

تطوير نموذج رياضي لاستخراج وقياس درجة الحرارة السطحية من مرئيات القمر الصناعي
(LANDSAT-7 ETM+)

د. محمد أحمد مياس كلية الآداب - قسم الجغرافيا - جامعة صنعاء

المقدمة:

أتاح التقدم المستمر والمتزايد في تكنولوجيا الفضاء في إمكانية استخدام البيانات الفضائية لدراسة الظواهر الطبيعية المعقدة على سطح الأرض، وتعتبر الدراسات المناخية والبيئية ومنها الدراسات المتعلقة بدرجة الحرارة على سطح الأرض ذات أهمية قصوى وذلك بغرض فهم الظروف المناخية و البيئية لمنطقة ما، ومدى تلاؤمها للحياة البشرية، إضافة إلى تتبع ورصد التغيرات المناخية خاصة ما يتعلق بارتفاع درجة حرارة الأرض التي سجلت تغيرات ملحوظة في العقدين الأخيرين مع إمكانية إجراء دراسات الاستقراء والتنبؤ بما قد تصل إليه خلال السنوات القادمة وتأثيرها البيئي والمناخي والاقتصادي سواءً على المستوى المحلي أو الإقليمي أو العالمي.

معظم الدراسات التي تطرقت إلى كيفية استخراج درجات الحرارة السطحية من مرئيات الأقمار الصناعية استخدمت مرئيات تم الحصول عليها من مجسات أحادية العدسة، وهذا النوع من المجسات المثبتة على القمر الصناعي يمكن أن يؤثر على قياس درجة الحرارة بشكل واضح، ولأجل تقييم الاختلاف في درجة الحرارة التي تم استخراجها من هذه المجسات لا بد من إجراء دراسة مفصلة من خلال انتقاء عينات لمساحات صغيرة داخل المرئية الفضائية من منطقة الدراسة (Schmidt et al., 1991).

ومع التطورات المستمرة في صنع أقمار صناعية قادرة على إنتاج مرئيات فضائية عالية الدقة، فإن كثيراً من المشاكل التقنية التي كانت تعيق عملية استخراج درجة الحرارة السطحية قد تم حلها مع إمكانية التقاط مرئيات تغطي منطقة واسعة، ولذلك نجد أن أولى محاولات استخراج درجات الحرارة من المرئيات الفضائية قد بدأت منذ أواخر الثمانينات في القرن الماضي، حيث قدم عدد من الباحثين أمثال (Brutsaert et al., 1996) و (Kaneko and Hino, 1994) و (Anono et al., 1996) نماذج رياضية لاستخراج درجة الحرارة السطحية من المرئيات الفضائية وذلك في مناطق الغابات، لكنهم عجزوا عن استخراجها في المناطق الحضرية.

ولعل السبب يعود إلى أن المناطق الحضرية تتميز باحتوائها على تنوع كبير في استخدامات الأرض، فنجد أن بيانات المرئيات الفضائية في هذه المناطق تحتوي على تفاوت كبير في الشكل الرقمي (أرقام البكسل) بسبب الاختلاف الطيفي في الأشعة المنعكسة من الأجسام على سطح الأرض بشقيها الطبيعي والبشري (Berk et al., 1999).

كما أجريت العديد من الدراسات من قبل بعض الباحثين المهتمين بالدراسات المناخية أمثال (Kidder and Wu, 1987; Balling and Brazell, 1988; Roth et al., 1989; Gallo et al. 1993; Gallo and Owen, 1998; Streutker, 2002)، واهتمت تلك الدراسات بعمل نماذج لاستخراج درجات الحرارة الأرضية خاصة في المناطق الحضرية باستخدام بيانات أقمار الاستشعار عن بعد ويأتي في مقدمة تلك البيانات مرئيات المجس (*AVHRR*) وهو اختصار لاسم المجس (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) والذي يعني (المقياس الإشعاعي المتقدم ذو الدقة العالية) والمثبت على القمر الصناعي (*NOAA*)، وكذلك المجس (*MODIS*) المثبت على القمر الصناعي (*TERRA*) ويستخدم لجمع المعلومات المتعلقة بالتغيرات اليومية على سطح الأرض والبحار والمحيطات مثل خصائص الحرارة السطحية والظروف المناخية.

إضافةً إلى ما سبق، قام عدد من الباحثين مثل (Roth et al., 1989) باستخراج درجة الحرارة السطحية من مرئيات المجس (*AVHRR*)، وتقييم توزيعها المكاني عبر العديد من المدن الواقعة على طول الساحل الغربي لأمريكا الشمالية، وقد بين هؤلاء الباحثين أن نمط توزيع الحرارة داخل المناطق الحضرية مرتبط ارتباطاً قوياً بنمط استخدام الأرض.

وقد استخدمت بيانات الاستشعار عن بعد بنجاح في النطاق الطيفي للأشعة تحت الحمراء (*Infrared*) وتحت الحمراء القريبة (*Near-Infrared*) وذلك لقياس حجم وامتداد و ظروف التغير الأرضي خاصة في المناطق الحضرية (Weng et al., 2004)، كما استمر استخدام الأقمار الصناعية مثل (*NOAA*) و (*LANDSAT*) إلى جانب خرائط استخدام الأراضي لتقييم الأنماط المكانية لدرجة سطوع الأجسام بخرائط ذات مقاييس رسم مختلفة (Gallo et al., 1993; Gallo and Owen, 1998).

في المقابل نجد أن العديد من أجهزة الاستشعار المحمولة على الأقمار الصناعية وبمقاييس مختلفة في دراسة درجة الحرارة السطحية ركزت في معظمها على قياس درجة الحرارة في المدن الكبرى خاصة في المناطق المعتدلة المناخ ومقارنتها بمدن أخرى (Streutker, 2003).

مجموعة أخرى من الباحثين (Tran et al., 2006) استخدموا مرئيات القمر الصناعي (*TERRA MODIS*) خلال الفترة بين عامي ٢٠٠١ و ٢٠٠٣ لمقارن درجة الحرارة السطحية في المناطق الحضرية في ١٨ مدينة كبرى تقع ضمن المناطق المعتدلة المناخ والمدارية، وكانت النتائج جيدة ومقاربة للقياسات التي تم رصدها من خلال المحطات الأرضية خلال نفس الفترة.

وتعتمد آلية الحصول على درجات الحرارة السطحية على المجسات المثبتة على الأقمار الصناعية التي تقوم بقياس الإشعاعات المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام الموجودة على سطح الأرض إلى الجزء العلوي من الغلاف الجوي باستخدام قانون بلانك (*Planck's Law*)، وتختلف درجة الإشعاعات وشدة سطوع الأجسام عن درجة حرارة سطح الأرض الفعلية وذلك بسبب عدة تأثيرات موجودة في الغلاف الجوي، على سبيل المثال (امتصاص جزيئات بخار الماء لأجزاء من هذه الإشعاعات، واختلاف توزيع درجة الحرارة السطحية، واختلاف زاوية الرؤية في القمر الصناعي (Dousset and Gourmelon, 2003) الأمر الذي يحتم أخذ تلك المتغيرات في الحسبان أثناء رصد قيم الانبعاث الطيفي لدرجة حرارة السطح الفعلية.

ويمكن تصنيف معظم الأبحاث المتعلقة بدراسة درجة الحرارة السطحية اعتماداً على مرئيات الأقمار الصناعية إلى ثلاثة مجموعات رئيسية هي: (١) دراسة التركيب المكاني لأنماط التوزيع الحراري في المناطق الحضرية وعلاقتها بخصائص سطح الأرض، (٢) دراسة تذبذب درجة الحرارة السطحية من خلال مقارنتها مع نماذج مناخية لمناطق مختلفة (٣) دراسة العلاقة بين حرارة الغلاف الجوي والسطح من خلال المقارنة بين الملاحظات الميدانية والمرئيات الفضائية (Sanchez et al., 2008).

مشكلة الدراسة:

أدى عدم توفر البيانات الكمية لدرجات الحرارة السطحية في عموم محافظات الجمهورية اليمنية من جهة، وتركز المحطات المناخية في مراكز المحافظات وعدد محدود من المدن الثانوية من جهة أخرى، إضافة إلى قصور الفهم المناخي والدراسات المناخية إلى ضرورة الحصول على بيانات مناخية تغطي أراضي الجمهورية اليمنية خلال الثلاثين عاماً الماضية، بحيث يتمكن أي باحث سواءً في الجانب الطبيعي أو البشري من الحصول على هذه البيانات بيسر وسهولة من مرئيات الأقمار الصناعية، كما تستطيع الجهات المعنية في الدولة من قراءة هذه البيانات وبالتالي معرفة الحالة المناخية سابقاً والتنبؤ باختلاف درجات الحرارة في العقود المقبلة.

و نتيجةً لما سبق فإن هذه الدراسة تهدف إلى تطوير نموذج رياضي يمكن من خلاله استخراج درجات الحرارة السطحية اعتماداً على البيانات الرقمية للمنطقة الطيفي للقناة السادسة وهي القناة الحرارية (*Thermal Channel*) من مرئيات القمر الصناعي (*LANDSAT-5*) و (*LANDSAT-7*).

منطقة الدراسة:

تغطي منطقة الدراسة بعض محافظات الجمهورية اليمنية وعددها ثمان محافظات (شكل رقم ١) وهي (صعدة، عمران، المحويت، ريمه، اب، البيضاء، الضالع، ابين)، ويرجع السبب في اختيار هذه المحافظات إلى صغر مساحة هذه المحافظات مما يتيح ظهورها في مرئية واحدة.

البيانات المستخدمة في الدراسة:

تم استخدام ثلاثة أنواع من البيانات في هذه الدراسة وذلك على النحو التالي:-

أولاً: مرئيات فضائية من القمر الصناعي (*LANDSAT-5*) والقمر الصناعي (*LANDSAT-7*) في شكلها الخام وذلك لتطبيق النموذج الذي تم تطويره في هذه الدراسة، ومن خلال هذه المرئيات تم استخراج درجات الحرارة السطحية للمحافظات التي شملتها الدراسة، ويحتوي جدول رقم (١)، وجدول رقم (٢) على المعلومات الخاصة بهذه المرئيات مثل تاريخ التقاط المرئية، والدقة المساحية، والمساحة الطيفية.

ثانياً: بيانات رقمية مستخرجة من المرئيات الفضائية (*AVHRR*) للقمر الصناعي (*NOAA-10*) والقمر الصناعي (*NOAA-15*).

ثالثاً: بيانات رقمية تمثل نموذج الارتفاع الرقمي (*Digital Elevation Model-DEM*) وذلك لمعرفة العلاقة بين درجات الحرارة التي تم استخراجها من أقمار (*LANDSAT*) مع ارتفاعات المنطقة.

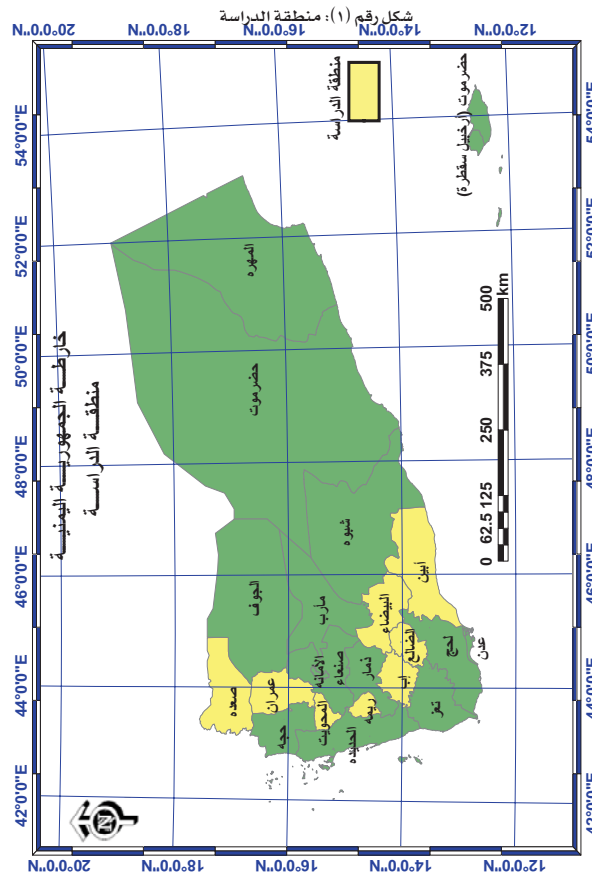
منهجية البحث:

تعتبر عملية قراءة المرئيات الفضائية من صورتها الخام والتي تشمل جميع القنوات المرئية بما فيها الملفات المرفقة والتي تحتوي على المعلومات الخاصة بتاريخ وزمن التقاط المرئية وارتفاع القمر الصناعي وسرعته والإحداثيات الجغرافية وأرقام معايرة الصورة وغير ذلك من البيانات الهامة من أهم الخطوات التي يجب الحرص على تنفيذها بدقة في بداية العمل، وبناءً على ذلك فقد اعتمدت منهجية البحث على قراءة المرئيات الفضائية مع ضم الملفات المرفقة بصورتها الخام وضمها في ملف واحد.

والخطوة التالية هي إجراء التصحيح الإشعاعي للمرئيات الفضائية إذا كانت تحتوي على تشوهات ناتجة من المجس أثناء التقاط الصورة، مع الحرص على عدم تغيير البيانات الرقمية (أرقام البكسل) داخل المرئية الفضائية، إضافة إلى إجراء التصحيح الهندسي للصورة عن طريق اختيار نقاط إسناد للتأكد من وقوع الأجسام الأرضية في مواقعها الجغرافية الصحيحة ومقارنة ذلك بخارطة طبوغرافية أو صورة فضائية مصححة هندسياً، حيث تم اختيار (١٥) نقطة مرجعية لكل مرئية وذلك لضمان تصحيحها هندسياً ومقارنة إحداثيات تلك النقاط بمواقعها من داخل (*Google Earth*) وتم اختيار المسقط الجغرافي المناسب وهو مسقط مركاتور المستعرض العالمي (*UTM*) ضمن نطاق منطقة الدراسة الواقعة في النطاق (٣٨) في النصف الشمالي من الكرة الأرضية مع اختيار مقطع الإسناد المناسب وهو النظام الجيوديسي العالمي (*WGS84*).

جدول رقم (١): البيانات الخاصة بمرئيات (LANDSAT-5)

| المحافظة | تاريخ التقاط المرئية | الدقة المكانية بالمتر | الطول الموجي (μm) | | | |
|----------|----------------------|--|--------------------------|------------|-----|-------------|
| صعدة | 1990-08-30 | 120 | 10.40-12.50 | | | |
| عمران | 1989-09-20 | 120 | 10.40-12.50 | | | |
| المحويت | 1989-09-20 | 120 | 10.40-12.50 | | | |
| ريمه | 1989-09-20 | 120 | 10.40-12.50 | | | |
| اب | 1989-09-20 | 120 | 10.40-12.50 | | | |
| البيضاء | 1987-02-04 | 120 | 10.40-12.50 | | | |
| الضالع | 1987-02-04 | 120 </tr <tr> <td>ابنين</td> <td>1990-09-01</td> <td>120</td> <td>10.40-12.50</td> </tr> | ابنين | 1990-09-01 | 120 | 10.40-12.50 |
| ابنين | 1990-09-01 | 120 | 10.40-12.50 | | | |



جدول رقم (٢): البيانات الخاصة بمرئيات (LANDSAT-7)

| المحافظة | تاريخ النقاط المرئية | الدقة المكانية بالمتر | الطول الموجي (μm) |
|----------|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| صعدة | 2001-09-05 | 60 | 10.40-12.50 |
| عمران | 2000-05-13 | 60 | 10.40-12.50 |
| المحويت | 2000-05-13 | 60 | 10.40-12.50 |
| ريمه | 2000-12-23 | 60 | 10.40-12.50 |
| اب | 2000-01-31 | 60 | 10.40-12.50 |
| البيضاء | 2000-01-31 | 60 | 10.40-12.50 |
| الضالع | 2000-01-31 | 60 | 10.40-12.50 |
| اب ين | 2000-11-16 | 60 | 10.40-12.50 |

و بعد التأكد من تنفيذ التصحيح الإشعاعي والتصحيح الهندسي لجميع المرئيات بشكل سليم، تم قص تحديد حدود كل محافظة على حده واستخراج القناة السادسة فقط من القنوات الطيفية للقمر الصناعي (LANDSAT) وهي القناة المسجلة ضمن الطيف الحراري لكل محافظة تقع ضمن منطقة الدراسة.

أما المرحلة الثانية وهي مرحلة تحليل المرئيات الفضائية وإعداد النموذج الرقمي لاستخراج البيانات المطلوبة، فقد استندت هذه المرحلة على تحويل المرئية من الشكل (المرئي) إلى الشكل (الرقمي)، ولذلك توجب معرفة أعلى قيمه وأقل قيمه من قيم الإشعاع المسجل بواسطة المجس في كل مرئية على حده، وذلك من خلال الملف المرفق مع كل مرئية فضائية في شكلها الخام وذلك لمعرفة كمية الإشعاع الذي اكتسبته كل مرئية أثناء التصوير، بمعنى آخر معرفة قيمة الإشعاع المنخفض و الإشعاع العالي للمرئية وتحويل تلك القراءات ومقارنتها بأرقام البكسل، مع الأخذ في الحسبان تحويل هذه القيم من وحدة (الميكرومتر) إلى وحدة (المتر) بغرض تسهيل قراءة النتائج.

وتتراوح قيم (البكسل) الرقمية المسجلة على المرئيات الفضائية بين (0) و (255) وتمثل حرارة الأجسام الموجودة على سطح الأرض، ولكن لا يمكن حساب درجة الحرارة السطحية مباشرة من المرئية الفضائية باستخدام هذه القيم، بل يجب تحويل

جميع أرقام البكسل إلى قيم تمثل الإشعاع الطيفي المنعكس لهذه الأجسام و تم تسجيلها بواسطة المجس المثبت على الأقمار الصناعية في الطبقات العليا للغلاف الجوي وذلك بتطبيق المعادلة رقم (1):

$$R_{(AT)} = \frac{(RV_{\max} - RV_{\min}) \times IDN}{[(DN_{\max} + DN_{\min}) / 2]} \quad (1)$$

حيث أن:

$R_{(AT)}$ تمثل الإشعاع الطيفي المسجل عند عدسة المجس

RV_{\max} و RV_{\min} تمثلان قيم الإشعاع الكبرى والصغرى الموجودة بالملف المرفق للمرئية

IDN تمثل قيمة رقم البكسل الموجود في المرئية

DN_{\min} و DN_{\max} تمثلان أعلى قيمه وأصغر قيمه من قيم البكسل في المرئية الفضائية

والخطوة التالية هي تحويل قيم الإشعاع الطيفي المسجلة بواسطة المجس و التي حصلنا عليها من المعادلة رقم (1) إلى قيم تمثل الإشعاع على سطح الأرض، ولكن بسبب تأثير الغلاف الجوي في نفاذة الإشعاع المنعكس من الأجسام الموجودة على سطح الأرض، يتم امتصاص جزء من هذا الإشعاع بواسطة الغلاف الجوي في المنطقة الواقعة بين سطح الأرض والمجس المثبت على القمر الصناعي، ولذلك فمن المهم قياس نفاذة الإشعاع عبر الغلاف الجوي τ ، وقياس طاقة الإشعاع المنبعث ε .

وقد تم استخدام برنامج (*MODTRAN*) وهو برنامج خاص بنمذجة الغلاف الجوي، وذلك لتحديد طاقة الإشعاع المنبعث في الغلاف الجوي وكذلك نفاذية هذا الإشعاع.

عند الانتهاء من تحديد قيم النفاذية وقيم طاقة الإشعاع المنبعث، يتم إدراج هذه القيم لتحديد الإشعاع على سطح الأرض وذلك بتطبيق المعادلة رقم (2) (Fred et al., 2008):

$$R_{(g)} = \frac{R_{(AT)}}{\varepsilon \tau} \quad (2)$$

وبافتراض الحصول على قيم الإشعاع المنبعث من الأجسام على سطح الأرض من المعادلة رقم (2)، فقد تم حفظ البيانات الجديدة كمصفوفة رقمية لكل مرئية فضائية على حده، ومقارنتها إحصائياً باستخدام نموذج الانحدار الخطي مع البيانات التي تم استخراجها من مرئيات (AVHRR) من خلال اختيار ثلاثين عينة عشوائية من مواقع مختلفة من كل مرئية و بنفس

الإحداثيات الجغرافية، و للحصول على النموذج الرياضي المناسب لحساب درجات الحرارة السطحية فقد تم إدراج متوسط جميع قيم الانحدار الخطي لعدد ثمان مرئيات من (LANDSAT-5 TM) كما هو موضح في المعادلة رقم (3) و ثمان مرئيات من (LANDSAT-7 ETM+) كما هو موضح في المعادلة رقم (4) تمثل مناطق الدراسة:

$$TM = 2.417 + 1.0732AVHRR \quad (3)$$

$$ETM = 1.294 + 0.0893AVHRR \quad (4)$$

ومن خلال المعادلات رقم (2)، (3)، (4) تم افتراض النموذج النهائي في معادلتى (5)، (6) للحصول على قيمة الإشعاع المنبعث من الأجسام الأرضية وقياسه بشكل مباشر من مرئيات (LANDSAT-5 TM) و (LANDSAT-7 ETM+) على التوالي:

$$R_{(TM)} = [(2.417 \times IDN) + 1.0732] \quad (5)$$

$$R_{(ETM)} = [(1.294 \times IDN) + 0.0893] \quad (6)$$

تعطينا المعادلات رقم (5) و (6) النتيجة النهائية للإشعاع المنبعث من الأجسام الأرضية وهذه هي نتيجة قياس الطاقة المنبعثة ولكن يتوجب تحويل هذه القيم إلى قيم لقياس الحرارة المنبعثة من الأجسام، ولتحقيق ذلك يتوجب استخدام قانون بلانك (معادلة رقم 7) الخاص بقياس درجة حرارة الأجسام السوداء وذلك لقياس درجة الحرارة الفعلية للأجسام الموجودة في المرئية الفضائية.

$$T_{(KV)} = \frac{K_2}{\ln[K_1 / R_{(TM,ETM)} + 1]} \quad (7)$$

حيث أن:

$T_{(KV)}$ تمثل درجة حرارة الأجسام وتقاس بوحدة الكالفن (Kelvin)

K_2 قيمة مستخرجة من النموذج عن طريق استخدام برنامج MODTRAN وتبلغ هذه القيمة (973.24) لمرئيات (TM) و (1023.85) لمرئيات (ETM+)

K_1 قيمة مستخرجة من النموذج عن طريق استخدام برنامج MODTRAN وتبلغ هذه القيمة (52.67) لمرئيات (TM) و (55.82) لمرئيات (ETM+)

ولتحويل درجة الحرارة المقاسة بالكالفن إلى درجة الحرارة المثوية يتم تطبيق المعادلة رقم (8)

$$C = T_{(kv)} - 273 \quad (8)$$

النتائج:

تم اختبار النموذج عن طريق اختيار (٣٠) عينة عشوائية من أرقام البكسل تمثل درجات الحرارة السطحية المراد استخراجها من مرئيات (TM) و (ETM+) و تعتبر هذه العينات هي عينات النموذج التي تمت مقارنتها مع (٣٠) عينة من بيانات (AVHRR) كعينات مقاسه لها نفس الموقع الجغرافي، وذلك بغرض تعزيز دقة النتائج عند تطبيق النموذج.

إن النتائج النهائية للمقارنة بين عينات النموذج والعينات التي تم قياسها قد تم عرضها بأشكال تمثل الانحدار الخطي لكل محافظة على حده، وقد أظهرت نتائج الانحدار الخطي وجود علاقة قوية بين عينات النموذج والعينات التي تم قياسها، حيث كانت قيم معامل الارتباط (R^2) أكثر من (0.8) في معظم مناطق الدراسة.

توضح الأشكال رقم (٢) و (٤) و (٦) و (٨) و (١٠) و (١٢) و (١٤) و (١٦) نتيجة الانحدار الخطي بين عينات النموذج من مرئيات (TM) و (ETM+) والعينات التي تم قياسها من بيانات (AVHRR) في محافظات (صعده) و (عمران) و (المحويت) و (ريمه) (اب) و (البيضاء) (الضالع) و (اب ين) على التوالي، كما تم تصنيف قيم معامل الارتباط لكل محافظة وعرضه في جدول رقم (٣).

جدول رقم (٣): قيم معامل الارتباط بين عينات النموذج والعينات التي تم قياسها

| المحافظة | R^2 (TM) | R^2 (ETM+) |
|----------|------------|--------------|
| صعده | 0.863 | 0.869 |
| عمران | 0.829 | 0.84 |
| المحويت | 0.797 | 0.747 |
| ريمه | 0.85 | 0.83 |
| اب | 0.61 | 0.88 |
| البيضاء | 0.879 | 0.808 |
| الضالع | 0.61 | 0.916 |
| اب ين | 0.818 | 0.873 |

المصدر: عمل إحصائي للقياسات من مرئيات (TM) و (ETM+)، ٢٠١٠م.

يبين الجدول رقم (٣) توافق معامل الارتباط بين عينات النموذج والعينات التي تم قياسها مما يعزز الدقة السائدة في النموذج الخاص بهذه الدراسة، حيث كانت العلاقة بينهما قوية خاصة في محافظات صعده و عمران وريمه والبيضاء أبين، وقد يعود السبب إلى أن العينات التي تم اختيارها بشكل عشوائي من المرئيات الفضائية كانت موزعة بين مختلف مظاهر سطح الأرض بشكل جيد بحيث أخذت عينات من المناطق الجبلية والسهلية والأودية الخ...

من ناحية أخرى نجد أن نتائج قيم معامل الارتباط في معظم مرئيات (TM) أقل من قيم مثيلاتها في مرئيات ($ETM+$)، ولعل السبب يرجع إلى أن الدقة المكانية (حجم البكسل) في مرئيات ($ETM+$) عالية حيث تبلغ (٦٠) متر للبكسل الواحد مقارنة مع مرئيات (TM) التي تبلغ (١٢٠) متر.

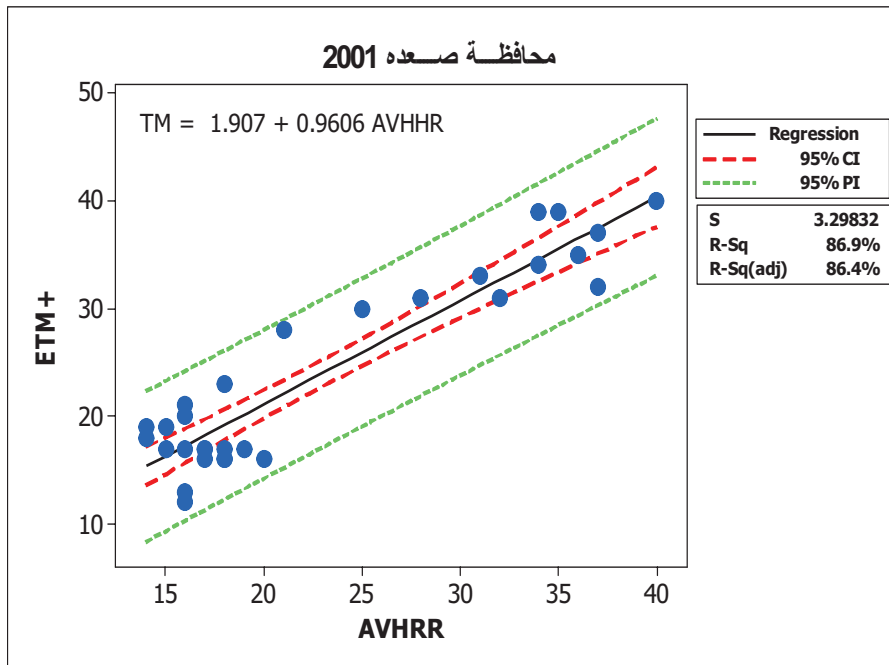
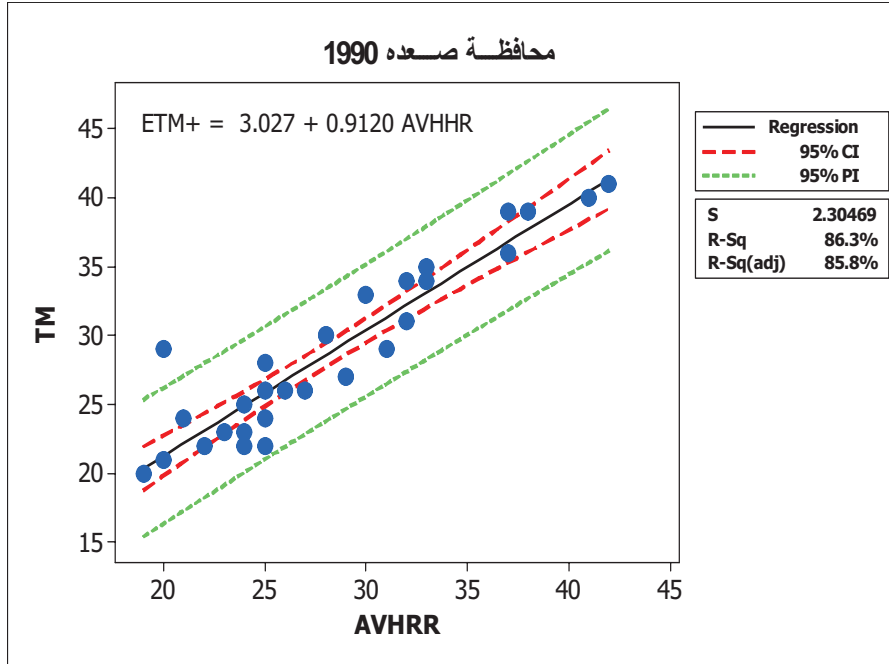
إضافة إلى ما سبق، نجد أن معامل الارتباط لمرئيات (TM) في الشكل رقم (١٠) والشكل رقم (١٤) لمحافظة اب والضالع كانت (0.612) و (0.611) على التوالي، مما يشير إلى وجود علاقة متوسطة وليست قوية، وربما يعود السبب إلى أن كلا المحافظتين ذات تضاريس جبلية تكاد تختفي فيها المناطق السهلية، أو أن العينات المختارة منها لم يتم توزيع اختيارها بشكل جيد.

من خلال التحليل الإحصائي نجد بأن الطريقة التي تم إتباعها في النموذج مناسبة لإجراء القياسات غير المباشرة لاستخراج درجات الحرارة السطحية من مرئيات ($LANDSAT$)، ويمكن اعتباره نموذجاً مناسباً لأي دراسة يتم عملها بهذه المرئيات.

التوزيع المكاني لنتائج درجات الحرارة السطحية في منطقة الدراسة يظهر في الأشكال رقم (٣) و (٥) و (٧) و (٩) و (١١) و (١٣) و (١٥) و (١٧) في محافظات (صعده) و (عمران) و (المحويت) و (ريمه) (اب) و (البيضاء) (الضالع) و (ابين) على التوالي.

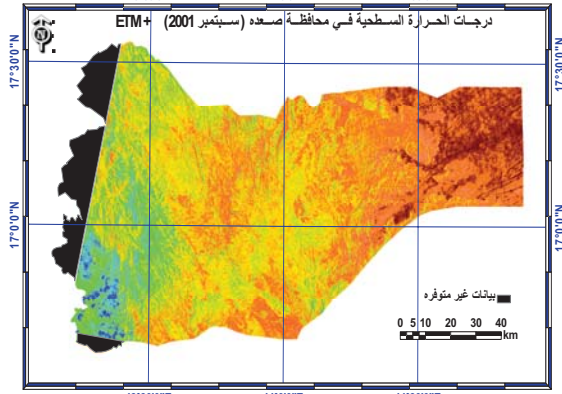
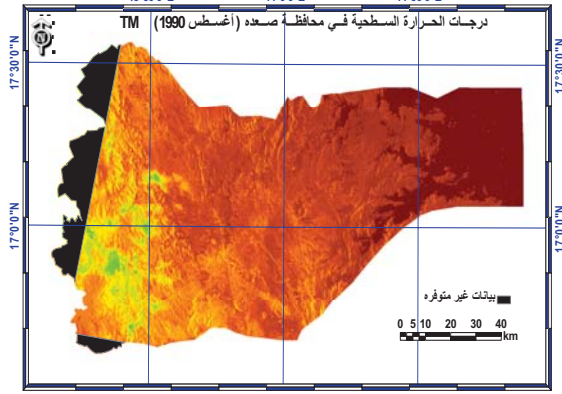
إن نمط التوزيع المكاني لدرجات الحرارة المستخرجة يظهر الدقة التي تم إتباعها أثناء إعداد النموذج، فقد تم استخراج درجات الحرارة في شهور مختلفة من السنة بناءً على زمن التقاط المرئيات الفضائية، إضافة إلى أن المحافظات التي تم اختيارها كمنطقة دراسة تحتوي على تضاريس مختلفة مثل المناطق الجبلية والأودية والسهول والمدرجات وغير ذلك من مظاهر سطح الأرض، فالمناطق الجبلية ظهرت أكثر برودة من المناطق السهلية، ويدعم ذلك خارطة الارتفاعات التي تم إعدادها من نموذج الارتفاعات الرقمي لكل محافظة.

شكل رقم (٢) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات LANDSAT والبيانات التي تم قياسها من AVHRR في محافظة صعده

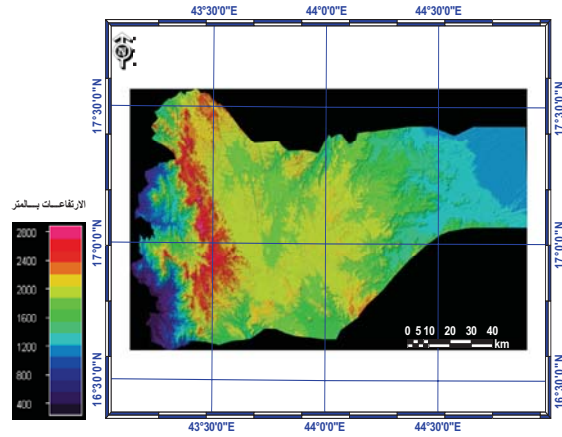


شكل رقم (٣) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات *LANDSAT*

(TM, ETM+) وخارطة الارتفاعات في محافظة صعده

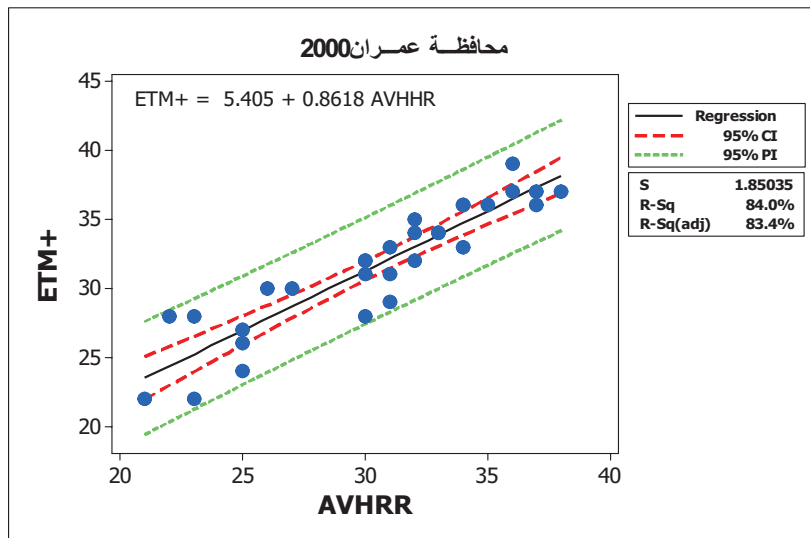
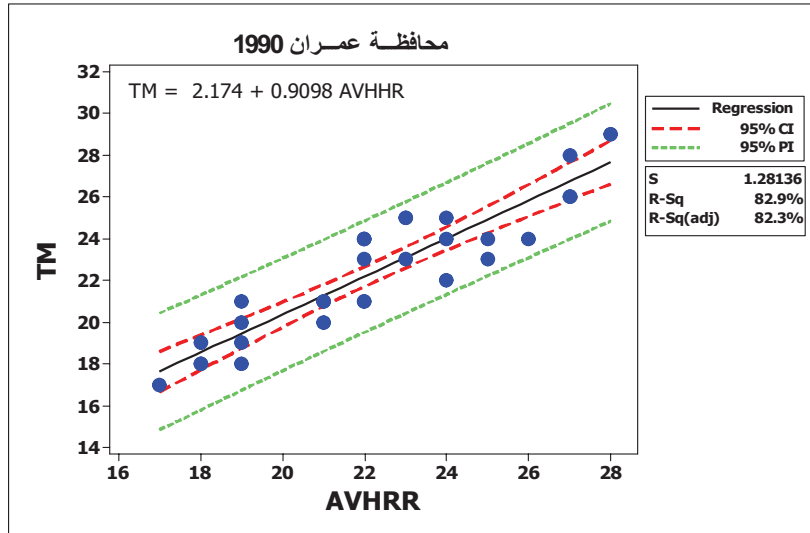


خارطة الارتفاعات في محافظة صعده

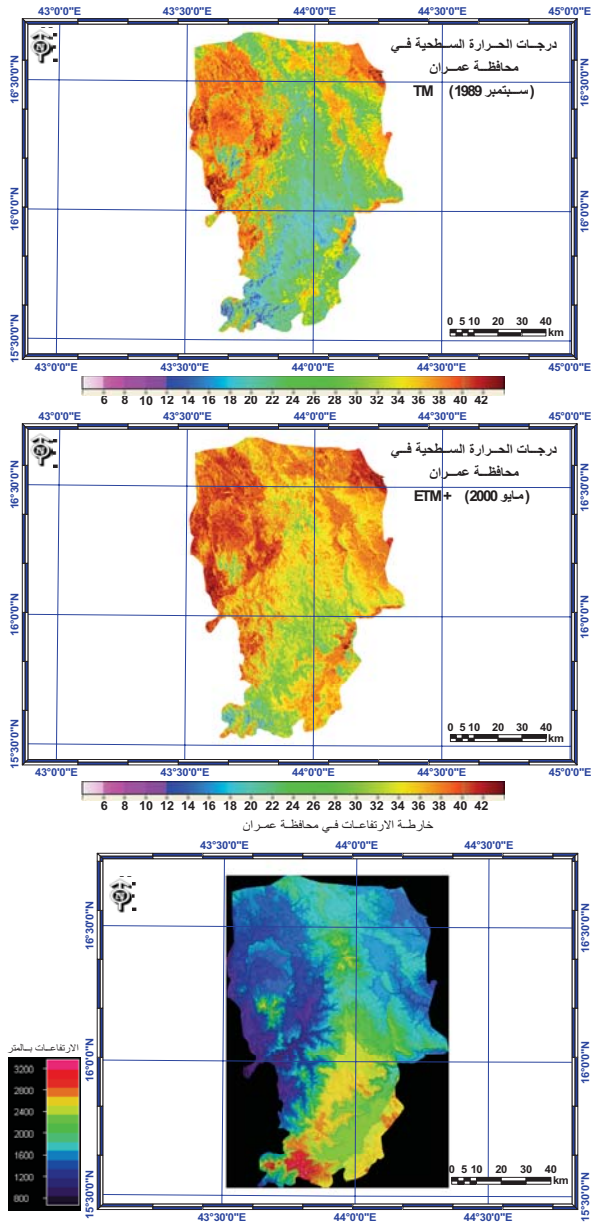


شكل رقم (٤) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات *LANDSAT* والبيانات التي

تم قياسها من *AVHRR* في محافظة عمران

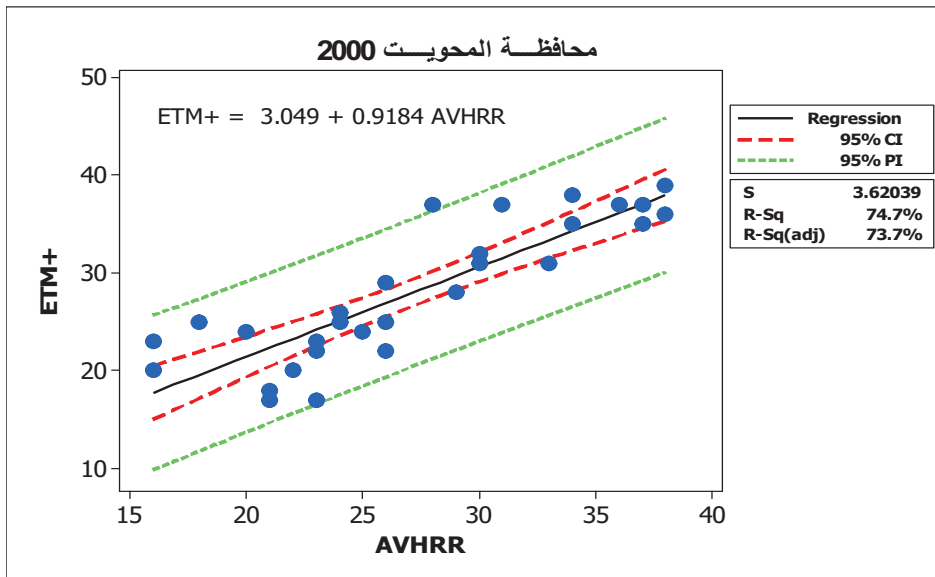
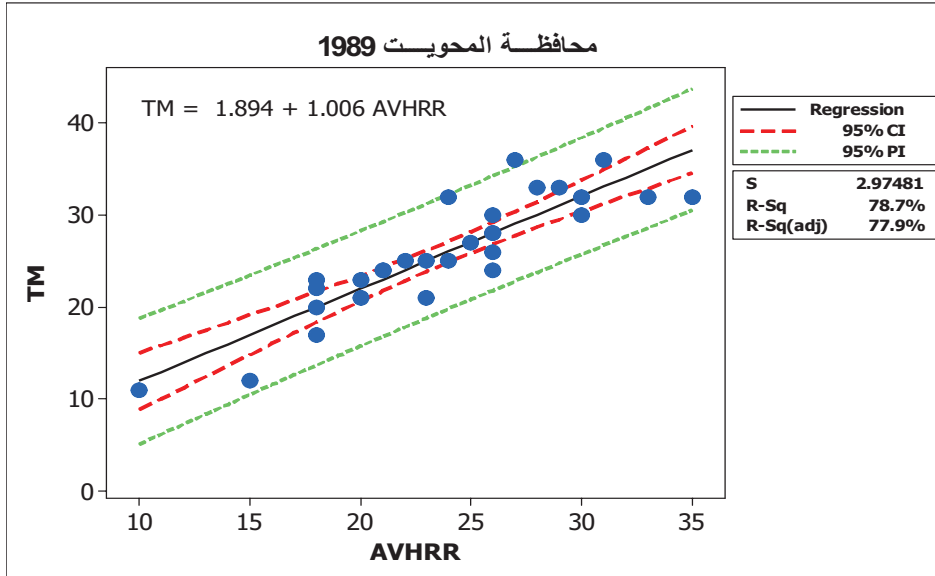


شكل رقم (٥): درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات
 LANDSAT (TM, ETM+) و خارطة الارتفاعات في محافظة عمران

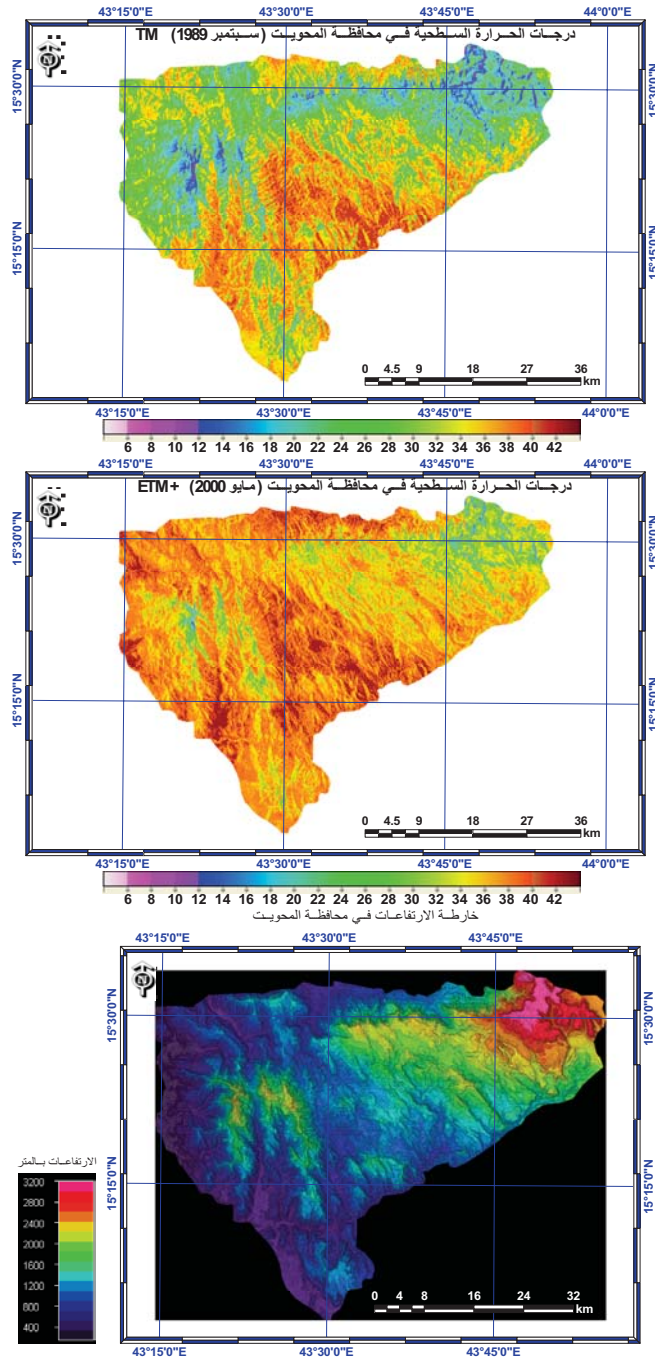


شكل رقم (٦) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات *LANDSAT* والبيانات التي تم قياسها من *AVHRR* في

محافظة المحويت

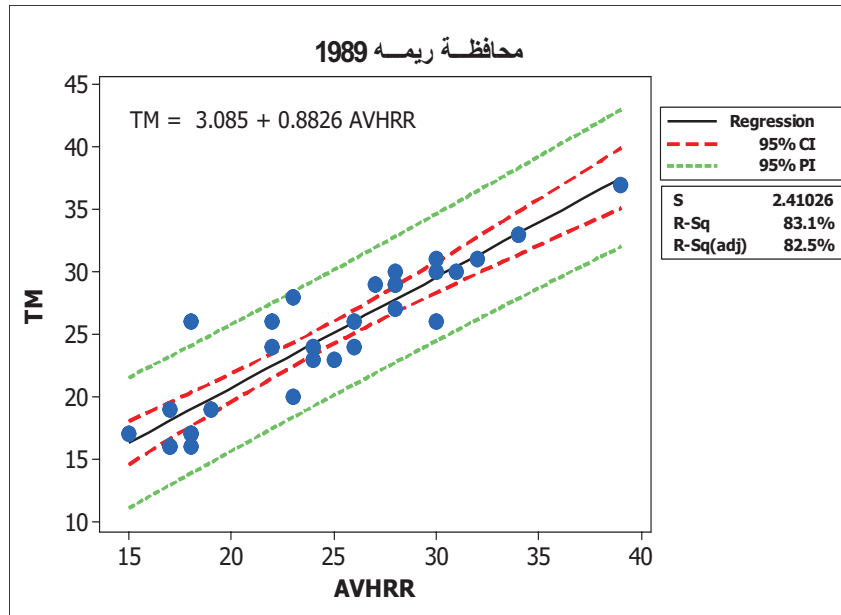
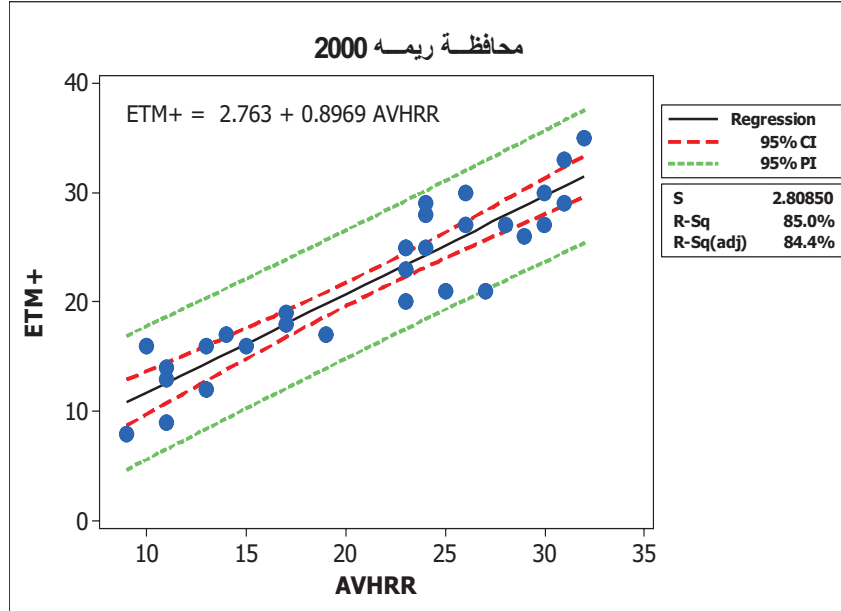


شكل رقم (٧) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات
 LANDSAT (TM, ETM+) وخارطة الارتفاعات في محافظة المحويت

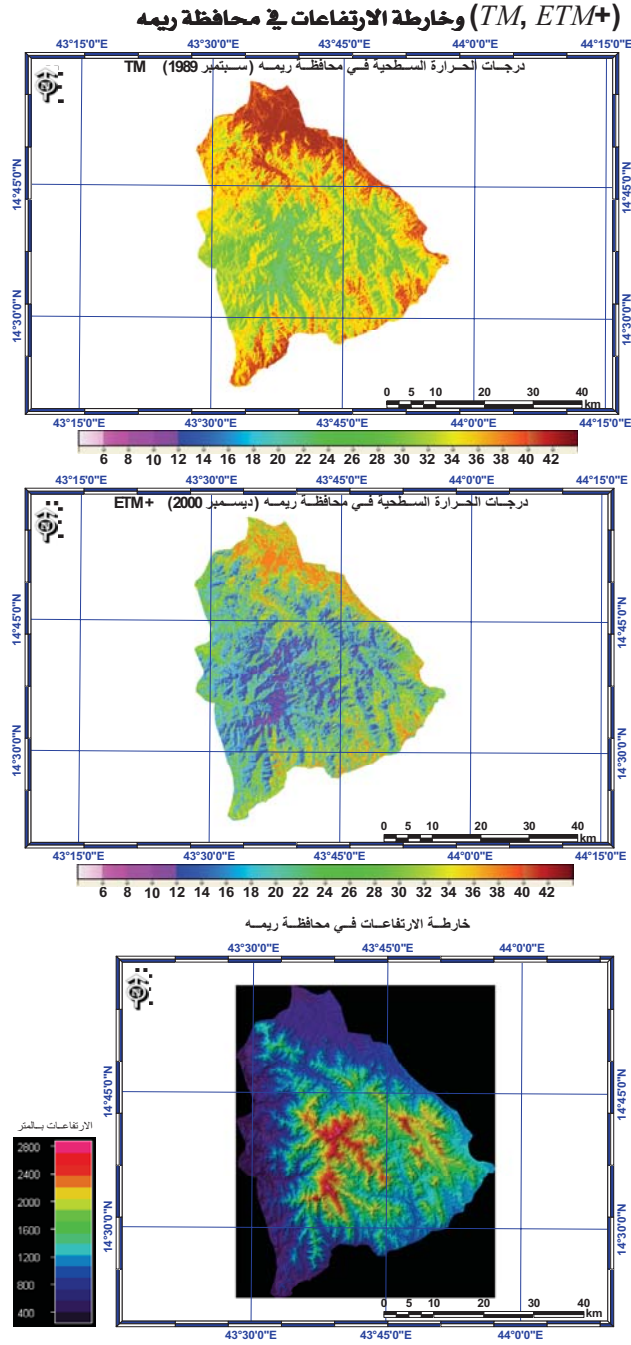


شكل رقم (٨) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات *LANDSAT* والبيانات التي تم

قياسها من *AVHRR* في محافظة ريمة

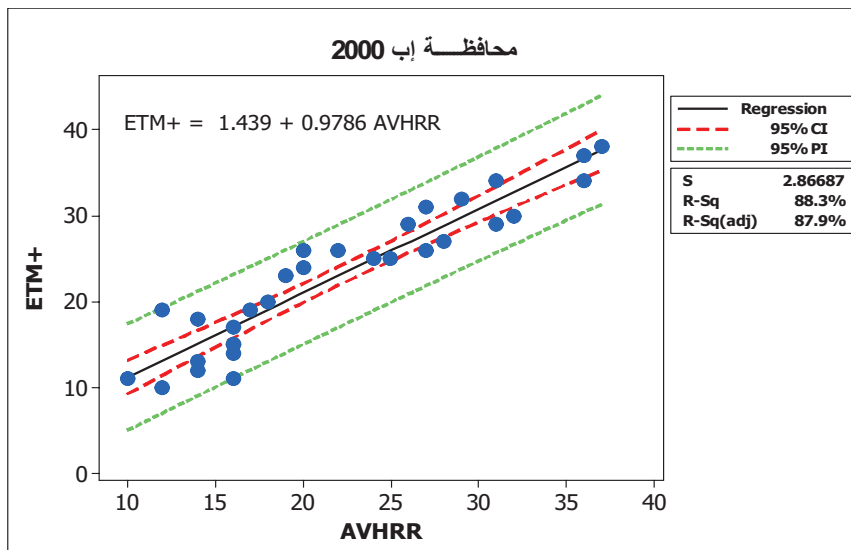
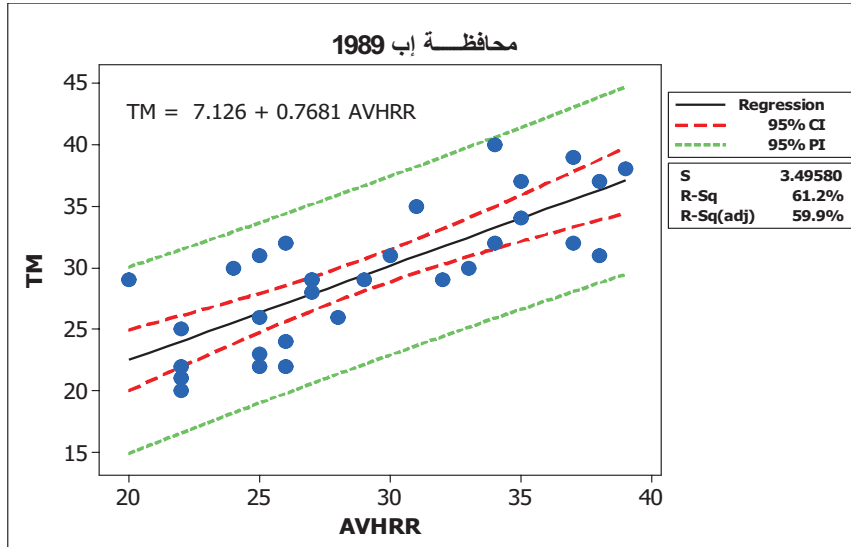


شكل رقم (٩) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات *LANDSAT*

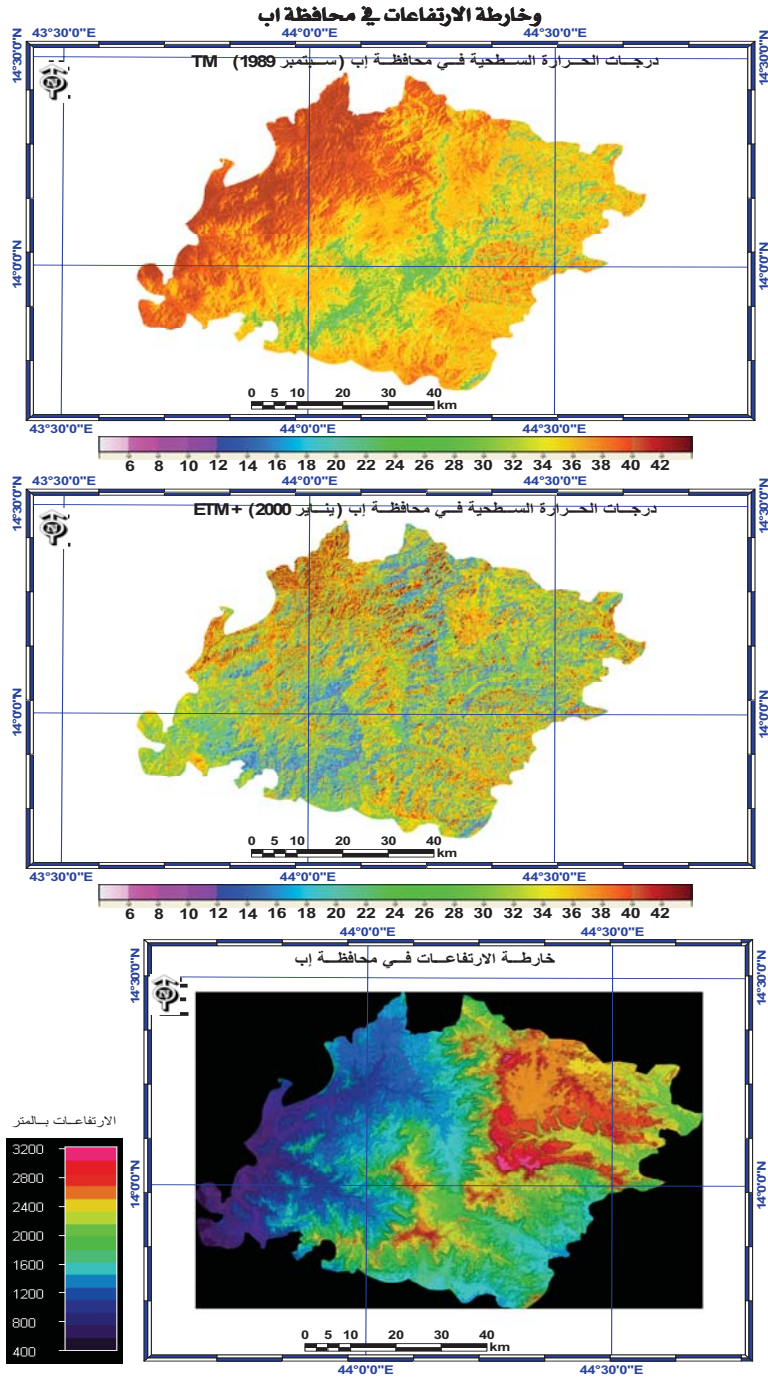


شكل رقم (١٠) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات *LANDSAT* والبيانات التي تم قياسها من

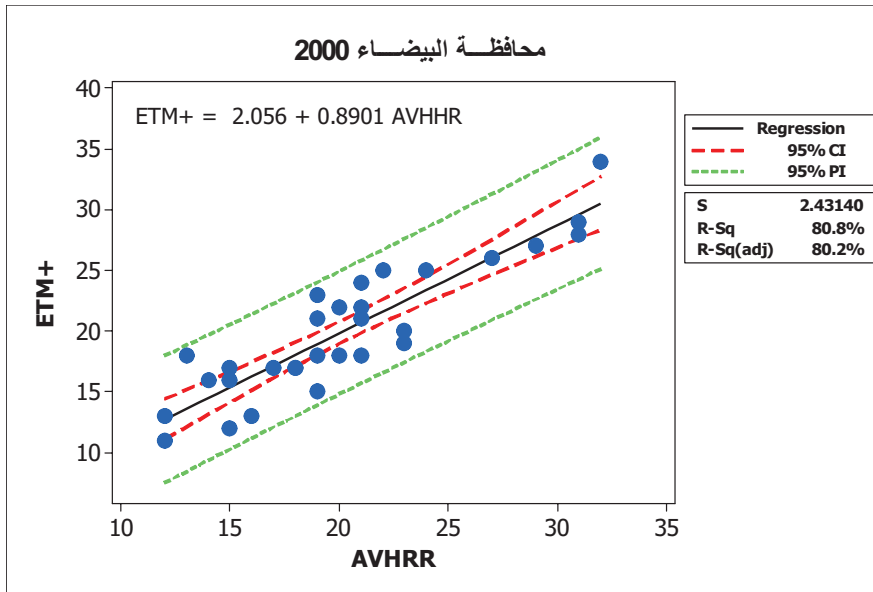
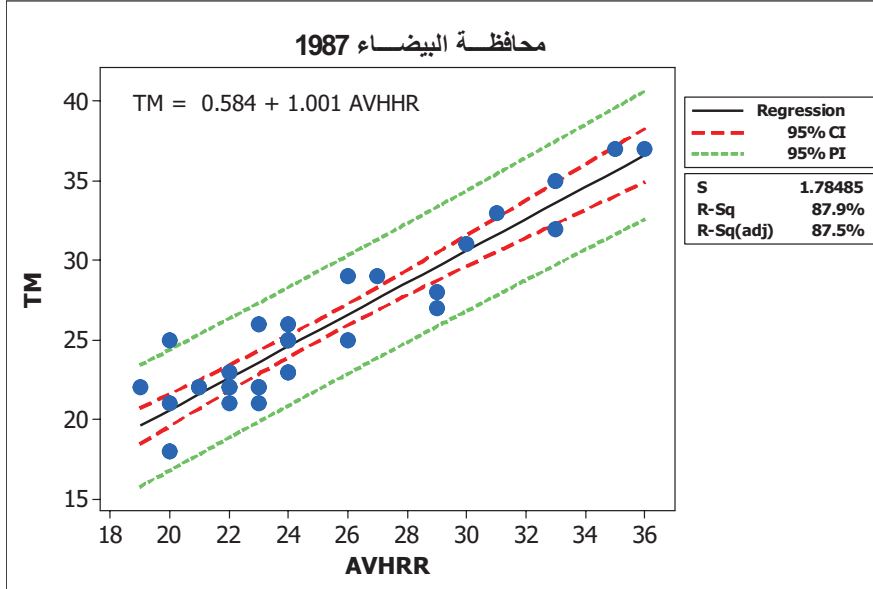
AVHRR في محافظة اب



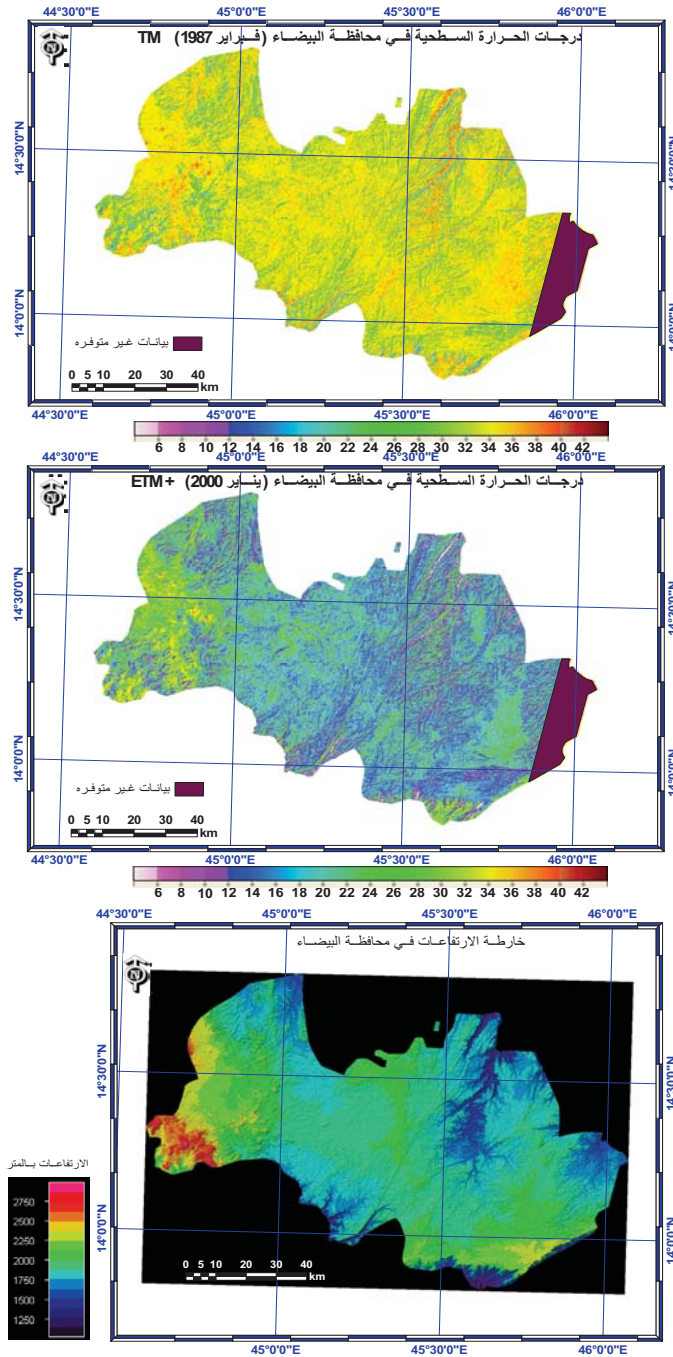
شكل رقم (١١) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات (TM, ETM+) LANDSAT في محافظة اب



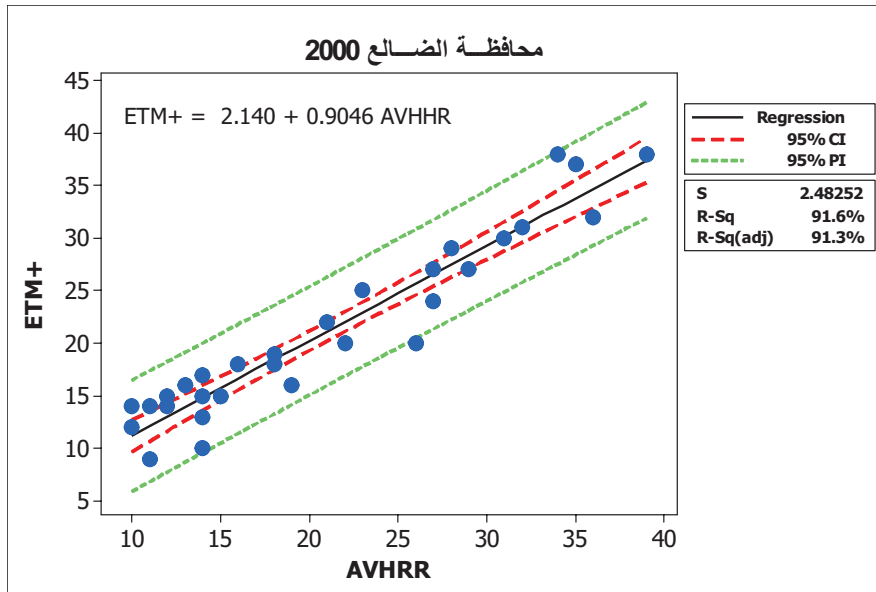
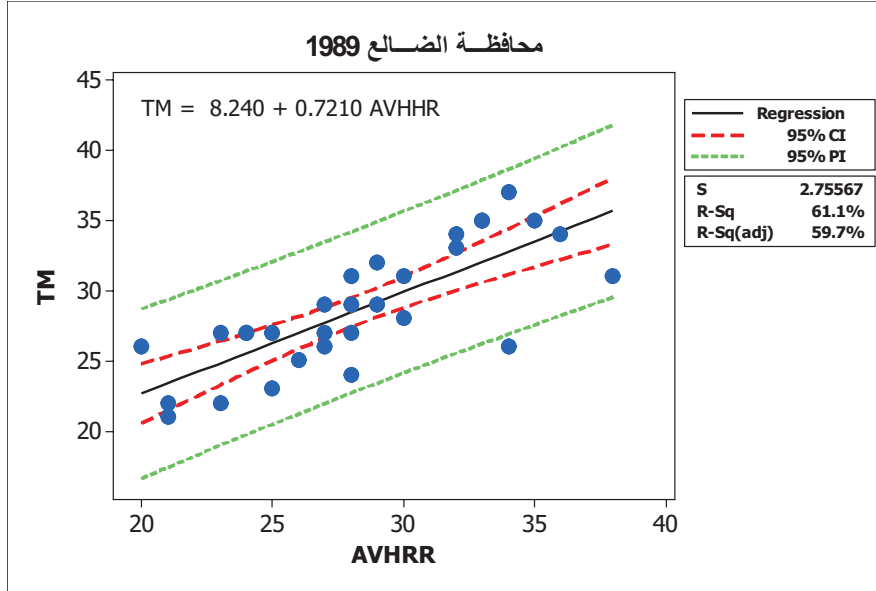
شكل رقم (١٢) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات LANDSAT والبيانات التي تم قياسها من AVHRR في محافظة البيضاء



شكل رقم (١٣) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات LANDSAT (TM, ETM+) وخرطة الارتفاعات في محافظة البيضاء

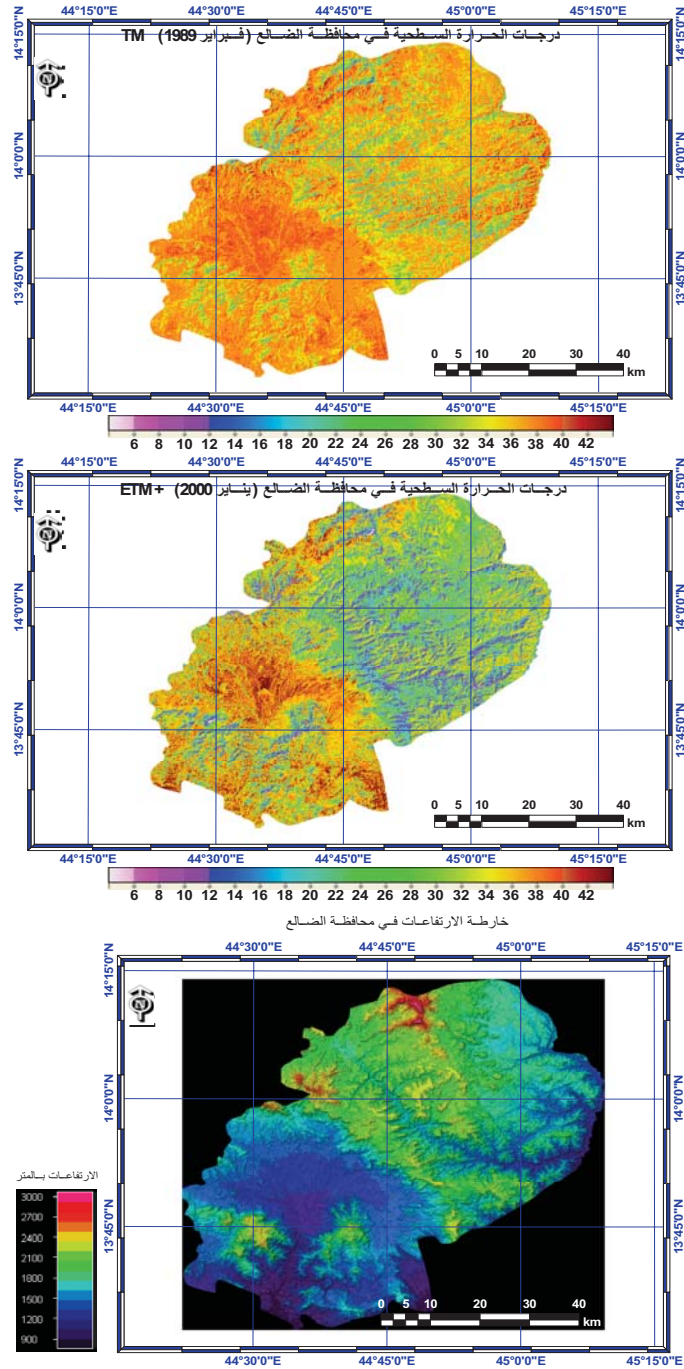


شكل رقم (١٤): المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات LANDSAT والبيانات التي تم قياسها من AVHRR في محافظة الضالع

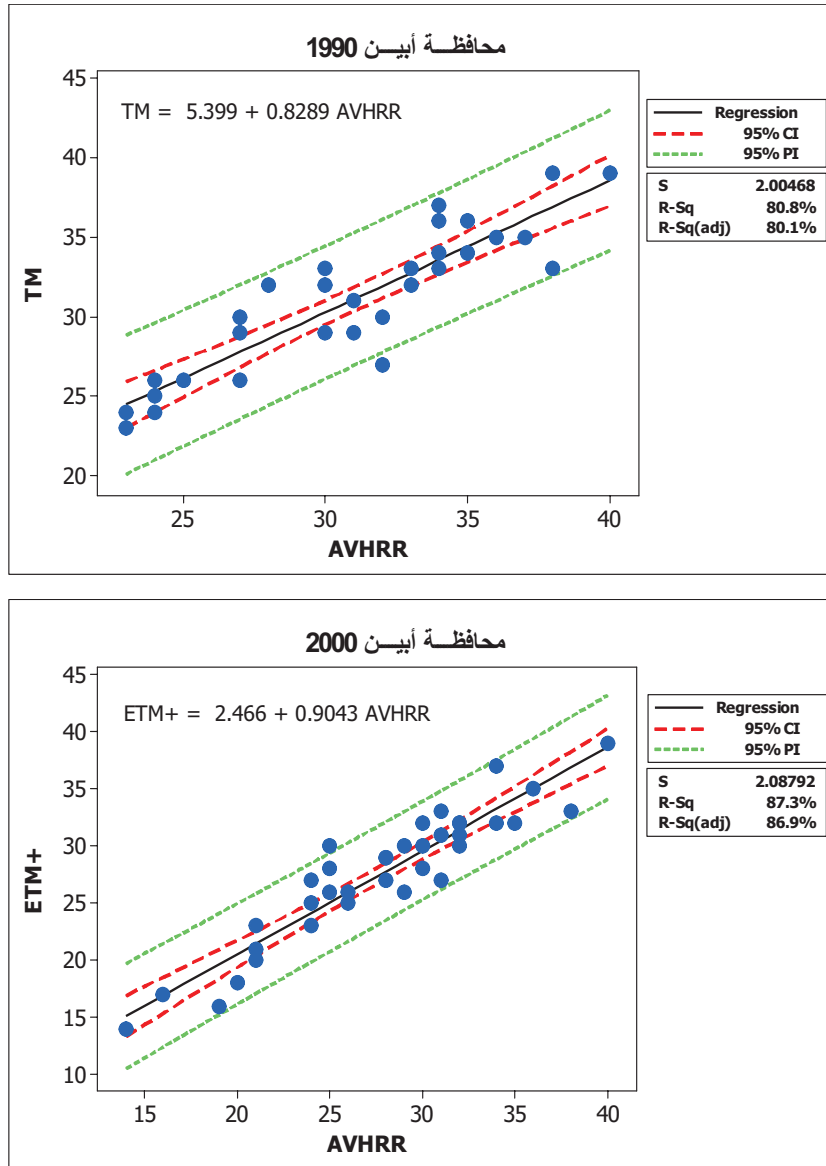


شكل رقم (١٥) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات (TM, ETM+) LANDSAT

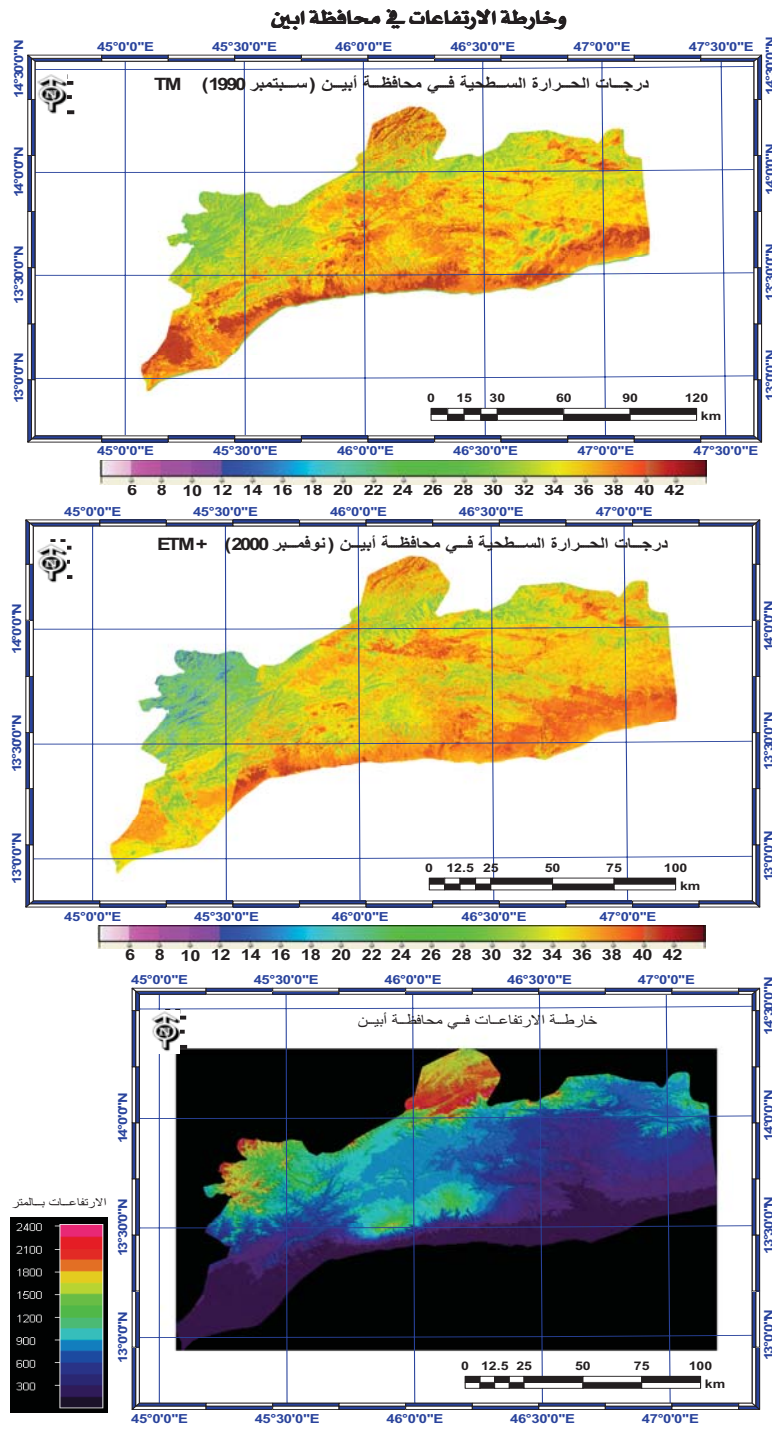
وخرطة الارتفاعات في محافظة الضالع



شكل رقم (١٦) : المقارنة بين بيانات النموذج من مرئيات LANDSAT والبيانات التي تم قياسها من AVHRR في محافظة أبين



شكل رقم (١٧) : درجات الحرارة السطحية المستخرجة من مرئيات (TM, ETM+) LANDSAT



الخلاصة:

قدمت هذه الدراسة نموذجاً تم تطويره لاستخراج درجات الحرارة السطحية من مرئيات LANDSAT *TM*, *ETM+*، وتشير خرائط التوزيع المكاني لدرجات الحرارة السطحية إلى كفاءة النموذج في هذه الدراسة، وقد اعتمد النموذج على قياس الإشعاع المنعكس من الأجسام الموجودة على سطح الأرض إلى عدسة المجس في القمر الصناعي والمسجل بشكل رقمي (أرقام البكسل) داخل المرئية الفضائية، وبقيمة تتراوح بين (0) و (255)، ولأجل تحويل هذه القيم إلى قيم تمثل درجة الحرارة الفعلية على سطح الأرض فقد تم تطوير نموذج رياضي اعتمد على مرئيات LANDSAT-5 و LANDSAT-7 تم التقاطها لعدد ثمان محافظات يمنية، وكانت نتائج النموذج مشجعة حيث أثبتت نتائج معامل الارتباط إمكانية استخدام النموذج في الدراسات المناخية التطبيقية.

المراجع:

- 1) Anono, Y., Koda, H., Zhang, X., Monji, N. (1996): "**Heat Budget Estimation of a Forest Area using Landsat TM Data.**" Journal of Agricultural Meteorology **52**, pp.221-31.
- 2) Berk, A., Anderson, G. P., Acharya, P. K., Chetwynd, J. H., Bernstein, L. S., Shettle, E. P., Matthew, M. W., Adler-Golden, S. M. (1999): "**Modtran 4 User's Manual.**" Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate.
- 3) Brutsaert, W., A. Y. Hsu, Schmugge, T. J. (1993): "**Parameterization of Surface Heat Fluxes above Forest with Satellite Thermal Sensing and Boundary-Layer Soundings.**" Journal of Application Meteorology **32** pp. 909-17.
- 4) Dousset, B. and F. Gourmelon (2003). "**Satellite Multi-Sensor Data Analysis of Urban Surface Temperatures and Land Cover.**" ISPRS Journal of Photogram and Remote Sensing **58**, pp. 43-54.
- 5) Fred, G. R., Watson, A., Ryan, E., Lockwood, a., Wendi, B., Newman, a., Thor, N., Anderson, a., Robert, A., Garrott, B. (2008): "**Development and Comparison of LANDSAT Radiometric and Snowpack Model Inversion Techniques for Estimating Geothermal Heat Flux.**" Journal of Remote Sensing Environment **112**, pp. 471-81.
- 6) Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J., Tarpley, J. D. (1993): "**The use of a Vegetation Index for Assessment of the Urban Heat Island Effect.**" International Journal of Remote Sensing **14**(11), pp. 2223-30.

- 7) Gallo, K. P. and T. W. Owen (1998): "*Assessment of Urban Heat Islands: A Multi Sensor Perspective for the Data Worth, USA Region.*" *Go-cart International Journal* **13**, pp. 35–41.
- 8) Kaneko, D. and M. Hino (1994): "*A Method for Evaluation of Surface Energy Balance in Regional Forests using Normalized Difference Vegetation Index Derived form LANDSAT TM and Routine Meteorological Data.*" *Japan Hydrology and Water Owen, T. W., T. N.*
- 9) Carlson, Gillies, R. R.. (1998): "*An Assessment of Satellite Remotely Sensed Land Cover Parameters in Quantitatively Describing the Climatic Effect of Urbanization.*" *International Journal of Remote Sensing* **19**(9), pp. 1663–81.
- 10) Roth, M. and T. R. Oke (1989). "*Satellite-Derived Urban Heat Islands from Three Coastal Cities and the Utilization of Such Data in Urban Climatology.*" *International Journal of Remote Sensing* **10**, pp.1699–720.
- 11) Sanchez a, J. M., G. Scavone, Caselles, B. V., Valor, E. A., Copertino, V. A., Telesca, B. V. (2008): "*Monitoring Daily Evapotranspiration at A Regional Scale from LANDSAT-TM and ETM+ Data: Application to the Basilicata Region.*" *Journal of Hydrology* **351**, 58– 70.
- 12) Schmidt, H. P., H. A. Cleugh, Grimmond, C. S., Oke, T. R. (1991): "*Spatial Variability of Energy Fluxes in Suburban Terrain.*" *Boundary Layer Meteorology Journal.* **54**, pp. 249-76.
- 13) Streutker, D. R. (2003): "*Satellite-Measured Growth of the Urban Heat Island of Houston, Texas.*" *Journal of Remote Sensing Environment* **85**, pp. 282–89.
- 14) Tran, H., D. Uchihama, Shiro, Ochi., Yoshifumi, Yasuoka. (2006): "*Assessment with Satellite Data of the Urban Heat Island Effects in Asian Mega Cities.*" *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information* **8**, pp. 34–48.
- 15) Weng, Q. and R. C. Larson (2005): "*Satellite Remote Sensing of Urban Heat Islands: Current Practice and Prospects.*" *Geo-spatial Technologies Journal, Springer*, pp. 91-111.
- 16) Weng, Q., D. Lu, Schubring, J. (2004): "*Estimation of Land-Surface Temperature–Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies.*" *Journal of Remote Sensing Environment* **89**, pp. 467–83.