كثافة هواء التروبوسفير بمصر

دراسة في الجغرافية المناخية

د. ياسر أحمد السيد

أستاذ مساعد بقسم الجغرافية
بكلية الآداب جامعة دمنهور

كثافة هواء التروبوسفير بمصر دراسة في الجغرافية المناخية

د. ياسر أحمد السيد *

الملخص

كثافة الهواء هي كتلة أو وزن الهواء في وحدة حجم منه في الغلاف الجويللأرض ، وتقل الكثافة مع الارتفاع ، ويحدث الشيء نفسه مع الضغط الجوي ، وتتغير كثافة الهواء أيضا مع درجة الحرارة ومستوى الرطوبة ، وكثافة الهواء هي قيمة هامة عند النظر في تطبيقات تصميم الطائرات وتحديد قوة دفع ورفع الطائرة ، وانخفاض الكثافة يعنى نسبة أقل من الأكسجين ، مما يضر بمرضى القلب والجهاز التنفسي .

تهدف الدراسة الى تحديد التالي :

- أهم العوامل التي تؤدى إلى اختلاف كثافة الهواء في مصر .
- تأثير عناصر المناخ في تحديد كثافة هواء التروبوسفير في مصر
- التغيرات اليومية والموسمية في كثافة الهواء .
- تأثير كثافة الهواء السطحي على التبخر / النتح في مصر .

المعادلة المستخدمة في الدراسة :

$$D = \left[\frac{P}{T \times 287.05}\right] \times \left[1 - \frac{P_V}{P}\right]$$

D= كثافة الهواء عند أي ارتفاع (كيلو جرام / متر^{٣}) .

T= درجة الحرارة عند هذا الارتفاع (°م + ٢٧٣.١٥)

٢٨٧.٠٥ = ثابت الغازات للهواء الجاف .

P_V = ضغط بخار الماء الفعلي (باسكال) .

P=الضغط الجوي عند هذا الارتفاع (باسكال) .

* أستاذ مساعد بقسم الجغرافية بكلية الآداب جامعة دمنهور .

مقدمة :

تؤثر كثافة الهواء على حياة الإنسان ونشاطاته المختلفة ، حيث ترتبط نسبة الأكسجين والغازات الأخرى في الهواء طرديا بكثافة الهواء ، لذا يضر نقصها مرضى القلب ، فبقلة كثافة الهواء يقل ضغطه ويدخل الأكسجين الرئتين بكمية أقل ، وبالتالي يصل الدم كمية من الأكسجين أقل مما يحتاج الجسم ، أما مع زيادة كثافة الهواء فإن الانسان يشعر بالراحة والنشاط لزيادة نسبة الأكسجين ، كما ترتبط حركة الطيران بكثافة الهواء ، حيث تتناسب قوة رفع ودفع الطائرة معها تناسبا طرديا ، لذلك ترتبط هذه القوة ارتباطا عكسيا مع درجة الحرارة وكمية بخار الماء المحددين لكثافة الهواء ، فبارتفاعهما تقل الكثافة وبالتالي تقل قوة رفع الطائرة ، وعلى ضوء ذلك فإن المسافة التي تقطعها الطائرة على مدرج الإقلاع تختلف تبعا لكثافة الهواء بمصر .

أهداف الدراسة :

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق النقاط الآتية :

أ – تحديد أهم العوامل الجغرافية التي تعمل على تباين كثافة الهواء [١] في مصر، فبحكم اتساع مساحتها ووضعها الجغرافي فإنه من المتوقع أن يتأثر توزيع كثافة الهواء بها بعدة عوامل جغرافية مثل الموقع الفلكي

(١) الكثافة هي كتلة الهواء الموجودة في وحدة الحجوم ، ولصغر هذه الكمية يعبر عنها بعدد الجرامات الموجودة في المتر المكعب ، أي أن كثافة الهواء تساوى الكتلة (أو الوزن) مقسومة على الحجم ، ولأن الكتلة هي كمية المادة التي يحتويها الشيء ، وهى لا يمكن أن تزداد أو تنقص دون تغير في المادة ، لذا فالعلاقة بين الكثافة والكتلة هي علاقة طردية ، أما العلاقة بينها وبين الحجم فهي علاقة عكسية ، فمع انخفاض درجة حرارة الهواء تزداد كثافته ولا يحدث تغير في كتلته وإنما يقل حجمه ، لذلك فإن كثافة الهواء تتوقف على عدة عناصر مناخية هي درجة الحرارة ، والضغط الجوى ، والرطوبة الجوية .

والجغرافي ، وظاهرات السطح ، والغطاء النباتي ، وشبكات الترع والمصارف ، وطريقة الري ، وجميعها تحدد درجة تمدد وانتشار الهواء بطول القطاع الرأسي لطبقة التروبوسفير فوق الأراضي المصرية .

ب – معرفة أثر العناصر المناخية الفعالة في تحديد كثافة هواء طبقة التروبوسفير في أنحاء الجمهورية ، وتغيراتها اليومية والفصلية ، حيث تخضع كثافة الهواء لعدة عناصر مناخية تتحكم فيها وتحددها أهمها الحرارة ، والضغط الجوى ، وكمية بخار الماء في الهواء .

جـ – تحديد التغيرات اليومية والموسمية في كثافة الهواء ، وتتبع تباياناتها بطول القطاع الرأسي لطبقة التروبوسفير .

د – معرفة أثر كثافة الهواء السطحي على التبخر / النتح الكامن في مصر .

منهج وأساليب الدراسة :

اعتمدت الدراسة على المنهج الموضوعي الذى يرتكز على تفهم كثافة الهواء فوق الأراضي المصرية ، من حيث العوامل المؤثرة فيها ، وتوزيعها ، وتبايناتها اليومية والموسمية ، وتغيراتها الرأسية بطول قطاع التروبوسفير ، بالإضافة إلى استخدام الباحث للأسلوبين الكمي والكارتوجرافي .

الدراسات السابقة :

قامت دراسات في علم المناخ بالأقسام العلمية وبهيئة الأرصاد الجوية المصرية على كثافة الهواء وأثرها في ديناميكية الهواء ، سواء في نطاق طبقة الاحتكاك السطحية أو بطول قطاعها الرأسي ، وقليلة هي الدراسات التي تناولت كثافة الهواء في طبقة التروبوسفير أو في طبقات الغلاف الجوي الأخرى ، سواء في إطار منهج موضوعي أو منهج إقليمي متتبعة خصائصها وتبايناتها المكانية والزمنية ، أو في إطار منهج أصولي كدراسة العوامل الجغرافية التي تتحكم فيها وتحددها .

وسوف يتناول الباحث بالدراسة في العرض التالي الموضوعات الآتية :

أولا : أثر الموقع في تباين كثافة الهواء .

ثانيا : أثر العناصر المناخية في كثافة الهواء .

- درجة الحرارة .
- الضغط الجوى .
- كمية بخار الماء في الهواء .
- الأثر المشترك للعناصر المناخية الفعالة في تحديد كثافة الهواء .

ثالثا : تباينات كثافة الهواء في مصر .

- كثافة الهواء السطحي.
- تغير كثافة الهواء بالارتفاع.
- كثافة الهواء عند مستويات طبقة التروبوسفير .

رابعا : علاقة كثافة الهواء بالتبخر / النتح الكامن .

أولا : أثر الموقع في تباين كثافة الهواء :

يعمل الموقع الجغرافي للجمهورية مع موضعها على تحديد كثافة الهواء ، فالموقع الجغرافي جعلها تتأثر بمياه البحرين المتوسط والأحمر وبمنظومات الضغوط الجوية العالمية والإقليمية مثل منخفض الهند الموسمي ، ومنخفض السودان الموسمي ، والمنخفض الأيسلندي ، والمنخفضات الجوية على الصحراء الكبرى الأفريقية وشبه الجزيرة العربية ، كما جعلها تتأثر بالمرتفع الأوزورى والمرتفع السيبيري ، أما الموضع فصبغ كثافة هواء طبقة التروبوسفير بصفات محلية ثانوية نتيجة تأثر درجات الحرارة بقوام التربة المصرية ولونها وبمحتواها المائي وكسائها الأخضر وبشبكات الترع والمصارف وبمياه ري المحاصيل الزراعية (ياسر السيد ، ٢٠٠٧م : ٢٣) .

أما **الموقع الفلكي للجمهورية** فهو أهم العوامل التي تتحكم في تحديد الاختلافات المكانية لكثافة الهواء بطول قطاع التروبوسفير ، نظرا لكونها تحقق أبعادا قارية كبيراً كما أن عاملي خط الطول ودوائر العرض يمثلان تأثيرات مركبة بحكم كونهم ضوابط للمواقع المكانية الفلكية ومن أجل تحديد نسبة إسهام الموقع الفلكي في وضوح الاختلافات المكانية والموسمية لكثافة الهواء بالجمهورية ، جرى استخلاص عدة معاملات تحديد تمثل حجم تحكم هذا العامل (جدول ١) .

أ – أثر الموقع بالنسبة لدوائر العرض [٢] **:**

يبدو من تتبع الجدول (١) أن دوائر العرض هي المتحكمة في الجزء الأكبر من الاختلافات المكانية للمتوسطات الشهرية لكثافة الهواء في الجمهورية ، حيث تحتل المرتبة الأولى في الترتيب التنازلي من حيث قيمة معامل الارتباط في كل شهور السنة .

وقد لوحظ أن قيم معاملات الارتباط الجزئي بين دوائر العرض والمتوسطات الشهرية لكثافة الهواء مع ثبات أثر خطوط الطول تتحسن في الشهور الحارة من السنة (أبريل – أكتوبر) وتكون جميعها موجبة ، لتتراوح بين (٠.٨١٨ في أغسطس ، ٠.٩٤٥ في يونيه) بمعنى تناقص كثافة الهواء مع تناقص قيم دوائر العرض بالاتجاه نحو جنوبي البلاد ، وهذا أمر طبيعي حيث تصل الأجزاء الجنوبية منها أشعة الشمس قصيرة الموجة عمودية أو قريبة من العمودية ، فيزداد تركيز هذه الأشعة على الوحدة المساحية من جنوبي مصر ، مما يزيد من قدرتها على امتصاص هذه الأشعة ، ويقلل من انعكاسها الفوري ، وتكون المحصلة النهائية ارتفاع كمية صافي الإشعاع الشمسي بالاتجاه نحو الجنوب ، فتزداد بالتالي الحرارة وتقل كثافة الهواء وتظهر التيارات الهوائية الصاعدة (ياسر السيد ، ٢٠٠٧م : ١٧) .

---

[٢] عامل دوائر العرض بتمثيله لتأثير الابتعاد عن خط الاستواء يلغي الحاجة إلى إدخال متغير يمثل بعد مواقع المحطات المناخية عن مركز الضغط المنخفض الاستوائي ، كما أنه يكفل تمثيل الخطوط التي تمثل مداخل المنخفضات الجوية العرضية ، أما عامل خطوط الطول فيلغي الحاجة إلى إدخال متغيرات تمثل البعد المكاني الذي يفصل بين المحطات المناخية عن مركز الضغط المنخفض الموسمي الموسع شرقا في الصيف ، ومركز الضغط المرتفع الأوزورى غربا في الشتاء .

(جدول ١) معاملات الارتباط الجزئية والمتعددة بين كثافة الهواء والموقع الفلكي للجمهورية

الشهر	متوسط كثافة الهواء			متوسط الكثافة عند أعلى درجة حرارة			متوسط الكثافة عند أدنى درجة حرارة		
	مع دوائر العرض عند ثبات خط الطول	مع خط الطول عند ثبات دوائر العرض	المتعدد	مع دوائر العرض عند ثبات خط الطول	مع خط الطول عند ثبات دوائر العرض	المتعدد	مع دوائر العرض عند ثبات خط الطول	مع خط الطول عند ثبات دوائر العرض	المتعدد
يناير	+٠,٢٦٣	−٠,٥١٢	٠,٦١٠	+٠,٨٥٤	−٠,٦٢٣	٠,٩٠٧	−٠,٢٣٦	−٠,٤٣٣	٠,٤٤٠
فبراير	+٠,٥٨٦	−٠,٥٦٢	٠,٧٦٨	+٠,٨٩٤	−٠,٤٨١	٠,٩٢٠	−٠,١٣٦	−٠,٤٢٥	٠,٤٢٥
مارس	+٠,٨٦٨	−٠,٣٠٦	٠,٨٩٣	+٠,٩١٣	−٠,٠٨٧	٠,٩٢٢	+٠,٣٠٧	−٠,٣٦٨	٠,٥٢٥
أبريل	+٠,٩٤١	−٠,٣٤٩	٠,٩٥١	+٠,٨٤٠	−٠,٠١٩	٠,٨٥٣	+٠,٦٢٤	−٠,٣٥٦	٠,٧٢١
مايو	+٠,٩٣٤	−٠,٣٣٥	٠,٩٤٥	+٠,٨١٢	−٠,٠١٨	٠,٨٢٧	+٠,٧٧٨	−٠,٢٧١	٠,٨١٩
يونيه	+٠,٩٤٥	−٠,٣١٤	٠,٩٥٣	+٠,٣٧٨	−٠,٠٢٠	٠,٣٩٠	+٠,٧٣٣	−٠,٢٧٨	٠,٧٨٥
يوليه	+٠,٩١٧	−٠,٤٦٦	٠,٩٣٦	+٠,٧٥٨	−٠,٠٥٩	٠,٧٨٠	+٠,٥٥١	−٠,٣١١	٠,٦٥٦
أغسطس	+٠,٨١٨	−٠,٢٩٦	٠,٨٥٣	+٠,٧٩١	−٠,٠٨٠	٠,٨١٢	+٠,٤٣٣	−٠,٣٢٦	٠,٥٨٠
سبتمبر	+٠,٨٢٥	−٠,٥١٧	٠,٨٧٩	+٠,٨١٣	−٠,١٨١	٠,٨٤٠	+٠,٤٧٠	−٠,٣٥٠	٠,٦١٥
أكتوبر	+٠,٨٢٩	−٠,٦٧٠	٠,٩٠١	+٠,٨٣٧	−٠,٣٥٦	٠,٨٧٢	+٠,٢٦٥	−٠,٤٦٦	٠,٥٧٥
نوفمبر	+٠,٥١٦	−٠,٦١٧	٠,٧٦٦	+٠,٨٥٣	−٠,٥٢٥	٠,٨٩٧	−٠,٠٤٦	−٠,٤٩٣	٠,٥٠٤
ديسمبر	+٠,٣٤١	−٠,٦٩٩	٠,٦٩٩	+٠,٨١٨	−٠,٥٤٦	٠,٨٧٨	−٠,٣٠٨	−٠,٥٠٥	٠,٥١٦
سنوي	+٠,٨٩٣	−٠,٥٩٦	٠,٩٢٦	+٠,٨٧١	−٠,٢١٠	٠,٨٩٠	+٠,٣٢٠	−٠,٣٦٧	٠,٥٣٢

الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامي ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .

أما المستوى الأدنى لمعاملات الارتباط بين كثافة الهواء ودوائر العرض فيبرز في الشهور المعتدلة من السنة (نوفمبر – مارس) حيث تتراوح بين (٠.٢٦٣ في يناير ، ٠.٨٦٨ في مارس) ويرجع ذلك إلى تعرض مصر لأنواع عديدة من الضغوط الجوية ، كما يرجع إلى الانخفاض العام في درجات الحرارة خلال هذه الشهور ، ومن ثم ارتفاع كثافة الهواء على امتداد الجمهورية مما يقلل من ارتباط كثافة الهواء خلال هذه الفترة بدوائر العرض .

ب – أثر الموقع بالنسبة لخطوط الطول :

تعمل خطوط الطول هي الأخرى على إظهار الاختلافات المكانية للمعدلات الشهرية لكثافة الهواء على امتداد الجمهورية ، وقد تراوحت قيم معاملات الارتباط الجزئي بين كثافة الهواء وخطوط الطول مع ثبات أثر دوائر العرض بين (–٠.٢٩٦ في أغسطس ، –٠.٦٩٩ في ديسمبر) .

وترتفع معاملات الارتباط الجزئي بين قيم خطوط الطول في الجمهورية والمعدلات الشهرية لكثافة الهواء مع ثبات أثر دوائر العرض خلال شهور الفترة المعتدلة من العام (نوفمبر – مارس) حيث تتراوح بين (– ٠.٣٠٦ في مارس ، – ٠.٦٩٩ في ديسمبر) بمعنى تناقص كثافة الهواء بالاتجاه نحو الشرق (مع تزايد قيم خطوط الطول) بسبب زيادة الضغط الجوى في الأجزاء الغربية من البلاد ، حيث تنخفض درجات الحرارة على الصحراء الغربية بسبب ظروف القارية ، كما يرجع ذلك إلى الاقتراب من مركز الضغط الجوى المرتفع الأوزورى الذي يعم حوض البحر المتوسط والصحراء الكبرى الأفريقية خلال هذه الفترة .

تظهر أيضا القيم السالبة لمعاملات الارتباط بين خطوط الطول وكثافة الهواء خلال شهور الفترة الحارة من العام (أبريل – أكتوبر) حيث تتراوح بين (– ٠.٢٩٦ في أغسطس ، – ٠.٦٧٠ في أكتوبر) بمعنى زيادة كثافة الهواء بالاتجاه نحو غربي الجمهورية مع تناقص قيم خطوط الطول ، بسبب الاقتراب من مركز الضغط الجوي المرتفع الأوزورى المهاجر تجاه الشمال ، في حين تتناقص كثافة الهواء بالاتجاه شرقا بسبب الاقتراب من مركز المنخفض الجوي الموسمي الموسع ، الذي يشمل منخفض الهند الموسمي ، ومنخفض شبه الجزيرة العربية ، ومنخفض السودان الموسمي .

ج – الأثر المشترك لدوائر العرض وخطوط الطول:

رغم تحكم دوائر العرض وخطوط الطول بقوة نسبية في تحديد قيم كثافة الهواء في الجمهورية ، إلا أنهما لا تتحكمان في تحديد كل الاختلافات ، وإن المستوى الأعلى لهذا التحكم يبرز في الفترة الحارة من السنة (أبريل – أكتوبر) حيث تتراوح معاملات الارتباط المتعدد بين (٠.٨٥٣ في أغسطس ، ٠.٩٥٣ في يونيه) [٣] ويرجع ذلك إلى وضوح الفروق الإقليمية في معدلات كثافة الهواء على امتداد سطح مصر ، نظرا لظهور منخفض الهند الموسمي على خرائط الطقس والتحامه مع منخفض السودان الموسمي ليكونان معا منخفضاً جوياً موسمياً موسعاً ، تتخذ خطوط انحداره اتجاها عاما نحو الشرق والجنوب الشرقي ، في حين أن المستوى الأدنى لهذا التحكم يبرز في الفترة المعتدلة من السنة (نوفمبر – مارس) حيث تتراوح معاملات الارتباط المتعدد بين (٠.٦١٠ في يناير ، ٠.٨٩٣ في نوفمبر) بسبب امتداد المرتفع الجوى الأوزورى ليعم حوض البحر المتوسط ، فتقل التباينات المكانية في كثافة الهواء بين أنحاء الجمهورية ، الذي يتحكم بها الضغط الجوى بدرجة كبيرة وأساسية .

ويبلغ الارتباط المشترك بين كثافة الهواء وقيم دوائر العرض وخطوط الطول (٠.٩٢٦) في حين يبلغ الارتباط الجزئي بين كثافة الهواء ودوائر العرض مع استبعاد خطوط الطول (٠.٨٩٣) والارتباط الجزئي بينها وبين خطوط الطول مع استبعاد دوائر العرض (-٠.٥٩٦) أي أن الأثر المشترك لتناقص قيم دوائر العرض بالاتجاه نحو الجنوب ، وتزايد قيم خطوط الطول نحو الشرق ، أي تدرج خطوط الطول ودوائر العرض تجاه منخفض السودان الموسمي في الاعتداليين ، والمنخفض الجوى الموسمي الموسع في الصيف ، أكبر من أثر أي من العاملين مع استبعاد أثر العامل الآخر .

---

[٣] معاملات الارتباط المشتركة (المتعددة) لا توضح اتجاه العلاقات الكلية بين العوامل المستقلة والعامل التابع ، أي أن معاملات الارتباط المتعددة لا تحدد لها إشارة موجبة أو سالبة ، نظرا لاختلاف العلاقات الجزئية بين المتغيرات .

ثانيا : أثر العناصر المناخية في كثافة الهواء:

أ – درجة الحرارة :

يتمدد الهواء وتتباعد جزيئاته مع ارتفاع درجة الحرارة ، الأمر الذي يعمل على انتقال قسم منه إلى جهة أخرى ، ويؤدى ذلك إلى نقص وزن عمود الهواء وقلة كثافته ، في حين أنه عندما تهبط درجة حرارة الهواء يتقلص وينكمش ويصغر حجمه وتتقارب جزيئاته فتضاف كتلة هوائية جديدة ، مما يزيد من وزنه وبالتالي كثافته وضغطه ، أي أن كثافة الهواء وضغطه يتناسبان عكسيا مع درجة حرارته (ياسر السيد ، ٢٠١٠م : ص ٢٤٤) وتمثل درجة الحرارة إحدى مدخلات معادلة كثافة الهواء والتي تتخذ الصيغة الآتية :

$$D = \left[\frac{P}{T \times 287.05}\right] \times \left[1 - \frac{P_V}{P}\right]$$

D = كثافة الهواء عند أي ارتفاع (كيلو جرام / متر^{٣}) .

T = درجة الحرارة عند هذا الارتفاع (°م + ٢٧٣.١٥)

٢٨٧.٠٥ = ثابت الغازات للهواء الجاف .

P_V = ضغط بخار الماء الفعلي (باسكال) .

P = الضغط الجوى عند هذا الارتفاع (باسكال) .

(Yuh-Lang Lin., 2013. P3 ، Bayle,N., 1998.P2)

كما يمكن أن تتخذ معادلة كثافة الهواء الصيغة التالية:

$$D = \left[\frac{\left(P \times 0.348444\right) - \left\{h\left(T \times 0.00252\right) - \left(0.020582\right)\right\}}{T + 273.15}\right]$$

D = كثافة الهواء عند أي ارتفاع (كيلو جرام / متر^{٣}) .

P = الضغط الجوي عند هذا الارتفاع (هكتوباسكال) .

T = درجة الحرارة عند هذا الارتفاع (°م) .

(National Physical Laboratory., 2002.P2)

وقد وجد الباحث أن معامل الارتباط بين كثافة الهواء ودرجة حرارة الطبقة الهوائية السطحية في جمهورية مصر العربية يبلغ (-٠.٩٩٥) وهو ارتباط عكسي قوى جدا ، بمعنى تناقص كثافة الهواء في مصر مع تزايد درجات حرارة الطبقة السطحية خلال الفترة الحارة من السنة وبالاتجاه نحو الجنوب ، والعكس صحيح خلال الفترة المعتدلة وبالاتجاه صوب الشمال ، بمستوى ثقة أعلى من ٩٩% ، كما وجد الباحث أيضاً أن معادلة خط الانحدار بينهما تتخذ الصيغة الآتية :

$$D = 1.30 - 0.005T$$

D = كثافة الهواء عند سطح الأرض (كيلو جرام / متر^{٣}) .

T = المتوسط الشهري لدرجات حرارة الطبقة الهوائية السطحية (°م) .

ويبدو من هذه المعادلة أنه بانخفاض درجات حرارة هواء الطبقة السطحية في مصر بمقدار درجة مئوية واحدة خلال شهور الفترة المعتدلة من السنة (نوفمبر – مارس) وبالاتجاه من الجنوب نحو الشمال تزداد كثافة الهواء بمقدار ٠.٠٠٥ كجم / م^{٣} (٥ جم / م^{٣}) إلا أن وزن الهواء لا يتغير ، فالكثافة مرتبطة بحجم الطبقة الهوائية ، بانخفاضها يقل الحجم مع ثبات الوزن ، أي أن تأثير درجة الحرارة على كثافة الهواء يتمثل بتحديدها لحجم الغلاف الغازي في الجمهورية وليس وزنه ، لأن كل ما حدث هو انخفاض درجة الحرارة ولم تتغير الكتلة ، أي لم يحدث زيادة في المادة (هواء الغلاف الغازي) بل الذي حدث هو اقتراب جزيئاته من بعضها فتزداد كثافته ، لأن الكثافة تبين نسبة وزن المادة إلى حجمها ، والعكس صحيح في شهور الفترة الحارة من العام (أبريل – أكتوبر) وبالاتجاه نحو جنوبي الجمهورية .

ب – الضغط الجوى :

تتحدد كثافة الهواء بمدى تقارب جزيئاته مع بعضها[٤] فإذا ازداد الضغط الجوى فان الحجم سوف يقل أما الكثافة فسوف تزداد ، أو إذا قل الضغط الجوى فان الحجم سوف يزداد أما الكثافة فسوف تقل ، أي أن العلاقة بين الضغط والكثافة علاقة طردية (ياسر السيد ، ٢٠١١ : ص ٢٠٩) .

لذلك وجد الباحث أن معامل الارتباط بين متوسطات كثافة الهواء في الجمهورية ومتوسطات الضغط الجوى السطحي يبلغ (٠.٩٣٠) وهو ارتباط طردي قوى جدا ، بمعنى تناقص الكثافة مع تناقص الضغط الجوى في الفترة الحارة من السنة وبالاتجاه نحو الجنوب ، في حين تتزايد كثافة الهواء مع تزايد الضغط الجوى في الفترة المعتدلة من العام وبالاتجاه صوب الشمال ، بمستوى ثقة أعلى من ٩٩% ، كما قام الباحث بتقدير معادلة خط الانحدار بينهما وتتخذ الصيغة الآتية :

$$D = 0.007P - 5.90$$

D = متوسط كثافة الهواء عند سطح الأرض (كيلو جرام / متر^{٣}) .

P = متوسط الضغط الجوى في الطبقة الهوائية السطحية (هكتوباسكال).

ويبدو من هذه المعادلة أنه بانخفاض الضغط الجوى السطحي بمقدار هكتوباسكال واحد تقل كثافة الهواء بمقدار ٠.٠٠٧ كجم / م^{٣} ، وتزداد الكثافة بنفس المقدار إذا زاد الضغط الجوي السطحي هكتوباسكال واحد أيضا ، فخلال الفترة الحارة من العام (أبريل – أكتوبر) وبالاتجاه نحو جنوبي البلاد تعمل أشعة الشمس العمودية والقريبة من العمودية على تسخين سطح التربة المصرية ، وتسخن بالتالي طبقة الهواء السطحية ، مما يقلل من الضغط الواقع على وحدة المساحة لزيادة حجم الهواء ، أي زيادة المساحة المعرضة للضغط (حيث أن الضغط هو القوة العمودية

(٤) تتحدد كثافة أي غاز أو أي مادة بمدى تقارب جزيئاته ، فعلى سبيل المثال كثافة الماء أعلى أو اكبر من كثافة البخار بمقدار ١٠٠مرة ، لأن جزيئات الماء متقاربة مع بعضها بأكثر من ١٠٠مرة من تقارب جزيئات البخار ، وتبلغ كثافة الهواء الجاف نحو ١.٢٧٥ كيلوجرام / متر مكعب عند درجة الصفر المئوي وتحت ضغط جوى عند مستوى سطح البحر .

، أي الوزن مقسوما على المساحة) وبالتالي تنتشر جزيئات الهواء الأمر الذي يقلل من كثافته ، لذلك تتكون تيارات هوائية صاعدة خلال هذه الفترة.

جـ – كمية بخار الماء في الهواء :

كثافة بخار الماء أقل من كثافة الهواء، لذلك فإنه عندما تزداد كمية بخار الماء في هواء الأجواء المصرية يقوم بإزاحة جزء آخر ليحل محله ، فتنخفض قيمة الضغط الجوى وبالتالي تقل كثافة الهواء ، ويحدث العكس عندما تقل كمية بخار الماء في الهواء ، أي أن مقدار بخار الماء في الكتلة يتناسب تناسبا عكسيا مع كثافة هواء هذه الكتلة (ياسر السيد ، ٢٠١٠م : ٢٤٥) .

وقد تبين للباحث أن معامل الارتباط الجزئي بين ضغط بخار الماء الفعلي وكثافة الهواء في الجمهورية مع ثبات أثر درجة حرارة الطبقة الهوائية السطحية (–٠.٧٧٠) وهو معامل ارتباط عكسي قوى ، بمعنى أنه تزداد كثافة الهواء كلما قلت كمية بخار الماء ، بمستوى ثقة ٩٩% ، في حين بلغ معامل الارتباط الجزئي بين درجة الحرارة وكثافة الهواء مع ثبات ضغط بخار الماء الفعلي (–٠.٩٩٧) وهو ارتباط عكسي قوى جدا ، لذلك يمكن القول أن علاقة الحرارة وكمية بخار الماء بكثافة الهواء في الجمهورية ليست متكافئة تماماً ، وليست متبادلة في الاتجاهين بحيادية ، بل تجنح دائماً وبشدة في اتجاه درجة حرارة الطبقة الهوائية السطحية ، العلاقة بينهما إذن علاقة معقدة ومركبة ، تنتهي بكمية بخار الماء إلى أن تصبح أقل أهمية وحسماً في تحديد قيم كثافة الهواء الشهرية في الجمهورية .

وقد استطاع الباحث تحديد معادلة خط الانحدار بين كل من كثافة الهواء في جمهورية مصر العربية من جهة ، وكل من درجة حرارة الطبقة الهوائية السطحية ونقص التشبع بالبخار (ضغط البخار المشبع – ضغط البخار الفعلي) من جهة أخرى ، وتتخذ المعادلة الصيغة الآتية :

$$D = 1.300 - (T \times 0.0055) + (H \times 0.00055)$$

D = كثافة الهواء عند سطح الأرض (كيلو جرام / متر^{3}) .

H = نقص الإشباع البخرى .

T = المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في الجمهورية (°م) .

ولما كان زيادة كمية بخار الماء عامل يؤدى إلى انخفاض كثافة الهواء وضغطه ، لذلك يلاحظ أن المناطق البحرية الرطبة المجاورة لكل من البحرين المتوسط والأحمر ذات كثافة هوائية أقل من المناطق الصحراوية الجافة والتي تقع على نفس دوائر العرض ، حيث يصل المتوسط السنوي لكثافة الهواء في الغردقة على ساحل البحر الأحمر إلى ١.١٨٢٥ كجم / متر^{3} ، في حين يرتفع في واحة الفرافرة بالصحراء الغربية إلى ١.١٩٢٦ كجم / متر^{3} ، رغم تقارب دوائر العرض بكليهما ، إلا أنه لا يمكن إغفال أثر منخفض السودان الموسمي في الاعتدالين ، والمنخفض الجوى الموسمي الموسع صيفا ، في خفض قيم كثافة هواء الطبقة الهوائية السطحية بالمناطق الشرقية والجنوبية الشرقية ، مقارنة بالمناطق الغربية والشمالية الغربية من الجمهورية .

د – الأثر المشترك للعناصر المناخية الفعالة :

لا يوجد عنصر مناخي بمفرده فى البيئة المصرية يكون تأثيره مطلقا وفريدا على كثافة الهواء بها ، بل إن هذا التأثير يتضمن تداخلا كبيرا مع التأثيرات الناتجة عن وجود العناصر المناخية الأخرى ، لذلك حرص الباحث على دراسة أثر جميع العناصر المناخية الفعالة في تحديد كثافة هواء الطبقة السطحية من التروبوسفير (ياسر السيد ، ٢٠١٠م : ٢٤٦) .

والجدول رقم (٢) يوضح معاملات الارتباط بين كثافة الهواء والعناصر المناخية الفعالة في الجمهورية ، ويبدو من تتبع بياناته أن **الارتباط المتعدد** بين كثافة الهواء من جهة وكل من درجة حرارة الكتلة الهوائية السطحية والضغط الجوى السطحي وضغط بخار الماء الفعلي من

جهة أخرى يبلغ واحد صحيح ، أي معامل ارتباط تام ، كما يتضح أن معامل الارتباط الجزئي بين المتوسطات الشهرية لكثافة الهواء في الجمهورية ومتوسطات **درجات الحرارة** مع ثبات أثر العناصر المناخية الفعالة الأخرى (– ٠.٩٩٩) وأن معامل الارتباط الجزئي بين المتوسطات الشهرية لكثافة الهواء و**الضغط الجوى** مع ثبات أثر العناصر المناخية الفعالة الأخرى (+٠.٩٩٤) كما بلغ معامل الارتباط الجزئي بين المتوسطات الشهرية لكثافة الهواء و**ضغط بخار الماء الفعلي** مع ثبات أثر العناصر المناخية الفعالة الأخرى (–٠.٩٩٦) نستنتج من ذلك أن الأثر المشترك لارتفاع درجات الحرارة ، وانخفاض الضغط الجوى ، وزيادة كمية بخار الماء في الهواء على انخفاض كثافة الهواء ، أكبر من أثر أي منهم مع استبعاد أثر العناصر المناخية الأخرى .

تقل معاملات الارتباط الجزئية بين كثافة الهواء وجميع العناصر المناخية الفعالة خلال الفترة المعتدلة من العام (نوفمبر – مارس) ، حيث يبلغ معامل الارتباط في شهر يناير بين الكثافة ودرجة الحرارة مع استبعاد العناصر المناخية الأخرى –٠.٩٩٢ ، ومع الضغط الجوى الكلى +٠.٧٥٣ ، ومع ضغط بخار الماء الفعلي –٠.٨٠٥ ، نظرا لسيادة حالات الاضطرابات الجوية الناجمة عن غزو المنخفضات العرضية لحوض البحر المتوسط متوجهة من الغرب نحو الشرق ، وما ينجم عن ذلك من ذبذبات حادة في درجات الحرارة ، وتباين كبير في قيم الضغط الجوى ، واختلافات واضحة في كمية بخار الماء ، الأمر الذي يقلل من معاملات تحديد هذه العناصر لكثافة الهواء بامتداد القطاع الطولي للجمهورية .

(جدول٢) الارتباطات الجزئية والمتعددة بين الكثافة والعناصر الفعالة

الشهر	مع الحرارة عند ثبات الضغط الكلى وضغط البخار	مع الضغط الكلى عند ثبات الحرارة وضغط البخار	مع ضغط البخار عند ثبات الحرارة والضغط الكلى	ارتباط متعدد بين الكثافة وجميع العناصر الفعالة
يناير	٠.٩٩٢ –	٠.٧٥٣	٠.٨٠٥ –	٠.٩٩٨
فبراير	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٧	٠.٩٩٧ –	١.٠٠٠
مارس	١.٠٠٠ –	٠.٧٢٩	٠.٦٤٣ –	٠.٩٩٦
ابريل	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٥	٠.٩٩٥ –	١.٠٠٠
مايو	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٠	٠.٩٨٧ –	١.٠٠٠
يونيه	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٦	٠.٩٩٠ –	١.٠٠٠
يوليه	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٨	٠.٩٩٧ –	١.٠٠٠
أغسطس	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٨	٠.٩٩٨ –	١.٠٠٠
سبتمبر	١.٠٠٠ –	١.٠٠٠	٠.٩٩٨ –	١.٠٠٠
أكتوبر	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٨	٠.٩٩٩ –	١.٠٠٠
نوفمبر	١.٠٠٠ –	٠.٩٩٨	٠.٩٩٩ –	١.٠٠٠
ديسمبر	٠.٩٩٥ –	٠.٨٥٩	٠.٦٩٢ –	٠.٩٩٨
سنوي	٠.٩٩٩–	٠.٩٩٤	٠.٩٩٦ –	١.٠٠٠

من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات غير منشورة للفترة بين ١٩٥٦– ٢٠٠٨م

تتسم معاملات الارتباط الجزئية بالتحسن خلال الفترة الحارة (أبريل – أكتوبر) حيث تبلغ في سبتمبر بين الكثافة ودرجة الحرارة مع استبعاد أثر العناصر المناخية الأخرى –١.٠٠ ، ومع الضغط الجوى ١.٠٠ ، ومع ضغط بخار الماء الفعلي –٠.٩٩٨ ، نظرا لارتفاع درجات الحرارة في جميع أرجاء الجمهورية ، وسيادة نظم الضغوط الجوية المنخفضة منحدرة نحو الجنوب الشرقي ، كما تقل على امتدادها كمية بخار الماء في الهواء رغم زيادة عملية التبخر / النتح (إلا أنها أعلى من نظيرتها خلال الفترة المعتدلة) أي تتشابه جميع أنحاء الجمهورية في الصفة العامة للعناصر المناخية الفعالة ، إلا أنها تختلف فيما بينها اختلافا رتيبا بالاتجاه ناحية الجنوب ، مما يزيد من قيم تحديد هذه العناصر لكثافة الهواء خلال هذه الفترة .

ثالثا : تباينات كثافة الهواء في الجمهورية :

إن تباين كثافة الهواء والضغط الجوى فوق الجمهورية ، كذلك سرعة الهواء انعكاس غير مباشر للتسخين غير المتكافئ لسطح الأرض ، بواسطة الأشعة الشمسية ولدوران الكرة الأرضية حول نفسها ، حيث أن مكونات الجو في حالة حركة مستمرة ، وللحركة الجوية أهمية مناخية كبرى لما تساهم به من تحقيق التوازن الحراري للتربة والهواء ، ولما تقوم به من نقل الرطوبة الجوية والسحب من مكان إلى آخر ، وهكذا نرى أن كثافة الهواء وضغطه ، كذلك الرياح – اتجاها وسرعة – تعمل ضمن منظومة متكافئة تحدد خصائص معظم العناصر المناخية الأخرى .

وفي العرض التالي سوف نتناول بالتفصيل النقاط الآتية :

– كثافة الهواء السطحي.

– تغير كثافة الهواء بالارتفاع .

– كثافة الهواء عند مستويات طبقة التروبوسفير .

١– كثافة الهواء السطحي:

يلاحظ أن معدل التدرج الأفقي لكثافة الهواء أقل بكثير من معدل تدرجها الرأسي ، إلا أنه لا يمكن إهمال اختلافاتها الأفقية على امتداد الأراضي المصرية ، حيث توجد جزر من الكثافات المرتفعة أو المنخفضة على بعض أراضى الجمهورية تشكلت بناء على ظروفها المحلية ، حيث تكثر العوامل التي تتدخل في التأثير على كثافة الهواء والمتمثلة في القرب أو البعد عن المسطحات المائية وشبكات الري والصرف ، والكساء الأخضر ، والارتفاع عن سطح البحر ، والتي تؤثر في العناصر المناخية الفعالة مثل درجات حرارة ، والضغط الجوى ، وكمية بخار الماء (ياسر السيد ، ٢٠٠٧م : ٦٥) . ويتضح ذلك فيما يلي :–

أولاً- الدورة اليومية لكثافة الهواء :

لكثافة الهواء في جمهورية مصر العربية دورة يومية ، تبين أنها صورة معكوسة تماما لدورة الحرارة ، وصورة مشابهة لمسار الضغط الجوى السطحي ، حيث تزايد كثافة الهواء قبل شروق الشمس مباشرة (نحو الساعة ٣.٥ بتوقيت محلى) نتيجة انخفاض الحرارة وتزايد الضغط الجوى ، ثم يأخذ منحنى كثافة الهواء في الهبوط بعد ذلك ، حتى يصل إلى أدنى قيمه نحو الساعة ١٤ بتوقيت محلى (أي بعد وقت الزوال) نتيجة للارتفاع الشديد في درجة حرارة الطبقة الهوائية السطحية ، الناتج عن تزايد الإشعاع الأرضي طويل الموجة ، وما يتبعها من انخفاض في الضغط الجوى السطحي ، بعدها يأخذ منحنى كثافة الهواء في الارتفاع مرة أخرى حتى قبيل شروق شمس اليوم التالي أي أن لمسار كثافة الهواء في مصر ، قمة واحدة ، كما أن له قاع واحد فقط ، ويرجع الباحث السبب في ذلك إلى أن فعل الحرارة في تحديد كثافة الهواء وضغطه فوق أراض الجمهورية أكبر من دور ظاهرة المد والجزر في الغلاف الغازي الناتجة عن تغير قوة جذب القمر لهواء الأرض .

علاقة كثافة الهواء اليومية بحركة الرياح في الجمهورية :

أ)- خلال فترة الليل تأخذ حرارة سطح أرض جمهورية مصر العربية في الانخفاض ، ويصبح الهواء السطحي مستقرا فيزداد الضغط الجوى ، مما ينتج عنه زيادة في كثافة الهواء ويتناقص سمك طبقة الهواء المضطرب التي كانت موجودة في فترة النهار ، ويضعف تبادل الهواء بين المستويات المختلفة القريبة من سطح الأرض (فلا يأتي إلى السطح أي هواء من الطبقات العليا ، ولا يصعد الهواء من السطح إلى الطبقات العليا) ويتوقف انتقال قوة الدفع التي كان سائدا في النهار ، وهذا يجعل الرياح السطحية بطيئة ، بينما تكون الرياح العليا أكثر سرعة وأكثر ثباتا في اتجاهها .

ب) – أما خلال فترة النهار فترتفع حرارة سطح الأرض ، مما يعمل على قلة كثافة الهواء ووزنه فيقل ضغطه ، ويرتفع إلى أعلى ليحل محله هواء أقل حرارة قادم من الطبقات العليا ، أي أن الهواء الساخن يصعد والهواء البارد يهبط للوصول إلى الاتزان الحراري ، ولكن ليس لأنه أثقل ، بل لأنه نتيجة ارتفاع درجة حرارة الهواء تزداد طاقة الجزيئات الحركية ، مما يعمل على تحرك الهواء الساخن إلى أعلى وبالتالي يهبط الهواء الأبرد لزوال

المعيق مع ثبات الوزن (أي تبعا لقانون حفظ الطاقة – طاقة حرارية تتحول إلى طاقة حركية) .

ثانياً– الدورة الموسمية لكثافة الهواء :

تتأثر كثيرا الاختلافات الموسمية لكثافة الهواء في الجمهورية بالتغير في درجات حرارة الطبقة الهوائية السطحية الناتج عن التغير في زاوية ارتفاع الشمس ، كما تتأثر بالتغير الناتج في نظم الضغوط الجوية العالمية والإقليمية ، وبالتذبذب الطفيف في كمية بخار الماء نتيجة هبوب كتل هوائية متباينة المصدر، والجدول (٣) يوضح القيم الشهرية لكثافة الهواء فوق بعض المحطات المناخية خلال فصول السنة وتتضح منه الحقائق الآتية :

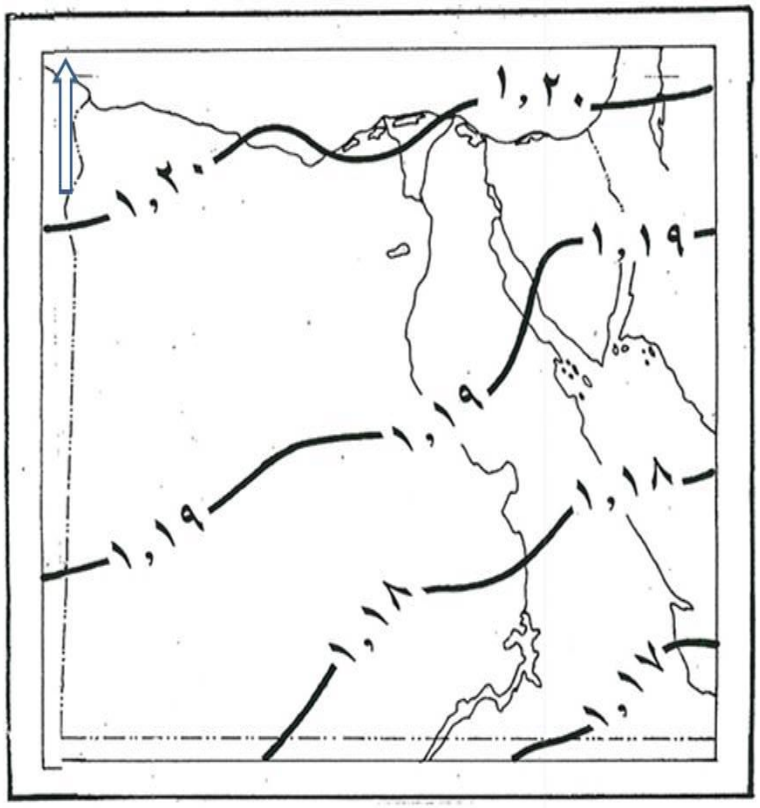
أ)– نظرا لوقوع الجمهورية داخل النطاق شبه المدارى Subtropical Zone لذلك تقع تحت تأثير منظومات الضغط العالي شتاء والمنخفضات الجوية الحرارية واسعة النطاق معظم شهور العام ، مما يحدث انتخابا جغرافيا للضغوط الجوية طويلة المدى التي تؤثر بالتالي على كثافة الهواء في جمهورية مصر العربية .

ويبين الشكل (١) أن خطوط تساوى كثافة الهواء تبدو كمثيلتها للضغط الجوى عملية رياضية طرح في الجنوب الشرقي (كثافة منخفضة) وجمع في الشمال الغربي (كثافة مرتفعة) ويتوقف على مقدار الفرق بينهما مدى سيادة الرياح التجارية المعتدلة الهادئة أو الرياح العكسية العاصفة ، أى تتدرج **الكثافة السنوية** بالاتجاه من الجنوب الشرقى جيرة منخفض السودان الموسمى نحو الشمال الغربى صوب تخوم المرتفع الأوزورى ، لذلك تقل من (١.١٩٩٨ في السلوم ، و ١.٢٠٢٢ في سيدي برانى ، و ١.٢٠٢١ كجم / م^{٣} في مرسى مطروح) على الساحل الشمالي الغربي ، إلى (١.١٨٢٥ في الغردقة ، و ١.١٧٧٨ في القصير ، و ١.١٧٠١ كجم / م^{٣} في رأس بناس) على الساحل الجنوبي الشرقي .

(جدول ٣) متوسط كثافة الهواء في بعض المحطات المناخية لجمهورية مصر العربية (كجم / متر^{٣})

المحطة المناخية	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
السلوم	١,٢٣٢٠	١,٢٢٨٣	١,٢٢٠٥	١,٢٠٦٨	١,١٩٤٦	١,١٧٧٢	١,١٦٧٦	١,١٦٦١	١,١٧٧٤	١,١٩٠٠	١,٢٠٧٣	١,٢٢٥٢	١,١٩٩٨
سيدى براني	١,٢٣٣٨	١,٢٢٩٦	١,٢٢٠٤	١,٢٠٨٩	١,١٩٧٤	١,١٨٠٢	١,١٦٩٦	١,١٦٦٦	١,١٧٧٠	١,١٩٢١	١,٢٠٩٨	١,٢٤٠٥	١,٢٠٢٢
مرسى مطروح	١,٢٣٥١	١,٢٣٣٧	١,٢٢٢٤	١,٢١٠٥	١,١٩٧٤	٦,١٨١٣	١,١٧٠٤	١,١٦٨٠	١,١٧٨١	١,١٩٣٥	١,٢١١٠	١,٢٢٨٢	١,٢٠٢١
الاسكندرية	١,٢٣١٧	١,٢٢٨٤	١,٢١٨٧	١,٢٠٥٤	١,١٩١٥	١,١٧٥٦	١,١٦٤٢	١,١٦٢٤	١,١٧١١	١,١٨٨٧	١,٢٠٦٠	١,٢٢٤٣	١,١٩٨١
دمياط	١,٢٣٤٦	١,٢٣٠٧	١,٢١٨٣	١,٢٠٦٠	١,١٩٢٤	١,١٧٤٢	١,١٦٦٥	١,١٦٤٧	١,١٧٥٣	١,١٨٨٦	١,٢١٠٠	١,٢٢٧١	١,١٩٩٠
العريش	١,٢٣١٦	١,٢٢٩٤	١,٢١٧٨	١,٢٠٢٧	١,١٨٨٩	١,١٧٢٢	١,١٦١٥	١,١٥٨١	١,١٦٩٢	١,١٨٤٠	١,٢٠١١	١,٢٢٢٤	١,١٩٤٨
رفح	١,٢٢٩٧	١,٢٢٠١٥	١,٢١٩١	١,٢٠٤٨	١,١٩٢٤	١,١٧٦٢	١,١٦٣٢	١,١٥٨٩	١,١٧٢٣	١,١٧٩٣	١,٢٠٥١	١,٢٢٦٤	١,١٩٥٦
سخا	١,٢٣٥٢	١,٢٣١٠	١,٢٢٣٠	١,٢٠٢٧	١,١٨٥٧	١,١٧١٥	١,١٦١٨	١,١٦٧٧	١,١٧٤٤	١,١٨٨٢	١,٢٠٥٦	١,٢٢٥٨	١,١٩٨٩
دمنهور	١,٢٣٨٤	١,٢٣٣٨	١,٢٢٢٩	١,٢٠٧٢	١,١٩١٩	١,١٧٤٥	١,١٦٦٤	١,١٦٥٧	١,١٧٧٢	١,١٩٢٩	١,٢١١٧	١,٢٣٠٨	١,٢٠٠٨
طنطا	١,٢٤٠٠	١,٢٣٤١	١,٢٢١٨	١,٢٠٣٣	١,١٨٧٩	١,١٧٢٦	١,١٦٥٧	١,١٦٥٣	١,١٧٥١	١,١٩١٧	١,٢١٥١	١,٢٣٥٧	١,٢٠٠٤
المنصورة	١,٢٣٩٢	١,٢٢٩٤	١,٢٢٣٥	١,٢٠٥٥	١,١٨٨٦	١,١٧١٣	١,١٦٤١	١,١٦٣٧	١,١٧٥٠	١,١٩٠٧	١,٢١٠٣	١,٢٣٣١	١,١٩٩٢
الزقازيق	١,٢٣٤٠	١,٢٢٩٠	١,٢١٧٤	١,٢٠٠٣	١,١٨٣٤	١,١٦٩٠	١,١٦٠٧	١,١٦٠٧	١,١٧١٨	١,١٨٥٢	١,٢٠٥٦	١,٢٢٧٥	١,١٩٥٢
شبين الكوم	١,٢٣٤١	١,٢٢٩٦	١,٢١٦٧	١,١٩٩١	١,١٨٣٦	١,١٦٨٩	١,١٥٩٧	١,١٥٩٦	١,١٧١٠	١,١٨٥٣	١,٢٠٦٠	١,٢٢٦٢	١,١٩٤٩
بنها	١,٢٣٣١	١,٢٢٩٢	١,٢١٦٧	١,١٩٤٦	١,١٨١٤	١,١٦٨٠	١,١٥٩٣	١,١٥٨٧	١,١٧٠١	١,١٨٣٤	١,٢٠٤٥	١,٢٢٦٦	١,١٩٣٦
وادى النطرون	١,٢٣٣٩	١,٢٢٨٥	١,٢١٤٣	١,١٩٧٣	١,١٨٣٥	١,١٦٨١	١,١٦١٢	١,١٥٩٨	١,١٧٢٥	١,١٨٨١	١,٢٠٨٨	١,٢٢٨٠	١,١٩٥٠
القاهرة	١,٢٣٢٦	١,٢٣٢٦	١,٢١٢٣	١,١٩٥٠	١,١٧٨٩	١,١٦٥٤	١,١٥٨٦	١,١٥٩١	١,١٧٥٧	١,١٨٥٠	١,٢٠٦٥	١,٢٢٦٠	١,١٩٢٦
فيتيم	١,٢٣٩٦	١,٢٣٢٤	١,٢١٨٢	١,٢٠١٢	١,١٨٥٠	١,١٦٩٣	١,١٦٣٣	١,١٦٤٨	١,١٧٣٧	١,١٨٩٨	١,٢١٤٥	١,٢٣٥٧	١,١٩٨٩
الجيزة	١,٢٣٨٤	١,٢٣٠٨	١,١٩٥٣	١,١٧٩٥	١,١٧٥٥	١,١٦٢٦	١,١٥٩٠	١,١٥٩٢	١,١٧٠٧	١,١٨٥١	١,٢٠٨٢	١,٢٢٨٨	١,١٩٤٣
الفيوم	١,٢٣٨٦	١,٢٢٩٨	١,٢١٤٧	١,١٩٥٣	١,١٧٨١	١,١٦٢٦	١,١٥٦٦	١,١٥٦٥	١,١٦٧٣	١,١٨٤٢	١,٢٠٧٧	١,٢٣١٩	١,١٩٣١
بنى سويف	١,٢٣٩٩	١,٢٢٨١	١,٢١٢٤	١,١٩٠٩	١,١٧٣٦	١,١٥٩٨	١,١٥٤٤	١,١٥٤٩	١,١٦٤٧	١,١٨٤٤	١,٢٠٩٣	١,٢٣٣٧	١,١٩٥٣
سيوة	١,٢٤١٣	١,٢٣١٠	١,٢٠٥٨	١,١٩٣٢	١,١٧٦٦	١,١٦٠٥	١,١٥٥٧	١,١٥٣٧	١,١٦٩١	١,١٨٩٢	١,٢١٤٨	١,٢٣٤٦	١,١٩٣٠
السويس	١,٢٢٧١	١,٢٢٠٥	١,٢٠٩٦	١,١٩٠٥	١,١٧٦٣	١,١٦٢٠	١,١٥٣٦	١,١٥٣٤	١,١٦٥٧	١,١٨١٦	١,٢٠٠٨	١,٢٢٣٥	١,١٨٨٥
البحرية	١,٢٣٩٢	١,٢٣٠٢	١,٢١٢٢	١,١٨٩٧	١,١٧٤٨	١,١٥٩٤	١,١٥٤٣	١,١٥٤٤	١,١٦٨٠	١,١٨٥٦	١,٢١٢٨	١,٢٣٢٣	١,١٩٢٢
المنيا	١,٢٤١٦	١,٢٣٣٣	١,٢١١٦	١,١٩٣٢	١,١٧٣٤	١,١٦١٥	١,١٥٥٤	١,١٥٥٧	١,١٧٠٢	١,١٨٥٧	١,٢١٠٠	١,٢٣٣٩	١,١٩٣٦
ملوى	١,٢٤٣٠	١,٢٣١٥	١,٢١٥٣	١,١٩٣٦	١,١٧٧٥	١,١٦٥٧	١,١٦٢٣	١,١٦٢٧	١,١٧٤٥	١,١٨٨٤	١,٢٠٩١	١,٢٣٣٤	١,١٩٦٣
الغردقة	١,٢٢٢٢	١,٢١٦٩	١,٢٠٣٦	١,١٨٥٥	١,١٧٠١	١,١٥٤٧	١,١٤٧٥	١,١٤٦٠	١,١٥٨٢	١,١٧٤٨	١,١٩٦٥	١,٢١٦١	١,١٨٢٥
أسيوط	١,٢٣٨٥	١,٢٢٥٨	١,٢٠٩١	١,١٨٦١	١,١٦٧٣	١,١٥٤٥	١,١٥٢٢	١,١٥٢٦	١,١٦٥٢	١,١٨١١	١,٢٠٧٠	١,٢٢٨٦	١,١٨٧٩
سوهاج	١,٢٣٢٨	١,٢٣٢٢	١,٢٠٨٨	١,١٨٣٧	١,١٦٥٤	١,١٥٤٧	١,١٥٢٠	١,١٤٨٢	١,١٦٦٢	١,١٧٧٤	١,٢٠٤٠	١,٢٢٦٥	١,١٨٦٣
الفرافرة	١,٢٤٠٢	١,٢٣١٦	١,٢١٢٦	١,١٨٩٦	١,١٧٥٩	١,١٦٠١	١,١٥٥٦	١,١٥٦٠	١,١٦٨٢	١,١٨٦٣	١,٢١١٥	١,٢٣٤٩	١,١٩٢٦
القصير	١,٢١١٥	١,٢٠٨٥	١,١٩٧١	١,١٨٠٩	١,١٦٧٢	١,١٥٣٧	١,١٤٧٧	١,١٤٦٧	١,١٥٦٩	١,١٧١١	١,١٨٧٢	١,٢٠٥٨	١,١٧٧٨
قنا	١,٢٢٨١	١,٢١٨٧	١,٢٠٠٠	١,١٧٦١	١,١٥٨٢	١,١٤٧٢	١,١٤٢٩	١,١٤٣٤	١,١٥٤٤	١,١٧٠٠	١,١٩٥٩	١,٢١٩٣	١,١٧٨٥
الداخلة	١,٢٤١٩	١,٢٣٢٦	١,٢١١٧	١,١٨٦٠	١,١٦٩٥	١,١٥٣٧	١,١٥٠١	١,١٥١٩	١,١٦٥٠	١,١٨٢٩	١,٢١٠٣	١,٢٣٤٥	١,١٩٠١
الخارجة	١,٢٣٢٥	١,٢٢١٧	١,٢٠١٢	١,١٧٧١	١,١٥٩٨	١,١٤٥٨	١,١٤٤٣	١,١٤٥٢	١,١٥٧٢	١,١٦٩٩	١,٢٠٠٤	١,٢٢٤٨	١,١٨١٠
رأس بناس	١,٢٠٧٧	١,٢٠٢٠	١,١٨٩١	١,١٧٣٧	١,١٥٨٦	١,١٤٣٢	١,١٣٩٥	١,١٣٨٢	١,١٤٦٨	١,١٦٤٨	١,١٨٢٥	١,٢٠١٧	١,١٧٠١
أسوان	١,٢٢٤٨	١,٢١٣٦	١,١٩٣٥	١,١٧٤٤	١,١٥٤٥	١,١٤٠٧	١,١٣٨٢	١,١٣٩١	١,١٥٠٤	١,١٦٦٥	١,١٩٤٥	١,٢١٧٨	١,١٧٤٩
	١,٢٣٢٦	١,٢٢٦٧	١,٢١٢٩	١,١٩٤٥	١,١٧٨٩	١,١٦٤٠	١,١٥٧٣	١,١٥٧٢	١,١٦٨٠	١,١٨٣٦	١,٢٠٥٨	١,٢٢٧٢	١,١٩٢٣

الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامي ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .



(شكل ١) المعدلات السنوية لكثافة الهواء السطحى

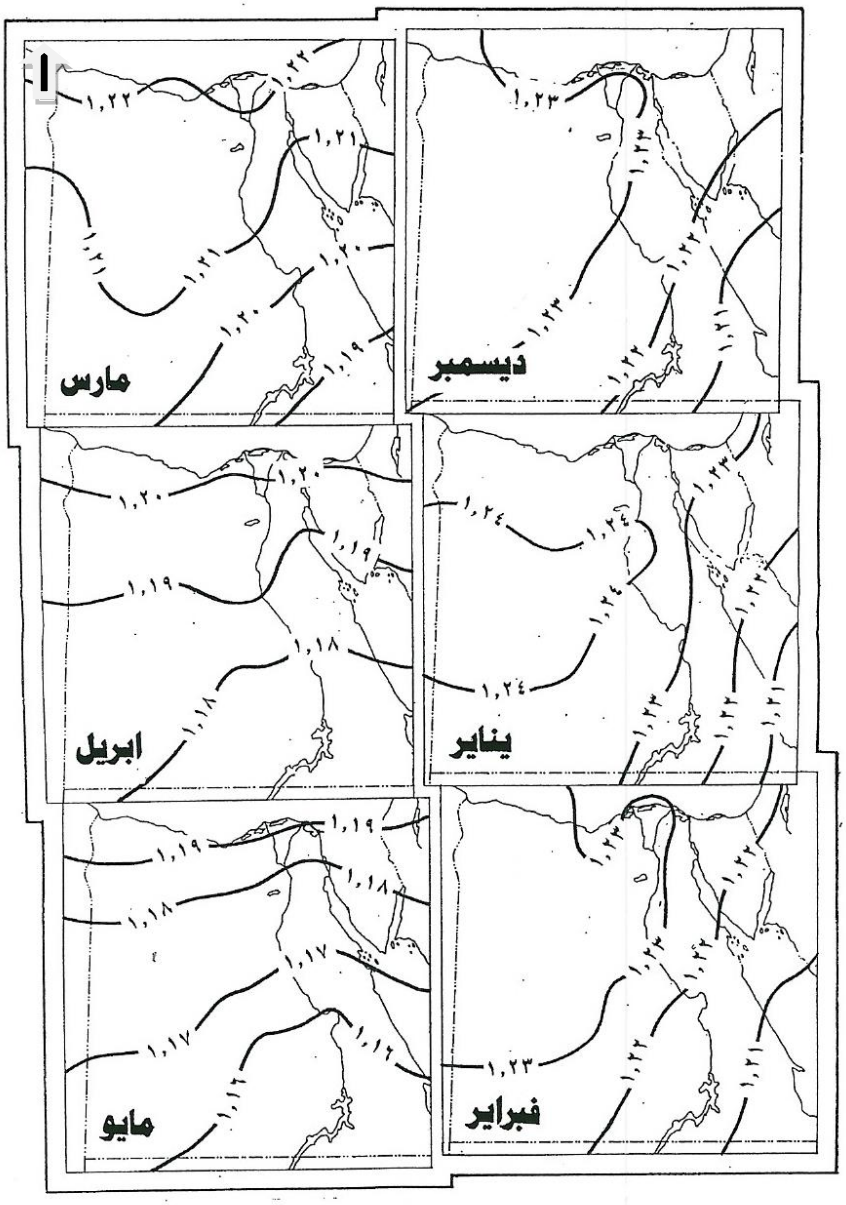
فى جمهورية مصر العربية (كجم / م^{٣})

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٣

(جدول ٤) متوسط كثافة الهواء وقت أعلى درجة حرارة في بعض محطات الجمهورية (كجم / متر^{٣})

المحطة المناخية	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
السلوم	١,٢٠٧٧	١,٢٠٢٩	١,١٩٤٩	١,١٨٢٤	١,١٧٠٠	١,١٥٣٩	١,١٤٥٧	١,١٤٤٨	١,١٥٥٣	١,١٦٨٠	١,١٨٧٧	١,٢٠١٥	١,١٧٧٠
سيدى براني	١,٢١١٤	١,٢٠٧١	١,١٩٩٦	١,١٨٨٣	١,١٧٨٧	١,١٦٣١	١,١٥٥٨	١,١٥٢٢	١,١٦٠٣	١,١٧١٥	١,١٨٨٣	١,٢٠٤٧	١,١٨١٧
مرسى مطروح	١,٢١١٠	١,٢٠٦٣	١,١٩٨٣	١,١٨٥٧	١,١٧٤١	١,١٥٩٤	١,١٥١٦	١,١٤٩٢	١,١٥٨٢	١,١٦٩٠	١,١٨٧٦	١,٢٠٣٧	١,١٧٩٥
الإسكندرية	١,٢٠٨٨	١,٢٠٣٨	١,١٩٤١	١,١٨١٧	١,١٦٨٣	١,١٥٧٠	١,١٤٩١	١,١٤٥٦	١,١٥٣٧	١,١٦٥٧	١,١٨٣٠	١,١٩٩٧	١,١٧٥٨
دمياط	١,٢٠٩٤	١,٢٠٧١	١,١٩٧٦	١,١٨٤١	١,١٦٩٤	١,١٥٦٣	١,١٤٧٣	١,١٤٤٨	١,١٥٥٥	١,١٦٦٦	١,١٨٤٢	١,٢٠٢٠	١,١٧٦٨
العريش	١,٢٠٥٢	١,٢٠١٠	١,١٩٣٨	١,١٨٠٥	١,١٦٦٨	١,١٥٥٢	١,١٤٤٧	١,١٤٢٦	١,١٥١٨	١,١٦٠٨	١,١٧٧٨	١,١٩٥٢	١,١٧٢٨
رفح	١,٢٠٠٦	١,١٩٢٣	١,١٩٢٨	١,١٧٩٥	١,١٦٧٥	١,١٥٣٦	١,١٤٣١	١,١٤٠٦	١,١٤٩٤	١,١٥٩٨	١,١٨١٧	١,٢٠١٨	١,١٧١٨
سخا	١,٢٠٥١	١,١٩٨٩	١,١٩٢١	١,١٦٩١	١,١٥٣٤	١,١٤١٦	١,١٣٥٨	١,١٣٥٥	١,١٤٦٢	١,١٥٨٣	١,١٧٧٦	١,١٩٥٦	١,١٦٧٣
دمنهور	١,٢٠٤٩	١,٢٠٠١	١,١٨٩٣	١,١٧١٥	١,١٥٦٧	١,١٤٦٦	١,١٤٠٨	١,١٤٠٤	١,١٤٧٧	١,١٥٩٦	١,١٧٩١	١,١٩٧٣	١,١٦٩٦
طنطا	١,٢٠٨٧	١,٢٠٠٧	١,١٨٧٨	١,١٦٢١	١,١٥٢٥	١,١٣٩٣	١,١٣٧٤	١,١٣٦٥	١,١٤١٦	١,١٥٨٥	١,١٨٥٣	١,٢٠٣٧	١,١٦٨٧
المنصورة	١,٢٠٧٣	١,١٩٩٤	١,١٨٧٣	١,١٦٧٩	١,١٥١٧	١,١٣٧٤	١,١٢٥٢	١,١٢٩٦	١,١٤٠٥	١,١٥٥٤	١,١٧٦٨	١,١٩٧٨	١,١٦٥٠
الزقازيق	١,٢٠٤٦	١,١٩٨١	١,١٨٦٢	١,١٦٧١	١,١٥١٤	١,١٣٨١	١,١٣١٧	١,١٣٢٠	١,١٤٣١	١,١٥٦١	١,١٧٧٦	١,١٩٧٤	١,١٦٤٩
شبين الكوم	١,٢٠٥٧	١,١٩٩٣	١,١٨٥٧	١,١٦٨٦	١,١٥١٠	١,١٣٨١	١,١٣٣١	١,١٣٢٩	١,١٤٢٨	١,١٥٧٠	١,١٧٧٨	١,١٩٧٥	١,١٦٥٣
بنها	١,٢٠٦٩	١,٢٠٠٥	١,١٨٨٢	١,١٦٧٧	١,١٥٠٨	١,١٣٩٠	١,١٣١٨	١,١٣٣٢	١,١٤٥٢	١,١٥٦٣	١,١٧٨٤	١,١٩٩٧	١,١٦٦٠
وادى النطرون	١,٢٠٣٨	١,١٩٧٤	١,١٨٢٥	١,١٦٢٢	١,١٤٦٩	١,١٣٢٩	١,١٢٦٧	١,١٢٥٧	١,١٣٨٨	١,١٥٥١	١,١٧٦٩	١,١٩٧٢	١,١٦١٨
القاهرة	١,٢٠٨٢	١,٢٠٠٠	١,١٨٥٢	١,١٦٤٤	١,١٤٨٨	١,١٣٥٧	١,١٢٩٧	١,١٣٢٠	١,١٤٤٣	١,١٥٨٤	١,١٨٠١	١,٢٠١٠	١,١٦٥٢
بهتيم	١,٢٠٨٧	١,١٩٦٥	١,١٨٨٧	١,١٥٠٤	١,١٣٦٩	١,١٣٥٦	١,١٣٥٤	١,١٣٥٤	١,١٤٢٦	١,١٥٨٩	١,١٨٣٦	١,٢٠٢٣	١,١٦٦٩
الجيزة	١,٢٠٤٢	١,١٩٦٨	١,١٨٢٧	١,١٦٣٦	١,١٤٧٨	١,١٣٦٠	١,١٢٨٥	١,١٣٠٥	١,١٤٣٥	١,١٥٥٣	١,١٧٦٢	١,١٩٧٢	١,١٦٣٢
الفيوم	١,٢٠٢٥	١,١٩٣٥	١,١٧٨٨	١,١٥٧٧	١,١٤١٨	١,١٣٠٠	١,١٢١٧	١,١٢٢٦	١,١٣٨٤	١,١٥٠٨	١,١٧٤٠	١,١٩٥٣	١,١٥٨٤
بنى سويف	١,٢٠٦٢	١,١٩٤٦	١,١٨٠٨	١,١٥٩٢	١,١٤٤١	١,١٣٠٣	١,١٢٥٧	١,١٢٦١	١,١٣٦٩	١,١٥٤٧	١,١٧٩٧	١,١٩٩٨	١,١٦١١
سيوة	١,٢٠٦٨	١,١٩٦٨	١,١٨٢١	١,١٦٠٣	١,١٤٣١	١,١٢٨٣	١,١٢٣١	١,١٢٣٨	١,١٣٧٣	١,١٥٤٠	١,١٧٨١	١,١٩٩٥	١,١٦٠٣
السويس	١,٢٠٤٤	١,١٩٤٧	١,١٨٤٦	١,١٦٢٩	١,١٥٠٥	١,١٣٧١	١,١٣٠١	١,١٢٩٤	١,١٤٣٨	١,١٥٧٨	١,١٨٠١	١,١٩٩٣	١,١٦٤٤
البحرية	١,٢٠٤٨	١,١٩٤٠	١,١٧٨٥	١,١٥٧٤	١,١٣٩٨	١,١٢٧٨	١,١٢٣٣	١,١٢٤١	١,١٣٦٨	١,١٥٢٢	١,١٧٥٦	١,١٩٧٥	١,١٥٨٨
المنيا	١,٢٠٣٧	١,١٩٢٨	١,١٧٦٦	١,١٥٣٨	١,١٣٧٦	١,١٢٧٦	١,١٢٢٥	١,١٢٣٢	١,١٣٧٦	١,١٥٠٢	١,١٧٢٩	١,١٩٥٥	١,١٥٧٥
ملوى	١,٢٠٢٧	١,١٨٩٦	١,١٧٣٢	١,١٥٢٢	١,١٣٩٥	١,١٢٨٤	١,١٢٧٩	١,١٣٠٢	١,١٤٠١	١,١٥٠٥	١,١٧١٠	١,١٩٥٦	١,١٥٨٢
الغردقة	١,١٩٩٣	١,١٩٥٥	١,١٨٣٣	١,١٦٧٣	١,١٥٢٨	١,١٤١١	١,١٣٥٠	١,١٣٤٥	١,١٤٤٨	١,١٥٧١	١,١٧٤٤	١,١٩١٧	١,١٦٤٧
أسيوط	١,٢٠١٥	١,١٩١٧	١,١٧٣٧	١,١٥٠٢	١,١٣٤٢	١,١٢٣٠	١,١٢٣١	١,١٢٣٠	١,١٣٤٣	١,١٥١٦	١,١٧٣٩	١,١٩٥٠	١,١٥٥٥
سوهاج	١,١٩٩٣	١,١٨٨٣	١,١٧٣٣	١,١٤٧٤	١,١٣١١	١,٢٢٦	١,١٢١٠	١,١٠٨١	١,١٣٥٦	١,١٤٤٣	١,١٧١٠	١,١٩١٩	١,١٥٢٣
القرافرة	١,٢٠٦١	١,١٩٥٨	١,١٧٨١	١,١٥٦٩	١,١٤٣١	١,١٢٩٣	١,١٢٧٧	١,١٢٧٦	١,١٣٩٩	١,١٥٦٦	١,١٨١٩	١,٢٠٢٧	١,١٦١١
القصير	١,١٩٣٠	١,١٩٠٠	١,١٧٩٨	١,١٦٥١	١,١٥٢٠	١,١٤٠٧	١,١٣٤٥	١,١٣٣٦	١,١٤٢٥	١,١٥٣٩	١,١٦٩٨	١,١٨٦٤	١,١٦١٧
قنا	١,١٩١٧	١,١٧٩٦	١,١٥٩٣	١,١٣٧٧	١,١٢٢١	١,١١١٩	١,١٠٩٤	١,١١٩٧	١,١٠٩٤	١,١٣٤٧	١,١٥٩٢	١,١٨٤٢	١,١٤٢٣
الداخلة	١,١٩٩٠	١,١٨٨٤	١,١٦٩٩	١,١٤٨١	١,١٣٢٠	١,١٢١٧	١,١١٩٩	١,١٢٠٦	١,١٣٣٤	١,١٤٩٤	١,١٧٠٩	١,١٩٩٥	١,١٥٣٢
الخارجة	١,١٩٥٤	١,١٨٥٢	١,١٦٦٢	١,١٤٥٤	١,١٢٨١	١,١١٩١	١,١١٦٢	١,١١٧٠	١,١٢٩٣	١,١٤٢٧	١,١٦٦٠	١,١٨٨١	١,١٤٩٣
رأس بناس	١,١٨٠٢	١,١٧٣٧	١,١٦٢٣	١,١٤٦٤	١,١٣٢٦	١,١١٨٧	١,١١٥٨	١,١١٣٣	١,١٢٢٥	١,١٣٦٢	١,١٥٧٥	١,١٧٣٧	١,١٤٣٨
أسوان	١,١٨٨٦	١,١٧٧١	١,١٥٧٦	١,١٣٦٧	١,١٢٢٤	١,١٠٧٨	١,١٠٧٤	١,١٠٧٨	١,١١٥٨	١,١٣٠٦	١,١٥٩٠	١,١٨١٥	١,١٤٠٤
	١,٢٠٣١	١,١٩٥١	١,١٨٢٤	١,١٦٣٧	١,١٤٨٧	١,١٣٦٢	١,١٣٠٨	١,١٣٠٢	١,١٤١٤	١,١٥٤٨	١,١٧٦٤	١,١٩٦١	١,١٦٢٩

الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامي ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .



(شكل ٢) معدلات كثافة الهواء السطحي

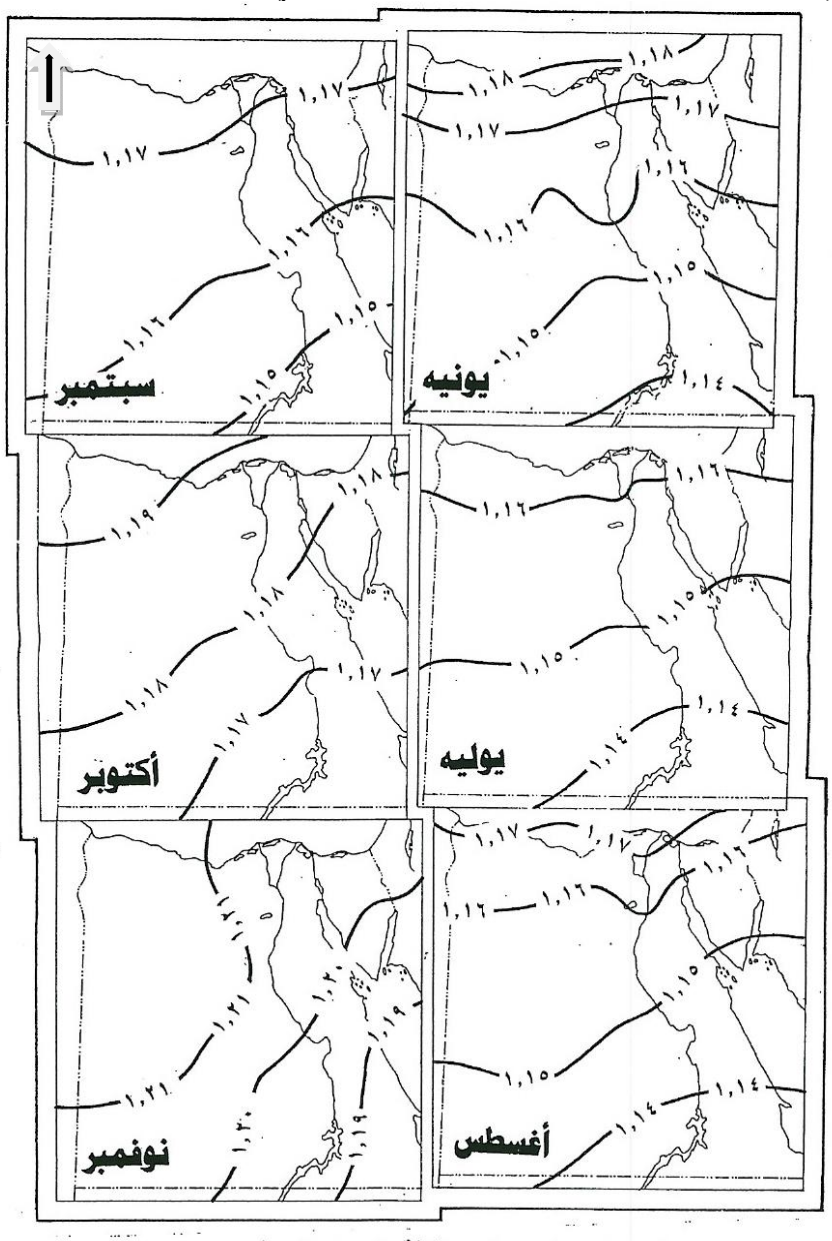
في جمهورية مصر العربية في شهور الشتاء والربيع (كجم / م^{3})

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٣

(جدول ٥) متوسط كثافة الهواء وقت أدنى درجة حرارة في بعض محطات الجمهورية (كجم / متر^{٣})

المحطة المناخية	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
السلوم	١,٢٥١٣	١,٢٤٦٤	١,٢٣٩٩	١,٢٢٦٣	١,٢١٣١	١,١٩٦٣	١,١٨٦١	١,١٨٣٦	١,١٩٤٨	١,٢٠٧٨	١,٢٢٤٢	١,٢٤٤٢	١,٢١٥١
سيدى برانى	١,٢٥٥٥	١,٢٥٢١	١,٢٤٣٥	١,٢٢٩٥	١,٢١٦٨	١,١٩٧٩	١,١٨٣٥	١,١٨١٣	١,١٩٥١	١,٢١١٩	١,٢٣١٥	١,٢٤٨٤	١,٢٢٠٨
مرسى مطروح	١,٢٥٥٥	١,٢٥٣٣	١,٢٤٤٤	١,٢٣٣٣	١,٢٢١٣	١,٢٠٢٢	١,١٨٩٦	١,١٨٦٠	١,١٩٨٠	١,٢١٣٨	١,٢٣٢٣	١,٢٤٧٩	١,٢٢٣١
الإسكندرية	١,٢٥٢٠	١,٢٤٩٨	١,٢٤١٥	١,٢٢٨٤	١,٢١٣٣	١,١٩٣٩	١,١٨٢٤	١,١٧٨٩	١,١٩١٦	١,٢١٠٥	١,٢٢٧٦	١,٢٤٤٣	١,٢١٧١
دمياط	١,٢٥٥٠	١,٢٥٢٠	١,٢٣٩٩	١,٢٢٥٦	١,٢١١٢	١,١٩٥٤	١,١٨٥٩	١,١٨٤٦	١,١٩٥٧	١,٢٠٦٢	١,٢٢٣٤	١,٢٤٤٩	١,٢١٨٥
العريش	١,٢٥٤٩	١,٢٥٠٧	١,٢٤١٤	١,٢٢٧٤	١,٢١٤٦	١,١٩٩٦	١,١٨٥٤	١,١٨٢١	١,١٩٤٥	١,٢٠٨٢	١,٢٢٧٥	١,٢٤٧٤	١,٢١٩٧
رفح	١,٢٥٨١	١,٢٤٨٨	١,٢٤٧٠	١,٢٣٠٥	١,٢٢٠٠	١,٢٠١٨	١,١٨٩٠	١,١٨٥٢	١,٢٠٠٨	١,٢٠٩٩	١,٢٣٣٠	١,٢٥١٦	١,٢٢٢٨
سخا	١,٢٦٤٦	١,٢٦٢٨	١,٢٥٤٤	١,٢٣٨٩	١,٢٢٤٣	١,٢٠٧٩	١,١٩٥٩	١,١٩٧٩	١,٢٠٦٥	١,٢١٩٨	١,٢٣٥٦	١,٢٣٥٣	١,٢٣٠٣
دمنهور	١,٢٥٨٩	١,٢٥٧١	١,٢٤٧٣	١,٢٣٣٣	١,٢١٨٨	١,٢٠٢١	١,١٩٠٨	١,١٨٨٥	١,٢٠٠٣	١,٢١٤٠	١,٢٣٠٣	١,٢٥٠٠	١,٢٢٤٣
طنطا	١,٢٦٦٠	١,٢٦٥٧	١,٢٥٢٢	١,٢٤٠٥	١,٢٢٥٥	١,٢٠٨٣	١,١٩٦٥	١,١٩٥١	١,٢٠٦٣	١,٢٢١٨	١,٢٤٠٠	١,٢٤٧٧	١,٢٣١١
المنصورة	١,٢٦٣٦	١,٢٦٠٦	١,٢٤٨٨	١,٢٣٥٠	١,٢١٨١	١,٢٠١٨	١,١٨٩٦	١,١٨٩٣	١,٢٠٠٤	١,٢١٣٣	١,٢٢٩٥	١,٢٤٠٨	١,٢٢٥١
الزقازيق	١,٢٦٤٨	١,٢٦١٤	١,٢٤٩٦	١,٢٣٤٩	١,٢١٨١	١,٢٠١٨	١,١٩٠٥	١,١٨٩٩	١,٢٠٢١	١,٢١٤٨	١,٢٣٣١	١,٢٤٣٠	١,٢٢٦٠
شبين الكوم	١,٢٦٤٠	١,٢٥٦٢	١,٢٥٠٣	١,٢٣٥٩	١,٢١٩٦	١,٢٠٢٧	١,١٩٠٣	١,١٩٠٣	١,٢٠٣٠	١,٢١٦٩	١,٢٣٤٥	١,٢٥٤١	١,٢٢٦٥
بنها	١,٢٦٠٢	١,٢٥٧٧	١,٢٤٨١	١,٢٣١١	١,٢١٥٤	١,١٩٩٨	١,١٨٩٥	١,١٨٧٢	١,١٩٨٥	١,٢١٢٦	١,٢٣٠٥	١,٢٥٣٢	١,٢٢٣٣
وادى النطرون	١,٢٦٠٩	١,٢٥٦٢	١,٢٤٧٦	١,٢٣١٢	١,٢١٦٢	١,٢٠٠٢	١,١٩٠٤	١,١٨٨٤	١,٢٠٠٨	١,٢١٦٥	١,٢٣٤٥	١,٢٥٢٥	١,٢٢٤٤
القاهرة	١,٢٥٤٩	١,٢٥٠٠	١,٢٣٩١	١,٢٢٤١	١,٢٠٩٥	١,١٩٤٤	١,١٨٣٢	١,١٨٣١	١,١٩٣٤	١,٢٠٩١	١,٢٣٠٠	١,٢٤٧٤	١,٢١٨١
بهتيم	١,٢٧١٣	١,٢٦٩٢	١,٢٥٧٤	١,٢٤١٨	١,٢٢٧٠	١,٢٠٨٩	١,١٩٧٦	١,١٩٧٩	١,٢١٠١	١,٢٢٤٨	١,٢٤٦٦	١,٢٦٢٨	١,٢٣٤٥
الجيزة	١,٢٦٦٩	١,٢٦٢٠	١,٢٥٠٧	١,٢٣٣٣	١,٢١٦٩	١,٢٠٠١	١,١٨٨٢	١,١٨٧٧	١,٢٠٠٩	١,٢١٦٢	١,٢٣٧٤	١,٢٥٧٨	١,٢٢٦٠
الفيوم	١,٢٦٨٥	١,٢٦٠٤	١,٢٤٧٥	١,٢٢٨٨	١,٢١١١	١,١٩٦٩	١,١٨٦٧	١,١٨٥٦	١,١٩٧٧	١,٢١٢٦	١,٢٣٣٦	١,٢٥٦٢	١,٢٢٣٣
بنى سويف	١,٢٧٠٦	١,٢٦٢٠	١,٢٤٧٥	١,٢٢٦٦	١,٢١٠٢	١,١٩٥٠	١,١٩٢١	١,١٨٥٦	١,١٩٤١	١,٢١٥٤	١,٢٣٧٢	١,٢٦٠٨	١,٢٣١٩
سيوة	١,٢٧٥١	١,٢٦٧٥	١,٢٥٣٨	١,٢٣٣١	١,٢١٤٢	١,١٩٩٧	١,١٩٠٧	١,١٩٠٤	١,٢٠٣٨	١,٢٢٣٤	١,٢٤٧٨	١,٢٦٧٠	١,٢٢٩٩
السويس	١,٢٤٤٢	١,٢٣٨٧	١,٢٢٩١	١,٢١٣٠	١,١٩٨٦	١,١٨٢٣	١,١٧٣٤	١,١٧١٢	١,١٨١٤	١,١٩٧٤	١,٢١٥٨	١,٢٣٨٠	١,٢٠٦٩
البحرية	١,٢٧٤٦	١,٢٦٦٤	١,٢٥٢٦	١,٢٣٠٦	١,٢٠٩٦	١,١٩٦٧	١,١٨٩٠	١,١٨٧٩	١,١٩٩٦	١,٢١٦٨	١,٢٤١١	١,٢٦٥٨	١,٢٢٧٢
المنيا	١,٢٧٨٧	١,٢٧٠٨	١,٢٥٥٧	١,٢٣٣٥	١,٢١٢٥	١,١٩٨٢	١,١٨٩٧	١,١٨٨٥	١,٢٠٠١	١,٢١٨٢	١,٢٤٠٢	١,٢٦٥٥	١,٢٢٨٨
ملوى	١,٢٨٣٩	١,٢٧٥٠	١,٢٥٨٩	١,٢٣٥٦	١,٢١٧١	١,٢٠٢١	١,١٩٤١	١,١٩٤٠	١,٢٠٦٥	١,٢٢٤٧	١,٢٤٦١	١,٢٧١٢	١,٢٣٣٥
الغردقة	١,٢٥١٥	١,٢٤٨٥	١,٢٣٢٧	١,٢١٣٧	١,١٩٣٤	١,١٧٦٥	١,١٦٦٨	١,١٦٦٢	١,١٧٨٩	١,١٩٨٤	١,٢٢٠٢	١,٢٤٢٠	١,٢٠٧٣
أسيوط	١,٢٦٤٦	١,٢٦٠٧	١,٢٤٥١	١,٢٢١٦	١,٢٠٢٧	١,١٨٩٢	١,١٨٢٢	١,١٨٢٣	١,٢١٠٨	١,٢٣٦٠	١,٢٣٧٩	١,٢٥٧٩	١,٢٢٠١
سوهاج	١,٢٦٩٤	١,٢٥٩٣	١,٢٤٤٧	١,٢٢١٦	١,٢٠١٤	١,١٨٧٩	١,١٨٢٦	١,١٨٦٢	١,١٩٦٩	١,٢١٣٤	١,٢٣٧٤	١,٢٦٠٧	١,٢٢١٥
الفرافرة	١,٢٨٠٤	١,٢٧٣١	١,٢٥٤٣	١,٢٣٠٠	١,٢١٥٢	١,١٩٨٧	١,١٩١٥	١,١٩١٦	١,٢٠٣٥	١,٢٢٣٨	١,٢٤٩١	١,٢٧٤١	١,٢٣١٤
القصير	١,٢٣٣٥	١,٢٢٩٩	١,٢١٨١	١,٢٠٠٨	١,١٨٤٧	١,١٧٠٩	١,١٦٣٨	١,١٦١٩	١,١٧٢٨	١,١٨٦١	١,٢٠٥١	١,٢٢٤١	١,١٩٥٦
قنا	١,٢٦٥٦	١,٢٥٨٧	١,٢٤٠٣	١,٢١٦١	١,١٩٤٢	١,١٨١٨	١,١٧٤٤	١,١٧٤٩	١,١٨٥١	١,٢٠٣١	١,٢٣٠٣	١,٢٥٤٤	١,٢١٤٠
الداخلة	١,٢٧٨٦	١,٢٧٠٣	١,٢٤٦٦	١,٢٢٦٩	١,٢٠١٤	١,١٨٦٨	١,١٨١١	١,١٨٢٥	١,١٩٤٥	١,٢١٣٩	١,٢٤١٦	١,٢٦٩٧	١,٢٢٣٧
الخارجة	١,٢٦٩٩	١,٢٦٢٢	١,٢٣٥٥	١,٢١٧٩	١,١٩٣١	١,١٨١٦	١,١٧٨٠	١,١٨٠١	١,١٨٩٢	١,٢٠٦٤	١,٢٣٣٢	١,٢٦٠١	١,٢١٦٩
رأس بناس	١,٢٣٧٠	١,٢٣٥٣	١,٢٢٢٣	١,٢٠٥٨	١,١٩١٧	١,١٧٥٧	١,١٧٢١	١,١٦٨٧	١,١٧٦٢	١,١٩٤٨	١,٢٠٩٩	١,٢٢٨٤	١,٢٠١٢
أسوان	١,٢٥٨٨	١,٢٥٠٧	١,٢٣٣٢	١,٢٠٨٦	١,١٩١٧	١,١٧٦٣	١,١٧١٣	١,١٧١٨	١,١٨٤٣	١,٢٠٠٧	١,٢٢٥٩	١,٢٥٠٧	١,٢١٠٣
	١,٢٦٢٤	١,٢٥٧٢	١,٢٤٤٦	١,٢٢٧١	١,٢١٠٣	١,١٩٤٦	١,١٨٥٣	١,١٨٤٢	١,١٩٥٨	١,٢١١٧	١,٢٣٢٣	١,٢٥٢٦	١,٢٢١٤

الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامي ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .



(شكل ٣) معدلات كثافة الهواء السطحي

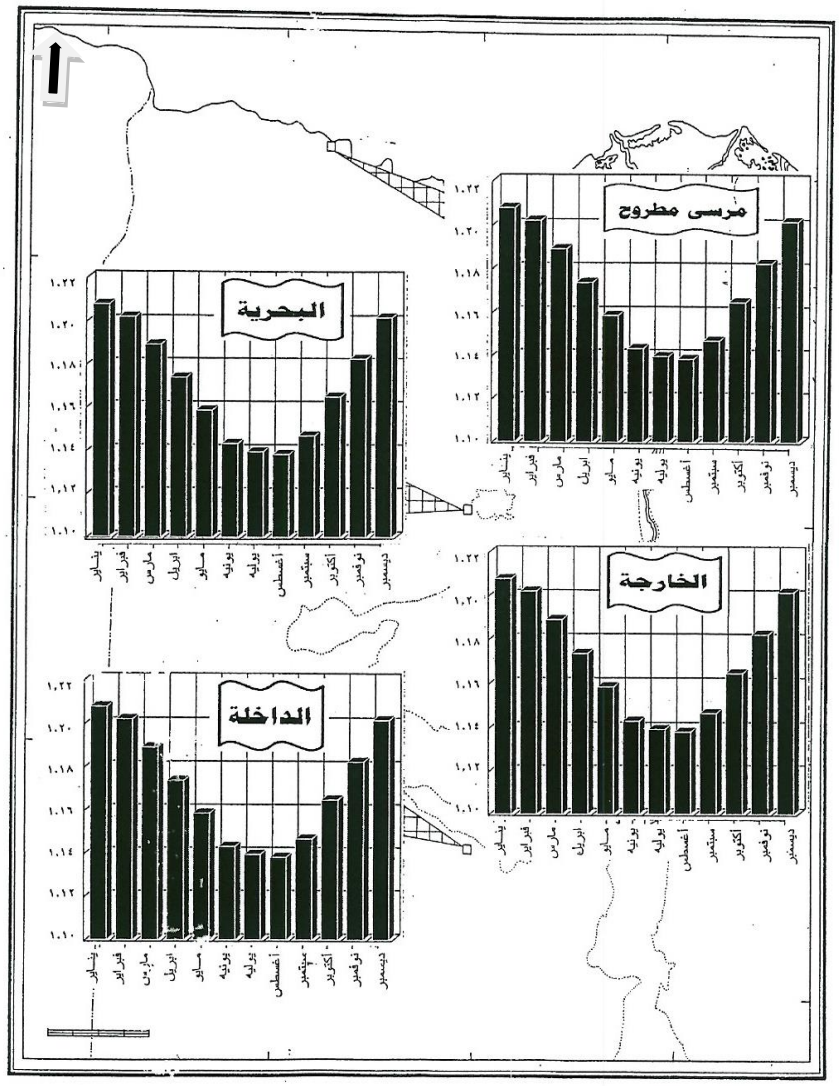
في جمهورية مصر العربية خلال شهور الصيف والخريف (كجم / م^{3})

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٣

ب)- يشهد فصل **الشتاء** ارتفاعا في كثافة الهواء في جمهورية مصر العربية ، نظرا لانخفاض درجات حرارة الطبقة الهوائية السطحية بسبب ميل زاوية ارتفاع الشمس ، كما يرجع ذلك إلى ارتفاع الضغط الجوى فوق الأراضي المصرية وشبه الجزيرة العربية والأراضي الإيرانية .

وتتمدد في هذا الفصل مراكز الضغط الجوى المرتفعة ذات الكثافة العالية بانتظام واطراد من المناطق الباردة إلى المناطق الحارة ، أي من العروض المعتدلة الباردة والدفيئة صوب العروض شبه المدارية والمدارية ، لتعود عملية إعادة توزيع الكثافة والأثقال والأوزان لعمود الهواء بين نصفي الكرة الأرضية ، وقد أدى هذا الأمر إلى قلة الفروقات الإقليمية في كثافة الهواء بين شمالي وجنوبي الجمهورية ، في حين زادت بين شرقي وغربي الجمهورية ، إلا أنها بصفة عامة تتدرج من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي حيث تقل في شهر يناير من (١.٢٣٢٠ في السلوم ، و ١.٢٣٣٨ في سيدي برانى ، و١.٢٣٥١ كجم / م^{٣} في مرسى مطروح) على الساحل الشمالي الغربي ، إلى (١.٢٢٢٢ في الغردقة ، و١.٢١١٥ في القصير ، و١.٢٠٧٧ كجم / م^{٣} في رأس بناس) على الساحل الجنوبي الشرقي (شكل ٢) .

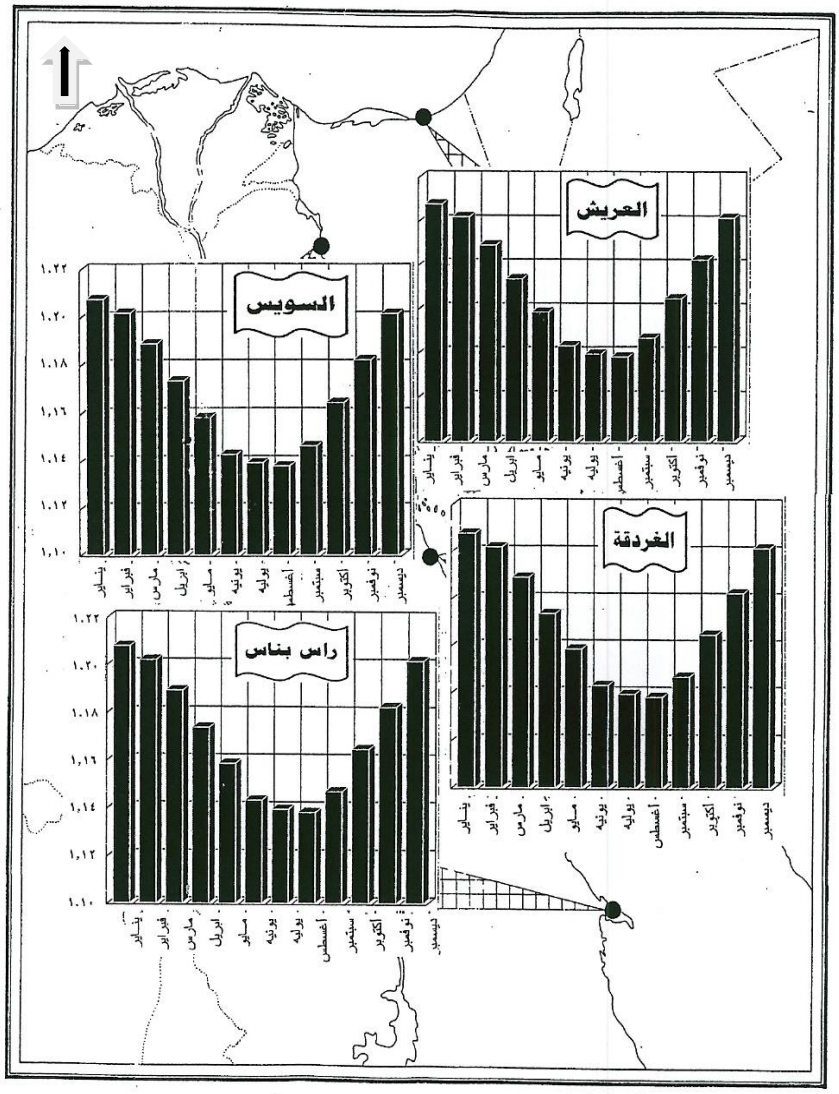
جـ)- في فصل **الربيع** تقل نوعا كثافة الهواء وضغطه على الأراضي المصرية نظرا لارتفاع درجات الحرارة عن الفصل السابق ، كما يرجع ذلك إلى تراجع مراكز الضغط الجوي المرتفعة في هذا الفصل ، حيث ينحسر الضغط الجوى الأوزورى مرتفع الكثافة عن حوض البحر المتوسط ، في الوقت الذي تعمل فيه الضغوط الجوية المدارية الحرارية العالمية والإقليمية التي تقل فيها كثافة الهواء كثيرا (مثل منخفض الهند الموسمي على صحراء ثار ، ومنخفض السودان الموسمي على شمال شرق السودان) كجبهة مدية زاحفة بقوة وإيقاع شديدة ليعما الخليج العربي والبحر الأحمر على الترتيب ، كما تتكون منخفضات حرارية صحراوية محلية على الصحراء الغربية بسبب البعد الجغرافي عن المسطحات المائية .



(شكل ٤) كثافة الهواء (كجم / م٣)

في محور الصحراء الغربية المصرية

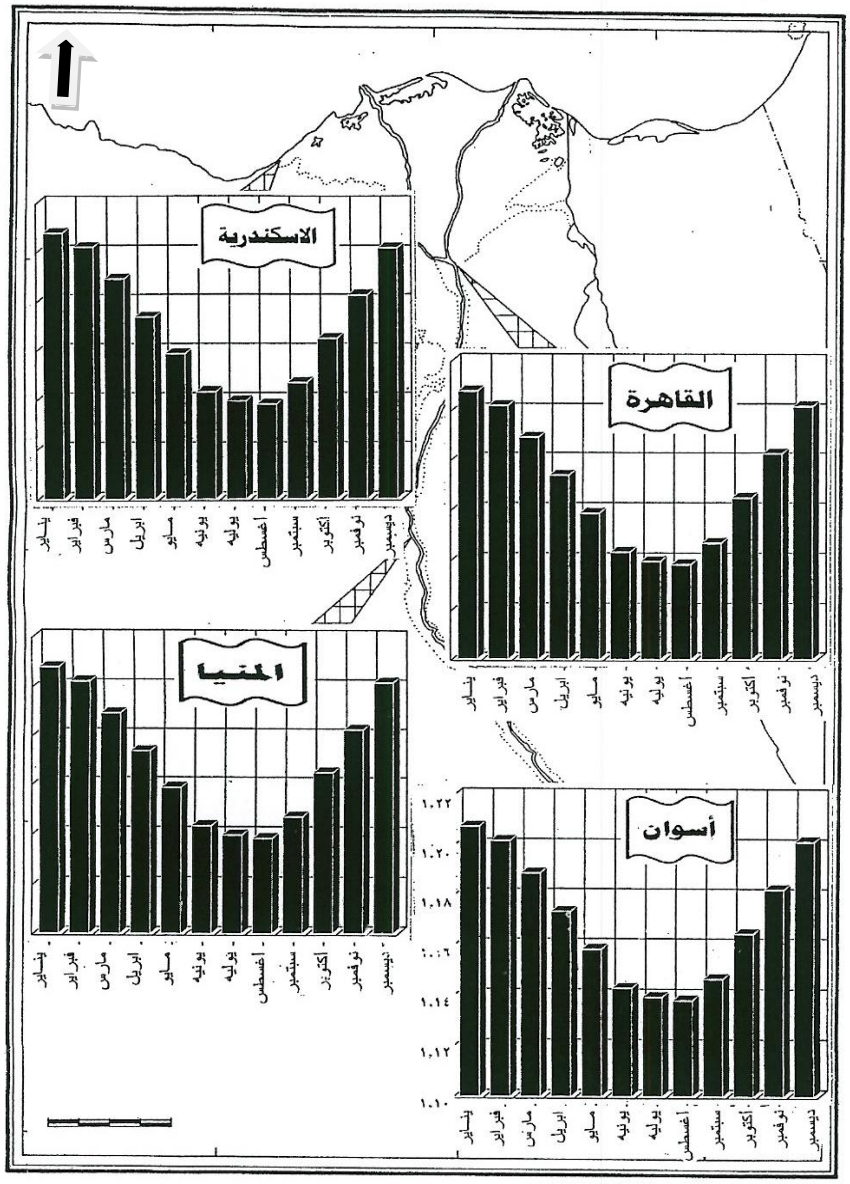
من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٣



(شكل ٥) كثافة الهواء (كجم / م٣)

في محور سيناء والساحل الشرقي لمصر

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٣



(شكل ٦) كثافة الهواء (كجم / م٣)

في محور وادي النيل ودلتاه ومنخفض الفيوم

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٣

أنها إذن ذبذبة مزدوجة في الزمان وللمكان لأحواض الضغوط المدارية الحرارية قليلة الكثافة – منخفضا السودان الموسمي والهند الموسمي – بل لعلهما جانبان لشيء واحد تؤدى إلى زيادة في تدرج كثافة الهواء وضغطه نحو الشرق والجنوب الشرقي ، لذلك تقل كثافة الهواء في شهر أبريل من (١.٢٠٦٨ في السلوم ، و ١.٢٠٨٩ في سيدي برانى ، و ١.٢١٠٥ كجم / م^{٣} في مرسى مطروح) على الساحل الشمالي الغربي للجمهورية ، إلى (١.١٨٥٥ في الغردقة ، و ١.١٨٠٩ في القصير ، و ١.١٧٣٧ كجم / م^{٣} في رأس بناس) على الساحل الجنوبي الشرقي.

د)– في فصل **الصيف** تقل كثيرا قيم كثافة الهواء وضغطه في جمهورية مصر العربية نظرا لارتفاع درجات الحرارة ، كما يرجع ذلك إلى تمدد مراكز الضغط الجوي المنخفضة ، حيث يتخذ أضخم مركز للكثافة المنخفضة (بعد الرهو الاستوائي) وهو المنخفض الجوى الموسمي الموسع نمطاً قوسياً أساسا ، يمتد من الهند حتى شرقي البحر المتوسط يترامى نحو الشمال بعمق متفاوت ، ويواكب بصفة تقريبية نصف دائرة المحيط الهندي ويوازيها ويكاد يحف بها ، وهذا القوس الكبير من الضغط المنخفض والكثافة المنخفضة يبدأ بجانب أيمن عريض في آسيا الموسمية ، لا يلبث أن ينثني نحو الشمال الغربي لينتظم على شبه الجزيرة العربية وبلاد الشام في عروض أعلى ، ثم إذ به يعود في جانبه الأيسر على شرق أفريقيا فينحني نحو الجنوب مرة أخرى ، ويؤدى هذا التوزيع إلى زيادة تدرج كثافة الهواء نحو الشرق والجنوب الشرقي ، حيث تقل في شهر يوليه من (١.١٦٧٦ في السلوم ، و ١.١٦٩٦ في سيدي برانى ، و ١.١٧٠٤ كجم / م^{٣} في مرسى مطروح) على الساحل الشمالي الغربي ، إلى (١.١٤٧٥ في الغردقة ، و ١.١٤٧٧ في القصير ، و ١.١٣٩٥ كجم / م^{٣} في رأس بناس) على الساحل الجنوبي الشرقي .

هـ)– في فصل **الخريف** ترتفع نسبيا كثافة الهواء في جمهورية مصر العربية نظرا للتناقص التدريجي في درجات الحرارة على الأراضي المصرية نتيجة لتزايد انخفاض زاوية ارتفاع الشمس ، وينتج عن ذلك ارتفاع نسبى

فـي كثافـة الهـواء علـى الأراضـي المصـرية ، كمـا أن المـنخفض الجـوى الموسمي الموسع يتقطع على شكل مجموعة من الحلقات تتجاور وتتعاقب وقد تتماس بطول امتدادها من الشرق إلى الغرب ، حيث يتراجع منخفض الهنـد الموسـمي إلـى صـحراء ثـار ، ويتمركـز الضـغط الجـوي المـنخفض السعودي فوق شبه الجزيرة العربية ، ويتراجع منخفض السودان الموسمي إلى شمال شرق السودان .

وكما هو الحال في فصل الربيع تأخذ خطوط تساوى كثافة الهواء شكلا نطاقيا عرضيا تكاد توازى دوائر العرض مع جنوحها نحو الانحدار تجاه الجنوب الشرقي ، ونتيجة لهذا الوضع تتدرج خطوط تساوى الكثافة من منطقة مناخ شبه البحر المتوسط في أقصى الشمال ، نحو المنطقة شبه المدارية والمدارية فى أقصى الجنوب ، حيث تقل في شهر أكتوبر من (١.١٩٠٠ في السلوم ، و ١.١٩٢١ في سيدي برانى ، و ١.١٩٣٥ كجم / م٣ فـي مرسـى مطـروح) علـى السـاحل الشـمالي الغربـي ، إلـى (١.١٧٤٨ في الغردقة ، و١.١٧١١ في القصير ، و ١.١٦٤٨ كجم / م٣ في رأس بناس) على الساحل الجنوبي الشرقي .

٢- تغير كثافة الهواء بالارتفاع :

يقل وزن عمود الهواء بالارتفاع عن مستوى سطح البحر ، كما أن هواء الكرة الأرضية على عكس السوائل يتميز بخاصية الانضغاط ، لذلك تكـون الأجـزاء السـفلى مـن طبقـة التروبوسـفير متضـاغطة وتتقـارب فيهـا جزيئـات الهـواء ، كمـا تتميـز بسـيادة الغـازات الثقيلـة مثـل النيتـروجين والأكسـجين وثـاني أكسـيد الكربـون ، ممـا يزيـد مـن كثافـة الهـواء فـي هـذه الأجزاء ، فـي حـين تقـل الكثافـة أعلـى التروبوسـفير نظـرا لقلـة وزن عمـود الهواء وسيادة الغازات الأخف والأكثر تخلخلاً وتمددا .

وقد وجد الباحث أن معامل الارتباط بين الارتفاع عن مستوى سطح البحر وكثافة الهواء في طبقة التروبوسفير بجمهورية مصر العربية يبلغ (-٠.٩٩٦) وهو ارتبـاط عكسـي قـوى جـدا ، بمعنـى قلـة الكثافـة بزيـادة

الارتفاع نحو أعلى التروبوسفير ، بدرجة ثقة ٩٩% ، حيث نجدها في حلوان عند ارتفاع ١١٥م (أي عند مستوى ضغط ١٠٠٠ هكتوباسكال) نحو ١.١٨٠٩ كجم / م^{٣} ، تقل على ارتفاع ٥٧٨١م (أي عند مستوى ضغط جوى ٥٠٠ هكتوباسكال) إلى ٠.٦٦٥٣ ، تقل أكثر حتى تصل عند ارتفاع ١٦٤٩٧م (أي عند مستوى ضغط جوى ١٠٠ هكتوباسكال) إلى ٠.١٧٠٠كجم / م^{٣} فقط .

ونظرا لكون وزن عمود الهواء حتى أى ارتفاع فى التروبوسفير هو المحدد الأول لكثافة الهواء ، التى تختلف قيمها باختلاف البعد عن سطح الأرض ، لذلك قام الباحث بتحديد معادلة يمكن عن طريقها تقدير نسبة الغلاف الغازى ، اعتمادا على قيم الضغط الجوى عند السطح والضغط الجوى عند الارتفاع المطلوب ، وتتخذ معادلته الصيغة الآتية :

$$W = \left[1 - \left(\frac{A}{P}\right)\right] \times 100$$

W = النسبة المئوية للغلاف الغازى بداية من سطح الأرض حتى أى ارتفاع .

A = الضغط الجوى عند هذا الارتفاع (هكتوباسكال) .

p = الضغط الجوى الكلى عند سطح الأرض (هكتوباسكال) .

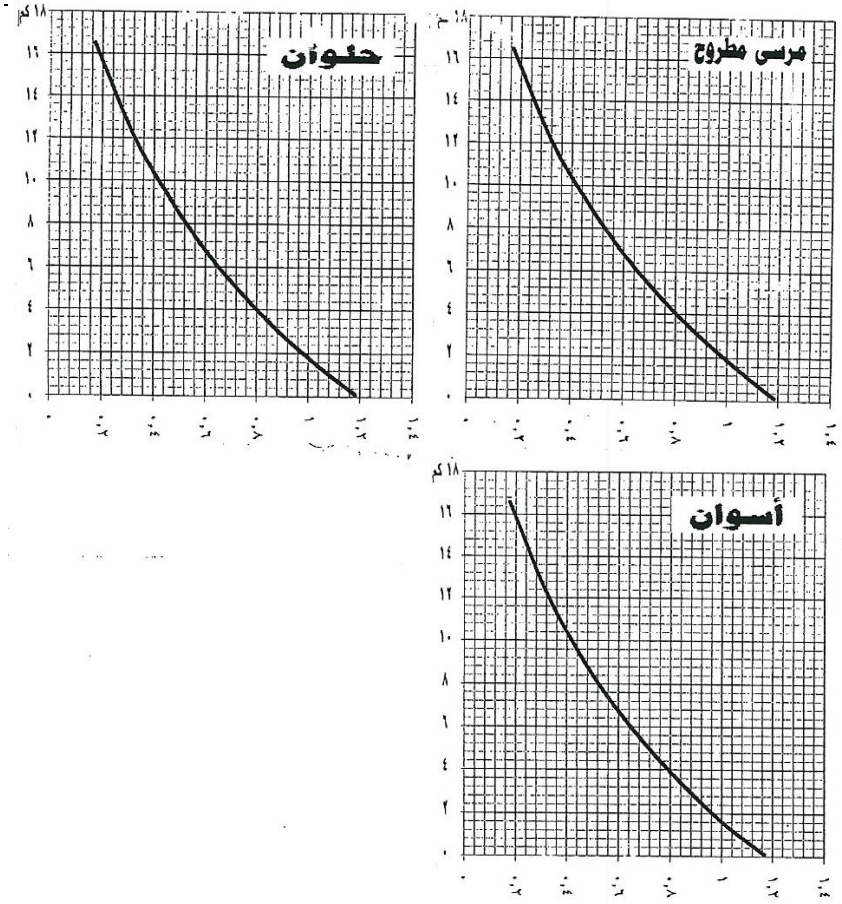
وبناء عليه يمكن تحديد أثر الارتفاع فى تغير كثافة الهواء وضغطه ونسبة وزن عمود الهواء من الفضاء الخارجى حتى هذا الارتفاع إلى وزن عمود الهواء الكلى فى محطات جمهورية مصر العربية (جدول ٧) .

ومن الجدول نلاحظ أن متوسط الضغط الجوى السطحي في الجمهورية يبلغ ١٠١٣.٣ هكتوباسكال ، ومتوسط كثافة الهواء ١.١٩٢٣ كجم / م^{٣} ، ونسبة وزن عمود الهواء من الفضاء حتى السطح ١٠٠ % ، وبالارتفاع بمقدار ٣١٢٨م فى الجمهورية نصل إلى مستوى ضغط جوى ٧٠٠ هكتوباسكال وتقل كثافة الهواء إلى ٠.٨٧١٦ كجم / م^{٣} ، وتكون نسبة الغلاف الغازي المحصور بين سطح الأرض وهذا الارتفاع ٣٠.٩%.

(جدول ٦) متوسط كثافة الهواء عند مستويات مختلفة من الضغوط الجوية (كجم / متر ٣)

المحطة	المستوى	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
الظهران	١٠٠٠	١,٢١٢٤	١,٢٠٨٤	١,٢٠٢٨	١,١٩١٥	١,١٨١٨	١,١٦٦١	١,١٦٠٣	١,١٥٧٣	١,١٦٣٨	١,١٧٣٣	١,١٨٦٤	١,٢٠١٩	١,١٨٣٨
	٨٥٠	١,٠٦٢٦	١,٠٥٢٥	١,٠٣٨٠	١,٠٢٨٨	١,٠٢١٠	١,٠١٦٨	١,٠١٤٢	١,٠١٥٥	١,٠٣٠٨	١,٠٤٣٥	١,٠٥٣٩
	٧٠٠	٠,٩٠٥٧	٠,٩٠٠٠	٠,٨٩٤٣	٠,٨٨٤٠	٠,٨٧٤٩	٠,٨٦٢٨	٠,٨٥٧٣	٠,٨٥٦٩	٠,٨٦٨٥	٠,٨٧٩٠	٠,٨٨٥٦	٠,٨٩٣٦	٠,٨٧٩٨
	٦٠٠	٠,٧٩٥٠	٠,٧٩٤٠	٠,٧٨٩٨	٠,٧٨١٩	٠,٧٧٣٧	٠,٧٦٢٠	٠,٧٥٤٦	٠,٧٥٣٠	٠,٧٦١٧	٠,٧٧٤٦	٠,٧٨١١	٠,٧٨٨٠	٠,٧٧٥٥
	٥٠٠	٠,٦٨٨٠	٠,٦٨٦٢	٠,٦٨٣٧	٠,٦٧٦٧	٠,٦٧٠٢	٠,٦٥٩٢	٠,٦٤٨٤	٠,٦٤٨٦	٠,٦٥٨٢	٠,٦٦٩٤	٠,٦٧٥٧	٠,٦٨١٣	٠,٦٧٠٢
	٤٠٠	٠,٥٧٨٠	٠,٥٧٨٢	٠,٥٧٣٧	٠,٥٦٨٥	٠,٥٦٣٢	٠,٥٥٢٧	٠,٥٣٩٤	٠,٥٤١٥	٠,٥٥١٤	٠,٥٦٢٣	٠,٥٦٧٦	٠,٥٧١١	٠,٥٦١٨
	٣٠٠	٠,٤٥٨٥	٠,٤٥٨١	٠,٤٥٦٦	٠,٤٥٣٧	٠,٤٥٠٧	٠,٤٣٩٠	٠,٤٢٧٨	٠,٤٣٠١	٠,٤٣٨٢	٠,٤٤٩٤	٠,٤٥٣٣	٠,٤٥٥٣	٠,٤٤٧٣
	٢٠٠	٠,٣٢٠٤	٠,٣١٨٨	٠,٣١٨٥	٠,٣٢٠١	٠,٣٢٠٦	٠,٣١٥٣	٠,٣١٠٤	٠,٣١١٧	٠,٣١٥٢	٠,٣٢٠٦	٠,٣٢٣٨	٠,٣٢٣١	٠,٣١٨٢
	١٠٠	٠,١٦٦٣	٠,١٦٧٢	٠,١٦٧٣	٠,١٦٧٠	٠,١٦٦١	٠,١٧٠٣	٠,١٧٣٨	٠,١٧٣٧	٠,١٧٠٨	٠,١٦٧٨	٠,١٦٧٩	٠,١٦٧٧	٠,١٦٨٨
	١٠٠٠	١,٢٠٩٨	١,٢٠٧٩	١,١٩٨٩	١,١٨٦٧	١,١٧٦٠	١,١٦٣١	١,١٥٨٥	١,١٥٨٣	١,١٥٨٥	١,١٦٨٠	١,١٨٤٦	١,٢٠٠٣	١,١٨٠٩
	٨٥٠	١,٠٥٩٨	١,٠٥٥٥	١,٠٤٣٩	١,٠٢٩٨	١,٠١٩٢	١,٠١٠٠	١,٠٠٥٥	١,٠٠٤٨	١,٠١٢١	١,٠٢١٩	١,٠٣٧٩	١,٠٤٨٣	١,٠٢٨٦
	٧٠٠	٠,٨٩٧٨	٠,٨٩٣٨	٠,٨٩٠٤	٠,٨٧٨٤	٠,٨٧٠٤	٠,٨٥٧٨	٠,٨٥٣٢	٠,٨٥٢٨	٠,٨٥٨٠	٠,٨٧٠٧	٠,٨٦٨٧	٠,٨٨٨٢	٠,٨٧٣٠
	٦٠٠	٠,٧٩٠٥	٠,٧٨٨٠	٠,٧٨٣٠	٠,٧٧٧٠	٠,٧٦٩٥	٠,٧٦٢٧	٠,٧٤٩٨	٠,٧٤٩٢	٠,٧٥٦٣	٠,٧٦٤١	٠,٦٧١٨	٠,٧٧٦٨	٠,٧٧١٠
	٥٠٠	٠,٦٨٢٩	٠,٦٨٠٨	٠,٦٧٧٠	٠,٦٧٢٣	٠,٦٦٥٨	٠,٦٦٣٦	٠,٦٤٣٥	٠,٦٤٤٥	٠,٦٤٣٥	٠,٦٥٨٠	٠,٦٧٨٥	٠,٦٧٧٠	٠,٦٦٥٣
	٤٠٠	٠,٥٧٢٣	٠,٥٧١١	٠,٥٦٨١	٠,٥٦٤٤	٠,٥٦٠٠	٠,٥٣٥٦	٠,٥٤٨٣	٠,٥٣٧٥	٠,٥٤٦٤	٠,٥٥٨٠	٠,٥٦٧٤	٠,٥٦٧٦	٠,٥٥٧٦
	٣٠٠	٠,٤٥٤٩	٠,٤٥٣٩	٠,٤٥٢١	٠,٤٥٠٧	٠,٤٤٧٣	٠,٤٣٥٠	٠,٤٢٥٤	٠,٤٢٧٣	٠,٤٣٤٨	٠,٤٤٥٢	٠,٤٥١١	٠,٤٤٤٠	٠,٤٤٠٦
	٢٠٠	٠,٣١٩٥	٠,٣١٧٦	٠,٣١٦٩	٠,٣١٨٤	٠,٣١٨٤	٠,٣٠٩٣	٠,٣١٢٩	٠,٣١٠٥	٠,٣١٤٣	٠,٣١٩٢	٠,٣٢٢٢	٠,٣٥١٦	٠,٣١٦٨
	١٠٠	٠,١٦٧٨	٠,١٦٨٤	٠,١٦٨٣	٠,١٦٧٩	٠,١٦٧٦	٠,١٧٢٢	٠,١٧٤٩	٠,١٧٤٨	٠,١٧٢٢	٠,١٦٩٤	٠,١٦٨٣	٠,١٦٨٥	٠,١٧٠٠
	١٠٠٠	١,٢٠٠٥	١,١٩٧٩	١,١٨٧٢	١,١٦٤٤	١,١٥٥٢	١,١٤٣٢	١,١٤٤٧	١,١٤٤٥	١,١٤٧٤	١,١٦٠٢	١,١٧٥٦	١,١٨٥٧	١,١٦٧٢
	٨٥٠	١,٠٤٠٦	١,٠٣٤٩	١,٠٢٣٦	١,٠١٠٢	٠,٩٩٨٧	٠,٩٨٩٦	٠,٩٩١١	٠,٩٩١٧	٠,٩٩٣٥	١,٠٠٢٤	١,٠٢٢١	١,٠٣١١	١,٠١٠٦
	٧٠٠	٠,٨٧٦٩	٠,٨٧٤٧	٠,٨٧٠٩	٠,٨٦٣٩	٠,٨٥٦٣	٠,٨٤٩٤	٠,٨٥١٨	٠,٨٥٠٢	٠,٨٤٩١	٠,٨٦٢٣	٠,٨٦٨٦	٠,٨٧٠٣	٠,٨٦٢١
	٦٠٠	٠,٧٦٦١	٠,٧٦٦٩	٠,٧٦٦٦	٠,٧٦٥٧	٠,٧٥٣٠	٠,٧٥٣٠	٠,٧٥١٠	٠,٧٥٣٠	٠,٧٥٢٨	٠,٧٦١٥	٠,٧٦٢٣	٠,٧٦٦٦	٠,٧٦٠٦
	٥٠٠	٠,٦٦٦٤	٠,٦٧٠٧	٠,٦٦٤١	٠,٦٦١٦	٠,٦٥٧٦	٠,٦٥١٢	٠,٦٤٥٣	٠,٦٤٦٧	٠,٦٤١١	٠,٦٥٥٤	٠,٦٦٠٦	٠,٦٥٧٤	٠,٦٥٧٣
	٤٠٠	٠,٥٥٧٦	٠,٥٥٧٢	٠,٥٥٦٣	٠,٥٥٤٥	٠,٥٥١٤	٠,٥٤٢٨	٠,٥٣٦٥	٠,٥٣٧٣	٠,٥٤٢٤	٠,٥٥٤٣	٠,٥٥٥٤	٠,٥٤٩٤	٠,٥٤٩٤
	٣٠٠	٠,٤٤٢٩	٠,٤٤٢٠	٠,٤٤٢٣	٠,٤٤١٨	٠,٤٣٩٢	٠,٤٣١٩	٠,٤٢٨٣	٠,٤٢٧٨	٠,٤٣٢٣	٠,٤٤٢٧	٠,٤٤٢٢	٠,٤٣٧٧	٠,٤٣٧٧
	٢٠٠	٠,٣١٨٦	٠,٣١٧٦	٠,٣١٧٦	٠,٣١٦٦	٠,٣١٥٣	٠,٣١٢٤	٠,٣١١٩	٠,٣١٣٦	٠,٣١٦٣	٠,٣٢٠٣	٠,٣٢١٠	٠,٣١٦٨	٠,٣١٦٨
	١٠٠	٠,١٧٢٨	٠,١٧٤٢	٠,١٧٣٩	٠,١٧٣٧	٠,١٧٥٠	٠,١٧٦٦	٠,١٧٧٠	٠,١٧٧٤	٠,١٧٦٣	٠,١٧٢٨	٠,١٧٣٤	٠,١٧٤٩	٠,١٧٤٩

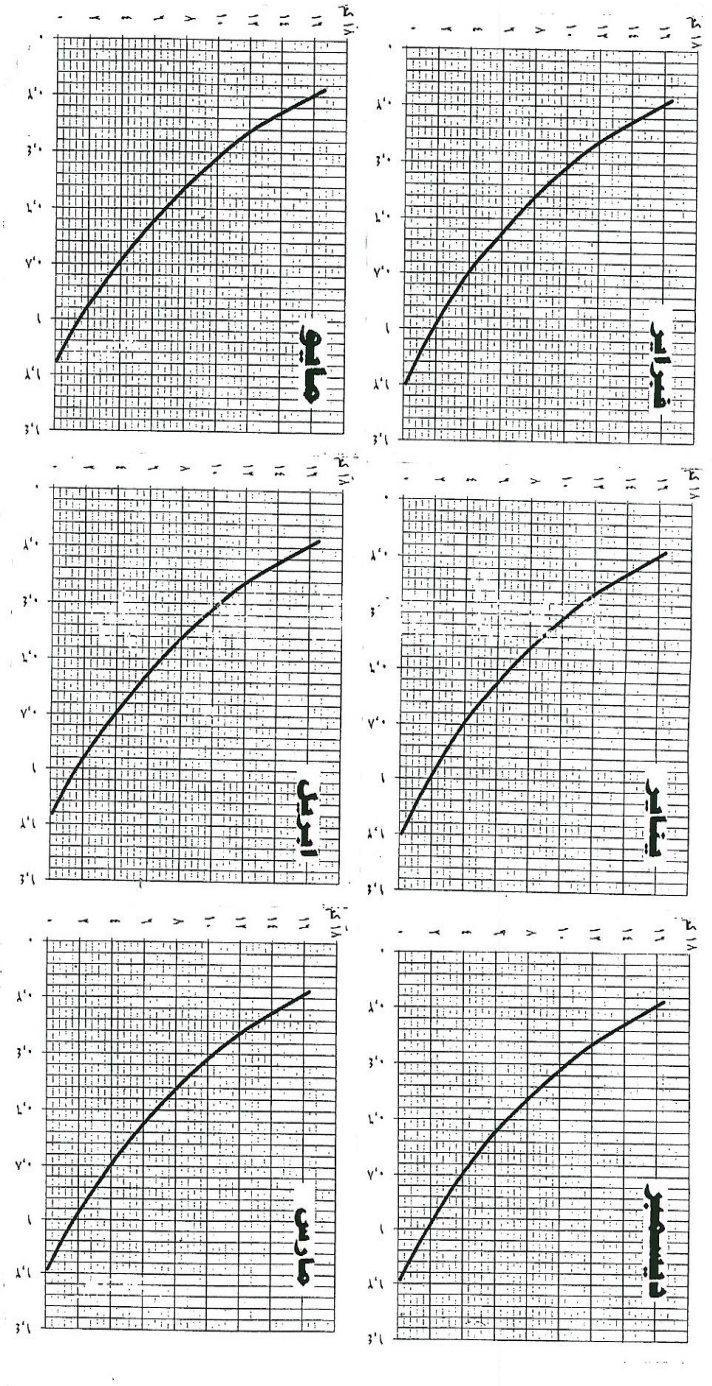
الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامي ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .



(شكل ٧) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع

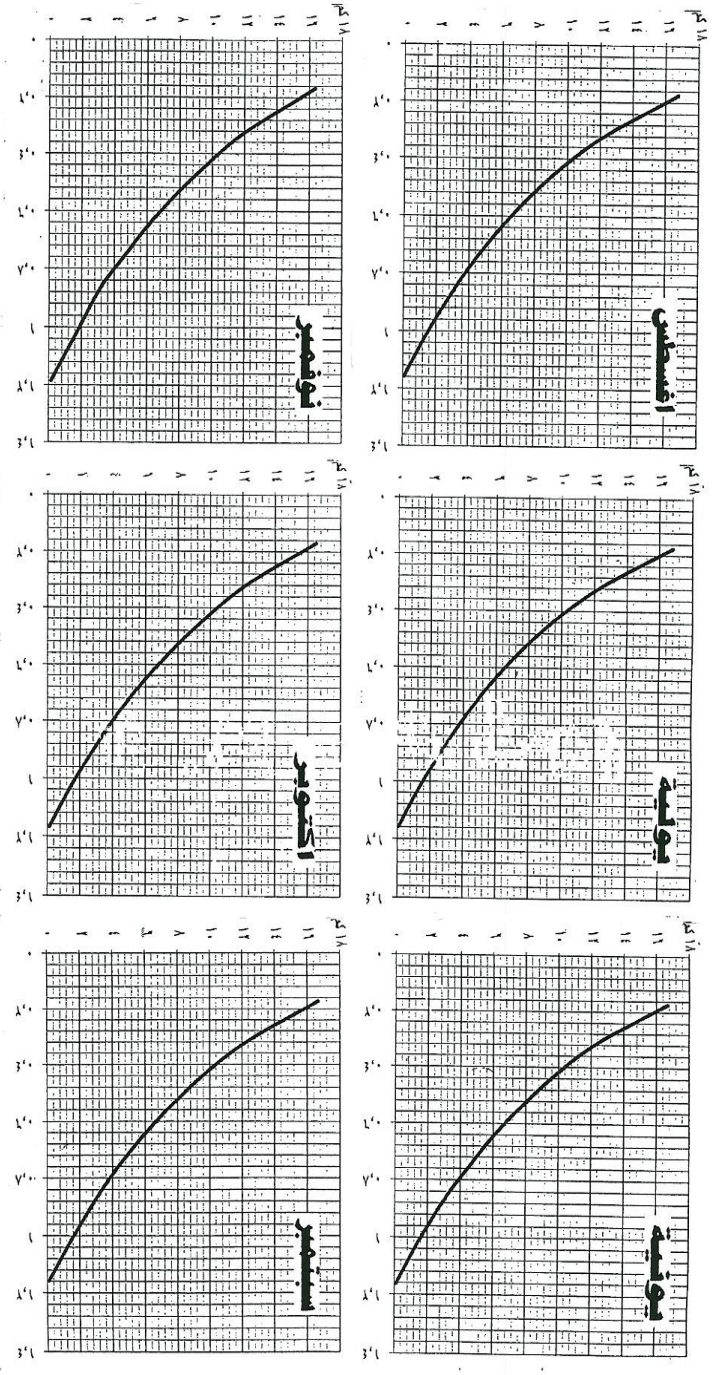
في مرسى مطروح – حلوان – أسوان (كجم / م^{٣})

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦



(شكل ٨) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع في مرسى مطروح خلال شهور الشتاء والربيع (كجم / م ٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦



(شكل ٩) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع في مرسى مطروح خلال شهور الصيف والخريف (كجم / م٣)

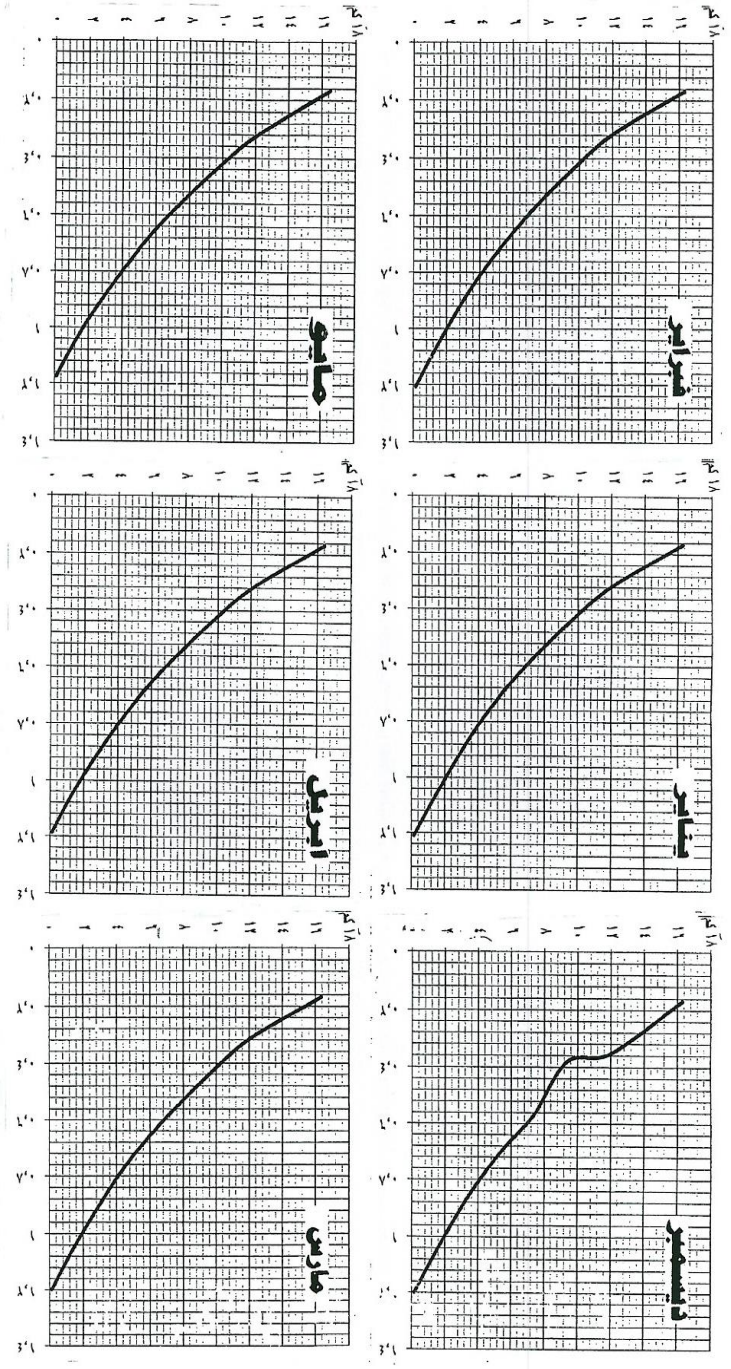
من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦

(جدول ٧) تحديد الارتفاع لكثافة الهواء وضغطه ونسبة وزن الغلاف الغازي

الارتفاع (متر)	الضغط (هكتوباسكال) والكثافة (كجم / م^{٣})		النسبة المئوية لوزن الغلاف الغازي	
			من سطح الأرض حتى هذا الارتفاع	من الفضاء حتى هذا الارتفاع
صفر	١٠١٣.٣	١.١٩٢٣	صفر	١٠٠
١١٦	١٠٠٠	١.١٧٧٣	١.٣	٩٨.٧
١٥١١	٨٥٠	١.٠٢٥٢	١٦.١	٨٣.٩
٣١٢٨	٧٠٠	٠.٨٧١٦	٣٠.٩	٦٩.١
٤٣٧٢	٦٠٠	٠.٧٦٩٠	٤٠.٨	٥٩.٢
٥٧٩٧	٥٠٠	٠.٦٦٤٣	٥٠.٧	٤٩.٣
٧٤٧٩	٤٠٠	٠.٥٥٦٣	٦٠.٥	٣٩.٥
٩٥٢٥	٣٠٠	٠.٤٤٣٠	٧٠.٤	٢٩.٦
١٢٢٢٦	٢٠٠	٠.٣١٧٣	٨٠.٣	١٩.٧
١٦٥١٢	١٠٠	٠.١٧١٢	٩٠.١	٩.٩

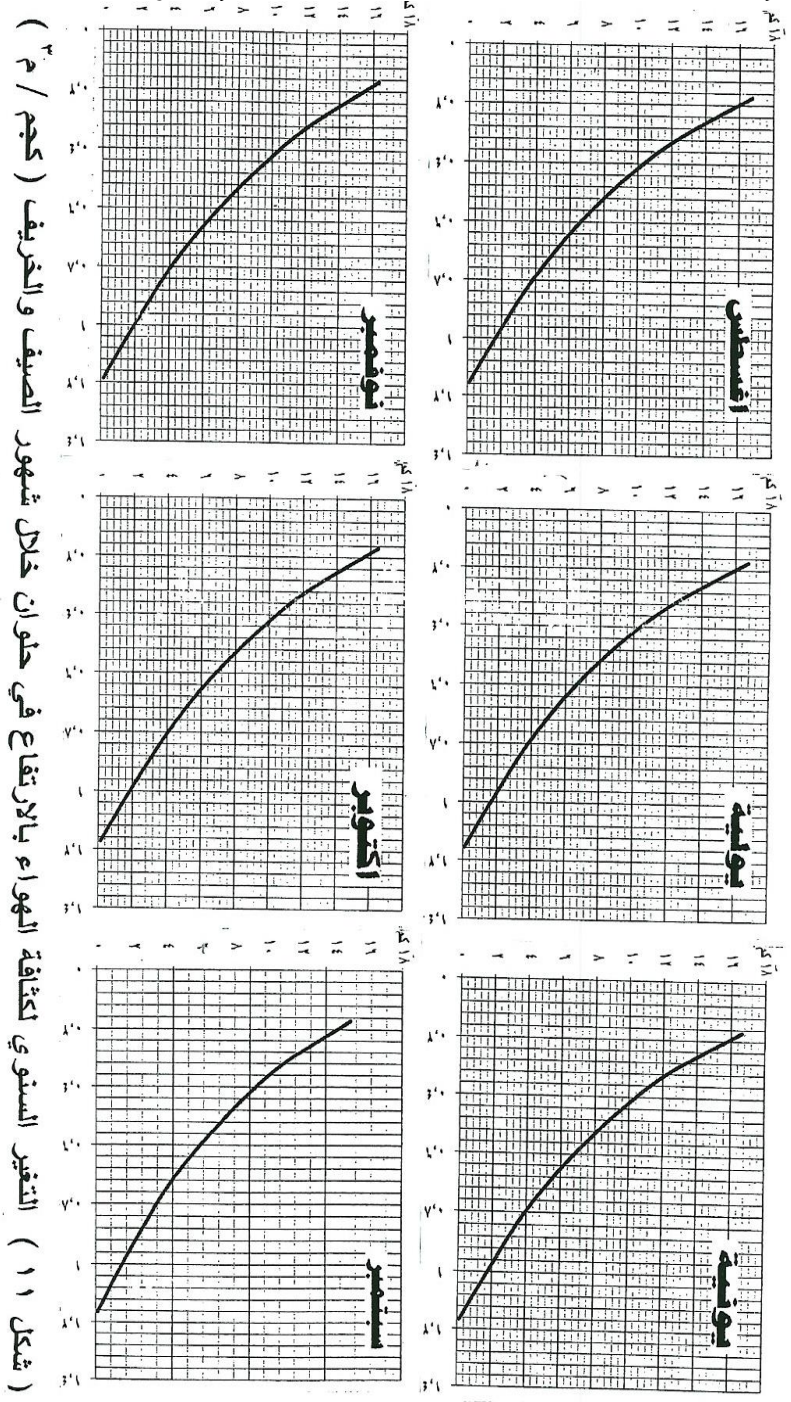
من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات غير منشورة للفترة بين ١٩٥٦– ٢٠٠٨م

وبزيادة الارتفاع أكثر إلى ٥٧٩٧ متر يصل إلى مستوى ضغط جوى ٥٠٠ هكتوباسكال ، وتكون كثافة الهواء ٠.٦٦٤٣ كجم / م^{٣} ، وترتفع نسبة وزن الغلاف الغازي المحصور بين سطح الأرض وهذا المستوى إلى ٥٠.٧% ، وبزيادة الارتفاع أكثر وأكثر إلى ١٦٥١٢ متر حتى نصل إلى نهاية التروبوسفير فى جمهورية مصر العربية أى عند مستوى ضغط جوى ١٠٠ هكتوباسكال تقل كثافة الهواء إلى ٠.١٧١٢ كجم / م^{٣} ، وتزداد نسبة الغلاف الغازي المحصور بين سطح الأرض وهذا الارتفاع إلى ٩٠.١% ، أي أن طبقة التروبوسفير وحدها تضم ٩٠.١ % من جملة الغلاف الغازي في الجمهورية ، تاركة ٩.٩% منه لباقي طبقات الغلاف الجوى .



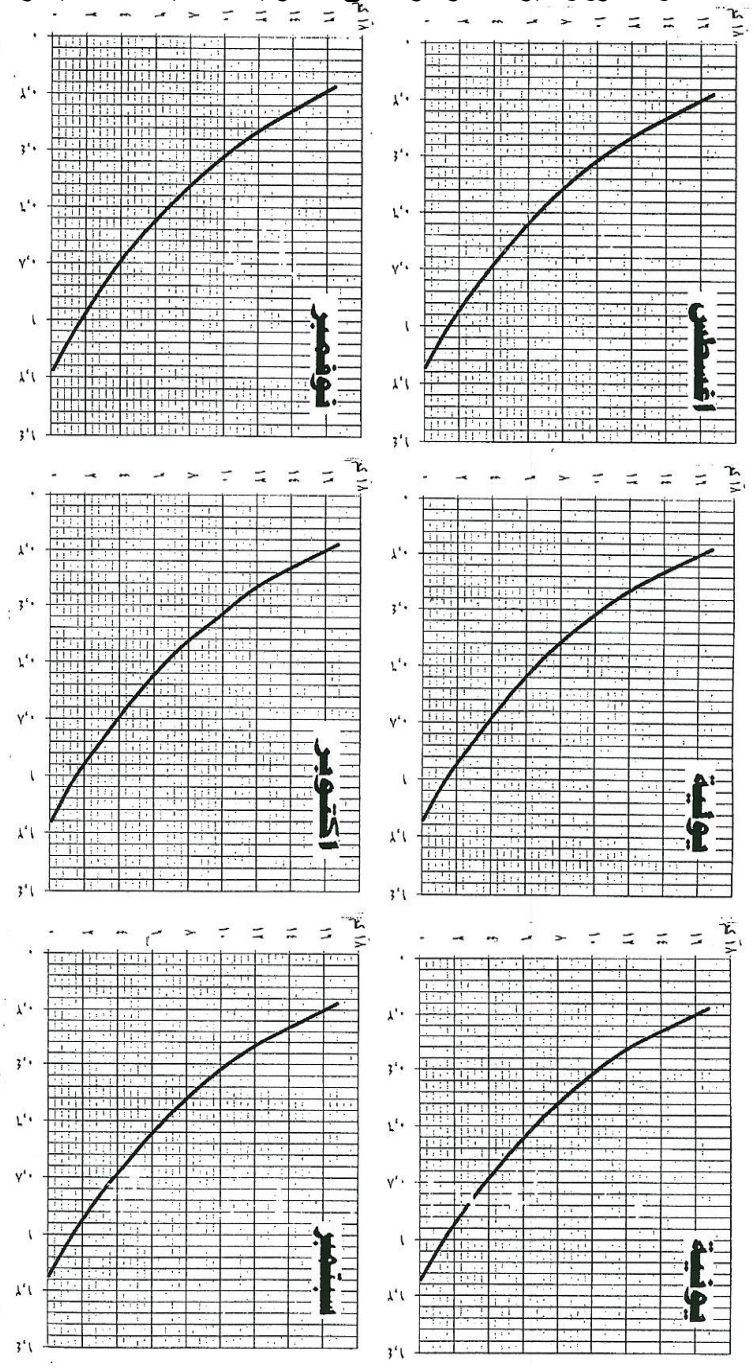
(شكل ١٠) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع في حلوان خلال شهور الشتاء والربيع (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦



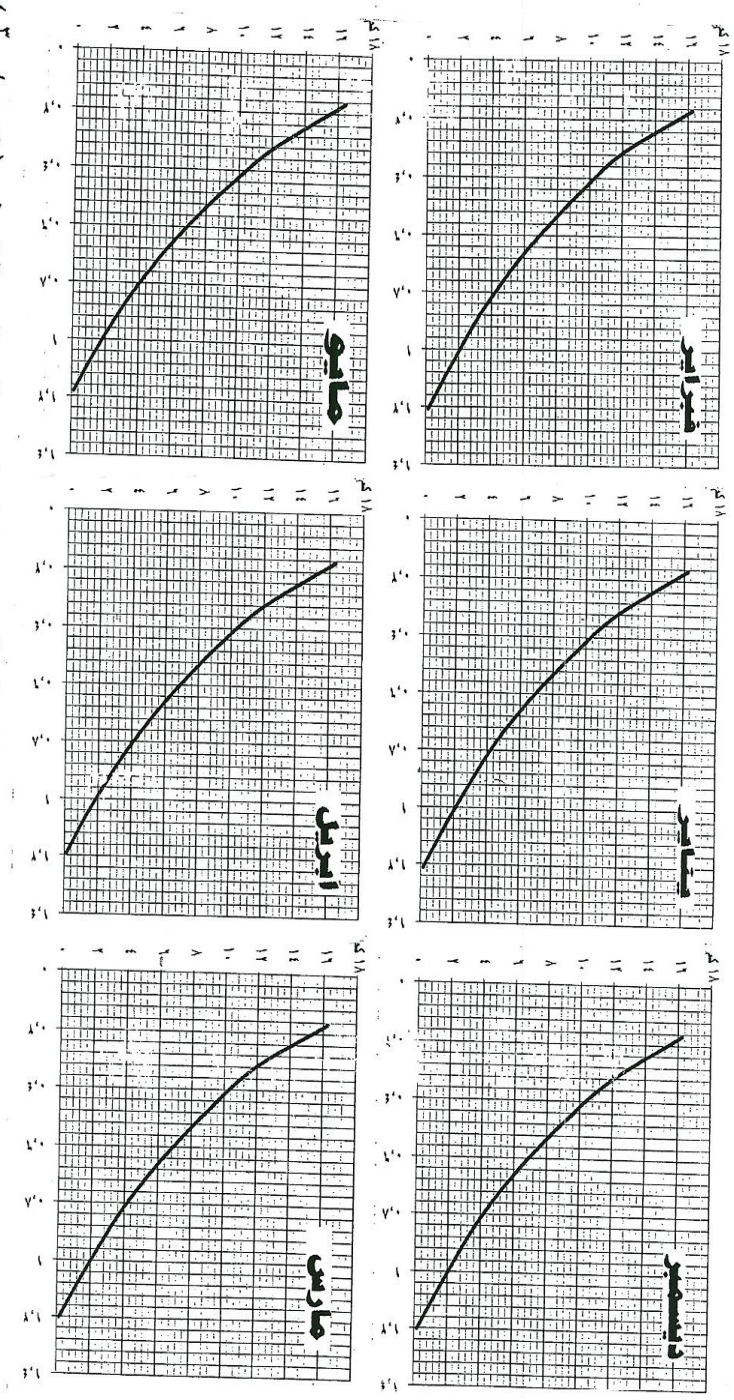
(شكل ١١) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع في طوران خلال شهور الصيف والخريف (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦



(شكل ١٢) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع في أسوان خلال شهور الشتاء والربيع (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦



(شكل ١٣) التغير السنوي لكثافة الهواء بالارتفاع في أسوان خلال شهور الصيف والخريف (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٦

٣- كثافة الهواء عند مستويات التروبوسفير :

تختلف مكانيا وموسميا كثافة الهواء عند مستويات الضغوط الجوية في طبقة التروبوسفير ، وتزداد التباينات بالاقتراب من سطح الأرض ، نظرا لأنه المصدر الأساسى لتسخين هذه الطبقة بأشعتها الحرارية طويلة الموجة ، والاتجاه صوب الأعلى تتلاشى تدريجيا التباينات حتى تختفى ، ولمعرفة مدى تأثير الارتفاع عن مستوى سطح البحر في وضوح الاختلافات الموسمية في كثافة الهواء ، وقام الباحث بحساب الانحرافات المعيارية لمتوسطاتها الشهرية عند مستويات الضغوط الجوية (جدول ٨) .

(جدول٨) الانحراف المعياري لكثافة الهواء الشهرية (جرام / متر^{٣}) عند مستويات الضغوط الجوية بجمهورية مصر العربية

مستوى الضغط	سطحى	٩٥٠	٨٥٠	٧٥٠	٦٥٠	٥٥٠	٤٥٠	٣٥٠	٢٥٠	١٥٠
مطروح	٢٤	١٩	١٧	١٦	١٤	١٣	١٣	١١	٤	٣
حلوان	٢٧	١٩	١٩	١٦	١٤	١٣	١٢	١١	١٠	٣
أسوان	٣١	٢١	١٨	١٠	٩	٨	٨	٦	٣	٢

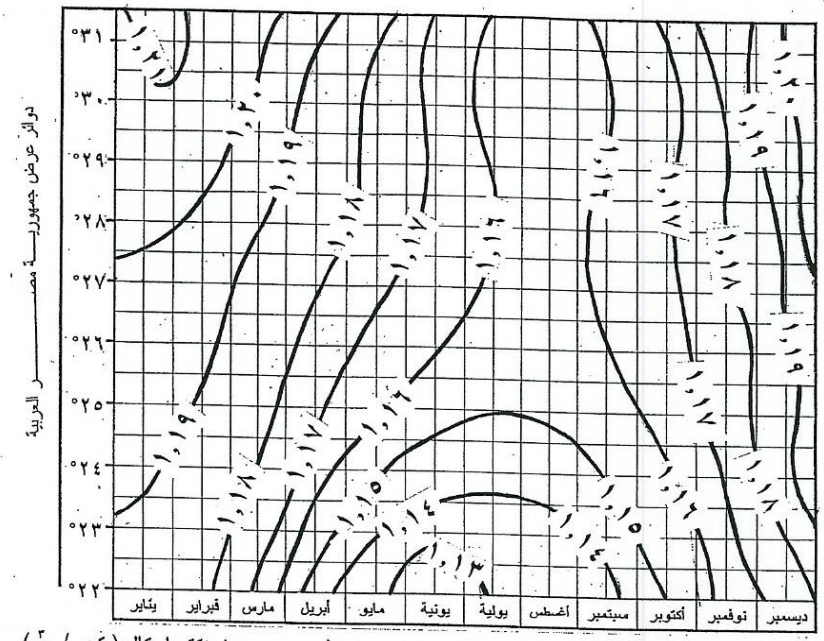
الجدول : من إعداد الباحث اعتمادا على بيانات الجدول (٦) .

يلاحظ من تتبع الجدول (٨) أن الانحرافات المعيارية بين قيم كثافة الهواء تزداد في الأجزاء الدنيا من التروبوسفير ، وتقل بالارتفاع نحو التروبوبوز ، حيث تصل في مرسى مطروح عند مستوى سطح البحر إلى ٢٤ جرام / متر^{٣} ، وفي حلوان ٢٧ ، وفي أسوان ٣١ ، تقل عند مستوى ضغط جوى ٥٠٠ هكتوباسكال ، حيث تصل في مرسى مطروح وحلوان إلى ١٣ جرام / متر^{٣} ، وفي أسوان ٨ ، تقل أكثر عند مستوى ضغط جوى ١٠٠ هكتوباسكال ، حيث تصل في مرسى مطروح وحلوان إلى ٣ ، وفي أسوان ٢ ، ويرجع ذلك إلى البعد عن تأثير الإشعاع الحرارى الأرضي ، الذي يعمل على تباين كثافة الهواء بين شهور السنة في الأجزاء السفلى من التروبوسفير ، ويقل أثره بالابتعاد عن مصدر الحرارة الرئيسي وهو سطح الأراضي المصرية .

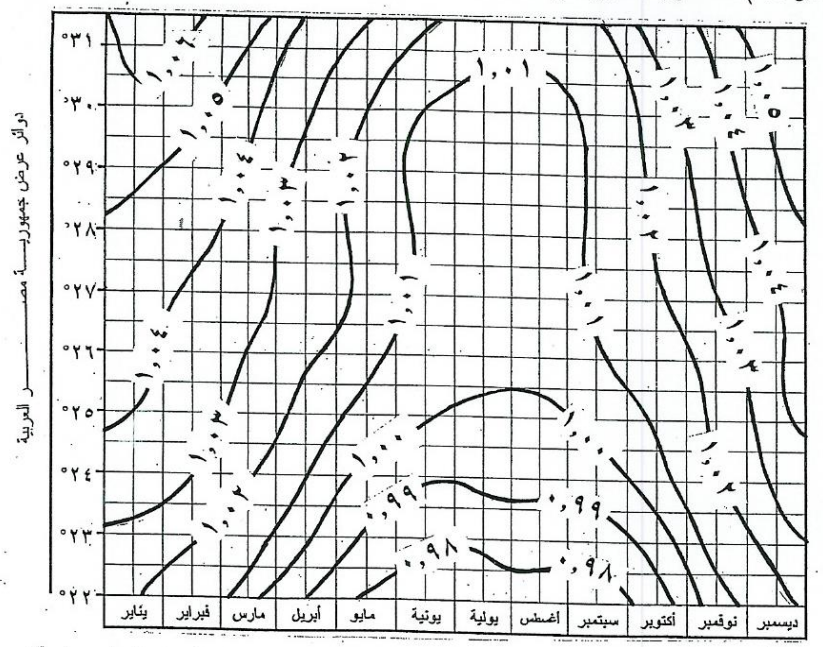
(جدول ٩) ارتفاعات مستويات الضغوط الجوية فى التروبوسفير بجمهورية مصر العربية (متر)

المحطة	المستوى	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
سفوح	١٠٠٠	١٥٧	١٥٦	١٤٦	١٣٧	١٣٦	١٢٥	١٠٦	١٠٩	١٣٢	١٥٠	١٦٤	١٦٥	١٤٠
	٨٥٠	١٥٠٧	١٥٠٤	١٥١٠	١٥١٤	١٥٢٨	١٥٣٣	١٥١٧	١٥٢٦	١٥٤٣	١٥٣٧	١٥٢٤	١٥٢٠	١٥٢٢
	٧٠٠٠	٣٠٦٨	٣٠٧٤	٣٠٨٢	٣١٠٠	٣١٤٠	٣١٧٣	٣١٥٨	٣١٦٤	٣١٦١	٣١٤١	٣١٣٣	٣٠٩٧	٣١٢٤
	٦٠٠٠	٤٢٦٨	٤٢٩٤	٤٢٩٤	٤٣٢٩	٤٣٦٩	٤٤٢٥	٤٤٢٥	٤٤٣٢	٤٤١٨	٤٣٨٦	٤٣٢٠	٤٣١٢	٤٣٥٦
	٥٠٠	٥٦٤١	٥٦٦٣	٥٦٨١	٥٧٣٠	٥٧٧٤	٥٨٦٢	٥٨٦٢	٥٨٥٣	٥٨٥٦	٥٧٩٩	٥٧٥٥	٥٧٠٧	٥٧٦٩
	٤٠٠	٧٢٦٧	٧٢٨٣	٧٣١٠	٧٣٧٢	٧٤٥١	٧٥٥١	٧٦٠٤	٧٦٠٦	٧٥٧٧	٧٤٦٠	٧٤٠٢	٧٣٤٢	٧٤٣٥
	٣٠٠	٩٢٥١	٩٢٧١	٩٢٩٨	٩٣٢٣	٩٤٧٧	٩٦١١	٩٧١٨	٩٧١٣	٩٦١٩	٩٤٧٩	٩٤١٢	٩٣٣٧	٩٤٥٩
	٢٠٠	١١٩١٢	١١٨٩٥	١١٩٤١	١٢٠١٣	١٢١٣٤	١٢٣٣٢	١٢٥٠٣	١٢٤٩٠	١٢٣٤٩	١٢١٤٨	١٢٠٨٨	١١٩٨٠	١٢١٤٥
	١٠٠	١٦٢٢٩	١٦٢٤٢	١٦٢٨٧	١٦٣٥٢	١٦٤٦٩	١٦٦٤٩	١٦٧٤٠	١٦٧٥٥	١٦٦٢١	١٦٤٤٩	١٦٣٢٩	١٦٢٤٨	١٦٤٤٨
	٧٠	١٨٤٢٨	١٨٤٢٣	١٨٤٤٧	١٨٥٣٢	١٨٧٠٦	١٨٨١٧	١٨٩٨٩	١٨٩٠٩	١٨٧٦٣	١٨٦٥٣	١٨٣٧٥	١٨٤٣٢	١٨٦٢٧
	١٠٠٠	١٤٨	١٤٠	١٢٥	١١٠	١٠٣	٩١	٧٠	٧٤	٩٩	١٢٤	١٤٣	١٥٠	١١٥
	٨٥٠	١٥٠٠	١٤٩٦	١٤٩٥	١٥٠٥	١٥٠٩	١٥٠٥	١٤٩٤	١٤٩١	١٥٠٩	١٥٢٥	١٥٢٤	١٥١٣	١٥٠٥
	٧٠٠	٣٠٦٨	٣٠٦٩	٣٠٨٥	٣١٠٢	٣١٢٨	٣١٥٣	٣١٤٥	٣١٤١	٣١٥٣	٣١٤٦	٣١١٨	٣٠٩٧	٣١١٧
	٦٠٠	٤٢٧٩	٤٢٨٦	٤٣٠٨	٤٣٣٦	٤٣٧٤	٤٤١٨	٤٤١٦	٤٤٢٠	٤٤١٨	٤٣٩٢	٤٣٥٥	٤٣٢٠	٤٣٦٠
	٥٠٠	٥٦٦٧	٥٦٧٦	٥٧٠٨	٥٧٤٦	٥٧٥٥	٥٨٦٢	٥٨٨٤	٥٨٨٦	٥٨٧٣	٥٨١٩	٥٧٦٧	٥٧٢٥	٥٧٨١
	٤٠٠	٧٣١٢	٧٣١١	٧٣٥٢	٧٤٣٦	٧٤٦٧	٧٥٦٧	٧٦٢١	٧٦٢٢	٧٥٧٩	٧٤٩٥	٧٤٢٣	٧٣٦٦	٧٤٦٣
	٣٠٠	٩٢٨٨	٩٣٠١	٩٣٦١	٩٤١٩	٩٤٩٧	٩٢٤٩	٩٧٣٥	٩٧٤٦	٩٦٦٣	٩٥٣٨	٩٤٤٠	٩٣٧٤	٩٥٠٠
	٢٠٠	١١٩٥٠	١١٩٧٠	١٢٠٢٧	١٢٠٧٦	١٢١٧٦	١٢٣٩٧	١٢٥٤٩	١٢٥٢٩	١٢٤٤١	١٢٢٢٢	١٢٠٨٨	١٢٠٢٢	١٢٢٠٤
	١٠٠	١٦٢٦٢	١٦٢٩٢	١٦٣٤٦	١٦٤٠٧	١٦٥٠٧	١٦٥١٢	١٦٧٨٦	١٦٧٣١	١٦٧٧٤	١٦٥١٢	١٦٣٦٥	١٦٢٩٥	١٦٤٩٧
	٧٠	١٨٤٢٩	١٨٤٤٧	١٨٥٣٦	١٨٤١٤	١٨٧٠٩	١٨٨٨٠	١٨٩٦٦	١٨٩٢٥	١٨٨٧٣	١٨٧١٣	١٨٥٨٥	١٨٤٩٢	١٨٦٨٠
	١٠٠٠	١٣٩	١٣١	١١٣	٩٤	٧٧	٥٤	٤٣	٤٦	٦٧	٩٩	١٢٣	١٢٦	٩٣
جاف	٨٥٠	١٥٠٩	١٥٠٧	١٥٠٥	١٥٠٢	١٥٠٧	١٥٠٥	١٤٨٩	١٤٩٥	١٥٠٨	١٥٢١	١٥٢١	١٥١٧	١٥٠٧
	٧٠٠	٣١٠٧	٣١١٥	٣١٢٥	٣١٣٤	٣١٥٩	٣١٦٨	٣١٥٩	٣١٥٦	٣١٧١	٣١٦٧	٣١٤٢	٣١٢٦	٣١٤٤
	٦٠٠	٤٣٤٧	٤٣٥٥	٤٣٧١	٤٣٨٧	٤٤٢٤	٤٤٤٢	٤٤٢٥	٤٤٣٢	٤٤٤٣	٤٤٢٣	٤٣٩٣	٤٣٧٣	٤٤٠١
	٥٠٠	٥٧٦٨	٥٧٧٦	٥٧٩٩	٥٨٢٨	٥٨٦٧	٥٨٩٣	٥٨٧٩	٥٨٩٥	٥٨٩٣	٥٨٦٧	٥٨٢٨	٥٨٠٨	٥٨٤٢
	٤٠٠	٧٤١٥	٧٤٥٢	٧٤٧٦	٧٥٠٤	٧٥٦٠	٧٦١٠٠	٧٦٢٢	٧٦٢٥	٧٦٢١	٧٥٦٩	٧٥١٣	٧٤٩٣	٧٥٣٨
	٣٠٠	٩٤٨٩	٩٥٠٣	٩٥٢٨	٩٥٥٩	٩٦٢٧	٩٧١٦	٩٧٤٨	٩٧٥٢	٩٧١٤	٩٦٤٢	٩٥٥٩	٩٥٤٢	٩٦١٥
	٢٠٠	١٢١٨٤	١٢٢١١	١٢٢٥٢	١٢٢٥١	١٢٣٠٤	١٢٤١٩	١٢٥٠٧	١٢٥٣٣	١٢٤٦٦	١٢٣٥٠	١٢٢٥٤	١٢٢١١	١٢٣٢٩
	١٠٠	١٦٤١٦	١٦٤٤٣	١٦٥٣٤	١٦٥٥٣	١٦٦٥٥	١٦٧٤٣	١٦٧٦٧	١٦٧١٥	١٦٧٩٩	١٦٧٣٥	١٦٤٢٨	١٦٤٧٨	١٦٥٩٠
	٧٠	١٨٥١٨	١٨٥٣٣	١٨٥٧٠	١٨٥١٠	١٨٧١٤	١٨٧٨٩	١٨٨٥٤	١٨٨٠٣	١٨٧٧٢	١٨٧١٥	١٨٦٤٧	١٨٥٢٦	١٨٦٦٢

الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامى ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .

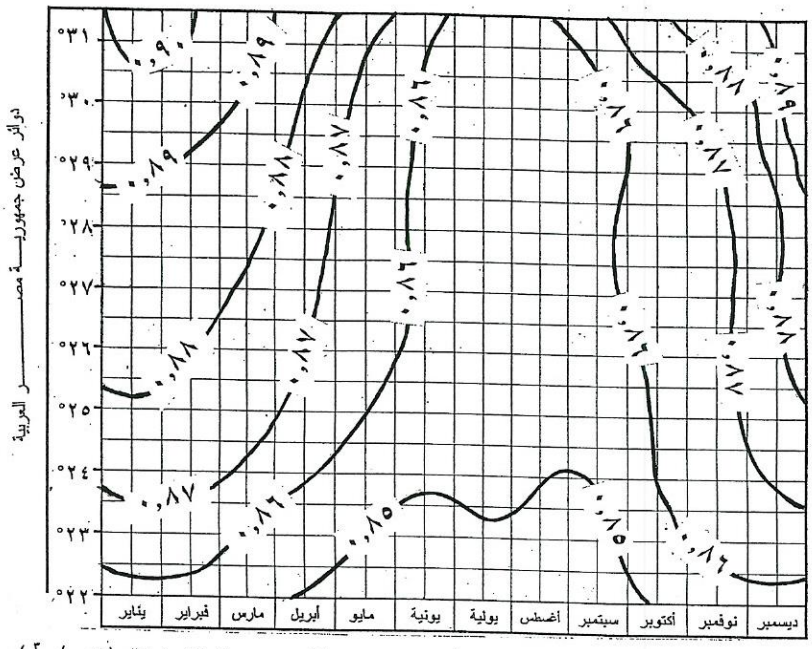


(شكل ١٤) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ١٠٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

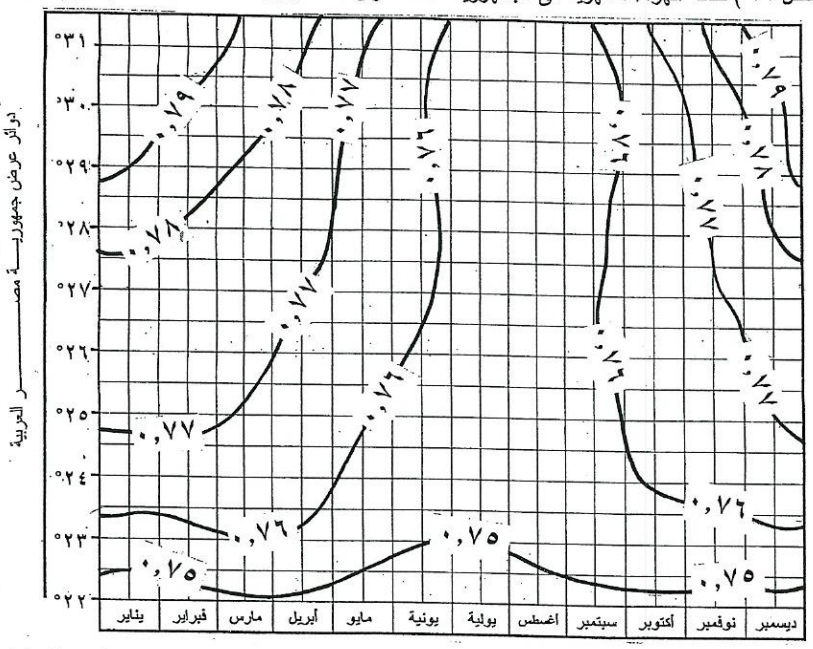


(شكل ١٥) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٨٥٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٩

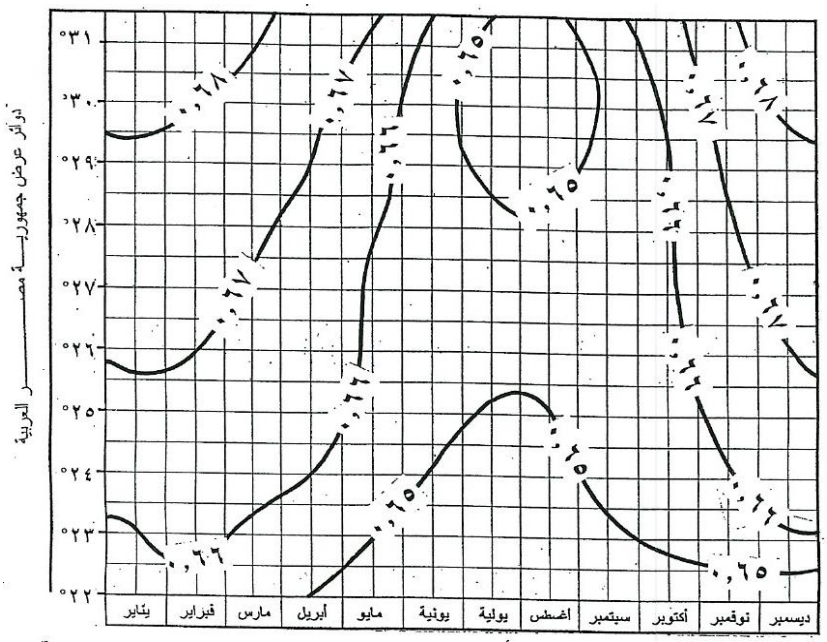


(شكل ١٦) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٧٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

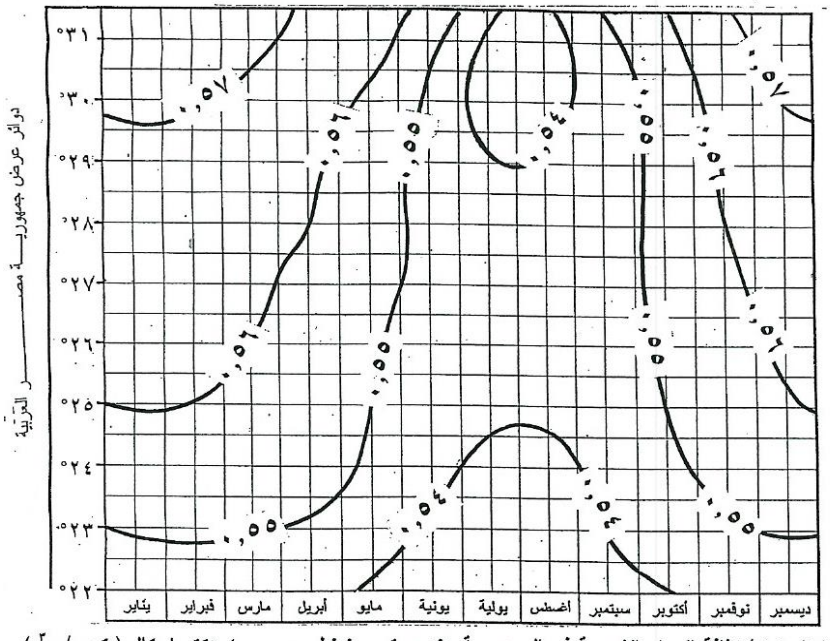


(شكل ١٧) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٦٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٩

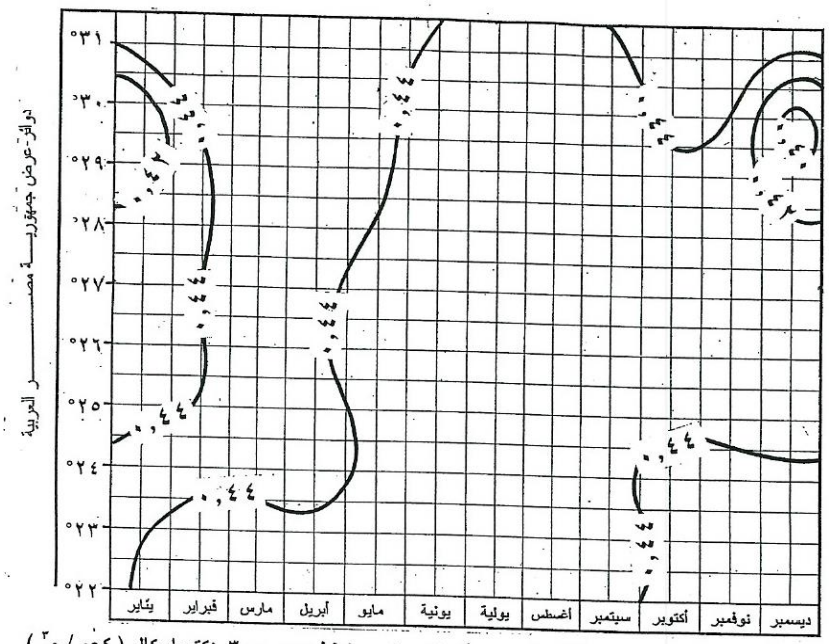


(شكل ١٨) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٥٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

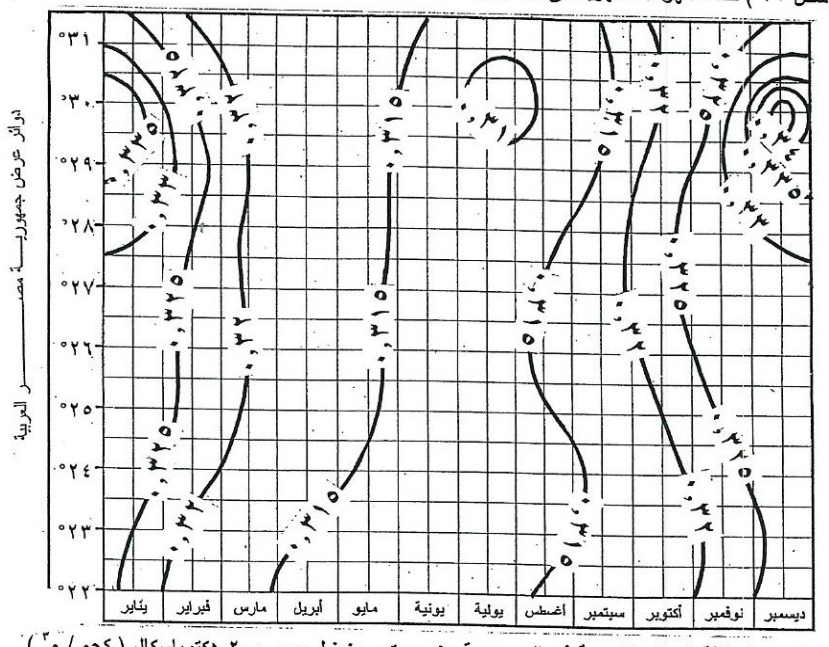


(شكل ١٩) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٤٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٩

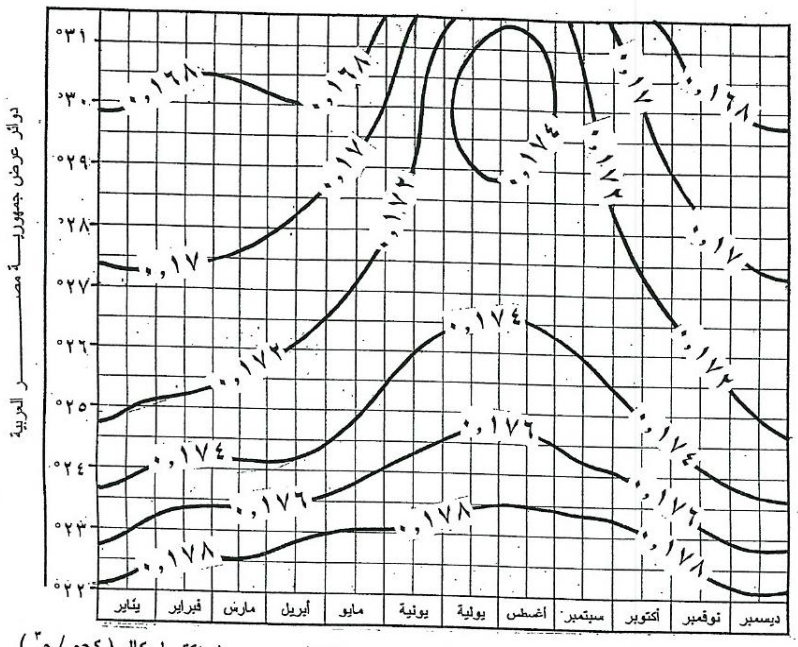


(شكل ٢٠) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٣٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

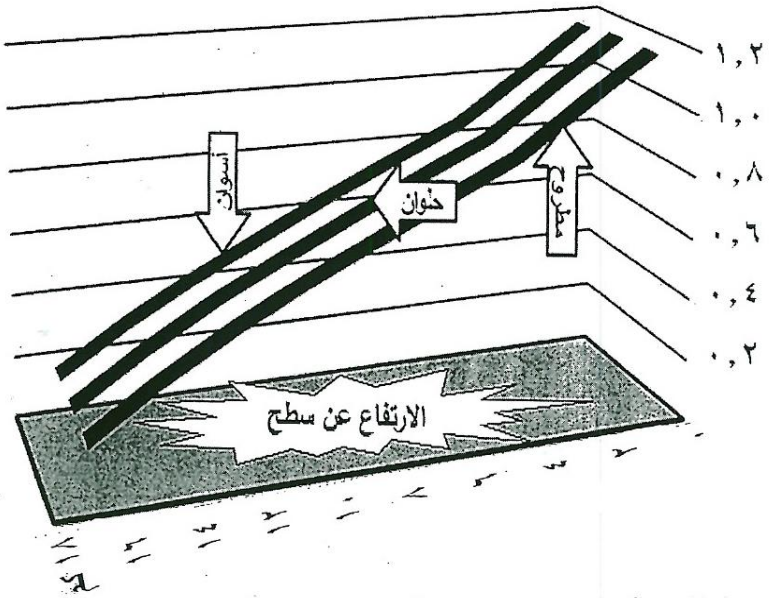


(شكل ٢١) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ٢٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٩

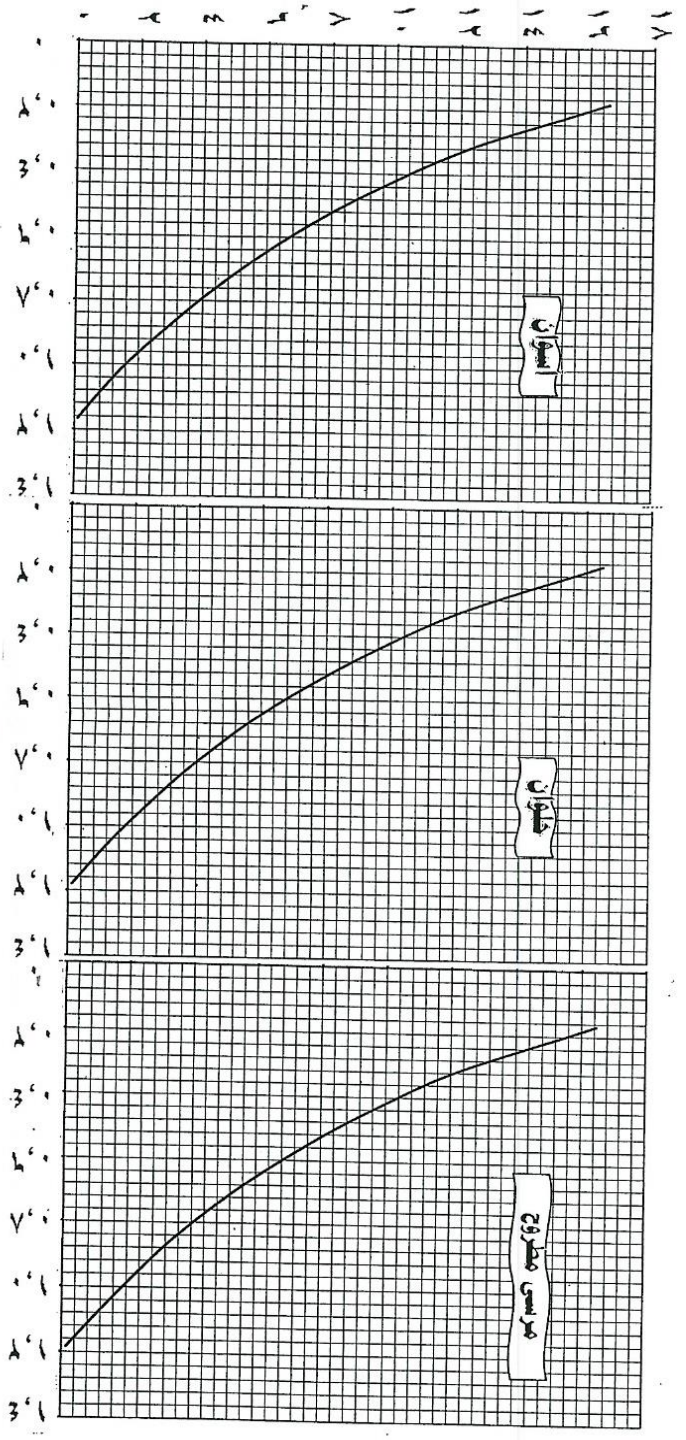


(شكل ٢٢) كثافة الهواء الشهرية فى الجمهورية عند مستوى ضغط جوى ١٠٠ هكتوباسكال (كجم / م٣)



(شكل ٢٣) تغير كثافة الهواء بالارتفاع فى طبقة التروبوسفير بمحطات الأرصاد العليا (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٩



(شكل ٢٤) التغير السنوى لكثافة الهواء بالارتفاع فى التروبوسفير بمحطات الأرصاد العليا (كجم / م٣)

من اعداد الباحث : اعتمادا على بيانات الجدول ٩

رابعا : علاقة كثافة الهواء بالتبخر / النتح :

يعطل ارتفاع كثافة الهواء إلى حد ما سرعة انطلاق جزيئات الماء من التربة عن طريق التبخر أو من النباتات عن طريق النتح ، بينما يساعد انخفاضها على زيادة سرعة الانطلاق ، وبالتالي على زيادة عملية التبخر / النتح ، وبالإضافة إلى ذلك فإن كثافة الهواء لها تأثير غير مباشر على التبخر، بسبب ضعف الرياح أو قوتها ، وهذا يؤثر بدوره على نشاط عملية فقد المياه من التربة والنبات .

وتؤدى الاختلافات المكانية في عملية تسخين التربة والهواء في جمهورية مصر العربية إلى تكون تدرجات حرارية أفقية ، والتي تحدد بدورها تدرجات كثافة الهواء ، حيث ينتج عن ارتفاع درجات الحرارة خفة وزن الهواء وانخفاض كثافته مما يكون حالات من عدم الاستقرار المحلية الناتجة عن حركة تيارات الحمل الجوية ، التي تحدد قوة الحركة الاضطرابية المزجية للطبقة الهوائية الحدية ، وقوة الحركة الاضطرابية المزجية تحدد بدورها سرعة نقل جزيئات بخار الماء من فوق سطوح التبخر / النتح نحو الغلاف الغازي (محمد نجيب عبد العظيم ، ١٩٦٦م : ص ٤٦) .

وقد بلغ معامل الارتباط بين كثافة الهواء وكمية التبخر / النتح الكامن (– ٠.٩٩٨) وهو ارتباط عكسي قوى جدا ، بمستوى ثقة ٩٩ % ، بمعنى تزايد عملية فقد المياه من التربة والنبات في جمهورية مصر العربية مع انخفاض كثافة الهواء ، حيث أن العناصر المناخية المؤثرة فيهما واحدة وهى درجة الحرارة والضغط الجوى وكمية بخار الماء في الهواء ، وقام الباحث بتحديد معادلة خط انحدار بينهما ، وتتخذ الصيغة الآتية :

$$ET_C = 90 \times D^{-16}$$

ET_C = التبخر / النتح **الكامن** عند سطح الأرض (مم / يوم) .

D = كثافة الهواء عند سطح الأرض (كجم / م^3) .

(جدول ١٠) كمية التبخر / النتح الكامن تبعا لمعادلة كثافة الهواء بمصر (مم / يوم)

المحطة المناخية	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
السلوم	٣,٢٠	٣,٣٥	٣,٧١	٤,٤٥	٥,٢٣	٦,٦٢	٧,٥٤	٧,٧٠	٦,٦٠	٥,٥٧	٤,٤٢	٣,٤٩	٤,٨٨
سيدى براني	٣,١٢	٣,٣٠	٣,٧٢	٤,٣٣	٥,٠٤	٦,٣٥	٧,٣٤	٧,٦٥	٦,٦٣	٥,٤١	٤,٢٧	٢,٨٦	٤,٧٣
مرسي مطروح	٣,٠٧	٣,١٣	٣,٦٢	٤,٢٣	٥,٠٤	٦,٢٦	٧,٢٦	٧,٥٠	٦,٥٤	٥,٣١	٤,٢١	٣,٣٦	٤,٧٣
الإسكندرية	٣,٢١	٣,٣٥	٣,٨٠	٤,٥٣	٥,٤٥	٦,٧٦	٧,٩٠	٨,١٠	٧,١٩	٥,٦٦	٤,٤٩	٣,٥٣	٤,٩٩
دمياط	٣,٠٩	٣,٢٥	٣,٨٢	٤,٤٩	٥,٣٩	٦,٨٩	٧,٦٦	٧,٨٥	٦,٧٩	٥,٦٧	٤,٢٦	٣,٤١	٤,٩٣
العريش	٣,٢١	٣,٣٠	٣,٨٨٥	٤,٧٠	٥,٦٥	٧,٠٨	٨,٢٠	٨,٦٠	٦,٠٣	٤,٨٠	٣,٦٢	٥,٢٢
رفح	٣,٢٩	٣,٦٦	٣,٧٨	٤,٥٧	٥,٣٩	٦,٧١	٨,٠١	٨,٥٠	٧,٠٧	٦,٤٣	٤,٥٥	٣,٤٤	٥,١٦
سخا	٣,٠٧	٣,٢٤	٣,٥٩	٤,٧٠	٥,٩٠	٧,١٥	٨,١٧	٧,٥٣	٦,٨٧	٥,٧٠	٤,٥٢	٣,٤٦	٤,٩٤
دمنهور	٢,٩٤	٣,١٢	٣,٦٠	٤,٤٢	٥,٤٣	٦,٨٦	٧,٦٧	٧,٧٤	٦,٦٢	٥,٣٥	٤,١٧	٣,٢٥	٤,٨٢
طنطا	٢,٨٨	٣,١١	٣,٦٥	٤,٦٦	٥,٧٢	٧,٠٤	٧,٧٤	٧,٧٨	٦,٨١	٥,٤٤	٣,٩٩	٣,٠٥	٤,٨٤
المنصورة	٢,٩١	٣,٣٠	٣,٥٧	٤,٥٢	٥,٦٧	٧,١٧	٧,٩١	٧,٩٦	٦,٨٢	٥,٥١	٤,٢٥	٣,١٥	٤,٩٢
الزقازيق	٣,١١	٣,٣٢	٣,٨٧	٤,٨٥	٦,٠٨	٧,٤٠	٨,٢٩	٨,٢٩	٧,١٢	٥,٩٤	٤,٥٢	٣,٣٩	٥,١٩
شبين الكوم	٣,١١	٣,٣٠	٣,٩٠	٤,٩٣	٦,٠٧	٧,٤١	٨,٤١	٨,٤٢	٧,٢٠	٥,٩٣	٤,٤٩	٣,٤٥	٥,٢١
بنها	٣,١٥	٣,٣١	٣,٩٠	٥,٢٣	٦,٢٥	٧,٥٠	٨,٤٥	٨,٥٣	٧,٢٩	٦,٠٨	٤,٥٨	٣,٤٣	٥,٣٠
وادى النطرون	٣,١٢	٣,٣٤	٤,٠٣	٥,٠٥	٦,٠٨	٧,٤٩	٨,٢٤	٨,٤٠	٧,٠٥	٥,٧١	٤,٣٣	٣,٣٧	٥,٢٠
القاهرة	٣,١٧	٣,٤٥	٤,١٤	٥,٢٠	٦,٤٧	٧,٧٧	٨,٥٤	٨,٤٨	٨,٥٣	٥,٩٥	٤,٤٦	٣,٤٥	٥,٣٧
حلوان	٢,٩٠	٣,١٨	٣,٨٣	٤,٧٩	٥,٩٥	٧,٣٧	٨,٠٠	٨,٤٩	٦,٩٤	٥,٥٨	٤,٠٢	٣,٠٥	٤,٩٤
الجيزة	٢,٩٤	٣,٢٥	٤,٠٨	٥,١٨	٦,٤١	٧,٧٦	٨,٤٩	٨,٤٧	٧,٢٣	٥,٩٥	٤,٣٧	٣,٣٣	٥,٢٥
الفيوم	٢,٩٣	٣,٢٩	٤,٠١	٥,١٨	٦,٥٤	٨,٠٨	٨,٧٨	٨,٧٩	٧,٥٧	٦,٠٢	٤,٣٩	٣,٢٠	٥,٣٤
بنى سويف	٢,٨٨	٣,٣٦	٤,١٣	٥,٥٠	٦,٩٥	٨,٤٠	٩,٠٥	٨,٩٩	٧,٨٥	٦,٠٠	٤,٣٠	٣,١٣	٥,١٨
سيوة	٢,٨٣	٣,٢٤	٤,٥١	٥,٣٣	٦,٦٧	٨,٣٢	٨,٨٩	٩,١٤	٧,٣٩	٥,٦٣	٤,٠٠	٣,٠٩	٥,٣٥
السويس	٣,٤١	٣,٧١	٤,٢٩	٥,٥٣	٦,٧٠	٨,١٥	٩,١٥	٩,١٧	٧,٧٤	٦,٢٣	٤,٨٢	٣,٥٧	٥,٦٨
البحرية	٢,٩١	٣,٢٧	٤,١٤	٥,٥٩	٦,٨٤	٨,٤٤	٩,٠٦	٩,٠٥	٧,٥٠	٥,٩١	٤,١١	٣,١٨	٥,٤٠
المنيا	٢,٨٢	٣,١٤	٤,١٧	٥,٣٣	٦,٩٧	٨,٢٠	٨,٩٢	٨,٨٩	٧,٢٨	٥,٩٠	٤,٢٦	٣,١٢٠	٥,٣٠
ملوى	٢,٧٧	٣,٢٢	٣,٩٧	٥,٣٠	٦,٥٩	٧,٧٤	٨,١١	٨,٠٧	٦,٨٦	٥,٦٩	٤,٣١	٣,١٤	٥,١١
الغردقة	٣,٦٣	٣,٨٩	٤,٦٤	٥,٩١	٧,٢٩	٩,٠١	٩,٩٦	١٠,١٧	٨,٥٨	٦,٨٤	٥,١٠	٣,٩٣	٦,١٦
أسيوط	٢,٩٤	٣,٤٦	٤,٣١	٥,٨٧	٦,٥٧	٩,٠٤	٩,٣٣	٩,٢٨	٧,٨٠	٦,٢٨	٤,٤٤	٣,٣٤	٥,٧٢
سوهاج	٣,١٦	٣,٥٨	٤,٣٣	٦,٠٦	٧,٧٧	٩,٠١	٩,٣٥	٩,٨٦	٧,٦٩	٦,٦٠	٤,٦٢	٣,٤٣	٥,٨٥
الفرافرة	٢,٨٧	٣,٢١	٤,١٢	٥,٦٠	٦,٧٣	٨,٣٦	٨,٩٠	٨,٨٥	٧,٤٨	٥,٨٥	٤,١٨	٣,٠٨	٥,٣٧
القصير	٤,١٨	٤,٣٥	٥,٠٦	٦,٢٩	٧,٥٨	٩,١٤	٩,٩٣	١٠,٠٧	٨,٧٤	٧,١٩	٥,٧٨	٤,٥١	٦,٥٦
قنا	٣,٣٦	٣,٨٠	٤,٨٧	٦,٧٢	٨,٥٨	١٠,٠٠	١٠,٦٢	١٠,٥٥	٩,٠٥	٧,٣٠	٥,١٤	٣,٧٧	٦,٥٠
الداخلة	٢,٨١	٣,١٧	٤,١٧	٥,٨٧	٧,٣٥	٩,١٤	٩,٦٠	٩,٣٧	٧,٨٢	٦,١٢	٤,٢٥	٣,٠٩	٥,٥٦
الخارجة	٣,١٧	٣,٦٥	٤,٧٩	٦,٦٣	٨,٤٠	١٠,٢٠	١٠,٤١	١٠,٢٨	٨,٧٠	٧,٣١	٤,٨٤	٣,٥١	٦,٢٨
رأس بناس	٤,٣٩	٤,٧٤	٥,٦٣	٦,٩٤	٨,٥٤	١٠,٥٨	١١,١٤	١١,٣٤	١٠,٠٦	٧,٨٤	٦,١٦	٤,٧٨	٧,٢٩
أسوان	٣,٥١	٤,٠٦	٥,٣١	٦,٨٧	٩,٠٤	١٠,٩٥	١١,٣٤	١١,٢٠	٩,٥٦	٧,٦٦	٥,٢٤	٣,٨٥	٦,٨٣
	٣,١٧	٣,٤٢	٤,٠١	٥,٢٤	٦,٤٧	٧,٩٢	٨,٦٩	٨,٧٠	٧,٥٠	٦,٠٧	٤,٥١	٣,٤٠	٥,٤٠

الجدول من إعداد الباحث : اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية المصرية غير المنشورة للفترة بين عامي ١٩٥٦ ، ٢٠٠٨م .

ونظراً لزيادة زاوية ارتفاع الشمس في المناطق الجنوبية من الجمهورية ترتفع درجات الحرارة مما ينتج عنه انخفاض كثافة الهواء وضغطه ، حيث يصل المتوسط السنوي لكثافة الهواء في أسوان إلى ١.١٧٤٩ كجم / م^{٣} ، الأمر الذي يؤدى إلي زيادة حالات عدم الاستقرار الجوى ، أي تكون حالة من عدم التوازن بين قوة الضغط الرأسية وقوة الجاذبية الأرضية ، الأمر الذي يعمل على تبديد كتل الهواء المحملة ببخار الماء وحلول كتل أخرى جافة نسبيا محلها مما يزيد من كمية التبخر/ النتح ، أما في الشمال فينتج عن ميل أشعة الشمس انخفاض نسبي في درجات الحرارة وزيادة كثافة الهواء السطحي وضغطه ، حيث يصل متوسط الكثافة السنوي في الإسكندرية إلى ١.١٩٨١ كجم / م^{٣} ، مما ينتج عنه كثرة حدوث حالات التوازن الهيدروستاتيكي ، نتيجة لضعف معدلات الحركة الهوائية الرأسية وبالتالي وضوح التوازن النسبي بين هاتين القوتين ، مما يعمل على تراكم جزيئات بخار الماء في الكتل الهوائية السطحية مقللاً بذلك من كمية المياه المفقودة بعملية التبخر/ النتح نتيجة لارتفاع قيم الرطوبة الجوية النسبية (ياسر السيد ، ٢٠٠٣ م : ٢٧٢) .

الخاتمـــــة

– يتحكم الموقع الفلكي للجمهورية في الجزء الأكبر من نسب الاختلافات في كثافة هواء التروبوسفير ، حيث يبلغ معامل الارتباط المشترك بين كثافة الهواء من جهة وكل من دوائر العرض وخطوط الطول من جهة أخرى (٠.٩٢٦) ، في حين يبلغ معامل الارتباط الجزئي بين كثافة الهواء ودوائر العرض مع استبعاد خطوط الطول (٠.٨٩٣) والارتباط الجزئي بينها وبين خطوط الطول مع استبعاد دوائر العرض (–٠.٥٩٦) أي أن الأثر المشترك لتناقص قيم دوائر العرض بالاتجاه نحو الجنوب ، وتزايد قيم خطوط الطول نحو الشرق أكبر من أثر أي من العاملين مع استبعاد أثر العامل الآخر .

– تبين أن الأثر المشترك للعناصر المناخية مجتمعة في تحديد كثافة هواء ، أكبر من أثر أي منها مع استبعاد أثر العناصر المناخية الأخرى ، حيث يبلغ **معامل الارتباط المتعدد** بين كثافة الهواء من جهة وكل من درجة حرارة الطبقة الهوائية السطحية والضغط الجوى وضغط بخار الماء الفعلي من جهة أخرى واحد صحيح ، أي معامل ارتباط تام ، والارتباط الجزئي بين المتوسطات الشهرية لكثافة الهواء في الجمهورية ومتوسطات **درجات الحرارة** مع ثبات أثر العناصر المناخية الفعالة الأخرى (– ٠.٩٩٩) وأن معامل الارتباط الجزئي بين المتوسطات الشهرية لكثافة الهواء و**الضغط الجوى** مع ثبات أثر العناصر المناخية الفعالة الأخرى (٠.٩٩٤) كما بلغ معامل الارتباط الجزئي بين المتوسطات الشهرية لكثافة الهواء و**ضغط بخار الماء الفعلي** مع ثبات أثر العناصر المناخية الفعالة الأخرى (–٠.٩٩٦) .

– تزداد كثافة الهواء في الأجزاء السطحية وتقل بالاتجاه نحو الأعلى ، ويرجع ذلك لقلة وزن عمود الهواء وطوله بالارتفاع ، كذلك يرجع لزيادة نسبة الغازات الثقيلة مثل الهيدروجين والنيتروجين والأكسجين والهليوم في الأجزاء السفلى ، في حين تتزايد نسبة الغازات الأقل وزنا في أعالي التروبوسفير لذلك يبلغ معامل الارتباط بين الارتفاع عن مستوى سطح البحر وكثافة الهواء في طبقة التروبوسفير بالجمهورية (–٠.٩٩٦)

وهو ارتباط عكسي قوى جدا ، بمعنى قلة الكثافة بزيادة الارتفاع نحو أعلى التروبوسفير ، وقد استطاع الباحث تحديد أثر الارتفاع في تغير نسبة وزن عمود الهواء من الفضاء الخارجي حتى هذا الارتفاع إلى وزن عمود الهواء الكلى ، حيث تصل النسبة عند سطح الأرض إلى ١٠٠ % ، تقل عند ارتفاع ٣١٢٨م إلى ٣٠.٩% ، وبزيادة الارتفاع حتى ١٦٥١٢م تقل إلى ٩٠.١% ، أي أن طبقة التروبوسفير وحدها تضم ٩٠.١ % من جملة الغلاف الغازي في الجمهورية ، تاركة ٩.٩% منه لباقي طبقات الغلاف الجوى .

– وبالارتفاع عن سطح الأرض يقل تأثير الإشعاع الحرارى طويل الموجه في وضوح الاختلافات المكانية والزمنية لكثافة الهواء ، حيث تبين أن الانحرافات المعيارية بين قيم كثافة الهواء تزداد في الأجزاء السطحية من التروبوسفير ، وتقل بالارتفاع نحو الاستراتوسفير ، حيث تصل في مرسى مطروح عند مستوى سطح البحر إلى ٢٤ جرام / متر^{٣} ، ، تقل عند مستوى ضغط جوى ٥٠٠ هكتوباسكال ، حتى تصل إلى ١٣ جرام / متر^{٣} ، تقل أكثر وأكثر عند مستوى ضغط جوى ١٠٠ هكتوباسكال ، حيث تصل إلى ٣ جرام / متر^{٣} .

– نظراً لزيادة زاوية ارتفاع الشمس في المناطق الجنوبية من الجمهورية ترتفع درجات الحرارة مما ينتج عنه انخفاض كثافة الهواء ، الأمر الذي يؤدى إلي زيادة حالات عدم الاستقرار الهيدروستاتيكي ، أي تكون حالة من عدم التوازن بين قوة الضغط الرأسية وقوة الجاذبية الأرضية ، الأمر الذي يعمل على تبديد كتل الهواء المحملة ببخار الماء وحلول كتل أخرى جافة نسبيا محلها مما يزيد من كمية التبخر/ النتح ، أما في الشمال فينتج عن ميل أشعة الشمس انخفاض نسبي في درجات الحرارة وزيادة كثافة الهواء السطحي وضغطه ، مما ينتج عنه كثرة حدوث حالات التوازن الهيدروستاتيكي ، نتيجة لضعف معدلات الحركة الهوائية الرأسية وبالتالي وضوح التوازن النسبي بين هاتين القوتين ، مما يعمل على تراكم جزيئات بخار الماء في الكتل الهوائية السطحية مقللاً بذلك من كمية المياه المفقودة بعملية التبخر/ النتح نتيجة لارتفاع الرطوبة الجوية .

المصادر والمراجع

أولا : باللغة العربية :

١ – **السيد محمد أبو هاشم حسن (٢٠١٢م)** : الدليل الإحصائي في تحليل البيانات باستخدام ***SPSS*** ، مكتبة الرشد ، المملكة العربية السعودية .

٢– **الهيئة المصرية العامة للأرصاد الجوية** : بيانات غير منشورة عن المتوسطات الشهرية للعناصر المناخية ، للفترة المحصورة بين عامي ١٩٥٦، ٢٠٠٨م .

٣– **محمد نجيب عبد العظيم (١٩٩٦م)** : علم المناخ المعاصر ، كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية ، بدون دار نشر .

٤– **ياسر أحمد السيد (٢٠١١م)** : الطقس والمناخ بين المتيورولوجيا والجغرافيا ، مكتبة بستان المعرفة الجامعية ، كفر الدوار .

٥– ـــــــــــــــ **(٢٠١٠م)** : تغير الضغط والرياح في التروبوسفير بجمهورية مصر العربية – دراسة في الجغرافيا المناخية ، مجلة الإنسانيات ، كلية الآداب بدمنهور جامعة الإسكندرية ، العدد الرابع والثلاثون .

٦– ـــــــــــــــ **(٢٠٠٧م)** : حرارة التربة المصرية – دراسة في المناخ الزراعي ، مجلة كلية الآداب جامعة الإسكندرية ، الإصدارة الثانية والعشرون الملحقة بالعدد ٥٧ .

٧– ـــــــــــــــ **(٢٠٠٣م)** : التبخر / نتح القياسي في جمهورية مصر العربية – دراسة في الجغرافيا المناخية ، مجلة الإنسانيات ، كلية الآداب بدمنهور ، العدد السادس عشر .

٨– **. ياسر أحمد السيد (١٩٩٨م)** : المناخ وأثره على الزراعة في وادي النيل بمصر – دراسة في المناخ التطبيقي ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب – جامعة الإسكندرية.

ثانياً : باللغة الأجنبية :

(1) **Abdel Hafez, A., (2002).** Estimation of water needs for vegetable crops in the old lands , Meteorological Authority, Cairo, January , V.16.

(2) **Bayle , N., (1998).** Wind effects in a harbor environment, Marseille-Fos Pilot.

(3) **Daniel, J ., (1999).** Introduction to atmospheric chemistry, Harvard University .

(4) **Gordon, J ., (1975).** Standard test method for density and relative density of liquids by digital density meter,national transportation safety board, Washington,D.C.

(5) **Harb, S., (1974).** Characteristic features of wind field in windy regions in Egypt , Meteorological Authority, Cairo, March.

(6) ـــ **(1973).** Measurements of potential evapotranspiration by the energy budget method from irrigated short vegetation in a small field at Giza, Meteorological Authority, Cairo, March.

(7) **Mandal, G. , Kumar, A., Sharma ,C., and Kumar, H., (2013).**

Comparative analysis of different air density, Journal of Metrology Society of India ,March .

(8) **National Physical Laboratory**., (2002). Buoyancy correction and air density measurement, United Kingdom.

(9) **Picard**, **R**., **Glaser**, **M**., **and Fujii.K**., (2008) . Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), IOP Publishing, Metrologia.

Measuring the climate impact of residential buildings: greenpoint rated climate calculator version 2, University of California.

(10) **Sadakov**, **V**., **and Mostafa**, **M**., (1970). Numerical model for prediction of the atmospheric state - part (1), Meteorological Authority, Cairo March,
Vol 11.

(11) **Yuh-Lang Lin**., (2013) . Atmospheric thermodynamics, department of physics,University of North Carolina

(12) ———., (2012) . Equation of State of an ideal gas , department of physics,University of North Carolina

(13) **Zsolt**, **B**., (2009) . Aerodynamic effects of horizontal-temporal variability of atmospheric air density – A first approach, Szolnok, Hungary .