع مائي لا يوجد فيه أجهزة قياس. وإذا كانت سجلات المطر والحرارة متوفرة، فإنه يمكن أن يتم إستخدام سجلات أو قيود جريان تم قياسه من مستجمع مائي مشابه. وكان قد تم إيجاد علاقة جيدة ما بين القيم الشهرية لمؤشر توفر الرطوبة والجريان الشهري بوحدة لتر/ثانية/كم^2 عند مستوى إحتمالية يساوي 75%. وسوف يكون هناك زمن تأخير في الجريان. وبالنسبة للكثير من

المستجمعات المائية فإن زمن تأخير أو إعاقة يساوي 15 يوم أو أكثر يعطي أفضل علاقة. وقيم معامل التحديد (r^2) لتلك العلاقات كان عادة 0.75 إلى 0.98 تقريباً. وتوقع ثلاثة أرباع أو أكثر من التباين في جريان المجرى المائي عند 75% مستوى إحتمالية يعطي تقدير مفيد بالنسبة للتخطيط الأولي. وفي المستجمعات المائية التي فيها الكثير من التسرب العميق والجريان تحت السطحي، فإن العلاقة ما بين مؤشر توفر الرطوبة والجريان أو التدفق السطحي لا يكون محدداً بشكل جيد. على الرغم من أن علاقة جيدة كان قد تم إيجادها بالنسبة للكثير من المستجمعات المائية الكبيرة (أنظر الجزء أ5).

4- 4 العوامل البشرية والعوامل الأخرى

وفي عدد من الدول النامية، فإن الإعتماد على الأرض لكسب الرزق من خلال أعداد كبيرة من مالكي الحيازات الصغيرة يكونوا على معرفة بالطرق البدائية للعمليات الزراعية والتي أدت إلى التدمير والإستعمال غير الفعال للمصادر. ومركزية المهام الحكومية ربما تعيق تطوير المسؤولية والقيادة المحلية في المجتمع أو النشاطات الجماعية.

والعديد من تطويرات الري تتطلب أعمال جماعية. والميل القوي باتجاه الفردية ربما يظهر مشاكل معينة في الحصول على عمل جماعي فعال. لهذا، فإن الفردية يمكن أن يتم إستخدامها بفعالية لتمثيل الإنجازات الكبيرة في ممارسات الري المرغوبة. وفي بعض المجتمعات الريفية فإن مالكي الحيازات الصغيرة يكونوا معتمدين بشكل كبير على حماية الشرطة. على الرغم وبشكل متكرر من عدم الثقة في الحكومة، فربما يدركوا بأن إدارة شؤون مرافق الري الناجحة، والنزيهة والعادلة سوف تتطلب الدعم القوي، وكذلك تنفيذ القرارات والقوانين.

ونجاح تطويرات الري طويل الأمد ربما يعتمد على عدة عوامل. وبعض تلك العوامل الأكثر وضوحاً هي:

1. القدرة على تقديم إجراءات الحفظ بالنسبة للمستجمع المائي في أعلى المجرى المائي من المشروع؛
2. التدابير من أجل التحكم الملائم في المياه، وكذلك الصرف المناسب للتخلص من مياه المطر الزائدة وكذلك غسل الأملاح؛
3. توفر طلب السوق ومرافق التصنيع و/أو تخزين المحاصيل التي سيتم إنتاجها؛
4. توفر الإقراض، والأسمدة، والمعدات، والتزويد بالعمالة، والمدخلات المطلوبة الأخرى؛
5. قبول أحجام المزارع والسياسات الأخرى التي سوف تشجع المعدلات السريعة والنزيهة لنمو رأس المال؛
6. مشاركة مستخدمي المياه المحتملين في تخطيط وتمويل مشروع الري؛ و
7. المقدرة على إدخال الممارسات الزراعية، ونظم النمط الزراعي، وأنواع المحاصيل المرغوبة والمربحة والتي تكون قريبة من الحد الأمثل عندما يكون الماء متوفراً أولاً.

وتحسين الممارسات الزراعية بشكل متكرر يتم إدخالها بشكل أفضل كحزمة؛ قبول تغير واحد غالباً ما يجعل قبول التغيرات الأخرى أسهل. والفشل في إدخال الممارسات الجيدة عندما يتم تحول الماء لأول مرة ربما يجعل الإدخال المستمر للممارسات المتطورة أكثر صعوبة. وفي أحد الدول النامية، فإن المزارعين وبكل قوة يعارضوا ضم الأرض لقطعهم الصغيرة المجزّأة. لاحقاً،

ولكل سرور قاموا بالموافقة على التعديلات مع هدف إيجاد وحدات إقتصادية قادرة على تنمية رأس المال عندما يتم تقديم مثل تلك التعديلات بالترابط مع توصيل الكهرباء للريف، والقروض المدعومة، وتحسين المساعدة الفنية، وكذلك تحسين مرافق السوق. وعملية توصيل الكهرباء للمناطق الريفية كانت بشكل متكرر المحفّز الذي جعل عملية الري مجدية.

أكثر من نصف مرافق الري العالمية يتم التحكم بها وإدارتها بواسطة المزارعين. ونظم الري التي يتم إدراتها بواسطة المزارع أو مستخدم المياه كان وبشكل مثالي أكثر نجاحاً وأفضل صيانة. وكذلك العوائد المحصولية والمداخيل تعتبر في العادة أعلى في النظم التي يتم إدارتها بواسطة المزارع منها عن المشاريع التي تكون مملوكة أو يتم تشغيلها بواسطة القطاع العام. والتغيير من جدولة توصيل المياه الثابتة إلى الجدولة حسب الطلب (الحاجة) أو الجدولة حسب الحاجة المرتّبة والمرنة في العادة تؤدي إلى التوفير في المياه، وتحسين الصرف، وكذلك زيادة النواتج المحصولية والأرباح.

وسيطرة أو ضم مشاريع الري التي يتم إمتلاكها بواسطة القطاع العام من قبل مستخدمي المياه يتم تحقيقها بشكل أفضل على مراحل، وربما يتم الحاجة إلى ميزانية تشغيل أولية وبعض المعدات الرأسمالية. وتحت إدراة المزارعين لمشاريع الري في جمهورية الدومينيكان، فإن النواتج المحصولية زادت بمقدار 3,5 ضعف على مدى 5 سنوات فترة زمنية (Yab-Salinas 1996). وهذا نتج بشكل رئيسي من التوفر المائي وجدولة الري الأفضل. ورسوم المياه كان قد تم زيادتها بواسطة مستخدمي المياه حوالي 7 مرات وكذلك تم إيقاف الدعم الحكومي بالنسبة لتكاليف التشغيل والصيانة.

والفشل في صيانة مشاريع الري التي يتم إدراتها بواسطة الحكومة في الدول النامية بشكل مناسب كان في الكثير من الحالات يؤدي إلى الزيادة في إستغلال المستجمعات المائية زراعياً وإلى الزيادة الكبيرة في تدمير الموارد الطبيعية. والكثير من مثل تلك الحالات حول العالم كان قد تم توثيقها.

4- 5 التنمية المتكاملة

على مستوى المشروع، فإن معظم تطوير الري يجب ان يكون مرتبطاً مع إستثمارات أخرى في البنية التحتية والمؤسسات. وبعض الحالات تتطلب شمول مرافق الطاقة المائية، والتحكم بالفيضان، والصرف، والنقل، والتسويق. والبيانات الأساسية حول التربة، والطقس، ومصدر التزويد المائي، ومواقع الطاقة، والعوامل الأخرى هي نادراً ما تكون كاملة وموثوقة حسب المطلوب. والقليل من الدول النامية لديها المعدات المطلوبة أو الموظفين المدربين على تجميع البيانات المناسبة والموثوقة. وقياس تدفقات الفيضان تتطلب المعدات الملائمة وكذلك العاملين المدربين بشكل جيد.

وفي معظم الدول النامية، فإن المعلومات الأساسية والبيانات هي أقل كفاية من المطلوب. لهذا، فإن تلخيص وتحليل المعلومات الموجودة في الأغلب يشير إلى إمكانية جيدة بالنسبة للتطوير المتكامل لمصادرة المياه. والخرائط الطوبوغرافية (التي تتعلق بتضاريس الأرض) عند مقياس 50,000:1 يمكن أن يتم إستخدامه لتلخيص مساحات الوادي والمناطق ذات الميول والتضاريس الملائمة للري.

وأيضاً فإنه يمكن أن يتم تحديد المواقع الممكنة للسد. والكنتور يمكن أن يتم إختياره كمستوى ماء ممكن. وباستخدام ورقة كربونية فإنه يمكن أن يتم نقل الكنتور إلى ورقة حسابات مهندس والمربعات يتم عدها لتحديد المساحة. ويمكن أيضاً أن يتم إستخدام البلانيميتر وبرنامج مع خرائط

ممثلة رقمياً يمكن أيضاً أن يتم إستخدامها لتحديد مساحة الأرض. وتقريب طاقة الخزان هي عبارة عن ثلث العمق عند موقع السد مضروباً في مساحة السطح المائي المفترض. وحينها فإن المواقع الجيدة يمكن أن يتم البحث عنها.

ويمكن أن يتم تحديد زمن التأخير (الإعاقة) ما بين الهطول المطري والجريان الأساسي بالرسم البياني. وفي بعض الحالات، فإن سنة بهطول مطري فوق المعدل بشكل كبير سوف تعمل على زيادة الجريان الأساسي لمدة أربعة سنوات قادمة. وفي حالات أخرى، مع التربة السطحية فوق مواد غير منفذة (صماء) فإن زمن التأخير ما بين الهطول المطري والجريان السطحي يكون قصيراً جداً. ويمكن أن يتم تحري زمن التأخير على فترات كل 10 أيام، وشهرياً وسنوياً.

وتتأثر خصائص التربة بالجيولوجيا والطقس. والحدود ما بين سلاسل ونوع التربة تعتبر في الأغلب أيضاً هي حدود جيولوجية. وتعتبر الخارطة الجيولوجية مفيدة إلى حد كبير في تقييم الإستعمال المحتمل للترب. ويجب أن يعتمد إختيار المحصول على خصائص التربة، والأسواق، والطقس. وكل محصول لديه مدى درجة حرارة أمثل. وبعض المحاصيل تتطلب دورة جافة خلال النضج والحصاد. ومعدل درجة الحرارة ينخفض بحوالي 0.5 إلى 0.7 درجة مئوية لكل 100 متر زيادة في الإرتفاع؛ وهذا يعتبر عاملاً في تحديد ملائمة المحصول.

معظم الدول النامية لديها معلومات كثيرة جداً والتي يمكن أن يتم إستخدامها في تخطيط تطوير المصدر المائي المتكامل. ولسوء الحظ، القليل من تلك الدول لديها سلطة مؤسسية أو عاملين مدربين لهذا النوع من تخطيط التطوير. وفي العام 1994 قام بنك تنمية البلدان الأمريكية بتكوين مديرية القطاع الخاص لتقديم التمويل والضمان الطويل الأمد لمشاريع البنية التحتية. وتشجع نشاطات بنك تنمية البلدان الأمريكية على تنمية مصدر الماء المتكامل للقطاع الخاص.

وكان الإتحاد الأوروبي بتأسيس نظام تمويل القطاع الخاص على مراحل من أجل المشاريع الدولية المشتركة. وهذه التشاركات يجب أن تشتمل على الأقل على شركة من الإتحاد الأوروبي وشركة واحدة من الدولة المؤهلة. ويطلق على هذا النظام شراكة إستثمار المجتمع الأوروبي. وتعتبر آلية تمويل نظام شراكة إستثمار المجتمع الأوروبي معقدة مع خليط من المنح، والقروض، ومرافق القرض السهمي (قرض رأس المال). ويتم تشغيل نظام شراكة إستثمار المجتمع الأوروبي في الدول النامية من خلال عدد كبير من البنوك الأوروبية وبنوك أخرى وكذلك مؤسسات إستثمارية. وأيضاً يوجد نظم مشابهة أخرى.

والخرائط الطوبوغرافية عند مقياس 50,000:1 مع 20 متر إرتفاع مناسيب كان قد تم إتمامها لتقريباً جميع المساحات الزراعية العالمية المحتملة. وتعتبر بيانات طقس العالم متوفرة. وتجهيز أطالس المياه السطحية والجوفية العالمية يمكن أن تساعد بشكل كبير في تطوير المصدر المائي المتكامل، ولكن هذا لم يتم القيام به لغاية الآن.

وفي بعض الدول النامية، فإن الأعداد الكبيرة من شكاوي فساد المحكمة يعيق الإستثمارات الخاصة في تطوير المصادر المائية. وفي حالات أخرى، فإن الغرامات والعقوبات تعتبر غير مهمة على الأغلب بالمقارنة مع الربح المحتمل، لذا فإن المزارعين لا يعتبرونهم معيقين لإدارة المياه والممارسات الأخرى غير القانونية. والقواعد والقوانين المتساوية التي تحكم إستعمال الماء تعتبر دائماً مطلوبة بحيث أن المستثمر يمكن أن يتوقع معاملة نزيهة تحت القانون (أنظر الجزء 10. 8 من أجل معلومات أكثر عن قانون المياه).

الوحدة الخامسة

طرق الري

5- 1 المقدمة

المصطلح "نظام الري" كان قد تم تطبيقه بواسطة أشخاص ومنظمات مختلفة بطرق متنوعة. وفي أحد التعريفات، فإن نظام الري يشتمل على كل شيء: مرافق التخزين التي تجمع مياه الجريان من المستجمع المائي، ونظام النقل والتوزيع (القنوات والأنابيب)، ونظم الإضافة داخل المزرعة، ومرافق الصرف في المناطق المروية الكبيرة. وفي تعريفات أخرى فإن فقط واحد من تلك المركبات الإنشائية يتم أخذها على أنها نظام ري. وفي هذا الكتاب، فإن نظام الري يعتبر هو طريقة الإضافة الحقلية أو داخل المزرعة والمعدات ذات العلاقة مثل المضخات، والأنابيب، والرشاشات. ونظام الإضافة الحقلي يتم إستعماله من أجل توزيع الماء فوق أو تحت سطح الأرض والتي يمكن أن تتخلل منطقة جذور التربة.

ومياه الري يمكن أن يتم إضافتها إلى الأرض بطرق مختلفة ومتعددة، والخيار ما بين نظم الري البديلة يعتمد على عوامل كثيرة، بما فيها الإقتصادية، ونوع المحصول، ونوع التربة، وتوفر الماء ونوعيته، والممارسات الزراعية، والإعتبارات القانونية، وعوامل أخرى. ويمكن للواحد أن يذهب إلى الحقل ويجد على ما يبدوا تباينات لا نهائية على نظم الري وتقنيات إدارة وإضافة الماء، ولكن التصنيفات الرئيسية التالية للنظم داخل المزرعة تغطي معظم التباينات:

1. الري السطحي بالغمر أو بالأتلام؛
2. الري تحت السطحي بواسطة المحافظة على مستوى الماء الأرضي أو منطقة التشبع ضمن مدى وصول جذور النبات؛
3. الري بالرش؛
4. التقطير أو التنقيط (الري الموضعي).

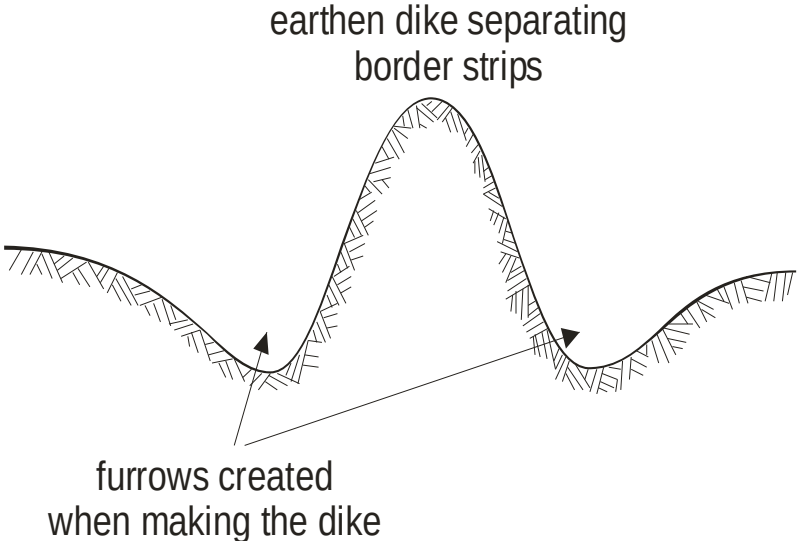
ويوجد هناك الكثير من الإعتبارات التي تتعلق باختيار أفضل طريقة ري. ويجب أن تقوم عملية الإختيار بتقييم تأثير التكلفة، والتضاريس، ونسيج التربة، ومشاكل الملوحة المحتملة، والمحصول أو المحاصيل التي سيتم إنتاجها، والعوامل الأخرى التي ربما تؤثر على الناتج المحصولي والربح. النظام الذي بشكل ثابت، مع مرور الزمن، يؤدي إلى نواتج محصولية مرتفعة هو مئة بالمئة يستحق أكثر بالنسبة للمزارع ويبرر التكلفة الأولية المرتفعة. وربما يؤثر حجم نظام الري (معدل جريان المصدر) والتكلفة المحتملة ودقة تجهيز الأرض أو تسوية الأرض على إختيار نوع نظام الري. والأنواع المختلفة من نظم الري يتم وصفها بشكل مختصر في هذه الوحدة من أجل أن يتم تقديم بعض الإرشاد بالنسبة لإختيار الطريقة المناسبة.

5- 2 الري بالشرائح المدرّجة

هذه طريقة ري سطحي والتي فيها يتم إدخال الماء على النهاية العليا من كل الشرائح العديدة من الأرض، وكل واحدة مفصولة بحاجز ترابي منخفض، أو حد. وسطح الأرض يميل من نهاية الرأس إلى نهاية الذيل الشرائح الحدودية. وبعض المتطلبات الأساسية لإستعمال هذه الطريقة تشتمل على:

1. معدلات جريان أو تدفق كبيرة نسبياً؛
2. تضاريس ناعمة (ميل 3% أو أقل)؛
3. ترب ذات معدلات إمتصاص عالية بشكل كافي؛
4. تسوية الأراضي بعناية.

والأرض التي سيتم ريها تنقسم إلى شرائح في العادة بعرض 5 إلى 15 متر وتفصل بواسطة حواجز منخفضة أو حواف حدودية. والحواجز أو الحواف يتم عملها عادة بواسطة أدوات آلية مجرورة، والكثير من تلك الأدوات تُدْخِلْ سدود صغيرة كل أمتار قليلة وذلك لمنع الماء المتقدم من ببساطة أن يجري باتجاه أسفل الأتلام عند كل جانب من الحواجز (أنظر الشكل 5-1).



الشكل 5-1: منظر نهاية حاجز ترابي تكوّن ما بين أشرطة الشريحة مع الأتلام عند أي من الجوانب.

وحدود الشرائح هي في العادة باتجاه الميل ولكن ربما تكون على الكنتور (عكس الميل)، والأرض بين حدود الشرائح يجب أن يتم تسويتها (الميل المستعرض يساوي صفر). وسطح الأرض بين حدود الشرائح يتم ريه من خلال السماح لطبقة من الماء بالجريان باتجاه أسفل الميل. وعندما يتم الوصول إلى النهاية السفلية، فإنه يتم البدء بالري على الشريحة الحدودية التالية في الحقل. وهذه الطريقة على الأغلب تصلح للقش، والمراعي، والحبوب، ومحاصيل البساتين (الشجرية). وتعتبر أقل ملائمة

بالنسبة للترب ذات النسيج الناعم والتي تتطلب عدة أيام لتعمل على تصريف الحقل إلى السعة الحقلية وذلك لأن التربة تبقى مشبّعة لمدة زمنية طويلة، وتحد من التهوية وتؤدي إلى فقدان النمو وإلى نواتج محصولية متدنية.

5- 3 الري بالأحواض

الري بالأحواض أو ري الشرائح الحدودية المستوية يتم إستخدامه من أجل إستصلاح الترب الملحية (الغسيل) وكذلك من أجل تنوعات واسعة من نسائج التربة والمحاصيل. وهذه أيضاً تعتبر طريقة ري سطحية وذلك لأن الماء يتم توزيعه فوق الحقل على سطح التربة بدلاً من خلال الأنابيب. ويمكن أن تكون كفاءات إضافة الماء مع تلك الطريقة مرتفعة جداً (أقل من 10% فواقد التسرب العميق) عندما يكون سطح الحقل تم تسويته بشكل دقيق وأن معدل التدفق أو الجريان يعتبر كافياً لتغطية المساحة بسرعة. في الحقيقة، فإن كفاءة الأضافة في حوض مستوي يمكن أن يكون وبسهولة أكثر من تلك التي يمكن الحصول عليها في معظم نظم الري بالرش. ولا يوجد هناك جريان سطحي إلا إذا تم نقل الماء عن قصد بين الأحواض المتجاورة من خلال فتحات صغيرة في الحواجز أو السواتر الترابية.

وربما يتفاوت حجم الأحواض من الصغير جداً إلى الكبير جداً (عدة هكتارات). والأحواض الصغيرة يتم إستخدامها في ري أشجار البساتين يتم في الأغلب الإشارة إليها على أنها ضوابط. وفي المناطق التي يحدث فيها هطول مطري كثيف، فإنه أحياناً يعتبر ضرورياً أن يتم تقديم وسائل للصرف السطحي. وفي حقول الأرز وقصب السكر، الماء ربما يمر من الحوض إلى الحوض بواسطة الجريان بالجذب الأرضي من خلال مقسّمات (مجزءات) أو ضوابط في الحواجز أو السواتر الترابية. وبالنسبة للمحاصيل الحقلية والخضرية، فإن نظام من الطبقات (القيعان) والأتلام ضمن الحوض يقوم بتقديم ما هو بالضرورة ري الأتلام المستوية – وهذا الترتيب له ميزة توفير تهوية تربة أكثر من تلك ذات سطح الحقل المنبسط وكذلك تساعد على منع التبليل المباشر الذي يتلف بعض المحاصيل.

5- 4 الحواجز أو السدود الكنتورية

الحواجز الكنتورية تعتبر نوعاً من الري بالأحواض ويتم إستخدامها على نطاق واسع من أجل إنتاج الأرز المغمور. والتسمية جاءت من الحقيقة وهي أن الحواجز أو السدود، أو السواتر الترابية تتبع الإرتفاعات الكنتورية للتضاريس، والتي هي في العادة منبسطة إلى حد كبير والتي يتم فيها إستخدام هذا النوع من النظام. والسواتر أو الحواجز (السدود) الكنتورية ربما يتم إنشاءها على فترات بحيث أن فرق الإرتفاع للسواتر الترابية سوف لن تتعدى 10 سم. وعلى ميل يساوي 3%، فإن هذا من الممكن أن يؤدي إلى مسافة بين السواتر تساوي 3 م. وربما يتم إستخدامها مع التدفقات الماء الكبيرة لري بعض أعشاب الرعي. والأرض ما بين السواتر يجب أن تكون مستوية عرضياً وأنه يجب أن يتم تقديم مرافق الصرف الجيدة.

5- 5 الري بالأتلام

يعتبر هذا أحد طرق الري السطحي الأكثر شيوعاً. الأتلام أو التموّجات ربما يتم عملها بواسطة الحراثة ما بين خطوط النبات أو أنه يتم تكوين القيعان (الطبقات) من التربة التي يتم إزالتها لعمل الأتلام. والتموّجات هي لا شيء أكثر من أتلام سطحية تجري باتجاه أسفل الميل لتروي المحاصيل التي تنمو قريبة من بعضها البعض مثل القش أو الحبوب. والفرق هو أن الأتلام تحتوي بشكل طبيعي على المياه السطحية، بينما مع التموّجات، فإن كامل سطح الأرض يتم غمره خلال الري. ربما تكون الأتلام مستوية، تقريباً على طول إرتفاع الكنتور مع ميل قليل، أو أسفل الميل الرئيسي للحقل. الري بالأتلام يمكن أن يتم إستخدامه مع مدى كبير من حجوم المجاري المائية بواسطة تعديل عدد الأتلام المروية في نفس الوقت. وهذا النوع من الري قابل للتكيّف لأنواع مختلفة من ميول الأراضي ونسائج التربة. لهذا، فإنه يجب أن يتم ممارسة العناية من أجل الحد من التدفق في الأتلام من أجل منع الإنجراف. ويجب أن يتم غسل الأملاح من التربة أو يتم إدارتها بحيث أنه يجب أن تتراكم في مناطق بعيدة عن إنبات البذور وجذور النبات. وهذا يمكن القيام به بواسطة ري كل تلم على طبقات (قيعان) خط المزدوج بحيث أن الأملاح سوف تتراكم في وسط أعلى القاع وليس في خطوط النبات أو خطوط البذار.

وفي العادة فإنه يتم إنجاز الري السطحي في مجموعات من الأتلام وذلك أن معدل جريان تزويد الماء من النادر أن يكون كافياً لإعطاء الماء لجميع الأتلام في آن واحد، وحتى لو أنه تم، فإن إدارة هذه الكمية الكبيرة من الماء يمكن أن تكون صعبة. والماء في العادة يتم إضافته إلى نهاية الرأس لكل تلم من خلال السيفونات المصنوعة من الألمنيوم أو البلاستيك التي تأخذ الماء من الحفر المفتوحة، أو من أنابيب ألمنيوم ذات بوابات ومع بوابات قابلة للتضبيط على نفس مسافة الأتلام. ويمكن أن يتم وضع عدة أنابيب سيفونات عند رأس كل تلم من أجل التقدم السريع للماء إلى نهاية الأتلام، ومن ثم فإنه يتم إزالة واحد أو أكثر من أجل الإستمرار في الري بعد أن يكون الماء قد تقدم إلى نهاية الأتلام. وهذا يؤدي إلى "الإنقطاع بالتخفيف التدريجي" اليدوي للري، والذي فيه يتم تخفيف التدفق الداخل وذلك لمنع الجريان السطحي الكبير من نهاية الأتلام. والطريقة الأخرى التي يمكن أن يتم فيها تحقيق الإنقطاع التدريجي هي يدوياً بواسطة تضييق الفتحات في الأنابيب المبوّبة، أو من خلال تطبيق تكنولوجيا يتم الإشارة إليها "بالري باستخدام الأسلاك (الكيبل)"، والتي فيها يتم سحب سدادة بشكل بطيء على طول ميل الأنبوب المبّوب بواسطة سلك (كيبل) من أجل تغيير الوضعيات بشكل أوتوماتيكي ومن ثم إحداث تأثير الإنقطاع بالتخفيف التدريجي.

ويجب أن يتم تنظيم طول التلم والمجرى المائي الأولي بحيث يتم دفق الماء إلى نهاية ذيل التلم بسرعة، ولكن من دون إنجراف. ومن ثم فإنه يجب أن يتم تخفيض معدل التدفق بحيث أن جريان سطحي قليل يحدث خلال بقية فترة الري. وفي الري بالأتلام، فإنه يتم تسميد المحاصيل بشكل متكرر بالطريقة التي تدعي "الشريط الجانبي". ومن ثم فإن الري في الأتلام يقوم بنقل مغذيات النبات إلى منطقة جذور المحصول كلما تحرك الماء بشكل جانبي من الأتلام. والري السطحي عموماً يتم إستخدامه على الأراضي ذات سطح مستوي إلى حد ما وميول أقل من 1 إلى 2%. لهذا، فإنه تم إستخدام الري بالأتلام بشكل كثيف في بلاد الأندين على ميول جبلية والتي فيها تغير الأتلام إتجاهها ذهاباً وأياباً في إتجاه أسفل الجبل. وفي تلك الحالات، فإن الأتلام "المتعرجة" تم تشكيلها بشكل جيد وعميقة، ومع المراقبة لمنع الإنجراف الشديد من أي إنهيار في التلم خلال الري. وهذا فقط يعتبر واحد من إستثناءات كثيرة لتطبيقات الأكثر تقليدية لتكنولوجيات الري.

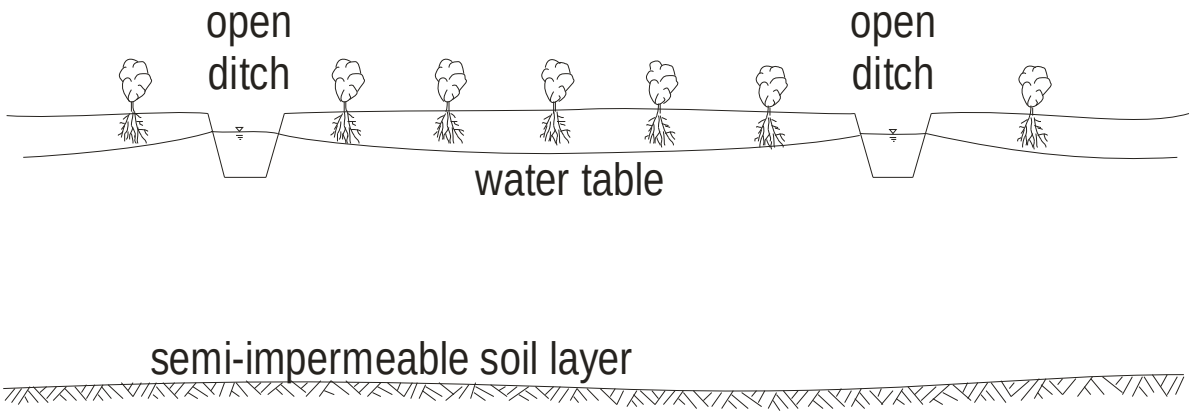
والجريان بالدفق المفاجيء هي تكنولوجيا تم تطويرها في جامعة ولاية يوتا لنبض تقدم الماء إلى أسفل الأتلام إلى حد أن كلا كفاءات الإضافة والتناسق يتم تحسينها. وبدلاً من التزويد بمجرى مائي مستمر عند رأس الحقل، فإن معدل التدفق يتم إضافته بشكل متقطع من خلال دورة تشغيل وتوقف متكررة. وأن وقت التشغيل ربما يكون في أي فترة من ثواني قليلة إلى ساعات، وربما تكون مختلفة عن زمن التوقف. وبواسطة الدفق المفاجيء للتدفق الداخل بهذه الطريقة، فإن بعض درجة الإنسداد السطحي يحدث في التربة، وبتلك الطريقة يسمح بالتقدم السريع للتدفقات المفاجئة المتتالية، أو دورات "التشغيل"، فوق الجزء المبلل سابقاً من التلم. والماء يتقدم إلى نهاية الحقل في زمن أقل وكذلك مع تسرب عميق أقل. والتدفقات المفاجئة ذات التكرار العالي (دورات التشغيل والتوقف السريعة) خلال مرحلة ما بعد التقدم للري السطحي تساعد في التقليل من فواقد الجريان بواسطة التقليل الفعال للتدفق الداخل إلى التلم، بينما ما يزال يحتفظ بالماء في التلم من أجل الترشيح الإضافي.

والتدفق المفاجيء يتم تطبيقه بشكل أكبر للترب ذات النسيج الثقيل والتي تبدي خواص إنسداد للسطح. وتقنية الدفق المفاجيء لها القليل من الفوائد بالمقارنة مع منظومات التدفق المستمر على الترب الرملية جداً. وشركات متنوعة تقوم بتصنيع وتسويق معدات تطبيق الجريان بالدفق المفاجيء، ولكن مع العمالة الرخيصة فإنه يمكن أن يتم تطبيق التقنية يدوياً. وبعض المعدات تم تصميمها لضبط المحابس الفردية عند رأس كل تلم، وأخرى تتحكم في الضفاف اليمنى واليسرى للأنابيب المبوّبة (ذات البوابات) من أجل إنجاز دورات التشغيل والتوقف في الجريان بالدفق المفاجيء.

5- 6 الري تحت السطحي

ربما يقوم الري تحت السطحي بتزويد المصدر المائي الوحيد إلى الحقل، أو أن يكون مكملاً لطرق إضافة ماء أخرى. ومع الري تحت السطحي، فإنه يتم تزويد الماء إلى المحاصيل بواسطة الحركة الشعرية (الجريان غير المشبع)، فوق مستوى ماء أرضي ذو إرتفاع مضبوط. والتربة يجب أن تسمح بحركة الماء الجانبية والسفلية وأن تكون قادرة على نقل الماء من مستوى الماء الأرضي عبر الأجزاء الرئيسية من منطقة الجذور. ويجب أن يكون الحقل ناعماً وأن يكون السطح موازياً تقريباً لمستوى الماء الأرضي. وفي الكثير من الحالات فإنه سوف يكون هناك طبقة شبة غير منفذة تحت منطقة الجذور، وأن هذا يساعد على الإحتفاظ بمستوى الماء الأرضي من دون التسرب العميق الكبير.

وربما يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي بواسطة الخطوط الجانبية، والشائعة جداً مثل القنوات المفتوحة من 2-3 متر عمق، والتي تخدم كل من مهام الري والصرف. ويبيّن الشكل 5-2 منظر جانبي لحقل يروى من تحت السطح مع قنوات مفتوحة. والمسافة ما بين القنوات المفتوحة، أو الأنابيب المثقبة المدفونة في بعض الحالات، تعتمد بشكل رئيسي على عمق جذر المحصول، ونسيج التربة وتركيبها، وعلى التباينات المسموحة في إرتفاع مستوى الماء الأرضي بين القنوات (أنظر *المسافة بين المصارف*، الجزء 8-5). ومع الري تحت السطحي الطبيعي، فإن مستوى الماء الأرضي يمكن أن يكون بشكل مثالي مرتفعاً نتيجة للظروف الجغرافية و/أو الطوبوغرافية (المتعلقة بتضاريس الأرض). والقنوات المفتوحة أو أنابيب الصرف المدفونة يتم إستخدامها ليس من أجل أغراض التزويد، ولكن على العكس من أجل ضبط مستوى الماء الأرضي الجوفي العالي. ومستوى الماء الأرضي الجوفي هو المستوى تحت التربة والذي عنده يكون شد ماء التربة يساوي صفر، وهذا بالضرورة يتوافق مع مستوى الماء الأرضي.



الشكل 5-2: منظر جانبي لحقل يروى من تحت السطح مع قنوات مفتوحة من أجل التزويد المائي والصرف.

وهذه الطريقة تستعمل بشكل أساسي مع المحاصيل ذات الجذور السطحية على الترب التي تحتوي على الخث أو الدبال في دلتا الأنهر، ولكن أيضاً تستخدم في الترب ذات النسيج المتوسط من أجل تكميل الهطول المطري المباشر. وأقل من 2% من المساحات المروية في الولايات المتحدة تستخدم طريقة الري هذه. والكثير من تلك المساحة تتركز في القليل من قطع الأراضي الكبيرة التي تعتمد في الأغلب على الري تحت السطحي للتحكم بمحتوى ماء تربة منطقة جذور النبات.

5- 7 الري بالرش

معظم المحاصيل يمكن أن يتم ريها وبنجاح بواسطة بعض أنواع نظم الري بالرش. ولهذا، فإن القرارات ذات العلاقة بالرغبة في تركيب نظام الرش ونوع النظام الذي سيتم تركيبه يجب أن يتم القيام به بواسطة هؤلاء ذوو المعرفة الكبيرة بالتكاليف، والخيارات، والفوائد المحتملة، والتربة، والمحصول، وكذلك ظروف التضاريس. ومعظم نظم الرش تتطلب الضخ، لذا فإن توفر الطاقة الكهربائية أو الوقود المستحث (مثلاً البنزين والسولار أو الديزل) وباسعار معقولة، ودرجة الوثوق بمصدر الطاقة، هي إعتبارات مهمة. لهذا، فإن بعض النظم يمكن أن تكون مضغوطة من دون ضخ عندما يكون المصدر المائي على إرتفاع 10 إلى 15 متر فوق المساحة المروية، وقد تكون في خزان على تلّة. والري بالرش على ترب ذات نسيج ناعم وقليل النفاذية ربما يؤدي إلى تقليل تهوية سطح التربة، وتبعاً لذلك، بعض الإنخفاض في النواتج المحصولية. والتبريكات السطحية الموضعية والجريان ربما أيضاً تكون مشكلة، وخاصة مع معدلات الإضافة المرتفعة.

وتركيبات الري بالرش ربما تكون من الأنواع التالية:

1. الثابتة أو المجموعة الجامدة وخاصة بالنسبة لأشجار البساتين والمحاصيل الدائمة؛
2. شبة المتنقلة أو المنقولة يدوياً، مع الخطوط الرئيسية ثابتة والخطوط الجانبية متنقلة؛
3. المحمولة لإنبات المحاصيل أو للري المكمّل للمطر؛
4. الرشاشات قليلة الضغط تحت الأشجار في البساتين؛
5. ذات الضغط المرتفع بالنسبة للمحاصيل الحقلية أو فوق الأشجار، مثل رشاش المدفع الكبير؛

6. المتدحرج جانبياً وذو الحركة الذاتية (الرشاشات المتنقلة)؛ و
7. المحور المركزي والمتحرك خطياً.

وأصبحت المحاور المركزية شائعة جداً في بعض المناطق على مدى العقدين الماضيين، ويمكن أن يتم إيجادها في الكثير من البلدان حول العالم. وتقريباً فإن نصف جميع الأراضي التي يتم ريها بالرش في الولايات المتحدة الأمريكية هي مع المحاور المركزية. وولاية نبراسكا في الولايات المتحدة الأمريكية لديها أكثر من 23,000 محور مركزي وباحجام مختلفة وفي الكثير من التجمعات الكثيفة. لهذا، فإن أحد الصعوبات المحتملة في إستخدام المحاور المركزية هي أن معدل الإضافة يمكن أن يكون عالياً جداً في المناطق الخارجية من الدائرة المروية، والتي يمكن أن تسبب التبريك والجريان السطحي.

والري بالرش يمكن أن يكون محصوراً للمحاصيل التي يمكن أن تتحمل تبليل الأوراق الكامل. وبعض المحاصيل مثل البندورة لا تستطيع أن تقاوم التبليل عندما تنضج الثمار وذلك لأنها يمكن أن تسبب التعفن وأضرار أخرى. لهذا، ففي بعض الحالات فإن المبيدات الفطرية والكيماويات الأخرى يتم حقنها في مياه الري لمنع تدهور نوعية الثمار. وفي أشجار البساتين فإنه يعتبر غالباً من الضروري أن يتم إستخدام الرشاشات "تحت الأشجار" لتجنب تبليل الأوراق والثمار، ولكن في محاصيل مثل الموز فإن رشاش مثل المدفع الكبير يمكن أن يتم إستخدامه فوق الغطاء النباتي لتكميل الري.

ويعتبر الري بالرش (والتنقيط) بشكل متكرر مرغوباً بها على الأراضي المنحدرة، والصخرية، أو غير المستوية، أو التي تكون فيها التربة سطحية أو منفذة لدرجة كبيرة من أجل الإستعمال الفعال للأشكال الأخرى من الري. و ربما يكون الري المضغوط غير مرغوب به والتي يكون فيها الطاقة الكهربائية أو مصدر الطاقة البديلة غير موثوق أو مرتفع الثمن. والتدفقات من خلال نظم الري المضغوطة يمكن ويجب أن يتم قياسها وأن يتم تعديل كميات الري بما يتوافق مع المتطلبات المائية للمحصول. والإضافة عند الأجزاء المتنوعة من نظام الري يمكن أن يتم قياسها بواسطة إلتقاط الماء في أوعية ومن ثم قياس الكميات. والتناسق يجب أن يتم قياسه بشكل دوري ويجب أن يتم إجراء التعديلات كلما كان ذلك ضرورياً للمحافظة على كفاءات إضافة مقبولة.

5- 8 الري بالتقطير أو التنقيط

مع الري بالتقطير أو التنقيط، فإن الماء يتم إضافته إلى الأماكن التي تتواجد فيها جذور النبات الفعالة. وقد يكون المصطلح الأفضل هو *الموضعي*، أو *الري على نطاق صغير*. ويوجد هناك الكثير من أنواع الباعثات (النقاطات) والرذاذيات التي تعتبر قادرة على إضافة الماء مباشرة إلى منطقة جذور النبات. والأنابيب المثقبة كانت تستخدم مبكراً في بعض نظم الري بالتنقيط، ولكن هذا تم تبديله الآن باستعمال أنابيب البلاستيك ثنائية الجدار ونظم الأنابيب والباعثات أو النقاطات. وربما يتم المحافظة على المحتوى المائي للتربة عند أعلى مستوى كل الوقت وذلك لأن الري من الممكن أن يكون متكرراً بشكل يومي. ويمكن أن يتم وضع النظام فوق أو تحت سطح التربة، أو يتم رفعه فوق الأرض على طول خطوط من الأشجار أو الكرمة (الدوالي). وفي العادة يكون الضغط التشغيلي منخفضاً (نصف إلى 1 ضغط جوي، 7 إلى 15 باوند/إنش مربع). والتركيب يمكن أن يكون غير محمول، أو شبة محمول، أو محمول.

والماء من ناحية مثالية يمكن أن يتم إضافته بشكل متكرر وفعال أكثر من الطرق الأخرى، وأن البخرنتح المحصولي هو عند أو بالقرب من المعدلات الكامنة وذلك لأن ماء التربة يبقى عند أو فوق السعة الحقلية. وفي بعض الحالات، فإن التبخر السطحي يقل ولكن النتح ربما وإلى حد ما يزداد نتيجة لإنخفاض شد الماء في منطقة جذور المحصول. لذلك، فإن التأثير على البخرنتح يكن أن يعتبر مهملاً. وأن التسرب العميق والجريان السطحي يمكن أن يقل لأدنى قيم، وأن المعدلات المنخفضة للري تجعل الطريقة مناسبة بالنسبة للترب ذات الترشيح المنخفض. ويمكن أن يتم توفير الماء بواسطة عدم تبليل المنطقة بين الخطوط أو بين النباتات، والتي تقلل من فواقد التبخر من سطح التربة.

والري بالتنقيط يتطلب مصدر طاقة موثوق (يعتمد عليه) من أجل المحافظة على الضغط في الخطوط الرئيسية والجانبية أو الفرعية. وتنقية الماء تعتبر ضرورية لتقليل إنسداد الباعثات أو النقاطات (مخارج الماء). لهذا، فإن الري بالتنقيط أو على نطاق صغير له مزايا بالنسبة لري الفاكهة، والجوز، والكرمة (الدوالي)، والمحاصيل الخضرية. ويمكن للمحاصيل وبشكل متكرر أن يتم ريها بكميات ماء قليلة جداً منها بواسطة طرق الري الشائعة الأخرى. وتكاليف عمالة الري يمكن أن يتم تخفيضها طالما أن المياه المضافة من خلال نظم التنقيط يمكن أن يتم تنظيمها بواسطة أجهزة توقيت أوتوماتيكية توفر العمالة.

والعمليات الحقلية تعتبر أسهل وذلك لأن الكثير من سطح التربة يبقى جافاً. ونموالأعشاب يقل، وأن عمليات البستنة غير المتقطعة تعتبر ممكنة. وعندما تنمو المحاصيل على الطبقات أو القيعان فإن الأتلام التي يمشي عليها عمال المزرعة تبقى جافة نسبياً. ويمكن أن يتم حقن الأسمدة إلى مياه الري وذلك لتجنب العمالة المطلوبة لإضافتة على الأرض. والتحكم الكبير في وضع وتوقيت الأسمدة ربما يؤدي إلى تحسين كفاءات الأسمدة، وتلوث المياه الجوفية نتيجة للتسرب العميق يمكن أن يقل وبشكل كبير.

والأسمدة يتم إضافتها بشكل متكرر بشكل مذاب من خلال ماء الري. ومبيدات الأعشاب ومعقمات التربة يمكن أيضاً أن يتم إضافتها مع ماء الري. وإضافة مثل تلك الكيماويات من خلال نظام الري يتم الإشارة إليها "إضافة الكيماويات من خلال ماء الري"، الممارسة التي تؤدي إلى نواتج محصولية عالية وكذلك نوعية محصول محسّنة. وأحياناً فإن توقيت الحصاد يمكن أن يتم تحسينه مع إضافة الكيماويات من خلال ماء الري. ونظم الري الموضعي تعتبر مرتفعة التكلفة، ولكن في الكثير من الحالات تعمل على زيادة كيمة ونوعية النواتج المحصولية، بالمرافقة مع تحسين توقيت الحصاد، فإنها تبرر النفقات.

والعدد الكبير من الباعثات أو النقاطات المطلوب، والمشاكل مع إنسداد مخارج الماء، وصيانة النظام، والتباين في الضغط نتيجة للتضاريس يتطلب الكثير من الخبرة العملية والتشغيل المتأني لنظم الري بالتنقيط من أجل نتائج مثلى. وإذا كانت الملوحة تعتبر مشكلة، فإن الأملاح تتراكم في الواجهات البينية ما بين المناطق المروية وغير المروية في التربة. وتلك الأملاح، إذا لم يتم غسلها بعيداً من خلال عملية غسيل التربة، ربما تعمل على إحداث ضرر لمحاصيل الموسم التالي.

ما هو نظام الإضافة الدقيقة قليلة الطاقة؟

هو عبارة عن مفهوم تم تطويره في منتصف السبعينيات وفي ولاية تكساس من أجل حفظ الماء والطاقة في نظم الري المضغوطة. والهدف الأساسي لهذه التكنولوجيا كان لجعل جميع مصادر المياه المتوفرة فعالة، بما في ذلك إستعمال ماء المطر، وتقليل فواقد التبخر من خلال إضافة ماء الري بالقرب من سطح التربة. مثل تلك الإضافات لماء الري أدت إلى تصميم نظام الري بالرش والتأكيد على وضعيات البخاخات المنخفضة والضغوط التشغيلية المنخفضة، وبتلك الطريقة يتم المساعدة في منع فواقد نيتجة الرياح والتبخر وكذلك تقليل تكاليف الضخ. فعلى سبيل المثال، الكثير من نظم المحاور المركزية مع الرشاشات فوق أنبوب نقل المياه كان قد تم إعادة تركيبها ليتم وضع رؤوس الرشاشات تحت أنبوب نقل المياه، وعلى الأغلب مع تصميمات بخاخات ذات ضغط منخفض. والعملية التجارية لنظم الإضافة الدقيقة قليلة الطاقة

9-5 عملية إختيار طريقة الري

يوجد كتيبات ونصوص متنوعة على إختيار وتصميم الأنواع المختلفة من نظم الري. وتقدم تفاصيل كثيرةولكن ليس هناك بديلاً عن الخبرة. إختيار وتصميم نظام الري يجب أن يتم تنفيذه بواسطة المهنيين أو المحترفين ذوي الخبرة. والمزارع أو مدير الري يجب، على الرغم، من المعلومات الكافية لظروف التربة، والتضاريس، وشكل وحجم الحقول، والأنماط الزراعية، وتوفر العمالة، وكذلك نظم الري الممكنة البديلة من أجل أن يتم تقديم بعض الإرشاد إلى المصمم. بالطبع، فإن تكاليف التطوير الأولية، والتكاليف التشغيلية السنوية تعتبر في العادة عوامل إقتصادية مهمة في إختيار طريقة الري. والإعتبارات الإجتماعية والممارسات التقليدية قد كان لديها أيضاً وبشكل عام الأثر على ملائمة وجدوى طريقة محددة. وفي بعض الدول النامية، فإن التزويد بالطاقة الكهربائية لا يعتبر موثوقاً. وإذا إنقطعت الأحمال وتوقفت الطاقة بشكل متكرر، فربما يكون الري المضغوط غير إقتصادي إلا إذا كان هناك مصدر بديل للطاقة متوفراً وبسعر معقول.

ويقدم الجدول 5-1 الدليل لإختيار طريقة الري. وهذا الجدول يحتوي على ملخص مفيد جداً، ولكن يجب أن يتم الإعتراف بأن هناك بعض الإستثناءات على الأغلب لجميع قواعد إختيار نظام الري. وبراعة وابداع المزارعين ومهندسي الري حول العالم أنتج دستات (دزينات) من التبنّيات الملحوظة لطرق الري تحت الظروف الصعبة، بما في ذلك التطبيق الناجح لطرق الري التي يمكن بشكل عام أن تعتبر غير مناسبة بالنسبة للظروف السائدة.

الري المتكرر مع معدلات تنقيط بطيئة أو منخفضة تقلل التكاليف الرأسمالية نتيجة لتقليل حجم الخطوط الرئيسية والفرعية عندما يتم مقارنتها مع تلك المطلوبة بالنسبة للرشاشات أو الري بالرش. والريات المتكررة تعمل على الحد من التقلبات بين الظروف الرطبة والجافة وتعمل على توفير تهوية تربة جيدة. والأملاح في ماء التربة يتم المحافظة عليها مخففة أكثر، وتجعل إمكانية إستعمال المياه الأكثر ملوحة أكبر مع طرق ري أخرى. والمحاصيل بشكل متكرر تنضج مبكراً

الجدول 5-1: دليل من أجل إختيار طريقة الري (Doorenbos و Kassam 1984).

Irrigation Method	Topography	Crops	Remarks
Widely spaced borders	Land slopes capable of being graded to less than 1% slope and preferably 0.2%	Alfalfa and other deep rooted close-growing crops, and orchards	An appropriate surface method for irrigating close-growing crops where the topography is favorable. An even grade in the direction of irrigation is required on flat land and is desirable on slopes of more than about 0.5%. Grade changes should be slight and reverse grades must be avoided. There should be no cross-slope.
Closely spaced borders	Land slopes capable of being graded to 4% slope or less, and preferably less than 1%	Pastures	Especially adapted to shallow soils underlain by a clay pan or soils that have a low intake rate. Even grade in the direction of irrigation is desirable but not essential. Sharp grade changes and reverse grades should be smoothed out. Cross-slope is

			permissible when confined to differences in elevation between borders of 6-9 cm. Since the border strips may have less width, a greater total cross slope is permissible than for border irrigated alfalfa.
Check back and cross furrows	Land slopes capable of being graded to 0.2% slope or less	Fruit	This method is especially designed to obtain adequate distribution and penetration of water in soils with low water intake rates.
Corrugations	Land slopes capable of being graded to slopes between 0.5% and 12%	Alfalfa, pasture, and grain	This method is especially adapted to steep land and small irrigation streams. An even grade in the direction of irrigation is desirable but not essential. Sharp grade changes and reverse grades should at least be smoothed out. Due to the tendency of corrugations to clog and overflow and cause serious erosion, cross slopes should be avoided as much as possible.
Graded contour furrows	Variable land slopes of 2-25%, but preferably less	Row crops and fruit	Especially adapted to row crops on steep land, though hazardous due to possible erosion from heavy rainfall. Actual grade in the direction of irrigation 0.5-1.5%. No grading is required beyond filling gullies and removal of abrupt ridges.
Contour ditches	Irregular slopes up to 12%	Hay, pasture, and grain	Especially adapted to foothill conditions. Requires little or no surface grading.
Rectangular checks (levees)	Land slopes capable of being graded so single or multiple tree basins will be leveled within 6 cm	Orchards	Especially adapted to soils that have either a relatively high or low water intake rate. May require considerable land grading.
Contour levee	Slightly irregular land slopes of less than 1%	Fruit, rice, grain and forage crops	Reduces the need to grade land. Frequently employed to avoid altogether the necessity of grading. Adapted best to soils that have either a high or low intake rate.
Portable pipes	Irregular slopes up to 12%	Hay, pasture, and grain	Especially adapted to foothill conditions. Requires little or no surface grading.
Sub-irrigation	Smooth and flat	Shallow-rooted crops such as potatoes or grass	Requires a water table, very permeable subsoil conditions and precise leveling. Very few areas are adapted to this method.
Sprinkler irrigation	Undulating with up to 35% slope or more	All crops	High operation and maintenance costs. Good for rough or very sandy lands in areas of high production and good markets. Good method where power costs are low, or where the water supply is at a significantly higher elevation than the field area. Good for high rainfall areas where only a small supplemental water supply is needed.
Contour bench terraces	Sloping land, especially for slopes under 3%, but also up to 6%	Any crop but particularly suited to cultivated crops	Considerable loss of productive land due to berms. Requires expensive drop structures for water erosion control.
Sub-irrigation (installed pipes)	Flat to uniform slopes up to 1% surface should be smooth	Any crop; row crops or high value crops usually used	Requires installation of perforated plastic pipe in root zone at narrow spacings. Some difficulties in roots plugging the perforations. Also a problem as to correct spacing. Field trials on different soils are needed.
Micro irrigation (drip and trickle)	Any topography suitable for row crop farming	Row crops or fruit	Perforated pipe on the soil surface drips water at base of individual plants or trees. Has been successfully used with saline irrigation water where irrigation frequency is high and the soil water salinity is nearly that of the applied water.

كما تنتج نواتج محصولية أعلى. وفي الكثير من الحالات فإن التحسينات في الناتج المحصولي، والنوعية، وتناسق المنتج من خلال الري بالتنقيط أدى إلى زيادة كبيرة في الربحية.

وأحد العوامل في عملية إختيار نظام الري كان غالباً هو مستوى التكنولوجيا الذي يتم تصوره. نظم الري السطحية أو بالجذب الأرضي بشكل مثالي لديها أقل كميات من المعدات (الأنابيب، والمحابس، والمضخات، والمصافي، ألخ) وكان لديها في بعض الحالات تصنيف على أنها قديمة أو غير فعالة طبيعياً. وبسبب أن النظم السطحية لها معدات أقل، فإن هناك القليل ليتم بيعه للمزارعين. وبعض البائعين للنظم المضغوطة (الرش والتنقيط) في مناطق مختلفة من العالم كانت قد أنتجت مطويات ذات لون جميل وقامت بإقناع المزارعين بأنهم ليسوا حديثين إذا ما استمروا في إستخدام طرق الري السطحي. وعلى الرغم من ذلك، فإن طرق الري كان يمكن أو غالباً هي ذات فعالية أكثر من النظم المضغوطة، وأنها تعتبر أكثر الأنواع شيوعاً من نظم الري داخل المزرعة حتى في أغلب الدول المتقدمة.

10-5 تدريج وتسوية الأراض

تدريج الأراضي وتسوية الأراضي ليست نفس الشيء. تسوية الأراضي في العادة تشتمل على القطع، والنقل، والردم، في حين أن مناطق القطع والردم تعتبر منفصلة ببعض المسافة. وتسوية الأراضي نادراً ما يتم القيام بها على أساس سنوي، ولكن على العكس كل 5 إلى 10 سنوات أو أكثر. تدريج الأراضي يشتمل على تنعيم سطح التربة لتصحيح التعوّجات السطحية الموضعية والثانوية. وفي زراعة الأرز، فإن تدريج الأرض يتم القيام به غالباً تحت الظروف المشبعة باستخدام الطاقة الحيوانية أو الآلات.

وتعتبر فوائد تسوية وتدريج الأراضي هي:

1. أن الري السطحي يتم إنجازه مع عمالة قليلة وبتناسق وكفاءة أكبر (إحتمالية إدارة مياه أفضل)؛
2. يتم الحد من مخاطر إنجراف التربة وذلك لأن الجريان السطحي تم ضبطه بشكل أفضل خلال الأمطار والري (بواسطة أي طريقة ري)؛
3. وبعد الري، فإن سطح الحقل يجف بشكل أسرع وبتناسق أكثر، مما يسمح بريات متكررة أكثر بين العمليات الزراعية والمزرعية الأخرى؛
4. وتتأثر مكافحة الأعشاب الضارة بشكل مشجع وذلك لأنه لا يوجد مشكلة نتيجة البقع المبللة في المناطق المنخفضة من الحقل؛
5. إضافة الأسمدة تعبر ذو كفاءة وفعالية أكبر، وذلك لأن هناك إحتمالية تسرب عميق أقل.

والمآخذ الأساسية لتسوية وتدريج الأراضي هي:

1. يعتبران في العادة مرتفعات التكلفة؛
2. والقطوعات الكبيرة يمكن أن تقلل الإنتاجية الزراعية لسنوات قادمة؛
3. بعض الترب لا تعبر عميقة بشكل كافي لتسمح بالتسوية، أو لأنه يوجد هناك الكثير من الحجارة والصخور بالنسبة للإعمال الأرضية حتى تكون مجدية؛
4. أحياناً يتم إساءة إستعمال آليات التسوية والتدريج ويتم عدم فهما بشكل سيء، مما يسبب المشاكل بدلاً من تقديم الحلول.

ويمكن القيام بحسابات تسوية الأراضي باستخدام الآليات التقليدية أو من خلال طريقة إنحدار المربعات الصغرى. والإنحدار يمكن أن يكون خطياً، صف صف، وعمود عمود عبر الحقل، أو يمكن أن يكون إنحدار خطي متعدد، والذي يعتبر مفضلاً. والإنحدار المتعدد يمكن أن يضم معامل العلاقة بالنسبة لكامل سطح الحقل، مما يعطي مؤشراً على "خشونة" سطح الحقل. بمعنى، أن العلاقة تشير إلى أي درجة جيدة يكون سطح التركيب الأفضل في الحقيقة يلائم سطح الحقل الموجود.

والزمن المطلوب لإتمام عمل التسوية يعتمد على عاملين أساسيين وهما: (1) حجم القطع؛ و (2) المسافة ما بين منطقة مركز القطع والردم، على التوالي. والعامل الثاني يعطي مؤشراً حول كم البعد الذي يجب أن تنقل فيه التربة عبر الحقل، في المعدل، ولكن مسافات النقل الحقيقي تعتمد على كيف يقوم مشغلي الآليات بأعمالهم.

ونسبة حجم القطع/الردم يجب عادة أن تكون أكبر من 1 من أجل إتمام المهمة من دون نقص مواد الردم. ومعدل الحاجة سوف يتباين حسب نسيج التربة، وتركيب التربة، ورطوبة التربة، ووجود ونوع المادة العضوية، وعوامل أخرى. وفي العادة يجب أن يتم عمل واحد أو إثنين من التعديلات على عمق القطع قبل الإنتهاء من العمل، وإلا سوف يكون هناك تربة زائدة غير مستعملة، أو سوف يكون هناك مناطق غير مردومة بعد أن يكون تم القيام بكل هذا القطع. وحكم مشغّل الآلية والخبرة الميدانية تعتبر مساعدة جداً في مثل تلك القرارات.

وأحيانا يتم إنشاء دكّة أو منصة عند نهاية رأس الحقل، تتكون من 3 متر شريط من سطح الأرض المرتفع قليلاً. وهي من أجل تسهيل الري السطحي، وبخاصة مع الحفر الأرضية وأنابيب السيفونات. وبناء المنصات يتطلب بعض التعديلات على حسابات القطع والردم.

ويعتبر في العاد من المستحسن أن يتم إضافة أسمدة زائدة على منطقة القطع وبعد تسوية الأرض، وخاصة عندما يتم القيام بالقطع العميق، مما يعمل على تكشيف التربة التحتية. وبعض خدمات الإضافة الجديدة يمكن أن تكوّن خارطة لنواقص مغذيات التربة، ومن ثم إضافة الكيماويات شبة أوتوماتيكياً حسب الخارطة. ولكن بالنسبة لقطوعات التربة العميقة، فإنه يوصى بالقطع أعمق من اللازم، ومن ثم إعادة الردم بالتربة العلوية أو السطحية. وإلا، فإن المحاصيل ربما لا تنمو بشكل جيد في مناطق القطع الكبيرة لسنوات عديدة. والمناطق ذات الردم العميق ربما تستقر بشكل كبير بعد الري أو المطر، وهكذا تتطلب تسوية تحسين ثانوية في السنوات التالية.

5- 11 معدات وممارسات التسوية بالليزر

كان قد تم إستخدام تسوية الأراضي في الزراعة لما يزيد عن 20 سنة. والكلمة "ليزر" هي إختصار للكلمة تضخيم الضوء بواسطة الإنبعاث المحفَّز للإشعاع. والليزر المستخدم في تسوية الأراضي الزراعية والبناء هو في العادة من نوع الهيليوم-نيون، الذي ينتج ضوء أحمر ملون. والكثير من المزارعين يملكون ويديروا هذه المعدات في الولايات المتحدة الأمريكية وفي دول أخرى. وبعض المزايا عن التسوية التقليدية والتي هي أن عمل التسوية النهائية يمكن أن يكون أكثر دقة وأقل جاهزية يعتبر مطلوباً قبل البدء بأعمال السدود الترابية. ومعدات الليزر كان قد تم إستعمالها لمدة تزيد على 30 سنة في صناعة البناء، ويتم إستخدامها أيضاً في إرساء خطوط الأنابيب، وخنادق الحفر، والقنوات، وكذلك تبطين القنوات بالإسمنت. ويتم إستخدام الليزر في أعمال المساحة التقليدية، والتي في الكثير من الحالات، فقط شخص واحد يكون مطلوباً لإتمام العمل. والمعدات تضم ليزر مع أجهزة تسوية حساسة، ومجس للتمييز ما بين الضوء الطبيعي وتردد معين لضوء ليزر، ودائرة

كهربائية لمراقبة وتشغيل المعدات. وأيضاً يتم الحاجة إلى تراكتور وكاشطة كبيرة جداً. وربما تكون تكلفة معدة الليزر والمحابس الهيدروليكية الأوتوماتيكية تساوي 20,000 دولار أو أكثر، وأن التراكتور يمكن إحتمال أن يتم إستخدامه لأغراض زراعية أخرى، بالإضافة إلى أعمال التسوية.

ويتم تعليق الليزر بشكل عمودي، ومرآة بزاوية 90 درجة تدور فوق بحوالي 8 دورانات في الثانية. وهذا بالضرورة يقيم سطح ضوء على طول سطح الحقل، وعندما يتم الإنتهاء من العمل، فإن سطح الحقل يكون موازياً لسطح الضوء. وعادة يتم شحن الليزر من بطارية سيارة عادية، إما في سيارة بك أب أو من بطارية منفصلة. والبطارية يتم عادة تبديلها كل 12 ساعة تشغيل.

وسوف تظهر المشاكل عندما يتم تداخل أو تقاطع مصدرين ليزر منفصلين في حقل وذلك لأن المجس لا يعرف أي واحد يقوم باستعماله. وهذا لا يعتبر حدوث شائع جداً، ولكن كان هناك حالات من هذا تحدث. ومعظم معدات الليزر تعتبر حساسة للتنقل (مثلاً من الرياح العاصفة)، وأن المرآه سوف تتوقف عن الدوران إذا ما تم هز أو رجْ وحدة الليزر بشكل خفيف، ويبدأ مرة ثانية بعد أن يتم إعادة تضبيطه بشكل أوتوماتيكي إلى الميول التي تم تحديدها. وفي ظروف الرياح، فإن البرج أو المنصب ثلاثي القوائم والذي عليه يتم تعليق الليزر يمكن أن تكون مستقرة بشكل قوي إذا كانت الأسلاك مثبّتة وترتكز إلى الأرض. والمعدات يمكن أن تعمل في الليل والنهار، ولكن الضباب الكثيف وطبقة الغبار السميكة يمكن أن تعيق شعاع الليزر بشكل كافي لمنع التشغيل. وتعتبر تلك المشاكل أسوأ عندما يكون المجس بعيداً عن الليزر نفسه (مثلاً في حقول بمساحة 20 هكتار أو أكثر). وظروف الحرارة والجفاف يمكن أيضاً أن تسبب مشاكل عندما يكون المجس بعيداً عن الليزر ويكون هناك تيار هواء قوي، مما يسبب إنحراف وتقلّب الشعاع. وهذا بدوره يجعل المجس يغذي إشارات متقلّبة إلى جهاز التحكم، مما يعطي تأثير "لوح الغسيل" إلى مناطق القطع والردم.

والآلية يمكن أن يتم إستخدامها لكل من مساحة إرتفاعات الحقل الموجود، وللقيام بأعمال التسوية. وعمل المساحة لا يعتبر دقيق مثل المساحة اليدوية التقليدية، ولكنه يعتبر سريعاً وسهلاً. وتعتبر حسابات التسوية إلى حد ما معقدة من خلال الحقيقة أن المساحة يتم غالباً القيام بها باستخدام سطح مرجعي مائل. وهذا يحدث لأن المسبار التليسكوبي والذي يتم عليه تعليق المجس له مسافة تحرك عمودية محدودة، وأن بعض أجزاء الحقل يمكن أن تخرج خارج مجالها. ويجب على المشغّل أن يفحص موقع المجس عند الزوايا العليا والمنخفضة قبل البدء بعملية المساحة. وهناك ثلاثة أنواع من أنماط التشغيل وهي: (1) اليدوي (يتم إهمال الليزر)؛ (2) الأوتوماتيكي (شفرة الكاشطة تتبع سطح الضوء)؛ و (3) المساحة (مجس الليزر يتبع سطح الضوء على مسبار تيليسكوبي وتبقى الشفرة على إرتفاع ثابت فوق سطح الأرض). ومع القطوعات العميقة، فإن المشغّل ربما يحتاج أن يقوم بتمريرات أولية قليلة بالنمط اليدوي، ومن ثم القيام بالقطوعات النهائية بالنمط الأوتوماتيكي "بالتدرج" وإلا، فإن الكاشطة والتراكتور ربما يجبروا على يقطعوا الكثير في نفس الوقت. وأيضاً، مع الردم العميق، ربما يتم نصح المشغّل لأن يقوم بتمريرات أولية باستخدام النمط اليدوي.

ومهارة المشغّل لا تعتبر مطلوبة في قطع وردم الإرتفاع، ولكنها تكون مطلوبة في ضبط القطع، بحيث أن الغرّافة تردم من دون تعطل محرك التراكتور أو دوران عجلاته. وعندما تدور العجلات، فإن العجلات تهتريء بسرعة (في أيام قليلة)، وأن تكلفة تبديلها ربما تكلّف آلاف الدولارات. وهكذا، فإن على السائق (المشغّل) أن يتعلم وفي آن واحد كيف يتحكم في المقود، ودوران المحرك، والتروس للأمام (مع ناقل الحركة الأوتوماتيكي) بنمط الليزر (أوتوماتيك و يدوي)، وشفرة الكاشطة وكذلك باب الكاشطة. وهذا يمكن أن يتطلب كلا القدمين، وكلا اليدين، وقد يتطلب كوع أو إثنين. وإنتباه المشغّل تعتبر أيضاً ذا قيمة، وذلك لأن المسبار مع المجس يمكن أن يكون فوق إرتفاع غرفة التراكتور وبالقرب من الشجر، والتي يمكن أن يتضرر فيها المجس.

والأجهزة في العادة يتم تنزيلها وتخزينها عندما لا تكون في حالة إستخدام. وعملية إعادة وضع الأجهزة في الحقل قبل أن يتم إتمام العمل يمكن أن يكون مشكلة للأسباب التالية: (1) ربما يكون من الصعب أن يتم ترتيب الميول الرئيسية والجانبية (في إتجاه الأتلام أو الشرائح) إلى نفس الإتجاهات التي كانت سابقاً بالضبط؛ (2) ربما يكون سطح ضوء الليزر على نفس الميول كما كان سابقاً، وكن الإرتفاع فوق سطح الحقل كان قد تغير، مما يتطلب تغير مرافق في فرق الإرتفاع ما بين المجس وشفرة الكاشطة.

5- 12 حساب الميول القطرية أو المائلة

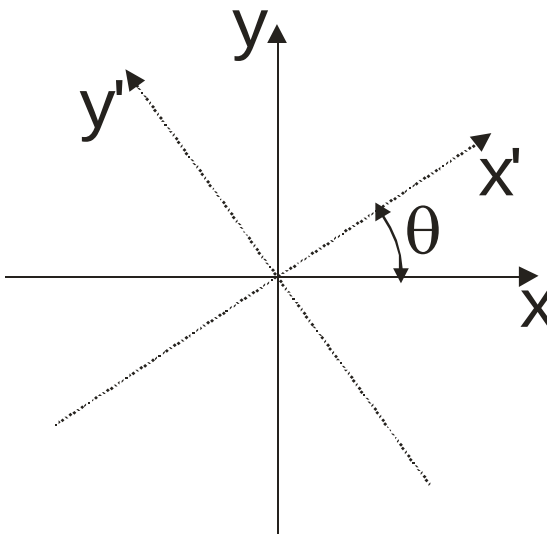
المزارعين أحياناً يقوموا بعمل الأتلام بزوايا قطرية أو مائلة بالنسبة لميول الحقل الرئيسية والجانبية. وهذا من ناحية مثالية يتم القيام به لتغيير ميل الأتلام من دون إعادة تسوية سطح الحقل. وتطبيق معادلات الدوران الإحداثية يعتبر مطلوباً لتحديد ميول التي تقع على القطر ما بين الميول الرئيسية المعروفة والجانبية. وعلى عكس ما هو أحياناً كتوقع أو حَدَسْ شائع، فإن الميل على قطر الحقل مع ميول رئيسية وجانبية متساوية يعتبر أكبر من الميل ألرئيسي أو الجانبي.

والدوران الإحداثي يشتمل على علم المثلثات. إذا كان الميل الرئيسي والجانبي لحقل هما S_x و S_y، على طول الإتجاهات x و y، على التوالي، وبالتالي فإن الميل "الرئيسي" الفعّال بالنسبة للدوران عكس عقارب الساعة لـ θ درجة يمكن أن يكون:

$$S_x \cos\theta + S_y \sin\theta \qquad (1\text{-}5)$$

والمعادلة 5-1 تعطي الميل الأرضي في الإتجاه x، كما هو مبيّن في الشكل 5-3. والميل في الإتجاه y يمكن أن يكون:

$$S_y \cos\theta + S_x \sin\theta \qquad (2\text{-}5)$$



الشكل 5-3: مخطط تعريفي للدوران الإحداثي لتحديد ميول الحقل على الزوايا القطرية أو المائلة.

وهكذا، بالنسبة لزاوية تساوي صفر (θ = صفر) فإن x و المحور x يتطابقان، كما هو الحال مع y و المحور y، ومن المعادلات 5-1 و 5-2 ، فإن الميول هي ببساطة S_x و S_y.

وبالنسبة لأية زاوية أخرى فإن الميول تختلف وذلك لأن نظام الإحداثيات تم تدويره. وباستخدام تلك المعادلات البسيطة، فإنه من الممكن أن يتم عرض ما يمكن أن يكون عليه الميل لأي زاوية معينة من إتجاه الميول الرئيسية والجانبية المعروفة.

5- 13 تقييم نظام الري

يتم القيام بتقييم نظام الري لتحديد الأداء النسبي للنظام، مع الهدف النهائي وهو تحديد التحسينات الممكنة المتنوعة والتي تحسّن الأداء. والأداء يمكن تعريفة بالمصطلحات الموضوعية في معظم التطبيقات العملية، ولكن يشتمل في الأغلب مؤشرات كمية مثل معاملات الكفاءة وتناسق إضافة الماء. ويعتبرتقييم نظام الري نسبي طبيعياً وذلك لأن مقارنة مؤشرات الأداء مع نظم ري أخرى يعتبر مطلوباً لتحديد سواء أن إدارة الماء في النظام تعتبر كافية أم لا. وفي بعض الحالات، فإن المستوى المنخفض من الأداء يعتبر مقبولاً، وفي أخرى فإن النظام يجب ان يكون فعّالاً جداً، ويوزّع الماء بدرجة عالية من التناسق. وجميع النظم يمكن أن تتحسّن، ولكن مستوى التحسّن يعتمد على قيمة المحصول، وتكلفة الماء، وعوامل أخرى. ونظام الري الذي لا يظهر على أنه "جميل" ربما في الواقع يكون مناسب جداً وربما يعمل بشكل جيد.

وتقييم نظام الري المتعمّق سوف يشتمل على مركبات ثلاثة: (1) المشاهدات الحقلية؛ (2) القياسات الحقلية وتحليل البيانات؛ و (3) مقابلة مع المزارع أو القائم على الري. والمركب الثالث يمكن أن يكون الجزء المهم في التقييم وذلك لأنه يمكن أن يعطي مؤشراً مثل لماذا يجب أن يتم صيانة النظام وتشغيله بالطريقة التي هو عليها، ويستطيع أن يكشف مشاكل إضافية ربما لم يكن قد تم إكتشافها خلال المشاهدات الحقلية والقياسات. والذي يجري المقابلة يجب أن يسأل المزارع عن نوع مشاكل الري التي يواجهها طبيعياً، وما هو تصوره أو تصورها فيما يتعلق بكيف يمكن أن يتم تحسين أداء نظام الري.

ويوجد هناك طرق متنوعة لتقييم نظم الري. على الرغم من أن، أحد أكثر أهمها هو الفحص البصري المتكرر لكيف تتطور المحاصيل. وبعض طرق مراقبة ماء التربة يتم وصفها لاحقاً في هذا الكتاب. وتعتبر المشاهدات الحقلية البسيطة ضرورية لتقييم أي نظام ري، ويجب أن تسبق القياسات. لهذا، فإن المقيّم ربما "ينظر" على الحقل أو المزرعة، ولكن ما زال لا "يرى" المشاكل في نظام الري. ويمكن القيام بالمشاهدات الحقلية أثناء الري أو بين الريّات، والكثير من الأشياء المهمة يمكن غالباً أن يتم إيجادها. وفيما يلي أمثلة لما تبحث عنه عندما تزور منطقة ري:

1. هل التربة جافة جداً أو مبتلّة جداً (إستخدم الأوجر "خرامة التربة" أو المجرفة)؟ هل التربة جافة لدرجة أن الري يجب أن يبدأ، أو أنها مبتلّة جداً بحيث أن الري الجاري يجب أن يتوقف؟
2. هل هناك أية إشارات لإنجراف التربة، وخاصة على نهاية رأس ونهاية ذيل الحقل؟ هل معدلات التدفق مرتفعة جداً أو هل أن ميول الحقل منحدرة جداً؟
3. هل منشآت الري الرئيسية (الخنادق، والمنشآت، والأنابيب، ألخ) يتم صيانتها بشكل جيد؟
4. هل إنجرفت مداخل الأتلام أو الأحواض؟ هل الأنبوب المبوّب (ذات البوابات أو الفتحات) يصرّف الماء بشكل مباشرة إلى التلم من دون أي مثبطات للطاقة؟

5. هل هناك بقع منخفضة في الحقل (تبريك ماء، مناطق رطبة أو مليئة بالأعشاب)؟ هل الحقل بحاجة لأن يتم تدريجه أو تسويته؟
6. هل هناك مناطق رملية في الحقل تميل لأن تجف بسرعة أكثر من بقية الحقل؟ هل هناك مناطق طينية ثقيلة تجف بشكل بطيء جداً؟
7. بالنسبة للشرائح والأحواض، هل السواتر الترابية (الحواجز) في حالة جيدة؟
8. بالنسبة للأتلام، هل الأتلام عميقة لدرجة كافية ومن دون أي إعاقات (كدرات التربة، القش، العروق أو الأغصان، ألخ)؟ هل هناك شقوق عميقة في الأتلام نتيجة لإنكماش التربة؟
9. بالنسبة للأتلام، هل التربة تكوّن قشرة على قاع التلم (هل القيعان تصبح مغمورة خلال الري)؟ هل يبدوا أن الماء يقفز أو يرتفع بشكل مفاجيء عبر الأتلام خلال الري؟
10. بالنسبة للرشاشات، هل الماء يهب خارج الحقل بواسطة الرياح القوية؟ هل الرشاشات تدور بالتساوي، وهل هناك أي تسرب مرئي في الأنابيب؟
11. بالنسبة للرشاشات، هل حجم حبة الماء تبدوا صغيرة جداً (ضغط مرتفع، تبخر عالي، تناسق منخفض) أو أنها كبيرة جداً (ضغط منخفضن أنسداد سطح التربة، تناسق منخفض)؟
12. هل الأملاح مرئية وتتجمّع على سطح التربة؟
13. هل هناك أي مناطق جرداء بحيث أنها حتى لا تدعم نمو الأعشاب (ترب قلوية، ترب حامضية، نقص الماء، ألخ)؟
14. هل نمو المحصول يبدوا أنه متساوي عبر الحقل؟
15. هل هناك دليل على تبريك ماء على سطح الحقل (معدل الإضافة عالي جداً)؟
16. هل يتم تصريف الجريان السطحي بشكل كافي، أو هل المخارج مغلقة أو مسدودة؟

وتعتبر القياسات الحقلية جزءاً مهماً من التقييم، ولكن يجب أخذ الحيطة لعرض النتائج بطريقة مفهومة بحيث أن النتائج يمكن أن يتم إستعمالها باتجاه تحسينات نظام الري. والقياسات العامة ربما تشتمل على معدل ترشيح التربة باستخدام أجهزة قياس الترشيح الحلقية الأسطوانية أو أجهزة أخرى، وماء التربة، وتحليل نوعية الماء. وفي نظم الري السطحية، فإن القياسات الحقلية المثالية تشتمل على معدلات تقدم الماء فوق سطح التربة، وحجوم الجريان والمنحنيات المائية للتدفق الداخل-الخارج، وأبعاد الحقل، والتضاريس. وتقييمات الري بالرش تشتمل عادة على قياسات "علب إلتقاط الماء" لتحليل تناسق الإضافة، وقياسات الضغط في الأنابيب أو على الرشاشات عند مواقع مختلفة، وبيانات متفرقة أخرى ومشاهدات. وتشتمل تقييمات الري بالتنقيط بشكل مثالي على أخذ عينات قياسات التصريف أو التدفق من الباعثات أو النقاطات من أجل تقدير تناسق الإضافة. وفي عام 1978 قام كل من Merriam و Keller، وأيضاً في عام 1986 قام كل من Walker و Skogerboe بوصف تفصيلي للإجراءات الفنية للقيام بتقييمات أداء نظام الري.

وتشتمل معاملات إدارة الري السطحي على معدل التدفق الداخل، مدة الري، طول الحقل، تضاريس الحقل، ومعدل ترشيح التربة. وهذه هي المعاملات التي على الأغلب يمكن أن يتم تعديلها من أجل تحسين أداء نظام الري. ومعدل التدفق الداخل يعتبر غالباً أسهل شيء يمكن تغييره، ويمكن أن يؤدي إلى تغيير كبير في الأداء. ومعدل التدفق الداخل يؤثر على معدل التقدم عبر الحقل، و على الرغم من أن المعدلات العالية تميل لأن تعطي تناسق إضافة أفضل، فإنها أيضاً ترتبط بالجريان المرتفع في نهاية ذيل الحقل. ومعدلات التدفق المرتفعة يمكن أيضاً أن تسبب إنجراف تربة. ومدة الري تعتبر معاملاً آخر من السهل تغييره، ويمكن أن يؤثر وبشكل كبير على أداء نظام الري. ومن ناحية عملية، فإن مدد الري تعتبر أطول من المطلوب، وتؤدي إلى جريان سطحي كبير وفواقد تسرب عميق.

ويمكن أن يتم تعديل طول الحقل، ولكن الإمكانات تعتبر في العادة محدودة. فعلى سبيل المثالن فإنه يمكن أن يتم تقسيم طول الحقل بالنصف عندما يكون معدل التقدم بطيئاً جداً، ومن ثم لاحقاً في الموسم فإنه ربما يكون مجدياً أن يتم الري فوق الطول كاملاً. ويمكن أن يتم تغيير تضاريس الحقل بواسطة تدريج أو تسوية الأرض، والذي يمكن أن يؤثر على التناسق بشكل كبير، ومتطلبات العمالة، والتخلص من الأعشاب الضارة، والزمن لتجفيف بين الريات. ومعدلات الترشيح يمكن أن تتأثر بالوسائل الميكانيكية أوالكيميائية، أو بواسطة إستخدام الجريان بالدفق المفاجيء. والمزارعين سوف يقوموا أحياناً "بتشغيل" الأتلام بواسطة التراكتور من أجل تكسير أو سحق كدر التربة وتقليل معدلات الترشيح، وبتلك الطريقة يتم السماح بتقدم ماء أسرع وتناسق أفضل. أو، أنه ربما يعتبر ضرورياً أن يتم حراثة التربة بالإزميل من أجل إعطاء زيادة في الترشيح والتهوية.

والمعيار الآخر لأداء نظام الري هو هل أن معدل الأرباح إلى التكاليف بالنسبة للنظام تعتبر عند أقصى حد. وهكذا، فإنه يمكن أن يتم تقييم التالية:

1. هل يعتبر تناسق إضافة الماء مقبولاً؟
2. هل تكاليف العمالة لتشغيل النظام تعتبر معقولة؟
3. هل النظام يقوم بتزويد متطلبات الماء القصوى عندما يتم الحاجة إليها؟
4. هل يعتبر تشغيل النظام موثوقاً أو يعتمد عليه؟
5. هل تعتبر النواتج المحصولية ونوعية المحصول مرضية؟

التناسق يمكن أن يتم قياسه أو مراقبته بطرق مختلفة. وأوراق المحصول تتحول إلى أخضر داكن (غامق) كلما زاد الجهد المائي. والصور تحت الحمراء للحقل يمكن أن يتم إستخدامها لتشير إلى المناطق ذات العجز أو الزيادة المائية، وكذلك يمكن أن يتم إستخدام مجس معدني لتحديد تناسق تخلل إو إختراق الماء إلى داخل التربة. ويمكن أن يتم وضع علب الألتقاط في الحقل لتقييم تناسق الري بالرش. وبالنسبة للري بالأتلام وبالغمر، فإن معدل التقدم يجب أن يكون سريعاً إلى حد ما عندما يتم البدء بالري ومن ثم يتم الإنقطاع بشكل تدريجي لكي لا يتم تضييع الكثير من الماء عند نهاية الحقل. وتكاليف العمالة لنظام ري معين يمكن أن يتم مقارنتها مع تلك التي لنظم أخرى لكي يتم تقييم الحاجات بالنسبة للتغيير. وإذا كان المصدر المائي محدوداً جداً بالنسبة للمساحة التي سيتم ريها، فحينها فإن العمالة المطلوبة لإضافة الماء سوف تزداد.

الوحدة السادسة

المتطلبات المائية للمحصول

6- 1 المقدمة

المتطلبات المائية للمحصول يتم تحديدها بواسطة الإمكانات التبخرية للطقس، وخصائص النبات، وجميع كل العوامل التي تؤثر في نمو وتطور المحصول. ولأغراض تخطيط الري، والتصميم، والإدارة، فإن الحسابات في العادة تتم لتحديد البخرنتح المرجعي (ET_o)، والذي يتم ضربه في معامل المحصول (K_c) ليتم تحديد البخرنتح لمحصول محدد عند مرحلة نمو معينة. ومعاملات المحصول تم مناقشتها بالتفصيل في الجزء 8-6.

ومتطلبات الري في المناطق الجافة يميل لأن يكون أكبر بشكل كبير من المتطلبات المائية للمحصول وذلك للحاجة للسماح بتناسقات وكفاءات إضافة غير تامّة، ومن أجل المحافظة على توازن أملاح مشجع في منطقة جذور المحصول. والمتطلبات المائية للمحصول تشتمل على نتح الماء بواسطة النباتات والتبخر من التربة ومن النباتات. وهذه الكميات مرتبطة مع بعضها البعض تؤدي إلى البخرنتح (ET)، والجزء الرئيسي منه عادة هو نتح الماء بواسطة النباتات. وكلما كان سطح التربة مبتلاً بشكل متكرر، أو كلما كان إضافة الماء بشكل أكثر تكراراً، كلما كانت قيمة جزء التبخر أعلى. وبشكل عام، فإنها تحتاج إلى 500 كيلوغرام من الماء (حوالي نصف متر مكعب) لإنتاج كيلوغرام واحد من المواد الجافة للنبات-ومعظم الماء يتم أخذه من خلال الجذور لا يبقى داخل النبات، ولكنه يتم نتحه من خلال فتحات الأوراق إلى الجو.

وقد تم كتابة الكثير حول المتطلبات المائية للمحصول كما تم تطوير معادلات مختلفة وكثيرة وقد تم إستعمالها في حسابات البخرنتح المرجعي ET_o. والكثير من المعادلات للبخرنتح تعتبر معقدة جداً وتتطلب العديد من القياسات الجوية والتي ربما تكون غير متوفرة أو دقتها محل علامة إستفهام عند موقع معين. لذلك، فإنه في الأغلب يعتبر مرغوباً أن الطرق التي تم إختيارها لحساب المتطلبات المائية للمحصول تستند على الحد الأدنى من متغيرات الطقس التي يتم قياسها، وأن تكون بسيطة وسهلة الفهم.

ومعدل أقصى بخرنتح ، والذي يحدث بشكل مثالي خلال الفترات الحارة من موسم النمو، بالنسبة لمعظم المحاصيل الزراعية والتي هي من حوالي 5 إلى 9 مليميتر/يوم (0.2 إلى 0.35 إنش/يوم). وبعض النموات الخضرية غير الزراعية في الأراضي الرطبة يمكن أن يكون لها معدل بخرنتح بالترتيب المناسب 12 مليميتر/يوم (0.47 إنش/يوم)، ولكن هذا يعتبر إستثنائياً مرتفعاً. والكثير من مشاريع الري في المناطق شبة الجافة حول العالم تم تصميمها مع قدرة نظام حوالي 1 لتر/ثانية/هكتار، والتي تعادل معدل عمق إضافة كلي يساوي 8.64 مليميتر/يوم (0.34 إنش/يوم). لذلك، فإنه نتيجة للظلم الذي يتم مواجهته بشكل متكرر في توزيع الماء ضمن نظام الري، فإنه يوجد هناك مدى واسع من معدل أعماق الإضافة الحقيقية على المزارع المفردة أو الحقول. وفي الوحدات الإنجليزية، فإن 1 لتر/ثانية/هكتار هي حوالي 1 قدم مكعب/الثانية/70 آكر، والذي يعادل معدل عمق إضافة كلي يساوي 0.34 إنش/يوم.

6-2 الطرق المباشرة

البخرنتح يمكن أن يتم قياسه مباشرة بواسطة وسائل اللايسيميتر. واللايسيميترات عبارة عن أوعية أو حاويات تربة والتي فيها يتم زراعة النبات تحت ظروف مشابهة للتربة المحيطة والنمو الخضري. واللايسيميتر الذي تم تركيبه ربما فقط يكون مرئياً من خلال التفحص القريب وذلك بسبب أن سطح التربة يتوافق مع التربة المحيطة ونفس المحصول يتم زراعته في وحول الأوعية (التانك). والتغير في المحتوى المائي في اللايسيميتر يتم قياسة بواسطة الوزن، وبواسطة مقارنة الماء المضاف مع الكمية التي تتصرّف، أو بواسطة طرق مناسبة أخرى. والبخرنتح لأعشاب متنوعة تنمو في اللايسيميترات كان قد تم إستخدامها من أجل تطوير أو معايرة معادلات متعددة من أجل تقدير البخرنتح المرجعي. لهذا، ونتيجة للتباينات الواسعة في البخرنتح للأعشاب وفي إدارة وتصميم اللايسيميترات، فإنه كان يوجد هناك تباين كبير في معايرة المعادلات لحساب البخرنتح المرجعي. والتشديد على إستخدام اللايسيميترات كان قد تحول أكثر باتجاه تحديد معاملات المحصول منه عن البخرنتح المرجعي وذلك لأن المعادلات (الأكثر ملاحظة، معادلة بينمان-مونتيث) كان قد تم إظهارها لتتوقع أو تتنبأ بالبخرنتح المرجعي مع دقة ممتازة لمعظم المواقع الزراعية حول العالم.

والبخرنتح المحصولي يمكن أيضاً أن يتم تحديده بواسطة دراسات ماء التربة المكثفة والتي فيها التربة تكون متجانسة إلى حد ما والعمق إلى الماء الجوفي سوف لن يؤثر على ماء التربة ضمن منطقة الجذور. ويتم تحديد ماء التربة بواسطة عينات الرطوبة الحقلية قبل وبعد كل ريّة مع بعض القياسات بين الريّات لتحديد إستنزاف الماء في منطقة الجذور.

3-6 الطرق غير المباشرة

حوض التبخر فئة أ يتم وضعه في مراعي مروية كبيرة أو مناطق مروية أخرى تعطي مؤشراً يتم إستخدامه على نطاق واسع لتقدير البخرنتح المحصولي. والمصطلح الفئة أ يشير إلى تركيب حوض تبخر مقياسي محدد كالذي تم تطويره بواسطة خدمات الطقس الوطنية للولايات الأمريكية، ولكنه ليس المقياس الوحيد الذي يتم إستعماله. والمصدر الأساسي للطاقة بالنسبة للتبخر هو الإشعاع الشمسي. وإذا عكس الحوض 5% من الإشعاع للوراء إلى الجو ومنطقة العشب المروي الكثيفة عكست 25 إلى 30%، فحينها ومنطقياً فإن نسبة بخرنتح الأعشاب إلى حوض التبخر (E_p) وهي 0.75 إلى 0.80 يمكن أن يتم إفتراضها. وفي العام 1986 أعطت مديرية كاليفورنيا لمصادر المياه نسب البخرنتح إلى حوض التبخر بالنسبة للمراعي المروية وأعشاب النجيل تتباين من 0.70 للأسبوع الأبرد إلى 0.78 بالنسبة للأشهر الدافئة.

وكان قد تم إشتقاق الكثير من الطرق وتم إستخدامها لتقدير البخرنتح المرجعي من المتغيرات الجوية. والعوامل الجوية الأساسية المستخدمة تضم الإشعاع الشمسي الساقط، وصافي الإشعاع، والإشعاع الناشيء خارج الأرض، وحرارة الهواء، ومدى درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، وضغط البخار، وساعات السطوع الشمسي، وسرعة الريح. ومعظم تلك الطرق تتطلب بعض الدرجة من المعايرة المحلية من أجل التطبيق العام. وإستعمالات كثيرة كانت قد تمت لعلى الأقل 8 نسخ أو طبعات من معادلة توليفة بنمان، والتي تضم دالة الرياح. وسرعة الريح كان قد تم تقديرها بشكل متكرر عندما تكون القيم المقاسة غير متوفرة، وأن معايرة دالة الرياح بقيت أيضاً جدلية ما بين الباحثين. وصافي الإشعاع المطلوب في العادة يتم تقديره من الإشعاع الكوني (R_s).

وفي تطبيق معادلات توليفة بنمان، فإن الإشعاع الشمسي الكوني (R_s) يتم تقديره بشكل متكرر من ساعات السطوع الشمسي. وبالنسبة للأيام غير الغائمة، فإن قيمة R_s يمكن أن تكون في

العادة يتم تقريبها مثل R_A 0.75، في حين أن الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الكون، R_A، هو دالة اليوم في السنة وخط العرض (المعادلة 6-14). على أي حال، فإن نوعية القيم المقاسة أو المقدّرة لساعات السطوع الشمسي هي بشكل متكرر أقل من الملائمة. وموثوقية معادلات بينمان أيضاً تتأثر بواسطة الطريقة المستخدمة لقياس أو تقدير عجز أو نقص ضغط البخار.

والإجراء البديل الذي يتطلب الحرارة القصوى والصغرى وخط العرض يعطي تقديرات مُرضِيَة للبخرنتح المرجعي لخمسة أيام أو أكثر (أنظر المعادلة 6-3). والميزة الأساسية لهذا الإجراء هو أن هناك مؤشر قليل أو لا يوجد مؤشر للحاجة إلى معايرة محلية لظروف الطقس المثالية لموسم نمو المحاصيل المروية.

6-4 طاقة التبخر

تبخر الماء يشتمل على تغيير حالة من السائلة إلى البخار وهذا يتطلب طاقة. والحرارة الكامنة (بالكالوري) مطلوبة لتبخر 1 سم^3 (أو 1 غرام) من الماء النقي تم إعطاءه بواسطة المعادلة التالية:

$$\lambda = 595.9 - 0.55\,T \qquad (1\text{-}6)$$

في حين أن λ هي الحرارة الكامنة للتبخر بالكالوري لكل سم^3؛ و T هي حراة الهواء الجاف بالدرجة المئوية. ومن تلك المعادلة، وعند درجة حرارة 20 درجة مئوية، فإن الطاقة المطلوبة لتبخير عمق 1 مليميتر من الماء يساوي 58.5 كالوري/سم^2. وإذا كان 5% (قيمة مثالية) من الشعاع الساقط يتم إنعكاسه للوراء إلى الجو، فحينها فإن 61.6 لانغليز (كالوري/سم^2) من الإشعاع الساقط تتوافق مع عمق مكافيء من ماء التبخر يساوي 1 مليميتر عند درجة 20 مئوية.

والحرارة الكامنة للتبخر يمكن أيضاً أن يتم تقديرها من حرارة الهواء الجاف بالنسبة للوحدات المترية كما يلي:

$$\lambda = 2.50 - 0.002361\,T \qquad (2\text{-}6)$$

بينما λ هي بالميغاجول/كيلوغرام؛ و T هي حرارة الهواء الجاف بالدرجة المئوية. ومع المعادلة 6-2 فإن القيمة العددية للحرارة الكامنة، λ، لدرجة حرارة 15 مئوية تساوي 2.47، وبالنسبة لدرجة حرارة 40 مئوية فإنها تساوي 2.41. والقيمة المثالية للحرارة الكامنة، λ، من المعادلة 6-2 هي حوالي 2.45، والذي يتطابق مع حرارة هواء تساوي 20 درجة مئوية.

والطاقة الكلية المتوفرة لتبخر الماء تتألف من صافي الإشعاع زائد الطاقة المتأفقة (المنتقلة إفقياً). بينما التأفق (المنتقل أفقياً) هي الحرارة المنقولة التي تنتج بشكل أساسي من الحركة الجانبية أو الأفقية للهواء. على الرغم من أنه في الكثير من الحالات فإن الطاقة التبخرية ربما يتم تقديرها بواسطة المعادلة 6-1 أو المعادلة 6-2، من دون دالة منفصلة لتأخذ التأفق في الإعتبار.

6-5 البخرنتح المرجعي

البخرنتح للأجناس والأنواع المختلفة من الأعشاب والفصّة كان قد تم إستخدامها كمرجع لتحديد المتطلبات المائية لمحاصيل أخرى بشكل عام. وبالتقليد، فإن المصطلح ET_o يتم إستخدامه عندما يكون العشب هو المحصول المرجعي، و ET_r عندما تكون الفصة هي المرجع. و ET_r هي دائماً أكبر من ET_o، ويمكن أن يتم تقديرها بحوالي 1.2 ضعف ET_o في الظروف شبة الجافة ومتوسطة الرياح. وفي المناطق الرطبة، والتي ليس فيها رياح، فإن النسبة ربما تكون قليلة في حدود 1.05، وفي المواقع الجافة والتي فيها رياح فيمكن أن ترتفع إلى أعلى في حدود 1.4. بعض الأعشاب تعتبر قليلة الإستعمال للماء والبعض الآخر تعتبر مستخدمة للماء بشكل كبير نسبياً، لذلك ففي الكثير من الحالات فإنه من المهم أن يتم معرفة ما هو نوع العشب الذي تم إستخدامه لمعايرة معادلة بخرنتح مرجعي معينة. وأنواع العشب المثالية التي تستخدم في البحث هي الألتا فيسكو وعشب الجاودار (الشيلم) الدائم.

وأنواع الفصة التي تتكيّف مع الطقس الحار تزيد معدلاتها من البخرنتح مع زيادة درجة الحرارة طالما أن الماء يعتبر متوفراً في منطقة الجذور. ومعظم الأعشاب تزيد مقاومة ثغورها (فتحات الأوراق) على درجات الحرارة العالية تجعل نسبة ET_o/ET_r تزداد. وتتأثر معدلات البخرنتح اليومية بالإرتفاع الذي يتم قص العشب عليه، وتوفر النيتروجين في التربة، وكثافة الأوراق والسيقان، إتجاه الورقة، والدرجة التي تكون فيها الحرارة أو الظروف الأخرى مثالية من أجل النمو. وواضح أن المعادلة التي تستند إلى عوامل الطقس والبخرنتح التي تم قياسها من لايسيميتر ربما لا تعيد إنتاج البخرنتح الذي تم قياسه من عشب مختلف تحت ظروف مختلفة. ويعتبر، لذلك، من الصعب أن يتم إستخدام قياسات البخرنتح مع العشب لمقارنة طرق لتقدير البخرنتح المرجعي ET_o.

ويتم حساب البخرنتح المرجعي بالإستناد إلى معادلة معايرة للمحصول المرجعي الذي تم إختيارهة باستخدام قياسات اللايسيميتر. وشكل المعادلة ربما تم تطويره بالتجربة، ويشتمل فقط على القليل من العوامل البيئية الخارجية، أو ربما يتم إشتقاقها من مباديء الفيزياء، ونقل الحرارة، ودراسة مجالات علمية أخرى. وبعض معادلات البخرنتح المرجعي الأكثر تعقيداً تشتمل عوامل كثيرة ويمكن أن تكون دقيقة جداً. لهذا، في الواقع، فإن تعقيد معادلة البخرنتح المرجعي يجب أن يتم تبريرها بواسطة توفر وموثوقية بيانات الأرصاد الجوية والبيانات الأخرى-وإذا كانت المعادلة "كاملة" جداً من الناحية النظرية، فإنه ربما تكون مفضلة على المعادلة التي تم إشتقاقها من خلال التجربة، ولكن فقط إذا كان هناك بيانات كافية لدعم تطبيقاتها. وعموماً، فإنه يمكن في العادة أن يتم تصنيف معادلات البخرنتح المرجعي على أنها طرق تعتمد على الحرارة، وطرق تعتمد على الإشعاع، وطرق مترابطة (متوالفة). كما كان قد تم إقتراح دستات (دزينات) من معادلات البخرنتح المرجعي وتم تطبيقها من قبل الباحثين على مدى العقود القليلة الماضية، ولكن فقط القليل بقي في الإستعمال العام.

وفي عام 1985 قام Harhreaves وآخرون وكذلك Hargreaves و Samani قاموا باقتراح أستعمال معادلة لتقدير البخرنتح المرجعي ET_o من حرارة الهواء وخط العرض. ويتم تصنيفها على أنها طريقة تعتمد على الحرارة، والعديد من المعادلات السابقة تم إقتراحها وتحسينها بشكل متتابع قبل أن يتم تطوير شكل المعادلة الحالي. والمعادلة هي كما يلي:

$$ET_o = 0.0023 R_A (T+17.8)\sqrt{TR} \qquad (3\text{-}6)$$

في حين أن ET_o و R_A هما في نفس الوحدات المكافئة لتبخر الماء (وغالباً بالمليميتر)؛ و R_A هي الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الكون (المعادلة 6-14)؛ و T هي معدل درجة حرارة الهواء

بالدرجة المئوية (أو معدل أقصى ومعدل أدنى درجات حرارة يومية)؛ و TR هي معدل مدى الحرارة اليومية للفترة التي تم إعتبارها (المعدل الأقصى اليومي – المعدل الأدنى اليومي). وقيمة TR تتأثر بالإشعاع الشمسي، الطاقة المتأفقة المحلية (التي تتحرك أفقياً)، وفوارق الحرارة الأمامية المرتبطة مع العواصف والتغيرات الجوية المفاجئة. لذلك، فإن المعادلة 6-3 سوف لن تكون جقيقة بالنسبة لأيام التغيرات الجوية الرئيسية، ولكن في العادة تعطي نتائج مرضية جداً عندما يتم أخذ معدل T و TR على مدى فترات خمسة أيام أو أكثر. وهكذا، فإن المعادلة 6-3 يتم تطبيقها على حسابات البخرنتح المرجعية، ET_o، الأسبوعية التراكمية.

والمعادلة 6-3 كان قد تم إشتقاقها من مقارنات متعددة ومجموعات بيانات. وكان قد تم معايرتها من 8 سنوات قياسات البخرنتح لعشب الألتا فيسكيو من 20 قدم (6.1 متر) قطر لايسيميتر وزني في مدينة ديفيس، كاليفورنيا. وكما تم ملاحظته أعلاه، فإن المعادلة 6-3 هي واحد من الكثير من المعادلات التي كان قد تم إقتراحها على مدى السنوات من أجل تقدير البخرنتح المحصولي المرجعي.

وفي الإجتماعات الجديدة لقسم الري والصرف، في الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين، و اللجنة الدولية للري والصرف، قد تم التوصية باستخدام معادلة بينمان-مونتيث على المعادلات الأخرى. وهذه المعادلة يمكن التعبير عنها كما يلي (Allen وآخرون 1989):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{890\gamma U_2(e_a - e_d)}{T+273}}{\Delta + \gamma(1 + 0.339U_2)} \qquad (4\text{-}6)$$

في حين أن ET_o هي بوحدات المليميتر لكل يوم بالنسبة للعشب كمحصول مرجعي؛ Δ هي عبارة عن ميل دالة ضغط البخار المشبع (كيلوباسكال/درجة مئوية)؛ γ هي الثابت السيكومتري (كيلوباسكال/درجة مئوية)؛ R_n هي عبارة عن صافي الإشعاع الشمسي (ميجاجول/م^2/يوم)؛ U_2 هي عبارة عن سرعة الرياح (متر/ثانية) على إرتفاع 2 متر فوق سطح الأرض؛ T هي عبارة عن المعدل اليومي لحرارة الهواء (درجة مئوية، ^oC)؛ e_a-e_d تمثل نقص ضغط البخار الجوي (كيلوباسكال)؛ و G هي عبارة عن كثافة تدفق التربة الحراري (ميجاجول/م^2/يوم).

وبيانات صافي الإشعاع الشمسي اليومي غالباً ما تكون غير متوفرة من القياسات المباشرة. وفي تلك الحالات، فإن القيم اليومية يمكن أن يتم تحديدها كما يلي (Allen وآخرون 1994):

$$R_n = R_{ns} - R_b \qquad (5\text{-}6)$$

في حين أن R_{ns} هي صافي الإشعاع الشمسي ذو الموجة القصيرة (ميجاجول/م^2/يوم)؛ و R_b هي الإشعاع الشمسي ذو الموجة القصيرة المرتد (ميجاجول/م^2/يوم). ويمكن أن يتم تقدير مركبي R_n كما يلي:

$$R_{ns} = 0.77(0.25 + 0.5S)R_A \qquad (6\text{-}6)$$

و،

$$R_b = 2.45(10)^{-9}(0.9S + 0.1)\left(0.34 - 0.14\sqrt{e_d}\right)\left(T_{kx}^4 + T_{kn}^4\right) \quad (7\text{-}6)$$

في حين أن R_s هي الإشعاع قصير الموجة الكوني المقاس، ميجاجول/م^2/يوم؛ e_d هي ضغط البخار الحقيقي (كيلوباسكال)؛ T_{kx} هي أقصى درجة حرارة يومية (^oK)؛ و T_{kn} هي أدنى درجة حرارة يومية (^oK)؛ و S هي نسبة ساعات السطوع الشمسي الحقيقي (المقاسة) إلى أقصى ساعات سطوع شمسي ممكنة في اليوم (كسر)؛ و R_A هي كما تم تعريفها سابقاً من خلال المعادلة 6-3 وبنفس الوحدات التي لـ R_s (أنظر المعادلة 6-14). وأقصى ساعات سطوع شمسي في اليوم تساوي تقريباً $24\omega_s/\pi$، في حين أن ω_s هي كما تم تعريفها بواسطة المعادلة 6-17. ويمكن أن يتم تقريب S من R_s المقاسة أو على النحو التالي $S=(2R_s/R_A)-0.5$.

والحرارة بالدرجة المئوية (^oC) يمكن أن يتم تحويلها إلى درجة بالكيلفين (^oK) من خلال إضافة 273.15. وميل دالة ضغط البخار المشبع، Δ، يمكن أن يتم حسابها كما يلي:

$$\Delta = \frac{4098\, e_a}{(T + 237.3)^2} \quad (8\text{-}6)$$

في حين أن Δ، هي بوحدة الكيلوباسكال/^oC؛ و T هي درجة حرارة الهواء (^oC)؛ و e_a هي ضغط البخار المشبع (بالكيلوباسكال) عند درجة الحرارة T. وضغط البخار المشبع، e_a، يمكن أن يتم تقديره من قياسات حرارة الهواء كما يلي (Allen 1993):

$$e_a = 0.611 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad (9\text{-}6)$$

في حين أن ضغط البخار المشبع هي بوحدات الكيلوباسكال؛ و T هي حرارة الهواء (^oC). والتعبير *exp()* يعني الثابت e (أساس اللوجاريتم الطبيعي) مرفوع لأس التعبير الذي بين الأقواس. وبالنسبة لفترة زمنية تساوي 24 ساعة فإن ضغط البخار المشبع يجب أن يتم حسابه على شكل المعدل غير الموزون لـ e_a عند T_{max} و e_a عند T_{min} بالنسبة لليوم. وهكذا، فإن المعالة 6-7 يتم تطبيقها مرة مع T_{max} ومرة مع T_{min}.، وقيمتي ضغط البخار الناتجتين يتم إضافتهما وقسمتهما على 2.

وضغط البخار الحقيقي، e_d، يتم تقديره بواسطة ضرب أقصى رطوبة نسبية في ضغط البخار عند T_{min}. والمبرر هو أن أدنى درجة حرارة يومية هي في العادة مرتبطة أقصى رطوبة نسبية يومية. وهكذا، فإن e_a عند T_{min} (أنظر المعادلة 6-9)، مضروبة في RH_{max} هي:

$$e_d = 0.611\left(\frac{(R_h)_{max}}{100}\right)\exp\left(\frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right) \quad (10\text{-}6)$$

في حين أن RH_{max} هي بالنسبة المئوية. ومن ثم، فحسب المعادلة 6-10، عندما تكون أقصى رطوبة نسبية تساوي 100%، فإن e_d تساوي قيمة e_a عند T_{min}. والثابت السيكومتري، γ، يتم حسابة بالصورة التالية:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} \qquad (11\text{-}6)$$

في حين أن γ لها وحدات الكيلوباسكال/^oC؛ و c_p هي الحرارة النوعية للهواء الرطب عند ضغط ثابت (تساوي 0.00101 ميجاجول/كيلوغرام/^oC)؛ و P هي معدل الضغط الجوي (بالكيلوباسكال)؛ و ε هي نسبة الأوزان الجزيئية للهواء إلى الماء (تساوي (0.622)؛ و λ هي الحرارة الكامنة للتبخر (ميجاجول/كيلوغرام).

وقيمة R_A (كما تم إستعمالها في المعادلة 6-3) بالوحدات المكافئة للتبخر يمكن أن يتم تقديرها بواسطة الأخذ في الحسبان الحرارة الكامنة للتبخر. ولامبدا، λ، هي عامل التحويل بين ميجاجول/م^2 والمليميترات المكافئة لتبخر الماء. ومن ثم إقسم قيمة R_A بالميجاجول/م^2/يوم (من المعادلة 6-14) على قيمة λ (من المعادلة 6-1 أو المعادلة 6-2) للحصول على تبخر مكافيء بالمليميتر/يوم، والذي حينها يمكن أن يتم إستخدامه في المعادلة 6-3. فعلى سبيل المثال، إذا كانت قيمة R_A تساوي 35 ميجاجول/م^2/يوم، فإن التبخر المكافيء يساوي حوالي 2.45/35 = 14.3 مليميتر/يوم.

ومعدل الضغط الجوي، P، هو عبارة عن دالة الإرتفاع، و يساوي تقريباً:

$$P = 101.3\left(\frac{293 - 0.0065z}{293}\right)^{5.26} \qquad (12\text{-}6)$$

في حين أن P هي بالكيلوباسكال؛ و z هي عبارة عن الإرتفاع فوق مستوى سطح البحر (متر). وتعتبر المعادلة 6-12 قابلة للتطبيق عندما يتم إستخدامها لتقدير معدل الضغط على مدى مدة زمنية تساوي عدة أيام أو أسابيع. والقمية اليومية لكثافة التدفق الحراري للتربة، G، في المعادلة 6-4 يتم تقديرها كما يلي:

$$G = 0.38\left(T_{day} - T_3\right) \qquad (13\text{-}6)$$

في حين أن G هي بوحدات الميجاجول/م^2/يوم؛ و T_{day} هي معدل حرارة الهواء في يوم الحسابات بالدرجة المئوية (^oC)؛ و T_3 هي معدل المعدل اليومي لدرجات الحرارة للأيام الثلاثة السابقة بالدرجة المئوية (^oC). ولاحظ أنه سوف يكون لـ G قيمة سالبة عندما يكون اليوم الحالي أبرد من معدل الأيام الثلاثة السابقة.

وقد إقترحت جميعة المهندسيين المدنيين الأمريكية إستخدام الظروف المعيارية لتطبيق معادلة بينمان-مونتيث، بما في ذلك مؤشر مساحة الورقة (LAI) والذي يساوي 2.9 وارتفاع عشب مقصوص يساوي 12 سم. وعندما تصبح البيانات الكاملة والموثوقة متوفرة من المنطقة المروية بشكل جيد، المعادلة 6-3، وأن معادل بينمان-مونتيث تعطي نتائج مشابهة جداً لفترات خمسة أيام أو أكثر. وأيضاً، فإن المعادلة 6-3 تتطلب إلى بيانات طقس بسيطة بشكل أكبر ويمكن أن يتم تطبيقها بنجاح في مواقع أكثر وذلك لأن الكثير من المواقع ليس لها بيانات كافية من أجل تطبيق معادلة بينمان-مونتيث. ومن أجل تلك الأسباب فإن المعادلة 6-3 تعتبر غالباً بديلاً مقبولاً جداً بالنسبة لمعادلة بينمان-مونتيث الأكثر تعقيداً.

وطريقة بينمان-مونتيث المعيارية للبخرنتح المرجعي ET_o يتم حالياً التوصية بها من خلال منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة كقيمة مرجعية. وهذه المعادلة يمكن أن يتم إستخدامها لحساب ET_o على أساس يومي أو كل ساعة. وحسابات البخرنتح المرجعي لكل ساعة نادراً ما يتم إستخدامه ما عدا في الدراسات البحثية، وعادة ليس في جدولة الري، وذلك لأن أعماق إضافة الري الحقيقية لا تعتبر معروفة بالدقة. وتتطلب معادلة بينمان-مونتيث لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة أن بيانات الطقس يتم تجميعها على مدى منطقة كبيرة ومروية بشكل جيد. على الرغم من أن القليل نسبياً من محطات الأرصاد الجوية لديها بيئة المواقع المروية بشكل جيد المطلوبة.

وتتطلب معادلة بينمان-مونتيث لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة قيم الإشعاع الشمسي (R_s)، وعجز ضغط البخار، والحرارة، وسرعة الرياح. والقيم المقاسة لتلك المعاملات الثلاثة تتأثر بدرجة جفاف الموقع. ومعادلة بينمان-مونتيث لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة تعمل على زيادة تقدير البخرنتح المرجعي بشكل واضح عندما يتم الحصول على بيانات الأحوال الجوية من منطقة جافة وغير مروية. والطرق المشجعة للتصحيح من أجل الجفاف لم يتم تطويرها بعد، وأن التقدير الزائد خلال أشهر إستعمال الماء القصوى ربما تكون واضحة.

وكذلك فإن معادلة هارغريفز (Hargreaves) تعمل على زيادة تقدير البخرنتح المرجعي بالنسبة للمواقع الجافة. وقد تم إجراء المقارنات العديدة مع مواقع مزدوجة (واحد جاف والآخر مروي بشكل جيد). وأقصى فرق تم إيجاده هو في المواقع الجافة خلال أشهر الإستعمالات القصوى كان يساوي 15%. وبناء على ذلك، من أجل الإستخدام العام عندما يكون العديد من المواقع غير مروية بشكل جيد، فإن المعادلة 6-3 يتم التوصية بها كطريقة مفضلة لحساب البخرنتح المرجعي. وبالنسبة لموسم النمو، فإن المعادلة 6-3 من النادر أن تقوم بعمل تقدير زائد للبخرنتح المرجعي المقاسة بقيمة تزيد عن 10%. لهذا، فإن معادلة هارغريفز (Hargreaves) لا تعتبر بشكل عام مفضلة بالنسبة للحسابات اليومية للبخرنتح المرجعي-وطبيعياً يتم تطبيقها على الفترات الأسبوعية.

وقامت عدة ولايات غربية في الولايات المتحدة الأمريكية بتأسيس شبكات لمحطات الأرصاد الجوية من أجل قياس القيم لحساب البخرنتح المرجعي. وبشكل متكرر، فإنه يتم إستخدام المعادلات من نوع بينمان. وقد أدت المقارنات العديدة لقيم البخرنتح المرجعي من معادلات من أنواع بينمان إلى النتيجة أن الفروقات في قيم البخرنتح المرجعي التي تم حسابها من المعادلة 6-3 تعتبر ثانوية (غير ذات قيمة) عندما يتم مقارنتها مع الشك في تقدير البخرنتح المحصولي الحقيقي. وتعتبر أيضاً غير ذات قيمة عندما يتم مقارنتها مع الأخطاء المحتملة التي تحدث نتيجة للمعايرة السيئة للأجهزة أو لظروف الموقع غير القياسية.

ويقوم معهد إدارة المياه الدولي بتطوير أطلس الطقس (معهد إدارة المياه الدولي 1998). ويشتمل الأطلس على معدلات كل 10 أيام وشهرية والإنحرافات المعيارية للبخرنتح المرجعي من المعادلة 6-3، وعلى درجات الحرارة القصوى والدنيا، وتكرارات وكيمات الهطول المطري. وإحتمالية الهطول المطري 75% (P_{75}) والبخرنتح المرجعي ET_o يتم إستخدامها لتقييم حاجات الري والصرف. وصافي البخرنتح (البخرنتح المرجعي ناقص P_{75}، كما تم تعريفه في الجزء 4-2) يتم إستخدامه ليشير إلى الزيادة في السقوط المطري أو عمق الري المطلوب لتحقيق إنتاج محصولي كامل. وسوف يتم نشر الأطلس على أقراص مضغوطة وسيضم ملخص معلومات كل 10 أيام وشهرية. ويمكن إستدعاء البيانات بالنسبة للأحواض النهرية وكذلك بالنسبة لأي موقع تم تحديده بخطوط العرض والطول. وقد تم وصف الأطلس بتفصيل أكثر في الملحق أ.

6-6 الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الأرض

يمكن أن يتم حساب الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الأرض، R_A، حسب خط العرض واليوم من أيام السنة. والمعادلات التالية تم أخذها من Allen وآخرون في عام 1993، و Duffie و Beckman في العام 1980، و London و Frohlich في العام 1982:

$$R_A = 37.6 d_r \left(\omega_s \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s\right) \quad (14\text{-}6)$$

في حين أن R_A هي بوحدات الميجاجول/م^2/يوم؛ و d_r هي المسافة النسبية من الأرض إلى الشمس؛ و ω_s هي زاوية ساعة الغروب (بالردايان، Rad)؛ و Φ هي خط العرض (بالراديان)؛ و δ تمثل أنحراف الشمس (بالراديان). وخطوط العرض الجنوبية تم إعطاءها قيم سالبة لـ Φ. والقيم المتبقية يتم تعريفها كما يلي:

$$\delta = 0.4093 \sin\left(\frac{2\pi(284 + J)}{365}\right) \quad (15\text{-}6)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (16\text{-}6)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}\left(-\tan\phi \tan\delta\right) \quad (17\text{-}6)$$

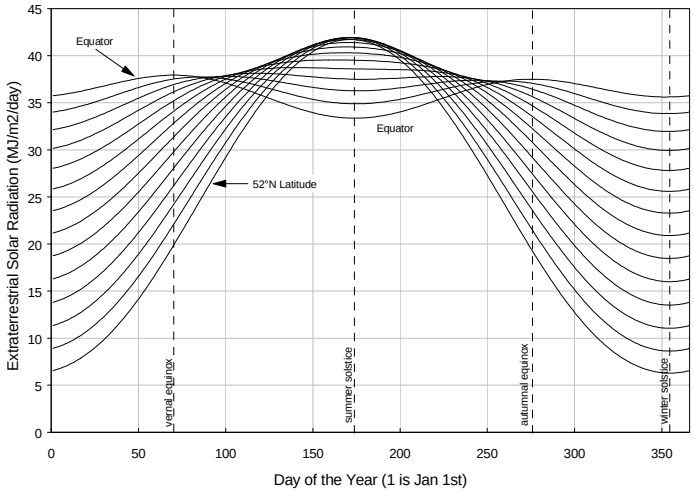
في حين أن J تمثل يوم الرزنامة من 1 إلى 365 (J تساوي 1 بالنسبة 1 كانون الثاني، ألخ)، وتعتمد على سواء كانت السنة المعينة هي سنة كبيسة. وفي السنة الكبيسة فإن الثابت 365 في مقام المعادلة 6-15 و 6-16 يمكن أن يتم تبديلهما بالرقم 365. ولاحظ أن التعابير بين الأقواس في المعادلات 6-15 و 6-16 هي بوحدة الراديان لقياس الزوايا، وليس الدرجة (1 راديان = 57.2958 درجات).

وزاوية معكوس الجتا في المعادلة 6-17 تعتبر قابلة للتطبيق بالنسبة لخطوط العرض بين 55 درجة شمال و 55 درجة جنوب. وبالنسبة لخطوط العرض خارج نطاق هذا المجال، فإن الزاوية يجب أن تكون أقل من أو تساوي 2.0 خلال فترة الشتاء. وإذا كانت أقل من صفر خلال فترة الصيف، فإنه يجب أن يتم تقييمها مثل [2.0 – tanΦ tanδ]. وكما تم ملاحظتة أعلاه، فإن قيمة Φ تعتبر موجبة بالنسبة لخطوط العرض الشمالية و تعتبر سالبة بالنسبة لخطوط العرض الجنوبية.

عينة حسابات لـ R_A

بالنسبة لخط عرض 27 درجة شمال (Φ = 0.4712 راديان) في 8 كانون الثاني، وقيمة δ تساوي -0.3893، و d_r تساوي 1.0327، و ω_s تساوي 1.3602. ومن المعادلة 6-14 فإن قيمة R_A هي 22.20 ميجاجول/م^2/يوم، والتي عندما يتم قسمتها على لامبدا، λ، (المعادلة 6-11) هي حوالي 9.1 مليميتر/يوم تبخر ماء مكافيء.

وقد تم تجهيز الشكل 6-1 باستخدام المعادلات 6-14 إلى 6-17 بالنسبة لخطوط العرض الشمالية. ويوضح الشكل التباين السنوي العالي النسبي في الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الكون على خطوط العرض العليا. وعند خط الإستواء، فإن التباين السنوي للإشعاع الشمسي يكون في أدنى مستوى.



الشكل 6-1: منحنيات R_A بوحدات الميجاجول/م^2/يوم بالنسبة لخطوط العرض الشمالية من صفر درجة إلى 52 درجة، مع 4 درجات زيادات.

وهكذا، فإنه يوجد إمكانية للزراعة على مدار السنة وعند قيمة خط عرض أقل، وخاصة ضمن المناطق المدارية (23.5 درجة شمال و جنوب). وكان قد تم تطوير الجدول 6-1 باستخدام نفس المعادلات وأعطى معدل شهري تقريبي لقيم R_A بالمليميتر/يوم المكافيء لتبخر الماء لكل من خطوط العرض الشمالية والجنوبية. وقيم المليميتر/يوم المكافئة في الجدول 6-1 تستند إلى درجة حرارة هواء تساوي 20 درجة مئوية، والتي من خلال المعادلة 6-2 تعطي $\lambda = 2.45$. ومعدلات حرارة الهواء 10 درجة مئوية أو 30 درجة مئوية سوف تؤدي إلى قيم R_A (مليميتر/يوم) تختلف عن تلك لحرارة هواء تساوي 20 درجة مئوية بأقل من 1%.

والنقطة الجديرة بالملاحظة في الجدول 6-1 هي أن الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الكون ليس موزعاً بشكل متساوي على طول السنة بين نصف الكرة الشمالي الجنوبي. فعلى سبيل المثال، فإن معدل القيمة القصوى الشهري في نصف الكرة الجنوبي هي حوالي 18.2 مليميتر/يوم (42-44 درجة جنوب في شهر كانون أول) بالمقارنة مع حوالي 17 مليميتر/يوم في الشمال (36-48 درجة شمال في حزيران). بالنسبة لخطوط العرض الشمالية، فإن أدنى قيم لـ R_A تحدث عند حوالي 21 كانون أول، و القيم القصوى هي عند حوالي 21 حزيران. على الرغم من أن تلك بشكل عام لا تتوافق مع تواريخ أقصى وأدنى درجات حرارة، وذلك لأن عوامل كثيرة غير الإشعاع الشمسي الناشيء خارج الكون تؤثر على درجة حرارة الهواء.

	Southern Latitudes													Northern Latitudes										
Latitude	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Latitude	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0°	14.8	15.3	15.4	15.0	14.2	13.7	13.9	14.6	15.2	15.2	14.8	14.6	0°	14.8	15.3	15.4	15.0	14.2	13.7	13.9	14.6	15.2	15.2	14.8	14.6
2°	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.4	13.6	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9	2°	14.5	15.1	15.4	15.1	14.5	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2
4°	15.4	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.2	15.1	15.5	15.4	15.2	4°	14.1	14.8	15.3	15.2	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.9
6°	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.7	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5	6°	13.8	14.6	15.2	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.5
8°	15.9	15.9	15.4	14.3	13.0	12.3	12.6	13.7	14.9	15.7	15.8	15.8	8°	13.4	14.3	15.1	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.1	14.5	13.6	13.1
10°	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1	10°	13.1	14.1	15.0	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7
12°	16.3	16.1	15.3	13.9	12.4	11.5	11.9	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3	12°	12.7	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.4	15.4	15.0	14.0	12.9	12.3
14°	16.6	16.2	15.2	13.6	12.0	11.1	11.5	12.9	14.5	15.8	16.4	16.6	14°	12.3	13.5	14.7	15.5	15.7	15.6	15.5	15.5	14.9	13.8	12.5	11.9
16°	16.7	16.3	15.1	13.4	11.6	10.7	11.1	12.5	14.4	15.8	16.5	16.8	16°	11.9	13.1	14.6	15.5	15.8	15.8	15.7	15.5	14.8	13.5	12.1	11.4
18°	16.9	16.3	15.0	13.1	11.3	10.3	10.7	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0	18°	11.4	12.8	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.2	11.7	11.0
20°	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.9	10.3	11.9	14.0	15.8	16.8	17.2	20°	11.0	12.4	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	12.9	11.3	10.5
22°	17.2	16.4	14.7	12.5	10.5	9.5	9.9	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4	22°	10.6	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.6	14.4	12.6	10.9	10.0
24°	17.3	16.3	14.5	12.1	10.1	9.0	9.4	11.2	13.5	15.6	17.0	17.5	24°	10.1	11.7	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.6
26°	17.4	16.3	14.3	11.8	9.6	8.6	9.0	10.8	13.3	15.6	17.0	17.6	26°	9.6	11.3	13.4	15.2	16.2	16.6	16.4	15.6	14.0	11.9	10.0	9.1
28°	17.5	16.3	14.1	11.5	9.2	8.1	8.6	10.4	13.0	15.4	17.1	17.8	28°	9.2	10.9	13.2	15.1	16.3	16.7	16.4	15.5	13.8	11.6	9.8	8.6
30°	17.5	16.2	13.9	11.1	8.8	7.6	8.1	10.0	12.7	15.3	17.1	17.9	30°	8.7	10.5	12.9	15.0	16.3	16.8	16.5	15.5	13.6	11.2	9.1	8.1
32°	17.6	16.1	13.7	10.7	8.3	7.2	7.6	9.6	12.4	15.2	17.1	18.0	32°	8.2	10.1	12.6	14.9	16.3	16.9	16.6	15.4	13.3	10.8	8.6	7.6
34°	17.6	16.0	13.4	10.3	7.9	6.7	7.2	9.2	12.1	15.0	17.1	18.0	34°	7.7	9.6	12.2	14.7	16.3	16.9	16.6	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1
36°	17.6	15.9	13.1	9.9	7.4	6.2	6.7	8.8	11.8	14.9	17.1	18.1	36°	7.2	9.2	11.9	14.5	16.3	17.0	16.6	15.2	12.8	10.0	7.7	6.6
38°	17.6	15.7	12.8	9.5	6.9	5.8	6.2	8.4	11.5	14.7	17.1	18.1	38°	6.7	8.7	11.6	14.3	16.2	17.0	16.6	15.0	12.5	9.6	7.2	6.1
40°	17.6	15.6	12.5	9.1	6.5	5.3	5.8	7.9	11.1	14.5	17.0	18.1	40°	6.2	8.3	11.2	14.1	16.2	17.0	16.6	14.9	12.2	9.1	6.7	5.6
42°	17.6	15.4	12.2	8.7	6.0	4.8	5.3	7.5	10.7	14.2	16.9	18.2	42°	5.7	7.8	10.8	13.9	16.1	17.0	16.6	14.7	11.9	8.7	6.2	5.1
44°	17.5	15.2	11.9	8.2	5.5	4.3	4.8	7.0	10.4	14.0	16.9	18.2	44°	5.2	7.3	10.4	13.7	16.0	17.0	16.5	14.5	11.5	8.3	5.7	4.6
46°	17.5	15.0	11.5	7.8	5.1	3.9	4.4	6.5	10.0	13.7	16.8	18.1	46°	4.7	6.8	10.0	13.4	15.9	17.0	16.5	14.3	11.2	7.8	5.2	4.1
48°	17.4	14.8	11.1	7.3	4.6	3.4	3.9	6.1	9.6	13.5	16.6	18.1	48°	4.2	6.4	9.6	13.1	15.8	17.0	16.4	14.1	10.8	7.3	4.7	3.6
50°	17.3	14.6	10.8	6.9	4.1	3.0	3.4	5.6	9.1	13.2	16.5	18.1	50°	3.7	5.9	9.2	12.9	15.7	16.9	16.3	13.9	10.4	6.9	4.2	3.1
52°	17.2	14.3	10.4	6.4	3.6	2.5	3.0	5.1	8.7	12.9	16.4	18.0	52°	3.2	5.4	8.7	12.6	15.5	16.9	16.2	13.7	10.1	6.4	3.7	2.7
54°	17.1	14.1	10.0	5.9	3.2	2.1	2.5	4.7	8.3	12.6	16.2	18.0	54°	2.8	4.9	8.3	12.2	15.4	16.9	16.1	13.4	9.6	5.9	3.2	2.2

الجدول 6-1: معدل الإشعاع الشمسي الشهري التقريبي الناشيء خارج الكون، R_A، بالمليميتر/يوم تبخر ماء مكافيء (بالنسبة لـ $\lambda = 2.45$).

والمعدل اليومي لقيمة R_A بالنسبة لشهر يمكن أن يتم تقديرها من المعادلة لقيم تقريبية لـ J بالنسبة لمنتصف كل شهر. والمعادلة هي كما يلي:

$$J = 15 + [30.5(M-1)] \qquad (18\text{-}6)$$

في حين أن M هي رقم الشهر (بالبدء برقم 1 لشهر كانون الثاني).

6-7 المتطلبات المائية

في الطقس الجاف جداً، فإن الري يزوّد بشكل أساسي جميع الماء الذي يتم إستعماله بواسطة المحاصيل. وفي أحوال جوية أخرى، فإن الري ربما يكون مكمّلاً للأمطار. ومفاهيم السقوط المطري والمطر الفعال الموثوقة يمكن أن يتم إستخدامها من أجل تقييم المساهمة المحتملة في نمو المحصول من السقوط المطري. وإحتمالية 75% للسقوط المطري المؤكد، والمعدل ناقصاً إنحراف معياري واحد، كان قد تم إقتراحها على أنها فهارس للموثوقية وكمعيار مفيد لأغراض تصميم نظام الري. والمطر الفعال هو ذلك الجزء المخزّن في منطقة الجذور ويعتبر متوفراً للإستعمال بواسطة النباتات. وهذه القيمة تعتمد على معدلات ترشيح التربة، وكمية وشدة الهطول المطري، والغطاء النباتي، وتجهيز التربة، والتضاريس، وممارسات إدارة أخرى متنوعة.

والري يجب أن يقوم بتزويد الفرق بين المطر الفعال والمتطلبات المائية للمحصول، مع بدل للكفاءات، ونقص تناسق الإضافة، ومن أجل أي متطلبات غسيل للترب. وفي بعض الحالات فإن البدل المائي ربما أيضاً يتم القيام به بالنسبة للماء الذي يتم تزويده للمحصول من ماء المستوى الأرضي السطحي أو من تكثيف الضباب.

6-8 المعاملات المحصولية

وكما تم ذكره في بداية هذه الوحدة، فإن البخرنتح المحصولي المرجعي يتم ضربه بمعامل المحصول (K_c) للحصول على تقديرات لطاقة الإستعمال المائي المحصولي، أو المتطلبات المائية للمحصول (ET_c). والمعاملات المحصولية تعتمد إلى حد كبير على نوع المحصول ومرحلة النمو، وليس على ظروف الطقس. والفكرة هي أن المعاملات المحصولية تبقى أساسياً هي نفسها لنفس المحصول بغض النظر عن الموقع أو الطقس. وحالما يتم تحديد قيم المعاملات المحصولية لمحصول معين وصنف معين، فإنه يمكن أن يتم تطبيقها على الأغلب في أي مكان. وإذا كانت تلك القابلية للتحويل غير قابلة للتطبيق فإنها لا تعني الكثير لتحديد المتطلبات المائية للمحصول (ET_c) من خلال مثل نتائج تلك التعبيرات—وبدلاً من ذلك، فإنه يمكن أن يكون من الضروري أن يتم معايرة معادلات البخرنتح (ET) بالنسبة لكل موقع وكل نوع بشكل فردي. وهكذ، فمع المعاملات المحصولية فإنه يعتبر فقط من الضروري أن يتم تقدير البخرنتح المرجعي ET_o عند موقع معين، ومن ثم الضرب بقيمة المعامل المحصولي المناسبة للوصول إلى لمعدل البخرنتح المقدّرة للمحصول.

والمعاملات المحصولية تشتمل بشكل عام على كل من النتح من ثغور النبات والتبخر من التربة الرطبة وسطوح الأوراق، مع الإفتراض أن توفر الماء لا يعتبر عامل محدد لنمو وتطور النبات. والري المتكرر (اليومي مثلاً) يؤدي في العادة إلى معدلات بخرنتح مرتفعة منه تلك التي يتم إعتبارها طبيعياً في تطوير قيم المعاملات المحصولية وذلك بسبب تبخر التربة الرطبة المرتفع (وخصوصاً مع الري بالرش والسطحي) ومن المحتمل النتح المرتفع كذلك.

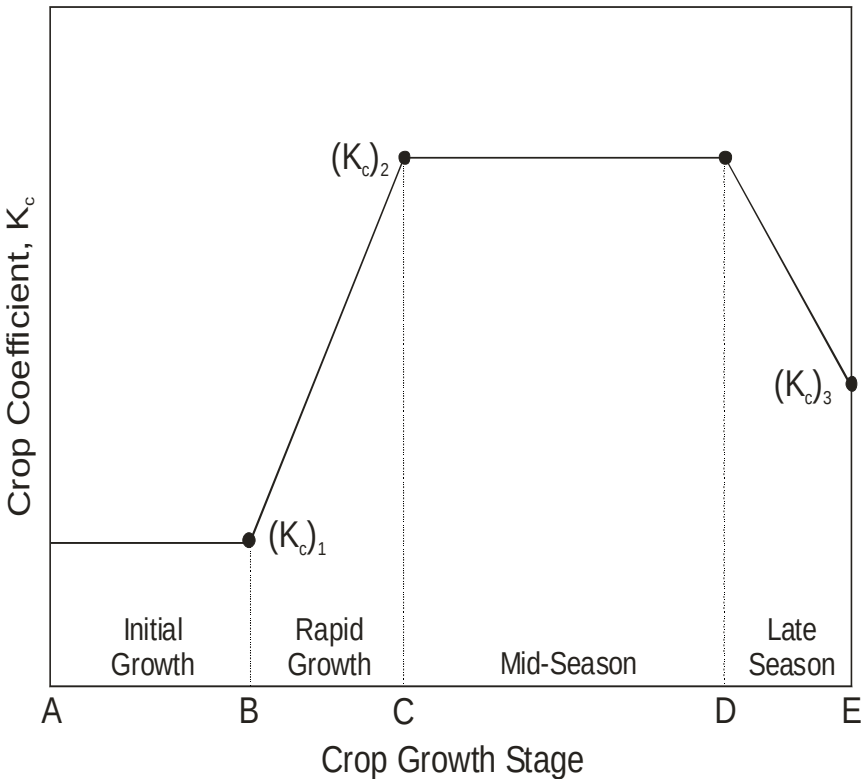
وكان قد تم إقتراح واستخدام أنواع من المعاملات المحصولية. فعلى سبيل المثال، المعاملات المحصولية الأساسية (K_{cb}) تكون مسؤولة بشكل أولي عن مركب النتح من البخرنتح، ويتم إستعمالها بشكل عام جنباً إلى جنب مع دوال تبخر تربة رطبة منفصلة من أجل تحديد قيم المتطلبات المائية للمحصول ET_c. وتعتبر المعاملات المحصولية الأساسية (القاعدية) مفيدة جداً عندما يكون من الضروري جداً أن يتم تحديد تقديرات يومية دقيقة للإستعمال المائي للمحصول، مثل الذي في تطبيقات جدولة الري. وهذه الطريقة يمكن أن تعطي دقة أكبر في الأخذ في الحسبان تأثيرات الريات المفردة. والمعاملات المحصولية الطبيعية (K_c) تعتبر مناسبة عندما يتم تطبيقها على تقديرات الإستعمالات المائية للمحصول الأسبوعية، أو الشهرية، أو الموسمية.

تعتمد المعاملات المحصولية بشكل أساسي على نوع المحصول وعلى مرحلة النمو. وقيم المعاملات المحصولية بشكل عام يمتد من حوالي 0.2 إلى 1.2 بالنسبة للعشب كمحصول مرجعي، والقيمة بالنسبة للكثير من المحاصيل الزراعية لا تتعدى أبداً تلك التي للعشب (K_c أقل من 1.0)، حتى خلال فترات الأستعمال القصوى. ولكن بسبب الإختلاف الكبير بين البخرنتح للعشب والفصة، فإنه يعتبر من الضروري أن قيم المعاملات المحصولية K_c تكون مشروطة مثل أساس عشبي او الفصة. وعندما لا يتم القيام بهذا التمييز بشكل خاص فإنه من المرجح أن القيم تستند إلى مرجع العشب.

والشكل 6-2 يقدم المعاملات المحصولية العامة ومرحلة النمو، والتي تعتبر تقريباً صحيحة بالنسبة لحسابات الفترات الأسبوعية أو أكثر، وكذلك بالنسبة للمعاملات المحصولية الأساسية (القاعدية). وبالنسبة للمحاصيل الدائمة المثمرة، فإن المعامل المحصولي يعتبر بشكل أساسي ثابت. بالطبع، فإن المعرفة بعدد الأيام في كل مرحلة نمو يتم الحاجة إليها لحساب المتطلبات المائية للمحصول. الجدول 6-2 يقدم وصوفات لمقاطع خطوط مختلفة في الشكل 6-2.

والشكل 6-3 يقدم ملخصاً لقيم المعاملات المحصولية مع العشب كمحصول مرجعي. وتلك القيم كان قد تم نشرها بواسطة Hargreaves في العام 1990 وكذلك بواسطة Hargreaves و Samani في العام 1991. وقيم المعاملات المحصولية كان قد تم إشتقاقها بشكل أساسي من المحاصيل التي تنمو في كاليفورنيا تحت ظروف "الري الجيد" (لا يوجد عجز مائي ملحوظ في منطقة الجذور)

وكذلك ممارسات الإدارة التي تم تصميمها لإنتاج نواتج محصولية مرتفعة. وتتباين قيم المعاملات المحصولية مع صنف المحصول، ومؤشر مساحة الورقة، وقوة النمو. وتعتبر القيم التي تم تقديمها في الجدول 6-3 مناسبة بالنسبة للنواتج المحصولية الجيدة للمحاصيل التي يتم إنتاجها عندما تكون ظروف الطقس والإدارة مشجعة، والمعاملات المحصولية التي تم نشرها، عموماً، هي بالنسبة لظروف الري الجيد. وعندما يوجد عجز مائي كبير في منطقة جذور المحصول في أي وقت خلال موسم النمو، فإن معدل البخرنتح الحقيقي سوف يكون أقل من ذلك الذي تم توقعه بواسطة ناتج البخرنتح المرجعي ET_o والمعامل المحصولي K_c. والجدول 6-4 من Doorenbos و Kassam في العام 1977 يتم تقديمه من أجل مقارنة المعاملات المحصولية لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة مع تلك التي تم عرضها في الجدول 6-3، وهي أيضاً للعشب كمحصول مرجعي.



الشكل 6-2: المعاملات المحصولية ومراحل نمو المحصولية المعمّمة.

الجدول 6-2: الوصف العام لقيم معامل المحصول عند مراحل نمو مختلفة.

قيم معامل المحصول K_c	مراحل النمو	الوصف
$(K_c)_1$	الأولية (أ – ب)	معدل قيمة معامل المحصول من الزراعة وحتى 10% تغطية أرضية.
$(K_c)_1$ إلى $(K_c)_2$	النمو السريع (ب –ت)	من 10% تغطية أرضية إلى 75%، أو إلى أقصى إستعمال مائي (أيهما يأتي أولاً)، أو من "إنبات الورقة" حتى التغطية الكاملة بالنسبة

		للأشجار متساقطة الأوراق والعنب.
$(K_c)_2$	منتصف الموسم (ت – ث)	معدل القيمة من نهاية مرحلة النمو السريع حتى يبدأ الإستعمال المائي بالهبوط نتيجة لتقدم النبات بالعمر.
$(K_c)_2$ إلى $(K_c)_3$	آخر الموسم (ث – ج)	من عندما تبدأ قيمة معامل المحصول بالهبوط حتى الحصاد، أو عندما يتم إيقاف الإستعمال المائي أو يصل إلى أدنى قيمة.
$(K_c)_3$	الحصاد (ج)	معدل القيمة عند الحصاد أو عند نهاية موسم إستعمال الماء.

الجدول 6-3: المعاملات المحصولية، K_c، للإستعمال مع المعادلات 6-3 و 6-4 (أنظر أيضاً الجدول 6-2 والشكل 6-2).

المحصول	$(K_c)_1$	$(K_c)_2$	$(K_c)_3$
الفصة	0.40-0.50	1.00-1.40	0.95-1.35
الخرشوف	0.90-1.00	0.95-1.05	0.90-1.00
الهليون	0.25-0.30	0.95	0.25
الموز	0.40-0.65	1.00-1.20	0.75-1.15
الشعير	0.25-0.30	1.00-1.10	0.10-0.20
الفاصوليا (الخضراء)	0.30-0.40	0.95-1.05	0.85-0.95
الفاصوليا (الناشفة)	0.30-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
الشمندر (المائدة)	0.24-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
الملفوف، ألخ.[1]	0.30-0.50	0.95-1.10	0.80-0.95
الشمام	0.15-0.40	1.00-1.10	0.30-0.90
الجزر	0.40-0.50	1.05	0.75
الكرفس	0.25-0.35	1.00-1.15	0.90-1.05
الحمضيات[2]	0.65	0.65-0.75	0.65
الذرة (حبوب الذرة الصفراء)	0.20-0.50	1.05-1.20	0.35-0.60
الذرة (الحلوة)	0.20-0.50	1.05-1.20	0.70-0.80
القطن	0.20-0.50	1.05-1.30	0.30-0.60
الخيار	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
أشجار البساتين متساقطة الأوراق	0.50	0.85-1.20	0.50-0.85
أشجار البساتين متشاقطة الأوراق مع محصول تغطية	0.75-0.85	1.10-1.25	0.70-1.10
الباذنجان	0.25-0.50	0.95-1.10	0.80-0.90
الكتان	0.20-0.40	1.00-1.15	0.20-0.25
العنب	0.20-0.50	0.74-0.85	0.20-0.45
الفستق الأرضي	0.30-0.50	0.95-1.00	0.50-0.60
فاكهة الكيوي	0.30	1.05	1.05
العدس	0.20-0.30	1.05-1.20	0.25-0.30
الخس	0.20-0.30	0.85-1.05	0.45

الدخن	0.20-0.40	1.00-1.15	0.25-0.30
الشوفان	0.20-0.40	1.05-1.20	0.20-0.25
الزيتون	0.60	0.80	0.80
البصل (الناشف)	0.40-0.60	0.95-1.10	0.75-0.85
البصل (الأخضر)	0.40-0.60	0.95-1.05	0.95-1.05
البازيلاء (الطازجة)	0.40-0.50	1.05-1.20	0.95-1.10
الفلفل (الطازج)	0.30-0.40	0.95-1.10	0.80-0.90
الفستق الحلبي	0.10	1.10	0.35
البطاطس	0.40-0.55	1.10-1.20	0.40-0.75
الحبوب البقولية	0.20-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
الأرز	1.10-1.15	1.10-1.30	1.10
العصفر أو القرطم	0.30-0.40	1.05-1.20	0.20-0.25
الحبوب الصغيرة	0.20-0.40	1.10-1.30	0.20-0.35
الذرة البيضاء (حبوب)	0.15-0.40	1.05-1.20	0.30-0.50
فول الصويا	0.30-0.40	1.00-1.15	0.45-0.55
السبانخ	0.20-0.30	0.95-1.05	0.90-1.00
الكوسا	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
شمندر السكر	0.20-0.40	1.05-1.20	0.70-1.00
قصب السكر	0.40-0.50	1.00-1.30	0.50-0.60
عباد الشمس	0.30-0.40	1.05-1.20	0.35-0.45
الدخان	0.30-0.40	1.00-1.20	0.75-0.85
البندورة	0.25-0.50	1.05-1.25	0.60-0.85
البطيخ	0.25-0.50	1.00-1.10	0.20-0.70
القمح	0.20-0.40	1.05-1.25	0.20-0.30

الجدول 6-4: المعاملات المحصولية لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة (عن Doorenbos و Kassam 1979).

نوع المحصول	مراحل تطور المحصول					فترة النمو الكليّة
	الأولية	التطور	منتصف الموسم	آخر الموسم	الحصاد	
الموز						
المدارية	0.4-0.5	0.7-0.85	1.0-1.1	0.9-1.0	0.75-0.85	0.7-0.8
تحت المدارية	0.5-0.65	0.8-0.9	1.0-1.2	1.0-1.15	1.0-1.15	0.85-0.95
الفاصولياء						
الخضراء	0.3-0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9-0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
الناشفة	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.25-0.3	0.7-0.8
الملفوف	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.9-1.0	0.8-0.95	0.7-0.8
القطن	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.9	0.65-0.7	0.8-0.9

العنب	0.35-0.55	0.6-0.8	0.7-0.9	0.6-0.8	0.55-0.7	0.55-0.75
الفستق الأرضي	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.55-0.6	0.75-0.8
الذرة الصفراء						
الحلوة	0.3-0.5	0.7-0.9	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
الحبوب	0.3-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	0.8-0.95	0.55-0.6	0.75-0.9
البصل						
الناشف	0.4-0.6	0.7-0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8-0.9
الأخضر	0.4-0.6	0.6-0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
البازيلاء (الخضراء)	0.4-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
الفلفل (الأخضر)	0.3-0.4	0.6-0.75	0.95-1.1	0.85-1.0	0.8-0.9	0.7-0.8
البطاطس	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.2	0.85-0.95	0.7-0.75	0.75-0.9
الأرز	1.1-1.15	1.1-1.5	1.1-1.3	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
العصفر	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.7	0.2-0.25	0.65-0.7
الذرة البيضاء	0.3-0.4	0.7-0.75	1.0-1.15	0.75-0.8	0.5-0.55	0.75-0.85
فول الصويا	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.15	0.7-0.8	0.4-0.5	0.75-0.9
شمندر السكر	0.4-0.5	0.75-0.85	1.05-1.2	0.9-1.0	0.6-0.7	0.8-0.9
قصب السكر	0.4-0.5	0.7-1.0	1.0-1.3	0.75-0.8	0.5-0.6	0.85-1.05
عباد الشمس	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.7-0.8	0.35-0.45	0.75-0.85
الدخان	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.2	0.9-1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
البندورة	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.95	0.6-0.65	0.75-0.9
البطيخ	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.05	0.8-0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
القمح	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25	0.8-0.9
الفصة	0.3-0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
الحمضيات						0.65-0.9
الزيتون						0.4-0.6

من الجداول 6-3 و 6-4، فإنه يظهر أن الأرز له المتطلبات المائية الأكبر من المحاصيل الزراعية الشائعة، ولا يشتمل التسرب العميق والجريان من أحواض الأرز. ويعتبر الأرز أحد المحاصيل الرئيسية في آسيا وفي مناطق أخرى من العالم، ومن حيث الحجم فإنه يحتمل أن يكون المستخدم المائي الرئيسي من جميع المحاصيل الزراعية. قصب السكر والفصة يمكن أن يكون لها متطلبات مائية مقابلة، ولكن المساحة العالمية المزروعة بقصب السكر والفصة هي أقل بكثير من تلك المزروعة بالأرز.

والجدول 6-5 يقدم الطول بالأيام بالنسبة لمراحل نمو المحصول الأربعة المبينة في الجدول 6-2. وتتباين تلك المراحل بشكل كبير في المدة، وتعتمد بشكل أساسي على الطقس وصنف المحصول. والقيم في الجدول 6-5 تم عرضها كدليل، ولكن أينما كان ذلك ممكناً، ومعلومات مراحل

نمو النبات المحلية يجب أن يتم إستخدامها بالنسبة للأصناف التي يتم زراعتها وذلك لأن طول فترات نمو المحصول تعتمد على الكثير من العوامل، ليس آخرها درجة حرارة الهواء وصافي الإشعاع الشمسي. وساعات الظواهر البيولوجية يتم في بعض الأحيان إستخدامها من قبل الباحثين لتكون مسؤولة عن الإختلافات في مدد فترة النمو بالنسبة لأنواع المحاصيل المختلفة. والجدول 6-6 (Doorenbos و Kassam 1977) يعتبر كامل بدرجة أكبر من الجدول 6-5 ويعطي طول موسم النمو، ووقت الزراعة، وأطوال مراحل تطور المحصول.

الجدول 6-5: الطول التقريبي لفترات النمو، بالأيام، بالنسبة لبعض المحاصيل السنوية (أنظر أيضاً الشكل 6-2).

المحصول	الأولية أ – ب	النمو السريع ب – ت	منتصف الموسم ت – ث	أخر الموسم ث - ج
الفاصولياء:خضراء	10-15	20-25	30-45	0-5
الفاصولياء:ناشفة	10-15	20-25	40-55	20-25
القطن	15-25	25-35	90-110	15-20
الفستق الأرضي	10-20	25-35	60-75	10-20
الذرة الصفراء (حبوب)	15-25	25-40	50-65	10-15
البصل: أخضر	10-25	25-30	30-40	0-5
البصل: ناشف	15-25	25-30	35-45	15-20
البطاطس	10-25	20-30	45-55	10-15
الأرز	25-45	40-60	35-50	10-20
العصفر	4-10	25	115	10
الذرة البيضاء	15-20	20-30	50-60	10-15
فول الصويا	10	30-40	55-75	10-15
شمندر السكر	25-35	25-35	50-80	40-50
قصب السكر	10-30	150-350	70-200	50-70
عباد الشمس	20	55	55	15
الدخان	40-60	50-70	25-40	15-35
البندورة	10	20-25	40-60	15-20
البطيخ	10-15	20-25	35-50	15-20
القمح - ربيعي	10-15	30-50	30-55	10-15

الجدول 6-6: فترات موسم النمو التقريبية ومراحل تطور المحصول بالنسبة لمحاصيل حقلية مختارة (أخذت من Doorenbos و Pruitt 1977).

نوع المحصول	طول موسم النمو ومراحل تطور المحصول
الخرشوف	Perennial, replanted every 4-7 years; example Coastal California with planting in April 40/40/250/30 and (360); subsequent crops with crop growth cutback to ground level in late spring each year at end of harvest or 20/40/220/30 and (310).
الشعير	Also wheat and oats; varies widely with variety; wheat Central India November planting 15/25/50/30 and (120); early spring sowing, semi-arid, 35°-45° latitudes and November planting Rep. Of Korea 20/25/60/30 and (135); wheat sown in July

in East African highlands at 2500 m altitude and Rep. Of Korea 15/30/65/40 and (150).	
February and March planting California desert and Mediterranean 20/30/30/10 and (90); August-September planting California desert, Egypt, Coastal Lebanon 15/25/25/10 and (75).	الفاصولياء (الخضراء)
Continental climates late spring planting 20/30/40/20 and Pulses (110);June planting Central California and West Pakistan 15/25/35/20 and (95); longer season varieties 15/25/50/20/ and (110).	الفاصوليا (ناشفة)
Spring planting Mediterranean 15/25/20/10 and (70); early spring planting Mediterranean climates and pre-cool season in desert climates 25/30/25/10 and (90).	الشمندر (المائدة)
Warm season of semi-arid to arid climates 20/30/30/20 and (100); for cool season up to 20/30/80/20 and (150); early spring planting Mediterranean 25/36/40/20 and (120); up to 30/40/60/20 and (150) for late winter planting.	الجزر
Semi-arid and arid climates, spring planting 25/40/65/50 and (180).	بذور زيت الخروع
Pre-cool season planting semi-arid 25/40/95/20 and (180); cool season 35/55/105/20 and (210); humid Mediterranean mid-season 25/40/45/15 and (125).	الكرفس
March planting Egypt, April-May planting Pakistan, September planting South Arabia 30/50/60/55 and (195); spring planting, machine harvested Texas 30/50/55/45/ and (180).	القطن
Wide range in length of season due to varietal differences; spring planting Mediterranean and continental climates 20/30/20/10 and (80); late winter planting Mediterranean 25/35/25/10 and (95); autumn planting Coastal Mediterranean 30/35/90/40 and (195).	العائلة الصليبية
June planting Egypt, August-October California desert 20/30/40/15 and (105); spring planting semi-arid and cool season arid climates, low desert 25/35/50/20 and (130).	الخيار
Warm winter desert climates 30/40/40/20 and (130); late spring-early summer planting Mediterranean 30/45/40/25 and (140).	الباذنجان
Spring planting cold winter climates 25/35/50/49 and (150); October-November planting warm winter climates; Pakistan and low deserts 25/35/65/40 and (165).	الكتان
Spring planting Mediterranean 20/30/60/40 and (150); October-November planting warm winter climates; Pakistan and low deserts 25/35/65/40 and (165).	الحبوب، الصغيرة
Spring planting in cold winter climates 20/30/60/40 and (150); pre-cool season planting warm winter climates 25/35/70/40 and (170).	العدس
Spring planting Mediterranean climates 20/30/15/10 and (75) and late winter planting 30/40/25/10 and (105); early cool season low desert climates from 25/35/30/10 and (100); late cool season planting, low deserts 35/50/45/10 and (140).	الذرة الصفراء (الحلوة)
Philippines, early March planting (late dry season) 20/20/30/10 and (80); late cool season planting desert climates 20/30/30/10 and (90); early cool season planting desert climates 20/30/50/10 and (110).	الذرة الصفراء (الحبوب)
Spring planting East African highlands 30/50/60/40 and (180); late cool season planting, warm desert climates 25/40/45/30 and (140); June planting sub-humid Nigeria, early October India 20/35/40/30 and (125); early April planting Southern Spain 30/40/50/30 and (150).	البطيخ
Late spring planting Mediterranean climates 25/35/40/20 and (120); mid-winter planting in low desert climates 30/45/65/20 and (160).	الدخن
June planting Pakistan 15/25/40/25 and (105); central plains U.S.A. spring planting 20/30/55/35 and (140).	الشوفان
Same as Barley.	البصل (الجاف)
Dry season planting West Africa 25/35/45/25 and (130); late spring planting Coastal plains of Lebanon and Israel 35/45/35/25 and (140).	الفستق الأرضي
Cool maritime climates early summer planting 15/25/35/15 and (90); Mediterranean early spring and warm winter desert climates planting 20/25/35/15 and (95); late winter Mediterranean planting 25/30/30/15 and (100).	البازيلاء
Fresh - Mediterranean early spring and continental early summer planting 30/35/40/20 and (125); cool coastal continental climates mid-spring planting 25/35/40/20 and (120); pre-warm winter planting desert climates 30/40/110/30 and (210).	الفلفل
Full planting warm winter desert climates 25/30/30/20 and (105); late winter planting arid and semi-arid climates and late spring-early summer planting	البطاطس الإيرلندية

continental climate 25/30/45/30 and (130); early-mid spring planting central Europe 30/35/50/30 and (145); slow emergence may increase length of initial period by 15 days during cold spring.	
Mediterranean early spring and continental summer planting 5/10/15/5 and (35); coastal Mediterranean late winter and warm winter desert climates planting 10/10/15/5 and (40).	الفجل
Central California early-mid spring planting 20/35/45/25 and (125) and late winter planting 25/35/55/30 and (145); warm winter desert climates 35/55/60/40 and (190).	العصفر (القرطم)
Warm season desert climates 20/30/40/30 and (120); mid-June planting Pakistan, May in mid-West USA and Mediterranean 20/35/40/30 and (125); early spring planting warm arid climates 20/35/45/30 and (130).	الذرة البيضاء (الرفيعة)
May planting Central USA 20/35/60/25 and (140); May-June planting California desert 20/30/60/25 and (135); Philippines late December planting, early dry season: 15/15/40/15 and (85); vegetables 15/15/30/0 and (60); early-mid June planting in Japan 20/25/75/30 and (150).	فول الصويا
Spring planting Mediterranean 20/20/15/5 and (60); September-October and late winter planting Mediterranean 20/20/25/5 and (70); warm winter desert climates 20/30/40/10 and (100).	الكوسا (شتوي) القرع
Late winter planting Mediterranean and warm winter desert climates 20/30/30/15 and (95); August planting California desert 20/35/30/25 and (110); early June planting maritime Europe 25/35/35/25/and (120).	الكوسا (الزوكيني)
Spring planting Mediterranean 25/35/25/15 and (100+); early summer Mediterranean and maritime Europe 20/30/25/15 and (90+); winter planting warm desert 25/35/25/15 and (100).	شمندر السكر
Coastal Lebanon, Mid-November planting 45/75/30/30 and (230); early summer planting 25/35/50/50 and (160); early spring planting Uruguay 30/45/60/45 and (180); late winter planting warm winter desert 35/60/70/40 and (205).	عباد الشمس
Spring planting Mediterranean 25/35/45/25 and (130); early summer planting California desert 20/35/45/25 and (125).	البندورة
Warm winter desert climates 30/40/40/25 and (135); and late autumn 35/45/70/30 and (180); spring planting Mediterranean climates 30/40/45/30 and (145).	القمح

ملاحظات: على سبيل المثال، فإن التسلسل 30/250/40/40 يدل على التطور المحصولي الأولي، والنمو السريع، ومراحل نمو المحصول في وسط وآخر الموسم بالأيام، على التوالي، والقيم التي في الأقواس مثل (360) يمثل فترة النمو الكلية من الزراعة إلى الحصاد، أيضاً بالأيام.

الوحدة السابعة

جدولة الري

1-7 المقدمة

تعتمد كمية مياه الري التي يجب أن يتم إضافتها وتوقيتها الإضافات على عدة عوامل. أولاً وقبل كل شيء، يجب أن يكون الماء متوفراً بشكل مستمر في منطقة جذور النبات. والتهوية الكافية تعبر أيضاً مطلوبة. وهكذا، فإن كمية الماء المطلوبة والتوقيت أو تكرار الإضافات تتأثر بعمق جذر النبات، وقدرة الإحتفاظ بماء التربة، ومعدل إستهلاك النبات للماء، والهطول المطري، وطريقة الري، وبعض إعتبارات الإدارة. والهدف عادة هو تعظيم الربح، والتي ربما تنتج من بعض مستوى عجز ماء الري. وإذا كان الماء مرتفع الثمن، والري من أجل مستوى نواتج محصولية أقل من الحد الأقصى ربما يزيد الأرباح. والتوفيرات في النفقات المتعلقة بالماء ربما تتعدى قيمة الإنخفاض في إنتاج المحصول.

وعندما يكون الري متكرر (كل يوم أو يومين)، فإن عمق جذور النبات وقدرة الإحتفاظ بماء التربة لا تعتبران مناسبتان على الأغلب لحسابات عمق الإضافة. وفي هذه الحالة، فإن إضافة الماء في العادة إلى حد أن المتطلبات المائية اليومية يتم تلبيتها. بمعنى، أن قدرة التربة على تخزين الماء في منطقة الجذور لا يتم الإعتماد عليها وأن محتوى ماء التربة يتم المحافظة عليه عند أو بالقرب من السعة الحقلية، FC في جميع الأوقات. وهذا النوع من جدولة الري يمكن أن يتم تحقيقة بسهولة كبيرة مع الأتمتة والنظم المضغوطة مثل الري بالمحاور المركزية والتنقيط.

في حالات أخرى، فإنه يتم السماح للمحتوى المائي للتربة بأن يقل تحت السعة الحقلية، ولكن فقط إلى النقطة التي لا تساوم على إنتاج المحصول بشكل كبير. وعندما يتم الوصول إلى هذا الحد الأدنى المسموح به من محتوى ماء التربة، فإن الوقت يحين بأن تتطلع إلى المطر أو إضافة ماء الري. والكثير من طرق الري تم تصميمها وتشغيلها لتغتنم فرصة قدرة تخزين ماء التربة هذه لتقليل عدد الريات في الموسم، ومن أجل زيادة كفاءة الإضافة بواسطة إضافة إعماق أكبر من الماء في الريّة.

وهكذا، فإن الماء من المطر و/أو الري يجب أن يحل مكان ماء التربة الذي يتم إستهلاكه بواسطة المحاصيل. والكمية المطلوبة يجب أن تسمح بالتناسق وكفاءة الإضافة و بالنسبة لأي متطلبات لغسيل التربة. والأوقات المثلى للري تعتمد على عوامل كثيرة تشتمل ما يلي:

1. عمق الجذر الفعال للمحصول؛
2. مقدرة التربة على الإحتفاظ بالماء؛
3. معدل إستعمال المحصول للماء؛
4. حساسية المحصول للجهد المائي (عجز الماء)؛
5. نوعية ماء الري ومقاومة المحصول للملوحة؛
6. نوع نظام الري وطاقة معدل الجريان (التدفق)؛ و
7. المصدر المائي وجدولة التوصيل إلى الحقل.

2-7 إستنزاف الماء المسموح به

في العام 1984 قام كل من Doneen و Westcot بإعداد جدول لأعماق جذور محاصيل مروية مثمرة (ناضجة) تنمو في ترب عميقة ومنفذة وجيدة التهوية. وهذا الجدول يعتبر كاملاً إلى حد ما ويعطي توضيحات كبيرة فيما يتعلق بالتباينات في عمق الجذور. والجدول الذي تم إعداده بواسطة Doneen و Westcot يتم عرضه هنا في جدول 7-1. ويتم إفتراض أن عمق الجذر بالنسبة للمحاصيل الموسمية (السنوية) يكون فقط عدة سنتيميترات عند ظهور النبات. وبالنسبة لجدولة الري، وتم عمل الإفتراض بحيث أن عمق الجذر يزداد بصورة خطية مع الزمن.

والماء في التربة الذي يتعدى نقطة الذبول الدائم، PWP، وحتى السعة الحقلية، يعتبر هو الماء المتاح لنمو النبات. ومعظم المحاصيل تذبل عند تقريباً نفس قيمة شد ماء التربة. ومن حيث محتوى ماء التربة، فإن معدل نقطة الذبول الدائم هي تقريباً 50% من السعة الحقلية؛ ومعدل ماء التربة المتاح هو بناء على ذلك نصف السعة الحقلية. وبالنسبة لمعظم الترب الرملية، فإن الماء المتاح، AW، يتعدى 50% من السعة الحقلية وبالنسبة لمعظم الترب الطينية فإن الماء المتاح يكون أقل من 50% من السعة الحقلية.

وعندما يقوم المحصول باستنزاف ماء التربة المتاح، فإن معدل النمو ومعدل إستعمال الماء يقل. الجدول 7-2 يعطي نسب إستنزاف الماء المتاح المسموح به بين الريات بالنسبة للناتج المحصولي القريب من الحد الأقصى. وتتأثر تلك النسب إلى درجة كبيرة بنسيج التربة كما سيتم عرضه تحت الجزء 7-3. وممارسة الري الإعتيادية هي أن يتم وضع أو ضبط الوقت ما بين الريات من أجل الإستفادة من الماء المتاح بنسبة لا تتعدى 50%. بالنسبة لمعظم الخضروات والبطاطس، فإن الإستنزاف المسموح به يجب أن يكون أقل من 50% إلى حد كبير، ولكن بالنسبة لبعض المحاصيل، فإن إستنزاف أكبر من 50% يعمل على الحصول على نواتج محصولية تقارب الحد الأقصى.

وإذا كان معدل ماء التربة المتاح يساوي 50% من السعة الحقلية وأن الإستنزاف المسموح به يساوي 50% من الماء المتاح، فحينها فإن معدل جدولة الري يجب أن يزود الماء على 0.5 x 50% = 25% إستنزاف من السعة الحقلية. والجدول 7-3 من قبل Hargreaves و Samani (1991) يقدم إختلافات في نسب الإستنزاف تلك كدالة لمعدل البخرنتح المحصولي (ET_c) وعمق الجذر المحصولي. وكما تم الإشارة إليه في الجدول 7-2، فإن هناك تباين كبير في إستنزاف ماء التربة المسموح به والذي يتأثر بعوامل غير العمق الجذري. ويجب أن يتم، بناء على ذلك، إستعمال الجدول 7-3 فقط كمرشد تقريبي.

الجدول 7-1: العمق الجذري لمحاصيل مروية ومثمرة تنمو في تربة عميقة وذات نفاذية وجيدة التهوية.

الجذور السطحية (صفر-0.6 متر)		الجذور المتوسطة (0.5-1.2 متر)		الجذور العميقة (1.0- 2.0 متر)	
البروكولي (القرنبيط)	0.6-0.3	الموز	0.9-0.5	الفصة	2.0-1.0
براعم بروكسل	0.6-0.3	الفاصولياء[3]	0.7-0.5	اللوز	2.5-1.5
الملفوف	0.5-0.4	الشمندر (المائدة)	1.0-0.6	الهليون	3.0-1.5
الزهرة	0.6-0.3	الشمام[4]	1.5-0.9	الشعير (شتوي)[6]	1.5-1.0
الكرفس	0.5-0.3	الجزر	1.0-0.5	زيت بذور الخروع[8]	2.5-1.5
الخس[1]	0.5-0.3	الحمضيات[5]	1.5-1.2	القطن	1.7-1.0
البصل[2]	0.5-0.3	البرسيم	0.9-0.6	التمور	2.5-1.5
الأناناس	0.6-0.3	الخيار	1.2-0.7	الكتان	1.5-1.0
البطاطا[1]	0.6-0.4	الباذنجان	1.2-0.7	أشجار الفاكهة	2.0-1.0
الفجل	0.6-0.3	الحبوب (الصغيرة)[6]	1.5-0.6	الحبوب (شتوي)[6]	2.0-1.5

السبانخ	0.5-0.3	العشب (المراعي)[7]	1.5-0.5	العنب	2.0-1.0
الفراولة	0.3-0.2	الفستق الأرضي	1.0-0.5	الذرة الصفراء (الذرة)	1.7-1.0
		أشجار النخيل	1.1-0.7	الزيتون	1.7-1.2
		الجزر الأبيض	1.1-0.7	القرع	2.2-1.5
		البازيلاء	1.0-0.6	العصفر (القرطم)	2.0-1.0
		الفلفل	1.0-0.5	الذرة البيضاء[9]	2.0-1.0
		فول الصويا	1.3-0.6	الكوسا (شتوي)	2.2-1.5
		الكوسا	1.0-0.5	قصب السكر	2.0-1.2
		شمندر السكر[9]	1.2-0.7	عباد الشمس	1.5-0.8
		الدخان	1.0-0.5	البطاطا الحلوة	1.5-1.0
		اللفت	1.1-0.7	البندورة	1.5-0.7
				الجوز	3.0-1.5
				البطيخ	1.5-1.0
				القمح[6]	1.5-1.0

[1] لا الخس ولا البطاطا تقوم بتطوير نظم جذرية كثيفة. وبعض الجذور ربما تقوم بالتخلل لعمق أكبر من0.5-0.6 متر، ولكن تحت هذا العمق فإن تجمع الجذور يعتبر صغيراً نسبياً.

[2] البصل لديه جذور سطحية جداً. ويعتبر في العادة من الضروري أن يتم الإحتفاظ بماء تربة كافي في أعلى 0.2 متر أو أكثر قليلاً من أجل الحصول على أقصى ناتج محصولي.

[3] معظم أنواع الفاصولياء العشبية لا تعمل على تطوير نظم جذرية كثيفة. على الرغم من أن بعض الأنواع (مثل الفاصولياء) التي تعمل على تطوير نظم جذرية أفضل حتى عمق 1.2 متر أو أكثر.

[4] جذور الشمام يمكن أن تصل إلى عمق حتى 1.8 متر، ولكن يتم الحصول على معظم الماء من أعلى 1 متر من منطقة الجذور.

[5] معظم جذور الحضيات هي في أعلى 0.9 متر من التربة، مع فقط القليل يمتد للأسفل إلى أقصى عمق وهو حوالي 1.5 متر.

[6] معظم أنواع الحبوب لها جذور تمتد إلى عمق 1.2 متر بعد *نقطة البداية*، ولكن يمكنها الوصول للماء إلى عمق حتى 1.7 متر خلال الإنضاج.

[7] الأعشاب لها أعماق جذر مختلفة، مع بعضها يكون أقل من 1.2 متر وأخرى تكون سطحية جداً.

[8] بذور زيت الخروع، عندما يتم زراعتها على أنها محصول موسمي، لا تعمل على تطوير نظم جذرية كثيفة.

[9] الذرة الصفراء (الذرة)، الذرة البيضاء (ذرة المكانس)، وشمندر السكر تعمل على تطوير نظم جذرية رديئة خلال الجزء الأول من فترة النمو، ولكن لاحقاً تعمل على تطوير جذور ذات صلابة أكبر.

الجدول 7-2: إستنزاف منطقة الجذور المسموح به بين الريّات من أجل الناتج المحصولي القريب من الحد الأقصى (على غرار Stegman، و Musik، و Stewart 1980).

المحصول	إستنزاف الماء المتاح (%)	عمق منطقة الجذور في الترب العميقة (متر)
الفصة	50-30	1.80-1.20
الفاصولياء (الجافة)	70-50	0.90-0.60
الذرة الصفراء (الذرة)	60-40	1.5-0.75
القطن	65-50	1.20-0.9
الثمار المتساقطة الأوراق	70-50	1.80-1.20
البطاطاس	50-25	0.90-0.60
شمندر السكر	60-30	1.2-0.90
حبوب الذرة البيضاء	70-50	1.2-0.90
فول الصويا	60-50	0.90-0.60

القمح	70-50	1.20-0.90
المحاصيل الخضرية	50-25	1.20-0.60

الجدول 7-3: إقتراح لإستنزاف ماء تربة مسموح به بالنسبة المؤية من السعة الحقلية.

عمق جذور النبات	البخرنتح المحصولي ET_c (مليميتر/يوم)				
	2	4	6	8	10
السطحية (0.2-0.6 متر)	25	20	17	14	10
المتوسطة (0.5-1.2 متر)	35	30	25	20	15
العميقة (1.0-2.0 متر)	40	35	30	25	20

والجداول 7-4 و 7-5 هما من Doorenbos و Kassam (1979). والجدول 7-4 يقسم المحاصيل إلى أربعة مجموعات يتم فيها إعتبار كل من العمق الجذري و مقاومة الجفاف. ونسبة إستنزاف ماء التربة (P) في الجدول 7-5 هي إستنزاف الماء المتاح (AW).

الجدول 7-4: مجموعات المحاصيل حسب إستنزاف ماء التربة.

المجموعة	المحاصيل
1	البصل، الفلفل، والبطاطا
2	الموز، والملفوف، والعنب، والبازيلاء، والبندورة
3	الفصة، الفاصولياءن الحمضيات، الفستق الأرضي، الأناناس، عباد الشمس، البطيخ، القمح.
4	القطن، الذرة الصفراء، الزيتون، العصفر، الذرة البيضاء (ذرة المكانس)، فول الصويا، شمندر السكر، قصب السكر، والدخان.

الجدول 7-5: نسبة إستنزاف ماء التربة، P، حسب مجموعة المحصول وأقصى بخرنتح (ET_m).

مجموعة المحصول	أقصى بخرنتح (ET_m) بالمليميتر/يوم								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.50	0.43	0.35	0.30	0.25	0.23	0.20	0.20	0.18
2	0.68	0.58	0.48	0.40	0.35	0.33	0.28	0.25	0.23
3	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.43	0.38	0.35	0.30
4	0.88	0.80	0.70	0.60	0.55	0.45	0.45	0.43	0.40

3-7 مراقبة ماء التربة

حسابات البخرنتح المحصولي المرجعي وإستخدام المعاملات المحصولية تعطي تقريب لإستعمال المحصول المائي. من ناحية أخرى، فإن السعة الحقلية تعطي مؤشراً للكمية التقريبية للماء المتاح في منطقة جذور النبات. والإستعمال المائي الحقيقي بواسطة المحصول يتأثر بمرحلة النمو، ونوع المحصول، وجميع العوامل التي تؤثر على نشاط النبات ومعدل نموه. ومن أجل تلك الأسباب، فإنه من المستحب أن يتم مراقبة الوضع المائي الحقلي.

وفي عام 1979 قام كل من Hansen وآخرون، و Doneen و Westcot (1984) و Hargreaves و Samani (1991) بنشر جداول تبيّن كم كمية الماء التي يمكن أن يتم إضافتها لتوصيل التربة إلى السعة الحقلية. ويتم الضغط على حفنة من التربة بشكل قوي لنرى فيما إذا تشكل شريط بين الأصابع. والجدول 7-6 يمكن أن يتم إستخدامه للإشارة إلى متى كان قد تم إستنزاف 25 إلى 50% من ماء التربة المتاح. والقيم التي أسفل الوصف هي عبارة عن عمق الماء بالمليمتر لكل متر عمق تربة التي تعتبر مطلوبة لتوصيل التربة إلى سعتها الحقلية. والحكم المستند إلى إحساس ومظهر التربة يتم تحسينة من خلال الخبرة، وخصوصاً عندما تقترن مع الطرق الأخرى من مراقبة ماء التربة.

جدول 7-6: دليل من أجل أخذ القرار في متى يكون قد تم إستنزاف 25 إلى 50% من الماء المتاح، وعمق الماء المطلوب لتوصيل التربة إلى السعة الحقلية.

المخلوطة الرملية	الرملية المخلوطة	المخلوطة والطمية المخلوطة	الطينية المخلوطة/الطمية الطينية
جافة المظهر، وسوف لن تشكل كرة مع الضغط	تميل لأن تتكوّر ولكن نادراً ما تتماسك مع بعضها	تشكل كرات بلاستيكية، وفي بعض الأحيان لزجة لدرجة خفيفة	تشكل كرة (تتكوّر) عندما يتم ضغطها بين الأصبع والإبهام
17 – 42 ملم/م	33 – 67 ملم/م	42 – 83 ملم/م	50 – 100 ملم/م

شد ماء التربة يحدد، في جزء، توفر الماء لجذور النبات. وعلاقة الشد مع إستنزاف الماء المتاح يختلف مع نسيج التربة. الشكل 7-1 يشير إلى التباينات النموذجية لإستنزاف الماء المتاح مع نسائج تربة مختلفة. والمنحنيات في الشكل 7-1 يتم تطويرها عادة باستخدام أجهزة مخبرية تسمى "صفيحة ضغط"، والتي تستخدم لتكوين مستويات مختلفة من الضغط السالب على عينات التربة، ولكن يمكن أن يتم تحديدها بشكل جزئي باستخدام التنشيوميتر (جهاز قياس الشد الرطوبي). ويمكن إيجاد صفائح الضغط بشكل شائع في مختبرات التحليل.

وتعتبر التنشيوميترات مفيدة جداً لمراقبة ماء التربة وكذلك لجدولة الريات. وفي الشكل 7-1، فإن شد ماء التربة يظهر بالضغط الجوي، بينما شد ماء التربة يعني الضغط السالب (بالنسبة للضغط الجوي). وكما يدل الأسم، فإن التنشيوميتر يقيس الشد على عمود من الماء. وتزداد القراءة بمقدار 1 سنتيبار لكل 10 سم عمود ماء. وإذا كانت القمة الفخارية على عمق 1 متر، فإن 10 سنتيبار يجب أن يتم طرحها من القراءة ليتم الحصول على شد ماء التربة.

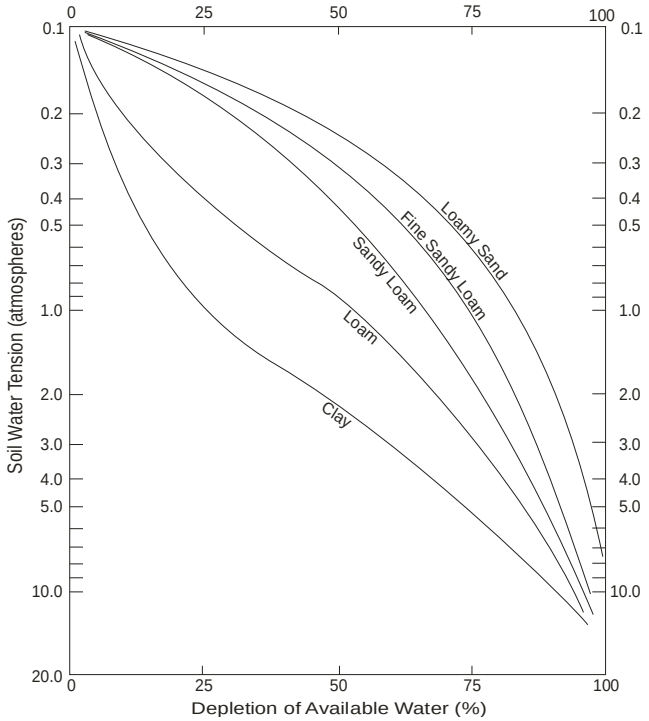
والتنشيوميترات تقيس شد رطوبة التربة بالسنتيبار من صفر إلى 80-85. والإستفادة من التنشيوميترات تعتبر محدودة في الترب ذات النسيج الثقيل والمحاصيل التي لا يتم ريها بشكل متكرر وذلك لأن التنشيوميترات سوف "تكسر الشد" ما بين 80 و 85 سنتيبار، أو 0.80 و 0.85 ضغط جوي من شد رطوبة التربة. التنشيوميترات لا تقرأ شد رطوبة التربة بعد هذا المدى.

الجدول 7-7 هو عبارة عن تعميم لأهمية قراءات التنشيوميتر. وتفحّص الشكل 7-1 يشير إلى أن الجدول 7-7 يتم تطبيقة بشكل أساسي على الترب ذات النسيج المتوسط إلى الناعم.

جدول 7-7: مديات شد رطوبة التربة وأهميتها.

الشد (السنتيبار)	الأهمية
0 - 5	تعتبر التربة رطبة جداً بالنسبة لمعظم المحاصيل (ما عدا الأرز، على سبيل

	المثال)
25-10	ظروف الماء والتهوية مثالية لمعظم المحاصيل (ليس هناك حاجة للري)
40-25	ماء كافي لمعظم المحاصيل ما عدا المحاصيل ذات الجذور السطحية والترب ذات النسيج الخشن (ليس هناك حاجة للري)
50-40	ماء كافي للمحاصيل ذات الجذور المتوسطة التي تنمو في ترب متوسطة القوام (ليس هناك حاجة للري)
70-50	ماء كافي لمعظم المحاصيل ذات الجذور العميقة (ليس هناك حاجة للري)
80-70	الري يوصى به عموماً عند مدى الشد الرطوبي هذا بالنسبة تقريباً لجميع ظروف الترب والمحاصيل
80 <	الري مطلوب إلا إذا كان من المستحب أن يتم إجهاد المحصول



الشكل 7-1: منحنيات الإحتفاظ بالماء المثالية بالنسبة لعدد من نسائج التربة.

بالنسبة للترب ذات النسيج الناعم فإن مكعبات الجبص كان قد تم إستخدامها لقياس شد رطوبة التربة في المدى من 80 إلى 100 سنتيبار. وفي العام 1990 قام Pogue باقتراح إستخدام مؤشر الماء، مجس ماء التربة من أجل دمج العوامل التي تشجع كل من التنشيوميترات ومكعبات الجبص. وتلك المجسات توصف بأنها رخيصة الثمن، مستقرة مع مرور الوقت، ولا تتطلب معايرة فردية. وكان قد تم إستخدام طرق مراقبة أخرى متنوعة. وتلك الطرق تشتمل على: أخذ عينات ماء التربة، طريقة المجس النيوتروني، قراءات مقياس الحرارة ذات الأشعة تحت الحمراء، لون المحصول ومظهره، ومعدل نمو الأوراق.

وقيم السنتيبار في الجدول 7-8 هي من Marsh (1981) ويوصى باستعمالها مع طرق الري ذات التغطية الكاملة مثل الري بالغمر والرشاشات. وتعتبر القيم مثالية بالنسبة للترب ذات

النسيج المتوسط؛ والترب ذات النسيج الخشن ربما تتطلب ري أكثر تكراراً. الشكل 7-1 يشير إلى أنه بالنسبة للتربة الطينية فإن شد رطوبي يساوي 70 سنتيبار (0.70 ضغط جوي) تتوافق مع إستنزاف ماء تربة بحوالي 20% من الماء المتاح. ومن ناحية أخرى، بالنسبة لتربة مخلوطة رملية فإن شد رطوبي بقيمة 70 سنتيبار يتوافق مع 75% إستنزاف.

جدول 7-8: قراءة التنشيوميتر من أجل أخذ القرار بمتى يتم الري (على غرار Marsh 1981).

المحصول	شد ماء التربة (سنتيبار)
أشجار الفاكهة متساقطة الأوراق	80-70
الحمضيات	70-50
الأفوكادو	50-40
البندورة	70-60
الخس	50-40
الفراولة	35-25
الكرفس	30-20
البطيخ والجزر	60-50
العشب	30-20

7-4 جدولة الريّات

يوجد هناك عدة طرق من أجل أخذ القرار بمتى يتم الري و كم كمية الماء التي يجب أن يتم إضافتها. والكثير من المزارعين يستخدمون تكرار الري بالإستناد إلى الخبرة السابقة، وفي العادة إلى حد ما فإن ماء أكثر يتم إضافته عن ذلك المطلوب لتوصيل محتوى ماء التربة إلى السعة الحقلية. وإذا توفر الماء بطريقة الدور أو الدورات، فإن تكرار توفر الماء ربما يحدد الجدولة. وعندما يتوفر الماء حسب الطلب، فإن بعض أشكال مراقبة حالات ماء التربة يمكن أن يتم إستخدامها لتحديد متى يتم الري. وكمية الماء التي يتم إستنزافها من منطقة جذور النبات تعطي دليل على عمق الري الذي يجب أن يتم إضافته.

وطريقة الميزاينة المائية لجدولة الري تتطلب تقديرات البخرنتح المحصولي اليومي أو بالنسبة لفترات زمنية مناسبة أخرى. وهذه الوسيلة تتطلب معرفة بـ أو تقدير لكمية الماء المتاح من المطر و/أو مستوى الماء الأرضي السطحي. وفي بعض الحالات فإن بعض التزويدات يمكن أن يتم المساهمة بها بواسطة الضباب أو الندى. والكمية المطلوبة والتي لا يتم تزويدها بواسطة تلك المصادر يجب أن يتم إضافتها بواسطة الري. والريّات يتم جدولتها من تقديرات ما يلي:

1. البخرنتح المحصولي؛
2. السعة الحقلية للتربة؛
3. إستنزاف ماء التربة المسموح به؛
4. عمق جذر النبات الفعّال؛
5. متطلبات الغسيل؛ و
6. البدائل التي تتطلب القيام بها من أجل تناسق وفعالية إضافات ماء الري.

وبالنسبة لمعظم طرق الري، فإن الكفاءات ما بين 75 إلى 85% تعتبر ممكنة الحصول عليها. على الرغم من أن الكفاءات في الترتيب 55 إلى 65% تعتبر نموذجية على مستوى الحقل. وكفاءات إضافة الماء على مستوى المزرعة (من حقل واحدة إلى عدة حقول) ومستوى المشروع (دستات أو دزينات إلى مئات من الحقول) تميل لأن تكون أعلى نتيجة لإعادة إستعمال الماء ضمن المساحة المروية. بصيغة أخرى، فإن عدم الكفاءة في إضافة الماء على الحقول المفردة لا تعتبر تلك سبب للإهتمام عندما يتم ترجمة "فواقد" الماء إلى ماء إضافي متوفر في أسفل المجرى المائي للحقول. وإضافة لذلك، فإن بعض الفواقد في صورة تسرب عميق (تحرك الماء إلى أسفل تحت منطقة جذور النبات) تعتبر مقبولة عندما يتم الحاجة إلى الغسيل للمحافظة على توازن أملاح ملائم. على الرغم من، أنه حتى إذا كانت كفاءات الحقل تعطي الماء للمواقع في أسفل المجرى المائي، فإنه في العادة يرتبط بالتخفيض الإضافي في نوعية الماء. وهذا يعني كون جميع الأشياء متساوية، فإنه من الأفضل أن يتم توصيل الماء للحقول المفردة من خلال نظام نقل وتوزيع (قنوات و/أو أنابيب) عنها من خلال الجريان السطحي أو التسرب العميق من الحقول في أعلى المجرى المائي للحقول. على الرغم من أن الماء يتم إضافته أحياناً فيما يزيد على متطلبات الري بالنسبة للغسيل أو من أجل إعادة شحن أو حقن أحواض المياه الجوفية.

5-7 ري الأرز

يعتبر الأرز هو الغذاء الأساسي في غذاء أكثر من نصف سكان العالم، وأكثر من 90% من إنتاج الأرز العالمي هو في آسيا. ويمكن أن يتطلب 1 هكتار من الأرز إلى 1000 ساعة من العمالة اليدوية في الكثير من المناطق، وأن المكننة في الكثير من أكثر المناطق إنتاجاً للأرز ما زالت تعتبر منخفضة. والأرز يتطلب درجات حرارة مرتفعة نسبياً خلال موسم النمو من 3 إلى 5 أشهر، وأن النمو يتأثر بحرارة الماء، ومعدل درجة حرارة الهواء، ومدى درجة الحرارة اليومي. ويعتبر الأرز أحد محاصيل الحبوب الرئيسية في العالم، وأنه يعتبر من المهم أن يتم ملاحظة أن إنتاج الحبوب لكل فرد إنخفض بنسبة 9.5% خلال السنوات من 1984 إلى 1996 (Brown وآخرون 1997).

ومن ناحية الري، فإن أحد الخصائص المهمة حول معظم أنواع الأرز هي أنه في الأغلب ينمو بشكل أفضل تحت ظروف التربة المشبعة، مع العديد من السنتيميترات من الماء المتبرّك المحافظ عليه فوق سطح التربة. في الواقع، فإن المطر المتكرر و/أو الري يمكن أن يوفر ظروف التربة المشبعة من دون تبريك الماء فوق سطح الأرض، وفي الكثير من الحالات فإن الماء المستقر يتم المحافظة عليه في حقول الأرز من أجل الهدف الوحيد وهو ضبط نمو الأعشاب. معظم الأرز المروي يتم زراعته على ترب طينية ثقيلة أو على ترب ترتكز على طبقة صماء أو تربة تحتية غير منفّذة نسبياً. والترب الملحية والقاعدية (القلوية) في العادة لا تعتبر مناسبة لإنتاج الأرز. ويتم زراعته بشكل متكرر في مناطق الأراضي المنخفضة والتي يتجاوز فيها الهطول المطري البخرنتح المحصولي خلال ثلاثة أشهر أو أكثر من موسم النمو.

البخرنتح المحصولي للأرز في منتصف الموسم هو في العادة ما بين 1.1 و 1.3 ضعف البخرنتح المرجعي للعشب. وطالما أن الأرز ينمو في "المياه العميقة" والتي فيها يحدث الفيضان السنوي في العادة، وأن معدل نمو ساق الأرز (لغاية تقريباً 50 سم في اليوم) له المقدرة على المحافظة على خطى النمو مع إرتفاع سطح الماء خلال الفيضان. والأرز الذي ينمو في الماء العميق دائماً يستفيد من الفيضان الطبيعي، وبذلك لا يكون هناك ري في هذه الحالة.

وتعتمد المتطلبات المائية للأرز بشكل كبير على معدل تخلل الماء من خلال التربة منها على البخرنتح المحصولي. ويجب أن يتم تسوية سطوح الحقل أو تنعيمها بحيث يتم المحافظة على عمق ماء سطحي ومتساوي. والعمق المرغوب فيه بشكل أكبر من أجل الساق القصير النامي هو من 5-10 سم. والسواتر الكنتورية أو المساحات المستطيلة يتم إستخدامها بشكل متكرر في إنتاج الأرز. والأرض الموجودة بين الحدود ربما يتم تسويتها أو تدريجها مع فرق في الأرتفاع لا يكون أكثر من 5 سم. ويتم ترتيب نظام الري بحيث أن الماء يتحرك باتجاه أسفل الميل أو أسفل جانب الجبل من أحد الحدود إلى الجانب الأخفض. وإجراءات الصرف تعتبر مطلوبة من أجل التهوية الدورية، ومن أجل التحكم في الأمراض، وكذلك من أجل الحصاد. وفي بعض المناطق، فإن الأرض ما بين الحدود هي مستوية وأن الري بالأتلام المستوية لمحاصيل أخرى يتم إستخدامها خلال الموسم الجاف.

وفي العادة يتم زراعة الأرز بأحد طرق ثلاثة. وقد تكون الطريقة الأكثر شيوعاً هي بواسطة زراعة البادرات في مستنبتات أو مشاتل صغيرة، ومن ثم تشتيلها في مناطق حقلية مفتوحة. والثانية بواسطة الحفر، والتي تعتبر شائعة بالنسبة لأرز المناطق المرتفعة، والثالثة هي بنثر البذور. والحفر يمكن أن يتم القيام به باليد مع عصا أو أية أداة يدوية أخرى، أو بواسطة معدة كبيرة على تراكتور. والنواتج المحصولية الإعتيادية للأرز هي ما بين 4 إلى 6 طن متري لكل هكتار، ولكن بعض المناطق كانت قد أنتجت معدل نواتج محصولية يتجاوز 8 طن لكل هكتار، ولكن النواتج المحصولية المرتفعة تتطلب مستويات كافية من السماد، بما في ذلك 100-200 كيلوغرام من النيتروجين لكل هكتار، والقضاء الجيد على الأعشاب والحشرات (Brown وآخرون 1996).

الوحدة الثامنة

الصرف

1-8 المقدمة

جذور النباتات تتطلب كل من الماء والهواء، ووجود الهواء في منطقة الجذور يعتبر ضرورياً مثل وجود الماء بالنسبة لإنبات البذور ونمو النبات. وسوف يقوم المزارعين بزرعة (أو حراثة) حقولهم بشكل متكرر، حتى في غياب نموات الإعشاب الكثيرة، وذلك لأنهم يفهموا أن منطقة جذور النبات يجب أن تكون ذات تهوية كافية من أجل دعم نمو النبات. والصرف الملائم هو عبارة عن إزالة الماء الزائد والأملاح من التربة بالمعدل الذي سوف يسمح بنمو وتطور النبات الطبيعي أو القريب من المستوى الأمثل. ومع التوفر الكافي للهواء في التربة، ضمن مدى ظروف رطوبة التربة المفضلة، فإن تنفس النبات يزداد بشكل أسّي مع درجة الحرارة. والتأثيرات الضارة للصرف الرديء، لذلك، تزداد مع زيادة الحرارة.

ما هي أملاح ماء التربة؟

معظم نقاشات أملاح ماء التربة تشير بشكل عام إلى المعادن الذائبة في الماء. وهذه تشتمل عموماً على مركبات الكالسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والصوديوم، والكلورايد، والكبريتات، والكاربونات، والبايكاربونات، والنيترات. وجميع ماء التربة لديه بعض المعادن الذائبة، وعند مستويات التراكيز العالية فإنها تكون ضارة لنمو النبات. ويوجد هناك مدى واسع من مقاومة المحاصيل للأملاح؛ بعض المحاصيل تعتبر مقاومة جداً لمستوى تراكيز أملاح ماء التربة المرتفع، ووأخرى تعتبر حساسة جداً. ومشاكل أملاح ماء التربة تعتبر عادة سيئة في المناطق الجافة وشبه الجافة وذلك بسبب الغسيل الأقل من الأمطار.

والصرف ربما يكون إما طبيعياً أو إصطناعياً. ومعظم الأراضي لديها صرف سطحي وتحت سطحي طبيعي. وبينما لا يعمل الصرف الطبيعي على إزالة الماء و/أو الأملاح بمعدلات كافية أو بكميات كافية، فإن قنوات الصرف تحتاج لأن يتم وضعها أو إنشاؤها عميقاً. الري زائد الهطول المطري يجب أن يكون كافياً ليقوم بتزويد التسرب العميق وذلك للحفاظ على منطقة الجذور خالية من المياه الزائدة وتمنع تراكم الكميات الضارة من الأملاح. وإذا كانت قدرة الصرف الطبيعي للتربة كافية، فإن تصميم نظام يعطي صرف ملائم يجب أن يأخذ في الإعتبار العمق والمسافة ما بين المصارف لكي يحافظ على مستوى الماء الأرضي عند عمق كافي تحت السطح. والصرف لا يعتبر علم مضبوط – على الرغم من أن معايير تصميمية مختلفة تعتبر مفيدة، وتصميم نظم الصرف يبقى إلى حد ما مسألة خبرة.

2-8 فوائد الصرف

في الترب المشبعة فإن نقص الأوكسجين يمنع تكوين الأشكال المفيدة من النيتروجين والكبريت كنتيجة للنمو المحدود للبكتيريا الهوائية، مما ينتج عنه إنتاج محصولي أقل من المستوى الأمثل. والصرف الرديء أيضاً يؤثر عكسياً على العمليات الزراعية والحصاد. والفوائد من الصرف تشمل: موسم نمو أطول، وحراثة تربة أفضل، ونمو نبات مبكّر، وناتج محصولي مرتفع، وإختيارات محاصيل أفضل، وإنتاج محصولي أكثر ربحية، وتحسين الوصول والنقل الحقلي.

يعمل الصرف على تشجيع التدفئة المبكرة للتربة في الربيع. والترب التي تعتبر مبتلة جداً ربما تكون أبرد بحوالي 4-8 درجات مئوية من الترب ذات التصريف الجيد. وهكذا، فإن الترب ذات التهوية الجيدة ربما يتم زراعتها مبكراً بأسبوعين إلى ثلاثة أسابيع. والترب التي تعتبر رطبة بشكل كبير أيضاً تعمل على تشجيع نمو مسببات الأمراض النباتية المختلفة. ومستوى الماء الأرضي يعمل على إيجاد ظروف والتي فيها حركة الماء بالخاصية الشعرية إلى أعلى يمكن أن تنقل الأملاح إلى منطقة الجذور أو تعمل على ترسيبها على سطح التربة.

وكما تم الإشارة إليه في الوحدة الثانية، فإن تشبيع سطح التربة لعدة أيام قليلة من إما الري أو المطر الزائد يعمل بشكل كبير على تقليل النواتج المحصولية لمعظم المحاصيل. وبعض الدراسات تشير إلى معدل نقصان في ناتج محصولي بنسبة 10% لكل يوم غمر بالماء، وأن فترة التشبّع تعتبر أكبر في الترب ذات النسيج الثقيل أو الناعم. ونقص النواتج المحصولية يزداد مع درجة الحرارة. وعند درجات الحرارة المرتفعة فإن نقص التهوية يعمل على زيادة الإجهاد المائي، وأن نقص النواتج المحصولية تعتبر حتى أكبر إذا حدث هذا خلال مراحل النمو الحرجة أو الحساسة. وفي العام 1992 أشارت أبحاث Gupta وآخرون إلى معدل نقص ناتج محصولي بنسبة 50% من ستة أيام غمر. وهذا يشير بشكل واضح إلى الحاجة إلى تقييم إحتمالات كميات وفترات الهطول المطري الزائد عن المتطلبات المائية للمحصول.

3-8 الصرف السطحي

يعتبر معظم الري إلى حد ما مكمّلاً للهطول المطري. والصرف السطحي ربما يكون مطلوباً من أجل إزالة المطر الزائد أو ماء الري الزائد من سطح الأرض. والتحكم في الماء السطحي يتم إنجازه بشكل طبيعي بواسطة عمل أقنية سطحية لإزالتها. وبالنسبة للزراعة البعلية (المطرية) فإن إستعمال المصاطب المرتفعة والأتلام ربما تعطي تهوية جيدة لجذور النبات في المصاطب، وأن الأتلام ذات الميول القليلة يمكن أن تزيد من زمن الفرصة بالنسبة للماء حتى يدخل التربة. وهذا النظام، بما في ذلك المصاطب المرتفعة العريضة، تعمل أحياناً على زيادة النواتج المحصولية من الزراعة البعلية في حدود 40%.

وجريان العواصف، أو الجريان السطحي، يعتمد على شدة ومدة المطر، ونوع التربة، والتضاريس، والغطاء النباتي، وإستعمال الأراضي. وتقديرات الجريان يمكن أن يتم القيام بها من المعرفة بتلك الظروف، وسجلات كميات المطر اليومية المتوفرة غالباً في أي مكان. والمصارف السطحية من أجل حماية المحصول يجب أن يتم تصميمها للتعامل مع الجريانات (التدفقات) من 5 سنوات إلى 25 سنة تكرارات فترات عودة العاصفة. وبشكل واضح فإن فترات العودة الطويلة يجب أن أستعمالها من أجل حماية البنية التحتية الأكثر أهمية أو الباهظة التكلفة. وكميات المطر القصوى

لساعة واحدة تعتبر في العادة تقريباً نصف الكميات التي ليوم واحد. ويمكن أن يتم تحويلها إلى قيم تقريبية لعدد ساعات كبيرة بواسطة ضرب الفترة الزمنية بالساعة للقوة ربع.

وتعتمد المتطلبات بالنسبة للصرف السطحي ليس فقط على العوامل التي تم تقديمها أعلاه، ولكن أيضاً على مساحات الأراضي المجاورة والتي ربما تساهم في متطلبات الصرف. والعديد من الكتيّبات والكتب تقدم طرق ومعادلات لتقدير الجريان من الأراضي الزراعية وكذلك المستجمعات المائية التي لا يوجد لها أجهزة قياس.

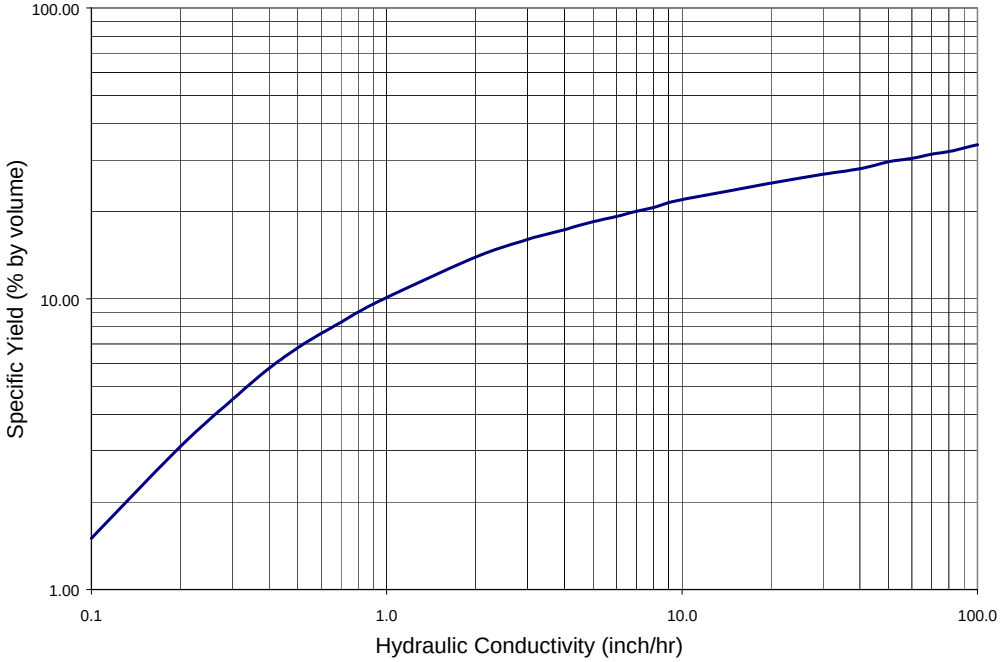
4-8 الجريان تحت السطحي

الصرف تحت السطحي يتم إستخدامه لإزالة أو ضبط المياه الجوفية وكذلك لإزالة الأملاح بواسطة الغسيل. والمصارف يمكن أن تكون حفر أو خنادق مفتوحة أو أنابيب ذات فتحات مدفونة. وآبار الضخ ربما يكون لها غرض ثنائي والتي تكون المياه الجوفية فيها ذات نوعية جيدة بالنسبة للري. يمكن أن يتم إستخدامها لتخفيض مستوى الماء الأرضي، إثناء تزيدها بمصدر لماء الري. وفي بعض مشاريع الري، فإن ضخ ثلث المصدر المائي من مياه جوفية سطحية إلى حد ما كانت قد ألغت الحاجة إلى مرافق صرف أخرى. على الرغم من أنه لا يجب أن يتم إفتراض أن المصارف تحت السطحية تعمل بشكل ملائم. والكثير من المصارف تحت السطحية يتم إنسدادها بعد فقط سنوات قليلة وذلك على الأغلب بسبب إهمال تنظيف وإصلاح المصارف.

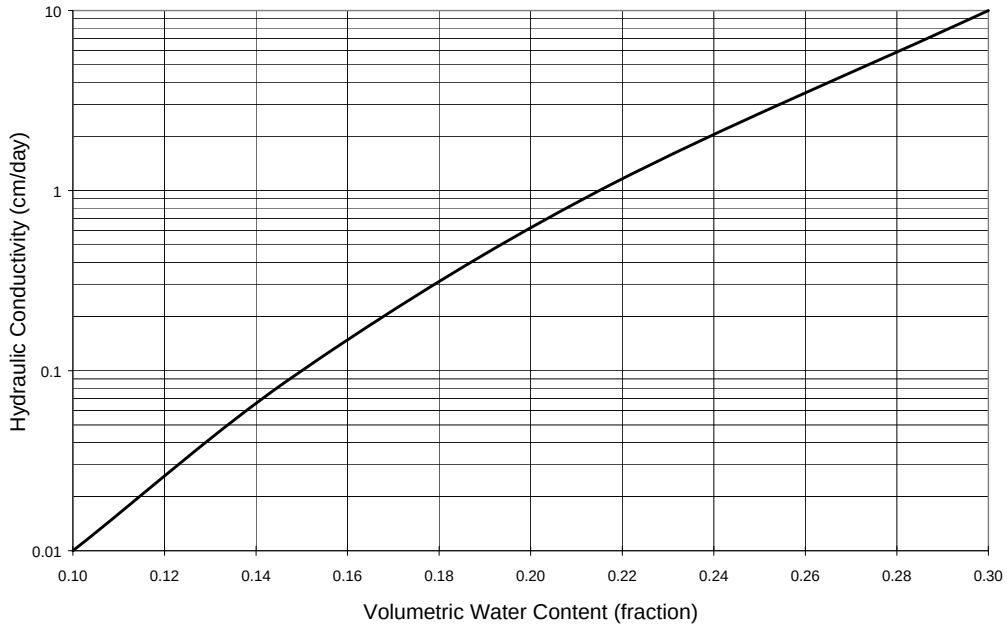
والتوصيلية الهيدروليكية للترب هي عبارة عن قياس لمدى قابليتها للتصريف وتعطي معياراً ضرورياً في تصميم نظم الصرف. ويتم بشكل متكرر قياس التوصيلية الهيدروليكية والتعبير عنها بالإنش المعكب لكل إنش لكل ساعة أو بالسنتيميتر المكعب لكل سنتيميتر مربع لكل ساعة. وتلك التعابير في العادة يتم إختصارها والتعبير عنها بالإنشات لكل ساعة أو بالسنتيميتر لكل ساعة على التتابع. والتوصيلية الهيدروليكية المشبعة (K) يمكن أن يتم تحديدها بواسطة طريقة فتحة جهاز أخذ عينة التربة (الأوجر)، بواسطة إستخدام البيزوميتر، وبوسطة هبوط مستوى الماء في البئر، أو بواسطة فحص ضخ البئر. والتوصيلية الهيدروليكية يتم تحديدها بواسطة معدل إسترجاع مستوى الماء في فتحة جهاز أخذ عينة التربة (الأوجر) أو في أنبوب البيزوميتر، أو بواسطة هبوط مستوى الماء الساكن في البئر، أو بواسطة معدل الضخ المطلوب للمحافظة على مستوى ماء ساكن أعلى من مستوى الماء الجوفي، على التوالي.

والإنتاجية النوعية (S) هي عبارة عن حجم الماء الذي يمكن أن يتم إخراجه أو تصريفة من وحدة مساحة تربة مشبعة تحت قوة الجذب الأرضي بالنسبة لوحدة إنخفاض في مستوى الماء الأرضي، ويتم التعبير عنه كنسبة وحدة حجم لتربة مشبعة. والإنتاج النوعي له علاقة بالتوصيلية الهيدروليكية. وبالنسبة لظروف الصرف المثلى، فإن الإنتاجية النوعية (S) يجب أن تتعدى 6% مع قيمة 3% أو أقل، فإن الصرف يصبح صعباً وعالي التكلفة. وتحديد الإنتاجية النوعية من خلال كل من المختبرات والحقل تعتبر مرتفعة التكلفة وتتطلب الكثير من الوقت. الشكل 8-1 يعرض منحنى تم تطويره بواسطة مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي ويظهر معدل علاقة S إلى K بالإستناد إلى حوالي 2000 فحص مخبري.

وتتباين التوصيلية الهيدروليكية بشكل كبير مع محتوى ماء التربة، كما هو مبيّن في الشكل 8-2. والتوصيلية الهيدروليكية المشبعة في العادة تستخدم في حسابات الصرف، ولكن تحت الظروف غير المشبعة، فإن الترب يتم تصريفها بشكل بطيء جداً.



الشكل 8-1: العلاقة العامة ما بين الإنتاج النوعي والتوصيلية الهيدروليكية (من مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي 1978).



الشكل 8-2: العلاقة ما بين التوصيلية الهيدروليكية والمحتوى المائي لتربة مخلوطة مثالية.

5-8 مسافات المصارف

معظم المناطق المروية في النهاية تتطلب تركيب بعض المصارف تحت السطحية. والمسافة المناسبة للمصارف ربما يتم تحديدها من خلال الخبرة الميدانية التي يتم الحصول عليها تحت نفس الظروف. وكلما كانت الخبرة الميدانية غير متوفرة، فإن الإعتبار الكامل يجب أن يتم إعطاءه لعوامل مثل: عمق نظام الصرف (المصرف)، العمق إلى الطبقة غير المنفذة نسبياً، والتوصيلية الهيدروليكية، والإنتاج النوعي للتربة، والعمق الجذري المطلوب بالنسبة للمحصول حتى ينمو، وممارسات الري، والهطول المطري، وظروف الطقس الأخرى، ونوعية مياه الري، وملوحة التربة، والميل، والتضاريس. وكمية المعلومات الكبيرة هذه هي مؤشر على التعقيد المحتمل لتصميم نظام التصريف.

وتقدير مسافة المصارف تتطلب أن التسرب العميق وتكوين مستوى الماء الأرضي من كل مصدر حقن أو إعاد ضخ يجب إما أن يكون معروفاً أو تم تقديره. وتكوين مستوى الماء الأرضي نتيجة للهطول المطري أو إضافات الري يمكن وبشكل جيد أن يتم تحديدها بواسطة القياسات الحقلية. وتلك العوامل يمكن أن يتم دمجها في معادلة مسافة نظام صرف (مصرف) ذو حالة مستقرة مناسبة أو معادلة مسافة نظام تصريف ذو حالة مضطربة من أجل تحديد مسافة المصارف تحت السصحية المناسبة من أجل ضبط مستوى الماء الأرضي.

وعندما توجد مشكلة تصريف، فإنه يجب أن يتم قياس عمق مستوى الماء الأرضي عند مواقع مختلفة في المنطقة التي سيتم تصريفها في اليوم الذي يسبق واليوم الذي يلي كل واحدة من إضافات الريات المتعددة. وهذا يشير إلى كمية التسرب العميق وكذلك يربط علاقة البناء (التراكم) بالنسبة لتشغيلات الري الحقيقية. وتحتوي مياه الري على أملاح مختلفة. وتقوم المحاصيل بالضرورة على نتح الماء النقي، وتترك الأملاح لتتركز في التربة أو في المياه الجوفية.

وهناك العمق الحرج للمياه الجوفية والتي فوقها يكون هناك زيادة حادة في معدل التبخر وكنتيجة لذلك، في تملّح التربة. ويتفاوت العمق الحرج مع نوع التربة، محتوى الأملاح في المياه الجوفية، وخصائص المحصول. وعموماً، فإن المدى هو بين 1.0 إلى 1.5 متر. وعمق المياه الجوفية في المنتصف ما بين المصارف يجب أن يتم المحافظة عليه أسفل تلك الأعماق. والتزويد بالصرف تحت السطحي الملائم يعتبر هو الطريقة الوحيدة لضبط عمق مستوى الماء الأرضي.

وكان قد تم تطوير معادلات متعددة من أجل تقدير مسافات المصارف تحت السطحية الملائمة. وإستعمال المعادلات يمكن أن يتم تحسينه بشكل كبير عندما يتم ربطها بالخبرة الميدانية وبمعرفة العوامل التي تم وصفها أعلاه. وقد تكون أكثر طرق مسافة المصارف شيوعاً هي التي تستند إلى معادلة Hooghoudt، والتي تطبّق فرضيات Dupuit-Forcheimer وتستخدم توصيلية التربة الهيدروليكية الأفقية. وتستند معادلة Hooghoudt إلى الجريان (التدفق) المشبع ذات الحالة المستقرة في التربة. والجريان ذات الحالة المستقرة لم يتم مواجهتة أبداً من ناحية عملية في الصرف الزراعية تحت السطحي، ولكن المعادلة يتم تطبيقها على حسابات مسافة المصارف بدلاً من تمثيل إجراءات مسافة المصارف ذات الجريان المضطرب، والذي في العادة يؤدي إلى مسافات مصارف أقرب، وهكذا تعطي تصميم أكثر تحفظاً (وكذلك ذو تكلفة عالية أكثر).

ومعادلة Hooghoudt يتم التعبير عنها كما يلي:

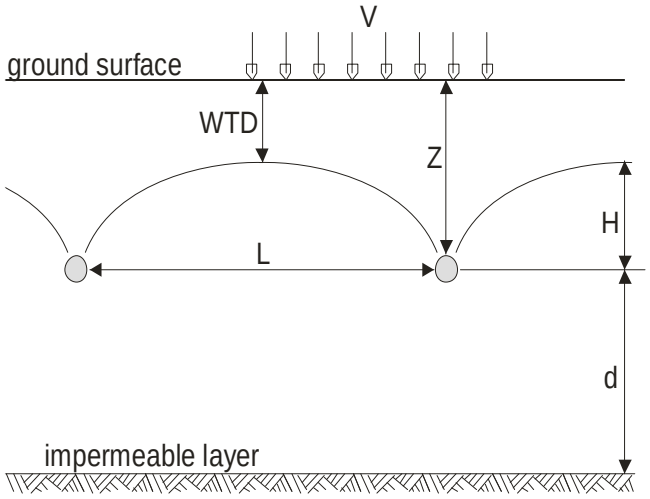
$$L^2 = \frac{4KH}{V}\left(2d_e + H\right) \qquad (1\text{-}8)$$

في حين أن L هي عبارة عن المسافة ما بين المصارف المتوازية؛ و K هي عبارة عن التوصيلية الهيدروليكية المشبعة في الإتجاه الأفقي (على سبيل المثالن مليميتر/يوم)؛ و H هي عبارة

عن المسافة العمودية من أقل عمق قريب من مستوى الماء الأرضي إلى عمق المصارف؛ و V هي عبارة عن معامل التصريف (له نفس وحدات K)، كما تم تعريفه في المعادلة 8-4. والعمق المكافيء للطبقة الصماء (غير المنفذة)، d_e، يتم تعريفها كما يلي:

$$d_e = \frac{d}{1+\frac{8d}{\pi L}\ln\left(\frac{8d}{\pi^3 r}\right)} \qquad (2\text{-}8)$$

في حين أن r هي عبارة عن نصف القطر الخارجي لأنبوب التصريف، أو نصف القطر الخارجي لتغليف أنبوب الصرف (إذا وجد)؛ و d هي عبارة عن العمق من أنابيب الصرف إلى الطبقة الصماء (غير المنفّذة). وتعبير العمق المكافيء تم تصميمه من أجل تصحيح الأخطاء نتيجة للفرضيات التي تم القيام بها في المعادلة 8-1، بما في ذلك فرضيات Dupuit-Forcheimer. والكثير من التعابير في المعادلة 8-1 و 8-2 تم تعريفها في الشكل 8-3، والتي هي عبارة عن تعبير عن حالة واقعية لقطاع مستوى ماء أرضي حقيقي أسفل سطح الحقل.



الشكل 8-3: مخطط تعريفي لتعابير المسافة بين المصارف بالنسبة لمعادلة Hooghoudt.

وحسب Dupuit-Forcheimer، فإن الإنحدار الهيدروليكي يساوي ميل مستوى الماء الأرضي. وهذا الإفتراض يعتبر قابلاً للتطبيق عندما يكون مستوى الماء الأرضي منبسطاً (مستوياً)، أو قريباً من الوضع المستوي. ولكن، إذا كان مستوى الماء الأرضي مستوياً، فحينها فإنه يمكن أن لا يكون هناك جريان أفقي وذلك لأن الفرق في المستوى يمكن أن يكون صفراً. وأقل عمق مستوى ماء أرضي WTD، يقع في منتصف المسافة ما بين أنبوبي التصريف، كما هو مبيّن في الشكل 8-3. وقيمة عمق مستوى الماء الأرضي يجب أن تكون على الأقل مساوية لأقصى عمق جذر نبات ممكن، وفي العادة يتم أخذه على أنه يساوي 0.90 متر (3 قدم) بواسطة خدمات حفظ التربة الأمريكي، أو مساوياً 1.2 متر (4 أقدام) بواسطة مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي. وإذا ما تم وضع المصارف على مسافة كبيرة عن بعضها البعض، فإن القيمة الحقيقية لعمق مستوى الماء الأرضي سوف تكون قليلة جداً، وربما يتأثر الناتج المحصولي. ومن ناحية أخرى، إذا ما تم وضع المصارف على مسافة متقاربة من بعضها البعض، فإن التركيب ربما يكون عالي التكلفة عما كان يمكن أن يكون.

ولاحظ أن العمق إلى المصارف، Z، كما هو مبيّن في الشكل 8-3، يتم تعريفه على أنه يساوي H + WTD. وبالنسبة لقيمة معينة لكل من Z و WTD، فإن قيمة H تم حسابها على أنها تساوي Z-WTD. وقيمة Z بشكل عام تعرف على أنها قيمة قياسية (معيارية)، أو أنها أقصى عمق حفر لآلة حفر الخنادق. وقيم Z المثالية هي من 1.0 إلى 1.8 متر (4 إلى 6 أقدام).

والعمق إلى الطبقة الصماء يعرّف قيمة d في المعادلة 8-2، في حين أنه يمكن أن يتم إعتبار "الطبقة الصماء" على أنها أي طبقة تربة يكون توصيلها الهيدروليكي ما بين 5/1 إلى 10/1 من معدل التوصيل الهيدروليكي للطبقة (للطبقات) الأعلى منها. وهكذا، ولغرض تطبيق المعادلة 8-1، فإن الطبقة الفاصلة (الحاجزة) هي في الأغلب طبقة غير منفذة نسبياً والتي من خلالها يمر الماء، ولكن بشكل بطيء جداً. ومن أجل تحديد الطبقة الفاصلة، ومن أجل الحصول على قيمة ممثلة للتوصيل الهيدروليكي، K، لجميع طبقات التربة فوق الطبقة الفاصلة، قم باستخدام المعادلة 8-3.

$$K \approx \frac{\sum(K_i d_i)}{\sum d_i} \qquad (3\text{-}8)$$

في حين أن I هي حرف يشير إلى رقم الطبقة؛ وقيمة K المستخدمة في المعادلة 8-1 تم أخذها كمعدل موزون حسب سماكة الطبقة. ومعامل الصرف، V، يمكن أن يتم حسابه على أنه:

$$V = \frac{ET(1+LF)}{E_{irrig}} - ET \qquad (4\text{-}8)$$

في حين أن LF (معامل الغسيل) يمكن أن يتم إعتبارة يساوي 0.05، إلا إذا أن المطر خلال السنة سوف يقوم بتعبئة قطاع التربة ويسبب غسيل للأملاح، وفي أي حالة فإن LF تساوي صفر؛ ET هي معدل إستعمال الإستهلاك المحصولي، أو البخرنتح (مليميتر/يوم)؛ و E_{irrig} هي كفاءة الري والتي يتم التعبير عنها كجزء أو كسر، والتي يمكن أن يتم تعريفها على أنها:

$$E_{irrig} = 1 - (\text{التسرب العميق/الترشيح}) \qquad (5\text{-}8)$$

وهكذا، إذا كان التسرب العميق (الماء المترشح الذي يمر إلى أسفل تحت منطقة الجذور) يساوي صفر، فإن الكفاءة تساوي 1.0، أو 100%. ولاحظ أن هذا التعريف هو الوحيد من تعريفات كثيرة لـ "كفاءة الري"، ولكنه يعتبر مفيداً من أجل تحديد معامل التصريف (الصرف).

وكل من المعادلة 8-1 و 8-2 لديها المصطلح L، والذي هو المسافة ما بين المصارف (أنابيب الصرف). ويجب أن يتم حل كلتا المعادليتين في آن واحد من أجل تحديد قيمة L بالنسبة لتصميم مصرف معين، وهذا يمكن أن يتم تحقيقه بشكل سريع على حاسبة مبرمجة أو في برنامج كمبيوتر بسيط. وبالملخص، من أجل تطبيق المعادلة 8-1 من أجل حساب مسافة المصارف فإنه المعاملات السبعة التالية يجب أن يتم معرفتها أو تقديرها: K، و H، و d، و ET، و LF، و r، و E_{irrig}.

وبالإتفاق، فإن تصميم مسافة المصارف المتحفظة تفترض أن خط الميل الهيدروليكي (HGL) يبقى داخل أنبوب الصرف، مما يعني أنه جريان في قناة مفتوحة. وإذا كان خط الميل الهيدروليكي أعلى من الأنبوب عند أي نقطة، فإنه يجب أن يتم إستعمال أنبوب ذو قياس أكبر من أجل أن يقوم بحمل المياه المتصرفة. وبمعرفة الميل، وطول المصرف (أنبوب الصرف)، ونوع مادة الأنبوب، وكذلك التدفق الداخل لكل وحدة طول، فإن معادلة ماننغ يمكن أن تستعمل لتقدير قطر

أنبوب الصرف المطلوب. ومعادلة ماننغ غالباً ما يتم تطبيقها على الجريان المنتظم، ويمكن أن يتم كتابتها كما يلي:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S_o} \qquad (6\text{-}8)$$

في حين أن Q هي معدل الجريان (م^3/ث)؛ و n هي معامل خشونة السطح؛ و A هي مساحة المقطع العرضي للتدفق (م^2)؛ و R هي نصف القطر الهيدروليكي (م)؛ و S_o هي ميل الأنبوب (م/م). وبالنسبة للوحدات الإنجليزية فإن Q بالقدم المكعب لكل ثانية، و A بالقدم المربع، و R هي بالقدم، والمعامل 1.49 يستعمل على الجانب الأيمن من المعادلة 8-6.

وقيمة معامل خشونة السطح هي في العادة ما بين 0.018 و 0.04 بالنسبة لأنابيب الصرف. ونصف القطر الهيدروليكي يساوي المساحة، A، مقسومة على المحيط المبلل، W_p. وبالنسبة لمقطع عرضي دائري، فإن المعاملات الهندسية تتناسب مع بعضها كما يلي:

$$A = \frac{D^2}{8}(\beta - \sin\beta) \qquad (7\text{-}8)$$

$$W_p = \frac{\beta D}{2} \qquad (8\text{-}8)$$

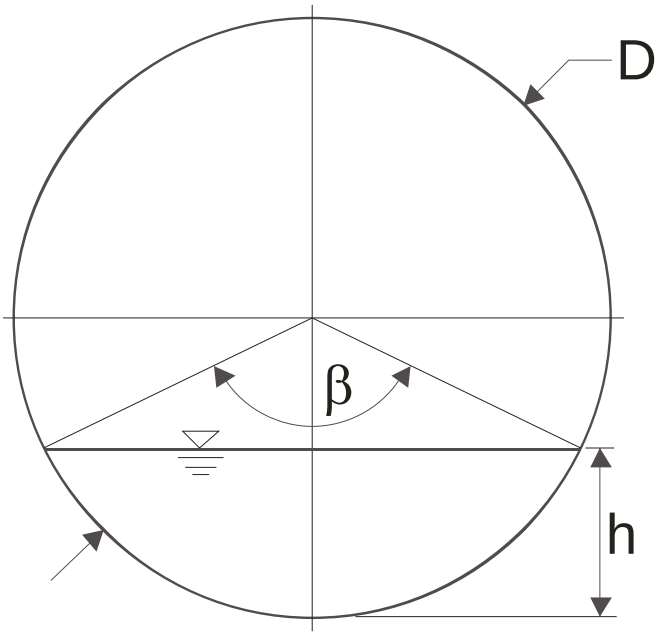
$$h = \frac{D}{2}\left(1 - \cos\frac{\beta}{2}\right) \qquad (9\text{-}8)$$

في حين أن المصطلحات في المعادلات 8-7 إلى 8-9 تم تعريفها في الشكل 8-4. والمحيط المبتل، W_p، هو ذلك الجزء من محيط الدائرة والذي هو على تماس مع الماء. والزاوية β يتم تعريفها كما يلي:

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2h}{D}\right) \qquad (10\text{-}8)$$

مثال على حسابات مسافة المصرف (أنبوب الصرف)

بعض عينة التطبيقات لمعادلات المسافة بين أنابيب الصرف تم إعطاءها أدناه. وتلك البيانات يمكن أن يتم إستعمالها للتحقق من برنامج الكمبيوتر الذي يقوم بتطبيق المعادلات 8-1 إلى 8-5. إفترض أنه سوف يتم تركيب مصارف تحت سطحية وعلى عمق 2 م من سطح الأرض، مع قطر خارجي لأنبوب الصرف يساوي 0.15 م وأدنى مستوى ماء أرضي يساوي 1 م. والعمق إلى الحد غير المنفّذ نسبياً، d، يساوي 10 م، وأن أقصى معدل بخرنتح يساوي 8 ملم/يوم، ومعامل الغسيل يساوي 0.05، وكفاءة الري تساوي 75%، والتوصيل الهيدروليكي للتربة يساوي 1 م/يوم. وبالنسبة لتلك البيانات، فإن مسافة المصرف بالحالة الثابتة يمكن أن تكون حوالي 132 م. وإذا كان العمق إلى الطبقة الصماء (غير المنفّذة) كان يزداد من 1 إلى 2 م، فإن المسافة يمكن أن تزداد إلى 156 م، أو إذا كان عمق أنبوب الصرف يقل من 2 إلى 1.5 م، فإن المسافة يمكن أن تقل إلى 86 م. وإذا كان التوصيل الهيدروليكي يساوي 2 م/يوم، فإن المسافة الأصلية يمكن أن تزداد إلى 198 م.



الشكل 8-4: تعريف المصطلحات الهيدروليكية لمقطع دائري.

8-6 أنواع المصارف

القنوات (الحفر أو الخنادق) المفتوحة تعتبر مفيدة لإزالة الأحجام الكبيرة من الماء وكذلك من أجل تصريف الترب الطينية الثقيلة والتي يكون فيها الميل منبسطاً إلى حد كبير. وربما تخدم كمخارج للقرميد المدفون أو مصارف الأنابيب البلاستكية. والمساوىء الرئيسية للقنوات المفتوحة هي أنها تحتل جزء من الأرض والتي بطريقة أخرى يمكن أن يتم زراعتها، وأنها معيقة للمارسات الزراعية، وربما تخلق مشاكل نتيجة لنمو الأعشاب، وإزالة الضفاف (الجوانب)، وتيمل لأن يكون لها تكاليف صيانة عالية.

والقنوات تحت السطحية التي تستخدم لتصريف الماء هي قنوات دائرية تحت سطحية غير مبطنة يتم رفعها بواسطة جهاز على شكل الطلّقة (شكل أسطواني) ويتم سحبه خلال التربة. وربما يتم إستخدامها للتصريف السطحي للترب الطينية الثقيلة، ولكنها لا تعتبر عملية مع الترب ذات النسيج الخشن. وتعتبر القنوات تحت السطحية لتصرف الماء سطحية ومؤقتة، ولكنها بشكل عام تعتبر رخيصة التركيب من الطرق الأخرى. وفي العادة لا تعمل بشكل جيد في المناطق الجافة.

والمصارف الأسمنتية والقرميدية كان قد تم إستخدامها بشكل واسع. والمصارف القرميدية الطينية تكون في العادة بطول 30 إلى 60 سم وبنصف قطر داخلي من 10 إلى 25 سم. والأنابيب البلاستيكية المموّجة أصبحت شائعة بشكل متزايد بالنسبة للصرف تحت السطحي خلال العشرين سنة الماضية. والأنابيب البلاستيكية ذات الفتحات هي في العادة متوفرة بأقطار من 8 إلى 30 سم وبلفّات من 75 إلى 80 م طول. وفي العادة ما يتم تزويد المصارف القرميدية والبلاستيكية بغلاف يحيطها من القماش الصناعي، وكذلك تغليفة من الرمل والحجارة، أو بمادة تصفية مسامية أخرى.

وتغليفات الصرف هي نوع من "المصافي" والتي تتيح للماء بالمرور من التربة المحيطة إلى أنابيب الصرف من دون مرور ملحوظ لجزيئات التربة، ومن دون خلخلة وسط التربة المحيط.

7-8 حل مشاكل الأملاح

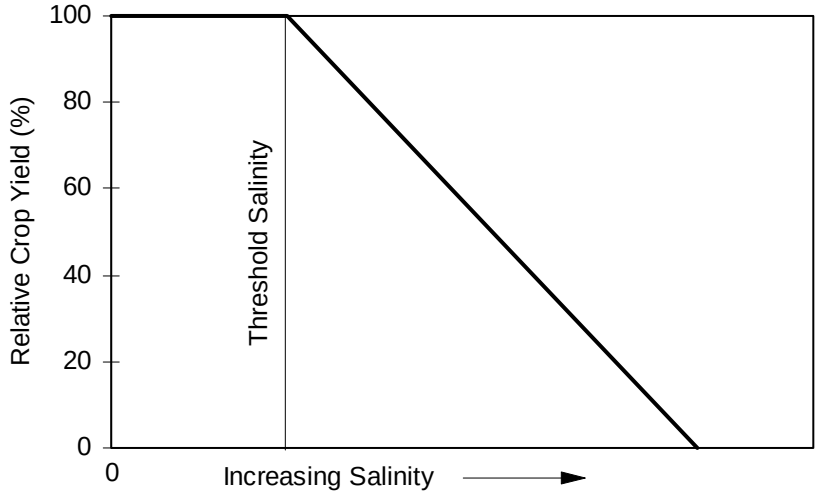
مياه الري هي عبارة عن مصدر رئيسي للأملاح. وبالإعتماد على محتوى الأملاح في مياه الري، فإنه ربما يكون من الضروري أن يتم إزالة 10 إلى 20 طن من الأملاح لكل هكتار في السنة من أجل منع تراكم الأملاح. والأملاح أيضاً يمكنها أن تتحرك للأعلى إلى منطقة جذور النبات من المياه الجوفية. وفي المناطق الجافة، فإن المياه الجوفية ربما تحتوي على عدة أضعاف من الأملاح الموجودة في مياه الري. ويتم التحكم في ملوحة التربة من خلال الغسيل، والذي يتطلب إضافة ماء أكثر قليلاً من تلك التي تستخدم بواسطة النبات. وعملية الغسيل تنقل الأملاح إلى أسفل عبر قطاع التربة وتحت منطقة جذور النبات. وبالنسبة لمعظم المحاصيل والظروف فإن 5 إلى 10% من الماء المضاف يجب أن يمر من خلال التربة وذلك لنقل الأملاح الزائدة بعيداً.

ويتم تقييم مشاكل الأملاح بواسطة قياس التوصيل الكهربائي لمستخلص التربة المتشبعة، أو EC، بوحدة المليموز/سم (المكافيء لوحدة الديسيسيمنز/م أو dS/متر) عند درجة حرارة 25 مئوي. والجدول 8-1 يعطي مؤشراً على تأثير ملوحة منطقة الجذور على العائد المحصولي، ولكن يجب أن يتم ملاحظة أن القيم في الجدول تعتبر تقريبية وذلك بسبب أن المقاومة للأملاح تتفاوت بشكل كبير بين أنواع المحاصيل. وخصوبة التربة الجيدة يمكن أن تقلل من الأثر الضار لأملاح مياه التربة الزائدة.

والشكل 8-5 يظهر بشكل عام العلاقة المقبولة ما بين الناتج المحصولي النسبي وملوحة ماء التربة في منطقة جذور النبات. وأن الناتج المحصولي لا يقل بواسطة الملوحة حتى يتم الوصول إلى قيمة حد العتبة. وإذا زادت الملوحة إلى ما بعد قيمة حد العتبة، فإن الناتج المحصولي يميل لأن ينخفض بشكل خطي حتى عند نقطة معينة فإن الناتج المحصولي يذهب للصفر. على الرغم من أن معدل إنخفاض الناتج المحصولي يكون فقط خطي تقريباً، وأن كل من قيمة حد العتبة ومعدل الإنخفاض يتفاوت حسب نوع المحصول.

الجدول 8-1: آثار الملوحة على الناتج المحصولي.

التوصيل الكهربائي (dS/متر)	الأثر على الناتج المحصولي
1 – 0	الإنخفاض في الناتج المحصولي يكون مهملاً في العادة
4 – 2	الناتج المحصولي في المحاصيل الحساسة سوف يكون محصوراً
8 – 4	العائد المحصولي للكثير من المحاصيل سوف يكون محصوراً
12 - 8	الناتج المحصولي يعتبر كافياً فقط بالنسبة للمحاصيل المقاومة للأملاح



الشكل 8-5: العلاقة العامة ما بين الناتج المحصولي النسبي وملوحة ماء التربة.

ويعتبر الري بالرش طريقة فعالة جداً في التحكم بالأملاح وذلك لأنه يميل إلى تشجيع الترشح العمودي للماء ليحمل الأملاح إلى أسفل، مقابل الري بالأتلام، على سبيل المثال، والذي يمكن أن يترك الأملاح تتراكم على المصاطب بين الأتلام. لهذا، بغض النظر عن طريقة الري التي تستعمل للغسيل، فإنه في العادة يعتبر أسهل أن يتم إزالة الأملاح من الترب الرملية عنها من الترب الطينية الطمية، وأنه يجب أن يتم إدراك أن الغسيل يعمل بشكل جيد فقط بوجود الصرف الجيد من أجل نقل الأملاح بعيداً. والمناطق المرصوصة وكذلك التغير في نسيج التربة يعمل على تقليل حركة الماء إلى أسفل من خلال التربة ويؤدي إلى القليل من الغسيل. والأملاح يجب دائماً أن يتم إدارتها بحيث تتراكم في مناطق بعيدة عن البذار المنبتة وكذلك جذور النبات.

وطريقة الري بالتنقيط والطرق الأخرى ذات التدفق القليل يمكن أن يتم إستخدامها لغسيل الأملاح بعيداً عن البذور أو جذور النبات. وتلك الطرق تعتبر أيضاً فعالة، وخصوصاً في الترب الرملية، في تقليل التسرب العميق وكذلك في تقليل متطلبات مياه ري المزرعة. وعندما تتراكم الأملاح ما بين خطوط النبات فربما يتم غسلها خلال فترات الهطول المطري الكافي أو خلال فترات الإستعمال الدوري للري بكميات كافية لإزالة الأملاح من عمق التربة والتي في العادة يتم إستكشافها بواسطة جذور النبات.

ويعتبر من الضروري أن يتم إدراك أن وجود الأملاح يمكن أن يكون له الآثار الضارة على النباتات وبطرق مختلفة. فعلى سبيل المثال، بعض المكونات الكيميائية في الأملاح يمكن أن تكون سامة لبعض أنواع النباتات حتى وإن وجد بتركيزات قليلة جداً. والأملاح يمكن أيضاً أن تضر تركيب التربة وتعمل على زيادة الطاقة الأسموزية، وبتلك الطريقة تجعلها أكثر صعبة بالنسبة للنبات بالنسبة للنباتات أن تسحب الماء من التربة. وهكذا، فإن هناك ثلاثة أسباب رئيسية لماذا تعتبر ملوحة ماء التربة في الأغلب مصدر قلق في الزراعة:

1. السمية المعينة للنباتات؛
2. أضرار لتركيب التربة (النفاذية)؛
3. يزيد من طاقة المحلول (الأسموزية)، ويقلل الماء *المتاح*.

وهناك العديد من المعاملات التي يتم إستخدامها لتحديد مدى ملائمة الماء لأغراض الري. والتوصيل الكهربائي لمياه الري تعتبر أحد تلك المؤشرات، كما هو الحال بالنسبة لمعدل إدمصاص الصوديوم (SAR)، ونسبة أيونات الصوديوم الحرة، وتركيز البورون. والجدول 8-2 يعطي مؤشرات ترتيب بالنسبة لستة معاملات، في حين أن المؤشر 1 يعتبر ممتاز، وأن المؤشر 6 يعتبر غير مناسب للري بشكل عام. وبعض التراكيز الأيونية يتم التعبير عنها بالمللي المكافيء لكل لتر (meq/لتر)، ولكن البورون يعطى بالإجزاء من المليون (ppm).

الجدول 8-2: مؤشر ترتيب بالنسبة لمختلف معاملات نوعية الماء.

البورون (ppm)	Cl^- (meq/لتر)	Na_2CO_3 (meq/لتر)	SAR	Na^+ (%)	EC ديسيسيمنز/م	مؤشر الترتيب
0.5	3	0.5	3	40	0.5	1
1.0	6	1.0	6	60	1.0	2
2.0	10	2.0	9	70	2.0	3
3.0	15	3.0	12	80	3.0	4
4.0	20	4.0	15	90	4.0	5
4.0 <	20 <	4.0 <	15 <	90 <	4.0 <	6

ويعتبر معدل إدمصاص الصوديوم (SAR) معاملاً شائعاً ويعرّف على أنه نسبة أيونات الصوديوم إلى مجموع أيونات المغنيسيوم والكالسيوم:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{0.5\left(Mg^{++} + Ca^+\right)}} \qquad (11\text{-}8)$$

الترب المالحة لديها مستويات عالية نسبياً من ملوحة ماء التربة ويمكن أن يتم إستصلاحها بواسطة الغسيل. والغسيل يمكن القيام به بشكل مثالي بواسطة تبريك الماء فوق سطح التربة أو بالري بالرش، ولكن ليس بواسطة الري بالأتلام وذلك لأن تلك الطريقة يمكن أن تميل إلى ترك الأملاح بالقرب من سطح التربة فيما بين الأتلام. والترب القلوية لديها درجة حموضة (pH) أعلى من 7 (وهما غالباً إما ذات محتوى صوديوم أو ترب غنية بكربونات الكالسيوم.

والترب ذات المحتوى العالي من الصوديوم هما ذات قيم SAR، ونسبة تبادل الصوديوم (ESP)، أكبر من 15، أو بصيغة أخرى، الترب ذات الصوديوم كأيون موجب سائد. وإستصلاح الترب ذات المحتوى العالي من الصوديوم ربما يشمل إضافة الجبص (كبريتات الكالسيوم، $CaSO_4$)، ولكن إذا كان هناك مصدر لكربوناتا الكالسيوم في التربة، فإنه ربما يتم إستخدام حامض الكبريتات لإذابة كربونات الكالسيوم ومن ثم تبادل الصوديوم مع الكالسيوم، والذي فيه يمكن أن يتم غسل الصوديوم جيداً إلى الأسفل وبعد منطقة الجذور المحتملة.

الوحدة التاسعة

قياس التدفق

1-9 المقدمة

المياه العذبة ذات النوعية الجيدة أصبحت أكثر شحاً كلما تم إستغلال المصادر المائية بطريقة جائرة، وكذلك كلما زاد عدد سكان العالم. وأنه يعتبر من غير المرجح أن الأوضاع الأقليمية والعالمية المتعلقة بتوفر المياه ونوعية المياه سوف تتحسن في المستقبل المنظور؛ على العكس، فإن الوضع سوف يصبح صعباً أكثر فأكثر. وهذا التوجه يشدد على أهمية قياس المياه من أجل إحتساب الماء، وتقييم الممارسات التشغيلية، ويتم تحديد مجالات التحسين في إدارة المياه.
قياس المياه تعتبر عنصر مهم في:

1. *إدارة مياه الري*. من دون معرفة معدلات التدفقات فإنه في العادة من الصعب أن يتم تحديد كمية التحويلات إلى مستخدمي المياه، والتي تعيق بشكل كبير القابلية لتقييم ممارسات إدارة المياه.
2. *تحليل نوعية المياه*. وهذا يتعلق بالتركيزات، ومعدل النقل، وإتجاه النقل، وإنتشار وتشتت الملوثات، وقضايا أخرى.
3. *قوانين وحقوق المياه*. وهذا يشمل تقسيمات التحويلات الحجمية، وضخ المياه الجوفية، والمياه الزائدة (مثلاً الجريان من الري)، ضمن أشياء أخرى.

إدارة المياه لا تعتبر موجودة في غياب قياس التدفق، فقط مثل المحاسبة المالية لا يمكن أن يحدث من دون معرفة الدخل والمصاريف. وهكذا، فإنها تكون ذات أهمية قليلة أو غير ذي أهمية أن يتم تقدير متطلبات المحصول المائية من خلال معادلات الـ ET_o ومعاملات المحصول إذا كانت تحويلات مياه الري الحقيقية لا يمكن أن يتم تحديد كمياتها. وجدولة الري تشتمل على القدرة على قياس معدلات التدفق وحجوم التوصيل أو التحويل عند مواقع رئيسية.
والكثير من الأجهزة والتقنيات كان قد تم تطويرها من أجل قياس التدفق في القنوات والأنابيب. وبعض التطويرات الأكثر حداثة تشمل أجهزة قياس فوق الصوتية وعدادات قياس التدفق التي يتم تحديد سرعة التدفق فيها من خلال تكرار الدوامات أو الدورانات، ولكن معظم قياس التدفق في نظم القنوات المفتوحة تتم بواسطة الهدارات، والمجاري الصناعية، والبوابات المعايرة، وعدادات قياس التيار. وقد تم إدخال تلك التكنولوجيات في بقية هذه الوحدة. ومن أجل تعاملات أكثر تفصيلاً، فإن القراء المهتمين ربما يرغبوا في إستشارة المقالات الفنية المتعددة، والكتيبات، والأدلة الإرشادية حول قياس التدفق في نظم الري.

2-9 مفاهيم أساسية

المصطلح "معدل الجريان أو التدفق" يشير إلى معدل حجمي، أو حجم لكل وحدة زمن. وبالنسبة للماء في نظم الري، فإن هذا يتناسب طردياً مع الكتلة لكل وحدة زمن وذلك بسبب أن الماء يمكن أن يتم إفتراض أن لا يكون قابلاً للضغط أو الكبس. وهكذا، فإن قياس التدفق يتعلق بالعلاقات الرياضية ما بين الرأس والتصريف، أو نواتج السرعة ومساحة المقطع العرضي. والأسم الآخر لمعدل الجريان هو "التصريف" – وهذين المصطلحين يعتبران متشابهان.

ومعظم أجهزة قياس الجريان والتقنيات تستند إلى قياس الرأس (عمق أو ضغط)، أو السرعة. وبالتحدث حصرياً، فإن معظم تقنيات قياس الجريان أو التدفق في القنوات المفتوحة والأنابيب تسبب فواقد الطاقة. على الرغم من أن بعض الطرق الخاصة تسبب فواقد غير ذات قيمة. وأنه يعتبر في العادة مستحباً أن يكون هناك فقط فواقد رأس قليلة وذلك لأن هذه الفواقد يتم ترجمتها بشكل مثالي إلى زيادة في عمق التدفق في أعلى المجرى النهري في تدفق القنوات المفتوحة تحت الحرج، كما هو الحال في معظم قنوات الري.

وفي قياس التدفق في القنوات المفتوحة، فإن الأجهزة يمكن أن تعمل تحت *التدفق الحر* و منظومات *التدفق المغمور*. وهذين المنظومين يتم أيضاً الإشارة إليهما بالجريان "القياسي" أو "غير القياسي"، على التوالي، وذلك لأن التدفق الحر يشتمل على فقط قياس واحد لعمق أعلى المجرى النهري. وفي التدفق القياسي، فقط يكون رأس أعلى المجرى النهري هو المهم وذلك لأن الجريان الحرج يحدث بالقرب من جهاز قياس التدفق. وطالما أن هذا يعتبر صحيحاً، فإن التغيرات في عمق أدنى المجرى النهري سوف لن تؤثر على التصريف في ذلك الموقع. وفي التدفق غير القياسي فإنه يعتبر من الضروري أن يتم إعتبار فروق الرأس ما بين أعلى إلى أدني المجرى النهري على طول جهاز القياس، ويتطلب قياس كل من أعماق أعلى وأدنى المجرى النهري (أو إرتفاعات سطح الماء).

والتدفق الحرج يعتبر فقط قابلاً للتطبيق على التدفق في القنوات المفتوحة، وليس لتدفق الأنابيب الممتلئة بشكل كامل، ويمكن أن يتم تمييزه بواسطة قيمة *الطاقة النوعية* الدنيا بالنسبة لمعدل تدفق معين. والطاقة النوعية يتم تعريفها كما يلي:

$$E = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2A^2g} \qquad (1\text{-}9)$$

في حين أن E هي عبارة عن الطاقة النوعية (متر)؛ و h هي عبارة عن عمق التدفق (متر)؛ و V هي عبارة عن متوسط سرعة التدفق أو الجريان في مقطع عرضي للقناة؛ و g هي نسبة الوزن إلى الكتلةى(9,81 متر/ث^2). والمصطلح $2g/v^2$ يعرف بسرعة الرأس.

وحسب مباديء الإستمرارية، فإن متوسط سرعة التدفق، V، تساوي أيضاً معدل التدفق مقسوماً على مساحة المقطع العرضي، أو $A/Q = V$. وبالنسبة لمعدل التدفق الثابت، Q، فإن الطاقة النوعية الدنيا يتم إشتقاقها من المعادلة 9-1 عندما يكون $F_r^2 = 1$، في حين أن F_r^2 يتم تعريفه على أنه:

$$F_r^2 = \frac{Q^2T}{gA^3} \qquad (2\text{-}9)$$

في حين أن F_r يطلق عليها عدد فروود (*Froude*) وليس له وحدات؛ وأن T هي العرض العلوي للتدفق، عند سطح الماء (متر). وهكذا، عندما يكون عدد فروود يساوي 1، فإنه يطلق على التدفق بأنه حرج، وأن لا شيء يحدث في أدنى المجرى النهري في مثل هذا الموقع سوف يؤثر على ظروف التدفق في أعلى المجرى النهري. وهذا بسبب أن الموجات لا تستطيع أن تمر إلى أعلى المجرى النهري من خلال مقطع التدفق الحرج في التدفق في القنوات المفتوحة. وفي الحقيقة، في أي وقت يكون عدد فروود يساوي 1 أو أكبر، فإن الموجات سوف تتحرك فقط باتجاه أسفل المجرى النهري من ذلك الموقع. وعندما يكون $F_r^2 < 1$، فإن التدفق يكون فوق الحرج، وعندما يكون أقل من 1 فإن التدفق يكون تحت الحرج.

9-3 دقة قياس التدفق

قد تكون أدق طريقة لقياس معدل التدفق هي بواسطة معايرة الوقت لملء وعاء ذو حجم معروف. فعلى سبيل المثال، فإن وعاء يمكن أن يتم إستعماله لإلتقاط الماء المتدفق من أنبوب صغير، وأن الزمن المطلوب لتعبئة هذا الوعاء يتم قياسه مع ساعة توقيت. على الرغم من أن هذا في العادة لا يعتبر عملياً بالنسبة لمعدلات التدفق الكبيرة. ومن ناحية مثالية، فإن دقة قياس التدفق في نظم الري هي من زائد أو ناقص 2% إلى 20% من التصريف الصحيح. وهذا المدى يمكن أن يكون أعلى بكثير إذا كان هناك أخطاء. وعادة إنه يعتبر من الضروري أن يتم قياس الرأس، أو السرعة ومساحة المقطع العرضي، للوصول إلى قمية معدل التدفق. وقياسات الرأس، والسرعة، والمساحة تعتبر معرضة للخطأ وذلك لأسباب متعددة. والجدول 9-1 يعطي بعض أكثر الأسباب شيوعاً بالنسبة لأخطاء قياس التدفق.

الجدول 9-1: المسببات الشائعة لخطأ قياس التصريف.

نوع المشكلة	المسببات الممكنة الشائعة
ظروف مقطع التدفق	• السرعة العالية في مقطع التدفق • سرعة مقطع التدفق غير متعامدة مع جهاز القياس
الإضطراب والتيارات	• سطح ماء خشن تدفق دوّار بالقرب من أو عند موقع القياس
مشاكل المعدات	• مساطر القياس، عداد قياس التيار، العوامات، ألخ، غير صالحة • تحويل المعايرات على مقللات الضغط والعدادات الأخرى التركيب الرديء (حافة غير أفقية، أبعاد خاطئة، ألخ)
موقع القياس	• القياسات المحلية محطات قياس المجرى النهري (يحتاج إلى تدفق ثابت)
أخطاء بشرية	• خطأ في قراءة مستوى الماء، ألخ. • سوء إستخدام المعدات، أو التطبيق غير الملائم للمعدات

9-4 طرق قياس القنوات المفتوحة البسيطة

الطرق التالية تعتبر بسيطة وتقريبية، وهي ليست عادة الطرق المفضلة بالنسبة لقياس التدفق في القنوات المفتوحة. والطرق المفضلة هي من خلال إستخدام المنشآت المعايرة (الهدارات، والمجاري الصناعية، والفوهات أو الفتحات، وأشياء أخرى)، وعدادات قياس التيار.

9-4-1 القياس من خلال المشاهدة

وفي تلك هذه الطريقة، يجب أن يعتمد الواحد على الخبرة في تقدير التصريف في القناة المفتوحة، ببساطة بواسطة مراقبة التدفق في القناة وعقلياً يقوم بمقارنتها بقنوات مشابهة والتي كان قد تم قياس معدل التدفق منها وأصبح معروفاً. وهذه الطريقة في العادة لا تعتبر دقيقة جداً، وخاصة بالنسبة للدفقات الكبيرة، ولكن بعض راسمي المنحنيات المائية ذو الخبرة العالية يمكن أن يصلوا إلى تقدير قريب جداً (وربما مع بعض الحظ).

9-4-2 القياس بواسطة العوامات

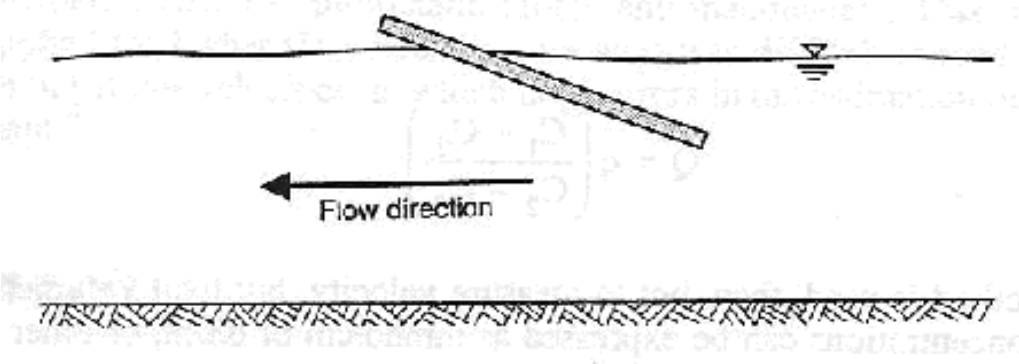
معدل سرعة التدفق في قناة مفتوحة يمكن أن يتم تقديره بواسطة قياس سرعة جسم عائم على سطح الماء. وهذا يمكن القيام به من خلال عمل مسافات منتظمة على طول القناة ومن ثم يتم إستخدام ساعة التوقيت لقياس الزمن المنقضي من موقع البداية إلى المواقع ذات العلاقة في أسفل المجرى النهري. وأنه يعتبر فكرة جيدة أن يكون هناك أكثر من نقطة قياس واحدة بحيث أنه يتم أخذ معدل السرعة على طول مقطع من القناة، وكذلك لتقليل فرصة حدوث الخطأ. ومن ثم، يمكن أن يتم عمل رسم بياني لمسافة تنقل الجسم العائم مقابل الزمن، والتي فيها الميل يساوي السرعة السطحية للماء.

وسرعة الجسم العائم سوف تكون أعلى من معدل سرعة التدفق في القناة. ومعدل السرعة في القناة يمكن أن يتم تقديره بواسطة ضرب سرعة الجسم العائم في معامل. الجدول 9-2 يعطي قيم مثل تلك المعاملات كدالة لمعدل عمق الماء (مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي 1981). وسرعة الجسم العائم المقاسة يتم ضربها في معامل مناسب للحصول على قيمة تقريبية لمعدل سرعة التدفق في القناة.

وبعض راسمي المنحنيات المائية كانوا قد استخدموا عصاه خشبية مغمورة بشكل جزئي والتي تم تصميمها من أجل تقريب متوسط سرعة التدفق، تجنب الحاجة إلى المعاملات كما هو في الجدول 9-2. وأحد نهايات العصا يتم تعليق كتلة عليها من أجل أن تغمر في الماء، كما هو مبيّن في الشكل 9-1. وطريقة الجسم العائم لا تعتبر دقيقة وذلك لأن العلاقة ما بين سرعة الجسم العائم ومعدل سرعة التدفق الحقيقية ليس معروفاً بشكل جيد عموماً. ويجب أن يتم إستخدام طرق أخرى إذا ما كان هناك رغبة في الحصول على قياس دقيق.

الجدول 9-2: قيم التصحيح المثالية بالنسبة لسرعة التدفق بواسطة طريقة الجسم العائم (من مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي 1981).

المعامل	معدل العمق	
	(قدم)	(متر)
0.66	1	0.30
0.68	2	0.61
0.70	3	0.91
0.72	4	1.22
0.74	5	1.52
0.76	6	1.83
0.77	9	2.74
0.78	12	3.66
0.79	15	4.57
0.80	20 <	6.1 <



الشكل 9-1: عصا مغمورة بشكل جزئي من أجل الإستعمال مع طريقة الجسم العائم.

ويجب أن يتم إختيار موقع والذي فيه تكون القناة مستقيمة، ومن دون أي تغيير في المقطع العرضي، ولها سطح ماء أملس، ولا يوجد تغيير مفاجيء في إرتفاع قاع القناة أو الميل الطولي. ولاحظ أن الرياح تستطيع أن تؤثر على سرعة الجسم العائم، وتغير العلاقة ما بين سرعة السطح ومعدل سرعة التدفق. ويجب أن يتم أخذ الحذر من أجل الحصول على قياسات مع الجسم العائم يتحرك بالقرب من منتصف عرض سطح التدفق أو الجريان، وليس الحركة غير المنتظمة باتجاه جوانب القناة، وأن لا تغرق تحت الماء.

9-4-3 طريقة الصبغة

طريقة الصبغة، أو "طريقة سرعة-اللون"، يمكن أن يتم إستخدامها لقياس سرعة التدفق، بنفس طريقة الجسم العائم. على الرغم من أنه في هذه الطريقة فإنه يتم حقن كمية قليلة من الصبغة إلى المجرى النهري، وأن الوقت اللازم لحقنة الصبغة لتصل أسفل المجرى النهري يتم قياسه. وهذا

الزمن يمكن أن يتم أخذه كمعدل الزمن بالنسبة للجزء الأول من الصبغة لتصل إلى الموقع أسفل المجرى المائي، وأن الزمن بالنسبة للجزء الأخير من الصبغة لأن يصل لذلك الموقع (الصبغة سوف تختفي وتستطيل كلما تحركت باتجاه أسفل المجرى النهري).

وجزء الفحص يجب أن لا يكون طويل جداً، وإلا سوف تكون الصبغة قد إنتشرت بشكل كبير ويكون من الصعب أن يتم إكتشاف فرق اللون بصرياً في الماء. وعادة، فإنه يعتبر من الملائم أن يتم إستخدام جزء الفحص بطول تقريبي يساوي 3 متر. والصبغات التي تستخدم في مثل هذا النوع من القياس يجب أن يكون غير سام لكي لا يعمل على تلويث الماء. وصبغة الغذاء يمكن أن يتم إستخدامها، كما يمكن لكيميائيات ملونة أيضاً مثل "الفلوريسين".

9-4-4 طريقة إذابة الأملاح

وفي هذه الطريقة، يتم صب محلول مائي معروف تركيز الأملاح، C_1، في المجرى المائي وبمعدل ثابت، q. وتركيز الأملاح، C_2، للمحلول المخلوط بشكل تام يتم قياسه في الموقع أسفل المجرى المائي. وإذا كان تركيز الأملاح الإبتدائي، C_0، للمجرى المائي (قبل إضافة المحلول المركز) يعتبر معروفاً، فحينها فإن تصريف المجرى المائي، Q، يمكن أن يتم حسابه كما يلي:

$$QC_0 + qC_1 = (Q + q)C_2 \qquad (3\text{-}9)$$

أو،

$$Q = q\left(\frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}\right) \qquad (4\text{-}9)$$

وهذه الطريقة يتم إستخدامها، حينها، ليس لقياس السرعة، ولكن لقياس معدل التدفق الحجمي الكلي. والتراكيز يمكن أن يتم التعبير عنها بالمليموز/سم أو الديسيسيمنز/م، أو وحدات أخرى للتوصيل الكهربائي.

9-4-5 طريقة التدفق المنتظم

وفي هذه الطريقة، فإن ميل قاع القناة، ومعدل المقطع العرضي، ومعدل العمق يتم قياسها. ويتم تقدير قيمة الخشونة، ويتم تطبيق معادلة مانغ أو شيزي لحساب التصريف. وتعتبر هذه الطريقة قابلة للتطبيق فقط بالنسبة للتدفق المنتظم والثابت، وتكون محدودة بشكل كبير بواسطة عدم القدرة على تقدير قيمة الخشونة بدقة. وعلاوة على ذلك، وقيمة الخشونة غالباً ما يتم أخذها على أنها دالة لحالة قاع القناة أو مادة التبطين فقط، بينما في الواقع فإنها أيضاً تكون دالة حجم وشكل القناة. وطريقة التدفق المنتظم تعتبر فقط قابلة للتطبيق بالنسبة للتدفق المنتظم الثابت، بحيث لا يمكن أن يتم تطبيقها بشكل عام وذلك لأن ظروف تلك التدفقات على الأغلب لا توجد في قنوات الري. ومن ناحية مثالية، فإن كل من ميل قاع القناة وميل سطح الماء يتم قياسهما للتحقق من أن التدفق منتظم أم لا.

والتصريف يمكن أن يتم تقديره بواسطة إعطاء مدى لمعدلات التدفق المحتملة بالنسبة لأقصى وأدنى قيم خشونة (أيضاً يتم تقديرها)، بالإستناد إلى مظهر وحجم القناة. ويمكن أن يتم تقدير

الخشونة من خلال الخبرة، أو بواسطة إستشارة الكتيبات الهيدروليكية والتي تقدم جداول وأشكال أو صور. وقد قام كل من مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي والمؤسسة العسكرية الأمريكية للمهندسين بتجهيز جداول هيدروليكية للمدى الإعتيادي لمعاملات خشونة مانينغ. وتلك الجداول يتم إستخدامها على نطاق واسع من أجل تصميم القنوات والقنوات المفتوحة الأخرى، وأيضاً فيما يشار إليه على أنه طريقة "الميل-المساحة". وتتألف طريقة "الميل-المساحة" إستخدام ميل سطح الماء في مقطع منتظم من القناة وكذلك معدل مساحة المقطع العرضي للمقطع من أجل إعطاء معدل التصريف.

9-4-6 طريقة أنبوب بيتو

يمكن أن يتم وضع أنبوب بيتو بسيط في التدفق لقياس طاقة الحركة أو ضاغط السرعة. وأحد نهايات الأنبوب يتم وضعها في التدفق، والنهاية الأخرى يتم وضعها بشكل عمودي خارج الماء. وكلا النهايتين مفتوحتين. والنهاية المغمورة من الأنبوب يتم وضعها لكي تكون بالضرورة موازية للتدفق، بالقرب من منتصف المقطع العرضي (أو قليلاً فوق المنتصف).

وأنابيب بيتو أخرى أكثر تعقيداً يمكن أن يتم إستخدامها للحصول على قياسات أكثر دقة، مثل "أنابيب بيتو الساكنة" والمانوميترز (أجهزة قياس ضغط السوائل). وهذه الطريقة يتم تطبيقها بشكل أفضل بالنسبة لسرعات التدفق العالية وذلك لأنه من الصعب أن يتم قراءة فرق الطاقة أو الضاغط (head) على سرعات منخفضة، والتي فيها يمكن أن ينتج أخطاء كبيرة في تقدير السرعة.

9-5 الهدارات

الهدارات هي عبارة عن منشآت مفيض أو فائض يتم وضعها في القنوات المفتوحة لقياس المعدل الحجمي للتدفق. وحافة هدار القياس هي في العادة متعامدة مع إتجاه التدفق. وإذا لم يكن هذا هو الحال، فإن معايرات خاصة يجب القيام بها من أجل تطوير علاقة الجزء المرتفع-التصريف. والهدارات المائلة أو هدارات منقار البطة يتم إستخدامها أحياناً لتعطي تقريباً عمق ماء ثابت في أعلى المجرى المائي، ولكن يمكن أن يتم أيضاً معايرتهما كأجهزة قياس تدفق. وللهدارات عدة مزايا ومساويء مهمة. والمزايا أنها:

1. لها القدرة على قياس مدى واسع من معدلات التدفق وبدقة؛
2. تميل لأن تعطي تصنيفات تصريف أكثر دقة من المجاري الصناعية والفوّهات؛
3. تعتبر نسبياً سهلة البناء؛ و
4. تسمح للأوساخ العائمة بأن تمر فوق المنشأة.

ومن المساويء، فإن أهمها هو:

1. طاقة أو ضاغط أكبر تعتبر مطلوبة نسبياً، بمعنى أن عمق أعلى المجرى المائي يزداد بشكل كبير عندما يتم تشغيل الهدار تحت ظروف التدفق الحر، وغالباً ما يتجنب الإستخدام العملي في مناطق منبسطة مثل دلتا الأنهر؛ و
2. تميل الرسوبيات والأوساخ المغمورة لأن تتراكم في إعلى المجرى المائي للهدار.

يتم تحديد الهدارات بواسطة شكل فتحاتها، أو ندبتها. وحافة الفتحة يمكن أن تكون حادة أو عريضة العتبة، أو أحيانا فيما بينهما. والهدار حاد العتبة له زاوية حادة في أعلى المجرى المائي، أو حافة، بحيث أن الماء يقفز بوضوح من العتبة أو الحافة. والذي يستخدم بشكل متكرر أكثر هو المستطيل الحاد العتبة أو الحافة، وشبة المنحرف، وسيبوليتتي، والمثلثي أو الهدارات ذو الـ 90 درجة وذو الندبة المتقلصة وحادة العتبة. والهدار العريض العتبة له حافة أفقية أو قريبة من الأفقية وطويلة بشكل كافيباتجاه التدفق بحيث أن طبقة الماء التي تفيض على سطح قمة الهدار تكون مدعومة وأن ضغوط هيدروستاتيكية يتم تطويرها بشكل تام لعلى الأقل مسافة قصيرة.

ومن ناحية هيدروليكية، فإن تمييز فاصل يمكن أن يتم عمله من حيث الهدارات غير المتقلصة والمتقلصة. والهدار غير المتقلص يكون في العادة هدار مستطيل والتي تكون جوانب فتحته تتوافق مع جوانب قناة الإقتراب، والتي تمتد من دون تغيير إلى أسفل المجرى المائي من الهدار. وفي الهدار المتقلص، فإن الجوانب والعتبة تكون بعيدة عن جوانب وقاع قناة الإقتراب—طبقة الماء التي تفيض على قمة الهدار سوف تتقلص بشكل كامل في كل من الإتجاه الجانبي والعمودي عند عتبة الهدار عندما ينسكب الماء من فوق باتجاه أسفل المجرى المائي. وهذا يعني أن فتحة الهدار المتقلص تكون أضيق من عرض القناة في أعلى المجرى المائي. وهكذا، فإن الكلمة "غير المتقلص" يتم إستخدامها لتعني أن تقلصات النهاية الجانبية تكون غائبة (غير موجودة)، والتي تبسّط العلاقة ما بين التصريف وطاقة أو ضاغط إعلى المجرى المائي.

والتدفق الحر، أو التدفق القياسي أو المعياري، هو عبارة عن حالة والتي فيها يتم تصريف طبقة الماء التي تفيض فوق قمة الهدار إلى الهواء. وهذا يكون موجوداً عندما يكون سطح الماء في اسفل المجرى المائي منخفضاً لدرجة كافية بحيث يسمح للهواء بأن يدور في هدار متقلص أو منقبض. ومع الهدار غير المتقلص، فإن جوانب المنشأة ربما تمنع الهواء من الدوران تحت طبقة الماء التي تفيض فوق قمة الهدار، بحيث أن الجانب السفلي من طبقة الماء التي تفيض فوق قمة الهدار يجب أن يتم تهويتها أو فتحها إلى الجو. وإلا، فإن الهواء تحت طبقة الماء التي تفيض فوق قمة الهدار ربما تستنزف، وتسبب إنخفاض في الضغط تحت طبقة الماء التي تفيض فوق قمة الهدار، مع الزيادة المتناسقة في التصريف بالنسبة لطاقة أو ضاغط معين. وعندما يحدث هذا، فإن التصريف المقاس (أو الظاهر) يكون أكبر من التصريف الحقيقي فوق الهدار.

والتدفق المغمور، أو غير القياسي، هو عبارة عن حالة يكون فيها طبقة الماء التي تفيض من قمة الهدار جزئياً تحت الماء، والذي فيه تكون التغييرات في عمق أسفل المجرى المائي سوف تؤثر على معدل التدفق. الحالة التي تشير إلى التغيرات من التدفق الحر إلى التدفق المغمور يطلق عليها الغمر المتحوّل، والتي فيها يتم تعريف الغمر على أنه نسبة الطاقة النوعية في أعلى المجرى المائي إلى أسفل المجرى المائي. ويمكن أن يتم تقريب الغمر بواسطة قسمة العمق أسفل المجرى المائي على عمق أعلى المجرى المائي، والتي تعطي عدداً أقل من 1. وعندما يساوي الغمر 1، فإن التدفق ينتقل من (بشكل مؤقت) إلى إتجاه أعلى المجرى المائي.

وبالنسبة للتطبيقات العملية للهدارات كأجهزة قياس تدفق، فإنه يعتبر مفضّلاً أنها تعمل تحت ظروف التدفق الحر بحيث أن عمق أعلى المجرى المائي فقط يحتاج لأن يتم قياسه للوصول إلى قيمة تصريف. وهذا يجعل التطبيق ملائم بدرجة كبيرة. وعلاوة على ذلك، فإن معايرة هدارات التدفق الحر تعتبر أكثر دقة من معايرة هدارات التدفق المغمور.

وأخطاء كبيرة في قياس التدفق يمكن أن تحدث وذلك بسبب ظروف التدفق الرديئة، والسرعة العالية والإضطراب في المنطقة التي هي فقط أعلى المجرى المائي للهدار. وعموماً، فإن تدفق التقارب يجب أن يكون نفس التدفق في قناة طويلة ومستقيمة من نفس الحجم. ويجب أن تكون

سرعة التماس القريبة من الهدار أقل من 0.5 قدم/ث، أو في حدود 0.15 م/ث. وهذه القيمة يتم الحصول عليها تقريباً بواسطة قسمة اقصى تصريف على ناتج عرض القناة وعمق الماء، والتي يتم قياسها عند النقطة في أعلى المجرى المائي 4 إلى 6 أضعاف طاقة أو ضاغط الهدار. وتلك النقطة تعتبر هي النقطة المفضلة لموقع مسطرة القياس في أعلى المجرى المائي للهدار. وظروف التدفق الهادىء يجب أن تمتد إلى أعلى المجرى المائي من الهدار إلى مسافة 15 إلى 20 ضعف الطاقة أو الضاغط على الهدار. وجزء القناة الموجود في أعلى المجرى المائي يطلق عليه أحياناً "بركة الهدار".

6-9 معادلات تصريف الهدار ذو العتبة الحادة

الهدارات ذات العتبة الحادة القياسية تشمل الهدار ذو الفتحة المتقلصة (المثلثة)، والمستطيلة، والسيبوليتتي. والشكل 9-2 يظهر مناظر أمامية وجانبية لهدارات مستطيلة وذات فتحة متقلصة مثلثة. والمعادلة العامة للتدفق الحر فوق هدار مستطيل ذات عتبة حادة هي كما يلي:

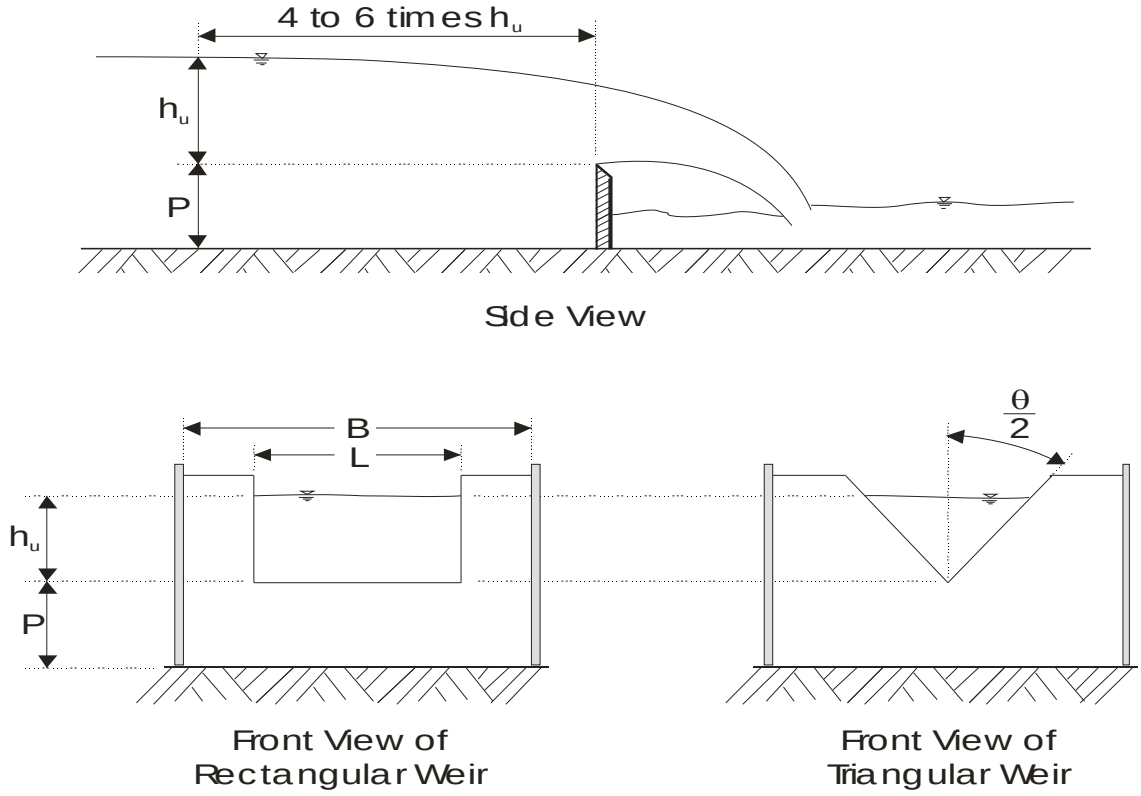
$$Q = C_e L_e h_u^{1.5} \qquad (5\text{-}9)$$

في حين أن Q هي معدل التدفق (م^3/ث، أو قدم مكعب/ث)؛ و C_e هي عبارة عن معامل المعايرة؛ و L_e هي عبارة عن طول عتبة الهدار "الفعّالة" (بالمتر أو بالقدم)؛ و h_u هي عبارة عن الضاغط (في أعلى المجرى المائي) فوق الهدار (بالمتر أو بالقدم).

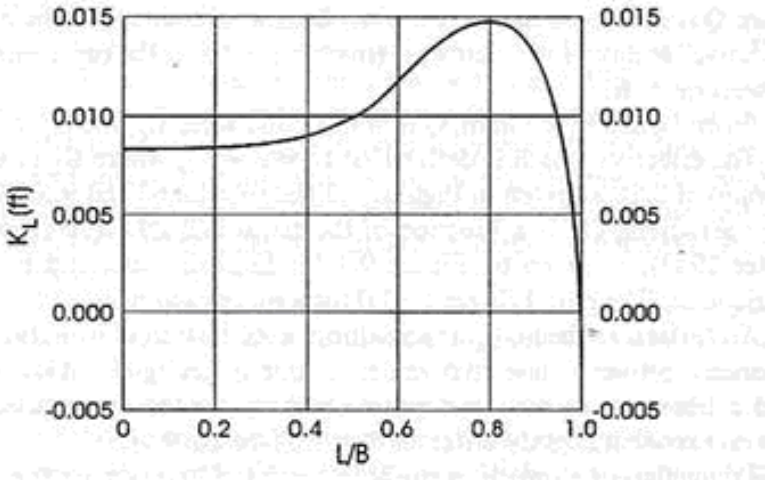
وعندما تكون L_e و h_u بالمتر، فإن Q تكون م^3/ث، وعندما تكون L_e و h_u بالقدم، فإن Q تكون بالقدم المكعب/ث. والطول الفعال يتم تعريفه على أنه: $L_e = L + K_L$، في حين أن K_L هي دالة نسبة B/L، كما تم إعطاؤها في الشكل 9-3 (بالوحدات الإنجليزية) و 9-5 (بالوحدات المترية). والمعامل، C_e، هو عبارة عن دالة النسبة B/L و P/h_u (Kindsvater و Carter 1959)، كما تم إعطاؤها في الشكل 9-4 بالنسبة للوحدات الإنجليزية، والشكل 9-6 بالنسبة للوحدات المترية. والنسبة B/L تساوي 1 بالنسبة للهدارات غير المتقلصة.

والضاغط "الفعّال"، h_e، يستخدم أحياناً بدلاً من h_u في المعادلة 9-5، ولكن الفرق ما بين هاتين القيمتين يكون في العادة مهملاً. أيضاً، المعايرات الميدانية الخاصة بالموقع للهدارات المستطيلة غير القياسية وذات العتبة غير الحادة ربما تعطي أس يختلف قليلاً عن 1.5 (أنظر المعادلة 9-5).

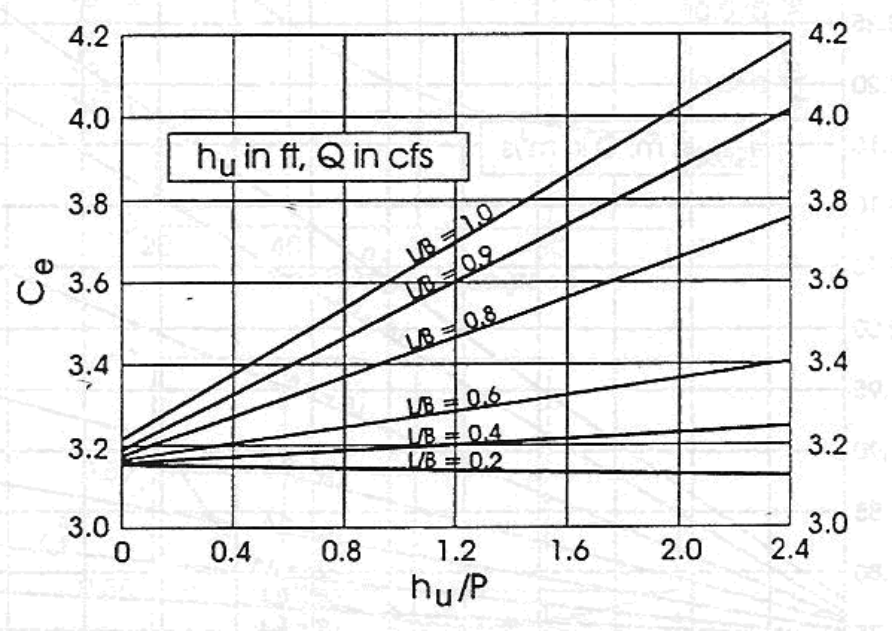
والهدارات المثلثة أو ذات الفتحة المتقلصة المثلثة، تعتبر تضييقات قناة مفتوحة الأكثر دقة لقياس التصريف. والتصريف فوق الهدار ذو الفتحة المتقلصة المثلثة يزداد بسرعة أكبر مع



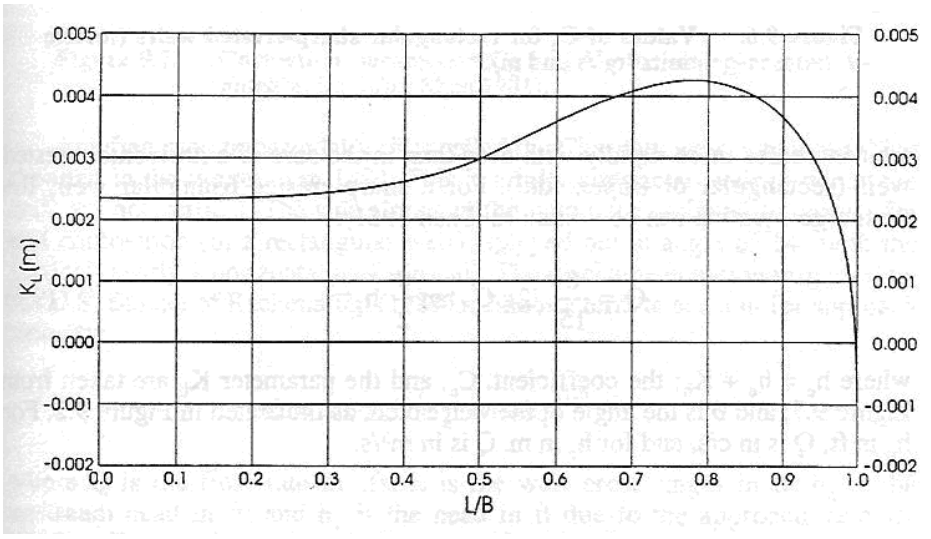
الشكل 9-2: مناظر أمامية وجانبية لهدارات مستطيلة ومثلثة ذات عتبة حادة.



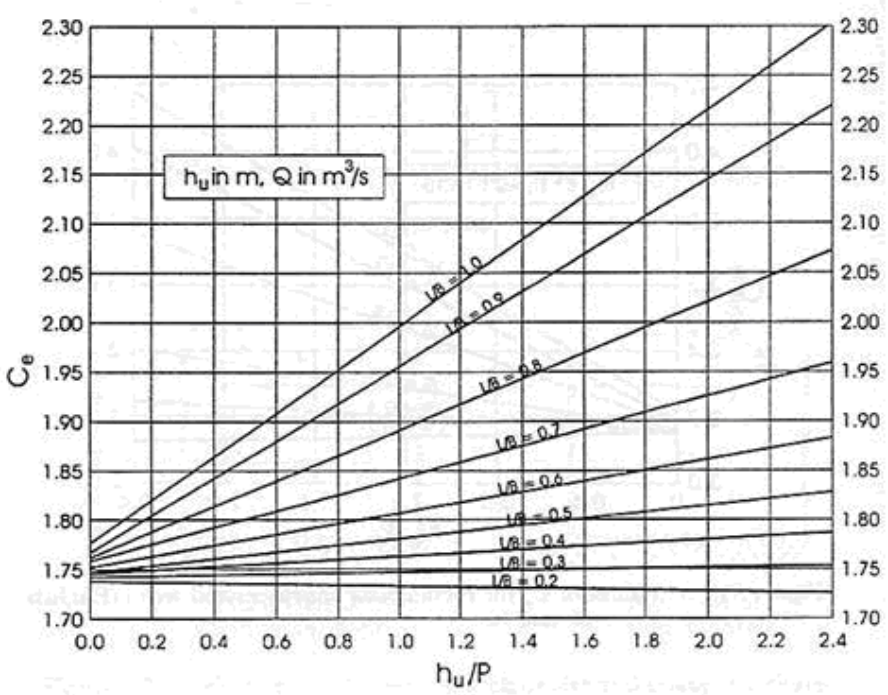
الشكل 9-3: قيم K_L للهدارات المستطيلة ذات العتبة العريضة (الوحدات الإنجليزية: قدم مكعب/ث، و القدم).



الشكل رقم 9-4: قيم C_e للهدارات المستطيلة ذات العتبة العريضة(الوحدات الإنجليزية: قدم مكعب/ث، و القدم).



الشكل 9-5: قيم K_L للهدارات المستطيلة ذات العتبة العريضة(الوحدات المترية: م^3/ث، و المتر).

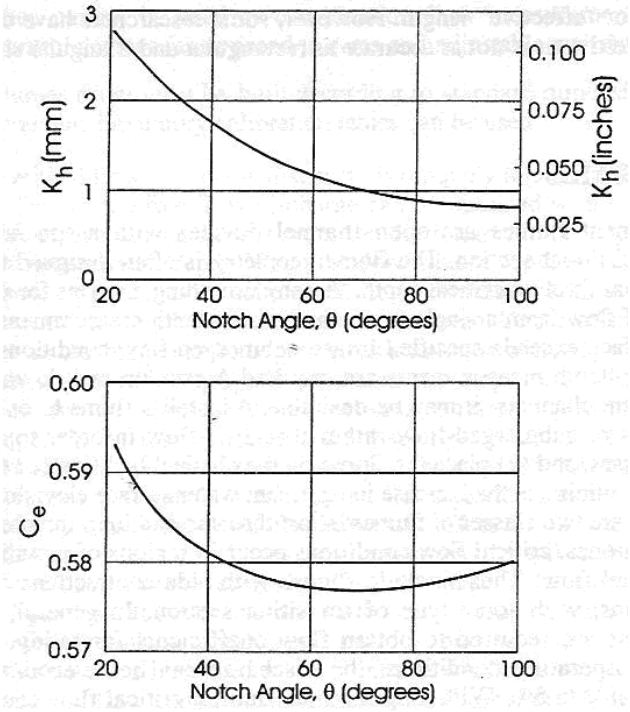


الجدول 9-6: قيم C_e للهدارات المستطيلة ذات العتبة العريضة(الوحدات المترية: م^3/ث، و المتر).

ضاغط منه في حالة هدار العتبة الأفقية (المستطيل أو شبة المنحرف). وبالنسبة لهدار مثلثي ذات عتبة حادة، فإن معادلة التصريف يمكن أن يتم كتابتها كما يلي (Shen 1981):

$$Q = \frac{8}{15}\sqrt{2g}\, C_e \tan\frac{\theta}{2}\, h_e^{2.5} \qquad (6\text{-}9)$$

أن $K_h + h_u = h_e$؛ والمعامل C_e، والمعامل K_h يتم أخذها من الشكل 9-7؛ و θ هي عبارة عن زاوية فتحة الهدار كما تم توضيحها في الشكل 9-2. بالنسبة لـ h_e بالقدم، Q بالقدم المكعب/ث، و لـ h_e بالمتر، Q م^3/ث.



الشكل 9-7: معاملات التصحيح C_e و K_h للهدارات المثلثة ذات التقلص (Shen 1981).

والهدار شبة المنحرف الذي يستخدم بشكل متكرر يطلق عليه هدار سيبوليتتي، والذي كان قد تم الكتابة عنه في الإدبيات في العام 1984. وهذا يعتبر هدار متقلص بشكل كامل والذي فيه النهايات ليست عمودية. والميول الجانبية للفتحة تم تصميمها لتصحح بالنسبة للتقلص النهائي (في الهدار المستطيل)، ويميل عند زاوية 14 درجة مع العمودي (تقريباً 1 أفقي إلى 4 عمودي). ومعادلة التصريف التي تم إقتراحها بواسطة مكتب إستصلاح الأراضي الأمريكي (1981) يشتمل على مصطلح يقوم بتوضيح سرعة التقارب:

$$Q = 3.367L(h_u + 1.5h_v)^{1.5} \qquad (7\text{-}9)$$

في حين أن Q هي معدل التدفق بالقدم المكعب/ث؛ و L هي طول عتبة الهدار بالقدم؛ و h_u هي عبارة عن الضاغط في أعلى المجرى المائي بالقدم؛ و h_v هو الضاغط بالقدم نتيجة لسرعة التقارب ($2g/V^2$). وبالنسبة للوحدات المترية، مع h_u و h_v، و L بالمتر، فإن المعامل في المعادلة 7-0 هو $(3.376)(0.3048)^{0.5} = 1.86$، وهذا يتفق مع Q بوحدة م^3/ث.

وقد تم رؤية أن معادلة التصريف بالنسبة لهدار سيبوليتتي هي أبسط من ناحية التطبيق وذلك بسبب أنه لا يوجد حاجة لأرقام لتحديد المعامل، وأنه لا يوجد حاجة إلى طول "فعّال". على الرغم من أن بعض الباحثين كانوا قد طالبوا بأن هدار سيبوليتتي ليس دقيقاً مثل الهدارات المستطيلة والمثلثة ذات العتبة الحادة.

7-9 المجاري الصناعية

مجاري القياس الصناعية هي عبارة عن أجهزة قنوات مفتوحة مع مقطع تم تشكيله خصوصاً وذو عنق متضيّق. والشكل الهندسي للمجرى الصناعي غالباً تم تصميمه من أجل إجبار التدفق على المرور من خلال العمق الحرج، وبتلك الطريقة يقدم الوسيلة لتحديد معدل التدفق من قياس عمق مياه واحد (في أعلى المجرى المائي). وعندما يتعدى سطح الماء حدوداً معينة، فإن ظروف التدفق المغمور تحدث وقياسين إثنين لعمق الماء تكون مطلوبة (إعلى وأدنى المجرى المائي). وفي القنوات ذات الميل المنبسط، فإنه ربما يكون مستحباً أن يتم تركيب مجرى صناعي ليعمل تحت ظروف التدفق المغمور بدلاً من التدفق الحر من أجل أن: (1) تقليل الطاقة المفقودة، و (2) وضع المجرى الصناعي على قاع القناة (بدلاً من فوقها) من أجل تقليل الزيادة في إرتفاع سطح الماء في أعلى المجرى المائي.

وهناك فئتين من المجاري الصناعية: ذات العنق القصير وذات العنق الطويل. وفي المجاري الصناعية ذات العنق القصير، فإن ظروف التدفق الحرج تحدث في مناطق ذات تدفق إنحنائي وثلاثي الأبعاد. وهذه تشتمل على المجاري الصناعية مع تقلصات جانبية وتقلصات قاع، ومع بعض أنواع الأجزاء الإنتقالية. وعموماً، فإن المعايرات المخبرية من أجل الحصول على معاملات التدفق من أجل التصنيف، وأيضاً تحت ظروف التشغيل المفضلة، فإن التصريف يمكن أن يتم تحديده بدقة تتراوح من 2 إلى 5%. ومع المجاري الصناعية ذات العنق الطويل، فإن ظروف التدفق الحرج يتم تكوينها في منطقة التدفق المتوازي في جزء التحكم. وظروف التدفق الخطية تلك تعتبر أفضل بشكل أكبر إذا تم تعريفها نظرياً؛ وهكذا، فإن علاقات التصنيف يمكن توقعها بشكل مقبول وجيد. وعموماً، فإن التدفقات أكبر من 10 لتر/ث يمكن أن يتم قياسها مع نسبة خطأ أقل من 2% في مجرى صناعي ذات أبعاد مناسبة. والهدارات ذات العتبة العريضة تعتبر أمثلة على المجاري الصناعية ذات العنق الطويل، وقد تم أدناه وصفها بالتفصيل.

بعض مزايا المجاري الصناعية تضم:

1. لديها القدرة على التشغيل مع فواقد طاقة أو ضاغط قليلة، وكذلك قيمة غمر إنتقالي عالية؛
2. لديها القدرة على قياس مدى واسع من تصريفات التدفق الحر مع أعماق ماء ذيل عالية نسبياً، باستخدام قياس عمق ماء واحد؛ و
3. أن كل من الرسوبيات والأوساخ العائمة تميل لأن تمر من فوق المنشأة.

وأكثر المساويء أهمية بالنسبة للمجاري الصناعية هي:

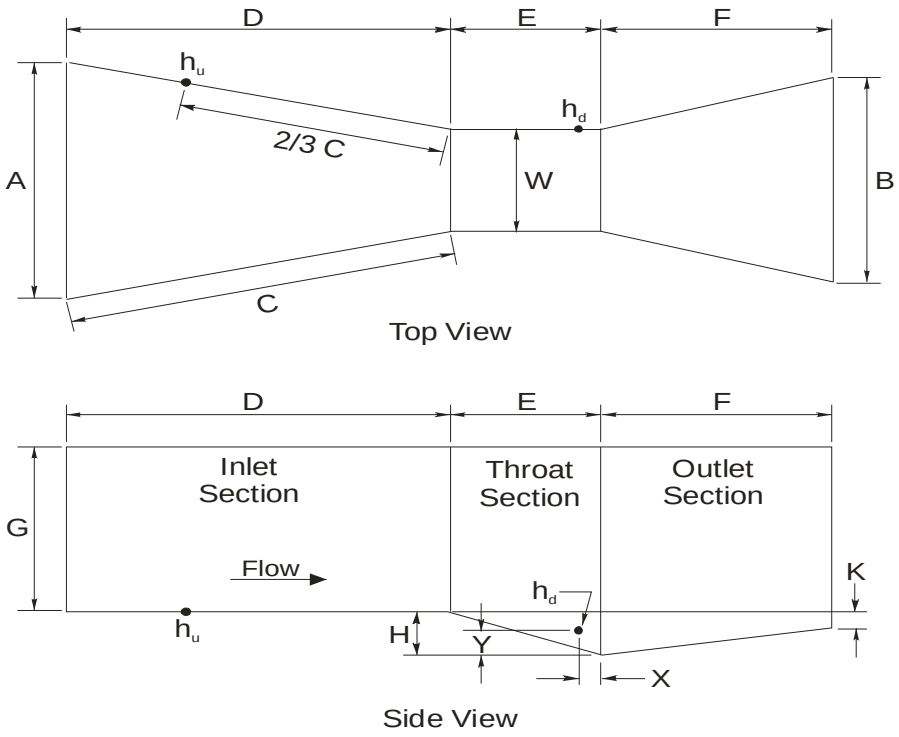
1. أنها تعتبر ذات تكلفة عالية من حيث الإنشاء منها في الهدارات؛
2. أنه يجب أن يتم إنشاؤها بعناية فائقة من أجل أن تعطي قياس تدفق دقيق؛
3. لا يمكن أن يتم إستخدامها كتوليفة لقياس التدفق وكأجهزة تحكم في التدفق (بالمقابل للبوابات والهدارات القابلة للتضبيط)؛ و
4. المجاري الصناعية غالباً ما يتم بناؤها حسب الأبعاد القياسية أو المعيارية بحيث أنه يمكن أن يتم إستخدام جداول المعايرة المخبرية المتوفرة.

وعندما يحدث التدفق الحرج فإن التصريف يتعلق بشكل فريد مع عمق أعلى المجرى المائي، h_u. وهذا يعني، أن تصريف التدفق الحر يمكن الحصول عليه مع فقط قياس واحد لعمق الماء. وفي هذه الحالة، فإن التصريف يمكن أن يتم التعبير عنه كدالة لعمق أعلى المجرى المائي. وعندما يزداد عمق أدنى المجرى المائي بحيث أن المجرى الصناعي يعمل تحت ظروف التدفق المغمور، فإن كل من قياسات أعماق أعلى المجرى المائي، h_u، وأدنى المجرى المائي، h_d، تعتبر مطلوبة. وتحت ظروف التدفق المغمور، فإنه يمكن التعبير عن التصريف كدالة $h_d - h_u$، وكذلك S، في حين أن S هي عبارة عن الغمر ($S = h_u/h_d$). وقيمة الغمر التي يكون عندها التدفق يتغير من الحر إلى المغمور، والعكس بالعكس، يتم الإشارة إليها على أنها الغمر الإنتقالي، S_t. وعند هذا الظرف، فإن التصريف الذي تم الحصول عليه من معادلة التدفق الحر هو بالضبط نفس التصريف الذي تم الحصول عليه من معادلة التدفق المغمور.

والكثير من المجاري الصناعية التي يمكن أن توجد في الميدان، وخصوصاً تلك التي تم تركيبها منذ سنوات عديدة، لديها مشاكل تؤثر بشكل سلبي على دقة قياس التدفق. فعلى سبيل المثال، إن بعض المجاري الصناعية إستقرّت في التربة بحيث أن القاع لم يعد مستوياً، وبعضها تم تدميره بشكل كامل، وبعضها به بعض ترسبات الإنجرافات أو الرسوبيات. وأنه يعتبر شائعاً أن يتم إيجاد مجرى صناعي كان قد تم تركيبه ليعمل تحت ظروف التدفق الحر، ولكن لسبب واحد أو أكثر، فإن عمق أدنى المجرى المائي كان قد زاد إلى النقطة التي يعمل فيها المجرى الصناعي تحت ظروف التدفق المغمور بشكل مثالي. وعندما تحدث مثل تلك المشاكل أو مشاكل أخرى، فإنه يجب أن يتم تعديل المعايرة للمحافظة على دقة قياس التصريف. وبعض الباحثين كانوا قد قاموا بتطوير إجراءات للقيام بضبط المعايرة حسب الكثير من المشاكل الشائعة التي يمكن مواجهتها في التركيبات الميدانية للمجاري الصناعية.

9-7-1 مجاري بارشال الصناعية

قد يكون مجرى بارشال الصناعي (بارشال 1936) هو أكثر أجهزة قياس تدفق القنوات المفتوحة شيوعاً في الإستعمال في نظم الري في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وفي أماكن أخرى. على الرغم من أن الهدار ذات العتبة العريضة الذي تم تطويره حديثاً له مزايا مهمة أكثر من مجاري بارشال الصناعية (أنظر الجزء 9-8). ويمكن أن يتم تصميم مجرى بارشال الصناعي من أجل قياس التدفق من 0.01 إلى 3000 قدم مكعب/ث، أو أكثر. وكان قد تم تصميمه ليعمل تحت ظروف التدفق الحر، وأن التركيبات المثالية هي كما أن التدفق الحر، في الحقيقة، سوف يحدث. واختيار الحجم (القياس) يستند إلى عرض المجرى الصناعي الذي يتلائم بشكل أفضل مع أبعاد القناة والخصائص الهيدروليكية، بحيث أن الأبعاد القياسية يتم غالباً وبشكل حصري إستعمالها بحيث أنه يمكن أن يتم تطبيق جداول المعايرة المخبرية. وكقاعدة عامة، فإن عرض مجرى بارشال الصناعي يجب أن يكون بحوالي ثلث إلى نصف عرض سطح الماء في أعلى المجرى المائي في القناة عند التصريف التصميمي وكذلك عند العمق الطبيعي. والشكل 9-8 يعطي معاملات الأبعاد لمجرى بارشال الصناعي.



الشكل 9-8: رسم تخطيطي لمجرى بارشال الصناعي يظهر الأبعاد المعطاة في الجدول 9-3.

والأشكال العامة لمعادلات التدفق الحر والمغمور (Skogerboe وآخرون 1967) بالنسبة للمجاري الصناعية، بما فيها مجرى بارشال، هي كما يلي:

$$Q_f = C_f h_u^{n_f} \qquad (8\text{-}9)$$

و،

$$Q_s = \frac{C_1(h_u - h_d)^{n_f}}{[-C_2 - \log S)]^{n_s}} \qquad (9\text{-}9)$$

في حين أن n_f و n_s هي الأسيات للتدفق الحر والمغمور، على التوالي، و C_f و C_1، و C_2 هي عبارة عن قيم يتم تحديدها تجريبياً. والمعاملات بالنسبة للمعادلات المذكورة أعلاه يمكن أن يتم إيجادها في جداول تم تطويرها من القياسات المخبرية (أنظ الجدول 9-4).

الجدول 9-3: أبعاد وطاقات معدل التدفق لمجاري بارشال الصناعية القياسية (أنظر الشكل 9-8).

Throat Width	Dimensions (m)											Free-Flow Capacity (m^3/s)	
(m)	A	B	C	D	E	F	G	H	K	X	Y	Min	Max
0.025	0.167	0.093	0.363	0.356	0.076	0.203	0.152	0.029	0.019	0.008	0.013	0.000	0.006
0.051	0.214	0.135	0.414	0.406	0.114	0.254	0.203	0.043	0.022	0.016	0.025	0.001	0.011
0.076	0.259	0.178	0.467	0.457	0.152	0.305	0.381	0.057	0.025	0.025	0.038	0.001	0.017
0.152	0.394	0.394	0.621	0.610	0.305	0.610	0.457	0.114	0.076	0.051	0.076	0.001	0.082
0.229	0.575	0.381	0.879	0.864	0.305	0.457	0.610	0.114	0.076	0.051	0.076	0.003	0.144
0.305	0.845	0.610	1.372	1.343	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.011	0.453
0.457	1.026	0.762	1.448	1.419	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.014	0.680
0.610	1.206	0.914	1.524	1.495	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.020	0.934
0.762	1.391	1.067	1.632	1.600	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.023	1.161
0.914	1.572	1.219	1.676	1.645	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.028	1.416
1.219	1.937	1.524	1.829	1.794	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.037	1.926
1.524	2.302	1.829	1.981	1.943	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.062	2.435
1.829	2.667	2.134	2.134	2.092	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.074	2.945
2.134	3.032	2.438	2.286	2.242	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.116	3.426
2.438	3.397	2.743	2.438	2.391	0.610	0.914	0.914	0.229	0.076	0.051	0.076	0.130	3.964
3.048	4.756	3.658	4.350	4.267	0.914	1.829	1.219	0.343	0.152	0.305	0.229	0.170	5.663
3.658	5.607	4.470	4.972	4.877	0.914	2.438	1.524	0.343	0.152	0.305	0.229	0.227	9.911
4.572	7.620	5.588	7.772	7.620	1.219	3.048	1.829	0.457	0.229	0.305	0.229	0.227	16.990
6.096	9.144	7.315	7.772	7.620	1.829	3.658	2.134	0.686	0.305	0.305	0.229	0.283	28.317
7.620	10.668	8.941	7.772	7.620	1.829	3.962	2.134	0.686	0.305	0.305	0.229	0.425	33.980
9.144	12.313	10.566	8.084	7.925	1.829	4.267	2.134	0.686	0.305	0.305	0.229	0.425	42.475
12.192	15.481	13.818	8.395	8.230	1.829	4.877	2.134	0.686	0.305	0.305	0.229	0.566	56.634
15.240	18.529	17.272	8.395	8.230	1.829	6.096	2.134	0.686	0.305	0.305	0.229	0.708	84.951

الجدول 9-4: معاملات المعايرة والغمر الإنتقالي بالنسبة لمجاري بارشال الصناعية.

Throat Width (m)	C_f	C_1	n_f	n_s	S_t
0.025	0.0604	0.0534	1.55	1.000	0.56
0.051	0.1207	0.1093	1.55	1.000	0.61
0.076	0.1771	0.1634	1.55	1.000	0.64
0.152	0.3812	0.3072	1.58	1.080	0.55
0.229	0.5354	0.4377	1.53	1.060	0.63
0.305	0.6893	0.5359	1.52	1.080	0.62
0.457	1.0588	0.7800	1.54	1.115	0.64
0.610	1.4286	1.0607	1.55	1.140	0.66
0.762	1.8071	1.3047	1.56	1.150	0.67
0.914	2.1685	1.5541	1.56	1.160	0.68
1.219	2.9259	2.0299	1.57	1.185	0.70
1.524	3.7011	2.5075	1.58	1.205	0.72
1.829	4.4944	2.9682	1.59	1.230	0.74
2.134	5.3061	3.4395	1.60	1.250	0.76

2.438	6.0642	3.8659	1.60	1.260	0.78
3.048	7.5150	4.6423	1.59	1.275	0.80
3.658	8.8952	5.4944	1.59	1.275	0.80
4.572	10.9664	6.7734	1.59	1.275	0.80
6.096	14.4196	8.9064	1.59	1.275	0.80
7.620	17.8728	11.0394	1.59	1.275	0.80
9.144	21.3260	13.1724	1.59	1.275	0.80
12.192	28.2305	17.4364	1.59	1.275	0.80
15.240	35.1369	21.7024	1.59	1.275	0.80

والجداول 9-3 و 9-4 تعطي أبعاد قياسية، وقدرات معدل تدفق، وقيم معيارية (C_f، و C_1، و n_f، و n_s). وأن قيمة C_2 هي 0.0044 بالنسبة لجميع أقيسة المجرى الصناعي التي تم إعطاؤها في الجدول 9-3، وأنها لا تعتمد على نظام الوحدات. ويتم إستخدام الوحدات المترية في الجدولين، ولكن الجداول الأصلية تم تطويرها باستخدام الوحدات الإنجليزية (Skogerboe وآخرون 1967).

والشكل 9-8 يبيّن قيم الأبعاد بالنسبة لمجرى بارشال الصناعي، كما تم إعطاءها في الجدول 9-3. وبيانات المعايرة في الجدول 9-4 هي للوجاريتم ذو الأساس10 (المعادلة 9-9)، مع العمق بالمتر ومعدل التدفق بوحدة $م^3$/ث (المعادلات 9-8 و 9-9). وقيمة S_t في العمود الأخير من الجدول 9-4 هي الغمر الإنتقالي، والتي عندها تعطي المعادلات 9-8 و 9-9 نفس قيمة معدل التدفق. وإذا كانت قيم الغمر الحقيقي أكبر من S_t، إستعمل المعادلة 9-9، وإلا إستعمل المعادلة 9-8. وقيم الغمر الإنتقالي المعطاة في الجدول 9-4 هي بالنسبة لأقصى معدلات تدفق لقياسات المجرى الصناعي القياسي ذات العلاقة.؛ وقيم S_t تيمل لأن تنخفض مع إنخفاض معدل التدفق بالنسبة لقياس مجرى صناعي معين. ومن أجل الإستعمال الملائم لمجاري بارشال الصناعية، فإن المعادلات 9-8 و 9-9 يمكن أن يتم إستخدامها للحصول على جداول معايرة بالنسبة للتدفق الحر والمغمور.

ويجب أن يتم ملاحظة أن بيانات المعايرة تلك هي بالنسبة للمجاري الصناعية الصناعية ذات الأبعاد الصحيحة، والمستوية في الإتجاهات الطولية والمستعرضة، مع وضعها بشكل صحيح أعلى وأسفل المجرى المائي لنقاط قياس العمق. وبعض مجرى بارشال الصناعية كانت قد إستقرت مع مرور الوقت وأنها ليست مستوية؛ لذلك، فإن المعايرة تتغير. وقد قام كل من Abt و Staker (1990)، و Wright و Taheri (1991)، و Blaisdell (1994) وآخرون بتقديم تعديلات معايرة بالنسبة لمجاري بارشال الصناعية غير المستوية، وكذلك المجاري الصناعية التي هي تحت ظروف التشغيل غير القياسية الأخرى.

9-7-2 المجاري الصناعية التي ليس لها عنق

المجرى الصناعي الذي ليس له عنق هو عبارة عن تضييق قناة مفتوحة مستطلية مع قاع منبسط وليس له طول في جزء العنق (الأشكال الأولية كان لها جزء عنق). ولأن المجرى الصناعي ليس له جزء عنق، فقد تم إعطاء المجرى الصناعي الأسم "ذات العنق المقطوع" بواسطة الذي قاموا بتطويره (ولأن المجرى الصناعي ليس له جزء عنق، فقد تم إعطاء المجرى الصناعي الأسم "ذات العنق المقطوع" بواسطة الذي قاموا بتطويره (Skogerboe وآخرون 1967). وأرضية المجرى الصناعي تعتبر مستوية، والتي لها المزايا التالية: (1) سهولة بناءه—يمكن أن يتم وضع المجرى الصناعي داخل قناة مبطنة بالأسمنت؛ و (2) يمكن أن يتم وضع المجرى الصناعي على قاع القناة.

وكان قد تم تطوير المجرى الصناعي الذي ليس له عنق ليعمل بشكل ملائم تحت كل من ظرف التدفق الحر والمغمور. وكان قد تم التوضيح من خلال التجربة أن أعماق التدفق التي تم قياسها في جزء مخرج التفريق يعطي منحنيات معايرة التدفق المغمور أكثر دقة من تلك التي تم قياسها في جزء العنق لمجرى بارشال الصناعي. ويعتبر أيضاً سهل البناء من مجرى بارشال الصناعي.

وأبعاد المجرى الصناعي الذي ليس له عنق يمكن أن يتم تحديدها بواسطة عرض العنق وطولة (W × L، 4" × 3"). وأطوال المجرى الصناعي هي 1.5، و 3، و 4.5، و 6، و 7.5، و 9 قدم تعتبر كافية لمعظم التطبيقات. والنسب الشائعة لـ L/W هي 9/1، 9/2، 9/3، و 9/4. وبالوحدات المترية، فإن طول المجرى الصناعي يعتبر غالباً قابلاً للقسمة على 9 (مثلاً 90 سم أو 135 سم).

وبالنسبة للمجاري الصناعية التي ليس لها عنق، فإن معادلة التدفق الحر تأخذ نفس الشكل العام الذي لمجاري بارشال الصناعية (المعادلة 9-8) وكذلك تضييقات القنوات الأخرى، وأن المعامل يمكن أن يتم تعريفه على أنه:

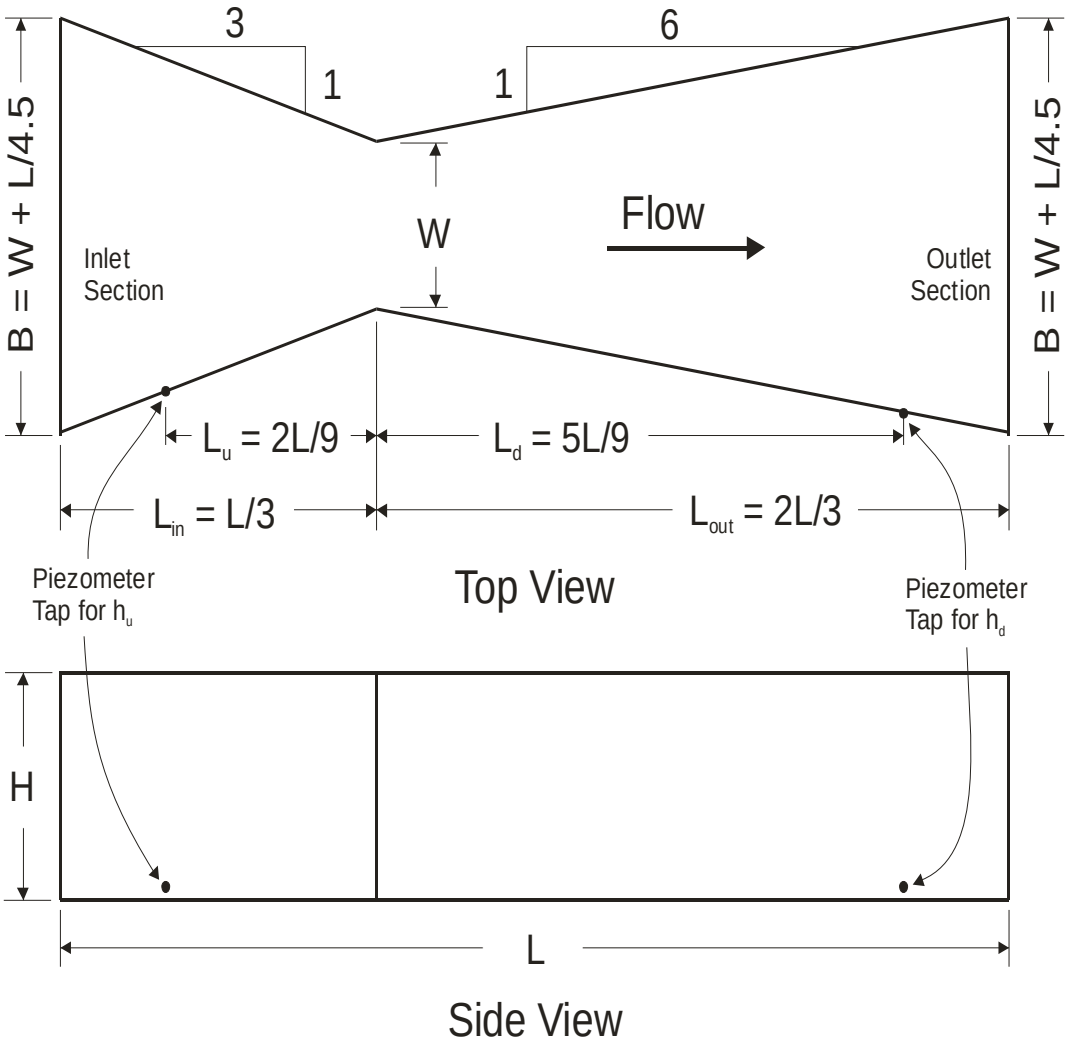
$$C_f = K_f W^{1.025} \qquad (10\text{-}9)$$

في حين أن C_f هي عبارة عن معامل التدفق الحر، والذي هو دالة كل من طول المجرى الصناعي وعرض العنق؛ K_f هي عبارة عن معامل طول المجرى الصناعي؛ (l/w) و W هي عبارة عن عرض العنق. وبالنسبة للمجرى الصناعي الذي ليس له عنق، فإن قيمة n_f تعتمد فقط على طول المجرى الصناعي، L. والنسبة الموصى بها لـ L/h_u هي أقل من أو تساوي 0.03.

وتأخذ معادلة التدفق المغمور أيضاً نفس الشكل العام الذي لمجاري بارشال الصناعية، وكذلك تضييقات القناة الأخرى، ولكن قيمة C_2 في المعادلة 9-9 يمكن أن يتم إفتراضها تساوي صفر. وقيمة المعامل C_1 يمكن تعريفها على أنها:

$$C_1 = K_s W^{1.025} \qquad (11\text{-}9)$$

في حين أن K_s هي عبارة عن معامل التدفق المغمور (h_u/h_d). ويمكن أن يتم إيجاد معاملات وأسّيات التدفق الحر والمغمور العامة بالنسبة للمجاري الصناعية التي ليس لها عنق من الأشكال القياسية.



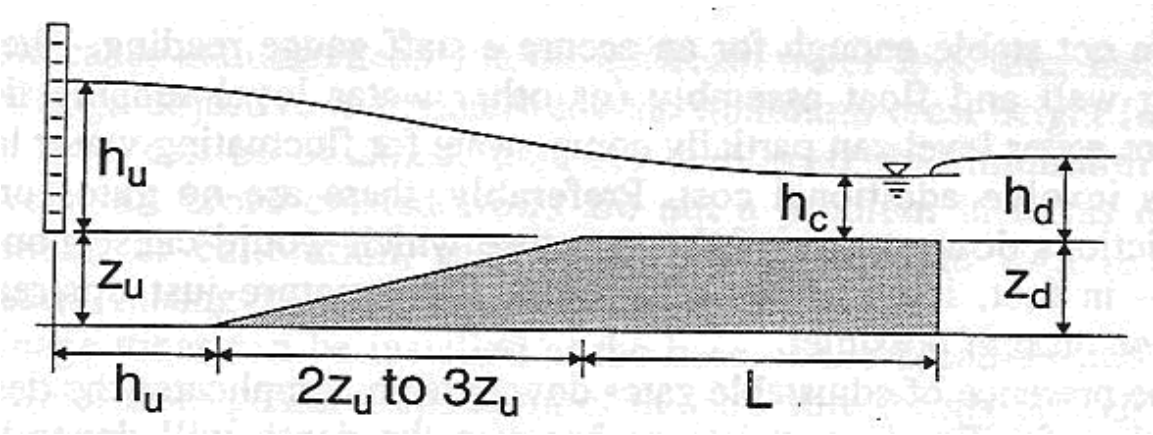
الشكل 9-9: رسم تخطيطي لمجرى صناعي ليس له عنق يظهر خصائص الأبعاد.

9-8 الهدارات ذات العتبة العريضة

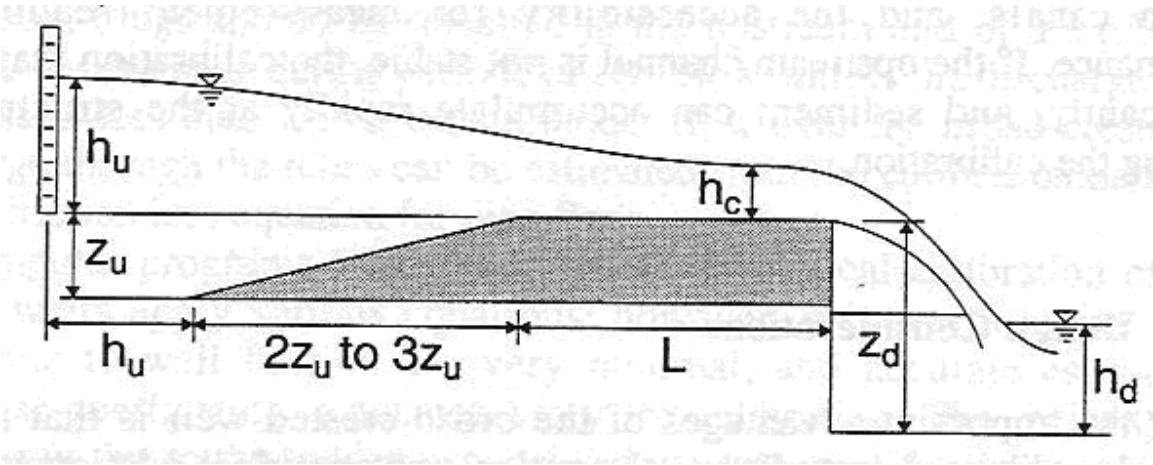
يعتبر الهدار ذو العتبة العريضة عبارة عن جهاز قياس تدفق القناة المفتوحة والذي يدمج مباديء كل من الهدارات والمجاري الصناعية (أنظر الشكل 9-10 و 9-11). وتلك الأجهزة كان يطلق عليها RBCs أو "المجرى الصناعي المنحدر". وكما هو الحال مع أجهزة قياس القنوات المفتوحة ذات العلاقة، فإن الهدار ذو العتبة العريضة لديه جزء تلاقي أعلى المجرى المائي، جزء العنق، وكذلك جزء أدنى المجرى المائي المفرّق. والهدار ذو العتبة العريضة يمكن أن يتم معايرته بالنسبة لظروف التدفق المغمور؛ على الرغم من أنه من المستحب أن يتم تصميم هذا الجهاز بحيث يعمل تحت ظروف التدفق الحر لكامل مدى التصريف الذي تحته تم تصميمه ليعمل.

وعندما يعمل تحت ظروف التدفق الحر، فإن التدفق الحرج يحدث فوق العتبة الناتئة، وأن التصريف يتعلق بشكل فريد بعمق التدفق في أعلى المجرى المائي—ظروف أدنى المجرى المائي لا

تؤثر على المعايرة. ويمكن أن يتم معايرة الهدار ذو العتبة العريضة في الميدان أو المختبر؛ على الرغم من أن المزايا الرئيسية لهذه المنشأة هي أنه يمكن أن يتم معايرتها بدقة بالإستناد إلى المعادلات النظرية من دون الحاجة إلى قياسات مخبرية مستقلة.



الشكل 9-10: منظر جانبي لهدار ذو عتبة عريضة تحت ظروف التدفق المغمور.



الشكل 9-11: منظر جانبي لهدار ذو عتبة عريضة تحت ظروف التدفق الحر.

وكما تم ذكرة في بداية هذه الوحدة، فإن جميع أجهزة قياس تدفق القنوات المفتوحة تتطلب بعض فواقد الطاقة أو الضاغط، على الرغم أنه مع بعض المعدات الخاصة مثل العدادات فوق الصوتية، فإن الفواقد لا تكون ذات قيمة. ولهذا السبب، فإن عمق التدفق في أعلى المجرى المائي لمنشأة القياس يجب دائماً أن تكون أعلى مما يجب أن تكون عليه في غياب المنشأة. وفي أدنى المجرى المائي للمنشأة فإن العمق سوف لن يتأثر؛ لذلك، فإن فواقد الطاقة أو الضاغط المطلوبة بالنسبة للتدفق القياسي تأتي من الزيادة في عمق أعلى المجرى المائي.

وأقصى غمر مسموح به مثالي (عمق أسفل المجرى المائي كنسبة من عمق أعلى المجرى المائي) بالنسبة للتدفق القياسي هو: 60% بالنسبة لمجرى بارشال الصناعي، و 65% بالنسبة للمجرى الصناعي الذي ليس له عنق، و 70-95% بالنسبة للهدار ذو العتبة العريضة. وهذا يعني أن

الهدار ذو العتبة العريضة يمكن في العادة أن يعمل كجهاز قياس تدفق حر مع زيادة أقل في عمق الماء في أعلى المجرى المائي، والتي يمكن أن تكون ميزة كبيرة.

9-8-1 إختيار الموقع

يجب أن تكون القناة في أعلى المجرى المائي للهدار ذو العتبة العريضة مستقيمة إلى حد ما وكذلك ذو مقطع عرضي منتظم. ومنظومة التدفق في جزء أعلى المجرى المائي يجب أن تكون في المدى تحت الحرج بحيث أن سطح الماء يكون مستقراً وأملساً ($F_r^2 < 0.2$، إذا أمكن). ولهذا السبب، فإنه يعتبر من الأفضل أن يتم تجنب تحديد موقع المنشأة تماماً في أدنى المجرى المائي لبوابة قناة أو مأخذ، فعلى سبيل المثال، بسبب أن سطح الماء على الأغلب ليس مستقراً لدرجة كافية من أجل قراءة مسطرة قياس دقيقة. وإستخدام بئر المناسيب و تجميعة العوامة (أو جهاز آخر مستشعر لمستوى الماء) ليقيس مستوى الماء يمكن أن يقوم وبشكل جزئي بتعويض مستويات الماء المضطربة، ولكن تشتمل على تكاليف إضافية. وبشكل مفضل، لا يوجد هناك تضييقات بوابات أو قنوات أسفل المجرى المائي للمنشأة والتي يمكن أن تسبب تدفق غير قياسي – وفي الواقع، فإنه من المستحب أن يتم تحديد موقع المنشأة تماماً في أعلى المجرى المائي للإرتفاع الساقط، إذا أمكن.

ووجود بوابات قابلة للتضبيط في أسفل المجرى المائي يعقد التصميم حتى أكثر منه للتضييقات الثابتة وذلك لأن العمق سوف يعتمد على كل من التصريف ووضعية البوابة. والعوامل الأخرى المشتملة في إختيار الموقع هي ثبات قاع القناة، الميول الجانبية في إتجاه أعلى المجرى المائي بالنسبة للقنوات الترابية، ودرجة الوصول إلى قراءات القياس والصيانة. وإذا لم تكن قناة أعلى المجرى المائي غير ثابتة، فإن المعايرة ربما تتغير بشكل كبير، وأن الرسوبيات يمكن أن تتراكم بسرعة على المنشأة، وأيضاً تؤثر على المعايرة.

9-8-2 الإعتبارات التصميمية

أحد المزايا المهمة للهدار ذو العتبة العريضة هو أنه يمكن أن معايرته بدقة حسب العلاقات النظرية والتجريبية. وهذا يعني أنه ليس من الضروري أن يتم تركيب قياسات منشأة "قياسية" ويتم الإعتماد على بيانات المعايرة المخبرية. والقدرة على معايرة المنشأة باستخدام المعادلات بدلاً من القياسات تعتمد على وجود جريان إنسيابي في مقطع التحكم فوق العتبة. وفي الكثير من أجهزة قياس تدفق القناة المفتوحة، فإن جريان الإنسياب لا تعتبر مستقيمة ومتوازية في مقطع التحكم. على الرغم من أن المعايرة النظرية تعتبر ممكنة، إلا أنها يمكن أن تتطلب نمذجة هيدروليكية معقدة جداً وكذلك كمبيوتر سريع. ومن الناحية الأخرى، فإن المعايرة النظرية للهدار ذو العتبة العريضة يعتبر بسيطاً نسبياً.

يجب أن يتم وضع وتحديد أبعاد الهدار ذو العتبة العريضة بحيث أن التدفق يكون قياسياً على طول المدى التشغيلي للجهاز. وإذا كان هناك سقوط كبير في قاع القناة مباشرة أسفل المجرى المائي للمنشأة، فحينها فإن إرتفاع العتبة ربما لا يكون ضرورياً في الوصول إلى العمق الحرج. على الرغم من أن الأبعاد النسبية للمنشأة تعتبر ضرورية للحصول على ظروف تدفق "مفضّلة" فوق العتبة. وهذا يعني، أن ظروف التدفق التي تستجيب للفرضيات المتأصلة من أجل المعايرة النظرية الدقيقة. وهكذ، فإن إرتفاع وطول العتبة يعتبران أبعاد ضرورية فيما يتعلق بعمق تدفق أعلى المجرى المائي. وعلى أي حال، فإن التصميم المناسب لأبعاد المنشأة هي بالضرورة عملية محاولة وخطأ، ولذلك

يمكن وبشكل كبير أن يتم تسهيلها من خلال إستخدام الحاسبة أو برنامج كمبيوتر. بالطبع، فإن الأشخاص ذو الخبرة الكبيرة في تصميم تلك الأجهزة سوف يكون لديهم الشعور بالنسبة للأبعاد المطلوبة في قناة معينة.

وأحد أهم المعاملات التصميمية هو إرتفاع العتبة فوق قاع قناة أعلى المجرى المائي. وهذا الإرتفاع يجب أن يكون كافياً ليعطي التدفق القياسي لكامل مدى التصريفات التي سيقوم الهدار ذو العتبة العريضة بقياسها. على الرغم من أنه يجب أن لا تكون أعلى من الضروري بسبب أن هذا يمكن أن يسبب زيادة مفرطة في مستوى الماء في أعلى المجرى المائي بعد التركيب. وهكذا، والهدف التصميمي هو أن يتم تحديد إرتفاع العتبة والتي من خلالها يمكن الحصول على تدفق قياسي، وأن لا يتعدى أدنى الأرتفاع هذا. والهدارات ذات العتبة العريضة والطويلة جداً لا تعتبر مشكلة من حيث قياس المياه أو المعايرة، ولكنها تعتبر فقط مصدر إزعاج فيما يتعلق بإرتفاع مستوى الماء في أعلى المجرى المائي غير الضروري.

ويمكن أن يتم تركيب أنابيب التصريف عند قاعدة الهدار ذو العتبة العريضة وذلك لمنع الماء من التبريك في أعلى المجرى المائي للمنشأة خلال الفترات التي لا يوجد فيها جريان. وهذا يساعد في الحد من نمو الأعشاب والطحالب في المياه الراكدة، وكذلك يساعد في الحد من البعوض. ويجب أن لا تكون الأنابيب كبيرة جداً، وإلا فإن التصريف الذي يمر من خلالها يحتاج لأن يتم إعتبارة في معايرة المنشأة. ويجب أن يتم تركيب السدادات في نهاية أعلى المجرى المائي للأنابيب، ومن ثم يتم إزالتها من أجل التصريف خلال الفترات التي لا يوجد فيها جريان، إلا إذا كان التصريف داخل الأنابيب هو أقل من 2% من أدنى تدفق فوق الهدار ذو العتبة العريضة. ويمكن أن يتم تقدير التصريف المار من خلال الأنابيب من بيانات المعايرة ومن خلال إستخدام معادلة فواقد الطاقة أو الضاغط بالنسبة لتدفق الأنبوب.

وبرامج الكمبيوتر من أجل تطوير المعايرة النظرية للهدارات ذات العتبة العريضة تعمل على تطبيق معادلات متنوعة: على الرغم من أنه يستحق ملاحظة أن الفواقد نتيجة إحتكاك الحائط يعتبر متدني جداً، وأن التقدير الصحيح لمعاملات الخشونة لا تعتبر ضرورية للمعايرة. وأن غالبية الفواقد إما يتم تقديرها أوحسابها (باستخدام العلاقات التجريبية)،بالإعتماد على أبعاد المنحدر أسفل المجرى المائي.

9-8-3 المعايرة بواسطة موازن الطاقة

المعايرة الكاملة للهدار ذو العتبة العريضة يشتمل على حساب فواقد الطاقة أو الضاغط على طول المنشأة. لهذا، فإنه يمكن القيام بالمعايرة على إفتراض أنه لا يوجد فواقد في مقاطع التلاقي والعنق. والقيم الناتجة سوف تكون عادة متقاربة جداً لتلك التي تم الحصول عليها من خلال المعايرة النظرية الكاملة. والإجراء الذي تم عرضة أدناه يعتبر مفيداً بشكل خاص من أجل التحقق من معايرة المنشأة الموجودة في الميدان باستخدام الحاسبة المبرمجة. ووسيلة المعايرة المبسّطة لا تشتمل على حسابات الحدود القياسية؛ على الرغم من أن هذا يعتبر إعتبار مهم في تصميم وتشغيل الهدار ذو العتبة العريضة وذلك بسبب أن المنشأة عادة يتم تصميمها لتعمل تحت ظروف التدفق القياسي.

$$h_c - h_u + \frac{A_c^3}{2T_c}\left(\frac{1}{A_c^2} - \frac{1}{A_u^2}\right) = 0 \qquad (12\text{-}9)$$

في حين أن h_c هي عمق التدفق الحرج فوق العتبة (بالمتر)؛ و h_u هي العمق في أعلى المجرى المائي (بالمتر)؛ و A_c هي مساحة المقطع العرضي للتدفق والتي عندها يحدث التدفق الحرج (م^2)؛ A_u هي المقطع العرضي للتدفق في أعلى المجرى المائي للمنشأة (م^2)؛ و T_c هي عرض سطح الماء عند النقطة التي يحدث عندها التدفق الحرج (بالمتر). ويتم قياس الأعماق نسبة إلى إرتفاع عتبة الهدار ذو العتبة العريضة، وأن A_u تستند إلى العمق $h_u + z_u$ (وذلك لأن h_u يتم أخذ مرجعيتها إلى إرتفاع العتبة، وليس قاع أعلى المجرى المائي للقناة).

ويتم حل المعادلة الأخيرة بواسطة المحاولة والخطأ، أو بأي طرق تكرارية أخرى، وبمعرفة كل من h_u و z_u، والأبعاد الهندسية للمقاطع العرضية لأعلى المجرى المائية والعنق. والأبعاد الهندسية للمقاطع تعرّف العلاقة ما بين h_c و A_c، وكذلك ما بين h_u و A_u. والحل يعطي قيمة h_c. والخطوة النهائية هي أن يتم حساب التصريف المتعلق بقيمة A_c، والذي يتم حسابه مباشرة من h_c. وهذا يتم القيام به باستخدام الشكل التالي لمعادلة عدد فروود (Froude):

$$Q = \sqrt{\frac{gA_c^3}{T_c}} \qquad (13\text{-}9)$$

ويتم تكرار هذه العملية بالنسبة لقيم متنوعة لعمق التدفق في أعلى المجرى المائي، وفي النهاية، فإنه يتم الحصول على جداول قيم والتصريفات للأعماق في أعلى المجرى المائي. ومن هذا الجدول فإنه يتم إنشاء مسطرة القياس. وهذه المعايرة البسيطة تفترض أن مستوى التدفق أسفل المجرى المائي لا تعتبر مرتفعة جداً وأن التدفق غير القياسي يعتبر موجوداً على طول المنشأة. وفي تصميم الهدارات ذات العتبة العريضة، فإنه غالباً يعتبر من الضروري أن يتم إعتبار العوامل الأخرى التي تحدد الأبعاد المسموح بها، والتي تقيّد ظروف التدفق التي تكون المعايرة لها دقيقة. وتفاصيل كامل أكثر حول تصميم الهدار ذو العتبة العريضة، وبناءه، ومعايرته، وتطبيقه يمكن أن يتم الحصول عليها من Bos، و Replogle، و Clemmens (1984).

9-9 معايرة بوابات القناة

بوابات القناة يمكن أن تعمل تحت ظروف تدفق الفوّهات وكتضييق قناة. وعموماً، فإن أي من الظروف يمكن أن تحدث تحت منظومات التدفق الحر أو المغمور (القياسية أو غير القياسية). وتدفق الفوّهة يحدث عندما يكون عمق أعلى المجرى المائي كافياً "ليسُد" الفتحة. وبصيغة أخرى، يكون قاع البوابة أسفل من إرتفاع سطح الماء في أعلى المجرى المائي. والفرق ما بين التدفق الحر والمغمور بالنسبة للبوابة التي تعمل كفوّهة، هي أنه بالنسبة للتدفق الحر، فإن إرتفاع مستوى الماء في أسفل المجرى المائي يكون أقل من C_cG_o. و C_c هي عبارة عن معامل الإنكماش، وأن G_o هي عبارة عن فتحة البوابة العمودية، والتي يتم أخذ مرجعيتها من قاع فتحة البوابة (والمعايير الأكثر تعقيداً يمكن أن يتم إشتقاقها من مباديء الحركة أو الزخم). والفرق المميز ما بين التدفق الحر والمغمور في تضييق القناة هو حدوث السرعة الحرجة بالقرب من التضييق (عادة على بعد مسافة قصيرة في أعلى المجرى المائي للجزء الأضيق من التضييق أو التخصّر).

والعلاقة الأساسية بالنسبة لتدفق الفوّهة يمكن أن يتم إشتقاقه من معادلة بيرنوللي، وأنه يعتبر آمناً أن يتم إفتراض أن الأس على الطاقة أو الضاغط بالنسبة لتدفق الفوّهة يساوي 0.50. ومعامل التضييق النظري، C_c، ذو القيمة 0.611 يساوي $\pi/(\pi + 2)$، الذي تم إشتقاقه من الديناميكيات الحرارية

بالنسبة للتدفق عبر ثقوب لانهائية، وأن معاملات التصريف المقاسة ميدانياً طبيعياً تكون في المدى من 0.65 إلى حوالي 0.9. والبوابات الشعاعية يمكن أن يتم معايرتها في الميدان باستخدام نفس المعادلات، على الرغم من أن معادلات خاصة كان قد تم تطويرها.

بالنسبة لظروف التدفق الحر من خلال الفوّهة، فإن معادلة التصريف هي:

$$Q_f = C_d C_v A\sqrt{2gh_u} \qquad (14\text{-}9)$$

في حين أن C_d هي معامل التصريف الذي ليس له وحدات؛ و C_v هي معامل فواقد السرعة التي ليس لها وحدات؛ A هي مساحة فتحة الفوّهة، و g هي نسبة الوزن إلى الكتلة؛ و h_u يتم قياسها من مركز الفوّهة إلى مستوى الماء في أعلى المجرى المائي.

والعمق في أعلى المجرى المائي، h_u، يمكن أيضاً أن يتم قياسه من قاع فتحة الفوّهة إذا تم أخذ العمق في أسفل المجرى المائي في حدود 0.611 مضروبة في فتحة الفوّهة العمودية. وإلا، فإنه يتم إفتراض أن العمق في أسفل المجرى المائي يساوي نصف الفتحة، وأن h_u يتم قياسها بفعالية من مساحة مركز الفتحة. والخيار سوف يؤثر على قيمة معامل التصريف.

وإذا كان مستوى الماء أسفل المجرى المائي أيضاً فوق قمة الفوّهة، فإن ظروف التدفق المغمور تعتبر موجودة وتصبح معادلة التصريف كما يلي:

$$Q_s = C_d C_v A\sqrt{2g(h_u - h_d)} \qquad (15\text{-}9)$$

في حين أن $h_d - h_u$ هي عبارة عن الفرق في إرتفاعات سطح الماء في أعلى المجرى المائي وأسفل المجرى المائي للفوّهة المغمورة. ومعامل طاقة أو ضاغط السرعة، C_v، يقترب من 1 كلما إنخفضت سرعة التلاقي إلى الفوّهة إلى الصفر. وفي نظم الري، فإن C_v يمكن أن يتم إفتراضها في العادة لتكون 1 طالما أن معظم قنوات الري لها ميل منبسط جداً وأن سرعات التدفق تعتبر منخفضة.

والفوّهة يمكن أن يتم إستخدامها كجهاز قياس تدفق دقيق في نظام الري. وإذا لم يكن قد تم تصنيف منشأة الفوّهة سابقاً في المختبر، فحينها يمكن أن يتم تصنيفه وبسهولة في الميدان. ومصطلح الطاقة أو الضاغط الهيدروليكي، h_u أو $(h_d - h_u)$ يمكن الإعتماد عليها للحصول على الأس 2/1، والذي يعني أن قياس تصنيف ميدانية واحدة يمكن أن تعطي تحديد دقيق لمعامل التصريف، C_d. على الرغم من أن إستخدام قياس تصنيف واحد يشمل إفتراض قيمة الثابت C_d، والتي ليست هي الحالة بشكل عام. والتعديلات بالنسبة لمعادلات الفوّهة الأساسية بالنسبة للتدفق الحر والمغمور غالباً ما يتم القيام بها من أجل التمثيل الأكثر دقة لتصنيف المنشأة كدالة لأعماق التدفق وفتحات البوابات. والمقاطع التالية تعرض بعض اشكال المعادلة البديلة من أجل الأخذ بالإعتبار تباين في معامل التصريف تحت ظروف التشغيل المختلفة.

9-9-1 منشآت البوابة المستطيلة للتدفق الحر

بالنسبة لبوابة مستطيلة لها فتحة بوابة، G_o، وعرض بوابة، Wن فإن معادلة التدفق الحر يمكن الحصول عليها من المعادلة 9-14، على إفتراض أن معامل طاقة أو ضاغط السرعة الذي ليس له وحدات يساوي 1.

$$Q_f = C_d G_o W \sqrt{2g\left(h_u - \frac{G_o}{2}\right)} \qquad (16\text{-}9)$$

في حين أن G_o هي فتحة البوابة العمودية، و W هي عرض البوابة، وأن G_oW هي المساحة، A، لفتحة البوابة.

وعمق التدفق في أعلى المجرى المائي، h_u، يمكن أن يتم قياسها أينما كان في أعلى المجرى المائي للبوابة، بما في ذلك وجة البوابة في أعلى المجرى المائي. وقيمة h_u سوف تتباين بمقدار قليل بالإعتماد على الموقع الذي تم إختياره لقياس h_u. وتبعاً لذلك، فإن قمية معامل التصريف، C_d، سوف تتباين أيضاً حسب الموقع الذي تم إختياره لقياس h_u.

وأحد المهام الأكثر صعوبة في معايرة منشأة بوابة هو الحصول على قياس ذات دقة عالية لفتحة البوابة، G_o. وبالنسبة للبوابات التي لها قضيب موصّل بقضيب آخر (محوّاة) والتي ترتفع كلما زادت فتحة البوابة، فإن فتحة البوابة يتم قراءتها من أعلى العجلة اليدوية إلى أعلى القضيب مع البوابة تكون مسدودة، وعندما يتم وضعها على فتحة معينة، G_o. وهذا عادة يمثل قياس فتحة بوابة من المكان الذي تكون فيه البوابة منصوبة بشكل كامل، بدلاً من حافة البوابة؛ وهكذا، فإن القيمة المقاسة لـ G_o من القضيب المحوّى هي على الأغلب أكبر من فتحة البوابة الحقيقية. وهذا يعني أنه من المفضل أن يتم قياس فتحة البوابة أسفل البوابة نفسها، وليس فوق على القضيب المحوّى. وبالمثل، عندما يتم نصب حافة البوابة عند نفس الإرتفاع الذي لعتبة البوابة، فإنه بدون شك سوف يكون هناك بعض التدفق أو التسرب من خلال البوابة. وهذا يشمل أن المرجع لقياس فتحة البوابة هي أسفل عتبة البوابة. وفي الواقع، فإنه يكون هناك غالباً تسرب من البوابة عندما يتم تنصيبها بشكل كلي.

9-9-2 منشآت البوابة المستطيلة للتدفق المغمور

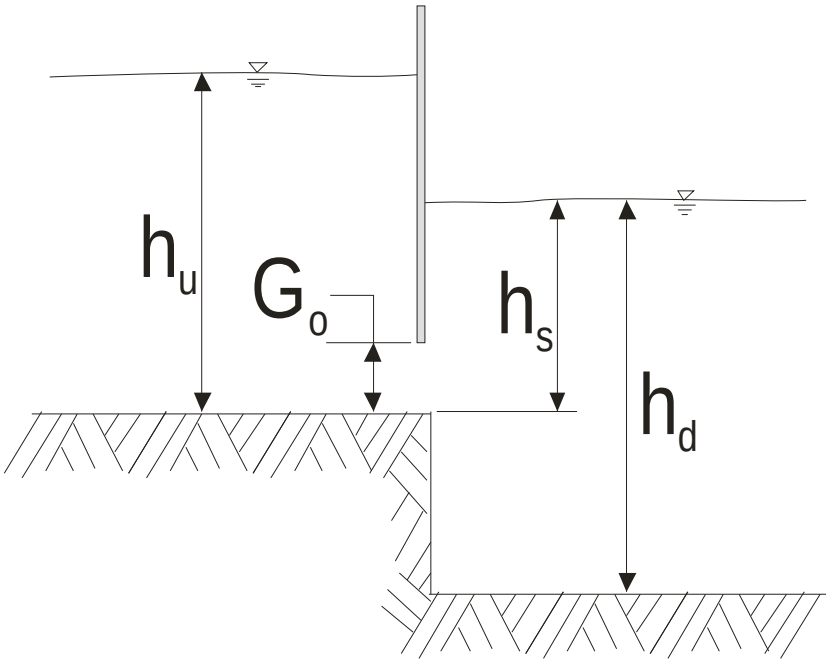
لقد تم إستخدام معادلة تصنيف تدفق مغمور ذات شكل مختلف مع نتائج ممتازة على منشآت ذات أنواع فوّهات مختلفة في القنوات الكبيرة. والإختلافات في المعادلة تشمل إعتبار فتحة البوابة والعمق أسفل المجرى المائي كعامل تأثيري في تحديد معامل التصريف. والمعادلة هي كما يلي:

$$Q_s = C_s h_s W \sqrt{2g(h_u - h_d)} \qquad (17\text{-}9)$$

و،

$$C_s = \alpha\left(\frac{G_o}{h_s}\right)^{\beta} \qquad (18\text{-}9)$$

في حين أن h_s هو العمق أسفل المجرى المائي الذي تم أخذ مرجعيتة من قاع فتحة البوابة (أنظر الشكل 9-12)، و α و β عبارة عن معاملات تم ملائمتها تجريبياً، وجميع المصطلحات الأخرى هي كما تم وصفها سابقاً. وقيمة الأس، β تساوي 1، والمعادلة ترجع لـ 1 مع معامل تصريف ثابت (يتم إلغاء مصطلح h_s).



الشكل 9-12: مخطط تعريفي للأعماق عند منشأة بوابة مغمورة.

ويمكن أن يتم إستخدام معادلة مشابهة بالنسبة للتدفق الحر من خلال منشأة البوابة، مع عمق أعلى المجرى المائي، h_u، يحل مكان المصطلح h_s، ومع $(2/G_o - h_u)$ تحل مكان $(h_d - h_u)$. ويمكن أن يتم أيضاً معايرة معادلة التدفق الحر باستخدام $(h_u - (G_o\ 0.611)$ بدلاً من $(h_u - 2/G_o)$.

9-10 عدادات التدفق التجارية

العديد من المصنعين يقوموا بإنتاج ما يتم الإشارة إليه على أنه عدادات التدفق التجارية. وبعض تلك الأجهزة يتم تصميمها من أجل الإستخدام في القنوات المفتوحة وأخرى من أجل التدفق في الأنابيب المضغوطة. والعدادات التجارية تأتي بتنوعات كثيرة من التصميمات والأنواع، ويكون لديها معدات لتظهر ليس فقط معدل التدفق، ولكن حجم التدفق على مدى فترة زمنية معينة. ويمكن لأجهزة القياس التجارية من أجل تدفق القنوات المفتوحة أن تقيس بالنسبة للبوابات، وعدادات الإنحراف، والعدادات فوق الصوتية، وكذلك هدارات ومجاري صناعية خاصة، وأجهزة أخرى. وبالنسبة للتدفق في الأنابيب المضغوطة، ربما تكون عدادات دوارة، وفوق صوتية، والمغناطيسية، والعدادات التي يتم تحديد السرعة فيها من تكرار الدوامات نتيجة العوائق، والفينتوري، والفوّهات، وأنواع أخرى. وتكلفة بعض تلك العدادات يمكن أن تكون مرتفعة بالمقارنة مع الأجهزة البسيطة مثل الهدارات ذات العتبة العريضة القياسية والمجاري الصناعية في القنوات المفتوحة؛ ولكن في تدفق الأنابيب المضغوطة، فإن عدادات التدفق التجارية يتم إستخدامها بشكل شائع.

9-11 عداد قياس التيار

عداد قياس التيار يعتبر جهاز ميكانيكي أو كهربائي والذي يتم وضعه في مجرى مائي متحرك للحصول على قياس السرعة. ومن ثم يمكن أن يتم ضربها في مساحة المقطع العرضي للتدفق من أجل إيجاد معدل التدفق الحجمي. وهناك الكثير من الشركات التي تقوم بتصنيع عدادات قياس التيار ذات النوعية الجيدة، وكذلك هناك الكثير من أنواع عدادات قياس التيار. وأحد أكثر الإختراعات حداثة هو عداد قياس التيار الكهرومغناطيسي. وعدادات قياس التيار ذات الوحدات الدوّارة والتي تستشعر سرعة الماء هي إما ذات أنواع بجذع عمودي أو أفقي. وعداد قياس التيار ذات المحور العمودي له فنجان دوّار مع نظام حمل (عجل بيليا) والذي يعتبر أبسط في التصميم، وأكثر قوّة، وسهلة الخدمة والصيانة من عدادات قياس التيار ذات الجذع (المحور) العمودي. وبسبب نظام الحمل (عجلات البيليا) فإن عدادات الجذع العمودي سوف تعمل على سرعات أقل من عدادات قياس التيار ذو الجذع الأفقي. ونظام الحمل (عجلات البيليا) تعتبر محمية من المياه المحتوية على الطمي، وعملية تضبيط نظام الحمل (عجلات البيليا) عادة ما يكون أقل حساسية، وأن المعايرة عند السرعات المنخفضة، في المكان الذي يلعب فيه الإحتكاك دوراً مهماً، تكون أكثر ثباتاً.

وإثنين من أنواع عدادات قياس التيار الشائعة الإستخدام هي عدادات نوع A و نوع القزم. والأخير تم تصميمه للإستخدام في أعماق المياه السطحية وذات السرعات المنخفضة نسبياً. وعدادات قياس التيار ذات الجذع الأفقي تستخدم مروحة. وتلك الدوارات ذات المحور الأفقي تعمل على تشتيت التدفق بدرجة أقل من المحاور الفنجانية ذات المحور العمودي وذلك بسبب تناسب المحاور في إتجاه التدفق. وأيضاً، فإن عدادات قياس التيار ذات الجذع العمودي تعتبر أقل حساسية لمركبات السرعة العمودية في القناة. ونتيجة لشكلها، فإن عداد قياس التيار ذات المحور الأفقي يكون أقل عرضة ليصبح فاسداً بواسطة الأوساخ الصغيرة والمواد الخضرية التي تنتقل مع الماء. وبعض عدادات قياس التيار ذات المحور الأفقي الشائعة هي الأوت (ألمانية)، والنيربيك (فرنسية)، والهوف (أمريكية). وبعض النماذج الحديثة كانت قد أثبتت أنها دقيقة ومتينة عندما يتم إستخدامها لقياس التصريف في قنوات الري.

وعدادات قياس التيار الكهرومغناطيسية تعتبر متوفرة وتحتوي على مجس مع سرعة النقطة يتم عرضها رقمياً. وبعض النماذج الأولى أظهرت أصوات ألكترونية عالية تحت ظروف التدفق المضطرب. والنماذج الحديثة تؤدي إلى قراءات سرعة اكثر ثباتاً وأنه كان قد تم إستخدامها بنجاح في قنوات الري.

9-11-1 إختيار المقطع العرضي

قياسات عداد قياس التيار يجب أن تتم في مقطع مستقيم من القناة والتي يكون فيها الجرانات الإنسيابية متوازية بالضرورة. والمقاطع العرضية مع الدوامات أو الإضطرابات الكبيرة يجب أن يتم تجنبها، وأن المقاطع العرضية مع المياه الراكدة تقريباً بالقرب من الحواف يجب أيضاً أن يتم تجنبها. وأنه أيضاً يعتبر ممارسة جيدة أن يتم تجنب المقاطع العرضية ذات أعماق التدفق السطحية جداً عند مركز المقطع العرضي، والأماكن التي تكون فيها سرعات التدفق منخفضة جداً. وفي العام 1982 قام Rantz بالتوصية أن أعماق التدفق تتعدى 0.15 متر، وأن السرعات يجب أن تكون أعلى من حوالي 0.15 م/ث. وأنه أيضاً يعتبر مفضلاً أن يتم إختيار المقطع العرضي من دون أي نموات مائية والتي يمكن أن تتداخل مع تشغيل عداد قياس التيار. ويجب أن يكون قاع القناة متساوي إلى حد ما بحيث أن مساحة المقطع العرضي يمكن أن يتم تحديدها بدقة، ولذا فإن قطاعات السرعة سوف تكون قريبة للقطاعات القياسية قدر الإمكان.

9-11-2 آليات إستخدام عدادات قياس التيار

9-11-2-1 الخوض في الماء

تشتمل طريقة الخوض في الماء أن راسم المنحنيات المائية يقف في الماء ويمسك قضيب الخوض مع عداد قياس التيار يكون معلّقاً على القضيب المعدني. ويكون قضيب الخوض المعدني مدرجّاً بحيث أنه يمكن قياس عمق الماء. وللقضيب أرضية قدم معدنية يتم وضعها على قاع القناة. ويمكن أن يتم وضع عداد قياس التيار على أي إرتفاع على قضيب الخوض المعدني ويكون قد تم تضبيطه مسبقاً عند إرتفاع آخر بواسطة راسم المنحنيات المائية أثناء وقوفة في الماء. ويتم مد خط علامة من أحد الحواف إلى الأخرى، والتي يمكن أن تكون قطعة قماش أو شريط قياس معدني. ويتم وضع خط العلامة بوضع متعامد مع اتجاه التدفق. والطول صفر على خط العلامة لا يجب أن يتوافق مع حافة الماء على الأطراف. وخط العلامة هذا يستخدم لتحديد موقع قضيب الخوض المعدني في كل مرة يتم فيها القيام بقياس عداد التيار. ويتم مسك أو تثبيت قضيب الخوض المعدني على خط العلامة. ويقوم راسم المنحنيات المائية بالوقوف على الجوانب بالنسبة لإتجاه التدفق، ويتوجه باتجاه أحد الأطراف. ويقوم راسم المنحنيات المائية بالوقوف 5-10 سم أسفل المجرى المائي من خط العلامة و تقريباً 50 سم لأحد جوانب قضيب الخوض المعدني. وخلال عملية القياس، فإن القضيب يحتاج لأن يتم تثبيته في وضع عمودي وأن يكون عداد قياس التيار موازي لإتجاه التدفق. ويمكن أن يقوم مساعد بإعطاء إشارة إلى راسم المنحنيات المائية سواء أن قضيب الخوض المعدني عمودي أم لا بالنسبة لإتجاه التدفق. وإذا كانت سرعة التدفق عند الحافة لا تساوي صفر، فحينها فإن تلك السرعة يجب أن يتم تقديرها كنسبة من السرعة عند أقرب نقطة قياس (عمودية). وهكذا، فإن أقرب نقطة

قياس يجب أن تكون أقرب ما يمكن من الحافة لكي يتم تقليل الخطأ في التصريف الذي تم حسابه للمقطع القريب من الحافة.

9-11-2-2 الجسر

الكثير من قنوات الري الكبيرة لها جسور على مواقع مختلفة، مثل المنظمات العرضية، ولكنها ربما لا يتم وضعها عند المقطع المناسب من أجل قياسات عداد قياس التيار. على الرغم من أن البرابخ غالباً ما تكون مواقع جيدة جداً، مع قياسات عداد قياس التيار عادة ما يتم القيام بها في نهاية أسفل المجرى المائي للبربخ والتي يكون عندها حدوث الجريانات الإنسيابية أكثر ترجيحاً. والجسور غالباً لها أرصفة، والتي تميل لأن تقوم بتجميع الأوساخ عند الوجه في أعلى المجرى المائي. ويجب أن يتم إزالة الأوساخ قبل أن يتم البدء في قياسات عداد قياس التيار. وإما يتم إستخدام خط يدوي أو مجمع بكرات من الجسر. وفي أي من الحالات، فإنه يتم وضع وزن في اسفل الخط، الذي يجلس على قاع القناة لكي لا يتحرك الخط كنتيجة لتدفق الماء. ومن ثم يتم وضع عداد قياس التيار على أي موقع يكون مطلوباً للقياس.
وبالنسبة لتجمع الخط اليدوي، فإنه يتم تنزيل الوزن من الجسر إلى قاع القناة ويتم تسجيل القراءة على الخط اليدوي المدرّج. ومن ثم، يتم رفع الوزن حتى يجلس على سطح الماء والفرق ما بين القراءتين على خط اليد يتم تسجيلها على أنها عمق الماء. وبعد ذلك فإنه يتم وضع عداد قياس التيار في الموقع الملائم على خط اليد من أجل القيام بقياس السرعة. وإذا كان مطلوباً وزن أثقل من 10-15 كيلوغرام لكي يتم الحصول على خط كيبل ثابت وعمودي تقريباً، فحينها يتم إستخدام رافعة وبكرات. ويتم تعليق البكرة على رافعة تم تصميمها لإزالة دربزين الجسر ومن أجل توجيه خط كيبل العداد فيما وراء أي عوائق مع رؤوس الجسر. والرافعة يتم ربطها مع قاعدة متنقلة لسهولة نقل المعدات من نقطة قياس إلى أخرى (Corbett وآخرون 1943).

9-11-2-3 الكيبل المعلّق

بالنسبة لكل قنوات أو أنهر عريضة، مع أعماق ماء تتجاوز 150 سم، فإنه يتم وضع كيبل فوق الماء مع مدعمات عمودية على كل حافة والتي يتم تركيزها من أجل الثبات. والكيبل يقوم بدعم سيارة (صندوق) يتحرك تحت الكيبل باستخدام البكرات. وتلك السيارة تحمل راسم المنحنيات المائية ومعدات عداد قياس التيار. وعلى الكيبل يوجد إشارات بحيث يكون الموقع على طول القناة معروفاً. وخط اليد أو مجمع بكرة الكيبل يتم إستخدامه بالإعتماد على الحجم والوزن المطلوب.

9-11-2-4 القارب

فيما يتعلق بالقنوات العريضة جداً، مثل تلك التي يتم مواجهتها بشكل متكرر في شبه القارة الهندية، فإن تركيب الكيبل المعلّق يعتبر مصروفاً كبيراً. وتبعاً لذلك، فإنه يتم عموماً إستخدام القارب بدلاً من الكيبل المعلّق. وإما خط يد أو مجمع بكرة الكيبل يتم إستخدامه في هذه الحالة.

9-11-3 طرق قياس السرعة

9-11-3-1 طريقة السرعة العمودية

الطريقة الأكثر تكميلا لتأسيس معدل السرعة عند مقطع عمودي هي أن يتم أخذ سلسلة من قياسات سرعة عداد قياس التيار عند أعماق مختلفة في العمودي. ويتم وضع عداد قياس التيار بشكل مثالي تحت سطح الماء عند 10/1 من العمق، ويتم المتابعة حتى يتم قياس السرعة عند 10/9 تحت سطح الماء. وعندما تكون تلك الطريق قد إكتملت بالنسبة لعدد من الرؤوس في المقطع العرضي، فإنه يتم رسم البيانات في مخطط بياني. وعمق الماء النسبي، الذي يتباين من صفر عند سطح الماء إلى 1 عند قاع القناة، يتم رسمها على المحور الصادي أو العمودي بدءاً بالصفر عند أعلى مقياس المحور العمودي و 1 عند أسفل. ويتم رسم السرعة على المحور السيني (الأفقي)، ويتم ملائمة أو تكييف منحنى أملس مع نقاط البيانات لكل رأس، والتي منها يتم تحديد معدل السرعة لكل رأس أو عمود. والإجراء الميداني وتحليل البيانات بالنسبة لتلك الطريقة تعتبر مضيّعة للوقت، لذا فإن الطرق الأبسط يتم إستخدامها غالباً بدل تلك الطريقة. وبعض الطرق الأكثر شيوعاً يتم وصفها أدناه.

9-11-3-2 طريقة النقطتين

التقنية الأكثر شيوعاً لتحديد معدل السرعة في عمود أو قائم هي طريقة النقطتين. وبالإستناد إلى عقود عدة من الخبرة، فإن قياس عداد قياس التيار يتم عند عمقي ماء نسبيين: 0.2 و 0.8 من العمق الكلي، يتم قياسه من سطح الماء. ومعدل نقطتي القياس يتم إفتراضه على أنه معدل السرعة في القائم. على الرغم من أن مقطع السرعة يتم تشتيته في بعض الأحيان، أو يكون غير قياسي، وأن معدل تلك السرعتين لا يمثل لمعدل السرعة الحقيقية في القائم. فعلى سبيل المثال، القياسات التي يتم أخذها أسفل المجرى المائي من المنشأة ربما يكون لها سرعات عالية جداً بالقرب من سطح الماء والتي يمكن مراقبتها بصرياً (بالعين)، أو بالقرب من قاع القناة والتي يمكن أن يتم حسّها بواسطة راسم المنحنيات المائية عندما يقوم باستخدام طريقة الخوض في الماء. وإذا تم إعتقاد وجود قطاع سرعة غير قياسي في المقطع العرضي، فإن طريقة السرعة العمودية يجب أن يتم إستخدامها بدلاً من ذلك؛ وإلا، فإن دقة القياس سوف تكون موضع سؤال.

9-11-3-3 طريقة الستة أعشار

بالنسبة لأعماق الماء السطحية (أقل من حوالي 75 سم) فإن طريقة الستة أعشار يمكن أن يتم إستخدامها. على الرغم من أن تعبير السطحي يعتبر نسبي ويعتمد على نوع وحجم عداد قياس التيار. ويتم أخذ قياس عداد قياس تيار واحدة عند عمق ماء نسبي يساوي 0.6 مضروبة في العمق الكلي تحت سطح الماء. والسرعة الناتجة يتم أخذها على أنها معدل السرعة في القائم. وفي القنوات، فإنه يتم إستخدام هذه الطريقة بشكل متكرر عند أو قائم من كل حافة، بينما طريقة النقطتين يتم إستخدامها عند جميع القوائم الأخرى في المقطع العرضي. على الرغم من أن طريقة الستة أعشار لا يجب أن يتم إستخدامها، عموماً، على طول مقطع القناة الكلي وذلك بسبب أنه يمكن أن ينتج أخطاء تصريف تساوي 10% أو أكثر.

9-11-3-4 طريقة الثلاث نقاط

تعتبر طريقة الثلاث نقاط هي عبارة عن توليفة لطرق النقطتين والستة أعشار. وقيمة معدل السرعة من الأعماق النسبية 0.2 و 0.8 يتم أخذ معدلها مع السرعة عند العمق النسبي 0.6 للحصول على سرعة تستند إلى طريقة الثلاث نقاط. وتلك الطريقة لا تعتبر شائعة مثل طريق النقطتين والستة

أعشار. وتأخذ في الإعتبار قياسات أكثر لمعدل السرعة، ولكن لا تكون بالضرورة أكثر دقة من الطريقتين المذكورتين أعلاه.

الوحدة العاشرة

السياسات والإدارة

1-10 المقدمة

الري يعتبر وبشكل متكرر مدعوماً بواسطة الحكومة كوسيلة لتشجيع الأهداف التي تعتبر مفيدة ومهمة للولاية أو الدولة. وبعض الأهداف الوطنية الممكنة تشتمل على:

1. تكوين نمو في إنتاج الغذاء أعلى من الزيادة في عدد السكان؛
2. تقليل مخاطر نقص الغذاء نتيجة الجفاف؛
3. التزويد بالإنتاج الكافي للغذاء والملبس لتلبية المتطلبات الوطنية؛
4. الإنتاج من أجل الأسواق التصديرية وتعزيز النمو الإقتصادي الداخلي؛
5. إيجاد فرص وظيفية من أجل الحد من البطالة إلى أدنى المستويات، وبتلك الطريقة العمل على زيادة الطلب على المنتجات الزراعية وتشجيع النمو الإقتصادي؛ و
6. منع الهجرات الجماعية من الريف إلى المناطق الحضرية من خلال تحسين الظروف بالنسبة لسكان الريف.

وبناء نظام الري ربما يساهم في تحقيق الأهداف الوطنية، ولكن ربما أيضاً يصبح عبء على الحكومة ودافعي الضرائب. وري الزراعة التقليدية على مستوى مزرعة لطلب الرزق، ومع القليل من الوصول للعوامل الأخرى للإنتاج ومع منظمة تدار بشكل رئيسي بواسطة موظفي الحكومة، لا تستطيع أن تساهم بالكثير باتجاه الأهداف التي تم سردها أعلاه. وهدف هذه الوحدة هو تقديم فهم أفضل لكيف أن خليط من المحاصيل المختارة، وحجم المزرعة أو حجم الوحدة التعاونية، وإدارة الموارد غير الماء، وكيف أن التركيب التنظيمي ربما يساهم باتجاه الفوائد الكبيرة للسكان وللدولة ككل.

وقامت ولاية كاليفورنيا بتطوير إقتصاد زراعي مروي ناجح. وقوة الإقتصاد والنمو الإقتصادي السريع كان قد تأثر بالإقتصاد الزراعي التنافسي مع القليل من العوائق للدخول على مستوى المزرعة = الوصول السهل إلى الأسواق. ولكن المزارع الفردية، في الكثير من الحالات، لا تعتبر تنافسية في الأسواق النهائية، لذلك فلدى المزارعين أحياناً يتحدوا مع بعضهم البعض في ترتيبات أسواق تعاونية. وإدارة الري أيضاً يتم السيطرة عليها بواسطة التعاونيات الكبيرة في كاليفورنيا.

والجهود التعاونية وتأثير جميعات المزارعين كانت قد أدت إلى التوسع السريع في المساحة المروية وكذلك التقدم السريع جداً في التكنولوجيا ذات العلاقة بالزراعة المروية. والمزارعين قاموا وبقوة بدعم البحث – والكثير منه كان قد تم تمويله بواسطة المزارعين أنفسهم. على الرغم من أن القائمين على الري كانوا ناجحين جداً في الحصول على الدعم من أجل البنية التحتية للري. وبالنسبة لمشاريع مياه الولاية في كاليفورنيا، فإن القائمين على الري ومستخدمين آخرين يقوموا بدفع حوالي 80% من التكاليف والعوائد من توليد الطاقة تدفع 13% من التكاليف. والتكاليف الإضافية يتم دفعها بواسطة الولاية.

ويقوم متكتب إستصلاح الأراضي بتقديم الماء لحوالي 800.000 هكتار في كاليفورنيا. ودافعي الضرائب الفدرالية يقوموا بدفع 13% من التكاليف والطاقة التي تم تطويرها من مشروع الوادي الأوسط يدفع 65% من التكاليف. ومشاريع الفدرالية والولاية تقوم ببيع الماء لمناطق الري أو للجمعيات التي تعتبر مملوكة ويتم إدارتها من قبل المزارعين. وقد تم هيكلة جميعات مستخدمي المياه بعدة طرق مختلفة، ولكن معظمها يمكن أن يتم إعتباره على أن يكون تعاونيات مستخدمين. وبعض مناطق الري تقوم بدعم التشغيل والصيانة لمستخدمي المياه الزراعية من خلال بيع الماء لمستخدمين آخرين وبواسطة بيع الكهرباء من الطاقة المائية.

10-2 إدراة المياه

إدارة المياه تشتمل على معرفة كيف يتم إضافة الماء، وأين يذهب بعد الإضافة، وكذلك نوعية الماء. على الرغم من أنه غالباً ما يشتمل على أكثر من مؤشرات أداء فنية. فعلى سبيل المثال، فإن إدارة الماء يمكن أن يتم رؤيتها من حيث الهدف النهائي المتعلق باستعمال الماء. ووجهات نظر إدارة المياه يمكن أن تختلف بشكل جذري (أنظر الجدول 10-1).

الجدول 10-1: عينة وجهات نظر حول قضايا إدارة المياه.

التخصص	وجهة النظر المثالية لإدارة المياه الجيدة
مهندس	الإستخدام الفعال لموارد المياه
مزارع	توفر المياه والناتج المحصولي
عالم إجتماع	العدالة في توزيع المياه والتمسّك بالممارسات التقليدية
مهندس زراعي	الإنتاج المحصولي، ومكافحة الحشرات
إقتصادي	الربحية، الأسواق، الفوائد الإقتصادية
بيئي	أدنى تدمير للبيئة (نوعية المياه، الفيضان، والأراضي الرطبة
سياسي	الحد من هجرة الريف للمدن؛ تشجيع منفعة المناطق الريفية

والقضايا الفنية ذات العلاقة بتطوير واستخدام الموارد المائية غالباً تميل لأن تكون في الواجهة، وأنها غالباً تكون أكثر تفصيلاً عند المستويات الصغيرة في المساحة المروية. والقضايا السياسية تشتمل الكثير من العوامل الضرورية مثل علم الإقتصاد، والأثر البيئي، والهموم الإجتماعية، والأمن الوطني، وعوامل أخرى، في العادة تشتمل على الجدوي الفنية أيضاً. وعلى نطاق أكبر، فإنها تميل لأن تسود، في الأماكن ذات العدد الكبير من الناس وقد يكون عدة دول التي تتأثر بقرارات التنمية والإدراة. وفي الكثير من الحالات، فإن القضايا الفنية تعتبر فقط جزءاً واحداً من القضية الكلية. الشكل 10-1 يقدم عرض تخطيطي لسيادة القضايا الفنية أو السياسية لمناطق على مستويات صغيرة (محلية) أو كبيرة.

1. حقل
2. مزرعة
3. منطقة أو مشروع ري
4. ولاية أو مستجمع مائي
5. حوض نهري
6. منطقة من ولايات متعددة
7. دولة
8. قارة

القضايا السياسية

القضايا الفنية

الشكل 10-1: القضايا الفنية والسياسية في تطوير لمستويات مختلفة من المناطق.

وقرارات إدارة الري في المناطق الكبيرة يمكن أن تستند إلى معايير معقدة جداً وذلك بسبب الرغبة في تحديد الآثار المدمرة للمياه الكثيرة أو القليلة جداً. وعلاوة على ذلك، فإنه يمكن أن يتم شرح "الآثار المدمرة" بطرق مختلفة ومن وجهات نظر مختلفة: (1) السلامة العامة؛ (2) الإستثمارات والنشاطات الإقتصادية البشرية، بشكل عام؛ (3) البلديات؛ (4) الإنتاج الزراعي؛ و (5) حفظ البيئة. وغالباً ما يكون لدى السدود والخزانات الرئيسية مهام متضاربة. وربما يتم إستخدامها من أجل:

1. توليد الطاقة؛
2. التزويد بمصدر مياه الري؛
3. التزويد بمصدر الماء المنزلي والصناعي؛
4. التزويد بالتحكم بالفيضان؛ و
5. التزويد بالترفيه وصيد الأسماك.

تعتبر مهام المصدر المائي والتحكم بالفيضان ثنائية التشغيل في أن الخزان المليء يعتبر مفضلاً بالنسبة للسابق (المصدر المائي)، وأن الخزان الفارغ يعتبر مفضلاً للاحق (التحكم بالفيضان). وفي الأغلب تصبح حتى أكثر تعقيداً عندما يكون مرات محددة من السنة فيها خطر فيضان وأوقات أخرى لها الحاجة لمصدر مائي وفير نتيجة للطقس الحار والجاف. واستخدام الماء الزراعي يمكن أن يكون مرتفعاً جداً بالمقارنة مع الأستخدامات الأخرى. والمتطلبات المائية القصوى للمحاصيل السنوية لا تتوافق مع أقصى جريان مجرى نهري، وخصوصاً في المناطق الجافة وشبة الجافة. وهكذا، فإن الحاجة الكبيرة لتخزين الماء لتمكين ري المحاصيل عندما يتم تخفيض خزانات المياه بشكل مقصود، وعلى الأقل بشكل مؤقت، في فصل الربيع للمساعدة في تجفيف جوانب أو ضفاف الخزانات وللحد من تكاثر البعوض. وخزانات أخرى ليس لديها بوابات تحكم وتستخدم بشكل حصري للتحكم بالفيضان، وليس للتخزين طويل الأمد.

وهيدرولوجية المستجمعات المائية يمكن أن تتفاوت بشكل كبير من سنة إلى أخرى وأنه يعتبر غالباً من الصعب أن يتم توقع أقصى جريانات وأشكال الرسومات البيانية المائية. وتم القيام بجهود كبيرة لتوقع الهيدرولوجية في الكثير من المستجمعات المائية التي تقوم بتزويد الخزانات الرئيسية وذلك لأن التنبؤ الدقيق يمكن أن يساعد في حل بعض الإستخدامات المتضاربة للخزان والسد. وعندما تكون التوقعات خاطئة، فإن السد نفسه يكون معرضاً للخطر نتيجة للمياه المسالة فوق مستوى السد أو الخزان، أو أن الخزان ربما يكون قد ترك مع القليل من الماء في بداية موسم الجاف. وإذا وصل تدفق داخل كبير وغير متوقع إلى الخزان والذي يعتبر ممتلئاً بشكل كامل مسبقاً، فإنه ربما

يكون من الضروري أن يتم حماية السد من خلال تحرير أو إطلاق التدفقات التي تتجاوز معدلات التدفقات الداخلة (أعلى من التدفقات التي يمكن أن تكون في النهر في غياب السد). وهذا يمكن أن يسبب ضرر فيضان في أسفل المجرى المائي. وبعض النظم النهرية، مثل نهر كولورادو في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، لديها العديد من السدود والتي يتم مرقبتها وضبطها بشكل كبير. وإذا قام سد في أعلى المجرى المائي بتحرير كمية كبيرة من الماء في وقت قصير، فإن السدود في أسفل المجرى المائي يجب أن يتم تشغيلها بشكل ملائم بحيث لا تقوم بتسوية مهام التخزين والتحكم بالفيضان الذي يجب أن يقوم به كل واحد.

3-10 إختيار خليط من المحاصيل

تتفاعل عدة عوامل لتحديد هل أن محصول معين سوف يكون لديه ميزة إقتصادية تنافسية. وهذه تشتمل على التربة، والطقس، وتكاليف العمالة، ومستوى التكنولوجيا، وطلب السوق. ونسخة من تحليل المحصول يتم الحاجة إليها. وفرص التوظيف يمكن أن يتم إيجادها بواسطة إختيار المحاصيل ذات متطلبات العمالة المرتفعة؛ على الرغم من أن النجاح الإقتصادي ربما لا يتعلق بشكل جيد مع الكثافة العمالية.

وفي عام 1953 قام Adams بإظهار نواتج محصولية جيدة بحوالي 50% فوق المعدل لمحاصيل متنوعة من كاليفورنيا. والنواتج المحصولية الحالية تتباين بشكل كبير ولكنها تعدّل حوالي ضعف تلك التي تم إظهارها بواسطة Adams. وكان قد تم إستخدام البيانات التي تم الحصول عليها من Adams (1953) لتلخيص المعدل لكل هكتار ساعات عامل، والقيم المحصولية الإجمالية، والمداخيل الصافية لـ 15 محصول خضري، و 16 فاكهة، و9 حبوب، و4 محاصيل حقلية. والحبوب تشتمل على أنواع مختلفة من الفاصوليا الحقلية، وبذور الكتان، وبذور الذرة البيضاء، والشوفان، والأرز، والقمح. والمحاصيل الحقلية كانت الفصة، والقطن، والبطاطس، وشمندر السكر. ومعدل ساعات العامل من أجل النواتج المحصولية الجيدة، وقيم المحصول الإجمالية، وصافي الأرباح لكل هكتار تم إعطاؤها في الجدول 10-2.

وفي العام 1987 قام Moulton وآخرون بإعطاء تقديرات متطلبات العمالة للأعوام 1986-87 بالنسبة لمحاصيل مختارة من كاليفورنيا. وتلك المتطلبات يتم مقارنتها مع التي تم إعطاؤها بواسطة Adams (1953) بالنسبة لظروف العام 1951 المرتبطة بالنواتج المحصولية الجيدة. ومقارنة متطلبات العمالة للعام 1951 والأعوام 1986-87 لمحاصيل مختارة تم تقديمها في الجدول 10-3.

وخلال فترة 35 سنة تقريباً في كاليفورنيا، فإن معدل النواتج المحصولية للبندورة قد تضاعفت، وبالنسبة للأرز ثلاثة أضعاف، وعوائد الفرواولة حوالي أربعة أضعاف. والنواتج المحصولية الزائدة تعمل على تحسين العوائد الإقتصادية وفي بعض الحالات تزيد متطلبات العمالة بشكل كبير. والجدول 10-3 يشير إلى 10% بالمعدل لكل هكتار متطلبات عمالة على مدى فترة 35 سنة. وأن النمو السريع في التكنولوجيا المتقدمة التي أوجدت زيادة صغيرة لكل هكتار متطلبات

الجدول 10-2: متطلبات العمالة، وقيم وأرباح المحصول حسب نوع المحصول (أسعار 1951).

نوع المحصول	عامل-ساعة لكل هكتار	القيم الإجمالية (دولار/هكتار)	صافي الربح (دولار/هكتار)
خضروات	524	1669	435

فاكهة	424	1556	678
حبوب	45	321	109
محاصيل حقلية	132	1056	581

الجدول 10-3: متطلبات العمالة، والنواتج المحصولية، والأرباح لمحاصيل مختارة من كاليفورنيا.

نوع المحصول	الناتج المحصولي، العمالة، وصافي الربح لعام 1951 (Adams 1953)				إحتياجات العمالة للأعوام 1986-87 (ساعة/هكتار)
	الناتج الطبيعي (طن/هكتار)	ناتج جيد (طن/هكتار)	إحتياجات العمالة (ساعة/هكتار)	صافي الربح (دولار أمريكي/هكتار)	
الفصة	11.3	18.0	90	256	37
اللوز	0.8	1.1	168	142	55
الهليون	2.3	3.4	209	273	370
الأفوكادو	1.8	3.4	197	460	325
الشمام	14.7	22.5	325	592	573
الجزر	19.2	31.6	639	733	582
الزهرة	11.3	18.0	254	137	402
الخوخ	18.0	27.1	770	1163	580
بذور الذرة البيضاء	1.7	2.8	71	27	17
الجريب فروت	20.3	25.4	315	424	198
الليمون	36.5	45.7	705	1674	680
الشوفان	1.1	1.7	17	38	17
النخيل	4.5	6.8	168	255	476
الزبيب	2.3	4.5	200	260	255
الأرز	2.8	4.5	28	136	30
القمح	1.7	2.3	15	28	12
المعدلات	غير متوفرة	غير متوفرة	261	412	288

ملاحظة: متطلبات العمالة للعام 1951 هي بالنسبة للنواتج المحصولية الجيدة (حوالي 50% فوق المعدل)، وبالنسبة للأعوام 1986-87 هما بالنسبة لمعدل النواتج المحصولية للمحاصيل المبينة.

العمالة. وإنتاج تكلفة العامل بالنسبة المئوية من تكاليف الإنتاج الكلية بالنسبة للمحاصيل الموجودة في الجدول 10-2 تعدّل كما يلي: الفاكهة والجوز 40%؛ والخضروات 64%؛ والحبوب 24%. صافي الأرباح بالنسبة المئوية لقيمة المحصول الإجمالية تعدّل 26، و 44، و 47، و 55%، على التوالي، بالنسبة لأنواع المحاصيل الأربعة.

المحاصيل التي تتطلب العمالة الأكثر أنتجت أكثر الأرباح. وفي العام 1951 فإن صافي ربح المزرعة بالدولار لكل هكتار بالإستناد إلى قيم الجدول 10-3 كانت دالة ساعات العمالة المستخدمة لكل هكتار (بالساعة). ونواتج الإنحدار تعطي: صافي ربح = -28 + 1.68 ساعة، مع معامل تحديد، r^2، يساوي 0.83.

10-4 حجم المزرعة المروية

في المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة ومع النسب المرتفعة من البطالة والإستفادة المتدنية من القوة العاملة، فإن الأراضي التي تم تطويرها للري كانت أحياناً قد تم تقسيمها إلى مزارع صغيرة. وفي كاليفورنيا، فإن فترة زيادة المكننة وتوحيد المزرعة أدى إلى زيادة الطلبات على العمالة الزراعية. وفي العديد من الدول النامية، فإن إيجاد المزراع الصغيرة ربما لا يؤدي إلى زيادة كبيرة في التشغيل الريفي ولا في النمو الإقتصادي الوطني.

وفي اليونان، فإن هدفاً لحجم مزرعة مروية وهو 4 هكتار كان قد تم تبنيه. وفي هاييتي، فإن مجموعة تخطيط كانت قد أوصت بحجم مزرعة مروية يساوي 3 هكتار كحد أدنى. وفي السودان، فإن الري بالدورات كان قد تم تسيهله بواسطة توصيل الماء إلى تجمعات 90 آكر تتألف من مزارع يتم ريها في نفس الوقت. وقبل أن يتم المصادقة على قرض كبير إلى حد ما، فإن بنك التطوير داخل أمريكا يتطلب أن التوصيلات المائية من خلال الترتيب إلى تجمعات من مزارع صغيرة تتجمع في وحدات من حوالي 20 هكتار. والتوصيلات المائية إلى المزارع الفردية الصغيرة كانت تعتبر معقدة جداً وغير فعالة. والماء يمكن أن يتم توصيلة بنظام الدورات أو حسب الحاجة أو الطلب.

وتحليل محصول لمحصول يعتبر ضرورياً لكي يتم فهم تأثير حجم المزرعة على الخاصية التنافسية وإحتياجات العمالة، وكذلك تأثير العوامل الأخرى. ومراراً، فإن التكنولوجيا والمعرفة الحديثة سوف تحتاج لأن يتم إستيرادها لكي يتم المحافظة على خاصية تنافسية مقارنة واستمرار نمو رأس المال في تغيير تكنولوجيا الإنتاج. ونتيجة للتكنولوجيات المتطورة والوصول إلى المصادر، فإن النواتج المحصولية تعتبر في العادة أعلى في المزارع الكبيرة.

5-10 إدارة المستجمعات المائية

إدارة أعلى المجرى النهري للمستجمع المائي من تحويل الري ربما يكون مهماً جداً، أو أنه ضروري، بالنسبة للنجاح طويل الأمد لمرافق الري. والناتج المائي يتعلق بنوع النمو الخضري في المستجمع المائي. وسلامة أعمال المشروع ربما تعتمد على ظروف المستجمع المائي وممارسات إستعمال الأراضي في المستجمع. وتلك الظروف تم الإشارة إليها من خلال قيمة ما تم الإشارة إليه بعدد منحنى الجريان (Hudson 1981)، والتي تشير إلى كمية الهطول المطري وذوبان الثلج والتي تظهر في أعلى المجرى النهري كجريان. وتتباين أعداد المنحنى مع إستخدام الأراضي والغطاء النباتي، وطريقة المعاملة، والظروف الهيدروليكية، وكذلك مع مجموعات التربة الهيدروليكية. والمطر الفعال ضمن المنطقة المروية يعتمد على ماء التربة السابق وعلى العوامل المذكورة أعلاه. وعندما يدمر الحريق الأشجار والشجيرات الصغيرة في مستجمع مائي، فإن المجاري النهرية الصيفية الجافة غالباً ما تعود للحياه والربيع الميّت الطويل ربما يبدأ بالتدفق. وإذا سيطرت النباتات ذات الجذور السطحية مثل الأعشاب على المستجمع المائي النظيف، فإن الماء الزائد سوف يستمر في الجريان. ولاحقاً، إذا ما تم السماح للأشجار والشجيرات العشبية الصغيرة بأن تنمو مرة أخرى، فإن الماء الزائد سوف يختفي تدريجياً على مدى سنوات قليلة. والكثير من الماء سوف يجري أيضاً خلال الموسم الرطب إذا ما تم تبديل الأشجار والشجيرات العشبية الصغيرة بنموات خضرية ذات جذور سطحية.

ومعظم الهطول المطري يتم إستهلاكه بواسطة النموات الخضرية الأصلية أو المعدّلة. والتبخر من الترب التي لا يوجد فيها غطاء نباتي يكون أقل بكثير من النتح من الترب المغطاه كلياً بالغطاء النباتي. والجريان من 100 ملم هطول مطري ربما يكون غير ذات قيمة إذا كان المستجمع

ذات غطاء نباتي جيد ويتم إدارته بشكل جيد. وإذا ما تم ترك نفس المنطقة غير مزروعة بعد الحراثة، فإن الجريان ربما يساوي ثلثي الهطول المطري. ونقل الرسوبيات، والحجارة والأوساخ يزداد بشكل أسي مع تصريف النهر، كما تفعل القدرة بالنسبة لتدمير مرافق الري.

وفي الكثير من المناطق الإستوائية أو المدارية، فإن الضغوط السكانية أدت إلى تنظيف وزراعة مناطق المستجمع المائي في أعلى المجرى النهري من مشاريع الري. والزيادة الناتجة في الإنجراف، والفيضان، وترسب الطمي، والفضلات ضمن قنوات النهر والمشروع كانت قد دمرت العديد من مرافق الري الصغيرة وكذلك أدت إلى تدمير كبير في بعض أعمال الري الرئيسية. وفي تلك الحالات، فإن الجريان من الموسم الرطب من المستجمعات المغمورة يزداد، ولكن الجريان الأساسي للموسم الجاف ربما يقل.

ويوجد هناك تفاعل مهم جداً ما بين تطوير الري وحفظ المستجمع المائي. وفي بعض المناطق، فإن ري السهول والأودية كان قد أدى إلى تحسين كبير في ظروف المستجمع المائي. وأصبحت الزراعة والرعي الجائر للمستجمع المائي أقل ربحية بشكل كبير من الزراعة المروية والتي أصبحت سهلة في تشجيع برامج الحفظ أو المحافظة.

وفي بعض الدول النامية، فإن فشل الحكومة في صيانة مرافق التي تدار من قبل الدولة أدت إلى الحصول على نتائج كارثية. ونتيجة للتزايد السكاني والإنخفاض السريع في المساحة المروية الحقيقية، فإن النشاط الزراعي في المستجمع المائي زاد بشكل سريع. والعديد من تطويرات الري كان قد تم تدميرها بشكل كبير بواسطة هذه التفاعلات. وفي أحد الدول، فإن فحص العديد من تطويرات الري أشارت إلى أن الكثير أصبح غير عامل وأن تلك التي ما زالت عاملة، فإن فقط واحدة كانت قد عانت من الإنخفاض الشديد في الإنتاجية الزراعية.

6-10 التنظيم والإدارة

في بعض الدول فإن معظم مرافق الري كان قد تم إنشاؤها وإدراتها بواسطة مبادرة من مستخدمي المياه. وهذا أدى في العادة إلى فوائد مرضية جداً بالنسبة للأفراد وللوطن. وكان قد تم تشجيع المبادرة الفردية من خلال وسائل الدعم المتعددة. وتشتمل المشاريع الكبيرة على سدود رئيسية وقنوات كبيرة وتقريباً دائماً تتطلب مبادرة حكومية. والهيئات الحكومية ربما تقوم بتشغيل الخزانات متعددة الأغراض وكذلك القنوات الرئيسية، بينما يتم بيع الماء من أجل التوزيع بواسطة إتحادات الري والتي تعتبر بشكل رئيسي تحت سيطرة المزارعين.

وفي الدول النامية فإنه ربما يكون مستحباً أن يكون هناك سيطرة مختلطة على نظم التوصيل المائي بواسطة المزارعين وموظفي الحكومة. والإتحادات تكون بشكل رئيسي تحت سيطرة موظفي الحكومة تعتبر عديدة وأنها موجودة في العديد من الدول. وأينما يسيطر موظفي الحكومة سيطرة كاملة على إتحاد الري فإنه يوجد هناك إمكانيتين رئيسيتين. وهي كما يلي:

- مزارع دولة (وحدات إنتاجية كبيرة)
- مشاريع تسوية الري (مساحات زراعية صغيرة، وفي العادة للبقاء أو العيش)

وتلك النظم التنظيمية والتي تم فرضها من قبل الحكومة في العادة لم تعمل على إنتاج المستوى المرغوب به من الإنتاجية ولا الفوائد من الري.

وإتحادات الري كان قد تم وبشكل متكرر التشجيع لها وتعزيزها من قبل الحكومات. وهي تعتبر إتحادات الناس ولمنفعة مستخدمي المياه، وربما تشتمل على أحكام إستعمالات غير الري. ويوجد هناك الكثير من التباينات في تنظيم إتحادات الري. والتصويت ربما يكون بواسطة مستخدمي المياه بغض النظر عن المساحة المروية، أو أنها ربما تكون حسب المساحة المروية. والهيكلية في العادة تشتمل على الهيئات التنفيذية التالية:

- الهيئة العامة المؤلفة من جميع مستخدمي المياه
- هيئة المديرين المنتخبة من قبل الهيئة العامة
- مدير مسؤول أمام هيئة المديرين
- وحدات تنفيذية من أجل مهام محددة

والأهداف ربما تتباين بشكل كبير، والسياسات ربما لا تكون دائماً متناغمة مع الأهداف المعلنة. وهذا بشكل متكرر نتج من التعميمات من دون فائدة التحليل المتأني. وكفاية حبوب الغذاء الأساسية ربما يتم تحقيقها بفعالية أكثر بواسطة إنتاج محاصيل عالية القيمة من أجل التصدير. ومنفعة أكبر عدد من الناس ربما ينتج من زيادة الحد الأدنى أو معدل مساحة المزرعة بحيث يتم تشجيع المستويات الفنية العليا في الزراعة، وكذلك الزيادة الحاصلة في إحتياجات العمالة وفي نمو رأس المال.

وكهربة الريف والعوائد الإقتصادية المرتفعة من الأرلضي في الأودية ربما تحبط النشاط الزراعي وكذلك تجميع حطب المدافيء في المستجمع المائي. وهذا ربما يؤدي إلى سياسات حماية المستجمع المائي المطلوبة ليتم ضمان حياه مفيدة وطويلة لمرافق الري في الأودية. وبرامج بحث الري والإرشاد وكذلك تشكيل إتحادات الري تعمل على تحسين إنتاجية المشروع بشكل متكرر وتقلل الإحتياجات للتمويل الحكومي من أجل إستمرارية التشغيل. وهذا يعمل على توفير مال أكثر من أجل الإستثمار في التنمية الحديثة.

والعميمات يجب أن يتم تجنبها بعناية فائقة. والهيئات والسياسات البديلة تحتاج لأن يتم تقييمها على أساس كل حالة على حدها، وأن تلك التي تبدوا أنها ستعطي أقصى الفوائد للناس وللوطن يجب أن يتم إختيارها.

7-10 آبار المياه الجوفية

المصادر المائية للري من مجاري الجداول ومن مخزون الخزانات ربما يتباين بشكل كبير من سنة لأخرى. والفترات الأقل من السقوط المطري الطبيعي ربما تمتد من 5 إلى 10 سنوات. وخلال الدورات الجافة، فإن الآبار ربما تعطي تأثير إستقرار حيوي على الزراعة. وبالنسبة لبعض الظروف فإن الآبار يجب أن يتم إستعمالها مبدئياً لتعويض عجز المصادر المائية الأخرى. وفي أخرى، فربما تقدم الآبار فقط المصدر المائي المجدي إقتصادياً. على الرغم من أن إستغلال المياه الجوفية يجب أن يكون متحفظاً. وقد يكون في حدود 10% من المساحة المروية العالمية تعتمد على مصادر المياه الجوفية غير المناسبة.

مشاريع الري الكبيرة ربما تتطلب فترات طويلة من البناء والتطويرات الأخرى قبل الوصول إلى طاقة الإستخدام الكاملة. وهذه الفترة ربما تكون طويلة في حدود 10 إلى 20 سنة. وخلال فترة التطوير تلك، فإن الفوائد على الإستثمار الذي ما زال لم يتم الإستفادة الكاملة من مرافقه

ربما يصبح عبئاً وربما يعمل على إحباط بناء مشاريع الري الكبيرة المستقبلية. وفي العديد من المناطق فإنه كان قد تم إيجاد أنه من المستحب أن يتم ضخ الأحواض الجوفية فوق طاقتها ومن ثم التنقيب عن المياه الجوفية لفترة سنوات قبل بناء مرافق الري السطحي. وهذا الإجراء ربما يعمل على تقصير فترة تطوير المشروع إلى فقط سنوات قليلة، ولكن الضخ الجائر للأحواض يسبب أضرار لا يمكن إصلاحها عندما ينهار بشكل جزئي.

والتنمية الأولية للري بوسائل الآبار أوجدت، في الكثير من الحالات، حاجة إلى مشاريع ونقل تخزين على مستوى كبير وكذلك تقديم الخبرة المطلوبة والمبررات من أجل تمديد التطوير. لهذا، فإن القوانين التي تحكم إستعمال المياه السطحية والجوفية تعتبر غالباً غير ملائمة أو أنها غامضة.

8-10 قوانين وحقوق المياه

عموماً، فإن قوانين المياه تحكم إستخدام المصادر المائية من قبل الأفراد وعامة الشعب ككل. وقوانين المياه يمكن أن تتباين بشكل كبير من منطقة إلى أخرى. والسجلات التاريخية تبيّن أن قانون المياه كان قد تغير بشكل متكرر على مر الزمن كلما ظهرت المشاكل وتغيرت الحاجات، وكذلك كلما تحولت وجهة نظر الناس بالنسبة لحقوق إستخدام المياه. والكثير من قوانين المياه القديمة تعاملت بشكل خاص مع المياه السطحية، ولكن حديثاً كان يوجد هناك زيادة في الوعي للحاجة لتشريعات تحكم أيضاً إستخدام مصادر المياه الجوفية.

وفي غرب الولايات المتحدة الأمريكية فإنه يوجد هناك نوعين أساسيين من حقوق المياه والتي كان قد تم تأسيسها على مدى الـ 150سنة الماضية، وتلك إستمرت حتى الزمن الحالي. وأقدم الإثنين يعرف بالحقوق الضفافية، والتي تحكم إستخدام الماء الخاص على الأراضي "الضفافية"، والتي هي عبارة عن ممتلكات قريبة (تحد) من جدول أو بحيرة طبيعية. وحقوق المياه الضفافية يتم في العادة إعتبارها أنه يجب إلحاقها بالأرض وأن مالك الأرض يستطيع أن يستخدم الماء كلما رغب في ذلك. لهذا، فإنه في بعض المناطق فإنه يعتبر غير قانوني بالنسبة لمستخدمي المياه الضفافية أن يقوموا بتخزين الماء في الممتلكات لمدة تزيد عن 30 يوم (من ناحية مثالية)، أو يقوموا بجلب الماء من أحواض هيدرولوجية لا تكون متاخمة للمتلكات أو الأرض. والحقوق الضفافية لا يمكن أن يتم نقلها لمستخدمين آخرين – وتبقى مع الأرض.

والنوع الأساسي الآخر من حقوق المياه هو الحق المخصص لغرض معين، والذي يتم طلبه إما بواسطة "حق التصرف السابق" (الأول يستخدم) بالمصدر المائي أو بواسطة بعض أنواع الرخص. على العكس من الحقوق الضفافية، فإن حقوق الأستيلاء يمكن أن توجد من دون أي علاقة خاصة ما بين قرب الأرض والمصدر المائي. أيضاً، فإن حاملي حقوق الإستيلاء أو المخصصة لغرض معين يسمح لها بشكل عام أن تقوم بتخزين الماء في ممتلكاتهم أو أراضيهم لفترة زمنية غير محددة. وفي حالة حق التصرف للذي يسبق (الأول)، فإن المستخدم يقوم بعمل مطالبة على الماء مع الجدل أنه لم يتم إستخدامها من قبل بواسطة أي شخص آخر. وحق التصرف للذي يسبق كانت شائعة في مناطق التنقيب في غرب الولايات المتحدة الأمريكية خلال أعوام الـ 1800. وحق التصرف بواسطة إذن يعتبر شائعاً بشكل أكبر اليوم وذلك لأن المصادر المائية المتوفرة أصبحت مستغلة بشكل كامل (والبعض يمكن أن يجادل أنها مستغلة كلياً مسبقاً).

وتعتبر الحقوق الضفافية عادة أقدم ولها السبق على الحقوق المخصصة لغرض معين، ولكن الحقوق المخصصة لغرض معين في الحقيقة تحكم حجم أكبر من المياه في غرب الولايات المتحدة

الأمريكية. وبعض مالكي حقوق المياه الضفافية لا يستفيدون من الماء المتوفر، بإيجاد حق ضفافي "ساكن"، ولكن مثل هذا السكون لا يشتمل على مصادرة الحق، حتى لو مضى عقود عديدة. وهؤلاء الذين مع الحقوق المخصصة لغرض معين على الماء ومع الحقوق الضفافية النائمة (الساكنة) دائماً يتعرض لخطر الحقوق الضفافية كونها يتم إعادة إدعاءها ثانية. وهذا كان قد حدث في أكثر من حالة. والحقوق الضفافية والمخصصة لغرض معين تميل لأن تكون محل نزاع وعدد لا يحصى من النزاعات القانونية كانت قد ظهرت بين المالكين أو المطالبين بمثل تلك الحقوق. وكنتيجة لذلك، فإنه يوجد هناك الكثير من القضايا في المحكمة والكثير من الإجراءات القانونية للمصادر المائية. قانون المياه يعتبر الآن ميدان تخصص للكثير من المحامين في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وأن عدد الصراعات القانونية على حقوق المياه لا ترجح أن تختفي في المستقبل المنظور.

وحقوق المياه بشكل عام يتم شرحها على أنها حقوق مشتركة وليست حصرية، والذي يعني أن الناس يمكن أن يكون لديهم الحقوق لإستخدام الماء ولكن لا "يملكونه". وعلاوة على ذلك، فإن الكثير من التعريفات القانونية الآن تتطلب أن جميع إستخدامات المياه، بغض النظر عن نوع الحق، يجب أن تكون مقبولة ومفيدة. وهذا يؤدي إلى الإستنتاج أن فضلات الماء يجب أن يتم تجنبها وأن نوعية المياه يجب أن يتم حفظها، ولكن التعريف القانوني الحقيقي لـ "مقبول ومفيد" لم يكن قد تم تعريفه بشكل حصري من خلال القوانين الحالية. وهكذا، فإن هذا واحد من عدد من النقاط التي تعتبر معرضة للتفسير الواسع بواسطة الأفراد وبواسطة محاكم القضائية أو العدلية. والبعض يتنبأ بزيادة التأكيد على حقوق المياه العامة من خلال مبدأ الثقة العامة، والتي تشدد على أن مصادر محددة هي عبارة عن ممتكات لعامة الشعب.

9-10 جعل الري مربحاً

لقد تم صرف مئات الملايين من الدولارات على تطوير الري في غرب الولايات المتحدة الأمريكية على مدى الـ 100 سنة الماضية أو يزيد، وما زال فقط جزء صغير (1 – 3%) من الأراضي الصحراوية كان قد تم "إستصلاحها" بواسطة هذا التطوير. على الرغم من أن مشاريع الإستصلاح تقدم فوائد أخرى مثل الطاقة المائية (الكهرباء)، والترفيه، والتحكم بالفيضان، وأشياء أخرى. وعلاوة على ذلك، فإن مستخدمي المياه قاموا مسبقاً بدفع المساهمة الكبيرة للمصاريف الرأسمالية في المشاريع الممولة من الولاية أو الحكومة الفدرالية.

وأكثر من نصف تمويل البنك الدولي للري كان من أجل تحديث أو إعادة تأهيل نظم الري القديمة. وقامت منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة بتلخيص الظروف في أفريقيا فيما يتعلق بالري. وفي العام 1955 قامت منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة بالإشارة إلى أن المساحة المروية الكلية تتعدى 12 مليون هكتار. 30% من المساحة مزروعة بالأرز و 34% مزروعة بأنواع حبوب أخرى. 16% مزروعة بالخضروات والمحاصيل التصنيعية، والكثير من الأرز يتم إنتاجه في المناطق ذات الهطول المطري الغزير لمدة 3 أشهر أو أكثر.

والتكاليف التي تم كتابتها بواسطة منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة في العام 1955 من أجل تطوير مشاريع ري جديدة بالدولار الأمريكي لكل هكتار تم إعطاؤها في الجدول 10-4.

والجدول 10-2 يشير إلى أن الفاكهة والخضروات تتطلب 10 أضعاف العمالة التي تتطلبها الحبوب وتعطي 5 أضعاف الأرباح. وصافي الأرباح يعدّل 26% إلى 55% من قيمة المحصول الزراعي الإجمالية، وأن إجمالي المداخيل المزرعة لكل هكتار للعام 1994 كان قد تم حسابه من التقرير السنوي للعام 1995 لمنطقة حفظ موارد وادي كواتشيلا. والقيم المحصولية لكل هكتار بالنسبة لـ 13 محصول بالدولار الأمريكي كان كما هو مبيّن في الجدول 10-5.

الجدول 10-4: تكاليف تطوير مشروع الري بالدولار الأمريكي لكل هكتار (منظمة الأغذية والزراعة 1995).

حجم المشروع	معدل التكلفة	مدى التكلفة
صغير	4000	6500 – 1000
متوسط	9000	15000 – 4000
كبير	16000	50000 - 5000

الجدول 10-5: قيم المحصول بالدولار الأمريكي لكل هكتار (لمنطقة حفظ موارد وادي كواتشيلا 1995).

المحصول	القيمة (دولار أمريكي/هكتار)	المحصول	القيمة (دولار أمريكي/هكتار)	المحصول	القيمة (دولار أمريكي/هكتار)
الفاصولياء	8511	الباذنجان	22779	الباميا	27808
فلفل تشيلي	32435	العنب	19313	البصل	12535
الحمضيات	8509	البطيخ	18601	البطاطس	8928
النخيل	28215	الشوفان	893	البندورة	14463
				القمح	1080

يعتبر الري والتكنولوجيات الزراعية قابلة للنقل بشكل كبير، مع العلم أن الترب والطقس يعتبر متشابهاً. فعلى سبيل المثالن في شمال اليونان، فإن المزارعين الذين كانوا في فترة الخمسينيات كانوا يستخدمون المحراث الذي تم وصفة بواسطة Homer كانوا يديرون الري بالتنقيط في السبعينيات. والأراضي التي كانت تزرع سابقاً بالمراعي البعلية وحبوب الغذاء كانت تنتج الحمضيات، والزبيب، وفواكه أخرى ومحاصيل ذات قيمة عالية.

ومعدل النمو السكاني في الكثير من الدول يحدد الحاجة إلى زيادة إنتاج الغذاء، والكثير منه يجب أن يأتي من الزراعة المروية. وفي أفريقيا، على سبيل المثال، فإن متوسط معدل النمو السكاني السنوي حالياً هو حوالي 2.9%. وهذا المعدل سوف يضاعف عدد سكان القارة خلال 25 سنة. وبعض الدول النامية لها معدلات نمو سكاني مرتفعة أكثر من المعدل بالنسبة لإفريقيا، وأن الحاجة لتنمية الري تزداد بشكل سريع. ويجب أن تقوم المشاريع بإعادة دفع تكاليف الإنشاء، وتقوم بتمويل الصيانة، وتقدم مدخرات لإعادة البناء كلما كان ذلك ضرورياً. ويتطلب تخطيط تطوير الري الجيد منظومات متعددة. الترب والطقس يجب أن تكون مناسبة للمحاصيل التي سيتم زراعتها، وأن المحاصيل يجب أن يتم إختيارها بحيث تقوم بإعادة دفع تكاليف الري وتحصل على ربح كافي. وتتأثر الربحية بحجم المزرعة. وفي بعض المناطق، فإن الناتج في المزارع الكبيرة تعتبر 30% أعلى منها في المزارع الصغيرة. السياسيين والحكومات يعتبران بشكل متكرر مدراء رديئين كما تم الإستدلال عليه من الحقيقة أن إدارة الري بواسطة مستخدمي المياه في العديد من المشاريع كانت قد أدت إلى صيانة مشروع جيدة، وزيادة النواتج المحصولية وتحسين الأرباح بشكل كبير.

والعديد من الفرص الجيدة بالنسبة للري المربح تشتمل على إستخدامات متعددة. والكثير من الدول النامية ينقصها القدرة المؤسسية بالنسبة لتخطيط تطوير المصادر المائية متعددة الأغراض. وتعتبر مشاريع الري الصغيرة بالجذب الأرضي أو الضخ إلى حد بعيد هي أقل تكلفة. على الرغم من أن المشاريع الصغيرة ربما تتطلب توفر الطاقة الكهربائية بتكلفة مقبولة. والتحكم بالفيضان والصرف على مستوى المنطقة ربما يكون مطلوباً. وبعض أكثر تطويرات الري نجاحاً كانت قد قامت بدمج الفوائد من الطاقة المائية، والصرف، والتحكم بالفيضان، والأسواق البلدية والصناعية.

وهناك حاجة عالمية إلى زيادة كبيرة في إنتاج حبوب الغذاء، وفرص العمل، والدخل. الجوع والحاجة سوف تؤدي إلى زيادة في أسعار حبوب الغذاء. والمتطلبات بالنسبة للدخل وفرص العمل وكذلك زيادة شح المياه سوف تؤدي إلى زيادة التركيز على إنتاج الفواكة والخضروات. والسحب الجائر للمياه الجوفية سوف يجبر المساحات الكبيرة المروية حالياً لتكون خارج الإنتاجية المروية. وهذا يمكن أن يتم تأخيره إلى مدى معين إذا تم حفظ الأحواض الجوفية من ملايين السنين لتقوم بتعويض النقص في المياه السطحية فقط خلال سنوات الجفاف. والزيادة في إنتاج حبوب الغذاء يتوقع له أن يأتي بشكل أساسي من الإنتاج البعلي (الذي يعتمد على مياه المطر) وعلى الترب ذات التصريف الجيد وكذلك من إنتاج الأرز في المناطق ذات الأراضي المنخفضة والتي يكون فيها المطر غزيراً. وكلما زادت تكلفة تطوير الري، فإنه يكون هناك حاجة للتركيز على محاصيل الفاكهة والخضار، والمحاصيل التصنيعية لكي يتم تمويل بناء وتشغيل وصيانة مرافق الري والصرف. وهذا يشتمل على تنوع المحاصيل في تلك المناطق والتي كانت تقوم وبشكل تقليدي وسائد بإنتاج محاصيل ذات قيمة قليلة.

المراجع

Abt and Staker. 1990. *Rating correction for lateral settlement of Parshall flumes*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 116(6): 797-803.

Adams, R.L., 1953. Farm Management Crop Manual Revised, Univ. of California Press, Berkeley and Los Angeles.

Allen, R.G., M.E. Jensen, J.L. Wright and R.D. Burman. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81(4):650-662.

Allen, R.G., 1994. Personal Communication.

Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier and L.S. Pereira. 1993. *Updated reference evapotranspiration definition and calculation procedures.* Draft manuscript for presentation at The Hague, ICID Bulletin.

American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 1995. *ASAE Standards*. St. Joseph, Michigan. (818 pages).

Blaisdell, F.W. 1996. Flow in culverts and related design philosophies. J. Hydr. Div., Amer. Soc. of Civil Engrs., paper 4704, March, 92(2):19-31.

Bos, M.G. Replogle, J.A., and Clemmens, A.J. 1984. *Flow measuring flumes for open channel systems*. John Wiley and Sons, New York. (321 pages).

Bowers, W.O., Snyder, R.L., Southard, S.B., and Lanini B.J. (1989), Water- holding characteristics of California soils, University of California Division of Agr. and Nat. Res., Oakland, Calif.

Brown, L.R. Flavin, C. and Kane H. 1996. *Vital signs*. W. W. Norton & Company, N.Y., 169 pp.

California Department of Water Resources, 1986, Crop Water Use in California. Sacramento.

Corbett, D.M., et al. 1943. *Stream gauging procedure: a manual describing methods and practices of the Geological Survey*. Water Supply Paper 888, U.S. Geological Survey.

Doneen, L.D. and Westcot, D.W., 1984. Irrigation Practice and Water Management, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Irrigation and Drainage Paper 1 (Rev.), Rome, 63 p.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield Response to Water, Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy.

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 144 pp.

Duffie, J.R. and W.A. Beckman. 1980. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley and Sons, New York, New York.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1978. Report on the Agroecological Zones Project. Vol 1. Methodology and results for Africa, Rome, Italy.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1995. Irrigation in Africa in figures. Rome, Italy, 336 pp.

Gupta, S.K., Singh, R.K., and Pandey, R.S. 1992. Surface drainage requirement of crops: Application of a piecewise linear model for evaluating submergence tolerance. Irrigation and Drainage Systems 6 249-261, Kluwer Publishers, the Netherlands.

Hansen, V.E., Israelsen, O.W. and Stringham, G.E. 1979. *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley and Sons, Inc. New York. (417 pages).

Hargreaves, G.H. 1975. Moisture availability and crop production. Transactions ASAE 18(5): 980-984.

Hargreaves, G.H. 1977. World Water for Agriculture. Agency for Int'l Development, Washington, D.C. (out of print).

Hargreaves, G.H. 1983. Practical agroclimatic information systems: 113-127 in D.F. Cusack (ed) Agroclimatic Information for Development - Reviving the Green Revolution, Westview Press, Inc., Boulder, Colorado.

Hargreaves, G.H., 1990, Crop ET modeling, ASAE Paper 902517, Chicago.

Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature, Applied Engineering in Agriculture, Trans. ASCE 1(2):96-99.

Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. 1987. Simplified irrigation scheduling and crop selection for El Salvador. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 113(2): 224-232.

Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A., 1991. Irrigation Scheduling, Programación del Riego. Editts, P.O. Box 208 Las Cruces, New Mexico.

Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., and Riley, J.P., 1985, Irrigation water requirements for Senegal River Basin. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 111(3) 265-275.

Hershfield, D.M., 1961. Rainfall Frequency Atlas for the United States for Durations of 30 Minutes to 24 Hours and Return Periods of 1 to 100 Years, Technical Paper No. 40, U.S. Weather Bureau, Depth. of Commerce, Washington, D.C.

Hill, R.W., R.J. Hanks, and J.L. Wright. 1987. Crop yield models adapted to irrigation scheduling programs. *Irrigation systems for the 21st century*, ASCE conference proceedings, Portland, OR, July 28-30, pp. 699-706

Hudson, N. 1981. *Soil conservation*. 2nd Ed. Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y.

IIMI. 1997. *World Water and Climate Atlas for Agriculture.* Int'l Irrig. Management Institute (IIMI), P.O. Box 2075, Colombo, Sri Lanka.

Jensen, M.E., Burman, R.D., and Allen, R.G. eds. 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*, ASCE Manual 70, Amer. Soc. of Civil Engrs., New York. (332 pages).

Jones, C.A. and Kiniry, J.R., 1986. CERES Maize, a Simulation Model for Maize Growth and Development, Texas A & M University Press, College Station.

Karahliloglu, F., 1989. Personal communication.

Keller, J. and R.D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y.

Kindsvater, C.E. and R.W. Carter. 1959. Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs. Transactions, Amer. Soc. of Civil Engrs., Vol. 124, pp. 772-822.

London, J. and C. Frohlich. 1982. Extended abstracts presented at the symposium on the solar constant and the spectral distribution of solar irradiance. Int. Assoc. of Meteorology and Atmospheric Physics, 3rd Scientific Assembly, Hamburg, Germany. pp. 17-128, August.

Lorenz, O.A., and Maynard, D.N. 1988. *Knotts Handbook for Vegetable Growers.* John Wiley & Sons, New York.

Marsh, A.W., 1981 Reprint, Questions and Answers about Tensiometers. University of California, Leaflet 2264, ANR Publications, Oakland.

Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation - A Guide for Management*. Bio. & Irrig. Engrg. Dept., Utah State Univ., Logan, Utah. (271 pages).

Moulton, K., Runsten, D., Cook, R., Chalfant, J., and Amon, R., 1987. Competitiveness at Home and Aborad, Report of a 1986-87 Study Group on Marketing California Specialty Crops, Worldwide Competition and Constraints, U.C. Agricultural Issues Center, Davis, California.

Parshall, R.L. 1936. *The Parshall measuring flume*. Bulletin 423, Colorado Agric. Experiment Station, Fort Collins, Colorado.

Powers, A. and Stuver, M. 1994. Water systems management and conservation. *Water Management Workshop*, Denver, Colorado.

Pogue, W.R., 1990. WATERMARK Soil moisture sensor - An update. ASAE Paper No. 902582, Chicago, Dec. 18-21.

Rantz, S.E. 1982. Measurement and Computation of Streamflow: Measurement of Stage and Discharge. Vol. 1, U.S. Geological Water Supply Paper 2175.

Samani, Z.A., Hargreaves G.H., Zuniga, E., and Keller, A.A., 1987, Estimating crop yield from simulated daily weather data, Applied Engineering in Agriculture. ASCE 3(2) 290-294.

Shen, J. 1981. *Discharge Characteristics of Triangular-Notch Thin-Plate Weirs.* Water Supply Paper, 1617-B, U.S. Geological Survey.

Skogerboe, G.V., L.M. Hyatt, and K.O. Eggleston. 1967. Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Sturctures: Part 1, Submerged Flow. Utah Water Research Laboratory, Utah State Univ., Logan, Utah.

Stegman, E.C., Musick, J.T., and Stewart, J.T., 1980, Problems and procedures in determining water supply requirements for irrigation projects. In: Irrigation of Agricultural Lands. R.M. Hagan (ed) Amer. Soc. Agron. Monograph 11, pp. 771-784.

Stewart, et al. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Lab. PRWG 151-1, Logan, Utah, p. 191.

University of California. 1978. *Storie index soil rating*. Division of Agricultural Science, Special Publication 3203, Berkeley, California.

U.S. Bureau of Reclamation. 1981. *Water measurement manual*. 2nd edition, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 327 pages.

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. 1978. *Drainage manual*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Walker, W.R. and Skogerboe, G.V. 1986. *Surface irrigation theory and practice*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 386 pages.

Wright, S.J. and Taheri, B. 1991. Correction to Parshall flume calibrations at low discharges. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 117(5):800-804.

Bibliography

ASCE (Amer. Soc. of Civil Engineers). 1991. *Management, Operation and Maintenance of Irrigation and Drainage Systems*. Manual No. 57. ASCE, New York, N.Y.

Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1987. *Water quality for agriculture*. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 29, Rome, Italy.

Barrow, C. 1987. *Water resources and agricultural development in the tropics*. Longman Scientific and Technical and John Wiley and Sons, Ltd., New York. 356 pages.

Benami, A. and Often, A. 1983. *Irrigation Engineering*. Irrig. Engrg. Scientific Publications (IESP), Israel Institute of Technology, Technion City, Israel. (257 pages).

Benz, L.C., E.J. Doering, and G.A. Reichman. 1984. Water-table contribution to alfalfa evapotranspiration and yields in sandy soils. ASAE Transactions, pp. 1307-1312.

Black, J.N., C.W. Bonython and J.A. Prescott. 1954. Solar radiation and duration of sunshine. *Proc. Royal Meteorol. Soc.*, 80:231-235.

Blomquist, W. 1992. *Dividing the waters: governing groundwater in southern California*. Int'l Center for Self-Governance, San Francisco, California. (415 pages).

Bolt, G.H. and Bruggenwert, M.G.M. (eds.). 1976. *Soil chemistry*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands. (281 pages).

Booher, L.J. 1974. *Surface irrigation*. Food and Agric. Organization (FAO) of the United Nations, FAO Develop. Paper No. 95, Rome, Italy. (160 pages).

Boswell, M.J. 1985. *Micro-Irrigation Design Manual*. James Hardie Irrigation Co., El Cajon, CA.

Burt, C.M. and Styles, S.W. 1994. *Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops*. Irrig. Training and Research Center, Calif. Polytechnic State Univ, San Luis Obispo. Poor Richard's Press, San Luis Obispo, California. (258 pages).

Christiansen, J.E. 1942. *Irrigation by sprinkling*. Bulletin 670, Univ. of Calif. at Berkeley, October. (124 pages).

Cobia, D. (ed.). 1989. *Cooperatives in agriculture*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. (445 pages).

Cuenca, R.H. 1989. *Irrigation system design - an engineering approach*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. (552 pages).

Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1975. Guidelines for prediction of crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.

Driscoll, F.G. 1986. *Groundwater and wells*. 2nd ed., Johnson Division, St. Paul Minnesota. Mower House, 508 10th Street, N.E., Austin, Minnesota, 55912 (1-800-397-6110). (1089 pages).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1981. FAO Production Yearbook. Vol. 34. FAO, Rome, Italy.

Finkel, H.J. 1982. *Handbook of irrigation technology*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. Vol. I: 369 pages, Vol. II: 223 pages.

Foth, H.D. and L.M. Turk. 1972. *Fundamentals of soil science*. John Wiley & Sons, New York, N.Y. 454 pages.

Fraenkel, P.L. 1986. *Water lifting devices*. Irrig. & Drain. Paper 43, Food and Agric. Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. (295 pages).

Hargreaves, G.L., G.H. Hargreaves, and J.P. Riley. 1985. Agricultural benefits for the Senegal River Basin. *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE. 111:113-124.

Hargreaves, G.H., Z.A. Samani, and E. Zuniga. 1989. Modeling yields from rainfall and supplemental irrigation. *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE, Vol. 115(2):239-247.

Herschy, R.W. 1993. *Hydrometry principles and practices*. John Wiley and Sons, New York. (511 pages).

Hiler, E.A., R.N. Clark, and L.J. Glass. 1971. Effects of water table height on soil aeration and crop response. ASAE Transactions, pp. 879-882.

Hill, R.W., R.J. Hanks, and J.L. Wright. 1984. Crop yield models adapted to irrigation scheduling programs. Final report USDA ARS Cooperative Research No. 58-9AHZ-9-440. Utah Agric. Exp. Station Res. Report No. 99., Utah State Univ., Logan, UT.

Hillel, D. 1983. *Advances in irrigation*. Academic Press, New York, N.Y. Vol. I, Vol. II. (429 pages).

Hoque, M.Z. 1984. *Cropping systems in Asia*. Int'l Rice Research Institute (IRRI), Los Baños,

Laguna, Philippines. (196 pages).

James, L.G. 1988. *Principles of farm irrigation system design*. John Wiley and Sons, New York, New York. (543 pages).

Jensen, M.E. (ed.). 1980. *Design and operation of farm irrigation systems*. Amer. Soc. of Agric. Engrs., Monograph #3, ASAE, St. Joseph, MI. (829 pages).

Jensen, M.E. and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. and Drain. Div.*, ASCE. 89:15-41.

Johnson, S.H. (ed.). 1995. *Irrigation management transfer*. Proc. Int'l Conference on Irrigation Management Transfer, 20-24 Sept., 1994, Wuhan, China. Int'l Irrig. Management Institute (IIMI), Colombo, Sri Lanka. (500 pages).

Jones, K.R. 1981. *Arid zone hydrology for agricultural development*. Irrig. and Drain. Paper 37, Food and Agric. Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. (271 pages).

Jones, U.S. 1979. *Fertilizers and soil fertility*. Reston Publishing Co. (a Prentice-Hall Company), Reston, VA.
Kay, M. 1986. *Surface irrigation systems and practice*. Cranfield Press, Cranfield, U.K. (142 pages).

Kramer, P.J. 1969. *Plant and soil water relationships: a modern synthesis*. McGraw-Hill Book Co., New York. (482 pages).

Lamm, F.R. 1995. *Microirrigation for a changing world*. Proc. of the Fifth Int'l Microirrigation Congress, April 2-6, Orlando, Florida. (978 pages).

Lockeretz, W. 1987. *Sustaining agriculture near cities*. Soil and Water Conservation Soc., Ankeny, Iowa. (295 pages).

Luthin, J.N. 1957. *Drainage of agricultural lands*. Amer. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin. (620 pages).

Luthin, J.N. 1973. *Drainage engineering*. Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, N.Y. (250 pages).

Mahmood, K. 1986. Egyptian water resource planning models: review and recommendations. The World Bank, EMENA Projects, Agric. Div - I, August.

Melby, P. 1988. *Simplified irrigation design*. Van Nostrand Reinhold, New York. 188 pages.

Michael, A.M. 1981. *Irrigation theory and practice*. Vikas Publishing House PVT, Ltd., New Delhi, India. (801 pages).

Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. 1986. *Trickle irrigation for crop production*. Elsevier Publishers, Amsterdam, The Netherlands. (383 pages).

National Academy of Sciences. 1974. *More water for arid lands*. Office of Science and Technology, Agency for Int'l Develop., Washington, D.C. (154 pages).

Nelson, K.D. 1985. *Design and construction of small earth dams*. Inkata Press, Melbourne, Australia. 116 pages.

Oomen, J.M.V., de Wolf, J. and Jobin, W.R. 1990. *Health and irrigation*. Publication 45, Vol. 1, Int'l Institute for Land Reclamation (ILRI), Wageningen, The Netherlands. (304 pages).

Ostrom, E. 1992. *Crafting institutions for self-governing irrigation systems*. Center for Self-Governance, Institute for Contemporary Studies, San Francisco, California. (111 pages).

Pair, C.H. (ed.). 1975. *Sprinkler irrigation*. Sprinkler Irrig. Assoc., Silver Spring, Maryland. (615 pages).

Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. Royal Soc. London*, Ser. B., 281:277-294.

Priestly, C.H.B and R.J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Rev*. 100(2):81-92.

Roscoe Moss Co. 1990. *Handbook of groundwater development*. John Wiley and Sons, New York, New York. (493 pages).

Rosenburg, N.J., Blad, B.L., and Verma, S.B. 1983. *Microclimate - the biological environment*. John Wiley and Sons, New York. 495 pages.

Sagardoy, J.A. 1982. *Organization, operation and maintenance of irrigation schemes*. Irrig. and Drain. Paper 40, Food and Agric. Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. (166 pages).

Samani, Z.A., G.H. Hargreaves, E. Zuniga, and A.A. Keller. 1987. Estimating crop yields from simulated daily weather data. ASAE, Applied Engineering in Agriculture, Vol. 3, No. 2, pp. 290-294.

Simpson, K. 1986. *Fertilizers and manures*. Longman Group, Ltd., Hong Kong, co-published with John Wiley and Sons, New York, New York. (254 pages).

Skogerboe, G.V. and G.P. Merkley. 1996. Irrigation maintenance and operations learning *process*. Water Resources Publications, LLC., Englewood, Colorado. 358 pages.

Stern, P.H. 1979. Small-scale irrigation. Intermediate Technology Publications, Ltd., London, U.K. 152 pages.

Stewart, B.A. and Nielsen, D.R. (eds.). 1990. *Irrigation of agricultural crops*. No. 30 in the Agronomy Series, Amer. Soc. of Agronomy, Crop Science Soc. of Amer., Soil Science Soc. of Amer., Madison, Wisconsin. (1218 pages).

Taylor, H.M., Jordan, W.R., and Sinclair, T.R. 1983. *Limitations to efficient water use in crop production*. Amer. Soc. of Agronomy, Inc., Crop Science Soc. of Amer., Inc., and Soil Science Soc. of Amer., Inc. 538 pages.

United States Bureau of Reclamation (USBR). 1977. *Groundwater manual*. U.S. Dept. of the Interior, Denver Tech. Center, Denver, CO (currently available through the U.S. Government Printing Office). 480 pages.

United States Bureau of Reclamation (USBR). 1993. *Drainage manual*. U.S. Dept. of the Interior, Denver Tech. Center, Denver, CO (currently available through the U.S. Government Printing Office). 321 pages.

United States Bureau of Reclamation (USBR). 1974. Hydraulic and excavation tables, 11th Ed., U.S. Government Printing Office. 351 pages.

Withers, B. and Vipond, S. 1980. *Irrigation design and practice*. 2nd Ed., Cornell Univ. Press, Ithaca, New York. 306 pages.

Yap-Salinas, L.H. 1996. Neither gradualism nor big bang, but easy does it. Int'l Network on Participatory Irrigation Management (INPIM), World Bank, Washington, D.C. Newsletter No. 3, July, pp. 8-10.

Yaron, D. 1981. *Salinity in irrigation and water resources*. Marcel Dekker, Inc., New York, New York. (432 pages).

Zimmerman, J.D. 1966. *Irrigation*. John Wiley and Sons, New York, New York. (516 pages).