EDITORIAL

تأثير متغيرات المنحدر على الأبعاد القياسية للمدرجات الزراعية اليمنية

د. ناجي علي مجلي اللهبي *

المستخلص

تباينت المدرجات الزراعية ومواقعها الجغرافية، والعلاقات القياسية بين أبعادها وزاوية انحدار سطحها بتباين كل من خصائص التكوينات الجيولوجية والتأثيرات التكتونية، وعمليات السطح الجيومورفولوجية. تم في هذا البحث تنفيذ الإجراءات الميدانية لمعرفة خصائص المنحدر والعمليات الطبيعية المؤثرة والأبعاد القياسية لعدد من المدرجات الزراعية في مناطق متفرقة من اليمن. وعلى أساسها صنفت المدرجات الزراعية اليمنية اعتماداً على مجموعة الخصائص الطبيعية المؤثرة في منحدرات المدرجات الزراعية. وتبيَّن أنَّ المنحدر المقام على سطحه مجموعة المدرجات الزراعية أقرب ما يكون لمجموعة من المثلثات الكبرى، قواعدها تنصف قطر المنحدر، بينما تنشأ على أوتار المثلثات الكبرى مجموعة من المثلثات الصغرى التي تمثل قواعدها عرض المدرجات الزراعية، وارتفاعاتها تمثل الفترات العمودية بين المدرجات الزراعية، ولقد أثرت تلك العلاقة الرياضية بصورة مباشرة في المساحة الإجمالية للمدرج الزراعي. وخرج البحث بالعديد من النتائج التي يمكن الاستفادة منها.

* أستاذ الجيومورفولوجيا المساعد بقسم الجغرافيا ـ كلية الآداب ـ جامعة صنعاء
E-mail Address: Dr.Naji2008@Gmail.com

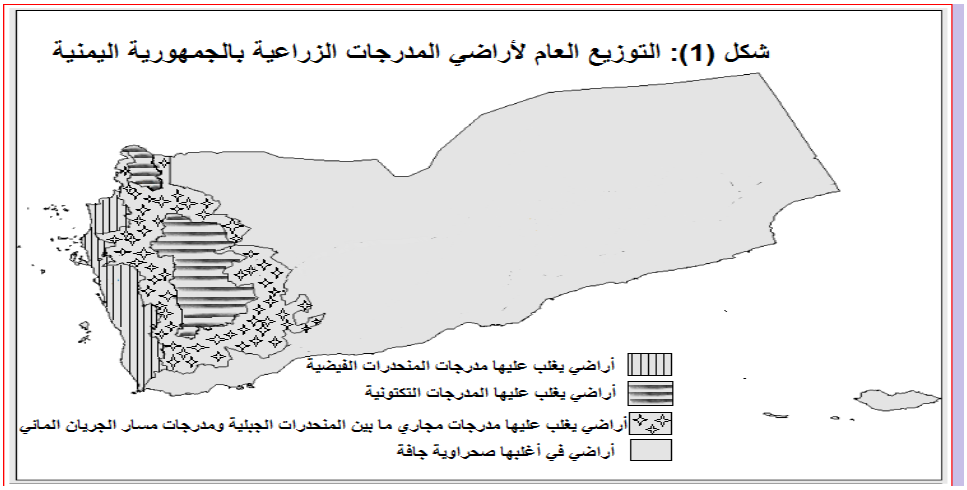
EDITORIAL

توطئة:

تعرّف المدرجات في أشـــكالها المتعددة، بأنها الأراضـــي المعدلة لزوايا انحدار ســـطح الأرض أو المجاري المائية نحو المستوى الأفقي، أو مجموعة مركبة من الحافات والمجاري، أنشئت عبر المنحدر نتيجة لعمليات طبيعية أو بشرية. بينما تعرّف المدرجات الزراعية بأنها الأراضي الزراعية المحروثة على المناطق المنحدرة، المستفيدة من الجريان المائي، والمسيطرة على عمليات تعرية التربة والمستخدمة كنطاق للإنتاج الزراعي (*Pipkin and Trent, 1997; Poultney et* al., 1997)، وهي الصـفة الشـكلية التي تتخذها المدرجات الزراعية المنتشـــرة على المنحدرات، ومنها المدرجات اليمنية (شـــكل 1)، التي تُعدُّ من الحلول المتاحة لإنتاج المحاصـيل الزراعية المتنوعة في مناطق الأراضـي المنحدرة وقد تعاظمت أهميتها لدى الفرد والمجتمع اليمني لأسباب متعددة، لعل من أهمها:

1. الارتفاع النسبي لمعدلات الأمطار السنوية في المناطق الجبلية، مقارنة بالمناطق السهلية من اليمن، وهو وضـــع نتج عنه التوجه نحو الاســـتفادة من تلك الأمطار، واعتبرت من الحلول الناجحة في إدارة المورد المائي، فضلاً عن أهميتها للبيئات شبه الجافة المحدودة في مواردها المائية.
2. اعتبار المدرجات الزراعية وســـيلة لحجز مياه المنحدرات، وعاملاً ايجابياً في تغذية الخزانات الجوفية التي تعاني حالياً من استنزاف نشط.
3. تخفيض معدل سـرعة الجريان المائي، والاسـتفادة منه في زيادة معدل رطوبة التربة، وحجز الإرسـابات الفيضية للاستفادة منه كتربة زراعية في المدرج الزراعي (FAO, 2000).

أهداف البحث:



نظراً لارتفاع معدل التركّز السكاني في المناطق اليمنية التي تتميز بطبيعة تضاريسية منحدرة نتيجة تباين معدلات الارتفاع، ولمحدودية الأراضي السهلية، فقد أدى الطلب المتزايد على المحاصيل الزراعية إلى تحوير سطوح المنحدرات الجبلية لتتناسب مع طبيعة الاستخدام الزراعي والاستفادة منها لسد فجوة العجز في الإنتاج الغذائي. ولتوافر عدد من الشروط الطبيعية والبشرية التي تفردت بها مواقع منحدرات المدرجات

EDITORIAL

الزراعية، ومنها المدرجات التي تأثرت بالحركات التكتونية أو التجوية المائية، إلى جانب إمكانية المزارع اليمني في المحافظة على استمرارية المدرج كنطاق زراعي منتج.

انتشرت المدرجات الزراعية في مناطق واسعة، وحددت الشروط البيئية أنماطها وخصائصها المتباينة. ولذلك يهدف البحث إلى:

1- دراسة الأسباب الطبيعية المؤثرة في انتشار المدرجات الزراعية، وتوضيح طبيعة العوامل الجيولوجية والجيومورفولوجية المؤثرة في تباين خصائص المدرجات الزراعية بهدف تصنيفها، اعتمادا على مجموعة من العوامل الطبيعية والقياسية المؤثرة.

2- استنباط الأسس الهندسية المعتمدة في بناء المدرجات الزراعية، اعتماداً على القياسات الحقلية لمجموعة المدرجات الزراعية.

الدراسات السابقة:

اقتصرت الدراسات المتعلقة بالمدرجات الزراعية في الجمهورية اليمنية، على البحث في أشكال الإنتاج الزراعي القديم (ماكيرسون، 2000) التي بينت أنّ كلاً من الأنماط والتقنيات الزراعية المستخدمة في جنوب الجزيرة العربية متقدمة عن غيرها في تلك الفترة، في حين أنّ تقنيات الري الزراعي التي تستخدم منذ القدم تقنيات مستدامة تعمل على الاستفادة القصوى من المياه المتوفرة (عبد الملك، 2000) إلا أنه لم يحدد تاريخها الفعلي. كما تناولت أساليب حماية المدرجات الزراعية من التعرية (Al-Hebshi, 2005) والتدهور الإنتاجي (الشرجبي، 2000). لم تتناول دراسات وأبحاث المدرجات الزراعية اليمنية الخصائص الطبيعية للمدرج، وطبيعة العمليات التكتونية والجيومورفولوجية المؤثرة في تشكّله، والعلاقات القياسية بين زوايا المنحدر، والمحددات المؤثرة في أبعاد المدرج الزراعي.

هناك عدد من الدراسات التي تم إجراؤها في مناطق متباينة من العالم ومنها الولايات المتحدة الأمريكية، وتناولت المنحدر وعلاقته بالأبعاد القياسية للمدرج الزراعي، منها على سبيل المثال لا الحصر: (FAO, 1977; Sheng, 2000 ; Sheng, 2002) التي ركزت على كيفية تصميم الأبعاد القياسية للمدرج الزراعي المراد تنفيذه على سطح المنحدر، وذلك عن طريق عمليات الحفر والردم عند إنشاء المدرج، وهذه الطريقة مناسبة للمدرجات المتوازية، إلا أنّ هناك صعوبة في تنفيذ تلك القياسات على مدرجات المصاطب الزراعية (ومنها المدرجات الزراعية اليمنية) بسبب تعديل زاوية سطح المنحدر التي نتجت عن عوامل طبيعية متفاوتة القوى ومؤثرة بدرجات متباينة على سطح المنحدر، لتستغل لاحقاً كمواقع لبناء مدرجات المصاطب الزراعية.

EDITORIAL

ورغم أن أبحاث المدرجات الزراعية السابقة في اليمن تطرقت بصورة أساسية إلى إبرازه كنمط زراعي مميز لمحدودية انتشاره في الإقليم العربي، إضافة إلى إمكانية معالجة المشاكل التي تعترض سبل زيادة الإنتاجية ومشاكل الانجراف وسوء الصيانة، لذا يحاول البحث التركيز على الأسس الهندسية المستنبطة من العلاقة بين متغيرات المنحدر وتصميم المدرج الزراعي وصولاً لإيجاد قاعدة هندسية قد يستفاد منها في المحافظة على استدامة وصيانة المدرجات الزراعية.

منهج البحث:

إنّ استدامة المدرجات الزراعية كبنية إنتاجية للمجتمعات المحلية في اليمن حقيقة مسلم بها، إلا أنّ تفسير بقائها لم يتم توضيحه، أقله بغرض الاستفادة منه في منع تدهور المدرجات الزراعية وإمكانية صيانتها. المنحدر (كنظام) أنتج علاقة توازن ديناميكي (Dynamic Equilibrium) بين نقل المادة والطاقة (الجريان المائي والإرسابات المنقولة) نحو الأسفل ومورفولوجية الشكل (سطح المنحدر) بفعل الجاذبية، إلا أنّ وجود المدرج الزراعي عمل على خلق عتبة (Threshold) جيومورفولوجية في العلاقة بين الشكل وكل من الطاقة والمادة، وأدى تعديل زاوية الانحدار نحو المستوى الأفقي بفعل المدرج الزراعي إلى انخفاض معدل الطاقة الناقلة ليتحول المدرج إلى نقاط ترسيبي ومستفيد من الإرسابات المنقولة والمياه المتدفقة في زيادة رطوبة التربة والتسرب نحو الطبقة الأسفل وتغذية المياه الجوفية. يؤدي بناء المدرجات الزراعية على سطح المنحدر ضمن نمط متدرج من الأعلى باتجاه الأسفل إلى الاستفادة من التوازن الديناميكي (Denny, 1967. Hooke, 1968) الذي يفترض أنّ نسب مدخلات مياه الجريان السطحي والإرسابات المحمولة تعادل نسبة مخرجاتها (بافتراض ثبات معدل التسرب الباطني للمياه بالمدرج الزراعي)، لذا استفادت المدرجات الزراعية المتتالية على سطح المنحدر في توزيع فائض الجريان المائي والإرسابات المنقولة من أعلى المنحدر نحو المدرجات الزراعية بصورة متساوية.

اعتمد البحث في تنفيذه على الملاحظات الحقلية في مناطق متباينة من اليمن لتحديد أسس تصنيف المدرجات الزراعية اليمنية، استناداً على العوامل الطبيعية المؤثرة في انحدار السطح، وتلك المعدّلة لزاوية المنحدر المقام على سطحه المدرجات الزراعية، وعلى إجراء القياسات لمعرفة الأبعاد الطولية للمدرجات الزراعية، ومنها عرض المدرج ومساحته، والفترة العمودية بين المدرج الزراعي، والذي يليه. كما تم تحديد زاوية سطح المنحدر العام وقياسها، وزاوية انحدار موقع المدرج الزراعي، ودرجة واتجاه الانحدار العام لسطحه الزراعي، باستخدام الأجهزة المساحية المتمثلة في جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS)، وجهاز الثيودليت، وأدوات القياس الطولي، ومن ثم إخضاع معطيات القياسات الحقلية لمعالجات رياضية لمعرفة مدى تطابق القياسات الحقلية، ومتغيرات كل من المنحدر العام والمدرج الزراعي، على اعتبار أنّ سطح

EDITORIAL

المنحدر الذي أنشئت على سطحه المدرجات الزراعية يمثل وتراً لمثلث أكبر، تتوزع بسطحه مثلثات أصغر تمثل المدرجات الزراعية.

الأسس العامة لتصنيف المدرجات الزراعية:

على الرغم من الانتشار العالمي للمدرجات الزراعية في نطاقات الأراضي المنحدرة، إلا أنها تتباين في خصائصها وطبيعة تصميمها، وهو تباين يهدف للوصول إلى الاستغلال الأفضل للأراضي المنحدرة في الإنتاج الزراعي. واعتماداً على التباين بين خصائص المدرجات الزراعية المنتشرة حول العالم، فإنها صنفت على أسس متعددة لتوضيح التباين بينهما ومن ذلك، التصنيف المستند على عرض المدرج الزراعي، أو على منسوب موقع المدرج بالمنحدر وعلاقته بمدرجات المنحدر الأخرى، أو على القوى الفعّالة في تعديل زاوية المنحدر نحو المستوى الأفقي.

- التصنيف المستند على عرض المدرج الزراعي (قاعدة المدرج)، وفيه تصنف المدرجات الزراعية عالمياً بحسب القياس الطولي لعرض قاعدة سطح المدرج الزراعي، حيث تصنف إلى أقسام رئيسية ثلاثة هي:
  1. مدرجات ضيقة القاعدة، يتراوح قياس قاعدة (عرض) المدرج ما بين ثلاثة إلى ستة أمتار.
  2. مدرجات متوسطة القاعدة، يتراوح عرض قاعدة المدرج ما بين ستة إلى عشرين متراً.
  3. مدرجات عريضة القاعدة، يتجاوز عرض قاعدة المدرج العشرين متراً.
- تصنيف آخر يعتمد على موقع المدرج الزراعي في المنحدر، وفيه تصنف المدرجات الزراعية إلى نوعين رئيسيين هما: المدرجات المتوازية، ومدرجات المصاطب. تنشأ المدرجات المتوازية (terraces parallel) ضمن المنحدر بموازاة باقي مدرجات المنحدر الواقعة على منسوب واحد بسطح المنحدر لتحقيق هدف اقتصادي، حيث يمكن استخدام الآلات الزراعية لكل مدرجات سطح المنحدر لكونها تتوازى مع سطح المنحدر (Keirle, 2002; NRCS, 2004) . تعتبر المدرجات المتوازية من المدرجات الحديثة وتنتشر في المناطق ذات المردود الاقتصادي المرتفع، ويتطلب إنشاؤها إمكانيات هندسية عالية التكاليف، لذلك نجدها منتشرة بصورة رئيسية في الولايات المتحدة الأمريكية في مناطق المنحدرات غير حادة التباين التي تقل زوايا انحدار سطحها عن 8 %، وتتجاوز أعماق تربتها 15 سنتمتر لكونها تعتمد على الزراعة الآلية. يتم تحديد الأبعاد القياسية ومواضع المدرجات الزراعية على سطح المنحدر سلفاً، وتعدّل زاوية سطح المنحدر إلى المستوى الأفقي باستخدام الآلات الهندسية لتنفيذ عمليات الحفر والردم (Wheaton and Monke, 2001) لينتج عنها مساحات أفقية متوازية.
- المدرجات المعدلة بفعل العمليات الطبيعية، ويطلق عليها مدرجات المصاطب (bench terraces) وتنتشر في النطاق المعدَّل بفعل العمليات الطبيعية لزاوية سطح المنحدر باتجاه المستوى الأفقي ومنها نطاق الحافات

EDITORIAL

التكتونية بالمنحدر، ومناطق التعرية المائية في سطح المنحدر، ليستخدم باعتباره قاعدة ارتكاز لأساس المدرج الزراعي (مدرجات المصاطب الزراعية)، ولذلك نجد أنّ توزيعها مرتَبطٌ بالمواقع التي تقل فيها درجة انحدار سطح المنحدر عن معدل درجة انحدار سطح المنحدر العام، ولذلك ارتبط توزيعها بمناطق العمليات الطبيعية المعدلة لسطح المنحدر، واتخذ النمط العشوائي في التوزيع على سطح المنحدر. وتُعدُّ المصاطب الزراعية من أقدم المدرجات تاريخياً، والأكثر انتشاراً في مناطق الحضارات الزراعية القديمة.

وعند مقارنة مدرجات المصاطب الزراعية بالمدرجات المتوازية، نجد أنّ مدرجات المصاطب أقل عرضاً ومساحة من المدرجات المتوازية، ويبذل لأجلها الجهد العضلي مع الاستعانة بالحيوان عاملاً مساعداً في الفلاحة. وتنتشر مدرجات المصاطب الزراعية في الأراضي اليمنية ومنطقة عسير بالمملكة العربية السعودية.

تاريخ وخصائص المدرجات الزراعية اليمنية:

لم توضح الدراسات الأثرية في اليمن تاريخاً محدداً لظهور المدرجات الزراعية، أو لبدايات الاستيطان القديم في المنحدرات الجبلية. ويمكن القول أنّ قاطني المنحدرات الجبلية اعتمدوا في مصادرهم الغذائية على زراعة مدرجات المنحدرات هذا من جهة، ومن جهة أخرى نجد أنّ من أسباب استيطان الإنسان القديم للمناطق الجبلية ، على الرغم من قسوتها وصعوبة تحويلها إلى أراضي منبسطة ومنتجة زراعياً، هو عدم توافر مدخلات الإنتاج الطبيعية الملائمة في المناطق السهلية.

إنّ فرضية عدم توافر مدخلات طبيعية ملائمة للإنتاج الزراعي، مرتبط بصورة أساسية بتوافر عناصر الطقس الملائمة وبصورة أساسية معدلات كافية من الأمطار لاستدامة عملية الإنتاج الزراعي في المناطق السهلية الشمالية (النطاق الذي يشمل في الوقت الحالي جزءاً من صحراء الربع الخالي ورملة السبعتين) التي استوطنها خلال مراحل تاريخية سبقت استيطانه نطاق المنحدرات الجبلية. ارجع (ويلكنسن، 2001) في تبريره لأسباب الاستيطان القديم في المنحدرات اليمنية، توافر الأمطار لزراعة الحبوب مقارنة بالسهول السهلية الشمالية والشرقية، وحدوث الأزمات السكانية المتعلقة بما هو متاح من إنتاج زراعي في الواحات الصحراوية الشمالية، الأمر الذي أدى إلى نزوح جزء من السكان قبل 5000 سنة واستقرارهم في الهضاب ومناطق الأودية المرتفعة. في حين أنّ دراسات التعاقب التاريخي للتغيرات المناخية في الإقليم (Edgell, 2006. Vincent, 2008) كشفت بأنّ الفترة الممتدة من 5000 إلى 5500 عام مضت والتي شهدت فيها المنطقة تحوّلاً من المناخ الجاف نحو المناخ شبه الرطب، وهي فترة ارتبطت بسيادة حضارة

EDITORIAL

العصر الحجري الحديث في الربع الخالي وأعقب ذلك في الفترة الممتدة ما بين 2100 إلى 5000 عام مضت، تحوّل نحو مناخ أكثر جفافاً، انتشرت فيه الكثبان الرملية النشطة في منطقة الربع الخالي. إنّ الفترة التي سادت فيها الشـــروط المناخية الجافة قبل 5000 عام أو دون ذلك بقليل، هي الفترة التي يمكن أن تؤرخ لظهور المدرجات الزراعية على المرتفعات اليمنية.

ولقد ازدادت أهمية المدرجات الزراعية اليمنية في وقتنا الحالي بســـبب أنها تمثل نســـبة عالية من مجموع مساحة الأراضي الزراعية اليمنية، وتنتشر أغلبها في المرتفعات الغربية وبكثافة أقل في المحافظات اليمنية الواقعة في الإقليم الغربي والجنوبي الغربي. وتعدُّ زراعة المدرجات المنتشرة في البيئة اليمنية المتباينة التضرس والانحدار من الحلول المتاحة لزيادة مساحة الأراضي الزراعية، وهي محاولة ناجحة لتلبية الطلب المتزايد على المنتجات الزراعية، بل إنها من أقدم الطرق التي عرفتها البشرية في استغلال خصائص الموقع للإنتاج الزراعي. ومنذ القدم وحتى وقتنا الراهن ما زال يروج للمدرجات الزراعية بأنها أفضـــل ممارســـة لإدارة موردي التربة والمياه للاســتفادة منها في الإنتاج الزراعي (Wheaton and Monke, 2001)، إلا أنّ استمرارية بقاء هذه المدرجات الزراعية كوسيلة لإعادة الإنتاج الزراعي، مرتبط بكل من مدخلات البيئة الطبيعية (التكتونية، معدل وكثافة الأمطار) المؤثرة في اســـتقرارها، في حين أنه ترتبط كفاءة نظامها بمدى تطبيق ممارســة الحماية الإضــافية عند تحضــيرها للإنتاج الزراعي، ونوعية المحاصــيل المنتجة، وديمومة غطاء التربة الزراعية.

وتتوزع المدرجات الزراعية اليمنية بصورة عشوائية على أسطح المنحدرات، كما أنّ اختيار مواقعها ليس عن رغبة محددة مسـبقاً، بل إنه ارتبط بتوافر كل من المسـاحات الأفقية الناتجة عن تعديل زاوية سـطح المنحدر، ووفرة الإرسابات الفيضية بالمساحات الأفقية المعدلة بسطح المنحدر، وهي مواقع تم تعديلها بعدد من العمليات الطبيعية المتتالية التأثير بسطح المنحدر (حركات تكتونية، تجوية فيزيائية وكيميائية)، أعقب ذلك دور المزارع اليمني في الاستفادة بما أنتجته قوى الطبيعة (تعديل بسطح المنحدر المائل نحو الاتجاه الأفقي، إرسابات فيضية منقولة) وبما يتلاءم ومتطلبات الإنتاج الزراعي وإمكانياته المتاحة بتلك الفترة في إكمال بناء المدرج (بناء قواعد ارتكاز للمدرج الزراعي) ليتناسب وطبيعة الإنتاج الزراعي، وديمومة استدامته كنطاق زراعي، مع بذل إمكانياته للمحافظة عليه من عوامل التدهور الطبيعية ومواجهتها بما اكتســبه من معرفة تراكمية.

إنّ توافر المساحات الأفقية في المنحدر لإقامة المدرج الزراعي يؤدي إلى خلق عتبة (Threshold) بمســار الجريان الفيضـــي القادم من أعلى المنحدر باتجاه الأســفل، وإبطاء ســرعة الجريان المائي، ومن ثَم ترسيب الحمولة الفيضية المنقولة من أعلى المنحدر للاستفادة منها كتربة زراعية بالمدرج.

EDITORIAL

تنتشر مدرجات المصاطب المستوية (level bench terraces) على المنحدرات اليمنية، وهي من المدرجات المناسبة للأقاليم المناخية شبة الجافة، وهي نتيجة عوامل طبيعية (حركات تكتونية، تعرية مائية) مختلفة عما هو موجود الآن، ولم يتبق منها سوى آثارها على المنحدر (المصاطب التي استخدمت لاحقاً كمدرجات زراعية). يتميز هذا النوع من المدرجات الزراعية بسطوح مستوية الانحدار. وبهدف الاستفادة المثلى من مياه الجريان، ولترسيب المواد الفيضية التي تحملها من أعلى المنحدر في المدرج الزراعي، يتم حجز المياه الواصلة بحاجز (Dike) يحيط بأطراف المدرج الزراعي (شكل 2) وبارتفاع يتراوح ما بين 20 - 35 سم.

التصنيف العام للمدرجات الزراعية اليمنية:

من خلال الملاحظة الحقلية والإجراءات القياسية، يمكن أن نصنف المدرجات الزراعية اليمنية إلى أربعة أقسام رئيسية، مستندين في ذلك على كل من القوى المؤثرة في المكونات السطحية ومدى توافر الترسبات الفيضية لإقامة المدرج الزراعي، والجهد البشري، هي:

- مدرجات مسار الجريان المائي بالمنحدر.
- مدرجات مجاري ما بين المنحدرات الجبلية.
- المدرجات التكتونية.
- مدرجات المنحدرات الفيضية.

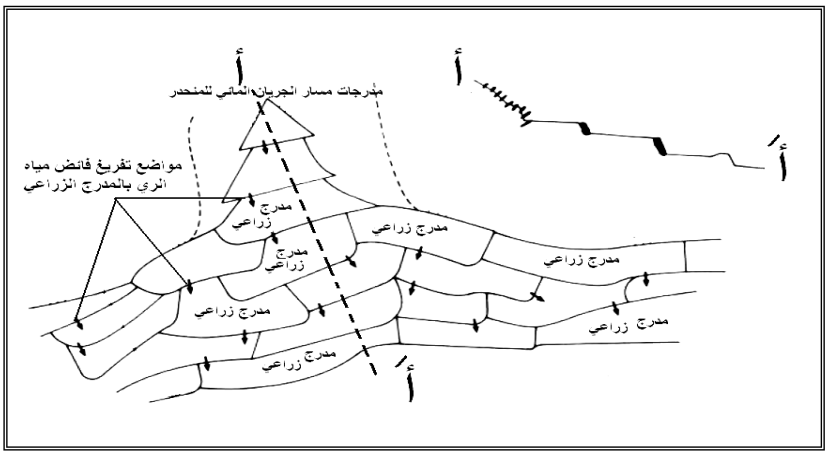
مدرجات مسار الجريان المائي بالمنحدر:

تتجه مياه الأمطار من أعلى المنحدر في شكل جريان غطائي باتجاه الأسفل نحو مناطق تقعر سطح المنحدر، لتتخذ مسارات تتسع مع مرور الوقت، بفعل التجوية الناتجة عن تفاعل كل من المياه الجارية والمواد المحمولة فيضياً من أعلى المنحدر وعمليات النحت التراجعي، وهي عمليات تؤدي إلى تعديل زاوية الانحدار العام لسطح المنحدر في مناطق الضعف الجيولوجي، ومنتجة عدداً من المصاطب الصخرية لتصبح مواقع عتبات بمسارات الجريان السطحي، ومخفضة طاقة الجريان المائي لتتحول من طاقة تعرية إلى عامل ترسيب لناتج عمليات غسل رواسب الغبار المترسب بسطح المنحدر ونواتج التجوية الفيزيائية (الطبيعية) بمواقع تغيّر زاوية سطح المنحدر نحو الاتجاه الأفقي (وهي المواضع التي تشكلت فيها المصاطب الصخرية بفعل التجوية والنحت التراجعي للمياه) لتتشكل طبقة رسوبية فيضية تعلو المصطبة الصخرية.

ومدرجات مسار الجريان المائي بالمنحدر من المدرجات المتوسطة القاعدة في الغالب، وقليل منها من المدرجات الزراعية ذات القاعدة الضيقة، وان كان انتشارها في أعلى مسار الجريان المائي، أو أُقيمت ضمن مسارات مائية صغيرة نسبيا، لم يكتمل تطورها.

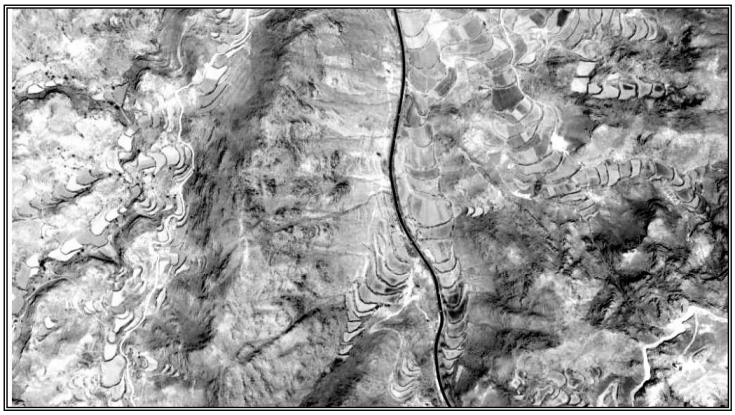
EDITORIAL

وبشـكل عام نجد أن مدرجات أعلى مسـار الجريان المائي ذات قاعدة ضـيقة نسـبياً، ويزداد عرض قاعدتها كلما اتجهنا لأسـفل المنحدر، وهذا ناتج عن المدرجات في النطاق الذي يشـغله المجرى المائي الطبيعي، وتمثِّل في أغلبها مجاري مائية من الرتبة الأولي لشـبكات تصـريف الأحواض المائية ومنها تبدأ منابعها، في حين تمثِّل المنحدرات المقامة عليها المدرجات الزراعية خطوط تقسيم لأحواض تصـريف مائية رئيسـية أو فرعية. ويتخذ المقطع الطولي لمسـارات الجريان المائي الشـكل المقعر مما يجعل زاوية الانحدار أكبر باتجاه المنبع وتقل كلما اتجهنا لأسـفل المنحدر، أما المقطع العرضـي فيتميز بكونه أكثر عرضـاً بأسـفل المنحدر، ويقل كلما اتجهنا لأعلى المنحدر (صورة 1).



شكل (2) مقطع طولي لمدرجات مسار الجريان المائي بالمنحدر

صـممت المدرجات الزراعية في مسارات الجريان المائي للاستفادة من الترسبات الفيضية المتراكمة فوق مصاطب مسار الجريان المائي، ولذلك ارتبطت المدرجات الزراعية (سواء من حيث أعدادها أو أبعادها القياسية) بأبعاد مسار الجريان المائي في المنحدر.



EDITORIAL

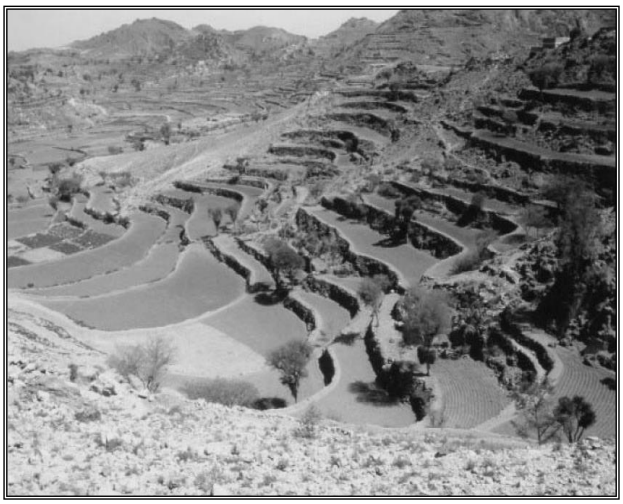
صورة (1) مدرجات زراعية أقيمت على مسارات الجريان المائي في المنحدر بمنطقة نقيل يسلح جنوب العاصمة صنعاء.

مدرجات مجاري ما بين المنحدرات الجبلية:

شغلت المجاري والأودية المائية منخفضات ما بين المنحدرات وتجمّعاً للمسيلات المائية المنحدرة من أعالي المنحدرات الجبلية والمحملة بمكونات التجوية الفيضية. وبفعل التغير بمعدل الانحدار، ترسبت نسبة من الحمولة الفيضية على قيعان وضفاف المجاري والأودية المائية، وأدى الترسيب الفيضي، ومكونات التعرية الصخرية المتساقطة لأسفل المنحدر، إلى تكوّن غطاء من الإرسابات الفيضية بأقدام المرتفعات الجبلية (صورة 2).

وانتشرت مواقع المدرجات الزراعية في قيعان وضفاف المجاري المائية، ومنها المجاري والأودية الجافة، أو تلك التي انخفض معدل جريانها العام عن السابق. وتتميز مدرجات مجاري ما بين المنحدرات الجبلية بقاعدة عريضة، ويتحكم بعرض المدرج الزراعي كل من انحدار المجرى الفيضي، والمقطع العرضي للمجرى. وتُعدّ مدرجات مجاري ما بين المنحدرات الجبلية الأكثر انتشاراً بين المدرجات الزراعية اليمنية.

صورة (2) مدرجات زراعية في أقدام الجبال شمالي مدينة ذمار، حيث يقل معدل الانحدار بأسفل المنحدر عن معدل الانحدار العام للمنحدر نتيجة لتقعر سطحه



المدرجات التكتونية:

تتباين في عرضها ما بين مدرجات ضيقة إلى متوسطة القاعدة، وتشغل مساحات تتناسب ومقدار الإزاحة التكتونية للكتلة الصخرية في المنحدر. ولقد تم بناء تلك المدرجات الزراعية من خلال الاستفادة من

EDITORIAL

الأشـــكال التكتونية المتمثلة في الحواف التكتونية، أو الجروف الصـــخرية الناتجة عن الصـــدوع (Faults) المعدلة لزاوية سطح المنحدر، ليستفاد من النطاقات الأفقية في إقامة المدرجات الزراعية.

توزعت مواقع المدرجات التكتونية في مناطق متباينة من ســـطح المنحدر، ومنها الحواف التكتونية التي عدلت لإقامة المدرجات الزراعية في مواقع انتشـــارها (صـــورة 3)، وبالرغم من ارتفاع تكلفة كل من عمليات البناء والصـــيانة، ونقل وســـائل الإنتاج للمدرجات التكتونية، إلا أنها تمتاز بشـــروط حماية طبيعية، وخصـــوبة متجددة، الأمر الذي يجعلها ملائمة لزراعة أشـــجار البن والقات، خاصـــة إذا ما توافرت الشـــروط الطبيعية الملائمة لزراعة المحصول المحدد.

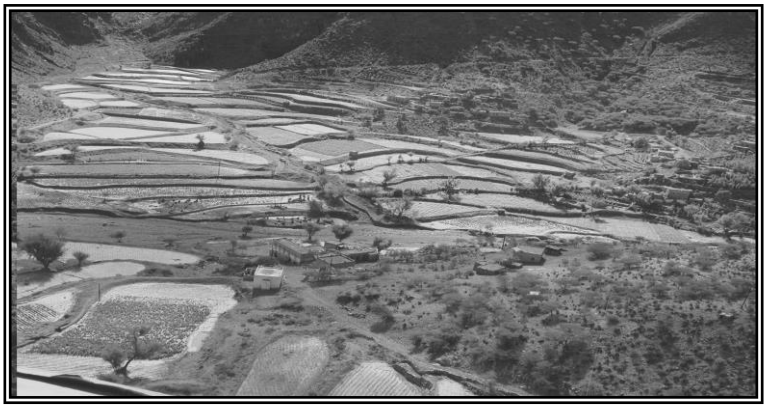
ولقد ارتبطت مســـاحة المدرجات التكتونية بمقدار الزاوية التي تشـــكلت تكتونياً. حيث يزداد عرض المدرج الزراعي كلما ازداد حجم الكتلة الصـــخرية المنزاحة، وانخفضـــت قيمة الزاوية المتكونة عن طريق الإزاحة، مقارنة بدرجة الانحدار العام لسطح المنحدر.

صورة (3) موقع لمدرجات زراعية في نطاق صدعي تكتوني بمحافظة حجة

مدرجات المنحدرات الفيضية:

EDITORIAL

إنّ ما يميز مدرجات المنحدرات الفيضـية، أنها أقيمت فوق منحدرات الأودية الفيضـية (صـورة4)، وليس المنحدرات الصـخرية وحسب. ويمكن تقسيم هذا الصنف من المدرجات الزراعية إلى قسمين رئيسيين، هما المدرجات التي أقيمت فوق تكوينات فيضـــية قديمة. حيث عملت الأودية والمجاري المائية القديمة إلى ترسـيب حمولتها الفيضـية، وتلت عمليات الترسـيب حركات رفع تكتوني، أدت إلى انحدار سـطحها، وإن لم يتجاوز 5 درجات في أغلبه.



صـــورة (4) مدرجات زراعية أقيمت فوق ترســبات فيضـــية لمجرى جاف بالقرب من مدينة مناخه غرب العاصمة صنعاء.

ونتيجة لانخفاض درجة انحدار السطح، استغلت كمدرجات زراعية متوسـطة إلى عريضـة القاعدة. تنتشـــر تلك المدرجات في المناطق المتأثرة بعمليات الرفع التكتوني، ومنها محافظة ذمار الواقعة في النطاق الأوســـط من المرتفعات اليمنية، وتمتد على نطاقات واســـعة نســـبياً مقارنة بامتداد غيرها من المدرجات الزراعية.

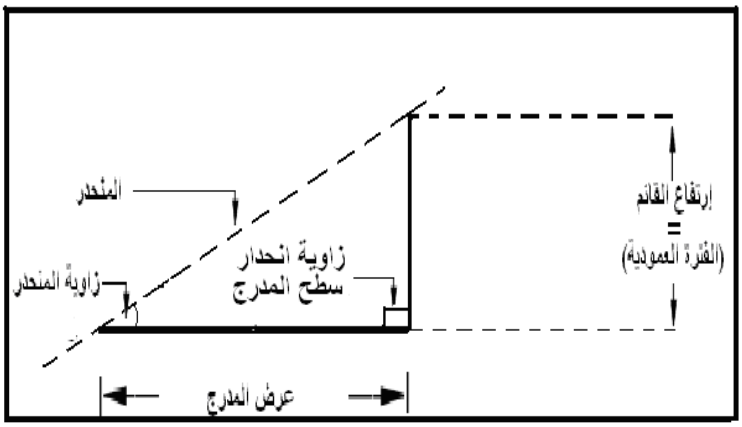
والقسم الآخر من مدرجات المنحدرات الفيضية، هي المدرجات المقامة في نطاقات المراوح الفيضية عند أعلى ومنتصف نطاقات البيدمونت بالسهول الفيضية. معدل الانحدار لمناطق المدرجات المقامة في أسفل نطاق البيدمونت (نهايات وأواسط المراوح الفيضية) يتراوح ما بين 1 - 3 درجات، في حين تزداد معدلات الانحدار بأعلى المراوح الفيضـــية (نطاقات البيدمنت) ما بين 3 - 6 درجات. وتمتاز مدرجات المراوح الفيضية بخصوبة تربتها المتجددة مع كل فيضان سنوي، إضافة إلى استخدام الري بالمياه الجوفية في موسم الجفاف. وتمتاز مدرجات المراوح الفيضية باتساع مساحتها نتيجة لانخفاض درجات انحدار السطح العام، ويتراوح سماكة إرساباتها الفيضية ما بين 10 إلى أكثر من 20 متراً.

EDITORIAL

يمكن أن نصنف مدرجات المنحدرات الزراعية الفيضية إلى أنها الأوسع قاعدة، وقد يتجاوز عرض المدرج 50 متراً.

الأبعاد القياسية للمدرج الزراعي:

للمدرجات الزراعية عدد من الأبعاد القياسية، متمثلة في زاوية انحدار سطح المنحدر، وزاوية الانحدار العام لسطح المدرج، إضافة إلى عرض المدرج، والفترة العمودية (المسافة التي تفصل بين ارتفاع مدرج زراعي والذي يليه ارتفاعاً) (شكل 3)، وترتبط تلك الأبعاد بعدد من العلاقات الرياضية التي تناقش لاحقاً.



شكل (3) الخصائص القياسية للمدرج الزراعي (تصميم الباحث)

(1) الانحدار Slopes:

وهو مقدار الزاوية الرأسية الواقعة ما بين المستوى الأفقي لأسفل المنحدر وأعلاه، ويتم الحصول عليها من الخريطة الطبوغرافية، أو قياسها بأجهزة مساحية متعددة تختلف باختلاف الدقة والأسلوب المتبع في القياس، أفضلها جهاز الثيودليت المستخدم عند إجراء القياسات للمنحدر العام الذي أقيمت على سطحه المدرجات الزراعية، حيث بيّنت هذه القياسات أنّ زوايا المنحدرات التي أقيمت على سطحها المدرجات الزراعية تراوحت مابين 2 – 20 درجة (أي بمعدل 3.5 % - 36.4 %).

ويتم إقامة المدرج الزراعي في مواقع تقل درجة انحدارها عن درجة المنحدر العام، وتتم معرفة انحدار موقع المدرج الزراعي من خلال الزاوية الرأسية المحصورة ما بين المستوى الأفقي لمنتصف عرض المدرج الزراعي، ومنتصف القائم الذي يعلوه، أو الزاوية الرأسية المحصورة ما بين المستوى الأفقي لأعلى قائم المدرج الزراعي الأسفل، وأعلى قائم المدرج الزراعي الذي يليه، مع الأخذ في الاعتبار معدل انحدار سطح المدرج الزراعي. وذلك بهدف الاستفادة المثلى للحصول على أقصى عرض للمدرج الزراعي.

EDITORIAL

(2) عرض المدرج terraces width

ويتم قياسه من خلال المسافة الطولية الممتدة من أسفل قائم المدرج الزراعي المقاس، وأعلى قائم المدرج الأسفل، وهو الجزء المعدل من زاوية سطح المنحدر نحو المستوى الأفقي، وأكثر نطاقات سطح المنحدر تأثّراً بالعوامل الطبيعية التي عدّلت زاوية الانحدار نحو الاتجاه الأفقي، ومنها مواقع الإزاحة التكتونية بالمنحدر، ومسارات الجريان المائي المتأثرة بالتعرية، واستخدمت لكونها الأقل تكلفة في عمليات التعديل المصاحبة لبناء المدرج الزراعي.

ويمثل عرض المدرج الزراعي نطاقاً ترسيبياً للحمولة الفيضية القادمة من أعلى المنحدر، ونطاقاً لتخفيض سرعة الجريان المائي. حيث يتحول الجريان من عامل تعرية على سطح المنحدر إلى عامل ترسيب فيضي بالمدرج الزراعي، لتترسب عنده الحمولة الفيضية التي يستفاد منها في دعم التربة بالمواد المعدنية والترسبات الفيضية.

وتتعدد العوامل المتحكمة في اختيار عرض المدرج الزراعي، ومنها طبيعة تكوين المنحدر والعمليات المؤثرة فيه، وقيمة زاوية انحدار سطحه، والإمكانيات الاقتصادية، وحاجة المزارع لمساحات زراعية، ويعدُّ عرض المدرج الهدف النهائي في عمليات الإنشاء.

يتباين عرض المدرجات الزراعية اليمنية، ما بين مدرجات زراعية ذات عرض ضيق ومتوسط وعريض. وأغلب المدرجات الزراعية التي بنيت في المرتفعات الصخرية الوعرة تتم زراعتها بالطرق التقليدية، ويمكن أن تمارس عليها الميكنة الزراعية إذا تجاوز عرض المدرج 15 متر ولم يشكل الوصول لموقع المدرج صعوبة، إضافة إلى توافر تربة بعمق مناسب لاستخدام الآلة الزراعية.

ولقد أوضحت القياسات التي أجريت للمدرجات الزراعية، سواء أكان على منحدر محدد أو على منحدرات مختلفة، أنّ أقصى عرض للمدرج الزراعي يحدد بمقدار المساحة الأفقية المتوافرة في المنحدر، وهو عرض تحدده العوامل الطبيعية المشكلة للمصطبة، وحجم الترسبات المتوافرة فوقها.

(3) الفترات العمودية Vertical Intervals:

يُعدُّ الارتفاع بين مدرجين متتاليين فترة عمودية (شكل 3). ويمثل ارتفاع الفترة العمودية مقدار التغيّر في الارتفاع لكل مسافة أفقية يمثلها عرض المدرج الزراعي، في حين يمثل مجموع ارتفاع الفترات العمودية التي تقع على استقامة واحدة بكامل المنحدر (على اعتبار أنّ المدرجات الزراعية تبدأ من أعلى المنحدر إلى أسفله) ارتفاع المنحدر، ويساوي مجموع عرض المدرجات الزراعية طول نصف قطر المنحدر.

ويتحكم في ارتفاع الفترة العمودية كل من قيمة زاوية الانحدار، وعرض المدرج الزراعي المقام على المنحدر. حيث يزداد ارتفاع الفترة العمودية بازدياد كل من عرض المدرج الزراعي، وارتفاع قيمة زاوية الانحدار، والعكس.

بلغ متوسط ارتفاع الفترات العمودية في مدرجات مسار الجريان المائي القادم من أعلى المنحدر 2.9 أمتار، في حين بلغ في مدرجات ضفاف مجاري وأودية ما بين المرتفعات الجبلية 2.7 أمتار، وفي مدرجات المنحدرات الفيضية 1.2 من الأمتار. في حين تباين ارتفاع الفترات العمودية بالمدرجات التكتونية، وهو تباين ناتج عن اختلاف مقدار الإزاحة التكتونية في المنحدر، وبلغ متوسط ارتفاعها 2.8 أمتار.

EDITORIAL

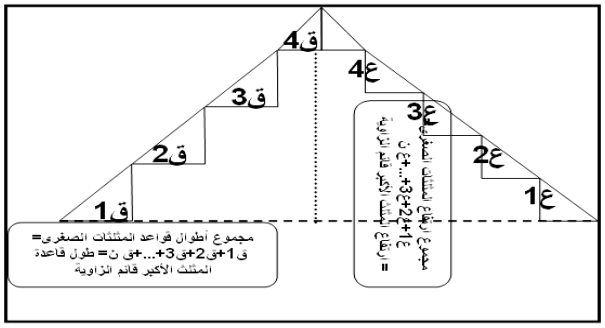
(4) الانحدار العام لسطح المدرج General slope of terrace surface:

تنقسم المدرجات على أساس استواء سطحها الزراعي إلى نوعين، الأول: المدرجات معكوسة الانحدار، حيث يميل سطحها الزراعي إلى الخلف باتجاه القائم وتنتشر في المناطق الرطبة ومنها مدرجات جنوبي شرق آسيا. أما القسم الآخر فيتمثل في المدرجات المستوية السطح، ونجدها منتشرة في المناطق شبه الجافة، ومنها مدرجات المنحدرات اليمنية. يتراوح انحدار سطح المدرجات الزراعية اليمنية ما بين الصفر (استواء سطحها الزراعي) ودرجة واحدة (بانحدار يميل نحو الأمام)، ويَعدُّ انحداراً غير ثابت. حيث يتغير بتغيّر معالجة السطح خلال العمليات الزراعية (كالري والحرث). يؤدي التغير في زيادة انحدار السطح، وزيادة معدلات الأمطار إلى جرف التربة وهو أحد الأسباب الأساسية في تدهور وتدمير المدرجات الزراعية.

مناقشة نتائج الدراسة:

من خلال الشكل رقم (4) نجد أن للمدرج الزراعي أبعاداً قياسية متعددة، نتيجة لطبيعة العمليات المعدلة لدرجة انحدار السطح، وللمدرج الزراعي والمنحدر عدد من الأبعاد التي يمكن إجراء قياساتها طولا أو انحداراً، وهي علاقات رياضية تتمثل في العلاقة بين كل من زاوية سطح المنحدر الذي أقيم فوقه المدرج، وعرض المدرج، والفترة العمودية بين مدرجين متتاليين، وزاوية الانحدار العام لسطح المدرج الزراعي.

وتظهر العلاقة بين سطح المنحدر والأبعاد القياسية للمدرجات الزراعية في شكل علاقة رياضية بين مجموعة مثلثات (شكل 4). حيث يمثل وتر المثلث الأكبر سطح المنحدر المقام على سطحه المدرجات الزراعية، في حين أن قاعدته تمثل نصف قطر المنحدر، ويمثل ارتفاع المثلث الأكبر ارتفاع المنحدر. إنّ المثلثات الصغرى المتتالية التي تتوزع على وتر المثلث الأكبر من الأعلى للأسفل على استقامة واحدة، عبارة عن المدرجات الزراعية التي يتخذ كل منها شكل المثلث قائم الزاوية.



شكل (4) المنحدر أقرب ما يكون مجموعة مثلثات كبرى قواعدها تنصف قطر المنحدر، في حين تنشأ على أوتار المثلثات الكبرى مجموعة من المثلثات الصغرى التي تمثل قواعدها عرض المدرجات الزراعية، وارتفاعاتها تمثل الفترات العمودية بين المدرجات الزراعية (تصميم الباحث).

EDITORIAL

يمكن الحصـول على مجموعة علاقات رياضـية بين المثلث الأكبر (المنحدر)، والمثلثات الصـغرى الواقعة على وتر المثلث الأكبر (المدرجات الزراعية)، وتتمثل في أنّ قاعدة المثلثات الصـغرى هي عرض المدرجات الزراعية، ومجموع أطوال قواعد المثلثات الصغرى (عرض المدرجات الزراعية) تساوي نصف قطر المنحدر، في حين نجد أنّ ارتفاع المثلثات الصـغرى مثلت الفترة العمودية، ومجموع أطوال الارتفاعات المثلثات الصـغرى يسـاوي ارتفاع المثلث الأكبر، وفي الوقت نفسـه هو ارتفاع المنحدر المقام على سـطحه المدرجات الزراعية. وهي علاقات يمكن توضيحها رياضياً، على النحو الأتي:

$$\Sigma X = R * COS\ \theta$$

$$Y = R * SIN\ \theta$$

$$\theta = (Y / X)\ TAN\ -1$$

حيث: (R)- طول سـطح المنحدر المائل، Σ X- مجموع عرض المدرجات المتتالية على سـطح المنحدر باستقامة واحدة، θ- زاوية المنحدر المقام على سطحه المدرجات الزراعية، Y - ارتفاع المنحدر، X- نصف قطر المنحدر. وبمعرفة أبعاد مدرجات المصـاطب الزراعية يمكن معرفة المسـافة الطولية لسـطح المنحدر وزاوية انحداره.

الخاتمة:

لعب كل من الموقع وخصائصه، وكذلك حاجة الإنسان لإنتاج الغذاء، وتفاعل قوى الطبيعة، دوراً في انتشار المدرجات وديمومة إنتاجها، ومثّلت نموذجاً علمياً للاستفادة المستدامة من خصائص المكان وإمكانياته المتاحة، وإنّ عدداً من النتائج يمكن استنباطها من البحث، وهي:

1- أنّ لكل من الإنسـان، وطبوغرافية المنحدر، دوراً أسـاسـياً في انتشـار مدرجات المصـاطب الزراعية بالمنحدرات اليمنية.

2 - تلعب كل من الأنشـطة الجيولوجية والعمليات الجيومورفولوجية والانحدار دوراً أسـاسـياً في تصـنيف وتباين مدرجات المصـاطب الزراعية. حيث أدت العوامل الطبيعية، وطبيعة تباين التكوينات الجيولوجية المشـكلة للمنحدر، إلى تباين درجات التغّير لسـطح المنحدر، ومن ثم تباينت أبعاد مدرجات المصـاطب الزراعية.

3 - مثّلت كل من عمليات التجوية الناتجة من أوضـاع مناخية مغايرة للوضـع الحالي، والحركات التكتونية المعدلة لزاوية المنحدر، محدّداً ايجابياً لموقع المدرج الزراعي.

4 - بيّن البحث أن لزاوية المنحدر العام، والزاوية المتشـكلة بالعامل الطبيعي والمعدلة لزاوية الانحدار العام، دوراً أساسياً في أبعاد مدرجات المصاطب الزراعية.

EDITORIAL

5 - تنتشر مدرجات المصاطب الزراعية عشوائياً، نتيجة لتباين طبيعة العوامل المشكلة لمواقع المدرجات، وتفاوت قوتها، وتباين مقاومة التكوينات الصخرية للمنحدر.

6 - مثلت المدرجات الزراعية في الأراضي المنحدرة عاملاً أساسياً للحفاظ على موردي التربة والمياه، حيث أدت المدرجات إلى خلق عتبات جيومورفولوجية قللت من سرعة الجريان السطحي، وحولته من عامل تعرية إلى عامل ترسيب، الأمر الذي ساعد على زيادة معدلات الرطوبة، وزيادة معدلات التسرب تحت السطحي للمياه، والتعديل الايجابي لخصائص التربة عن طريق ترسيب حمولتها الفيضية بالمدرجات الزراعية، وتقليل خطر الفيضان وعمليات التخديد الناتج عن فعل الجريان المائي نحو أسفل المنحدر.

EDITORIAL

المراجع

1 ـــــ الشـــرجبي، ســـعيد عبده (2000): **التغطية الحجرية في مدرجات زراعة البن إحدى طرق التحكم على التربة والمياه**. المؤتمر الوطني الأول للزراعة اليمنية القديمة. مركز الأصـول الزراعية. كلية الزراعة. جامعة صنعاء. 252- 258.

2 ـــ عبد الملك، قحطان (2000): **تطبيقات طرق الري القديمة من أجل تنمية مستدامة في عصور زاهية**. المؤتمر الوطني الأول للزراعة اليمنية القديمة . مركز الأصـــول الزراعية. كلية الزراعة. جامعة صـــنعاء. 240- 251.

3 ـــ ماكيرسـون، جوي (2000): **الممارسـات الزراعية القديمة في حضـرموت**: رؤى جديدة من مشـروع RASA المؤتمر الوطني الأول للزراعة اليمنية القديمة . مركز الأصـــول الزراعية. كلية الزراعة. جامعة صنعاء. 11- 21.

4 ــ ويلكنسون، ت.ج. ايدينز، ك. غيبسن، و.م 2001: **آثار المرتفعات اليمنية**: تسلسل زمني تمهيدي. ضمن دراسات في الآثار اليمنية. ترجمة ياسين الخالصي ومراجعة وتقديم نهى صادق. منشورات المعهد الأمريكي للدراسات اليمنية. 97- 185.

5 - *AL- Hebshi, 2005. The Role of Terraces Management on the land and Water Conservation in Yemen. The Third International Conference on Wadi Hydrology. Sanaa, Yemen, pp 1-16.*

6- Denny.C. S. 1967. Fans and Pediment. American Journal of Science. 265. pp 81 – 105.

7 - Edgell, H, Stewart. 2006. Arabian Deserts: Nature, Origin, and Evolution. Springer Publisher. Dordrecht, Netherlands. P. 509.

8 - FAO. 1977. Guidelines for Watershed Management. Conservation Guide 1: Rome, Italy. pp 147-179.

9 - FAO, 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin 8, Rome, Italy, p. 230.

10 - Hooke, R. L. 1968. Steady-State Relationships of Arid Region Alluvial Fans in Closed Basins. American Journal of Science, 266, pp 609-629.

11 - Keirle, R. 2002. Has terracing failed? Report University of Wales, UK. [Online] URL: http://www.bangor.ac.uk

EDITORIAL

12 - NRCS, 2004. Terracing. NRCS Field Office Technical Guide. [online] URL: http://www.abe.msstate.edu

13 - Poultney, R., Riley, J. and Webster, R. 1997. Optimizing plot size and shape for field experiments on terraces. Experimental Agriculture 33(1) pp 51-64.

14 - Sheng, T. C. 2000. Terrace System Design and Application Using Computers. In Laflen et al., (ed): Soil Erosion and Dryland Farming: pp.381-390. CRC Press. Boca Raton, Florida.

15 – Vincent, Peter. 2008. Saudi Arabia: An Environmental Overview. Taylor & Francis Group. London. pp. 86.

16 - Wheaton, R.Z. and Monke, E.J., 2001. Terracing as a `Best Management Practice' for controlling erosion and protecting water quality. Agricultural Engineering 114, Purdue University. [online] URL.

http://www.agcom.purdue.edu.