إدارة المخاطرواستراتيجيات الارتداد في النظم الزراعية في مواجهة القيود النظامية: الدور البنيوي لمخاطر الطاقة

خالد العايش

أستاذ بقسم الفلاحة، جامعة الوادي

chaoui20@yahoo.fr

تواجه النُظم الزراعية المعاصرة تحوّلًا عميقًا في بيئتها الإنتاجية، يتمثل في بروز مخاطر نظامية مرتبطة بالتغير المناخي، والقيود المائية، والاعتماديات الاقتصادية، ولا سيما القيود الطاقوية. يقدّم هذا المقال تحليلًا منهجيًا يميّز بين المخاطر الكلاسيكية، التي تمت السيطرة عليها تاريخيًا على مستوى المزرعة، والمخاطر النظامية التي تتسم بالتشابك والتأثيرات المتسلسلة.

ويُولى اهتمام خاص لمخاطر الطاقة، باعتبارها عاملًا عرضيًا يفاقم هشاشة النُظم الزراعية ويعيد تشكيل شروط الإنتاج. وفي هذا الإطار، يتم توظيف مفهوم "الانحدار الطاقوي" لفهم التحولات الجارية وانعكاساتها على النظم الزراعية.

كما يستعرض المقال أهم استراتيجيات الارتداد القائمة على تقليل الاعتماد على المدخلات، والانتقال نحو الزراعة الإيكولوجية، وتعزيز الاستقلالية الطاقوية، وإعادة توطين النظم الغذائية. وفي الختام، يناقش المقال حدود هذه الاستراتيجيات وشروط تطبيقها، مع إبراز القيود الاقتصادية والمؤسساتية والمجالية.

1. المقدمة

تعتمد النظم الزراعية المعاصرة على نموذج إنتاجي يرتكز بشكل كبير على مدخلات خارجية، خاصة الطاقة، كما أنها مدمجة ضمن سلاسل إمداد معولمة. ورغم أن الزراعة كانت دائمًا عرضة لمختلف المخاطر، فإن طبيعتها تشهد تحولًا نحو أشكال أكثر تعقيدًا وترابطًا.

في هذا السياق، تُمثل التفرقة بين المخاطر الكلاسيكية والمخاطر النظامية إطارًا تحليليًا مناسبًا لفهم هذه التحولات. فالأولى يمكن التحكم فيها على مستوى المزرعة، في حين تتميز الثانية بامتدادها العالمي وتأثيراتها المتسلسلة.

ومن بين هذه المخاطر، تبرز مخاطر الطاقة بوصفها عنصرًا محوريًا، نتيجة الاعتماد البنيوي للزراعة الحديثة على الطاقات الأحفورية. ويساهم مفهوم "الانحدار الطاقوي" في توضيح طبيعة التحولات الراهنة.

ويهدف هذا المقال إلى:

1- اقتراح تصنيف للمخاطر الزراعية مع تبرير التمييز بين المخاطر الكلاسيكية والمخاطر النظامية؛

2- تحليل الدور البنيوي للعامل الطاقوي في بروز أشكال جديدة من الهشاشة؛

3- دراسة استراتيجيات الارتداد القادرة على مواجهة هذه التحولات، مع إبراز حدودها في سياقات مختلفة.

2. الأسس التحليلية للتمييز بين المخاطر الكلاسيكية والمخاطر النظامية

يرتكز التمييز بين المخاطر الكلاسيكية والمخاطر النظامية على مجموعة من المعايير التحليلية التي نوقشت على نطاق واسع في أدبيات المخاطر والنظم المعقدة [2]، [11].

من جهة، تتميز المخاطر الكلاسيكية بارتباطها المحلي، واستقلاليتها النسبية، وقابليتها للضبط التقني. وتشمل هذه المخاطر على وجه الخصوص التقلبات المناخية الظرفية، وأمراض المحاصيل، وتقلبات الأسعار. وغالبًا ما تكون هذه

المخاطر قابلة للتقدير الاحتمالي، ويمكن إدارتها على مستوى المزرعة من خلال أدوات تقنية أو تأمينية، وهو ما يعكس نمطًا من حوكمة المخاطر قائمًا على التنبؤ والتحكم [14].

من جهة أخرى، تُعرَّف المخاطر النظامية بامتدادها الواسع، وترابطها، وقدرتها على إحداث تأثيرات متسلسلة. فهي تؤثر في عدة مكونات من النظام الزراعي في آنٍ واحد، وتتجاوز بشكل كبير قدرة الفاعلين الأفراد على التحكم فيها. ويندرج هذا النوع من المخاطر ضمن ديناميكيات معقدة وغير خطية تميز النظم شديدة الترابط [8]، ويُصنَّف ضمن ما يسميه بعض الباحثين "مخاطر الحداثة المتقدمة" [2].

وعلاوة على ذلك، يمكن تفسير هذا التمييز في ضوء أدبيات النظم الاجتماعية-الإيكولوجية، التي تُبرز تعدد مستويات الهشاشة وقدرات التكيف [5]، [18]. فالمخاطر النظامية، على وجه الخصوص، تتطلب استجابات تتجاوز التكيف التقني البسيط، لتندرج ضمن مسارات تحول هيكلي للنظم.

وعليه، فإن هذا التصنيف لا يقتصر على كونه وصفيًا، بل يسمح بالتمييز بين مستويين من الهشاشة، وبالتالي بين نوعين من استراتيجيات الارتداد، تتراوح بين التدبير التكيفي على المستوى المحلي ومقاربات شمولية تهدف إلى تحويل النظم [4]، [10].

لقد واجهت النظم الزراعية تاريخيًا مجموعة متنوعة من المخاطر التي توصف بـ"الكلاسيكية"، نظرًا لكونها معروفة منذ زمن طويل ومفهومة نسبيًا ومندمجة في ممارسات التسيير الزراعي. وتتميز هذه المخاطر بطابعها المحلي وتكرارها النسبي وإمكانية التحكم فيها على مستوى المزرعة، وهو ما يعكس نمطًا من التكيف التدريجي القائم على الخبرة والابتكار التقني [4].

3. المخاطر الكلاسيكية: إدارة مُحكَمة تاريخيًا

واجهت النُظم الزراعية تاريخيًا ما يُعرف بالمخاطر "الكلاسيكية"، التي تتميز بطابعها المحلي وقابليتها النسبية للتنبؤ وإمكانية إدارتها على مستوى المزرعة. وتندرج هذه المخاطر ضمن منطق السيطرة التقنية التدريجية، المبنية على الخبرة والابتكار [4].

وتشمل هذه المخاطر أساسًا:

- المخاطر المناخية (الجفاف، والصقيع، وتقلبات التساقطات)، والتي تتم إدارتها من خلال تكيّفات تقنية مثل الري، واختيار الأصناف، وأنظمة التأمين الزراعي [10]؛
- المخاطر البيولوجية (الآفات والأمراض)، التي تم التحكم فيها تاريخيًا عبر مزيج من الممارسات الزراعية والمدخلات، رغم اعتمادها على موارد خارجية [1]؛
- المخاطر الاقتصادية المرتبطة بتقلب الأسعار، والتي يتم التخفيف من آثارها عبر التنويع، والآليات التعاقدية، والسياسات العمومية [12]؛
- المخاطر التقنية المرتبطة بالممارسات والمعدات، والتي تبقى في الغالب قابلة للتحكم على مستوى المزرعة.

وقد خضعت هذه المخاطر لعملية تقنين تدريجي، قائمة على تراكم المعارف التجريبية، وتطوير الحلول التقنية، ودعم المؤسسات (التأمينات، والسياسات الزراعية). وبالتالي، فهي تُمثل نمطًا من إدارة المخاطر "المعروفة"، المميز للنظم ذات التعقيد المحدود [14].

غير أن هذه القدرة على التحكم تواجه اليوم عدة حدود. فمن جهة، يؤدي تزايد شدة الظواهر المناخية إلى تضخيم آثارها [10]. ومن جهة أخرى، تعتمد إدارتها بشكل كبير على مدخلات وموارد خارجية، خاصة الطاقوية، مما يجعلها مرتبطة بديناميكيات عالمية.

وعليه، ورغم استمرار أهمية هذه المخاطر في التسيير الزراعي، فإن وزنها النسبي يشهد إعادة تشكيل تدريجية بفعل بروز المخاطر النظامية، الأكثر تعقيدًا وترابطًا، والتي تعيد النظر في شروط التحكم فيها [4]، [8]، [11].

4. بروز المخاطر النظامية: مركزية العامل الطاقوي

1.4 تبعية بنيوية للطاقة الأحفورية

تطورت الزراعة الحديثة في إطار عملية تكثيف طاقوي تعتمد أساسًا على الطاقات الأحفورية. وتشمل هذه التبعية الميكنة الزراعية، وإنتاج المدخلات (لا سيما الأسمدة الآزوتية)، والري، وسلاسل الإمداد والنقل. وبالتالي، تُعدّ الطاقة عاملًا عرضيًا يحدد مجمل سير عمل النظام الزراعي [3]، [15].

2.4 مصادر الهشاشة الطاقوية

تؤدي هذه التبعية إلى نشوء هشاشة بنيوية مرتبطة بارتفاع أسعار الطاقة، وقيود التزويد، والتوترات الجيوسياسية. وتؤثر هذه الديناميكيات مباشرة على تكاليف الإنتاج، كما تُدخل حالة من عدم اليقين المستمر، مما يضعف استقرار النظم الزراعية المكثفة [4]، [9].

3.4 المخاطر الطاقوية بوصفها مضاعِفًا للهشاشة

تعمل مخاطر الطاقة بوصفها مضاعفًا للهشاشة من خلال تأثيرها المتزامن على تكاليف الإنتاج، والمردودية، وقنوات التوزيع. وقد تؤدي إلى تأثيرات متسلسلة، تبدأ بانخفاض الإنتاج وتمتد إلى ارتفاع أسعار الغذاء، مما يعكس طابعها النظامي [8]، [9].

4.4 الترابط مع المخاطر النظامية الأخرى

لا يمكن تحليل مخاطر الطاقة بمعزل عن باقي المخاطر النظامية، إذ ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالتغير المناخي، والإجهاد المائي، وتدهور الموارد الطبيعية، والاعتماد على الأسواق الدولية [1]، [3]، [10]، [12]. وتُسهم هذه التفاعلات في تعزيز تعقيد الهشاشة الزراعية وترابطها.

5.4 نحو إعادة تشكيل النظم الزراعية

تؤدي هذه الديناميكيات إلى إعادة تشكيل عميقة للنظم الزراعية. إذ يُظهر النموذج الإنتاجي القائم على وفرة الطاقة حدوده، مما يفرض الانتقال نحو التفكير في الاستدامة طويلة الأمد. كما أن إدماج مخاطر الطاقة في التحليل يدفع إلى إعادة النظر في أنماط الإنتاج، ومستويات التكثيف، وتنظيم النظم الغذائية، ضمن منظور الارتداد النظامي[4] ، [10].

6.4 الانحدار الطاقوي كإطار تحليلي

يُشير مفهوم الانحدار الطاقوي إلى التراجع التدريجي في توفر الطاقة، نتيجة عوامل فيزيائية واقتصادية وسياسية [7]، [15]. وعند تطبيقه على الزراعة، فإنه يكشف عن حدود النموذج المكثف القائم على وفرة الطاقة، ويدعو إلى إعادة التفكير في أسس الإنتاج الزراعي [13].

5. الانحدار الطاقوي: نحو تحوّل في النظم الزراعية

1.5 قطيعة مع نموذج التكثيف الطاقوي

منذ النصف الثاني من القرن العشرين، تطورت الزراعة وفق منطق التكثيف القائم على زيادة المدخلات الكيميائية، والميكنة، وتوسّع سلاسل الإمداد. ورغم أن هذا النموذج حقق مكاسب إنتاجية كبيرة، إلا أنه يعتمد بشكل كبير على الطاقات الأحفورية [15]. وفي سياق الانحدار الطاقوي، تصبح هذه التبعية عامل هشاشة، مما يضع موضع تساؤل استدامة مستويات الإنتاج الحالية [7].

2.5 تقليص المدخلات وإعادة تشكيل النظم

تؤدي القيود الطاقوية إلى تقليص استخدام المدخلات الكيميائية، لا سيما الأسمدة الآزوتية ذات التكلفة الطاقوية المرتفعة [13]. ويصاحب ذلك تراجع في مستويات التكثيف وتكيّف في الممارسات الزراعية، مع الاعتماد بشكل أكبر على العمليات البيولوجية مثل خصوبة التربة وإعادة تدوير المواد العضوية. ولا يقتصر الأمر على استبدال تقني، بل يتعلق بإعادة تشكيل النظم الإنتاجية على أساس تكامل أفضل للدورات الطبيعية [1].

3.5 إعادة النظر في النظم المكثفة

تُعدّ النظم الزراعية المكثفة، المعتمدة على تدفقات مرتفعة من الطاقة والمدخلات، أكثر عرضة للهشاشة [15]. وقد يؤدي الانحدار الطاقوي إلى تقليص جدواها الاقتصادية، ودفعها نحو نماذج أقل استهلاكًا للطاقة، مع إعادة توجيه الأهداف نحو الاستقرار والاستدامة. ويبرز هنا توتر بين تحقيق أقصى إنتاجية وضمان الارتداد على المدى الطويل [16].

4.5 إعادة توطين وتنظيم النظم الغذائية

تمثل سلاسل الإمداد الطويلة، ذات الاستهلاك الطاقوي المرتفع، مصدرًا رئيسيًا للهشاشة. وفي هذا السياق، يُعدّ إعادة التوطين الجزئي للنظم الغذائية مسارًا محتملًا، من خلال تطوير الدوائر القصيرة وإعادة تنظيم الإنتاج على المستوى المجالي [3]. ويساهم ذلك في تقليل التعرض للصدمات الخارجية، رغم ما يفرضه من تحولات اقتصادية واجتماعية.

5.5 إعادة تنظيم العمل الزراعي

لا يقتصر تأثير الانحدار الطاقوي على الجوانب التقنية، بل يشمل أيضًا تنظيم العمل الزراعي، حيث قد يؤدي إلى تقليص الميكنة وزيادة الاعتماد على العمل البشري. كما يساهم في إعادة الاعتبار للمعارف الزراعية التقليدية وتنويع المهارات، مما يطرح تحديات اجتماعية مهمة [17].

6.5 انتقال تدريجي

لا يعني الانحدار الطاقوي بالضرورة حدوث انهيار، بل يمثل انتقالًا تدريجيًا مفروضًا، يختلف باختلاف السياقات [15]. ويتطلب ذلك تكيّفًا بنيويًا للنظم الزراعية، يقوم على تقليل الاعتماد على الموارد الخارجية وإعادة تعريف أهداف الأداء.

7.5 رهانات الارتداد

يُمثل الانحدار الطاقوي في آن واحد خطرًا نظاميًا وفرصة للتحوّل، حيث يدفع النظم الزراعية نحو مزيد من التنويع والاستقلالية والتكامل البيئي [1]، [4]. ومن ثم، يفتح المجال أمام مسارات انتقال نحو نماذج زراعية أكثر قدرة على الارتداد

6. استراتيجيات الارتداد في مواجهة المخاطر النظامية

في ظل بروز المخاطر النظامية، التي تتميز بتعقيدها وترابطها، لم يعد من الممكن حصر استراتيجيات الارتداد في استجابات ظرفية، بل ينبغي أن تندرج ضمن مقاربة شمولية تهدف إلى تعزيز قدرة النظم الزراعية على امتصاص الصدمات والتكيف والتحول [5]، [10]. ويعكس هذا التحول الانتقال من منطق تحسين الأداء على المدى القصير إلى البحث عن المتانة والاستدامة، من خلال إدماج الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية [4].

1.6 تقليص الاعتماد على المدخلات

يُعدّ تقليص الاعتماد على المدخلات الخارجية رافعة أساسية، خاصة في سياق القيود الطاقوية. فالنُظم المعتمدة بشكل كبير على الأسمدة الكيميائية والمبيدات والمحروقات تكون أكثر عرضة لتقلبات الأسعار واضطرابات الإمداد [13]. وترتكز الاستراتيجيات على تطوير دورات خصوبة داخلية (إعادة تدوير المواد العضوية)، واستغلال الموارد المحلية، والحد من استخدام المدخلات الاصطناعية، بما يعزز استقلالية المزارع [3].

2.6 الانتقال نحو الزراعة الإيكولوجية

توفر الزراعة الإيكولوجية إطارًا مناسبًا لإعادة التفكير في النظم الزراعية، من خلال تعبئة العمليات البيئية (دورات المغذيات، والتنوع البيولوجي الوظيفي) للحفاظ على الإنتاجية مع تقليل الاعتماد على الموارد الخارجية [1]، [6]. ويتجلى ذلك في تنويع المحاصيل، واعتماد الدورات الزراعية، ودمج الزراعة مع تربية الماشية، وتطبيق المكافحة البيولوجية، ضمن منطق يقوم على التوازن بدلًا من التحكم المكثف.

3.6 تعزيز الاستقلالية الطاقوية

في ظل القيود الطاقوية، تكتسب الاستقلالية الطاقوية بعدًا استراتيجيًا. ويسهم إدماج الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري في الري وتشغيل المعدات وبعض عمليات التحويل [3]. غير أن هذه الحلول تظل رهينة بتكاليف الاستثمار الأولية وإمكانية الوصول إلى التكنولوجيا [9].

4.6 التنويع والمرونة

يُعدّ تنويع النُظم الزراعية، سواء على مستوى الإنتاج أو مصادر الدخل، عاملًا أساسيًا في تعزيز الاستقرار، إذ يساهم في توزيع المخاطر وتقليل الاعتماد على سوق واحد وتحسين استقرار الدخل [4]. كما تعزز المرونة، بمعنى القدرة على التكيف السريع مع التغيرات، هذه القدرة على الاستجابة [18].

5.6 إعادة توطين النظم الغذائية

تُمثل سلاسل الإمداد الطويلة مصدرًا مهمًا للهشاشة. ويساهم إعادة التوطين الجزئي للنظم الغذائية، من خلال تطوير الدوائر القصيرة وتعزيز الأسواق المحلية، في تقليل التعرض للاضطرابات العالمية وتعزيز الترابط المجالي [3].

6.6 نحو تحوّل في النظم الزراعية

ينبغي النظر إلى هذه الاستراتيجيات باعتبارها عناصر ضمن تحوّل أوسع في النماذج الزراعية. فالارتداد لا يقتصر على التكيف، بل يشمل أيضًا القدرة على التحول في مواجهة قيود مستدامة [5]، [18]. وتتميز النظم الأكثر متانة بقدرتها على الجمع بين الاستقلالية، والقدرة على التكيف، والاندماج في محيطها المجالي [10].

7. المناقشة: حدود وشروط تطبيق استراتيجيات الارتداد

رغم أن استراتيجيات الارتداد تبدو ملائمة لمواجهة المخاطر النظامية، فإن تطبيقها يظل مقيدًا بعوامل اقتصادية وتقنية ومؤسساتية تحد من نطاقها.

1.7 القيود الاقتصادية والمالية

يتطلب الانتقال نحو نظم أكثر قدرة على الارتداد استثمارات مهمة (مثل تحسين نظم الري، واستخدام الطاقة الشمسية، وتنويع الإنتاج)، وهي غالبًا ما تكون صعبة المنال، خاصة في البلدان النامية. كما أن بعض الممارسات، مثل خفض المدخلات أو اعتماد الزراعة الإيكولوجية، قد تترتب عنها تكاليف انتقالية على المدى القصير، مثل انخفاض مؤقت في المردودية، وزيادة في متطلبات العمل، أو حالة من عدم اليقين الاقتصادي، مما يشكل عائقًا أمام تبنّيها.

2.7 القيود التقنية والمعرفية

يتطلب تطبيق النظم الزراعية المتنوعة أو الإيكولوجية معارف معقدة وإلمامًا دقيقًا بالعمليات البيئية. كما يفترض توفر التكوين الزراعي، وخدمات الإرشاد التقني، وتثمين المعارف المحلية، وهي عناصر غالبًا ما تكون غير كافية، مما يحد من انتشار هذه المقاربات.

3.7 القيود المؤسساتية والسياسية

تلعب السياسات الزراعية دورًا حاسمًا في توجيه أنماط الإنتاج، إلا أنها في بعض الحالات لا تزال تدعم النماذج المكثفة من خلال دعم المدخلات أو تعزيز الاندماج في الأسواق الدولية. وقد تشكل هذه التوجهات عائقًا أمام التحول نحو نُظم أكثر قدرة على الارتداد.

4.7 خصوصيات البيئات الجافة

في المناطق الجافة، مثل جنوب الجزائر، تتفاقم التحديات نتيجة الإجهاد المائي، والاعتماد الكبير على الري، والظروف المناخية القاسية. لذلك، يتطلب تعزيز الارتداد تكييف الاستراتيجيات مع الخصوصيات المحلية، من خلال تحسين استخدام المياه، وتطوير النُظم الواحية المتكاملة، واستغلال الطاقة الشمسية. وتبرز هذه الحالات الطابع المجالي والمحلي للارتداد.

5.7 التوتر بين الإنتاجية والارتداد

يكمن أحد التحديات الأساسية في التوازن بين الإنتاجية على المدى القصير والارتداد على المدى الطويل. فالنظم المكثفة، رغم كفاءتها الإنتاجية، غالبًا ما تكون أكثر عرضة للهشاشة، في حين توفر النظم الأكثر استقلالية قدرة أكبر على الصمود، وإن كان ذلك أحيانًا على حساب المردودية. ويستدعي هذا التوتر إعادة النظر في مؤشرات تقييم الأداء الزراعي، من خلال إدماج مفاهيم الاستدامة والاستقرار والاستقلالية.

الخلاصة

يُبرز تحليل النظم الزراعية تحوّلًا في شروط الإنتاج، يتميز بتصاعد المخاطر النظامية. ويظهر العامل الطاقوي بوصفه عنصرًا محوريًا، نظراً لطابعه العرضي ودوره في تضخيم مظاهر الهشاشة.

كما يكشف الانحدار الطاقوي حدود النموذج المكثف، ويؤكد ضرورة إحداث تكيف بنيوي في النظم الزراعية. ورغم أن استراتيجيات الارتداد المقترحة توفر مسارات واعدة، فإن تطبيقها يظل رهينًا بقيود اقتصادية وتقنية ومجالية.

وعليه، ينبغي النظر إلى الارتداد بوصفه عملية تحوّل في النظم الزراعية، تقوم على تحقيق توازن بين الاستدامة، والاستقلالية، والأمن الغذائي.

المراجع

[1] Altieri, M. A. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*, Westview Press, Boulder, 1995.

[2] Beck, U. *Risk society: Towards a new modernity*, Sage Publications, London, 1992.

[3] FAO. *Energy-smart food for people and climate*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2011.

[4] FAO. *Resilient livelihoods: Disaster risk reduction for food and nutrition security*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013.

[5] Folke, C. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses, *Global Environmental Change*, 16(3), 2006, 253–267.

[6] Gliessman, S. R. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*, CRC Press, Boca Raton, 2015

[7] Hall, C. A. S. & Klitgaard, K. A. *Energy and the wealth of nations: Understanding the biophysical economy*, Springer, New York, 2012.

[8] Helbing, D. Globally networked risks and how to respond, *Nature*, 497(7447), 2013, 51–59.

[9] IEA. *World energy outlook 2022*, International Energy Agency, Paris, 2022.

[10] IPCC. *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, 2022.

[11] OECD. *Emerging systemic risks in the 21st century: An agenda for action*, OECD Publishing, Paris, 2003.

[12] OECD. *Managing risk in agriculture: Policy assessment and design*, OECD Publishing, Paris, 2011.

[13] Pimentel, D. & Pimentel, M. *Food, energy, and society*, CRC Press, Boca Raton, 2008.

[14] Renn, O. *Risk governance: Coping with uncertainty in a complex world*, Earthscan, London, 2008.

[15] Smil, V. *Energy and civilization: A history*, MIT Press, Cambridge, 2017.

[16] Tainter, J. A. *The collapse of complex societies*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

[17] Van der Ploeg, J. D. The peasantries of the twenty-first century: The commoditisation debate revisited, *The Journal of Peasant Studies*, 37(1), 2010, 1–30.

[18] Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. & Kinzig, A. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems, *Ecology and Society*, 9(2), 2004, 5.