

تجربه موفق بین‌المللی در همکاری فنی با آژانس بین‌المللی انرژی اتمی IAEA

این تجربه موفق حاصل همکاری‌های فنی ایران و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) و به عنوان یکی از پروژه‌های مصوب ایران برای دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ به مدت ۳ سال از سوی دفتر رابط همکاری‌های فنی^۱ با IAEA و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی انجام شده است. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به عنوان مجری اصلی با پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی کشور به عنوان مجری دوم در اجرای این پروژه همکاری کرده‌اند. از طرفی، اجرای این پروژه ملی با شاخص‌ها و نیازمندی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به عنوان کاربر اصلی نتایج، هماهنگ شده است. این پروژه، برای نخستین بار در کشور از منظر مقیاس و روش هدایت شده توسط IAEA از تکنیک‌های رادیوایزوتوپی در بررسی و آشکارسازی اثرات در محل و دور از محل جنگل‌زدایی و بهره‌برداری از اراضی جنگلی در شمال ایران اجرا شده است.

بروندادهای این تجربه موفق (PPAR-2018) توسط افسر فنی^۲ و افسر هماهنگی پروژه^۳ مستقر در IAEA و رئیس رابط همکاری‌های فنی مورد تأیید قرار گرفته است. اهداف این همکاری فنی به ترتیب برآورد نرخ بازپخش خاک از عرصه‌های معرف تغییر کاربری اراضی جنگلی به کاربری‌های خاص و تعیین نرخ انتقال رسوب و رسوبگذاری به محیط‌های رسوبی واقع شده در پایاب حوزه‌های آبخیز به منظور کمی‌سازی اثرات دوره‌های جنگل‌زدایی و ارتقاء دانش فنی کارشناسان و محققین پژوهشکده‌ها و دستگاه‌های دولتی ذی‌مدخل در مطالعات و تحقیقات برآورد فرسایش تعریف شد. از طرفی این همکاری بین‌المللی به عنوان یک پروژه خاص طی قرارداد شماره ۹۶/۶/۱۹۲۰۶ با سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری به عنوان کاربر نهایی^۴ برای اجرا در استانهای گیلان، مازندران و گلستان مورد توافق قرار گرفت.

جنگل‌های هیرکانی به مساحت ۱/۸۵ میلیون هکتار معادل ۱۳/۵ درصد از کل جنگل‌های ایران به شمار رفته که از این مقدار ۲۰ درصد جنگل‌های حفاظتی، یک درصد جنگل‌های جلگه‌ای هستند. این جنگل‌ها از دیرباز به عنوان مهم‌ترین منابع طبیعی مورد بهره‌برداری‌های متنوعی قرار داشته‌اند. برآوردها نشان از کاهش پوشش جنگلی ۲۷، ۲۲ و ۲۱ درصدی به ترتیب در استان‌های گلستان، مازندران و گیلان طی قرن اخیر دارد.

بهره‌برداری از جنگل‌های هیرکانی در مقیاس محلی و منطقه‌ای توسط ساکنین جنگل و شرکت‌های دارای مجوز و در قالب طرح‌های جنگل‌داری عمدتاً از ۵۰ سال گذشته و به روش جنگل‌شناسی قطع یکسره و در دو دهه اخیر به

¹ The National Liaise Office

² Technical Officer

³ Programme Management Officer

⁴ End user

روش تک گزینی انجام شده است. از طرفی در گذر زمان، بازکاشت عرصه‌های پاک تراشی شده به روشهای مختلف از جمله کاشت درختان دانه زاد ناهمسال و دانه زاد همسال به منظور استحصال چوب برای صنایع چوب و کاغذ انجام شده است. در این خصوص، مساحت کل جنگل‌های احیاء شده از آغاز اقدام‌های مدیریتی در جنگل توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری تاکنون حدود ۵۰۰۰۰۰ هکتار می‌باشد.

بهره‌برداری از جنگل و به تعبیری جنگل‌زدایی دارای اثرات در محل (On-site) و دور از محل (Off-site) قابل ملاحظه‌ای بر منابع طبیعی بویژه خاک و آب و محیط‌های رسوبی واقع در پایاب حوضه‌ها به ویژه تالابها و دریاچه‌ها و نوار ساحلی داشته است. فرسایش خاک، هدر رفت مواد مغذی خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش انتقال رسوب، افزایش قابل ملاحظه انباشت رسوب، فزونی مواد آلی^۵، و آلودگی منابع آب و رسوب رودخانه‌ها و تالاب‌ها از مهمترین پیامدهای تغییر کاربری اراضی جنگلی هیرکانی تشخیص داده شدند.

برای دستیابی به اهداف یاد شده، ده‌ها حوزه آبخیز جنگلی که دارای سوابق تغییر کاربری اراضی جنگلی و چندین تالاب و دریاچه در پایاب آنها قرار داشت مورد بازدید و تدقیق قرار گرفتند. در استان گیلان، حوضه آبخیز چافرود به دلیل دارا بودن سوابق جنگل‌داری و زهکش شدن رودخانه چافرود به تنهایی در بخش آبکنار تالاب انزلی و حوضه معرف کاربری چایکاری در شرق لاهیجان انتخاب شدند. در استان مازندران، بخش‌های مرکزی و شرقی به ترتیب در مناطق چمستان و حوضه آبخیز نکارود که دارای سوابق مشخص اجرای طرح‌های جنگل‌داری و کاربری دیم بودند، انتخاب شدند. در استان گلستان نیز مناطق کاربری‌های خاص حاصل از تغییر کاربری اراضی جنگلی عمدتاً به دیمزار و اثر بخشی جنگل‌کاری درختان سوزنی برگ در حفاظت خاک در مناطق آزادشهر و گالیکش مورد بررسی قرار گرفتند.

در مجموع، تعداد ۱۴۲، ۱۳۹ و ۱۱۵ نمونه خاک به ترتیب از مناطق مرجع و عرصه‌های معرف استان‌های گلستان، مازندران و گیلان با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر خاک^۶ و دستگاه لایه بردار خاک^۷ برداشته شده است. استراتژی نمونه‌برداری بر اساس تغییر کاربری‌های خاص و در طول و مقیاس ترانسکت انجام شده است. کوتاه‌ترین و بلندترین ترانسکت‌ها به طول ۱۰۰ و ۱۰۰۰ متر به ترتیب در استان‌های گیلان و گلستان و به دلیل شرایط شیب و نوع کاربری جدید اراضی جنگلی و اراضی دیم بوده است. همچنین تعداد ۴ مغزه رسوبی از ستون رسوبات بخش آبکنار تالاب انزلی و یک مغزه رسوبی از دریاچه ولشت به منظور بررسی اثرات دور از محل جنگل‌زدایی از منظر افزایش نرخ آورد رسوب و رسوبگذاری نسبت به شرایط طبیعی دریاچه برداشته شد. از ۲ مغزه رسوبی منتخب تعداد ۱۸۰ زیر-نمونه استحصال شد. رادیو اکتیویته ¹³⁷Cs نمونه‌های خاک در آزمایشگاه گاما اسپکترومتر پرتوهشکده چرخه سوخت

⁵ Eutrophication

⁶ Bulk corer

⁷ Scraper plate

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای کشور و فعالیت رادیوایزوتوپ‌های ^{226}Ra و ^{210}Pb ، ^{137}Cs نمونه‌های رسوب در آزمایشگاه گاما اسپکترومتر کشور مراکش آنالیز شدند.

نتایج نشان داد (شکل‌های ۳۵ تا ۳۸) که به طور کلی نرخ فرسایش خاک در اراضی تغییر کاربری یافته جنگلی شمال کشور برابر تا دو برابر نرخ متوسط فرسایش خاک کشور ($15/54$ تن در هکتار در سال) است. بر این اساس، بیشترین تخریب اراضی از منظر فرسایش و هدر رفت مواد مغذی خاک در تغییر کاربری اراضی جنگلی به دیم‌زار و به ویژه در استان‌های مازندران و گلستان رخ داده است که در این کاربری هدر رفت خاک و مواد آلی تا ۶۷ درصد و نرخ فرسایش خاک 32 ± 2 تن در هکتار در سال نسبت به سایت مرجع بدست آمده است. تحت چنین شرایطی، نیم‌رخ خاک اراضی تپه ماهوری با کاربری دیم‌زار، با نرخ متوسط $0/163$ تا $0/196$ سانتیمتر در سال فرسایش می‌یابد (Gharibreza et al., 2020).

از دستاوردهای مهم و نوآورانه این مطالعه کارایی روش‌های ایزوتوپیک آشکارسازی اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی به مزارع چوب صنعتی توسط شرکت‌های دارای مجوز از منظر روش جنگل‌شناسی بهره‌برداری و روش جنگل‌داری بازکاشت در نرخ فرسایش خاک بوده است. پیمایش‌های وسیع میدانی و اسناد موجود نشان می‌دهد که بخش عمده اراضی جنگلی به روش جنگل‌شناسی قطع یکسره و پاک تراشی بهره‌برداری شده‌اند. لذا تحت شرایط اجرایی خاص هر طرح جنگل‌داری، در بازه‌های زمانی مختلف تا زمان بازکاشت در معرض فرسایش سطحی قرار داشته‌اند. از این‌رو، این عرصه‌ها در حین پاک تراشی و تا زمان بازکاشت، تحت رژیم متفاوت بارشی و شیب و پس از آن تا رسیدن درختان به مرحله "تیر" و ایجاد تاج پوشش^۸ مناسب فرسایش قابل ملاحظه‌ای را تجربه کرده‌اند.

بر این اساس، روش جنگل‌داری کاشت درختان دانه‌زاد همسال نسبت به کاشت درختان دانه‌زاد نا همسال به دلیل رشد همگون و فقدان فضای خالی و تاج پوشش یکنواخت از منظر جلوگیری از فرسایش خاک اثر بخشی به مراتب بهتری داشته‌اند. در استان مازندران، نرخ متوسط فرسایش $27/11$ تن در هکتار در سال برای زراعت چوب با درختان ناهمسال و نرخ 13 تا 16 تن در هکتار در سال برای زراعت چوب با درختان همسال به ویژه افرا برای دوره بلند مدت 32 تا 44 ساله بدست آمده است (Gharibreza et al., 2023b). بر این اساس، روش جنگل‌کاری درختان دانه‌زاد همسال در استان‌های گلستان و مازندران بین 40 تا 53 درصد اثر بخشی بیشتری در حفاظت خاک داشته‌اند. نرخ هدر رفت خاک و مواد مغذی در عرصه‌های بهره‌برداری شده تا 30 درصد بدست آمده که تا 50 درصد کمتر از کاربری دیم‌زار می‌باشد. نتایج حاصله نشان از نرخ متوسط فرسایش $18/5$ تن در هکتار در سال برای زراعت چوب با درختان ناهمسال برای عرصه‌های بهره‌برداری شده و بازکاشت شده در استان گیلان دارد (Naghdi et al., 2024). پیمایش‌های میدانی و مستندات موجود نشان می‌دهد که طرح‌های جنگل‌داری در استان گیلان نسبت به

⁸ Canopy cover

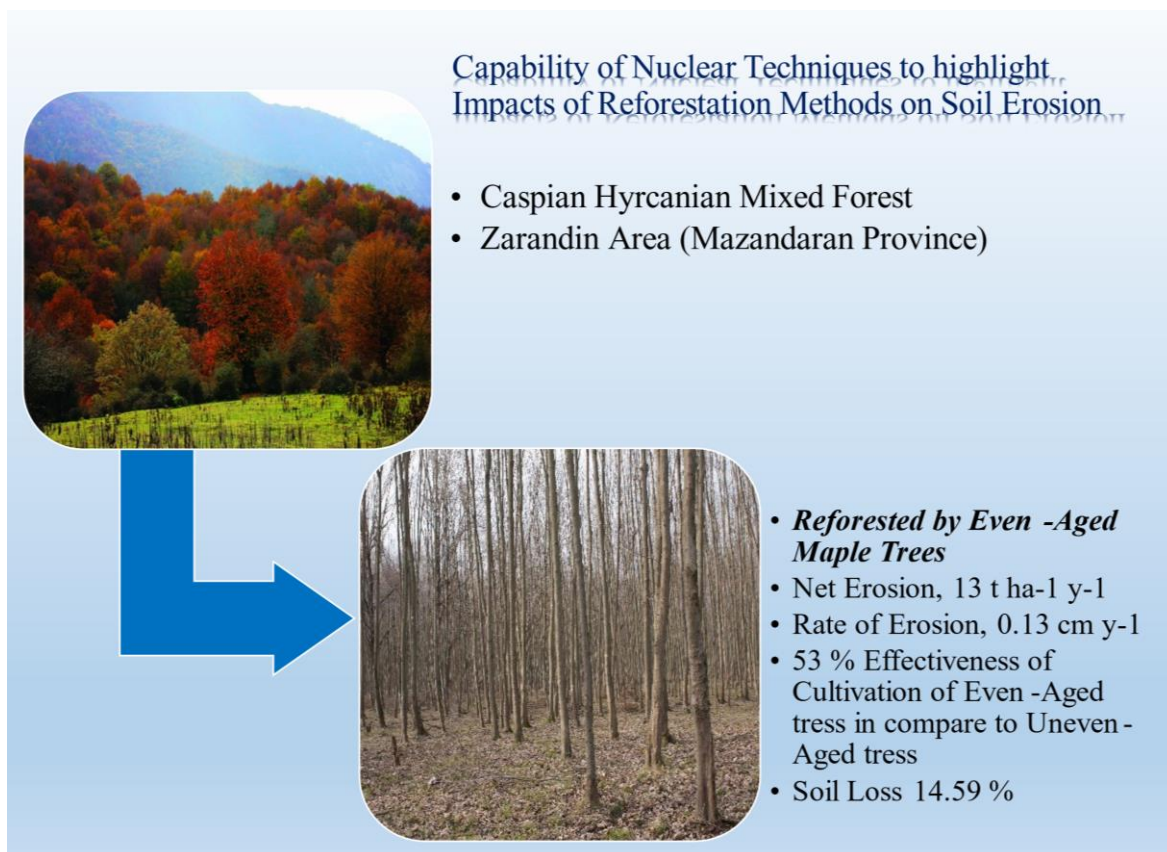
استان‌های مازندران و گلستان عملکرد بهتری از منظر حفاظت خاک داشته‌اند. بخشی از این تفاوت می‌تواند در اثر بخشی روش‌های بیولوژیک حفاظت خاک و بارش بیشتر در این استان باشد. این مهم برای اراضی با کاربری دیم‌زار کاملاً برعکس عملکرد است به‌طوری‌که با کاهش حدود ۲۰ درصد میزان بارش در منطقه گالیکش نسبت به منطقه آزادشهر، نرخ فرسایش خاک، به طور نسبی ۱۷/۵ درصد کاهش پیدا کرده است. در عرصه منتخب استان گلستان در منطقه گالیکش عملیات خاکورزی و شخم در خلاف جهت شیب دامنه در منطقه گالیکش توانسته است که ۲۷ درصد نرخ فرسایش را نسبت به بخش در جهت شیب کاهش دهد. همچنین جنگل‌کاری (سوزنی برگ) و بازکاشت دیمزارها با باغ زیتون در منطقه آزادشهر استان گلستان نشان از اثر بخشی ۱۳/۵ درصدی در کاهش نرخ فرسایش خاک بعد از سال ۱۳۷۲ داشته است (Gharibreza et al., 2020).

همچنین تغییر کاربری اراضی جنگلی در حوضه آبخیز الیس رود در طبقات ۲۰ تا ۴۰ درصد به روش جنگل‌شناسی قطع یکسره و توسعه چایکاری شرایط عمدتاً فرسایشی با نرخ متوسط ۱۷ تن در هکتار در سال را برقرار کرده است. این نرخ می‌تواند در ۳۱۰۰۰ هکتار اراضی چایکاری استان گیلان برقرار باشد. به‌طور متوسط ۰/۲ سانتیمتر در سال از اراضی تپه ماهوری مرکز و شرق این استان تحت کاربری چایکاری فرسایش می‌یابد (Gharibreza et al., 2021). تغییرات کاربری اراضی جنگلی در حوزه آبخیز چافرود نرخ انباشت رسوب را در بخش آبکنار تالاب انزلی تا ۱۰ برابر افزایش داده به طوریکه نرخ رسوبگذاری در شرایط عادی طی دهه ۱۳۳۰ از ۰/۲۹ سانتیمتر در سال به ۳ سانتیمتر در سال در دهه ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است. عواملی چون آتش زدن جنگل‌های مخروطی و به ویژه کاه و کلش مزارع برنج در ۳ دهه اخیر منجر به افزایش تا ۱۰۰ برابری آورد مواد آلی به صورت بار معلق به تالاب انزلی، یوتروفیکیشن بالا و تشکیل لایه‌های گلی غنی از مواد آلی و اسیدی شدن محیط رسوبی و آسیب به آبزیان آن شده است (Gharibreza et al., 2022).

به منظور تسریع در اثر بخشی اقدام‌های مدیریتی، حوضه‌های آبخیز چافرود و شفارود در سطح استان گیلان در اولویت اجرای یافته‌های این مطالعه در اتخاذ روش‌های بهینه نوسازی جنگل‌های دست کاشت قابل بهره‌برداری و یا جنگل‌های مخروطی و ارتقاء سطح جنگل‌های حفاظتی قرار گیرند. کنترل توسعه مزارع چای به سمت اراضی جنگلی از طریق کاداستر اراضی و اتخاذ روش‌های کنترل فرسایش خاک به ویژه در دوره بازسازی این مزارع قویاً توصیه می‌شود.

حوضه‌های شاندرمن-مرغک، خالکایی، پلنگ رود-کلسر، ماسوله‌خان، گشت رودخان-قلعه رودخانه-شاخرز، سیاهمزگی-امامزاده ابراهیم-پسیخان، سیاهرود-گوهررود-پیربازار، بیجرود، قنادی و خممام رود در اولویت اجرای عملیات سازه‌ای و بیولوژیک کنترل زمین لغزش‌ها، کنترل فرسایش خاک و انتقال رسوب از جمله بندهای تأخیری قرار دارند. احداث بندهای رسوبگیر تأخیری در محل شکست شیب حوزه مناطق با تیپ اراضی تپه‌ماهوری به منظور

بدام اندازی رسوبات و بازچرخانی خاک و عناصر مغذی به مزارع بسیار ضروری است. بازسازی و احیاء پروفیل خاک بخش‌های بالایی دامنه‌ها اقدام مدیریتی فوری به منظور جلوگیری از هدر رفت هرچه بیشتر خاک و حاصل خیزی آن است. بدیهی است تغییر الگوی کشت از دیمزار به جنگل مثمر از این بخش‌ها باید شروع شود. بر اساس نتایج بدست آمده، اراضی تپه ماهوری با کاربری دیمزار واقع شده در دامنه‌های با شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد و محاط شده در بین ترازهای ارتفاعی ۱۵۰ تا ۱۵۰ متر در استانهای گلستان و مازندران در اولویت برنامه‌های مدیریت فرسایش خاک قرار دارند. تغییر الگوی کشت از دیمزار به زارعت چوب، درختان مثمر با تاج پوشش مناسب، اقدام مدیریتی اثربخش برای حفظ معیشت کشاورزان و کاهش تا ۴۰ درصدی نرخ فرسایش است. بر اساس آخرین آمار اعلام شده در سمپوزیوم جهانی فرسایش خاک (ایتالیا، ۲۰۱۹)، هر تن فرسایش خاک ۴۰ یورو خسارت در پی دارد. لذا مطابق نرخ متوسط فرسایش بدست آمده، سالانه حدود ۲۰ میلیون تومان از کاربری دیمزار و سالانه ۱۱ تا ۱۶ میلیون تومان از کاربری زراعت چوب به ازاء هر هکتار در استانهای گلستان، مازندران و گیلان به منابع طبیعی کشور خسارت وارده می‌شود.



شکل ۱- آشکارسازی اثربخشی جنگل کاری به شیوه دانه زاد همسال (افرا) در کاهش نرخ فرسایش خاک در با استفاده از فناوری هسته‌ای

Capability of Nuclear Techniques to highlight Impacts of Deforestation and Afforestation on Soil Erosion



- Caspian Hyrcanian Mixed Forest
- Zarandin Area (Golestan Province)

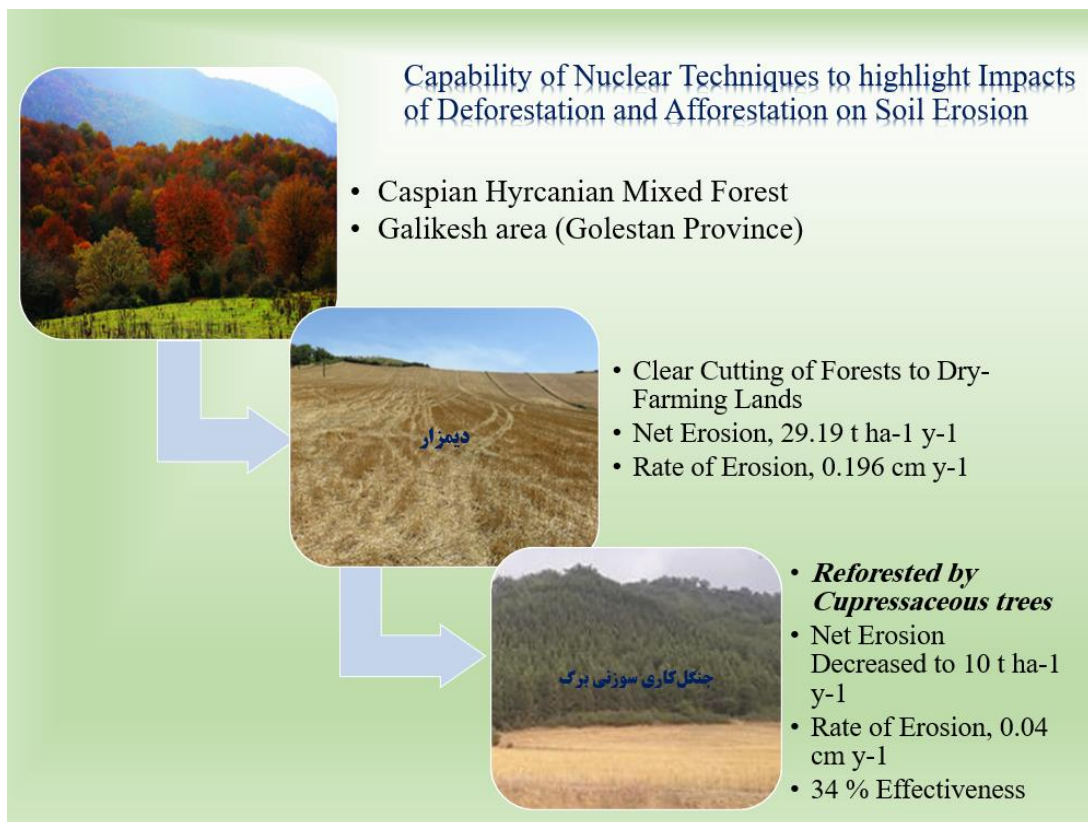


- Clear Cutting of Forests to Dry-Farming Lands
- Net Erosion, 37.44 t ha⁻¹ y⁻¹
- Rate of Erosion, 0.21 cm y⁻¹

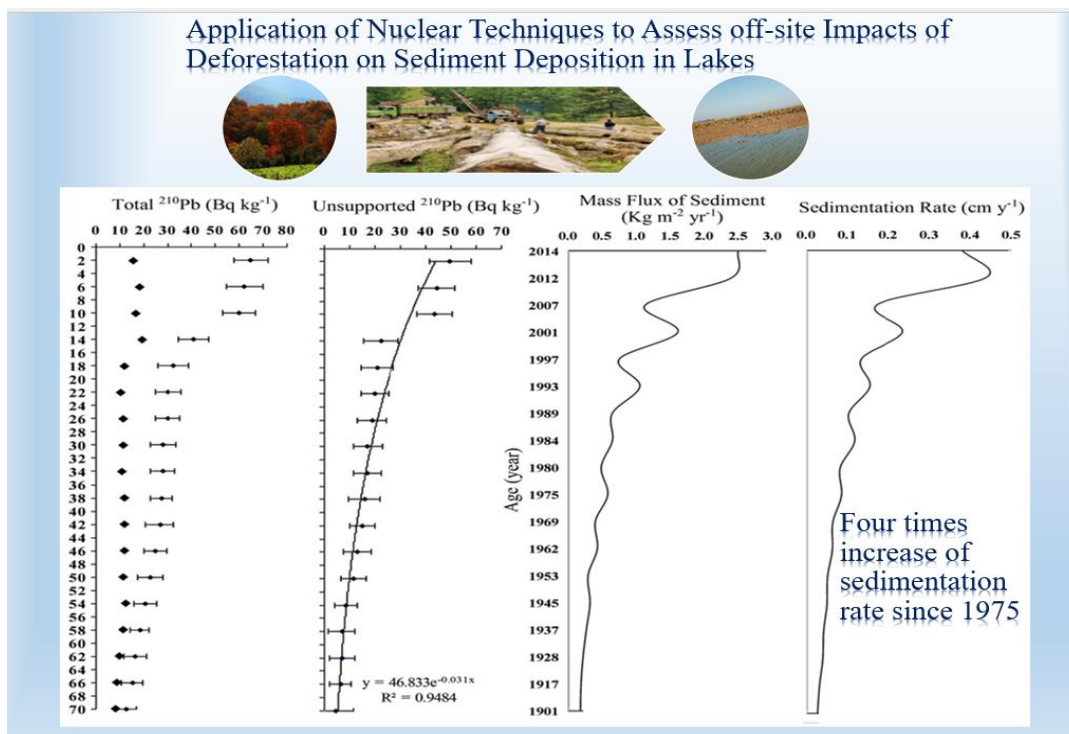


- ***Reforested by Orchard trees***
- Net Erosion Decreased to 23 t ha⁻¹ y⁻¹
- Rate of Erosion, 0.16 cm y⁻¹
- 38 % Effectiveness

شکل ۲- آشکارسازی اثربخشی تبدیل اراضی دیم به باغ مرکبات در کاهش نرخ فرسایش خاک در با استفاده از فناوری هسته‌ای

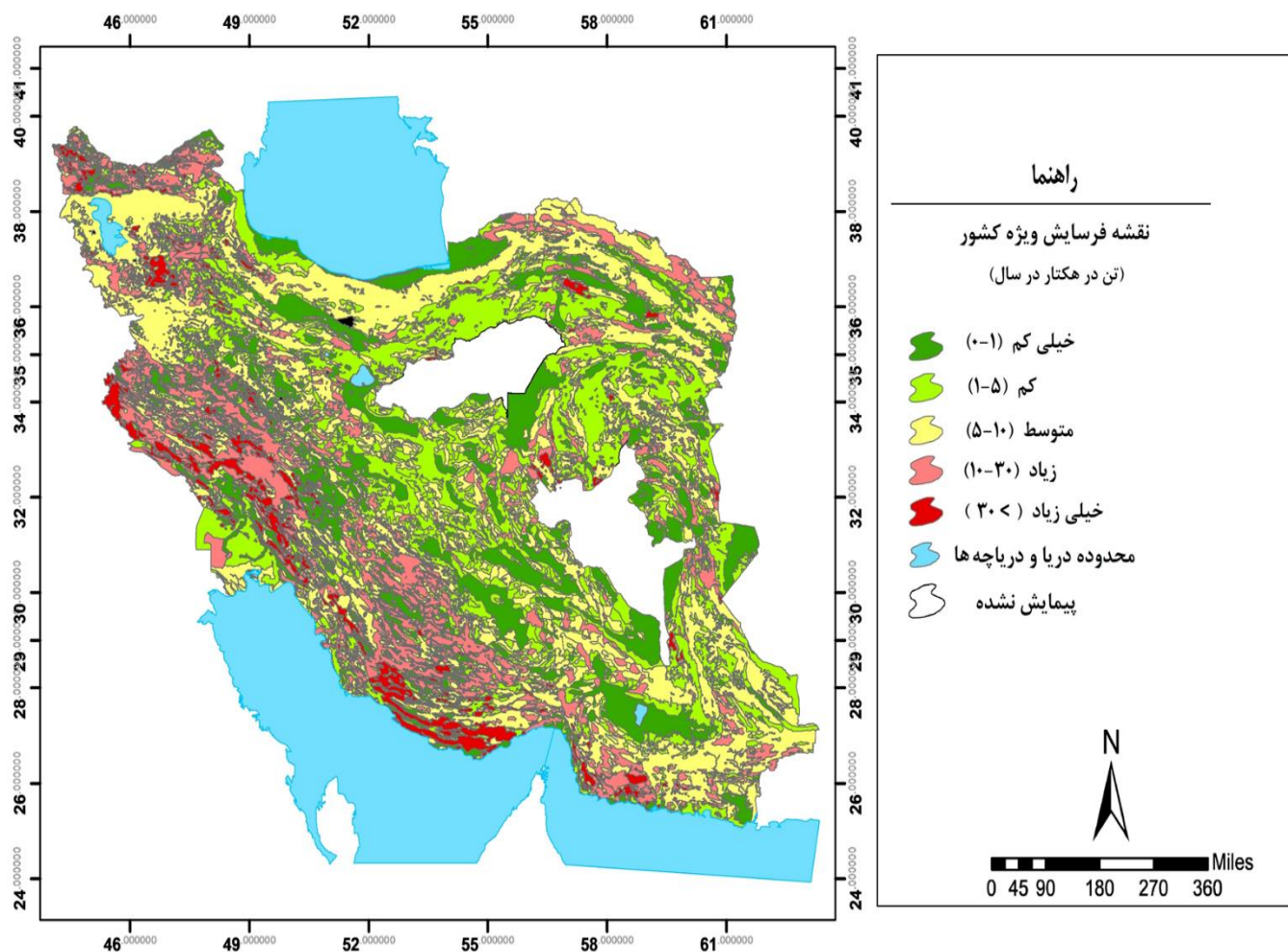


شکل ۳- آشکارسازی اثربخشی تبدیل اراضی دیم با جنگل کاری سوزنی برگ در کاهش نرخ فرسایش خاک در با استفاده از فناوری هسته‌ای



شکل ۴- آشکارسازی اثرات جنگل زدایی بر افزایش نرخ انباشت رسوب در بخش آبکنار تالاب انزلی با استفاده از فناوری هسته‌ای

تجارب موفق در تهیه نقشه‌های موضوعی مدیریت فرسایش خاک



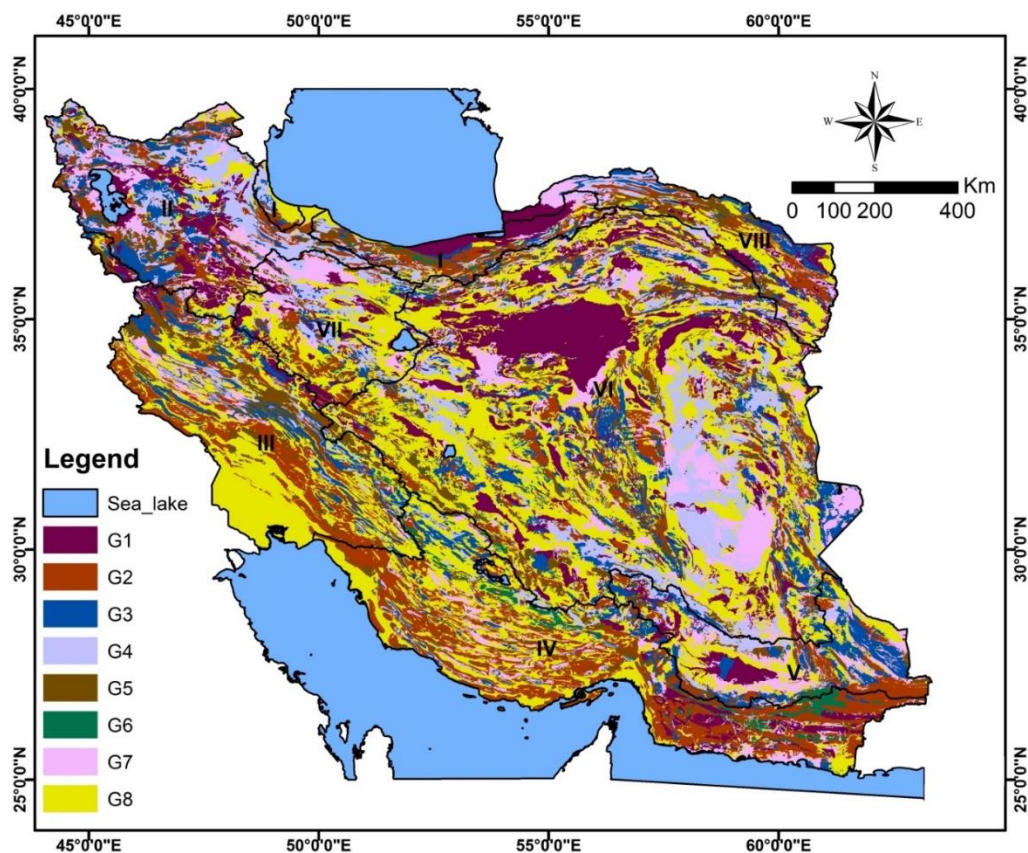
ارائه نقشه ملی فرسایش آبی خاک کشور (نیک کامی و همکاران)

نقشه نفوذپذیری اراضی کشور

سهولت عبور جریان مایعات از داخل حفره‌های رسوب‌ها یا سنگ‌ها را نفوذپذیری می‌نامند. مقدار نفوذپذیری به‌اندازه حفره‌ها، غلظت مایع و نیروی کششی که با کاهش اندازه دانه‌ها کم می‌شود، بستگی دارد. درواقع عواملی که بر تخلخل اولیه مؤثرند، در میزان نفوذپذیری نیز مؤثر می‌باشند. با در دست داشتن فایل رقومی زمین‌شناسی کل کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ابتدا توصیفات لیتولوژی‌های مختلف سازندهای زمین‌شناسی کشور در فایل نرم‌افزار اکسل مشتمل بر ۵۸۵ واحد تعریف‌شده لیتولوژی تهیه شد و سپس نسبت به دسته‌بندی تراوایی آن‌ها در گروه‌های سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی و نهشته‌های منفصل کواترنر اقدام شد (جدول ۱).

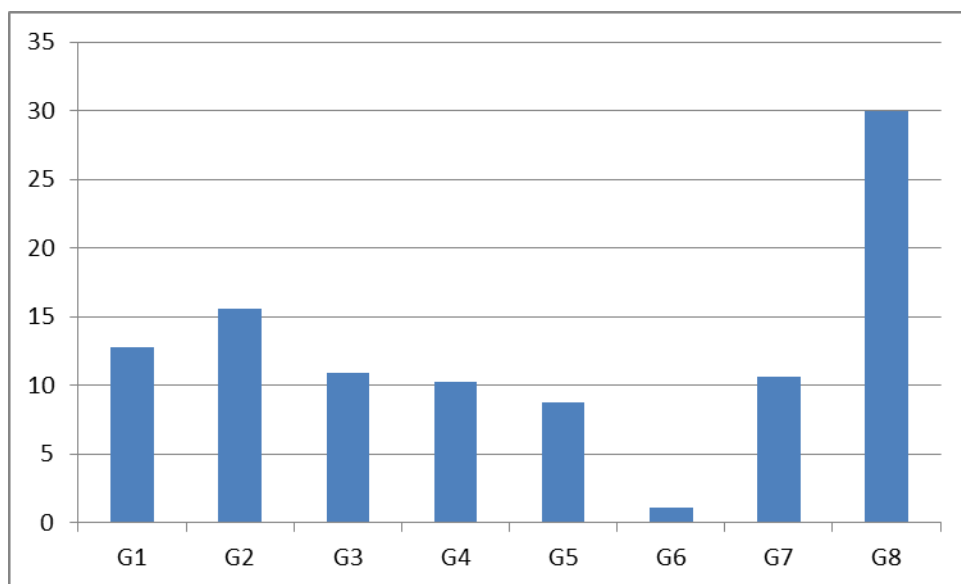
جدول ۱- رده‌بندی نفوذپذیری واحدهای سنگی مهم برای عامل‌های زمین‌شناسی (پیروان و شریفی)

نماد	نفوذپذیری	نمونه‌هایی از واحدهای زمین‌شناسی
G8	خیلی زیاد	نهشته‌های رسوبی درشت‌دانه تحکیم نیافته - آهک‌های کارستی و درزه‌دار
G7	زیاد	نهشته‌های رسوبی ریزدانه تحکیم نیافته و رسی - سنگ‌آهک‌ها
G6	زیاد - متوسط	سنگ‌آهک‌های نازک لایه با میان لایه‌های نفوذپذیر کم
G5	متوسط	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی - ماسه‌سنگ - کنگلومرای با سیمان سست - خاکستر آتشفشانی
G4	متوسط تا کم	سیلت‌سنگ، مادستون - سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی، آندزیتی و بازالتی
G3	کم	مادستون‌های قدیمی درزه‌دار - سنگ‌های نفوذی دیوریتی و گابرو و گرانیت - شست و گنیس
G2	کم - خیلی کم	رس - مادستون‌های جوان بدون درزه
G1	خیلی کم	شیل - مارن - فیلیت و اسلیت و میکاشیست



نقشه رده‌بندی نفوذپذیری سازندهای زمین‌شناسی ایران (پیروان و شریفی)

بر اساس نتایج مشخص شد که واحدهای لیتولوژی با تراوایی خیلی زیاد (G8) و زیاد (G7) توأم باهم بیشترین پراکنش در سطح کشور و حدود بیش از یک‌سوم کشور را به خود اختصاص داده است (شکل ۲). حدود ۱۳ درصد سطح کشور با محدودیت جذب و استحصال آب باران مواجه است و حدود ۲۲ درصد از عرصه‌های کشور نامناسب است و بالغ بر ۴۰ درصد سطح کشور از پتانسیل بالایی برای استحصال آب باران برخوردار است.



شکل ۲- درصد فراوانی رده‌های نفوذپذیری واحدهای سنگ و خاک پوشش سطح کشور ایران

نقشه فرسایش پذیری اراضی کشور

زمین‌شناسی ایران نشان‌دهنده این است که سازندهای حساس به فرسایش علاوه بر نهشته‌های کواترنر، گسترش فراوانی دارند.

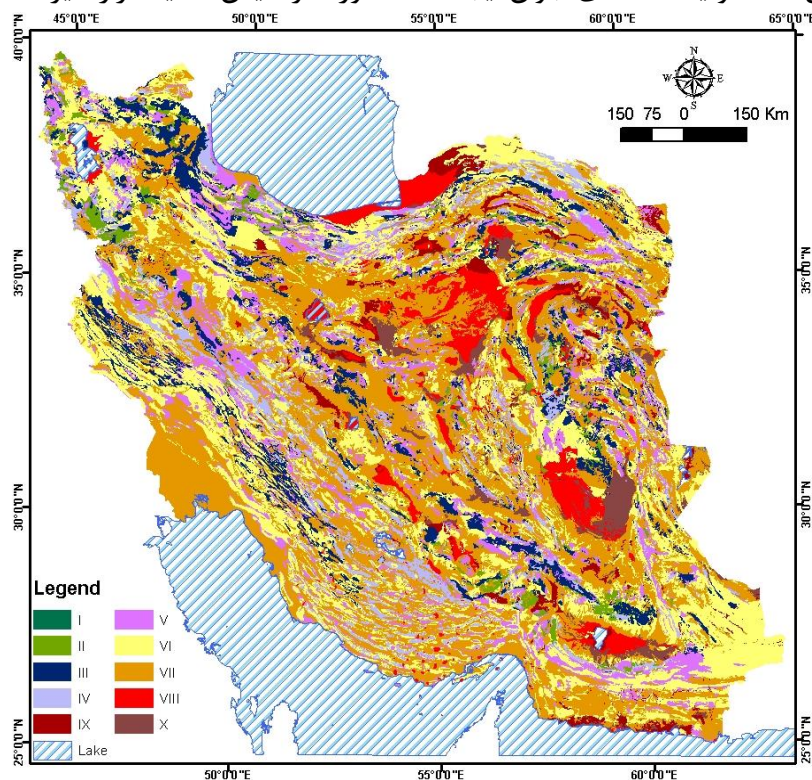
در کشور ایران با مساحت ۱۶۵ حدود میلیون هکتار، بیش از ۷۰ درصد سازندهای زمین‌شناسی دارای مقاومت کم تا خیلی کم نسبت به عوامل فرسایش بوده و لذا رسوبدهی بالایی را نیز خواهند داشت (جدول ۱).

جدول ۱ - میزان و درصد گسترش سازندهای زمین‌شناسی از نظر طبقات فرسایشی (پیروان و همکاران)

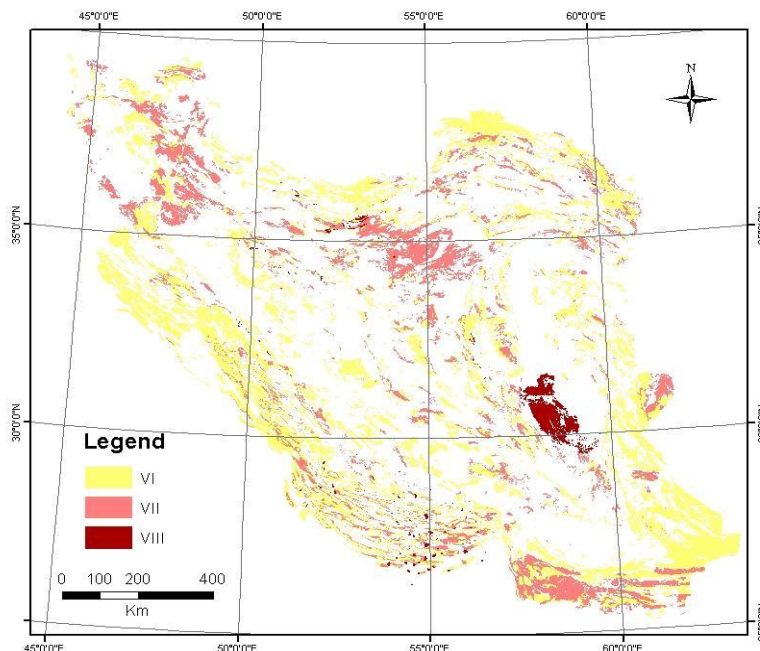
ردیف	درصد فراوانی	مساحت (هکتار)	طبقه فرسایش پذیری	توصیف از نظر مقاومت به فرسایش
۱	0.024	38867.1	I	فوق‌العاده مقاوم
۲	2.237	3619834.8	II	بسیار مقاوم
۳	7.708	12470628.2	III	مقاوم
۴	6.691	10826150.7	IV	متوسط بالا
۵	10.015	16205142.7	V	متوسط
۶	25.99	42052132.7	VI	متوسط پایین
۷	37.06	59966143.3	VII	پایین
۸	4.948	8005038.6	VIII	بسیار پایین
۹	2.699	4367898.8	IX	فوق‌العاده پایین
۱۰	2.622	4242715.4	X	غیر مقاوم، کاملاً سست و

منفصل				
-------	--	--	--	--

شکل ۱ و ۲ وضعیت حساسیت به فرسایش سازندهای ایران را نشان می‌دهد. در شکل ۲، گسترش سازندهای حساس به فرسایش به جز پهنه‌های کواترنر نشان داده شده است. وجود این درصد بالا از زمین‌شناسی حساس تا خیلی حساس نسبت به فرسایش وضعیت خاصی را برای کشور فراهم نموده که یکی از عوارض بد آن پر شدن سدهای مخزنی و کاهش شدید توان برقآبی آنهاست. ایران هم پهناور بوده و هم از تنوعی کم نظیری در لیتولوژی، نسبت به سایر نقاط جهان برخوردار است. این امر به وسیله اکثر محققان دنیا ابراز شده ولی آن طور که شایسته است به اثر عوامل زمین‌شناختی در برآورد فرسایش و رسوب پرداخته نشده است، ضمن این که کشور ایران بر خلاف سایر کشورهای ابداع‌کننده مدل‌های فرسایش و رسوب، در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است. این کشورها غالباً در اقلیم‌های نیمه مرطوب تا مرطوب قرار دارند. پوشش گیاهی تنک، کمبود بارندگی، ناپایداری زمین‌ساختاری و پر شیب بودن اراضی کشور، عملاً سبب شده در بخش زیادی از سرزمین ایران، خاک کافی تشکیل نشده و یا خاک‌های جوان ایجاد شده مورد فرسایش شدید قرار گیرند.



شکل ۱- نقشه رده‌های ۱۰ گانه حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی کشور (پیروان و همکاران)



شکل ۲- گسترش وسیع سازندهای حساس به فرسایش در کشور به جز رسوبات کواترنر (رده‌های فرسایشی VI و VII و VIII) (پیروان و همکاران)

نقشه مناطق بحرانی فرسایش کشور در پهنه های مارنی

دسته بندی لیتولوژی مارن های کشور

به لحاظ نوع لیتولوژی، سه گروه اصلی مارن های کشور به صورت زیر دسته بندی شده اند.

۱- مارن دریایی (Marine Marl)

ویژگی: این نوع مارن در محیط های دریایی (marine) نهشته شده است. معمولاً با شیل، سنگ آهک و فسیل همراه است.

۲- مارن ساحلی: (Sea Shore / Lagoon Marl)

ویژگی: این مارن ها در محیط های ساحلی، خوری یا لاگون های کم عمق (sea shore) شده اند. اغلب با لایه های گچی (gypsiferous) همراه هستند که نشان دهنده شرایط تبخیری در آب های کم عمق است.

۳- مارن قاره ای: (Continental Marl)

ویژگی: این نوع مارن در محیط های خشکی (continental) مانند پلایاها یا رودخانه ها و یا دریاچه های تبخیرشونده نهشته شده است. مشخصه اصلی این گروه، همراهی شدید با گچ و نمک (evaporites) است و اغلب به رنگ های قرمز و زرد دیده می شوند.

این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که ترکیب و ویژگی‌های مارن به شدت تحت کنترل محیط رسوبی آن است. نقشه گسترش اراضی مارنی یکجا و به تفکیک نوع مارن در کشور تهیه شد که در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بر اساس این نقشه نتیجه گرفته می‌شود که این اراضی حدود ۲۰٪ سطح کشور را در سیطره خود دارند. در جدول ۲ مساحت انواع مارن‌های کشور ارائه شده است.

جدول ۱ - انواع مارن بر اساس محیط رسوبی

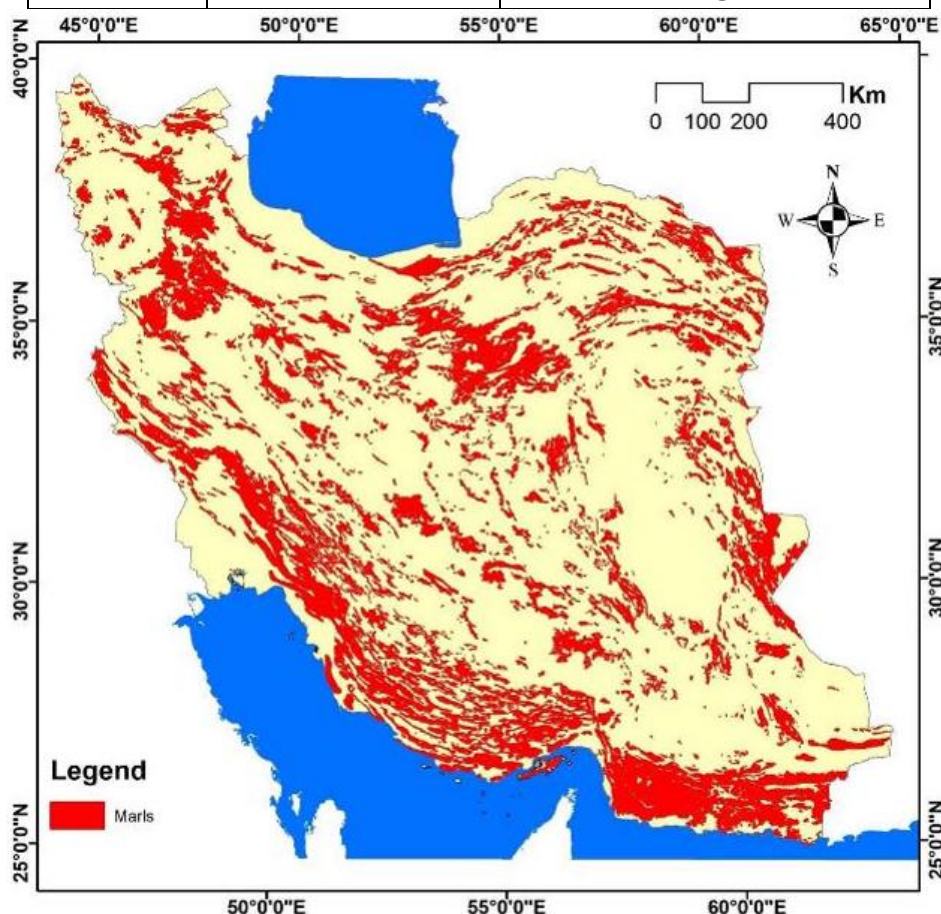
ویژگی‌ها	محیط دریایی	محیط قاره‌ای	محیط حدواسط ساحلی - قاره‌ای (کرانه‌ای)
ظاهر	رنگ خاکستری روشن تا آبی، لایه‌بندی منظم، بافت یکنواخت و ریزدانه	رنگ نخودی، قهوه‌ای تا قرمز، لایه‌بندی گاه نامنظم، دانه‌بندی کمی درشت‌تر	رنگ خاکستری - قهوه‌ای یا سبز، لایه‌بندی نسبتاً منظم اما با تغییرات ناگهانی در ضخامت
ترکیب شیمیایی	درصد بالای کربنات کلسیم (۴۰٪ - ۷۰٪)، مقدار کم اکسیدهای آهن و سیلیس	درصد کربنات کلسیم کمتر (۲۰٪ - ۴۰٪)، سیلیس و اکسید آهن بیشتر، رس زیاد	درصد کربنات میانی (۳۰٪ - ۵۰٪)، ترکیب مخلوط از رس، سیلت و کربنات
خواص فیزیکی	نرم، ترد، رنگ نسبتاً پایدار، وزن مخصوص پایین‌تر	سخت‌تر، رنگ متغیر، جذب آب بالا، در زمان خشک‌شدن ترک‌دار	بینابینی، تغییر رنگ با رطوبت، بافت هم نرم و هم کمی سخت
نوع فرسایش غالب	فرسایش سطحی یکنواخت و آب‌شویی ملایم	فرسایش شیاری و خندقی شدید به دلیل شست‌وشوی سریع ذرات	فرسایش ترکیبی (هم سطحی و هم شیاری)
میزان فرسایش (کیفی)	کم تا متوسط، وابسته به شیب و بارندگی	زیاد، به‌خصوص در مناطق با بارندگی فصلی شدید	متوسط، اما در طوفان‌ها یا بارندگی‌های شدید می‌تواند افزایش یابد.
پوشش گیاهی	پوشش گیاهی نسبتاً پایدار، اغلب مرتعی یا بوته‌زار با تراکم متوسط تا زیاد	پوشش گیاهی فقیر و پراکنده، به دلیل شوری و سختی خاک	پوشش گیاهی متوسط، شامل گونه‌های مقاوم به نوسانات رطوبتی و شوری
شرایط تشکیل	رسوبگذاری آرام در حوضه‌های عمیق یا نیمه‌عمیق دریایی	رسوبگذاری در دریاچه‌های خشک‌شونده، سیلاب‌دشت‌ها، یا محیط‌های تبخیری	رسوبگذاری در مصب رودخانه‌ها، دلتای کرانه‌ای، یا پهنه‌های جزر و مدی

بررسی محیط رسوبی انواع سازندهای مارنی کشور بیانگر این موضوع است که دوسوم گستره مارنی کشور مربوط به نوع قاره‌ای با ویژگی مارن‌های شور و گچی است و یک سوم دیگر متعلق به مارن‌های دریایی با ویژگی غالب

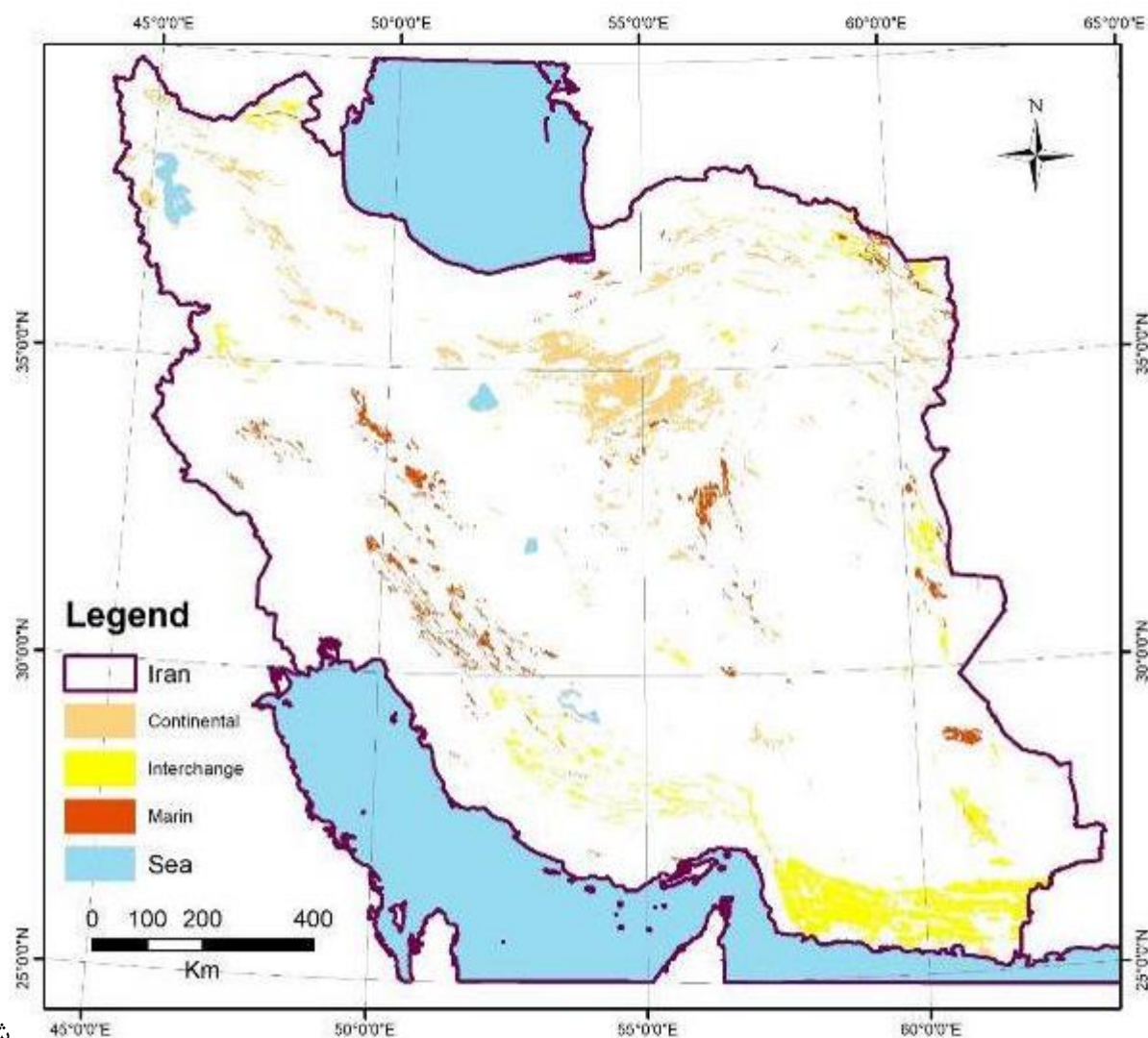
آهکی و فاقد عناصر مضر املاح گچی و نمکی و مارن‌های کرانه‌ای (گاهی دارای لایه‌های گچی) است (پیروان و بیات، ۱۴۰۴). مارن‌های کرانه‌ای از گستره بسیار کمتر (۸.۶۳٪) نسبت به دو نوع دیگر در کشور است. از ویژگی غالب آن‌ها متناوب‌بودن لایه‌های مارنی با سایر لیتولوژی‌های کنگلومرایی، ماسه‌سنگ و شیلی و نیز دارا بودن املاح گچی در حد میانه دو گروه دریایی و قاره‌ای است.

جدول ۲- مساحت انواع مارن‌های کشور (ارقام به میلیون هکتار) و درصد فراوانی آن‌ها نسبت به هم (پیروان و بیات، ۱۴۰۴)

نوع مارن	مساحت / میلیون هکتار	درصد فراوانی
قاره‌ای	۲۱.۶۲	۶۸.۷۹
دریایی	۷.۱۰	۲۲.۵۹
حدواسط ساحلی - قاره‌ای (کرانه‌ای)	۲.۷۱	۸.۶۳
جمع کل	۳۱.۴۴	۱۰۰



شکل ۱ - نقشه گسترش اراضی مارنی در کشور (هر سه نوع مارن قاره‌ای، دریایی و کرانه‌ای) (پیروان و بیات)



شکل

۲- نقشه گسترش اراضی مارنی نوع قاره‌ای، دریایی و کرانه‌ای در کشور (پیروان و بیات).

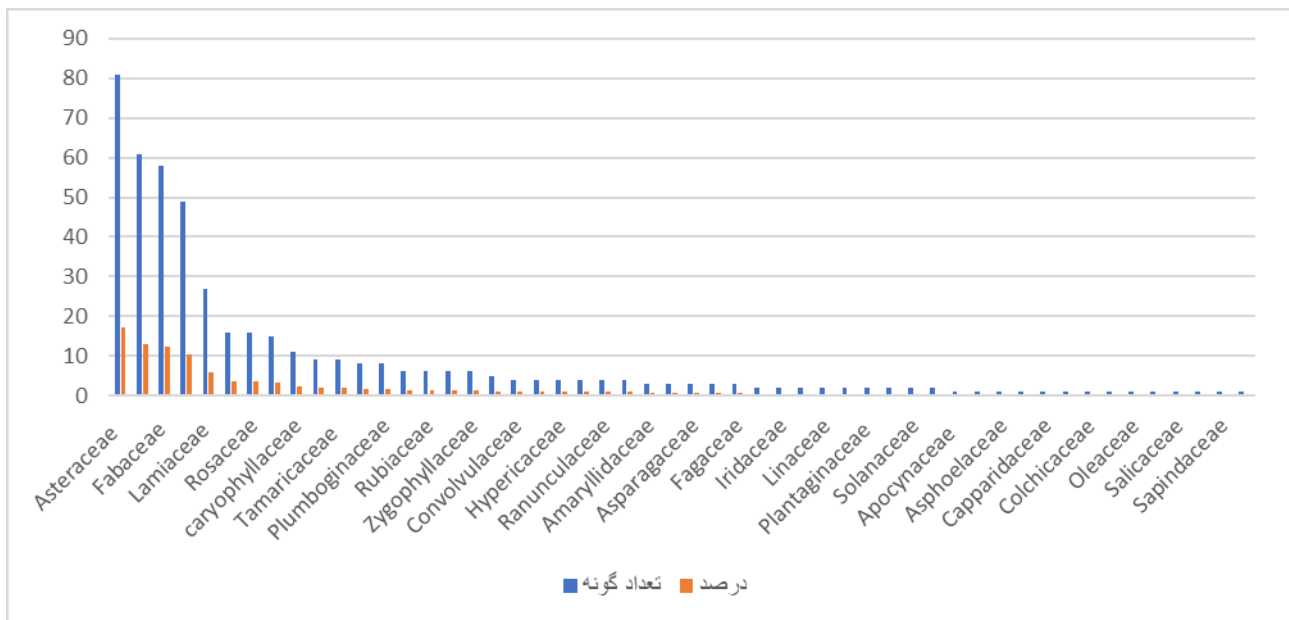
شناسایی گونه‌های مرتعی مناسب کنترل فرسایش در سازندهای مارنی کشور

نهشته‌های مارنی جزء فرسایش‌پذیرترین واحدهای سنگی کشور به حساب می‌آیند. فرآیندهای فرسایشی در مارن‌ها به دلیل شوری و قلیائیت و ناچیزبودن نفوذپذیری و در نتیجه کمبود شدید پوشش گیاهی به ویژه در تپه‌های مارنی، بسیار فعال است و لذا اشکال مختلف فرسایش به ویژه فرسایش هزاردره‌ای، یکی از خصوصیات بارز در عرصه‌های مارنی است. بر این اساس و با توجه به مزایای بی‌شمار روش‌های بیولوژیکی در کنترل فرسایش و رسوب، این تحقیق به منظور شناسایی دقیق و سیستماتیک گونه‌های گیاهی و تعیین نیاز رویشگاهی آنها طراحی شد تا نتایج آن برای کشت این گونه‌ها در مناطق با اقلیم‌ها و خاک و زمین شناسی مشابه به کار

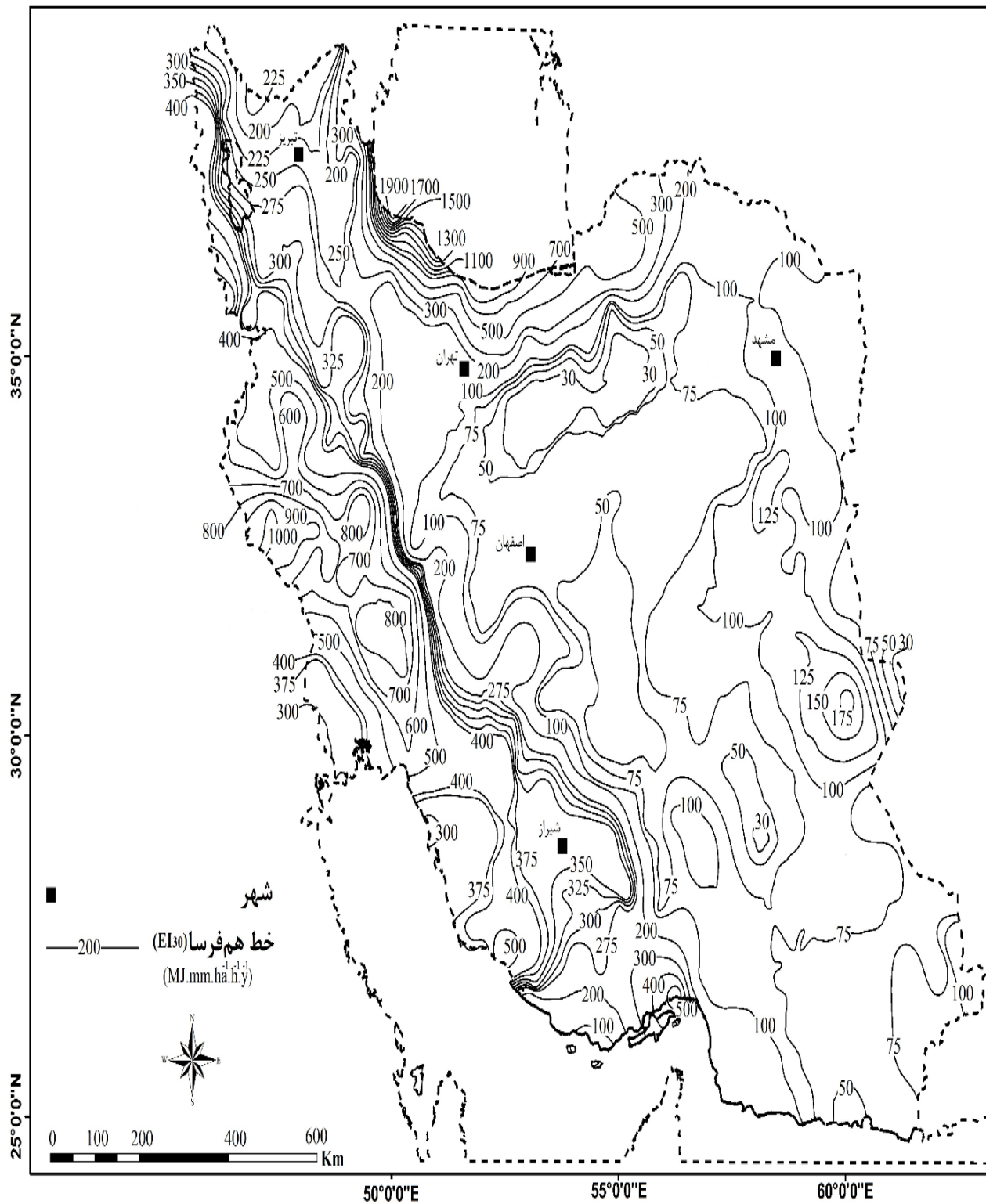
رود. در این راستا، تحقیق حاضر در ۱۱ استان تهران، آذربایجان شرقی، همدان، قم، گیلان، خراسان رضوی، لرستان، اصفهان، سمنان، یزد و کرمانشاه، انجام شد. گونه‌های گیاهی در سه دسته اراضی مارنی قاره‌ای شور و گچی شامل: مارن الوان میوسن، سازند آغاچاری، سازند گچساران و سازند رازک؛ قاره‌ای غیر شور (معادل مارن الوان میوسن) شامل: مارن‌های معادل مارن الوان میوسن موسوم به نهشته‌های قرمز رنگ نئوژن و آبرفت‌های مارنی کواترنر و مارن دریایی شامل: ردیف‌های پالئوسن- ائوسن زاگرس، مارن سازند قم، سازند میشان، مارن سازند گورپی، مارن سازند پابده و مارن کرتاسه سازند فرخی بررسی شده‌اند. بر اساس بررسی انجام‌شده در پهنه‌های مارنی مورد مطالعه، تعداد ۴۶۸ گونه گیاهی، ۲۲۶ جنس و ۵۲ خانواده شناسایی شده است. بیشترین فراوانی گونه‌ها به ترتیب به ۵ خانواده آستراسه، پوآسه، فاباسه، آمارانتاسه و لامیاسه تعلق دارد که ۵۹ درصد گونه‌های شناسایی‌شده متعلق به آن‌ها است. شکل‌های زیستی شناسایی‌شده در منطقه به روش رانکایر به ترتیب فراوانی همی‌کریپتوفیت، تروفیت، کامئوفیت، فانروفیت، ژئوفیت و کریپتوفیت‌ها هستند. از میان گونه‌های شناسایی‌شده ۴۵۰ گونه در گروه مارن‌های قاره‌ای تبخیری، ۶۰ گونه در مارن‌های قاره‌ای غیر تبخیری و ۱۹۶ گونه در مارن‌های دریای (آهکی) شناسایی و معرفی شدند. از آنجایی که سازگارترین گونه‌های گیاهی، آن دسته هستند که دارای پراکنش وسیع در سطح کشور و بر روی انواع مارن‌ها هستند، لذا از بین اطلاعات کل گیاهان شناسایی‌شده، گونه‌هایی که حداقل در نیمی از مناطق تحت بررسی استقرار داشته‌اند به عنوان گونه‌های سازگار شامل ۲۳ گونه برای توصیه استقرار آن‌ها برای حفاظت مارن‌ها شناسایی و معرفی شدند. به این منظور فراوانی گونه‌ها در ۳ گروه مارنی خشکی، دریایی و مشترک نیز بررسی شد. بر اساس نتیجه حاصله، گونه‌های گیاهی که در هر دو نوع مارن خشکی و دریایی یافت می‌شوند به تعداد ۸۳ گونه به حدود ۱۷.۹ درصد از کل گونه‌های شناسایی‌شده می‌رسد. این گونه‌ها سازگاری لازم را در پهنه‌های مارنی نشان می‌دهند و سازگار با انواع مارن‌های تبخیری و آهکی هستند و می‌توان در سطح اراضی مارنی کشور برای امر حفاظت خاک، آن‌ها را توصیه کرد. جهت انتخاب گونه‌های برتر برای حفاظت خاک اراضی مارنی معیارهای مورفولوژی گیاه، مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، بومی بودن یا نبودن، مهاجم‌بودن یا نبودن و پایایی گونه انتخاب و براساس روش کار مندرج در بخش مواد و روش‌ها، امتیازات گیاهان برای حفاظت خاک اراضی مارنی از طریق کارشناسی در نظر گرفته شد. بر این اساس، گونه‌های مختلف از ۷ تا ۲۶ امتیاز به خود اختصاص دادند. امتیازات متعلقه به ۵ کلاس خیلی کم (۷-۱۱)، کم (۱۱-۱۵)، متوسط (۱۹-۲۳)، زیاد (۲۳-۱۹) و خیلی زیاد (۲۷-۲۳) تقسیم شد و آن دسته از گونه‌ها که امتیاز بالاتری را در رده زیاد و خیلی زیاد به خود اختصاص دادند به تعداد ۸۱ گونه به عنوان گونه‌های پیشنهادی معرفی شدند. برای معرفی گونه‌های گیاهی برتر، فهرست گونه‌های انتخابی در سه معیار امتیاز بالا، پراکنش وسیع در کشور و سازگاری با هر دو گروه مارنی خشکی و دریایی با هم تقاطع داده شد. گونه‌هایی که حداقل در معیار از سه معیار ذکرشده حضور داشتند به عنوان گونه‌های منتخب اراضی مارنی به شرح زیر شامل ۳۳ گونه معرفی شدند. این گونه‌ها شامل:

Achillea santolina, *Acanthophyllum* sp, *Amygdalus scoparia*, *Amygdalus orientalis*
Bromus , *Bromus danthoniae* Trin. ex C.A. Mey. , *Astragalus* sp, *Alhagi persarum* ,

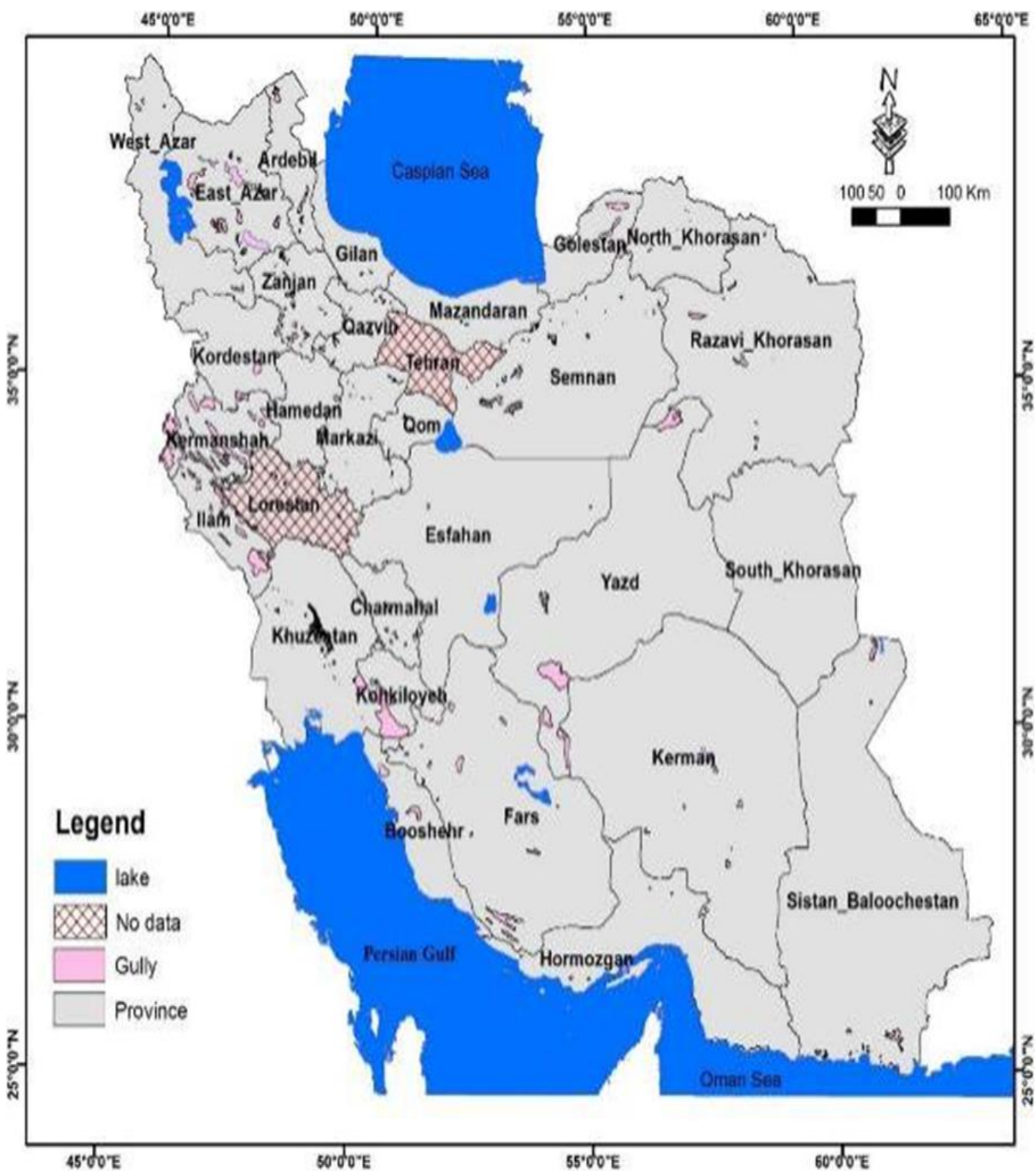
.*Centaurea* sp. *Capparis spinosa* L. *Bromus tomentellus* Boiss. *tectorum* L. *Cirsium congestum* Fisch. & C.Amey. Ex DC. *Centaurea virgata* Lam. *Ephedra* sp. *Cousinia* sp. *Artemisia sieberi* Besser. *Amygdalus lycioides* Spach. *Poa*. *Opuntia ficus indica*. *Lactuca orientalis* , *Gundelia tournefortii* L. *Eurobia* sp *Salsola tomentosa* (Moq.) *Quercus infectoria* *Prangus ferulacea* , *bulbosa* L. *Tamarix* , *Stachys inflata* Benth. *Scariola orientalis* (Boiss.) Sojak *Spach* *Ficus* *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. *Teucrium polium* *arceuthoides* *Amygdalus* است. از گونه های فوق *peganum harmala* L. *Pteropyrum aucheri* *carica* *Pteropyrum aucheri* *Astragalus* sp. *Artemisia sieberi* Besser. *lycioides* Spach. از جمله گونه‌هایی هستند که هر سه ویژگی امتیاز بالا، حضور وسیع در اراضی مارنی کشور و سازگاری با هر دو گروه مارن تبخیری و دریایی (مارن‌های شور و آهکی) را به خود اختصاص دادند. بر اساس بررسی انجام‌شده در پهنه‌های مارنی مورد مطالعه، تعداد ۴۶۸ گونه گیاهی، ۲۲۶ جنس و ۵۲ خانواده شناسایی شده است. در شکل تعداد گونه‌های هر خانواده و درصد فراوانی آن ارائه شده است. بیشترین فراوانی گونه‌ها به ترتیب به ۵ خانواده *Asteraceae* ، *Poaceae* ، *Fabaceae* ، *Amaranthaceae* و *Lamiaceae* تعلق دارد که ۵۹ درصد گونه‌های شناسایی شده متعلق به آن‌ها است. از ذکر فراوانی سایر گونه‌ها به دلیل طولانی بودن فهرست پرهیز شد. در نمودار شکل ۱ تعداد گونه‌ها و فراوانی آن‌ها مشاهده می شود.



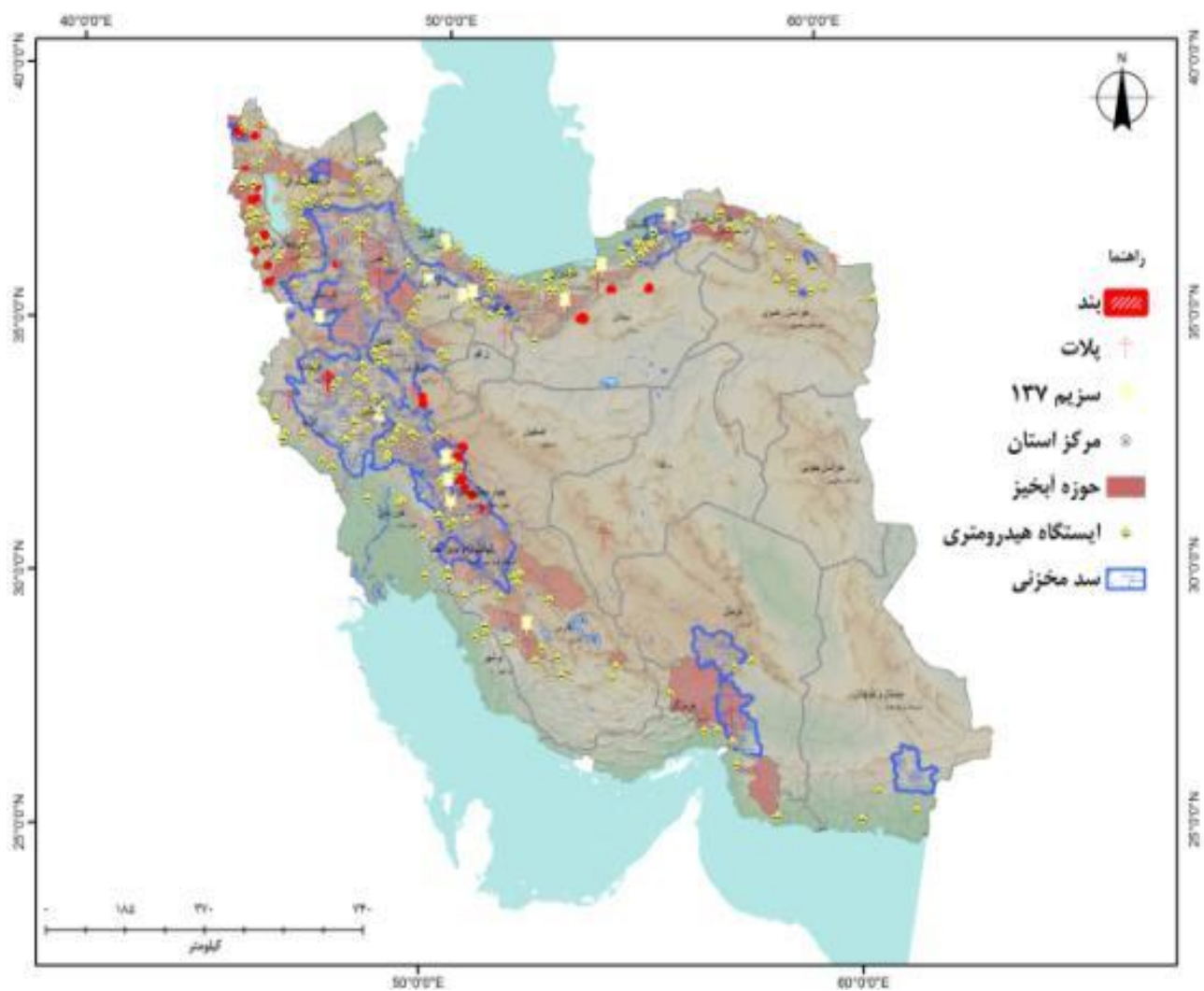
تعداد و درصد فراوانی گونه‌ها به تفکیک خانواده در پهنه‌های مارنی مورد مطالعه



نقشه شاخص مناسب فرسایندگی باران کشور (نیک کامی و همکاران)



طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک خندق‌های کشور (صوفی و همکاران)



پایگاه داده های فرسایش آبی و رسوبدهی در ایران با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (شادفر و همکاران)