بخار الماء في الغلاف الجوي

اعداد : حنان محمد
مدير ادارة الامتحانات والتقييم
الادارة العامة للبرامج والتقييم

يلعب بخار الماء فى الجو دورا كبيرا إذ أنه يتسبب فى تكوين معظم الظواهر الجوية مثل الندى و الصقيع والضباب والسحب والهطول والعواصف الرعدية كما أن لبخار الماء دورا رئيسيا فى حفظ حرارة الكرة الأرضية وغلافها الجوى.

ويوجد الماء فى الجو على إحدى حالاته الثلاث:

١- الصلبة على شكل بللورات جليد أو ثلج.

٢- السائلة على شكل قطرات من الماء تختلف حجومها باختلاف الأحوال التى تعيش فيها.

٣- الغازية على شكل بخار غير منظور يسمى بخار الماء.

ويمر بخار الماء بدورة ذات ثلاثة أطوار هى البخر والتكثف والهطول. شكل (١)

٣- يحصل الهواء على بخار الماء عن طريق عمليتي التبخر(التحول من ماء إلى بخار) والتسامي (التحول من جليد إلى بخار). ويفقد الهواء بخار الماء من خلال عمليتي التكاثف (التحول من بخار إلى ماء) والترسيب (التحول من بخار إلى جليد).وبعض بخار الماء المتكاثف يهطل إلى الارض على شكل أمطار وثلوج. شكل(٢)

أولا البخر

● يوجد بخار الماء فى الجو نتيجة لعملية البخر من كافة الأسطح المائية كالمحيطات والبحار التى تشغل حوالى أربعة أخماس سطح الكرة الأرضية وكذلك من البحيرات والنباتات والأرض الرطبة وغيرها.

● يتوقف البخر أساسا على فرق ضغط بخار الماء على سطح الماء والهواء الملامس له. وبذلك يساعد على سرعة البخر عوامل أهمها جفاف الهواء وارتفاع درجة حرارة سطح الماء ، كما يزداد البخر بازدياد سرعة الهواء.

● عندما يختلط بخار الماء بالهواء الجاف الخالى من بخار الماء يسمى الهواء رطبا.

تأثير بخار الماء على كثافة الهواء

كثافة بخار الماء فى درجات الحرارة العادية أقل من كثافة الهواء الجاف فى هذه الدرجة والنسبة بينهما هى ٨/٥ ولذلك فان اختلاط بخار الماء بالهواء الجاف يسبب تقليل كثافة الهواء بعد أن أصبح رطبا. وكلما زادت كمية بخار الماء فى الجو قلت كثافة الهواء.

تشبع الهواء ببخار الماء

أ- للهواء فى درجة حرارة معينة القدرة على حمل كمية معينة من بخار الماء لا يستطيع أن يحمل أكثر منها وتتوقف هذه الكمية على درجة حرارة الهواء فكلما زادت درجة حرارته كلما زادت هذه الكمية. شكل (٣)

ب- يقال للهواء المختلط بأقصى كمية من بخار الماء يمكن أن يحملها فى درجة حرارته أنه هواء مشبع عند نفس درجة الحرارة ولكل درجة حرارة معينة توجد كمية معينة من بخار الماء لازمة لتشبع الهواء عندها.

مقاييس الرطوبة

١- نسبة الخلط: هي كتلة بخار الماء الموجود في الهواء فعلا إلى كتلة الهواء الجاف ووحدة قياسها جم/كجم. ونسبة الخلط الاشباعية هي كتلة بخار الماء اللازمة لاشباع كتلة معينة من الهواء.

٢- ضغط بخار الماء: هو الضغط الناتج عن كتلة بخار الماء الموجودة فعلا في الهواء ،ويعبر عنه بالهكتوباسكال. **وضغط بخار الماء الاشباعي** هو الضغط الناتج عن كتلة بخار الماء في الهواء المشبع.

٣- الرطوبة النسبية:

أ- تعرف الرطوبة النسبية بأنها النسبة المئوية بين كمية بخار الماء الموجودة فعلا فى حجم معين من الهواء والكمية اللازمة لتشبع هذا الحجم ببخار الماء فى نفس درجة الحرارة ، فمثلا: إذا كانت درجة حرارة الهواء ١٦° س وكمية بخار الماء به ٧ جم /م٣ والكمية اللازمة لتشبعه فى نفس درجة الحرارة هى ١٤ جم /م٣ فان الرطوبة النسبية فى هذه الحالة

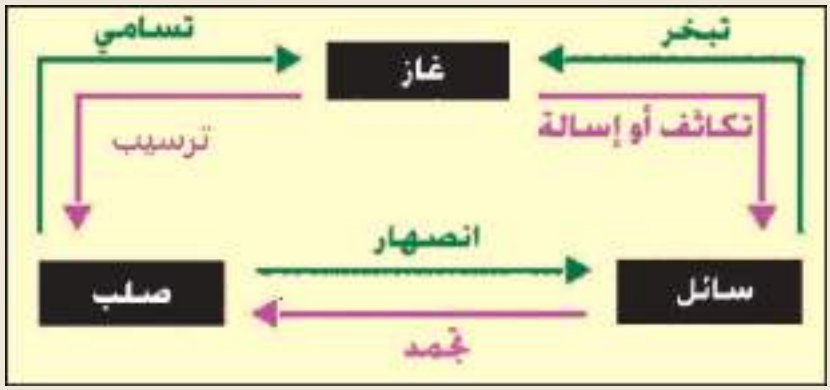
= ٧/١٤ × ١٠٠ = ٥٠٪.

ب- كما تعرف الرطوبة النسبية بأنها النسبة المئوية بين ضغط بخار الماء الموجود فى الهواء وضغط بخار الماء الاشباعي فى نفس درجة حرارة الهواء وتستعمل الرطوبة النسبية كمقياس لكمية بخار الماء الموجود فى الجو.

ج- كما أن الرطوبة النسبية تعتبر مقياسا لدرجة التشبع للهواء فكلما زادت قيمتها كلما كان الهواء قريبا من حالة التشبع حتى إذا ما وصلت هذه القيمة إلى ١٠٠٪ كان الهواء مشبعا. شكل(٤)

د- وللرطوبة النسبية للهواء فوق الأرض تغير يومى DIURNAL VARIATION يسير عكسيا مع التغير اليومى لدرجة الحرارة لأنه كلما زادت درجة حرارة الهواء زادت كمية الرطوبة المطلقة اللازمة لتشبع الهواء. وعلى ذلك تقل الرطوبة النسبية أثناء النهار حتى تصل إلى نهايتها الصغرى مع النهاية العظمى لدرجة الحرارة وتزداد أثناء الليل حتى تصل إلى نهايتها العظمى مع النهاية الصغرى اليومية لدرجة

شكل (١) دورة بخار الماء في الطبيعة



شكل (٢) تحول الماء من صورة الى اخرى

الحرارة. شكل (٥)

٤- الرطوبة المطلقة:

هى عبارة عن كتلة بخار الماء الموجودة فى وحدة الحجوم من الهواء ويعبر عنها بعدد جرامات بخار الماء الموجودة فى متر مكعب من الهواء. $\rho_v = \frac{m_v}{V}$

حيث : ρ_v كثافة بخار الماء وتمثل الرطوبة المطلقة

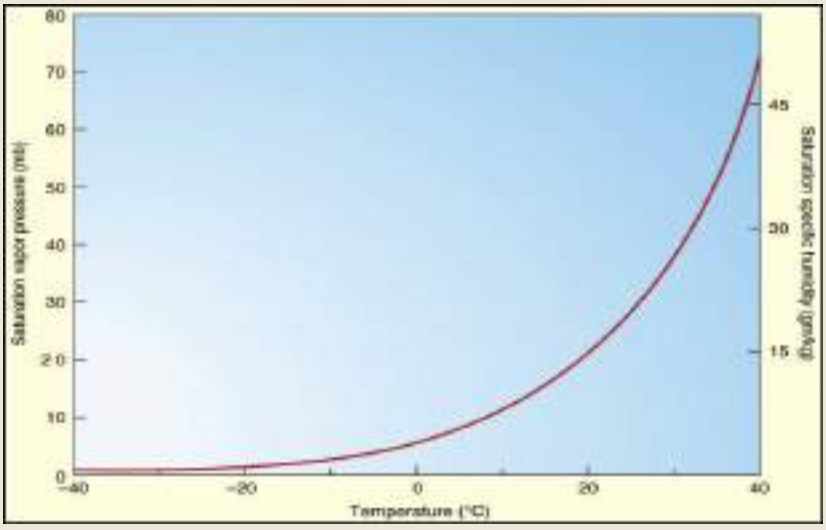
m_v: عدد جرامات بخار الماء

V : حجم الهواء

إذا كانت الرطوبة المطلقة عند أى درجة حرارة أقل من تلك اللازمة لتشبع الهواء عند هذه الدرجة يقال أنه غير مشبع أما إذا كان الهواء فى درجة حرارة معينة يحمل كمية من بخار الماء أكثر من تلك الكمية اللازمة لتشبعه فى هذه الدرجة فيقال للهواء أنه هواء فوق المشبع.

٥- درجة حرارة نقطة الندى:

تعرف نقطة الندى بأنها درجة الحرارة التى لو برد الهواء إليها لأصبح مشبعا بما فيه من بخار ماء مع ثبوت الضغط وكمية بخار الماء أثناء هذه العملية.وتستخدم نقطة الندى في مجال الارصاد الجوية للدلالة على الرطوبة عند مقارنتها بدرجة حرارة الهواء.فكلما زاد الفرق بين نقطة الندى ودرجة الحرارة زاد جفاف الهواء. وإذا تساوت الدرجتان يكون الهواء مشبعا والرطوبة النسبية ١٠٠٪.



شكل (٣) العلاقة بين درجة الحرارة وضغط البخار المشبع

٦- درجة حرارة الترمومتر المبلل:

أدني درجة حرارة يمكن الوصول إليها من خلال تبخير الماء في هواء ثابت الضغط.

٧- الرطوبة النوعية:

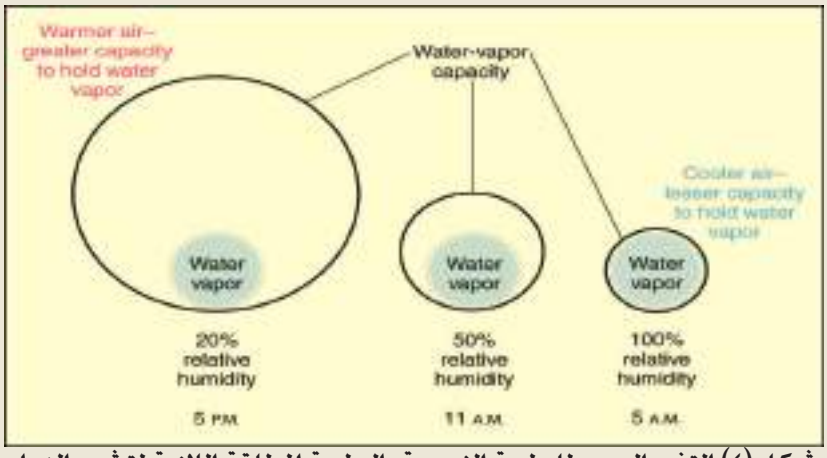
هى عدد جرامات بخار الماء الموجودة فى كيلو جرام من الهواء الرطب

ويجب ملاحظة ما يلى:

١- أثناء عملية التبريد تظل نقطة الندى كما هى طالما أن كمية بخار الماء لم تتغير وكلما تقاربت درجة حرارة الهواء من نقطة الندى اقترب الهواء لحالة التشبع.

٢- عندما يصل الهواء إلى درجة التشبع ببخار الماء نجد أن درجة الحرارة للهواء ونقطة الندى أصبحتا متساويتين.شكل (٦)

٣- إذا برد الهواء إلى أقل من نقطة الندى فانه يصبح فى حالة (فوق التشبع) أى أن ما فيه من بخار الماء أزيد من الكمية اللازمة لتشبعه وفى هذه الحالة يحاول الهواء التخلص من هذه الكمية الزائدة فتتكثف على هيئة قطرات صغيرة من الماء أو بللورات من الجليد وفقا لدرجة الحرارة عندئذ.



شكل (٤) التغير اليومي للرطوبة النسبية والرطوبة المطلقة اللازمة لتشبع الهواء

ثانيا تكثف بخار الماء

التكثف هو عبارة عن عملية تحويل بخار الماء الموجود فى الجو من حالته الغازية غير المرئية إلى حالته السائلة التى تظهر على شكل تجمعات من قطرات الماء أو بللورات جليد على إحدى الصور الآتية:

أ- الندى (DEW) أو الصقيع (FROST) عندما يتكثف بخار الماء على شكل قطرات من الماء إذا كانت درجة الحرارة أكبر أو أصغر من الصفر السلسيوس على الترتيب.

ب- الضباب (FOG) عندما يتكثف بخار الماء على شكل قطيرات فى طبقة من الهواء تلامس قاعدتها سطح الأرض.

ج- السحب (CLOUDS) عندما يتكثف بخار الماء على شكل قطيرات من الماء أو بللورات جليد فى طبقة أو كتلة من الهواء بحيث تكون قاعدتها غير ملامسة لسطح الأرض.

د- التكثف هو المرحلة التى تلى تشبع الهواء ببخار الماء فى دورة حياة بخار الماء فى الجو بمعنى أن التكثف لا يحدث فى الجو إلا بعد مرور الهواء بمرحلة التشبع حيث يميل الهواء إلى التخلص من بخار الماء الزائد عن حاجة التشبع. شكل(٧)

لتكثف بخار الماء فى الجو يلزم توفير عاملين أساسين:

أ- توفر نويات التكثف.

ب- وصول الهواء إلى درجة التشبع اللازمة للتكثف.

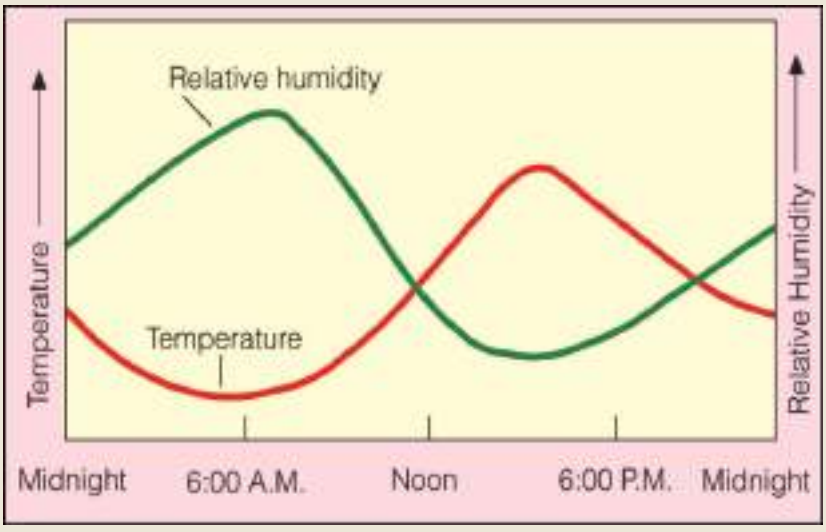
ونظرا لأن نويات التكثف ذات الميل المائى متوفرة فى الجو فيمكن القول بأن الشرط الأساسى للتكثف هو وصول الهواء إلى درجة التشبع بإحدى الطرق الآتية:

(١) زيادة كمية بخار الماء الموجود فى الهواء إلى الكمية اللازمة لتشبعه مع بقاء درجة حرارة الهواء ثابتة.ومن أهم أشكال التكثف التى تحدث بهذه الطريقة:

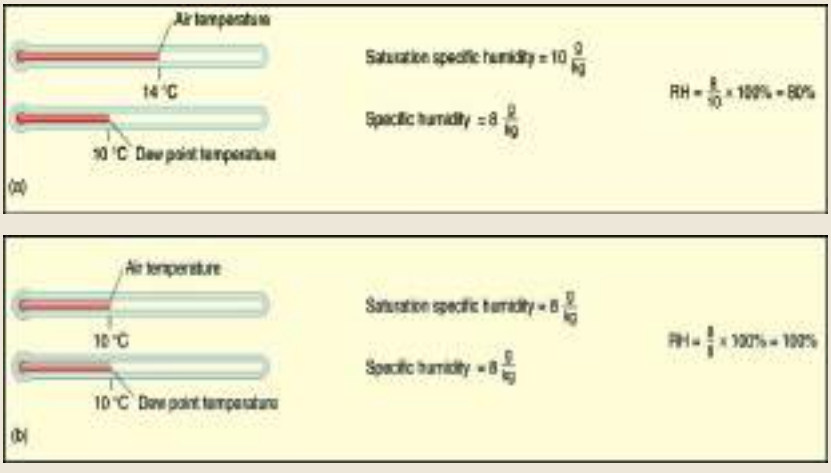
أ- السحب التى تتكون تحت الجبهات الحارة نتيجة لسقوط أمطار من هذه الجبهات فى هواء بارد وكذلك الضباب الذى يتكون فى هذه الأحوال ويسمى ضباب أمطار الجبهات الحارة. شكل (٨)

ب- دخان البحر الذى يتكون عندما يمر هواء بارد على سطح المحيطات والبحار الساخنة عادة SEA SMOKE. شكل (٩)

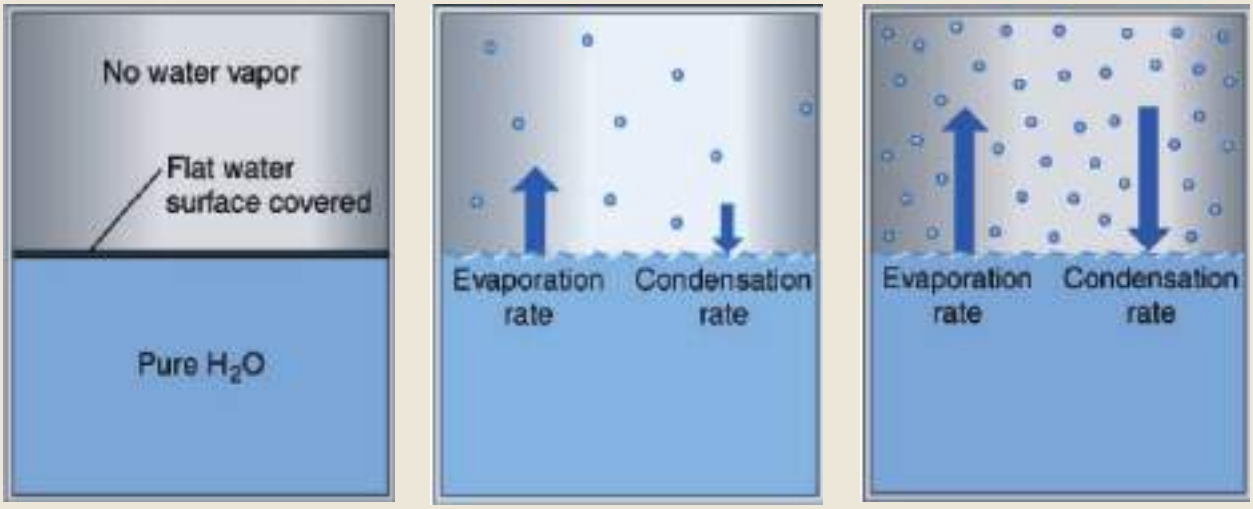
(٢) تبريد الهواء بطريقة أو أخرى إلى درجة أقل من نقطة الندى بحيث تصبح كمية بخار الماء الموجود فى الهواء كافية لتشبع الهواء أو زائدة عن التشبع ، والغرض من تبريد الهواء إلى



شكل (٥) التغير اليومي للرطوبة النسبية ودرجة الحرارة



شكل (٦) تغير الرطوبة النسبية نتيجة لتبريد الهواء الى نقطة الندى



شكل (٧) حدوث التكثف نتيجة لتشبع الهواء ببخار الماء

درجة حرارة أقل من نقطة الندى هو تعويض الارتفاع الجزئى فى درجة الحرارة الذى يحدث نتيجة لانطلاق الحرارة الكامنة للبخر عند حدوث التكثف ، وهذه الطريقة هى الأكثر شيوعا فى الجو وتحدث بإحدى الطرق الآتية:

تبريد الهواء بالتوصيل CONDUCTION

وذلك حينما يلامس أو يمر هواء رطب دافئ على سطح بارد درجة حرارته أقل من نقطة الندى للهواء

ومن أشكال التكثف التى تحدث بهذه الطريقة:

١- الندى أو الصقيع:

الذى يحدث على الأسطح الباردة فى الليالى الصافية وعلى زجاج النوافذ فى الأماكن المغلقة عندما يكون الهواء الخارجى باردا والذى يتكون على السطح الخارجى لكوب يحتوى على ماء بارد.

٢- الضباب:

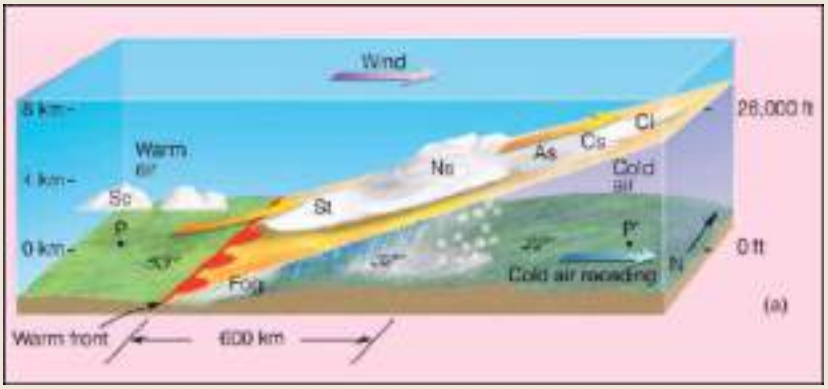
الذى يتكون أما نتيجة تناقص درجة حرارة سطح الأرض أثناء الليالى بدرجة أكبر من درجة حرارة الهواء ويسمى ضباب الإشعاع أو نتيجة لمرور هواء دافئ رطب فوق سطح بارد درجة حرارته أقل من نقطة الندى للهواء ويسمى ضباب الانتقال الأفقى.

تبريد الهواء بالمزج MIXING

عندما تمتزج كميتان من الهواء إحداهما ساخنة والأخرى باردة وتكون الرطوبة النسبية لكل منهما قريبة من التشبع فقد ينتج عن ذلك تكثف بخار الماء لوصول الهواء الناتج إلى درجة التشبع فى درجة الحرارة الجديدة للمخلوط شكل (١٠)، ومن أبرز نتائجها تكون الضباب الذى يعرف باسم ضباب المزج.

التبريد الذاتي للهواء ADIABATIC COOLING

١- إذا أجبرت كمية من الهواء على الصعود رأسيا فى الجو فإنها تتمدد نتيجة لانتقالها إلى مستويات ذات ضغط أقل باستمرار وعندما تتمدد هذه الكمية من الهواء فإنها تحتاج إلى طاقة. ولما كان الهواء موصلا غير جيد للحرارة فان الهواء الصاعد لا يتأثر بالأحوال المحيطة به ويعتبر معزولا حراريا عن الجو المحيط بمعنى أنه لا يستمد أى حرارة من



شكل (٨) ضباب امطار الجبهات الحارة

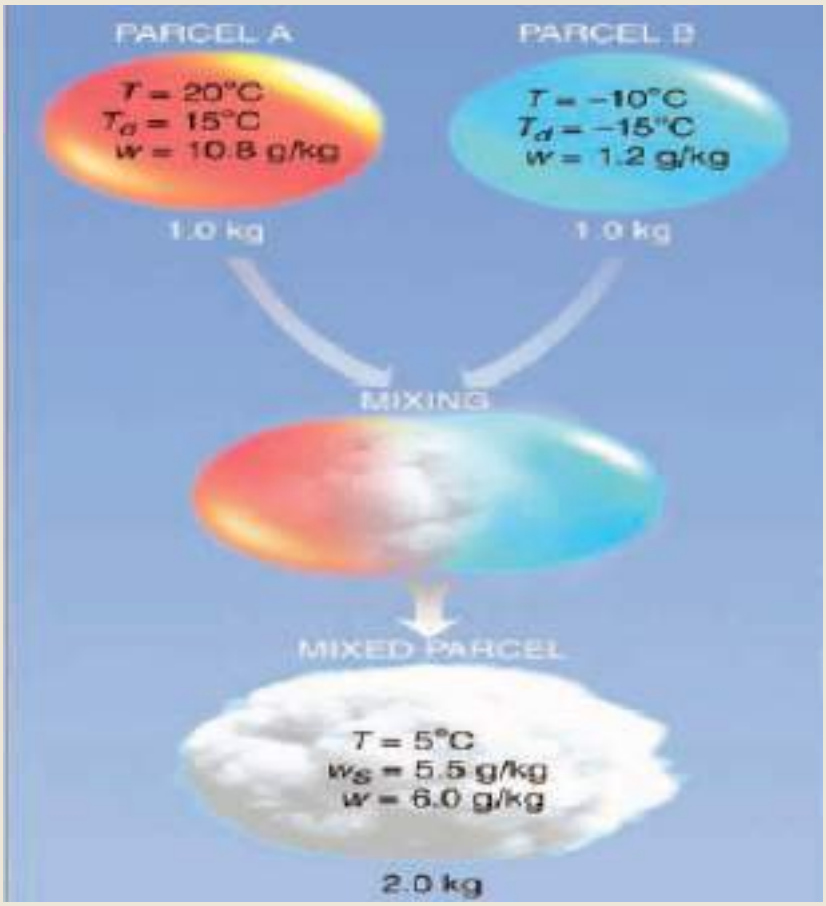
الجو المحيط به أو يمده بحرارة وعلى ذلك فان الشغل المبذول نتيجة لتمدد الهواء الصاعد لابد وأن يكون على حساب الطاقة الداخلية للهواء نفسه وبذلك تقل درجة حرارته ، ويسمى هذا التناقص فى درجة حرارة الهواء الصاعد « التبريد الذاتى «.

٢- من أهم أشكال التكثف التى تحدث نتيجة التبريد الذاتى السحب لأن الهواء إذا صعد فى الجو ذاتيا بأى طريقة من الطرق مثل التسخين أو الصعود على الجبهات أو الجبال أو المنخفضات فانه يبرد وبذلك يقترب الهواء من التشبع حتى يصل إلى المستوى الذى يصل فيه إلى هذه الدرجة ويسمى مستوى التكثف CONDENSATION LEVEL فإذا ما صعد الهواء فوق هذا المستوى يتكثف بخار الماء مكونا السحب شكل (١١) ، ومعظم أنواع السحب تتكون بهذه الطريقة العامة.

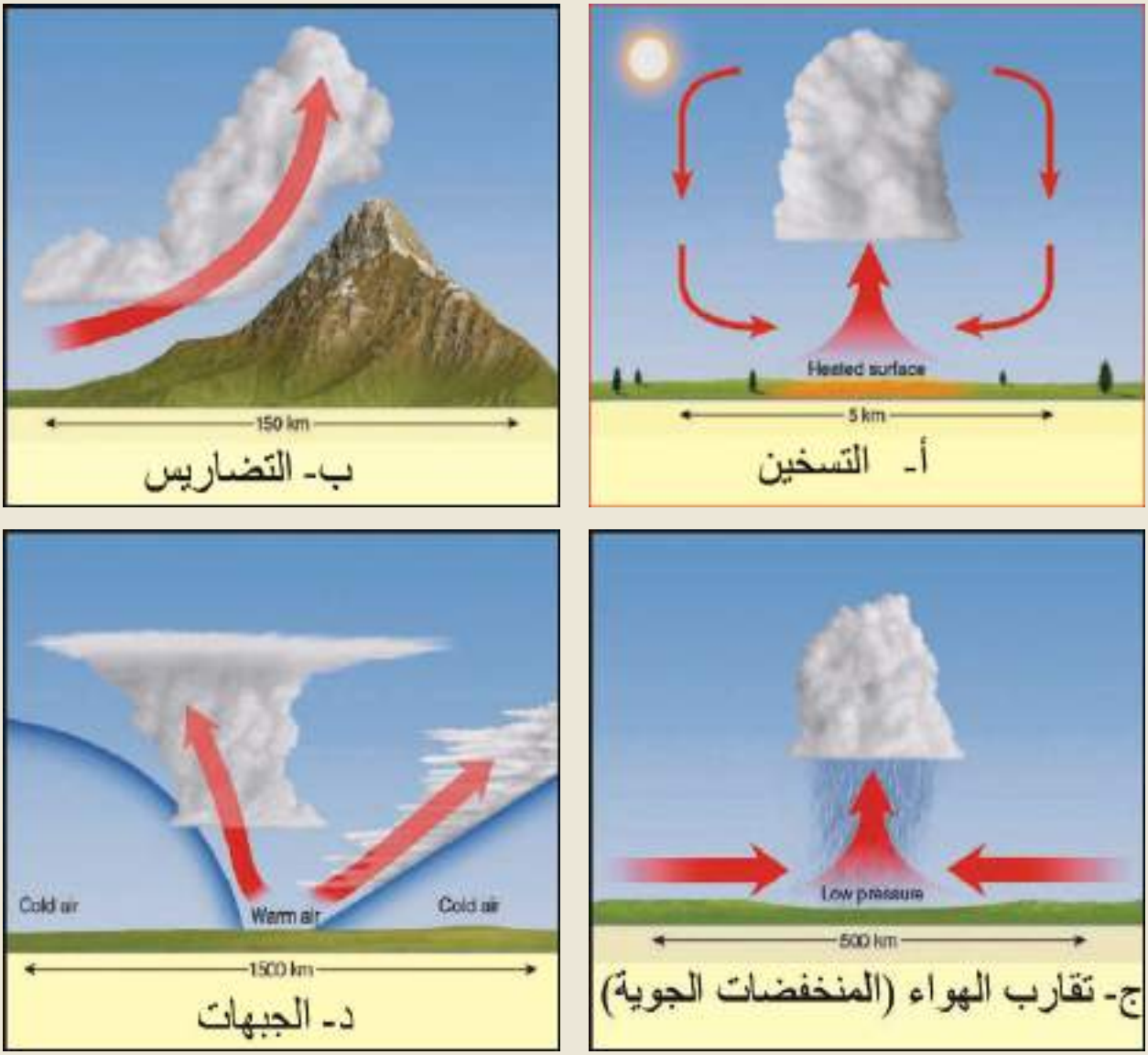
ثالثا الهطول

الهطول هو المرحلة الأخيرة لدورة حياة بخار الماء فى الجو والتى يسقط فيها ما يتكثف من بخار الماء بشكل قطرات الماء أو بللورات ثلج من السحب إلى الأرض نتيجة لازدياد حجمها إلى درجة لا يمكن معها لحركة الهواء الرأسية لأعلى من حملها فى الجو ، وقد يسقط الهطول فى حالة سائلة كما هو الحال فى الرذاذ أو المطر ، وقد يسقط فى حالة متجمدة كما هو الحال فى الثلج أو الشرائح الثلجية أو البرد ، كما أن الهطول قد يسقط فى حالة مزيج من المطر والثلج.

شكل (٩) دخان البحر



شكل (١٠)
مزج كتلتان مختلفتان من الهواء



شكل (١١) العوامل التي تؤدي الى رفع الهواء

المراجـــع

1- An introduction to atmospheric physics, second edition,Rober G.Fleagle , Joost A , Businger.

2- An Introduction to Atmospheric Thermodynamics Anastasios A.Tsonis.

3- Atmospheric Thermodynamics Elementary Physics and Chemistry.

4- Meteorology Today, an introduction to weather, climate and environment, 12 edition.

5- https://images.app.googl