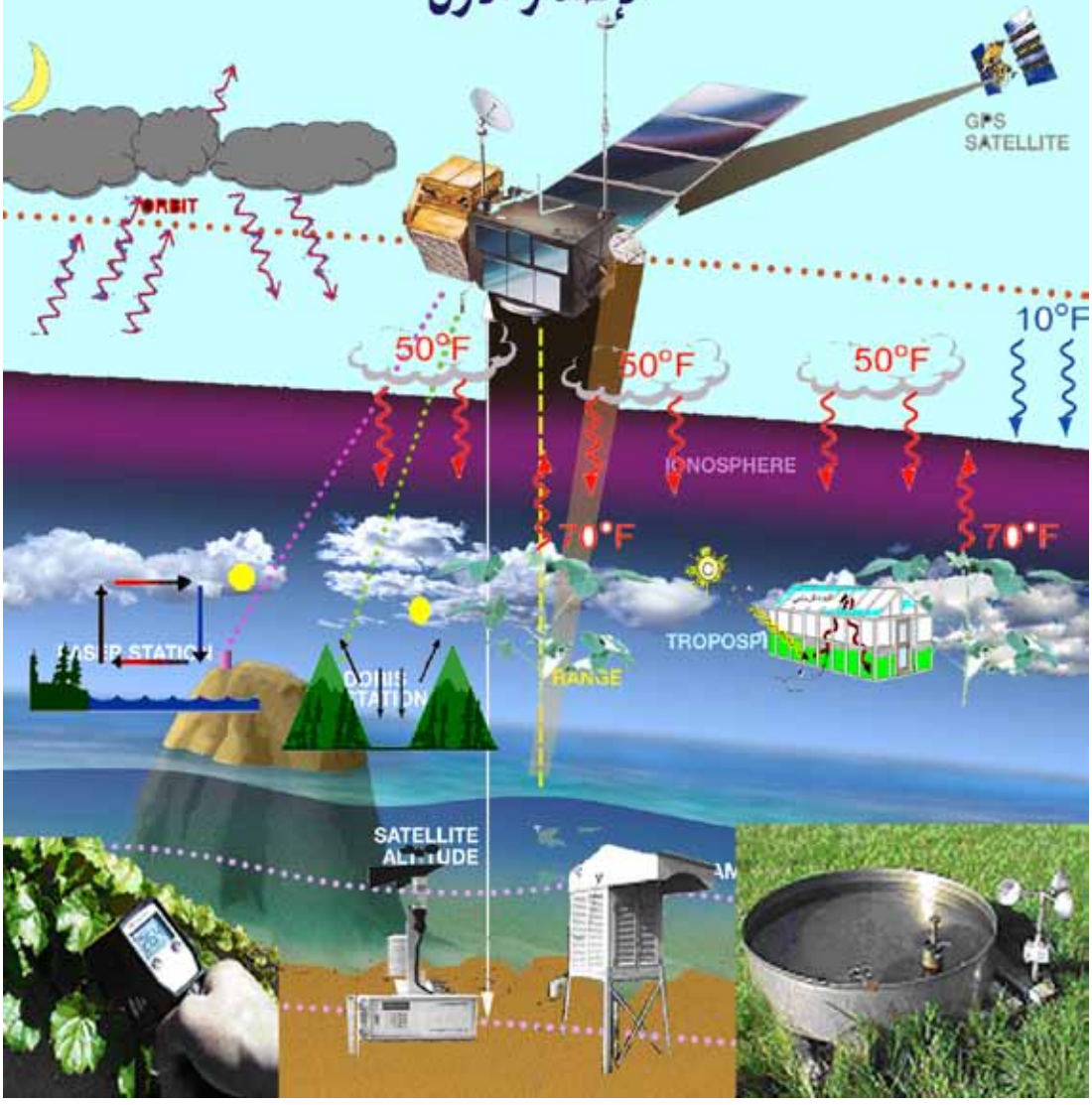
محمد سعيد حميد

الأرصاد الجوية الزراعية

الإصدار الأول



محمد سعيد حميد

الأرصاد الجوية الزراعية

الأصدار الأول

ديسمبر2002

حقوق النشر محفوظة للمؤلف

رقم الإيداع بدار الكتب: 161 لسنة 2001
صنعاء - الجمهورية اليمنية

الإهـداء

إلى زملاء المهنة في الأرصاد الجوية

أقدم هذا الكتاب

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	1-2
الفصل الأول: تعاريف عامة	3-5
لفصل الثاني: محطات الأرصاد الجوية الزراعية	6-10
أنواع محطات الأرصاد الجوية الزراعية	6
شروط وضوابط اختيار المحطات	7
تجهيزات المحطات	8
الفصل الثالث: الغلاف الجوي	11-15
الطبقة الأولى طبقة التربوسفير	12
الطبقة الثانية :طبقة الأستراتوسفير	13
الطبقة الثالثة :طبقة الميزوسفير	14
الطبقة الرابعة :طبقة الثرموسفير	14
الفصل الرابع: الإشعاع	16-30
الإشعاع الشمسي (16) حساب كمية الإشعاع (19) قدرة الانعكاس (الالبيدو) (32) حساب كمية الإشعاع المكتسبة من قبل الأرض (34) العوامل المؤثرة التي يتوقف عليها الإشعاع الشمسي(22) الإشعاع والنبات (22) تغيرات الإشعاع مع الغطاء النباتي: الفترة الضوئية (24)	
الفصل الخامس: الحرارة	26-41
كمية الحرارة (26) انتقال الحرارة (26) درجة الحرارة (27) تغيرات درجة الحرارة (28) الانقلاب الحراري (32) الحرارة والنبات (32) حرارة التربة (40)	
الفصل السادس: الضغط الجوي	42-47
الضغط الجوي (42) المرتفع الجوي (43) المنخفض الجوي (43) توزيعات الضغط الجوي (45) تغير الضغط على سطح الأرض(45) تغير الضغط الجوي مع الارتفاع (46) تغيرات الضغط الجوي مع الحرارة (46) تغيرات الضغط الجوي مع الرطوبة (46) تغيرات الضغط الجوي في اليابسة والمحيطات (46) مدلولات الضغط الجوي المرتفع (46) مدلولات الضغط الجوي المنخفض (47)	
الفصل السابع: الرياح	48-52
الرياح (48) حركة الرياح (48) نسيم الجبل ونسيم الوادي (48) نسيم البر والبحر (49) القوة المؤثرة على حركة الرياح (50) الرياح والنبات (51)	
الفصل الثامن: رطوبة الجو والتربة	53-65
الدورة المائية في الغلاف الجوي : مراحل الدورة المائية (53) عملية البخر (54) ضغط بخار الماء (54) نقص الإشباع (54) الرطوبة النسبية (54) نقطة الندى (54) التكثف (56) الضباب (56) السحب (56) التهطال (60) العوامل التي تؤثر في توزيع الأمطار على سطح الأرض (61) أهمية الرطوبة الجوية والنبات (63) رطوبة التربة (63)	

الموضوع	رقم الصفحة
الفصل التاسع: المناخ الزراعي والمقننات المائية الأمطار الفاعلة (67) التبخر وتبخر النتح (68) مؤشر مراقبة كفاءة استهلاك المحصول للمياه (77) احتياطي الرطوبة المنتجة في التربة (110)	66-82 95
الفصل العاشر: عوامل الأرصاد الجوية الزراعية الحادة الجفاف (83) طرق تقدير شدة الجفاف (86) طرق مكافحة الجفاف (95) الصقيع (103) أسباب تشكل الصقيع (105) التنبؤ بالصقيع (108) الطرق والوسائل للحماية من الصقيع (109) الرطوبة الجوية غير الملائمة (113) الظروف الضوئية غير الملائمة (114) الرياح (114) الإشعاعات (116) العواصف الكهربائية والبرق (117) التهوية السيئة (117)	83-117
الفصل الحادي عشر: التنبؤ بكميات الإنتاج وعلاقتها بالعناصر الجوية التنبؤات الجوية / الزراعية (119) التنبؤات بأطوار نمو المحصول بالاعتماد على الحرارة(119) التنبؤ بالمحصول على أساس احتياطي الرطوبة (121) علاقة النمو المرتبطة بدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي(122) علاقة الإنتاج بدرجة الحرارة وساعات سطوع الشمس والأمطار (122) العوامل الجوية والثروة الحيوانية والتنبؤ بإنتاجيتها (122)	118-124
الفصل الثاني عشر: العوامل الجوية و الأمراض والآفات الزراعية تأثير درجة الحرارة وكمية الأمطار (127) الطريقة العامة لتقدير فترة نمو الحشرات (128) الحشرات المهاجرة (129) دودة الجيش الأفريقية (133)	125-134
الفصل الثالث عشر: الأقمار الصناعية والاستشعار عن بعد أهمية الأقمار الصناعية في الشئون الزراعية (136) استخدام الاستشعار عن بعد(136)	135-138
ملحق (1) حساب مؤشر كفاءة استهلاك المحصول للمياه	139
ملحق (2) معلومات الأرصاد الجوية في حساب المقننات المائية	140
ملحق (3) المصطلحات العلمية	148
المراجع	159

المقدمة

مع إطلالة القرن الحادي والعشرين الذي من المتوقع أن يشهد أكثر من القرن الذي مضى ابتكارات علمية وثورة معلوماتية تزداد فيه أهمية الأرصاد الجوية ليس في الملاحة الجوية والملاحة البحرية فحسب ، كما كانت عليه في عقود خلت، و إنما بتطبيقاته المختلفة في الحياة الاقتصادية الرامية إلى زيادة الإنتاج الصناعي والزراعي، والتقليل من الفاقد في المنتوج والحد من الكوارث الطبيعية التي يظل التنبؤ بها قضية مقلقة للمختصين، بهدف رفاهية المجتمعات، والتنمية المستدامة، إلى جانب التطبيقات الأخرى في مشاريع تعديل الطقس، وفي العمليات العسكرية الكيميائية والبيولوجية وغيرها.

وينبغي الاعتراف أولاً بأن مكتبتنا العربية تفتقر لفروع كثيرة من المعرفة العلمية ومنها تحديداً ما يتعلق بتطبيقات الأرصاد الجوية المختلفة ، وإحدى تلك التطبيقات ما يتضمنه هذا الكتاب المنهجي والمرجع الشامل في تقديرنا لطلاب كليات الزراعة والعلوم وأقسام الجغرافيا في كليات الآداب والمهتمين في مراكز البحوث والدراسات الزراعية والبيئية ، لما لتقلبات الطقس وتغيرات المناخ من أهمية كبيرة في مختلف أنشطة الإنسان الاقتصادية وفي مقدمتها النشاط الزراعي الذي تمثل فيه تطبيقات الأرصاد الجوية-الزراعية جزءً مهماً في سياسة الأمن الغذائي لكثير من الدول.

والتي أصبحت تعتمد على أحدث التقنيات في تلك التطبيقات وخصوصاً في الأقمار الصناعية وأنظمة الاستشعار عن بعد، والتطورات في أنظمة الرصد الرقمية، وعلى التطور التقني في أنظمة الاتصالات والحاسوب بصورة عامة.

حيث تمثل أنظمة الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية والتنبؤات الجوية - الزراعية والمناخية إحدى مكونات الأنشطة الزراعية الحديثة. وتعتبر الدراسات المناخية الزراعية التفصيلية مؤشراً مهماً لأي نظام لاستخدامات الأراضي .

وتؤدي إدارة التربة وتخطيط زراعة المحاصيل والاستغلال الأمثل للمياه وبالاعتماد على التنبؤات الجوية والمناخ إلى تحسين واستقرار إنتاجية المحاصيل وتحديداً أثناء السنوات التي تتفاوت فيها معدلات الأمطار عن المعدل العام.

وينبغي الإشارة هنا إلى أن الزراعة اليمنية ارتبطت ارتباطا قوياً بالتنبؤات الجوية، واستطاع اليمنيون قديماً أن يديروا شئونهم الزراعية وفقاً للتقلبات الطقس، وإلى حد ما قياساً بتلك الحقبة التاريخية التي عاشوها، والتي يجب إجراء المزيد من الأبحاث والدراسات التطبيقية لها، وربطها بالعلوم الحديثة لمواجهة المشاكل والصعوبات للتغلب على الجوع العدو الحقيقي للإنسان وتحقيق الأمن الغذائي له.

ويمكنني القول بأن هذا الكتاب سيرفد المكتبة العربية بمواضيع هي اليوم أحوج إليها من أي وقت مضى، لاحتوائه على أحدث التطبيقات واستناده إلى عدد كبير من المراجع القيمة والمعتمدة في الجامعات والمنظمات المتخصصة. التي تعالج قضايا البيئة الزراعية وتحديداً تقلبات الطقس وتغيرالمناخ وعلاقاتها بالمنظومة المتكاملة في الزراعة، أبتداءً بتحديد المناطق الزراعية واختيار نوع المحاصيل مروراً بالعمليات الزراعية المختلفة حتى الحصاد، في زمن تزداد حاجتنا فيه أكثر من أي وقت مضى من تاريخ المعرفة والعلوم إلى معرفة الوسط الذي يحيط بنا والمخاطر التي تهدد ثروتنا الزراعية والحيوانية من جراء معاول الهدم للبيئة الخضراء وسؤ استغلال المياه.

وتزداد الحاجة أكثر إلى تسخير المعرفة الحديثة وتطورها باتجاه توطيد مقومات التنمية الزراعية بأساليب تقنية حديثة وإحراز تقدم ملموس في التحكم بتقلبات الطقس والتغيرات المناخية والمحددة لإنتاج أفضل للمحاصيل الزراعية والثروة الحيوانية.

يأتي هذا الكتاب ليعالج هذه القضايا ويعطي مؤشرات عامة لتأثير الوسط البيئي وتحديداً المتغيرات الجوية منه على المحاصيل الزراعية والتي تمكننا معرفتها من عمل الإجراءات اللازمة في أنظمة الري والوقاية وغيرها من الإجراءات في العمليات الزراعية المختلفة.

إن هذا الكتاب بإصداره الأول يعطينا أدوات جديدة في المعرفة لحل مشاكلنا الاقتصادية،ويعد إضافة جديدة إلى مكتبتنا ومقدماً الأرصاد الجوية إلى الوسط العلمي والمعرفي بإحدى تطبيقاتها الشيقة والمحببة وبأدوات وتقنيات مبسطة يمكن أن تضع لبنات أساسية في التطور العلمي في الزراعة في اليمن السعيد. البلد الذي يمتاز بتعدد مناخاته الزراعية والذي لاشك إنه سيكون مرجعاً لكثير من التطبيقات التي نحن بحاجة إليها في هذا البلد المعطأ بخيراته المادية والبشرية ويكون نبراساً ودليلاً في الكثير من التطبيقات البيئية الزراعية في المراكز البحثية المتخصصة.

اتمنى أن أوفق بإغنائه أكثر في إصداره الثاني، وأن تجد العديد من المعارف الواردة في طيه طريقها للتطبيق العملي.

والله الموفق

المؤلف

الفصل الأول

تعـاريف عـامـة

ما هو علم الأرصاد الجوية:

هو العلم الذي يدرس خصائص الغلاف الجوي والظواهر التي تحدث فيه وتفسير أسبابها ومدى تأثيرها على مختلف نواحي الحياة على سطح الأرض.. والتنبؤ عن حالة الطقس للفترة القادمة.

وقد عرف العالم أرسطو الأرصاد الجوية في كتابه Meteorology بأنه العلم الذي يهتم بدراسة الظواهر الجوية و تبدلاتها والتي تؤثر على حياة النبات والحيوان بعد الإنسان والتي تتم في نطاق الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية.

وللأرصاد الجوية العديد من التطبيقات وهو ما يسمى بالأرصاد الجوية التطبيقية.وهي التي تهتم بتطبيقات الأرصاد الجوية في جميع مجالات الحياة وتزود القطاعات الاقتصادية المختلفة بكل متطلباتها من البيانات الأساسية التي تهمها.وتعكس هذه التطبيقات فروع الأرصاد المختلفة ومنها:

- الأرصاد الجوية الزراعية.
- الأرصاد الجوية للملاحة الجوية.
- الأرصاد الجوية للملاحة البحرية.
- الأرصاد الجوية للملاحة الكونية والفضاء.
- الأرصاد الجوية المائية.
- الأرصاد الجوية العسكرية.

الطقس:"Weather":-

هو حالة الجو لنفس اللحظة أو لفترة قصيرة ويعكس حالة عناصر و ظواهر جوية عابرة ناجمة عن تقلبات جوية تحدثها المنخفضات والمرتفعات الجوية والأعاصير العابرة الناتجة عنها ، وهو قابل للتغير والتحول بين لحظة وأخرى ، ويمكن التنبؤ بتقلباته لفترة قصيرة جداً تتراوح ما بين ساعة وأخرى إلى عدة أيام في ظل الاستخدام الأمثل للوسائل العلمية المتطورة (الأقمار الصناعية وشبكة الرادار و الحاسوب الآلي وغيرها).

التنبؤات:"Forecast":-

يمكن التنبؤ بحالة الطقس وفقاً للأغراض التي يجب أن تستفاد منها تلك التنبؤات وتتفرع إلى:

1- تنبؤات قصيرة المدى: تكون تنبؤات سارية المفعول لمدة ساعات محدودة ولا تتجاوز 48 ساعة. وتحاول هذه التنبؤات وبالتفصيل أن تعطي الطقس وتقلباته فوق المنطقة المحددة.

2- تنبؤات متوسطة المدى: تكون تنبؤات سارية المفعول من ثلاثة أيام إلى أسبوعين قادمين. وتعطي مؤشراً للحالة العامة للطقس واقترابه من المتوقع.

3- تنبؤات طويلة المدى: تعطي فقط مؤشراً للمعدل العام للطقس لمدة 30 يوم فوق منطقة شاسعة. ولازال هذا النوع محدوداً بالنسبة لمهارة أخصائي الأرصاد.

4- التنبؤات الموسمية: يحاول هذا النوع من التنبؤات إعطاء توقع لمعدل الطقس من شهر إلى سنة، ولازال هذا الفرع في مرحلة البحث.

هذه التنبؤات يمكن أن تعد كتنبؤات خاصة وفقاً لطلبات المستفيدين في الزراعة والملاحة الجوية

والبحرية وغيرها.

المناخ "Climate":

هو الحالة الوسطى لأحوال الطقس لعدد من السنين ..وهو عبارة عن نظام الحرارة والرطوبة والضغط الجوي و الأمطار والرياح لمنطقة ما.وعليه تتوقف مجمل النشاطات الزراعية والاقتصادية ..وغيرها.

1- المناخ الإجمالي "Macro climate": وهو المناخ الذي يمثل منطقة متسعة ومتجانسة وتكون متشابهة في الظروف المناخية.

2- المناخ الأصغر "Meso climate": وهو يمثل مناخ مناطق محددة وتأثير تلك المناطق على المناخ مثل السهول والجبال والوديان. يسمى هذا النوع أيضا بالمناخ الموضعي.

3- المناخ التفصيلي "Micro climate": وهو المناخ الذي يهتم بالمساحات الصغيرة المحددة في أماكن مختلفة.

ويوضح الجدول (1-1) تقسيمات النطاقات المناخية المكانية والزمنية على المستوى الأفقي والعمودي.

جدول (1-1) يوضح مدى التقسيمات المناخية

اسم النطاق المناخي	أفقيا	عموديا
المناخ الإجمالي" Macro climate"	أكثرمن20 كم	أكثر من 6 كم
المناخ الأصغر"Meso climate"	100م إلى 20كم	من السطح إلى 6 كم
المناخ التفصيلي"Micro climate"	1مم إلى 100م	من السطح إلى100 م

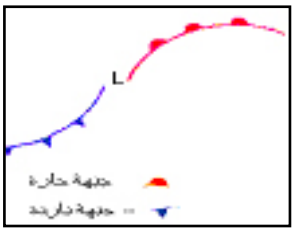
المناخ الزراعي "Agriculture climate": هو الحالة الوسطى لأحوال الطقس و النبات لعدد من السنين.

الرصد الفينولوجي "Phenological observation"": وهو الرصد المتوازي للعناصر والظواهر الجوية وأطوار نمو النبات والأمراض والآفات الزراعية. ويعني تزامن حدوث ظاهرتين في آنٍ واحد مثل تزامن عقد لوز نبات القطن بظهور دودة اللوز القرنفلية وظهور طور الإنبات للقمح مع وصول درجة الحرارة 5 م°.

العناصر الجوية "Meteorological elements": هي: الضغط الجوي والحرارة والرياح والمطر والإشعاع والرطوبة الجوية النسبية والمطلقة، وغيرها.

الظواهر الجوية "Meteorological phenomena": وهي: البرد والبرق والرعد والعواصف الرملية والأعاصير المطرية والضباب وغيرها.

الجبهة " Front": الجبهة عبارة عن سطح تماس أو انفصال بين كتلتين هوائيتين مختلفتين في صفتيهما ومتعاكستين في جهتيهما.



شكل (1-1) الجبهات الباردة الحارة

الأرصاد الجوية الزراعية" "Agriculture Meteorology:

هو فرع من فروع علم الأرصاد الجوية التطبيقية، وهو مزيج

لمجموعة من علوم - البيئة والمناخ والفيزياء والأحياء والجغرافيا والمياه والتربة والزراعة والإحصاء وعلم الحيوان-.
ويدرس العوامل الجوية والمناخية وتأثيرها على نمو وإنتاج المحاصيل الزراعية ، و ظهور وانتشار الأمراض والآفات الزراعية والعمل على مكافحتها ، وتأثير العوامل الجوية والمناخ على الحيوانات. ويسمىAgriculture Meteorology أو Agrometeorology

أهمية الأرصاد الجوية الزراعية:

لمعلومات الأرصاد الجوية-الزراعية أهمية خاصة عند صياغة القرارات التخطيطية والإستراتيجية المتعلقة بالأمن الغذائي لأي شعب من الشعوب وتتمثل أهمية هذه المعلومات في:-
- اختيار المحاصيل الزراعية الملائمة لمناخ المنطقة ولنوع التربة والأكثر رواجا ومردودا.
- دراسة التوازن المائي للحقول المزروعة وذلك من خلال قياس كمية الأمطار وأوقاتها واحتياطي التربة من الرطوبة المفيدة في الحقول البعلية ، وتعيين كمية وتكرار ومواعيد السقاية اللازمة للحقول المروية وحساب التبخر وتبخر النتح وفقاً لحاجة النبات من المياه في جميع مراحل نموه .
- تحديد أيام الزراعة والحصاد.
- إصدار تنبؤات عن الطقس والتي تتعلق بالزراعة بغية تحديد الأيام الصالحة للأعمال الزراعية (الحرث، البذر، الحصاد، الري،.....الخ) . إذ كثيرا ما يحول الطقس دون إجراء هذه الأعمال أو ضياعها فمثلا - السقاية قبل سقوط أمطار غزيرة تعتبر ضائعة ، والحراثة بعدها تصبح متعذرة.
- دراسة أطوار نمو النبات مع العوامل الجوية، والتنبؤ عن أوقاتها وخاصة المراحل الحرجة للنبات لما يتطلبه من مياه، وتقدير حالة النبات وحاجته من الحرارة والرطوبة بغية تحسين الإنتاج والتنبؤ بكميته.
- دراسة الصقيع وطرق مكافحته، والتنبؤ عن إمكانية وقوعه والتحذير منه، وإرشاد المزارعين في القيام بالأعمال اللازمة للحد من تأثيره على النبات ولتجنب أضراره البالغة.
- دراسة الجفاف ومكافحته ، والتأثير على المناخ القريب وذلك باستخدام مصدات الرياح.
- دراسة العلاقة بين العوامل الجوية والأمراض والآفات الزراعية والعمل على التنبؤ بانتشارها بهدف مكافحتها في الوقت المناسب.
- التنبؤ بكمية الإنتاج وذلك بالاعتماد على الحساب الإحصائي والنماذج الرياضية والديناميكية في دراسة عوامل الطقس (حرارة، إشعاع، كمية المطر،.....وغيره) ونوع التربة ونوع النبات والأعمال التكنيكية الزراعية ، وتأثير هذه العوامل على الإنتاج وبالتالي تقدير كمية الإنتاج وجودته وإمكانية الاستفادة من المحصول بشكل كامل بأخذ التدابير اللازمة لتصريفه وذلك ما يساعد إلى التوصل إلى تخطيط اقتصادي سليم تنعكس نتائجه على الفرد والمجتمع.

الفصل الثاني
محطات الأرصاد الجوية الزراعية
Agrometeorological Stations

محطات الرصد الجوي الزراعي:
يقام على محطات الرصد الجوي الزراعي ، إضافة إلى القياسات الجوية الرئيسية قياسات رطوبة التربة وحرارتها على أعماق مختلفة ، والتبخر والنتح من النبات وارتفاع ومواصفات الغطاء الثلجي وعناصر أخرى.
وفي ذات الوقت فإن محطات الرصد الجوي الزراعي ومراكز البحوث تقوم بمراقبة أوضاع زراعة المحاصيل الزراعية، وعلى إجراء التجارب، حيث تراقب نمو المحاصيل، ودرجة تضررها بعوامل جوية غير مناسبة، وتحدد زيادة كتلة النبات، وكمية المحصول.... الخ.
ولتسريع دراسة تأثير العوامل الجوية على نمو وإنتاج المحاصيل الزراعية ، يتم تجهيز محطات الرصد الجوي الزراعي ، بزراعة نفس المحاصيل الزراعية في مواضع ذات ظروف ترابية مناخية مختلفة أو الزرع مع تغيير مواعيد هذا الزرع (خلال 10-5 أيام) في موضع واحد . إن معطيات مثل هذه المراقبات تسمح خلال مدة قصيرة ، إظهار تأثير الظروف المختلفة للطقس على نمو النباتات وإعطاء التوجيهات الملائمة لزيادة الإنتاج.
وتقام مراقبات الرصد الجوي الزراعي أيضا على محطات الأرصاد الجوية الرئيسية الموضوعة في أو بالقرب من المناطق الزراعية.
ويمكن تصنيف محطات الرصد الجوي الزراعي إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

أنواع محطات الأرصاد الجوية الزراعية:
تنشأ في الغالب محطات الأرصاد الجوية الزراعية التالية:

1- محطات الأرصاد الجوية الزراعية الرئيسية :
هي المحطات التي تقوم برصد المعلومات التفصيلية والمتزامنة للعناصر والظواهر الجوية والبيولوجية للنبات والتي تحتوي على أجهزة متكاملة لإجراء البحوث . وتديرها كفأة عالية التأهيل.

2- محطة الأرصاد الجوية الزراعية العادية :
هي المحطات التي تقوم بالرصد المتزامن للعناصر والظواهر الجوية والبيولوجية للنبات . و هذه الرصدات يمكن أن تحتوي على درجة حرارة التربة ورطوبة التربة وتبخر النتح الكموني خلال فترة نمو المحاصيل. وبالنسبة للمعلومات البيولوجية يمكن أن تحتوي على الرصدات الفينولوجية والآفات والأمراض الزراعية .

3- محطة الأرصاد الجوية الزراعية للأغراض المحددة :
هي المحطات التي تجهز بصورة مؤقتة أو دائمة لرصد عنصر أو مجموعة عناصر أوظاهرة جوية محددة.
النوع الأول من المحطات المذكورة غير شائعة الانتشار بسبب أنها تحتاج إلى تجهيزات متطورة وكفأة عالية التأهيل لإدارتها (شكل 2-1).

شروط وضوابط اختيار المحطات:

شكل (2-1) محطة أرصاد جوية زراعية

لكي تكون المحطة ممثلة للمنطقة التي تنشأ فيها ينبغي أن تتوفر عدد من الشروط والضوابط وأهمها:

1- يجب أن تكون المنطقة مفتوحة ومعبرة عن ظروف المنطقة المناخية وبعيدة عن المباني والعوائق التي حولها بحيث تكون الأجهزة بعيدة عنها بـ10-8 مرات ضعف ارتفاعها.

2- يجب أن تكون التربة مغطأ بحشائش قصيرة تمثل طبيعة المنطقة وتحش باستمرار. والسير مسموح في ساحة المحطة فقط على طرق بعرض 50-40 سم.

3- يجب أن تقارن الرصدات بالمحطات المجاورة والمرجعية وتعاير الأجهزة عند الإنشاء لتحديد نوعية الاختلاف في نظام المناخ المحلي للمنطقة.

4- يعطى لساحة محطات الرصد الجوي الزراعي شكلاً رباعياً، الذي يجب أن تتناسب أبعاد الساحة فيه مع كمية ومقاييس الأجهزة المثبتة عليه.المساحات المعيارية تكون بأبعاد 26x26 م.

5- يجب أن تبعد المحطات عن المسطحات المائية (أنهار، بحار بحيرات، سدود) بمسافة لا تقل عن 100متر.

ويسيج الجزء المخصص لساحة الرصد الجوي الزراعي ، بحيث لا يمنع السياج تبادل الهواء . لذلك يتخذ سياج معياري من الشبك المعدني ، مشدود على إطارات معدنية والتي تقوى بالبيتون داخل التربة . وعندما لا يوجد السياج المعياري ، فإن الأسلاك يمكن أن تعمل من أسلاك معدنية ، تشد بصفوف مشكلة مع بعضها وتثبت على أعمدة معدنية أو بيتونية بارتفاع 1.5م ، وتوضع الأجهزة على الساحة بحيث أن تتوزع بدقة عالية من حيث التنظيم وأن تترك مسافات بينها تتراوح ما بين 6-4 م ، كي لا تظلل الأجهزة أحداها الآخر ولا تحجز التبادل الهوائي الحر. ويوضح الشكل (2-2) هذا التوزيع.

6- يجب أن تكون هناك معلومات كاملة عن المحطات في دليل خاص لكل محطة، بحيث يحتوي هذا الدليل على أهم تلك المعلومات مثل:

أ- أسم المحطة وإحداثياتها .

ب- ارتفاع المحطة.

ت- وصف موجز لطبيعة المنطقة الطبوغرافية.

ث- التركيب الفيزيائي للتربة.

ج- نوعية المحطة وبرنامج الرصدات فيها.

ح- تعريض الأجهزة ونوعها وأرقامها وارتفاعاتها من سطح الأرض.

خ- تاريخ المحطة (بداية الرصدات فيها ، التغييرات في الموقع، تعريض الأجهزة ، تغير اسم المحطة والتغيير في برنامج الرصد).

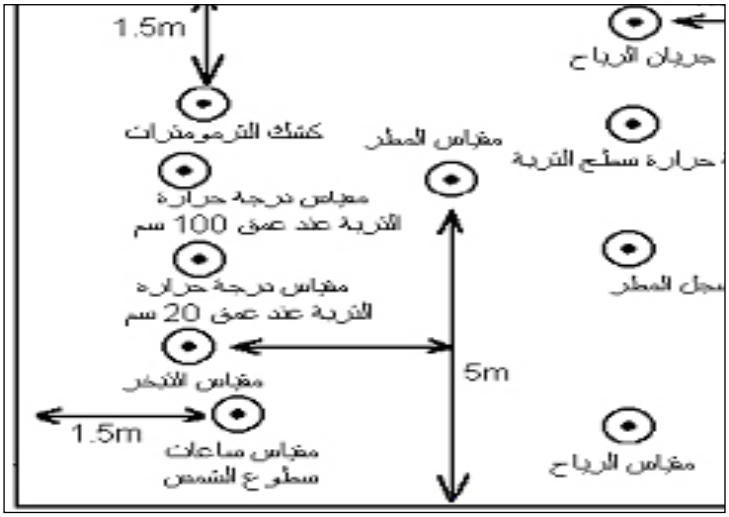
تجهيزات المحطات:

تجهز عادة - محطات الأرصاد الجوية الزراعية التقليدية (اليدوية) بالتجهيزات التالية:

1- قفص خشبي (كشك)

يحتوي على:

- مقياس درجة حرارة الهواء الجاف
- مقياس درجة حرارة الهواء الرطب
- مقياس درجة حرارة الهواء العظمى
- مقياس درجة حرارة الهواء الصغرى
- مسجل الحرارة والرطوبة



شكل(2-2) توزيع الأجهزة في المحطة

2- أجهزة قياس حرارة التربة:

- مقياس حرارة التربة للأعماق 5 ، 10 ، 20 ، 50 ، 100سم.

مقياس حرارة التربة الكهربائي للأعماق 2 ، 5 ، 10 ، 15 ، 20 ، 40 ، 120 ، 160 ، 320 سم.

- مسجل حرارة التربة للأعماق -10-20-50-100سم.
- مقياس حرارة سطح الأرض العادي
- مقياس حرارة سطح الأرض العظمى
-مقياس حرارة سطح الأرض الصغرى

وتتكون مقاييس حرارة سطح الأرض من مجموعتين الأولى لتربة مزروعة والثانية لتربة غيرمزروعة.

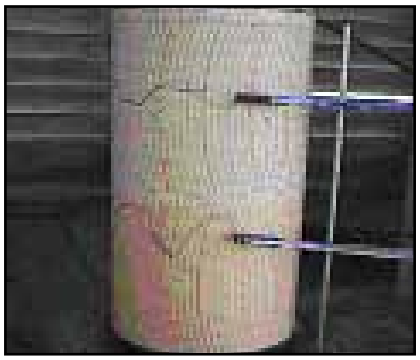
شكل (2-3) القفص الخشبي

3 - أجهزة قياس الرياح:

- مسجل سرعة واتجاه الرياح على ارتفاع 10 م.
- مقياس سرعة الرياح على ارتفاع 5 م.
-عداد رياح على ارتفاع 2 م.

4 - أجهزة قياس الأمطار:

- مقياس مطر مساحة200سم2.
- مقياس مطر مساحة 3000سم2.



شكل(2-4) مخطط درجة الحرارة الجافة والرطوبة النسبية

- مسجل مطر مساحة 200سم2.

5- أجهزة قياس رطوبة التربة:

- جهاز حفر يدوي.
- علب تجفيف نماذج التربة.
- فرن تجفيف كهربائي.
- ميزان كهربائي دقيق (دقة0.01 غرام).
- جهاز لقياس رطوبة التربة على النظائر المشعة

6- أجهزة قياس التبخر:

- حوض تبخر نموذج (أ).
- حوض تبخر نموذج (ب).
- مقياس التبخر نتح (الليسميتر).
- أجهزة قياس التبخر نتح (هيدروليك).
- جهاز تبخر نتح مساحة 3000سم2.
- جهاز تبخر نتح مساحة 500سم2 وعمق 50 سم وآخر بعمق 10سم.
- حوض تبخر نموذج (GGI) سطحه 3000 سم2.
- مسجل تبخر مساحة 200 سم2.

شكل (2-5) مقياس المطر

شكل (2-6) حوض التبخر (Class A pan)

7- أجهزة قياس الإشعاع الشمسي:

- بيرهيليومتر لقياس الإشعاع المباشر.
- بيرانومتر (عدد 2) لقياس الإشعاع الكلي والإشعاع المنتشر.
- البيدومتر لقياس الإشعاع المنعكس.
- مسجل لقياس الإشعاع الكلي والمنتشر والمنعكس.
- مسجل سطوع الشمس (نموذج كامبل ستوك).

المحطات الأوتوماتيكية (النظم الآلية للرصد الجوي الزراعي) :

تقوم فكرة قياس العناصر الجوية بالنظم الآلية على استخدام :

أ) مجموعة المستشعرات Sensors

أ-1- لكل عنصر جوي مستشعر خاص به يتأثر بالتغيير في هذا العنصر طبقاً لطبيعته.

أ-2- توجيه هذه التغيرات خلال دوائر كهربائية فيمر بها التيار وتتحول إلى إشارات.

ب) وحدة تجميع البيانات Data Collection Platform (DCP).

ب-1- تحتوي وحدة تجميع البيانات على دوائر إلكترونية خاصة تعمل على ترجمة الإشارات أو الومضات الخارجة من المستشعرات إلى لغة يفهمها الكمبيوتر.

ب-2- تحتوي وحدة تجميع البيانات على بعض الدوائر الوسيطة التي تعمل على تحويل الإشارات أو الومضات من نظام التوازي إلى نظام التوالي والعكس.

ب-3- تحتوي وحدة تجميع البيانات على دوائر تمكن القائم بالصيانة من عمل الاختبارات الدورية على النظام.

ج) الحاسب الآلي.

ج-1- ويتم استقبال البيانات حسب تصنيفها السابق بواسطة الحاسب الشخصي (PC) بحجرة الرصد عن طريق كارت خاص يسمى Modem بوحدة تجميع البيانات يتصل بالكارت الرئيسي داخل وحدة Data Processing Unit (DPU) للحاسب الآلي.

ج-2- يقوم الحاسب بعمليات المراجعة الكمية والنوعية Quality Control لهذه البيانات قبل إعادة إصدارها بالصيغ والشفرات المعمول بها حسب تعليمات المنظمة الدولية للأرصاد الجوية (WMO).

ج-3- يمكن توزيع هذه البيانات من خلال شبكة اتصالات خاصة إلى عدة حواسب في أماكن مختلفة حسب الحاجة إلى طبيعة الاستخدام.

ومن أهم مميزات النظم الآلية هي:

- دقة القياس للعناصر الجوية.
- استجابة النظم الآلية للتغيرات الطفيفة وهو ما لا يتوافر في الأجهزة التقليدية.
- استبعاد الأخطاء الشخصية الناتجة عن الراصد أو المشغل.
- انخفاض أسعار هذه النظم مقارنة بأسعار الأجهزة التقليدية.
- تناقص الاعتماد على الأجهزة التقليدية في القياس سبب عدم إقبال الشركات المتخصصة على إنتاجها إلا بطلب مع اعتبار ذلك مجازفة وأدى ذلك إلى المغالاة في أسعارها.
- عدم اعتماد النظم الآلية على مستلزمات التشغيل مثل الأحبار والخرائط والسنون .....الخ.
- سهولة الصيانة بالنسبة للنظم الآلية حيث تعتمد على إحلال بعض المكونات الالكترونية محل التالف منها.
- تستطيع النظم الآلية القيام بعمليات الرصد والحفظ والاسترجاع والنشر وإرسال البيانات دون تدخل الأيدي البشرية إلا في الصيانة وعلى فترات دورية فقط.

الفصل الثالث
الغلاف الجوي"Atmosphere"

يرجع الأصل في كلمة الغلاف الجوي "Atmosphere"إلى اليونانية Atmos ومعناها غازي وsphere ومعناها كرة.وهكذا يمكن القول إن الغلاف الجوي ، عبارة عن غلاف من الغازات المحيطة بالأرض ، الموزعة حسب كثافتها ، والممسوكة بالأرض بفعل جاذبية الأرض لها .
يقدر سمك الغلاف الجوي بنحو 500 إلى 600 ميل ، ويقل ضغط وكثافة الهواء تدريجياً كلما بعدنا عن سطح الأرض.ويمتد جو الأرض لمسافة تقارب من 10.000كم عن سطحها.
ويتركب الغلاف الجوي من غازات وأتربه ورمال عالقة بالجو وبصفة عامة يتركب الهواء من النتروجين 78.084 % والأكسجين 20.946 % و الأرجون 0.934 % وثاني أكسيد الكربون 0.033 % وغازات آخرى وترجع أهمية الهواء كعامل من العوامل المؤثرة في سطح الأرض اليابسة إلى صفتين:
أولهما : التأثير الكيمائي لبعض العناصر المكونة للهواء في المعادن والصخور التي يتكون منها اليابس.
ثانيهما : ميوعة الهواء وسهولة حركته من جراء تغير الحرارة والضغط وما ينتج عن هذه الحركة من رياح.
إن الغلاف الجوي نطاق دائم الحركة وغير مستقر ، ويسبب بحركته تشكيل عناصر وظواهر جوية مختلفة من (حرارة وضغط ورياح وأمطار وثلج وبرد....الخ)، تؤدي إلى تغيير في الخصائص الطبيعية من مكان إلى آخر فوق اليابسة،وهناك عناصر آخرى كالهيدروجين والهليوم والميثان وغيرها من العناصر التي تؤلف نسبة صغيرة جداً وإلى جانب هذا فإن الهواء في الغلاف الجوي يحمل وخاصة في طبقاته السفلى عنصرين إضافيين هما:-
الغبار وبخار الماء ونسبة وجودهما في الهواء تتفاوت من منطقة إلى آخرى فتزداد نسبة الغبار في المناطق الصناعية عن المناطق الزراعية الخضراء ،كما ترتفع نسبة بخار الماء في المناطق الاستوائية الرطبة.
بينما تقل في المناطق الصحراوية الجافة ومن ثم تصل نسبة بخار الماء في الجو إلى 4% من حجم الهواء في المناطق الاستوائية ، بينما تقل هذه النسبة في المناطق الجليدية الجافة إلى أقل من 1 %عند خط عرض 50 درجة وما بعده تجاه القطب.
وبالرغم من صغر نسبة بخار الماء في الهواء فإن له أهميته الكبيرة فيما يختص بالمناخ والطقس. لإن بخار الماء يعتبر مصدراً لجميع أشكال التكاثف و التساقط سواء سحب أو أمطار أو ضباب أو برد أو ثلج أو ندى.
ولبخار الماء أهمية كبيرة في إمتصاص الإشعاع الشمسي أو الإشعاع الأرضي وكذا في كونه يعمل كغطاء يحول دون تسرب الإشعاع الأرضي بسرعة إلى طبقات الجو العليا ،فهو يسمح بنفاذ الأشعة القصيرة الموجة أكثر من الأشعة الطويلة الموجة ، الأمر الذي يؤدي إلى أن تحفظ لسطح الأرض درجة حرارة معقولة وتحميها من التناقصات الكبيرة لدرجة الحرارة.
وللغبار أهمية في حدوث ظواهر الشفق وقت شروق الشمس ، وتكون بعض ذرات الغبار نواة

يحدث حولها تكاثف بخار الماء العالق بالهواء ، ولها أثر في تكوين الضباب الكثيف الذي يحدث في المدن الصناعية.

ولذا فإن أهمية الغلاف الجوي في حياة الإنسان والنبات على سطح الأرض أنه يعمل كوقاء يحمي الأرض من الطاقة الكامنة للأشعة الشمسية أثناء النهار ويقلل من فقدان الحرارة أثناء الليل.

وقد ذكر بعض العلماء أنه لولا وجود الغلاف الجوي الذي يحيط بالأرض لارتفعت درجة حرارة الأرض أثناء النهار 200 درجة فهرنهيتية ،في حين تنخفض أثناء الليل لتصل إلى - 200 درجة فهرنهيتية.

ويختلف توزيع جزيئات الغازات في الغلاف الجوي وانتشارها فيه ، وهذا الاختلاف ناتج عن التوازن بين انتشار الغازات التي تتناقص لتبتعد عن سطح الأرض وبين الجاذبية الأرضية التي تحاول جذبها إلى سطح الأرض.

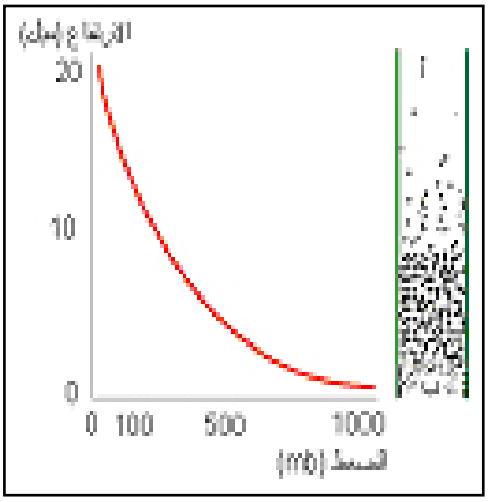
ولذا فإن كثافة الهواء تتناقص بالارتفاع و بالتالي فإن الضغط الجوي يتناقص بالارتفاع أيضا كما هو موضح في جدول(3-1).

جدول(3-1) تناقص الكثافة والضغط مع الارتفاع عن سطح الارض (كم)

الارتفاع (كم)	0	10	20	80	800
الكثافةغرام/م3	1300	460	96	10-3	10-14
الضغط(ملليبار)	1010	280	56	0.04	10-10

ويكون الهواء الملائم لحياة الإنسان في حدود الكيلومترات الأربعة الأولى. ثم تقل نسبة الأكسجين مع الارتفاع بحيث يحتاج الإنسان بعد ذلك إلى الأجهزة الصناعية ليتمكن من الحياة. ويوضح الشكل (3-1) تخلخل الهواء بالارتفاع ، والذي تكون كميتة أقل عند النقطة (أ) وأكبر عند سطح الأرض (عند النقطة – ب -)

يقسم العلماء طبقات الجو إلى 4 طبقات معتمدين في هذا التقسيم على تغير درجة الحرارة بالارتفاع في الغلاف الجوي.



شكل (3-1) يوضح تخلخل الهواء بالارتفاع عن سطح البحر

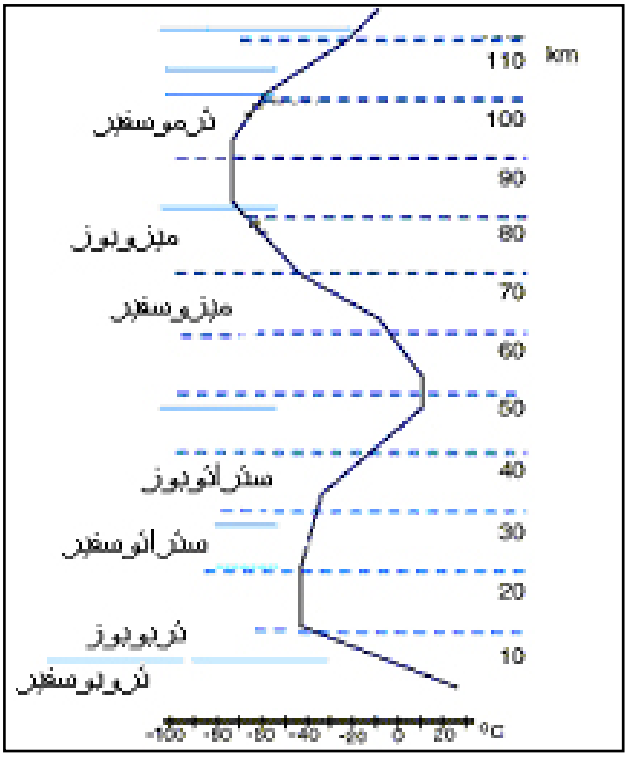
الطبقات الرئيسية للغلاف الجوي :

يقسم العلماء طبقات الجو إلى 4 طبقات معتمدين في هذا التقسيم على تغير درجة الحرارة بالارتفاع في الغلاف الجوي. الشكل (3-2).

للطبقة الأولى : طبقة التربوسفير "TROPO-SPHERE":

أخذت اسمها من الكلمة اليونانية "تربوس"بمعنى "يدور" وتمثل الطبقة السفلى من الجو ويصل ارتفاعها إلى 10-8كم عند المنطقة القطبية و16 - 18كم عند منطقة خط الاستواء . وهي الطبقة التي يعيش فيها الإنسان والكائنات الحية ، وفيها تحدث جميع التغيرات اليومية والاضطرابات في الظواهر

الجوية ، وتحتوي على معظم بخار الماء والأكسجين وثاني أكسيد الكربون. وتمتاز هذه الطبقة بأن قاعها يسخن من أسفل بواسطة الإشعاع الشمسي الذي يمتصه سطح الأرض ، وعليه يصبح الهواء في أعلى هذه الطبقة أبرد وأكبر كثافة ومن ثم فإنه يميل إلى الرسوب إلى قاع هذه الطبقة ، فيضطر الهواء الساخن بالصعود إلى أعلى وبذلك تتم عملية تيارات الحمل ، وتحتوي هذه الطبقة على ما يقارب 5/4 كثافة الغلاف الجوي.



الشكل (2-3) طبقات الغلاف الجوي.

ومن الخصائص الرئيسة لهذه الطبقة تناقص الحرارة التدريجي بالارتفاع بواقع نصف درجة مئوية لكل(100) متر بالارتفاع (في المناطق الخالية من المرتفعات) . إلا أنه قد يلاحظ في بعض الحالات بأن درجة الحرارة تتزايد بالارتفاع في بعض أجزاء هذه الطبقة ضمن سماكة محدودة وهذا ما يعرف (بالانقلاب الحراري).

إن السقف المحاذي للطبقة الجوية السفلى والذي يفصلها عن الطبقة التي تعلوها هو التروبوبوز Tropopause (وكلمة بوزPause تعني توقف أو نهاية) . ويعتبر هذا المستوى الحد العلوي للغيوم والرطوبة (بخار الماء) وذرات الغبار .

وتبدأ درجة الحرارة في هذا المستوى بالثبات وقد تتزايد قليلا بالارتفاع. وفي الواقع يلاحظ وجود 70 - 75 % من بخار الماء في المنطقة المضطربة (1-4 كم) مما يفسر نشوء الظواهر المائية في الجو في هذه الطبقة خصوصا وأنها تحوي الجزيئات السابحة في الجو من الغبار و الدخان و الغازات المختلفة.

الطبقة الثانية: طبقة الأستراتوسفير"STRATOSPHERE":

تأتي فوق طبقة التروبوسفير وتبلغ حوالي 50 إلى 55 كم من مستوى سطح البحر.وتسخن هذه الطبقة بشكل مباشر من أعلى عن طريق إمتصاص الإشعاع فوق البنفسجي بواسطة غاز الأوزون.

وهذا الوضع مختلف عن الحادث في طبقة التربوسفير وذلك لأن هواء القمة في هذه الطبقة أسخن وأقل كثافة من هواء القاع ، ولذلك فإن عملية الحمل قليلاً ما تحدث في هذه الطبقة.كذلك وجد أن درجة حرارة قمة طبقة الأسترتوسفير أقرب ما تكون من درجة حرارة سطح الأرض. وفي هذه الطبقة تزداد درجة الحرارة بإتجاه القطبين وتتناقص بإتجاه خط الاستواء ، و الرياح فيها عموماً متوازية لسطح الأرض ، وخالية من السحب وتختفي فيها الظواهر الجوية ، و يوجد فيها آثار لبخار الماء . والأزون هو المسبب الرئيسي لارتفاع درجة الحرارة.

و يمكن تلخيص أهم مميزات هذه الطبقة بما يلي:

1- خلوها من الغيوم لعدم وجود بخار الماء فيها بصورة تقريبية.

2- ثبات درجة الحرارة وازديادها تدريجيا بالارتفاع ومن ثم التزايد السريع إلى أن تعود إلى درجة الصفر مئوي على ارتفاع (50كم).

-3 إن حركة الهواء الموجودة في هذه الطبقة أفقية و موازية لسطح الأرض وبذلك تنعدم فيها التيارات الهوائية الرأسية مما يعطيها خاصية الاستمرار التام .

4- يكون الأزون الموجود في هذه الطبقة متمركزا على ارتفاع (15 - 45 كم) ويبلغ حده الأعظم على ارتفاع 25 كم في طبقة تدعى بالاوزونوسفير Ozonosphere وهي ذات دور هام في توزيع الحياة النباتية والحيوانية على سطح الأرض لأنها تمتص الجزء الأكبر من الأشعة فوق البنفسجية الواردة مع الأشعة الشمسية والتي لها خطر كبير على حياة الإنسان والنبات والحيوان إذا وصلت بذاتها إلى سطح الأرض.

5- يتناقص الضغط الجوي في هذه الطبقة إ ذ أنه يصل لأقل من 2/1 مليمتر.

1- في الإتجاه الأفقي : يلاحظ نقصان درجة الحرارة بالإتجاه نحو خط الاستواء وزيادتها بالإتجاه نحو القطبين.

و أن سقف هذه الطبقة الذي يفصلها عن الطبقة التي تعلوها يسمى بالستراتوبوز Stratopause.

الطبقة الثالثة :طبقة الميزوسفير "MESOSPHERE":

تعني كلمة ميزوز Mesos الوسط وهي طبقة تمتد فوق الأستراتوسفير إلى حوالي 80كم وتمتاز بتناقص في درجة الحرارة بالارتفاع ، وفقدان بخار الماء والظواهر الجوية.وتحد هذه الطبقة بمستوى الأستراتوسفير من أسفل وبمستوى الميزوبوز من أعلى.

وتمتاز هذه الطبقة بما يلي:

1- تعود درجة الحرارة في هذه الطبقة للتناقص من جديد لـ(- 100م°) على ارتفاع 85-80كم فوق سطح الأرض.

2- لا يوجد فيها غيوم لانعدام بخار الماء تماما في هذه الطبقة.

3- قد تحدث في هذه الطبقة بعض التيارات و الدوامات الهوائية.

4- في هذه الطبقة تحترق النيازك والشهب.

والحد الفاصل بين هذه الطبقة والطبقة التي تعلوها مباشرة تسمى ميزو بوزMesopause.

الطبقة الرابعة: طبقة الثرموسفير "THERMOSPHERE":

كلمة ثرمو Thermo تعني حراري. وتبدأ هذه الطبقة من ارتفاع 80 كم إلى 500كم . وتتميز هذه المنطقة بخفة غازاتها ولذلك يسود فيها غاز الهيدروجين والهليوم وهي طبقة أيونية وتعكس موجات الراديو واللاسلكي.وتنخفض فيها كثافة الهواء ، وتزداد فيها درجة الحرارة بالارتفاع لتصل إلى أكثر من 1000درجة مئوية ، ويعود هذا التزايد الحراري إلى إمتصاص الأشعة قصيرة الموجة.

وتمتاز هذه الطبقة بما يلي:

1- الزيادة المضطردة لدرجة الحرارة بالارتفاع.

2- وجود منطقة الاوروا "الوهج القطبي" التي تمتد إلى 165ميل.

3- وجود الأيونات ونشاطها و انتشارها بكثرة.

4- قدرتها الكبيرة على إمتصاص الأشعة فوق البنفسجية القصيرة ، وهذه الظاهرة تتعلق بارتفاع درجة الحرارة.
5- تعمل الأيونات الكهرومغناطيسية الموجودة في هذه الطبقة على انعكاس الموجات اللاسلكية الطويلة والقصيرة .
وهناك تقسيمات أخرى عديدة حول البنية العمودية للغلاف الجوي أهمها: تعتمد على تسمية طبقة الأيونوسفير Ionosphere التي تقع فوق الستراتو بوز . والتي تمتاز بوجود عدة طبقات فرعية متأينة تنتشر حتى ارتفاع (700-800 كم) وتتم فيها العمليات الكهربائية الأساسية إذ تنعكس موجات اللاسلكي القصيرة نحو الأرض . وفيها يتم انتقال الموجات الكهرومغاطيسية . وفيها شوارد موجبة وشوارد سالبة وتختلف نسبة تركيز هذه الشوارد في هذه الطبقة وكذلك تختلف درجة التأين بين الليل والنهار.
طبقات الجو كما جاء في تصنيف أخوان الصفا:
أولاً- طبقة النسيم :
عبارة عن الطبقة الملامسة لسطح الأرض، وهي طبقة معتدلة تمثل الطبقة الأولى من الغلاف الجوي الأرضي.
ويقابلها في التصنيف الحديث الطبقة الجوية السفلى Troposphere.
ثانياً- طبقة الزمهرير:
تمثل الطبقة الوسطى من الغلاف الجوي وهي ذات حرارة منخفضة جداً.
ويقابلها في التصنيف الحديث الطبقة الجوية المتوسطة الكبرى Stratosphere أو الطبقة الجوية المتوسطة Mesosphere.
ثالثاً- طبقة الأثير :
وهي عبارة عن طبقة حارة جداً وتعتبر الطبقة النهائية العليا من الغلاف الجوي الأرضي وهي بتماس الفراغ الكوني من جانبها العلوي. ويقابلها في التصنيف الحديث الطبقة الجوية المتأينة Ionosphere.

الفصل الرابع
الإشعاع Radiation:

الإشعاع الشمسي" Solar Radiation" :

مما لاشك فيه، أن الشمس هي مصدر كل أشكال الطاقة، سواء ما كان منها بشكل فحم أو نفط، أو ما كان منها بشكل حرارة مباشرة. وما درجة الحرارة ،والضغط والكتل الهوائية ،والتيارات المحيطية إلا شكل من أشكال اختلاف كمية الأشعة التي تتلقاها أجزاء سطح الأرض المختلفة. إذاً فالإشعاع: هو الطاقة المنتشرة في الفراغ أو خلال وسط مادي على هيئة موجات كهرومغناطيسية بسرعة تعادل 300 ألف كم/ث.

ويمتاز الإشعاع بتواتره وبسرعة انتشاره . والتواتر هو عبارة عن عدد الموجات الكهرومغناطيسية التي تمر على نقطة ما في الثانية الواحدة (عدد الهزات في الثانية).

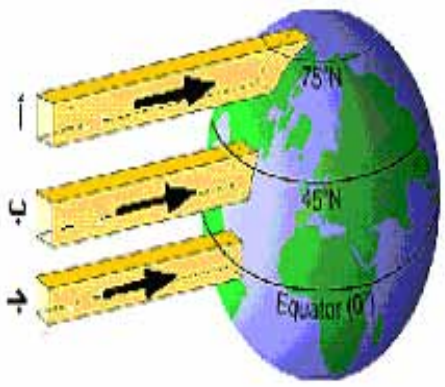
وتعتمد حوادث الإشعاع على انتقال الطاقة المشعة مباشرة من جسم لآخر والتي تتوقف على:-

1. خصائص الأشعة ذاتها.
2. خصائص الوسط الذي تجتازه.
3. صفات السطح المستقبل للأشعة الواردة إليه.

فالشمس التي تبعد عن الأرض بحدود 150مليون كم وسطيا ، تبعث كمية من الأشعة الثابتة تقريباً، وما يتلقاه السنتيمتر المربع الواحد من سطح الغلاف الجوي للأرض يقارب من 2 حريرة في الدقيقة الواحدة ، وهذه الكمية ثابتة تقريبا ، اختلافاتها محدودة جدا لا تتعدى ± 3% ، وهذا مرده إلى مدار الأرض الأهليلجي الذي ينجم عنه اختلاف في بعد الأرض عن الشمس .فكلما أزداد بعدها عن الوضع العمودي قلت شدتها ، وفي المنطقة المحصورة بين المدارين فإن ميل الأشعة الشمسية عن الوضع العمودي يتراوح بين + 23.27 و–23.27.

وعندما تكون أشعة الشمس مباشرة عمودية على السطح فأنها تعطي حوالي 2500مرة أكثر من المنبعثة من الأرض.

إن كمية الإشعاع الشمسي المستقبلة في وحدة زمن على وحدة المساحات الأفقية في أي وقت من السنة تعتمد على الموقع الموجود عنده هذا الإشعاع ، ولذلك فإن كميات الطاقة النسبية المستقبلة عند النقطة أ ، ب ، جـ ، تعتمد على خطوط عرضها فهي تختلف من موقع إلى آخر وتكون الأشعة على خطوط متوازية على سطح الأرض (الشكل 4-1) وتتعرض هذه الأشعة لعمليات الامتصاص والانبعاث عند سقوطها على الأجسام.



شكل (4-1) كميات الإشعاع الواصلة عند خطوط العرض المختلفة

وينص قانون كيروشوف Kirochoff أنه عند درجة حرارة معينة فإن نسبة الامتصاصية إلى القوة الإنبعاثية لطول موجة معينة يكون واحدا في كل الأجسام ، ومن ثم فإن الجسم الماص بشكل جيد هو في الوقت نفسه جسماً مشعاً بشكل جيد..والعكس صحيح.

وفي أثناء النهار فإن الأشعة القصيرة الموجة تكون المسيطرة، ومع هذا فإن الإشعاع الصافي يكون

متجها نحو سطح الأرض. أما في الليل فإن الأشعة طويلة الموجة المتجهة نحو السماء تكون الغالبة، وهذا ما يجعل درجات الحرارة الليلية أخفض من درجات الحرارة النهارية.إلا أن الغطاء الغيمي يمنع من تسرب الأشعة نحو الفضاء حيث يعيد جزء كبيرا منها نحو سطح الأرض مما يحمي الأرض من التبريد .

إفراغ الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي:

من المعروف أن حوالي 99% من الإشعاع الشمسي يقع داخل الحزم التي تتراوح أطوال موجاتها بين 0.15-4.0 µm. وتنقسم الأشعة إلى أشعة قصيرة الموجة (λ 4 µm ≥) وأشعة طويلة الموجة (λ 4 µm >) .

وتتوزع الطاقة الإشعاعية بالنسبة للطول الموجي إلى ثلاثة أقسام :

1- أشعة فوق بنفسجية:" Ultraviolet rays"

يتراوح أطوال الأمواج المشكلة لهذه الأشعة بين (0.20 - 0.39 µm) وهذه الأشعة غير مرئية وزيادتها تؤثر على الخلايا الحية وتتلفها وهذه الأشعة لاتصل إلى الأرض بنسبة كبيرة بسبب امتصاص الأزون لها في طبقات الجو العليا.

2- الأشعة المرئية: " Visible rays"

يتراوح أطوال الأمواج المشكلة لهذه الأشعة بين(0.40- 0.76 µm) وتشكل بمجموعها الضوء الأبيض والذي هو مزيج من الألوان بدءً من البنفسجي حتى الأحمر ويمكن تحليله بواسطة منشور زجاجي . وهذه الأشعة هي المسئولة عن التمثيل الضوئي في النبات.

3- الأشعة تحت الحمراء : " Inferared rays"

يزيد أطوال الأمواج المشكلة لهذه الأشعة عن 0.76µm .. وهذه الأشعة غير مرئية ولكننا نشعر بدفئها مباشرة ، وتستطيع ذرات الهواء امتصاصها .

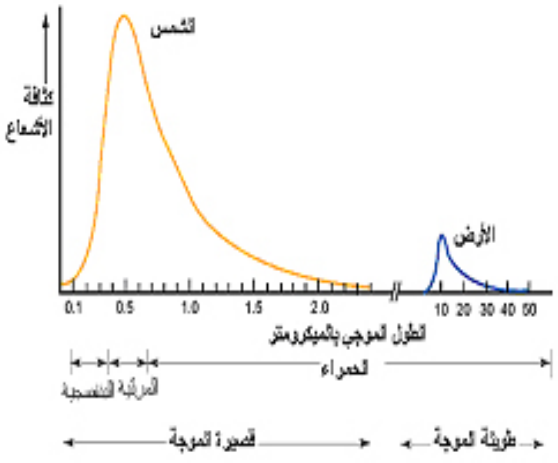
إن طيف الإشعاع الشمسي في قمة الجو يمكن أن يمثله الشكل (4-2) الذي يدل على أن 0.98 من الطاقة تقع في مجال الطول الموجي بين 0.15 - 3.8 µm ، منها :

07% أشعة فوق البنفسجية

46% أشعة مرئية

47% أشعة تحت الحمراء.

ويمتص في المتوسط حوالي 43% من الإشعاع القصير الموجة القادم من الشمس عند سطح الأرض أما الجزء الباقي فتتحكم فيه ثلاث عمليات جوية هي الامتصاص والانعكاس والتشتت. فأغلب الإشعاع فوق البنفسجي يمتص بواسطة جزيئات الهواء الواقعة في المستويات العليا للغلاف الجوي كما تحدث في بعض الأحوال تولد جزيئات متأينة وتسمى هذه العملية بالتأين ، نتيجة العملية الأولى - الامتصاص - التي تحدث بسبب امتصاص بخار الماء و الأتربة العالقة



شكل (4-2) توزيع الطول الموجي للأشعة

والسحب معظم الحزمة الإشعاعية المضيئة القادمة من الشمس .
والعملية الثانية التي تستنفذ جزء من الإشعاع الشمسي هي الانعكاس.ففي المناطق المغيمة ينعكس جزء كبير من الإشعاع بواسطة قمم السحب ويعود ثانية إلى الفضاء الخارجي.
كذلك فإن بعض الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض ينعكس خارجا خصوصاً في المناطق المغطاة بالثلوج والجليد.
والعملية الثالثة والتي تحدث نتيجة تشتيت الغازات الموجودة في الغلاف الجوي للأشعة هي التشتت. ويرجع إليها السبب في زرقة السماء ، حيث يتشتت الضوء الأزرق بسهولة عن الضوء الأحمر وتحدث زرقة السماء نتيجة لهذا التأثير.
وعليه فالضوء الشمسي الذي يصل إلى قمة الغلاف الجوي كضوء أبيض يصل إلينا مشوبا بالحمرة . ويبدو أكثر وضوحاً عند الشروق والغروب ، حيث يقطع الضوء أطول مسار له خلال الغلاف الجوي.
ويوضح الشكل (4-3أ) توزيع الطاقة الشمسية في الغلاف الجوي.
ويسمى الارتفاع الشمسي الذي يستقبله سطح الأرض بشكل غير مباشر بعد حدوث التشتت أو الأنعكاس الأنتشاري بواسطة الغلاف الجوي بالأشعاع السماوي.
وعليه فالإشعاع الشمسي الأرضي (الإشعاع الكلي) الواصل إلى سطح الأرض يتكون من إشعاع مباشر و إشعاع سماوي (المنتشر).
وفيما يلي التوزيع المتوسط للطاقة الشمسية التي تصل إلى قمة الغلاف الجوي باعتبارها 100 وحدة.

الانعكاس والتشتت المرتد 35%
امتصاص غاز الأوزون 2%
امتصاص بخار الماء، الأتربة العالقة، السحب 20%
امتصاص سطح الأرض 43%

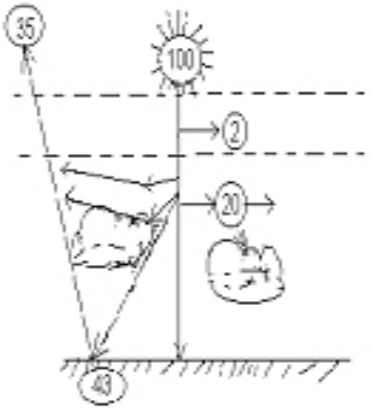
ويمكن إعطاء تعريف دقيق لمجموع الأشعة (المباشرة، المنتشرة، المنعكسة) على النحو الآتي:-

1 - الإشعاع المباشر: وهو مقدار الإشعاع الشمسي الساقط مباشرة على سطح الأرض وتتغير قيمة الإشعاع المباشر تبعاً لارتفاع الشمس ولحالة الجو.

2- الإشعاع المنتشر: وهو مقدار الإشعاع الشمسي المنتشر في الجو بسبب جزيئات الجو المختلفة وجزيئات الشوائب العالقة فيه (غازات ، بخار ماء ، غبار).

3 - الإشعاع المنعكس: وهي الأشعة التي تنعكس من قمم السحب وسطح الأرض، و تتوقف أطوال موجات الإشعاع المنبعث من أي جسم على درجة حرارته. ويعكس الشكل (4-3ب) هذا

شكل (4-3أ) توزيع الطاقة الشمسية في الغلاف الجوي



شكل (4-3ب) توزيع الطاقة الشمسية في الغلاف الجوي

التوزيع للطاقة الشمسية . ولما كان متوسط درجة الحرارة قرب سطح الأرض 150م فإن الأرض تبعث إشعاعا يتميز أكثر من 99% منه بموجات أطول من 4.0µm ويعرف هذا النوع بالإشعاع الأرضي.

كما أن الأرض تشع الطاقة بشدة عالية عندما يكون طول الموجة حوالي 10 مكرومتر وعليه فإن الإشعاع المنبعث من الأرض يمكن الإحساس به في صورة حرارية وليس في صورة مرئية.

وكل غاز من غازات الجو و بخار الماء عبارة عن ماصات انتقائية للإشعاع الشمسي والأرضي.

ويختلف توزيع الإشعاع الشمسي من منطقة إلى أخرى فوق القبة السماوية وفقاً لخط العرض الواقعة عليه.الشكل (4-4)

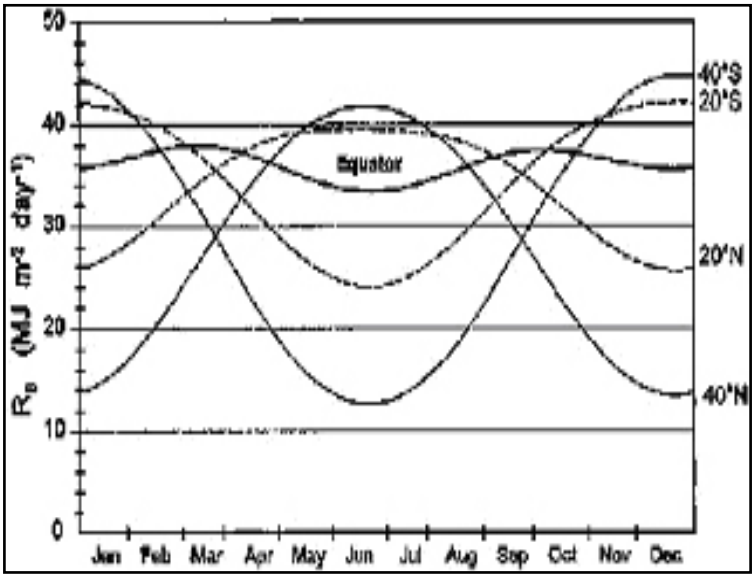
حساب كمية الإشعاع:

1- المعادلة العامة للإشعاع :

$$Rg=Ra+I \qquad [4-1]$$

Rg- الإشعاع الكلي

Ra - مجموع الأشعة المباشرة الواصلة على سطح أفقي.



شكل (4-4) توزيع الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي

1- مجموع الأشعة المنتشرة.

2- قدرة الانعكاس (الالبيدو) "Albedo":

إن علاقة الجزء المنعكس من الأشعة الشمسية Rk بالنسبة إلى مجموع الأشعة Rg هي ما تسمى بقدرة الانعكاس أو (الالبيدو) α .

$$\alpha=Rk/Rg \qquad [4-2]$$

Rk- الأشعة الشمسية المنعكسة

Rg- مجموع الأشعة الكلية

ويمكن أيضا حساب كمية الإشعاع الكلي بالاعتماد على مدة سطوع الشمس حسب العلاقة :

$$Rg=Ra\ (a+b\ n/N) \qquad [4-3]$$

Rg - الإشعاع الشامل.

Ra - مجموع الأشعة المباشرة الواصلة على سطح أفقي في الغلاف الجوي للأرض (الإشعاع الشمسي في قمة الجو) وتؤخذ من جداول تبعا للشهر وخط العرض.

n - مدة سطوع الشمس الفعلية.

N- مدة سطوع الشمس النظرية (الممكنة).

(a , b) - عوامل يمكن تعيينها.

وعند حساب هذه العوامل (a , b) للمحافظات الشمالية والشمالية الغربية لليمن وجد = a 0.31 و b = 0.39 لمناطق تهامة ومارب ولمنطقة معبر a= 0.33 و b = 0.44 وهو ما يعني بأن المناطق المنخفضة يمكن أن ينطبق عليها معامل تهامة ومارب (a = 0.31 و b = 0.39) والمرتفعة معامل معبر(a= 0.33 و b = 0.44)

وبصورة عامة يمكن أن تحدد قيم المعاملان a , b، للمناطق المختلفة من العالم من خلال الجدول (4-1):

جدول (4-1) يوضح ثوابت a ، b لحساب الإشعاع الشامل

نوع المنطقة	a	b
المناطق الباردة والحارة	0.18	0.55
المناطق المدارية الجافة	0.25	0.45
المناطق المدارية الرطبة	0.29	0.42

وتختلف قدرة الانعكاس من سطح إلى آخر، ويوضح الجدول (4-2) هذه القدرة لعدد من السطوح على الأرض.

ولـذا فإن الالبيدو والمتوسط لكوكب الأرض هو على وجه التقريب 35%.

وباستخدام درجة الحرارة يمكن حساب كمية الإشعاع الكلي بالعلاقة التالية:

$$Rg = 600Ts\ /(84-A) \qquad W/m^2 \qquad [4-4]$$

Rg - الإشعاع الشامل

Ts- درجة الحرارة عند مستوى سطح البحر

A- خط العرض

3- حساب كمية الإشعاع المكتسبة من قبل الأرض:

يمكن حساب كمية الإشعاع المكتسبة من قبل الأرض من خلال المعادلة الآتية:

$$Rc=Rg(1-\alpha)- T^4\ (0.1+0.9n/N)(0.56-0.08\ e) \qquad [4-5]$$

Rc - كمية الإشعاع المكتسبة من قبل الأرض σ

Rg - الإشعاع الكلي

α - الالبيدو

- ثابت أستيفإن
N - مدة سطوع الشمس النظرية (الممكنة)
σ n - مدة سطوع الشمس الفعلية
T - درجة حرارة الهواء
e - ضغط بخار الماء في الجو

4- صافي الإشعاع Net Radiation :

يمثل الإشعاع الصافي، الفرق بين كمية الأشعة التي يتلقاها جسم ما، وتلك التي تصدر عن ذلك الجسم. فصافي الأشعة أثناء الليل هو محصلة الفرق بين الأشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) التي يبثها سطح الأرض، وتلك الأشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) التي يتلقاها سطح الأرض من الجو (إشعاع الجو الذاتي).

$$Rn = RL\uparrow - RL\downarrow \qquad [4\text{-}6]$$

حيث إن:
Rn- الإشعاع الصافي
RL↑- الأشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) التي يبثها سطح الأرض
RL↓- الأشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) التي يتلقاها سطح الأرض من الجو (إشعاع الجو الذاتي).

إما صافي الأشعة أثنا النهار فهو محصلة الفرق بين وارد الأشعة إلى سطح الأرض (إشعاع الجو الذاتي + الإشعاع الشمسي الوارد) والفاقد من سطح الأرض عن طريق إشعاع الأرض الذاتي ، والانعكاس الذي يصيب جزءاً من الأشعة الشمسية الواردة ، حيث:

$$Rn = (RL\downarrow + Rs\uparrow) - (RL\uparrow + Rs\downarrow) \qquad [4\text{-}7]$$

حيث إن:
RL↑- إشعاع الأرض طويلة الموجة
RL↓- إشعاع الجو الذاتي طويلة الموجة
Rs↓- الإشعاع الشمسي الوارد
Rs↑- الإشعاع الشمسي المنعكس

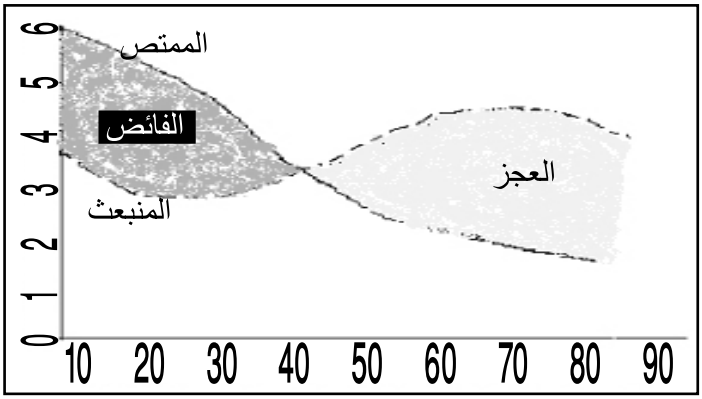
التوازن الإشعاعي لغلاف الأرض:

يشير التوازن الإشعاعي إلى محصلة الفرق بين الأشعة الشمسية قصيرة الموجة التي يتلقاها جسم ما -سواءً بصورة مباشرة أو غير مباشرة- والأشعة طويلة الموجة التي يصدرها ذلك الجسم -وليكن الأرض_ والمحصلة العامة تدل على وجود تعادل أو توازن بين المكتسب والخسارة (المفقود) على مستوى الكرة الأرضية بوجه عام .

فالتوازن بين المكتسب والمفقود لا يتحقق على مستوى الوحدات المكانية الصغرى المميزة لسطح الأرض ، وعلى مدار فترات زمنية قصيرة .فساعات النهار يكون المكتسب فيها أكبر من المفقود ، وفي ساعات الليل يحدث العكس .

وفي العروض المنخفضة (بين خطي عرض 35 شمالاً وجنوباً) تزيد كمية الطاقة المكتسبة

عن المفقودة ، أما في العروض المرتفعة (بين خط 35 والقطب) فتقل كمية الطاقة المكتسبة عن المفقودة ، وينجم عن ذلك عجز في الطاقة ، يعوض بانتقال الطاقة الفائضة من العروض المنخفضة بواسطة التيارات الهوائية ، والتيارات المائية. الشكل (4-5). و يمكن حساب التوازن الإشعاعي من خلال المعادلة الآتية :



شكل (4-5) يوضح التوازن الإشعاعي على الأرض

$$B= Ra(1-\alpha)-I \qquad [4-8]$$

B- التوازن الإشعاعي ، Ra - مجموع الأشعة المباشرة الواصلة على سطح أفقي.
α- الالبيدو. ، I- مجموع الأشعة المنتشرة.

العوامل المؤثرة التي يتوقف عليها الإشعاع الشمسي:

1- تأثير سماكة الغلاف الجوي ودرجة صفاء الجو.
2- زاوية الورود (درجة ميل الأشعة الشمسية على الأرض ودرجة التعرض).
3- تغيرات الإشعاع الشمسي مع الموقع وتشمل:
أ) التغيرات اليومية والفصلية للإشعاع الشمسي مع زاوية ميل الشمس.
ب) تغيرات الإشعاع مع الغطاء النباتي.
جـ) تأثير طبقة المياه.
4- تغيرات الإشعاع مع الارتفاع.

الإشعاع والنبات

إن بيانات الإشعاع الشمسي وساعات سطوع الشمس يمكن أن تستخدم في استصلاح الأراضي الزراعية وإدارتها بطرق مختلفة فمثلاً من بين هذه التطبيقات:-

1- توزيع زراعة المحاصيل في الأراضي المروية، على أساس نمو المحاصيل الملائمة لكمية الإشعاع المطلوب لكل محصول على حده.
و يوضح -شكل (4-6)-الفترة المناسبة لنمو محصول القمح والملائمة لتوزيع الإشعاع الشمسي الشامل خلال السنة.

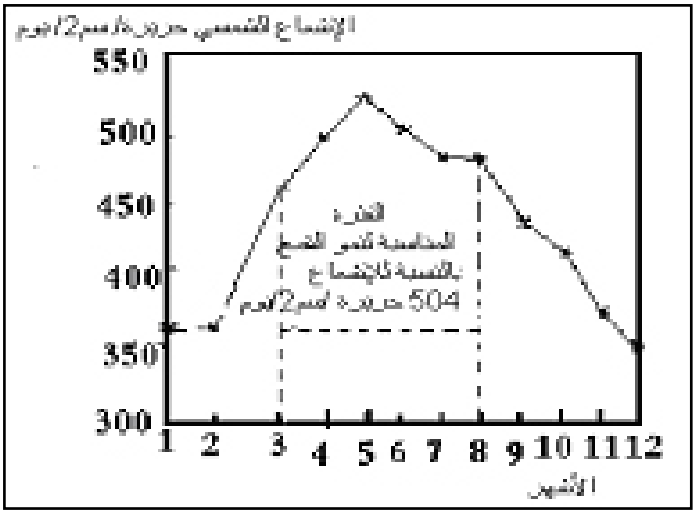
2- عند توفر المياه، والمواد العضوية، والإدارة الجيدة يمكن من خلال بيانات الإشعاع حساب المادة الجافة وأخيراً كمية الإنتاج الممكنة للمحصول. والأكثر من ذلك أن معرفة نظام الإشعاع الشمسي وتوزيعه يسمح لنا بوضع تقسيم مناطقي للمحاصيل الزراعية على أساس الاحتياج الموسمي للمحاصيل من الإشعاع الشمسي.

3- التخطيط الدوري لإدارة زراعة الأعلاف والبذور بما يتلائم وكمية الإشعاع الشمسي وساعات

سطوع الشمس المتوفرة.

4- يعتبر صافي الإشعاع أو الإشعاع الشامل جزءً أساسياً لتقدير التبخر والتبخر نتح الممكن وأخيراً الاحتياج المائي للمحاصيل.

5- يعتبر الإشعاع جزءا أساسياً لتقدير التوازن الإشعاعي وعلاقته ببيئة المحاصيل الزراعية والحيوانية معاً.



شكل (4-6)-الفترة المناسبة لنمو محصول القمح والملائمة لتوزيع الإشعاع الشمسي الشامل خلال السنة

فللأشعة القصيرة الموجة في العمليات الفيزيولوجية في حياة النبات أهمية كبيرة في تأثيرها السلبي والإيجابي ، فالأشعة فوق بنفسجية ، تصل سطح الأرض بنسبة ضئيلة وتزداد كميتها مرتان أو ثلاث مرات في المناطق الجبلية العالية التي يزيد ارتفاعها عن 4 كم عن مستوى سطح البحر.وهي تؤثر بشدة على عمليات النمو.

بينما تزداد الأشعة تحت الحمراء مع تناقص ارتفاع الشمس . ومع زيادة الرطوبة النسبية للهواء فأن شدتها تتناقص بسبب شدة امتصاص بخار الماء لها.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن نطاق الأشعة الحمراء ذو علاقة وثيقة بمنطقة الامتصاص الكلوروفيلي للنبات ، هذه العملية تحتاج إلى طاقة تمتصها من الأشعة الطيفية ويكون هذا الامتصاص أعلى ما يمكن في نطاق الأشعة الحمراء ، وكلما كانت عملية التركيب الكلوروفيلي أكثر كان الامتصاص أكبر وبالتالي نسبة الأشعة المنعكسة أقل ، أي كتلة النبات أكثف ، يتضح من هذا أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الكلوروفيل ونسبة الأشعة الحمراء المنعكسة المسجلة بواسطة المستشعر ، أما بالنسبة للأشعة الحمراء القريبة فهو النطاق الذي يتناسب فيه الانعكاس طردياً مع كثافة النبات ، فمن المعروف أن النباتات الخضراء تعكس نسبة كبيرة من الأشعة تحت الحمراء القريبة الساقطة عليها و كلما كانت كثافة النبات أكثر كلما كانت كمية الأشعة المنعكسة أكبر ، ومن حساب النسبة بين الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريبة المسجلتين بواسطة المستشعر يمكن حساب قيمة الدليل النباتي (VI) التي تعبر عن كثافة الكتلة الحيوية للنبات.

والأشعة المرئية والتي تسمى أحياناً بالأشعة الفيزيولوجية أو الأشعة الفعالة في عمليات التمثيل الضوئي (Photosynythetic Active Radiation) والتي تتراوح قيمتها ما بين 0.75 - 350. µm والتي تمتص الأوراق منها ما بين 70-80% ، تكتسب أهمية كبيرة في نظام الطاقة لحياة النبات ، فالطاقة التي يمتصها الخضاب الأخضوري للورقة ، هي في حدود هذا المجال الطيفي والتي على أساسها تتحدد عملية التمثيل الضوئي ، وهي العملية التي تتم بالنباتات الخضراء أثناء النهار ، إذ إنه بوجود الضؤ يتم التفاعل بين الماء وثاني أكسيد الكربون الذي يمتصه النبات من الجو ، فينتج عن ذلك مواد مواد كربوهيدراتية.

$$Co2+H2o+Radiation \rightarrow Carbohydrates+o2 \qquad [4\text{-}9]$$

فالنبات يقوم أثناء النهار بامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو وإطلاق الأوكسجين ، وفي الليل يحدث العكس.

والمعادلة التالية توضح تقدير هذه الأشعة في عمليات التمثيل الضوئي:

$$\sum Rgpar=0.43\sum Ra+0.57\sum I \qquad [4\text{-}10]$$

$\sum Rgpar$ – مجموع الأشعة الفعالة في عمليات التمثيل الضوئي.

$\sum Ra$- مجموع الأشعة المباشرة الواصلة على سطح أفقي.

$\sum I$- مجموع الأشعة المنتشرة.

تغيرات الإشعاع مع الغطاء النباتي:

تحجز الأوراق الموجودة في الأجزاء العليا من النباتات (أي في قمتها) كمية كبيرة من الأشعة التي تتلقاها ، وهذا يتعلق بكبر سطح الأوراق وضيقها ، وبترتيبها وزوايا ميلانها على الساق الأصلي . ويمكن أخذ فكرة بسيطة بأن هذه الأوراق لا تسمح لأكثر من 2-4% من الأشعة باختراقها لتصل إلى التربة ، وربما تصل كمية من الأشعة إلى الأرض من المناطق المكشوفة أو المعرضة مباشرة . ومن الملاحظ تأثر النباتات التي تنمو تحت الأشجار خصوصا في المناطق الحراجية (الغابات) بهذه النسبة من الأشعة.

الفترة الضوئية:

إن نمو النبات يتوقف على فترة سطوع الشمس فهناك نباتات تحتاج إلى فترة ضوئية قصيرة وأخرى تحتاج إلى فترة ضوئية طويلة وهناك المعتدلة.

فالنباتات التي تحتاج إلى فترة ضوئية قصيرة يتوقف نموها عندما تزداد ساعات النهار المشمس عن 10-12 ساعة.

ولذا تعتبر الفترة الضوئية أهم عامل بيئي يؤثر على إزهار النبات ونموه ، فهي تمثل المدة التي تبقى فيها النباتات معرضة للإضاءة يوميا. واستجابة النبات لهذه الفترة الضوئية تختلف من حيث:عدد ساعات سطوع الشمس وطول النهار أو قصره.

فالنباتات التي تحتاج إلى فترة ضوئية طويلة يتوقف نموها عندما تقل ساعات النهار المشمس عن 10ساعة ، ويزداد نموها بزيادة الفترة الضوئية.

وعلى أساس طول الفترة الضوئية تتحدد كمية ونوعية إنتاج الكثير من المحاصيل الزراعية.

ويزداد طول النباتات وتسؤ نوعيتها عند إنبات شتلاتها في ظروف إضاءة غير كاملة.

من كل هذا يظهر أن لشدة الإضاءة أهمية كبيرة ليس فقط لعملية التركيب الضوئي فحسب بل ولتكوين مختلف أعضاء النبات ، كما أنها تؤثر أيضا على نوعية الخضروات المنتجة.

فمثلاً مع زيادة الإضاءة وبوجود العوامل المؤثرة الأخرى كالحرارة واكاسيد الكربون وغيرها ، تزداد فعالية التماثل أو تكوين المواد الجافة (بحدود معينة في النباتات) أكثر كلما كانت الفترة السابقة التي لم يصل فيها الضؤ إلى النباتات أطول.

وتختلف فعالية الأشعة الشمسية حسب المناطق الجغرافية ، وكذلك الفصيلة والسنوات المختلفة ، وتؤخذ هذه المسألة بعين الاعتبار في عملية الإنتاج الزراعي في مختلف المناطق المناخية عند

اختيار أنواع الخضروات وأصنافها واعتماد مواعيد البذر وأساليب التقنية الزراعية.
وحسب معطيات علماء ألمانيا الديمقراطية (سابقا) فإن شدة الإضاءة في خطوط عرض وسط أوربا تطابق تماما مع فعالية التركيب الضوئي ، ولهذا فإن تأثير زيادة شدة الإضاءة في مثل هذه الظروف المناخية على تكون المادة الجافة أقل على إنتاج الخضروات من انخفاضها . إضافة لذلك لاحظ المؤلف خلال عمله في المنطقة الاستوائية لكوبا انخفاض الكتلة الخضراء والإثمار لبعض أنواع الخضروات في أوقات السنة التي ترتفع فيها درجات الحرارة والأشعة الشمسية ، فمثلا عند زراعة البندور في الخريف -الشتاء حيث تنخفض شدة الإضاءة ودرجات الحرارة يصل الإنتاج إلى 80-30 طن/هكتار حسب الصنف المزروع . إما عند زراعة الأصناف المتكيفة في ظروف المنطقة الاستوائية وذات الأثمار الصغيرة ، في فترة الربيع والصيف حيث تكون شدة الإضاءة والحرارة في قمتها فإن النباتات لم تتطور والإزهار كان ضعيفا والإنتاج منخفض جداً ، فمثلا عند زراعة البندورة في شهر آذار 1966(البذر في 22 آذار ، الإنبات في 28 آذار وزراعة الشتلات في 27 نيسان) لم يرتفع الإنتاج (علما بأنه سيئ النوعية) عن 3.53-1.53 طن/هكتار إما عند زراعتها في نهاية نيسان حيث نمت وتطورت في ظروف الإضاءة الشديدة والحرارة المرتفعة والرطوبة النسبية العالية ، خلال أشهر أيار وحزيران وتموز وآب ، فقد لوحظ انحلال النباتات وتأخر الأزهار لفترة 40 يوما ، وتم جنى المحصول في 22 آب ، وعمليا لم يتم الحصول على إنتاج تجاري للبندورة.
ولتحسين طعم أوراق الخس يتم تقصير الكرنبة عن طريق ربط الأوراق الأولية فوقها وفي الوسط ، ومن نتائج الأبحاث التي أجريت في ظروف كوبا الاستوائية - عند زراعة الخس (بنوعيه الورقي والكرنبى) في الأشهر الحارة (تموز ، آب ، أيلول) يلاحظ تخشب ومرارة الأوراق الخضراء للخس ، حيث تصبح غير صالحة للأكل ، إما عند زراعة الخس في نفس الظروف والفترة ولكن تحت ظل الأشجار ، وبين صفوف نباتات الذرة والسرغو فلم تتكون المرارة في أوراقها.

جدول (4-2) توزيعات بعض النباتات حسب الاستجابة للفترة الضوئية

نباتات النهار الطويل (الليل القصير)	نباتات النهار القصير (الليل الطويل)	نباتات النهار المحايد
القمح - الشعير الربيعي - العدس - الأرز(أصناف) - الجزر - الفول - الحمص - عباد الشمس - الفصة - البرسيم - السبانخ - الفجل	الملفوف - الذرة الصفراء - الذرة البيضاء - الخروع - الفليفلة - القطن - البنفسج - فول الصوياء(أصناف) الفستق السوداني - القصب - البطاطا	البطاطا - الشعير - العصفر- الشتوي - اللفت - فول الصوياء - الأرز(أصناف) - الخس - فاصوليا

الفصل الخامس
الحـــــــرارة
Temperature

كمية الحرارة :

تعرف كمية الحرارة ، بأنها مقدار الطاقة الداخلية التي يفقدها أو يكسبها الجسم خلال عملية انتقال الحرارة . وأن (تسمية كمية الحرارة) اتخذت نسبة إلى تغيرٍ الطاقة الداخلية للجسم عن طريق انتقال الحرارة. فإذا أحضرنا جسمين في وعاء عازل حرارياً أحدهما ساخن والآخر بارد .. فنجد أن الجسم الساخن يبرد أي يخسر كمية من الحرارة والجسم البارد يسخن أي يكسب كمية من الحرارة إلى أن تتساوى درجة حرارتها بعد فترة من الوقت.. عندها يمكننا القول أن كمية من الحرارة انتقلت من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وهناك ثلاثة طرق لانتقال الحرارة هي: 1) الانتقال بالتوصيل 2) الانتقال بالحمل 3) الانتقال بالإشعاع.

انتقال الحرارة:

1- انتقال الحرارة بالتوصيل :

عند تسخين قضيبا من الحديد من أحد طرفيه في النار، ونمسك في الطرف الآخر. فإننا بعد فترة من الزمن نشعر بأن الطرف الممسوك باليد قد سخن فنقول أن كمية من الحرارة انتقلت عبر ذرات الحديد المتلامسة، وهذا ما نسميه انتقال الحرارة بالتماس. والشرط الأساسي في انتقال الحرارة بالتوصيل هو وجود الوسط المادي لتنتقل الحرارة في أجزاء المادة من ذرة إلى أخرى.

وهناك نوعان من الأجسام من حيث ناقليتها للحرارة :

1) أجسام جيدة الناقلية للحرارة كالمعادن .

2) أجسام رديئة الناقلية للحرارة كالموانع والغازات والصخور.

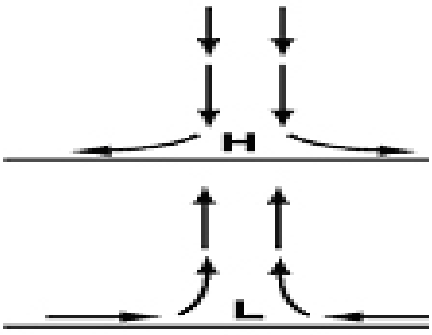
2- انتقال الحرارة بالحمل :

هناك أمثلة عديدة في حياتنا لانتقال الحرارة بالحمل ويمكن التفكير في كيفية التدفئة المركزية في الغرف مثلاً.. ففي الواقع .. أن ذرات الهواء الملامسة لأنابيب المياه تسخن بالتماس وترتفع حاملة معها الحرارة ليحل محلها كتلة هوائية جديدة باردة لتسخن بدورها بالتماس وترتفع.. وهكذا دواليك مشكلة تيارات هوائية تنقل الحرارة من الأنابيب إلى كافة أرجاء الغرفة وهذا ما نسميه انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل ، والتي تؤدي دوراً هاماً في نقل كميات كبيرة من الحرارة بواسطة الرياح الصاعدة والأفقية .

وبما أن الهواء الدافئ أقل كثافة من الهواء البارد ، فهو يتمدد ويتصاعد إلى أعلى لخفته مصطحباً معه الحرارة التي أكتسبها من الأرض إلى الأعلى ليحل محله الهواء البارد من جديد ، الذي يقوم بدوره في إزاحة الهواء لأدفئ منه إلى الأعلى وهكذا تتكرر العملية ، شكل (5-1).

3- انتقال الحرارة بالإشعاع :

عند الجلوس بالقرب من مدفأة يشعر المرء بانتقال الحرارة مباشرة إليه وذلك بسبب انتقال الحرارة على شكل أمواج كهرومغناطيسيه ، وهذا ما نسميه انتقال الحرارة بواسطة الإشعاع . وينتقل الإشعاع في الفراغ والهواء ولا يحتاج إلى وسط مادي في انتقاله ويتوقف انتقال الحرارة على حالة الجو الموجودة ودرجة كثافتها وكذلك الرطوبة الجوية. وللإشعاع الأرضي طويل



شكل (5-1) ورود الهواء البارد إلى الأرض وارتفاع الهواء الحار إلى الأعلى

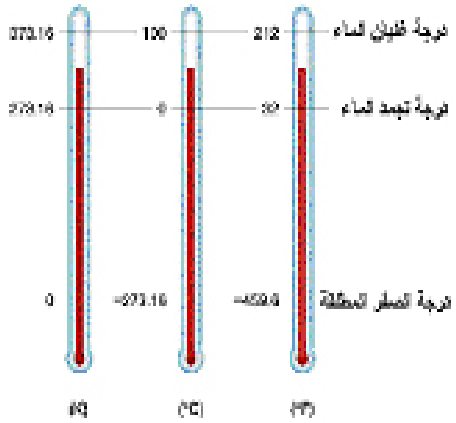
الموجات أهمية كبيرة في انتقال الحرارة بالإشعاع وتعديل درجة حرارة الهواء المحيط وتسخينه على أساس بخار الماء الذي يحويه وكذلك الغيوم السابحة.

درجة الحرارة :

هي مقياس لدرجة سخونة الجسم . وهي بذلك تعبير عن طاقة حركة الجزيئات أو الذرات التي يتكون منها الجسم. فعندما يمتص جسم ما الطاقة الإشعاعية فإنها تتحول إلى طاقة حرارية، ومن ثم فإن الجزيئات أو الذرات تتحرك بسرعة أكبر.وكلما أمتص الجسم طاقة أكبر مالت درجة حرارته إلى الارتفاع.

فدرجة الحرارة هي المظهر الرئيسي للإشعاع ، وتتعلق بكل الأشعة الأرضية والشمسية ، فهي محصلة لهما ، وهناك عدة موازين لقياس الحرارة ، كما أن وحدات القياس متنوعة ، منها المقياس المئوي ، والمقياس الفهرنهيتي ، ومقياس كلفن(المقياس المطلق) شكل (5-2).

ويمكن إجراء التحويلات في مقاييس درجة الحرارة باستخدام العلاقات الآتية :



شكل (5-2) المقاييس الفهرنهيتيه والمئوية وكلفن(المقياس المطلق)

$$(Tc-Tbc) /Nc = (Tf-Tbf) /Nf \qquad [5-1]$$

Tc- درجة الحرارة المئوية

Tbc - نقطة بداية التدرج المئوي (تساوي صفر)

Nc - عدد أقسام التدريج المئوي (100قسم)

Tf- درجة الحرارة الفهرنهيتية

Tbf- نقطة بداية التدرج الفهرنهيتي (تساوي 32)

Nf- عدد أقسام التدرج الفهرنهيتي (180قسم)

وتستخدم العلاقة ذاتها بالنسبة لدرجة الحرارة بالكلفن .

وهناك علاقات أخرى ، فمثلاً للتحويل من درجة الحرارة الفهرنهيتية إلى المئوية نستخدم العلاقة الآتية:

$$C = (F-32) \times 5/9 \qquad [5-2]$$

ويمكن أيضا للتحويل من درجة الحرارة المئوية إلى الفهرنهيتية أن نستخدم العلاقة الآتية:

$$F = 9/5\ C + 32 \qquad [5-3]$$

إن حرارة الهواء هي النتاج النهائي لعمليتين أساسيتين هما عملية الامتصاص المباشر للأشعة الشمسية وعملية الإشعاع الأرضي أو الطاقة الأرضية التي تنطلق من سطح الأرض إلى الهواء المجاور. وبتعبير آخر فإن درجة حرارة الهواء في أي وقت من اليوم الواحد ما هي إلا الفرق بين مجموع ما اكتسبت الأرض من حرارة الشمس عن طريق الإشعاع الشمسي وما فقدته بالإشعاع الأرضي.

تغيرات درجة الحرارة:

يمكن معرفة تغيرات درجة الحرارة من خلال عدد من المفاهيم والمصطلحات الشائعة الاستعمال كالواردة على النحو الآتي:

1- المتوسط اليومي لدرجة الحرارة ، ويمثل متوسط قيم قراءات ميزان الحرارة خلال 24 ساعة ، ويمكن أن يحسب بقسمة مجموع الحرارة العظمى والصغرى على الرقم (2). أو بمجموع قراءات الساعات الرئيسية والثانوية توقيت عالمي وهي(0300،0000، 0600، 0900، 1200، 1500، 1800، 2100) على عددها (8) أو بمجموع قراءات الساعات الرئيسية وهي(0000، 0600، 1200، 1800) على عددها(4) أو بمجموع القراءات على مدى 24 ساعة على(24).

2- المتوسط الشهري للحرارة العظمى ، ويمثل متوسط مجموع قيم الحرارة العظمى المطلقة لأيام الشهر.

3- المتوسط الشهري للحرارة الصغرى ، ويمثل متوسط مجموع قيم الحرارة الصغرى المطلقة لأيام الشهر.

4- المتوسط الشهري لدرجة الحرارة، وهو معدل المتوسطات اليومية لأي شهر. أو بمعنى أخر هو عبارة عن مجموع المتوسطات اليومية لأي شهر، مقسوما على عدد أيام هذا الشهر.

5- المدى اليومي للحرارة ، وهو الفرق بين درجة الحرارة العظمى والصغرى لأي يوم.

6-المدى السنوي للحرارة، وهو تعبير عن الفرق بين متوسط أشد الشهور حرارة وأكثرها بردا.

7- التغير البين يومي ، وهو الفرق بين متوسط درجة الحرارة اليومية ليومين متتاليين.

التغير اليومي لدرجة الحرارة:

تتأثر درجه الحرارة الناتجة عن الإشعاع الشمسي بساعات النهار المختلفة اعتبارا من الشروق وحتى الغروب. ويختلف التغير اليومي لدرجة الحرارة على اليابسة بالنسبة إلى فوق الماء حيث يكون فوق الماء أبطأ بكثير ويبلغ الاختلاف في درجة الحرارة بين الليل والنهار عند سطح البحر أقل من 1 درجة مئوية ، بينما فوق المناطق الصحراوية تصل إلى أكثر من 20 درجة مئوية.وتعكس تلك التغيرات اليومية لدرجة الحرارة النهايات العظمى والصغرى ، وهي ما تعرف بدرجة الحرارة العظمى ودرجة الحرارة الصغرى.

1- درجة الحرارة العظمى اليومية " Daily Maximum Temperature":

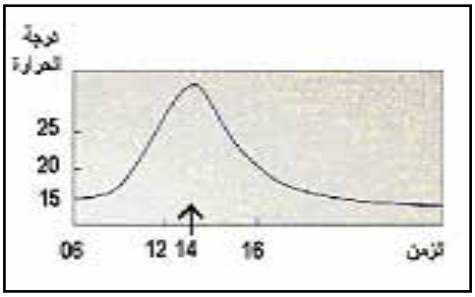
تمثل أعلى درجة حرارة تسجل في يوم ما (24 ساعة). ويحدث ذلك عموماً ما بين الساعة 14- 15 بالتوقيت المحلي شكل (5-3) ، حيث أنه حتى تلك الفترة من الزمن تكون الأرض قد امتصت أكبر كمية من الأشعة الشمسية الواردة وهو ما يعني أن الأشعة الواردة إلى الأرض أكبر من الأشعة الصادرة منها مما يؤدي ذلك إلى سخونة سطح الأرض.

2- درجة الحرارة الصغرى اليومية " Daily Min-imum Temperature":

هي أدنى درجة حرارة تسجل في يوم ما (24 ساعة). وتحدث عادة في الصباح الباكر قبل شروق الشمس.

ويعتمد التغير اليومي لدرجة الحرارة على:

1- اتجاه الرياح: يصبح التغير اليومي كبيرا عندما تكون الرياح قادمة من فوق اليابسة وصغيرا إذا كانت قادمة من فوق البحر.



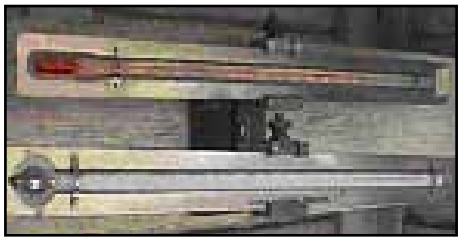
شكل(5-3)التوزيع اليومي لدرجة الحرارة العظمى

2- الأحوال الجوية: يميل التغير اليومي إلى الزيادة عندما تسود الأحوال الهادئة . أما في حالة وجود الرياح فإن الحركة المزجية في الهواء تحدث خلال طبقة أكثر سمكا ومن ثم فإن الحرارة المكتسبة أثناء النهار والحرارة المفقودة أثناء الليل تتوزع على عدد أكبر من جزيئات غازات الغلاف الجوي ونتيجة لذلك فإن مدى التغير اليومي لدرجة الحرارة يمكن أن يقل خلال ظروف نشاط الرياح.

3- وجود السحب : تؤدي التغطية العالية للسحب إلى نقص التغير اليومي لدرجة الحرارة . فأثناء النهار تمتص السحب أو تسمح بمرور مقدار صغير من الإشعاع القادم من الشمس بينما ينعكس الجزء الأكبر من الإشعاع مرة ثانية إلى الفضاء الخارجي ولا يصل إلى سطح الأرض. وبالعكس تمتص السحب أثناء الليل الإشعاع طويل الموجة الصادر من سطح الأرض إلى أعلى ثم تشع السحب معظم هذه الطاقة الحرارية مرة ثانية إلى سطح الأرض وبهذه الطريقة تعمل السحب كغطاء يحفظ سطح الأرض دافئا وعلى ذلك فإن التغير اليومي لدرجة حرارة الهواء السطحي يكون نسبيا صغيرا أثناء الأحوال الجوية المغيمة.

4- طبيعة السطح: لطبيعة السطح دور كبير في مدى التغير اليومي لدرجة الحرارة . فدرجة تعرض المكان و انحداره تؤثر كثيراً على درجة الحرارة ، فكلما اقتربت زاوية الورود للأشعة الشمسية من الوضع القائم ازدادت الطاقة الشمسية التي يمتصها الموقع . كما تتأثر الأرض بهبوب الرياح الدافئة أو الباردة من المناطق المجاورة.

وعلى سبيل المثال يحدث تبريد لسطح الأرض أثناء الليل نتيجة للإشعاع ومن ثم يبرد الهواء القريب من سطح الأرض ويصبح أكبر كثافة فإذا كان هذا السطح منحدرا فإن هذا الهواء البارد ينحدر إلى المستويات المنخفضة مكونا ما يسمى الرياح السفحية الهابطة (Catabatic) ويحدث عكس هذا التأثير أثناء النهار عندما تهب الرياح السفحية الصاعدة (Anabatic) إلى أعلى السطح المائل ، إذ يحل الهواء الأبرد والأكبر كثافة من المستويات المنخفضة محل الهواء الدافئ الموجود على السطح المائل الساخن ومع ذلك فإن الرياح السفحية الصاعدة لا تتزايد بصفة عامة مثل الرياح السفحية الهابطة إذ تعمل قوة الجاذبية الأرضية على الإقلال من حركتها. كما أن امتصاص سطح الأرض للأشعة الشمسية الواردة واللازمة لتسخين الطبقة السطحية من التربة أكبر مما هي عليه في السطوح المائية.



شكل(5-4) مقاييس درجة الحرارة العظمى والصغرى

5- التغيرات الفصلية والسنوية: تغير طول النهار في فصول السنة يؤدي إلى تغير في التخزين الحراري على الأرض للطاقة الشمسية وبالتالي إلى التغيير في درجة الحرارة .

6- الجو القريب من سطح التربة : الجو الأرضي القريب من سطح التربة يزداد تباين في درجة الحرارة ويزداد هذا التباين كلما زاد الاقتراب من سطح التربة والعكس يقل بالابتعاد عن سطح التربة.

7- تغيرات بحسب الموقع : تتناقص درجة الحرارة كلما اتجهنا نحو القطبين وذلك بسبب ورود الأشعة الشمسية إليها بصورة مائلة مخترقة طبقات سميكة من الغلاف الجوي حتى تصل إلى الأرض، فاقدة قسما من طاقتها بالامتصاص.

8- الغطاء النباتي: يلاحظ أن جو مناطق التشجير المثمر أكثر اعتدالاً . وتكون المناطق الحرجية (الغابات) أكثر اعتدالاً من المناطق التي تنتشر فيها زراعة بعض المحاصيل ، وتكثر فيها الأمطار والرطوبة عن غيرها ، ودرجة حرارة الصيف فيها لطيفة ، وفي الشتاء تكون درجة حرارة الليل داخل الغابة أعلى من خارجها .

ويختلف التبادل الحراري ما بين سطح الأرض والهواء الملامس له باختلاف حالة هذا السطح، وهذا ما يتضح لوقارنا درجة الحرارة عند سطح الأرض و عند ارتفاع معين بالنسبة لسطحين أحدهما مغطى بالإسفلت ، والآخر مغطى بالعشب وذلك أثناء النهار ، فالفارق بين حرارة السطح و ارتفاع 3 سم عن السطح بلغ قرابة 32 درجة مئوية بالنسبة للسطح الإسفلتي،وقرابة 13 درجة مئوية فوق الأرض العشبية -شكل(5-5).

المدى الحراري "Range Temperature":

المدى الحراري بصوره المختلفة السنوية أو الفصلية أو الشهرية أو اليومية يعبر لنا عن علاقات ذات أهمية كبيرة ، وخاصة في حالة غياب القياسات الكافية لعناصر الطقس فهو يعكس ما يلي:

1- إذا كان المدى الحراري مرتفعا يدل على انخفاض الرطوبة الجوية.

2- إذا كان المدى الحراري مرتفعا يدل على شدة الضياء الذي يؤثر على النمو.

3- إذا كان المدى الحراري مرتفعا يدل على درجة الحرارة العالية التي تصيب النبات.

ولا يلاحظ في المناطق الساحلية للبحار والمحيطات تفاوت حاد في درجات الحرارة خلال اليوم بل أن ما يميزها هي رطوبة الجو العالية. أما في عمق القارات فيلاحظ المناخ القاري مع تفاوت كبير في درجات الحرارة اليومية والرطوبة المنخفضة النسبية للجو. وتلعب هذه الظروف دورا مهما في تطوير زراعة الخضروات الحقلية ولوضع تقنية زراعتها الملائمة . فمثلاً أن رسوخ شتلات الملفوف والبندورة وغيرها من النباتات يتم في المناطق الساحلية بشكل أفضل من ظروف المناخ القارى حيث يجب مضاعفة ريها.

شكل(5-5) التبادل الحراري لأسطح مختلفة

ويمثل المدى الحراري اليومي الفرق بين أعلى و أدنى درجة حرارة سجلت خلال اليوم ويمكن رياضياً حسابه بالعلاقة الآتية :

$$Rd = Tmax - Tmin \qquad [5-4]$$

حيث أن:

Rd- المدى الحراري اليومي

Tmax- درجة الحرارة العظمى اليومية

Tmin- درجة الحرارة الصغرى اليومية

ويمثل المدى الحراري السنوي الفرق بين أعلى و أدنى درجة حرارة سجلت خلال العام ويمكن رياضياً حسابه بالعلاقة الآتية:

$$Ry = Tmax - Tmin \qquad [5-5]$$

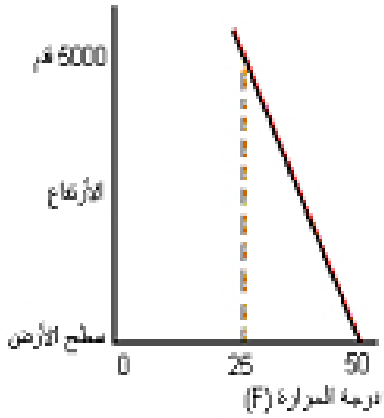
حيث أن:

Ry- المدى الحراري السنوي

Tmax- درجة الحرارة العظمى السنوية وعادةً تؤخذ لشهر يوليو
Tmin- درجة الحرارة الصغرى السنوية وعادةً تؤخذ لشهر يناير

تغير درجة الحرارة بالارتفاع:

من المعروف بأن درجة الحرارة تقل بصفة عامة بالارتفاع في نطاق طبقة التربوسفير (شكل 5-6) ويسمى معدل تناقص درجة الحرارة بالارتفاع بمعدل تدرج درجة الحرارة. ويبلغ معدل تدرج درجة الحرارة في المتوسط في طبقة التربوسفير حوالي 6 درجات مئوية لكل كيلومتر وهذا يعني أنه إذا كانت درجة الحرارة عند متوسط سطح البحر 15 درجة مئوية فإنها سوف تنخفض إلى حوالي - 15 درجة مئوية وذلك عند ارتفاع 5 كيلومتر (أي أنها تنخفض بمقدار 30 درجة مئوية). ويمكن استخدام عدد من المعادلات لتقدير درجات الحرارة عند ارتفاعات مختلفة منها المعادلة الآتية:



شكل (5-6) تناقص درجة الحرارة بالارتفاع

$$T=Ts-0.006h \qquad [5\text{-}6]$$

حيث أن:
T- درجة حرارة الكشك عند الارتفاع (h) متر
Ts- درجة الحرارة عند مستوى سطح البحر
h- الارتفاع (م)

وقد يرافق هذا التناقص ارتفاع في درجة الحرارة، وهو ما يعرف بالانقلاب الحراري.

التغيرات الذاتية الحرارية " الادياباتيكية ""Adiabatic": ويقصد بها اختلاف درجة الحرارة لكتلة غازية دون زيادة أو نقصان في كمية الحرارة الموجودة فيها نتيجة لتمددها أو انضغاطها . وكما نعلم بأن تمدد الغازات يؤدي لأتساع حجمها وانخفاض ضغطها ، ومن ثم انخفاض درجة الحرارة فيها . هذا الاختلاف في درجة الحرارة هو ما يطلق عليه بالتغيرات الذاتية لدرجة الحرارة أو التغيرات الادياباتيكية للحرارة ويوجد منها نوعان :

تبريد ادياباتيكي – ذاتي-.
تسخين ادياباتيكي – ذاتي -.

1- التبريد الذاتي الادياباتيكي:

يتم انضغاط الغازات وتمددها في الكتلة نتيجة لرفعها أو خفضها ، إذ تتمدد بسبب رفعها ، وتنضغط نتيجة لخفضها . ولذا فالتبريد الذاتي عبارة عن انخفاض درجة حرارة كتلة من الهواء نتيجة تمددها . ويتم التبريد الذاتي ، عندما تصعد كتلة هوائية إلى ضغط أخفض ، مما يجعلها تتمدد شاغله بذلك حيزاً أكبر مما كانت عليه ، باذلة في ذلك جهداً ضد الوسط المحيط بها مستمدة الطاقة لهذا الجهد من طاقتها الداخلية ، مما يجعل طاقتها الداخلية تقل ، وتقل بذلك درجة حرارتها مع تزايد ارتفاعها عن سطح البحر ، وتزايد تمددها ، ويتعلق هذا التبريد : بطبيعة الكتلة الهوائية إن كانت جافة أو مشبعة بالرطوبة. ويتناقص معدله الجاف (3) درجات مئوية لكل (300م) ارتفاع . بينما يبلغ معدل تناقصه المشبع (1.5) درجة مئوية لكل (300م) ارتفاع .

2- التسخين الذاتي الادياباتيكي:

وهو عبارة عن ارتفاع درجة الحرارة لكتلة من الهواء نتيجة تقلصها أو انضغاطها ، ويحدث التسخين الذاتي لكتلة من الهواء في حال هبوطها ، أي انتقالها إلى ضغط أعلى ، مما يجعلها تتقلص شاغله بذلك حيزاً من الحجم أقل مما كانت تشغله سابقاً ، أي تنضغط ويصغر حجمها بفعل القوة المطبقة عليها ، وهذا ما يجعل درجة حرارتها تزداد وهي هابطة بمعدل يقارب 10 ^{0} م لكل انخفاض قدره 1000متر . ويتوقف هذا الارتفاع على طبيعة الكتلة.

الانقلاب الحراري"Inversion Temperature":

من المعروف أن درجة الحرارة تتناقص بالارتفاع فوق سطح الأرض في طبقة التروبوسفير إلا أنه في بعض الأحيان يحدث تغير في درجة الحرارة ، فتزداد درجة الحرارة ، إذ أن تبريد الأرض والهواء القريب منها في الليالي الصافية السماء أي الخالية من الغيوم والهادئة الرياح تؤدي لمثل هذه الحالة .إلا إن درجة الحرارة تعود بعد ذلك إلى معدلها الطبيعي ، فتستمر بالتناقص مع الارتفاع . ويمكن حصر النقاط الأساسية المسببة لهذه الوضعية في الآتي :

- زيادة الإشعاع الصادر في الليالي الخالية من الغيوم تؤدي إلى برودة الأرض التي تفقد حرارتها بسرعة مما يؤدي لانخفاض درجة حرارة الهواء الأرضي الذي يلمسها وبذلك تبقى طبقات الهواء التي تعلوها ذات درجة حرارة مرتفعة عن درجة حرارة الهواء الملامس للأرض.
- في حالة التقاء كتلتين هوائيتين مختلفتين في درجة الحرارة فإن الكتلة الهوائية الأقل حرارة تهبط لأسفل الكتلة الهوائية ذات الحرارة المرتفعة. لأن الهواء الأبرد كثافته أكبر. مما يؤدي لأن يحتل مكان الهواء الأسخن الذي يرتفع إلى الأعلى .
- في حال مرور هواء ساخن فوق منطقة باردة ، يحدث الانقلاب الحراري .
- يحدث الانقلاب الحراري فوق قمة السحاب أيضا .
- في حال المرتفعات الجبلية فإن الهواء البارد الأكثر كثافة يزحف نحو الوديان ويتراكم فيها وهناك يحدث الانقلاب الحراري مع الارتفاع.
- يحدث الانقلاب الحراري في المنطقة الفاصلة بين التربوسفير و الستراتوسفير (تروبوبوز) وكذلك في المنطقة الفاصلة بين الميزوسفير و الترموسفير (ترموبوز) .

الحـــرارة والنـــبات:

لكل النباتات حدود حرارية ، صغرى ، مثلى ، عظمى و كذلك لكل مرحلة من مراحل نموها . فالنباتات الاستوائية تحتاج لدرجه حرارة عالية بينما نباتات المناطق الباردة تتحمل الحرارة المنخفضة جداً أثناء فترة سكونها، كما أن درجه الحرارة المثلى لنمو النباتات خضريا ليست مساوية لدرجة الحرارة المثلى لإنتاج الثمار أو البذور ، حيث أن كل فترة من فترات نمو النبات المختلفة لها درجة حرارة مثلى خاصة بها.

فمثلاً درجة حرارة الإنبات تكون أقل من درجة حرارة النمو التي هي أقل من درجة الحرارة اللازمة للأزهار ، والتي هي أيضا أقل من درجة الحرارة اللازمة للأثمار والنضج.

ولكل نبات درجة حرارية دنيا حدية يصعب العيش دونها ، ودرجة حرارة عظمى سقفية يصعب عليه أيضا العيش بعدها ، وله أيضا درجة حرارة مثلى يتحقق له عندها أفضل حالات النمو.

وتختلف درجة تحمل النباتات لدرجات الحرارة العالية أ ثناء فترة نموها فمثلاً تؤثر الحرارة

العالية على نبات الشاي والبن في مرحلة نموها الأولى ، بينما تتحمل هذه الحرارة العالية في مراحل النمو المتقدمة.
كما تختلف درجة تحمل النباتات لدرجات الحرارة المنخفضة فمثلا نباتات الأرز والقطن تموت إذا تعرضت لدرجات حرارة منخفضة لمدة يومين أو ثلاثة ، بينما تستطيع أن تتحمل نباتات البطاطا والذرة وكثير من الخضراوات هذه الحرارة المنخفضة لهذه الفترة .
ولذا فإن الحرارة وخصوصاً الحرارة المتطرفة (عليا، دنيا) عامل رئيسي وأساسي لتوزيع ونمو المحاصيل الزراعية في جميع بقاع العالم. إما العوامل البيئية الأخرى فتتذبذب أهميتها بالنسبة للحرارة.
إن حياة النبات هي سلسلة من مئات العمليات الحيوية ولكل عملية حيوية حدا أعلى وحدا أدنى للحرارة وكذا حدا متوسطا لها.
حيث أكدت الأبحاث بأن درجة الحرارة عندما تكون أعلى(35-30 ^{0} م) ليست فقط ضاره ولكن قاتله لبعض النباتات بينما درجة حرارة أقل من (-1 2 ^{0} م) توقف النمو، و يوضح جدول (5-1) الحدود الحرارية الحدية الدنيا والعظمى والمثلى لأهم المحاصيل الزراعية.

جدول (5-1) الحدود الحرارية الحدية
الدنيا والعظمى والمثلى لأهم المحاصيل الزراعية

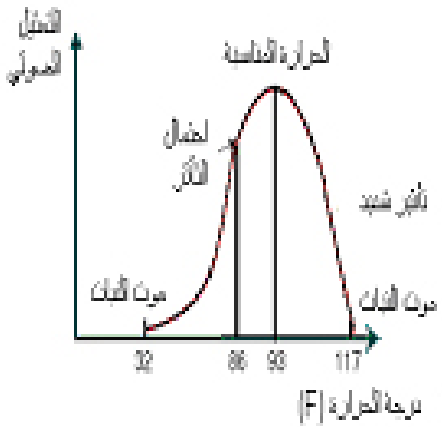
المحصول	الحرارة الدنيا(^{0}م)	الحرارة العظمى(^{0} م)	الحرارة المثلى(^{0}م)
القمح	4-5	30-32	25
الشعير	4-5	28-30	19
العدس	4-5	36	30
الأرز	14-15	36-39	30-32
الذرة الصفراء	10	40-44	32-35
الذرة البيضاء	10	40	32-35
القطن	14-15	39	32-35
التبغ	10	35	28
الشوندر السكري	8	28-30	25
البطيخ الأحمر	10	40	35

درجة الحرارة المثلى للنبات "Optimum Temperature":

إن درجة الحرارة التي تكون عندها الوظائف النباتية في أفضل حالاتها تعرف باسم درجة الحرارة المثلى . وعادة لا تتفق العمليات الفيزيولوجية المختلفة في درجة الحرارة المثلى ، فدرجة الحرارة المثلى للتمثيل الضوئي لكثير من النباتات هي أخفض من تلك التي يتم عندها التنفس ، كما أن درجة الحرارة المثلى للمجموع الخضري تختلف عن تلك الخاصة بالمجموع الجذري. وعلى كل حال فإن الحدود الحدية والمثلى للنمو لا تكون عند درجة حرارية واحدة بل عند مدى يشغل عدة درجات .
ويزداد نشاط التفاعلات الكيماوية في النبات كلما ارتفعت درجة الحرارة عن الحد الأدنى ، ويتبع ذلك سرعة في نمو النبات . وإذا ما ارتفعت أو انخفضت درجة الحرارة عن

الدرجة المثلى المطلوبة لكل محصول فإنها ستكون عرضة للإصابة للأعراض التي يسببها الارتفاع أو الأنخفاض في درجة الحرارة عن درجة الحرارة الحرجة لنموها طبيعياً ، والتي تؤدي إلى موت النبات (شكل 5-7).

وأثبتت الدراسات التطبيقية في اليمن (ذمار ، مارب ، إب ، رداع ، تعز) أن علاقة إنتاجية المحاصيل بالحرارة علاقة قوية ، فمثلاً تتناقص الإنتاجية لمحصول البطاطس كلما ارتفعت درجة الحرارة خلال الـ60 يوم الأخيرة من فترة نموه (جدول 5-2).



شكل(5-7) درجة الحرارة المثلى

جدول (5-2) يوضح العلاقة بين متوسط درجة الحرارة لفترة الـ60 يوم الأخيرة من نمو محصول البطاطس و إنتاجيته

متوسط درجة الحرارة (T)	التناقص في كمية الإنتاج ٪	طاقة الإنتاج (طن/هكتار)
16 - 20	0	40
20-21.5	10	36
21.5-23.5	25	30
23.5-26	50	20

كما أن درجة حرارة ورق النبات تعطي مؤشرات مهمة لنمو النبات والعمليات الفيزيولوجية فيه وتزداد أهمية قياسها في أنظمة الري الحديث ويوضح (شكل5-8) المقياس المستخدم في ذلك.

شكل (5-8) مقياس درجة حرارة ورق النبات

وكذلك بالنسبة لصفر النمو الذي كثيراً ما يستخدم في الأرصاد الجوية الزراعية في حساب درجة الحرارة الفعالة للمحصول ودرجة الحرارة الفعالة المتجمعة وغيرها من المفاهيم التي تعطي مؤشراً للنمو والتنبؤ بإنتاجية المحصول ومراقبة الأمراض والآفات الزراعية والتنبؤ بحدوثها.

صفر النمو"Base Temperature":

هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها المحصول نموه الطبيعي والتي عندها عملياً تبدأ عملية بذر المحاصيل الزراعية المختلفة. وتسمى أيضا "Zero-Point-Growth"، ولكل محصول من المحاصيل الزراعية صفر نمو، ويوضح الجدول (5-3) صفر النمو لبعض المحاصيل الزراعية.

وبمعرفة صفر النمو يمكن حساب فترة نمو المحصول على أساس العلاقة الآتية :

$$n=\sum c/(T-t) \qquad [5-7]$$

n- فترة نمو المحصول (عدد الأيام)
T - متوسط درجة الحرارة (اليومية ، الأسبوعية ، العشرية ، الشهرية –تؤخذ وفقاً لطبيعة البيانات المتوفرة ووفقاً لطبيعة التحليل المطلوب-).
t- صفر نمو النبات.
c- الحرارة الفعالة المتجمعة.

مثال 1: حدد اليوم الذي يمكن أن تقدر فيه بدء طور الإنبات لمحصول الذرة الصفراء إذا علمت أن البذر تم عند درجة حرارة 10.5 درجة مئوية في يوم 13 يناير ومتوسط درجة الحرارة (T) المتوقعة لشهر يناير 18.7 درجة مئوية والحرارة المتجمعة "c" الفعالة المطلوبة للإنبات 140.0 درجة مئوية. علماً بأن درجة صفر النمو(t) للذرة الصفراء 10 درجة مئوية .

$$\sum c = (T-t)x\ n = 140.0 = (18.7-10)x\ n$$
$$n=140.0/8.7=16$$

فعند إضافة عدد الأيام (n) منذ 13يناير وهي في المثال السابق = 16 يوم، يمكننا التوقع ببدء طور الإنبات في اليوم 29يناير.

درجة الحرارة الفعالة "Effective Temperature":

يي الحرارة المؤثرة في عمليات نمو النبات والتي تكون عادةً فوق صفر نموه وتسمى Ef-fective Temperature ويرمز لها بالرمز " C". وتعرف بأنها وحدات حرارية Heat Units وهي طريقة لقياس أو تحديد مقدار الحرارة البيئية البيولوجية للكائنات الحية . وقد أثبتت الأبحاث أن الاستعمال الملائم والمناسب للوحدات الحرارية المقدرة علميا بدقة يمكن أن تزودنا بوسائل حقيقية وطرق واضحة موثوق بها يعول عليها في اكتشاف وتقدير نمو وتطور أنواع المحاصيل الهامة وكذلك آفات هذه المحاصيل.

إذاً ماهي الوحدات الحرارية ؟

تعتبر حرارة البيئة الملائمة أساساً جوهرياً لنمو وتطوير كل الكائنات الحية وهي على وجه الخصوص ذات تأثير حاسم وحرج للكائنات ذات الدم البارد مثل النباتات والحشرات والتي عادة ما تتأثر درجات حرارتها الداخلية بحرارة البيئة المحيطة ، فلو أن حرارة البيئة زادت قليلاً فوق الحد الأعلى أو نقصت أسفل الحد الأدنى ، فأن نمو وتطور الكائنات ذات الدم البارد تضعف أو تتوقف تماماً . ومع ذلك ، فأن تعرض هذه الكائنات لدرجات حرارة في حدود المدى الأمثل لها Optimal thermal range فأن نموها وتطورها يزيدان بارتفاع درجة الحرارة داخل هذا المدى .

وتحدد الوحدات الحرارية مقدار الحرارة البيئية للكائنات الحية والتي تعطي صورا لكمية الحرارة المرتبطة والمتوقعة لهذا الكائن Contributory heat وهي كمية الحرارة التي ترتبط أو قد تسهم في نموه وتطوره .

يمكن حساب درجة الحرارة الفعالة "C" من العلاقة الآتية :

$$C = (T-t) \qquad [5\text{-}8]$$

C- الحرارة الفعالة ، T - متوسط درجة الحرارة ، t- صفر نمو النبات

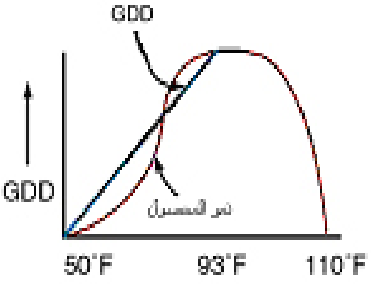
جدول (5-3) صفر النمو لبعض المحاصيل الزراعية

المحصول	صفر النمو(O م)
الحنطة	5
الأرز	10
الحبوب (القمح)	10
الشعير	5
الذرة الرفيعة	15
قصب السكر	18
الفاصوليا	10
الفاصوليا الصوياء	10
القطن	15
عباد الشمس	7
الفول السوداني	10
البطاطا	7
الطماطم	15
العنب	10
أشجار الفواكه التي تتساقط أوراقها سنويا	4.5

وتعتبر هذه الطريقة البدائية للتصنيف الحراري من الطرق الأكثر استخداما منذ 275 عام حتى الوقت الحاضر في تقدير المتطلبات الحرارية للنباتات وحل الكثير من القضايا العلمية والتطبيقية مثل التقسيمات المناخية / الزراعية ، و يعتمد عليها في برامج التنبؤ بالرغم من بعض الأخطاء التي يمكن أن تظهر وفي مقدمتها الأخطاء الناتجة عن عملية الرصد والمقاييس المستخدمة وكذلك أخطاء العملية الحسابية أحياناً.

فمثلاً من الرسومات أدناه يمكن استنتاج تأثير التغيرات الحرارية بين الليل والنهار على نمو النبات وحساب الحرارة المتجمعة.

من الشكل (5-9) الذي يربط العلاقة بين درجة الحرارة الفعالة والنمو الحقيقي للمحصول ، واضح أن محاصيل الحبوب تنمو بطيئاً بين درجات الحرارة 50 0 - 60 0 فهرنهيتية . وتنمو سريعاً ما بين 70 ^{0} - 80 ^{0} ف ، وتصل قمة النمو عند 85 ^{0} - 90 ^{0} ف.



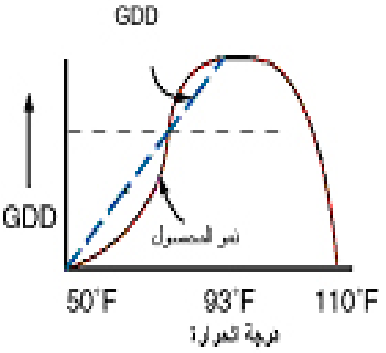
شكل (5-9) العلاقة بين نمو المحصول و درجة حرارة النمو

وتصبح درجة الحرارة فوق 92 ^{0} ف ضارة على نمو محاصيل الحبوب ، ويبدأ عندها المنحنى الخطي بالاتجاه إلى الناحية اليمنى ومن ثم الهبوط.

في الشكل المقابل درجة الحرارة المتجمعة (الفعالة) - تمثل بالخط المستقيم ، وخط المنحنى يمثل نمو محاصيل الحبوب .

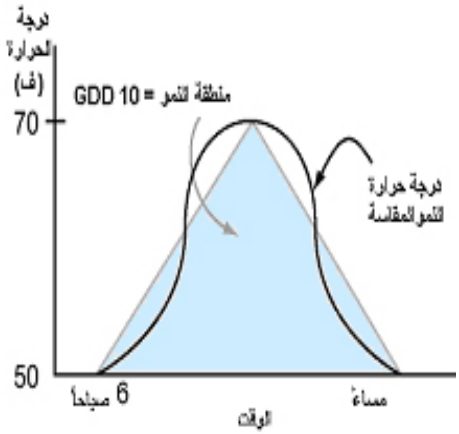
إذا كانت درجة الحرارة في نطاق 60 ^{0} ف فذلك يعني أن النمو الفعلي لمحاصيل الحبوب مثلاً،

يكون تحت النمو المتوقع بالنسبة لدرجة حرارة النمو.
إما إذا كانت درجة الحرارة 74 ^{0} ف الذي يمثل الجانب الأيمن عند تقاطع الخطين فذلك يعني أن محاصيل الحبوب تنمو بالضبط وفقاً لما هو متوقع من حساب درجة الحرارة الفعالة . إما أذا كانت درجة الحرارة 82 ^{0} ف فإن محاصيل الحبوب تنمو أسرع من المتوقع شكل (5-10).
ويوضح الشكل (5-11) تأرجح درجة الحرارة الفعلية المقاسة . فإذا كانت درجة الحرارة العظمى 70 ^{0} ف ودرجة الحرارة الصغرى 50 ^{0} ف فذلك يعني أن درجة حرارة النمو = 10.

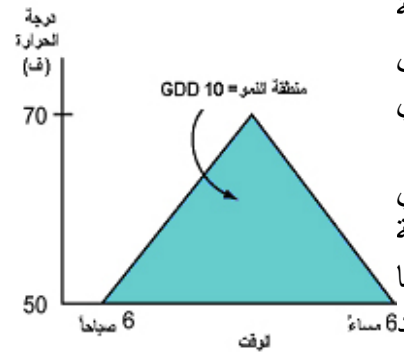


شكل (5-10) تقدير النمو الفعلي للمحصول بالنسبة لدرجة حرارة النمو

وهذا يعني أن درجة الحرارة لا تعطي وصفاً دقيقاً أحياناً لنمو المحاصيل، بسبب أن المحاصيل لا تنمو كخط تصاعدي ومستقيم، كما هو بالنسبة لدرجة حرارة النمو الفعالة (GDD) ولكن تنمو كخط منحني.
وعادة الحرارة لا يمكن أن تكون مستقرة عند متوسطها ، ولنفترض 72 ^{0} ف لذلك المحصول ينمو أبطئ وأحياناً أسرع وينحرف عن معدل تاريخ نموه.
ولنفترض أن درجة الحرارة الصغرى 50 ^{0} ف والعظمى 70 0 ف ، فإذا هبطت درجة الحرارة إلى 40 0 ف ، فذلك يعني أن درجة الحرارة تحت صفر النمو وأن النمو الطبيعي يمكن أن يمثل بالشكل (5-12) بينما تبقى درجة حرارة النمو المفترضة = 10 ، ولكن حقيقة أن النبات لا ينمو حتى تصل درجة الحرارة 50 ^{0} ف . وهذا يعني أن هناك ساعات بين درجتي الحرارة 40 ^{0} ف و 50 ^{0} ف من المفترض أن ينمو فيها النبات . هذا الخطأ الذي يؤخذ على هذه الطريقة يعطي النبات كمية أكثر من درجة الحرارة الفعالة بالنسبة إلى ما يتلقاه النبات فعلاً. هذه المنطقة من الخطأ والموضحة في الشكل(5-13) تحدث في ساعات البرودة الليلية.



شكل (5-11) علاقة درجة الحرارة المقاسة والحرارة الفعالة للنمو



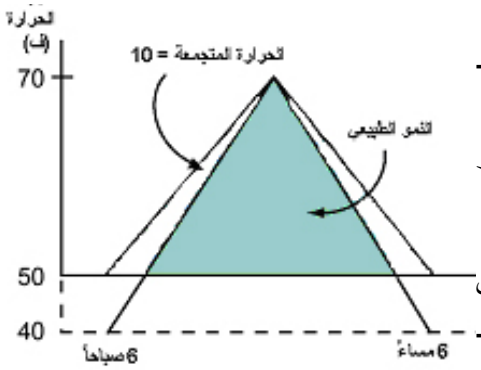
شكل (5-12) مقطع يمثل النمو الطبيعي للمحصول

حيث درجة حرارة النمو لهذا اليوم والتي تساوي 10، هي التي تجمعت خلال ساعات النهار قبل الهبوط المفاجئ لدرجة الحرارة الليلية. فمنطقة النمو تكون قد اكتسبت حرارة أقل مما هو مفترض بسبب هذا الهبوط وأن المحصول لا ينمو إلا بعد تجاوز صفر النمو (في هذا المثال صفر النمو 50 ^{0} ف).
للحساب درجة الحرارة الفعالة-المتجمعة "Accumulated Effective Temperature" والتي يمكن أن تسمى أيضا Growing Degree Days ويرمز لها بـ"GDD". تستخدم العلاقة التالية:-

$$\sum C = (T-t)x\ n \qquad [5\ -9]$$

n- عدد الأيام، $\sum C$-الحرارة الفعالة -المتجمعة- ،T- متوسط درجة الحرارة، t- صفر نمو النبات

ويمكن أن تحسب $\sum C$ بطريقة الجدول لتقدير ظهور أي طور من أطوار نمو النبات كما يلي :



شكل (5-13) يوضح الخطأ الذي يمكن أن يحدث بسبب الهبوط الليلي لدرجة الحرارة.

مثال 2: حدد متى يمكن أن تقدر يوم الإنبات لمحصول الذرة الصفراء، إذا علمت أن طور البذر- الإنبات يحتاج إلى 140 درجة مئوية (حرارة فعالة - متجمعة $\sum c$) . مستفيداً من البيانات المتوفرة لمتوسط درجة الحرارة (T) الواردة في الجدول (5 – 4). علماً بأن درجة صفر النمو(t) للذرة الصفراء 10 درجة مئوية. (D-تمثل التاريخ، T- متوسط درجة الحرارة ، C- الحرارة فعالة).

جدول (5 – 4) حساب درجة الحرارة الفعالة المتجمعة

D	12/1	13/1	14/1	15/1	16/1	17/1	18/1	19/1	1/20
T	8.0	10.5	11.8	12.8	13.5	14.9	15.4	16.5	17.9
C	-	0.5	1.8	2.8	3.5	4.9	5.4	6.5	7.9
$\sum C$	-	0.5	2.3	5.1	8.6	13.5	18.9	25.4	33.3
D	21/1	22/1	23/1	24/1	25/1	26/1	27/1	28/1	29/1
T	21.8	23.0	21.8	23.0	24.2	25.6	26.0	26.2	27.8
C	11.8	13.0	11.8	13.0	14.2	15.6	16.0	16.2	
$\sum C$	45.1	58.1	69.9	82.9	97.1	112.7	128.7	144.9	

إذاً يوم الإنبات المتوقع هو تاريخ 28 يناير.

مما سبق يتضح أن هذه الطريقة تعتمد على تجميع الوحدات الحرارية التي تزيد عن صفر النمو كل يوم (على مدار الـ 24 ساعة) إذ أنه إذا كان صفر النمو لحشرة ما أو لإنبات بذور محصول ما 15 م° وكان متوسط درجة الحرارة في اليوم 27 م° فإن هذا الطور من النمو سوف يستفيد فقط بما مقدار 12 م° فقط في ذلك اليوم (وهي التي تمثل الفرق بين درجة الحرارة السائدة وصفر النمو).

ويلاحظ أن هناك فرقاً في يوم الإنبات بين المثال 1 (29 يناير) والمثال 2 (28 يناير) وهي فعلياً قد تكون ساعات قليلة وربما ساعة وهي في إطار نسبة خطأ مقبولة بسبب ما تم ذكره أنفاً.

وعموماً يمكن حساب الحرارة الفعالة المتجمعة لكل محصول ولكل مرحلة من مراحل نموه كمتطلبات حرارية ثابتة، وهناك الكثير من المحاصيل قد تم حساب الحرارة الفعالة المتجمعة لها (جدول 5–5). ويمكن تقدير يوم البذر والإنبات أو أي طور آخر من أطوار نمو النبات في حالة عدم توفر المعلومات اليومية للحرارة من خلال توفر المعلومات الشهرية بالمعادلة الآتية:

$$N = 15 + [(t - b/a - b) \times M] \qquad [5\text{-}10]$$

N- اليوم الذي تتجاوز فيه درجة الحرارة صفر النمو.
t- صفر النمو
a- متوسط درجة حرارة الشهر الذي قيمته أعلى من(t).
b- متوسط درجة حرارة الشهرالذي قيمته أدنى من(t)
M- عدد أيام الشهر الذي يبدأ فيه حساب المعادلة.

مثال: حدد يوم البذر المتوقع لمحصول الذرة الرفيعة الذي صفر نموه 15 درجة مئوية إذا علمت أن متوسط درجة حرارة شهر يناير (b) تساوى 12.6 وفبراير(15.4 (a .

$N = 15 + (15 - 12.6/15.4 - 12.6) \times 31 = 42$

وهذا يعني أن يوم البذر 11 فبراير تقريباً وهو اليوم الذي تتجاوز فيه درجة الحرارة 15 م°.
بما أن شهر يناير 31 يوم. إذن 42 – 31 = 11
وعند إضافة 11 يوم إلى شهر يناير فذلك يعني أن يوم البذر المناسب والتي تتجاوز فيه درجة الحرارة صفر النمو (15 م°) هو يوم 11 فبراير.

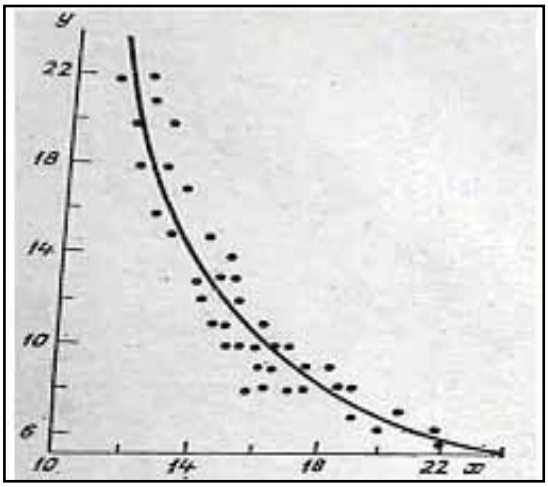
جدول (5-5) الحرارة الفعالة - المتجمعة أعلى من 10 ^{0} م
المطلوبة لنضوج أهم المحاصيل الزراعية

المحصول	نسبة النضوج المختلفة	مجموع الحرارة الفعالة أعلى من10(^{0}م)
القمح الربيعي	النضوج المبكر النضوج الطبيعي النضوج المتأخر	1200-1300 1400-1500 1600-1700
الشعير	النضوج المبكر النضوج الطبيعي النضوج المتأخر	1000-1100 1200-1300 1400-1500
الدخن	النضوج المبكر النضوج الطبيعي النضوج المتأخر	1400-1600 1700-1800 1800-1900
الحنطة السوداء	النضوج المبكر النضوج الطبيعي النضوج المتأخر	1200-1300 1300-1400 1500-1600
الذرة الشامية	النضوج المبكر النضوج الطبيعي النضوج المتأخر	2100-2200 2600-2800 3200-3000

مما تقدم يمكن أن نستنتج أن الحرارة المتجمعة لم تكن ولن تكون بمفردها مؤشراً للعديد من التطبيقات الزراعية بمعزل عن مجموعة من العوامل الأخرى وعلى وجه الخصوص في التطبيقات المناخية . كما أن لحرارة التربة أهمية كبيرة في العديد من تلك التطبيقات الزراعية.

حرارة التربة Soil Temperature:

تعتبر حرارة التربة أحد العوامل الهامة في حياة النبات وتظهر هذه الأهمية عند إنبات البذور ونمو الجذور، وحياة الحشرات في التربة وشدة تحول المواد العضوية إلى مواد معدنية، وفي قوة امتصاص جذور النبات لماء التربة، وفي تركيز الأملاح في التربة.



شكل(5-14) مخطط يوضح علاقة درجة حرارة التربة "X"بالفترة الزمنية "y" لنمو محصول الذرة لمرحلة البذر- الإنبات عند بذر على عمق 4 سم.

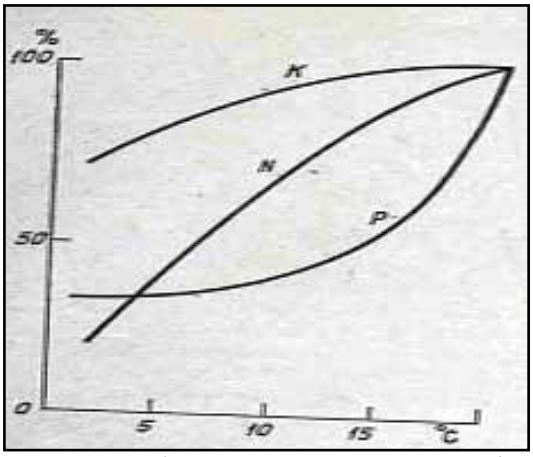
فزيادة درجة حرارة التربة تسرع من نمو البذرة إلى الحد الذي يمكن أن تقل فيه الفترة الزمنية للنمو لمرحلة البذر-الإنبات فمثلاً ثبت أن حبوب الذرة الشامية عند بذرها في تربة رطبة على عمق 4 سم عند درجة حرارة 12 ^{0} م تعطي إنبات خلال 21 يوم ، وعند 18^{0} م خلال 9-8 يوم . شكل(5 - 14).

ويحدث العكس عند ارتفاع درجة الحرارة عن درجة الحرارة المثلى حيث تتباطأ عملية نمو البذرة.

كما أن حرارة التربة تؤثر بصورة مباشرة على عملية امتصاص النبات للمواد العضوية، وكذا السماد.

فقدرة امتصاص النبات للأزوت (N) والفسفور (P) عند درجة حرارة التربة 5 م° تقريباً ثلاث مرات أقل مما هو عند درجة حرارة 20 م° ويوضح تلك العلاقة شكل (-5 15).

وتقاس درجة حرارة التربة على أعماق مختلفة، و تؤخذ للمحاصيل الزراعية عادة عند سطح التربة والأعماق 5سم، 10سم، 20سم، 50سم، 100سم، 150سم.



شكل (5-15) مخطط بياني يوضح العلاقة بين درجة حرارة التربة وامتصاص المواد العضوية والسماد.

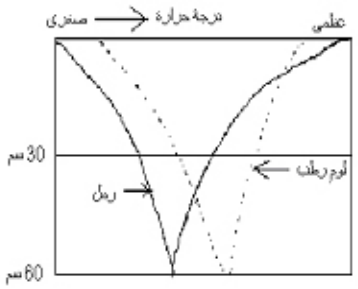
الناقلية والسعة الحرارية للتربة:

تتمثل الناقلية في مقدرة التربة على نقل الحرارة ، وتقدر بكمية الحرارة التي تتدفق خلال طبقة متجانسة من التربة ذات سمك 1 سم^{3} وسطح 1 سم^{2} خلال ثانية واحدة إذا كان الفرق بين حرارة سطحي الطبقة درجة واحدة.

وتعتمد الناقلية الحرارية للتربة على التركيب المعدني للتربة ، وعلى رطوبتها والمحتوى الهوائي فيها ولونها ، فالتربة ذات اللون الفاتح تعكس جزءً من الأشعة الشمسية الساقطة عليها أكبر من التربة ذات اللون القاتم وبالتالي فالأولى تسخن أقل من الثانية ويظهر تأثير اللون فقط في الأيام الصحوة .

إن درجة حرارة التربة تعتمد على عاملين رئيسين ، هما ناقلية الحرارة ، والسعة الحرارية .

وتختلف فاعلية العاملين باختلاف حالة التربة، هل هي رطبة أم جافة، وإذا كان الهواء ناقلا رديئا للحرارة (0.031 حريره /سم2 /دقيقة) فإنه ناقل جيد للإشعاع ، غير أن الأمر ينعكس في التربة ، فهي ذات ناقلية للحرارة أفضل من الهواء ، لكنها ذات ناقلية رديئة جدا للإشعاع . ومع هذا فإن درجة حرارة التربة تختلف عن درجة حرارة الهواء.



شكل (5-16) يوضح النمط اليومي لاختلاف درجة الحرارة حسب نوع التربة.

وقوام التربة يحدد الكثير من صفاتها الحرارية ، فالتربة الرملية الجافة تسخن بسرعة كبيرة عند السطح أثناء النهار ، بسبب سعتها الحرارية القليلة وناقليتها الرديئة ، ولكن عند عمق سنتيمترات قليلة تنقص الحرارة نقصا كبيرا-شكل (5-16) ، إلا أن الأمر يختلف في تربة غرينية (loam) رطبة ، إذ أن تغير درجة الحرارة مع العمق يكون أكثر بطئا لكون ناقلية الحرارة أكبر ، إلا أن سطحها لا يسخن كما يسخن سطح التربة الرملية . وفي الليل يحدث العكس ، فالتربة الرملية تبرد بسرعة أكبر من سرعة تبرد التربة الغرينية ، بسبب الناقلية الرديئة للحرارة من الأسفل.

وكما هو الحال في الهواء الحر، فإن النهايات الحرارية في التربة تتأخر عن النهايات الإشعاعية، بسبب حركة نقل الحرارة ضمن التربة. وبوجه عام فإن التأخير يبلغ قرابة 12 ساعة عند عمق 30 سم ، وقرابة 6 أشهر عند عمق 10م ، وهكذا نجد أن الفترة الأكثر حرارة أثناء اليوم تكون عند منتصف الليل على عمق 30 سم ، بينما تكون الفترة الأكثر حرارة من السنة في الشتاء على عمق 10م.

و لذا فالصفات الفيزيائية-الحرارية للتربة تعتمد على لون التربة (فالتربة الغامقة اللون، نتيجة لامتصاصها العالي للطاقة الشمسية تسخن أشد، من التربة المائلة إلى البياض)، وبزيادة الكثافة للتربة الجافة، السعة الحرارية والتوصيل الحراري يتزايدان. وتزداد السعة الحرارية للأرض المروية أكبر من التربة الجافة . فالري والأمطار ترفع من السعة الحرارية للتربة.

الفصل السادس
الضــغـط الجــوي
"ATMOSPHERIC PRESSURE"

تعريف الضغط الجوي:

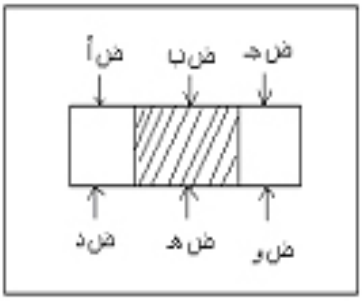
إذا افترضنا أن هناك وعاء فيه غاز مثالي، ونظراً لوجود أعداد ضخمة من الجزيئات في الغاز عند الضغوط فإن بلايين التصادمات بالجدار ستحدث في زمن قدره ثانية واحدة أو أقل. ولهذا فإن القوة الناتجة عن هذه التصادمات ستبدو ثابتة تقريبا . بالإضافة إلى ذلك فإن متوسط القوة المؤثرة على الجدار ستكون عمودية عليه. وتعرف القوة المؤثرة على وحدة المساحات ، أي المتر المربع الواحد أو البوصة المربعة الواحدة ...الخ ، بضغط الغاز . و بالرموز، يعرف الضغط P بالعلاقة الآتية :

$$P = F / A \qquad [6-1]$$

حيث أن:

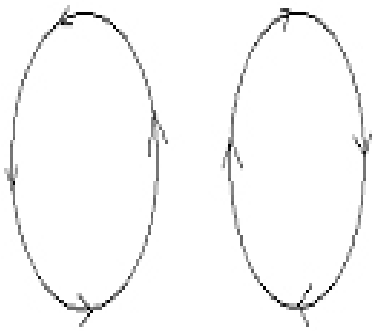
F - هي القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحة A .

ووحدات الضغط هي النيوتن لكل متر مربع أو الباوند لكل بوصة مربعة ....الخ.. وعليه يمكن أن نعرف الضغط الجوي بأنه وزن عمود الهواء على وحدة المساحات . والضغط يتزايد داخل حيز المائع الساكن كلما تعمقنا إلى أسفل داخل هذا المائع.



الشكل (6-1)

وفي الشكل (6-1) لو افترضنا أن النقط أ،ب،جـ الواقعة في المائع تقع تحت تأثير ضغط متساو في بادئ الأمر، فإذا ما قمنا بتسخين عمود المائع الواقع فوق النقطة (هـ) فإنه يصبح أقل كثافة عن الأعمدة الواقعة على النقطتين د، و. وعليه فإن الضغط (ض هـ) يصبح أقلاً عند (هـ) عنه عند النقطتين د،و ،ونتيجة لهذا الاختلاف في الضغط فإن المائع يميل إلى السريان من المناطق ذات الضغط المرتفع عند د، و إلى المنطقة ذات الضغط المنخفض بالقرب من النقطة (هـ).



شكل (6-2) تيارات الحمل

وتحدث هذه التحركات الموجودة بالمائع وعليه تتولد تيارات الحمل كما هو موضح في الشكل (6-2) .

ونتيجة لذلك فإن الأجزاء المائعة الباردة تهبط بينما تضطر الأجزاء الدافئة والأقل كثافة إلى الصعود. ولذا فإن نتيجة تيارات الحمل أن يحل الهواء البارد القادم من أماكن ذات خطوط عرض عالية محل الهواء الحار في المناطق الحارة .

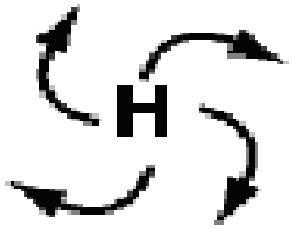
كذلك فإن الهواء قد يدور ذهابا وايابا بين المناطق اليابسة والمحيطات ، فأينما وجدت فروق في درجة الحرارة تواجدت فروق في الضغط تتسبب في حدوث تيارات الحمل.

وتنتقل بسبب هذه الفروق في الضغط الجوي الرياح أو يمكن القول الكتل الهوائية الضخمة من مناطق الضغط الجوي المرتفع إلى مناطق الضغط الجوي المنخفض . وهذه الكتل الهوائية

هي حجوم عظيمة من الهواء تتميز بتجانسها أفقياً بصورة عامة ويشمل هذا التجانس درجات الحرارة والرطوبة بصورة عامة . ويظهر التحليل الحديث لظواهر الطقس تباين خصائص الكتل الهوائية وحركاتها وتغيراتها المنتظمة.وتغطي الكتل الهوائية مساحة كبيرة تتفاوت في امتدادها وتزيد في كثير من الأحيان على عدة الآف من الكيلومترات المربعة . أما أتساعها العمودي فقد يتجاوز آلاف الأمتار " 300 - 3000 متر " . ويمكن القول أن هناك شبها بين الكتل الهوائية وبين التيارات المحيطة الرئيسية التي تتحرك ضمن المحيطات الكبيرة، إذ من المعلوم أن التيارات الأخيرة تخضع لقوانين مشابهة.

المرتفع الجوي (High Pressure):

يعرف المرتفع الجوي بأنه ضد إعصار (Anticyclone)، وهو عبارة عن منطقة مرتفعة من الضغط، ويوصف الضغط الجوي بأنه مرتفع إذا كانت قيمته أعلى من القيمة القياسية 1013.2 مليبار.
كما يوصف بأنه مرتفع إذا كانت قيمته في مكان ما أعلى من قيمته في الأماكن الأخرى المحيطة به (ضغط مرتفع نسبي). وتعد مناطق الضغوط المرتفعة مصدر الكتل الهوائية المختلفة .



شكل (6-3) يوضح حركة الهواء في المرتفع الجوي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية

ويأخذ الضغط المرتفع في خرائط الطقس والمناخ شكلاً شبه دائري، إذ تحلق خطوط الضغط المتساوي حول قيمه ممثلة في المركز، و تتناقص قيمة الضغط فيه من المركز نحو الأطراف ويرمز للضغط المرتفع بحرف (H) أو (ع) أو (+).
وعموماً يكون الجو في المرتفع الجوي حسناً ومصحوباً بكتل هوائية متجانسة فوق مساحات شاسعة، ويسود الاستقرار في الجو. عكس المنخفض الجوي . وتكون حركة الرياح فيه مع عقارب الساعة وتتجه من المركز نحو الخارج في النصف الشمالي من الكرة الأرضية والعكس في النصف الجنوبي (شكل 6-3)..

المنخفض الجوي (Depression):

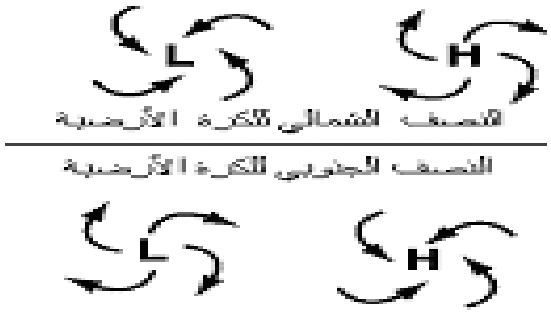
يعرف المنخفض الجوي بأنه إعصار (cyclone) وهو عبارة عن منطقة منخفضة من الضغط ، وتدعى Cyclone تحلق خطوط الضغط المتساوية حول مركز الضغط المنخفض والذي يتخذ شكلاً شبيهاً بالدائرة تتناقص فيها قيم الضغط من الأطراف نحو المركز ، بحيث تكون أخفض قيمة للضغط في المركز. وتكون فيه حركة الهواء دائرية ضد عقارب الساعة و متجهة نحو مركزه في النصف الشمالي من الكرة الأرضية (شكل 6-4) والعكس في النصف الجنوبي.

شكل(6-4) يوضح حركة الهواء في المنخفض الجوي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية

ولذلك يعتبر مركز جذب للرياح، حيث تندفع الرياح من الضغط الجوي المرتفع نحو الضغط الجوي المنخفض. ويصاحب عادة المنخفضات الجوية عدم الاستقرار في الجو ونشوء الأعاصير، ويرمز للضغط المنخفض بحرف (L) أو (م) أو (-).
ويعكس قانون بويز بالوت العلاقة التي تربط اتجاه الرياح بمناطق توزيع الضغط الجوي . إذا وقف الإنسان في نصف الكرة الشمالي وظهره للرياح فإن منطقة الضغط المرتفع تقع على يمينه

ومنطقة الضغط الجوي المنخفض تقع على يساره. شكل (6-5).

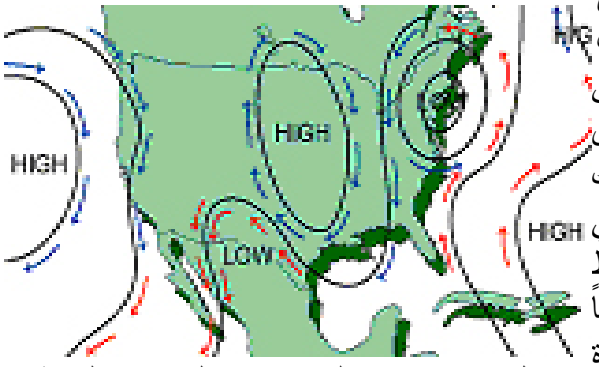
ويعطي الشكل (6-6) صورة أوضح لحركة التيارات الهوائية في المنخفضات والمرتفعات الجوية وانتقالها من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض.



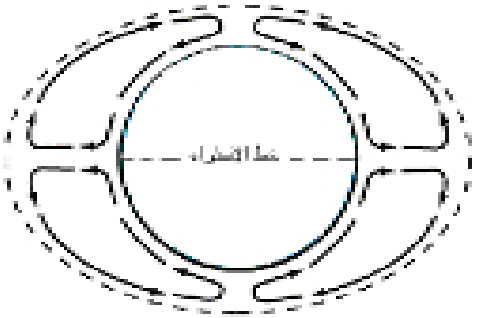
شكل (6-5) حركة الرياح في المنخفضات والمرتفعات الجوية في نصفي الكرة الأرضية

توزيعات الضغط الجوي:

يتضح أن دورة الغلاف الجوي ناتجة عن اختلافات الضغط بداخله نتيجة للتسخين الغير المتجانس. ويسبب التسخين قرب خط الاستواء في تمديد الغلاف الجوي إلى أعلى، وعليه فإن كمية الهواء فوق مستوى خمسة كيلومترات مثلاً تصبح أكبر من تلك الموجودة في المناطق التي تجاورها والتي لم تتأثر بهذا التسخين. ولما كان الضغط عند أي ارتفاع بالغلاف الجوي مكافئاً لوزن عمود الهواء الواقع فوق وحدة المساحات عند هذا الارتفاع ، فإن الضغط على ارتفاع خمسة كيلومترات يكون عالياً فوق خط الاستواء عنه في المناطق الواقعة على نفس الارتفاع شماله وجنوبه . وعلى العكس فإن التبريد عند القطبين يتسبب بانكماش الهواء (شكل 6-7) في الاتجاه الرأسي، وعليه فإن كتلة فوق مستوى خمسة كيلومترات تصبح أقل منها في المناطق التي تجاورها ونتيجة لذلك فإن الضغط عند القطبين عند هذا المستوى يكون منخفضاً نسبياً. خلية هادلي:



شكل (6-6) يوضح المنخفضات والمرتفعات الجوية وحركة التيارات الهوائية فيها



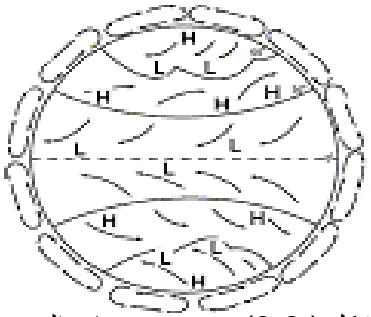
شكل (6-7) يوضح دورة الحمل الناشئة عن الفروق الحرارية

إن الهواء الصاعد في منطقة خط الاستواء لا يقطع كل الرحلة إلى القطبين، فجزءً كبيراً منه يهبط تجاه سطح الأرض عند خط 30 ويتحرك بعدها تجاه خط الاستواء على صورة رياح تجارية مكونا جزء من خلية عظيمة من خلايا الحمل.

وتحدث خلية واحدة من هذه الخلايا في كل من نصفي الكرة الأرضية وتسمى خلية هادلي. وبهبوط الهواء تجاه سطح الأرض عند خط 30، فإن مناطق الضغط المرتفع تتكون هناك في المنطقة المعروفة بحزام الضغط المرتفع تحت المداري.

خطوط الضغط المتساوية"Isobar":

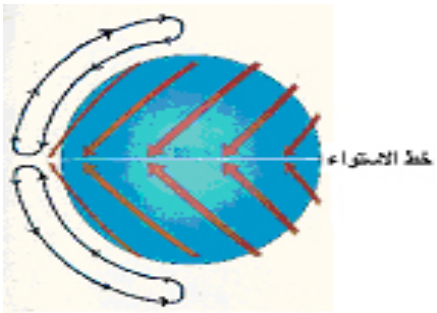
هي خطوط تساوى الضغط التي يتم رسمها على الخرائط والتي من خلالها يتم إيصال مناطق الضغوط المتساوية وتمكننا من إظهار مناطق الضغط العالي ومناطق الضغط المنخفض " المرتفعات و المنخفضات الجوية " والجبهات، شكل (6–10).



شكل (6-8) يوضح توزيعات الضغط الجوي على سطح الكرة الأرضية

وقد تكون خطوط الضغط متقاربة جداً بعضها مع بعض مما يدل على انحدار شديد في الضغط، أو متباعدة بعضها عن بعض مما يدل على انحدار ضعيف، ولهذا تأثير كبير على سرعة الرياح، إذ تزداد سرعة الرياح بازدياد تقارب خطوط الضغط.

فالقراءات المأخوذة عن الضغط لابد من تعديلها وتصحيحها بالنسبة لمستوى سطح البحر وتؤخذ من جداول خاصة (1مليمتر لكل 13م بالارتفاع).



شكل (6-9) صورة لحركة الرياح وفقاً لنظرية هادلي

وتعتبر متابعة حركة المنخفضات والمرتفعات الجوية من أهم المؤشرات لبداية ونهاية المواسم الزراعية ، وتعطي مؤشراً لكثير من التنبؤات ذات الصلة بالنشاطات الزراعية المختلفة فعلى سبيل المثال للتنبؤ بالصقيع يستخدم في الكثير من الحالات متابعة حركة المرتفعات الجوية التي تجلب معها الهواء الصحو والبارد إلى جانب متابعة مجموعة من العناصر والظواهر الجوية مثل حرارة الهواء ونقطة الندى والتغطية المنخفضة والمتوسطة للسماء والتغير المتوقع للـ24ساعه القادمة لدرجة الحرارة عند 850 mb.

تغير الضغط على سطح الأرض:

الضغط الجوي في مختلف النقاط على سطح الأرض وفي نفس الفترة الزمنية غير متساو، فهو يعتمد على درجة تسخين أو برودة الهواء فوق هذه النقاط، وعلى صفة الرياح وغيرها من الأسباب.

وباعتبار أن المعلومات عن الضغط الجوي على سطح الكرة الأرضية تعطى من محطات الأرصاد ، وهذه المحطات تقع في مستويات مختلفة ، والضغط يعتمد على ارتفاع المكان ، لذا فإن أهمية قياسه وإنزال تلك القياسات على الخارطة الطبيعية في نفس الفترة الزمنية ولمختلف النقاط وتحويل تلك القياسات إلى مستوى سطح البحر ، وتوصيل خطوط الضغط المتساوية (الأيزوبار) ، ومتابعة خطوط ارتفاع وانخفاض الضغط ورصد حركته يعتبر من أهم مؤشرات التنبؤات الجوية.والتي على أساسها يمكن متابعة حركة الكتل الهوائية الضخمة والتي تنتقل من أماكن الضغط الجوي المرتفع إلى أماكن الضغط الجوي المنخفض.

هذا ويميل الضغط المرتفع في المناطق القطبية على دفع الهواء عبر متساويات الضغط تجاه مناطق الضغط المنخفض قرب خط الاستواء. وعليه فإن الدورة القريبة من مستوى سطح البحر تصبح على الصورة الموضحة في الشكل (6-10)

1- تغير الضغط الجوي مع الارتفاع:

يتناقص الضغط الجوي مع الارتفاع فوق سطح الأرض ومع التضاريس والجبال.فمثلا ينخفض الضغط الجوي ابتداء من مستوى سطح البحر وحتى ارتفاع 610 م بمعدل 4% لكل305 م. وينخفض من ارتفاع 610 م وحتى ارتفاع 1525 م بمعدل3% لكل 305 م وينخفض من ارتفاع 1525م وحتى ارتفاع 305 م 2.5% لكل 305 م. وهكذا حتى ارتفاع 5500 م إذ ينخفض الضغط الجوي إلى النصف تقريباً. ويمكن وبشكل أوضح ذكر الآتي:

يبلغ متوسط الضغط الجوي على سطح البحر 1013 مليبار.

يبلغ متوسط الضغط الجوي على ارتفاع 1.5 كم فوق سطح البحر 850 مليبار.

يبلغ متوسط الضغط الجوي على ارتفاع (3) كم فوق سطح البحر 700مليبار.

يبلغ متوسط الضغط الجوي على ارتفاع (6) كم فوق سطح البحر 500 مليبار.

يبلغ متوسط الضغط الجوي على ارتفاع (10) كم فوق سطح البحر 300مليبار.

ويتوقف معدل تناقص الضغط الجوي مع الارتفاع على درجة الحرارة والرياح وكثافة الهواء.

2- تغيرات الضغط الجوي مع الحرارة:

من المعروف أن الهواء البارد يمتاز بازدياد الضغط الجوي، في حين يمتاز الهواء الدافئ بانخفاض الضغط الجوي ويرجع السبب في ذلك إلى:

أ) في حالة انخفاض الضغط الجوي: يتمدد الهواء الجوي مع ارتفاع درجة الحرارة ، ويزداد حجمه ويصبح أكثر تخلخلا فينتشر ويخف وتقل كثافته.

ب) في حالة ازدياد الضغط الجوي: يتناقص الهواء الجوي مع انخفاض درجة الحرارة وينقص حجمه ويزداد ثقله وتزداد كثافته وعلى هذا فهو على تماس مع سطح الأرض.

3- تغيرات الضغط الجوي مع الرطوبة:

يزداد الضغط الجوي في الجو الجاف ويقل في الجو المشبع بالرطوبة أي ببخار الماء. ويعود ذلك إلى أن كثافة الهواء الجاف أكبر من كثافة الهواء الرطب المحمل ببخار الماء.

4- تغيرات الضغط الجوي في اليابسة والمحيطات:

يزداد الضغط الجوي فوق سطح اليابسة في الشتاء وينخفض في الصيف بينما يزداد فوق المسطحات المائية في الصيف وينخفض في الشتاء.

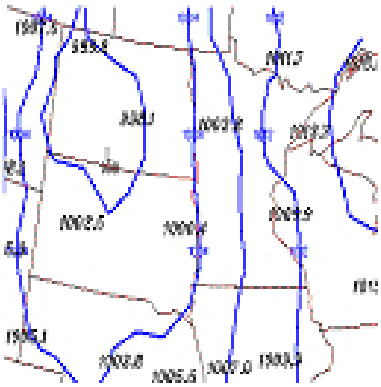
ويرجع السبب في هذا التباين إلى أن سطح الأرض يكتسب الحرارة ويمتصها بسرعة فيسخن ويفقدها بسرعة فيبرد ، في الوقت الذي تكون فيه المسطحات المائية على نقيض ذلك إذ تكتسب الحرارة وتمتصها ببطء ولذلك فهي تسخن ببطء وتفقد حرارتها ببطء وبالتالي تبرد ببطء.

مدلولات الضغط الجوي المرتفع:

يرافق الضغط الجوي المرتفع استقرار في الجو وانخفاض الهواء إلى الأسفل مما يؤدي إلى عدم تشكل الغيوم - إذا كانت الكتلة الهوائية جافة لا تشكل أية ظاهرة تستحق الذكر . إذا كانت الكتلة الهوائية رطبة نسبياً يتشكل الضباب.

دلالات مؤشر مسجل الضغط الجوي المرتفع: احتمال الطقس جميل - ضباب في الصباح

أو ضباب دائم خلال الفصل البارد - حرارة شديدة في الصيف - برد قارس وشديد في الشتاء -تنخفض الحرارة كثيراً أذا كانت التربة مغطاة بالثلوج .
إما مدلولات الانخفاض البطئ لمؤشر الضغط فلا يدل على تغير ملحوظ مباشر في الطقس.
دلالات مؤشر مسجل الضغط الجوي المتوسطة:
التغير البطئ في ارتفاع المؤشر : احتمال استمرار الطقس الجميل لفترة طويلة .
التغير السريع في الانخفاض : يرتبط بدورة الرياح ، يظهر السمحاق ، السمحاق الطبقي بسرعة ملطفة للحرارة ويتوقع الطقس السيئ المقبل .
التغير الواضح في الانخفاض : في الجو الحار : ظهور الركامي المزني مع هطول الأمطار والمصحوبة بالبرد .



شكل (6–10) يوضح خطوط تساوى الضغط

في الجو البارد: هطول الأمطار والثلوج.

مدلولات الضغط الجوي المنحفض:

يرافق الضغط الجوي المنخفض ارتفاع الهواء إلى الأعلى ، ارتفاعه يؤدي إلى تمدده وبالتالي تبريده ، وإقلال قابليته لتحمل بخار الماء وبالتالي تكاثف بخار الماء مشكلا الغيوم ومن ثم الهطول.
إلا أنه يجب الانتباه إلى أن الطقس السيئ يرافق المنخفضات الجوية عندما يكون الهواء رطباً نسبياً ، أما أذا كان جافاً فلن يؤدي إلى ظواهر مائية وإنما يؤدي إلى تشكل العواصف الترابية أو الرملية.

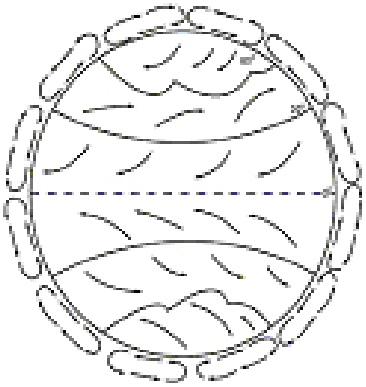
دلالات مؤشر مسجل الضغط الجوي المنخفض:

- توقع الطقس الرديء .
- تغيرات مؤشر الضغط (ارتفاع) : يدل على العواصف والزخات المتقطعة في الجو.
- تغيرات مؤشر الضغط بسرعة (انخفاض) : احتمال الطقس الرديء .

الفصل السابع
الـــريـاح
Wind

الـرياح:
تمثل الرياح ،الحركة الأفقية للهواء مابين مكانين مختلفين في الضغط الجوي وذلك فوق سطح الارض أوفي جوها، وحركة الهواء فوق سطح الارض تمثل إلى حد ما مظاهر السطح السائدة ،ولذا فإن المقصود بالحركة الأفقية للهواء على السطح ، الشديد التضاريس أحياناً ، ليست تلك الحركة الأفقية فوق سطح أفقي فحسب ، وإنما الحركات الهوائية كافة المتمثلة للسطح القاري بمظاهره المختلفة ،كما في الرياح السفحية الصاعدة ،والهابطة ...الخ. فالرياح عموماً كمية موجهة لها مقدار واتجاه.

حركة الرياح :
إن تحرك جزيئات الهواء من منطقة إلى أخرى هي محصلة لاختلافات الضغط بين هذه المنطقة و المنطقة الأخرى.
واختلافات الضغط يكون مردها إلى التسخين المتباين بالدرجة الأولى ، والتي ينجم عنها تحرك الهواء على مستوى محلي . أما حركة الهواء على مستوى نطاقي فإن الأسباب الديناميكية تلعب دوراً في نشوء الضغوط مرتفعة كانت أم منخفضة.
وينجم عن تباين الضغوط نوعان لحركة الهواء: حركة رئيسية وحركة محلية.


شكل (7-1) الدورة العامة للتيارات الهوائية على سطح الكرة الأرضية

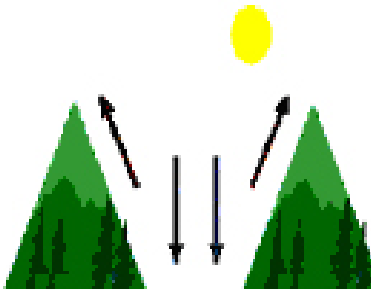
1- الحركة الرئيسية: وتتمثل في تلك الكتل الهوائية الضخمة المنطلقة من الضغط المرتفع شبه المداري تجاه خط الاستواء (رياح تجارية) ، أو تجاه الضغط المنخفض تحت القطبي (العكسيات الغربية) ، أو تلك الكتل المنطلقة من الضغط المرتفع القطبي تجاه الضغط المنخفض تحت القطبي (الشرقيات القطبية) والموضحة في الشكلان (7-1) وتتغير حركة هذه الرياح تبعاً لحركة الشمس الظاهرية.

2- الحركة المحلية: وهي حركة ناجمة عن تأثير العوامل الجغرافيا المختلفة على درجة الحرارة وبالتالي الضغط، وتلعب كتل الماء المتداخلة في اليابسة، ومظاهر سطح الأرض المختلفة دوراً كبيراً في ذلك. ومن نماذج الحركات تلك نذكر نسيم الجبل ونسيم الوادي و نسيم البر والبحر ورياح الفوهن.

نسيم الجبل ونسيم الوادي: عبارة عن دورة الهواء المتواترة بين الجبل والوادي الذي يحصره بين المنحدرات أو التضاريس وتتوفر شروط معينة لحدوث هذه الدورة مثل سكون الرياح وصفاء الجو.
ترتفع درجة حرارة الهواء الموجودة في بطن الوادي أثناء النهار فيتمدد وتقل كثافته أذا ما قورن مع الهواء البارد الموجود في قمم المرتفعات الجبلية وخصوصاً المغطاة بالثلوج. فيلبس الهواء

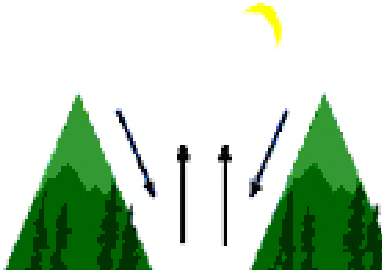
الساخن السفوح صاعداً نحو الأعلى مشكلا " نسيم الوادي " شكل (7-2).

ويحل محله الهواء الأكثر كثافة والذي يهبط مباشرة نحو القيعان في الأودية ويكون في أخفض نقطة من الوادي. غير أن استمرار عمليات التسخين تعيد الدورة ليصعد الهواء الدافئ ويأتي الهواء البارد على نفس النمط المذكور بشكل دورة منتظمة طالما كان هناك تجاذب فيها. وتزداد هذه الظاهرة في الأودية الضيقة أو المحدودة.



شكل (7-2) نسيم الوادي

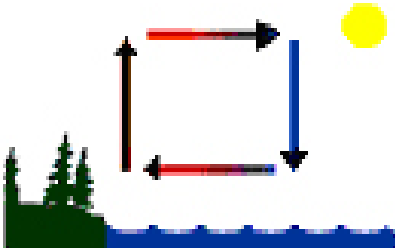
بينما يحدث أثناء الليل أن الهواء الدافئ المخزن في الوادي يرتفع رأسا إلى الأعلى بعد زوال الشمس وينزل " نسيم الجبل " شكل (7-3) إلى الوادي متلبسا السفوح إلى أن تصل لأخفض نقطة فيه ويؤثر على النباتات الموجودة . ويحدث الانقلاب الحراري.



شكل (7-3) نسيم الجبل

نسيم البر والبحر:

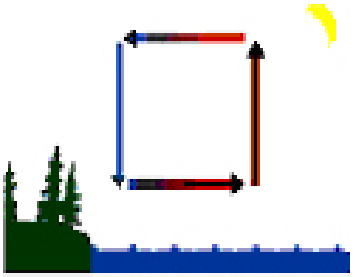
يمثل دورة يومية للهواء ما بين البر والبحر فحركة الهواء تكون أثناء النهار من البحر إلى البر (نسيم البحر) شكل (7-4) ، وفي الليل من البر تجاه البحر (نسيم البر) شكل (7-5) ، ذلك كون البر يكون مركزا لضغط مرتفع في الليل ومنخفض في النهار ، أما البحر فالحالة تكون فيه معكوسة.



شكل (7-4) نسيم البحر

ويؤدي انخفاض الضغط الجوي فوق اليابسة حتى ارتفاع 100 متر تقريباً إلى انتقال الكتل الهوائية من البحر إلى اليابسة ، تصل مسافة تبلغ 30-40 كم عن الساحل.

ويبدأ نسيم البحر من الساعة 8-10، وتبلغ الرياح قمتها 5-6 م/ث في منتصف النهار وتضعف قبل غروب الشمس. أما نسيم البر فسرعته أقل ولا تتجاوز 3-4 م/ث . والنسيم يمثل حركة دورانية مغلقة للرياح المحلية.

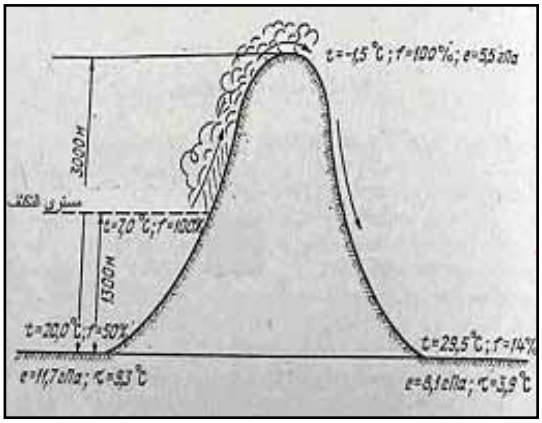


شكل (7-5) نسيم البر

رياح الفوهن "Foehn Wind":

هي رياح محلية جافة ودافئة تحدث تقريباً في كل المناطق الجبلية على الجانب المعاكس لوجهة الرياح من السلسلة الجبلية. فعندما يعبر الهواء سلسلة جبلية فإنه يضطر إلى الصعود على الجانب المواجه له وبصعوده يبرد ويحدث التكاثف وبالتالي فإن معدل انخفاض الحرارة يكون قليلا (حسب الاديباتي الرطب) ، وما أن يعبر الهواء قمم الجبال حتى يهبط على السفح الآخر وتزداد حرارته حسب معدل الاديباتي الجاف ، وتنخفض رطوبته ، ولذا يكون عند

مقدمة الجانب المعاكس هواء حارا وجافا شكل (7-6) يؤدي إلى موت الكثير من النباتات الغير مقاومة للجفاف و يؤثر على الحيوانات و نشاط الإنسان بصورة عامة .



شكل (7-6) يوضح رياح الفوهن

وهي عموماً رياح ارتبطت بجبال الألب والتيرول . وإن المنخفضات الجوية الموجودة في وسط أوروبا تجذب هذه الرياح إلى الشرق في فصل الربيع والخريف وبوجود المرتفع المتمركز فوق شمال ايطاليا فتجذب هذه الرياح بشدة عبر الوديان لعدة أيام . وأن صعود الهواء الدافئ إلى الأعلى على السفح الجنوبي للجبال يؤدي إلى تكون الغيوم التي تهطل منها الأمطار وتفقد الغيوم حمولتها على قمم الجبال وبالتالي تهبط على جهة السفح الشمالي وترتفع حرارتها لانضغاطها على السفوح وجفافها.

وتسبب هذه الرياح الحرائق . والفيضانات عندما تؤدي إلى ذوبان الثلوج وتساعد على نضج الفاكهة والمحاصيل والخضار في الوديان ومدة هذه الرياح 30 - 40 يوما.

القوة المؤثر على حركة الرياح:

1- قوة الجاذبية المركزية "Centripital Force": هي القوة التي تقوم بجذب أي جسم يتحرك حركة دورانية باتجاه مركز دورانه . ذلك أن أي جسم يتحرك حركة دائرية لابد له من أن يتسارع تجاه مركز دورانه. وتتناسب قوة الجذب المركزي طرداً مع كتلة الجسم المتحرك ، وطرداً أيضا مع تسارع الجذب المركزي .

2- القوة الطاردة المركزية "Centrifugal Force": هي القوة التي تقوم بطرد أي جسم يتحرك حركة دورانية خارج مركز دورانه . وتتناسب هذه القوة طرداً مع مربع سرعة الجسم المتحرك ، وعكساً مع نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الجسم .

3- قوة الاحتكاك "Frictional Force":

هي القوة المؤثرة على سرعة الرياح واتجاهها . إذ ينجم عن احتكاك الرياح بسطح الأرض إضعاف لسرعتها ، وانحراف في وجهتها بزاوية تبلغ قرابة 15 درجة فوق البحار ، و30 درجة فوق اليابسة .

4- قوة الانحراف "Deflection Force": هي القوة التي تقوم بحرف الأجسام المتحركة فوق سطح الأرض إلى يمين وجهتها الأصلية في نصف الكرة الشمالي، وإلى يسار وجهتها الأصلية في نصف الكرة الجنوبي. وهذا يعني أن الرياح المتحركة من الجنوب نحو الشمال في نصف الكرة الشمالي تنحرف نحو اليمين ، أي تصبح جنوبية غربية ، والمتحركة من الشمال نحو الجنوب تصبح شمالية شرقية وعكس ذلك يحدث في نصف الكرة الجنوبية . وهذه القوة ناجمة عن دوران الأرض حول نفسها ، وهي ما تعرف بقوة كوريولس " Coriolis Force" - وبقوة الأرض الحارفة - وهي قوة ظاهرية (ليست حقيقية) تصل قيمتها العليا عند القطبين وصفر عند خط الاستواء وهي انحراف للرياح تجاه اليمين في النصف الشمالي للكرة الأرضية والعكس في جنوبها بسبب حركة الأرض الدورانية في اتجاه مضاد لعقرب الساعة شمالاً والعكس جنوباً . ونظراً لاختلاف السرعة الدورانية للأرض حول محورها مع اختلاف درجة

العرض ، لذا فإن درجة انحراف الأجسام المتحركة فوق سطح الأرض تتباين حسب درجة البعد عن خط الاستواء . ونظراً لاختلاف السرعة الدورانية للأرض حول محورها مع اختلاف درجة العرض ، لذا فإن درجة انحراف الأجسام المتحركة فوق سطح الأرض تتباين حسب درجة البعد عن خط الاستواء . ويقتصر تأثير هذه القوة على تغيير اتجاه الأجسام المتحركة ، وتتناسب طرداً مع سرعة هذه الأجسام المتحركة .

الــرياح والـنـبـات

تعمل الرياح على نقل ومزج الهواء في الغلاف الجوي، ونقل الرطوبة الجوية من البحار والمحيطات إلى اليابسة، مزوداً بذلك النباتات بالرطوبة. وتقوم الرياح بنقل أنواع مختلفة من المواد العالقة في الهواء التي يمكن للنبات الاستفادة منها، ويعتبر وسيلة رئيسية في التلقيح الطبيعي لكثير من النباتات.

قال تعالى " وأرسلنا الرياح لواقح فأنزلنا من السماءِ ماءً فأسقيناكموه وما أنتم له بخازنين " صدق الله العظيم (سورة الحجر الآية -22).

" واختلاف الليل والنهار وما أنزل الله من السماء من رزق فأحيا به الأرض بعد موتها وتصريف الرياح ءاياتٌ لقوم يعقلون " " صدق الله العظيم - سورة الجاثية الآية -5.

" ومن آياته أن يرسل الرياحً مبشراتٍ وليذيقكم من رحمته ولتجري الفلك بأمره ولتبتغوا من فضله ولعلكم تشكرون " " صدق الله العظيم (سورة الروم الآية - 46).

ولأهميتها فإنه من الضروري حساب السرعة والاتجاه السائد لها (وردة الرياح) وتزداد أهميتها التطبيقية عند إجراء العمليات الزراعية المختلفة ومنها على سبيل المثال عند عمليات رش المبيدات الكيميائية والحصاد وعند إنشاء مصدات الرياح والمنشآت الزراعية المتعلقة بالري والثروة الحيوانية وغيرها . وتعتبر الرياح بالنسبة لمناطق الرياح الموسمية مؤشراً مهماً للعمليات الزراعية المختلفة ، باعتبارها مؤشر لمواسم الأمطار في تلك المناطق.

وأعتمد اليمنيون في زراعتهم على مر الزمن على حركة اتجاه الرياح المحلية والتي يمكن أن يستدل عليها من الأهازيج منها " يالله بالمطر من ريمه يسقي ذي السفال والحيمة ".

فهذه إشارة إلى مطر الصيف يأتي من الغرب ويساق نحو الشرق والجنوب.

وللغطاء النباتي أهمية في الحد من سرعة الرياح، ويزداد سمك طبقة الهواء التي تتأثر بهذا العامل كلما أزداد ارتفاع النبات عن سطح الأرض، كما هو الحال في أراضي الأشجار العالية. والجدول الآتي يوضح اختلاف سرعة الرياح في مستويات مختلفة من طبقة نباتية.

جدول (7-1) يوضح اختلاف سرعة الرياح في مستويات مختلفة من طبقة نباتية

الغطاء النباتي	الارتفاع(سم)	سرعة الرياح(م/ث)
بين جذوع الأشجار	10	1.0
عند تيجان الأشجار	50	3.7
فوق مستوى الأشجار	180	9.3

ولقياس سرعة الرياح هناك العديد من الأجهزة المتخصصة بالسرعة و الاتجاه.

ويمكن تقدير السرعة باستخدام مقياس بوفورت والموضح في الجدول (7-2). والتي يتوجب

علينا مراعاة النقاط الأربع الآتية للتعرف عليها :
1- الفترة التي تهب فيها الرياح.
2- المدة التي يستمر فيها هبوب هذه الرياح.
3- الجهة التي تصدر منها هذه الرياح.
4- سرعة الرياح ومدى ترددها.

جدول (7-2) يوضح مقياس بوفورت لقياس سرعة الرياح وآثارها

مقياس بوفورت	نوع الرياح	السرعة م/ث	التأثير الناتج على الأرض
0	هواء ساكن	0-0.5	سكون والدخان يصعد في اتجاه رأسي.
1	هواء خفيف	0.5-1.5	يعين اتجاه الريح بحركة الدخان ولا يعينه دليل الرياح.
2	نسيم خفيف	2-3	يشعر الوجه بمرور الريح . تخشخش أوراق الشجر.
3	نسيم هادئ	3.5-5	يحرك أوراق الأشجار والأغصان الصغيرة وينشر الأعلام الصغيرة.
4	نسيم معتدل	5.5-7	يثير الغبار والأوراق المتساقطة والمتناثرة والتربة أيضا.
5	نسيم عليل	7.5-9.5	يحرك الشجيرات الصغيرة المورقة وتظهر أمواج صغيرة على سطح الماء في البحيرات والأنهار.
6-	نسيم قوي	10-12	يحرك الأغصان الكبيرة ويسمع صفير أسلاك أعمدة الهاتف عند اصطدامه بها ويصعب حمل المظلات.
7	رياح عالية	12.5-14.5	تتحرك جميع الأشجار ويصعب السير ضد اتجاه الريح
8	هوجاء	15.5-18	تتكسر الأغصان الصغيرة وتتأثر حركة المواصلات.
9	هوجاء شديدة	18.5-21	خسارة خفيفة في الأبنية والساريات الخ.
10	هوجاء عاصفة	21-25	يقتلع الأشجار وخسارة في الأبنية والبيوت.
11	زوبعة	25.5-29	تخريب شديد وتتطاير أسقف بعض البيوت
12	إعصار	أكثر من 29	تخريب عام - غرق بعض السفن وضحايا في الأرواح، يندر حدوثها في غير البحار

وردة الرياح :

الهدف منها أخذ فكرة رئيسية عن النسب المئوية لاتجاهات الرياح في المنطقة المعنية وكذلك معرفة السرعات وتحديد مجموعاتها المناسبة والضارة بالزراعة. وهي عبارة عن خطوط نسبية توافق النسبة المئوية لعدد مرات هبوب الرياح في الاتجاهات المختلفة ابتداءً من دائرة المرصد فتكون هذه الخطوط طويلة أو قصيرة تبعاً لهذه النسبة.

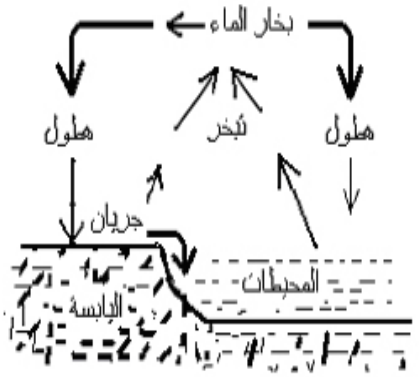
الفصل الثامن
رطوبة الجو والتربة
ATMOSPHERIC AND SOIL MOISTURE

تؤدي الرطوبة دوراً هاماً في كل العمليات الطبيعية التي تحدث في الهواء والتربة ، إلى جانب العمليات الفيزيائية المختلفة في حياة النبات والحيوان.
فأعضاء النبات تمتص بواسطة الجذور من التربة الرطوبة المحتوية على المواد العضوية والمعدنية المختلفة وتفقدها من خلال سطح أوراقها في العملية الفيزيائية لتنظيم النظام الحراري فيها.
والماء الذي يتواجد في الهواء والتربة بصوره المتعددة السائلة والغازية والصلبة يمر بمراحل متعددة من مراحل الدورة المائية.

مراحل الدورة المائية "THE HYDROLOGICAL CYCLE":

ينقل الهواء أثناء حركته الدورانية كميات هائلة من بخار الماء غير المرئي الذي يحمله الغلاف الجوي بكمياته الضخمة بالذات من فوق المحيطات إلى اليابسة مكونا السحب والتي إذا ما أدت إلى هطول المطر فإنها تغذي مياه الأنهار والمجاري المائية تحت الأرض والتي تنتقل بدورها إلى المحيطات مكملة بذلك دورة مائية كبرى .

وتتكون الدورة المائية من ثلاث مراحل أساسية وهي:
1) تبخر الماء من المحيطات و البحار إلى الغلاف الجوي
2) نقل الهواء للماء لكي يهطل على اليابس
3) جريان الماء إلى البحر



شكل (8-1) الدورة المائية في الغلاف الجوي

والدورات الجزئية عديدة تحدث في نطاق الدورة العامة للماء .كعمليات التبخر من الأرض المبللة ، والمستنقعات والبحيرات والنتح من المزروعات وغيرها . وقد يتكثف هذا البخار بعد ذلك ويهطل على اليابسة في دورة جزئية من دورات الماء.
ودورة جزئية أخرى عندما لاتصل المياه المتبخرة إلى اليابسة وتهطل مباشرةً فوق المحيطات والبحار .
وتتبخر أحياناً قطرات المطر قبل وصولها إلى الأرض
وهذا التحول من حالة البخار إلى الحالة السائلة ثم إلى حالة البخار يعتبر دورة جزئية أخرى من الدورة المائية.
وتعكس الدورة العامة للماء من خلال المعادلة العامة للتوازن المائي :

$$r = E + fw + G \qquad (8\text{-}1)$$

r- الأمطار E- التبخر fw- الجريان السطحي
G- كميات الماء المتسرب ضمن التربة نحو الأعماق
إذا أهملت الكميات G ، fw نظراً لمحدودية تغيرها السنوي فإن المعادلة يمكن أن تصاغ على النحو التالي :

$$r = E \qquad (8\text{-}2)$$

وتعتبر هذه المعادلات مهمة في تقدير احتياطي المياه ومؤشراً يحدد تدفق المياه إلى الأنهار في ظل غياب الرصدات لكمية المياه المتدفقة إلى الأحواض المائية.

وفي سياق هذه الدورة المائية قد تغير جزيئات الماء صورتها الفيزيائية لعدد من المرات (شرائح ثلجية، بحيرات جليدية) وتذوب بعد ذلك لتتحول إلى صورة سائلة، ثم تتبخر متحولة إلى صورة غازية، ثم تتكاثف و تهطل مطراً مرةً أخرى متحولة إلى صورة سائلة.

وتعتبر هذه العمليات الجوية الخاصة بالتبخر والتكثف حلقة هامة في سلسلة ما يحدث في الدورة المائية وتعكس حالة الرطوبة في الغلاف الجوي والتي لها أهمية كبيرة بالنسبة لكافة الظواهر المائية . وتزداد قدرة الهواء على حمولته من بخار الماء بازدياد درجة حرارته . ويعبر عن حالة الجو الرطوبية بعدة أشكال:

عملية البخر"Evaporation":

من المعلوم أن جزيئات أي سائل في حالة حركة دائمة ولهذا فإن الجزيئات سريعة الحركة، يمكنها الإفلات من السائل والدخول في الهواء الواقع فوقه. وتسمى هذه العملية بالبخر.ويحدث عند أي درجة حرارة ، وذلك إذا ما كان الهواء الواقع فوق هذا السطح بعيدا عن التشبع. بينما يحدث الغليان في كل أجزاء السائل وفيه يتم التحول من الصورة السائلة إلى الصورة البخارية دائماً عند درجة حرارة محددة.

ضغط بخار الماء " Water Vapour pressure":

بتبخر الماء فإن جزيئات البخار تحدث ضغطا بالجو وبهذا يصبح ضغط بخار الماء هذا جزء من الضغط الكلي للجو، فإذا زاد عدد جزيئات البخار في الهواء نتج عن ذلك ارتفاع في قيمة ضغط بخار الماء. وإذا زاد ضغط بخار الماء إلى تلك الدرجة التي عندها يمتنع إفلات مزيد من جزيئات بخار الماء التي تترك الماء فإن ضغط بخار الماء هذا يسمى بضغط البخار المشبع. ويعبر عن قوة الضغط التي يمارسها بخار الماء الموجود في الجو على وحدة المساحة.

ويتناقص بخار الماء بالارتفاع إلى حوالي النصف عما هو عند مستوى سطح البحر وهو ما يعني نقص كمية الماء في وحدة الحجوم بالارتفاع .

نقص الإشباع "Vapour Pressure Deficiency":

وهو مقدار الفرق بين ضغط بخار الماء المشبع وبين ضغط بخار الماء الموجود فعلاً في الهواء.

الرطوبة النسبية"Relative Humidity":

هي مقياس مناسب لدرجة اقتراب أو ابتعاد الهواء من التشبع ببخار الماء، وتعتبر النسبة بين كتلة بخار الماء الموجودة فعلاً في حجم من الهواء إلى كتلة بخار الماء اللازمة لتشبع حجم الهواء هذا عند درجة الحرارة نفسها. وتحسب الرطوبة النسبية من المعادلة الآتية:

$$RH = (ed / ea) \times 100 \qquad [8\text{-}3]$$

RH- الرطوبة النسبية % ed- ضغط بخار الماء الفعلي

ea- ضغط بخار الماء المشبع

نقطة الندى "Dew Point":

إن قيمة درجة الحرارة التي يكون عندها الجو مشبعا ببخار الماء، هي ما تعرف بدرجة حرارة

نقطة الندى، حيث يبدأ عندها حدوث بعض تكاثف لبخار الماء. بعبارة أخرى، إذا بردت عينة من الهواء الرطب غير المشبع مع ثبوت الضغط فإننا نصل تلقائيا إلى درجة حرارة يحدث عندها التشبع ودرجة الحرارة هذه تسمى درجة حرارة نقطة الندى.الجدول (8-1).

جدول (8-1) يوضح خواص بخار الماء المشبع

حجم بخار الماء (g/m 3)	درجة الحرارة (Tc^0 TemperatureTc)
2.74	-8
3.66	-4
4.84	0
6.33	4
8.21	8
10.57	12
13.50	16
17.12	20
21.54	24
26.93	28
33.45	32
41.81	36

طبقاً للجدول (8-1)، يحتوي الهواء المشبع عند درجة 20 م° على 17.1جرام / م^3 من الماء. لنفرض أن الهواء يحتوي بالفعل على 17.1جرام/ م^3 من بخار الماء . فإذا كانت درجة حرارة الهواء فوق 20 م°، فإن الهواء يمكن أن يحتوي كمية أكبر من البخار. أما إذا كانت نفس الكمية من بخار الماء موجودة ثم برد الهواء تحت 20 م° (كما يحدث عند غياب الشمس)، فإنه سوف يصبح فوق المشبع بمجرد أن تنخفض درجة الحرارة تحت 20 م°. وعند درجة الحرارة المذكورة وما تحتها تبدأ القطيرات في السقوط من الهواء على هيئة ضباب أو ندى أو مطر . وتسمى درجة الحرارة التي يصبح الهواء عندها مشبعا بالكاد نقطة الندى .

ونقطة الندى للهواء كمية نافعة جداً .

مثال: لنفرض أن درجة حرارة الهواء في يوم معين كانت 32 م°.

وفي هذا اليوم قام أرصادي في مكتب الأحوال الجوية بتبريد بعض الهواء حتى بدأ الندى أو الضباب الترسب فيه . لنفرض أن ألأرصادي قد وجد أن نقطة الندى هي 16م° . وبالاستعانة بالجدول (8-1) استطاع هذا الرجل أن يعلم أن الهواء يحتوي على 13.50 جرام / م^3 من بخار الماء ، لأن هذه هي قيمة ضغط بخار الماء المشبع عند درجة 16م° . وحيث أن درجة الحرارة الفعلية للهواء 32 م° فإن الهواء المشبع عند هذه الدرجة يجب أن يحمل 33.45 جرام / م^3 من الماء (انظر الجدول) . وبحساب الرطوبة النسبية باستعمال هاتين القيمتين ، وجد الأرصادي أن الرطوبة النسبية تساوى:

$$RH = m/ms \qquad [8-4]$$

RH = 13.50 / 33.45 x 0.40

RH- الرطوبة النسبية

m- حجم بخار الماء الفعلي

ms- حجم بخار الماء المشبع

وعادة تضرب هذه الإجابة في 100 ونقول أن الرطوبة هي 40 %.

يمكن قياس الرطوبة النسبية بطرق أخرى غير تعيين نقطة الندى. وتعتمد إحدى الطرق الشائعة ، وهي طريقة البصيلة الرطبة والبصيلة الجافة ، على أساس أن السوائل تسبب تأثيرا تبريديا عندما تتبخر (نتيجة لامتصاص حرارة التبخير) وأن التبخير يتوقف عندما يكون البخار مشبعا ، ومن ثم إذا قورنت قراءة ترمومتر جاف بقراءة ترمومتر موضوع حول بصيلته قطعة مبللة من القماش ، فإن قراءة الترمومتر ذي البصيلة المبللة تكون دائما أقل من قراءة الترمومتر ذي البصيلة الجافة . والفرق بين القرائتين مقياس مباشر للرطوبة النسبية ، فكلما كانت الرطوبة النسبية منخفضة ، كان الفرق بين قراءتي الترمومترين كبيرا . وقد جهزت جداول خاصة تربط الرطوبة النسبية بهذا الفرق بين درجتي الحرارة بحيث يحتاج الشخص فقط إلى قراءة الترمومترين لكي يمكنه تعيين الرطوبة النسبية.

وتسبب الرطوبة النسبية العالية في الصيف ضيقا شديدا لنا ، وهذا راجع لأننا نعرق في الصيف وأن تبخر العرق يبرد سطح الجلد . فإذا كانت الرطوبة النسبية 100 % فلن يحدث تبخر للعرق، وبالتالي لن يحدث أي تبريد لسطح الجلد. وهذا هو السبب في أن إحساسنا بالحرارة أقل في المناخ الجاف منه في المناخ الرطب.

التكثف "Condensation":

يحدث التكثف لبخار الماء بالغلاف الجوي نتيجة لتبريد الهواء وبشرط وجود نويات تكثف وهي دائما متواجدة بالغلاف الجوي . وهي عملية عكسية لعملية التبخر وهي التي تحدث حينما يتحول بخار الماء إلى ماء سائل.

الضباب "Fog":

ينجم الضباب عن تكاثف بخار الماء بملامسة سطح الأرض أو بالقرب منها أو بوجود نويات التكاثف . فيبرد الهواء الرطب في هذه المنطقة إلى ما هو أقل من نقطة الندى.

ونتيجة للتبريد الحادث عن العمليات الإشعاعية تتكون سحابة على سطح الأرض مباشرة تسمى ضبابا . وكثيرا ما يتكون الضباب عندما يمر هواء حار رطب على سطح يابس أو سطح مائي باردين. وذلك لأن الهواء الحار يشع جزء من حرارته إلى السطح البارد الذي يقع تحته وبذلك تتناقص درجة حرارته إلى نقطة الندى ويتكثف بخار الماء مكونا ما يسمى بضباب الانتقال الأفقي الإشعاعي . والانتقال الأفقي هنا يعني حركة الهواء الأفقية على سطح الأرض.

السحب "Clouds":

هي عبارة عن تجمعات لبخار الماء المتكاثف بشكل قطرات (جزيئات) مائية أو ثلجية دقيقة سابحة في الجو ومعلقة في الهواء لصغر حجمها وخفتها. وهي بذلك لا تلامس الأرض مطلقاً. ويمكننا مشاهدة العديد من أنواع السحب المختلفة بالغلاف الجوي وهذا الاختلاف نابع من نوع الحركة التي تتسبب في تبريد الهواء وتكثف بخار الماء به فالحركة الفجائية الصاعدة والتسخين السطحي يعملان على تكون السحب من النوع الركامي التي غالبا ما تتباعد عن بعضها البعض

وتتخللها فجوات صافية.
والسحب التي تتكون عن طريق الحركة الصاعدة التدريجية للهواء الرطب تسمى بالسحب الطبقية . وهي على صورة صفحات أو طبقات تغطي مساحات كبيرة من السماء. ويتسبب الاختلاف في تشكل السحب ونوعيتها في تباين أنواع الهطول.
فالحركة الرأسية القوية تحدث بالسحب الركامية التي يصاحبها زخات مطر وعواصف رعدية بينما الحركة الصاعدة الضعيفة المصاحبة لحركة الهواء الأفقية ينتج عنها سحب طبقية وهطول مستمر للأمطار.

تقسيم السحب بالنسبة للارتفاع :

تنقسم السحب دوليا بحسب ارتفاع قواعدها إلى (10) أجناس داخل المجموعات الرئيسية الآتية :

1- السحب المنخفضة: وهي الغيوم التي لا يقل ارتفاع قواعدها عن 200م ولا يزيد عن 2000م.
2- السحب المتوسطة: وهي الغيوم التي يتراوح ارتفاعها ما بين 2000م إلى 6000م.
3- السحب العالية: وهي عبارة عن الغيوم التي يكون ارتفاعها محصورا ما بين 6000م إلى 15000م وقد تصل 18000م في المناطق الاستوائية.

كما قسمت الأجناس إلى أنواع بلغ عددها 14 نوعاً، حيث يتبع كل جنس أكثر من نوع، كما قسمت الأنواع إلى أصناف.

جدول (8-2) تقسيم المجموعات حسب الارتفاع

تقسيم المجموعات	السحب المنخفضة قاعدتها بين 200- 2000م	السحب المتوسطة قاعدتها بين 2000- 6000م	السحب العالية قاعدتها بين 6000- 15000م	ذات الانتشار العمودي، قاعدتها على ارتفاع 500م فأعلى
الصنف	طبقي-مزني طبقي- طبقي ركامي	طبقي متوسط الارتفاع ركامي متوسط الارتفاع	سمحاقي ركامي طبقي ركامي سمحاقي	الركامي المزني الركامي
ملاحظات	قد يحدث في بعض الأحيان أن تهبط قاعدتها لتصل إلى سطح الأرض وقد يتحول الضباب بفعل الشمس والرياح إلى هذه الغيوم	قد يتراوح ارتفاعها من 2-8كم	الارتفاع ليس واحداً في جميع العروض فهو عند القطبين بصورة عامة أقل منه عند خط الاستواء	قد تصل قمتها إلى منطقة السحب العالية.

ويمكن تصور تقسيم السحب بالنسبة للارتفاع من خلال الشكل (8-2).

تقسيم السحب بالنسبة للشكل :

تنقسم السحب بالنسبة لشكلها إلى ثلاثة أقسام وهي:

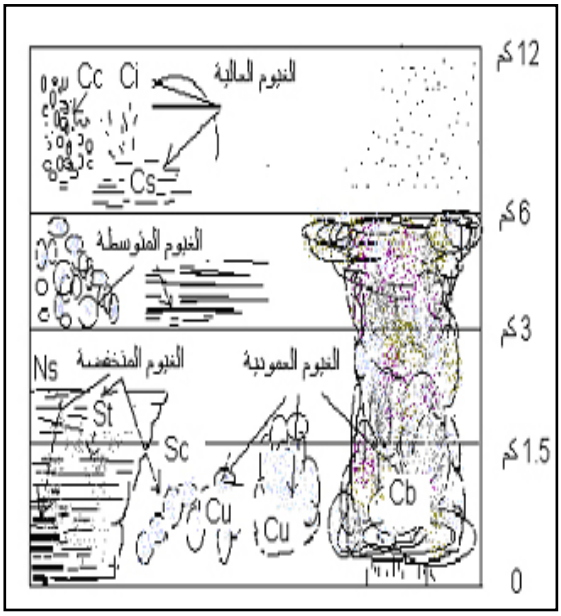
1- السحب الطبقية "Cloud Stratus":

وهي سحب رمادية اللون لها قاعدة منتظمة ويمكن أن تعطي رذاذا أو منشورات جليدية أو حبيبات ثلجية. ولا يسبب السحاب الطبقي ظاهرة الهالة إلا في درجة الحرارة المنخفضة

جداً. وفي هذا النوع يوجد : المزنى الطبقي (Nimbo Stratus(Ns)، الركام الطبقي (Strato Cumulus(Sc)، السحاق الطبقي(Cirro Stratus(Cs) والطبقي المتوسط (Alto Stratus (As).

2- السحب الركامية "Cumulus Cloud":

وهي سحب متفرقة كثيفة ولها حدود واضحة المعالم وتنمو راسيا على شكل روابي أو أبراج أو قباب وغالبا ما تشبه القسم العلوي المنفتح منها القرنبيط أما قواعدها فهي داكنة وأفقية تقريبا وتكون الأجزاء المضأة منها بنور الشمس غالبا بيضاء لامعة . وفي هذا النوع يوجد : الركام المزني (Cumulo Nimbus)



شكل (8-2) تقسيم السحب بالنسبة للارتفاع

3- السحب السمحاقية "Cirrus Cloud":

وهي سحب متقطعة على شكل خيوط رفيعة أو خطوط أو حزم بيضاء ضيقة ولهذه السحب مظهر ليفي (شعري) أو حريري أو الاثنين معا. وفي هذا النوع يوجد : السمحاق الركامي (CirroCumulusCc)

شكل (8-3) سحب طبقية Cloud Stratus

شكل (8-5) سحب سمحاقية (Cirrus Cloud)

شكل (8-4) سحب ركامية (Cumulus Cloud)

جدول (8-3) يوضح فصائل السحب

فصيلة السحب الطبقية	فصيلة السحب الركامية	فصيلة السحب السمحاقية
السحب الطبقية Stratus(St) المزنى الطبقي Nimbostratus (Ns) الركام الطبقي Stratocumulus(Sc) السمحاق الطبقي Cirrostratus(Cs) الطبقي المتوسط Alto Stratus (As)	السحب الركامية Cumulus(Cu) الركام المزني Cumulonimbus(Cb) الركامية المتوسطة Altocumulus(Ac) السمحاق الركامي Cirrocumulus(Cc)	السمحاقية Cirrus(Ci)

مدلولات الغيوم :

أولاً: الغيوم العالية - السمحاقية Cirrus :

السمحاق السميك Cirrus densis :

- يدل على احتمال قدوم جبهة هوائية حارة مع اضطراب جوي.

السمحاق الخصلي (ذيل الحصان) :

- يدل على احتمال قدوم منخفض جوي مع عواصف واضطراب جوي خلال 24 - 36 ساعة.

السمحاق الطبقي Cirro stratus :

- يدل على احتمال قدوم منخفض جوي مع عواصف واضطراب جوي خلال 24 - 36 ساعة.

السمحاق الركامي Cirro Cumulus (تجعدات رمال الشاطئ):

- يدل على احتمال اضطراب جوي.
- يظهر عند المساء بلون برتقالي محمر، أو متمازج من البرتقالي إلى الأحمر (شكل حراشف السمك).

سمحاق ركامي + سمحاق طبقي :

- يدل على احتمال قدوم عواصف.

ثانياً: الغيوم المتوسطة:

مزني طبقي Nimbo stratus :

- يدل على احتمال تزايد الهطول واشتداد العاصفة.

ركامي متوسط Alto Cumulus :

- دليل على قرب قدوم العاصفة.

ركامي متوسط له أبراج وقلاع Alto Castellanus:

- دليل على قرب قدوم العاصفة.

الركامي المتوسط الثدي Alto Cumulus mamatus :

- دليل على قرب قدوم العواصف بعد الظهر أذا كانت الغيوم صباحية.
- دليل على قرب قدوم العواصف ليلاً أذا كانت الغيوم مسائية.
- دليل على قدوم العواصف مع برد وزخات مطرية يرافقها برق ورعد.

الركامي المتوسط العدسي Alto Cumulus lenticularis:

- دليل اشتداد الرياح وقرب قدوم العاصفة مع زيادة رطوبة الجو .
- مكانه خلف المرتفعات.

الركامي المتوسط الشفاف Alto Cumulus translucides:

- ينشأ بعد هطول المطر .

الركام المقبب ذي الأبراج:

- ظهوره في الصباح يدل على عدم استقرار الجو.
- حدوث تيارات هوائية صاعدة.
- حدوث عواصف شديدة يرافقها برق ورعد بعد الظهر .

الركام المزني السنداني Cumulo Nimbus:

- دليل قدوم العاصفة خلال دقائق أو ساعة أو ساعتين.
- العاصفة محملة بالبرد تدوم لمدة (30) دقيقة بشكل زخات وبرق ورعد.

طبقي ركامي Strato Cumulus :

- دليل قدوم الهواء البارد مع الإيذان بقدوم العاصفة خلال الساعات القادمة مع اضطرابات جوية.

غيوم مختلطة - السماء مشوشة :

- دليل الجو غير المستقر - مع اضطراب قريب في الجو يرافقه هطول.

التهطال "Precipitation":

هو كل ما يهطل من السماء بشكل سائل أو صلب، كالمطر، البرد، الثلج.

المطر (Rain):

شكل من أشكال التهطال ، وهو عبارة عن قطرات ماء صغيرة الحجم يزيد قطرها عن 500 ميكرون ، وهي أكبر من القطرات المكونة للرذاذ .

الرذاذ (Drizzle) : عبارة عن تهطال مائي سائل خفيف جداً ، تكون أقطار قطيرات الماء فيه أقل من 500 ميكرون (0.5مم) .

البرد (Hail): هو شكل من أشكال التهطال الصلب ، يتخذ شكل كرات من الجليد يتراوح قطر الواحدة منها بين 50-5 مم ، ويزيد أحياناً على ذلك . أما وزن حبات البرد فيصل أحياناً إلى أكثر من 100 جرام، وإن كان في بعض الحالات يزيد عن نصف كيلوجرام.

ويهطل البرد من غيوم الركام المزني، إذ يقترن هطول البرد بتلك الغيوم المتصفة بنشاط التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة ضمنها.

الثلج (Snow):

هو تهطال صلب على شكل بلورات من الجليد معظمها ذات أفرع تشبه شكل النجوم . ويتم الهطال الثلجي من غيوم الطبقي المتوسط ، والركام المزني ، عندما تنخفض درجة الحرارة في تلك الغيوم إلى ما دون درجة التجمد ، حيث يحدث عندها ترسب لبخار الماء فوق نويات التجمد على شكل بلورات جليد . وما أن تبلغ تلك البلورات حجماً يعجز الهواء عن حملها حتى تسقط تجاه سطح الأرض .

الشابورة "Mist" :

عبارة عن تجمع كثيف لقطيرات الماء المتناهية الصغر في الهواء القريب من مناطق سطح

الأرض ، ويؤدي هذا التجمع إلى خفض الرؤية الأفقية إلى ما يقل عن 1000متر.
ويتطلب التهطال توفر الشروط الضرورية كالبرودة والتكثيف وتوفر الجسيمات الغريبة كالغبار والدخان وانخفاضا في درجة الحرارة. وتتم كل هذه العملية نتيجة طبيعية لتسخين المسطحات المائية والأراضي المزروعة والرطبة ، وتصعيد الهواء وتبريده عبر الطرق الآتية:
1. الصعود التضاريسي ، وهذا مرده إلى اصطدام الكتلة الهوائية بحاجز تضاريسي مرتفع مما يجبرها على الصعود ، ومن ثم التبرد.
2. الصعود الحملاني ، وينجم عن تسخين المسطحات المائية والأراضي المزروعة والرطبة ، نتيجة تمدد الهواء وصعوده إلى أعلى على هيئة بخار.
3. الصعود السيكلوني (الجبهي) ، ويتم بفعل تصادم كتلتين هوائيتين مختلفتين في درجة حرارتهما ورطوبتهما ، مما يجعل الكتلة الهوائية الحارة الأخف تصعد نحو الأعلى فتبرد ويتكاثف بخار مائها ويتم الهطول .

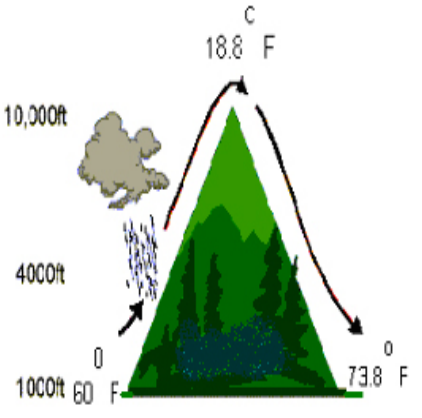
العوامل التي تؤثر في توزيع الأمطار على سطح الأرض:

تتحكم مجموعة من العوامل في توزيع الأمطار الهاطلة سنويا على سطح الأرض وأهم هذه العوامل ما يلي:

1- الارتفاع: كما هو معروف بأن الغيوم تتشكل في أعالي الجو بعيدا عن سطح الأرض ينتج عنها تهاطل مختلف الأشكال (مطر ، برد ، ثلج) .
وتتزايد الأمطار بالارتفاع إذ ترفعها الرياح الصاعدة إلى الأعلى وبدخولها مستوى التجمد تتحول لبلورات ثلجية. وهكذا حتى حد معين حيث تبدأ الأمطار بعده بالتناقص لأن الرياح المحملة بالرطوبة تفقد تدريجيا بالارتفاع قسما من هذه الرطوبة (التي تتكاثف وتنزل على هيئة أمطار). وتتوقف غزارة الأمطار على الجهة التي تهب منها الرياح. كما إن كمية التهطال تتزايد مع تزايد الارتفاع عن مستوى سطح البحر، ومعدل التزايد هذا يختلف مع المظهر الطبوغرافي ، ومع الحالة الجوية العامة السائدة. إلا أن التهطال لا يتزايد بصورة مطلقة مع تزايد الارتفاع ، ذلك أن هناك مستوى يكون عنده الهواء قد فقد الجزء الأكبر من حمولته من بخار الماء ، وهذا المستوى الذي يعرف بمستوى التهطال الأعظم يعقبه تناقص في كمية التهطال مع الارتفاع.
وإذا كان مستوى التهطال الأعظم يقع على ارتفاع 1000 في هاواي ، فإنه يرتقي ارتفاع 3000 متر في أفريقيا الشرقية، وفي جبال نيفادا في ولاية كاليفورنيا يقع على ارتفاع يقارب من 1500متر . وفي بلادنا على ارتفاع 2000 متر في محافظة "إب".
ويرى عبدالقادرعساج أن للتضاريس الدور الأكبر في سقوط الأمطار في مدينة صنعاء لبعدها نسبياً عن منطقة اللقاء الاستوائية ITCZ . حيث تساعد التضاريس في عملية رفع الرياح الرطبة إلى الأعلى لتنخفض درجة حرارتها ومن ثم تزداد كثافتها على شكل قطرات مائية ما تلبث أن تسقط أمطاراً على سطح الأرض بعد أن يثقل وزنها، وهذا ما يحدث في مرتفعات اليمن الغربية إذ تساهم المرتفعات الغربية المواجهة للرياح الرطبة في تلقي أعلى نسبة من الأمطار الأمر الذي يعزز دور المرتفعات اليمنية وتأثيرها في الأمطار.
وكان لموقع اليمن المداري ولا يزال أكبر الأثر في تشكيل عناصر المناخ جميعها ولاسيما عنصر الأمطار، إذ أن هذا الموقع جعل اليمن منطقة التقاء الكتل الهوائية المدارية صيفاً ويطلق عليها (ITCZ). إذ أن منطقة اللقاء المدارية تتحرك مع حركة الشمس الظاهرية محدثة تغيرات

وتبدلات طقسية كبيرة في المنطقة التي تحدث فيها .

2- درجة التعرض: إن السفوح والجبال المقابلة للرياح المحملة بالرطوبة يكون حظها من الأمطار أكثر من المنحدرات الواقعة خلفها والتي تليها. فالسفح المقابل للرياح يكون أكثر رطوبة والمنحدر الذي خلفه يكون أكثر جفافا ويطلق على هذه المنطقة (ظل المطر) إذ تصلها الرياح ورطوبتها قليلة لأنها قد أفرغت قسما كبيرا من حمولتها على السفح المقابل المبتل. و أن وجود هذه السلسلة الجبلية وشكلها وهضابها وقممها تتحكم في وجود مناطق قليلة الأمطار، شبه صحراوية خلفها. شكل (8-6).



شكل(8-6) تأثير الجبال المقابلة للرياح المحملة بالرطوبة على الأمطار

3- الرياح: إن لإتجاه الرياح ونوعيتها ومصدرها دور فعال على توزيع الأمطار فالرياح الرطبة القادمة من البحر تتسبب بهطول أمطار غزيرة أكثر من الرياح القادمة من اليابسة.

كما أن الرياح القادمة من المسطحات المائية الدافئة تتسبب في هطول أمطار أكثر من الرياح التي تمر على سطوح مائية باردة.والسبب يعود في ذلك لارتفاع نسبة الرطوبة في الرياح القادمة من المسطحات المائية الدافئة .

وبالنسبة لتل – وهو بروز غير مرتفع بشكل يكفي لأحداث تحولات ترموديناميكية- فإن المنحدر المواجه للرياح يتلقى كمية مطر أقل من الجانب المعاكس للرياح ، لأن سرعة الرياح تزداد على الجانب المواجه للرياح وخاصة عند قمة التل ، أما على الجانب الآخر للتل فإن سرعة الرياح تقل ، ولذا فإن قطرات الماء تحمل بعيدا بواسطة الرياح العالية السرعة على الجانب المواجه حتى تصل إلى الجانب الآخر حيث الرياح أقل سرعة ، ومن ثم يزداد هطول قطرات الماء ، وهذا طبعا عكس ما يحدث على النطاق الأقليمي.

4- البحيرات والمحيطات: تزداد كمية الأمطار في المناطق المجاورة للبحار والمحيطات وذلك لارتفاع نسبة الرطوبة في الهواء القادم من هذه البحار ، مع توفر العوامل الأخرى كالتبريد في طبقات الجو العليا و انخفاض سرعة الرياح ....ألخ .

5- درجة خط عرض المكان: ترتبط غزارة الأمطار بدرجة خط عرض المكان فكلما أقتربنا من خط الاستواء زادت كمية الأمطار.

فالمناطق كثيرة التهطال المطري يتجاوز معدل أمطارها السنوي 2000ملم والمناطق القليلة الأمطار والأكثر جفافاً هي التي ينخفض معدل أمطارها السنوي عن 250ملم وما بين هذين الحدين توجد درجات متتابعة كالتالي:

- المناطق الغزيرة الأمطار يتراوح معدل أمطارها السنوي بين 2000 - 1000ملم.
- المناطق الممطرة ويتراوح معدل أمطارها السنوي بين 1000 - 500ملم.
- المناطق الحدية الأمطار ويتراوح معدل أمطارها السنوي بين 500 - 300ملم.
- المناطق الهامشية الشحيحة الأمطار ويكون معدلها السنوي دون 250ملم.

الرطوبة الجوية والنبات: إن الأثر الأكبر للرطوبة الجوية ينتج من تأثيرها على النتح من النباتات والذي ينعكس أثره على كافة الصفات النباتية . إضافة إلى ذلك فإن توفر الرطوبة الجوية يمكن أن يقلل من الاحتياجات المائية للنبات. فتنقص الرطوبة يؤدي إلى احتمال ذبول النبات في حال حدوث اختلال في التوازن المائي داخله ، وذلك عندما تزداد كمية المياه المنتوحة عن تلك التي يمتصها النبات من التربة .كما يؤدي نقص الرطوبة إلى سقوط الأزهار وبعض الثمار الحديثة العقد ، في حين نجدها تساعد على تكوين ثمار صلبة لها لب سميك حلو ذو نكهة جيدة كما في البطيخ والعنب . على حين يؤدي ارتفاع الرطوبة الجوية كثيرا إلى تعطيل عملية التلقيح وسقوط الأزهار في بعض النباتات وانتشار بعض الأمراض الفطرية.

كما أن بعض النباتات تجود زراعتها في المناطق ذات الأمطار الغزيرة مثل جوز الهند الذي يستخرج منه زيت الطعام في حين لو نقلت هذه النباتات إلى مناطق قليلة الأمطار قد لاتثمر.

وتزداد أهمية الرطوبة الجوية في تقدير الجفاف والمقننات المائية والتنبؤات بالأمراض والآفات الزراعية، وهو ما سنتعرض له بالتفصيل في الفصول القادمة.

رطوبة التربة "Soil Moisture":

هي تقدير كمية الماء الموجودة في التربة . وتقدير نسبة وزن الماء إلى وزن التربة الجافة . ومن المعروف بأن النبات لا يستفيد من كل الماء الموجود في التربة ، إذ أن جزء منه فقط يكون قابلا للإمتصاص بواسطة الجذور فمثلا لا يستطيع النبات إمتصاص الماء اللاصق بجزيئات التربة (الماء الهيجروسكوبي) ،ولكنه يستمد حاجته من الماء الشعري الذي تحتفظ به التربة بين حبيباتها . وكلما انخفضت كمية ماء التربة قلت الكمية المفيدة للنبات حتى يصل إلى مرحلة يتوقف فيها عن النمو ويذبل ، وتدعى كمية الماء في التربة في هذه الحالة بنقطة الذبول ، وعندها تصبح الحاجة ماسة لتزويد التربة بالماء . ولا تنمو جذور النباتات إلا في الأراضي التي تزيد رطوبتها عن نقطة الذبول ، إلا أن نمو جذور بعض النباتات في أراضي جافة لا يتم إلا إذا كان جزء من المجموع الجذري لهذا النبات واقعا في طبقة رطبة.

ويرتبط النمو الخضري وتكوين البراعم الزهرية والثمار برطوبة التربة ، فكلما ازدادت رطوبة التربة غزر النمو الخضري ، وتأخر موعد نضج الثمار . إذ أنه لتكوين غرام واحد من المواد الجافة يستهلك النبات من 200 - 1000 غرام من الماء . على حين إذا قلت الرطوبة ضعف النمو الخضري، وتغيرت نوعية الثمار التي تنضج بصورة أسرع ويقل حجمها.

الرطوبة النسبية للتربة:

هناك العديد من الطرق لقياس رطوبة التربة ونكتفي هنا بالإشارة إلى الطريقة المباشرة والرئيسية والتي تسمى بالطريقة الوزنية من خلال وزن عينات من التربة قبل وبعد التجفيف عن طريق التسخين إلى 102 - 105 م° وإيجاد الفرق بين التربة المبللة والجافة. ويمكن حساب الرطوبة النسبية للتربة من خلال المعادلة الآتية:

$$W\%=(P1-P2)\ /P2*100 \qquad [8-5]$$

W- رطوبة التربة% .

P1 - وزن العلبة قبل التجفيف.

P2 - وزن العلبة بعد التجفيف.

أشكال الماء في التربة :

يوجد الماء في التربة على أشكال مختلفة .. فقد يدخل في التركيب الكيميائي للتربة أو يكون على شكل ماء متبلور وهذا النوع من الماء عالي الثبات ولا يتحرك مطلقاً . ويمكن تلخيص أشكال الماء في التربة على النحو الآتي :

أ) الماء على شكل بخار :

يتحرك مع الطبقة السطحية للتربة مع الهواء وقد يتشكل مع الفراغات الأرضية لتبخر الماء السائل في التربة ، ويتحرك بخار الماء في التربة بحرية ، وهو ينتقل من الأماكن الرطبة إلى الأماكن الأقل رطوبة ومن الطبقات الحارة إلى الطبقات الأقل حرارة ، والأهمية العملية لهذا الشكل من الماء ضئيلة بالنسبة للأعمال الزراعية .

ب) الماء الهيجروسكوبي :

تمتص حبيبات التربة قسم من جزيئات الماء الموجود في مسامات التربة أو في الجو وتتوقف كمية الماء الهيجروسكوبي على طبيعة التربة وحرارة ورطوبة التربة فكلما كانت المساحة السطحية عالية وبالتالي تمسك أكثر كمية من جزيئات الماء إضافة إلى أن جزيئات التربة الصغيرة تؤدي إلى زيادة حجم المسامات وبالتالي زيادة حجم الماء الهيجدروسكوبي ولذلك نجد التربة الطينية واللومية تحتوي على ماء هيجروسكوبي أكثر من الرملية.

ولا يكون هذا الماء في متناول النبات ولا يستطيع الاستفادة منه.

جـ) الماء الغشائي:

بالإضافة إلى طبقة الماء الهيجروسكوبي المحيطة بحبيبات التربة توجد طبقة ثانية لايستفيد منها النبات ولا تستطيع جذوره من امتصاصها وتقدر تقريبا بضعف كمية الماء الهيجروسكوبي وتسمى بالماء الغشائي ، ورطوبة التربة المكونة للماء الهيجروسكوبي والماء الغشائي يسمى باحتياطي الرطوبة الميت لعدم استفادة النبات منه .

د) الماء الشعري:

هو الماء العالق الذي يملئ الفراغات والمسامات الدقيقة الموجودة في التربة وهو في حالة سائلة ويكون عالقا بسبب الخاصة الشعرية وهو يتحرك في مختلف الاتجاهات وخاصة من التربة ذات الشعرية العريضة إلى الطبقة ذات الشعرية الضيقة ، ويستفيد النبات من هذا الماء نظراً لسهولة حركته وتستطيع الجذور امتصاصه .

هـ) الماء الحر أو ماء الجاذبية الأرضية:

بعد أن تمتلئ كافة المسامات الشعرية بالماء وترتفع رطوبة التربة أكثر من ذلك فإن الماء يملئ المسامات الأكبر حجماً ويملئ أكثر الفراغات الموجودة في التربة ويصبح الماء أكثر حركة وأقل تعلقا وارتباطا بالتربة ويخضع لمبدأ الثقالة ، وهذا النوع من الماء يسمى بماء الجاذبية الأرضية ، ويتحرك من الطبقات العلوية إلى السفلية ويعمل على إشباعها بالرطوبة ، ويشارك في تغذية المياه الجوفية ويمكن للنبات أن يستفيد من هذا الماء .

مستوى الماء الأرضي :

في الطبقات السفلى للتربة يتجمع ماء الجذب الأرضي فوق سطح طبقة كتيمة ويملئ كافة الفراغات مشكلا المياه الجوفية والتي ترتفع كلما ازدادت المياه الجوفية . ونقصد بمستوى الماء

الأرضي عمق سطح الماء الجوفي عن سطح الأرض ويتغير منسوب الماء الأرضي تبعا لكمية الأمطار وعمق الطبقة الكتمية.

ثوابت الرطوبة المائية الزراعية :

يقصد بهذه الثوابت السعة الحقلية ومعامل الذبول وبالتالي الرطوبة المنتجة وهي الرطوبة المتوفرة للنبات والتي تستطيع جذوره من امتصاصها ، والرطوبة المنتجة المثالية هي الرطوبة التي تناسب النبات ليعطي مردود أفضل وإنتاج أوفر.

أ) السعة الحقلية:

هي كمية الرطوبة العظمى للتربة أي مدى استيعاب التربة للماء والذي يتعلق بالتركيب الميكانيكي للتربة (حجم الفراغات في التربة) ودرجة تماسكها ونسبة ما تحتويه من المواد المعدنية والعضوية .

ب) معامل الذبول (نقطة الذبول) :

وهي عبارة عن الماء في التربة والذي لا يكون متيسرا للنبات أي لا تستطيع الجذور امتصاصه أو الاستفادة منه.

وبالاعتماد على نقطة الذبول يمكن حساب كمية الماء المفيدة في التربة و يعين عامل الذبول مخبرياً ، حيث يستنبت بذور القمح أو الشعير في أنابيب زجاجية قطرها 3سم وعمقها 10سم تحتوي نماذج التربة المطلوب دراستها مع محلول مغذي للنبات (قمح أو شعير وهي في طور ظهور البادرة) ثم يغطى فوهة الأنبوب بقرص من الورق الشمعي لمنع التبخر من سطح التربة ويراقب النبات يومياً . وعندما يلاحظ الذبول على النبات تؤخذ عينة التربة لتعيين كمية الرطوبة باستحدام طريقة التجفيف السابقة الذكر، وهذه عبارة عن نقطة الذبول.

الفصل التاسع
المناخ الزراعي والمقننات المائية
Agricultural Meteorology And Crop Requirements

يؤدي هطول الأمطار إلى زيادة المخزون المائي للتربة وزيادة فعاليته من خلال التحكم في مياه الجريان وتغطية التربة بطبقة من التبن وحراثة التربة قبل بداية الموسم الزراعي واستخدام المخصبات المناسبة ...الخ. ويساعد الاستثمار الأمثل للمياه على تحسين واستقرار المحاصيل في المناطق الجافة حيث يمكن استخدام المياه المختزنة لإنقاذ المحصول وهي مياه رخيصة وتأثيرها جيد.

ويعرف تجميع المياه وتخزينها باستثمار المياه وإعادة استعمالها ، ويعتمد ذلك على التربة وغزارة الأمطار وحجم البرك والاستخدام الأمثل للمياه المتجمعة. ويمكن أن تكون لجدران البركة بطانة من الاسمنت المسلح لمنع التسرب والاستفادة المثلى من مياه الأمطار المتاحة.

ويقوم خبير الأرصاد الجوية الزراعية بدور حيوي من خلال اقتراح الطرق والوسائل اللازمة للاستغلال الأمثل والمخطط لهذا المورد النادر.

وعلى سبيل المثال يمكن استثمار المياه وإعادة استخدامها أضافه إلى إتباع الأنماط المناسبة لزراعة المحاصيل وتخفيض الفاقد المائي والاستفادة من المياه الجوفية والسطحية. ويمكن إجراء التجارب الخاصة بالتبخر والنتح لتحديد الاحتياجات المائية المثلى لفترات النمو الحرجة وجدولة عمليات الري بناءً على ذلك.

وخلاصة الأمر يمكن أن تؤدي إدارة التربة وتخطيط زراعة المحاصيل والاستغلال الأمثل للمياه إلى تحسين واستقرار إنتاجية المحاصيل أثناء السنوات التي تتفاوت فيها معدلات الأمطار . ويبدو أن بعض المحاصيل الزراعية مثل الذرة ناجحة جداً في المناطق الجافة لأنها تقاوم تقلبات الأمطار والجفاف. وتمثل الإجراءات التي يتم اتخاذها في منتصف الموسم الزراعي مثل عمليات الترقيع والتفريد أسلوباً لتلافي الإجهاد الجفافي للمحاصيل بسبب تأخر الأمطار. كما يمكن أن يساعد تجميع مياه الأمطار وتخزينها أثناء فترات هطول الأمطار الغزيرة واستخدامها الأمثل فيما بعد على إنقاذ المحاصيل من التلف.

فالماء من أهم العوامل الأساسية المحددة للإنتاج الزراعي . فهو على صوره الثلاث التي يوجد بها في التربة والنبات والجو المحيط به يتابع مهمته في تغذية النبات وعلى ضوئه تتحدد كمية المحصول خصوصا في المناطق الجافة . إذ أن الاتزان المائي في التربة هو الأساس في تغذية النبات . والماء الذي يصل إلى التربة على صورة أمطار وثلج وندى ، يفقد منها عن طريق التبخر من التربة والنتح من الأوراق والصرف.

ومن المعلوم أن هطولات المناطق الجافة وشبه الجافة غير منتظمة خلال فصل الهطول حيث تمر أحياناً عدة أسابيع دون أن يحدث الهطول ، أوقد تتركز الهطولات خلال بداية أو منتصف أو نهاية الفصل الماطر وتتضرر بذلك المحاصيل النباتية والنباتات الرعوية لأن هناك فترة حرجة للنبات يحتاج فيها للماء (مرحلة الطور الجنيني للقمح والشعير والشوفان) وفي بعض الأحيان تحدث الهطولات المبكرة فتنمو البادرات النباتية ، ثم ينحبس الهطول فترة طويلة من

الزمن فتجف التربة وتصل رطوبتها إلى نقطة الذبول الدائم فتموت البادرات النباتية ، لاسيما بالنسبة للنباتات الحولية دون أن تكتمل دورة حياتها والوصول لمرحلة تشكل البذور ، وبالتالي لن تنمو هذه الأعشاب خلال الأعوام التالية مما يؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي.
ولذا تحسب الأمطار الفاعلة والتبخر وتبخر النتح وغيرها من المؤشرات في أنظمة الري الحديث.

الأمطار الفاعلة" Effective rainfall ":

إن تغيرات الأمطار خلال شهر مهمة جداً لأنه إذا كانت كمية الهطول المطري في شهر 150ملم مثلاً فإن أثرها على الزراعة يكون مختلفاً تماماً أذا هطلت هذه الأمطار في يومين أو أذا توزعت على الشهر. وكلما كان عدد الأيام الممطرة كبيراً، كلما كان أفضل، وخاصة أذا توزعت الأيام الممطرة وتخللتها فترات جفاف قصيرة، لذلك يجب معرفة الأمطار اليومية أو على الأقل مجموع المطر كل عشرة أيام.
في بعض الاستخدامات لمعلومات الأمطار، مجموع كمية الأمطار اليومية ليست كافية، ولكن يجب معرفة هطول الأمطار خلال ساعات اليوم، حيث أنه أذا هطلت 50 ملم في اليوم في أربع ساعات، فإن أثرها يختلف تماماً عما أذا هطلت في الساعة الواحدة. وجهاز مقياس المطر العادي لا يعطي هذه المعلومة ، لذلك يستخدم مسجل المطر ، والذي يقوم بتسجيل هطول المطر أولاً بأول ، ومنه يمكن معرفة وقت بدء ووقوف الهطول المطري ، ومن ثم يمكن معرفة كثافة الأمطار بالملم في الساعة ، أو أي جزء من الساعة . وتؤثر كثافة الأمطار على أنجراف التربة ، وكمية الجريان السطحي Surface run off وبالتالي على فعالية الأمطار ، حيث تزيد فعالية الأمطار كلما كانت كثافة الأمطار قليلة ، مما يمكن التربة من امتصاص مياه الأمطار ، وبالتالي يقل الجريان السطحي وفقدان مياه الأمطار.
لذلك ليست كل الأمطار الهاطلة على أرض معينة أو محصول معين تدخل التربة ويستفيد منها المحصول ، إذ أن جزءاً منها يضيع في الجريان وجزء أخر يتبخر ، لذلك فإن الأمطار الفاعلة (Effective rainfall) تكون نسبة من الأمطار المقاسة بمقياس المطر . ولتقدير الأمطار الفاعلة بالأمطار الكلية هناك العديد من المعادلات لعل أهمها ما صدر من منظمة الأغذية والزراعة العالمية (FAO) وهي :

الأمطار الفاعلة = 0.6 X الأمطار الكلية – 10 [1-9]
عندما تكون الأمطار الكلية أقل من 70 ملم

الأمطار الفاعلة = 0.8 X الأمطار الكلية – 24 [2-9]
عندما تكون الأمطار الكلية أكثر من 70 ملم

وتعطي هذه الأمطار مؤشراً مهماً إلى جانب مجموعة من العوامل الأخرى أثناء حساب احتياجات المحاصيل الزراعية إلى الماء. والتي تختلف من محصول إلى آخر(الجدول9-1).

جدول (9-1) حاجة بعض الخضروات المختلفة إلى الماء

أسماء الخضروات	حاجتها إلى الماء	مرحلة النمو التي يحتاج خلالها النبات إلى أكبر كمية من الماء
الفاصوليا	قليلة	التلقيح،نموو تطور القرنات
البنجر	عالية جداً	خلال كل فترة النمو
الجزر	قليلة	خلال كل فترة النمو
الخيار	عالية	فترة الأزهار ونشؤ واكتمال الأثمار
الخس الورقي	عالية جداً	خلال فترة النمو كلها
الشمام	مقاومة للجفاف	فترة الأزهار وتكون الأثمار
البصل	عالية	فترة نشؤ البصلات
البازيلا	قليلة	الأزهار وتطور الأثمار
الفلفل	عالية	الأزهار وبعد كل جمع الأثمار
الفجل البري	عالية جداً	خلال فترة النمو
اليقطين	مقاومة للجفاف	نشؤ البراعم والأزهار
البندورة	عالية	فترة الأزهار وبعد كل جمع للمحصول

ويتم حساب الاحتياجات المائية من خلال مجموعة من العلاقات الرياضية التي تربط العوامل الجوية بالتبخر وتبخر النتح.

التبخر والتبخر نتح"Evaporation & Evapotranspiration Evaporation":

التبخر بصورة عامة هو تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية . ويتبخر خلال السنة ما يعادل 450.103 كم^3 من المحيطات ومن اليابسة حوالي 70.103 كم^3 .

وتعتمد كمية المياه المتبخرة من الأجسام المختلفة على الإشعاع ودرجة الحرارة وعلى فارق ضغط بخار الماء فوق هذا الجسم والهواء وسرعة الرياح . ويكون التبخر أنشط في الفصل الأكثر تفاوتا في قيمة ضغط البخار بين الهواء والسطح . إذ أنه كلما كان ضغط بخار الماء في الهواء أقل من ضغط بخار الماء فوق سطح الماء فإن التبخر حاصل إلى أن يتساوى الضغطان مع بعضهما. فعندها يتوقف التبخر حيث يصبح الهواء مشبعاً ببخار الماء.

ويمكن حساب سرعة التبخر "S" بمعادلة دالتون-أفجوست "Dalton-Avgost" ، حيث أن " S " يتناسب طردياً مع العجز في ضغط بخار الماء (E-e) وعكسياً مع الضغط الجوي (P) .

$$S = A (E-e)/P \qquad [9-3]$$

S - سرعة التبخر

A- معامل يعتمد على سرعة الرياح

(E-e)- العجز في ضغط بخار الماء

P- الضغط الجوي

فعند زيادة (E-e) فإن سرعة التبخر تتزايد . وتختلف هذه السرعة في اليابسة عن البحار والمحيطات ، ففي اليابسة تغيرات الضغط ليست كبيرة . ولذلك فتأثيره ليس كبيراً على سرعة التبخر ، بينما فوق البحار والمحيطات على العكس يكون التأثير كبيراً والتبخر أكبر.

وقد لوحظ على أن تبخر مليمتر واحد من الماء يحتاج إلى 60 حريره بالسنتمتر المربع وأن

ما تحويه التربة من مخزون مائي يستفيد منه النبات وبالنسبة للماء الاحتياطي فيها له الدور الأساسي في تحديد رطوبة التربة بالنسبة للسعة الحقلية التي تحويها ثم لنقطة الذبول فعلى حساب النسبة بينها يمكن حساب استهلاك الماء وتقدير مدى قربه من نقطة الذبول التي تحدد حياة النبات مما يجعلها في خطر شديد. إن التوازن المائي في التربة له أكبر الأثر في تحديد حياة النبات . وهو مرتبط بدرجة رئيسية بكميات الماء المتوفرة في التربة والكميات المفقودة منها .

فالعاملون في المشاريع الإروائية جميعاً يهدفون إلى أن يجد المحصول في المشروع حاجته من الماء بالكميات الكافية وفي الوقت المطلوب . ويهدف إلى ذلك المهندس والإداري والمزارع. وحجر الزاوية في ذلك هو " الاحتياجات المائية للمحصول "، والتي تعتمد على العوامل الجوية وخصائص التربة، خاصة الفيزيائية وعمق وكثافة الجذور وشكل النبات الهندسي (ارتفاعه- تفرعه ومدى تغطية التربة).

ولقد أجريت العديد من البحوث في مراكز البحوث العلمية المنتشرة في بقاع العالم المختلفة وفي الأقاليم المختلفة لتحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل الرئيسية ، وأثبتت تلك البحوث مدى صعوبة تحديد تلك الاحتياجات ، إذ أن العوامل التي تحددها كثيرة وتتفاعل مع بعضها البعض بطريقة معقدة جداً . حاول العلماء أن يفصلوا أثر العوامل الجوية من عوامل التربة والنبات وأختار بعضهم محصول مرجعي وعرفوه كما يلي :

" نبات ارتفاعه ثابت، يغطي الأرض تماماً، مزود بحاجته من الماء باستمرار وحاجته من السماد بالكميات المطلوبة، كما يجب أن يكون معافى من الأمراض "

هذا التعريف النظري يعني أن عوامل رطوبة التربة تصبح لا تأثير لها لأن النبات يأخذ حاجته من الماء بسهولة – الأمر يكون مختلفاً في الواقع عندما يكون هناك نقص في رطوبة التربة.

كذلك أصبح عامل النبات ثابتاً نسبة لارتفاعه الثابت في هذا التعريف ويغطي الأرض تماماً ولا تأثير لعمق الجذور وكثافتها نسبة لأن الماء متوفرة ، كما أن عمق وكثافة الجذور يلعبان دوراً هاماً عندما يكون هنالك نقص في رطوبة التربة وبالتالي أصبحت الاحتياجات المائية للمحصول المرجعي ، تعتمد فقط على العوامل الجوية

- إختار العلماء في أمريكا البرسيم كمحصول مرجعي.
- أما في أوروبا ، فكان العشب هو النبات المرجعي

سعى الباحثون في مراكز البحوث المختلفة لربط الاحتياجات المائية للمحاصيل الرئيسية والتي تتمثل في البخر نتح بالبخر نتح من المحصول المرجعي.

البخر نتح يعتمد مثل ما تقدم ذكره على العوامل الجوية . ويتم قياسه في مراكز البحوث الزراعية . إما بالنسبة للبخر نتح المرجعي فيتم تقديره من العوامل الجوية باستخدام المعادلات الرياضية.

ولذا إذا أريد تقدير الاحتياجات المائية لمحصول معين في منطقة معينة ، يحدد معامل المحصول خلال الموسم الزراعي وفي نفس الوقت تحديد البخر النتح المرجعي للمنطقة المعينة.

يتم تحديد معامل المحصول بالمقارنة بين البخر نتح من المحصول بالبخر نتح المرجعي .

معامل المحصول يجمع تأثير عوامل التربة وخاصة الرطوبة وعوامل النبات وخاصة ارتفاعه وعمق جذوره وكثافته ومدى تغطية النبات لسطح التربة.

كما أن النتح من النبات يختلف من فصل إلى آخر ، فهو يتوقف في فترة ركود النبات الشتوية ، لكن كمية النتح تقترب من معدل التبخر من الماء في الصيف . ولقد عرفت الطاقة القصوى

للنتح من النبات والتبخر من الأجسام المائية والتربة باسم طاقة تبخر النتح الكامنPotential Evapotranspiration وهذا اصطلاح يشير إلى الكمية القصوى من الماء الممكن أن تتبخر من التربة وتنتح من النبات فيما لو وجد غطاء نباتي أخضر ومورد ماء دائم يمد التربة باستمرار ، وهذا المقدار الافتراضي لما يفقد من التربة والنبات هو في الواقع مقدار الماء اللازم لمنطقة ما كي لا يكون المناخ فيها جافاً. في حين عرف (بنمان) تبخر النتح الكامن على أنه كمية المياه المنتوحة من حشائش خضراء قصيرة تغطي سطح الأرض كله ولا تشكو تلك الحشائش من أي نقص في الماء . وهكذا فإن تبخر النتح الكامن يشير إلى مدى الحاجة إلى الماء حتى لا يكون المناخ جافاً .

ويستخدم حساب النتح الأعظمى (الكامن) كثيراً في طرق الري الحديث ومراقبة كفاءة المحصول التي تعني بمتابعة الموازنة المائية لفترة موسم نمو المحصول وأيضا التنبؤ بالإنتاجية.

ويمكن أن يعرف البخر نتح الكامن (ETo) بأنه الاستهلاك المائي الأقصى (التبخر نتح) من حشيش (خلال فترة زمنية معينة) مزروعة بمساحة واسعة وبارتفاع 8-15 سم ، متجانس ونشط النمو ويغطي الأرض كلياً وغير معرض لنقص الماء والغذاء ويعبر عنه بالملم / فترة زمنية ويرمز له بـ ETo.

ولحساب التبخر النتح استخدمت العديد من المعادلات الرياضية منها :

1- معادلة أيفإنوف Ivanov :

$$ETo = 0.0018 (25 + t°)2 (100 - a) \qquad [9-4]$$

ETo - التبخر النتح الكامن الشهري (ملم)

t°- المتوسط الشهري لدرجة الحرارة (م °)

a- المتوسط الشهري للرطوبة النسبية (%)

2- معادلة Penman:

تعتبر معادلة بنمان من أهم المعادلات في حساب التبخر وتبخر النتح نظراً لاحتوائها على أكبر عدد من العوامل الجوية المتسببة لعملية التبخر .

$$ETo = c [WxRn + (1-W)xf(u)x(ea-ed)] \qquad [9-5]$$

Rn- كمية الإشعاع المنتشرة في الغلاف الجوي وتتوقف على خط العرض والفترة الزمنية في السنة الميلادية.

u- جريان الرياح كم/ يوم.

W- معامل حراري.

(1-W) - معامل تصحيح لتأثير الرياح والرطوبة النسبية.

ea- ضغط بخار الماء المشبع.

Ed- ضغط بخار الماء الفعلي.

Rn- صافي الإشعاع.

f(u) - د دالة الرياح.

C- معامل تصحيح لتأثير تقلب الطقس مابين النهار والليل.

ولحساب هذه المعادلة يمكن العودة إلى الجداول الخاصة بها.

3- معادلة بوشيه:

يرى بوشيه بأن العلاقة بين الإشعاع الكلي الوارد إلى التربة والإشعاع المنعكس إلى الجو مع الطاقة الناتجة عنهما يصرف نصفها في التبخر وهذا ما عكسه بالعلاقة الآتية:

$$ETo = 0.5 (\alpha - 1) Rg \qquad [9-6]$$

ETo - الفاقد بالتبخر النتح الأعظمي

α- الالبيدو

Rg - الإشعاع الكلي الوارد

4- معادلة بلاني وكريدل:

$$ET0 = c [p (o.46T + 8)] mm/day \qquad [9-7]$$

ET0 - التبخر وتبخر النتح ملم / يوم.

P- نسبة متوسط ساعات سطوع الشمس اليومية.

C- معامل الرطوبة النسبية الصغرى وساعات سطوع الشمس والرياح .

ولحسابها في الظروف الصحراوية –الصحراء الغربية العراقية وجد أن:

$$ET0 = p (o.46T + 8.13) mm/month \qquad [9-8]$$

ET0 - التبخر وتبخر النتح (جهد التبخر- نتح) الشهري / ملم.

T- معدل درجة الحرارة المئوية الشهرية.

P- النسبة المئوية لعدد ساعات النهار في الشهر نسبة إلى عددها في السنة.

5- معادلة الوعاء القياسي "Class A-Pan" :

$$ET0 = Epan \times K\ pan \qquad [9-9]$$

معامل الوعاء (K pan)

ET0 - التبخر نتح الكامن.

Epan- التبخر الفعلي باستخدام الوعاء.

بعد تحديد ET0 ، يمكن أن يحدد معامل المحصول (K crop) باستخدام (ETcrop).

6- معامل المحصول (K crop):

$$K\ crop = ETcrop / ET0 \qquad [9-10]$$

ETcrop- التبخر نتح الفعلي

ET0 - التبخر نتح الكامن

K crop- معامل المحصول

7- معادلة الباتفا "Alpatepha" :

$$ETo = K \sum D \qquad [9-11]$$

ETo - التبخر نتح الكامن (الاحتياج المائي للنبات) (ملم).
∑D- مجموع المتوسط اليومي لعجز ضغط بخار الماء (ملم) خلال مرحلة نمو المحصول.
K- معامل ويساوي للغابات الواسعة 0.70، الإحراج 0.65 ، السهول 0.55.

8- معادلة FAO Penman-Monteith:-

في عام 1990 جمعت منظمة الأغذية والزراعة العالمية 12 عالماً من خبراء الأرصاد الجوية بالإضافة إلى خبراء المنظمة والمتخصصون في قضايا المقننات المائية وطلبت منهم أن يصلوا إلى اختيار معادلة واحدة لاستخدامها لتقدير البخر نتح المرجعي ، وتوصل العلماء إلى دمج معادلة بنمان-مونتيث وأصبحت تعرف بمعادلة FAO Penman-Monteith وهي المعادلة الأفضل وأوصوا باستخدامها عالمياً ، وأصبحت جزء من برامج حساب الري مثل يرنامج Water, Cropwat IRRI - CLAC .

[9 – 12]

ETo - التبخر نتح المرجعي [mm day-1],
R - صافي الإشعاع عند سطح النبات [MJ m-2 day-1],
G - كثافة الإشعاع الحراري للأرض[MJ m-2 day-1],
T - درجة الحرارة على ارتفاع 2 متر [C°]
u2 - الرياح على ارتفاع 2 متر [m s-1]
es - ضغط بخار الماء المشبع [kPa]
ea - ضغط بخار الماء الفعلي [kPa]
es - ea - العجز في ضغط بخار الماء[kPa]
Δ - منحنى ميلان ضغط بخار الماء [kPa °C-1]
γ - ثابت البسكترومتر [kPa °C-1]
p- الضغط الجوي [kPa] ،
n- ساعات سطوع الشمس الفعلية
N - ساعات سطوع الشمس الممكنة

حساب التبخر نتح ETo باستخدام معادلة (FAO Penman-Monteith)				
العناصر الجوية:-				
T_{max}	°C		**درجة الحرارة العظمى**	
T_{min}	°C		**درجة الحرارة الصغرى**	
T_{mean}	°C	$T_{mean} - (T_{max} + T_{min})/2$	**معدل درجة الحرارة**	
	°C	Δ (من الملحق 2 جدول2.4)		
	m	γ (من الملحق 2 جدول 2.2)	**الارتفاع**	
u_2	m/s	$(1 + 0.34\ u_2)$		
		$\Delta /[\Delta + \gamma\ (1 + 0.34\ u_2)]$		
		$\gamma /[\Delta + \gamma\ (1 + 0.34\ u_2)]$		
		$[900/(T_{mean} + 273)]\ u_2$		
العجز في ضغط بخار الماء:-				
T_{max}	°C	$e°(T_{max})$ (Table 2.3)		kPa
T_{min}	°C	$e°(T_{min})$ (Table 2.3)		kPa
		$e_s = [(e°(T_{max}) + e°(T_{min})]/2$ **ضغط بخار الماء المشبع:-**		kPa
ضغط بخار الماء الفعلي (ea):- ويستخرج من حرارة نقطة الندى				
T_{dew}	°C	$e_a = e°(T_{dew})$ (جدول 2.3)		kPa
كما يستخرج ضغط بخار الماء الفعلي من أعلى وادنى رطوبة جوية (ea):-				
RH_{max}	%	$e°(T_{min})\ RH_{max}/100$		kPa
RH_{min}	%	$e°(T_{max})\ RH_{min}/100$		kPa
		معدل : e_a		kPa
من أعلى رطوبة جوية (ea):-				
RH_{max}	%	$e_a = e°(T_{min})\ RH_{max}/100$		kPa
من أدنى رطوبة جوية (ea):-				
RH_{mean}	%	$e_a = e_s\ RH_{mean}/100$		kPa
		العجز في ضغط بخار الماء(es - ea)		kPa
الإشعاع:				
	°		**خط العرض**	
اليوم		R_a (Table 2.6)		MJ m^{-2} d^{-1}
الشهر		N (Table 2.7)		hours
n	hours	n/N		
		إذا لم تكن بيانات Rs متوفرة تستخدم العلاقة:-		MJ m^{-2} d^{-1}
		$Rs = (0.25 + 0.50\ n/N) Ra$		
		$R_{so} = [0.75 + 2\ (\text{ارتفاع لا}/100000)]\ R_a$		MJ m^{-2} d^{-1}
		R_s/R_{so}		
		$R_{ns} = 0.77\ R_s$		MJ m^{-2} d^{-1}
T_{max}		$\sigma T_{max,K}^4$ = (Table 2.8)		MJ m^{-2} d^{-1}
T_{min}		$\sigma T_{min,K}^4$ = (Table 2.8)		MJ m^{-2} d^{-1}
		$\left(\sigma T_{max,K}^4 + \sigma T_{min,K}^4\right)/2$		MJ m^{-2} d^{-1}
e_a	kPa	$(0.34 - 0.14\ \sqrt{e_a})$		
R_s/R_{so}		$(1.35\ R_s/R_{so} - 0.35)$		
		$R_{nl} = \left(\sigma T_{max,K}^4 + \sigma T_{min,K}^4\right)/2 (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a})(1.35 R_s/R_{so} - 0.35)$		
		$R_n = R_{ns} - R_{nl}$		
T_{month}	°C	G_{day} (إفتراضاً)		
$T_{month-1}$	°C	$G_{month} = 0.14\ (T_{month} - T_{month-1})$		

$R_n - G$	MJ m^{-2} d^{-1}
$0.408 (R_n - G)$	Mm/day
البخر النتح المرجعي :-	
$\left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)}\right][0.408(R_n - G)]$	Mm/day
$\left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma(1+0.34\,u_2)}\right]\left[\frac{900}{T+273}\right]u_2\,[(e_s - e_a)]$	Mm/day
$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)}$	Mm/day

	العناصر الجوية		
	درجة الحرارة العظمى (T_{max})	32.9	
°C	درجة الحرارة الصغرى (T_{min})	17.5	
kPa	ضغط بخار الماء (ea)	1.48	
m/s	المعدل الشهري لسرعة الرياح على ارتفاع 2 متر (u_2)	1.8	
Hours/day	المعدل الشهري لساعات سطوع الشمس (n)	9.2	
°C	المعدل الشهري لدرجة الحرارة ($T_{month, i}$)	25.2	
kPa/°C	من الجدول 4.2=Δ	0.189	
	من الجدول 2.1 و 2.2		
m	الارتفاع	1450	
kPa	من الجدول P=	85.3	
kPa/°C	من الجدول γ=	0.057	
	$(1 + 0.34\ u_2)$ =	1.61	
	$\Delta /[\Delta + \gamma\ (1 + 0.34u_2)]$ = 1.89/ [1.89+0.057(1.61)] =	0.95	
	$\gamma /[\Delta + \gamma\ (1 + 0.34u_2)]$ = 0.057/ [0.189+0.057(1.61)]	0.03	
	$[900/(T_{mean} + 273)]u_2 = [900/298.2]x1.8$	5.43	
	العجز في ضغط بخار الماء (es - ea)		
	من الجدول 2.3		
°C	T_{max} =	32.9	
kPa	$e°(T_{max})$ =	5.03	

	العناصر الجوية		
	من الجدول 2.3		
	T_{min} =	17.5	°C
	$e°(T_{min})$ =	2.00	kPa
	e_s = (5.03 + 2.03/2 =	3.52	kPa
	e_a =	1.48	kPa
	((e_s - e_a) = (3.52 – 1.48	2.04	kPa
	الإشعاع		
	من الجدول 2.5 أو 2.6		
	J = (for 15 May)	135	
	خط العرض= 13°41’N (13 + 41/60)	13.68	°N
	Ra	38.4	MJ m^{-2} day^{-1}
	N من الجدول 2.7	12.6	hours
	n/N=(9.2/12.6)	0.73	
	Rs =[0.25+0.50 (0.73)]38.4	23.62	MJ m^{-2} day^{-1}
	Rso = [0.75 + 2 (1450/100000] 38.4	29.91	MJ m^{-2} day^{-1}
	Rs/Rso=(23.62/29.91)	0.79	
	Rns=0.77(23.62)	18.19	MJ m^{-2} day^{-1}
	من الجدول 2.8		
	Tmax	32.9	
	Tmax	43.08	MJ m^{-2} day^{-1}
	من الجدول 2.8		
	Tmin	17.5	C°
	Tmin		MJ m^{-2} day^{-1}
	عند e_a	1.48	kPa
	إذاً (0.34-0.14√ea)=	0.17	
	عند Rs/Rso	0.79	
	إذاً (1.35Rs/Rso-0.34)=	0.72	
	Rnl=39.04(0.17)0.72	4.78	MJ m^{-2} day^{-1}
	Rn=(18.19-4.78)	13.41	MJ m^{-2} day^{-1}

	العناصر الجوية		
	G=0.14(25.2-22.9)	0.32	MJ m^{-2} day^{-1}
	(Rn-G) = (13.41- 0.32)	13.09	MJ m^{-2} day^{-1}
	0.408(Rn-G)=	5.34	mm day^{-1}
			البخر النتح المرجعي :-
		5.073	mm day^{-1}
		0.033	mm day^{-1}
	ETo = (5.073+0.033)	5.41	mm day^{-1}

9- علاقة ثورنثويت:

باستخدام علاقة ثورنثويت التي تربط بين درجة الحرارة والتبخر نتح يمكننا التعرف على درجة الجفاف من مؤشري الرطوبة والجفاف بعد حساب الفائض المائي والعجز المائي السنوي وكمية تبخر النتح السنوي الممكن وتطبيقها في علاقات ثورنثويت المعدلة:

$$Ih = SURyear / PETyear \times 100 \qquad [9\text{-}13]$$

Ih- مؤشر الرطوبة
SUR- الفائض المائي
PET- التبخر نتح

$$Ia = DEFyear / PETyear \times 100 \qquad [9\text{-}14]$$

Ia- مؤشر والجفاف
DEF- العجز المائي

$$Im = Ih - Ia \qquad [9\text{-}15]$$

Im- الاحتياج المائي.

ونتمكن من تحديد الاحتياجات المائية للمنظومات المائية في العلاقة التي تربط بين الفائض في الرطوبة والنقص في الرطوبة مما يساعدنا على التعامل مع الموازنة المائية للمنظومات النباتية في سبيل رفع الإنتاجية الزراعية.

طريقة تقدير المقننات المائية داخل الصوب البلاستيكية:

يتم تقدير المقننات المائية داخل الصوب البلاستيكية باستخدام معادلة البخر :Class A pan

$$ETo = Kp \times Epan\ (open) \qquad [9\text{-}16]$$

قيمة Kp تتراوح بين 0.55 – 0.85 ويفضل استخدام 0.85 بالنسبة للصوب (تحت ظروف مصر مثلاً) ، ويمكن تعديل قيم البخر للحقل المفتوح لتصبح هكذا :

$$Epan\ (plastic) \times 70/100 \qquad [9 - 17]$$

مؤشر كفاءة استهلاك المحصول للمياه:

(I) "A Crop Perferamance Index"

في عام 1979م طبق العالمان Frere و Popov نموذج مؤشر كفاءة المحصول (I) على أساس أعمال Penman في التبخر وقياسات كمية المطر. وأستخدم هذا النموذج في أنظمة التحذيرات المبكرة في عدد من البلدان لمراقبة الجفاف.

فنظام المراقبة هذا يمكن تطبيقه كدراسة نموذجية لتطبيق المعلومات المناخية في متابعة الموازنة المائية للمحصول.

أن عملية حساب مؤشر كفاءة المحصول (I) تتم باستخدام المعلومات المناخية وكمية الماء المطلوبة للمحصول . فالمؤشر(I) قيمته 100 ويتناقص تدريجياً خلال الموسم الزراعي إذا كان هناك ضغط على المحصول، والضغط هذا يمكن أن يكون بنقص أو بزيادة كمية الماء.

ويجب أن تكون المعلومات الآتية متوفرة:-

1) الأمطار (ملم)
2) التبخر نتح (ملم)
3) معامل المحصول
4) تاريخ البذر (أو الفترة المفترضة للبذر)
5) السعة الحقلية

لقد وضعت منظمة الأغذية والزراعة العالمية (FAO) سلماً يربط بين الإنتاجية المتوقعة والنسبة النهائية لنقص المياه. ولقد بني ذلك السلم على تجربة المنظمة في بعض الدول ، والجدير بالذكر أنه يتم تحديد السلم في كل منطقة على حدة بناءً على أبحاث تجرى في نفس المنطقة لعدد من السنين ، حيث يجب تحديد البخر نتح من العشب وهذا يعتمد فقط على المعلومات المناخية ، ثم تحديد معامل المحصول والذي هو عبارة عن نسبة البخر نتح من المحصول للبخر نتح المرجعي (من العشب) ويتم تحديده في محطات البحوث الزراعية ، ويكون هذا المعامل 0.5 عند الزراعة ، ويزداد تدريجياً مع نمو المحصول ليصل أعلاه في منتصف الموسم عندما يغطي المحصول الأرض تماماً ، ثم يبدأ في النقصان عندما ينضج المحصول.

باستخدام السلم الذي يربط بين معامل النقص والإنتاجية يمكن التوصل لتقدير الإنتاجية لذلك المحصول في ذلك الموسم.

هذه الطريقة أعطت نتائج أفضل بكثير من النتائج التي تم التوصل إليها بمقارنة الإنتاجية مع الأمطار السنوية، والتي لم تكن مرضية كما كان متوقعاً لأن توزيع الأمطار خلال الموسم هو الذي يلعب الدور الأساسي وليس الأمطار الكلية في الموسم.

أستخدم Frere و Popov في جميع العمليات الحسابية لهذا النظام التقسيم الثلاثي للشهر (Decade) –تقسيم الشهر إلى ثلاث فترات- والفترة الزراعية مبتدئة في أول فترة يكون فيها المطر أكبر من 30 ملم.

Pa- كمية المطر المقاسة في الفترة العشرية (Decade).
Da- عدد أيام المطر
Pet- التبخر النتح الممكن
Kcr- معامل المحصول

WR- كمية الماء المطلوبة للمحصول
RS- كمية الماء المخزونة في التربة
S/D- الزيادة أو النقص من الماء
I- مؤشر كفاءة استهلاك المحصول للمياه.

خطوات حساب وتحليل المؤشر (I):

لإجراء خطوات تحليل وحساب المؤشر (I) من الملحق (1) يجب اتخاذ الخطوات الآتية :

1- تحديد تاريخ زراعة المحصول في العشرة الأيام الأولى من يونيو(في المثال الوارد في الجدول- -1) وهي الفترة التي يبدأ فيها المطر أكبر من 30 ملم.

2- الماء المطلوب WR في كل فترة (Decade) يوجد بواسطة ضرب PET مع معامل المحصول Kcr.

$$WR = (PET * Kcr) \qquad [9 - 18]$$

مثلاً في I يونيو: WR=52*0.3=16

3- مجموع WR للموسم يمكن أن يحسب على النحو الآتي:

WR=16+14+18+.....+20+=328

4- نوجد الفرق بين كمية المطر المقاسة ،Pa ،والماء المطلوب WR ، على النحو الآتي:

في I يونيو : 46 -16 = 30 mm

III يونيو : Pa-WR = 115 – 18 = 97 mm وهكذا...

5- الفرقPa-WR تضاف إلى الاحتياطي في التربة(RS) للعشرة الأيام السابقة.

6- أي زيادة أو نقصان تسجل أمام S/D.

الاحتياطي كان 51 ملم .

احتياطي الماء في التربة لا يمكن أن تكون أعلى من القيمة العظمى للسعة الحقلية، 60 ملم (في هذا المثال)، ولا يمكن أن تكون سالبة.

7- المؤشر (I) الذي يكون عند 100 يتناقص بطريقتين.:

الأولى: إذا كان هناك زيادة أكبر من 100 ملم فالمؤشر (I) يتناقص بـ3درجات.

ثانيا: إذا كان هناك نقص في كمية الماء في التربة (عجز) فالمؤشر (I) يتناقص بالنسبة لمجموع الماء المطلوب للموسم وناتج النسبة تطرح من النسبة المئوية السابقة لها.

احتياطي الرطوبة المنتجة في التربة :

من المهم جداً في أنظمة الري الحديث معرفة احتياطي الماء في التربة (احتياطي الرطوبة المنتجة – ملم -). ولكي نعرف هذه الكمية بالمليمتر من الضروري معرفة الكثافة الظاهرية (الحجمية) للتربة . وعادة تتغير هذه الكثافة في حدود 1.0 - 1.8 جرام / سم3. وكلما كانت التربة طينية كانت كثافتها الظاهرية أقل.

ولتقدير كمية المياه في الأعماق المختلفة من التربة يمكننا أن نستخدم العلاقة الرياضية الآتية لحساب احتياطي الماء.

$$Wnp = 0.1d\ h\ (w - k) \qquad [9\text{-}19]$$

Wnp- احتياطي الرطوبة المنتجة (مم)

d - الكثافة الظاهرية (جرام / سم^3)
h - عمق التربة (سم)، W- الرطوبة النسبية للتربة (%)
k- نقطة الذبول (%)
مثال: محطة فيها كثافة التربة الظاهرية 1.28جرام/ سم^3 ، نقطة الذبول 7.4 % ، والرطوبة النسبية للتربة 16.1 % في عمق 10 سم . أحسب احتياطي الرطوبة المنتجة (مم).

$$Wnp = 0.1x1.28x10\ (16.1 - 7.4) = 11.1mm$$

إن معرفتنا لاحتياطي الماء في التربة يمكننا من تقدير الرطوبة المطلوبة للتربة.
وللتنبؤ بتغيرات رطوبة التربة خلال كل عشرة أيام يمكن استخدام العلاقة الآتية:

$$U = a\,x + b\,y - c\,z + d \qquad [9\text{-}20]$$

حيث أن:
U- التغير في رطوبة التربة (mm) في عمق (0 - 100) سم خلال فترة العشرة الأيام.
x- متوسط درجة حرارة الهواء (مئوية) خلال فترة العشرة الأيام.
Y- كمية الأمطار خلال فترة العشرة الأيام.
z- رطوبة التربة (mm) في بداية العشرة الأيام.
a, b, c, d- ثوابت.
وباستخدام هذه العلاقة توصل العالم (Fedoseev) إلى العلاقات الآتية :
1- عندما تكون رطوبة التربة المتوفرة أكبر من 60 % من السعة الحقلية تستخدم المعادلة الآتية:

$$U = 1.98\,x + 1.64\,y - 0.36\,z + 32 \qquad [9\text{-}21]$$

2- عندما تكون رطوبة التربة المتوفرة ما بين 60 % من السعة الحقلية ونقطة الذبول تستخدم المعادلة الآتية :

$$U = 0.63\,x + 0.49\,y - 0.22\,z + 8.2 \qquad [9\text{ -}22]$$

3- عندما تكون رطوبة التربة المتوفرة تحت نقطة الذبول تستخدم المعادلة الآتية:

$$U = -0.03\,x + 0.49\,y - 0.15\,z + 1.4 \qquad [9\text{ -}23]$$

أهمية تنظيم عملية الري:
يجب مراعاة تنظيم عملية الري ، لما لذلك من أهمية كبيرة في الحصول على أفضل معدل نمو النبات وأعلى كمية محصول ويؤدي الري الخفيف المتكرر إلى:
• نمو معظم الجذور في الطبقة السطحية من التربة، مما يعرض النباتات للذبول فيما لو تعرضت هذه الطبقة للجفاف.
• قصر الاستفادة من العناصر الموجودة في التربة على تلك الموجودة في الطبقة السطحية فقط.
• جفاف الطبقات السفلى من التربة تدريجياً ، الأمر الذي يمنع الجذور القليلة التي تصل إليها من الاستفادة منها ، مما يستلزم الحاجة إلى الري الغزير لإعادة ترطيبها.
وعلى الرغم من ذلك ، فإن الري الخفيف المتكرر ، يعتبر ضرورة لا غنى عنها في الأراضي

الرملية المناسبة.
إما بالنسبة للري الغزير المتكرر ، فإنه يؤدي إلى :
• نقص تهوية التربة، واختناق الجذور، وضعف النباتات واصفرار لونها وذبولها.
• تأخير النضج ، ويلاحظ ذلك بصفة خاصة في البطيخ ، حيث ينضج البطيخ البعلي مبكراً عن البطيخ المسقي بحوالي شهر.
• فقد الأسمدة المضافة للتربة مع ماء الصرف.
وتؤدي كثرة الري بعد فترة جفاف طويلة إلى انفجار رؤوس الكرنب وتفلق جذور البنجر ، وتشقق ثمار الطماطم ، وتزداد الأضرار عند الري وقت ارتفاع درجة الحرارة ، ولذلك فإن أفضل وقت لري محاصيل الخضر هو الصباح الباكر قبل اشتداد حرارة الشمس أو بعد الظهر ، ولا ينصح بالري عند الظهر لما له من تأثير على نمو النباتات.
ومن أهم مزايا تنظيم الري ما يلي:
1. تؤدي إلى تعميق جذور النباتات ، وزيادة النمو والإثمار.
2. يساعد تنظيم الري على استفادة النباتات من الأسمدة المضافة ، ومن العناصر الغذائية التي توجد في منطقة الجذور.
ويؤثر تنظيم الري على إنبات بذور الخضر ، حيث تنبت كل البذور بسرعة أكبر ، كلما ازدادت نسبة الرطوبة الأرضية من نقطة الذبول الدائم نحو السعة الحقلية.

استخدام المعلومات المناحية في عمليات الري:

المعلومات المناخية وخاصة البخر والبخر نتح والأمطار تلعب دوراً أساسياً في الري في جميع مراحله ، من مرحلة التخطيط لسعة القنوات إلى مرحلة التشغيل ، حيث تعتمد كميات مياه الري المطلوبة على احتياجات المحاصيل المائية ، والتي تعتمد أساساً على البخر نتح.
في مرحلة التخطيط يبدأ مهندس الري بطلب المساحات المراد زراعتها ، ثم يطلب المعلومات المناخية لحساب البخر والبخر نتح ومعرفة كمية الأمطار المتوفرة ، حيث يجب حساب الأمطار المتوقعة وكذلك حساب البخر والبخر نتح المتوقع ، وذلك زيادة في التحوط ضد السنوات الجافة والتي يكون فيها عادة البخر نتح مرتفعاً جداً . كما يطلب المهندس أيضاً مواعيد الزراعة ، ثم يستخدم متوسطات البخر نتح المرجعي ومعامل المحصول ليحسب متوسط الاحتياجات المائية للمحصول المعين من الزراعة إلى الحصاد كل عشرة أيام ، ثم يجمع الاحتياجات لكل المحاصيل ويخصم من ذلك كميات البخر نتح المتوقعة ، ويحصل من ثم على احتياجات الري المتوقعة كل عشرة أيام ويقارن ذلك مع سعة القنوات ، فإذا زادت الاحتياجات المائية عن سعة القنوات في أي وقت من السنة ، طلب مراجعة المساحات المخططة للزراعة وتعديلها. ويمكن ذكر أهم تلك الاستخدامات في :

1- تشغيل القناة الفرعية وطلبات مياه الري:

إن طلبات الري لأي قناة فرعية يتم حسابها بعد معرفة المساحات المزروعة من كل محصول ومواعيد الزراعة لكل محصول ، والبخر نتح المرجعي ، فبمجرد معرفة مواعيد الزراعة ، يتم تحديد معامل المحصول لكل عشرة أيام من الزراعة إلى الحصاد ، ومن المعلومات المناخية (الإشعاع الشمسي وسطوع الشمس ، حرارة الهواء ، الرطوبة النسبية ،سرعة الرياح، ضغط بخار الماء) يتم حساب البخر نتح ، ثم يتم حساب الاحتياجات المائية لكل

محصول ومن ثم تجميع الاحتياجات الكلية لكل المحاصيل كل عشرة أيام ، ثم تخصم كميات الأمطار لكل فترة ، والناتج يساوي الاحتياجات المائية والتي تمثل طلبات الري.
فمثلاً أذا كان هنالك 500 فدان مزروعة قطناً، وكانت مواعيد الزراعة 15 يوليو و300 فدان ذرة رفيعة مزروعة في 1 يوليو، و200 فدان فول سوداني مزروعة في 1 يونيو، و400 فدان قمح تزرع في أول نوفمبر، فإن طلبات الري في الفترة 1-10 أكتوبر مثلاً يمكن حسابها كالآتي:

البخر نتح في الفترة 1-10 أكتوبر = 6.0 ملم / يوم.
معامل محصول القطن في الفترة 1-10 أكتوبر = 1.1
معامل محصول الفول السوداني في الفترة 1-10أكتوبر = 1.0
معامل محصول الذرة الرفيعة في الفترة 1-10 أكتوبر = 0.8
البخر نتح من القطن في الفترة 1-10 أكتوبر = 6.0 x 1.1 =
= 6.6 ملم / يوم.
البخر نتح من الفول السوداني في الفترة 1-10 أكتوبر =
= 6.0 x 1.0 = 6.0 ملم / يوم.
البخر نتح من الذرة الرفيعة في الفترة 1-10 أكتوبر =
= 6.0 x 0.8 = 4.8 ملم / يوم.

تحول هذه الاحتياجات من ملم إلى متر مكعب للفدان وذلك بضرب الاحتياجات بالملم في مساحة الفدان 4200 متر2 (1ملم = 4.2 متر3 للفدان).

احتياجات القطن = 6.6 x 500 x 4.2 = 13860 متر3 / اليوم
احتياجات الفول السوداني=7560=300 x 4.2 x6.0متر3 / اليوم
احتياجات الذرة الرفيعة = 4032=200 x 4.2 x4.8متر3 / اليوم
الاحتياجات الكلية خلال الفترة 1-10 أكتوبر=25452متر3 / اليوم
إذن تقدر طلبات الري خلال تلك الفترة بحوالي26000 متر3 / اليوم

إما أذا أردنا حساب طلبات المياه خلال الفترة من 11 - 20 ديسمبر مثلاً، فإنه في ذلك الوقت تكون الذرة الرفيعة والفول السوداني قد تم حصادهما، ويبقى القطن والقمح فقط. ويكون القطن في نهاية موسمه ، وبذلك ينخفض معامله ، إما القمح فيكون في ازدهار نموه ، وبالتالي يكون معامله كبيراً ، كذلك يكون التبخر نتح المرجعي من العشب أقل من أكتوبر. مثلاً :

البخر نتح في الفترة 11 - 20 ديسمبر = 5.0 ملم / اليوم
معامل محصول القطن في الفترة 11 - 20 ديسمبر = 0.9
معامل محصول القمح في الفترة 11 - 20 ديسمبر = 1.2
البخر نتح من القطن = 5 x 0.9 = 4.5 ملم / اليوم
البخر نتح من القمح = 5 x 1.2 = 6.0 ملم / اليوم
الاحتياجات المائية للقطن =4.5 x4.2x500=9450 متر3 / اليوم
الاحتياجات المائية للقمح =6.0 x4.2x400=10080متر3 / اليوم
الاحتياجات الكلية = 19530 متر3 / اليوم
إذن تقدر طلبات الري للفترة 11 - 20 ديسمبر بحوالي 20000 متر3 / اليوم.

2- تحديد طول الفترة بين الرية والأخرى :

يستفاد من معلومات التبخر والبخر نتح في تحديد طول الفترة بين الرية والأخرى ، ويدخل هنا عامل التربة أيضاً ، وكذلك عمق الجذور ونسبة الرطوبة في التربة التي يتم بعدها بدء ري المحصول.

طول الفترة بين الريتين =

سعة التربة x عمق الجذور x النسبة ÷ البخر نتح من المحصول [9-24]

النسبة تعني نسبة المياه التي يمكن استغلالها بواسطة المحصول من المخزون في التربة قبل أن يتأثر المحصول بنقص المياه، بعض المحاصيل يمكن أن تستغل 70% من المخزون، وأخرى تستغل فقط 50%، وذلك يتوقف على الخواص الفيزيائية للتربة.

فإذا كانت سعة التربة تساوي 100 ملم / متر ، عمق الجذور 0.8 متر والنسبة الممكن استغلالها 0.7 ، يكون طول الفترة بين الرية والأخرى :

= 0.7 x 0.8 x100 ÷ البخر نتح

= 56 ÷ البخر نتح

وإذا كان البخر نتح من المحصول يساوي 4 ملم في اليوم ، فإن طول الفترة بين الريتين في المثال السابق يساوي 14 يوماً . إما إذا كان البخر نتح 8 ملم ، فإن طول الفترة ينخفض إلى 7 أيام فقط . وذلك يوضح أنه في الفترة الحارة ، وعندما يكون المحصول في نمو مزدهر ، فإن فترات الري تكون متقاربة ، بينما تتباعد هذه الفترات عندما يكون المحصول صغيراً ، أو في نهاية موسمه . كذلك يلاحظ أنه في حال المحاصيل ذات الجذور العميقة، تكون فترات الري متباعدة لأن المحصول يستغل مخزون التربة، بصورة أكبر. وكذلك الحال في المحاصيل التي تتحمل العطش (الجفاف) فأن فترات الري تكون متباعدة.

3- تقدير الفاقد في عمليات الري:

فاقد مياه الري من القنوات يتم تقديره أيضاً من معرفة التبخر من سطح مائي في المنطقة التي توجد بها تلك القنوات ، ويضرب التبخر في مساحة سطح القنوات ، وبذلك يمكن تقدير الفاقد من القنوات نتيجة للتبخر.

الفصل العاشر
عـوامـل الأرصاد الـجـوية الـزراعيـــة الحـــادة
Extreme Agrometeorological elements

إن الدخل الاقتصادي مرهون في العملية الزراعية بمجموعة من العوامل ومنها التأثيرات الضارة على الزراعة التي تسببها العناصر و الظواهر الجوية الضارة على النبات المزروع والتي تتمثل في الظواهر الآتية:

1- لأمطار الغزيرة. 2 - الرياح الشديدة. 3 - درجة الحرارة المتطرفة .
4- الجفاف. 5 - البَرَد. 6 - الضباب. 7 - السطوع الشديد.

ونتيجة لهذه الظواهر فإن المخاطر المباشرة التي تسببها على النبات تنعكس فيما يلي:

1. لفحة الشمس.
2. الصقيع.
3. جفاف التربة.
4. الغرق والفيضانات.
5. الملوحة.
6. انجراف التربة واقتلاع النباتات.
7. تساقط الثمار والأوراق.
8. ملء الفراغات الهوائية والمسافات البينية في التربة مما يؤثر في تنفس الجذور واختناق جذور النباتات المزروعة.
9. تكاثر الأمراض و الحشرات وخصوصا الأمراض الفطرية في حال توفر الرطوبة الزائدة مع الحرارة العالية إلى حدٍ ما.
10. تبلل الثمار التي مازالت قائمة في الحقل مما يؤدي لتعفنها وتلفها بالإضافة لصعوبة نضجها.
11. ارتفاع المستوى المائي الأرضي يشكل خطرا على الأشجار المثمرة والمزروعات الأخرى الحساسة لذلك.
12. تلون أو تبقع بعض المحاصيل خصوصا ذات الألياف (كالقطن) بألوان الأوراق وتلطخها مما يؤثر على قيمتها الاقتصادية.
13. صعوبة الجني أو الجمع أو القطاف للمحاصيل المختلفة.

كما تتمثل التأثيرات الغير مباشرة فيما يلي:

1. عدم نشوء الجذور الجديدة وشبكتها.
2. تحول مادة السللوز إلى أكسيد الفحم وانحلاله في الماء مما يضر في النبات.
3. توقف عمليات الفلاحة وتأخيرها عن مواعيدها المقررة.
4. زيادة المحتويات السامة من كبريت الهيدروجين HS.
5. توقف عمليات امتصاص المواد الغذائية من التربة.
6. توقف عمل الجراثيم العقدية المفيدة.

الجفاف "Drought"

يتنوع الجفاف وفقاً لعدد من المفاهيم فيحدث الجفاف في المناخ بسبب النقص في كمية الأمطار الهاطلة ويسبب الجفاف الزراعي عجزاً في احتياجات النبات من الرطوبة قد تبلغ المرحلة

الحرجة من حياة النبات نظراً للتبدلات التي تطرأ على عنصري التبخر والهطول أما الجفاف في المصادر المائية فهو انخفاض في معدل مستوى المياه الجوفية ومناسيب الأنهار والخزانات تحت تأثير تغيرات تصيب التبخر وهطول الأمطار.

تدل الدراسات الجيولوجية أن المناطق الجافة وشبه الجافة في العالم كانت أكثر رطوبة مما هي عليه الآن، إلا أنها كانت تتعرض خلال الأحقاب المختلفة لفترات متفاوتة من التخفيف والترطيب تختلف عن بعضها في الشدة والأبعاد.

ومن المؤكد أن المرحلة الخالية من الجفاف التي شملت الأقطار العربية في آسيا وأفريقيا قد ابتدأت منذ حوالي 3000 إلى 5000 سنة قبل الوقت الحاضر . وخلال المرحلة الحالية من هذا الجفاف كانت ولا تزال المناطق الجافة وشبه الجافة في الأقطار العربية تتعرض إلى فترات متفاوتة وغير محددة من الجفاف يتخللها فترات من الترطيب. ويمكن القول أن حالات الجفاف في الوقت الحاضر تعتبر حوادث طبيعية من حيث سبب نشوئها وترددها وقد يستمر حدوثها أحيانا لفترة أربعة سنوات وأحياناً أخرى لسنوات أطول.

كي نتمكن من تعيين المؤشرات التي تساعدنا على تحديد أبعاد التصحر الذي يحدث نتيجة التفاعل بين حوادث الجفاف الطبيعية مع الاستخدام السيئ للأرض فلا بد من التوصل إلى فهم أفضل عن ظاهرة الجفاف الطبيعية.

يستأثر المناخ الديناميكي بتعليل سبب نشؤ الجفاف على المجال الواسع بسبب الهواء الهابط من الطبقات الجوية العليا التي يتولد عنها على سطح الكرة الأرضية نطاقات من الضغط المرتفع يرتبط بها توزع المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتأثر بتمركز وحركة نطاقات الضغط المرتفعة شبه المدارية المصاحبة للكتل الهوائية الهابطة التي تهاجر باتجاه القطب في فصل الصيف وباتجاه خط الاستواء في فصل الشتاء . ونظراً لعدم استمرارية نطاقات الضغط المرتفعة شبه المدارية حول الكرة الأرضية فإن ذلك يعطي فرصة لهطول الأمطار ضمن الثغرات التي تتخلل هذه النطاقات في حال توفر التيارات الهوائية المحملة بالرطوبة.

من المسلم به أن التحولات الرئيسية في المناخ تتعلق بتغيرات واسعة في الحركة الجوية العامة تنشأ من تفاعل هذه الحركة مع آلية مياه المحيطات الكبرى في العالم مما يؤدي لحدوث الجفاف الطبيعي.

انطلقت في الآونة الأخيرة بعض المفاهيم في الجفاف تطلبت تفسيرات علمية منها:

- التصحر أكثر تفاقما في المجتمعات النامية.
- الجفاف يغذي الجفاف.

التغذية الاسترجاعية للجفاف.

ولما كانت هذه المفاهيم تتفق فيما بينها بتعبير مشترك وهو النقص في القدرة الإنتاجية فقد استخدم المناخ الديناميكي والموازنة الإشعاعية للتفسير العلمي.

من البديهي أن الرعي الجائر وحراثة سطح الأرض الجافة وتخريب الغطاء النباتي يعرض سطح التربة للتعرية والانحراف . فإذا ما حدث الجفاف الطبيعي بسبب الهواء الهابط من الطبقات الجوية الخالية من الأمطار والسحب فإن هذا الهواء ومع اقترابه من سطح الأرض سيفقد من رطوبته ويكتسب حرارة إضافية أي تسخين وتجفيف مما يكون له تأثير مباشر وحرج على تجفيف رطوبة التربة وارتفاع درجة حرارتها . يضاف إلى ذلك ما تكتسبه سطوح المناطق الجافة من قيم مرتفعة من الإشعاعات الشمسية قصيرة الموجة بمعدل 200 واط / م^2 / السنة.

وبغية تحقيق الموازنة الإشعاعية في الطبيعة تعود هذه السطوح الجافة لترد إلى الجو جزءاً كبيراً من الإشعاعات الشمسية المكتسبة بقيم أشد إرتفاعاً (من المكتسبة) عن طريق أمواج طويلة منعكسة (البيدو) والتي تتناسب شدتها طرداً مع انعدام الغطاء النباتي وعدم تماسك قوام التربة ولونها الفاتح . وتكون النتيجة تبريد شديد وحصيلة إشعاعية متدنية جداً بحوالي 80 - 90 واط / م2 / السنة للمناطق الصحراوية.

ولما كانت عملية الفقدان الإشعاعي عن طريق الالبيدو لا يمكن أن تستمر إلى مالا نهاية تحقيقا لمبدأ التوازن الحراري الديناميكي فإن الهواء يجب أن يهبط ثانية وهكذا فإن درجة الحرارة المنخفضة لسطح الأرض تقلل من سرعة الحركة الصاعدة للهواء وتؤدي إلى انضغاط في تشكيلات السحب الحملانية والتي يرافقها تناقص في قيمة الرطوبة النسبية وازدياد درجة الجفاف الصحراوي وحدوث آلية التصحر أو ما يسمى بالتغذية الاسترجاعية للجفاف عن طريق الالبيدو . ومن المؤكد أن الآثار التخريبية في النظم البيئية لكل حادثة جفاف تختلف عن الأخرى تبعا لـ :

- ديمومة حادثة الجفاف وانحباس الهطولات.
- الاستثمار المنهك للموارد الطبيعية في البيئات الجافة وشبه الجافة والمجتمعات النامية.
- آلية التغذية الاسترجاعية لحادثة الجفاف.

مما ينعكس على ازدياد قيمة الالبيدو التي تزيد بدورها من آلية الحركة الهابطة للهواء والنقصان الكبير في كمية الأمطار الهاطلة وازدياد واضح وخطير (أحيانا) في درجة الجفاف والتصحر وضغط شديد على المراعي الطبيعية والموارد المائية والمحاصيل وحاجة ماسة للغذاء ومن هنا يقال بأن الجفاف يغذي الجفاف وأن التصحر يغذي نفسه وأن التدني في القدرة الإنتاجية في كل مرة ستكون أشد خطورة من سابقتها ما لم تتخذ الإجراءات الناجعة.

و يؤدي انقطاع المطر بسبب ضعف نشاط الموسميات لفترة طويلة إلى الجفاف الزراعي والانخفاض الكبير في إنتاجية المحاصيل. وتمثل المعلومات الجوية مثل احتمال حدوث انقطاع الأمطار الموسمية أهمية كبيرة : ففي بعض الأحيان ينحسر فصل الموسميات في وقت مبكر وتعاني المحاصيل وراءه الإجهاد الجفافي أثناء أطوار النمو النهائية. ويمكن تعريف الجفاف بأنه " ظاهرة جوية زراعية مركبة .. بسببها يفقد النبات التحكم بالتوازن المائي بسبب قلة الرطوبة فيذبل النبات وقد يموت ". ومفهوم الجفاف من وجهة نظر أخرى : هو عبارة عن الفترة التي يكون فيها التبخر الإجمالي في منطقة ما أكبر من كمية الأمطار الهاطلة خلال نفس الفترة في هذه المنطقة.

ويمكن تعريفه أيضا بأنه الفرق بين التبخر النتح الكموني والتبخر النتح الحقيقي في كل وقت.

وهناك نوعان من الجفاف: جفاف التربة وجفاف الجو.

1- جفاف التربة:

تتعرض التربة لجفاف نتيجة قلة الأمطار والسقاية، مما تؤدي إلى جفاف التربة الحاوية على الجذور حيث يبدأ النبات المعاناة من قلة الرطوبة ، عندما تكون قيمة الرطوبة أقل من حاجة النبات.

2- جفاف الجو:

في بعض الأحيان بالرغم من توفر الرطوبة في التربة فإن النبات يعاني من قلتها وذلك نتيجة لارتفاع درجات الحرارة وجفاف الهواء وشدة الرياح.

حيث يفقد النبات كميات كبيرة من الماء عن طريق النتح ولا تستطيع المجموعة الجذرية من تأمين الكمية اللازمة للنبات من الماء.
في كثير من الأحوال يؤدي جفاف الهواء إلى جفاف التربة وفي حالة حدوث الحالتين معا تكون نتائجها سيئة جدا على النبات.
ولذا فإن العوامل التي تؤثر على حاجة النبات من الماء وتأثره بالجفاف هي:
1- الظروف الجوية
2- الخواص البيولوجية للنبات.
3- المستوى الفني الزراعي.
4- كمية المواد الغذائية في التربة.
وتعتبر الخواص البيولوجية للنبات من أهم العوامل السابقة الذكر ، إذ أن لكل مجموعة نباتية طرق مختلفة في تحكمها بالماء، منها من يلجأ إلى التقليل من عملية النتح للتأقلم مع جفاف الجو ومنها من ينظم عملية امتصاص الماء من التربة للتأقلم مع جفاف التربة ومن الناحية الفيزيائية-البيولوجية فإن كثير من نباتات الأقاليم الجافة تمتاز بصغر خلاياها و تحتفظ بطبقة من النشا لحماية الورق من ارتفاع درجة الحرارة.
كما أن لعامل المستوى الفني الزراعي أهمية كبيرة وذلك بدراسة النبات والتعرف على خواصه البيولوجية وحاجته من الماء .
و تبين ذلك الدراسات على تأقلم النبات مع الجفاف . فمثلا ثبت أن تنشيف البذور لدرجة معينة بعد نقعها بالماء يساعد النبات الناتج من هذه البذور على مقاومة الجفاف وذلك نتيجة تغيير يطرأ على الخلية النباتية.

طرق تقدير شدة الجفاف:

توجد طرق عديدة لتقدير شدة الجفاف نذكر منها:

1- طريقة حساب النسبة بين التبخر نتح الفعلي بالتبخر نتح الكموني:

أ) " طريقة Bowen ration ":

مؤشر عجز (نقص) الماء في المحصول "Crop Water Stress Index"يعتمد على التبخر نتح الكامن "PE" والتبخر نتح الفعلي "ET" وفقاً لمعادلة Bowen :

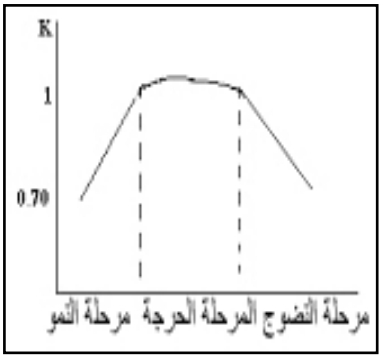
$$I = PE – ET / PE \qquad [10\text{-}1]$$

I - مؤشر شدة الجفاف ، PE - التبخر نتح الكموني ، ET - التبخر نتح الحقيقي
هذه النسبة تتغير من القيمة (الواحد) في حالة الجفاف الشديد جداً للتربة والجو إلى القيمة (الصفر) في حالة الرطوبة الوافرة للتربة والجو.

ب- علاقة التبخر نتح الفعلي بالتبخر نتح الكموني :

$$K = ET / PE \qquad [10\text{-}2]$$

K- مؤشر الرطوبة "معامل المحصول"
ET- التبخر نتح الفعلي
PE- التبخر نتح الكموني



شكل (10-1) قيمة الثابت (K)

تكون القيمة (K) أقل أو تساوي الواحد في كل مرحلة من مراحل نمو النبات. و الشكل الآتي يبين قيمة الثابت (K) في جميع مراحل النبات.

شكل (10-1) قيمة الثابت (K) في جميع مراحل النبات

فإذا حسبنا التبخرنتح الكموني ، وبمعرفة قيمة الثابت (K) يمكننا تقدير احتياج النبات إلى كمية السقاية المطلوبة ليعطي مردوداً كبيراً ، وتجاوز هذه الكمية خطر على النبات وإنقاصها بشكل كبير يؤدي إلى معاناة النبات للجفاف وبالتالي لإنقاص المردود .

2- طريقة علاقة الأمطار بالتبخر نتح:

أ) طريقة كوشيمي وفرانكوين (Cocheme and Franquin):

تحسب كمية الأمطار واحتياطي الماء (الماء المتوفر عند مستوى الجذور (P) وتقارن مع كمية التبخر نتح الكامن (PET) المحسوبة بطريقة بنمان "Penman" وعلى أساس هذه النسبة قسم المناخ كما ورد في الجدول (10-1).

جدول (10-1) مؤشر نسبة الهطول إلى كمية التبخر

النسبة بين P/PET	التقسيم
1 أو أكثر	عالي الرطوبة (H)
1 – 2/1	متوسط الرطوبة (M)
2/1 –4/1	متوسط الجفاف (MD)
4/1 أو أقل	جاف (D)

ب- طريقة نسبة كمية الأمطار إلى التبخر نتح:

$$Ky = \sum P / E \qquad [10\text{-}3]$$

Ky- مؤشر الرطوبة ،∑ P- مجموع الأمطار خلال العام

E- مجموع التبخر خلال العام

وعلى أساس نتائج تلك المعادلة يمكن تصنيف طبيعة الأرض المقترنة بمؤشر الرطوبة " Ky"، جدول (10-2).

جدول (10-2) مؤشر الرطوبة " Ky" وطبيعة الأرض المقترنة به

Ky	طبيعة الأرض
1.33	غابات
1.0	سهول مزروعة
0.67	بعلية (أراضي سوداء)
33.0	أراضي جافة

جـ معامل "تيرك " :

يمثل هذا المعامل العلاقة بين مجموع الأمطار الهاطلة والبخر نتح السنوي

ت = الأمطار \ البخر نتح الأعظمي [4-10]

حيث أن:

ت – الترسيب

ولقد وضع "تيرك" بناءً على دراسته ، الحدود التصنيفية الآتية :

ت < 1 فوق رطب

1 < ت < 0.7 رطب

0.7 > ت < 0.4 شبه رطب

0.4 > ت < 0.25 شبه جاف

0.25 > ت < 0.1 جاف

ت > 0.1 جاف جداً

دـ حساب نسبة الهطول إلى درجة الحرارة (المؤشر الرطوبي/الحراري لفترة نمو النبات "Hydrothermal cofficient "HTK):

$$HTK=(\sum P/\sum T)X10 \qquad [10-5]$$

∑P- مجموع الأمطار

∑T- مجموع متوسط درجة الحرارة أعلى من 10م°

عندما تكون HTK أكبر من 1.3 منطقة مفرطة الرطوبة

1.3-1.0 رطوبة غير كافية

1.0-0.7 جافة

0.7-0.4 جافة جداً

ويرى Cherkov عندما تكون HTK أكبر من 1.6 منطقة مفرطة الرطوبة

من 1.3-1.6 رطبة

1.3-1.0 رطوبة غير كافية

1.0-0.7 جافة

0.7-0.4 جافة جداً

0.4 وأقل صحراوية وشبه صحراوية

هـ طريقة (مازو أندريه) :

يعتبر الشهر جافاً إذا تحققت العلاقة الآتية:

$$P / t + 10 < 1 \qquad [10-6]$$

P- الأمطار

t- درجة الحرارة

وذلك على أساس درجة الحرارة 30-25 درجة مئوية ، وبذلك فإن الأشهر الجافة بحسب هذه العلاقة هي التي تتلقى أمطارا تتراوح بين (40-35 مم).

و- طريقة ديمارتون (قرينة الجفاف "Aridity Index") :

هي مؤشر عددي يدل على درجة جفاف المناخ وقحولة الأرض وتسمى قرينة الجفاف (Aridity Index). وتعتمد في حسابها على أهم العناصر المناخية وهي الحرارة والأمطار. فقد وضع بعض العلماء علاقات لحساب قرينة الجفاف منهم ديمارتون (E. DeMar-tonne) عام 1926م ، الذي وضع العلاقة الآتية:

$$I = P / T+10 \qquad [10-7]$$

حيث أن:

I- قرينة الجفاف

P- معدل كمية الأمطار السنوية (مم)

T- متوسط درجة الحرارة السنوية (م°)

10- معامل ثابت

ويكون المناخ جافاً إذا كانت (I) أقل من 5 ، وشبه جاف إذا كانت بين 10-5 ، وشبه رطب بين 20-10 ، ورطباً بين 30-20 ، ورطباً جداً إذا كانت فوق 30 .

3- طريقة مقارنة المحصول بالمعدل العام له :

وعلى هذا الأساس صنف الجفاف حسب تأثيره على الإنتاج إلى ثلاثة أقسام:

أ) جفاف شديد جدا (إذا قل الإنتاج عن المعدل العام بمقدار 50% أو أكثر).

ب) جفاف شديد (إذا قل الإنتاج عن المعدل العام بمقدار 20-50%).

جـ) جفاف معتدل (إذا قل الإنتاج عن المعدل العام بمقدار أقل من 20%).

4- طريقة تقدير شدة الجفاف بالاعتماد على كمية الرطوبة المنتجة في الطبقة السطحية للتربة:

يمكن تقدير شدة الجفاف بالاعتماد على كمية الرطوبة المنتجة في الطبقة السطحية للتربة (00 - 20سم) لما لها من تأثير كبير على حياة النبات على النحو الآتي:

أ- جفاف خفيف (الرطوبة المنتجة أقل من 19سم في هذه الطبقة).

ب) جفاف حقيقي (الرطوبة المنتجة أقل من 9سم في هذه الطبقة).

5- الطريقة العامة لتقسيم الجفاف :

تعتمد هذه الطريقة على:

1- الرياح الجافة وسرعتها.

2- فرق ضغط بخار الماء.

3- درجة حرارة الهواء

4- رطوبة التربة المنتجة للطبقة السطحية (20-00سم) وللطبقة التالية (100-20سم) .

وحسب هذه الطريقة يمكننا تمييز أربعة أنواع للجفاف :

أ) جفاف شديد جداً:

يتميز هذا النوع من الجفاف بـ:

- فرق ضغط بخار الماء عن الإشباع في الجو يزيد عن 40 ملم.
- حرارة الهواء عالية تزيد عن 37 درجة مئوية.
- رطوبة التربة المنتجة في الطبقة السطحية حوالي الصفر وفي الطبقة الآتية حوالي 30 ملم.

- تسبب الرياح الجافة تلفا في المجموع الخضري وجفافا في الحبوب قبل نضجها ويمكن أن تحصل هذه الأضرار في فترة قصيرة قد لا تتجاوز يوما واحد أو عدة ساعات.

ب) جفاف شديد:

يتميز هذا النوع من الجفاف بـ:

- فرق ضغط بخار الماء عن الإشباع في الجو تتراوح قيمته بين 40-30ملم.
- درجة حرارة الهواء عالية بين -34 37 درجة مئوية.
- رطوبة التربة المنتجة في الطبقة السطحية أقل من 01 ملم وفي الطبقة التالية حوالي 30 ملم.
- تسبب الرياح الجافة ذبولا واصفرارا شديدا على النبات.

جـ) جفاف معتدل:

يتميز هذا النوع من الجفاف بـ:

- فرق ضغط بخار الماء عن الإشباع في الجو تتراوح قيمته بين -25 30ملم.
- درجة حرارة الهواء حوالي 35 درجة مئوية.
- الرطوبة المنتجة في الطبقة السطحية أقل من 10ملم وفي الطبقة التالية بين 50-30 ملم.

الرياح الجافة تسبب تجعد الأوراق واصفرارها.

د) جفاف خفيف:

يتميز هذا النوع من الجفاف بـ:

- فرق ضغط بخار الماء عن الإشباع في الجو تتراوح قيمته بين 25-15ملم.
- درجة حرارة الهواء حوالي 35 درجة مئوية.
- الرطوبة المنتجة في الطبقة السطحية تساوي 20ملم.
- الرطوبة في الطبقة التالية تساوي 50ملم.
- تسبب الرياح الخفيفة النقص في المحتوى المائي للأوراق.ويمكن أن تسبب الرياح القوية التي سرعتها أكثر من 10م/ث نفس التأثير حتى ولو كان فرق ضغط بخار الماء عن الإشباع يتراوح بين 12-10ملم.
- إن حدوث الرياح الجافة والجافة جداً نادرين ولهذا فإنهما لا يسببان أضرارا كبيرة بصورة عامة أما الرياح الجافة الخفيفة لفترات طويلة والتي تزيد أحياناً عن عشرة أيام متتالية فإذا لم تسبب أضراراً خلال عدة أيام فأن تأثيرها يكون كبيرا خلال فترة طويلة.
- بصورة عامة يكون تأثير الرياح الجافة خفيفا أو معدوما إذا توفرت رطوبة كافية في التربة أي إذا كانت الرطوبة المنتجة في الطبقة السطحية (0_20سم) أكثر من 20 ملم و إذا كانت رطوبة التربة في الطبقة (0_100سم) أكثر من 100 ملم، فإن النبات لا يتأثر بالرياح الجافة الخفيفة إذا استمرت خمسة أيام ومن الرياح المعتدلة أربعة أيام ومن الشديدة ثلاثة أيام ومن الشديدة جداً أذا دام أثرها يوما واحدا أو يومين .

6- علاقة التبخر والعجز في ضغط بخار الماء والرياح :

إن العلاقة القوية بين الرياح والتبخر والعجز في ضغط بخار الماء تعطي مؤشراً واضحاً لشدة الجفاف أو ضعفه جدول (10-3).

جدول (10-3) مؤشر الجفاف

الجفاف	التبخر الممكن ملم/يوم	العجز في ضغط بخار الماء (hpa) في الساعة13عند سرعة الرياح	
		<10م/ث	>10م/ث
ضعيف	3-5	20-32	13-27
متوسط الشدة	5-6	33-39	28-32
شديد	6-8	40-52	33-45
شديد جداً	8<	35<	64<

ولذا يعتبر ضغط بخار الماء من المؤشرات الشائعة في وصف جفاف الجو ، وجدير بالحسبان قبل إجراء عمليات الري فمثلاً ممكن من خلال المعادلة الآتية تحديد حالة الجو :

$$E - e = E (1 - f) \qquad [10-8]$$

E- ضغط بخار الماء المشبع ، e- ضغط بخار الماء الفعلي ، f- الرطوبة النسبية

ويعتبر الجو ضعيف الجفاف إذا كان ضغط بخار الماء المشبع "E" 20-29 hpa ، ومتوسط الجفاف إذا كانت "E" 30-39 hpa ، وشديد الجفاف إذا كانت "E" 40-49 hpa ، وأكثر من 50hpa شديد جداً.

7- طريقة ترول (Troll) :

قسم Troll مناخ العالم إلى 5 مجموعات على أساس كمية الأمطار بالأشهر ويوضح الجدول (10-4) الفترات الرطبة والمناخ المقابل لها .

جدول (10-4) علاقة الفترة الرطبة بطبيعة المناخ

المناخ	الفترة الرطبة (بالشهر)
المناخ المداري الممطر	9 1/2 - 21
المناخ المداري الرطب	7 – 9 1/2
المناخ المداري الجاف-الرطب	4 1/2 - 7
المناخ الشبه جاف	2 – 4 1/2
المناخ الجاف	2 >

8- مؤشر الانحراف القياسي للهطول :

"Standardised Precipitation anomaly Index" :

$$SPI = P - M(P) / D(P) \qquad [10-9]$$

SPI- مؤشر الانحراف القياسي للهطول

P- مجموع الأمطار لفترة زمنية طويلة

M(P)- المتوسط المناخي للأمطار

D(P)- الانحراف القياسي

ويمكن تصنيف المناخ وفقاً للجدول (10-5).

جدول (10-5) مؤشر الانحراف القياسي للهطول

التصنيف المناخي	مؤشر الانحراف القياسي للهطول
جفاف خفيف	0.99-: 0.00
جفاف معتدل	1.49- : 1.0-
جفاف شديد	1.99-: 1.5-
جفاف شديد جداً	-0.2 : و أقل

9- علاقة بوديكو ليتو:

بالاعتماد على عوامل مناخية ثلاثة هي : الإشعاع الشمسي ، كمية الهطول ، التبخر وضع بوديكو ليتو علاقته التالية :

$$D = R / L P \qquad [10\text{-}10]$$

R- المتوسط السنوي لكمية الإشعاع على السطح.
P- المتوسط السنوي لكمية الهطول.
L- الحرارة الكامنة من تبخير الماء.

جدول (10-6) درجة الاستغلال وانعكاساته على التصحر

درجة الاستغلال وانعكاساته على التصحر وتوزيع المناطق	مؤشر الجفاف (D)
صحاري فعلية	أقل من 10
تصحر في المناطق المستخدمة للرعي المكثف (أطراف الصحارى)	7 - 01
تصحر واسع بسبب الرعي الجائر (مناطق شبه جافة)	7-2
تصحر محدود (شبه رطبة إلى رطبة)	أقل من 2

10- دراسة حالة معينة لتشخيص آلية الجفاف: التحليل التكراري للعجز المائي-نموذج فرانكوين(سي.ريو):

يعتبر هذا النموذج أداة عملية لوضع خطة للجفاف الزراعي وتشخيص الجفاف من خلال مقارنة الاحتياجات المائية لمحصول أو لمجموعة من النباتات مع الكمية المتاحة من رطوبة التربة . ومن الممكن إيجاد نموذج مبسط يعتمد على فترات شهرية أو ثلث شهرية وذلك باستخدام التبخر والنتح الممكن (ETP) والاحتياطي المائي الممكن استخدامه (RU) ومتوسط كمية الهطول (P). وإذا زادت كمية الهطول عن التبخر والنتح الممكن تختزن التربة فائض الرطوبة. ولذلك يمكن إضافة هذا الاحتياطي من الماء إلى كميه الهطول الآتية إلا أن هذا الاحتياطي له حد أقصى (Ru) لأنه يحد من التبخر والنتح الممكن عندما تكون كمية الماء المتاح غير كافية. ويتم تحديد كمية الماء المتاح للمحصول بمقارنة التبخر والنتح الفعلي مع التبخر والنتح الممكن.
وتقدر الإنتاجية بمقارنة نسبة الإنتاجية الفعلية (Y) للإنتاجية القصوى (الممكنة) (Ym) مع نسبة التبخر والنتح الفعلي (ETR) للتبخر والنتح الممكن (ETP).
والنموذج الآتي هو أكثر النماذج شيوعاً:

$$(Ym-Y) / Ym = a (\sum ETP- \sum ETR) / \sum ETP \quad [10-11]$$

ويتم تجميع قيم التبخر والنتح لطيلة فترة النمو.

a- معامل تتراوح قيمته من 0.7 إلى 1.9 ووجد أن معظم القيم في حدود (1).

ويمكن الحصول على التبخر والنتح الفعلي من صيغة ايقلمان(1971):

$$ETR/ETP = a + bT + cT2 + dT3 \quad [10-12]$$

$$a = - 0.05 + 0.732/ETP$$

$$b = 4.97 - 0.661\ ETP$$

$$c = - 8.57 + 1.560\ ETP$$

$$d = 4.40 - 0.880\ ETP$$

حيث أن: T= معدل تعويض التربة من الماء (إي T= Wo/RU).

Wo= كمية الماء الذي تستقبله التربة.

RU= الكمية القصوى للمخزون المائي في التربة.

حدد فرانكوين ثلاثة مواسم معينة على النحو الآتي :

-1فصل رطب (ر) حيث H : ETR=ETP

-2 فصل شبه رطب (ش ر) حيث SH : ETP>ETR ≤ ETP/2

-3 فصل جاف (ج) حيث S : ETP/2 > ETR

11- تحديد طول الموسم الزراعي بالاعتماد على البخر نتح - الأمطار:

لتحديد موسم زراعي لمنطقة معينة - يستعمل رسم بياني لمتوسطات الأمطار ومنحنى نصف التبخر نتح الشهري . تقاطع المنحنيين يحدد بداية ونهاية الموسم الزراعي .

وبهذه الطريقة وعند توفر البيانات الكافية للأمطار والتبخر نتح لأكبر عدد من السنوات (يفضل أن لا تقل عن 30 سنة) يمكن التنبؤ بطول الموسم على وجه الدقة لأي منطقة كانت وأجراء الدراسات المناخية الزراعية المطلوبة لعمليات الري.

تحديد الموسم بهذه الطريقة ، يعتمد على افتراض أن احتياج المحصول للماء عند زراعته وعند نضجه يساوي نصف التبخر نتح الأعظمي وعلى افتراض استغلال أكبر كمية من مياه الأمطار وعلى هذا الأساس يمكن تحديد الموسم الزراعي لأي منطقة مناخية والمحاصيل المناسبة وإمكانية الري الدائم أو الري التكميلي أو الري عند الحاجة وبتطبيق هذه الطريقة يتضح أن طول الموسم الزراعي يزداد طبقاً للتدرج المائي من الصحراوي وشبه الصحراوي إلى الجاف والرطب ولهذا يلاحظ أن المحاصيل في الإقليم الصحراوي وشبه الصحراوي(-100 250 ملم)، تعتمد على الري الدائم في أغلب الأحوال لقصر الموسم المطري.

في الإقليم الجاف (250 - 300 ملم) ، يمكن ممارسة الري التكميلي لمحاصيل الأعلاف وفي الإقليم المناخي شبه الجاف (350 - 550 ملم) يمكن إعطاء الري التكميلي مع تحديد فترات الجفاف الحرجة وهكذا يتم التحليل لبقية الأقاليم المناخية .

بعد تحديد طول الموسم واختيار العينة المناسبة ، يتم تحليل الأمطار اليومية لمعرفة طول الفترات الجافة (Dry Spells) ، فإذا كان احتمال حدوث الفترات الجافة الطويلة كثيراً ،

فإن المحصول في تلك المنطقة قد يتعرض لنقص في احتياجاته المائية ، مما يؤثر سلباً على إنتاجيته . ويتم تحديد طول الفترة الجافة بمعرفة سعة التربة لخزن الماء ، وكمية الماء المتوفرة للمحصول في التربة ، وتعتمد تلك السعة على الخواص الفيزيائية للتربة وعمق الجذور.

طول الفترة الجافة التي يتحملها المحصول =
الماء المتوفر في التربة ÷ البخر نتح للمحصول [10-13]

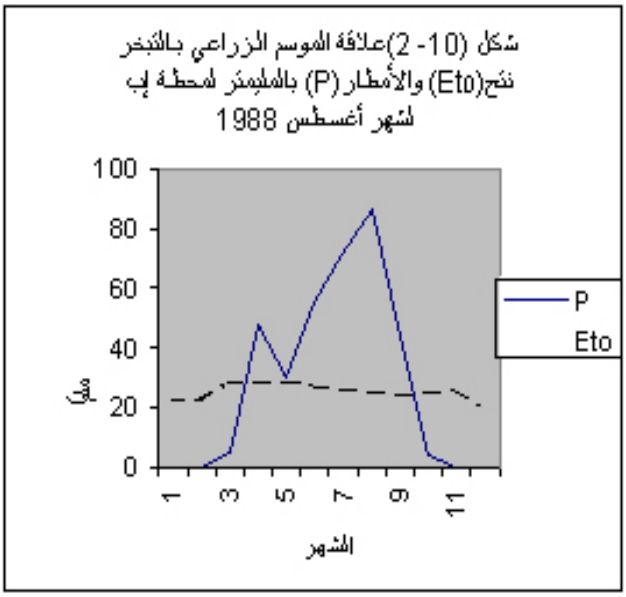
تكون الفترة الجافة التي يتحملها المحصول أطول عندما يزرع المحصول في تربة طينية وتكون جذوره عميقة ، ويكون مستوى التبخر نتح قليلاً . فمثلاً أذا كانت سعة التربة الطينية حوالي 200ملم / متر ، وكان عمق الجذور 0.7 متر، فإن الماء المتوفر للمحصول يساوي 140 ملم، وإذا عرف أن المحصول يمكن أن يستفيد من 0.7% من ذلك الماء قبل أن يبدأ التأثر بنقص المياه فإن الماء المتوفر للمحصول يساوي 70 98 =100 ÷ 140 x ملم
وإذا كان البخر نتح من المحصول في وقت معين يساوي 7 ملم ، فإن طول الفترة الجافة التي يتحملها المحصول تساوي 14 يوماً . وبناءً على ذلك فإن أي فترة أطول من 14 يوماً تؤثر سلباً على الإنتاجية.
طول الفترة الجافة التي يتحملها المحصول =
سعة التربة x عمق الجذور x نسبة الاستفادة ÷ البخر نتح =
يوماً 14 = 7 ÷ 0.7 x 0.7 x 200
وفي ذات التربة المذكورة أعلاه ، وفي نفس عمق الجذور ونسبة الاستفادة ، إذا كان البخر نتح 9.0 ملم / يوم ، فإن طول الفترة الجافة التي يتحملها المحصول تنقص إلى 11 يوماً . إما أذا نقص البخر نتح إلى 4.9 ملم / يوم ، فإن المحصول يستطيع أن يتحمل فترة جافة طولها 20 يوماً قبل أن يتأثر بنقص المياه . كذلك في نفس نوع التربة ونفس نسبة الاستفادة من الماء المتوفرة في التربة، تنقص طول الفترة الجافة التي يستطيع أن يتحملها المحصول عندما تكون جذوره قريبة من السطح. وفي التربة الرملية ذات السعة الأقل لا يتحمل المحصول فترات جفاف طويلة وذلك لأن مخزون التربة الرملية قليل ولا يمد المحصول باحتياجاته لفترة طويلة.

12- طريقة جوسان وبانيول لتحديد الفترة الجافة:

يعتبر المناخ جافا إذا كان المعدل السنوي للأمطار (سم) أقل من ضعف المعدل السنوي لدرجة الحرارة (مئوية) أو يساويه.

$$P \leq 2t \qquad [10 - 14]$$

P- المعدل السنوي للأمطار، t- المعدل السنوي لدرجة الحرارة (مئوية)
مزايا هذا المعامل ، قاعدته ترتكز على أساس أن الجفاف يبدأ عندما يكون مجموع الهطولات المطرية الشهرية مقاسة بالمليمتر أقل من ضعف درجة الحرارة المقاسة بالدرجات المئوية. ونتحصل على مدى السنة على تأرجح المناخ حول الفصل الجاف والفصل (الممطر) الرطب وهذا المعامل بحكم الفارق بين محوري الهطول المطري ودرجات الحرارة ، يعبر عن مخزون المياه في التربة، ونتحصل بذلك على الموسم الزراعي وفترة الري. حيث تمكننا هذه العلاقة



من تحديد الفائض أو العجز المائي في منطقة ما الشكل (10-2).

طرق مكافحة الجفاف:

كثيراً ما تتعرض مناطق واسعة من سطح اليابسة إلى الجفاف ويؤدي إلى أزمات اقتصادية كبيرة بسبب تلف المحاصيل. ولذا فدراسة عوامل الجفاف وأسبابه وتردده ، ودراسة الخواص البيولوجية للنبات تدفعنا لإتباع الطرق الآتية للتخفيف من أضرار الجفاف:

1- السقاية : أفضل طريقة لمكافحة الجفاف هي السقاية ... لأننا بذلك نرفع من كمية الرطوبة في التربة وحتى السعة الحقلية إن أمكن) إبعاد عامل جفاف التربة (، والسقاية ترفع من ضغط بخار الماء في الجو أي تقليل فرق ضغط بخار الماء عن الإشباع وبذلك يقترب التبخر النتح الحقيقي من التبخر النتح الكموني وبالتالي تخف شدة الجفاف وتصبح أقل وطأة على النباتات.

2- مصدات الرياح:

إن إنشاء مصدات الرياح لتخفيف سرعتها وتقليلٍ تأثيرها على النبات وبالذات إذا كانت الرياح جافة . حيث مصدات الرياح تمثل ضرورة مهمة جداً وذات جدوى متعددة الأغراض للإنسان والنبات والحيوان و تعرف بأنها حواجز نباتية عالية تصل إلى ارتفاع معين فوق سطح الأرض وتقف عائقاً أمام اتجاه الرياح وتقلل من سرعتها وتقضي على شدتها وتزيل معظم تأثيراتها الضارة.

فوائد مصدات الرياح:

أ- حماية التربة من الانجراف:

إن سرعة الرياح 15كم/ ساعة على ارتفاع 15سم فوق سطح التربة تسبب في دوران حبيبات التربة الصغيرة وترفعها عدة أمتار وتصطدم بغيرها وتشكل العواصف الغبارية بينما تزحف الحبيبات الرملية الكبيرة لمسافات قصيرة محدثة الكثبان الرملية وتتكرر هذه العملية بسرعة وكلما ازدادت سرعة الرياح ازداد حجم الحبيبات التي تتناثر محدثة العواصف الغبارية الرملية مما تسبب التعرية للتربة.

ولما كان للأشجار تأثير مباشر على صد وكسر الرياح والتقليل من سرعتها إلى أقل من سرعة بداية الانجراف فإنها تقف عائقاً أمام زحف وانتقال الرمال أو حبيبات التربة ، كذلك تعمل جذورها من تثبيت التربة وتحسن من صفاتها الفيزيائية.

ب- الحد من خسارة الماء من التربة و النبات:

باعتبار أن الأشجار كاسرات رياح فذلك يؤدي إلى التقليل من سرعتها والتقليل من كمية التبخر و تبخر النتح ودلت التجارب حول أهميتها حيث تقل كمية التبخر و تبخر النتح أكثر من 25%

وقد تصل إلى 60%.
حيث تمثل إقامة الأحزمة الواقية ومصدات الرياح أسلوباً آخر للحد من الاحتياج المائي للمحصول. وإضافة إلى ذلك يجب أن يتم اختيار المحصول الذي له أدنى احتياجات مائية في مثل هذه المناطق.

جـ- حماية الحيوانات:

للرياح أضرار مباشرة على سلوك الحيوانات وطريقة معيشتها، ولقد ثبت بالتجارب العملية أن الحيوانات تنـزعج من تأثير هبوب الرياح وأضرارها وخاصة الأبقار الحلوب التي ينخفض إنتاجها من الحليب بسبب الرياح هذا فضلا عن تأثر الطيور والدواجن من ذلك.

د- حماية النباتات وزيادة محصولها:

مما لاشك فيه أن مصدات الرياح تؤدي إلى زيادة إنتاج المحاصيل الحقلية والزراعية والشجرية. ففي تجارب أجريت في داكوتا أعطت زيادة في الإنتاج تقدر بـ 93% من إنتاج الذرة والقمح والشعير.

هـ- زيادة جمال الطبيعة وتحسين المناخ.

و- إنتاج المادة الخشبية.

ز- إنتاج البذور والثمار والعلف والعسل وحبوب اللقاح والصمغ.

حـ- وهناك فوائد عديدة من ناحية اجتماعية وسياحية وصحية باعتبارها أولاً وقبل كل شي مصدراً للأكسجين.

تصميم مصدات الرياح :

قبل البدء بإنشاء مصدات الرياح لابد من وضع التصميم الذي يراعي النقاط الأساسية الآتية:

أ. ارتفاع المصدات
ب. كثافة المصدات ونفاذيتها.
جـ. امتداد وشكل المصدات.
د. المسافة بين المصدات.
هـ. مقطع المصدات.
و. المسافة بين أشجار المصد الواحد.
ز. الأصناف والأنواع الشجرية.

أ- ارتفاع المصد:

يقصد بالارتفاع العلو النهائي الذي تصل إليه أشجار المصد . فكلما ازداد المصد عن سطح الأرض ازدادت المسافة المحمية من تأثير الرياح ، وهذه الزيادة تتناسب طردا مع ارتفاع الحاجز النباتي.

فإذا كان حزام الأشجار H فإن المسافة التي يظهر تأثيره خلالها في خفض سرعة الرياح تعادل 40 مرة ارتفاع الأشجار (40xH) ، في حين نجد أنه لمسافة تبلغ خمسة أضعاف ارتفاع المصد (5xH) تسود تقريبا حالة الركود الهوائي ، مع وجود بعض الحركات الحجيرية الدورانية . وبالطبع، فإن فعالية الحزام الواقي تكون أكبر فيما إذا كان يشكل زاوية قائمة مع اتجاه الرياح السائدة، ولهذا السبب يجب معرفة الاتجاه السائد للرياح في الموقع المراد وقايته.

وإذا كان الحزام الواقي يخفض من سرعة جريان الهواء ، فإنه أيضا يؤدي إلى زيادة التظليل للمحاصيل القريبة منه ، كما أنه يحدث تغييرا في كمية التهطال خاصة في حالة الأمطار الآتية

من الاتجاه السائد للرياح ، كما يؤدي إلى تغييرات في كمية المياه المتبخرة من المحاصيل الزراعية والتربة - إلا أنه لا يمكن القول ما إذا كان الحزام بوجه عام سيسبب زيادة أو نقصا في الكميات المتبخرة ، إذ أنه قد يؤدي إلى الزيادة أحيانا ، وإلى النقصان أحيانا أخرى حسب الظروف العامة السائدة سواء التي يخلقها وجود المصد أو الموجودة مسبقاً .

ب- كثافة المصدات ونفاذيتها:

تتميز ثلاثة أنواع من حيث الكثافة لمصدات الرياح - فإما أن يكون المصد كثيفا ويشكل في هذه الحالة حاجزا منيعا للرياح وغالبا ما يسبب حركات دورانية خلف المصد. أو أن يكون المصد ذي كثافة أقل وقليل النافذية ، وفي هذه الحالة يكون المصد ذي أثر فعال على الرياح والتخفيف من أضرارها. أو أن يكون المصد قليل الكثافة وكبير النافذية فيكون تأثير هذا المصد جزئياً على الرياح.

جـ - امتداد وشكل المصد:

يخضع امتداد المصد لاتجاه الرياح ومصدرها والهدف الرئيسي من إنشائها وغالبا ما تكون بشكل عمودي على اتجاه الرياح ، وقد تكون باتجاه واحد أو باتجاهات عديدة من الأشكال المرغوبة لحماية المزروعات.

د - المسافة بين المصد والمصد:

تتوقف المسافة بين المصد والمصد على ارتفاع المصد وكثافته وسرعة الرياح والهدف من إنشاء المصدات وعدد أو الأحزمة التي لابد منها ، فإذا كانت سرعة الرياح التي قد تمر فوق بستان فاكهة أكثر من 100كم/ساعة فيفضل أن تكون المسافة بين مصدين حوالي 100 متر أما إذا كانت سرعة الرياح حوالي 50 كم/ساعة والمظلة المراد حمايتها هي فراغ فيفضل أن تكون المسافة بين مصدين 1000-500متر .

وإذا كان الهدف هو حماية الحيوانات من أشعة الشمس فقط فيكتفي بأحزمة وقائية 100x100متر.

هـ - مقطع مصدات الرياح:

إن المقطع هو المسقط العمودي المار عرضيا بمصد الرياح قد يكون شكل المصد مربعا أو مستطيلا أو مثلثا أو أي شكل آخر. وأفضل المصدات ما كان مربعا أو مستطيلا لما له من ميزات وقائية أفضل من ضرر الرياح وقلة تكاليفه . بشكل عام لا يزيد عرض المصد عن خمسة أضعاف ارتفاعه بشكل أن يتكون من (10-4) صفوف من الأشجار وأن يكون قليل النافذية بجميع أجزائه وخاصة القسم الأسفل من مقطع المصد.

و - المسافة بين أشجار المصد الواحد:

إن معدل المسافة بين الخط والخط في الصف الواحد هو 3-4 أمتار وبين الشجرة والشجرة 2-3 أمتار لكي يتاح للشجرة بالنمو حسب متطلباتها والهدف من زراعتها ، و لإمكانية استعمال الآلات والأدوات الميكانيكية.

ز - الأصناف والأنواع المستخدمة في المصدات:

يفضل استعمال صنف واحد من الأشجار الحراجية في إنشاء مصدات الرياح لأن الصنف الواحد يحتاج إلى متطلبات واحدة من حيث التربة والطقس والتربية المطلوبة منه . ومن أهم الصفات الواجب توافرها في أشجار المصدات هي أن تكون ملائمة للتربة ومقاومة للصقيع وللآفات وأن تكون دائمة الخضرة ومنتجة للبذور والثمار والعلف وأن تكون منتظمة النمو والشكل والكثافة

وجميلة وقليلة الاستهلاك للماء وأن تكون ذات جذور عميقة ليتاح لها مقاومة الرياح الشديدة.

زراعة المصدات والعناية بها:

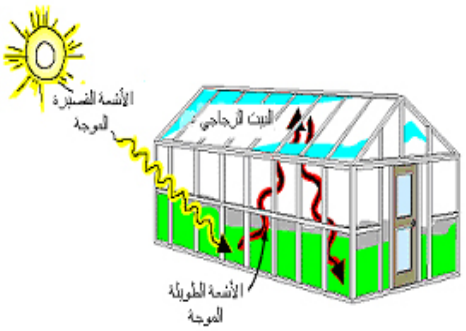
يجب تهيئة الأرض وتحضيرها قبل زرع الغراس وذلك بفلاحة الأرض وإزالة الأعشاب وجذورها وانتقاء الغراس من أصل جيد ومن نوعية ممتازة من حيث حجمها وحجم جذورها وبنفس الوقت أن تكون ذات تكاليف قليلة ويجب الانتباه إلى عدم تعرض الجذور إلى الجفاف وأشعة الشمس أثناء الزراعة وبعدها ومن الضروري ري هذه المصدات خلال السنتين الأوليتين من إنشائها بشكل مناسب وبعد ذلك تروى مرة كل شهر خلال أشهر الجفاف بإعطائها نصف تنكه ماء على الأقل شهريا لكل شجرة . ولإنتاج المادة الخشبية من مصدات الرياح ، لابد من أتباع دورة قطع فنية يراعى فيها احتفاظ المصد بأهدافه الأساسية وهي الحماية والوقاية من ضرر الرياح ويتم ذلك بأن يقطع صف واحد أو صفين من صفوف المصد مرة كل 5-10 سنوات وزراعة غرسات بديلا عنها.

3- البيوت الزجاجية:

تؤمن البيوت الزجاجية أو البيوت الخضراء (Green House) الوسط الاصطناعي المكيف والملائم للزراعات الاقتصادية عندما لا تسمح الظروف الجوية بذلك . ويجد النبات المزروع في هذا الوسط الجديد ، المعدل مناخياً ، الظروف البيئية الزراعية المثلى واللازمة له ليصل إلى المستوى الأعلى من الإنتاج . وأهم النقاط الواجب مراعاتها في إنشاء هذه البيوت:

أولاً: الوسط الخارجي المحيط ونموذج الطقس الموجود للتعرف على:

1- اتجاه الرياح السائدة.
2- تغيرات درجة الحرارة وفترة الصقيع.
3- كمية الحرارة المتجمعة.
4- اتجاه الشمس وزاوية ورود الأشعة.
5- فترة السطوع الشمسي ووضعية الإنارة.
6- صفات الهواء الطبيعي والرطوبة النسبية.
7- عوامل الطقس الأخرى المكملة.



شكل (10-4) يوضح حركة الإشعاع في البيوت الزجاجية

ثانياً: وضعية السطح من ناحية:

1- درجات الاستواء والانحدار.
2- كمية الحرارة المتجمعة.
3- نوعية التربة الزراعية.
4- الغلاف الرطوبي ومستوى الماء الأرضي.

ثالثاً: نوع النبات والتعرف على خواصه وصفاته وأطواره الحياتية.

رابعاً: الوضعية المكانية من ناحية:

1- ارتفاع العمارات المجاورة والتظليل.
2- البعد والقرب عن المعامل والأوساخ العالقة على أسطح البيوت الزجاجية.
3- ارتفاع الأشجار ومصدات الرياح.
4- خطوط المواصلات والطرق المؤمنة للمكان.

خامساً: مصادر مياه السقاية ونوعيتها.

سادساً: المصدر الكهربائي اللازم للتشغيل.

وتعتبر النقاط الآتية أهم ما ينبغي تأمينه في البيوت الزجاجية:

1- تنظيم درجات الحرارة بواسطة التدفئة.
2- تنظيم درجات الحرارة بواسطة التهوية.
3- الإضاءة تبعاً للطقس.
4- تنظيم درجات الحرارة الليلية المطلوبة.
5- تنظيم حدود الرطوبة النسبية في الهواء الداخلي.
6- السقاية بالرذاذ (علوي) أو بالتقطير الأرضي.
7- حوامل الإنذار والمنظمات الذاتية.
8- التيار الكهربائي وشبكة التوزيع.
9- حوامل النبات المزروعة.
10- أجهزة المكافحة والتسميد الذاتية.

غطأ هذه البيوت الزجاجية الشفافة بالنسبة للأشعة الشمسية الواردة تسمح للأشعة الضوئية بالعبور إلى داخلها وتكمل حاجة المزروعات . وتمنع الأشعة تحت الحمراء داخل البيت الزجاجي من الضياع فيردها إلى الداخل ويمنع خروجها وبذلك تحافظ على الجو الدافئ.

4-الاستمطار:

تدخل محاولات الاستمطار (زرع الغيوم ، تطعيم السحب ، تحفيز السحب) في إطار برامج تعديل الطقس (Weather modiffecation) والتي لازالت في مراحلها الأولى ، وتعتبر البلدان الجافة وشبه الجافة أكثر البلدان التي هي بحاجة إلى إجراء المزيد من البحوث في هذا الجانب ، حيث إن زيادة كمية الأمطار ولو كانت بكميات صغيره فوق مسطحات مائية طبيعية ضخمه يعني الحصول على كميات هائلة من مياه الأمطار. وعلى سبيل المثال " فإن 1مليمتر من المطر فوق منطقه مساحتها 1كيلومترمربع يعني كميه من المياه تعادل مليون لتر " وتتم عملية زرع الغيوم ، وذلك باستخدام قنابل خاصة تعمل على تكاثف الغيوم وتشكيل قطرات الماء لتصبح أمطارا تسقط في الحقول التي نرغب في سقايتها. ولازالت هذه العملية (الطريقة) محل بحث رغم النجاحات التي حققتها في بعض البلدان والإخفاق في بعض البلدان الأخرى.

وتعتمد هذه الطريقة على دراسة مكونات السحابة ومحاولة إدرار محتوياتها. من خلال معالجة النقص في نويات التكثف بواسطة البذر الصناعي للسحابة المناسبة ، حيث يتم تحريض الغيوم ببذرها أو رشها بنويات تجمد أو تكاثف ، كثاني أكسيد الكربون الصلب ، أو يوديد الفضة ، أو نويات هيجروسكوبية كبيرة كملح الطعام.

وقد أدخلت في هذا الحقل المعدات الجديدة -مثل الطائرات المزودة بأجهزة القياس الفيزيائي للجسيمات المجهرية وأجهزة قياس حركة الهواء ، والرادار(بما في ذلك رادار دوبلر والقدرة الأستقطابية) ، والتوابع الاصطناعية ، ومقاييس إشعاع الموجات الدقيقة ، وراسمات جانبية الرياح ، وشبكات مقاييس المطر الاتوماتيكية. وبهذه التكنولوجية الجديدة يمكن إعداد مناخات سحب وهطول أفضل عند التفكير في وضع مشاريع الاستمطار أو غيرها من مشاريع تعديل الطقس.

وبالرغم من الصعوبات الكبيرة في مشاريع زرع الغيوم والتي أكدتها العديد من الأبحاث لارتباطها بالطبقات العليا للجو والتي تعتمد التغيرات فيها على مجموعة من عوامل الأرصاد

الجوية والجيوفيزيائية وتغيرها مع تغير الوقت خلال اليوم الواحد وارتباطها أيضا بالنشاط الإشعاعي للشمس وتغير المواسم وكذا خط العرض إلا أنه نفذت أعمال زرع الغيوم بهدف زيادة الهاطل المطري في العديد من دول العالم كأمريكا وروسيا وباكستان وعدد من الدول العربية والإقليمية خاصة ليبيا والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة والأردن وسوريا ، وسجلت زيادة في كمية الأمطار بنسبة تتراوح ما بين 10% - 15% و ثبت أن السحب الركامية هي أكثر السحب المرشحة في مشاريع الاستمطار.

و بالإضافة إلى ما تقدم يمكن ذكر مجموعة من الطرق في مكافحة الجفاف وترشيد الاستهلاك المائي على سبيل المثال:

1. التعرف على الخواص البيولوجية لمختلف النباتات ولمختلف الأنواع بغية اختيار النوع الملائم لمناخ المنطقة ورفع مقاومته للجفاف أن أمكن وتربية أصناف النباتات القليلة النتح .
2. رفع المستوى الفني الزراعي وذلك باستخدام واختيار الأسمدة المناسبة والتي تزيد من قوة تحمل النبات للجفاف لأن السماد يزيد من تركيز الماء في التربة
3. التخلص من الأعشاب الضارة لأنها تستهلك رطوبة التربة .
4. استخدام الأجهزة والطرق الحديثة في الزراعة والسقاية . و عند عدم تمكننا من السقاية (أراضي بور) وكمية الرطوبة غير كافية يمكن أن تترك الأرض مستريحة لتختزن كمية من الرطوبة للسنة القادمة ولكن هذه الطريقة غير اقتصادية.
5. استخدام مادة البرليت حول جذور الأشجار حيث أن هذه المادة تمتاز بامتصاص الماء وتوزيعه على النباتات عند الحاجة إليه.
6. التغطية حول جذور الأشجار بالبولي ايثيلين لمنع تبخر الماء من حول جذور النباتات.
7. ترشيد الاستهلاك المائي باستخدام طرق مثل الري بالتنقيط (Drop Irrigation)، وقد أستعمل عرب الصحراء قديماً طرقاً تشبه إلى حد كبير أسلوب الري بالتنقيط ، وهي أن توضع جرة أو جرتان من الفخار مملؤة بالماء قرب جذور الشجرة مما يوفر كميات كبيرة من المياه.
8. اعتماد الري التكميلي (Supplemental Irrigation) عند انقطاع الأمطار مع ضرورة التفكير جدياً باستعمال أنظمة الري الليلي .
9. الاستفادة من الندى المتكون ليلاً بإحاطة الأشجار المزروعة بالحصى الأملس الذي لا يتشرب بالماء ، وعندما يتجمع الندى على الحصى يتسرب إلى الأسفل فتمتصه التربة . وهذه طريقة قديمة أستخدمها الأنباط (من البابليين القدماء) في المناطق الصحراوية لأعمالهم الزراعية .
10. استعمال تقنية تغطية التربة (Mulching) ، إذ أن هذه التقنية توفر 25% في الاستهلاك المائي من خلال تقليلها للتبخر من سطح التربة وزيادة قابلية التربة على حفظ الرطوبة .
11. إقامة إنشاءات تسمح برفع درجة الرطوبة في الجو المحيط بالنباتات مما يقلل من عملية النتح .
12. عمل خنادق في حقول العنب أو الفاكهة لمنع تبخر الماء.

الحرارة المرتفعة:-

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى ارتفاع معدلات الأنشطة الحيوية عن طبيعتها. ويحدث ذلك لمدة قصيرة يتبعها هبوط سريع في تلك الأنشطة ينتهي بنمو غير طبيعي لأجزاء النبات وإذا اشتدت الحرارة بالدرجة التي تختل معها الأنشطة الأنزيمية تضطرب عمليات الأيض المختلفة وعمليات التخليق الضوئي والتنفس.

ولبعض النباتات حساسية كبيرة بالنسبة لدرجة الحرارة المرتفعة في مراحل نموها الأولى رغم أن لها بعد ذلك قدرة كبيرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة جداً ، ومن تلك النباتات يمكن ذكر الشاي والبن ، حيث تظلل في مراحل نموها الأولى بأشجار أخرى ناضجة أو باستخدام غطاءات من الأقمشة . وفي بعض الحالات التي تكون الزراعة فيها على المنحدرات ، وحيث تكون النباتات أقل تعرضاً للشمس وللحرارة المرتفعة من النباتات الأخرى التي تنمو في المناطق المنخفضة ، فإن تلك النباتات لا تحتاج إلى التظليل ، ويمكنها أن تنمو بشكل جيد وتعطي إنتاجا وفيرا في تلك الأماكن المعرضة المكشوفة.

ويمكن أن تؤدي درجة الحرارة المرتفعة في بعض الأحيان إلى ما يعرف باسم اللفحة (الضربة الشمسية). والضرر ينجم من الإشعاع الشمسي الشديد الذي يسبب تسخينا زائدا للنباتات المعرضة مباشرة إلى أشعة الشمس ، ويمكن أن يحدث هذا أيضا خلال فصل الشتاء عندما تعاني أجزاء من النباتات من اختلافات كبيرة في درجة الحرارة على الجانب المعرض للشمس ، ولهذا السبب ترش جذوع الأشجار في بعض الأحيان بمادة بيضاء كالكلس ، أو الطلاء المائي الأبيض ، بمعنى آخر تبييض الجذوع Whitewashed.

وقد تلحق ضربة الشمس أضرارا كبيرة بأشجار الحمضيات خلال فترات الأيام المشمسة والليالي الصقيعية.

ويمكن تلخيص الآثار الغير مناسبة التي يحدثها ارتفاع درجة الحرارة عن حدها الأمثل للنبات بما يلي:

1. تباطؤ في عملية التمثيل الضوئي ونمو النبات.
2. اختلال في عملية التلقيح والإخصاب في الأزهار مما يؤدي إلى التفتح القشري لأعضاء التذكير والتأنيث وعدم تكون الثمار بسبب جفاف حبوب اللقاح وسقوط الأزهار والثمار.
3. زيادة الاختلال بالتوازن المائي في النبات وزيادة الفاقد من المخزون المائي في التربة .
4. تشقق الثمار وتلفها ، وجفاف النموات الغضة والطرفية في أغصان وأوراق الأشجار المثمرة.
5. المساعدة على زيادة انتشار الأمراض النباتية والحشرات عند توفر الرطوبة.

ثالثاً:- درجة الإجهاد اليومي (Stress Degree Day)

تعتبر درجة الحرارة المناسبة لكثير من النباتات لعملية التمثيل الضوئي 92° ف (33.3 °م) وإذا زادت عن تلك الدرجة يحدث أجهاد في التنفس يؤدي إلى خلل وتغيير في النشاط الحيوي للنبات.

وعند درجة الحرارة مابين 92 ° ف - 117 ° ف نمو النبات يتناقص بسرعة ملحوظة ، ويمكن الورق أن تموت فجأةً.

واستخدمت درجة الحرارة 86 ف° كدرجة حرارة حدية (الأساسية) لحساب درجة الإجهاد اليومي (SDD) . فإذا كانت درجة الحرارة الصغرى 70 ° ف والعظمى 90° ف ، والحرارة الحدية محددة سلفاً (86 ° ف) تضاف إلى 92 Tmax ف°) وتقسم على 2 ومن ثم نطرح درجة الحرارة الحدية (86 ° ف) ونحصل على 3 درجات أجهاد خلال 24ساعة.

وتحسب درجة الإجهاد اليومية وفقاً للمعادلة الآتية:

$$SDD = [Tmax + 86] / 2 - 86 \qquad [10\text{-}15]$$

SDD- درجة الإجهاد اليومية.

Tmax- درجة الحرارة العظمى.

رابعاً:- الحرارة المنخفضة

تتحكم درجة الحرارة بصورة مباشرة أو غير مباشرة بالعمليات والوظائف التي تتم في النبات كافة. ومن المعروف أن لكل نبات حد أدنى لدرجة الحرارة يجب أن لا يقل عنه وإلا توقف نموه ومات. وقد وجد أن هذا الحد في المعدل يساوي 5 درجات مئوية ويطلق على هذا الحد(صفر النمو) Zero-point-growth.

فإذا ما انخفضت درجة الحرارة إلى مستوى درجة التجمد تقريباً فإن درجة امتصاص جذر النبات للرطوبة تقل وقد يصبح النبات عاجزا عن تعويض المياه الفاقدة بالنتح مما يجعله يذبل ثم يجف.

ولذا فأن لدرجة حرارة الليل أهميه كبرى بالنسبة لنمو بعض المحاصيل.فالبطاطا والشوندر السكري يقومان بتخزين معظم المواد الكربوهيدراتيه خلال فترة الليل البارد،على حين يتطلب كل من القطن والتبغ والذرة وجود ليالي دافئة ليتم النمو بشكل جيد.

ولقد قدرة أهمية درجات الحرارة الليلية لنمو النبات وازدهاره، باستخدام مفهوم درجة الحرارة الفعالة الليلية والنهارية.

وإذا كانت بعض أشجار الفاكهة - كالتفاح و الدراق- تستطيع تحمل درجة الحرارة المنخفضة جداً في الشتاء ،فإن أشجار أخرى -كالتين-يقتلها الانخفاض الحراري الشديد.

والعديد من الأشجار ذات النباتات الجذرية الوتدية الصلبة يمكنها البقاء على قيد الحياة في حال كون مناخ التربة معتدلا،ودرجة حرارة الهواء منخفضة جدا،غير أن النباتات في مرحلة تكوين البراعم الزهرية والأزهار يمكن أن تتلف .ولما كان الكثير من النباتات يمر بفترة ركود (راحة) في حياته ، تتوافق هذه الفترة مع درجة الحرارة المنخفضة في فصل الشتاء وتنقطع هذه الفترة بارتفاع درجة الحرارة إلى حد معين ، ويصح هذا القول على البذور في حال النباتات الحولية ، وعلى نمو الأوراق أو الأزهار بالنسبة للأشجار المثمرة ، فإن بعض النباتات تحتاج إلى عدد معين من الساعات التي تنخفض فيها الحرارة إلى حد معين كي يتم كسر طور الركود في حال الارتفاع الحراري.فالدراق يحتاج إلى حوالي 4000 ساعة تكون الحرارة فيها دون 7 درجة مئوية ، وهكذا الحال بالنسبة لكثير من الأشجار المثمرة.وينجم عن نقص درجات الحرارة المنخفضة الضرورية لمعظم الأشجار المثمرة أعراضاً عدة تتمثل في تأخير تفتح الأزهار ،وهذا يؤدي إلى تأخير النضج ، وكذا تأخير التوريق ،إضافة إلى تساقط البراعم الزهرية قبل تفتحها . كذلك فإن الأفرع الخضرية التي تنمو في شتاء دافئ يقل عددها بحيث لا تكفي لإعطاء نمو خضري مناسب للشجرة يكفي لتظليل الأفرع الرئيسية مما يعرضها للإصابة بلفحة الشمس.

فالأشجار تتضرر وتهلك في مرحلة النمو الخضري عند درجة حرارة الهواء 5-،8- درجة مئوية وتموت الأوراق والفروع والزهور عند درجة حرارة الهواء 2-،5- درجة مئوية .وثبت بأن أغصان عنب الثعلب السوداء تتحمل الصقيع في الظروف المخبرية في سائل النتروجين إلى 196- درجة مئوية . وأغصان الصفصاف في سائل الهليوم إلى 269- درجة مئوية .

ويبرز دائماً السؤال ، لماذا لا تموت الأشجار بالصقيع في الشتاء؟

والسبب في ذلك أن الماء الحر الموجود داخل الخلايا يتحول إلى ماء مرتبط كما أن العصارة النباتية تتحول إلى مادة لزجة ، ولذا تكون في طور ما يسمى بطور السكون أو ما يعرف (بالبيات الشتوي)، بعد أن تكون قد اجتازت في الصيف فترة النمو الخضري والإزهار والأثمار.

وبما أن الحرارة الدنيا هي العامل البيئي الذي له التأثير الأكبر على الكائنات العضوية عن غيره من العوامل البيئية الأخرى.

خامساً:- الصقيع Frost

هو هبوط في درجة الحرارة لمدة وجيزة إلى مادون الصفر في وقت تغلب فيه درجة الحرارة الموجبة، مما يؤدي إلى تكاثف بخار الماء مباشرةً من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة دون المرور بالحالة السائلة.

أنواع الصقيع :

1 - الصقيع الإشعاعي:

ويتشكل في الليالي الباردة جداً وعند الصباح الباكر وغالباً في حالة الرياح الخفيفة والهادئة وصفاء السماء وارتفاع الضغط (Anticyclone) حيث تزداد خسارة الأرض للحرارة بسبب الإشعاع مما يؤدي إلى انخفاض في درجة الحرارة إلى ما تحت الصفر أو إلى أدنى من درجة تحمل النبات للحرارة المنخفضة.

إن الحالات الجوية التي تؤثر في تشكل الصقيع الإشعاعي في نظر فيتكيفيتش هي:

أ) سماء صافيه وانبعاث إشعاعي قوي.

بـ) غياب الرياح التي ممكن أن تخلط الهواء البارد الأدنى مع الهواء الحار الواقع أعلى منه.

جـ) انخفاض في الرطوبة النسبية ونقطة الندى تؤول إلى الصفر.

2- الصقيع المتنقل:

وسببه انتقال الكتل الهوائية الباردة وهو شامل لمساحات واسعة ويحدث عادة في فصل الشتاء ويستمر هذا النوع أحياناً عدة أيام ويؤدي إلى أتلاف المزروعات ومكافحته صعبه وقد تكون غير ممكنة.

3- الصقيع الإشعاعي-المتنقل:

يظهر نتيجة تدفق الهواء البارد بصوره مضطردة واستمرار الليالي الباردة على السطح عند السماء الصافية،وتظهر هنا حالتي الصقيع معاً.

وتتأثر بلادنا بتدفق الكتل الهوائية الباردة من الشمال والشمال الشرقي الناتجة عن امتداد المرتفع الجوي السيبيري وهو الضغط الجوي المرتفع الذي يرافقه غالباً تناقص تدريجي للسحب وهبوط في درجة الحرارة والهواء يصبح حينها أكثر صفاءً،وتزداد الرؤية بالبعد.

وإذا ما استمرت الحرارة منخفضة إلى مستوى التجمد لفترة يومين أو ثلاثة فإنه قد يقضي نهائياً على نباتات الأرز والقطن في حين تتمكن الذرة وبعض أنواع الخضروات من مقاومة الانخفاض الحراري في تلك الفترة.

وتؤكد بعض الأبحاث بأن تذبذب درجة الحرارة خطير جداً،عندما تهبط في الظهيرة إلى (-5 10) درجة مئوية بالنسبة للقمح ، وفي الليل تهبط إلى10- درجة مئوية. والهبوط الفجائي والسريع الذي يصل لـ 5 درجات مرةً واحدة خلال ساعة يعتبر على جانب كبير من الخطورة مما يؤدي إلى عدم نفعية استعمال أية طريقة مقاومة في السنوات الشديدة الإصابة . وهذا ما حدث في بلادنا في عام 1987م عندما وصلت درجة الحرارة إلى 8- درجة مئوية في محطة صنعاء أدى إلى موت معظم المحاصيل والأشجار في هذه السنة.

وصادف بأن في هذا العام كان هناك اعتدال في الجو ، وتعدت الفترة الحرجة أو ما يسميها المزارعون "الوقوف" ، فأطمأن المزارعون ولم يعملوا احتياطاتهم للتقلبات الجوية وقاموا بسقي جميع أشجار القات ثم أشتد البرد.

وتؤكد معلومات الأرصاد الجوية -مطار صنعاء- اشتداد البرد عادة يكون في الفترة ما بين 11ديسمبر –7يناير وهي عند حلول قران "13".

وعموماً فإن فروع النبات تتقوى عند وجود رطوبة كافية وحرارة 8-10درجة مئوية. بينما عند هبوطها إلى 3-4 درجة مئوية يتوقف التفرع.

ويعتبر الشعير أقل تحملاً للصقيع بالمقارنة مع القمح حيث تعتبر الحرارة أقل من 12 درجة مئوية خطر عليه. وكثير من الفواكه عند درجة حرارة - 1.5 درجة مئوية ، ممكن تعطي إنتاجاً قليلاً جداً ، وعند درجة حرارة - 2.5 درجة مئوية لا تعطي أي إنتاج. ويموت محصول البن عند درجة حرارة –3، -5 .

وتعتبر الثلاثة المراحل الخطرة في دورة حياة النبات التي تتضرر بالصقيع هي الإنبات، الإزهار والإثمار وبالنسبة للعنب فإن الأجزاء الخضرية كالأوراق والفروع أكثر حساسية بالصقيع وتهلك عند درجة حرارة - 1 إلى - 1.5 درجة مئوية.

إن قدرة النبات في مقاومة الصقيع تختلف من نبات إلى آخر ومن مرحلة إلى أخرى من مراحل نموه ويعكس الجدول (8-10) قدرة النبات في مقاومة الصقيع.

جدول (8-10) : يوضح درجات الحرارة الصغرى القاتلة لبعض المحاصيل الزراعية في ثلاثة مراحل رئيسية من عمر النبات

المحصول	الإنبات	الأزهار	الأثمار
الشعير	-7،-8	-1،-2	-2،-4
الفاصوليا	-5،-6	-2،-3	-3،-4
الملفوف	-5،-7	-2،-3	-6،-9
القطن	-1،-2	-1،-2	-2،-3
الذرة	-2،-3	-1،-2	-2،-3
الدخن	-2،-3	-1،-2	-2،-3
البطاطا	-2،-3	-1،-2	-1،-2
الأرز	-0.5،-1	-5.0،-1	-5.0،-1
فول الصويا	-3،-4	-2،-3	-2،-3
عباد الشمس	-5،-6	-2،-3	-2،-3
التمباك	0،-1	0،-1	0،-1
الطماطم	0،-1	0،-1	0،-1

وتتجلى بوضوح بعض مظاهر الأضرار التي يسببها الصقيع في تشقق جذوع الأشجار نتيجة لتجمد الماء المكون لأنسجة النبات بسبب هبوط درجة الحرارة.

ويرى الكثير من العلماء بأن درجة الحرارة المنخفضة وفوق حرارة التجمد يمكن أن تسبب أضراراً أو تعيق إنتاج المحاصيل في عدد من البلدان الاستوائية والمدارية.

وتبرز أحياناً ما تسمى بالبرودة الصيفية في المناطق الحارة ، وتتأثر النباتات بالبرودة على أساس الفترة وشدة انخفاض درجة الحرارة ، والذي يؤدي إلى تأجيل النمو،وعقم الزهور والذي يحدث عندما يحصل هبوط حاد للحرارة لفترة قصيرة خلال دورة حياة النبات.

أسباب تشكل الصقيع:

نتيجة للإشعاع الشمسي في ساعات النهار يسخن سطح الأرض، بينما يبرد في المساء تحت تأثير انبعاث الأشعة منها.

حيث يتم الإمتصاص للموجات القصيرة للأشعة في النهار وانبعاثها ذاتياً في الليل على هيئة موجات طويلة لكن تأثيرها ضعيف على درجة حرارة الهواء.

ونتيجة ًلذلك يحصل التبادل الحراري بين سطح الأرض والغلاف الجوي الذي يسبب التغير اليومي لحرارة الهواء.

ومن المعروف بأن الحرارة تنتقل بواسطة الجزيئات، لذلك تتذبذب حرارة الهواء(المدى الحراري) ويتوزع فقط في طبقة ضعيفة جداً(عدة أمتار)القريبة من سطح الأرض.وعليه فإن التربة والطبقة المحايدة لها من الهواء تسخن بشده في النهار وتبرد ليلاً.

أن انخفاض درجة الحرارة يتعلق بـ:

1) التبادل الإشعاعي بين سطح الأرض والنبات وبين المحيط الجوي.
2) تدفق الحرارة عبر التربة.
3) دورة الهواء في نقل الحرارة.
4) درجة حرارة سطح الأرض عند غياب الشمس .
5) التضاريس الطبيعية.

1- التبادل الإشعاعي بين سطح الأرض والمحيط الجوي :

يشع سطح الأرض وبشكل دائم إشعاعات طويلة الموجه،فإذا كانت هناك غيوم فإنها تمتص قسماً كبيراً من هذه الإشعاعات وتعكسها على سطح الأرض أما في حالة سماء صافيه فإن القسم الكبير من الإشعاعات الأرضية يضيع عبر الفضاء وتكون عندئذ خسارة الأرض من الطاقة أكبر وتنخفض درجة حرارة سطحها.

2- تدفق الحرارة عبر التربة:

تدفق الحرارة عبر التربة يتعلق بـ:

أ) طبيعة التربة وتركيبها.

ب) رطوبة التربة ، حيث تساعد الرطوبة على الرفع من الناقليه الحرارية للتربة فكلما كانت التربة ناقله للحرارة بقدر ما استطاعت أن تمتص الحرارة نهاراً وترفع من درجة الحرارة لسطح التربة ليلاً. لذا كان احتمال وقوع الصقيع في أرض رطبه أقل بكثير من وقوعه في أرض جافه.

وعليه فإن هبوط درجة الحرارة الليلية مرتبط بالمحتوى المائي للهواء والتربة : فكلما كان الهواء رطب ، كان هبوط درجة الحرارة الليلية ضعيفاً ، ولذا يكون الصقيع فوق التربة الرطبة أقل احتمالا عن التربة الجافة ، بسبب أن التوصيل الحراري للتربة الرطبة أكبر ، ولذلك كلما برد سطح التربة بسرعة يتعوض بالحرارة من عمقها . إضافة إلى ذلك فرطوبة التربة تؤدي لرطوبة الهواء فوقها لتعيق بذلك من انخفاض الحرارة. ففي المناطق الرطبة المدى الحراري

يمكن أن يكون 10 درجات مئوية بينما في المناطق الجافة يصل إلى 30-20 درجة مئوية. فالتربة الجافة تساعد في ظهور الصقيع الإشعاعي على سطح التربة.حيث أنها رديئة التوصيل للحرارة،وتؤدي إلى عدم توصيل الحرارة من الطبقات العميقة إلى الأعلى. ولذلك تصقع بسرعة بعد غروب الشمس .

3- دور الهواء في نقل الحرارة:

تسمح حركة الهواء العمودية بالتبادل الحراري بين سطح الأرض والجو،ويعود تشكل هذه الحركة إلى عاملين العامل الأول وهو الحركة الميكانيكية للرياح والعامل الآخر هو العامل الحراري. حيث تزداد الحركة العمودية للرياح مع سرعة الرياح الأفقية في العامل الأول وفي العامل الثاني بسبب عدم استقرار لجزيئات الهواء والتي تلامس سطح التربة وتسخن فتتمدد وترتفع إلى أعلى ،وأثناء الليل تكون حرارة التربة أقل من حرارة الهواء وبالتالي تكون الجزيئات الملامسة لسطح التربة مستقره لأنها ذات كثافة أكبر ، كما تخفف من سرعة الرياح ويكون التبادل الحراري أقل وبالعكس تنخفض حرارة سطح الأرض والمزروعات بسبب الإشعاع الأرضي.لذا فأن الهواء الساكن أو الخفيف يهيئ الشروط المناسبة لخفض درجات الحرارة ليلاً وتشكل الصقيع.

4- درجة حرارة سطح الأرض عند غياب الشمس :

وجد أن هناك ارتباطا كبيرا بين درجة الحرارة لسطح الأرض عند غياب الشمس وبين درجة الحرارة الصغرى أثناء الليل ،فكلما كانت حرارة سطح الأرض مرتفعه عند غياب الشمس كلما كانت فرصة تشكل الصقيع أبعد وبالعكس ، إذا كانت حرارة سطح الأرض منخفضة فإن العوامل الجوية تتضافر لتشكل الصقيع.لذا تعتبر برودة سطح التربة عند غياب الشمس عاملا هاما في التنبؤ عن تشكل الصقيع خلال الليل وعن شدته.

5- التضاريس الطبيعية:

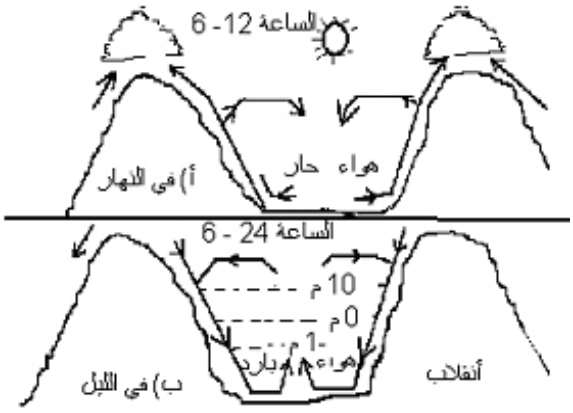
يعتبر شكل الهضاب، صفات السطح، المياه، الأشجار ذو أهميه في تحديد جريان وتدفق الهواء البارد. بالرغم من أن البحث في درجة الحرارة الصغرى اليومية بالنسبة للمرتفعات معقد جداً حيث أن:

أولاً: هناك حالات ارتداد أو انحراف للبرودة في الارتفاعات العالية.

ثانياً: هناك انقلاب في الليل للهواء البارد في الانزلاق أسفل الهضاب (التلال)كالرياح السفحية الهابطة(Katabatic wind) نحو الوديان ،مكونة البرك وجيوب الصقيع (منطقه حوضيه محاطة بأراض مرتفعه) ، حيث تكون درجة حرارة تلك المنطقة المنخفضة دون درجة التجمد ، على حين درجة حرارة المنحدرات العلوية المشرفة عليها فوق درجة التجمد ، وجيب الصقيع هذا يحدث في الليالي الصحوة نتيجة لتدفق الهواء البارد من على المنحدرات العلوية نحو الحوض ليتجمع فيه وليحل بدل الهواء الحار الذي أرتفع نحو الأعلى، ليشكل الهواء البارد المتجمع الذي حرارته دون الصفر جيباً من الصقيع ،أو بحيرة من الهواء البارد .

وهذا ما يؤدي إلى ما يسمى بالانقلاب التضاريسي Orographic Inversion . وهو ذلك الانقلاب الحراري الذي يتشكل في مناطق الوديان والحوضات الجبلية المغلقة -شكل(10-5) . ويحدث هذا النوع من الانقلابات الحرارية في ليالي الشتاء الصحوة ، حيث تكون درجة حرارة بطون الأودية والمناطق المنخفضة أقل بكثير من حرارة المنحدرات المتصلة بها ، وقد

يصل الفارق إلى أكثر من 5 درجات مئوية . ذلك أن سطوح المنحدرات العلوية تتبرد بسرعة أكبر من سرعة تبرد بطون الأودية ،مما يجعل الهواء الملامس لها يبرد أكثر وتزداد من ثم كثافته مما يدفعه إلى الهبوط تحت تأثير ثقالته ليتجمع في بطون الأودية مشكلاً بحيرات من الهواء البارد ، إذ أن الهواء الدافئ الذي كان في بطون الأودية يضطر إلى الصعود نحو أعالي المنحدرات التي تصبح أكثر دفئاً من بطون الأودية .



شكل (10-5) الانقلاب التضاريسي

ففي الليل على المنحدرات نتيجة الصقيع الإشعاعي تبرد الطبقات المجاورة لسطح الأرض.ولذلك في أسفل المنحدرات والوديان تظهر البرودة أشد من أعلاها ، خاصة في المنخفضات التجويفية.ونتيجة تأثير رياح الثقالة التي تحدث في الليالي الصحوة ، حيث فروق الكثافة مابين هواء المناطق السفحية الأكثر ارتفاعا والمناطق السفحية الأقل ارتفاعا والناجمة عن سرعة تبرد أكبر في المناطق الأكثر ارتفاعا مما يؤدي إلى جعل الهواء الأعلى الأكثر برداً ، أكثر ثقالة ، وبالتالي يهبط منحدراً نحو الوديان والمنخفضات تحت تأثير الثقالة- شكل(10-6)- ، ويكتسب هذا الهواء تسارعاً أكبر أثناء هبوطه بفعل الجاذبية .وهنا الفرق في درجة الحرارة للهواء عند سطح الأرض على ارتفاع 2متر يمكن أن يصل إلى 10درجة مئوية.

شكل(10-6)

وفي الغابات في وقت الصقيع الإشعاعي درجة الحرارة أعلى بـ2-3 درجة مئوية من الأماكن المفتوحة.

إن جريان الهواء البارد غالباً ما يتبع الأماكن المنخفضة وسرعة الرياح ولذلك يمكننا تمييز ثلاثة مناطق تتأثر بالصقيع وهي:

1- المنحدرات -2الوديان -3المناطق المنخفضة

والخلاصة يمكننا تحديد عوامل تشكل الصقيع والظروف الملائمة لهبوط درجة الحرارة على الشكل الآتي:

1. سماء صافيه 2. رياح خفيفة أو ساكنه 3. رطوبة نسبيه منخفضة للهواء القريب من سطح الأرض 4. الناقلية النوعية للتربة ،فإذا كانت ضعيفة فإن ذلك يرفع من احتمال وقوع الصقيع.

التنبؤ بالصقيع:

من أجل التنبؤ بالصقيع استخدمت التنبؤات العددية منذ وقت مبكر واستخدمت حينها درجة الحرارة الرطبة ،وفي عام 1920م وجدت نتائج دقيقه لليالي الصحوة عند ساعات الغروب ولكن النتائج

كانت أفضل عند استخدام درجتي الحرارة الرطبة والجافة معاً مجتمعه مع عوامل أخرى.
كما استخدمت في 1920م العلاقة بين درجتي الحرارة العظمى والصغرى وكذلك العلاقة بين الحرارة الرطبة و الحرارة الصغرى للساعة 1700 توقيت محلي للتنبؤ بدرجة الحرارة الصغرى.
ويمكن التنبؤ بالصقيع أما بطرق الرسم البياني أو بالطرق الرياضية.

1- طرق الرسم البياني:

في عام 1969 طور Saderberg تقنية الرسوم البيانية للمناطق الزراعية المهمة في جنوب غرب Michigan باندماج العوامل الآتية:حرارة الهواء ونقطة الندى والتغطية المنخفضة والمتوسطة للسماء والتغير المتوقع للـ24ساعه القادمة لدرجة الحرارة عند 850mb.
ويمكن وضع تنبؤات للصقيع لليلة القادمة باستخدام الرسم البياني، من خلال العلاقة بين الرطوبة النسبية و الحرارة الجافة للساعة 1100 توقيت عالمي (GMT).

2- الطرق الرياضية:

استخدمت فيها العلاقات الإحصائية للحرارة الرطبة والجافة والرطوبة النسبية ونقطة الندى أما مجتمعة أوبربط علاقة درجة الحرارة الصغرى بإحدى العناصر ذات العلاقة. كالحرارة الرطبة للساعة 1500 توقيت محلي ودرجة الحرارة الصغرى حيث كانت أشجار التوت تضرب من الصقيع الربيعي في اليابان:

$$Tm = 1.09TW - 4.34 \qquad [10\text{-}17]$$

Tm- درجة الحرارة الصغرى المتوقعة.
TW- درجة الحرارة الرطبة للساعة 1500.
وأجريت التنبؤات للصقيع في وادي الأردن باستخدام طريقتي الرسم البياني والطريقة الرياضية.
وفي علاقة خطية تم استخدام متوسط سرعة الرياح المتوقعة خلال الليل (كم/ساعة) للتوقع بدرجة الحرارة الصغرى.

$$Y = 0.35X + 0.03 \qquad [10\text{-}18]$$

Y- درجة الحرارة الصغرى المتوقعة.
X- متوسط سرعة الرياح المتوقعة خلال الليل كم/ساعة.

الصقيع في اليمن:

إن معرفة الساعات البارد تعتبر مؤشراً هاماً لزراعة الكثير من المحاصيل. وعند حساب ذلك على منطقة معبر محافظة ذمار كمثال ، وجد أن المنطقة تمتاز بالبرودة الجافة ، حيث تهبط درجة الحرارة إلى مادون الصفر في بعض السنوات حتى 6.8- درجة مئوية مما يجعلها معرضة للصقيع ، ولكن شدته تختلف من عام إلى آخر ، و لتفادي زراعة المحاصيل التي يمكن أن تتضرر من هبوط درجة الحرارة تم حساب ساعات الفترة الباردة الممتدة من أكتوبر حتى مارس بالاعتماد على المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة الصغرى والموضحة نتائجه في الجدول (10-7) .

$$CHL\ HRS = 24 \times (7\text{-}TMIN)/(TMAX\text{-}TMIN) \qquad [10\text{-}16]$$

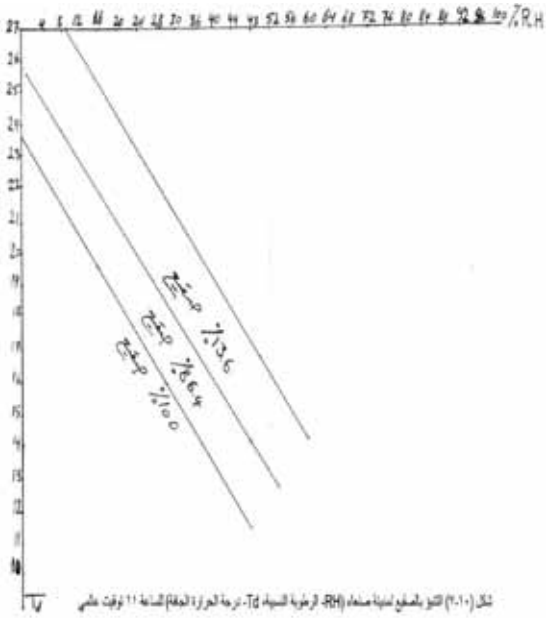
CHL HRS - عدد الساعات الباردة
TMIN- درجة الحرارة الصغرى.
TMAX- درجة الحرارة العظمى.

ويلاحظ أن أكثر ساعات البرد تحدث عادة في شهر ديسمبر، وأن هذه الساعات كافية لنمو كثير من المحاصيل التي تحتاج إلى ساعات بارد كالتفاح والفستق والأجاص.

جدول (10-7) ساعات البرد الممتدة
من أكتوبر1975حتى مارس1990 لمنطقة –معبر- م/ذمار

معدل ساعات البرد اليومية						
الشهر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس
المتوسط	4	6	8	6	7	0
مجموع ساعات البرد						
الشهر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس
المجموع	134.8	184.9	235.7	199.9	184.5	08.7

ويمكن التنبؤ بالصقيع في صنعاء بالاعتماد مثلاً على العلاقة بين الحرارة الجافة والرطوبة النسبية عند الساعة الثانية ظهراً توقيت محلي، على أساس بيانات أكثر من 13 عام. ومن خلال العلاقة بينهما أستطعنا التوصل إلى استخدام الرسم البياني (شكل 10-7) للتوقع بالصقيع لليوم التالي.



شكل (10-7) يوضح التنبؤ بالصقيع لصنعاء

ويستحسن للتأكد من احتمالات وقوع الصقيع اسقاط هذه العلاقة على قيم الساعة السادسة مساءً. التي يمكن على ضوؤها البدء في إتخاذ الاحتياطات الضرورية.

الطرق والوسائل للحماية من الصقيع:

وتتم عبر عدد من الإجراءات الطويلة المدى -المتوسطة المدى والقصيرة المدى التي يجب أن تؤخذ بالتتابع لعدة سنوات وعدة أشهر وقبل حدوث ليلة الصقيع .

1- الإجراءات الطويلة المدى :

وتعتمد على الصفات الطبوغرافية للمنطقة . إذا كانت المنطقة غير متناسقة وتتسم بالتلال والوديان يجب أن تحتوي خطة زراعة المحاصيل على إجراءات مثل :

أ) تجنب زراعة المحصول في المناطق التي يكون فيها جريان الرياح ضعيفاً والتي يتجمع فيها الهواء البارد خلال الليالي الصحوة والساكنة.

ب) العناية بالمناطق الزراعية وزراعتها بسياج من الشجيرات التي تعيق جريان الهواء البارد.

2- الإجراءات المتوسطة المدى:

أ) العناية بالمحاصيل الزراعية وإخلاء ما حولها من القش والأعشاب الضارة التي تعيق الأرض عن عمليات الكسب والفقد للحرارة.

ب) العناية بالمحاصيل الزراعية بالتسميد ، وعلى وجه الخصوص بالبوتاسيوم لتأثيره الجيد على الحرارة المنخفضة.

3- الإجراءات القصيرة المدى:

وهي آخر محاولة للحفاظ على المحصول من الصقيع، ويعتمد على توفر الإمكانيات وقوة عمل الإنسان، من خلال الحماية المباشرة.

والحماية تكون إما حماية غير مباشرة أو حماية مباشرة.

الحماية الغير مباشرة(الطرق الوقائية):

أ) الطرق البيولوجية : يكمن جوهر الطريقة البيولوجية في استنبات أنواع من المحاصيل الزراعية التي تتحمل الصقيع ، وكذا في انتقاء أنواع من المحاصيل التي يكون إزهارها متأخرا لكي تزهر بعد فترة الصقيع.

ب) تقسية البذور: منذ وقت مبكر تم التفكير بمحاولات أقلمة النباتات بالنسبة للصقيع عن طريق تقسية النباتات. وتكمن فكرة تقسية النباتات لمقاومة الصقيع من خلال ربط المحتوى المائي في النبات بمنسوب السكر في أنسجة خلايا النبات وذلك من خلال نقص مكونات الثلج في الألياف النسيجية وتجفيفها. حيث أن محتوى السكر في الخلايا والألياف النسيجية يزيد من تصلب النباتات ويعطيها مقاومة عند هبوط درجة الحرارة.

ويعتبر تقسية النباتات واحداً من أكثر التقنيات الفعالة لزيادة مقاومة النبات للصقيع.

تكمن هذه التقنية في زراعة البذور في درجات حرارة مختلفة حتى بداية ظهورها للحياة،ثم تنقل إلى مكان حار لمدة من الوقت،حتى تنمو الخلايا بصوره بطيئة، وتوضع بعدها في مكان بارد تقترب درجة حرارته من الصفر المئوي لتقسيتها وتقويتها.

بهذه الطريقة الخلايا تتطور من البذور إلى نباتات صغيره متأقلمة تدريجياً.والتأقلم يجعل النباتات تقاوم الصقيع وقادرة على المقاومة حتى درجة حرارة مئوية تصل إلى - 6o °م.

والزراعة المبكرة بهذه الطريقة تكسب البراعم القدرة والقوة في حال انخفاض درجة الحرارة اليومية للهواء والتربة.

ولزيادة قدرة بعض الخضر الصيفية ، مثل الكوسا والخيار والبطيخ الأصفر والأحمر على تحمل الانخفاض في درجات الحرارة لاسيما في الزراعة المبكرة ، يمكن القيام بتقسية البذور قبل زراعتها . ويتم ذلك بتعريض البذور المنتشة ولعدة أيام (2-3أيام) قبل زراعتها لدرجات منخفضة وثابتة من الحرارة (صفر ، +2 °م) ، أو لدرجات متبدلة (16-18) ساعة في حرارة منخفضة قريبة من الصفر ، و6-8 ساعات حرارة مرتفعة ما بين (18 - 20 °م) ولمدة تتراوح بين (5-7 أيام).

جـ) تقسية الشتول : تتم التقسية بطرق مختلفة، حيث أن لكل نوع من المشاتل ما يناسبه من طرق التقسية الآتية:

1- تقليل مياه الري: ويتم ذلك بصورة تدريجية بتقليل كمية الماء التي تعطي في الرية الواحدة مع زيادة الفترة بين الرية والأخرى . لكن يجب أن لا تترك النباتات بدون ري إلى أن تذبل وتجف.

2- تعريض النباتات لدرجات منخفضة من الحرارة: ويتم ذلك أيضا بصورة تدريجية حيث تعرض النباتات لدرجات حرارة أقل من الدرجة المثلى للنمو عن طريق تقليل التدفئة مع زيادة التهوية في البيوت أو الأحواض المدفأة ، أو بنقل النباتات إلى بيوت أو أحواض غير مدفأة.
ومن الجدير ذكره أن تعريض النباتات لدرجة حرارة شديدة الانخفاض، لمدة طويلة، وبخاصة النباتات ثنائية الحول، يدفعها للإزهار المبكر فتفقد بذلك قيمتها التجارية.
3- في حالة المراقد الحقلية الظليلة تجرى التقسية بتعريض النباتات لضوء الشمس المباشر بصورة تدريجية برفع شباك التظليل . حيث تبدأ العملية بإزالة الشباك لبضع ساعات في اليوم الأول ، ثم تزداد الفترة تدريجياً حتى يزال الشباك نهائيا.
4- ري الشتول في الأسبوع الأخير بمحلول فوسفاتي بوتاسي وإيقاف التسميد الآزوتي إذ تعمل هذه العناصر على زيادة تركيز العصير الخلوي وخفض درجة التجمد.
5- الرش بالمحاليل السكرية: يمكن اللجوء إلى هذه الطريقة أثناء نقل الشتول إلى مكان بعيد ، أو إذا تمت عملية التشتيل في جو حار ، أو إذا مضت فترة طويلة على الشتول قبل زراعتها في المكان المستديم.
ومما تجدر الإشارة إليه أن جميع طرق التقسية يجب أن تجرى بصورة تدريجية وليست فجائية.
د) التكنيكات الزراعية الأخرى: في المراحل الإنشائية للمزارع والبساتين لابد من دراسة احتمالات الصقيع عن طريق:
1- تنظيم مخططات كنتورية تبين خطورة الصقيع على المنطقة واحتمالاته على ضؤ المعطيات المناخية الدقيقة.
2- خدمة التربة بفلاحتها وتنعيمها جيداً.
3- إقامة مصدات الرياح هامة جداً شريطة الاستفادة منها وتحديد النفاذية وتوجيهها للهواء البارد خارج المنطقة المعرضة.
4- دراسة معطيات الأرصاد الجوية وتحليلها واستبيان إمكانية التدخل في تعديلاتها .
5- اختيار مواقع جديدة لزراعة المحاصيل حيث ندرة الصقيع.
6- التقنية المناسبة لحراثة التربة مهم جداً على سبيل المثال،البرودة الليلية ممكن تنخفض بترابط التربة وبتناقص إشعاع منطقة السطح،بينما يزداد تدفق الحرارة والرطوبة من أسفل ويزداد التبخر وتتبعه الرطوبة في الطبقة السطحية للهواء.فهذه الطريقة مفيدة للصقيع الضعيف فقط. كما ثبت أنه خلال الفترة الخضرية الكاملة درجة الحرارة في الأسوام (خطوط من التربة مرتفعه عن سطحها إلى مستوى 5سم تقريباً)عادةً 2.5-1 درجه مئوية أعلى من الأرض المسطحة.

هـ) الطرق الأيكولوجيه:

1- مراقبة المواد المغذية:

إن المواد المعدنية المغذية والأسمدة مهمة جداً لزيادة مقاومة الصقيع .فالبعض يرى أن إضافة البوتاسيوم والنتروجين تؤدي إلى تنمية النبات وإلى رفع قدرة النبات على مقاومة الصقيع وأكدتها عدد من الدراسات.
وأسمدة الفسفور تلطف أو تقضي كليةً على التأثيرات الضارة لفترة البرد القصيرة الفجائية على نمو وتطور النبات.

2- تطوير نماذج مختلفة من النباتات المقاومة للصقيع:

تتم عن طريق التطعيم والتهجين بواسطة تطعيم نبات جديد من النباتات المحبة للحرارة لتجعلها أكثر مقاومة للبرد. والتي استخدمت بنجاح خاصة في الفواكه التي لديها أقل مقاومة للصقيع ونتيجةً للإجهاد تصير أكثر تأقلماً وتصلبا.

الحماية المباشرة للنباتات من الصقيع:

هناك عدد من الإجراءات المباشرة نذكر منها ما يلي:

أ- استخدام الري بالرذاذ: يلعب الماء دوراً هاماً في مكافحة الصقيع إذ أن التربة الرطبة تقلل من خطر الصقيع وذلك لأن الماء يستطيع أن يطلق كميات كبيرة من الحرارة قبل أن يتجمد، وبذلك تبقى درجة الحرارة فوق الصفر مادام الرذاذ يقع على النبات. وقد أظهرت التجارب أن استخدام هذه الطريقة بشكل صحيح لا يحمي النباتات المحبة للحرارة من أضرار الصقيع الخفيف فحسب، و إنما يزيد من درجة مقاومة النباتات المقاومة للبرودة ولخطر الصقيع أيضاً.

لكن لضمان فاعلية هذه الطريقة يجب أن تتحقق الشروط الآتية:

1- أن يبدأ الرش بمجرد وصول درجة الحرارة إلى الصفر أو أعلى من ذلك بقليل.
2- أن يستمر الرش لحين ذوبان كل الماء المتجمد على الأجزاء النباتية كافة.
3- أن يقوم الرذاذ بعمل دورة كاملة على الأقل في الدقيقة.
4- أن يكون الرش كافيا لتغطية الأجزاء النباتية كافة.
5- أن يكون الرش بصورة قطرات صغيرة جداً.

ومن جهة أخرى فإن لهذه الطريقة بعض المحاذير وهي:

إن ترطيب التربة الزائد في الربيع قد يؤدي إلى تبريد طبقة الهواء المحيطة بالنبات مما يؤخر نمو المحاصيل المحبة للحرارة . كما أن ارتفاع الرطوبة في التربة الثقيلة قد يتسبب في انتشار بعض الأمراض ويعيق إجراء العمليات الزراعية.

ب- السقاية: استخدمت السقاية منذ زمن بعيد كوسيلة لحماية النباتات من خطر الصقيع الإشعاعي الذي يحدث ليلا ، لأن ناقلية التربة الحرارية تزداد مع ازدياد رطوبتها . ففي النهار وعندما تسقط أشعة الشمس عليها (على التربة) تنتقل الحرارة بسرعة إلى الطبقات السفلى . أما في الليل وعند خروج الأشعة الشمسية المنعكسة تنخفض حرارة الطبقة السطحية من التربة ، بينما ترتفع حرارة الهواء المحيط بالمجموع الخضري مما يعمل على تدفئته وحمايته من خطر البرودة . وفي الوقت نفسه تعوض طبقة التربة السطحية الحرارة الضائعة من الطاقة الحرارية المختزنة أثناء النهار في الطبقات السفلى . لذا تستخدم هذه الطريقة لحماية النباتات محددة النمو كالخضر الورقية والبطاطا والخيار والكوسا والأصناف محددة النمو من الطماطم والفاصوليا وغيرها.

جـ- التغطية الوقائية: التغطية تستخدم لمنع فقدان الحرارة من التربة والنبات إلى الهواء. فهي لا تخلق حرارة و إنما تنظم اختلافات الحرارة اليومية للهواء و التربة.وتستخدم عادةً للتغطية الأوراق الشفافة والزجاج والبلاستيك.

ويرى البعض أنه خلال ساعات النهار النظام الحراري تحت الغطاء البلاستيكي أفضل من الزجاج، من حيث أن سعره رخيص،وممكن ربطه في أي مكان بسهوله وله القدرة لمقاومة الحرارة من 40- ألى90 درجه مئوية.

د- البيوت المحمية : وتعد من أفضل أشكال الزراعة المحمية لأنها الوسيلة الوحيدة التي يمكن بها

حماية النباتات من الظروف الجوية غير المناسبة وتأمين ما يناسب نموها من ظروف مثلى بعيداً عن تقلبات الوسط الخارجي وذلك عن طريق التحكم في جميع متطلباتها من العوامل الجوية.

هـ- التدخين و الضباب الصناعي (التدفئة): من المعروف أن تناقص درجة الحرارة الليلية يحدث في الطبقة السطحية من الهواء، وبالذات عندما تكون السحب مفقودة والرياح خفيفة،والإشعاعات عالية من الأرض أو السطح.

ولذا تؤدي التدفئة إلى:

أ) تدفئة الهواء الملامس لسطح لأرض.

ب) تخلق نوعاً من تيارات الحمل التي تؤدي بدورها إلى مزج الهواء القريب من سطح الأرض بالهواء الذي يعلوه.

ج) يشكل الدخان المتصاعد طبقةً من الضباب الذي يقوم بدور الحجز الذي يخفف من نفاذ الأشعة المنطلقة من الأرض إلى الفضاء إلى نسبة من 15-60 % وهذا يؤدي بالطبع إلى التقليل مما تخسره الأرض من حرارة ،وإلى زيادة درجة الحرارة إلى 0.5-3.0 درجة مئوية.

هذا ويجب أن يؤخذ بعين الاعتبار أن لا تكون النيران أو الحرائق شديدة، إذ أنها لو كانت كذلك فإنها سوف تسبب تيارا شديدا من الهواء الحار الذي ينطلق بسرعة إلى أعلى دون أن ينتشر ويمتزج بالهواء على مقربة من سطح الأرض.

وتستخدم بعض البلدان الطائرات العمودية أو المراوح الضخمة التي تثبت على ارتفاع حوالي 30متر ،على اعتبار أن الهواء على هذا الارتفاع أدفئ من الهواء الملامس لسطح الأرض،لذا فإن تحريك هذا الهواء الدافئ ودفعه نحو الأسفل سيؤدي إلى مزجه بالهواء البارد.

وللحصول على الدخان تحرق أكوام من النفايات أو القش أو نشارة الخشب أو السماد العضوي الجاف ، حيث تلزم لتدفئة مساحة هكتار مزروعة بالخضار كمية تتراوح بين 60-120 كومة يتراوح حجم كل منها بين 0.5-1 م^3 .

أما لتوليد الضباب الصناعي فتستعمل مواد مختلفة نذكر منها كلور الزنك ، كلور البوتاسيوم ، كلور الأمونيوم وغيرها من المواد غير الضارة للإنسان والحيوان .

ومن الجدير ملاحظته أن تشكيل الدخان أو الضباب يجب أن يتم في الليالي الهادئة التي لا تزيد فيها سرعة الرياح عن متر واحد في الثانية وذلك لأن هذه الطبقة تتحرك مسافة قدرها 60متراً في الدقيقة إذا كانت سرعة الرياح مترا واحدا في الثانية لذا تكون هذه الطريقة مكلفة جدا وغير مجدية أثناء هبوب الرياح.

سادساً:- الرطوبة الجوية غير الملائمة

من المعروف أنه كلما انخفضت الرطوبة الجوية كلما أزداد معدل النتح من النبات ، فيقل المحتوى المائي لخلايا النبات حتى تتأثر الخلايا الحارسة فيقل الماء فيها أيضا فتقفل الثغور . ولا يكون قفل الثغور قفلاً محكماً أبداً . ولذلك فإذا أستمر الجفاف حول النبات ، فإن النبات يذبل خصوصاً إذا لم تتوفر الرطوبة الأرضية التي تعوض هذا النقص في المحتوى المائي . ونقص الماء في النبات يؤثر بشدة على التفاعلات الكيموحيوية التي تحدث فيه فتوقف كلها أي يتوقف النمو . وإذا زاد الجفاف وطالت مدته يؤدي هذا إلى موت الخلايا . كما أن نقص الرطوبة في النبات والمصحوب بارتفاع الحرارة يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة النبات وإلى ما يترتب على هذا من أثر ضار على نمو النبات.

وتختلف حساسية النباتات للجفاف حولها ولعل العقل النباتية من أكثر أجزاء تأثراً بنقص الرطوبة حولها مما يؤدي إلى فشل تجذير Rooting العديد منها.
وقد ترتفع الرطوبة الجوية حول النبات بدرجة غير ملائمة، ولكن الواقع أن النباتات تتحمل ذلك حتى لو كان لمدة طويلة. ففي كل الظروف الجوية الأخرى من مطر أو ضباب أو سحب منخفضة إلى غير ذلك من صور الرطوبة الجوية العالية ، نجد أن معظم النباتات في البيئات المختلفة تتحمل هذه الصور ، إذ لا تضار النباتات إلا حينما تتدخل الرطوبة في عملية امتصاص الجذور للماء ، أي الرطوبة الأرضية . وبعبارة أخرى فإن النبات يتحمل نسبيا زيادة الرطوبة الجوية ولا يتحمل زيادة الرطوبة الأرضية. وارتفاع الرطوبة الجوية ، لاشك يقلل عملية امتصاص الأملاح من التربة مما يؤثر على تغذية النباتات ولكن تتحمل أغلب النباتات هذه الزيادة لوقت طويل دون أن تصاب بالضرر .
وقد يكون للرطوبة الجوية ، في بعض الأحيان ، أثر على الضوء الواصل إلى النباتات فقد يؤثر على شدته وعلى طول موجاته وعلى حرارته وبالتالي على ما يتبع ذلك من عمليات النمو في النبات.

سابعاً:- الظروف الضوئية غير الملائمة

يؤثر الضوء في كل العمليات الحيوية في النبات فهو المسئول عن الإنبات ونمو السويقة الجنينية وتكوين الشعيرات على السويقات الجنينية السفلى ، واستقامة الريشة الخطافية بعد ظهورها فوق سطح الأرض ونمو الساق ، وتمدد الورقة ، وتكوين الكلوروفيل وكمون البراعم والأزهار ، وتميز الجنس في الزهرة ، وتكوين الجذور الجانبية ، وتكوين الدرنة ، وطبعاً هو العامل الأساسي للتخليق الضوئي.
ومن هذا يظهر ما للضوء من أثر على حياة النباتات ونموه . ويتوقف هذا الأثر على شدة الضوء وطول موجاته وزمن التعرض له.
وقد تصل إلى النبات الموجات فوق البنفسجية بشدة مما يضر النبات ، وقد يمتنع وصول الأشعة الحمراء (القريبة والبعيدة) إلى النبات فتختل كل الأنشطة المذكورة السابقة . وإذا كانت شدة الإضاءة عالية (كأن يتعرض نبات ظل أو نصف ظل لشدة إضاءة عالية)، فقد يتحطم الكلوروفيل في الأوراق وهذا ما يسمى بالتشمس.

ثامناً:- الرياح

للريح السريعة أثر في تجفيف النبات خصوصاً أجزائه الغضة، مهما كانت درجة حرارتها، وطبعا، يزدادا تأثيرها على تجفيف النبات كلما ارتفعت درجة حرارتها.
فالريح الساخنة ، يكون ضررها أشد ، وتأثيرها في تجفيف النبات أكبر بما تسببه من زيادة كبيرة في نقص التشبع للهواء وبما تسببه من تعريض النبات إلى حرارة مرتفعة غير ملائمة ، مما يؤدي إلى سرعة موت البراعم والأوراق الغضة ، بل والنبات كله.
إما إذا كانت الريح باردة أصلاً، فإن ضررها يكون كبيراً، إذ تعمل على تعريض النبات إلى الحرارة الباردة غير الملائمة.
ويكون ضرر الريح بالغاً حينما تكون محملة بالجسيمات الصلبة.
فالجسيمات الصلبة المنطلقة بسرعة كبيرة مع الريح تصطدم بأجزاء النبات الغضة فتسبب تآكلها (كالصنفرة أو المبرد) ، فتهرأ البراعم والأوراق الصغيرة والكبيرة والأفرع . ومع الريح الأشد التي تحمل جزيئات أكبر تسبب تآكل القلف . وقد تؤدي الريح الشديدة إلى إسقاط

أوراق النبات أو كسر فروعه أو الأشجار من جذورها.
وللريح تأثيرات عكسية وتتمثل في زيادة نسبة تبخر المياه من التربة والنبات ونقل الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية مسببة ظاهرة التصحر ، وممكن ريح أن تؤدي ليس إلى هلاك المحاصيل الزراعية ، وإنما إلى كوارث على النبات والإنسان والحيوان مثل الهوريكان الذي يضرب جزر الهند الغربية وخليج المكسيك وسواحل فلوريدا الذي يبلغ عينه ما بين 20 - 30كم (وهي المنطقة المركزية من الإعصار المداري والتي تتصف بهدؤ الهواء فيها ، وصحو الجو - وتعرف بمنطقة الهدؤ في الإعصار المداري ،كما تعرف لهذا السبب بعين الإعصار ، يحيطها جدار من الغيوم والرياح العنيفة الصاعدة (شكل - 12 -) ، تترافق بهطول أمطار غزيرة جداً وكذا الترنادو وغيرها.
قال تعالى " فلما رأوه عارضاً مستقبل أوديتهم قالوا هذا عارضٌ ممطرنا بل هو ما استعجلتم به ريحٌ فيها عذابٌ أليمٌ " صدق الله العظيم - سورة الاحقاف الآية -24
وقال تعالى " إنا أرسلنا عليهم ريحاً صرصراً في يوم نحسٍ مستمرٍ . تنزع الناس كأنهم أعجازُ نخلٍ منقعرٍ " صدق الله العظيم - سورة القمر الآية 19 ، -20.
وقال تعالى :" وفي عادٍ إذ أرسلنا عليهم الريح العقيم . ماتذر من شيءٍ أتت عليه إلا جعلته كالرميم".صدق الله العظيم- سورة الذاريات الآية 41 ، 42.
وقال تعالى " وأما عاد فأهلكوا بريحٍ صرصرٍ عاتية . سخرها عليهم سبع ليالٍ وثمانية أيام حسوماً فترى القوم فيها صرعى كأنهم أعجازُ نخلٍ خاويةٍ " صدق الله العظيم - سورة الحاقة الآية 6 ، -7
ويمكن إيجاز أهم الأضرار التي تسببها مثل تلك الرياح على النحو الآتي:
1- زيادة المقنن المائي اللازم والمستهلك خلال الدورة السقائيه الواحدة.
2- ذبول النباتات وتدلي أوراقها.
3- زيادة التبخر وتبخر النتح بشكل غير متوقع.
4- سقوط الثمار العاقدة.
5- اقتلاع البادرات الحديثة النمو من جذورها.
6- زياد نسبة الملوحة في الأراضي وتزهرها على السطح.
7- تعرية أوراق الأغصان الصغيرة أو تكسر في الأغصان.
8- التأثير على الخضروات وتشقق ثمارها.
9- ضياع نسبه كبيرة من المحاصيل المزروعة وقت الحصاد.
10- زيادة معامل التبخر والنتح الأعظم من الأشجار الموجودة في المنطقة.
11- التأثير على صحة الحيوانات في الريف ونقل الأمراض (كالحمى القلاعية التي انتشرت في فبراير 2001م في أوروبا بسبب الغبار والريح) .
12- المساعدة على انتشار بذور الحشائش والأعشاب الضارة.
13- صعوبة الرؤيا وعدم نقاوة الجو خصوصا في الجو الغير مستقر.
14- انجراف و تعرية التربة الزراعية على المنحدرات في الهضاب والمرتفعات الجبلية و تصاعد التربة الضعيفة البناء في الجو بشكل دورات.
15- يتشوه شكل الأشجار وينحني تحت تأثير قوة الريح.

16- انتشار الملوثات الكيمائية التي يمكن أن تسقط مع الأمطار.
فالسيول من الأمطار التي سقطت على بعض المناطق في اليمن وتحديداً وادي الحار من عنس (وفقاً لما ذكره يحي يحي العنسي) قد تدفقت إلى الأراضي وكانت كميتها كافية للأرض وحسب العادة من كل عام وبعد أن جف سطح أعلى التربة صار لون التربة أسود والمألوف أن تكون أعالي التربة بيضاء ، وعندما سارع البعض منهم لحرث الأرض تمهيداً لبذرها لموسم الصيف لم يجد في أسفل التربة رطوبة يمكنه من بذر الأرض ، والذين بدأوا بالحرث والزرع ، ومضى شهر إلى شهر ونصف من ظهور الزرع بدأ بالضعف ثم احترقت براعم الزرع ، الأمر الذي أدى حصاد الزرع معلاف للمواشي.
وقد فسر المزارعون هذه الظاهرة بأن الأمطار التي سقطت أول الصيف هي التي أتلفت المزروعات وهذا التفسير مقبول على اعتبار أن السماء كانت ملوثة بسموم دخان احتراق البترول في حرب الخليج ، فنزلت الأمطار الأولى ملوثة بكمية هائلة وحدث ضرر للأرض وتلف الزرع باحتراقه ، والذين تأخروا عن الحرث والبذر ثم قاموا ببذر أراضيهم بعد أن تتابع نزول المطر بعد المطرة الأولى فقد حصلوا على ثمار لكنها ضعيفة والذين غرسوا البطاطة لم تنبت بسبب سقوط أول أمطار الصيف ودخول السيول على أراضيهم ، وبالنسبة لشجرة البن ذكر المزارعون أن أوراق الشجرة أصابها احتراق ولم يتأثر محصولها ، إما أمطار موسم الخريف "يوليو أغسطس" فلم يكن له أي تأثير على المزروعات.
ويؤكد اعتماد المزارعين اليمنيين على الرياح المحلية في نشاطهم الزراعي من خلال نظرتهم على سبيل المثال لرياح الجنوب والشمال ، حيث يعتبرونها علامة "جدب" وتسمى ريح "الدبور" و "الشمال".
كما تسمى الرياح الشمالية في الخريف باسم "إملاق" في المناطق الوسطى وديان ذمار وما جاورها وهي ريح الجدب ويحدث منها تضرر للبلاد والعباد.
وعموماً يختلف تأثير الريح بحسب نوعها وشدتها ووقت هبوبها .
فالريح العالية السرعة يمكنها أن تسبب تدميراً كاملا للنبات، نتيجة عدم قدرتها على مقاومة الريح التي تزيد سرعتها عن 100كم/الساعة، حيث أن الأشجار الكبيرة قد تجتث من جذورها أو تتكسر من جذوعها. ويمكن أن تتساقط معظم الأزهار والثمار أثناء هبوب ريح بسرعات تتراوح بين 750-50كم/الساعة .
كما أن هناك بعض المحاصيل الزراعية تتضرر من الريح المنخفضة السرعة، كحال شجيرات الموز التي تتأذى من ريح سرعتها قرابة 40كم/الساعة.

تاسعاً:- الإشعاعات

تؤثر الإشعاعات سواء كانت من الضوء المرئي أو من الأشعة فوق البنفسجية أو الإشعاعات الذرية على حيوية بروتوبلازم خلايا النبات . وعموما تؤثر الإشعاعات على مقدرة أغشية الخلايا على تمرير المواد خلالها . وقد تسبب اختلال دخول الجلوكوز والأحماض الأمينية والبوتاسيوم والصوديوم.
ومن أخطر ما تسببه الإشعاعات ذات الموجات القصيرة ، إتلافها للميتوكوندريات وما بها من أنزيمات للتنفس مما يعطل تفاعلات التنفس . وكذلك فإنها تحول الفسفور الداخل في التفاعلات الحيوية المختلفة إلى كبريت، فلا تسير هذه التفاعلات سيرها الطبيعي. وتسبب

تضخم بروتوبلازم الخلايا وموتها في النهاية.
إما تأثير الإشعاعات الذرية على النباتات فضار للغاية ، وهي تؤثر على خلايا النبات التي تنقسم بنشاط ، أكثر مما تؤثر على الخلايا الأقل نشاطا . فهي تسبب كسر الكروموزومات أو التحامها مما يؤدي إلى اختلال عملية الانقسام ، وبالتالي إلى ظهور الطفرات . وإلى موت الخلايا أن عاجلاً أو آجلا.

عاشراً:- العواصف الكهربائية والبرق

تؤثر الشحنات الكهربائية الضعيفة الناتجة عن العواصف الكهربائية والبرق على حيوية بروتوبلازم الخلايا . إما إذا كانت الصدمة الكهربائية قوية فإن أنشطة البروتوبلازم الحيوية تختل . وتكون الأوراق بالطبع أول ما يتلقى هذه الصدمة الكهربائية وأكثر أجزاء النبات تأثراً بها. وتتأثر الثغور بالصدمات الكهربائية فتقفل ولا تفتح بعدها . وكذلك إذا أحرق طرف الورقة مثلاً، فإن الثغور تقفل ولا تعود للانفتاح.

أحدى عشر:- التهوية السيئة

يتوفر الأكسجين الجوي في الظروف الطبيعية حول النبات . ولكن إذا تدخلت ظروف خارجية تؤدي إلى نقصه في الهواء ، أو زيادة تركيز الغازات الأخرى فيه ، سواءً الخاملة أو السامة ، فإن تنفس النباتات ، وما يعنيه هذا من أن الأنشطة الأنزيمية التي تعمل في الوظائف الحيوية ، ستتأثر بالضرر . ولكن أكبر الضرر وأظهره يكون في عمليات نقل وتخزين الفاكهة والخضر . إذ يزداد ثاني أكسيد كربون . وأهم من ذلك تحدث تفاعلات داخل الأنسجة النامية تنتج عنها غازات أو هرمونات نباتية أو مواد كيماوية معينة ، تؤدي إلى ظهور أعراض مرضية و إلى تلف واضح في المادة النباتية.

الفصل الحادي عشر
التنبؤ بكميات الإنتاج وعلاقتها بالعناصر الجوية
"Yield prediction"

تتوقف إستراتيجية الأمن الغذائي لكثير من الحكومات في عمليات التصدير والاستيراد والتوزيع المحلي والتسويق على توفر المعلومات الكافية لكمية المحاصيل الزراعية المتوفرة محلياً والتنبؤ بكمية الإنتاج منذ وقت مبكر من العام والذي يعتمد أساساً على الطقس والمناخ ، فتغيرات الطقس مهمة جداً في تأثيرها من سنة إلى أخرى على المنتوج الزراعي . فهي محددة لزيادة الإنتاج أو العكس . فتأثير الجفاف و الفيضانات والصقيع الشديد يكون واضحاً ، لكن تغير بسيط في الحرارة ، والإشعاع والمياه في التربة ممكن أن يؤدي إلى تأثيرات دقيقة على نمو المحاصيل . وهذه التغيرات قد تكون غير منظورة ، ولكن ممكن أن تقيَم بواسطة رصدات الطقس والنماذج العددية للطقس والمحاصيل . وتعتمد هذه التنبؤات على علاقة الطقس والمناخ بالمحاصيل منذ البذر حتى الحصاد.

لذا فالمتابعة المنتظمة ومعرفة تغيرات الطقس من أهم العوامل المحددة لتقدير إنتاجية المحاصيل الزراعية.

وعلى أساس تلك المتابعة المنتظمة الساعية واليومية وفقاً لطرق الرصد الجوي الزراعي ، يمكن التنبؤ مثلاً بنمو المحاصيل في المراحل المختلفة من حياتها من خلال استخدام طريقة الحرارة الفعالة والمتجمعة واحتياطي الرطوبة في التربة وعلاقات الإشعاع والأمطار وغيرها من العلاقات المناخية الزراعية.

إن طرق التنبؤات الجوية الزراعية تعتمد على حل أعقد الصلات في سياق البحث لمدخلات ومخرجات نظام عملية التنبؤات (العناصر والظواهر الجوية - التربة - النبات) ولا يمكن فهم هذه العمليات وتطبيقها بشكل دقيق إلا بالاعتماد على أساس الرصد الجوي الزراعي الذي يعتبر مؤشراً لتحديد دقة التنبؤات.

حيث تعتمد التنبؤات الجوية الزراعية في الغالب على العلاقات الإحصائية بين متغيرات المحاصيل (مثل تاريخ البذر، الإنبات، الإزهار وغيرها من أطوار نمو المحاصيل حتى الحصاد وتحديد كمية الإنتاج) ومتغيرات عوامل الأرصاد الجوية (مثل الحرارة، الأمطار، الإشعاع.....الخ) والمتغيرات المشتقة (مثل مؤشر رطوبة التربة ، العجز في رطوبة التربة وغيرها).

فمتغيرات الطقس والمناخ يمكن أحياناً أن تختار بالحدس والخبرة، وذلك لارتباط متغيرات عديدة بعضها ببعض مثل الرطوبة التي تتأثر بالحرارة والعكس.

فالمتغيرات المرتبطة ببعضها ممكن أن تكون كثيرة . وتحسب العلاقات بينها وتحلل بعلاقات الخط المستقيم.

ولإجراء التنبؤات يتطلب أن تتوفر كمية هائلة من البيانات لإدخالها في عمليات التحليل.

ويمكن إيجاز أهم الخطوط العريضة للتنبؤات الجوية الزراعية على النحو الآتي:

- تقييم الحالة الحالية للمحصول وعلاقتها بمعلومات الطقس للفترة الماضية وكمية الإنتاج المتوقعة.
- يمكن بمعرفة مجموعة من العناصر الجوية من تقدير رطوبة التربة والتي من الممكن بربطها بعنصر أو أكثر من المتغيرات الجوية الزراعية الرئيسية أن تحدد كماً ونوعاً الإنتاج المتوقع.
- الحالة الحالية للطقس وقبل كل شيء انحراف العناصر الجوية (المكونة له) إحصائيا عن

المعدل العام، واحتمالات التوزيع الطبيعي لها تعطي مؤشراً قوياً للمستقبل لعدة أيام.
- احتمالات التوزيع الطبيعي لأكثر العناصر الجوية المهمة نستطيع استخدامها لتحديد احتمال التغيرات في المستقبل لحالة المحصول وكمية الإنتاج المتوقعة.
- عناصر الطقس وتحديداً الحرارة والإشعاع عناصر مرتبطة بالتوزيعات المناخية الكبرى ، لذلك بيانات الطقس من عدة محطات رصد محددة ، ممكن أن تستخدم لتقدير الإنتاج فوق منطقة واسعة نسبياً.

وتنقسم التنبؤات الجوية/الزراعية إلى خمس مجموعات هي :

1- تنبؤات العوامل الجوية / الزراعية:

إلى هذه المجموعة تنتمي التنبؤات بالفترة الحرارية الملائمة لمراحل نمو المحاصيل ، التنبؤ بالرطوبة المنتجة في التربة ، التنبؤ بظروف نمو مراحل حياة المحاصيل والتنبؤ بفترة الحصاد ، والتنبؤ بحركة الكتل الهوائية وتأثيراتها على المواسم الزراعية.

2- التنبؤات الفينولوجية:

إلى هذه المجموعة تنتمي التنبؤات بالفترة الملائمة لبداية أعمال الري، لتحديد مراحل حياة المحاصيل.

3- التنبؤ بالمنتوج كماً ونوعاً .

4- التنبؤ بظهور وانتشار الأمراض والآفات الزراعية .

5- التنبؤات للمحاصيل الشتوية .

التنبؤات الجوية / الزراعية:

من المعروف مسبقاً أن لمراحل النبات المختلفة وحدات حرارية معينة تمكنه من النمو والإنتاج الأفضل. ووجدت كميات هائلة من المعادلات الخطية وغيرها للربط بين العناصر والعوامل الجوية المختلفة وعمليات نمو المحاصيل. ويمكن إعطاء فكرة لبعض تلك العلاقات على النحو الآتي:

1- التنبؤات بأطوار نمو المحصول بالاعتماد على الحرارة :

يعتمد نمو المحصول على حرارة الهواء . فكلما كانت درجة حرارة الهواء مرتفعة (في الحدود المناسبة للنمو) كانت سرعة النمو أكبر .

ولذلك في السنوات الحارة مراحل نمو المحصول تنمو مبكراً بالنسبة إلى السنوات الباردة، وتعكس المعادلة الآتية تقدير حالة النمو:

$$n = \sum C / (T-t) \qquad [11-1]$$

n- عدد الأيام ، c- الحرارة الفعالة -المتجمعة-.

T - متوسط درجة الحرارة المئوية. ، t- صفر نمو المحصول.

وللتنبؤ بفترة ظهور مرحلة من مراحل نمو المحاصيل الزراعية استخدمت مجموع الحرارة الفعالة -المتجمعة- أعلى من 5 م° والضرورية لظهور مراحل نمو محاصيل الحبوب والفواكه ، مع الأخذ بعين الاعتبار الاختلاف في أنواعها . فمثلاً لدى أكثر أنواع القمح الربيعي تكون درجة الحرارة الفعالة الضرورية لمرحلة الإنبات- العقد (للنوع المبكر 283 - 305م°، وللنوع المتوسط 305 - 375م° والمتأخر 375 - 400م°) . ولفترة ظهور العقد-بداية الأزهار 490 - 540 م° . ويحسب التنبؤ بفترة ظهور كل مرحلة من مراحل نمو النبات بالعلاقة الآتية:

$$D2 = D1 + \sum C / t - 5 \qquad [11\text{-}2]$$

D2 - التاريخ المتوقع لظهور مرحلة النمو المطلوبة.

D1 - تاريخ ظهور المرحلة السابقة.

C- مجموع الحرارة الفعالة بين المرحلتين.

t - متوسط درجة الحرارة اليومية المتوقعة مابين المرحلتين.

التنبؤ بالإزهار عند القمح الربيعي:

مثال: أوجد التاريخ المتوقع لظهور مرحلة الأزهار عند القمح الربيعي، إذا علمت أن مرحلة تكون العقد (1D) ظهرت في تاريخ 20 يونيو، مجموع الحرارة الفعالة الضرورية لظهور مرحلة الأزهار 490 °م، (t) متوسط درجة الحرارة اليومية المتوقعة مابين المرحلتين = 20 °م.

$$D2 = 20 + 490/(20 - 5) = 20 + 33 = 53$$

وعند حساب الفترة منذ بداية شهر يونيو كاملاً فإن موعد ظهور مرحلة الأزهار عند القمح الربيعي يكون 23 يوليو.

$$D2 = 20 \text{ June} + 32.6 = 23 \text{ Jul}$$

التنبؤ بمراحل نمو الجوافة:

للتنبؤ بمراحل نمو الجوافة (Psidium guajava L,) باستخدام العلاقة الخطية الآتية :

$$TR=193/(T1-9.29+244/(T2-13.8)+428/T3-10)+2076/(T4-8.4) \qquad [11\text{-}3]$$

TR- الأيام الحرارية المطلوبة (عدد الأيام المطلوبة منذ بداية أول ريه حتى لحظة الحصاد).

T1- متوسط درجة الحرارة منذ أول ريه حتى الإنبات

T2- متوسط درجة الحرارة منذ الإنبات حتى ظهور البراعم

T3- متوسط درجة الحرارة منذ ظهور البراعم حتى الإزهار

T4- متوسط درجة الحرارة منذ الإزهار حتى نضوج الثمار

فمثلاً نفترض أننا نريد تقدير عدد الأيام منذ الأزهار حتى نضوج الثمار ولدينا المعدل اليومي لدرجة الحرارة 25 0 م لهذه الفترة.

$$TR=2076/(T4-8.4)$$
$$TR=2076/(25-8.4)$$
$$TR=2076/(16.6)$$
$$TR=125 \text{ يوم}$$

التنبؤ بأزهار التفاح :

للتنبؤ بأزهار التفاح استخدمت في جنوب أوكرانيا المعادلة الآتية:

$$Y=51.6476-3.1130x-0.6075x1-1.4057x2 \qquad [11\text{-}4]$$

Y- عدد الأيام منذ 1 أبريل حتى الإزهار.

X- متوسط درجة حرارة التربة عند عمق 40 سم.

x1 - متوسط درجة حرارة الهواء في الثلث الأخير من شهر فبراير.

x2 - متوسط درجة حرارة الهواء في الثلث الأول من شهر أبريل.

2- التنبؤ بالمحصول على أساس احتياطي الرطوبة :

يعتمد التنبؤ بكمية إنتاج محصول الحبوب على حالة النبات والعوامل الجوية الزراعية منها احتياطي الرطوبة المنتجة والأمطار والرطوبة الجوية في أهم مراحل نمو النبات (ظهور النبتة- العقدة) ، وأيضاً مرحلة ظهور النبتة- وبداية الأزهار ، و يؤخذ في الحسبان العجز في رطوبة الهواء وعدد السيقان في بداية ظهور النبتة وتكون العقد .

وكما يتأثر إنتاج الثروة الحيوانية على تلك العوامل. وهنا يمكن إعطاء بعض الأمثلة لذلك التأثير في الإنتاجية المتوقعة.

التنبؤ بكمية إنتاج محصول الحبوب:

فمثلاً في كازاخستان تم التوصل إلى المعادلة الآتية:

$$Y=0.0011336X1+ 0.007154X2 + 0.09169X3 - 0.11909X4 + 0.08 \text{ T/H} \quad [11-5]$$

Y- متوسط إنتاج القمح الشتوي طن/هكتار

1X- عدد السيقان في مرحلة تكون العقد

X2 - احتياطي الرطوبة المنتجة (ملم) في التربة على عمق 100سم

X3 - كمية الأمطار في مرحلة تكون العقد - وبداية الأزهار.

X4 - متوسط العجز في رطوبة الهواء (hpa) في مرحلة تكون العقد - وبداية الأزهار.

ويمكن التنبؤ بكمية المحصول على أساس المعادلة الآتية :

$$Z = 0.22X + 0.05y - 1.0 \quad [11-6]$$

Z- متوسط إنتاج الحبوب المتوقع طن/هكتار

X- متوسط الكثافة الخضرية في مرحلة تكون العقد - وبداية الأزهار.

y- احتياطي الرطوبة المنتجة (ملم) في التربة على عمق 100سم في مرحلة البذر.

كمية الكثافة الخضرية تحدد كمتوسط عدد السيقان في 1 م^2.

ويمكن التنبؤ بكمية المحصول على أساس معادلة Olanoph الآتية:

$$Y= 0.059 Wnp + 0.024N - 2.97 \quad [11-7]$$

Y- المحصول المتوقع.

Wnp- الرطوبة المنتجة (مم) في التربة على عمق 100سم.

N- عدد سيقان القمح في المتر المربع.

مثال:

المعطيات Wnp = 120 mm , N= 1500/m2

$$Y= 0.059x120 + 0.024x1500 - 2.97= 4.01 \text{ T/H}$$

التنبؤ بمحصول القمح والشعير المقاوم للجفاف :

أدت الدراسات التي قام بها المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة خلال

العقد المنصرم إلى استنباط سلالتين من الشعير والقمح المقاومتين للجفاف وأطلق عليها الاسم أكساد59 بالنسبة للقمح و الاسم أكساد 176 بالنسبة للشعير. وتوضح المعادلات الآتية العلاقة بين إنتاجية المحصول (غ) وتوزيعات الأمطار بالنسبة للسلالتين.

$$غ59 = 17.6x_{م3} + 7.0x_{م2} - 7.6x_{م1} + 667 \qquad [11-8]$$

حيث أن:
غ59 = الإنتاجية بالكيلو جرام للهكتار
م1 - كمية المطر (ديسمبر+يناير)
م2 - كمية المطر (فبراير)
م3 - كمية المطر (أبريل + مايو)

$$غ176 = 15x_{م3} + 8.5x_{م2} - 15.4x_{م1} + 2356 \qquad [11-9]$$

على الرغم من أن السلالتين تتميزان بقدرة على مقاومة الجفاف إلا أن الري الإضافي في شهر أبريل ومايو يؤدي إلى زيادة كبيرة في الإنتاجية. لذلك يمكن رفع الإنتاجية بالري الإضافي حتى في حالة المحاصيل التي تقاوم الجفاف في مثل هذه المناطق. وهناك حاجة لتحديد حجم الاحتياج المائي للمحصول واللازم لتفادي الجفاف أو الحد من تأثيره.

3 - علاقة النمو المرتبطة بدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي:

بأستخدم عامل الفعالية (A) الذي يشير إلى قوة النمو المرتبطة بدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي يمكن الوصول إلى مؤشر للإنتاجية حيث أن لنمو الأوراق في الحبوب الصغيرة - كالقمح- علاقة مباشرة بهذا العامل ، فبازدياده يزداد نمو الأوراق :

$$A = T\sqrt{R} \qquad [11-10]$$

حيث أن:
T - المتوسط اليومي لدرجة الحرارة
R- كمية الإشعاع الكلية على سطح أفقي (حريرة/ سم2/ يوم).
كما تبين أن نوعية العنب مرتبطة طردا بمربع عدد ساعات سطوع الشمس في شهر تموز.

4- علاقة الإنتاج بدرجة الحرارة وساعات سطوع الشمس والأمطار:

يمكن التنبؤ بكمية الإنتاج باستخدام معلومات الحرارة والأمطار وساعات سطوع الشمس من خلال العلاقة الآتية :

$$Y = aX1 - bX2 + cX3 - d \qquad [11-11]$$

حيث أن:Y- أفضل مردود للمحصول
X3,X2,X1 - الأمطار ، درجة الحرارة ، سطوع الشمس بالتتابع خلال الفترة من مايو وحتى يوليو.
d,c,b,a- ثوابت ، وبلغت قيمة معامل الارتباط0.87 وهي قيمة عالية جداً.

العوامل الجوية والثروة الحيوانية والتنبؤ بإنتاجها:

لحماية الثروة الحيوانية تستخدم معلومات الطقس والمناخ التي تؤثر على نشاطها وإنتاجها من

اللحوم والألبان فإذا أخذنا الماشية مثلاً لهذا التأثير نجد أن درجة حرارة الجسم فيها تتراوح بين 36.6 - 38.8 وهذا المدى يعتبر المدى الحراري الطبيعي للجسم ويمثل التفاعل الناشئ بين الحرارة المتولدة والمضافة إليها من الخارج وبين الحرارة المفقودة من الجسم.

وقد أثبتت العديد من الدراسات علاقة درجة الحرارة الجوية بنشاط الخصية سواء من ناحية إفرازاتها الهرمونية أو بتكوين الحيوانات المنوية Sperms فأن ارتفاع درجة الحرارة الجوية ؤؤثر سلباً على نشاط الخصية وتسبب ضعف الخلايا الأمية للحيوانات المنوية Seprmato-gonia وبالتالي يؤدي ذلك على زيادة نسبة الحيوانات المنوية المشوهة وكذلك على حيويتها وعددها في الوحدة الحجمية ، مما يؤدي إلى ما يعرف بحالة العقم المؤقت Temperoray sterility أو ما يطلق عليه أحياناً بالعقم الصيفي Summer sterility .

وبينت دراسات أن إنتاجية الأبقار من سلالة الفريزيان في محافظة لحج قد تأثرت بتغير درجات الحرارة خلال أشهر السنة المختلفة ، فقد كانت أعلى إنتاجية خلال شهر يناير حينما كانت متوسط درجات الحرارة فيه 25.6 م ، وانخفضت هذه الإنتاجية بمعدل 65% خلال شهر يونيو عندما وصلت درجات الحرارة خلال هذا الشهر بمتوسط 32.3 م.

عند انخفاض درجة الحرارة الجوية المحيطة يلجأ الحيوان إلى زيادة إنتاج الحرارة المتولدة لمعادلة الفقد الناشئ لحرارة الجسم وبالتالي زيادة الطلب لمصدر الطاقة الحرارية - الغذاء . فتزداد بذلك شهية الحيوان لتناول الغذاء . ويعني ذلك صحة جيدة وزيادة في الإنتاجية وعدم تشوه الحيوانات المنوية.

بينما ارتفاع درجة الحرارة الجوية عن الحدود المثلى لدى الحيوان تؤدي إلى حالة الإجهاد الحراري Heat stress ومن نتائجها ارتفاع نسبة جلوكوز الدم ، أي بعبارة أخرى زيادة مستوى الطاقة الميسرة في الدم ويكون من نتيجة ذلك شعور الحيوان بالشبع ، والامتناع عن تناول الغذاء أو فقدان الشهية.

ووجدت طرق عدة لمعرفة التحمل الحراري للحيوان منها :

طريقة إيبيريا للتحمل الحراري Iberia Heat tolerance :

طريقة إيبيريا للتحمل الحراري Iberia Heat tolerance ويجري هذا الاختبار بأن توضع الحيوانات المراد اختبارها في مكان مكشوف معرضٍ لضوء الشمس المباشر في صباح يوم شديد الحرارة (90 ° ف) وفي الساعة العاشرة صباحاً تسجل درجة حرارة جسم الحيوان ويعاد القياس عند الساعة الثالثة بعد ظهر نفس اليوم . ويتم تكرار هذه القياسات لمدة ثلاثة أيام متتالية ثم يوجد المتوسط . وتطبق المعادلة التالية :

$$HT = 100 - 10 (BT - 101) \quad [11- 12]$$

حيث أن:

HT- مقدرة التحمل الحراري.

100- المعدل القياسي لدرجة حرارة الجسم في الحيوان.

10- عامل التحويل للفرق في درجة حرارة الجسم .

BT- متوسط درجة حرارة جسم الحيوان في المختبر.

حاصل هذه المعادلة هو عبارة عن النسبة المئوية للقدرة على التحمل الحراري فكلما كانت

النسبة مرتفعة دلت على المقدرة العالية للتحمل الحراري.

معادلة دليل التحمل الحراري "Index Heat Tolerance ":

$$I = T2/38.3 + RR/23 \qquad [11- 13]$$

حيث أن:

I- دليل التحمل الحراري.

T2 - درجة حرارة الجسم عند حالة التحمل الحراري.

RR- معدل التنفس بالدقيقة.

38,3 ، 23 - متوسط درجة حرارة الجسم ومعدل التنفس في الدقيقة في الأحوال الطبيعية.

معامل التحمل الحراري:

تم احتساب مدى التغير في درجة حرارة الجسم بالارتباط بدرجة حرارة الجو المحيط بالحيوان أي معامل انحدار درجة حرارة الجسم إلى درجة حرارة الجو المحيط . وهذه الطريقة أعطت أمكانية قياس معامل التحمل الحراري تحت أي ظروف حرارية أعلى من 30 °م.

$$I =100 - 20 (T2 - T1) + K (40 - Et) \qquad [11- 14]$$

حيث:

T1 - درجة الحرارة للجسم تحت الظروف العادية.

T2 - درجة حرارة الجسم عند التحمل الحراري (> 30 °م).

Et- درجة الحرارة الجوية عند التحمل الحراري.

K- معامل انحدار درجة حرارة الجسم إلى درجة حرارة الجو (في حالة الماشية = 0.06).

التنبؤ بالفقد اليومي من حليب الأبقار:

لمعرفة النقص في إنتاج حليب الأبقار استخدمت العلاقة الآتية:

$$M.DEC=1.075-1.736NL+0.02474(NL)(THI) \qquad [11- 15]$$

حيث أن:

M.DEC- الانخفاض الفعلي في إنتاج الحليب (Kg/cow/day)

NL- مستوى الإنتاج الطبيعي (Kg/day)

THI- مؤشر المتوسط اليومي لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية =

$$tdb + 0.036tdp + 41.2$$

حيث أن : tdb- درجة الحرارة الجافة (مئوية) و tdp- درجة حرارة نقطة الندى (مئوية).

الفصل الثاني عشر
العوامل الجوية والأمراض والآفات الزراعية
Meteorological elements, Pests and diseases

في الوقت الذي تمثل فيه العوامل الجوية عاملاً مهماً في إنتاجية المحاصيل، فإنها في الوقت نفسه تمثل ذات أهمية ومؤشراً مهماً لنشاط الآفات و الأمراض الزراعية.
وفي الأرصاد الجوية الزراعية فإن تأثير الطقس والمناخ في حدوث الأوبئة أو انتشار مرض من أمراض النبات ليس موضوع شيق للبحث فقط ولكنه موضوع في غاية الأهمية الاقتصادية.
وبالبحث عن العوامل الجوية التي تصاحب انتشار الأوبئة والأمراض فإنه يمكن تحسين وتنقيح التنبؤ بحدوث هذه الأوبئة ويجب أن تغطى هذه التنبؤات الوقت الأمثل لمقاومة هذه الأوبئة سواءً برش السوائل أو التعفير بالبودرة . وإذا حدثت المقاومة ضد المرض أو الوباء قبل أو بعد الوقت المناسب بمدة طويلة فإنها لن تكون مرضية ، وإذا طبقت هذه المقاومة في وقت من المفروض حدوث وباء فيه فربما تحت ظروف معينة تصبح غير ضرورية وتصبح هذه المقاومة مضيعة للوقت والمال والمادة.
ويتطلب التنبؤ بالإصابة بالمرض أو الوباء ومنعها معلومات عن التطورات الفسيولوجية للحشرة أو المرض بالإضافة إلى مناخ المنطقة الموجودة بها الإصابة والأحوال الجوية السائدة بها . ولذلك فإن دراسة أي مرض أو إصابة بحشرة يبدأ بالفحص للإصابة للتحقق من العنصر الجوي الأكثر أهمية الذي يكون وحده أو بالإضافة إلى عنصر آخر مؤثر على نمو وسلوك الحشرة أو المرض وكذلك الأكثر تحديد مدى الحرارة والرطوبة التي تكون أكثر ملائمة أو أكثر تأثيرا على نمو الحشرة.
وللتنبؤ بالوباء هناك طريقتان :
1- الطريقة الأساسية: ومنها يتم دراسة العوامل الجوية على كل من الطفيل والعائل كل على حدة ثم مجتمعين في ظروف محكمة بالمعمل وبعد ذلك يتم ربط هذه العوامل بمناخ المنطقة تحت الدراسة ويجب أن تكون هذه التجارب المعملية قريبة قدر المستطاع للظروف الطبيعية التي ستتواجد في الحقل . ويجب أن تشمل الدراسة التشريحية للمرض درجات حرارة متغيرة.
2- الطريقة التجريبية: وفيها يتم عمل ارتباط المرض والعوامل الجوية السائدة في الحقل وتتطلب هذه الطريقة بيانات موثوق بها لعدد من السنين لكل من الإصابة وشدتها من ناحية العوامل الجوية المصاحبة من جهة أخرى.
ويمكن تمثيل البيانات الجوية على شكل رسومات بيانية أو هستوجرامات وترسم هذه المنحنيات موسمياً . وبدلاً من استخدام المتوسط فإنه من المفضل استخدام أعلى انحراف عن المعدل أو أكبر مدى.
فمثلاً يمكن استخدام العناصر الجوية الأخرى مثل سرعة الرياح وضغط بخار الماء في هذه العلاقات.
كذلك يمكن رسم منحنى ثلاثي الأبعاد بحيث يكون المحور الأفقي الشهور ومحورين رأسيين الأول للحرارة والثاني للمطر مثلا.
ومن الممكن الحصول على نتائج أفضل بعمل محاولة تجمع بين الطريقتين الأساسية والتجريبية.

وعلى ذلك يمكن القول – إلى حد كبير- أنه لعمل نظام تحذيري للإصابة يجب إتباع الخطوات الثلاث الآتية:

الخطوة الأولى: تحديد العوامل الجوية الأكثر تأثيراً على نمو وتكاثر الحشرة أو المرض وذلك من الدراسات المعملية. ومن النتائج التي يحصل عليها ممكن تصميم نموذج تجريبي على بيانات العناصر السابق تحديدها. وفي هذا النموذج يتم الربط بين أيام الإصابة مع قيم العناصر الجوية السابقة لتلك الأيام.

الخطوة الثانية : يتم تجربة النموذج التجريبي في الحقل وذلك بتطبيق هذا النموذج مع القيم اليومية – المصاحبة للإصابة- سواءً كانت عوامل حيوية أو مناخية أو من النوع الذي يطلق عليه العوامل المناخية ذات المستوى الدقيق ومن هذه القيم يتم التأكد من سلسلة المقاييس الموضوعة أو ضبطها حتى تتمشى مع الموقف في الحقل وهذا يؤدي بنا إلى تكوين نموذج مناخي محدد محل النموذج التجريبي.

الخطوة الثالثة: عمل ربط بين تواريخ قيم العوامل الجوية المحققة لحدوث الإصابة والأحوال الجوية السينوبتيكية السابقة واللاحقة لهذه التواريخ . وبهذه الطريقة يمكن اختيار عدد محدد من النماذج السينوبتيكية لتغطية كل الحالات التي حدثت فيها إصابة . وإذا حققت هذه الطريقة نجاحا فمن الممكن استخدام الخرائط السينوبتيكية اليومية لعمل تحذيرات احتمالات حدوث الإصابة.

وعند حدوث الحالة الجوية التي تؤدي لانتشار الوباء يتم إصدار تحذير يتبع هذا التحذير رش المبيدات أثناء فترة ما قبل الفقس في الفترة السابقة لحدوث الوباء . وحيث أن المقاومة الكيميائية ينظر لها دائماً كأجراء وقائي وليس علاجي فإنه ينظر إلى التنبؤ بإصابة النبات أنه الحل على القضاء على هذه الإصابة وأفضل طريقة للتنبؤ هي تلك الطريقة التي تحدد اليوم الذي ستحدث فيه الإصابة حتى يمكن عمل المقاومة المناسبة. كما يجب الأخذ في الاعتبار النقاط التالية:

1- يوجد أحياناً خطأ عند تطبيق الطرق التجريبية منشأها أن سلسلة المقاييس الجوية التي يبنى عليها التنبؤ لا يجب تطبيقها إلا في المناطق المشابهة مناخياً للمنطقة التي عملت لها هذه الطريقة.

2- الحاجة إلى قيم تقييم رقمي لحدوث الإصابة.

3- الحذر من اختيار العناصر الجوية الوثيقة الصلة للمشكلة تحت الدراسة . والخطر من إهمال عنصر ذو أهمية واختيار عنصر آخر له علاقة وثيقة بهذا العنصر.

ويجب لفت الأنظار إلى قيمة الطريقة السينوبتيكية في التنبؤ بالإصابة بالحشرات أو أمراض النبات وليس الاكتفاء باستخدامها على المستوى اليومي العادي فقط بل أيضا يمكن استخدامها على مستوى كل خمسة أيام أو باستخدام خرائط التوقع كل ثلاثون يوما بالإضافة إلى خرائط طبقات الجو العليا ، ومن الواضح أن البيانات المناخية لازالت تحتفظ بقيمتها وأهميتها في التخطيط طويل الأمد مثل تحديد الأماكن الجغرافية والطبيعية المهيأة للإصابة بالحشرات أو أمراض النبات وأوقات هذه الإصابة بالتقريب.

ومن الناحية النظرية فإن الطريقة المناخية للتنبؤ الموسمي للإصابة تبدو أنها أكثر ملائمة. فهذه الطريقة مبنية على فكرة الثابت الحراري والتي تقول أنه لكي تتم الحشرة دورة كاملة فإنها لابد وأن تجمع كمية محدودة من الحرارة الفعالة . فعندما تقترب الحرارة المتجمعة من هذه القيمة من المفروض أن تكون الحشرة قد اكتملت دورتها.

وقد أشار فاسيف Vasev سنة 1963 لفراشة التفاح كواحدة من أخطر الحشرات المتلفة

لمحصول التفاح في بلغاريا والتي تسبب تلف ما يقترب من 60% من المحصول وبتطبيق طريقة المقاومة الكيميائية وذلك برش مادة د.د.ت. عندما يصل مجموع درجات الحرارة الفعالة فوق (10°م) 218 °م أو يزيد قليلاً وقد أعطت هذه الطريقة نتائج أفضل من رصد الفراشات في أقفاص في ظروف طبيعية.

ويجب الإشارة إلى أن انتشار الأمراض والآفات الحشرية لا تعتمد على الحرارة أو الرطوبة فقط وإنما تعتمد على مجموعة من العوامل الجوية الواردة الذكر في الفصل العاشر كالحرارة المرتفعة والمنخفضة والرطوبة الجوية الغير ملائمة والظروف الضوئية الغير ملائمة والرياح والإشعاعات والعواصف الكهربائية والبرق والتهوية السيئة.

المؤشر الرطوبي لبعض الحشرات الضارة بالمحاصيل:

علاقة الرطوبة والحرارة من أهم العوامل التي تحدد نمو وانتشار الأمراض والآفات الزراعية ويمكن هنا ذكر بعض تلك العلاقات:

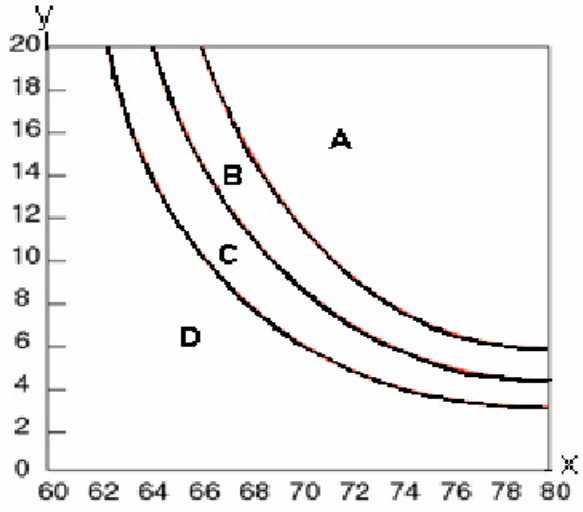
1- علاقة درجة الحرارة بكمية الأمطار:

$$HK=\sum P/\sum T>5 \qquad [12\text{-}1]$$

HK- المؤشر الرطوبي.، $\sum T$- مجموع درجة الحرارة أكبر من 5 °م.، $\sum P$ - مجموع كمية الأمطار

تكون الظروف مناسبة جداً لانتشارها بشكل كبير عندما يكون HK ما بين 4.5 - 6.5 وعندما تكون أكبر من9 وأقل من3 يكون عددها قليلاً واحتمال الإصابة في المحاصيل ضعيف.

2- طريقة تقدير نسبة بقع ورق الفول السوداني بالرطوبة النسبية العالية ودرجة الحرارة الصغرى :



شكل (12-1) احتمال الإصابة ببقع ورق الفول السوداني

تقدر هذه الطريقة انتشار المرض باستخدام المعلومات اليومية للأرصاد الجوية وتعتمد على عدد ساعات الرطوبة النسبية العالية (أكبر من 95%) ودرجة الحرارة الصغرى الموضحة في الشكل (12-1) .

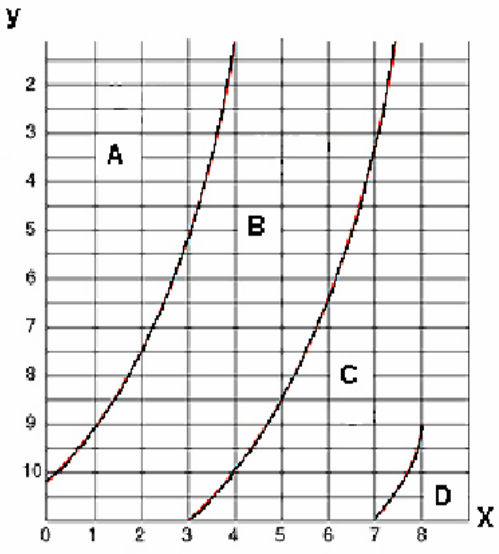
y- عدد ساعات الرطوبة النسبية أكبر من 95%. X- درجة الحرارة الفهرنهيتية.

A- منطقة تزايد سريع للمرض B- منطقة تزايد معتدل للمرض C- منطقة تزايد بطئ للمرض D- منطقة قليلة المرض ويمكن أن لا يوجد مرض.

وللتبؤ بالندى كمؤشر للرطوبة يمكن استخدام العلاقة بين سرعة الرياح وطول الفترة الجافة.

y- عدد الأيام منذ أخر مطرة x- متوسط سرعة الرياح من منتصف الليل حتى شروق الشمس، A – منطقة ندى عالي، B-منطقة ندى متوسط، C- منطقة ندى ضعيف، D- منطقة

لا يوجد فيها ندى
و يمكن أيضا تقدير الندى بمعرفة رطوبة التربة التي يمكن أن تعطي مؤشراً على تشكل الندى.
و يمكن التنبؤ بالندى بالاعتماد على سرعة الرياح و رطوبة التربة، حيث يتم حساب سرعة الرياح من منتصف الليل حتى شروق الشمس وعلاقتها بالعجز في رطوبة التربة تحت السعة الحقلية
حيث أن:
y- العجز في رطوبة التربة (بوصة) تحت السعة الحقلية
X- معدل سرعة الرياح من منتصف الليل حتى شروق الشمس (ساعة/متر)
A – منطقة ندى عالي
B- منطقة ندى متوسط
C- منطقة ندى ضعيف
D- منطقة لا يوجد ندى



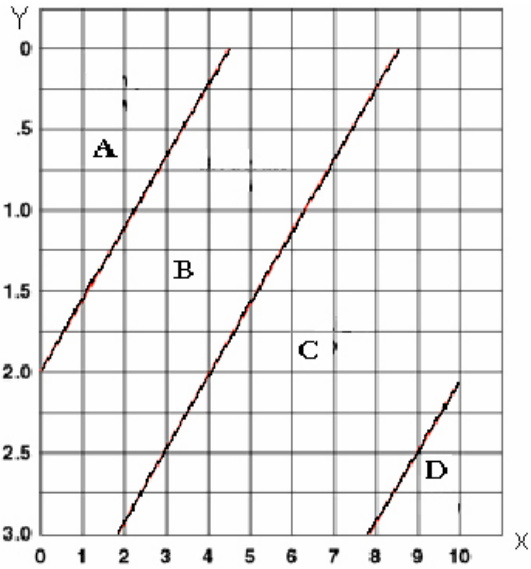
شكل (12-2) التنبؤ بالندى بالاعتماد على سرعة الرياح وطول الفترة الجافة

الطريقة العامة لتقدير فترة نمو الحشرات :
تعتمد سرعة نمو الكثير من الحشرات والآفات الزراعية على درجة الحرارة، ويمكن تقدير فترة نموها بالاعتماد على الحرارة الفعالة المتجمعة، وتطبيق نفس معادلة حساب فترة نمو المحاصيل الزراعية:

$$\sum C = (T-t) \times n \qquad [12-3]$$

$$n = \sum C / (T-t) \qquad [12-4]$$

n- أيام النمو $\sum C$ - الحرارة الفعالة المتجمعة- T - متوسط درجة الحرارة المئوية t- صفر نمو الحشرة



شكل (12-3) التنبؤ بالندى بالاعتماد على سرعة الرياح و رطوبة التربة

مثال:
أحسب فترة نمو حشرة ما إذا علمت أن متوسط درجة الحرارة (T) للفترة القادمة 25 درجة مئوية والحرارة المتجمعة الفعالة ($\sum C$) المطلوبة لهذه الحشرة 725 درجة مئوية. علماً بأن

درجة صفر النمو لها (t 9 درجات مئوية.

$$\sum c = (T-t)x\ n\ ,\ \ 725 = (25-9)x\ n$$

$$n=725/(25-9)=45$$ يوم

الحشرات المهاجرة :

أولاً:- الجراد

-1 الجراد الرحال (الجراد الصحراوي):

الاسم العلمي: Schistocerca gregaria (Forskal,1775)

يعتبر الجراد آفة خطيرة على المحاصيل الزراعية وتأتي في مقدمة العوامل التي تساعد على تكاثره ، تعاقب عدد من السنين يكون فيها هطول المطر أكثر من المتوسط حيث تتم عملية التزاوج ويبدأ الجراد بوضع البيوض ، وأثناء عملية الوضع يطول البطن إلى ثلاثة أمثال طوله . تضع الأنثى بيوضها في التربة الخفيفة السلتية والرملية بمعدل 150-80 بيضة على دفعتين أو ثلاثة وعلى عمق يتراوح بين 10-5سم ، وعندما تتوفر الرطوبة والحرارة في التربة يكتمل تطوير البيوض وتفقس بعد حوالي 14 يوما .

بعد أن تسلخ الحوريات وتظهر الحشرة كاملة يبدأ الجراد البالغ هجرته لعدة أسابيع أو أشهر حتى يجد منطقة أخرى بعيدة عدة آلاف من الكيلومترات يكون قد هطل فيه المطر وكثر فيها النبات وبذلك تكون الظروف ملائمة للتغذية والتكاثر من جديد .

وهذا الجراد كبير الحجم ومثير للرعب ، واسع الانتشار في العالم . وتستطيع أسرابه في فترة الغزو الوصول إلى جنوب أوربا ، وأفريقيا شمال خط الاستواء ، وشبه الجزيرة العربية ومنطقة الهند وباكستان. وفي فترة السكون يلجأ الجراد في الطور الانفرادي إلى مناطق التجمع أو التكاثر الآتية:

- حدود الهند وباكستان حيث تساعد تيارات الريح على تركيز أعداد هائلة من الجراد.
- المناطق الساحلية بطول البحر الأحمر وخليج عدن حيث يوفر نظام المطر الظروف المناسبة للتكاثر طوال العام.
- قرب بعض سلاسل الجبال ، حيث تساعد ظواهر جريان الماء على تكوين مواقع مناسبة (سلاسل الصحراء الوسطى والجنوبية ، والحافة الجنوبية لجبال أطلس ، والحافة الغربية لجبال عُمان ، ووديان مكران في باكستان وإيران).

ومعدلات المطر المثلى للجراد الرحال (الجراد الصحراوي) تتراوح بين 25 و 50 ملم/شهر. وللوصول إلى مناطق التجمع التي ينشطها المطر، تطير الحشرات الانفرادية ليلا في الأوقات الهادئة، عندما تتجاوز درجة حرارة الهواء 25 درجة مئوية. وعلى عكس ذلك تهاجر الأسراب نهارا مما يسمح لها بالاستفادة من تيارات الهواء الصاعدة وعبور الحواجز الجبلية، و الهبوط في مناطق على بعد آلاف الكيلومترات.

ومن إستراتيجية مكافحة الجراد الرحال (الجراد الصحراوي) الوقائية يمكن ذكر المراحل الآتية:

1. مراقبة الظروف البيئية في مناطق التكاثر والتفشي المحتملة (بيانات الأرصاد الجوية ، الاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية ، وبيانات النماذج البيولوجية البيئية).
2. تنظيم عمليات المسح الجوي والأرضي، في المناطق التي أصبحت مناسبة في أعقاب هطول غزير للأمطار.

إن إستراتيجية منع الآفة تعتمد على تحديد المناطق التي هطل فيها المطر ، ومراقبة تزايد تعداد الجراد ، وتقنية الاستشعار عن بعد من التوابع الصنعية هي الوسيلة الأحدث والوحيدة التي يمكن بواستطها مراقبة 16 مليون كم2 التي تشكل منطقة تراجع (توالد وتكاثر) الجراد الصحراوي بالكامل وبشكل متكرر وبتكلفة معقولة.

فتقنيات المراقبة يمكن أن تعتمد على ظاهرتي هطول المطر والجريان السطحي في منطقة التراجع ، حيث يمكن استشعار رطوبة التربة عن بعد في الأقاليم الصحراوية بواسطة المستشعرات التي تعمل ضمن نطاق الموجات الطيفية القصيرة ، أو بالاعتماد على تقنيات المسح الحراري ، كما أن الاستشعار عن بعد للعناصر والظواهر الجوية المسببة لتغيرات رطوبة التربة التي لها علاقة بتطور وتزايد تعداد الجراد يمكن أن تتم من خلال دراسة معطيات التوابع الصنعية الأرضية الثابتة مثل التابع الصنعي لأفريقيا والشرق الأدنى المسمى متيوسات (Meteosat) فالتكرار الزمني السري (صورة كل نصف ساعة) لهذه المعطيات المجموعة ضمن نطاق الأشعة المرئية وتحت الحمراء الحرارية تسمح بمراقبة مفصلة لنظام الطقس الذي يسبب هطول المطر اللازم لبدء تناسل الجراد . كما أن التحاليل المتكررة للسحب وتقدير الهطول المتوقع تسمح بكشف المواقع التي يجب توجيه نشاطات المسح إليها في منطقة التوالد .

لذلك عند مراقبة الجراد الصحراوي والتنبؤ عن نشاطه لابد من دراسة الكتلة الحيوية للنبات في مناطق الغزو والتراجع ، ويمكن ذلك عن طريق استشعارها من بعد ، وهذه تقنية متطورة جداً ، حيث يعتبر النبات من الأهداف التي تجمع عنها المعطيات من توابع صنعية متعددة ، وهي تتلخص بقياس الأشعة الطيفية المنعكسة والناجمة عن التفاعل بين النباتات والإشعاع الطيفي الساقط عليها ، ومن الجدير بالذكر أنه يمكن أخذ هذه القياسات من على أي ارتفاع فوق سطح الأرض 1م ، 10م، 500م، 1000م، ....الخ حسب نظام الاستشعار المتبع من الرافعة أو الطائرة أو المركبات الفضائية ، أو التوابع الصنعية ، يمكن بعدها إجراء التقييم الطيفي لكتلة النبات الحيوية ، وهذا يتطلب استخدام نطاقين طيفيين هما نطاق الأشعة الحمراء (0.6 - 0.7) ميكرومتر والأشعة تحت الحمراء القريبة (0.7 - 1.3) ميكرومتر مع الأخذ بعين الاعتبار اختلاف أطول هذه الموجات بشكل طفيف بين العاملين في هذا المجال ، وتجدر الإشارة هنا إلى أن نطاق الأشعة الحمراء ذو علاقة وثيقة بمنطقة الامتصاص الكلوروفيلي للنبات ، هذه العملية تحتاج إلى طاقة تمتصها من الأشعة الطيفية ويكون هذا الامتصاص أعظمي في نطاق الأشعة الحمراء ، وكلما كانت عملية التركيب الكلوروفيلي أكثر كان الامتصاص أكبر وبالآتي نسبة الأشعة المنعكسة أقل ، أي كتلة النبات أكثف ، يتضح من هذا أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الكلوروفيل ونسبة الأشعة الحمراء المنعكسة المسجلة بواسطة المستشعر ، أما بالنسبة تحت الأشعة الحمراء القريبة فهو النطاق الذي يتناسب فيه الانعكاس طردياً مع كثافة النبات ، فمن المعروف أن النباتات الخضراء تعكس نسبة كبيرة من الأشعة تحت الحمراء القريبة الساقطة عليها و كلما كانت كثافة النبات أكثر كلما كانت كمية الأشعة المنعكسة أكبر ، ومن حساب النسبة بين الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريبة المسجلتين بواسطة المستشعر يمكن حساب قيمة الدليل النباتي (VI) التي تعبر عن كثافة الكتلة الحيوية للنبات ، وتحسب هذه القيمة من العلاقة الآتية:

قيمة الدليل النباتي = (الأشعة تحت الحمراء القريبة - الأشعة تحت الحمراء) ÷ (الأشعة تحت الحمراء القريبة + الأشعة تحت الحمراء)

VI = (R - NIR) / (R + NIR) [12-5]

وكلما كانت هذه القيمة أكبر كانت نسبة النبات أكثف.
وبالاعتماد على هذه القيمة يمكن حساب عامل النشاط المحتمل لتناسل الجراد وذلك من العلاقة الآتية:

عامل النشاط المحتمل لتناسل الجراد = (أ x 100 + ب x101 + ج x 102 + د x 103) ÷ ت [12-6]

حيث أن:
أ - عدد عناصر الصورة الفضائية التي تكون قيمة الدليل النباتي لها أقل من 0.04
ب - عدد عناصر الصورة الفضائية التي تكون قيمة الدليل النباتي لها بين 0.04 - 0.1
ج - عدد عناصر الصورة الفضائية التي تكون قيمة الدليل النباتي لها بين 0.1 - 0.16
د - عدد عناصر الصورة الفضائية التي تكون قيمة الدليل النباتي لها أكبر من 0.16
ت = أ + ب + ج + د

وكلما كانت قيمة هذا العامل أكبر دل ذلك على زيادة نشاط الجراد الصحراوي.

إن اختيار توابع صنعية مناسبة في مشاريع الاستشعار عن بعد يعتمد على قدرة التمييز المكانية والطيفية والإشعاعية للمستشعرات المحمولة على متنها ، مع ملاحظة الاعتبارات المدارية والصفات الزمنية والمكانية والطيفية للأهداف المراد مراقبتها ، فمراقبة مواطن الجراد الصحراوي تتطلب تابعاً صنعياً باستطاعة مستشعراته كشف وجود الكتلة الحيوية للنبات مع قدرة فصل مناسبة في آنٍ واحد وفوق مناطق شاسعة ، بينما تحافظ إشعاعياً على الاختلافات الطيفية للأهداف المدروسة خلال فواصل زمنية متكررة ، مثال ذلك الماسح متعدد الأطياف (MSS) والماسح الغرضي (TM) المحمولين على متن التابع الصنعي لاندسات والتجهيزات العالية الدقة (HRV) المحمولة على متن التابع الصنعي سبوت وجهاز الراديومتر المتقدم جداً (AVHRR) المحمول على متن التابع الصنعي نوى ، ذو قدرة الفصل المكانية 1كم و4كم مثالياً لأنه يمكن تغطية كافة المنطقة بسبعة صور فضائية فقط .

ولبيان فوائد الاستشعار عن بعد من التوابع الصنعية في مراقبة الجراد الصحراوي والتنبؤ بنشاطه أجريت دراسة شاملة من قبل منظمة الأغذية والزراعة الدولية تضمنت اختيار مناطق شاملة على أساس تكرار تكاثر الجراد ، وتم الحصول على معطيات الماسح متعدد الأطياف ومعطيات المستشعر (AVHRR) المجموعة فوق مالي والجزائر وصحراء ثار الهندية مع العلم أن حجم مواطن التكاثر يحدد نوعية التابع الصنعي المناسب للمراقبة ، نتيجة هذه الدراسة وجد أن التكاثر يتم في شكلين جيومورفولوجيين ، الشكل الأول هو قنوات الصرف الصحي أو الوديان حيث لوحظ تطور النباتات الخضراء في المناطق التي يتراوح عرضها بين 100 - 300م ، وهذا يؤكد ضرورة استخدام معطيات التابع الصنعي لاندشات أو المعطيات الفضائية الأخرى ذو قدرة

الفصل العالية لتحديد أماكن هذه الأودية التي يمكن أن يحدث فيها تزايد تعداد الجراد.
إما الشكل الثاني فهو المسطحات التي يغطي فيها النبات مساحة في حدود 20كم2 أو أكثر وتوجد نماذج لهذا الشكل في موريتانيا والسعودية والسودان وفي هذه الحالة يمكن الاعتماد على معطيات المستشعر (AVHRR) ذو قدرة الفصل المكاني 4 كم التي يمكن الحصول عليها بفواصل زمنية أقصر وكلفةأقل.

2- الجراد المهاجر:

الاسم العلمي: Locusta migratoria (Linne,1758)
ينتشر الجراد المهاجر في أفريقيا جنوبي الصحراء، وفي شبه الجزيرة العربية والهند وباكستان، وفي أوروبا والمناطق الساحلية للبحر المتوسط، وشرق آسيا واستراليا. ويتضمن النوع L.migratoria 12 نوعا فرعيا على الأقل ، لكل منها خصائص بيولوجية بيئية ترتبط بخصائص بيئية جوية تميز بيئات انتشاره.
والجراد المهاجر يسعى وراء الحرارة (درجة الحرارة المثلى تتراوح بين 20 و 25 درجة مئوية) ، في البيئات المتوسطة الرطوبة (أنسب معدلات مطر بين 50 و 100 مم/شهر).

3- النطاط السنغالي:

الاسم العلمي: Oedaleus senegalensis (Krauss,1877)
النطاط السنغالي منتشر على نطاق واسع في أفريقيا في منطقتي الساحل وشمال السودان ، ومن جزر الرأس الأخضر إلى القرن الأفريقي . كما سجل هذا النطاط انتشاراً في شبه الجزيرة العربية والهند وباكستان والشرق الأوسط .
النطاط السنغالي يحب المناطق الجافة المعتدلة. ويستطيع القيام برحلات موسمية لمسافات بضع مئات الكيلومترات ليبقى في المناطق ذات الظروف المناسبة لتطوره . ويقوم برحلات الطيران في بداية الليل إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة إلى حد ما.
وقد أمكن تصنيف العوامل البيئية الرئيسية للنطاط السنغالي وتحديد أهم العتبات البيولوجية الحرجة على النحو الآتي:

1- الفترة الضوئية:

قصر النهار (إلى أقل من 12 ساعة) الذي يحدث في مطلع الموسم الجاف، ينشط عملية وضع البيض في الإناث.
ويبقى البيض عندئذ في حالة كمون . وفي موسم الأمطار يتطور النمو بانتظام ولكنه يعتمد على عوامل بيئية أخرى.

2- درجة الحرارة:

يؤثر هذا العامل على معدل تطور البيض والحوريات والحشرات البالغة على النحو الآتي :
< 22.5 درجة مئوية: لا يحدث تطور
من 22.5 إلى 27.5 درجة مئوية: يحدث التطور.
> 27.5 درجة مئوية: لا تصبح درجة الحرارة عاملا له أثر تحديدي

3- عامل الرطوبة:

يعبر عنه بالمعدل المتوسط الشهري للمطر ، ويتوقف تأثير هذا العامل على أربع عتبات هامة من الناحية البيولوجية وهي :

< 25 مم : شديد الجفاف
من 25 إلى 50 مم : المعدل الأمثل
من 50 إلى 100 مم: معدل مقبول
> 100 مم: شديد الرطوبة

في منطقة الساحل بين درجتي خط العرض 10– 18 شمالاً ، ينقسم نطاق النطاط السنغالي إلى ثلاثة مناطق متكاملة بيئياً يستخدمها بالتعاقب ، من الجنوب إلى الشمال على النحو التالي:

1- منطقة التكاثر الأولى، حيث معدل المطر السنوي 750– 1000 ملم.
2- منطقة التكاثر المتوسطة، حيث معدل المطر السنوي 500 - 750 ملم.
3- منطقة التكاثر الشمالية، حيث معدل المطر السنوي 250 - 500 ملم.

4- جراد الشجر:

الاسم العلمي: Anacridium spp.

يتميز الجراد الشجري بالأسراب القاتمة الكثيفة التي يكونها والتي ترى أثناء النهار ، و تأوي في الأشجار ، ومن ثم يعرف باسم الجراد الشجري. وهناك نحو أثني عشر نوعا منه : النوع (A.arabafrum (Dirsh,1953)) وهو موجود في شرق أفريقيا وشبه الجزيرة العربية. وتختلف بيولوجية و إيكولوجية أنواع الجراد الشجري تبعا للمناطق البيئية الجوية لأقاليم توزع كل منها.

عموماً الجراد يبحث دائماً عن الحرارة والرطوبة وتعتبر المتابعة اليومية للحرارة والرياح والأمطار مهمة جداً وتكمن تلك الأهمية فيما يلي:

1- متوسط الحرارة اليومية يمكن من معرفة نسبة تطور والزمن المحتمل لطيران الجيل الجديد من الجراد
2- الحرارة اليومية عند الغروب تمكن من تقدير إمكانية أقلاع الأسراب قبل الطيران الليلي لمسافات طويلة.
3- التنبؤ بظهور نوبات من الحرارة الشاذة عن المتوسط العام تحدد من زيادة ونقصان نسبة تطور الجراد وفترة طيرانه.
4- تمكن خارطة الرياح من تقدير اتجاه وسرعة تحركات الأسراب اليومية (مع الأخذ بعين الاعتبار وقت الطيران) ، والوقت المناسب هو الساعة 12-15 توقيت محلي ، وتعتبر الخارطة السطحية هي أكثر الخرائط ملائمة لمتابعة حركة الأسراب بينما تكون خارطة 850 مليبار ضرورية عندما تكون درجة الحرارة اليومية عالية التي تساعد طيران الأسراب ضمن طبقة الغلاف الجوي المنخفضة ، وعند طيرانها فوق الجبال المرتفعة تعتبر خارطة 700 مليبار هي الأكثر ملائمة لمتابعة حركة الأسراب.
5- الرياح والنسيم البحري المستمر والقوي من اليابسة إلى البحر، يمكن أن يحمل أعداد كبيرة من الجراد إلى الجزر أو يغرقها.

ثانياً:- دودة الجيش الأفريقية

الاسم العلمي: Spodoptera exempta (Walker)

تنتشر دودة الحشد الأفريقية على نطاق واسع في أفريقيا وجنوب الصحراء ، وفي آسيا ،وأستراليا ،وإندونيسيا ،والفليبين . وهذه الدودة تهدد زراعات المحاصيل (الذرة ،والقمح ،والأرز ،وقصب السكر ، الخ) والمراعي.

وهي تهاجم النباتات الصغيرة و تعريها تماما من أوراقها تاركة العروق الوسطى في الأوراق فقط . والديدان صغيرة يصعب اكتشافها قبل فوات الأوان . وفي فترات التفشي يمكن أن تصل كثافة الديدان إلى 3000 دودة في المتر المربع ، وعندئذ تغطي مساحات شاسعة . ودورة الحياة سريعة جداً (22-43 يوما تبعا للظروف البيئية الجوية).

وهجرة الفراشات ، التي ترتبط بنظم الرياح ، يمكن أن تسبب تفريخات سريعة مفاجئة لأعداد هائلة من دودة الحشد في مناطق متباعدة . لذلك أنشئ نظام للتنبؤ قصير الأجل على أساس دراسة نظم الرياح .

وهي عموماً من الحشرات المهاجرة والمتأثرة بموسم الرياح الجنوبية الغربية القادمة من جنوب وشرق إفريقيا. فهي حشرة افريقية المنشأة وتصل إلى اليمن في الغالب في الفترة مابين يونيو – أغسطس ، ويمكن قبل ذلك بحدود شهران (يعتمد على حركة الرياح الجنوبية الغربية) ، فهي تطير مع اتجاه الرياح وبالذات في الليل ويمكن للرياح القوية أن تنقلها مئات الكيلومترات حتى تصل إلى المناطق التي تهطل فيها الأمطار لتبدأ في التزاوج ووضع البيض . ومن هذه المناطق هي منطقة التقاء الرياح أو منطقة التجمع المدارية للرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية في منطقة الضغط المنخفض الاستوائي INTERTROPICAL CONVERGENCE ZONE ITCZ

الفصل الثالث عشر
الأقمار الصناعية والاستشعار عن بعد
Satellite and Remote Sensing

كان لتقدم وازدهار العلم واختراع الأجهزة الدقيقة واستخدام اللاسلكي والطائرات والرادار والبالونات الطائرة ثم أخيراً الأقمار الصناعية وسفن الفضاء والأجهزة الالكترونية الفضل في تفسير المعلومات الغير معروفة فأضاف ذلك للعلم الكثير، خاصة في مجال الأرصاد والظواهر الجوية المختلفة.

الأقمار الصناعية ترتفع إلى مسافة معينة محددة لها لتسجيل المعلومات والقياسات المطلوبة . ولما كان اجتيازها لطبقات الجو السفلى يكون بسرعة كبيرة لذلك فإنها لا يمكنها أن تقوم بعملها في تلك الطبقات السفلى لتسجيل بعض المعلومات عنها .

وهناك من الأقمار ما هو مخصص للأغراض العلمية حيث يسجل المعلومات المختلفة لغرض الأبحاث العلمية ومعرفة الجديد كالنشاط الإشعاعي والإشعاعات الضوئية والمجال المغناطيسي وشكل الأرض. هذا إلى جانب بعض الدراسات عن الشهب والنيازك وانتشار غاز الأوزون والغازات الأخرى.

وهناك من الأقمار ما تحمل أجهزة للقياسات المختلفة وهذه تسجل معلومات عن المدارات التي تدور فيها . وهناك نوع ثالث من الأقمار يحمل أجهزة لخدمة الإنسان في الطبقة الهوائية القريبة من سطح الأرض وذلك فيما يختص بالملاحة الجوية والإرسال التلفزيوني والاتصالات اللاسلكية والحصر الجغرافي. وأخيراً هناك نوع من الأقمار خاص بالمعلومات العسكرية كالتجسس والاستطلاع.

إما سفن الفضاء فهذه تعمل بين الكواكب وبعضها للحصول على بعض المعلومات منها أو النزول فوقها وهي تترك مجال الجاذبية الأرضية وتدخل في مجال الكواكب الأخرى وتصل في سرعتها إلى حوالي 75000 ميل / الساعة ، وهذا مايسمى بالرحلات الكونية . كما أن بعض السفن الفضائية تقوم برحلات مدارية أي تحافظ على دورانها في المدار المخصص لها وسرعتها عندئذ تقل عن 18000ميل / الساعة وهي تساوي السرعة المدارية ، وهناك نوع من سفن الفضاء تحت المدارية وهي لا تستطيع أن تدور حول الأرض وذلك لأن سرعتها تقل عن 18000ميل/ ساعة وهي تدور لبعض دقائق قليلة جداً تعود بعدها إلى الأرض.

وترتبط استخدامات الأقمار الصناعية في قياسات درجة حرارة سطح الأرض بالعالم العربي الشاب المرحوم الدكتور فؤاد الصعيدي الذي توفي عام 1969م فهو الذي كان قد اكتشف هذه الطريقة عام 1960م والتي تقوم بقياس درجة حرارة سطح الأرض وتغيرها مع الارتفاع بواسطة الأقمار الصناعية عندما كان باحثا رئيسياً في مركز أبحاث الأقمار الصناعية في بوسطن وأستاذا في جامعة ماريلاند في الولايات المتحدة الأمريكية.

حيث أقترح الدكتور فؤاد الصعيدي عام 1960م استعمال المنطقة العديمة الامتصاص ذات الموجة (11.1) ميكرون لقياس حرارة سطح الأرض . ولقد قام مركز أبحاث الأقمار الصناعية بتصميم أولي لمطياف لهذا الغرض في عام 1963م . وقد أطلق هذا المطياف إلى الفضاء الخارجي بتاريخ 11 أيلول 1964م ، وأجريت هذه التجربة نفسها مرة ثانية في جو بارد

وقطبي في منطقة جنوب داكوتا بتاريخ 10 آذار 1965م.
وازدادت استخدامات الأقمار الصناعية في السنوات الأخيرة في أنشطة الأرصاد الجوية المختلفة وتحديداً في مراقبة الطقس وتقلباته اليومية على نطاق واسع ومحلي.
ولقد أتاحت الأجيال المتوالية من أقمار الأرصاد الجوية ، عدداً من المزايا من أهمها إعطاء تنبؤات جوية مسبقة.
وأمكن للصور الفضائية التي تبثها هذه الأقمار الإنذار بهبوب العواصف المدمرة قبل أن تدهم الشواطئ بزمن كاف لاتخاذ الاحتياطات الوقائية ضدها . وكان ذلك واضحاً عدة مرات بالنسبة لإعصار "هاريكان" الذي كان معتاداً أن يداهم الشواطئ الأمريكية فجأةً ويحيق بها الدمار في كثير من الأحوال ، نظراً لما يصاحبها من رياح.

أهمية الأقمار الصناعية في الشئون الزراعية:

يمكن تلخيص أهمية الأقمار الصناعية في الشئون الزراعية فيما يلي :
1- حصر أنواع الأراضي الزراعية في العالم وخاصة في مجال الاستصلاح والاستزراع.
2- حصر أنواع المحاصيل الحقلية والبستانية المختلفة ومساحة كل منها ومعرفة كمية محاصيلها المتوقعة.
3- تحديد المساحات المعرضة للحرائق أو المهددة بالفيضانات ومواعيدها.
4- حصر الآفات الحشرية الزراعية المهاجرة كالجراد الصحراوي ودودة الجيش الأفريقية (الجدمي) وكذا الأمراض النباتية المنتشرة.
5- معرفة الظواهر الجوية الضارة وكذلك الأراضي الملحية.
6- التنبؤات الجوية المرتبطة بالزراعة.
7- إجراء حصر جيولوجي للمناطق المختلفة.
وباستخدام الأقمار الصناعية أمكن لبعض الدول أن تستفيد من الظواهر الجوية في الحروب وإسقاط الأمطار الصناعية.

استخدام الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) :

يعرف الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) بأنه العلم المختص بتجميع البيانات عن جسم ما وذلك من غير تلامس مباشر بين الجسم والأجهزة المستخدمة في عملية الاستشعار. هذا ويستخدم مصطلح " الاستشعار عن بعد " بصفة خاصة مع الطرق التي تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية (مثل الضوء والحرارة وموجات الراديو) كوسيلة لرصد أو التعرف على خصائص الأجسام . وتكون مستخرجات عمليات الاستشعار عن بعد على شكل صور هوائية أو صور الأقمار الصناعية أو صور الرادارات.
وهو يعني استخدام الطيف الكهرومغناطيسي المتعلق بالخصائص الطبيعية والبيئية ، وهذا يوضح أن الهدف الأساسي للاستشعار عن بعد ، هو استنتاج معلومات متعلقة بالبيئة ومصادر الثروة الطبيعية للأرض ، ويتم ذلك بمجموعة أجهزة تعمل على جمع معلومات عن غرض معين وما يحيط به عن بعد ودون الاقتراب من هذا الغرض ، ويتم معالجة هذه المعلومات والحصول عليها في أنماط معينة مثل (الشرائط المغناطيسية أو على هيئة صور ملونة أو غير ملونة) ، حيث من الممكن تفسير تلك الصور والاستفادة منها في مجالات بيئية عديدة مثل الأرصاد الجوية والجيولوجيا .
فعندما تسقط الأشعة الكهرومغناطيسية على الأرض ، فإن جزءً منها يمتص وجزءً آخر ينفذ

وجزءً آخر ينعكس ، والنسبة بين الموجات الممتصة والنافذة والمنعكسة تختلف باختلاف طبيعة الأرض ويعتمد الاستشعار عن بعد في هذه الحالة على النطاق الموجي الذي يكون الانعكاس فيه هو السائد ، ويشترط أن يكون الانعكاس للطاقة مصحوباً بانتشارها ، وذلك لاحتوائها على معلومات عن لون سطح العاكس .

ولقد لوحظ أن الأجسام ذات الحرارة الأعلى من الصفر المطلق (0k = -273 c) تصدر إشعاع حراري كهرومغناطيسي مستمر ، وذو مدى واسع من الأطوال الموجية ، وبصفة عامة فكلما زادت درجة الحرارة ، قل الطول الموجي ، بحيث (L = 1/t) ، إذ أن L هي الطول الموجي ، t درجة الحرارة ، فـ'ذا اعتبرنا درجة حرارة التربة والمياه والحشائش على سطح الأرض 27 درجة مئوية ، وهذا يعني أن الطيف الذي يشع من الأرض بسبب الحرارة ، يكون طوله حوالي 9-7 ميكروميتر ، ونظراً لأن الطاقة تتناسب مع درجة حرارة الأرض ، فإنها تسمى Thermal Infrared Energy وهذه الطاقة لا يمكن رؤيتها أو تصويرها ولكن بأجهزة حرارية مثل مقياس كثافة الطاقة الإشعاعية (Radio meter). (أنظر مثلاً إلى تلك التطبيقات - مراقبة الجراد الصحراوي - الفصل الثاني عشر).

إن تقنيات الاستشعار عن بعد لتحديد المعلومات عن حالة السطح تعتمد على قياس الطاقة المشعة والمنعكسة لأجزاء مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي . ويمكن ملاحظة ستة أنواع رئيسية من صور الأرض على أساس طولها الموجي :

1. المرئية (λ= 0.4 - 0.7 µm)
2. الفوتوغرافية وصور التلفزيون (λ= 0.3 -1.1 µm)
3. ذات الموجات (λ= 0.3 -15.0 µm)
4. الأشعة تحت الحمراء (λ= 0.003 -3.0 mm)
5. ذات موجات الميكرويف (λ= 0.3 -10.0 cm)
6. الرادارية (λ= 10.0 -70 cm)

فلكل ظاهرة طبيعية أو جسم له طيفه الخاص به.

وعند استخدام المنحنيات الطيفية لتعريف الظاهرة الطيفية تؤخذ بعين الاعتبار الصعوبات عند المعالجة والتحليل التي تحدث بسبب العدد الهائل من العوامل المحددة لصفات المنحنيات الطيفية للظاهرة الطبيعية.

فمثلاً خاصية الانعكاس للمحاصيل محددة بمؤشرات مختلفة توضح حالتها (حجم التغطية، الكتلة الحيوية، الكثافة الخضرية، طور النمو، اللون، البنية...الخ).

فالتقنيات لتقدير حالة النبات وإنتاجيته تعتمد على العلاقة بين الكتلة النباتية ومعامل الطيف الضوئي لهذه المحاصيل.

وتعتبر صور الأشعة تحت الحمراء البعيدة (8.0 - 14.0 µm) مناسبة لاختلاف درجة حرارة السطح المطلوب دراسته حتى في الليل.

كما يعتبر الاستشعار عن بعد مهم جداً في تجميع المعلومات الكافية عن توزع وأطوار نمو النبات.

وفي محال دراسة المياه السطحية يمكن للصور الفضائية أن تستخدم لإنجاز مجموعة من المهام منها:

- تحديد حدود الأنهار ومناطق تجمع المياه.
- إعطاء دليل للتدفق الطبيعي للأنهار.

- دراسة نشاط القنوات والفيضانات فيها.
- دراسة تغطية البحيرات وتصنيفها بالنسبة لإبعادها وأشكالها.
- دراسة نظام مياه البحيرات (المنسوب الثابت للماء، اختلاف منسوب الماء، التدفق).

كما يمكن تحديد رطوبة التربة باستخدام نظام الاستشعار عن بعد من خلال الأطوال الموجية : المرئية والحمراء والميكروايف وأشعة جاما.

وكما هو معروف بأن التبخر وتبخر النتح من أهم مكونات أنظمة الري الحديث ويحتاج كثيراً من الجهد والوقت في تجميع البيانات . إلا أنه يمكن لنظام الاستشعار عن بعد حل مثل هذه التعقيدات.

ويقوم برنامج MORECS في الأرصاد الجوية البريطانية بعملية حساب التبخر نتح كل 7 يام (الفعلي والنظري) ، والامتصاص من عمق الجذور ، وتجميع العجز في رطوبة التربة لكل الأراضي الزراعية خلال العام.

من مخرجات MORECS كمتوسطات لكل 7 أيام:

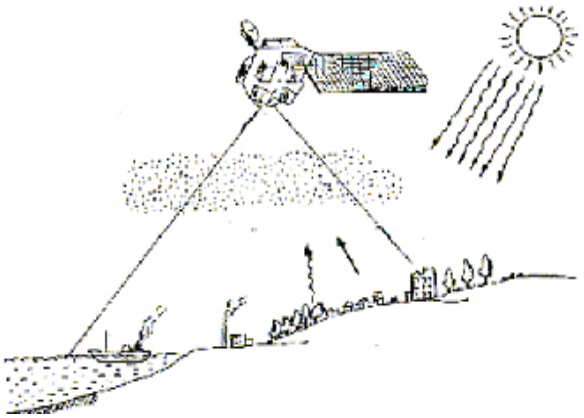
1. التبخر نتح النظري
2. التبخر نتح الفعلي
3. الأمطار الفاعلة
4. العجز في رطوبة التربة

إما من مدخلات MORECS فإنه يستخدم المعدلات اليومية لخمسة عناصر جوية لحوالي150 محطة . وهذه العناصر هي:

1- سطوع الشمس -2 الحرارة -3 الأمطار -4 الرياح -5 الرطوبة النسبية

أويمكن أيجاز أهم المميزات الأساسية للاستشعار عن بعد فيما يلي:

1. التسجيل الدائم للبيانات.
2. اتساع مدى الرؤية.
3. جمع بيانات عن أماكن غير مأهولة.
4. الحفاظ على الوقت والجدوى الاقتصادية.
5. القدرة على تمييز الأجسام.
6. المرونة في النظام والتحليل للمخرجات.



شكل (13-1) جمع البيانات بواسطة المستشعر عن بعد

ملحق (1) جدول حساب مؤشر كفاءة استهلاك المحصول للمياه

"*A Crop Perferamance Index* (I) "

	يونيو			يوليو			أغسطس			سبتمبر			أكتوبر		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Pa	46	35	115	104	100	202	218	56	149	18	87	74	34	72	
Da	3	4	6	6	5	7	9	5	7	5	7	6	3	5	
Pet	52	48	44	14	38	41	35	34	38	37	39	40	41	41	45
Ker	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	1	1	1	0.9	0.6	0.5		
WR	16	14	18	17	19	29	28	34	38	37	35	24	20		
Pa-WR	30	21	97	87	81	173	190	22	111	44	52	50	14		
RS	30	51	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
S/D	0	0	88	87	81	173	190	22	111	44	52	50	14		
I	100	100	100	100	100	97	94	94	19	91	91	91	91		

ملحق (2) معلومات الأرصاد الجوية المستخدمة في حساب المقننات المائية

جدول 1.2 الضغط الجوي (P) لمختلف الارتفاعات (z)

z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C
0	0.067	1000	0.060	2000	0.053	3000	0.047
100	0.067	1100	0.059	2100	0.052	3100	0.046
200	0.066	1200	0.058	2200	0.052	3200	0.046
300	0.065	1300	0.058	2300	0.051	3300	0.045
400	0.064	1400	0.057	2400	0.051	3400	0.045
500	0.064	1500	0.056	2500	0.050	3500	0.044
600	0.063	1600	0.056	2600	0.049	3600	0.043
700	0.062	1700	0.055	2700	0.049	3700	0.043
800	0.061	1800	0.054	2800	0.048	3800	0.042
900	0.061	1900	0.054	2900	0.047	3900	0.042
1000	0.060	2000	0.053	3000	0.047	4000	0.041

جدول 2.2 ثابت البسيكومتر (γ)لمختلف الارتفاعات (z)

T °C	e_s kPa	T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa	T °C	e_s kPa
1.0	0.657	13.0	1.498	25.0	3.168	37.0	6.275
1.5	0.681	13.5	1.547	25.5	3.263	37.5	6.448
2.0	0.706	14.0	1.599	26.0	3.361	38.0	6.625
2.5	0.731	14.5	1.651	26.5	3.462	38.5	6.806
3.0	0.758	15.0	1.705	27.0	3.565	39.0	6.991
3.5	0.785	15.5	1.761	27.5	3.671	39.5	7.181
4.0	0.813	16.0	1.818	28.0	3.780	40.0	7.376
4.5	0.842	16.5	1.877	28.5	3.891	40.5	7.574
5.0	0.872	17.0	1.938	29.0	4.006	41.0	7.778
5.5	0.903	17.5	2.000	29.5	4.123	41.5	7.986
6.0	0.935	18.0	2.064	30.0	4.243	42.0	8.199
6.5	0.968	18.5	2.130	30.5	4.366	42.5	8.417
7.0	1.002	19.0	2.197	31.0	4.493	43.0	8.640
7.5	1.037	19.5	2.267	31.5	4.622	43.5	8.867
8.0	1.073	20.0	2.338	32.0	4.755	44.0	9.101
8.5	1.110	20.5	2.412	32.5	4.891	44.5	9.339
9.0	1.148	21.0	2.487	33.0	5.030	45.0	9.582
9.5	1.187	21.5	2.564	33.5	5.173	45.5	9.832
10.0	1.228	22.0	2.644	34.0	5.319	46.0	10.086
10.5	1.270	22.5	2.726	34.5	5.469	46.5	10.347
11.0	1.313	23.0	2.809	35.0	5.623	47.0	10.613
11.5	1.357	23.5	2.896	35.5	5.780	47.5	10.885
12.0	1.403	24.0	2.984	36.0	5.941	48.0	11.163
12.5	1.449	24.5	3.075	36.5	6.106	48.5	11.447

جدول 4.2 ميلان منحنى ضغط بخار الماء (Δ) لمختلف درجات الحرارة (T)

T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C
1.0	0.047	13.0	0.098	25.0	0.189	37.0	0.342
1.5	0.049	13.5	0.101	25.5	0.194	37.5	0.350
2.0	0.050	14.0	0.104	26.0	0.199	38.0	0.358
2.5	0.052	14.5	0.107	26.5	0.204	38.5	0.367
3.0	0.054	15.0	0.110	27.0	0.209	39.0	0.375
3.5	0.055	15.5	0.113	27.5	0.215	39.5	0.384
4.0	0.057	16.0	0.116	28.0	0.220	40.0	0.393
4.5	0.059	16.5	0.119	28.5	0.226	40.5	0.402
5.0	0.061	17.0	0.123	29.0	0.231	41.0	0.412
5.5	0.063	17.5	0.126	29.5	0.237	41.5	0.421
6.0	0.065	18.0	0.130	30.0	0.243	42.0	0.431
6.5	0.067	18.5	0.133	30.5	0.249	42.5	0.441
7.0	0.069	19.0	0.137	31.0	0.256	43.0	0.451
7.5	0.071	19.5	0.141	31.5	0.262	43.5	0.461
8.0	0.073	20.0	0.145	32.0	0.269	44.0	0.471
8.5	0.075	20.5	0.149	32.5	0.275	44.5	0.482
9.0	0.078	21.0	0.153	33.0	0.282	45.0	0.493
9.5	0.080	21.5	0.157	33.5	0.289	45.5	0.504
10.0	0.082	22.0	0.161	34.0	0.296	46.0	0.515
10.5	0.085	22.5	0.165	34.5	0.303	46.5	0.526
11.0	0.087	23.0	0.170	35.0	0.311	47.0	0.538
11.5	0.090	23.5	0.174	35.5	0.318	47.5	0.550
12.0	0.092	24.0	0.179	36.0	0.326	48.0	0.562
12.5	0.095	24.5	0.184	36.5	0.334	48.5	0.574

جدول 5.2 رقم اليوم في السنة (J)

Day	Jan	Feb	Mar	Apr*	May*	Jun*	Jul*	Aug*	Sep*	Oct*	Nov*	Dec*
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177,	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	(60)	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

جدول 6.2 الإشعاع المنتشر فوق القبة السماوية(R_a) لمختلف خطوط العرض لليوم 15 من كل شهر

Day	Jan	Feb	Mar	Apr*	May*	Jun*	Jul*	Aug*	Sep*	Oct*	Nov*	Dec*
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177,	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	(60)	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

جدول 7.2 ساعات سطوع النهار (R_a) لمختلف خطوط العرض لليوم 15 من كل شهر

Northern Hemisphere												Lat.	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	deg.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	6.6	11.0	15.6	21.3	24.0	24.0	17.6	12.8	8.3	2.3	0.0	70	24.0	17.4	13.0	8.4	2.7	0.0	0.0	6.4	11.2	15.7	21.7	24.0
2.1	7.3	11.1	15.3	19.7	24.0	22.3	17.0	12.7	8.7	4.1	0.0	68	21.9	16.7	12.9	8.7	4.3	0.0	1.7	7.0	11.3	15.3	19.9	24.0
3.9	7.8	11.2	14.9	18.7	22.0	20.3	16.4	12.7	9.0	5.2	1.9	66	20.1	16.2	12.8	9.1	5.3	2.0	3.7	7.6	11.3	15.0	18.8	22.1
5.0	8.2	11.2	14.7	17.9	20.3	19.2	16.0	12.6	9.3	6.0	3.7	64	19.0	15.8	12.8	9.3	6.1	3.7	4.8	8.0	11.4	14.7	18.0	20.3
5.7	8.5	11.3	14.4	17.3	19.2	18.4	15.7	12.6	9.5	6.6	4.8	62	18.3	15.5	12.7	9.6	6.7	4.8	5.6	8.3	11.4	14.5	17.4	19.2
6.4	8.8	11.4	14.2	16.8	18.4	17.7	15.3	12.5	9.7	7.1	5.6	60	17.6	15.2	12.6	9.8	7.2	5.6	6.3	8.7	11.5	14.3	16.9	18.4
6.9	9.1	11.4	14.1	16.4	17.8	17.2	15.1	12.5	9.9	7.5	6.2	58	17.1	14.9	12.6	9.9	7.6	6.2	6.8	8.9	11.5	14.1	16.5	17.8
7.3	9.3	11.5	13.9	16.0	17.3	16.8	14.8	12.4	10.1	7.9	6.7	56	16.7	14.7	12.5	10.1	8.0	6.7	7.2	9.2	11.6	13.9	16.1	17.3
7.7	9.5	11.5	13.8	15.7	16.8	16.4	14.6	12.4	10.2	8.2	7.1	54	16.3	14.5	12.5	10.2	8.3	7.2	7.6	9.4	11.6	13.8	15.8	16.9
8.0	9.7	11.5	13.6	15.4	16.5	16.0	14.4	12.4	10.3	8.5	7.5	52	16.0	14.3	12.5	10.4	8.6	7.5	8.0	9.6	11.6	13.7	15.5	16.5
8.3	9.8	11.6	13.5	15.2	16.1	15.7	14.3	12.3	10.4	8.7	7.9	50	15.7	14.2	12.4	10.5	8.8	7.9	8.3	9.7	11.7	13.6	15.3	16.1
8.6	10.0	11.6	13.4	15.0	15.8	15.5	14.1	12.3	10.6	9.0	8.2	48	15.4	14.0	12.4	10.6	9.0	8.2	8.5	9.9	11.7	13.4	15.0	15.8
8.8	10.1	11.6	13.3	14.8	15.5	15.2	14.0	12.3	10.7	9.2	8.5	46	15.2	13.9	12.4	10.7	9.2	8.5	8.8	10.0	11.7	13.3	14.8	15.5
9.1	10.3	11.6	13.2	14.6	15.3	15.0	13.8	12.3	10.7	9.4	8.7	44	14.9	13.7	12.4	10.8	9.4	8.7	9.0	10.2	11.7	13.3	14.6	15.3
9.3	10.4	11.7	13.2	14.4	15.0	14.8	13.7	12.3	10.8	9.6	9.0	42	14.7	13.6	12.3	10.8	9.6	9.0	9.2	10.3	11.7	13.2	14.4	15.0
9.5	10.5	11.7	13.1	14.2	14.8	14.6	13.6	12.2	10.9	9.7	9.2	40	14.5	13.5	12.3	10.9	9.8	9.2	9.4	10.4	11.8	13.1	14.3	14.8
9.6	10.6	11.7	13.0	14.1	14.6	14.4	13.5	12.2	11.0	9.9	9.4	38	14.4	13.4	12.3	11.0	9.9	9.4	9.6	10.5	11.8	13.0	14.1	14.6
9.8	10.7	11.7	12.9	13.9	14.4	14.2	13.4	12.2	11.1	10.1	9.6	36	14.2	13.3	12.3	11.1	10.1	9.6	9.8	10.6	11.8	12.9	13.9	14.4
10.0	10.8	11.8	12.9	13.8	14.3	14.1	13.3	12.2	11.1	10.2	9.7	34	14.0	13.2	12.2	11.1	10.2	9.7	9.9	10.7	11.8	12.9	13.8	14.3
10.1	10.9	11.8	12.8	13.6	14.1	13.9	13.2	12.2	11.2	10.3	9.9	32	13.9	13.1	12.2	11.2	10.4	9.9	10.1	10.8	11.8	12.8	13.7	14.1
10.3	11.0	11.8	12.7	13.5	13.9	13.8	13.1	12.2	11.3	10.5	10.1	30	13.7	13.0	12.2	11.3	10.5	10.1	10.2	10.9	11.8	12.7	13.5	13.9
10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	28	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8
10.5	11.1	11.8	12.6	13.3	13.6	13.5	12.9	12.1	11.4	10.7	10.4	26	13.5	12.9	12.2	11.4	10.7	10.4	10.5	11.1	11.9	12.6	13.3	13.6
10.7	11.2	11.8	12.6	13.2	13.5	13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	24	13.3	12.8	12.2	11.4	10.8	10.5	10.7	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.2	12.8	12.1	11.5	10.9	10.7	22	13.2	12.7	12.1	11.5	10.9	10.7	10.8	11.2	11.9	12.5	13.1	13.3
10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11.0	10.8	20	13.1	12.7	12.1	11.5	11.1	10.8	10.9	11.3	11.9	12.5	13.0	13.2
11.0	11.4	11.9	12.4	12.8	13.1	13.0	12.6	12.1	11.6	11.1	10.9	18	13.0	12.6	12.1	11.6	11.2	10.9	11.0	11.4	11.9	12.4	12.9	13.1
11.1	11.5	11.9	12.4	12.7	12.9	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	11.1	16	12.9	12.5	12.1	11.6	11.3	11.1	11.1	11.5	11.9	12.4	12.8	12.9
11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2	14	12.7	12.4	12.1	11.7	11.4	11.2	11.2	11.5	11.9	12.3	12.7	12.8
11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	12	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7
11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	10	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6
11.6	11.7	11.9	12.2	12.4	12.5	12.4	12.3	12.0	11.8	11.6	11.5	8	12.4	12.3	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.7	12.0	12.2	12.4	12.5
11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	6	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3
11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	4	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2
11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1
12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

T (C°)	(MJ m-2 d-1) T	T (C°)	(MJ m-2 d-1) T	T (C°)	(MJ m-2 d-1) T
1.0	27.70	17.0	34.75	33.0	43.08
1.5	27.90	17.5	34.99	33.5	43.36
2.0	28.11	18.0	35.24	34.0	43.64
2.5	28.31	18.5	35.48	34.5	43.93
3.0	28.52	19.0	35.72	35.0	44.21
3.5	28.72	19.5	35.97	35.5	44.50
4.0	28.93	20.0	36.21	36.0	44.79
4.5	29.14	20.5	36.46	36.5	45.08
5.0	29.35	21.0	36.71	37.0	45.37
5.5	29.56	21.5	36.96	37.5	45.67
6.0	29.78	22.0	37.21	38.0	45.96
6.5	29.99	22.5	37.47	38.5	46.26
7.0	30.21	23.0	37.72	39.0	46.56
7.5	30.42	23.5	37.98	39.5	46.85
8.0	30.64	24.0	38.23	40.0	47.15
8.5	30.86	24.5	38.49	40.5	47.46
9.0	31.08	25.0	38.75	41.0	47.76
9.5	31.30	25.5	39.01	41.5	48.06
10.0	31.52	26.0	39.27	42.0	48.37
10.5	31.74	26.5	39.53	42.5	48.68
11.0	31.97	27.0	39.80	43.0	48.99
11.5	32.19	27.5	40.06	43.5	49.30
12.0	32.42	28.0	40.33	44.0	49.61
12.5	32.65	28.5	40.60	44.5	49.92
13.0	32.88	29.0	40.87	45.0	50.24
13.5	33.11	29.5	41.14	45.5	50.56
14.0	33.34	30.0	41.41	46.0	50.87
14.5	33.57	30.5	41.69	46.5	51.19
15.0	33.81	31.0	41.96	47.0	51.51
15.5	34.04	31.5	42.24	47.5	51.84
16.0		**32.0**	**42.52**	**48.0**	**52.16**
16.5	**34,52**	**32.5**	**42.80**	**48.5**	**52.49**

جدول 9.2 معامل تحويل سرعة الرياح لمختلف الارتفاعات لمستوى 2 متر فوق سطح الأرض

z height (m)	con-ver-sion factor	z height (m)	con-ver-sion factor	z height (m)	con-ver-sion factor	z height (m)	con-ver-sion factor
-	-	2.2	0.980	4.2	0.865	6.0	0.812
-	-	2.4	0.963	4.4	0.857	6.5	0.802
-	-	2.6	0.947	4.6	0.851	7.0	0.792
-	-	2.8	0.933	4.8	0.844	7.5	0.783
1.0	1.178	3.0	0.921	5.0	0.838	8.0	0.775
1.2	1.125	3.2	0.910	5.2	0.833	8.5	0.767
1.4	1.084	3.4	0.899	5.4	0.827	9.0	0.760
1.6	1.051	3.6	0.889	5.6	0.822	9.5	0.754
1.8	1.023	3.8	0.881	5.8	0.817	10.0	0.748
2.0	1.000	4.0	0.872	6.0	0.812	10.5	0.742

المصطلحات العلمية

Absorption	امتصاص
Absolute humidity	الرطوبة المطلقة
Absolute maximum	المطلقة العظمى
Absolute maximum temperature	الحرارة العظمى المطلقة
Absolute miniumum temperature	الحرارة الصغرى المطلقة
Absorption coefficient	معامل الامتصاص
Absorption power	قدرة الامتصاص
Absorption spectrum	طيف الامتصاص
Absorptiviy	امتصاصية
Accumulated rain	المطر المتجمع
Accumulation	تجمع ، تراكم
Accuracy	دقة
Actinometer	مقياس الإشعاع الشمسي
Actual evapotranspiration	التبخر والنتح الحقيقي
Adapation	تكيف
Adiabatic	ذاتي (مكظوم حرارياً)
Advection	الحمل
Aemograph	مسجل الرياح السطحية
Aerodinamic	الديناميكية الهوائية -التحريك الهوائي-
Aerogram	مخطط (لحساب عناصر الطقس
Aerological Diagram	رسم بياني لطبقات الجو العليا
Aerology	علم طبقات الجو
aerometer	مقياس سرعة الرياح
Agriculture	الزراعة
Agroclimatology	علم المناخ الزراعي
Agrometeorology	علم الأرصاد الجوية الزراعية
Air mass	كتلة هواء
Airflow patterns	أنماط جريان الهواء
Albedo	البيدو "العاكسية"
Altigraph	مسجل الارتفاع
Altimeter	مقياس الارتفاع
Altiutude	الارتفاع عن سطح البحر
Alto	متوسط الارتفاع
Alto strattus	طبقي متوسط
Alto strattus opacus	طبقي متوسط كثيف
Alto strattus translucidus	طبقي متوسط رقيق
Altocumulus	الركامي المتوسط
Altocumulus cumuloganituse	ركام متوسط ناشئ من تفلطح الركام

Altocumulus castellatus	ركام متوسط قلعي ، برجي
Altocumulus duplicatuse	ركام متوسط ذو طبقتين
Altocumulus flocus	ركام متوسط على شكل نتف ركامية
Altocumulus opacus	ركام متوسط كثيف
Altocumulus translucidus	ركام متوسط رقيق
Amplitude	التباين
Anabatic wind	ريح سفحية صاعدة
Analogue	مشابه ، متماثل
Anemogram	مخط تسجيل الرياح السطحية
Anemometer	مقياس الرياح السطحية
Annual range	المدى السنوي
Anticyclone	مرتفع جوي
Anticyclone anvil	سندان (غيم)
Anual average	المعدل السنوي
Arctic air	هواء قطبي
Area forecast	تنبؤ جوي لمنطقة
Arid	قاحل
Aridity	قحولة
Artificial nucleation	الزرع الاصطناعي للنويات
Artificial rain	أمطار اصطناعية
Ascendance	صاعد
Ascendant current	تيار صاعد
Atmosphere	الجو
Atmospheric dangers	مخاطر الظواهر الجوية
Atmospheric disturbance	الأضطراب الجوي المنظم
Atmospheric modification	تعديل الجو
Atmospheric pressure	الضغط الجوي
Atmospheric radiation	الإشعاع الجوي
Atmospheric turbulence	الأضطراب الجوي
Autumn frost	الصقيع الخريفي
Bande	منطقة - نطاق
Bare	البار (وحدة قياس الضغط)
Barograph	مسجل الضغط
Barometer	مقياس الضغط
Barothermograph	مسجل الضغط والحرارة
Bioclimatology	علم المناخ الحياتي (الحيوي)
Biology	حياه
Biometerology	الأرصاد الجوية الحيوية
Black frost	الصقيع الأسود
Blue sky	سماء زرقاء
Calender	تقويم
Calibration	تعيير

Calm	ساكن
Calm air	هواء هادئ وساكن
Calory	حريرة ، سعر حراري
Catchment area	منطقة الرفد
Centers of actions	مراكز نشؤ الحركة
Chart	مخطط ، خارطة
Chilly	بارد
Circulation	الدورانية
Cirriforme	شكل السمحاق
Cirro cumulus	سمحاقي ركامي
Cirro stratus	سمحاقي طبقي
Cirrus	سمحاقي
Cirrus densis	سمحاقي كثيف
Cirrus nothus	سمحاق سنداني
Clear ice	جليد شفاف
Clear sky	سماء صافية
Clearance	صحو
Climate	المناخ
Climate classification	تصنيف مناخي
Climatic accident	عوارض مناخية
Climatic change	التغير المناخي
Climatic station	محطة مناخية
Climatology	علم المناخ
Cloud dispereal	انقشاع السحب
Cloud formation	تكون السحب
Cloudinees	تغيم ،تغييم
Clouding frequency	تكرار التغطية
Clouding sysytem	مخطط نماذج الغيوم
Cluody	غائم
Cluody sky	سماء ملبدة بالغيوم
Coagulation	تجمع
Coalescence process	عملية نمو المطر بالألتصاق
Coalesconce	التحام (اندماج)
Code	شفرة ، رمز
Coefficient	معامل
Cold front	جبهة باردة
Cold move	موجة باردة
Cold sector	القطاع البارد
Collision	اصطدام
Combination	مركب
Condensation	مستوى التكثف
Condensation	تكاثف

Condensation nuclie	نويات التكاثف
Condensation process	عملية التكثف
Condensation trail	مسار التكثف
Conduction	توصيل
Continentality	قارية
Continuous	مستمر
Convection	حمل
Convection rain	أمطار الحمل
convergence	تلاقي ، تقابل
Convergent current	تيار التلاقي
Coriolis force	قوة كوريولس
Correction	تصحيح
Cosmic rays	الأشعة الكونية
Cumiliforme	شكل الركام
Cumulo calvus	ركامي مزني ذو قمم ثلجية
Cumulo capillatus	ركامي مزني ذو قمم شعرية
Cumulonimbus	ركامي مزني
Cumulus	ركامي
Cumulus congestus	ركامي كثيف (محتقن)
Cumulus humilus	ركامي بسيط
Current	تيار
Cyclone	إعصار
Cyclonic development	تطور إعصاري
Cyclonic rain	أمطار إعصارية
Daily average	المعدل اليومي
Daily Range	المدى اليومي
Decade	عقد
Declination	زاوية الميل
Decomposition	تفكك ، تحلل
Denaturation	إبطال المفعول الطبيعي
Deperdition	نقص القيمة ، فقد
Descendant current	تيار هابط
Destruction	تخريب ، تدمير
Devastation	إتلاف
Deviation	انحراف
Dew point	نقطة الندى
Diffuse radiation	الإشعاع التناثري (الإنتشاري)
Diffusion	إنتشار
Directed radiation	الإشعاع المباشر
Diurnal	يومي
Doldrum	منطقة الركود الاستوائي
Dousf	غبار

Doust storm	زوبعة ترابية
Down draught	التيار الهابط
Down wind	مؤخرة الريح
Drift	إنجراف ، ينجرف
Drizzile	رذاذ
Drought	فترة جفاف
Dry ice	جليد جاف
Dry weather	طقس جاف
Dryness	جفاف
Duration	فترة ، وقت
Dynamic	علم الحركة
Earth radiation	الإشعاع الأرضي
Effective radiation	الإشعاع الفعال
Electrometeors	الظواهر الجوية المائية
Emperical	تجريبي
Energy	طاقة
Equator	خط الاستواء
Equatorial air	هواء استوائي
Equinoxe	الاعتدال الفصلي
Equivalent	معادل ، مكافئ
Error	خطأ
Evaporation	تبخر
Evaporimeter	مقياس التبخر
Evaporograph	مسجل التبخر
Evapotranspiration	التبخر النتح
Expansion	أمتداد ، أنتشار
Exposition	تعرض
Extrapolation	استكمال
Extremes	النهايات
Flocons	ندف ثلجية
Flux	تدفق
Foehn	رياح الفوهن
Fog	الضباب
Forecast	تنبؤات جوية
Formation	تشكل
Fracto cumulus	ركام متقطع
Fracto stratus	طبقي متقطع
Freezing point	نقطة تجمد
Fresh breeze	نسيم منعش
Friction force	قوة الاحتكاك
Front	جبهة
Frontalogic chart	خارطة الجبهات

Frost	الصقيع
General breese	نسيم رقيق
General circulation	الدورة الهوائية العامة
Gentle breeze	نسيم لطيف
Geostrophic wind	رياح الجيوستروفيك (النفاثة)
Good breeze	نسيم جيد
Gradient force	قوة أنحراف الضغط
Graduated cylinder	أنبوبة مدرجة
Gravity	الجاذبية الأرضية
Green house	دفيئة (بيت زجاج)
Green house effect	مفعول الدفيئات
Hail	برد
Hail stone	حبات برد
Heat sector	القطاع الحار
Heavy fog	ضباب كثيف
Heterosphere	الجو غير المتجانس
Histogram	مضلع تكراري
Homosphere	الجو المتجانس
Hot front	جبهة حارة
Humidity	الرطوبة
Hurrricane	الهاريكين ، إعصار
Hydric balance	التوازن المائي
Hydrogen	هيدروجين
Hydrology	علم المياه
Hydrometer	مقياس كثافة السوائل
Hyetograph	مسجل مطري
Hygrograph	مسجل الرطوبة
Ice clouds	غيوم ثلجية
Ice cristals	بلورات ثلجية
Immobile	غير متحرك
Index	دليل
Infra red	تحت الحمراء
Insolation	سطوع شمسي
Instable	غير مستقر
Instruments	آلات ، أجهزة
Intermitted	معترض ، يقطع
Inversion	أنقلاب
Ionisation	التابين
Irruption	انقطاع ، اختلال
Isobar	خط تساوي الضغط
Isobar chart	خطوط الضغط الجوي المتساوية
Isohyts	خطوط تساوي الرطوبة

Isopleth	خطوط تساوي الأمطار
Isosphere	طبقة التأين
Isotachs	خط تساوي الريح
Isotherm	خطوط تساوي الحرارة
Jet stream current	التيار النفاث
Khamsine	رياح الخماسين
Knot	عقده
Land breeze	نسيم البر
Latitude	خط العرض
Lenticular	غيوم عدسية
Light	ضوء
Light air	هواء خفيف
Lightning	برق
Local circulation	الدورة الهوائية المحلية
Local weather forecast	التنبؤ بالطقس المحلي
Longitude	خط الطول
Loss	خسارة ، فقد
Lysmeter	مقياس التبخر والنتح
Macroclimat	المناخ الأجمالي
Macroclimatology	علم المناخ العام
Magnetosphere	الغلاف المغناطيسي
Manometer	مقياس ضغط
Marine	بحري
Maximum	أعظمي
Maximum temperature	درجة الحرارة العظمى
Mean temperature	الحرارة المتوسطة
Median	الوسيط
Mercury	زئبق
Mesclimat	الموضعي ، المناخ المكاني
Meteograph	مسجل العناصر الجوية
Meteorological element	عنصر جوي
Meteorological observation	رصدة جوية
Meteorological station	محطة أرصاد جوية
Meteorology	علم الأرصاد الجوية
Microclimat	المناخ التفصيلي
Microclimatology	علم المناخ التفصيلي
Micrometeorology	علم الأرصاد التفصيلي
Microminiaturisation	الأرصاد الدقيقة التفصيلية
Mile	الميل
Millibar	مليبار
Minimum temperature	درجة الحرارة الصغرى
Mirage	السراب

Mist	الطل
Moderate	معتدل
Moderate breeze	نسيم معتدل
Moderate storm	عاصفة معتدلة
Moderate wind	رياح معتدلة
Moist	رطب
Moisture	رطوبة
Molecules	ذرات
Monthly average	المعدل الشهري
Mountain breeze	نسيم الجبل
Mousson	رياح موسمية
Nephoscope	مقياس إتجاه الغيوم
Net radiation	الإشعاع الصافي
Nimbostratus	الطبقي المزني
Nocturnal	ليلي
North	شمال
North hemisphere	نصف الكرة الشمالي
Observed effect	الفعل الملاحظ ، المرصود
Occlusion front	جبهة مشتركة
Oceanography	علم المحيطات
Oriental face	الواجهة الشرقية
Orographic clouds	سحب تضاريسية
Orographic rain	أمطار جبهية
Overcast	ملبد بالغيوم
Particuls	جزيئات
Pause	توقف
Penomenum	ظاهرة
Periodocity	تغير دوري
Permanent	دائم
Persistence	استمرار
Phenology	علم الأطوار الحياتية
Photoperiodisme	الفترة الضوئية
Pilot ballon	منطاد الرصد الجوي
Planet circulation	دورة الكواكب
Planete	كوكب
Pluviograph	مسجل المطر
Pluviometer	مقياس المطر
Polar	قطبي
Polar air	هواء قطبي
Pole	قطب
Pollution	تلوث
Potential	جهد

Potential ETP	التبخر والنتح الأعظمي (الكامن)
Precipitation	هطول
Predominent	سائد
Pressure chart	مخطط خطوط الضغط الجوي
Prevailing wind	ريح سائدة
Probability	احتمال
Psychrometer	مقياس الرطوبة
Pyranographe	مسجل الأشعاع
Pyronometer	مقياس الأشعاع
Radiatif budget	الموازنة الأشعاعية
Radiation	الإشعاع
Radiation balance	التوازن الأشعاعي
Radio sonde	البالون الكشاف
Radioactivity	النشاط الإشعاعي
Radiosonde	البالون الكشاف
Rain	مطر
Rain factor	المعامل المطري
Rain mecanism	آلية الهطول المطري
Raindrop	قطرة المطر
Rainfall	كمية مطر
Raingauge	مقياس المطر
Rainy period	الفترة الممطرة
Ray	أشعة
Reduction	تخفيض ، انقاص
Reflection	إنعكاس
Refraction	إنكسار
Reheating	إعادة التسخين
Resistance stage	عتبة المقاومة
Results	محصلة
Salinity	ملوحة
Sand storm	عاصفة رملية
Satellite	قمر اصطناعي
Saturated vapor	بخار الماء المشبع
Saturration	إشباع
Sea breeze	نسيم البحر
Secondary circulation	الدورة الثانوية
Seeding	بذر
Sensor	مجس
Silver iodid	اليود الفضي
Site	جهة
Snow	ثلج
Soil	تربة

Soil chart	مخطط التربة
Solar atmospher	جو الشمس
Solar constant	الثابت الشمسي
Solar energy	الطاقة الشمسية
Solar radiation	الإشعاع الشمسي
Solar spots	البقع الشمسية
Solidification	تصلب ، تجمد
South hemisphere	نصف الكرة الجنوبي
Spring frost	الصقيع الربيعي
Stability	استقرار
Standard	قياسي
Standard station	محطة قياسية
Storm	عاصفة
Stratopause	سقف الطبقة الجوية الثانية
Stratosphere	الطبقة الجوية الثانية
Stratucumulus	طبقي ركامي
Stratucumulus cumulogenitus	طبقي ناتج من تفلطح ركام
Stratus	طبقي
Stream line	خط الانسياب
Strong breeze	نسيم قوي
Strong storm	عاصفة قوية
Strong wind	رياح قوية
Sunshine record	مسجل سطوع الشمس
Super satrisation	فوق التشبع
Synoptic station	محطة أرصاد عامة
Temperate	معتدل
Temperature	درجة الحرارة
Temporary	وقتي
Tendency	المنحنى
Tension	توتر
Tephigram	المنحنى الحراري
Thermodynamic	علم التحولات الحرارية
Thermograph	مسجل الحرارة
Thermohygrograph	مسجل الحرارة والرطوبة
Thermosphere	الطبقة الجوية الحرارية
Thunder	رعد
Thunderstorm	زوبعة رعدية
Tornado	اعصار اليابسة (في أمريكا)
Total radiation	الإشعاع الأجمالي
Trace of clouds	آثار من الغيوم
Trace of rain	آثار من الأمطار
Trade wind	الرياح التجارية

Tropical air	هواء مداري
Troposphere	الطبقة الجوية الأولى
Turbulence	الحركة الأضطرابية
Typhoon	اعصار استواي آسيوي(تايفون)
Unity	وحدة
Unstable	قلق ، غير مستقر
Up draught	التيار الهوائي الصاعد
Up welling	التصعيد(صعود ماء البحر إلى السطح)
Up wind	واجهة الريح
Valley breeze	نسيم الوادي
Value	قيمة
Variable wind	الريح المتغيرة (المتناحة)
Variance	التباين
Visibility	وضوح الرؤية
Water balance	الميزان المائي
Water vapor	بخار الماء
Weather	الطقس
Weather forecast	التنبؤ بالطقس
Weather modification	تعديل الطقس
White frost	الصقيع الأبيض
Wilting point	نقطة الذبول
Wind	رياح
Wind break	مصدات الرياح
Wind speed	سرعة الرياح
Winter frost	الصقيع الشتوي

المراجع :

1- أحمد عبداللاه ،1997، النظم الآلية للرصد الجوي واقع صمم ليبقى ، الأرصاد الجوية -العدد الثامن- أكتوبر1997،القاهرة ،صـ32-31.
2- أحمد عبده حامد،2001، " التنبؤات بالأصابة الحشرية قبل وقوعها باستخدام بيانات الأرصاد الجوية " ، مجلة الأرصاد الجوية-السنة السادسة-العدد الواحد والعشرون ، أكتوبر 2001 الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، جمهورية مصر العربية، القاهرة- صـ 43.
3- أسعد الكنج ، 2000، أسس ومواصفات تصميم شبكات الرصد الجوي الزراعي ، الدورة التدريبية القومية حول تعزيز إستخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة المياه ، الجمهورية العربية السورية –دمشق- (صـ3-1)
4- الرصد الدائم للجفاف والتصحر وتقيمهما وتدابير مكافحتهما،1998،- الوثيقة الفنية رقم 505 للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية -جنيف-. صـ 17
5- المنظمة العربية للتنمية الزراعية ،1997، "مشروع تعزيز إستخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة المياه" الخرطوم،صـ72.
6- المنظمة العربية للتنمية الزراعية , 2000، أهمية دقة المعلومات التي ترصد وطرق متابعة الرصد ، الدورة التدريبية القومية حول "تعزيز إستخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة مياه الري"- الجمهورية العربية السورية -دمشق-(صـ55)
7- المنظمة العالمية للأرصاد الجوية ،1998، الرصد الدائم للجفاف والتصحر وتقيمهما وتدابير مكافحتهما -الوثيقة الفنية رقم 505 للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية-جنيف- (صـ 17)
8- النقيب، عبدالقادر علي وعبدالفتاح ، محمد فائد، 1989، محاضرات في مبادئ الطبيعة، جامعة الأزهر –كلية الزراعة- القاهرة- صـ126-125.
9- أيمن فريد أبوحديد،2000، "الدورة التدريبية القومية حول تعزيز إستخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة المياه"، الجمهورية العربية السورية –دمشق- 19-24/2/2000 ، الخرطوم صـ80 87-.
10- أيمن فريد أبو حديد،2000،"أستخدام نظم المعلومات الجغرافيا وأساليب الاستشعار عن بعد في رصد ومعالجة بيانات الأرصاد الجوية الزراعية" الدورة التدريبية القومية حول "تعزيز إستخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة مياه الري"- الجمهورية العربية السورية -دمشق- 19-24/2/2000 (صـ34)
11- بوش،1988م، "أساسيات الفيزياء"- الدار الدولية للنشروالتوزيع،(صـ ،316، 151،317).
12- حازم توفيق الغاني ، ماجد السيد ولي محمد ، 1984م " خرائط الطقس والتنبؤ الجوي " ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي –جامعة البصرة – (صـ11)
13- ريتاللاك ب.ج. "موجز محاضرات لتدريب العاملين في الأرصاد الجوية – من الفئة الرابعة-المجلد الأول-علم الأرض-" صـ188-187 ،193 ،197، 198 ،201 ،203
14- حسن عبدالتواب ابوطالب ، 1997، "الاستشعار عن بعد"، مجلة الأرصاد الجوية -العدد الثامن-أكتوبر 1997،القاهرة ،صـ38-37.
15- سعد شعبان ، 1977،حتى تعود الثقة إلى النشرة الجوية الأقمار الصناعية تحل مشكلة التنبؤ بالطقس، مجلة العربي –العدد 227 أكتوبر 1977، الكويت
16- عبدالكريم الملوحي ،1980م " مبادئ الأرصاد الجوية الزراعية" جمع وأعداد- الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد- صنعاء" (صـ3 ، 20،14 ،26، 53،52،51،34 ،60 ،69)
17- عبدالرحيم لولو،1995،" الاستفادة من المعطيات الفضائية قي مراقبة الجراد الصحراوي والتنبؤ بنشاطه " -مجلة الزراعة والتنمية في الوطن العربي-العدد الأول السنة ، الرابعة عشر (يناير-فبراير-مارس 1995م). صـ32
18- عبداللطيف مهنا ،2000، دور الأرصاد الجوية في مكافحة الحشرات وأمراض النبات، مجلة الأرصاد الجوية- السنة الخامسة-العدد الرابع عشر، الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، جمهورية مصر العربية، القاهرة- صـ 36-32.
19- عبدالقادر عساج،2000 " المناخ المحلي لمدينة صنعاء دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي " ،أطروحة دكتوراه –كلية أبن رشد- بغداد (صـ 74)

20- عصام خضيرة حمزة الحديثي ، موسى فتيخان ياسين،2001، "الأساليب العلمية في معالجة العجز في الأستهلاك المائي للأغراض الزراعية في الظروف الصحراوية –الصحراء الغربية العراقية:أنموذج للدراسة- "،الزراعة والمياه بالمناطق الجافة في الوطن العربي –مجلة دورية تصدر عن المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة العدد 21 يونيو-2001دمشق- (صـ 100).
21- علي موسى ، 1986م "المعجم الجغرافي المناخي" دار الفكر(صـ 13،106،65،66،93،39،34،16 7،146،229)-دمشق.
22- علي موسى1982- "الوجيز في المناخ التطبيقي" دار الفكر(صـ82،39،38،37،35،27،20،12،15 138،141،142،149،151)-دمشق.
23- لؤي أهدلي،1974م"علم المناخ والأرصاد الجوية"المطبعة الجديدة –دمشق1974-م(صـ9،96،92،89 7،99،100،198،203،205، 303،301،235، 468، 492 ،519 ،477 - 571،528)
24- متيادي بوراس،1995،" الطرق الحديثة في حماية المزروعات من الظروف الجوية غير المناسبة " -مجلة الزراعة والتنمية في الوطن العربي-العدد الأول السنة الرابعة عشر (يناير -فبراير-مارس 1995م) صـ37
25- محمد آدم عبدالعزيز ،1999، " تقدير كفاءة تحسين إنتاج الماشية تحت ظروف المناطق الحارة في اليمن " –المجلة اليمنية للبحوث الزراعية- ، -12 يونيو1999م،دار جامعة عدن للطباعة والنشر، صـ121،119،117.
26- محمد جمال الدين حسونه ، 1979،أمراض النبات البيئية غير الطفيلية (الجو- التلوث – نقص التغذية) ، زغلول حماده خلفاء- دار المطبوعات ، صـ -4 9.
27- محمد جمال الدين الفندي –1975م- "الأرصاد الجوية" صـ( ) مطبعة جامعة القاهرة.
28- محمد سعيد حميد ،1995، أهمية معلومات الأرصاد الجوية في دورة حياة الحشرات المهاجرة والتنبؤ بها والتحذير من أضرارها ، الدورة التدريبية لمراقبة ومكافحة الجدمي ، الجمهورية اليمنية –وزارة الزراعة والموارد المائية ،الأدارة العامة لوقاية النباتات "إدارة الحملات الوطنية"- ، منظمة الأغذية والزراعة (FAO).
29- محمد سعيد حميد،2000 "دراسة مناخية/زراعية لمنطقة معبر م/ذمار" مايو 2000م
30- محمد سعيد حميد،1998 "دراسة مناخية/زراعية لمنطقة إب"
31- يسرى الجوهري، 1987، الجغرافية المناخية ، مؤسسة شباب الجامعة – اسكندريه- صـ109 – 111، 122،273.
32- يحيى يحيى العنسي ،1998، المعالم الزراعية في اليمن ، المركز الفرنسي للدراسات اليمنية ، المعهد الأمريكي للدراسات اليمنية ، بيسان للنشر والتوزيع والأعلام صـ -203 204 ، -550 بيروت – لبنان

المراجع الأجنبية :

1. Bisawas B.C. "Characteristics of climate : Macro-climate , Meso-climate and Micro-climate" - Geneva 1989 (p.29)

2. BokolovM.P., Samoilova,1987,"Forecasting Methods For Flowring Apple and Apricot IN South Okrania","Forecasting and Crops", Works edition 223,Gidrometeoizdat,Moscow,(Russian Language); (p.52)

3. Budyko M.I., 1980, Global ecology, Progroess Publishers,Moscow, (P.19.114-115)

4. Callander B.A., 1990, MORECS: An example of operational agrometeorological monitoring on a national scale, conference on The application of remote sensing to agricultural statistics, Villa Andrea Ponti, Varese Italy.(p.243-244)

5. CherkovY.I.1986,"Agrometeorology" Gidrometeoizdat,Leningrad (Russian Languge);(p.16, 21,30,34,44, 75, 76, 107,126, 133, 136, 150, 153.177,211, 235, 261, 265, 273)

6. Edwar linacre,1992 " Climate data and resources " -A reference and guide-London and New York. (p.73)

8. FAO, 1984, Crop Water Requirements . Irrigation and Draingage Paper 24. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, (p.3,12-15,21,23-28).

9. Harian,J.C.1983,Part II "Remote Sensing and Agricultural Meteorology : An annotated bibliography" CAGM report No.12 Geneva ,Suitzerland (p.17)

10. Iowa State University,1999,Master of Science in Agronomy,Distance Education Program,

11. Kelchevskaya L.C. 1971, Examination equivalent agroclimate index for estimation wetness for products period , Experimental Meteorological Institute, Works edition 22, "Methods Agrometeorological And Agroclimatological Regionally", Gidromet Publishers Moscow, (Russian Languge), (P. 33,34).

12. Kieschenko,A.D.1983,Part I "Use of Remote Sensing for obtaining agrometeorological information" CAGM report No.12 Geneva ,Suitzerland (p.2,4)

13. Maslovskaya A.D. 1984,Global methods calculate harvest product in Kazahestan region, works Kazahestan Regional Institute,Edition 84, Agroclimatological calculation and prediction , Moscow Gidrometeoizdat , Leningrad , (Russian Language); (p.5, 9).

14. Mohammed Saeed Hamid, 2000,"Rainfall Patterns and Probabilities in Taiz "2000

15. Rebertson G.W.,1980, The role of agrometeorology in investment pojects,WMO-No.536, technical note no.168, Geneva, (p. 50)

16. Rhebergen G.J.,1989 " Crop requirements in the Yemen Arab repbublic " Part 2:Patato - Soil Survey and land classification Project Yemen 187/002 Dhmara, November -.(P.3)

17. Roger Stern, Joan Knock, Hugh Hack, 1995, Climate Guide, Statistical Services Centre , University of Reading , UK , (p.c-9-2)

18. Seriakova L.P. 1971,Meteorological elements and Plant, Lenengrad Gidrometeorological Institute, Lenengrad, (PP. 18,19)

19. Soil Survey and land classification Project Yemen 87/002, Agrometeorological climate characterization of the western part of the Yemen Arab repbublic " Part 2:Patato - Dhmara, November -.(P.10)

20. WMO, 1967, Agrometeorology survey of a semiarid area in Africa South of the Sahara,Technical Note No.86, WMO-No.210,TP.110,Geneva(P.42).

21. WMO, 2000, Report of RA VI Working group on Agricultural Meteorology, WMO/TD No., Geneva

,Suitzerland 1022 (P. 242,243,245)

22. WMO, Validation of Information Requirements on Irrigated soils and Crops, WMO/TD No.997, Suitzerland, Geneva(P.2-3).

23. WMO,"Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection"; WMO-No.487; -No.487; Technical note No.157; Geneva ,Suitzerland (p. 17, 18, 20, 94, 107, 110)

24. WMO;2001,"lecture notes for training Agricultural meteorological personel, Geneva, Switzerland. WMO-No.551 (p.7,8,11)

25. WMO,1997, Extrem Agrometeorological Events, Geneva ,Suitzerland,WMO/TD-N836 (p.)

26. WMO,1996,Agrometeorolgical Data Magement, Geneva ,Suitzerland,WMO/TD-N748 (p.59)

27. WMO,1994 "Agrometeorology of the coffe crop"; WMO/TD No. 615Geneva ,Suitzerland- (p.17)

28. WMO,1994,"Practical use of Agrometeorological data and information for planning and operational activities in agriculture", Geneva ,Suitzerland,WMO/TD-N629 (p. 6,10, 12, 16, 19, 28 , 50,51, 73)

29. WMO,1992,Operational Remote Sensing Systems in Agriculture, WMO/TD-No.508, Geneva ,Suitzerland (p.8,11)

30. WMO,1990, Glossary of terms used in Agrometeorolgy, WMO/TD-No. 391, Geneva,(P.157)

31. WMO,1981, Agicultural Meorological Practices, WMO-No.134,Switzerland- Geneva (p.2.5,2.6)

32. WMO,1970,Techniques for surveying surface-water resources, technical note No.26,WMO-No.82. Tp32, Geneva, Suitzerland,(p.3)

الأرصاد الجوية الزراعية

الإصدار الأول

ديسمبر 2002