مجلة
بحوث كلية الآداب
جامعة المنوفية

البحث
٤

تصحر التربة فى منخفض سيوه
من منظور جيومورفولوجى

إعداد
د/ ممدوح تهامى عقل
كلية الآداب - جامعة الاسكندرية

محكمة تصدرها كلية آداب المنوفية
العدد الثانى والخمسون
يناير ٢٠٠٣

مقدمـــه :

التصحر ظاهرة جغرافية قديمـة، عرفهـا الإنسـان منـذ القـدم وأطلـق عليهـا تسـميات متعـددة أبرزهـا Desert Encroachment، Desert Creep إلى أن ظهـر تعبـير التصحـر Desertification بمفهومه العلمى الدقيق عام ١٩٤٩ على يد العالم الجغرافى Auborrille وقد بدأت كلمة التصحر Desertification تطفو على مسرح الأحداث العلميـة الدوليـة باعتبارهـا مشكلة عالمية منذ أواخـر عـام ١٩٧٤، حينمـا دعـت الأمـم المتحـدة دول العـالم إلى الاهتمـام بدراسات التصحر من حيث مدى انتشاره وطرق مكافحته. وتـأكد هـذا الاهتمـام فـى مؤتمـر نيروبى (كينيا) عام ١٩٧٧ الذى انعقد من أجل مناقشة قضيـة التصحـر فـى الأراضـى الجافـة وشبه الجافة.

وقد طرحت تعريفات عدة للتصحر نذكر منها تعريف مؤتمر الأمـم المتحـدة للتصحـر بنيروبى (١٩٧٧) بأن التصحر هو «تناقص قدرة الإنتاج الحيوى للأراضى (للتربة) أو تدهورهـا بالدرجة التى تؤدى فى نهاية الأمر إلى ظروف وسمات تشبه الصحـراء». كمـا عـرف برنـامج الأمم المتحـدة للبيئـة UNEP (United Nation Environment Program) التصحـر بأنـه «انتشار وزيادة الظروف الصحراوية التى ينتج عنهـا انخفـاض المـادة الحيويـة Biomes فيـترتب عليه انخاض إنتاجية المحاصيل». ويمكننا تعريف التصحر بأنه حالة تصيب الأراضى المنتجـة فـى المناطق الجافة وشبه الجافة بالتدهور كليًـا أو جزئيًـا. ويحـدث هـذا التدهـور فـى بعـض أو كـل عناصر البيئة الطبيعية، ويؤدى إلى تدنى القدرة الإنتاجية لأراضيها، وتدهور خصائصها. وينظر البعض إلى التصحر علـى أنـه زحـف وطغيـان لحـدود الصحـارى علـى الأراضـى شـبه الرطبـة المجاورة، وتحويلها إلى أراض صحراوية. ونحن مع هذا الرأى، ولكن يجب ألا نغفل أن التصحـر الحقيقـى يحـدث داخـل حـدود الصحـارى فإنهـا؛ بمعنـى أن تتحـول الأراضـى المنتجـة داخـل الصحارى إلى أراض غير منتجة (متصحرة). وغالبًا ما يخلط البعض مفهوم التصحر مع الجفاف وتواتر دوراته فى المناطق القاحلة. فالتصحر عمليـة بطيئـة ولكنهـا مسـتمرة تـؤدى إلى تدهـور النظم البيئية والموارد الطبيعية. أما تردد الجفاف فإنه عملية مناخيـة تكـون أحـد الأسـباب فـى إضعاف النظام البيئى ومن ثم دفعه إلى التصحر بصورة أسرع.

التصحر إذن هو من أخطر الكوارث العالمية Global Hazards التى تهدد الإنســان

وبخاصة فى المناطق الجافة وشبه الجافة، وهو مظهر يعبر عن الاختلاف فى التوازن الطبيعى للنظم البيئية فى هذه الأراضى تقود إلى عجزه عن الوفاء بالمتطلبات المأمولة منه. وقد يحدث هذا بسبب ظروف طبيعية طارئة تلم بالمنطقة، أو ربما يكون رد فعل للاستغلال السيء من الإنسان لبيئته أو كلاهما. فالنظام الإيكولوجى يصل عبر الزمن إلى نوع من التوازن والتكامل بين عناصره المختلفة. ويستمر هذا التوازن إلى أن يحدث الاختلال المشار إليه، فتبدأ سلسلة من التدهور فى الموارد الطبيعية تبدأ بالغطاء النباتى والتربة، ثم يؤثر هذا على المناخ المحلى فتشتد وطأة الجفاف، وتأخذ هذه السلسلة شكل الدائرة التى تدفع عناصرها بعضها بعضًا، مما يضاعف من التأثيرات السلبية على النظام الإيكولوجى. ونظرًا لأن النظم البيئية فى الأراضى الجافة وشبه الجافة نظمًا هشة Fragile Systems، فإنها أكثر حساسية لأى تغيرات تطرأ عليها، وفى ذات الوقت يكون من الصعب استعادة التوازن البيئى مرة أخرى. وقد لفت كل من توماس وميدلتون (Thomas and Middleton 1994, p. 23) الانتباه إلى ثلاث قضايا فى مجال التصحر، الأولى مدى انتشار ونشاط عمليات التصحر، والثانية أن المناطق الجافة تمتلك نظمًا هشة وسريعة التأثر بعمليات التصحر وتآكل التربة، مما يزيد من حدة افتقاد الغطاء النباتى ونحت التربة، والثالثة أن التصحر يعد المسئول الأساسى إن لم يكن الأولى لمعاناة وشقاء سكان الأراضى الجافة وشبه الجافة. وهذا يوضح لنا مدى استفحال ظاهرة التصحر فى الآونة الأخيرة ووضوح تأثيراتها فقد قدرت جمعية محاربة التصحر التابعة للأمم المتحدة (UNCCD 2001) (United Nation Convention to Combat Desertification) أن ٢٥٠ مليون شخص و١/٤ مساحة الأراضى المنتجة فى المناطق الجافة تتأثر بالتصحر بصورة مباشرة، وأن ما يناهز المليار شخص يتهددهم خطر التصحر، فضلاً عن فقد نحو ٦ مليون هكتار سنويًا بفعل عمليات نحت التربة، والنتيجة الحتمية لكل هذا تعطل حوالى ١٣٥ مليون شخص عن العمل، وخسارة مادية تقدر بما يزيد على ٤٢ مليون دولار أمريكى سنويًا.

وقد فرض موقع الوطن العربى دخول كل أراضيه -تقريبًا- الدائرة التى يشملها خطر التصحر، وبالرغم من ذلك فإن الدراسات الخاصة بتحديد درجات خطورته وتوزيعها وأسباب حدوثه وكيفية معالجته لا تزال ضئيلة بما لا يتناسب مع حجم المشكلة سواء على المستوى القومى (الوطن العربى) أو المحلى (مصر). ولما كانت التربة إحدى مكونات النظام البيئى ومن

أكثرها حساسية بالضوابط الخارجية فى المناطق الجافة، فقد أولاها الباحث عناية خاصة فى بيئة صحراوية مغلقة تتمثل فى منخفض سيوة. ويهدف البحث إلى الإجابة على السؤال التالى :

- هل تعانى تربة منخفض سيوة من التدهور الذى يؤدى إلى تصحرها؟

وإذا كانت الإجابة بنعم فهنا تبرز الأسئلة الآتية :

- ما هى مظاهر تصحر التربة؟ وكيف يمكن تقدير التدهور الذى يحدث لها؟ وما هى أسباب هذا التصحر؟ وكيف يمكن مجابهته والحد من خطورته؟

طرق وأساليب الدراسة :

لتحقيق الأهداف السابقة اتبع الباحث الطرق والأساليب العلمية الآتية :

١- تحليل الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٢٥,٠٠٠ والتى أصدرتها مصلحة المساحة عام ١٩٣٠ وكذلك الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ إصدار إدارة المساحة العسكرية عام ١٩٧٢.

٢- تحليل المرئيات الفضائية الرقمية Digital Scenes الملتقطة بواسطة القمر الصناعى الأمريكى لاند سات Landsat بنظام TM (الماسح الموضوعى Thematic Mapper) بدرجة وضوح ٣٠م. وقد تم الاعتماد على لقطتين الأولى بتاريخ ١٥/٣/ ١٩٨٤م والثانية بتاريخ ٣/٤/٢٠٠١م. وتمت الاستفادة منها كما يلى :

أ- عمل مسح ضوئى (Scane) للخريطة الطبوغرافية مقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ (١٩٧٢) وإدخالها إلى الحاسب الآلى بواسطة برنامج ERDAS IMAGINE 8.3 ثم إجراء تصحيح هندسى للاسقاط Geometric Creation وهو UTM. ومن خلال ذلك رفعت مجموعة من الطبقات (الظواهر) هى : البحيرات (البرك) - السبخات - الأراضى الزراعية - الكثبان الرملية - حدود المسطحات الرملية.

ب- تم عمل تحسين للمرئيتين الفضائيتين من خلال نفس البرنامج لإظهار الوحدات الجيومورفولوجية المختلفة بوضوح الطبقات التى تم الفصل عليها وهى : Band7 Red - Band 4 Green - Band 1 Blue : وتم ربطها على الخريطة الطبوغرافية بواسطة الإحداثيات بالإضافة إلى التأكيد على ذلك من خلال رفع إحداثيات بعض

الظواهر الثابتة من الحقل بواسطة جهاز G.P.S (النظام العالمى لتحديد المواقع Global Position System) ومطابقتها على خريطة الأساس والمرئيتين الفضائيتين.

جـ- رفعت نفس مجموعة الطبقات (الظواهر) التى رفعت من الخريطة الطبوغرافية وبالتالى أمكن معرفة التغيرات التى طرأت على الظواهر المراد دراستها.

ومن خلال ما سبق أمكن الاستفادة من رسم خرائط لتطور مساحات البرك والسبخات والأراضى الزراعية والمسطحات الرملية، وتتبع الزيادة أو التقلص فى هذه المساحات. بالإضافة إلى حساب مساحات بعض الظواهر المراد دراستها فى مراحل مختلفة بواسطة برامج الحاسب الآلى وكذا إجراء بعض القياسات لزحف الرمال فى تواريخ متباينة.

٣- الدراسة الحقلية، وقد أجريت على فترتين الأولى فى يونية عام ٢٠٠٠، والثانية فى يناير ٢٠٠١، واستفاد الباحث من هذه الدراسة فى تسجيل الملاحظات الخاصة بآثار ظاهرة التصحر واتساع البحيرات وزحف الرمال وتغير خواص التربة بفعل التملح أو زيادة نسبة الرمال فى مكوناتها، وأخذ بعض العينات لتحليلها، والتقاط بعض الصور الفوتوغرافية.

٤- إجراء التحليل المعدنى للعينات المختارة، وإجراء بعض المعاملات الرياضية والإحصائية واستخلاص بعض النتائج منها.

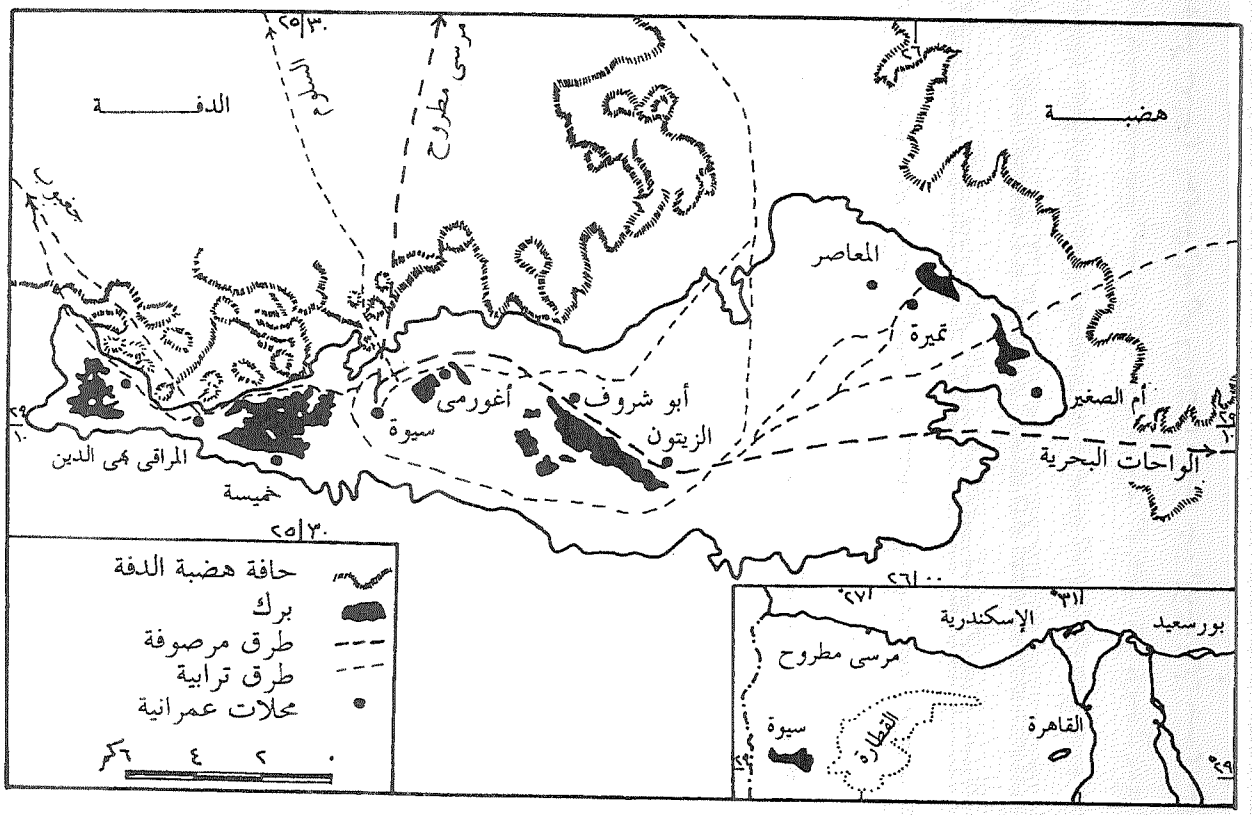
ملامح البيئة الطبيعية لمنخفض سيوة

١- الموقع :

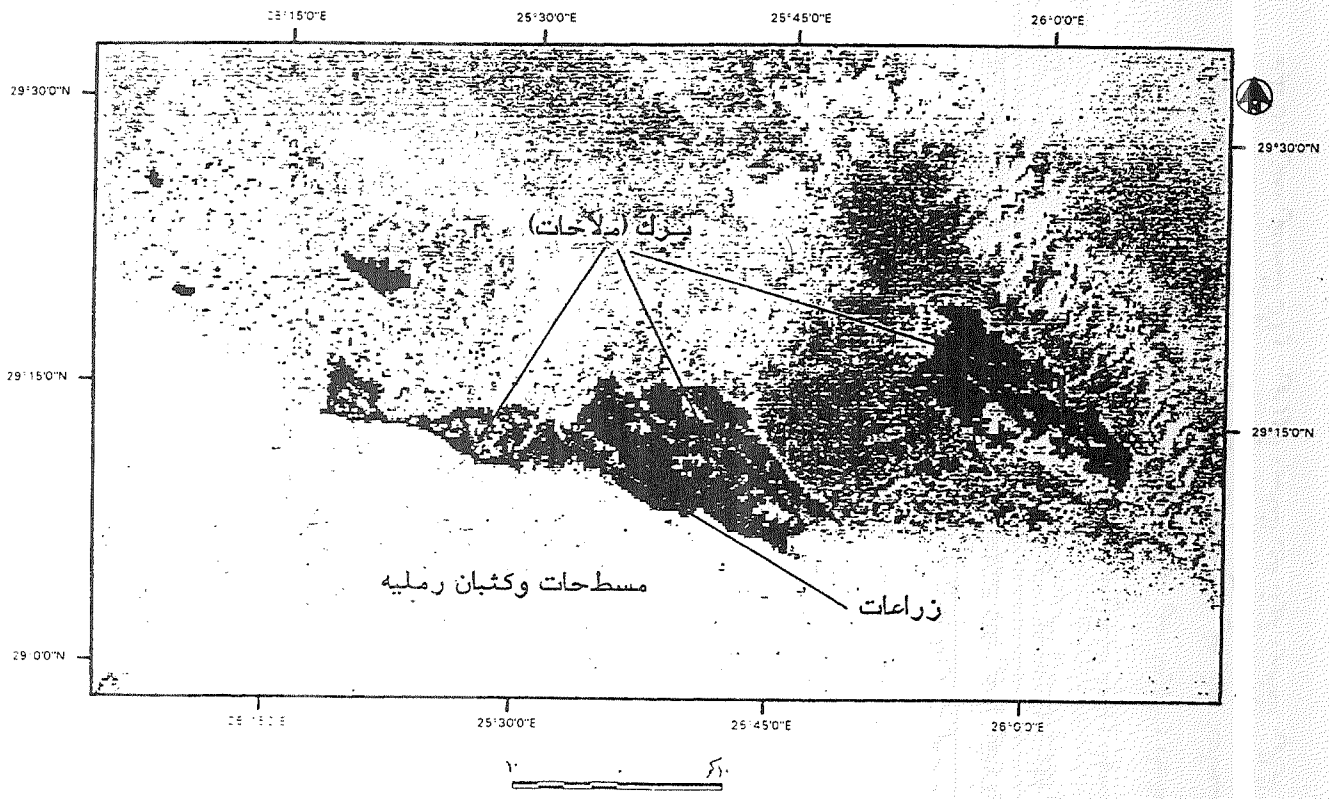
يعد منخفض سيوة واحدًا من أكبر منخفضات الصحراء الغربية فى مصر. ويقع المنخفض فى شمال غربى مصر محصورًا بين دائرتى عرض ٠٦َ ٢٩ْ - ٣٤َ ٢٩ْ شمالاً، وخطى طول ١٦َ ٢٥ْ - ١٢َ ٢٦ْ شرقًا (شكلا ١، ٢). ويبعد عن مدينة مرسى مطروح فى اتجاه الجنوب الغربى بنحو ٣٠٦كم، ويبلغ أقصى امتداد له من الشرق إلى الغرب حوالى ٩٠كم، بينما يصل أقصى اتساع له من الشمال إلى الجنوب نحو ٤٥كم. وينخفض منسوب السطح عن منسوب أراضى هضبة الدفة الذى يتراوح بين ١٧٠ - ٢٠٠م فوق سطح البحر إلى منسوب -١٨,٦م والذى يمثل أخفض نقطة على قاع المنخفض.

٢- الملامح الجيولوجية :

تنتمى أقدم التكوينات الجيولوجية فى منخفض سيوة إلى عصر الإيوسين، حيث تظهر مكاشف صخرية متناثرة ومحدودة المساحة فى القسم الجنوبى الشرقى من المنخفض ويعرف بتكوين المغرة Moghra Formation (Said, 1962, pp. 202 - 209) ويتألف من الحجر الرملى والحجر الطينى والطفل الجيرى. أما أكثر التكوينات شيوعًا فتنتمى إلى الميوسين الأوسط فيما يعرف بتكوين مرماريكا Marmarica Formation ويتألف هذا التكوين من طبقات صخرية تتتابع من صخور الحجر الجيرى والدولوميت والحجر الجيرى المارلى وشرائح الطفل الأخضر؛ فضلاً عن العديد من الحفريات. وتنتشر الرواسب السطحية فوق قاع المنخفض متمثلة فى رواسب الرمال ورواسب السبخات ورواسب مخروطات المنحدرات. وتسود الرواسب الرملية فى القسم الجنوبى من المنخفض حتى أن الحافة الجنوبية تلاشت تحتها تمامًا. أما رواسب السبخات فتنتشر فوق الأراضى الواطئة على قاع المنخفض حول شواطئ البرك الملحية. وتتكون من رقائق من المتبخرات Evaporites والرمال الناعمة والطين والطفل، وتضفى الأملاح صلابة كبيرة عليها فى حالة الجفاف. ويتراكم على القطاعات السفلية من المنحدرات رواسب زاوية الشكل ذات تصنيف ردئ ناتجة عن فعل التجوية، وتختلف كميتها وأحجام مكوناتها وفقًا لاختلاف زاوية المنحدر. أما من الناحية التركيبية، فإنه بالاعتماد على



شكل (١)الموقع العام لمنخفض سيوة



صورة قمر صناعى ١٩٨٤ تبين منخفض سيوه

دراسات كل من الجندى والعسكرى (Gindy and El Askary 1969, pp. 615 - 620) وحسن العتر (العتر ١٩٧٩ ص ٩) يمكن القول بأن الانكسارات توجد بصورة محدودة ويكون اتجاهها السائد هو غرب الشمال الغربى / شرق الجنوب الشرقى. ويسود صخور المنخفض نظام كثيف من الفواصل تنتمى إلى النظام المتعامد وشبه المتعامد. وهى فواصل أولية لا ترتبط بوجود الانكسارات. ويرجح أن المنخفض حفر على طول محور التواء مقعر يمتد فى معظم أرجاء المنخفض بمحور غرب الشمال الغربى / شرق الجنوب الشرقى، وبالإضافة إلى ذلك توجد مجموعة أخرى من الإلتواءات المحدبة والمقعرة تميل جوانبها بدرجة هينة (٦٠° - ١٠°).

٣- الملامح الجيومورفولوجية :

يمكن تقسيم منخفض سيوة إلى وحدتين رئيسيتين تبعًا لاختلاف الخصائص الجيومورفولوجية لكل وحدة وهما : جوانب المنخفض، وقاع المنخفض (شكل ٣).

أولاً : جوانب المنخفض : يحدد المنخفض من الجانب الشرقى والشمالى والغربى حافات حادة واضحة المعالم. وتتعدد أشكال حافات جوانب المنخفض وفقًا لطبيعة العوامل الخارجية المشكلة لها ولطبيعة التتابع الصخرى. ويمكن إجمال أشكالها الرئيسية فى المنحدرات المحدبة / المقعرة، المنحدرات المستقيمة/ المقعرة، المستقيمة وأخيرًا السلمية. وقد تتقطع الحافة ببعض المسيلات المائية الضحلة التى لا ترقى إلى مرتبة الأودية. وتتغطى الواجهات الصخرية وبخاصة فى قطاعاتها العليا بقشرة جيرية صلبة تتخذ ألوانًا داكنة عن لون الصخر الأصلى.

ثانيًا : قاع المنخفض : تتميز أراضى المنخفض بأنها شبه مستوية، ورغم ذلك يمكن تمييز انحدارات هينة جدًا تتجه إلى البرك التى تتناثر على القاع فى أخفض مناطق السطح. ويمكن تمييز عدة ظاهرات ترتبط بقاع المنخفض هى :

أ- التلال المتبقية (القور): هى بقايا السطح الهضبى القديم، وتتكاثر أمام الحافات الشمالية وبخاصة فى القسم الشمالى الغربى بحيث تأخذ أحيانًا شكل نطاق يحاذى الحافة. وقد يستوى سطحها، ويتخذ الشكل الهرمى، وتشبه انحداراتها -من حيث الشكل- منحدرات الحافات الهضبية، وأشهرها جبل سيوة وجبل الموتى وجبل الدكرور وقارة خميسة.

ب- البرك والسبخات: يتناثر على قاع منخفض سيوة نحو ٣٤ بركة أكبرها سيوة، الزيتون (قريشت)، المراقى، المعاصر، تميرة، عين المعاصر، أغورمى. ولأن المنخفض مغلق، فإن المياه

شكل (٣) الملامح الجيومورفولوجية لمنخفض سيوة

السطحية تنصرف مركزيًا إلى هذه البرك. وتتسع البرك أو تنكمش تبعًا لكمية المياه المنصرفة ودرجة الحرارة ومعدلات التبخر. ويحيط بها مساحات من السبخات تمثل مظهرًا جيومورفولوجيًا مميزًا لمنخفض سيوة وتكون من أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وتختلط بالرمال والطفل والطين. وأهم مظاهرها طبقة "الكورشيف" وهى عبارة عن تجعدات متباينة فى السطح نتيجة التمدد الناشئ عن جفاف الطبقة الملحية العليا. وبالإضافة إلى ذلك تنتشر التشققات الملحية والمضلعات وأزهار الأملاح.

ج- الأشكال الرملية : تتوزع الأشكال الرملية بأنواعها (الفرشات - الكثبان - النباك) على أرضية القسم الجنوبى من المنخفض والحافة المصاحبة له. وقد طمرت الرواسب الرملية هذا الجزء حتى أن الحد الفاصل بين الحافة والقاع لا يمكن إدراكه ظاهريًا.

٤- أحوال المناخ[1] :

يدخل منخفض سيوة ضمن نطاق الصحارى الحارة الجافة، ويمكن تلخيص أحواله المناخية فى النقاط التالية (شكل ٤) :

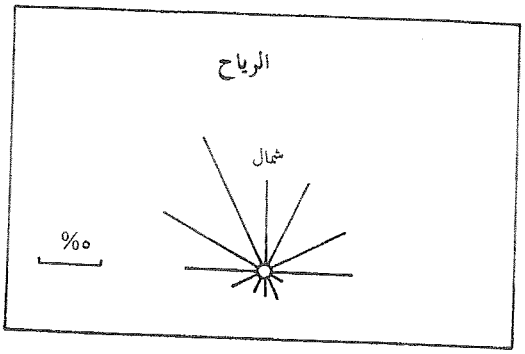
أ- يبلغ معدل حرارة الشتاء نحو ١٣,٢°م بينما تبلغ حرارة الصيف ٢٩°م، ويصل المدى الحرارى السنوى إلى ١٥,٨°م.

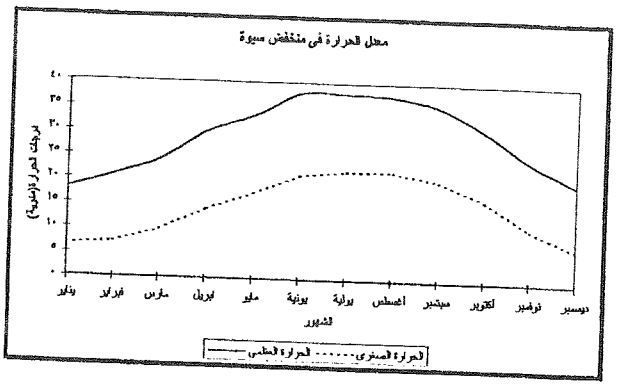
ب- تسود الرياح الآتية من الاتجاهات الشمالية (الشمال الغربى ٢٤,٤٪، الشمالى ١٨,٢٪، الشمالية الشرقية ١٢,٤٪) على أراضى المنخفض بنسبة تصل إلى ٥٥٪ من إجمالى هبوب الرياح، فى حين تقل نسب هبوب الرياح الآتية من الجنوب والجنوب الغربى (٢,٨٪، ٥,٩٪ على التوالى). ويبلغ المعدل السنوى لسرعة الرياح (٣٧,٣كم / ساعة وتصل إلى أوج سرعتها فى فصلى الربيع ٤٨,١٣كم / ساعة، والصيف ٤٤,٣٣كم / ساعة).

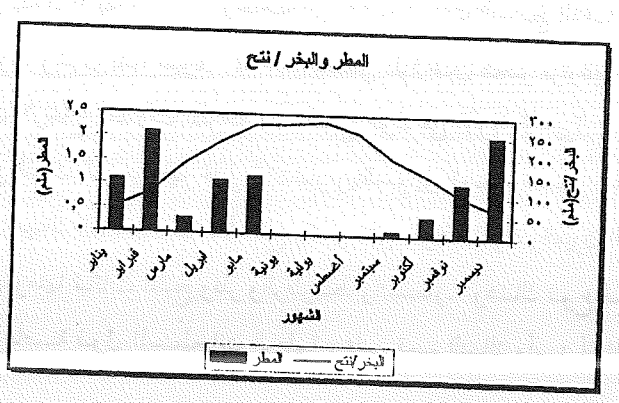
جـ- يندر سقوط المطر، حيث يبلغ متوسط كمية الأمطار الساقطة ٩,٥ ملم سنويًا. ولكن قد يسقط المطر بصورة فجائية شاذة، حيث سقط ٢٥,٤ملم يوم ١٩٧٤/١١/٢١ فى حين أن متوسط هذا الشهر هو ١,١ ملم فقط.

---

[1] اعتمد الباحث على البيانات المناخية غير المنشورة بقسم المناخ - الهيئة العامة للأرصاد الجوية فى الفترة من ٧٥ - ١٩٩٢.







شكل (٤)بعض عناصر المناخ بمنخفض سيوة

د- نتيجة للارتفاع الشديد فى درجة الحرارة وندرة الأمطار والرطوبة النسبية (٤٦,٣٪) فى فصل الصيف، ترتفع معدلات البخر / نتح إلى أن تبلغ ٢١٦٥ملم سنويًا. ويسهم فصلا الربيع والصيف بما نسبته ٦٩,٣٪ من إجمالى هذه الكمية.

٥- التربة والنبات الطبيعى :

تنتمى تربة منخفض سيوة إلى نوع التربات الموضعية، حيث نشأت نتيجة لعمليات التفكك الميكانيكى والتحلل الكيميائى فى فترات سابقة والتى ارتبطت بنشأة وتطور المنخفض. وبناءً على هذا فإن المحتوى المعدنى لهذه التربة ارتبط بمادة الأصل التى يتوضع عليها. فنجد أن كل تربات المنخفض حيرية يتراوح نسيجها بين الرملية والرملية اللومية واللومية الرملية (Abd El Samie 2000, p. 196) حيث تمثل التربة الرملية نحو ٥٤,٦٪ من إجمالى مساحة تربات المنخفض (المنظمة العربية للتنمية الزراعية ١٩٧٧ ص ١١٣). وتربة المنخفض ضحلة، إذ يتراوح سمكها بين ١-٣ أمتار فقط، بل إن هناك مناطق يقل فيها السمك عن ذلك، فقد شاهد الباحث بنفسه تربة منطقة "لحريك" غرب بلدة سيوة بنحو كيلو مترين التى يتباين سمكها من ٣٠-٥٠ سم فقط. وهناك مناطق أخرى تشابه تلك المنطقة مثل أجزاء من تربة أغورمى وبهى الدين وقريشت (مقابلة مع بعض المزارعين من الأهالى). وتتصف كل أنواع التربات هنا بارتفاع نسبة الملوحة وإن اختلفت النسبة من منطقة لأخرى، حيث تتناقص بصفة عامة فى الشرق وفى الأنواع ذات النسيج الخشن حيث تبلغ نحو ٤ ملليموز /سم كما فى الأجزاء الشرقية من منطقة الزيتون، بينما تتزايد إلى أكثر من ٥٠ ملليموز فى الأجزاء الغربية من المنخفض (عرعر بدون تاريخ ص ١٠) وخاصة فى التربات ذات النسيج الدقيق مثل مناطق خميسة وشمال غرب وشرق بلدة سيوة. مما حدا ببعض المزارعين هجر مزارعهم القريبة من البرك والسبخات لارتفاع معدلات الملوحة بعد اتساع البرك فى الآونة الأخيرة.

أما عن النبات الطبيعى فهو قليل الانتشار وينقسم إلى قسمين حسب نوعية الأراضى التى ينمو عليها : فهناك النباتات المحبة للأملاح وتنمو على حواف البرك والعيون الطبيعية وفوق أراضى السبخات ومنها نباتات المليح والمر والرطريط والسمار. وهناك نوع ثان ينمو فى البيئات الرملية وخاصة فوق المسطحات الرملية وعلى قمم النباك وأبرز أنواعه الرطريط الأبيض والحلفا.

تصحر التربة بمنخفض سيوة

أبعاد المشكلة :

يتبين من العرض السابق لملامح البيئة الطبيعية أن منخفض سيوة ذو طبيعة جغرافية خاصة، إذ أنه يمثل البيئة الصحراوية المغلقة بأخص مميزاتها، حيث يتحدد بحدود طبيعية صارمة، وتنبثق من أراضيه مياه العيون والآبار الارتوازية، وتنصرف المياه (الجوفية والأمطار) مركزيًا إلى أخفض البقاع على أرضية المنخفض حيث تتكون البرك المحلية. ويتعاون التبخر مع درجات الحرارة المرتفعة فى تبخير كميات من مياه البرك، فتتقلص تاركة شطوطًا ملحية. ومع اشتداد وطأة الجفاف ينشط فعل الرياح فى تذرية مكونات التربة وتحريك الرمال القابعة على الحدود الجنوبية للمنخفض. ومن ثم تتجسد هنا مساوئ المناطق الرطبة المتمثلة فى مشكلة الصرف، والمناطق الصحراوية الجافة المتمثلة فى الأخطار الناشئة عن حركة الرمال. ومن هنا يمكن تحديد أسباب تصحر التربة فى منخفض سيوة فى ثلاثة أسباب أساسية هى :

أولا: اتساع مساحة البرك وتملح التربة.

ثانيًا : نحت التربة بفعل الرياح والمطر والجريان السطحى للمياه.

ثالثًا : سفى الرمال وهجرة الكثبان الرملية وطغيانهما على التربة المنتجة.

أولاً : اتساع مساحة البرك وتملح التربة

١- مصادر المياه :

يمكن تقسيم مصادر المياه فى منخفض سيوة إلى مصدرين أساسيين هما :

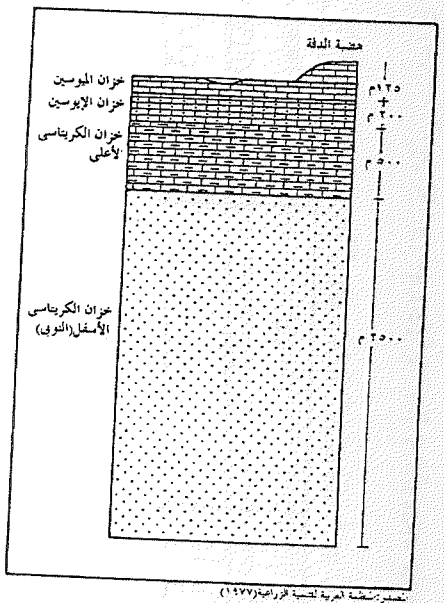
أ- مياه الأمطار : سبق أن ذكرنا أن منخفض سيوة يقع ضمن النطاق الصحراوى الحار الجاف الذى يتسم بندرة الأمطار. ويبلغ المتوسط السنوى للأمطار ٩,٥ ملم سنويًا، فى حين أن معدل التبخر اليومى ١٠,٦ملم، أى أن كمية التبخر اليومى تفوق كمية المتوسط السنوى لسقوط المطر. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الأمطار تسقط إما على رواسب سطحية جافة، أو على أسطح الصخور الجيرية المتميزة بالفواصل، بالإضافة إلى الشقوق الناشئة عن فعل التجوية فتتشبع سريعًا بالمياه، ثم يفقد جزء كبير منها مرة أخرى عن طريق التبخر.

وخلاصة هذا أن مياه الأمطار ضئيلة بدرجة يمكن إهمالها سواء لإحداث جريان سطحى أو كإضافة للخزان الجوفى، باستثناء حالات العواصف الممطرة، وهى نادرة.

ب- الينابيع والآبار : أثبتت الدراسات الهيدروجيولوجية المتعددة أن خزانات المياه الجوفية فى إقليم منخفض سيوة تتوضع فى طبقتين رئيسيتين (شكل ٥) : الطبقة السفلى ويطلق عليها اسم الخزان الجوفى النوبى، تعلوها الطبقة العليا. وتعد الطبقة السفلى هى الأقدم ليس فى منطقة منخفض سيوة فحسب، وإنما فى إقليم الصحراء الغربية وشمال إفريقيا (El-Ramly, 1990, p.8) ويتراوح سمك الطبقة الحاملة للمياه بين ٢٥٠٠ - ٣٠٠٠م، ويظهر سطح هذه الطبقة فى منخفض سيوة على عمق يبدأ من ٨٠٠م. أما الطبقة العليا فيمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام (UNESCO, 1988, p. 116) هى : الخزان الجوفى لصخور الطباشير الأعلى ويبلغ سمكه نحو ٥٠٠م، والخزان الجوفى لصخور الأيوسين ويصل سمكه لنحو ٢٠٠م، ثم الخزان الجوفى لصخور الميوسين وهو الأقل سمكًا، حيث يبلغ متوسط حوالى ١٢٥م. وبالإضافة إلى ذلك هناك الخزان السطحى الناشئ من تسرب المياه السطحية الحالية خلال الرواسب السطحية وهو ما يطلق عليه "الماء الأرضى" ويتباين منسوبه من السطح من منطقة لأخرى حسب التباينات الطبوغرافية، حيث أنه قد يظهر على عمق ٣٠سم فقط من السطح، وقد يظهر على السطح مباشرة فى صورة برك وسبخات، وهذا الخزان الأخير هو الذى يسبب مشاكل كثيرة للتربة المزروعة.

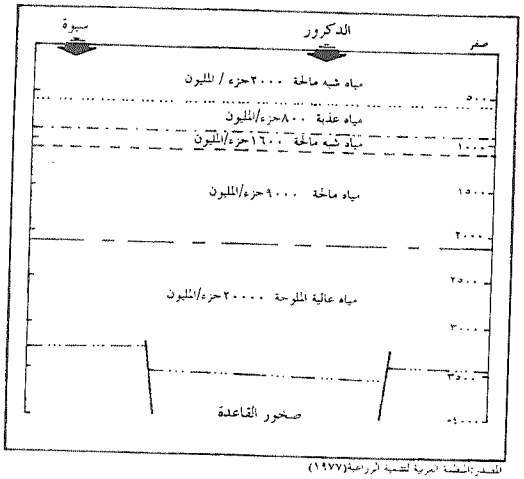
وتختلف ملوحة المياه حسب أعماقها (شكل ٦) إذ ترتفع الملوحة لأكثر من ٢٠٠٠ جزء/ المليون فى الطبقة العليا التى تقع حتى عمق ٥٠٠م وتتدرج فى الانخفاض حتى تصل إلى أدنى معدل لها فى الجزء العلوى من الخزان الجوفى النوبى الذى يتصف بعذوبة مياهه وبلوغ نسبة ملوحتها إلى أقل من ٥٠٠ جزء/ المليون، وذلك على عمق ٨٠٠ متر تقريبًا، ثم تعاود الملوحة ارتفاعها حتى تبلغ شأوها (٢٠,٠٠٠ جزء/ المليون) على أعماق تزيد على ٢٥٠٠ متر.

وتخرج المياه الجوفية إلى سطح الأرض عن طريق العيون الطبيعية Springs والآبار الارتوازية Artesian Wells. ويقدر عدد العيون الطبيعية بنحو ٢١١ عينًا، تنال منطقة سيوة منها ١٣٠ عينًا يليها المراقى ٣٥ ثم أغورمى ٣٠ وأخيرًا أبو شروف ١٦ عينًا (مركز بحوث



المصدر: المنظمة العربية للتنمية الزراعية(١٩٧٧)

شكل (٥)خزانات المياه الجوفية بمنخفض سيوة



المصدر: المنظمة العربية للتنمية الزراعية(١٩٧٧)

شكل (٦)قطاع هيدرولوجى فى منخفض سيوة يوضح
اختلاف ملوحة المياه حسب الأعماق

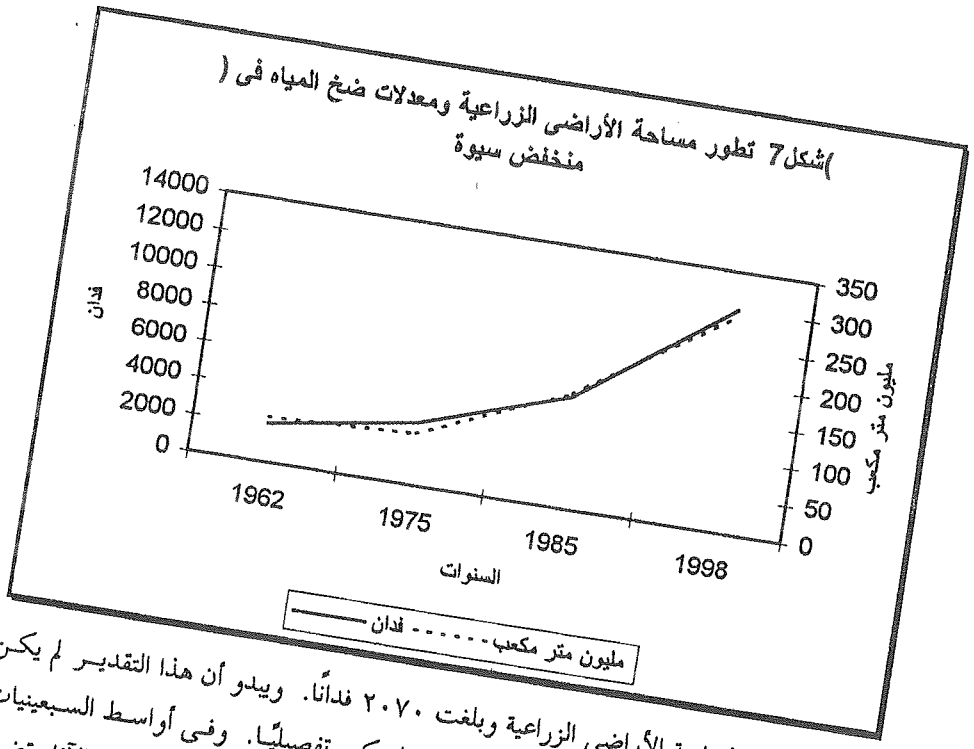
الصحراء ١٩٩٩، ص ٨) أما الآبار فيبلغ عددها ١٢٠٠ بئر حفر منها يدويًا نحو الألف على أعماق تتراوح بين ٢٠ – ٢٥م، والباقي (٢٠٠ بئر) حفرت إلى أعماق تصل إلى طبقة الحجر الرملي النوبى على عمق يتراوح بين ٧٠٠ – ١٣٠٠ متر من السطح. ومن أهم هذه الآبار بئرى جبل الدكرور (التكرور) التى حفرت إحداهما على عمق ١٠٠٠م والأخرى على عمق ١٣٠٠م وتبلغ نسبة الملوحة بهما ٢٢٠، ١٧٥ جزء/ المليون لكل على التوالى (جدول ١). وتضخ هذه العيون والآبار مجتمعة حوالى ٢٩١ مليون م^{3} سنويًا (وزارة الرى والموارد المائية ١٩٩٩ ص ٤).

جدول (١) نتائج تحليل المياه الجوفية فى منطقة
جبل الدكرور (ملليجرام / لتر)

نوع الأملاح	عينة (١) على عمق ١٠٠٠م	عينة (٢) على عمق ١٣٠٠م
كالسيوم	٧,٨	٦,٧
ماغنسيوم	٨,٣	٨,٣
صوديوم	٤٢,٠	٢٨,٠
بوتاسيوم	١٧,٢	١٩,٣
بيكربونات	١١٨,٣	٨٨,٤
كبريتات	١٧,١	٢٣,١
كلوريدات	٣٥,٠	٢٥,٤
فلوريدات	٠,٤	٠,٦
سيليكا	١١,٠	١٢,٠
أملاح ذائبة	٢٢٠,٠	١٧٥,٠

أجرى التحليل بقسم علوم الأراضى والمياه –كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية

وقد كانت هناك علاقة ارتباط إيجابية وثيقة الصلة بين تطور مساحات الأراضى الزراعية وتطور معدلات ضخ المياه الجوفية فى المنخفض (شكل ٧). فقد أعلن فى عام ١٩٦٢



شكل7 تطور مساحة الأراضى الزراعية ومعدلات ضخ المياه فى (منخفض سيوة

عن أول تقدير لمساحة الأراضى الزراعية وبلغت ٢٠٧٠ فدانًا. ويبدو أن هذا التقدير لم يكن دقيقًا لأنه اعتمد على خرائط ١ : ٢٥,٠٠٠ ولم يكن تفصيليًا. وفى أواسط السبعينيات قدرت مساحة الأراضى الزراعية بنحو ٣٣٦٦ فدانًا، وكانت مصادر المياه فى هذه الآناء تضخ ٦٩ مليون م٣ سنويًا. ثم تضاعفت مساحة الأراضى بعد ذلك لتتجاوز الستة آلاف فدانًا فى أواسط الثمانينيات بعد الاستفادة من منحة برنامج الغذاء العالمى[1]، واستصلاح مساحات إضافية من الأراضى الزراعية الجديدة، وحفرت آبار جديدة رفعت كمية المياه الجوفية المستخدمة إلى ١٥٥ مليون م٣ سنويًا فى عام ١٩٨٥. وتواصلت الزيادة فى مساحة الأراضى الزراعية حتى بلغت ١٢ ألف فدانًا فى عام ١٩٩٨ (المنطقة الزراعية بسيوة ١٩٩٩)، وصحبتها بالطبع زيادة فى حفر الآبار بطريقة عشوائية، ومن ثم بلغت كمية تصريف الآبار والعيون فى منخفض سيوة الأرض شأوًا لم تبلغه من قبل، حيث وصلت كمية تصريف الآبار والعيون فى منخفض سيوة ٢٩١ مليون م٣ سنويًا فى عام ١٩٩٨. (وزارة الرى والموارد المائية ١٩٩٩). ومن هنا بدأت

---

(١) تم توقيع اتفاقية بين الحكومة المصرية ممثلة فى جهاز تعمير وتنمية الساحل الشمالى الغربى وبرنامج الغذاء العالمى ضمن برامج المعونة الأمريكية. وكانت بداية العمل بها عام ١٩٧٧ وتتابعت فى صورة خطط خمسية استهدفت تنمية واحة سيوة عن طريق استصلاح الأراضى الزراعية والنهوض بالإنتاج الزراعى ومشاريع الرى والصرف وبناء المساكن الحديثة وتقديم منح غذائية ومادية للأهالى .... إلخ.

مشكلة تملح التربة فى الظهور. فمنخفض سيوة منخفض صحراوى ذو تصريف مركزى داخلى مغلق، بمعنى أن أى تصريف سطحى للمياه لابد أن يتدفق ويستقر فوق أخفض المناطق منسوبًا انتظارًا لعمليتى التسرب والتبخر، ومما زاد من حدة المشكلة أن المزارعين قاموا بحفر الآبار بطريقة بدائية التنفيذ وعشوائية التوزيع. حيث حفرت هذه الآبار إلى أن بلغت طبقة المياه الضحلة (لتوفير التكاليف) التى تتميز بارتفاع نسبة الملوحة، حتى أنها وصلت فى بعض الآبار إلى أكثر من ٨٠٠٠ جزء/ المليون. وكان كل مزارع يحوز قطعة من الأرض يقوم بحفر بئر لريها. ومن ثم انتشرت العشوائية لكى تشمل كل الأراضى الزراعية فى المنخفض. ولما كانت هذه الآبار ارتوازية، فقد تدفقت منها المياه باستمرار وبلا تحكم، فلا يستفيد المزارع إلا من ٦٠٪ تقريبًا من المياه المتدفقة فى الزراعة، وباقى الكمية ينصرف إلى أقرب البرك (مقابلة شخصية مع بعض الفنيين فى مديرية الزراعة وجهاز تعمير الصحارى وبعض المزارعين)، أضف إلى ذلك المياه المتدفقة أيضًا من العيون الطبيعية.

٢- اتساع البرك :

وفقًا للوضع الذى أوجزناه فى السطور السابقة، فقد كانت النتيجة الحتمية هى زيادة رقعة البرك فوق قاع المنخفض وطغيانها على الأراضى المجاورة، ويتناثر على قاع منخفض سيوة ٣٤ بركة، تتفاوت مساحتها بين ٠,٠٣ كم٢ و٢٢,٣كم٢ (بركة سيوة) (جدول ٢)، وتتركز هذه البرك فى ثلاثة أحواض رئيسية هى الحوض الشرقى ويشتمل على ٢٠ بركة معظمها ضئيل المساحة، ثم الحوض الأوسط ويحتوى على ١٢ بركة أكبرها بركة الزيتون، ثم الحوض الغربى الذى يضم بركتين فقط ولكنهما تمثلان ما نسبته ٤٦,٦٪ من المساحة الإجمالية. ويبلغ متوسط منسوب سطح المياه فى هذه البرك نحو ١٨,٥م تحت منسوب سطح البحر، وإن كان هذا المنسوب يتذبذب ارتفاعًا وانخفاضًا وفقًا لضوابط متعددة أهمها تباين معدلات التبخر وكميات المياه المنصرفة إلى هذه البرك. وحينما تزداد معدلات التبخر صيفًا، تنكمش هذه البرك وتترك وراءها شطوطًا من الأملاح.

وللوقوف على تطور مساحة البرك خلال العقود الأخيرة وبعد استصلاح واستزراع مساحات جديدة من الأراضى الزراعية، قام الباحث بتتبع ورصد تطور هذه البرك عن طريق رفعها من الخرائط الطبوغرافية مقاس ١ : ٢٥,٠٠٠ إصدار عام ١٩٧٢ ثم توقيع الزيادة التى حدثت فى مساحة وحدود هذه البرك من المرئيات الفضائية الملتقطة فى ١٥/ ٣/ ١٩٨٤، ٣/ ٤/ ٢٠٠١. وتم رسم خرائط تطورية لها، كما قيست مساحتها بواسطة الحاسب الآلى.

جدول (٢) مساحة البرك بمنخفض سيوة (٢٠٠١)

مسلسل	اسم البركة	المساحة كم٢	مسلسل	اسم البركة	المساحة كم٢
١	سيوة	٢٢,٣	١٨		٠,٢٦
٢	الزيتون (قريشت)	١٢,٩	١٩		٠,٢٦
٣	المراقى	٩,٤	٢٠		٠,٢٤
٤	المعاصر	٥,٢	٢١		٠,٢٢
٥	تميرة	٣,٤	٢٢		٠,١٩
٦	عين المعاصر	٢,٩	٢٣		٠,١٦
٧	أغورمى	٢,٦	٢٤		٠,١٥
٨		٢,١	٢٥		٠,١٢
٩		١,٤	٢٦		٠,٠٩
١٠		٠,٨٧	٢٧		٠,٠٨
١١		٠,٤٨	٢٨		٠,٠٧
١٢		٠,٤٢	٢٩		٠,٠٦
١٣		٠,٤٢	٣٠		٠,٠٥
١٤		٠,٣٨	٣١		٠,٠٤
١٥		٠,٣١	٣٢		٠,٠٣
١٦		٠,٢٩	٣٣		٠,٠٣
١٧		٠,٢٩	٣٤		
المجموع		٦٧,٩٧ كم٢			

المصدر: من عمل الباحث عن طريق القياس بواسطة الحاسب الآلى من المرئيات الفضائية الرقمية ٤/ ٢٠٠١.

جدول (٣) تطور مساحة البرك الرئيسية
فى منخفض سيوة بين ٧٠[1] ـ ٢٠٠١ (كم٢)

اسم البركة	المساحة ١٩٧٠	المساحة ١٩٨٤	نسبة التغير٪ عن ١٩٧٠	المساحة ٢٠٠١	نسبة التغير ٪ عن ١٩٧٠	نسبة التغير ٪ عن ١٩٨٤
سيوة	٤,٨	١٨,٦	٢٨٧,٥	٢٢,٣	٣٦٤,٦	١٩,٩
الزيتون	٩,٢	١١,١	٢٠,٦	١٢,٩	٤٠,٢	١٦,٢
المراقى	١,٣	٧,٨	٥٠٠,٠	٩,٤	٦٢٣,١	٢٠,٥
المعاصر	٣,٩	٤,٥	١٥,٤	٥,٢	٣٣,٣	١٥,٥
تميرة	١,٨	٣,٠	٦٦,٧	٣,٤	٨٨,٩	١٣,٣
عين المعاصر	٠,٨	١,٤	٧٥,٠	٢,٩	٢٦٢,٥	١٠٧,١
أغورمى	١,٣	١,٩	١١,٥	٢,٦	٥٢,٩	٣٦,٨
الإجمالى	٢٣,١	٤٨,٣	١٠٩,١	٥٨,٧	١٥٤,١	٢١,٥

المصدر: من حساب الباحث اعتمادًا على الخرائط الطبوغرافية ١٩٧٢، وصور القمر الصناعى لاند سات لعامى ١٩٨٤، ٢٠٠١ باستخدام برامج الحاسب الآلى.

وأمكن جدولة البيانات فى الجدول رقم (٣) ومنه يمكن استخلاص النتائج الآتية :

١- بلغت المساحة الإجمالية للبرك السبع الرئيسية فى منخفض سيوة ٥٨,٧ كم٢ فى عام ٢٠٠١. وهى تمثل البرك ذات المساحة العظمى، إذ تمثل هذه المساحة ما نسبته ٨٦,٣٦٪ من إجمالى مساحة برك المنخفض التى يبلغ عددها ٣٤ بحيرة.

٢- ازدادت رقعة البرك فى منخفض سيوة زيادة واضحة، إذ كانت جملة المساحة فى عام ١٩٧٠ هى ٣٠,٠٥كم٢ قفزت إلى ٥٩,٥٩ كم٢ فى عام ١٩٨٤ بنسبة تغير قدرها ٨٨,٣٢٪ عن المساحة السابقة، ثم ازدادت إلى ٦٧,٩٧كم٢ فى عام ٢٠٠١ بنسبة تغير قدرها ١٢٦,١٩٪ عن عام ١٩٧٠، ٢٠,١١٪ عن عام ١٩٨٤.

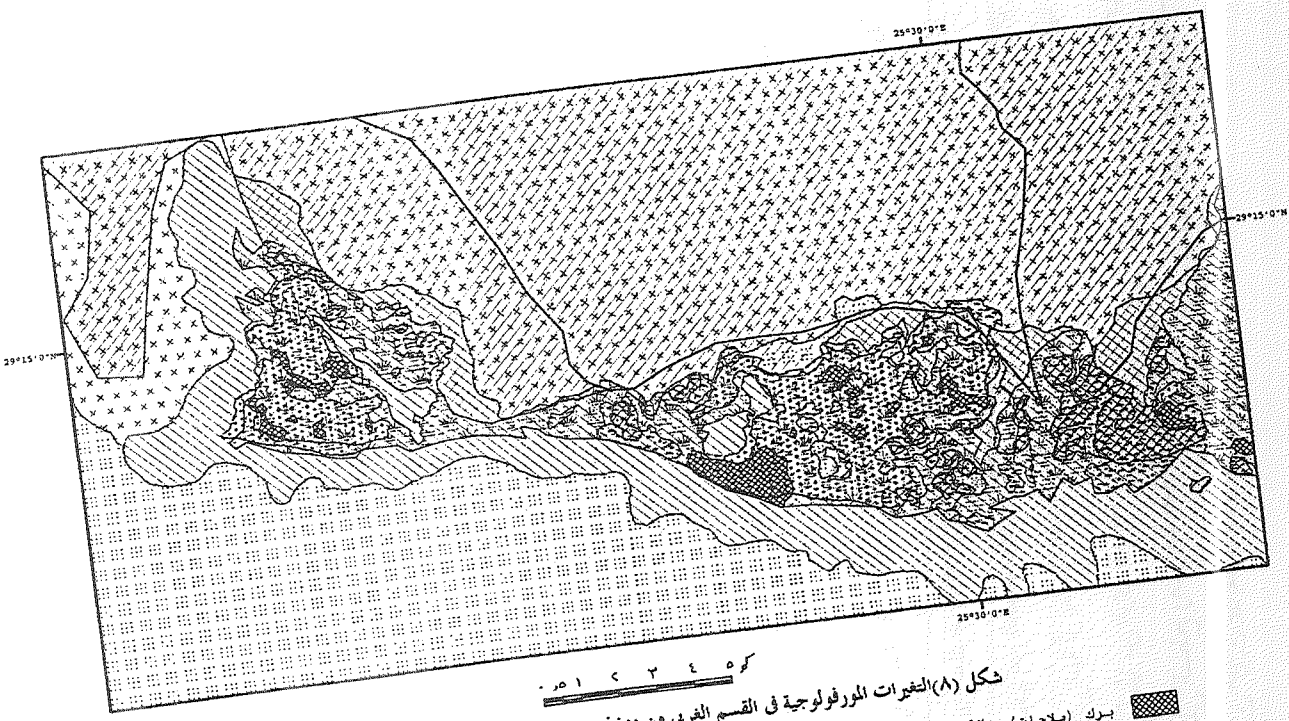
[1] تم رفع البيانات الطبوغرافية عام ١٩٧٠ وطبعت الخرائط وصدرت عام ١٩٧٢.

٣- تعتبر البرك المدرجة بالجدول رقم (٣) هى أكبر البرك مساحة فى منخفض سيوة. وقد تغيرت مساحتها تغيرًا ملحوظًا بين عامى ١٩٧٠، ٢٠٠١ (أشكال ٨، ٩، ١٠، ١١) إذ بلغت جملة مساحة هذه المجموعة ٢٣,١كم٢ بنسبة تغير ١٠٩,١٪، أى بما يزيد على ضعف مساحتها. ثم تواصلت الزيادة حتى بلغت ٥٨,٧كم٢ بحلول عام ٢٠٠١ بنسبة تغير قدرها ١٥٤,١٪ عن عام ١٩٧٠.

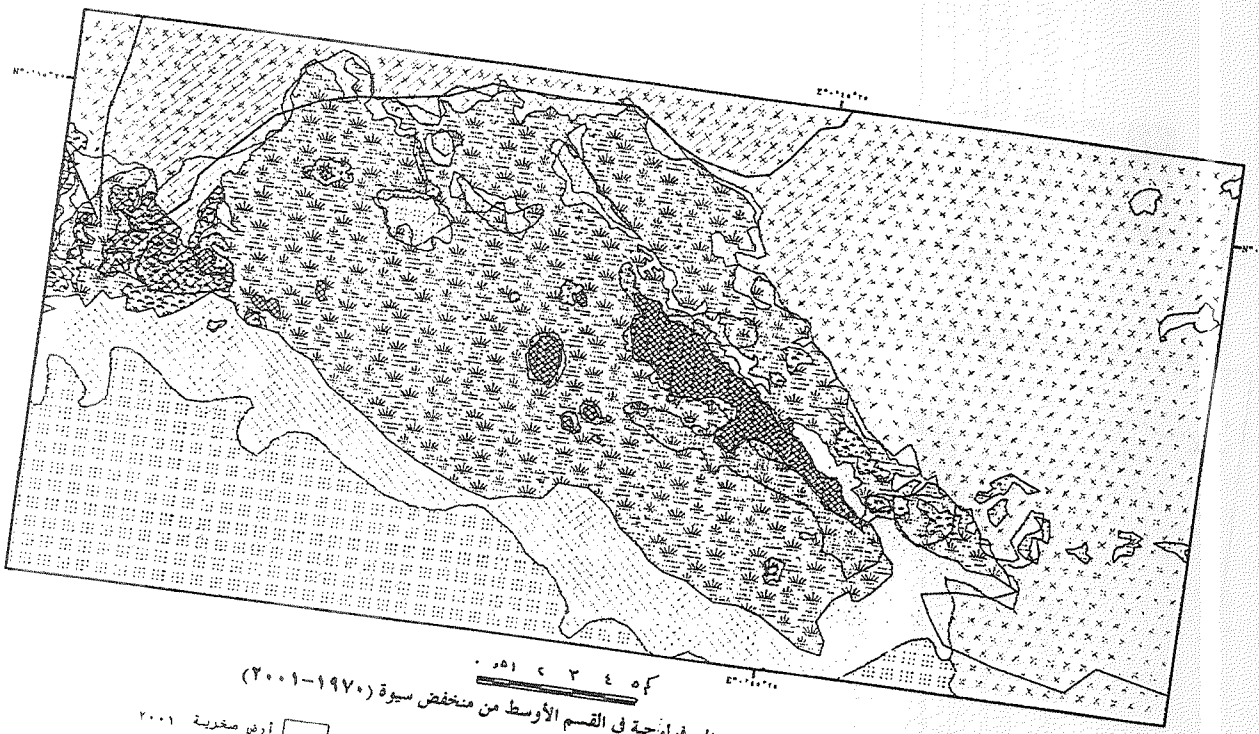
٤- لوحظ أن الزيادة كانت كبيرة بين عامى ١٩٧٠، ١٩٨٤ إذ أن معدل التغير الإجمالى فى مساحة البرك كان ٨٨,٣٢٪، ثم استمرت الزيادة حتى عام ٢٠٠١ ولكن بمعدل أقل حيث بلغ معدل التغير ٢٠,١١٪ فقط. وقد أثبت الواقع الميدانى أن الزيادة الفعلية فى مساحة البرك لم تبدأ إلا بعد عام ١٩٧٧، أى بعد تطبيق الاتفاقية بين الحكومة المصرية وبرنامج الغذاء العالمى والذى ترتب على إثرها زيادة الرقعة الزراعية وزيادة عدد الآبار الارتوازية وارتفاع معدلات ضخ المياه الجوفية (شكل ١٢).

٥- لاحظ الباحث أن أعلى معدلات التغير فى المساحة اختصت بها البرك الرئيسية وحدث أعلى معدل للتغير فى بركة المراقى حيث ازدادت رقعة البركة بين عامى ١٩٧٠ و٢٠٠١ بنسبة ٦٢٣,١٪ تلتها بركة سيوة التى تغيرت مساحتها فى نفس الفترة بنسبة ٣٦٤,٦٪. ومرد ذلك أن هاتين البركتين -وبقية البرك الكبرى- تتجاوران مع الأراضى الزراعية المستصلحة حديثًا، ومن ثم انعكس الإفراط فى استخدام مياه الرى وانسياب المياه الجوفية سطحيًا على ازدياد رقعة هذه البرك.

٦- لا تعبر زيادة رقعة البرك عن الحجم الحقيقى للمشكلة، لأنها أعقد من هذا بكثير. فزيادة مساحة البرك ينجم عن انسياب المياه السطحية إليها سواء عن طريق صرف المياه الزائدة عن العمليات الزراعية أو بسبب انصراف الفائض من المياه الجوفية. كما ينجم أيضًا عن الماء المتسرب رأسيًا من الرى بإفراط، ويؤدى هذا إلى زيادة منسوب الماء الأرضى تدريجيًا حتى يظهر على السطح وهو ما حدث بالضبط فى بعض البرك مثل سيوة والمراقى وغيرهما حيث كانت بمثابة رقاع لم تلبث أن اتصلت وكونت رقعة واحدة متصلة أضخم فى مساحتها.

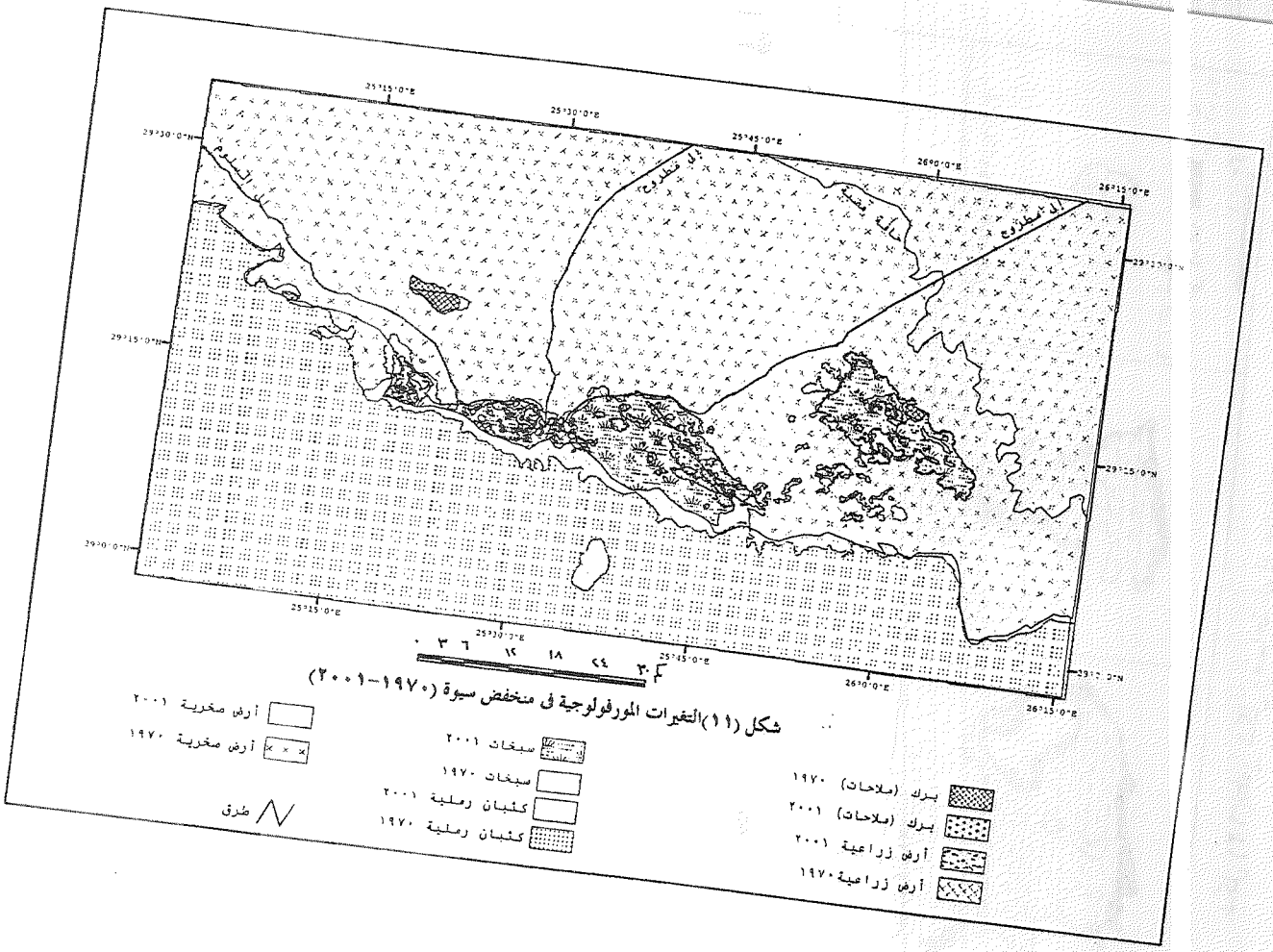


شكل (٨) التغيرات المورفولوجية فى القسم الغربى من منخفض سيوة (١٩٧٠-٢٠٠١)

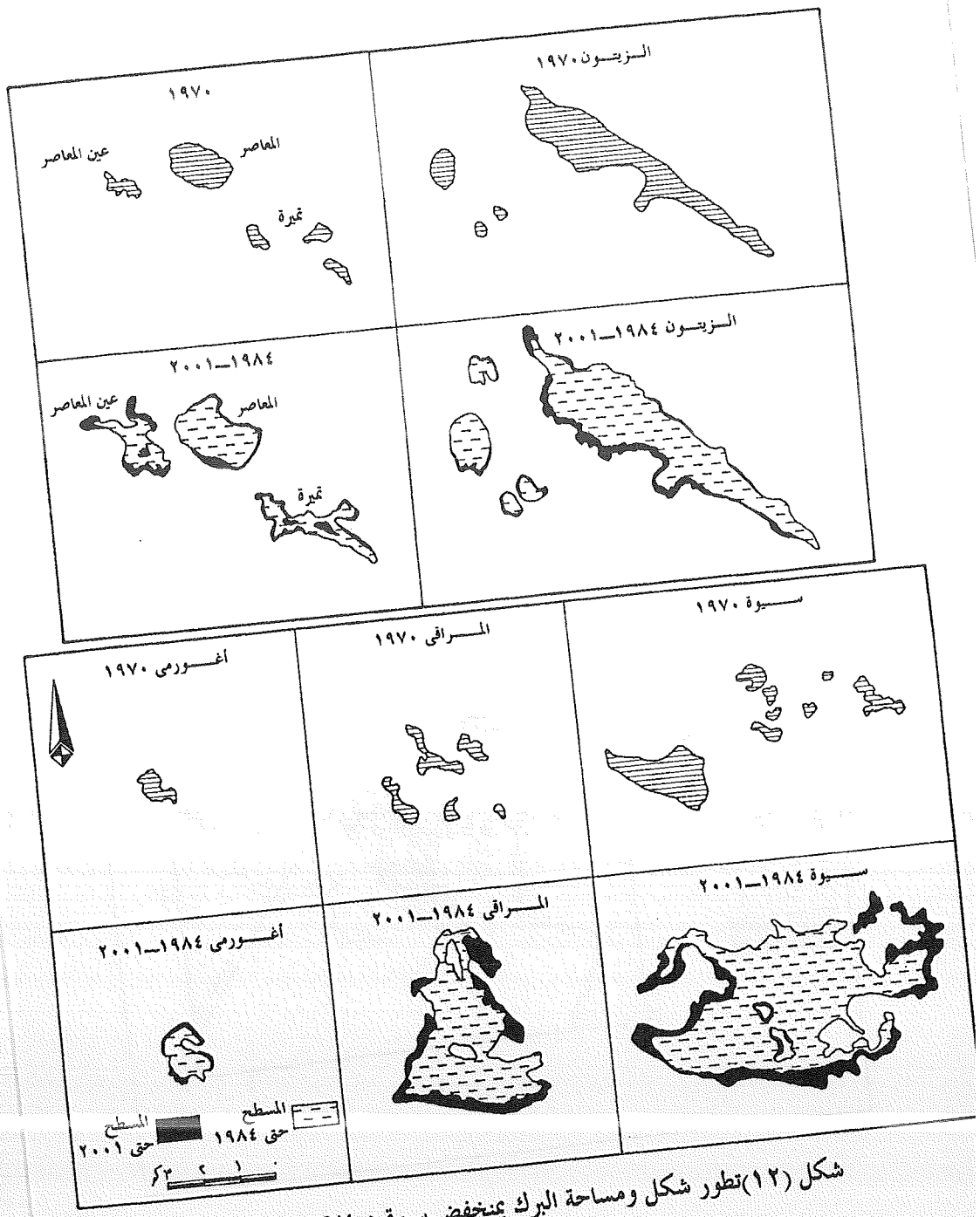


شكل (٩) التغيرات المورفولوجية فى القسم الأوسط من منخفض سيوة (١٩٧٠-٢٠٠١)

شكل (١٠) التغيرات الجيومورفولوجية فى القسم الشرقى من منخفض سيوة (١٩٧٠-٢٠٠١)
٠ ٢ ٤ ٦ ٨ كم
سبخات ٢٠٠١
سبخات ١٩٧٠
كثبان رملية ٢٠٠١
كثبان رملية ١٩٧٠
أرض صخرية ٢٠٠١
أرض صخرية ١٩٧٠
برك (ملاحات) ١٩٧٠
برك (ملاحات) ٢٠٠١
أرض زراعية ٢٠٠١
أرض زراعية ١٩٧٠
N
طريق



شكل (١١) التغيرات المورفولوجية فى منخفض سيوة (١٩٧٠-٢٠٠١)



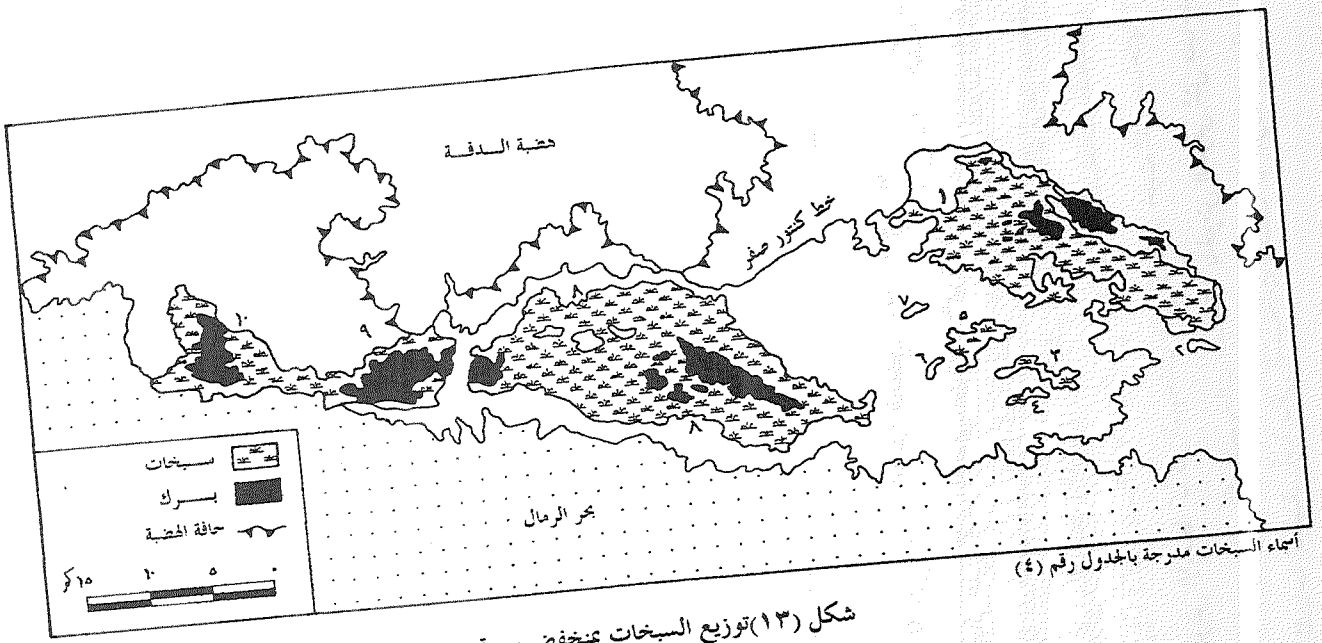
شكل (١٢)تطور شكل ومساحة البرك بمنخفض سيوة (١٩٧٠-٢٠٠١)

٧- ليس بالضرورة أن تنعكس الزيادة فى كمية المياه المنصرفة إلى البرك على زيادة المسطح الأفقى للبركة لأن هذا يرتبط بمناسيب الشطوط التى تحيط بالبركة. وبدراسة الشكل (١٢) يتبين صحة هذا الافتراض إذ أن زيادة رقعة البرك لم تكن متماثلة على طول محيطاتها.

٨- لم يعثر الباحث على خرائط مناسيب لمستويات المياه الأرضية وحدودها، ولكن من خلال الدراسة الميدانية، والمقابلات الشخصية مع بعض المزارعين تبين أن منسوب هذه المياه يختلف من مكان لآخر، ولكنه يقترب من السطح بالاقتراب من البرك، ففى منطقة الحريك التى تقع غرب بلدة سيوة بنحو كيلو مترين وتقترب من شاطئ بحيرة سيوة، يرتفع الماء الأرضى بها إلى منسوب يتراوح بين ٣٠ - ٥٠سم من السطح فقط. وساعد على ذلك وجود شرائح من الصلصال الأخضر تمنع استمرار الماء فى التسرب لأسفل، وتحجزها عند هذا المستوى، كما تعانى أيضًا منطقتى طغاغين وتللوة على بركة سيوة من نفس المشكلة وتظهر بوضوح فى بوباليس وفطناس.

السبخات :

تعد السبخات من الظواهر الطبيعية الملازمة للبرك والبحيرات الداخلية فى بيئة المنخفضات الصحراوية. والسبخات هى أراض ذات مناسيب منخفضة عن الأراضى المجاورة، وتتميز باستواء السطح، وتختلط رواسبها السطحية بالأملاح والمتبخرات والماء الذى يرشح (ينز) من الماء الأرضى بسبب انخفاض السطح. وقد ينمو عليها بعض الأنواع النباتية المحبة للأملاح. ويتناثر على القسم الجنوبى من منخفض سيوة ١٠ سبخات (جدول ٤٤ وشكل ١٣) تبلغ جملة مساحتها ٤٣٧,٨٩كم٢، تتوزع على الأحواض الثلاثة المشار إليها سابقًا (الحوض الشرقى والأوسط والغربى). وبالرغم من ذلك فإن هناك أربعة سبخات كبرى تبلغ مساحتها ٤١٤,٨كم٢ بنسبة ٩٤,٧٣٪ من جملة مساحة السبخات بالمنخفض. وتأتى سبخة الزيتون بالحوض الأوسط كأكبر السبخات على الإطلاق حيث تمثل مساحتها ٤٦,١٢٪ وهى مع سبخة المعاصر -ثانى أكبر السبخات مساحة- بالحوض الشرقى تمثل مساحتيهما ٨٠,٨٧٪ من إجمالى المساحة الكلية. أما باقى السبخات الست الأخرى فهى قزمية وتعتبر امتدادًا للسبخات الكبرى فى بؤرات منخفضة حولها.



أسماء السبخات مدرجة بالجدول رقم (٤)

شكل (١٣)توزيع السبخات بمنخفض سيوة

جدول (٤) مساحة السبخات فى منخفض سيوة

مسلسل	اسم السبخة	المساحة كم٢	٪
١	المعاصر / تميرة	١٥٢,١٧	٣٤,٧٥
٢	رقم (٢)	٤,٨٥	١,١٠
٣	رقم (٣)	٦,١٢	١,٤٠
٤	حطية الكوز	٢,٢٣	٠,٥١
٥	نويب تميرة	٧,٨٧	١,٨٠
٦	رقم (٦)	١,٠٩	٠,٢٥
٧	رقم (٧)	٠,٩٣	٠,٢١
٨	الزيتون	٢٠١,٩٤	٤٦,١٢
٩	سيوة	٣٢,٧٦	٧,٤٨
١٠	المراقى	٢٧,٩٣	٦,٣٨
	المجموع	٤٣٧,٨٩	١٠٠

تم حساب المساحات بواسطة الحاسب الآلى من المرئيات الفضائية الرقمية الصادرة فى أبريل ٢٠٠١.

وتتميز أسطح السبخات بعدة ظواهر جيومورفولوجية تعكس طبيعتها البيئية. فتنهض بعض التلال المنعزلة شاخصة فوق أراضى السبخات بارتفاع نسبى يبلغ ٤٠ مترًا فى المتوسط. وبالإضافة إلى ذلك تنتشر المظاهر المرتبطة برواسب المتبخرات والأملاح، ومن أبرزها المضلعات والقباب الملحية ورقائق وأزهار الأملاح، وكذلك بعض الرقاع تقبع فيها مياه ضحلة جدًا ولكنها تتميز بشدة الملوحة. وبتحليل رواسب السبخات[1] تبين أن المكونات الرئيسية للسبخات تتمثل فى الكلوريدات (٥٨,٢٦٪) والصوديوم (١٩,٣٦٪) والكالسيوم (١٠,٢٣٪) والكبريتات (٨,٣١٪) والماغنسيوم (٢,٥٪)، والبيكربونات (٠,٧٪) والبوتاسيوم (٠,٥٧٪) أما السيليكا فهى تتمثل كآثار من الرواسب. وهذه التركيبة تدل على الأصل

(١) أجرى تحليل كيميائى لأربع عينات من رواسب السبخات تمثل السبخات الأربع الكبرى، وتم التحليل بقسم علوم الأراضى والمياه بكلية الزراعة – جامعة الإسكندرية.

البحيرى لتلك الرواسب حيث أن سيادة أحد جزيئات المكونات الصلبة على الآخر يعكس أصل تكون السبخة (عاشور وآخرون ١٩٩١، ص ٢١٩)، ومن المعروف أن قلة وجود السيليكا تستبعد الأصل النهرى وتدل الأملاح الأخرى طبيعة الأصل البحيرى للمتبخرات. أما وجود السيليكا فيرجح انتقالها بفعل الرياح.

الأضرار الناشئة عن اتساع البرك :

أوضحت الدراسة السابقة أن اتساع البرك فى العقدين الأخيرين ما هى إلا مظهرًا للإسراف فى استخدام المياه وارتفاع منسوب الماء الأرضى، وقد نشأ عن الامتداد الأفقى للبرك بعض الأضرار التى انعكست سلبيًا على التربة الزراعية ويمكن استعراضها فيما يلى :

١- تقلص الأراضى الزراعية القديمة القريبة من شواطئ البرك بنسبة بلغت ١١,٤٪[1] فيما بين عامى ١٩٧٠، ٢٠٠٠. فعلى الرغم من تزايد مساحة الأراضى الزراعية باضطراد وخاصة بعد عام ١٩٧٧، فإن مساحات من الأراضى الزراعية التقليدية أتى عليها طغيان البرك وامتداد السبخات فتآكلت تمامًا وانضمت لقيعان البرك (أشكال ٨ - ١١) وشوهدت هذه الظاهرة بوضوح حول برك سيوة وأغورمى والمراقى فى مناطق حول بلدة سيوة وبهى الدين وفطناس وطغاغين وتللوة وبوباليس ... وغيرها (صورة ١، ٢، ٣).

٢- نتيجة لتزحزح حد البرك -ومن ثم السبخات- بدأت الأملاح تنتشر بتركيز فى الطبقة السطحية، وتختلط مع الطين وتتجعد مكونة مكعبات سداسية الشكل يطلق عليها محليًا اسم "كورشيف" (صورة ٤).

٣- أدى اتساع البرك والسبخات وارتفاع منسوب الماء الأرضى مع ارتفاع معدلات التبخر الشديدة إلى ظهور قشور الأملاح على سطح التربة وخاصة فى الأراضى الزراعية القريبة من البرك (صورة ٥).

٤- ترتفع نسبة الأملاح فى البرك ارتفاعًا كبيرًا حيث تتراوح بين ٩٠ - ٣٠٩ جرام فى اللتر (محمد ١٩٩٩ ص ٨) بين الشتاء والصيف، وقد انعكست هذه النسبة على ارتفاع نسبة الملوحة فى التربة بصفة عامة.

---

[1] تم حساب هذه النسبة عن طريق مقارنة مساحة الأراضى الزراعية عام ٧٠ بقرينتها عام ٢٠٠١ وتحديد المناطق التى أغرقت نتيجة امتداد البحيرات أو السبخات وذلك بواسطة استخدام برنامج ERDAS IMAGINE, 8.3.

صورة (١) إحدى قرى منطقة فطناس بعد أن أجدبت أراضيها وهجرها أهل بسبب زيادة رقعة بركة المراقي.

صورة (٢)جزيرة بوباليس ،يطلق عليها الأهالى اسم "غابة البحر" بعد أن حاصرتها مياة بركة المراقى.ويشاهد فى مقدمة الصورة مصرفطناس الذى يصب فى البركة.

صورة (٣)تداعى نخيل البلح أمام طغيان مياه بركة سيوة بمنطقة طغاغين.

صورة (٤)منظر مقرب من سطح السبخة فيما يسميه الأهالى "كورشيف"،منطقة أبوشروف.

صورة (٥)تحول الأراضى الزراعية إلى سبخات ــ منطقة تللوزة على بركة سيوة ــ لاحظ تداعى النخيل المشرف على حدود الأراضى الزراعية.

ثانيًا : نحت التربة

Soil Erosion

يمثل نحت (انجراف) التربة أحد العناصر الأساسية المسببة للتصحر. وعلى الرغم من أن مشكلة نحت التربة مشكلة عالمية، إذ يقدر ما يفقده العالم من تربته بفعل الانجراف بنحو ٢٣,٣ مليار طن سنويًا (الخطيب ١٩٩٨، ص ٢٧٨)، فإنها ذات أهمية بالغة وشديدة الخصوصية فى مناطق الصحارى. فقد سبق أن ذكرنا أن النظم البيئية هنا نظمًا ضعيفة وهشة، بحيث إذا فقد عنصر منها إنهار النظام البيئى بأكمله، ويصعب استعواض هذا العنصر، ومن ثم يصعب على النظام البيئى استعادة توازنه مرة أخرى. ويمكن تقسيم عمليات نحت التربة بمنخفض سيوة إلى قسمين : أحداهما تتم بفعل الرياح والأخرى بفعل المياه.

١- نحت التربة بفعل الرياح Wind Erosion :

تلعب الرياح دورًا مهمًا فى التأثير السلبى على تربة منخفض سيوة، وتؤثر الرياح على سطح التربة بواسطة عمليتين أساسيتين : الأولى تفكيك الحبيبات، والثانية نقل هذه الحبيبات من مكان لآخر. ويتم هذا النقل بالطرق الآتية :

أ- القفز Saltation : تقوم الرياح بحمل حبيبات التربة لأعلى ثم تسير بها مسافة معينة حسب طاقة الرياح واستمرارية هذه الطاقة، ثم تسقط هذه الحبيبات على الأرض مرة أخرى. ثم تتكرر هذه العملية مرات عديدة. ويقدر أن حوالى ٦٠٪ من حركة حبيبات التربة أثناء نقلها يتم بواسطة القفز.

ب- الزحف Creep : عندما تنخفض طاقة الرياح أو تزداد قطر حبيبات التربة عن ٠,٨٤ ملليمتر تعجز الرياح عن حمل حبيبات التربة، فتقوم بدفعها ودحرجتها على سطح الأرض.

جـ- التعلق Suspension : وفيه تستطيع الرياح حمل الحبيبات الدقيقة من مكونات التربة مثل الصلصال والطين والرمال الناعمة وتسير بها فى موازاة سطح الأرض. وقد ترتفع الرياح بالحبيبات الدقيقة لمئات الأمتار بعيدًا عن سطح الأرض فيما يعرف بعواصف الغبار وتنقلها لمسافات بعيدة.

ويعتمد فعل الرياح -سلبًا وإيجابًا- فى نحت التربة على عدة عوامل أهمها :

- الجفاف، حيث يشتد تأثير الرياح كلما اشتد الجفاف والقحولة.
- مدى تماسك والتصاق حبيبات التربة.
- مدى احتواء التربة على المادة العضوية.
- نسبة ما يُغطى من التربة بالنبات وارتفاعه.
- سرعة الرياح وديمومتها من اتجاه معين.
- انحدار سطح الأرض وعلاقته باتجاه الرياح السائدة.

وللوقوف على مدى تأثير الرياح على نحت التربة فى منخفض سيوة، قام الباحث بتقدير معدلات نحت التربة بفعل الرياح عن طريق تطبيق المعادلة الآتية (FAO 1979, p. 11).

$$E = F(I\ K\ C\ L\ V) \quad \ldots\ldots\ldots\

ومن أجل تطبيق المعادلة والوقوف على معدلات نحت التربة بفعل الرياح بمنخفض سيوة، جمع الباحث تسع عينات من تربة المناطق الزراعية الرئيسية بالواحة، وتم تحليلها[1] لمعرفة نسيج التربة وبناؤها ونسبة المواد العضوية ودرجة النفاذية ونسبة الملوحة. ويوضح الجدول رقم (٥) نتائج تطبيق المعادلة، ومنه يمكن استخلاص النتائج الآتية :

١- يبلغ المتوسط العام لانجراف التربة بفعل الرياح بمنخفض سيوة نحو ٣٨,٦٨ طن/ فدان/ سنة أى ما يعادل تآكلاً رأسيًا مقداره ٥,٧٦ ملليمتر/ سنة. وهذا المتوسط يدخل ضمن فئة التعرية الشديدة High Erosion (FAO 1979, p. 5).

٢- سجلت العينة رقم ٢ (سيوة أ) أقل مقدار لانجراف التربة (٢,٩ طن/ فدان / سنة) تلتها العينة رقم ٥ (أغورمى ب) (٥,٢طن/ فدان/ سنة). ولوحظ أن هاتين العينتين أخذتا عن أراض مزروعة بنخيل البلح، فى حين سجلت العينة ٩ (خميسة) أعلى مقدار لانجراف التربة بلغ ١٢٠ طن / فدان/ سنة وهى أراضى شبه جرداء.

٣- نستنتج مما سبق أن نوع النبات وكثافته ذو تأثير بالغ على معدلات نحت التربة بفعل الرياح، حيث يوفر نخيل البلح أعلى معدلات الحماية وبخاصة إذا زادت كثافته، أو تمت زراعة الأراضى البيئية بأنواع من المحاصيل الأخرى الحولية كالبرسيم مثلاً، وهو أمر يتكرر حدوثه وخاصة فى الأراضى المحيطة ببلدة سيوة، فى حين يتدرج الانخفاض فى الحماية مع تناقص كثافة النبات وتضاؤل حجمه وارتفاعه.

٤- أوضح تطبيق المعادلة أن العامل الآخر الذى له نفس أهمية عامل النبات هو سرعة الرياح. فقد قام الباحث بحساب انجراف التربة لعينة (سيوة ب) فى شهر إبريل الذى يمثل أعلى الشهور فى سرعة الرياح (١٤,٤ كم/ ساعة) وفى شهر نوفمبر الذى يمثل أدنى سرعة للرياح (٧,٦كم/ ساعة) وتبين أن الفارق بينهما كبير، حيث بلغ انجراف التربة بالنسبة لشهر إبريل ٠,٥١ طن/ فدان، بينما انخفض إلى ٠,١١ طن/ فدان فى شهر نوفمبر، وذلك مع ثبات كل العوامل الأخرى المؤثرة.

---

[1] أخذت العينات وتم تحليلها بمساعدة قسم علوم الأراضى والمياه بكلية الزراعة، جامعة الإسكندرية.

جدول (٥) نتائج تطبيق معادلة نحت التربة بفعل الرياح (WEE) لتقدير الفقد الكلى السنوى من سطح التربة (طن / فدان / سنة)

رقم العينة	الموقع	قابلية التربة للانجراف (I)	معامل خشونة السطح (K)	معامل المناخ (C)	معامل سطح الأرض المعرض للرياح (L)	E A[1]	معامل الغطاء النباتى (V)	متوسط الانجراف للتربة (E) طن/فدان/ سنة	مقياس[2] التآكل الرأسى (ملليمتر)	ملاحظات
١	المراقى	١٥٢	٠,٩٥	٠,٩٨	٠,٩٠	١٢٧,٣٦	٥٩١٣	٢١	٣,١٨	مزارع زيتون
٢	سيوة (أ)	١٢٣	١,٠٠	٠,٩٨	٠,٤٢	٥٠,٦٣	٦١٢٦	٢,٩	٠,٣٨	نخيل بلح
٣	سيوة (ب)	١٨٧	٠,٨٥	٠,٩٨	٠,٩٥	١٤٧,٩٨	٥٩١٣	٣١	٤,٦	مزارع زيتون
٤	أغورمى (أ)	١٥٧	٠,٧٩	٠,٩٨	٠,٨٣	١٠٠,٨٩	٣٨٤٠	٣٢	٤,٧	نباتات بقولية
٥	أغورمى(ب)	١٣٣	١,٠٠	٠,٩٨	٠,٥٧	٧٤,٢٩	٦١٢٦	٥,٢	٠,٧٩	نخيل بلح
٦	الزيتون (أ)	١٦٥	١,٠٠	٠,٩٨	٠,٩٠	١٤٥,٥٣	٥٩١٣	٢٧	٤,٠٣	مزارع زيتون
٧	الزيتون (ب)	١٦٥	٠,٩٢	٠,٩٨	١,٠٠	١٤٨,٧٦	٤١٤٠	٥١	٧,٦٢	نباتات نجيلية
٨	أبو شروف	١٩٦	٠,٩٥	٠,٩٨	١,٠٠	١٨٢,٤٨	٤١٤٠	٥٨	٨,٦٧	برسيم
٩	خميسة	٢٢٣	١,٠٠	٠,٩٨	٠,٩٥	٢٠٧,٦١	٢٣٢٠	١٢٠	١٧,٩	شبه جرداء

(١) E A = حاصل ضرب I × K × C × L ثم وضع الناتج على رسم بيانى قياسى (ملحق ١) ويقارن بمعامل الغطاء النباتى (V).

(٢) قامت منظمة FAO بمناظرة انجراف التربة بالطن بما يعادله من تآكل (تخفيض) رأسى لسطح التربة بالملليمتر كما يلى :

تعرية محدودة أقل من ٤,٥ طن / فدان / سنة أقل من ٠,٦ – ملليمتر.

تعرية متوسطة ٤,٥ طن / فدان / سنة /٠,٦ – ملليمتر

تعرية شديدة ٢٢,٣ طن/ فدان/ سنة /٣,٣ – ملليمتر

تعرية شديدة جدًا أكثر من ٨٩,٢ طن/ فدان / سنة أكثر من ١٣,٣ ملليمتر.

٥- ينبغى أن نأخذ فى الاعتبار أن معامل المناخ (سرعة الرياح) هنا تم حسابه على أساس المعدلات فى محطة سيوة، وهذا يسبب قصورًا شديدًا. فالاختلافات المكانية لاشك تؤثر فى سلوك الرياح من حيث الاتجاه والسرعة، فضلاً عن أن المعدلات تخفى فى طياتها ثبات الرياح التى قد تستمر لبضعة عشرات من الدقائق، أو لساعات قليلة، ولكنها تكون ذات تأثير بالغ. كما أن قيم سرعة الرياح فى حالات العواصف تتلاشى فى قيم المعدلات الشهرية والسنوية.

٢- نحت التربة بفعل المياه Water Erosion :

تتأثر التربة بصورة واضحة بسبب تأثير الماء سواء بفعل قطرات المطر أو نتيجة للجريان السطحى للمياه. فحينما ترتطم قطرة المطر (وخاصة المطر الصحراوى الذى يتميز بكبر حجم القطرة وشدة اندفاعها) بسطح التربة، تمارس نوعًا من التعرية يطلق عليه اسم Splash Erosion يعمل على تفكيك حبيبات التربة وهدم بناء الحبيبات المركبة وتحويلها إلى حبيبات فردية يسهل انجرافها، كما أن قطرة المطر ذاتها تتحزأ بعد ارتطامها بسطح التربة إلى حزيئات متناثرة تحمل معها بعض حبيبات التربة وتنقلها من مكان لآخر، وتحت ظروف انهمار الأمطار بغزارة يمكن لتعرية قطرات المطر Splash Erosion أن تنقل ما يقدر بنحو ١٠٠ طن من الفدان الواحد (الخطيب ١٩٩٨ ص ٢٨١). ورغم خطورة هذا النوع من التعرية لانتشاره، ولصعوبة ملاحظته وعدم الإحساس به بصورة مباشرة، فإن الجريان السطحى للمياه Runoff له تأثيره الخطير هو الآخر على تعرية التربة. ويكون إما على شكل تعرية غطائية Sheet Erosion، أو على شكل تعرية أخدودية Gully Erosion.

وقد أمكن للباحثين فى مجال تعرية وصيانة التربة التوصل إلى صيغة رياضية يمكن من خلالها تقدير مقدار فقد التربة لمكوناتها بفعل المطر، ونتجت هذه الصيغة بعد تجارب طويلة معملية وحقلية تمكن الباحثون من خلالها الوقوف على طبيعة العوامل التى تتحكم فى التعرية المائية للتربة. وعرفت هذه الصيغة الرياضية باسم "المعادلة العالمية لفقد التربة Universal Soil- Loss Equation (USLE)" (FAO 1979, p. 11).

$$A = R K L S C P \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٢)$$

حيث أن :

A – مقدار الفاقد من التربة نتيجة الانجراف بالماء ويقدر بالطن لكل فدان فى السنة.

R – معامل المطر والجريان السطحى Rainfall and Runoff Factor وهو يمثل مقدرة وطاقة الماء فى التأثير على إزالة التربة وجرفها عن طريق كثافة المطر Rainfall Erosion Index ويمكن حسابه من المعادلة الآتية :

(Wischimeier & Smith 1978, p. 331).

$$R = \frac{E\ I30}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٢-١)$$

حيث أن :

E – الطاقة الحركية الكلية للمطر.

I – أعلى كمية مطر فى ٣٠ دقيقة.

ويمكن حساب معامل "R" أيضًا بالمعادلة الآتية (Foumier 1960, p. 56).

$$R = \frac{Pm^2}{P} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٢-٢)$$

حيث أن :

Pm – متوسط المطر الشهرى.

P – متوسط المطر السنوى.

K – معامل قابلية التربة للانجراف Soil Erodibility Factor ويعتمد على قوام التربة وبناؤها Structure ومحتواها من المادة العضوية وسعة تسرب المياه Infilteration ويمكن استخراج قيمة K عن طريق نوموجراف خاص بذلك (ملحق ١).

L S – معامل الطبوغرافيا Topographic Factor ويعتمد على درجة الانحدار S وطول المسافة الأرضية لهذا الانحدار L ويحول إلى نسبة مئوية. ويمكن حساب هذا المعامل بواسطة نوموجراف خاص بذلك (ملحق ١).

C – معامل الغطاء النباتى Cropping and Vegetation Factor ويعتمد على كثافة الغطاء النباتى ونسبة تغطيته لسطح التربة. وهناك أرقام قياسية لنوعيات المحاصيل والنباتات الطبيعية النامية فى التربة (الخطيب ١٩٩٨ ص ٢٨٧).

P = معامل التحكم فى التعرية، ويقصد به توفير الحماية للتربة من الانجراف، ويدخل فى ذلك طريقة الحراث ووسائل الحماية التى تتخذ لصيانة التربة.

ومن الملاحظ أن حدود هذه المعادلة -مثل المعادلة السابقة- تعتمد على الكثير من المتغيرات الخاصة بالتربة ذاتها والمناخ ومظاهر سطح الأرض وحتى التدخلات البشرية لحماية التربة من التآكل. ونظرًا لأن كمية الأمطار التى تسقط على سيوة ضئيلة (٩,٥ ملليمتر سنويًا)، فإن التأثير الناشئ عنها سوف يكون محدودًا للغاية، ولا يمثل أى خطورة تذكر، فقد قام الباحث بتطبيق هذه المعادلة على الأراضى الزراعية حول بلدة سيوة بغرض تقدير كمية الفاقد من هذه الأراضى بفعل الماء الجارى. وكانت النتيجة أن معدل الفاقد السنوى من التربة لمنطقة مزروعة بنباتات نجيلية (شمال بلدة سيوة بنحو ٧ كيلو مترات) كانت ٠,٠٨٣ طن/ فدان/ سنة ولنفس المنطقة فى حقل مزروع بنخيل البلح فكانت ٠,٠٠٠٦ طن/ فدان/ سنة، وأخرى مزروعة بأشجار الزيتون وكانت الأشجار تغطى ٧٥٪ من المساحة الأرضية، فبلغت تقديرات الفاقد من التربة ٠,١٢٨ طن/ فدان/ سنة. وقد تعمد الباحث أن تكون العينات الثلاث المأخوذة متشابهة من حيث خصائص التربة (التركيب الحبيبى والتركيب البنائى والنفاذية) والخصائص الطبوغرافية مع ثبات معامل المناخ واختلاف نوع الغطاء النباتى ليؤكد على دور هذا العامل فى توفير الحماية الطبيعية للتربة من الانجراف بفعل المياه وبخاصة تعرية قطرات المطر Splash Erosion.

ولقد قام الباحث بتطبيق نفس المعادلة السابقة على مناطق أخرى فى منخفض سيوة (أبو شروف - الزيتون - أغورمى- المراقى) ولكن جاءت النتائج متشابهة إلى حد كبير وذلك لتشابه الظروف الخاصة بتلك المناطق وأهمها تجانس الخصائص الطبوغرافية ودور التأثير البشرى، فضلاً عن قلة الأمطار الساقطة وضعف تأثيرها مع القصور الناشئ عن عدم توفر البيانات الدقيقة عن كميات الأمطار فى مناطق مختلفة من المنخفض على مدار العام، وبخاصة فيما يختص بأمطار العواصف، وقد أوضحت الدراسة بعض الملاحظات التى يمكن إجمالها فيما يلى:

١- ضعف دور الأمطار فى التأثير على تعرية التربة بوجه عام فى منخفض سيوة وذلك لقلة سقوط هذه الأمطار (٩,٥ ملليمتر سنويًا).

٢- غير أن الملاحظة السابقة لا يمكن الاطمئنان إليها بدرجة كبيرة إذا ما علمنا أن المطر الصحراوى يتميز بالتذبذب وعدم الانضباط سواء فى الكمية أو موسم السقوط أو درجة تركز سقوط المطر، حيث تتمكن أمطار العواصف من إنجاز عمل جيومورفولوجى فى فترة زمنية وجيزة يماثل -وربما يفوق- ما تم إنجازه فى سنوات طوال فى الظروف العادية.

٣- انطلاقًا من الملاحظة السابقة، طبق الباحث معادلة تقدير معدلات انجراف التربة بفعل المياه (USLE) لنفس المنطقة السابقة (شمال بلدة سيوة بسبعة كيلو مترات) أثناء موسم حدثت فيه عاصفة ممطرة فى ٢١ نوفمبر عام ١٩٧٤. وكانت كمية المطر الساقطة فى هذا اليوم ٢٥,٤ ملليمتر (المتوسط الشهرى لأمطار نوفمبر ١,١ ملليمتر). وقدر الفاقد من التربة لهذا العام بنحو ٦,٨١ طن/ فدان للأراضى بافتراض أنها مزروعة بالمحاصيل النحيلية بأشجار الزيتون والتى ينكشف منها نحو ٢٥٪ من مساحتها فوصل الفاقد إلى ١٠,٨٧ طن للفدان. علمًا بأن متوسط ما فقد من العينات الثلاث أثناء عاصفة المطر بلغ ٩٩,٧٪ من جملة الكمية المفقودة من التربة خلال نفس السنة.

٤- تلعب خصائص التربة والأمطار ونوع النبات النامى ونسبة غطائه للأرض الدور الأبرز -محليًا- فى التأثير على كمية الفاقد من التربة بفعل التعرية المائية، يليهم الخصائص الطبوغرافية لتشابهها على أرجاء المنخفض، ودور العامل البشرى لتجانس هذا الدور الذى يتميز بالبدائية بصفة عامة.

مظاهر نحت التربة والأضرار الناشئة عنها :

أوضحت الدراسة الميدانية وتطبيق المعادلات الخاصة بنحت التربة، أن الرياح تلعب الدور الأكبر فى فقد وإزالة الطبقة السطحية من الأراضى الزراعية، وذلك بسبب انكشاف الأراضى لفعل الرياح واستخدام الطرق البدائية فى الزراعة مع عدم توفير الوسائل الملائمة للتخفيف من تأثير الرياح. أما المياه الجارية فيتضاءل دورها أمام فعل الرياح، ولا يستبين من أثرها -رغم ضآلته- سوى تأثير قطرات المطر والانجراف الغطائى وبخاصة أثناء العواصف الممطرة، أما التعرية الجدولية فأثرها يكاد أن يتلاشى تمامًا. وتكمن محطوة نحت وانجراف التربة كأحد مظاهر التصحر فى كونه غير ملحوظ بالمشاهدة العامة فى أغلب الأحيان، بل يتطلب

ملاحظة دقيقة مع تطبيق وسائل علمية قياسية أو رياضية. فعملية النحت بطيئة وتدريجية، ولكنها مستمرة على مدار العام، ويمكن تلخيص أهم الآثار الناجمة عن نحت التربة فى منخفض سيوة فيما يلى :

١- نحت الطبقة السطحية من التربة وتجريدها من أهم عناصرها التى تؤثر على درجة خصوبتها وحدارتها الإنتاجية وبخاصة عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم الضرورية والمهمة لنمو النبات. فمن المعروف أن أفق A تتحلل وتتفتت مكوناته المعدنية إلى أفضل درجة بالنسبة للنبات، كما تتركز به المواد العضوية المتحللة والحياة البيولوجية، والغازات. وكل هذه المواد يعتمد عليها النبات بصورة أساسية، وحينما تبدأ التعرية الريحية والمائية عملها، فإنها تكتسح هذه الطبقة ذات الأهمية، فتتناقص خصوبة التربة تدريجيًا حتى تكاد تتلاشى مع فقد قطاع التربة كاملاً.

٢- طبقًا للدراسات التى أجراها الباحث، فإن طبقة الحراثة (٣٠سم تقريبًا) يمكن أن تفقد بالانجراف فى المناطق المكشوفة فى مدى زمنى يتراوح بين ٨-١٠ سنوات وفى مثلى هذه الفترة فى المناطق المزروعة، وفقًا لمعدلات التعرية فى منخفض سيوة والتى سبقت الإشارة إليها.

٣- تفكيك بنية التربة وإضعاف تماسكها نتيجة تأثرها بارتطام قطرات المطر بها، مما يجعلها عرضة للانجراف بإحدى وسائل التعرية المختلفة وبخاصة فعل الرياح.

٤- تقوم الرياح والمياه الجارية بنحت التربة وجرف مكوناتها إلى حيث تقرها فى قنوات الرى والمصارف فتعمل على إطماته وقد شوهدت هذه الظاهرة بوضوح فى المناطق المحيطة ببلدة سيوة وخاصة فى الأجزاء الشمالية، ومناطق مشندد وبهى الدين وأبو شروف والزيتون.

٥- نتيجة لفقدان بعض المناطق لصلاحية تربتها للزراعة، تنتشر فيها النباتات البرية الضارة، وتزدهر هذه النباتات وتحمل الرياح والحيوانات بذورها إلى الأراضى المجاورة المنتجة، فتنتقل إليها وتشارك النبات المزروع فى حيزه، ومن ثم يتناقص الإنتاج (صورة ٦).

صورة (٦) غمر المياه الطمارة بسبب فقدان التربة لصلاحيتها — قرية السلام — منطقة الفريديس.

ثالثًا : سفى الرمال وهجرة الكثبان الرملية

من المعروف أن الرياح تنقل حبيبات الرمال إما بالزحف Creeping أو التدحرج والقفز أو عن طريق التعلق Suspension، ويتوقف هذا على عدة عوامل أهمها سرعة الرياح وطاقتها على تحريك الحبيبات وحملها، وحجم الحبيبات المنقولة، بالإضافة إلى طبيعة سطح الأرض. وفى مجال دراسة تأثير زحف الرمال وطغيانها على الأراضى الزراعية أو تأثيرها على مكونات التربة، كان لابد من التعرف على قدرة الرياح على تحريك الرمال وإرسابها، واتجاه حركة الرياح بالرمال المنقولة. ولإدراك هذه العلاقات، استخدمت معادلة Lettau التى قام بتطبيقها فرايبرجر (Fryberger 1979, p. 146) وتفيد هذه المعادلة فى تقدير الكمية النسبية من الرمال المنساقة بفعل الرياح من الاتجاهات المختلفة خلال شهر من الشهور أو للسنة بأسرها، وتنص المعادلة على ما يلى :

$$qu = V^2 (V - V_2)^t \ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

حيث أن :

qu = المعدل الشهرى أو السنوى للرمال المنساقة (المتحركة) بفعل الرياح.

V = متوسط سرعة الرياح فى كل فئة من فئات سرعة الرياح.

v_1 = سرعة الرياح التى يبدأ عندها تحرك حبيبات الرمال.

t = النسبة المئوية لفترة هبوب الرياح من الاتجاهات المختلفة.

ولتطبيق هذه المعادلة يلزم اتباع الخطوات الآتية :

١- توفر بيانات عن عدد ساعات هبوب الرياح وفقًا للاتجاه والسرعة. وقد أمكن الحصول على بيانات للرياح لاثنى عشر اتجاهًا تبعًا لفئات السرعة المحددة بجداول الأرصاد ولمدة عشر سنوات (٨٣ - ١٩٩٢) بمحطة سيوة.

٢- معرفة قيمة V_1 وهى سرعة الرياح التى يبدأ عندها تحرك الحجم السائد من الرواسب الرملية فى المنطقة. وقد اعتمد الباحث على التحليل الذى أوردته أسماء شطا فى دراستها عن تقييم المعاملات الحجمية لحبيبات الرواسب فى مناطق مختارة من صحارى مصر [١]

---

[١] قامت الباحثة بتحليل ودراسة أحجام الرمال لخمس وخمسين عينة من القسم الجنوبى الغربى من منخفض سيوة. واختار الباحث اثنتين وعشرين عينة تتناسب وطبيعة الدراسة.

من دراسة فرايبحر أن السرعة اللازمة لتحريك هذا الحجم من الرواسب ليظل معلقًا فى (shata, 1995, pp. 469 - 461)، وكان متوسط حجم الحبيبات الرملية ٢,١، وقد تبين .

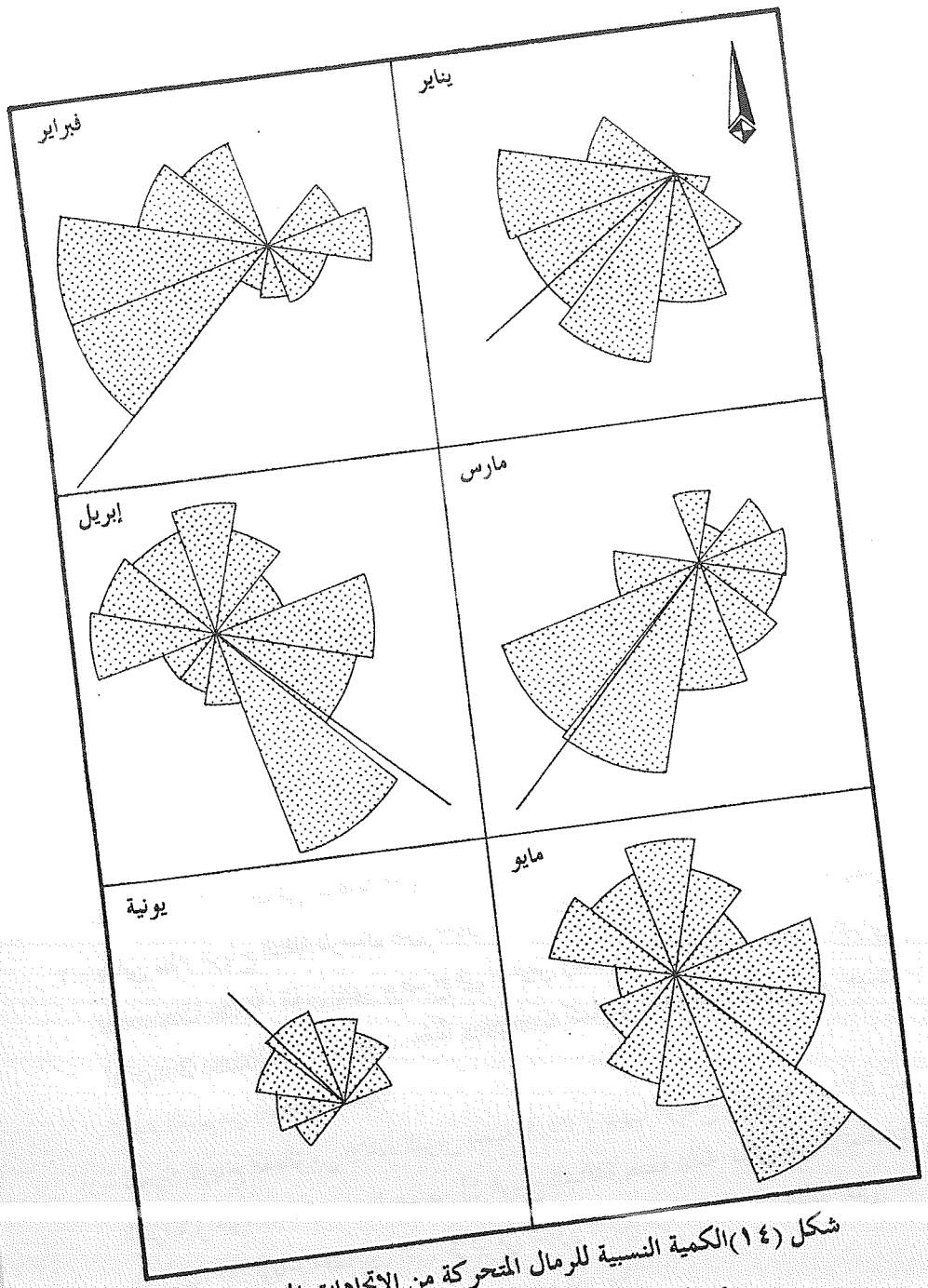
الهواء هى ١١,٦ عقدة / ساعة (Fryberger, 1979, p. 147)، أى أن الرياح المؤثرة فى تحريك الرمال بمنطقة الدراسة تقع فى الفئة ١١- ٢٧ عقدة/ ساعة وما يزيد عليها.

٣- يتم التعويض فى حدود المعادلة عن طريق استخراج الأرقام المعيارية للمعدلات النسبية من طرح سرعة الرياح التى يبدأ عندها تحرك الرمال (١١,٦) من متوسط سرعة الرياح فى الرمال المتحركة وذلك بضرب مربع متوسط سرعة الرياح فى كل فئة من الفئات فى ناتج كل فئة من فئات السرعة. ثم يضرب الناتج فى النسبة المئوية لفترة هبوب الرياح من كل اتجاه من اتجاهات الرياح. ويعرف الناتج باسم الكمية النسبة للرمال المتوقع تحركها Drift Potential، ويرمز لها بالرمز DP، وقد أطلق عليها فرايبرجر اسم الوحدات المتجهة Vector Unites. ويمكن تمثيل ناتج المعادلة بيانًا بواسطة رسم وردة الكمية النسبية للرمال المتحركة من الاتجاهات المختلفة، والتى يوضحها الشكل رقم (١٤). ومن دراسته يمكن استخلاص النتائج التالية :

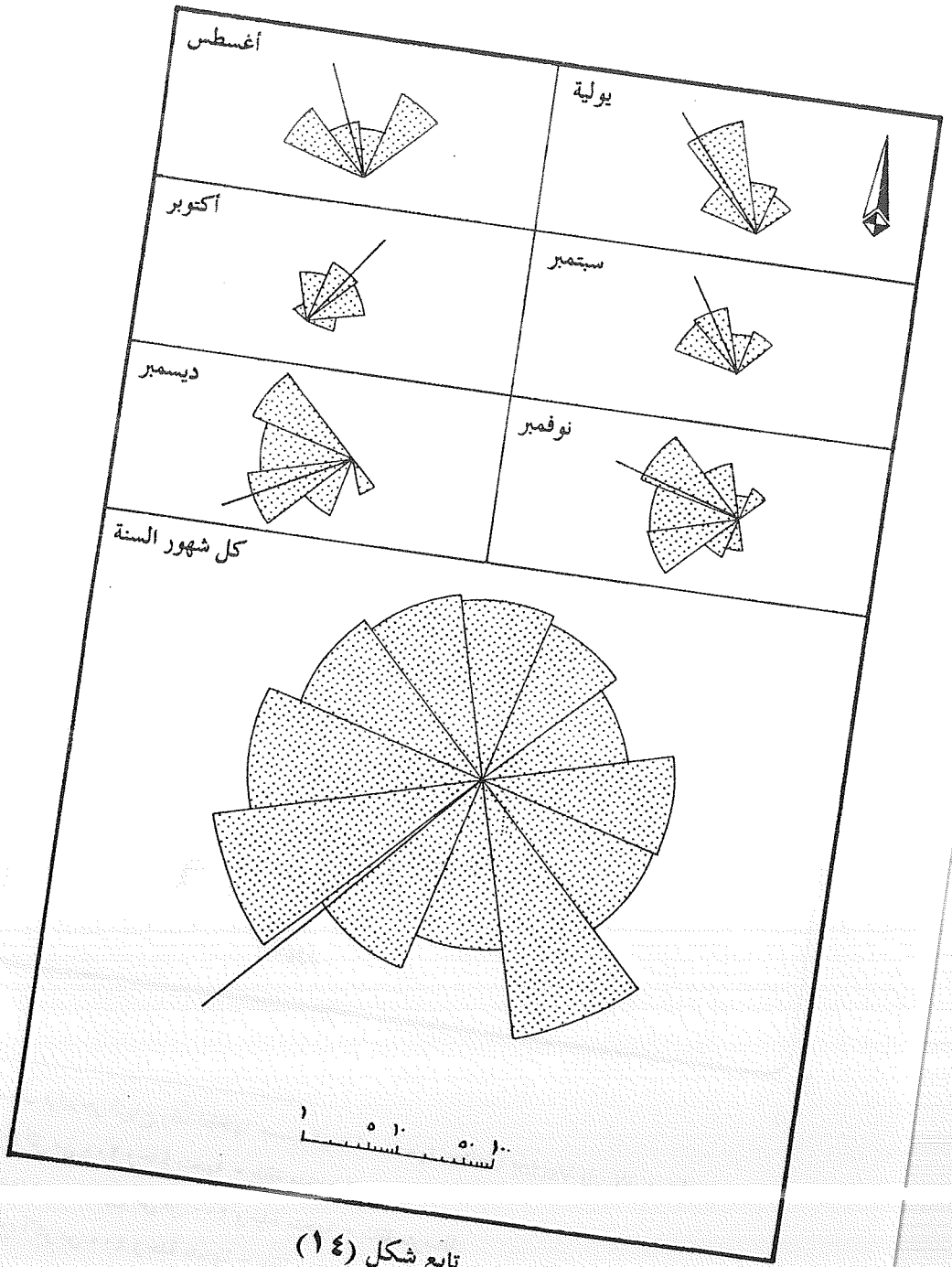
١- يجب النظر فى البداية إلى أن الوحدات الفيكتورية التى يمثلها الشكل المشار إليه لا تعبر عن حركة واتجاه الرياح بصفة عامة، ولكنها تقتصر فقط على تأثير الرياح الفعالة القادرة على تحريك الرمال وفقًا لأحجام الحبيبات السائدة، ومن ثم فإن حديثنا هنا سوف يقتصر فقط على الرياح التى تزيد فى سرعتها على ١١,٦ عقدة / ساعة.

٢- يتباين نظام الرياح الناقلة للرمال من شهر لآخر، فقد يتخذ النظام الأحادى العريض Wide Unimodal الذى يظهر بوضوح فى مارس وسبتمبر وأكتوبر، أو النظام الثنائى Obtuse Bimodal، أو قد يكون معقدًا Complex كما هو الحال فى شهر مايو حيث تتعدد القمم من اتجاهات مختلفة.

٣- تتحرك الرياح الفعالة من الاتجاه الغربى بنسبة ٣٥,١٪ يليها الرياح الجنوبية ٣٤,٢٪ ثم الشرقية وأخيرًا الشمالية. وبالرغم من أن الرياح السائدة بصفة عامة تأتى من الاتجاهات الشمالية، فإن لرياح الخماسين التى تتركز فى شهور الربيع أثرها الفعال فى التأثير على تغير اتجاه الرياح وسرعتها، وهذا ما كشفت عنه هذه الدراسة.



شكل (١٤) الكمية النسبية للرمال المتحركة من الإتجاهات المختلفة
بمنخفض سيوة

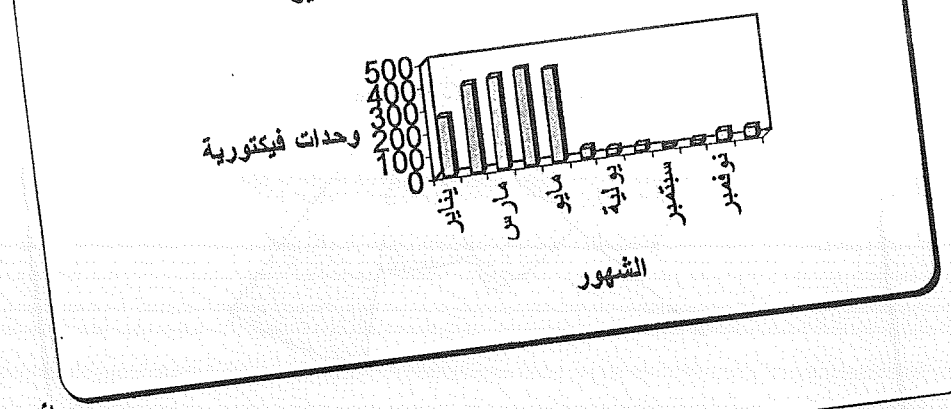


تابع شكل (١٤)

٤- تتباين قيمة الوحدات الفيكتورية المعبرة عن الكمية النسبية للرمال المتوقع تحركها من شهر لآخر بوضوح، حيث تتزايد قيمتها فى شهر إبريل (٤١٨,٢) وبقية شهور الربيع بالإضافة إلى شهر يناير (٢٥٧,٦)، حيث يتزايد تكرار هبوب الرياح الفعالة خلال هذه الشهور، فضلاً عن تغير اتجاهها المعتاد كما أسلفنا. فى حين تنخفض قيمة الوحدات الفيكتورية فى بقية شهور السنة حتى تصل إلى أدنى قيمة لها فى شهرى سبتمبر (١٥,١) وأكتوبر (١٧,٣) حيث تميل الرياح إلى الهدوء النسبى (شكل ١٥).

٥- وفقًا لتصنيف (Fryberger, 1979, p. 150)[1] فإنه خلال مارس وإبريل ومايو يتميز منخفض سيوة بهبوب رياح ذات طاقة مرتفعة قادرة على تحريك وحمل الرمال، أما بقية شهور السنة فإن الرياح تكون طاقتها على نقل الرمال منخفضة، باستثناء شهرى يناير وفبراير حيث تكون طاقة الرياح متوسطة.

شكل 15 توزيع كمية الرمال المتوقع تحركها خلال (شهور السنة(منخفض سيوة



بؤ

(١) صنف فرايبرجر الرياح وفقًا لطاقتها حسب الوحدات المتجهة Vector Unites إلى الأقسام الآتية :

(أ) أقل من ٢٠٠ وحدة متجهة = طاقة منخفضة.

(ب) من ٢٠٠ إلى أقل من ٤٠٠ وحدة متجهة = طاقة متوسطة.

(ج) أكثر من ٤٠٠ وحدة متجهة = طاقة مرتفعة.

٦- تتباين المحصلة الشهرية للرمال المتوقع تحركها تباينًا كبيرًا يرتبط بفصول السنة. ففى شهور الخريف والصيف (من يونية حتى أكتوبر) تنحرف محصلة الرياح عن الشمال بزوايا تتراوح بين ٣٦° (أكتوبر) إلى ٣٣٩° (أغسطس)، فى حين ينقلب الوضع فى شهور الشتاء والربيع فتكون محصلة الرياح إما جنوبية غربية (يناير وفبراير ومارس)، وإما أن تكون جنوبية شرقية (إبريل ومايو).

٧- تنحرف المحصلة السنوية للرمال المتوقع تحركها عن الشمال بـ ٢٢٣°، وهذا يعنى أن محصلة حركة الرياح الفعالة المؤثرة على تحريك الرمال تتجه من جنوب الجنوب الغربى صوب شمال الشمال الشرقى (٤٣°) أى من بحر الرمال الرابض جنوب منخفض سيوة إلى الأراضى الزراعية وبقية أرجاء المنخفض فى اتجاه الشمال الشرقى.

وانطلاقًا من الملاحظة الأخيرة، فقد قام الباحث بتتبع حركة زحف الرمال عمليًا على الحدود الجنوبية لمنخفض سيوة والتى يبدأ عندها ظهور المسطح الهائل لبحر الرمال العظيم، وذلك عن طريق دراسة الخريطة الطبوغرافية لمنخفض سيوة عام ١٩٧٢ والمرئيات الفضائية القمية للمنخفض لعامى ١٩٨٤، ٢٠٠١ ورسم حدود بحر الرمال على الهوامش الجنوبية للمنخفض باستخدام برامج الحاسب الآلى. وظهرت نتائج هذه الدراسة فى شكلى (٩، ١٠) ومنه يمكن استنتاج ما يلى :

١- تتعرض المناطق الجنوبية من منخف سيوة إلى زحف الرمال من الجنوب والجنوب الغربى صوب الشمال والشمال الشرقى، مما يؤدى إلى طمر التربة الزراعية تمامًا (صورة ٨، ٩، ١٠).

٢- تعتبر المناطق الغربية والجنوبية من المنخفض أكثر المناطق تضررًا من تأثير زحف الرمال. فقد بلغت المساحة التى غطيت بالرمال فى الهوامش الغربية من المنخفض بنحو ٢٤,٧٦ كم^{٢} بمتوسط زحف عرضى قدره ٨٢٠م فى الفترة بين ٧٠ - ٢٠٠١[١]. ويرجع ذلك إلى فعل الرياح الغربية التى تصاحب حركة الانخفاضات الجوية الشتوية بدءًا من نوفمبر وحتى فبراير (شكل ١٤). أما القسم الجنوبى الغربى من المنخفض فقد زحفت الرمال فوق مساحة منه بلغت ١٢٣,٠٩ كم^{٢} بمتوسط زحف عرضى قدره ٧٩٢م خلال نفس الفترة الزمنية. ويرجع ذلك إلى تأثير فعل الرياح الناقلة للرمال الآتية من الجنوب

---

(١) وقعت البيانات المساحية على الخريطة الطبوغرافية عام ١٩٧٠ وتمت طباعتها عام ١٩٧٢.

والجنوب الغربى وبخاصة فى شهور الشتاء والربيع، بالإضافة إلى أن المنخفض يأخذ اتجاه غرب الشمال الغربى / شرق الجنوبى الشرقى فى هذا الجزء بالذات.

٣- بلغ المعدل السنوى لزحف الرمال عرضيًا فى الحدود الغربية للمنخفض نحو ٢٦,٤م، وفى القسم الجنوبى الغربى من المنخفض ٢٥,٥م.

٤- أوضحت الدراسة الميدانية وفحص المرئيات الفضائية إلى ظهور بؤرات من الرمال صغيرة المساحة تترسب فوق قاع المنخفض. وقد ظهرت فى المرئيات الفضائية لعام ١٩٨٤ وازدادت مساحة بعضها فى مرئيات عام ٢٠٠١. وقد بلغ إجمالى مساحة هذه البؤرات التى أمكن حصرها بنحو ١٣,٢٦كم^{٢}.

٥- لا يقتصر الأمر على زحف وهجرة الحد الشمالى لبحر الرمال المتاخم للحدود الجنوبية لمنخفض سيوة وغمره لبعض أراضى المنخفض فحسب، أو ظهور بعض بؤرات الرمال كمساحات محددة، وإنما يزيد الأمر ليشمل سفى حبيبات الرمال ونقلها وإعادة إرسابها فوق أراضى جنوبى ووسط المنخفض حيث تختلط بمكونات التربة الزراعية فى هذه المناطق.

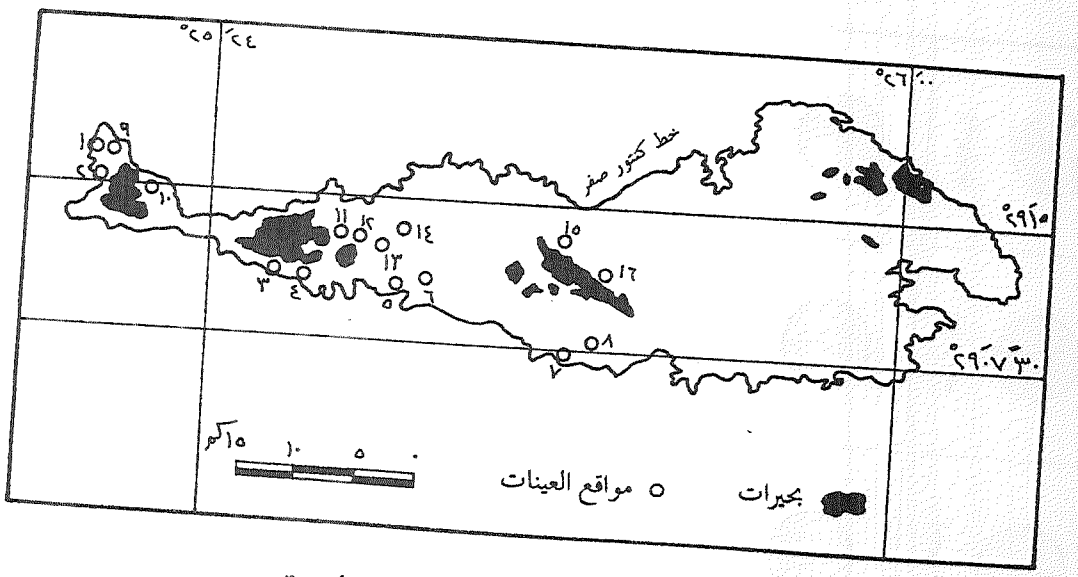
تأثير سفى الرمال على الأراضى الزراعية :

ذكرنا فيما سلف أن الرمال قد تزحف لتطغى على الأراضى الزراعية، كما أنها تتعلق فى الهواء لتترسب وتختلط بتربة الأراضى الزراعية بعيدًا عن بحر الرمال. ولتحديد مدى تأثير سفى الرمال على نسيج التربة، قام الباحث بجمع ٣٢ عينة من التربة من ١٦ موقعًا (شكل ١٦) بحيث تجمع عينتين من الموقع الواحد، إحداهما سطحية من عمق لا يزيد على ١٠سم من السطح، والثانية على عمق يتراوح بين ٢٥ - ٣٥سم من سطح الأرض. وتم تحليل هذه العينات حجميًا لمعرفة النسبة المئوية لمكونات التربة (نسيج التربة Soil Texture) من الرمل والسلت والصلصال[١]. وقد تعمد الباحث أن تكون إحدى العينتين سطحية والأخرى تحت سطحية حتى يمكن قياس مدى تأثير سفى الرمال على مكونات التربة من أعلى/أسفل، كما حرص الباحث أن تقسم العينات مناصفة بين المناطق الهامشية القريبة من مراكز سفى الرمال، وقرينتها الداخلية فى نفس الإقليم.

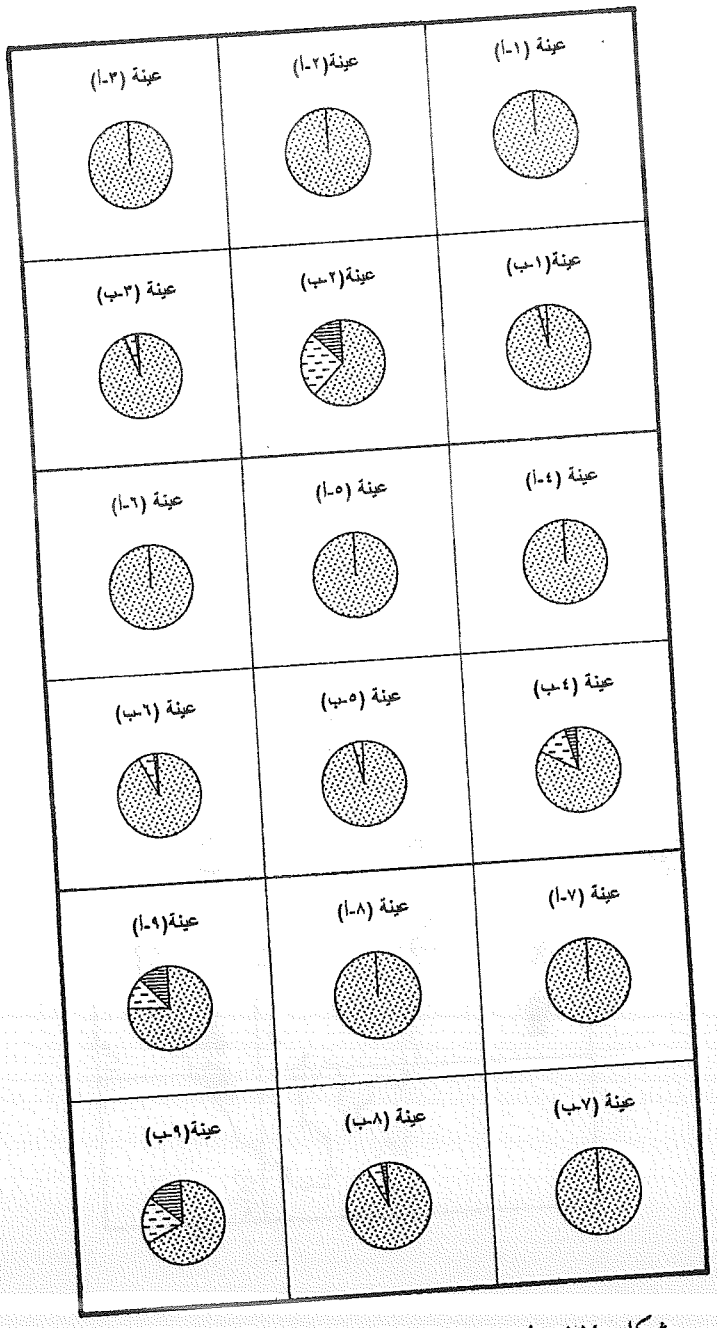
ويوضح الجدول رقم (٦) والشكلان (١٧، ١٨) نتائج التحليل ومنهم يمكن استخلاص النتائج الآتية :

---

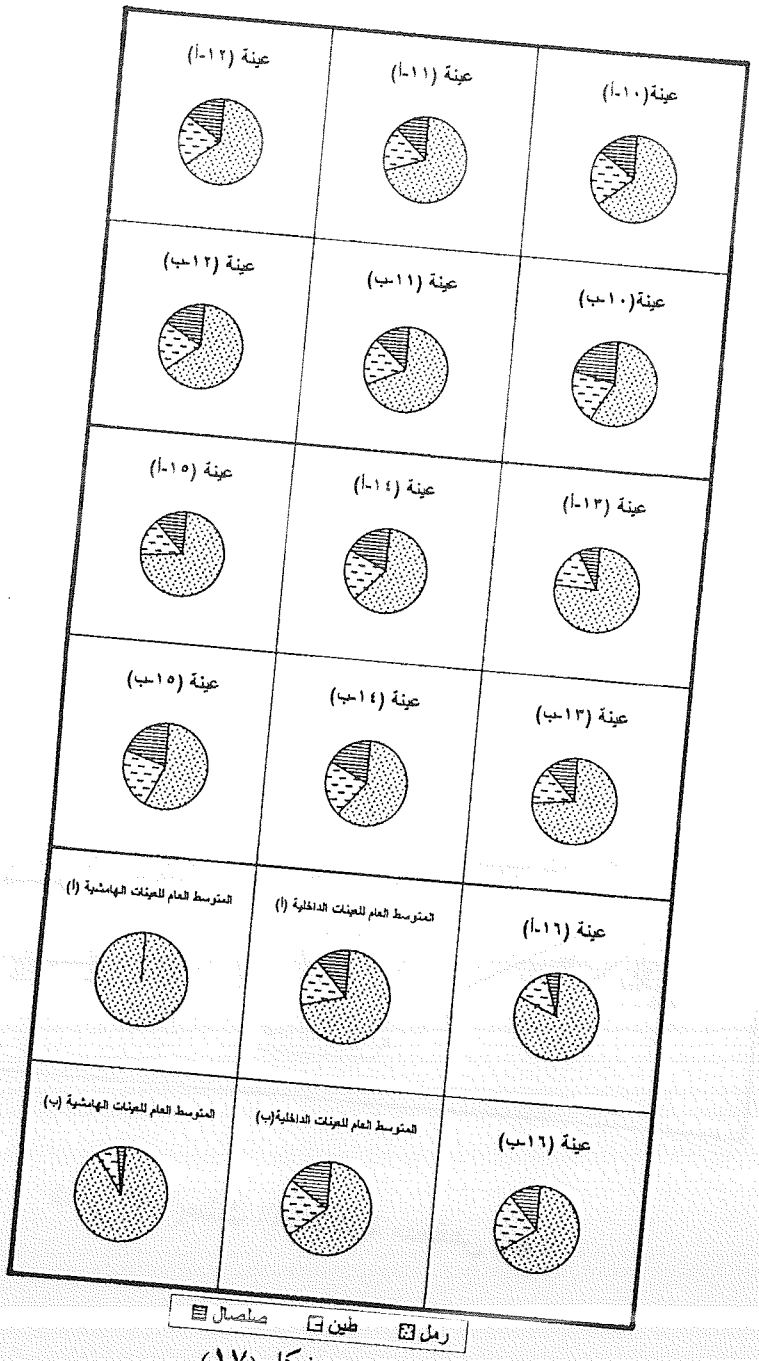
[١] أجرى التحليل بمعامل قسم الأراضى والمياه بكلية الزراعة - جامعة الإسكندرية.



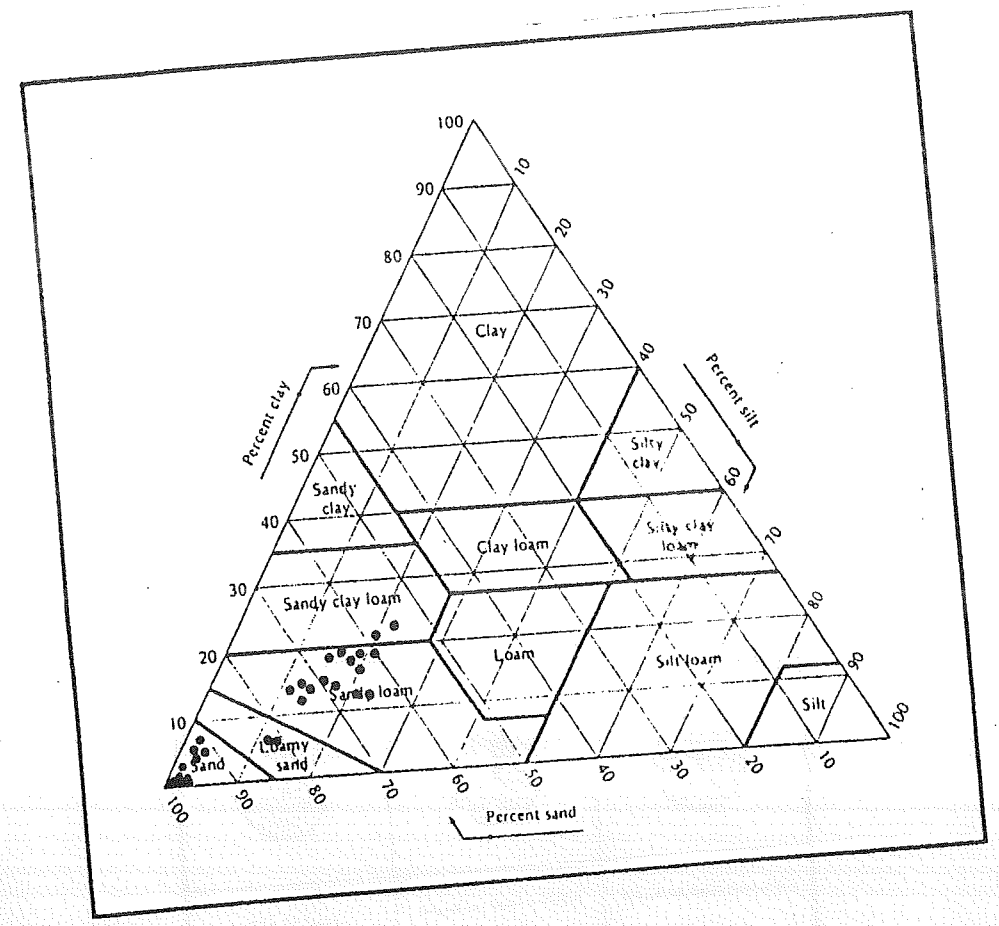
شكل (١٦)مواقع عينات التربة



شكل (١٧) النسب المئوية لمكونات التربة بمنخفض سيوة



تابـــع شكل (١٧)



شكل (١٨)مثلث القوام لتربة منخفض سيوة

جدول (٦) نتائج التحليل الميكانيكى لعينات التربة بمنخفض سيوة

المنطقة	رقم العينة	العمق	التوزيع النسبى لحجم الحبيبات (٪)		
			صلصال	سلت	رمل
المناطق الهامشية					
المراقى	١ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	—	٣,٤	٩٦,٦
	٢ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	١٢,١	٢٥,٠٠	٦٢,٩
سيوة:	٣ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	١,٢٢	٤,٣١	٩٤,٤٧
	٤ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	٤,٣٨	١٢,٦٥	٨٢,٩٧
أغورمى	٥ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	—	٣,٩٣	٩٦,٠٧
	٦ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	١,٤٠	٦,٢٠	٩٢,٤٠
الزيتون	٧ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	—	—	١٠٠,٠٠
	٨ أ	٠ — ١٠	—	—	١٠٠,٠٠
	ب	٢٥–٣٥	٢,٣	٥,٤	٩٢,٣٠
المناطق الداخلية					
المراقى	٩ أ	٠ — ١٠	١١,٨٣	١٢,٤٥	٧٥,٧٢
	ب	٢٥–٣٥	١٣,٩٢	١٨,٤٣	٦٧,٦٥
	١٠ أ	٠ — ١٠	١٥,٢٥	٢٠,٥٥	٦٤,٢٠
	ب	٢٥–٣٥	٢١,٦٠	٢٠,٣٠	٥٨,١٠
سيوة:	١١ أ	٠ — ١٠	١٣,٤٢	١٦,٨٥	٦٩,٧٣
	ب	٢٥–٣٥	١٣,٩٥	١٧,٩٢	٦٨,١٣
	١٢ أ	٠ — ١٠	١٦,١٤	١٩,٥٣	٦٤,٣٣
	ب	٢٥–٣٥	١٦,٩٢	١٨,٩٥	٦٤,١٣
أغورمى	١٣ أ	٠ — ١٠	٨,٣٢	١٥,٨٢	٧٥,٨٦
	ب	٢٥–٣٥	١٢,٦٠	١٤,٠٠	٧٣,٤٠
	١٤ أ	٠ — ١٠	١٨,٢٣	١٩,٨٥	٦١,٩٢
	ب	٢٥–٣٥	١٨,٠٠	٢١,٢٠	٦٠,٨٠
الزيتون	١٥ أ	٠ — ١٠	١٢,٥٠	١٤,٢٥	٧٣,٢٥
	ب	٢٥–٣٥	٢٠,١٦	٢٣,٢٤	٥٦,٦٠
	١٦ أ	٠ — ١٠	٥,٤٠	١٣,١٢	٨١,٤٨
	ب	٢٥–٣٥	١٢,٣٣	٢٢,١٥	٦٥,٥٢

١- أوضح تحليل العينات أن نسيج التربة يتراوح بين التربة الرملية واللومية الرملية، وإن اختلف القوام حسب الموقع من مصدر الرمال.

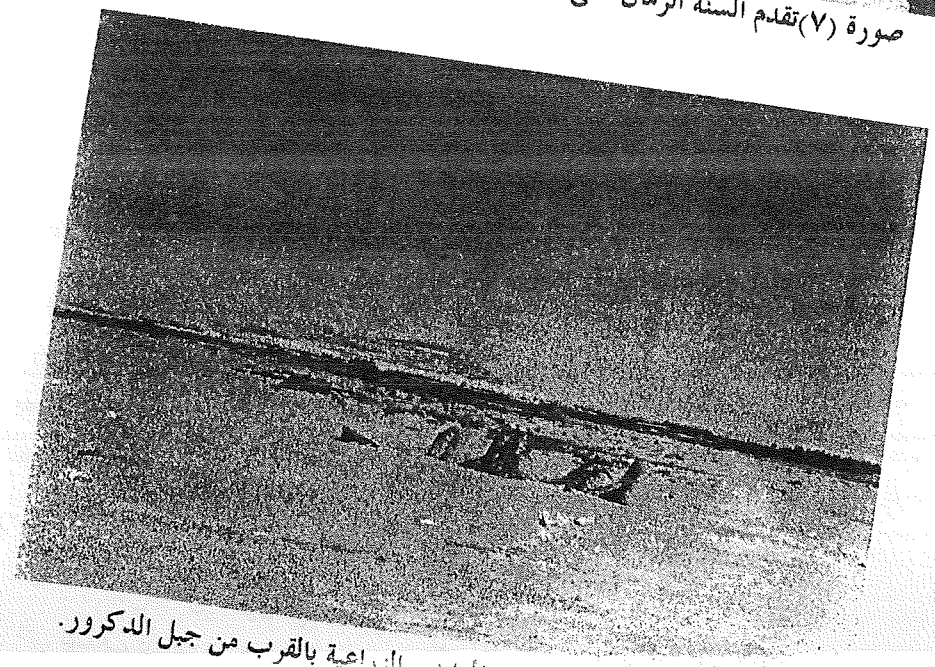
٢- أن جميع عينات المناطق الهامشية بلا استثناء تزيد فيها نسبة الرمال على حساب المكونات الأخرى (الصلصال والسلت) عن قرينتها التى تقع فى المناطق الداخلية فى نفس الإقليم. وهذا يرجع بالطبع إلى مجاورة الأراضى الزراعية الهامشية لمقدمات بحر الرمال، وتأثير نقل الرياح للرمال وإرسابها فوق هذه الأراضى (صور ٧، ٨).

٣- بناء على الملاحظة السابقة، فيمكن تصنيف التربة فى المناطق الهامشية بأنها تربة رملية، أما المناطق الداخلية فتربتها تتراوح بين اللومية الرملية Sandy Loam والرملية اللومية Loamy Sand حيث تتراوح نسبة الرمال فى القطاع السطحى بين ٦١,٩٢٪، ٨١,٤٨٪ من مكونات التربة.

٤- تزداد نسبة الرمال فى الطبقة السطحية عن الطبقة الأسفل فى جميع العينات وإن اختلفت نسبة الرمال حسب الموقع. ففى المناطق الهامشية قد تسود الرمال تمامًا (١٠٠٪) فى القطاع السطحى (أقل من عمق ١٠سم)، وقد يزداد سمك القطاع الرملى حتى يسود القطاع الأسفل كما فى العينة رقم (١٣). أما فى المناطق الداخلية، فنسبة الرمال تزيد فى القطاع الأعلى عن القطاع الأسفل، ولكن يظل الصلصال والسلت ممثلان فى جميع العينات.

٥- ترتفع قيمة الانحراف المعيارى بين قيم المناطق الهامشية (٤٤,٥) بينما تنخفض نسبيًا بين قيم المناطق الداخلية (٢٤,٩) ويرجع هذا إلى التباين السريع والواضح بين مكونات التربة السطحية التى تأثرت بتداخل الرمال فيها وتحت السطحية التى تمثل التربة الأصلية التى تأثرت بصورة محدودة.

صورة (٧)تقدم ألسنة الرمال على الأراضى الزراعيةأمام أقدام جبل الدكرور.



صورة (٨)طغيان الرمال على الأراضى الزراعية بالقرب من جبل الدكرور.

النتائج والتوصيات

تبين من الدراسة السابقة بجلاء أن تربة منخفض سيوة تعانى من التصحر سواء بالتغدق بسبب اتساع البرك، أو بإزالة الطبقة السطحية بفعل عوامل التعرية وبخاصة الرياح، أو بزحف وانسياق الرمال وطغيانها على الأراضى الزراعية وطمرها تمامًا وتغيير خواصها. ويمكن تلخيص ما توصلنا إليه من نتائج فيما يلى :

١- أن مساحة الأراضى الزراعية زادت من الستينات وحتى عام ٢٠٠١ بنسبة ٦٠٠٪ وصحب ذلك زيادة فى استهلاك المياه بلغت ٤٢٢٪، وزادت مساحة البرك بنسبة ٢٤٤٪ عن نفس الفترة.

٢- نتيجة لما سبق أغرقت أراضى زراعية فعلية بلغت نسبتها ١١,٤٪ من جملة الأراضى الزراعية، فضلاً عن انخفاض جودة الأراضى بسبب التغدق، ومن ثم تناقص إنتاجيتها.

٣- تمارس الرياح دورًا سلبيًا مؤثرًا على انجراف التربة، إذ بلغ المتوسط العام لتآكل الطبقة السطحية بفعل نحت الرياح ٣٨,٦٨ طن/ فدان / سنة، بما يعادل تآكلاً رأسيًا مقداره ٥,٧٦ ملليمتر/ سنة. ويدخل هذا ضمن فئة التعرية الشديدة وفقًا لتصنيف منظمة الفاو. فى حين أن نحت التربة بفعل المياه كان ضئيلاً لا يذكر بسبب تضاؤل كمية الأمطار الساقطة.

٤- لم يقتصر تأثير الرياح على النحت فحسب وإنما ظهر تأثير الرياح الإرسابى فى الهوامش الغربية والجنوبية الغربية، حيث قامت الرياح بطمر ١٤٧,٨٥كم٢ من الأراضى بالإرسابات الرملية. كما شمل تأثير الرياح أيضًا المناطق الداخلية، حيث أثبت تحليل عينات التربة زيادة نسبة الرمال فى المكونات السطحية وبخاصة فى المناطق القريبة من مصادر الرمال.

٥- والنتيجة الحتمية تدهور خواص التربة من حيث نسبة مكوناتها (نسيجها) ونسبة تغدقها، ومن ثم تناقص قدرتها الإنتاجية.

يمكننا اقتراح بعض الحلول التى قد تفيد فى حل هذه المشكلة فى إطار مكافحة التصحر التى تهدف إلى تحقيق التوازن البيئى بحيث لا يُستنزف عنصر بيئى كالتربة على

حساب عوامل اقتصادية كزيادة الطلب على الغذاء (الكندرى ١٩٩١، ص ٥٦)، ويمكن أن نوصى بما يلى:

١- إنشاء قاعدة بيانات تعتمد على رصد ومسح ومراقبة المناطق المتضررة بالتصحر حسب نوعه وبصفة مستمرة، وتوفير المعلومات الدقيقة عنها للوقوف على واقعها بصورة صحيحة ودقيقة تضمن تشخيص العلة والوصول إلى العلاج المناسب.

٢- التعاون مع الهيئات الإقليمية والدولية ذات الأمطار المشابهة والاستفادة من خبراتهم فى مجال مكافحة التصحر.

٣- التحكم فى حفر الآبار الارتوازية واتباع سياسة تجميع المزارع فى بئر واحدة شريطة أن يصل عمق مأخذ البئر إلى أقل درجات ملوحة للمياه، وإقامة محابس على كل الآبار (صورة ٩) للتحكم فى غلق المياه فى غير وقت الحاجة للمياه.مع غلق باقى الآبار المخالفة.

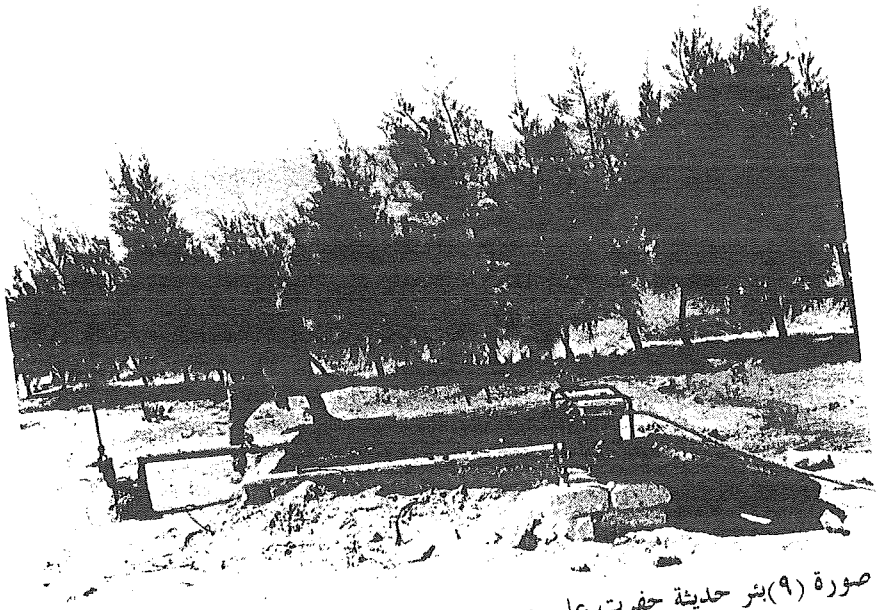
٤- حفر شبكة من المصارف ذات أعماق ومسافات بينية مدروسة حسب نوع التربة ونوعية الأملاح وعمق المياه الأرضية.

٥- التحكم فى مساحة البرك عن طريق نقل المياه الزائدة إلى منخفض تبغبغ على بعد نحو ٢٥ كم خارج منخفض سيوة، وسوف تحتاج المياه إلى الرفع لأعلى لارتفاع المنسوب، ثم تتدفق بالانحدار الطبيعى، ويمكن الاستفادة من هذا التدفق فى توليد طاقة كهربائية لتشغيل محطة الرفع.

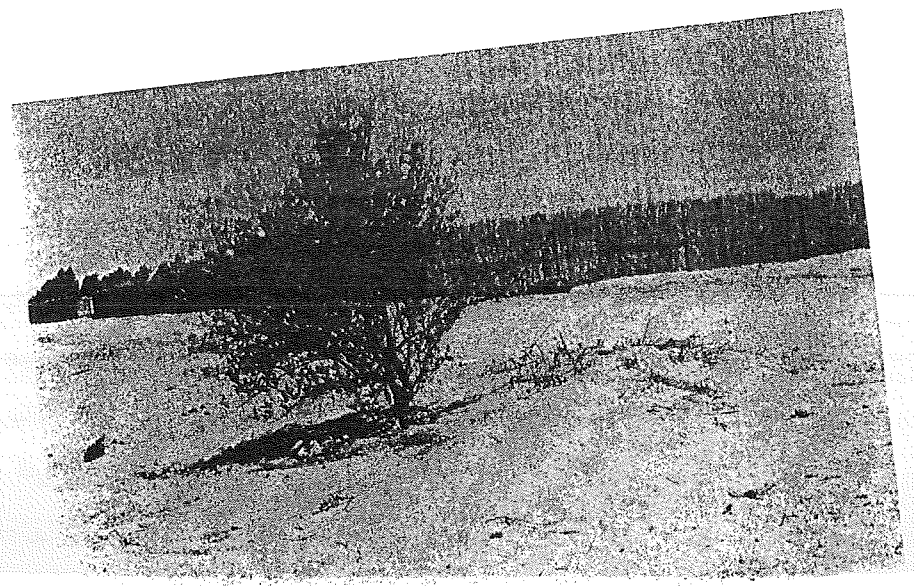
٦- نقل جزء من مياه الصرف الزراعى إلى مناطق الهوامش الرملية للاستفادة منها فى رى نباتات محبة أو تتحمل الملوحة.

٧- تقييم الوضع النباتى الحالى، وتقويم الأصول الوراثية لبعض منها، وانتخاب وتهجين أنواع نباتية لتوفيق أقدر الأنواع للتعايش البيئى، للوصول بها إلى الذروة النباتية Plant Climax التى تتلاءم مع البيئة المحلية للاستفادة منها فى تثبيت الرمال والحد من زحفها.

٨- زراعة المناطق الحدية عند مقدمات بحر الرمال بطبقتين من الغطاء النباتى طبقة الأشجار المرتفعة وذلك لكسر حدة الرياح مثل أشجار الكارفور والكازورينا والأثل والسرو والميلالوكا، وطبقة أرضية ذات ارتفاع منخفض حتى تقاوم إثارة الرياح للرمال وتمنع اكتسابها مثل المرخ والرقراق والمرو والغضا والرمث وأبو حاد وغيرها.



صورة (٩)بئر حديثة حفرت على عمق يناهز ٧٠ مترا لتجنب الملوحة وتم التحكم فى كمية المياه المتدفقة منها.



صورة (١٠)لم تستطع الأسوار البدائية حماية شجرة الزيتون من هجوم الرمال عليها.

ثانيا:مراجع بلغات أجنبية:

1-Abd El Samie,M.K.,(2000):Classification and Evaluation of Siwa Oasis Soil.PH.D.Fac.Agri.Ain Shams Univ.

2-El Ramly,I.,(1990):Environmental Management of Siwa Oasis,Aquifer System, Western Desert.The Semenar Held by the Engineer's Syndicate at Cairo.

3-FAO(1979):A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment.Report on the FAO/UNEP Export Consultation.FAO,Rome.

4-Fournier,F.,(1960):Climate et Erosion.Press Univ.de France,Paris.

5-Fryberger,S.G,.(1979):Dune Forms and Wind Rigim.Chapter F.pp.137-169 in:E.D.Mckee(ed) "A Study of Global Sand Seas". U S Geol. Surv,Professional Paper 1052.

6-Gindy,A.R.,and El Askary,M.A.,(1969):Stratigraphy,structure and Origin of Siwa Depression,Western Desert of Egypt.Amer.Association of Petroleum Geol.Bull.V.53,No.3,pp.603-625.

7-Mitchell,K.,and Bubenzer,G.D.,(1980):Soil Loss Estimation. in:M.J.Kirkby and R.P.C.Morgan(eds.)Soil Erosion.John Wiley,London.

8-Said,R.,(1962):The Geology of Egypt.New York.

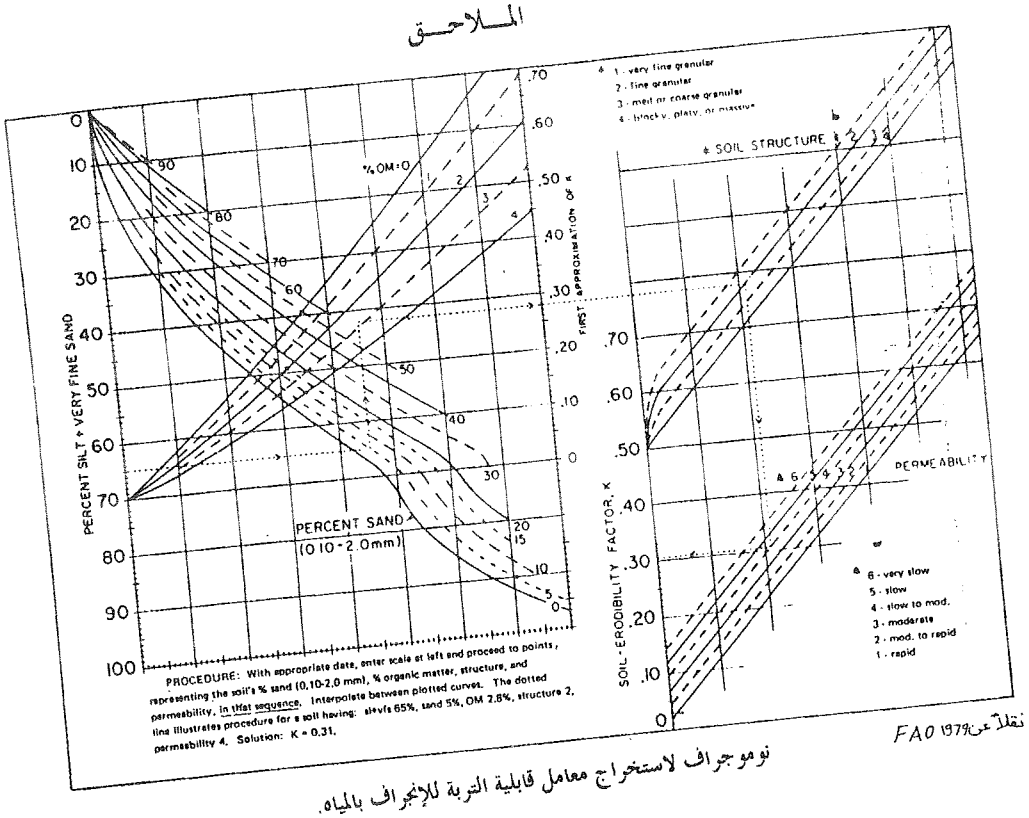
9-Sata,A.A.,(1995):Evaluation of the Grain size Parameter in Selected Area Affected by Aeolian Activities ,Egypt.Annals Agric.Sci.,Ain Shams Univ.,Cairo,40(1).

10-Thomas,D.S.G.,and Middleton,N.J.(1994):Desertification.John Wiley, Chichester.

11-UNESCO,(1988):Water Resources Assessment in the Arab Region. Paris.

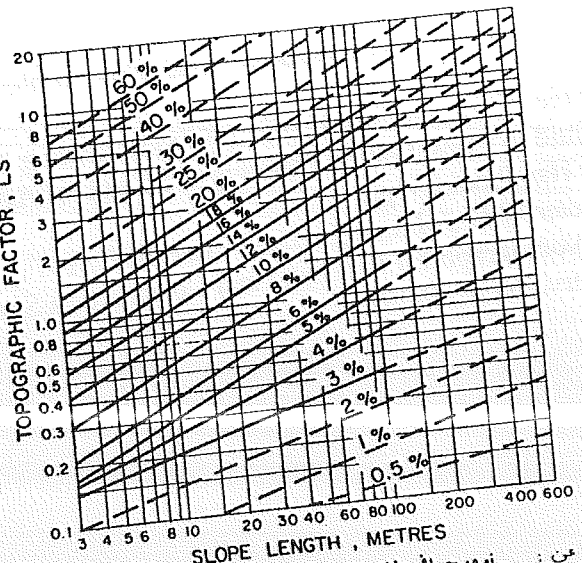
12-Wischmeier,W.H.,and Smith,D.D.,(1978):Predicting Rainfall Erosion Losses:A Guid to Conservation Planning U S Dept. of Agriculture, Agriculture Handbook537pp.

13-Wischmeier,W.H.,Johnson,C.B.and Cross,B.V.,(1971):A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites.J.Soil and Water.Conserv.26,pp189-193.



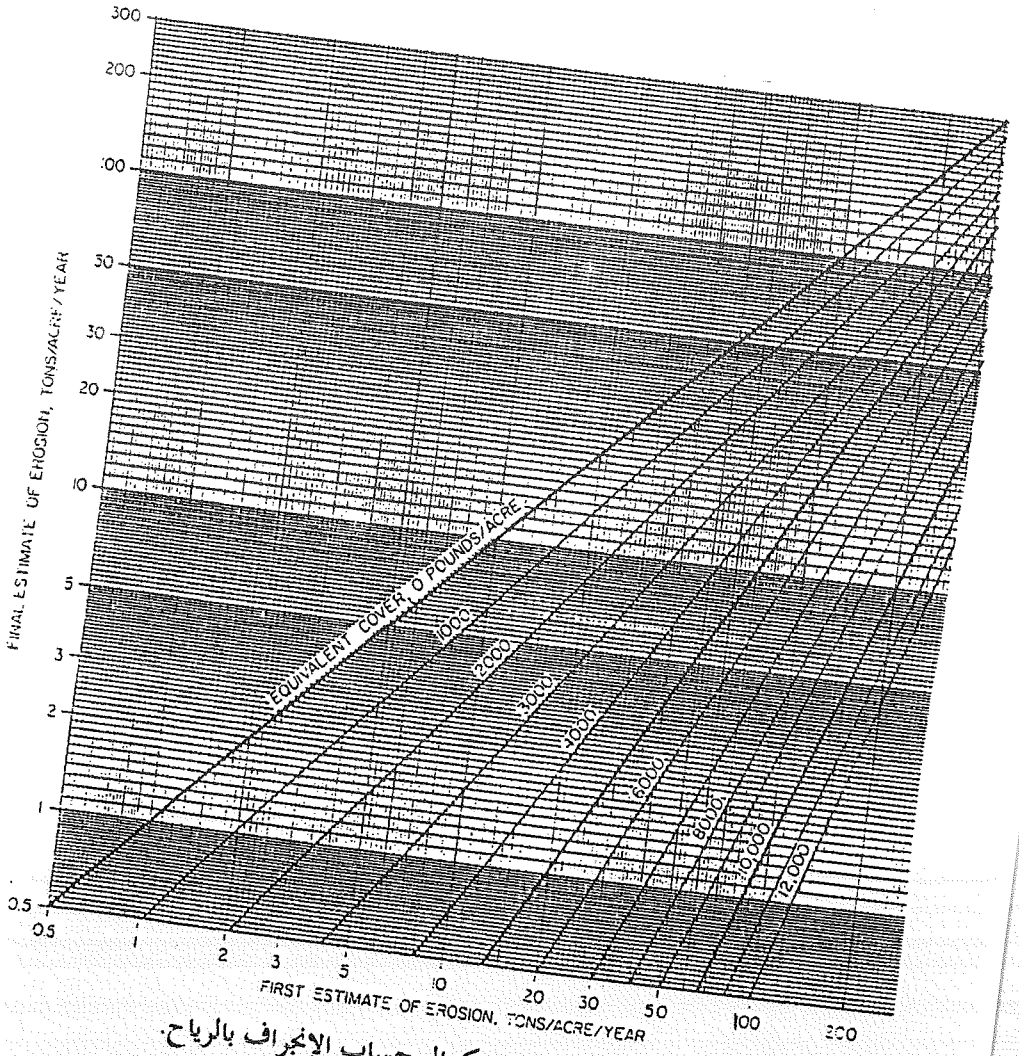
نقلاً عن FAO 1979

نوموجراف لاستخراج معامل قابلية التربة للإنجراف بالمياه.



نقلاً عن : FAO 1979

نوموجراف لاستخراج معامل الطوبوغرافيا.



نومو جراف لاستكمال حساب الإنجراف بالرياح.

نقلاً عن FAO 1979