Yoho National Park, Field, Canada, 2018, Photographer: Hendrik Cornelissen

14R
اقدامات جبرانی در مدیریت سرزمین

افشین دانه‌کار

استاد، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

رایانامه نویسنده: danehkar@ut.ac.ir

چکیده

اقدامات جبرانی به‌عنوان یکی از ارکان مدیریت سرزمین، نقش مهمی در بازگرداندن ساختار، فرایندها و عملکردهای اکولوژیک در مناطق تخریب‌شده دارند. این سند با اتکا بر ادبیات علمی بازیابی اکولوژیک و استانداردهای بین‌المللی، چارچوبی جامع شامل ۱۴ رویکرد جبرانی (R1–R14) ارائه می‌دهد که طیفی از کمترین مداخله تا بیشترین بازطراحی اکوسیستم را دربرمی‌گیرد. این رویکردها برای پاسخ‌گویی به تخریب‌های ناشی از جنگ، تغییر اقلیم، بهره‌برداری ناپایدار و فشارهای انسانی طراحی شده‌اند و می‌توانند مبنایی برای برنامه‌ریزی احیا، بازسازی و مدیریت سازشی سرزمین باشند. یادداشت حاضر ضمن تبیین تعاریف، اهداف و تمایزهای هر R، کاربردهای آن‌ها را در اکوسیستم‌های جنگلی، مرتعی، کوهستانی و تالابی ایران بررسی می‌کند و مسیرهای سیاستی لازم برای بازسازی سرزمین در دوره پساجنگ را پیشنهاد می‌دهد. این چارچوب می‌تواند راهنمایی عملی برای تصمیم‌گیران، مدیران و متخصصان محیط‌زیست در برنامه‌ریزی جبرانی و احیای سرزمین باشد.

کلیدواژه‌ها: بازسازی اکولوژیک، تاب‌آوری سرزمین، مدیریت سازشی، خدمات اکوسیستم، بازطراحی پساجنگ.

دانه کار، ا. (۱۴۰۵). 14R اقدامات جبرانی در مدیریت سرزمین. *نشریه دانشجویی زیست سپهر*، ۱۹(۱)، ۶۰–۷۶

مقدمه

اقدامات جبرانی[1] یکی از ارکان اصلی مدیریت سرزمین در شرایط تخریب، بحران و فشارهای انسانی هستند. این اقدامات با هدف بازگرداندن ساختار، فرایندها و عملکردهای اکولوژیک سرزمین طراحی می‌شوند و در ادبیات علمی ذیل حوزه‌هایی مانند بازیابی اکولوژیک، مدیریت سازشی، خدمات اکوسیستم و مهندسی اکولوژیک تعریف شده‌اند (Clewell & Aronson, 2013; SER, 2019).

در دهه‌های اخیر، شدت‌گرفتن تخریب سرزمین ناشی از توسعه ناپایدار، تغییر اقلیم، جنگ، آلودگی و بهره‌برداری بیش از حد موجب شده است که اقدامات جبرانی به‌عنوان یک ضرورت مدیریتی در سطح جهانی مطرح شوند (MEA, 2005; IPBES, 2019). این اقدامات نه‌تنها برای احیای اکوسیستم‌های آسیب‌دیده، بلکه برای حفظ تاب‌آوری سرزمین، کاهش خطرات، و بازگرداندن خدمات اکوسیستم اهمیت دارند (Costanza et al., 1997; Sayer et al., 2013). با توجه به آسیب‌های گسترده واردشده به اکوسیستم‌های طبیعی کشور در پی درگیری‌های نظامی اخیر –از جمله جنگ ۱۲ روزه و جنگ رمضان در سال ۱۴۰۵– ضرورت تدوین یک چارچوب علمی برای اقدامات جبرانی بیش از پیش احساس می‌شود. این چارچوب باید بر پایه دانش بوم‌شناسی، استانداردهای بین‌المللی بازیابی، و مدیریت سازشی بنا شود تا بتواند پاسخگوی پیچیدگی‌های اکولوژیک و اجتماعی–اقتصادی سرزمین باشد (Gann et al., 2019; Carver et al., 2021).

در این یادداشت، با مرور ادبیات علمی معتبر، ۱۴ نوع اقدام جبرانی (R14) معرفی و تحلیل شده‌اند. این اقدامات طیفی از کمترین مداخله[2] تا بیشترین مداخله و بازطراحی اکوسیستم[3] را دربرمی‌گیرند و هرکدام برای شرایط خاصی از تخریب سرزمین مناسب‌اند. همچنین، کاربرد این اقدامات در اکوسیستم‌های جنگلی، مرتعی، کوهستانی، تالابی، ساحلی، رودخانه‌ای، بیابانی و مناطق آسیب‌دیده از جنگ بررسی شده است. این چارچوب می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی جبرانی، احیا، بازسازی و بازطراحی سرزمین در دوره پساجنگ و در مدیریت بلندمدت منابع طبیعی کشور باشد.

R1– Restoration: بازیابی

- تعریف: بازگرداندن اکوسیستم به وضعیت پیشین (به وضعیت مرجع تاریخی پیش از آشفتگی) (SER, 2004, 2019).
- هدف: دستیابی به ساختار طبیعی (ترکیب گونه‌های اصلی)، فرایندهای حیاتی و عملکرد زیست‌بوم (Clewell & Aronson, 2013).
- رویکردها: مبتنی‌بر مرجع تاریخی و اصول هشتگانه SER[4]، حذف عوامل استرس‌زا، باز معرفی و استقرار گونه‌های بومی (Gann et al., 2019).
- مثال: بازگرداندن تالاب خشک‌شده به شرایط پیشین.
- تمایز: برخلاف Rehabilitation که کارکرد را بهبود می‌بخشد، Restoration به وضعیت مرجع تاریخی

[1] Compensatory Measures
[2] Recovery
[3] Reallocation, Replacement
[4] این اصول، چارچوبی جهانی برای طراحی، اجرا و پایش پروژه‌های بازیابی ارائه می‌کنند: ۱) بازیابی اکوسیستم یعنی کمک به بازگشت فرآیندهای طبیعی، نه بازسازی کامل گذشته. تمرکز بر فرآیندها است، نه فقط شکل ظاهری؛ ۲) هدف بازیابی، دستیابی به زیست بوم سالم، پویا و تاب‌آور است (خود را ترمیم کند، در برابر تنش‌ها تاب بیاورد، عملکردهای اکولوژیک را حفظ کند)؛ ۳) بازیابی باید بر اساس مرجع اکولوژیک باشد (وضعیت تاریخی، وضعیت بکر مشابه، یا مدل ترکیبی)؛ ۴) بازیابی باید بهبود خالص اکولوژیک (بهبود واقعی) ایجاد کند؛ ۵) بازیابی باید مشارکت جوامع محلی را دربرگیرد؛ ۶) بازیابی باید از نظر اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی پایدار باشد (سازگار با معیشت، فرهنگ، اقتصاد)؛ ۷) بازیابی نیازمند پایش، یادگیری و سازگاری است؛ ۸) بازیابی باید شفاف، اخلاقی و مبتنی بر بهترین شواهد علمی باشد (SER, 2019).

بازمی‌گردد (Hobbs & Norton, 1996; Aronson & Alexander, 2013).

R2– Rehabilitation: بازتوانی

- تعریف: بهبود شرایط و عملکردهای اکوسیستم بدون لزوم بازگشت به ترکیب گونه‌های پیشین یا وضعیت تاریخی گذشته (Clewell & Aronson, 2013; Chapin et al., 2011).
- هدف: احیای خدمات اکوسیستم مانند کنترل سیل یا فرسایش (SER, 2004).
- رویکردها: اصلاح خاک، کاشت گونه‌های مقاوم (Gann et al., 2019).
- مثال: تبدیل معدن متروکه به تالاب مصنوعی یا تثبیت شیب‌های معدن.
- تمایز: در مقایسه با Reclamation بیشتر معطوف به کارکرد بوم‌شناختی است تا اقتصادی و در سطح پایین‌تر از Restoration قرار دارد (Hobbs & Norton, 1996).

R3– Reclamation: احیای اراضی

- تعریف: اصلاح اراضی تخریب‌شده برای کاربری مفید (اغلب کشاورزی یا سکونت) یا تبدیل زمین‌های تخریب‌شده به کاربری قابل استفاده انسانی (Perrow & Davy, 2002; Bradshaw, 1997).
- هدف: بهره‌وری اقتصادی از سرزمین و ایجاد کاربری جدید (Stanturf & Madsen, 2005).
- رویکردها: خاک‌ریزی، زهکشی، اصلاح شیمیایی خاک (Clewell & Aronson, 2013).
- مثال: پرکردن گودال معدن و تبدیل آن به زمین کشاورزی.
- تمایز: با Remediation تفاوت دارد؛ اولی تغییر فیزیک سرزمین، دومی حذف آلاینده‌ها است ولی الزاماً به وضعیت طبیعی بازنمی‌گرداند (Gann et al., 2019).

R4– Remediation: پاک‌سازی محیطی

- تعریف: حذف، کاهش یا بی‌خطرسازی آلاینده‌ها از محیط (خاک، آب یا هوا) (Perrow & Davy, 2002; US EPA, 2020).
- هدف: کاهش خطر برای سلامت انسان و محیط (SER, 2004).
- رویکردها: زیست‌پالایی، شستشوی خاک (Gann et al., 2019).
- مثال: استخراج فلزات سنگین از خاک آلوده با گیاه‌پالایی.
- تمایز: برخلاف Reclamation، الزاماً کاربری جدید ایجاد نمی‌کند (Hobbs & Norton, 1996).

R5– Recovery: ترمیم

- تعریف: بازگشت طبیعی یا تسهیل‌شده اکوسیستم به حالت پایدار پس از آشفتگی (SER, 2019).
- هدف: فرایند خودبهبودی بدون بازطراحی کامل و بازگشت تدریجی کارکردها (Clewell & Aronson, 2013).
- رویکردها: حفاظت غیرفعال (یک فرآیند است، نه مداخله)، حذف فشارهای انسانی (Gann et al., 2019).
- مثال: بازگشت پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی با توقف چرا.
- تمایز: برخلاف Restoration، مداخله مستقیم کمتری دارد (Hobbs & Norton, 1996).

R6– Regeneration: باززایی

- تعریف: تجدید طبیعی پوشش گیاهی یا جمعیت جانوری از طریق چرخه زندگی خود گونه‌ها

(SER, 2004)، باززایی طبیعی یا مدیریت‌شده گونه‌ها (Harper, 1977).

- هدف: حفظ پتانسیل خودترمیمی اکوسیستم (Clewell & Aronson, 2013).
- رویکردها: زیستی و جمعیتی، کاهش اختلال، حفاظت از بانک بذر (Gann et al., 2019).
- مثال: باززایی طبیعی جنگل، جوانه‌زنی بذرهای نهفته در خاک پس از آتش‌سوزی.
- تمایز: با Reforestation تفاوت دارد؛ دومی کاشت درخت در مقیاس وسیع است، اولی تجدید طبیعی (Stanturf & Madsen, 2005).

R7– Rebuilding: بازسازی

- تعریف: ایجاد دوباره ساختارهای فیزیکی یا زیستی ازدست‌رفته (Stanturf & Madsen, 2005).
- هدف: ایجاد دوباره اجزای ازدست‌رفته یک اکوسیستم (Perrow & Davy, 2002).
- رویکردها: مهندسی زیستگاه، تکثیر مصنوعی، سازه‌محور (Gann et al., 2019).
- مثال: کاشت متراکم نهال در منطقه جنگلی سوخته، بازسازی آبسنگ‌های مرجانی از طریق زیستگاه مصنوعی.
- تمایز: برخلاف Regeneration که طبیعی است، Rebuilding اغلب مصنوعی است (Clewell & Aronson, 2013).

R8– Rewilding: بازوحشی‌سازی

- تعریف: بازگرداندن فرایندهای طبیعی و گونه‌های کلیدی با حداقل مداخله انسانی (Perrow & Davy, 2002; Carver et al., 2021).
- هدف: ایجاد اکوسیستم‌های خودتنظیم و وابسته به آشفتگی‌های طبیعی (Gann et al., 2019).
- رویکردها: تمرکز بر خودسامانی اکوسیستم، اتصال زیستگاه‌ها، حذف زیرساخت‌ها (SER, 2004).
- مثال: قرق زیستگاه‌ها و رویشگاه‌های طبیعی برای طی مسیر طبیعی توالی، معرفی مجدد گرگ در پارک یلواستون.
- تمایز: در برابر Rehabilitation که هدف مشخص انسانی دارد، Rewilding به طبیعت اجازه می‌دهد مسیر خود را برود (Hobbs & Norton, 1996).

R9– Revegetation: بازپوشش‌سازی

- تعریف: بازگرداندن پوشش گیاهی، استقرار پوشش گیاهی در یک منطقه بدون پوشش (SER, 2019).
- هدف: تثبیت خاک، کاهش فرسایش، بهبود زیستگاه (Gann et al., 2019).
- رویکردها: بخشی از restoration محسوب می‌شود که می‌تواند با روش‌هایی همچون بذرپاشی و کاشت نهال همراه باشد (Perrow & Davy, 2002).
- مثال: کاشت گونه‌های بومی، کاشت علف‌های مقاوم در کنار جاده پس از ساخت‌وساز.
- تمایز: ساده‌ترین سطح مداخله گیاهی؛ برخلاف Restoration به تنوع گونه‌ای توجه محدودی دارد (Clewell & Aronson, 2013).

R10– Reforestation: احیای جنگل

- تعریف: کاشت یا بازگشت درختان در مناطق جنگلی تخریب‌شده، بازگرداندن جنگل پیشین، غرس درختان بومی در مناطقی که قبلاً جنگل بوده اما جنگل‌زدایی شده است (Stanturf & Madsen, 2005).
- هدف: بازیابی پوشش درختی و کارکردهای جنگلی (SER, 2004).
- رویکردها: زیرمجموعه revegetation، کاشت گونه‌های بومی، مدیریت توالی (Gann et al., 2019).

- مثال: کاشت بلوط در زاگرس پس از آتش‌سوزی.
- تمایز: با Afforestation (جنگل‌کاری در اراضی برهنه که قبلا جنگل نبوده) تفاوت دارد (Clewell & Aronson, 2013).

R11– Reintroduction: بازمعرفی گونه

- تعریف: انتقال یا رهاسازی عمدی یک گونه بومی به محدوده تاریخی آن پس از انقراض محلی (IUCN, 2020).
- هدف: احیای جمعیت گونه و کارکرد آن در شبکه غذایی (SER, 2004).
- رویکردها: بخشی از حفاظت گونه‌ای، تکثیر در اسارت و رهاسازی تدریجی (IUCN, 2020).
- مثال: بازمعرفی گوزن زرد ایرانی در پارک ملی دشت ناز.
- تمایز: برخلافRewilding که اکوسیستمی است، Reintroduction گونه‌محور است (Gann et al., 2019).

R12– Replacement: جایگزینی اکولوژیک

- تعریف: ایجاد یک اکوسیستم جایگزین با عملکردهای اکولوژیک مشابه، زمانی که بازگرداندن اکوسیستم اصلی به وضعیت مرجع امکان‌پذیر نیست. در برخی منابع به‌عنوان Substitute Ecosystem نیز آمده است (Perrow & Davy, 2002; Gann et al., 2019).
- هدف: تأمین عملکردهای اکولوژیک ازدست‌رفته (مانند تنظیم آب، زیستگاه، تنوع زیستی) از طریق ایجاد یک سامانه جدید که جایگزین سامانه تخریب‌شده می‌شود. این مفهوم در پروژه‌های معدن، تالاب‌های ازدست‌رفته، و جنگل‌های کاملاً نابودشده کاربرد دارد (Clewell & Aronson, 2013).
- رویکردها: طراحی اکوسیستم‌های جایگزین، ایجاد تالاب مصنوعی، ایجاد زیستگاه‌های جدید برای گونه‌های وابسته، مهندسی اکولوژیک (Stanturf & Madsen, 2005).
- مثال: ایجاد تالاب مصنوعی در جایی که تالاب طبیعی کاملاً از بین رفته و امکان Restoration وجود ندارد.
- تمایز: برخلاف Restoration که هدف آن بازگشت به مرجع تاریخی است، Replacement یک اکوسیستم جدید ایجاد می‌کند. برخلاف Rehabilitation که عملکرد را بهبود می‌دهد، Replacement ساختار و عملکرد جدید می‌سازد (Hobbs & Norton, 1996).

R13– Reconstruction: بازآفرینی اکولوژیک

- تعریف: بازسازی ساختار و عملکرد اکولوژیک یک اکوسیستم با استفاده از طراحی مهندسی–اکولوژیک، زمانی که بخش عمده‌ای از اجزای طبیعی از بین رفته‌اند (Perrow & Davy, 2002; Wohl et al., 2015).
- هدف: ایجاد دوباره ساختارهای کلیدی (بستر رودخانه، ریززیستگاه‌ها، پوشش گیاهی) و بازگرداندن عملکردهای اکولوژیک مانند جریان طبیعی آب، چرخه مواد و زیستگاه گونه‌ها (Clewell & Aronson, 2013).
- رویکردها: مهندسی رودخانه، بازطراحی تالاب، ایجاد ساختارهای زیستگاهی، بازسازی بسترهای تخریب‌شده، استفاده از مدل‌های اکولوژیک (Wohl et al., 2015).
- مثال: در پروژه‌های رودخانه، تالاب و جنگل کاربرد دارد. بازآفرینی مسیر طبیعی رودخانه‌ای که کاملاً کانالیزه شده و ساختار طبیعی خود را از دست داده است.

- تمایز: این مفهوم بین Rebuilding و Restoration قرار می‌گیرد. برخلاف Rebuilding که بیشتر سازه‌محور است، Reconstruction بر ساختار + عملکرد تمرکز دارد. برخلاف Restoration الزاماً به مرجع تاریخی متکی نیست و می‌تواند طراحی جدید ارائه دهد (Gann et al., 2019).

R14– Reallocation: تخصیص مجدد عملکرد اکولوژیک

- تعریف: تغییر کارکرد یک اکوسیستم به کارکردی جدید، بدون هدف بازگرداندن وضعیت گذشته؛ این مفهوم در ادبیات جدید Landscape Ecology و Adaptive Management دیده می‌شود و تمرکز بر تخصیص مجدد عملکردهای اکولوژیک براساس نیازهای جدید محیطی یا اجتماعی است (Turner et al., 2001; MEA, 2005).
- هدف: بهینه‌سازی عملکرد اکوسیستم در شرایط جدید (Costanza et al., 1997).
- رویکردها: مدیریت کاربری زمین، تغییر الگوی بهره‌برداری، ایجاد کارکردهای جدید (تنظیم آب، زیستگاه، گردشگری طبیعی)، طراحی مبتنی‌بر خدمات اکوسیستم (MEA, 2005).
- مثال: تبدیل اراضی شور یا کم‌بازده به زیستگاه پرندگان، یا تبدیل اراضی کشاورزی کم‌بازده به تالاب.
- تمایز: برخلاف Reclamation که هدف آن ایجاد کاربری اقتصادی است، Reallocation بر عملکرد اکولوژیک جدید تمرکز دارد. برخلاف Restoration هدف آن بازگشت به گذشته نیست، بلکه تعریف کارکرد جدید است (Turner et al., 2001).

جمع‌بندی

براساس آنچه آمد، Rهای مورد اشاره را می‌توان در سه سطح طبقه‌بندی کرد:

الف) سطح اکولوژیک-مرجع (هدف: بازگشت به مرجع)

این‌ها بیشترین نزدیکی را به «مرجع تاریخی» دارند.

- Restoration: بازیابی
- Rewilding: بازوحشی‌سازی
- Reintroduction: بازمعرفی گونه
- Regeneration: باززایی
- Recovery: ترمیم

ب) سطح کارکردی–خدمات اکوسیستم (هدف: بهبود عملکرد)

- Rehabilitation: بازتوانی
- Revegetation: بازپوشش‌سازی
- Reforestation: احیای جنگل
- Rebuilding: بازسازی
- Reconstruction: بازآفرینی

ج) سطح کاربری–مهندسی (هدف: کاربری جدید یا حذف آلاینده)

این سطح بیشتر با مهندسی، اقتصاد و مدیریت سرزمین پیوند دارد.

- Reclamation: احیای اراضی
- Remediation: پاک‌سازی محیطی
- Replacement: جایگزینی اکولوژیک
- Reallocation: تخصیص مجدد عملکرد

همچنین براساس روابط پیوستگی، هم‌پوشانی، تفاوت عملکردی، سطح مداخله و هدف اکولوژیک وضعیت‌های زیر قابل تشخیص است:

د) روابط پیوستگی (Continuum Links)

- Recovery → Regeneration → Restoration (از کمترین مداخله تا بیشترین اتکا به مرجع)
- Revegetation → Rehabilitation → Reconstruction (از ساده‌ترین مداخله تا بازآفرینی ساختار–عملکرد)
- Remediation → Reclamation → Replacement → Reallocation (از پاک‌سازی تا ایجاد کارکرد جدید)

هـ) روابط هم‌پوشانی (Overlap Links)

- Rewilding ↔ Restoration

هر دو مرجع‌محور، اما Rewilding کم‌مداخله‌تر است.

- Rebuilding ↔ Reconstruction

هر دو سازه‌محور، اما Reconstruction عملکردی‌تر است.

- Rehabilitation ↔ Restoration

هر دو عملکرد را بهبود می‌دهند، اما Restoration مرجع‌محور است.

و) روابط تضاد/ تمایز (Contrast Links)

- Restoration ↔ Reclamation

بازگشت به طبیعت ↔ ایجاد کاربری جدید

- Rewilding ↔ Reallocation

رهاسازی طبیعت ↔ طراحی کارکرد جدید

- Remediation ↔ Restoration

پاک‌سازی آلاینده ↔ بازگشت ساختار–عملکرد

ز) شدت مداخله (Intervention Gradient)

شدت مداخله اقدامات یادشده به شرح زیر است:

کمترین مداخله	مداخله متوسط	بیشترین مداخله
• Recovery	• Rehabilitation	• Restoration
• Regeneration	• Revegetation	• Rebuilding
• Rewilding	• Reforestation	• Reconstruction
	• Reintroduction	• Remediation
		• Reclamation
		• Replacement
		• Reallocation

ح) هدف اکولوژیک (Ecological Objective Layer)

بازگشت به مرجع (Reference Restoration)

- Restoration
- Rewilding
- Regeneration

- Reintroduction

بهبود عملکرد اکولوژیک (Functional Enhancement)

- Rehabilitation
- Revegetation
- Reforestation
- Reconstruction
- Rebuilding

تغییر کاربری/ طراحی جدید (Transformative/ Novel Ecosystems)

- Reclamation
- Replacement
- Reallocation

کاهش خطر (Risk Reduction)

- Remediation

جدول ۱، ویژگی‌های اقدامات جبرانی در مدیریت سرزمین را با یکدیگر مقایسه نموده است.

Lower Antelope Canyon, Page, United States, 2016, Photographer: Ashim D'Silva

جدول ۱- ویژگی‌های اقدامات جبرانی مختلف در مدیریت منابع اکولوژیک سرزمین

R	نوع اقدام	تعریف	هدف	رویکرد	سطح مداخله	مرجع اکولوژیک	مثال	تمایز	کاربرد	منابع
R1	**Restoration بازیابی**	بازگرداندن اکوسیستم به وضعیت مرجع تاریخی	دستیابی به ساختار و عملکرد طبیعی	حذف فشارها، بازمعرفی گونه‌ها، اصول SER	زیاد	بسیار بالا	احیای تالاب خشک‌شده	بازگشت کامل به مرجع، نه صرفاً عملکرد	تالاب‌ها، جنگل‌ها، رودخانه‌ها	Clewell & Aronson, 2013; Gann et al., 2019
R2	**Rehabilitation بازتوانی**	بهبود عملکرد اکولوژیک بدون بازگشت کامل به گذشته	احیای خدمات اکوسیستم	اصلاح خاک، کاشت گونه‌های مقاوم	متوسط	کم	تثبیت شیب معدن	پایین‌تر از Restoration	معادن، اراضی تخریب‌شده	Chapin et al., 2011
R3	**Reclamation احیای اراضی**	ایجاد کاربری جدید در اراضی تخریب‌شده	بهره‌وری اقتصادی	خاک‌ریزی، زهکشی، اصلاح شیمیایی	زیاد	ندارد	تبدیل معدن به مزرعه	کاربری‌محور، نه اکولوژیک	معادن، اراضی صنعتی	Bradshaw, 1997
R4	**Remediation پاک‌سازی محیطی**	حذف یا کاهش آلاینده‌ها	کاهش خطر برای انسان و محیط	زیست‌پالایی، شستشوی خاک	متوسط	ندارد	حذف فلزات سنگین	تمرکز بر آلودگی، نه کاربری	خاک‌های آلوده، آب‌های آلوده	US EPA, 2020
R5	**Recovery ترمیم**	بازگشت طبیعی یا تسهیل‌شده	خودبهبودی اکوسیستم	حذف فشار، حفاظت غیرفعال	کم	متوسط	بازگشت پوشش پس از آتش	بدون مداخله سنگین	جنگل‌ها، مراتع	SER, 2019
R6	**Regenerationباززایی**	تجدید طبیعی گونه‌ها	حفظ پتانسیل خودترمیمی	حفاظت بانک بذر، کاهش اختلال	کم	بالا	باززایی طبیعی جنگل	طبیعی‌تر از Reforestation	جنگل‌های طبیعی	Harper, 1977
R7	**Rebuilding بازسازی**	ایجاد دوباره ساختارهای زیستی	بازسازی اجزای ازدست‌رفته	مهندسی زیستگاه، تکثیر مصنوعی	زیاد	کم	بازسازی مرجان‌ها	سازه‌محور، مصنوعی	جنگل، مرجان، رودخانه	Stanturf & Madsen, 2005
R8	**Rewilding بازوحشی‌سازی**	بازگرداندن فرایندهای طبیعی	خودسامانی اکوسیستم	حذف زیرساخت، اتصال زیستگاه	کم	بالا	معرفی حیات‌وحش	بدون هدف انسانی مشخص	پارک‌ها، مناطق حفاظت‌شده	Carver et al., 2021
R9	**Revegetation بازپوشش‌سازی**	ایجاد پوشش گیاهی	تثبیت خاک، کاهش فرسایش	بذرپاشی، کاشت نهال	متوسط	کم	کاشت کنار جاده	ساده‌ترین سطح مداخله	جاده‌ها، شیب‌ها	Perrow & Davy, 2002
R10	**Reforestation احیای جنگل**	بازگشت پوشش درختی	بازیابی عملکرد جنگلی	کاشت گونه‌های بومی	متوسط	متوسط	کاشت درختان سابق	متفاوت از Afforestation	جنگل‌های تخریب‌شده	Stanturf & Madsen, 2005
R11	**Reintroduction بازمعرفی گونه**	بازگرداندن گونه به زیستگاه تاریخی	احیای جمعیت و نقش اکولوژیک	تکثیر در اسارت، رهاسازی	متوسط	بالا	بازمعرفی گونه	گونه‌محور، نه اکوسیستمی	حفاظت گونه‌ها	IUCN, 2020
R12	**Replacement جایگزینی اکولوژیک**	ایجاد اکوسیستم جدید با عملکرد مشابه	تأمین عملکرد اکولوژیک از دست‌رفته	طراحی اکوسیستم جایگزین	زیاد	ندارد	تالاب مصنوعی	ایجاد سامانه جدید	معادن، تالاب‌های نابودشده	Perrow & Davy, 2002
R13	**Reconstruction بازآفرینی اکولوژیک**	بازسازی ساختار + عملکرد	بازگرداندن فرآیندهای کلیدی	مهندسی رودخانه، بازطراحی تالاب	زیاد	متوسط	بازآفرینی رودخانه	فراتر از سازه‌سازی	رودخانه‌ها، تالاب‌ها	Wohl et al., 2015
R14	**Reallocationتخصیص مجدد عملکرد**	تغییر کارکرد اکوسیستم	تعریف عملکرد جدید	مدیریت کاربری، طراحی خدمات اکوسیستم	متوسط	ندارد	تبدیل اراضی شور به زیستگاه	کارکردمحور، نه مرجع‌محور	اراضی کم‌بازده	Turner et al., 2001; MEA, 2005

رویکردهای راهبردی برای کشور:

۱) جنگل‌های ایران (هیرکانی، زاگرس، ارسباران)

- Restoration

کاربرد: مناسب برای لکه‌های شدیداً تخریب‌شده (قطع، جاده، ویلاسازی)؛

اقدام: بازیابی ساختار و عملکرد جنگل با مرجع تاریخی (ترکیب گونه‌های بومی، ساختار سنی).

- Regeneration & Recovery

کاربرد: عرصه‌های آتش‌سوزی، چرا، تخریب متوسط؛

اقدام: قرق، کاهش فشار، اجازه به باززایی طبیعی.

- Reforestation

کاربرد: عرصه‌های جنگل‌زدایی‌شده، شیب‌های برهنه‌شده؛

اقدام: کاشت گونه‌های بومی (بلوط، راش، ممرز) با طراحی توالی.

- Rehabilitation

کاربرد: جنگل‌های نیمه‌تخریب‌شده با افت عملکرد (فرسایش، کاهش تنوع)؛

اقدام: اصلاح خاک، احیای عملکرد اکولوژیک (آب، خاک، زیستگاه).

- Rewilding

کاربرد: مناطق حفاظت‌شده هیرکانی و زاگرس؛

اقدام: کاهش زیرساخت، تقویت فرایندهای طبیعی، اتصال زیستگاه‌ها.

- Reintroduction

کاربرد: معرفی مجدد گونه‌های کلیدی (گوزن زرد، مرال، پلنگ)؛

اقدام: تکثیر در اسارت، رهاسازی، احیای نقش اکولوژیک.

۲) مراتع ایران (فلات مرکزی، زاگرس، البرز)

- Recovery

کاربرد: مراتع با فشار زیاد چرا؛

اقدام: مدیریت چرا، استراحت مرتع، بازگشت تدریجی پوشش.

- Regeneration

کاربرد: مراتع نیمه‌تخریب‌شده با بانک بذر فعال؛

اقدام: کاهش اختلال، حفاظت از خاک، جلوگیری از شخم.

- Revegetation

کاربرد: شیب‌های فرسایش‌یافته، حاشیه جاده‌ها، حاشیه روستا؛

اقدام :بذرپاشی گونه‌های بومی مرتعی، تثبیت خاک.

- Rehabilitation

کاربرد: مراتع با افت عملکرد (فرسایش، کاهش تولید علوفه)؛

اقدام: اصلاح خاک، مدیریت آب، احیای عملکرد اکولوژیک.

- Reallocation

کاربرد: مراتع کم‌بازده در حاشیه شهرها؛

اقدام: تبدیل بخشی به فضاهای سبز طبیعی، زیستگاه حیات‌وحش.

۳) اکوسیستم‌های کوهستانی (البرز، زاگرس، ارتفاعات منفرد)

- Restoration

کاربرد: مناطق تخریب‌شده توسط جاده، معدن، ویلاسازی؛

اقدام: احیای ساختار طبیعی شیب، پوشش گیاهی، جریان آب.

- Rehabilitation & Revegetation

کاربرد: شیب‌های ناپایدار، فرسایش شدید؛

اقدام: تثبیت شیب، پوشش گیاهی حفاظتی، کاهش رانش.

- Reclamation & Replacement

کاربرد: معادن کوهستانی متروکه؛

اقدام: احیای اراضی، ایجاد زیستگاه جایگزین (تالاب کوچک، مرتع).

- Rewilding

کاربرد: مناطق حفاظت‌شده کوهستانی؛

اقدام: کاهش زیرساخت، تقویت فرایندهای طبیعی (برف، رواناب، توالی).

٤) تالاب‌های داخلی

- Restoration

کاربرد: تالاب‌های خشک‌شده یا به‌شدت تخریب‌شده؛

اقدام: احیای رژیم آب، پوشش گیاهی، ساختار زیستگاه.

- Remediation

کاربرد: تالاب‌های آلوده به فاضلاب، فلزات سنگین، سموم؛

اقدام: زیست‌پالایی، کاهش بار آلاینده.

- Rehabilitation

کاربرد: تالاب‌های با افت عملکرد (کاهش پرندگان، کاهش تصفیه طبیعی)؛

اقدام: بهبود عملکرد اکولوژیک (تنظیم آب، زیستگاه).

- Replacement & Reallocation

کاربرد: تالاب‌های از دست‌رفته، اراضی شور؛

اقدام: ایجاد تالاب‌های مصنوعی، تبدیل اراضی کم‌بازده به زیستگاه پرندگان.

- Rewilding

کاربرد: تالاب‌های حفاظت‌شده؛

اقدام: کاهش مداخله انسانی، اجازه به توالی طبیعی.

٥) مناطق ساحلی (خطه شمالی و جنوبی)

- Restoration

کاربرد: نوار ساحلی تخریب‌شده (ساخت‌وساز، جاده، بندر)؛

اقدام: احیای کمربندهای طبیعی، پوشش گیاهی ساحلی، ساختار ساحل.

- Rehabilitation & Revegetation

کاربرد: سواحل فرسایش‌یافته؛

اقدام: پوشش گیاهی تثبیت‌کننده، احیای عملکرد حفاظتی.

- Replacement

کاربرد: زیستگاه‌های ساحلی کاملاً نابودشده؛

اقدام: ایجاد تالاب‌های ساحلی مصنوعی، زیستگاه جایگزین.

- Reallocation

کاربرد: اراضی ساحلی کم‌بازده؛

اقدام: تبدیل به زیستگاه پرندگان، فضاهای طبیعی آموزشی.

- Rewilding

کاربرد: بخش‌های حفاظت‌شده ساحلی؛

اقدام: حذف زیرساخت‌های غیرضروری، اتصال زیستگاه‌ها.

٦) رودخانه‌ها و حوضه‌های آبریز

- Reconstruction & Restoration

کاربرد: رودخانه‌های کانالیزه‌شده، تغییر مسیر داده‌شده؛

اقدام: بازآفرینی بستر طبیعی، احیای سیلاب‌دشت، جریان‌های زیست‌محور.

- Remediation

کاربرد: رودخانه‌های آلوده به فاضلاب، صنعتی، کشاورزی؛

اقدام: کاهش بار آلاینده، تصفیه طبیعی، زیست‌پالایی.

- Rehabilitation

کاربرد: رودخانه‌های با افت عملکرد (کاهش خودپالایی، کاهش تنوع)؛

اقدام: احیای عملکرد اکولوژیک (خودپالایی، زیستگاه).

- Reallocation

کاربرد: سیلاب‌دشت‌های اشغال‌شده؛

اقدام: بازتخصیص بخشی از اراضی به کارکرد سیلاب‌دشتی و تالابی.

- Rewilding

کاربرد: بخش‌های حفاظت‌شده رودخانه‌ای؛

اقدام: کاهش مهندسی سخت، تقویت فرایندهای طبیعی.

۷) بیابان‌ها و اراضی خشک

- Rehabilitation & Revegetation

کاربرد: حاشیه بیابان، اراضی در معرض بیابان‌زایی؛
اقدام: پوشش گیاهی مقاوم، تثبیت خاک، کاهش فرسایش بادی.

- Reclamation

کاربرد: اراضی شور، تخریب‌شده، حاشیه شهرها؛
اقدام: احیای اراضی برای کاربری سازگار (نه لزوماً کشاورزی کلاسیک).

- Reallocation

کاربرد: اراضی کم‌بازده؛
اقدام: تبدیل به زیستگاه حیات‌وحش، مناطق آموزشی، پارک‌های بیابانی.

- Replacement

کاربرد: اراضی کاملاً تخریب‌شده (معدن، لندفیل زباله)؛
اقدام: ایجاد اکوسیستم‌های جدید با عملکرد حفاظتی یا آموزشی.

- Recovery

کاربرد: مناطق با فشار انسانی کاهش‌یافته؛
اقدام: اجازه به فرایندهای طبیعی برای بازگشت تدریجی.

۸) جمع‌بندی اقدامات جبرانی راهبردی اکوسیستم‌های اصلی کشور

اقدامات جبرانی راهبردی در کلان اکوسیستم‌های کشور را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- جنگل و تالاب
  - Restoration + Regeneration + Rewilding + Reintroduction
- مرتع و کوهستان
  - Recovery + Rehabilitation + Revegetation + Reforestation
- رودخانه و ساحل
  - Reconstruction + Remediation + Restoration + Reallocation
- بیابان و اراضی خشک
  - Rehabilitation + Reclamation + Replacement + Reallocation

سرزمین‌های آسیب‌دیده از حملات نظامی اخیر

خلاصه اقدامات جبرانی بخش‌هایی از سرزمین به‌ویژه اکوسیستم‌های طبیعی که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از حملات نظامی آمریکا و رژیم اسرائیل و پاسخ‌های نظامی گریزناپذیر ایران به این تهاجم‌های نظامی را می‌توان به تفکیک اکوسیستم‌های اصلی کشور به شرح زیر بیان نمود.

۱. جنگل‌ها و کوهستان‌ها (ناشی از آتش‌سوزی، انفجار، جاده‌های نظامی)

- Recovery / Regeneration

مکان: جنگل‌های سوخته، شیب‌های تخریب‌شده؛
ضرورت: توقف فشار و اجازه به باززایی طبیعی.

- Reforestation / Revegetation / Rehabilitation

مکان: لکه‌های شدیداً تخریب‌شده، حاشیه جاده‌ها، مناطق بمباران‌شده؛
ضرورت: بازگرداندن پوشش، تثبیت خاک، احیای عملکرد اکولوژیک.

- Restoration در مناطق شاخص

مکان: مناطق حساس و تحت حفاظت آسیب‌دیده با ارزش حفاظتی بالا؛
ضرورت: بازگرداندن ساختار و عملکرد نزدیک به مرجع تاریخی.

۲. تالاب‌ها، رودخانه‌ها و سواحل (ناشی از نشت سوخت، آلودگی شیمیایی، تخریب زیرساخت)

- Remediation

مکان: تالاب‌های آلوده، رودخانه‌های در معرض نشت سوخت و مواد شیمیایی، سواحل تخریب‌شده؛
ضرورت: کاهش خطر برای سلامت انسان و حیات‌وحش، حذف آلاینده‌ها.

- Rehabilitation

مکان: تالاب‌ها و رودخانه‌هایی که عملکردشان (خودپالایی، زیستگاه) مختل شده؛
ضرورت: احیای عملکرد اکولوژیک، نه لزوماً بازگشت کامل به گذشته.

- Reconstruction / Restoration در نقاط کلیدی

مکان: رودخانه‌های کانالیزه‌شده، تالاب‌های تخریب‌شده؛
ضرورت: بازآفرینی بستر طبیعی، احیای سیلاب‌دشت، ساختار زیستگاه.

۳. شهر- حاشیه شهر- اراضی صنعتی (ناشی از انفجار، تخریب، آلودگی خاک و هوا)

- Remediation

مکان: خاک‌های آلوده اطراف پایگاه‌ها، صنایع، انبارهای سوخت؛
ضرورت: کاهش خطر برای مردم و محیط.

- Reclamation / Replacement

مکان: اراضی کاملاً تخریب‌شده (پاسگاه‌های متروکه، مناطق صنعتی آسیب‌دیده)؛
ضرورت: تبدیل به کاربری سازگارتر (فضای سبز، زیستگاه، کاربری آموزشی).

- Reallocation

مکان: حاشیه شهرها و نوارهای آسیب‌دیده؛
ضرورت: بازتخصیص بخشی از اراضی به کارکردهای اکولوژیک (پارک‌های طبیعی، کمربند سبز).

٤. بیابان‌ها و حاشیه بیابان (ناشی از افزایش فرسایش، تخریب پوشش)

- Rehabilitation / Revegetation

مکان: حاشیه بیابان، اراضی در معرض بیابان‌زایی؛
ضرورت: تثبیت خاک، کاهش فرسایش بادی، جلوگیری از گسترش تخریب.

- Recovery

مکان: مناطقی که در آن‌ها فشارهای انسانی پس از درگیری کاهش یافته؛
ضرورت: اجازه به فرایندهای طبیعی برای ترمیم تدریجی.

۵. اولویت‌بندی کلی در اقدامات جبرانی پسا حمله نظامی

اولویت اقدامات جبرانی برای بهبود و ساماندهی سرزمین آسیب دیده از حملات نظامی به شرح زیر است:

- اقدامات فوری: توقف فشارها– Remediation (پاکسازی)، Regeneration /Recovery (ترمیم و باززایی).
- اقدامات اولیه: Rehabilitation/ Revegetation /Reforestation (بازتوانی و بازپوشش‌سازی).
- اقدامات میان‌مدت: Restoration/ Reconstruction (در نقاط کلیدی با ارزش حفاظتی و اجتماعی بالا).
- اقدامات بلندمدت: Reallocation/ Replacement /Rewilding (بازطراحی کارکردها، تقویت خودسامانی).

اقدامات جبرانی در فرونشست زمین

فرونشست در ایران یک بحران اکولوژیک–ژئومورفیک است، نه یک مشکل قابل‌حل با یک مداخله واحد. لذا از میان اقدامات جبرانی، آن‌هایی که با ماهیت فرونشست سازگارند، محور توجه قرار می‌گیرند. لازم به تأکید است که

فرونشست قابل بازگشت نیست[1] اما قابل مهار، کندسازی و قابل جبران عملکردی است. بنابراین آن دسته از اقدامات جبرانی که بر آب، خاک، عملکرد اکولوژیک و بازتخصیص کارکرد تمرکز دارند، بیشترین اثر را دارند که برحسب اولویت معرفی می‌شوند.

۱- Reallocation (تخصیص مجدد عملکرد اکولوژیک (اولویت اول)

در مناطق فرونشستی، زمین دیگر قابلیت کاربری قبلی را ندارد (کشاورزی، ساخت‌وساز، صنعت)، بنابراین باید کارکرد جدید تعریف شود:

- تبدیل اراضی فرونشستی به پارک‌های طبیعی
- تبدیل به مناطق تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی
- تبدیل به کریدورهای اکولوژیک
- تبدیل به مناطق حفاظت‌شده خاک

دشت‌های مرتبط: اصفهان، مهیار، رفسنجان، ورامین، دشت تهران، کبودرآهنگ، همدان، مشهد، یزد–اردکان، کرمان.

۲- Rehabilitation - بازتوانی عملکرد اکولوژیک (اولویت دوم)

فرونشست یعنی؛ افت شدید سطح آب زیرزمینی، از بین رفتن تخلخل خاک و کاهش عملکرد اکولوژیک. بازتوانی با هدف بهبود عملکرد خاک و آب، نه بازگشت به گذشته در دستور کار قرار می‌گیرد. زیرا بازتوانی می‌تواند؛ نفوذپذیری خاک را افزایش دهد، فرسایش را کاهش دهد و عملکرد هیدرولوژیک را بهبود بخشد.

دشت‌های مرتبط: تمام دشت‌های کشاورزی با افت آب زیرزمینی.

۳- Remediation - پاک‌سازی محیطی (اولویت سوم)

برای مناطقی که فرونشست همراه با آلودگی آب زیرزمینی است توصیه می‌شود. زیرا در بسیاری از دشت‌ها، فرونشست با آلودگی نیترات، فلزات سنگین و فاضلاب همراه است و Remediationمی‌تواند؛ کیفیت آب را بهبود دهد، خطرات بهداشتی را کاهش دهد و امکان Recharge را فراهم کند.

دشت‌های مرتبط: ورامین، مشهد، اصفهان، کرمان، رفسنجان.

٤- Reallocation + Replacement - ایجاد اکوسیستم‌های جایگزین (اولویت چهارم)

برای مناطقی توصیه می‌شود که فرونشست شدید و غیرقابل استفاده شده است. زیرا در برخی دشت‌ها، زمین ترک‌خورده، نشست کرده و زیرساخت‌ها را تخریب کرده است. در این مناطق باید اکوسیستم جدید ایجاد شود (تالاب‌های مصنوعی، پارک‌های بیابانی، مناطق تغذیه آب زیرزمینی، فضاهای سبز طبیعی)

دشت‌های مرتبط: دشت مهیار، دشت رفسنجان، جنوب تهران، دشت یزد–اردکان.

۵- Recovery - ترمیم طبیعی (اولویت پنجم)

فقط در مناطقی که افت آب زیرزمینی قابل جبران است توصیه می‌شود. زیرا اگر برداشت آب کاهش یابد و تغذیه افزایش یابد، بخشی از عملکرد طبیعی خاک می‌تواند برگردد.

دشت‌های مرتبط: دشت‌هایی با افت متوسط، مانند قزوین، ساوه، سمنان، نیشابور.

٦- Reconstruction - بازآفرینی ساختار هیدرولوژیک (اولویت ششم)

این اقدام برای بازطراحی مسیرهای آب، سیلاب‌دشت‌ها و تغذیه مصنوعی پیشنهاد می‌شود. زیرا فرونشست نتیجه بی‌تعادلی هیدرولوژیک است. بازآفرینی می‌تواند؛ مسیرهای آب را اصلاح کند، سیلاب‌دشت‌ها را فعال کند و تغذیه آب زیرزمینی را افزایش دهد.

[1] Irreversible deformation

دشت‌های مرتبط: دشت‌های با رودخانه‌های خشک‌شده مانند زاینده‌رود، کرخه، کارون، هلیل‌رود.

کدام Rها برای فرونشست کاربرد ندارند؟

- Restoration– بازیابی کامل: چون فرونشست برگشت‌پذیر نیست.
- Rewilding– بازوحشی‌سازی: مگر در مناطق تبدیل‌شده به پارک طبیعی.
- Reintroduction– بازمعرفی گونه: فقط در مناطق تبدیل‌شده به زیستگاه.
- Reforestation /Revegetation: فقط نقش کمکی دارند، نه حل مسئله.

اولویت‌بندی اقدامات جبرانی راهبردی برای فرونشست زمین در کشور به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

سطح اقدام	Rهای مناسب	توضیح
اقدام فوری	Remediation – Rehabilitation	کاهش خطر، بهبود عملکرد خاک و آب
اقدام میان‌مدت	Reallocation – Reconstruction	بازطراحی کارکرد و ساختار هیدرولوژیک
اقدام بلندمدت	Replacement – Recovery	ایجاد اکوسیستم‌های جدید و ترمیم تدریجی

منابع

Aronson, J., & Alexander, S. (2013). Ecosystem restoration is now a global priority: Time to roll up our sleeves. Restoration Ecology, 21(3), 293–296. https://doi.org/10.1111/rec.12011

Bradshaw, A. (1997). Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological engineering*, *8*(4), 255-269.

Carver, S., Convery, I., Hawkins, S., Beyers, R., Eagle, A., Kun, Z., Van Maanen, E., Cao, Y., Fisher, M., Edwards, S. R., Nelson, C., Gann, G. D., Shurter, S., Aguilar, K., Andrade, A., Ripple, W. J., Davis, J., Sinclair, A., Bekoff, M., Noss, R., Foreman, D., Pettersson, H., Root-Bernstein, M., Svenning, J.-C., Taylor, P., Wynne-Jones, S., Featherstone, A. W., Fløjgaard, C., Stanley-Price, M., Navarro, L. M., Aykroyd, T., Parfitt, A., & Soulé, M. (2021). Guiding principles for rewilding. Conservation Biology, *35*(6), 1882–1893. https://doi.org/10.1111/cobi.13730

Chapin, F. S., Matson, P., & Vitousek, P. (2011). Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer.

Clewell, A. F., & Aronson, J. (2013). Ecological restoration: Principles, values, and structure of an emerging profession (2nd ed.). Island Press.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387(6630), 253–260.

Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., … & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Restoration Ecology, 27(S1), S1–S46.

Harper, J. L. (1977). Population Biology of Plants. London: Academic Press.

Hobbs, R. J., & Norton, D. A. (1996). Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology, 4(2), 93–110.

IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2020). Guidelines for reintroductions and other conservation translocations. IUCN Species Survival Commission.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). Ecosystems and human well-being. Island Press.

Perrow, M. R., & Davy, A. J. (Eds.). (2002). Handbook of ecological restoration (Vols. 1–2). Cambridge University Press.

Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). Landscape ecology in theory and practice. Springer.

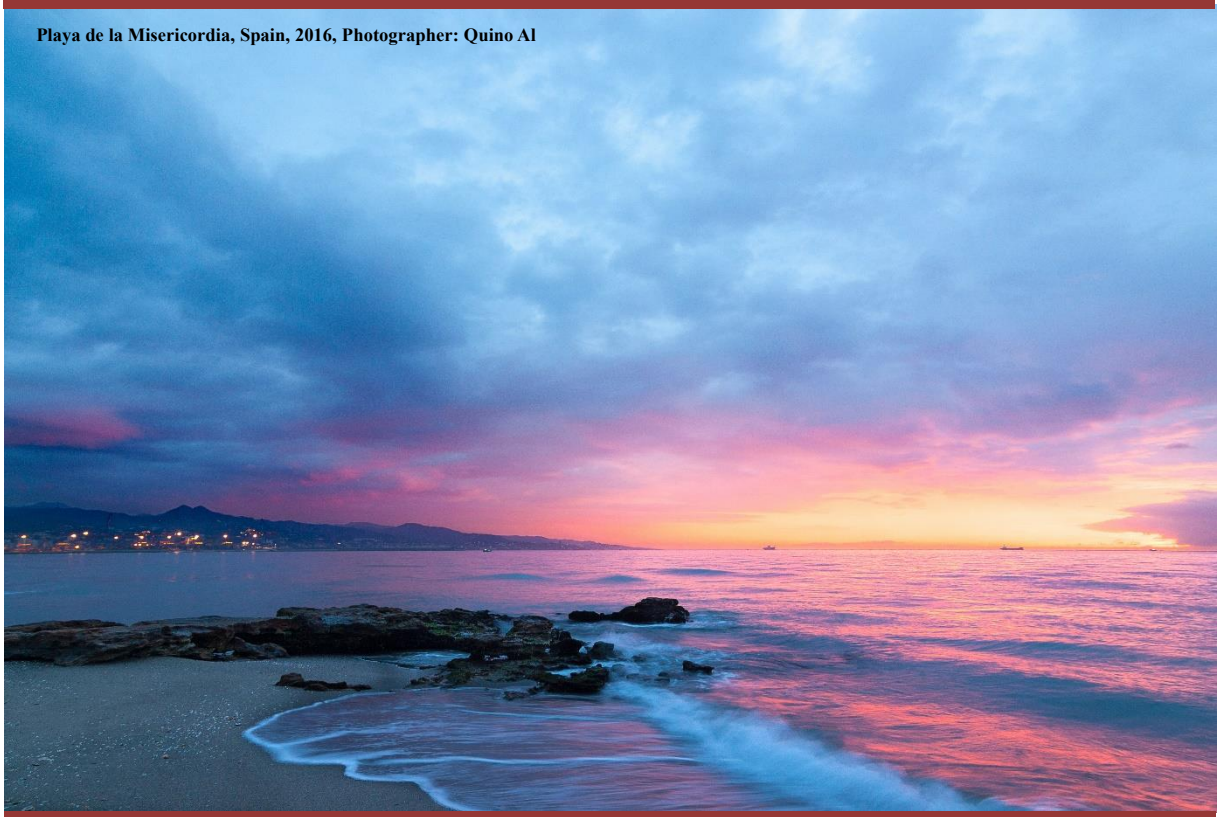
U.S. Environmental Protection Agency. (2020). Superfund remedy report (16th ed., EPA Publication No. 542-R-20-001). https://www.epa.gov/remedytech/superfund-remedy-report.

Wohl, E., Lane, S. N., & Wilcox, A. C. (2015). The science and practice of river restoration. Water Resources Research, 51(8), 5974–5997. https://doi.org/10.1002/2014WR016874.

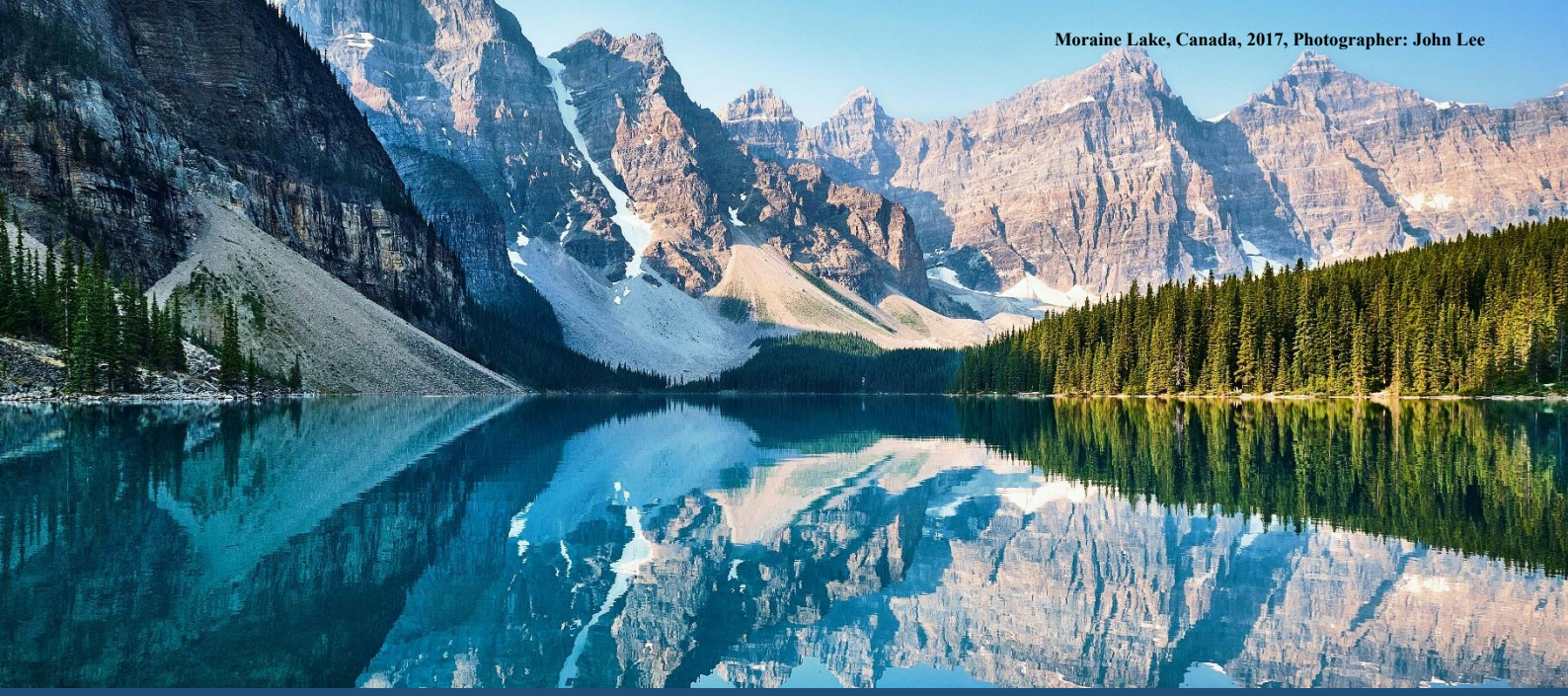
Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J. L., Sheil, D., Meijaard, E., … & Buck, L. E. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(21), 8349–8356.

SER (Society for Ecological Restoration). (2004). The SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International.

Stanturf, J. A., & Madsen, P. (Eds.). (2005). Restoration of boreal and temperate forests (Integrative Studies in Water Management & Land Development). CRC Press.



Playa de la Misericordia, Spain, 2016, Photographer: Quino Al



Moraine Lake, Canada, 2017, Photographer: John Lee

14R
Compensatory Measures in Land Management

Afshin Danehkar
Professor, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
Author's E-mail: danehkar@ut.ac.ir

Abstract
Compensatory measures represent a core component of land management, aiming to restore ecological structure, function, and services in degraded landscapes. Building on international ecological restoration standards and scientific literature, this document presents a comprehensive framework of 14 compensatory approaches (R1–R14), ranging from minimal intervention to full ecosystem redesign. These approaches address degradation caused by war, climate change, unsustainable land use, and human pressures, offering a structured basis for ecological recovery, reconstruction, and adaptive management. The document clarifies the definitions, objectives, and distinctions among the R categories and examines their applicability across Iran's forest, rangeland, mountain, and wetland ecosystems. It further outlines policy pathways for post-war landscape rehabilitation and long-term ecological resilience. This integrated scientific–policy framework provides practical guidance for decision makers, environmental managers, and restoration practitioners seeking to implement effective compensatory actions and support sustainable land recovery.

Keywords: Ecological Reconstruction, Land resilience, Adaptive Management, Ecosystem Services, Post-Conflict Redesign

Danehkar, A. (2026). 14RCompensatory Measures in Land Management. *Zist Sepehr Student Magazine*, 19(1), 60-76.