# معادلات و روش‌های پیش‌بینی فرسایش شخم و برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاکورزی در حوضه چهل گزی استان کردستان

سید پدرام نی‌نیوا[۱]، مهرناز شهریور و علی نجفی‌نژاد

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
**pedram.nainava@gmail.com**
دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
**shahrivar.m2015@yahoo.com**
دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
**najafinejad@gmail.com**

دریافت: فروردین ۱۴۰۰ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

**چکیده**

**استفاده از منابع طبیعی به‌عنوان اصل اساسی زندگی، نیازمند دیدگاهی در راستای پتانسیل‌ها و واقعیت‌های حاکم بر آن است که تحت برنامه‌ریزی و مدیریت اصولی انجام می‌پذیرد، هرگونه بهره‌برداری بدون توجه به اصول پایداری، تأثیرات جبران‌ناپذیر و یا پر هزینه را رقم می‌زند. مطالعه حاضر به پیش‌بینی و برآورد مقدار جابجایی خاک حاصل از عملیات خاک-ورزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی در راستای ارزیابی، ارائه الگوهای برنامه‌ریزی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای پروژه‌های سودمند در ارتباط با کاهش نرخ جابجایی خاک در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی با توجه به نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۳ پرداخته است. طی این پژوهش ابتدا نقشه کابری اراضی و شیب اراضی زراعی منطقه، تهیه و نوع ادوات خاک‌ورزی (گاوآهن و چیزل) مورد استفاده نیز از طریق بازدید میدانی تعیین شد و سپس معادلات پیش‌بینی میزان جابجایی خاک متناسب با نوع ادوات در منطقه انتخاب و با استفاده از آن اقدام به برآورد مقدار جابجایی خاک شد. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این زیرحوضه در فرسایش خاک‌ورزی و جابجایی خاک با توجه به سهم قابل توجه مساحت اراضی زراعی دیم است؛ به‌گونه‌ای که متوسط میزان پیش‌بینی جابجایی طولی خاک در جهت شیب با استفاده از معادلات گاوآهن‌برگردان‌دار به‌عنوان ابزار غالب در زیرحوضه از ۱/۴۰ تا ۴۴/۵۳ متر تعیین شد که با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک‌ورزی و همچنین موقعیت زیرحوضه در تأمین آب سد قشلاق نیازمند جدیت و توجه بیشتر به کاهش نرخ جابجایی خاک و واقعیت‌های حاکم بر سیستم کشاورزی استان کردستان و کشور ایران است.**

**واژه‌های کلیدی:** ابزار و ادوات خاک‌ورزی، فرسایش خاک‌ورزی، تخریب خاک، هدر رفت خاک، کاهش محصول

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

**مقدمه**

کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل انسانی در تغییر خصوصیات خاک ازجمله خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است (کلادیوکو، ۲۰۰۱). از مراحل انجام عملیات کشاورزی آماده کردن بستر کشت تحت عمل خاک‌ورزی یا شخم تعریف می‌شود (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). خاک‌ورزی به‌عنوان دست‌کاری مکانیکی خاک به‌منظور تولید محصولات گیاهی تعریف می‌شود که به‌طور قابل‌توجهی بر ویژگی‌های خاک مانند حفاظت از آب خاک، دمای خاک، نفوذ و فرآیندهای تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد، لذا این نشان می‌دهد که خاک‌ورزی به‌منظور ایجاد محصول بر روی خاک و درنتیجه بر محیط تأثیرگذار است (بوساری و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین خاک‌ورزی، شخم‌آیی خاک و شرایط حاکم بر طبیعت سیستم خاک را دگرگون می‌کند و سبب فرسایش زیاد خاک می‌شود (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). بهم‌خوردگی خاک با خاک‌ورزی متعارف باعث می‌شود خاک به‌عنوان منبع آلودگی جو عمل کند و بنابراین پایدار و سازگار با محیط‌زیست نباشد (بوساری و همکاران، ۲۰۱۵). درنتیجه ابزار خاک‌ورزی نقش بسزایی در فرسایش و تخریب خاک دارد (بلانکو و لال، ۲۰۰۸)؛ بنابراین انتخاب ابزار مناسب خاک‌ورزی برای حفاظت آب‌وخاک بسیار مهم است و معمول‌ترین ابزار خاک‌ورزی که استفاده می‌شود گاوآهن برگردان است. با توسعه‌ی کشاورزی مکانیزه، گاوآهن‌های پیشرفته به‌عنوان عامل اصلی فرسایش خاک شناخته شدند (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). آنگونه که شخم شدید موجب فرسایش خاک، تهی‌شدن مواد مغذی خاک و کاهش فعالیت‌های زیستی می‌شود (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). از آنجا که فرسایش خاک بر عملکرد محصول تأثیر منفی می‌گذارد (استراس و کلاگوفر، ۲۰۰۱). لذا روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیز به حفظ سطح عملکرد کمک می‌کنند. چراکه روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی قادر به‌صرفه جویی در هزینه‌ها و افزایش کارایی ورودی ماشین‌آلات هستند (روسنر و همکاران، ۲۰۰۸ و وان دن پوت و همکاران، ۲۰۱۰).

در راستای عملیات خاک‌روزی پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است و بیش‌تر آن‌ها با در نظرگرفتن معیارهای حفاظتی می‌باشند که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: سیدالعلماء و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر فرسایش شخم بر میزان جابجایی و توان تولید خاک اراضی دیم در شهرستان توتکابن استان گیلان پرداختند. طی این مطالعه آنان هجده نقطه نمونه‌برداری را در هفت قطعه زمین مجاور در نظر گرفتند و ویژگی‌های حاصلخیزی خاک به همراه اجزای عملکرد گندم در نقطه نمونه‌برداری را تعیین نمودند. نتایج آنان نشان داد که اختلاف ارتفاع ایجادشده بین قطعات در جهت شیب بین ۱ تا ۲ / ۳ متر و در جهت جانبی بین ۱ تا ۳ / ۱ متر است. همچنین، حجم خاک جابه‌جاشده در این دو جهت به ترتیب بین ۸ تا ۳۶ و ۵ تا ۲۲ تن در هکتار در سال برآورد می‌شود. بوساری و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثرات خاک‌ورزی حفاظتی بر روی خاک، محصولات و محیط‌زیست دریافتند که خاک‌ورزی حداقل (MT)، در مقایسه با خاک‌ورزی با گاوآهن یا خاک‌ورزی متعارف (CT)، نه تنها باعث بهبود پایداری کل می‌شود بلکه باعث افزایش غلظت SOC و N در سنگدانه‌ها در عمق ۸–۵ سانتی‌متری سطح بالایی خاک می‌شود. همچنین نتایج آنان نشان داد که خاک‌ورزی شدید خاک را سست می‌کند، بقایای محصول را دفن و خاک را در معرض بارندگی با شدت زیاد و سرعت زیاد باد قرار می‌دهد که منجر به فرسایش شدید می‌شود؛ بنابراین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، مانند NT (بدون خاک‌ورزی) و MT (حداقل خاک‌ورزی) برای محافظت از خاک در برابر فرسایش بادی و آبی ایجادشده است. وانگ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات خاک‌ورزی حفاظتی بر روی تنوع باکتری‌های خاک دریافتند که خاک‌ورزی چیزل و بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی با گاوآهن (شخم متعارف) اثرات بیشتری روی ذرات رس و اثرات کمتری روی ذرات سیلت دارد و تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی رطوبت خاک را افزایش داده و رابطه قابل‌توجهی با ذرات رس خاک دارد؛ و باعث تغییر

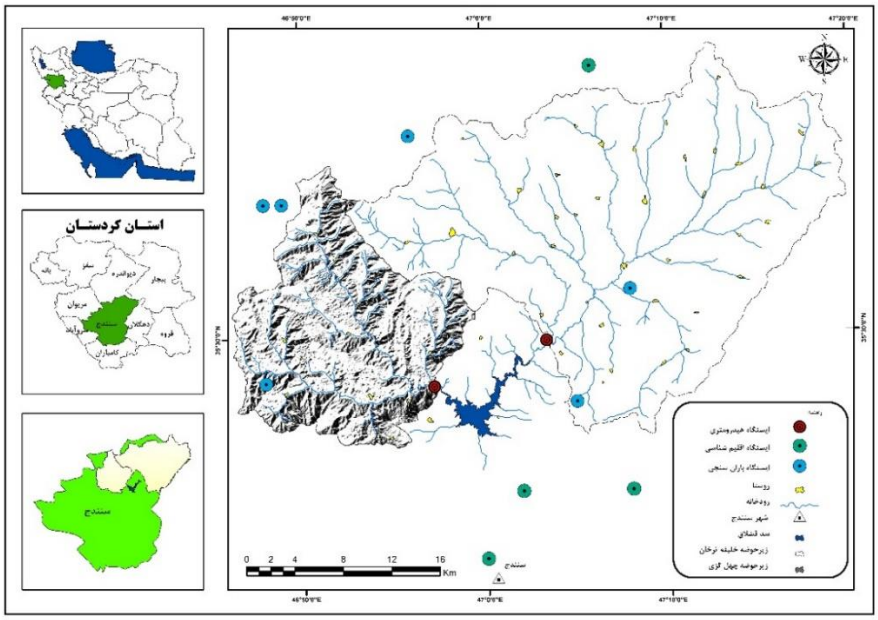
در تنوع آلفا و فراوانی باکتری‌های خاک می‌شود. هوسل و استراس (۲۰۱۶) در بررسی شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مناطق جلگه‌ای آلپ اتریش دریافتند که تیمارهای بدون خاک‌ورزی اقدامی مؤثر برای مقابله با فرسایش خاک و محافظت از آب‌های سطحی است و همچنین تکنیک‌های کشت برای خاک‌ورزی حداقل با حداقل تعداد رفت و آمد ماشین‌آلات انجام گیرد. کوسلو و همکاران ۲۰۱۸، کمی کردن جابجایی خاک و میزان فرسایش خاکورزی توسط سیستم‌های مختلف خاکورزی را در اراضی دیم شمال غربی ایران موردبررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که خاکورزی متعارف در امتداد خطوط تراز و در جهت خاکورزی باعث جابجایی بیشتر خاک (۵۷ سانتی‌متر) در مقابل سیستم‌های خاکورزی کاهشی و حداقل خاکورزی (به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر) می‌شود و همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط دیم، خاکورزی کاهشی در طول خطوط تراز به‌عنوان مثال با چیزل می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی فرسایش خاکورزی را نسبت به خاکورزی معمولی محدود کند. لی و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی چارچوب مدل‌سازی جامع برای ارزیابی فرسایش خاک توسط آب و خاکورزی به این نتیجه رسیدند که در صورت عدم خاکورزی برای تمامی نمونه‌ها در سراسر حوضه، ۷۲٪ و ۷۶٪ کاهش در تلفات کل خاک و عملکرد رسوب را می‌توان به‌دست آورد. علاوه بر این، اگر عملیات بدون خاکورزی در مناطق آسیب‌پذیر به‌منظور کاهش رسوب در سراسر حوضه اجرا شود، ۴۰ درصد عملیات بدون خاکورزی تقریباً همان کاهش را خواهد داشت که اجرای ۱۰۰ درصد عملیات بدون خاکورزی می‌تواند داشته باشد و بر اساس نتایج شبیه‌سازی آن‌ها، تأثیرات عملیات بدون خاکورزی در صورت اجرا در مواردی که بیشترین نیاز به آن وجود داشته باشد، برجسته‌تر است.

لذا با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک-ورزی، هدف این پژوهش، بررسی معادلات و روش‌های پیش‌بینی و برآورد مقدار جابجایی خاک حاصل از انواع ادوات خاک‌ورزی در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی است تا قدمی کوچک در راستای ارزیابی، ارائه الگوهای برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیات مدیریتی براساس واقعیت حاکم بر سیستم کشاورزی کشور ایران باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه چهل‌گزی به‌عنوان یکی از زیرحوضه-ها سد قشلاق سنندج در استان کردستان (پارسل A سدقشلاق)، در موقعیت جغرافیایی بین ´´۰۳ ´۲۵ °۳۵ تـا ´´۴۳ ´۳۷ °۳۵ عرض شمالی و ´´۲۴ ´۴۶ °۴۶ تا ´´۳۲ ´۵۹ °۴۶ طـول شـرقی واقع‌شده است (نی‌نیوا و همکاران، ۱۳۹۹). با توجـه بـه شـرایط طبیعی و آب و هوایی، معرف مناطق کوهـستانی در نظر گرفته می‌شود (مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار و مجهز به یک ایستگاه هیدرومتری). ارتفاع متوسط زیرحوضه مذکور حدود ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است و همچنین متوسط بارندگی نیز در این زیرحوضه ۲۹۴/۲ میلی‌متر، مساحت مراتع ۲۳۴۶۵ هکتار و مجموع زراعت آبی و دیم ۳۷۶۸ هکتار است. این زیرحوضه وجود ۱۵ روستا، همچنین وجود شیل با بیش‌ترین فرسایش و آهک‌های میکروفسیل‌دار با کم‌ترین فرسایش را در بین سنگ‌های پیوسته، به خود اختصاص داده‌است. علاوه بر این نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها بیش‌ترین حساسیت را دارند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۶). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (نی‌نیوا و همکاران، ۱۳۹۹)**

**داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز**

این پژوهش با هدف، بررسی معادلات و برآورد مقدار جابجایی خاک حاصل از انواع ادوات خاک‌ورزی (گاوآهن و چیزل) در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است؛ که با توجه به روش و اهداف این پژوهش، داده‌ها و اطلاعت مورد نیاز شامل: نقشه اراضی زراعی، شیب اراضی زراعی، نوع ادوات خاک‌ورزی مورد استفاده در اراضی مورد بررسی و روش‌ها و معادلات پیش‌بینی مورد استفاده در تعیین مقدار جابجایی خاک است که با بهره‌گیری از اطلاعات نقشه‌ای، کتابخانه‌ای و مشاهده‌ای جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته است.

**روش‌های پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک**

معادلات پیش‌بینی کننده متعددی با استفاده از درجه شیب به‌عنوان یک متغیر مستقل برای برآورد مقدار جابجایی خاک (L) به‌وسیله خاک‌ورزی وجود دارند. این معادلات متعلق به مناطق خاصی هستند، بنابراین به خصوصیات محل، خاک و روش‌های خاک‌ورزی وابسته‌اند (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). برآورد جابجایی خاک برحسب سانتی‌متر به شکل معادله (۱) است.

$$L = \alpha + \beta(S) \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق:

S: درجه شیب به درصد و $\alpha, \beta$: ضرایب رگرسیونی است. معادلات پیش‌بینی مورد استفاده در تعیین مقدار جابجایی خاک برحسب متر و سانتی‌متر (جابجایی طولی ناشی از عملیات خاک‌ورزی) به شرح جدول‌های (۱) تعریف‌شده است:

**جدول ۱- معادلات پیش‌بینی مقدار جابجایی خاک ناشی از خاک‌ورزی (بلانکو و لال، ۲۰۰۸)**

| ابزارات * | جهت خاک ورزی | معادله پیش‌بینی | $R^2$ | ارائه دهنده |
|---|---|---|---|---|
| شخم‌چیزل و گاوآهن برگردان‌دار و کلوخه شکن مدور | **بالا دست و پایین‌دست | L=6.43-0.35(S) | ۰/۷۲ | ون مویسن و همکاران (۲۰۰۶) |
| گاوآهن برگردان دار | بالا دست و پایین دست و شیب متقابل | L=0.516-0.508(Tan(S)) | ۰/۹۱ | کوین و ژانگ (۲۰۰۴) |
| گاوآهن برگردان دار | بالا دست و پایین – دست خطوط تراز | L=-0.91(S)+0.31<br>L=-0.38(S)+0.48 | ۰/۷۲ | ون مویسن و همکاران (۲۰۰۲) |
| گاوآهن برگردان دار | بالا دست و پایین دست – خطوط تراز | L=-0.54(S)+0.16<br>L=-0.54(S)+0.24 | ۰/۷۳ | سنت جرونتیدیس و همکاران (۲۰۰۱) |
| *** گاوآهن برگردان دار | بالا دست و پایین دست | L=-22(S)+11 | ۰/۸۸ | کوسماس و همکاران (۲۰۰۱) |
| شخم چیزل (کاه و کلش) | بالا دست و پایین دست | L=0.54(S)+0.034 | ۰/۶۷ | نیسن و همکاران (۲۰۰۰) |
| شخم چیزل (قبل از کشت) | – | L=-0.96(S)+0.23 | ۰/۵۱ | ون مویسن و همکاران (۲۰۰۰) |

* قابل ذکر است عدد مقابل هر ابزار بیانگر رفرنس ارائه شد در ستون آخر جدول است.

** منظور از بالادست و پایین‌دست، جهت حرکت ادوات خاک‌ورزی در جهت شیب است.

*** معادله مذکور برحسب منبع اصلی سانتی‌متر است.

## نوع ادوات و ابزار خاک‌ورزی

برای تعیین نوع ادوات خاکورزی در اراضی مورد استفاده، پرسشنامه‌ای طراحی گردید و نظر ۷۰ نفر از کشاورزان در زیرحوضه جمع‌آوری گردید. جامعه آماری پژوهش را کشاورزانی را تشکیل دادند که علاوه بر این‌که از شرایط منطقه آگاه مطلع بودند، خود نیز دارای اراضی زراعی و ادوات خاک‌ورزی بودند. پس از جویا شدن نظرات جامعه آماری، پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد گویای غالبیت گاوآهن برگردان دار به‌عنوان ادوات غالب خاک-ورزی در حوضه بود.

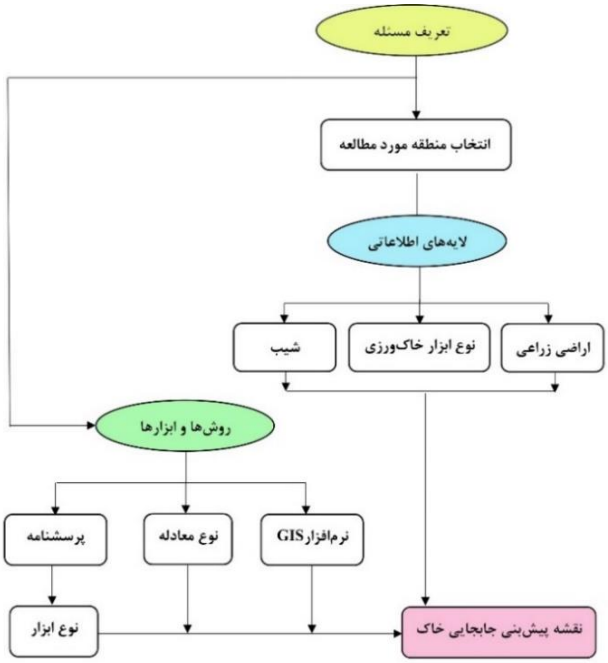
## روش کلی انجام پژوهش

طی این پژوهش ابتدا نقشه اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی تهیه و نوع ادوات خاک‌ورزی منطقه از طریق پرسشنامه جمع‌آوری گردید. بر اساس نوع ابزار غالب در منطقه و جهت کشت اراضی، نوع معادله پیش‌بینی در تعیین مقدار جابجایی خاک مطابق جدول (۱) مشخص و در نهایت با توجه به اهمیت پارامتر شیب اراضی در تعیین مقدار جابجایی خاک، به کمک نرم‌افزار GIS معادلات مربوطه در شیب اراضی زراعی منطقه توسعه داده شد و نقشه مقدار جابجایی خاک حاصل از خاک‌ورزی در اراضی زراعی شیب‌های مختلف متناسب با نوع ادوات خاک‌ورزی تعیین گردید؛ همچنین به‌منظور بررسی تفاوت پیش‌بینی معادلات مختلف، مقایسه‌ای بین میزان پیش‌بینی آنان صورت گرفت؛ که شکل (۲) روند کلی انجام پژوهش را به زبانی ساده‌تر نمایش می‌دهد.

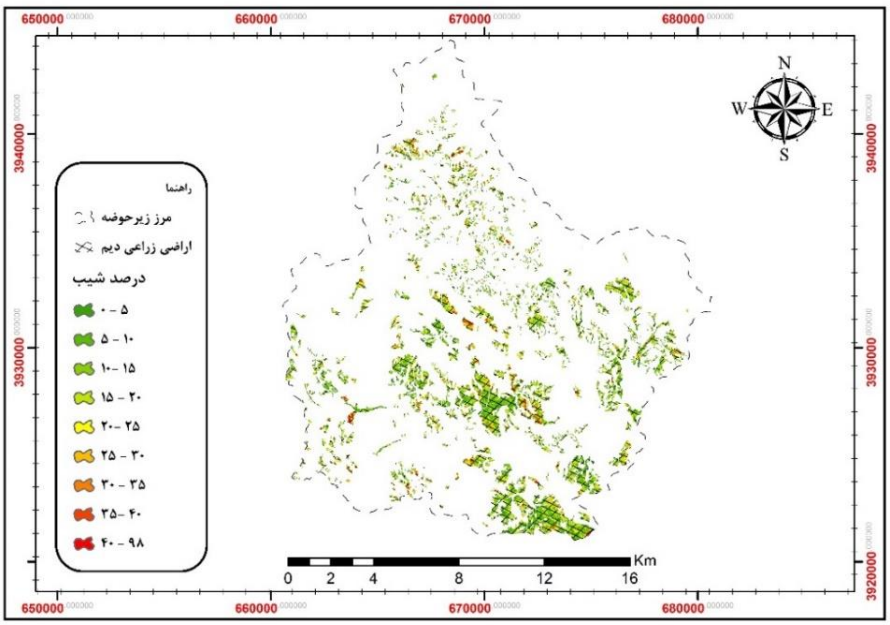
## نتایج و بحث

### نقشه شیب و کاربری اراضی زراعی

زیرحوضه چهل‌گزی دارای کاربری‌های اراضی: زراعت دیم، زراعت آبی، باغات توأم با زراعت، مراتع، مسکونی و صنعتی است (شرکت مهندسی مشاور سازه آب شفق، ۱۳۹۳)؛ اما با توجه به حجم وسیع استفاده از عملیات خاک‌ورزی در اراضی زراعی، تنها اراضی زراعی دیم به‌دلیل غالبیت در منطقه مدنظر قرار گرفته و متناسب با موقعیت مکانی هر کدام از اراضی و همپوشانی آنان با لایه شیب حوضه، نقشه کاربری اراضی زراعی توأم با شیب آنان تهیه گشت. شکل شمار (۳) نقشه کاربری اراضی زراعی درشیب‌های مختص به خود را نشان می‌دهد که مطابق آنان میانگین شیب اراضی زراعی دیم حوضه ۱۳/۷۹ درصد است.




**شکل ۲- روش کلی انجام پژوهش**

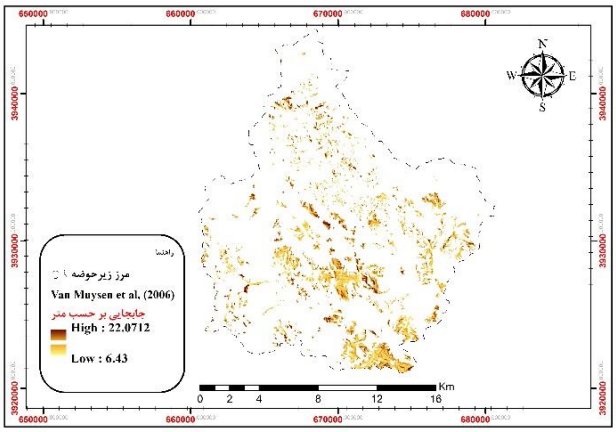



**شکل ۳- کاربری اراضی زراعی در شیب اختصاصی**

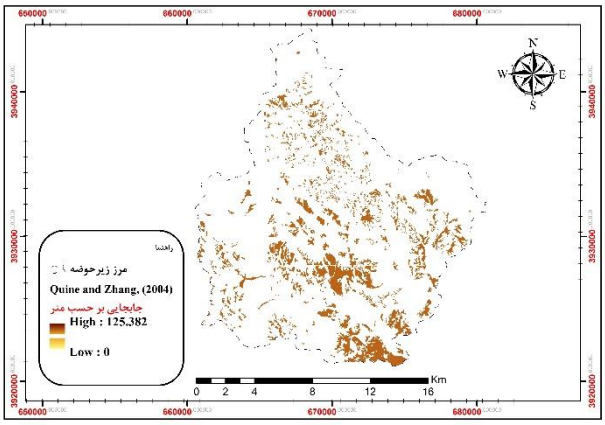
**نقشه‌های پیش‌بینی جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک-ورزی گاوآهن برگردان‌دار**

با توجه به اطلاعات حاصل از پرسشنامه، ابزار غالب عملیات خاک‌ورزی در جامعه آماری حوضه، گاوآهن برگردان دار معرفی‌شده است. همچنین اطلاعات پرسشنامه گویای عدم توجه کشاورزان به رعایت کشت بروی خطوط تراز و در جهت بالادست است. لذا با توجه به این اطلاعات نوع ابزار موردنظر گاوآهن برگردان دار و جهت شخم نیز در اراضی زراعی رو به پایین مدنظر قرارگرفته شد و همگام با این مهم نوع معادله پیش‌بینی با توجه به جدول (۱)

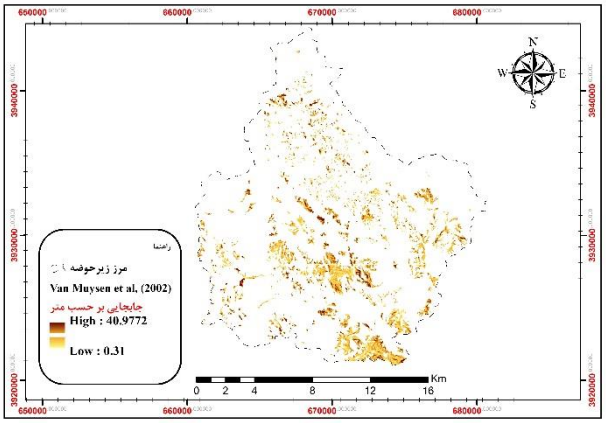
انتخاب و نسبت به شیب اراضی زراعی توسعه داده شد که شکل (۴) نقشه‌های پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با ابزار غالب (گاوآهن برگردان‌دار) زیرحوضه را نشان می‌دهد.



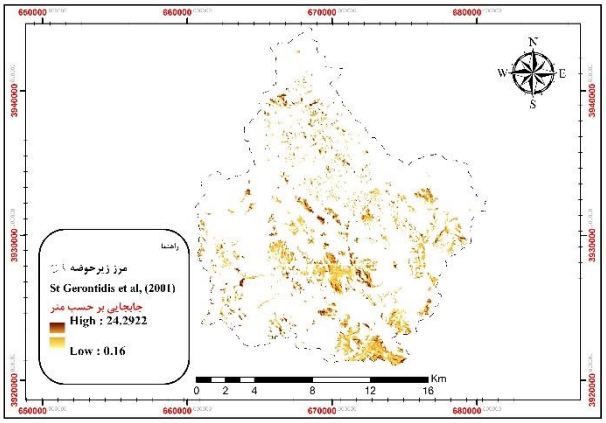

معادله پیش‌بینی ون مویسن و همکاران (۲۰۰۶)



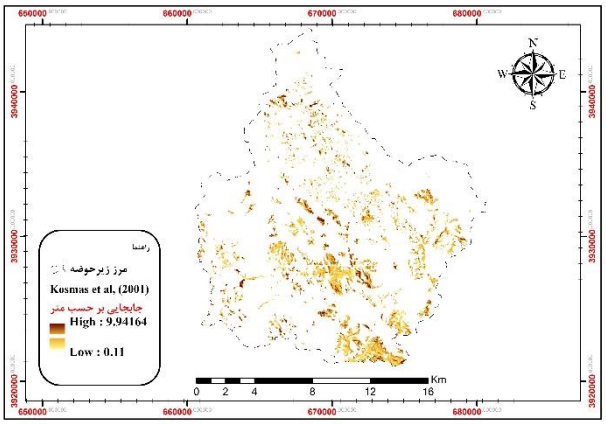

معادله پیش‌بینی کوین و ژانگ (۲۰۰۴)




معادله پیش‌بینی ون مویسن و همکاران (۲۰۰۲)




معادله پیش‌بینی سنت جرونتیدیس و همکاران (۲۰۰۱)

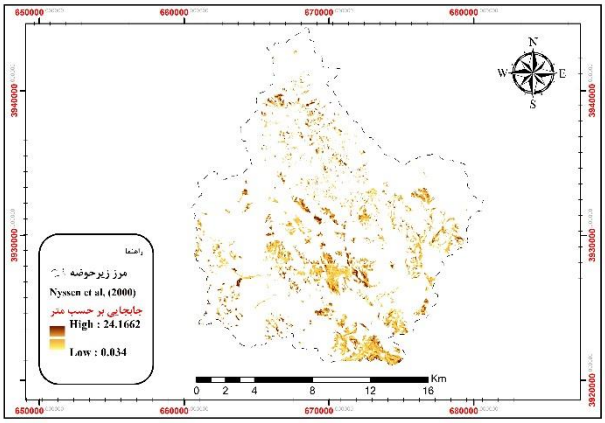



معادله پیش‌بینی کوسماس و همکاران (۲۰۰۱)

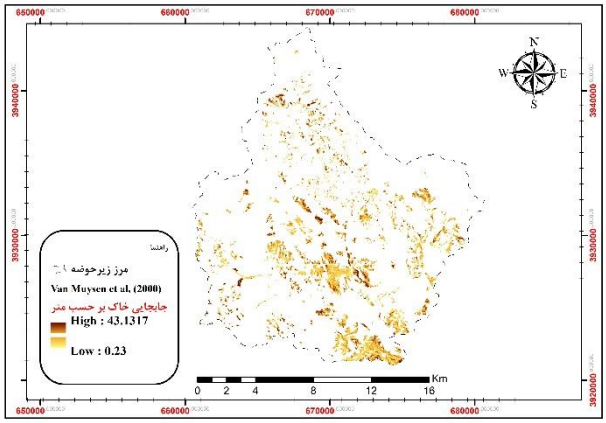
**شکل ۴- نقشه مقادیر برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان دار**

**نقشه‌های پیش‌بینی جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک-ورزی چیزل**

به‌منظور تحقق مفهوم و اهمیت فرسایش خاک-ورزی، با توجه به عدم رغبت و توجه کمتر کشاورزان به شخم چیزل، معادله پیش‌بینی جابجایی خاک با ابزار چیزل نیز نسبت به شیب اراضی زراعی حوضه توسعه داده شد که شکل (۵) نقشه پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با ابزار چیزل را نشان می‌دهد.




معادله پیش‌بینی نیسن و همکاران (۲۰۰۰)




معادله پیش‌بینی ون مویسن و همکاران (۲۰۰۰)

**شکل ۵- نقشه مقادیر برآورد جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با چیزل**

**مقایسه نتایج**

پس از توسعه معادلات پیش‌بینی در اراضی زراعی مقایسه‌ای دوسویه در بین معادلات پیش‌بینی گاوآهن برگردان دار نسبت به یکدیگر و نسبت به چیزل در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی صورت گرفت. در طی این مقایسه نتایج مطالعه پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با استفاده از گاوآهن برگردان-دار نسبت به شیب اراضی زیرحوضه چهل‌گزی گویای این است که تغییرات جابجایی خاک معادله ون مویسن و همکاران (۲۰۰۶) از ۶/۴۳ تا ۲۲/۰۷ متر و تغییرات جابجایی خاک معادله کوین و ژانگ (۲۰۰۴) از ۰ تا ۱۲۵/۳۸ متر، تغییرات جابجایی خاک معادله ون مویسن و همکاران (۲۰۰۲) از ۰/۳۱ تا ۴۰/۹۷ متر، تغییرات جابجایی خاک معادله سنت جرونتیدیس و همکاران (۲۰۰۱) از ۰/۱۶ تا ۲۴/۲۹ متر و تغییرات جابجایی خاک معادله کوسماس و همکاران (۲۰۰۱) از ۰/۱۱ تا ۹/۹۴ متر است. همچنین مقایسه نتایج مطالعه پیش‌بینی و تعیین مقدار جابجایی خاک ناشی از عملیات خاک‌ورزی با استفاده از چیزل گویا این است که تغییرات جابجایی خاک معادله نیسن و همکاران (۲۰۰۰) از ۰/۰۳۴ تا ۲۴/۱۶ متر و تغییرات جابجایی خاک معادله ون مویسن و همکاران (۲۰۰۰) از ۰/۲۳ تا ۴۳/۱۳ متر است؛ که معادلات پیش‌بینی سنت جرونتیدیس و همکاران در سال ۲۰۰۱ و ون مویسن و همکاران در سال ۲۰۰۶ میزان جابجایی خاک را تقریباً نزدیک به هم نشان می‌دهند. نکته قابل‌تأمل در نتایج حاصل از معادلات چیزل با وصف شناخت این ابزار به‌عنوان یک وسیله حفاظتی و تأثیر کمتر نسبت به گاوآهن‌برگردان‌دار، این است که میزان پیش‌بینی جابجایی در این معادلات، نزدیک به پیش‌بینی معادلات گاوآهن‌برگردان‌دار و حتی بیشتر از آن‌ها است که خود می‌تواند عدم کارایی معادلات را بیان و به‌نوعی اهمیت پژوهش و توسعه معادلاتی متناسب با شرایط کشور ایران را پیشنهاد دهد. لذا با توجه به معادلات مذکور گاوآهن برگردان‌دار متوسط پیش‌بینی و مقدار جابجایی طولی خاک در اراضی زراعی دیم زیرحوضه چهل‌گزی از ۱/۴۰ تا ۴۴/۵۳ متر تعیین شد.

**نتیجه‌گیری**

مطالعه حاضر به بررسی معادلات و پیش‌بینی و برآورد مقدار جابجایی طولی خاک حاصل از عملیات خاک‌ورزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی در اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی پرداخته است. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این زیرحوضه در فرسایش خاک‌ورزی و جابجایی خاک با توجه به سهم قابل‌توجه مساحت اراضی زراعی دیم است. لذا با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک‌ورزی و همچنین موقعیت زیرحوضه در تأمین آب سد قشلاق پیشنهاد می‌شود، الگوهای ارزیابی و برنامه‌ریزی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای پروژه‌های سودمند در ارتباط با کاهش نرخ جابجایی خاک در سطح حوضه با جدیت موردتوجه قرار گیرد تا قدمی کوچک در راستای واقعیت-های حاکم بر سیستم کشاورزی استان کردستان و کشور ایران باشد.

**پیشنهادهای ترویجی**

استفاده از منابع طبیعی به‌عنوان اصل اساسی زندگی، نیازمند دیدگاهی در راستای پتانسیل‌ها و واقعیت-های حاکم بر آن است که تحت برنامه‌ریزی و مدیریت اصولی انجام می‌پذیرد، هرگونه بهره‌برداری بدون توجه به اصول پایداری، تأثیرات جبران‌ناپذیر و یا پرهزینه را رقم می‌زند. لذا با توجه به اهمیت عملیات و فرسایش خاک-ورزی توصیه‌های کلی زیر به‌عنوان دستاورد مطالعه حاضر در راستای واقعیت‌های حاکم بر سیستم کشاورزی استان کردستان و کشور ایران پیشنهاد می‌گردد:

الف- ارائه مطالعه بنیادی در سطح کشور به‌منظور تعیین میزان نرخ فرسایش ناشی از خاک‌ورزی.

ب- ترغیب، ترویج و آموزش کشاورزان به عملیات کم خاکورزی و بدون خاک‌ورزی در اراضی زراعی.

ج- اعطای تسهیلات در راستای تجهیز کشاورزان به ابزارآلات کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی.

د- متناسب‌سازی الگوهای کشت با پتانسیل هر منطقه به‌منظور بهره‌برداری از پتانسیل واقعی هر منطقه.

ه- ترغیب کشاورزان به اهمیت راهکارهای حفاظتی در اراضی زراعی از قبیل احداث نوارهای بافر و...

**فهرست منابع**


۱. شرکت مهندسی مشاور سازه آب شفق، ۱۳۹۳. گزارش مطالعات ارزیابی اجرایی و اثربخشی پروژه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز پارسل A سد قشلاق سنندج (۶ فصل)، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان ، ص: ۴۶۹-۱.

۲. سیدالعلماء، س.ن، اسدی، ح، زواره، م، ۱۳۹۴. اثر فرسایش شخم بر میزان جابجایی و توان تولید خاک (مطالعه موردی: توتکابن در استان گیلان)، تحقیقات آب‌وخاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۴، ص: ۷۸۰-۷۶۹.

۳. ۳صادقی، ح.ر، غلامی، ل، خالدی درویشان، ع، ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق استان کردستان، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب‌وخاک، جلد ۲۲، شماره ۱، ص: ۱۵۰-۱۴۱.

۴. نی‌نیوا، س.پ، شاهدی، ک، زاهدی، ص، انتظامی، ه. ۱۳۹۹. سهم برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در تأمین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی، استان کردستان، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۲، شماره ۴، ص: ۹۷۶-۹۶۲.

5. Blanco, H., & Lal, R. (2008). Principles of soil conservation and management (Vol. 167169). New York: Springer.

6. Busari,A., Surinder,K,. Amanpreet, K., Rajan , B and Ashura , D. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research3 (2015)119–129.
7. Hösl, R., & Strauss, P. (2016). Conservation tillage practices in the alpine forelands of Austria—Are they effective?. Catena, 137, 44-51.
8. Kladivko EJ (2001) Tillage systems and soil ecology. Soil till Res 61(1-2): 61–76. Doi: 10.1016/S0167-1987(01)00179-9.
9. Kosmas C, Gerontidis S, Marathianou M (2001) the effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. Soil Tillage Res 58:31–44.
10. Kouselou, M., Hashemi, S., Eskandari, I., McKenzie, B. M., Karimi, E., Rezaei, A., & Rahmati, M. (2018). Quantifying soil displacement and tillage erosion rate by different tillage systems in dryland northwestern Iran. Soil Use and Management, 34(1), 48-59.
11. Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A. (2021). A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. Journal of Environmental Management, 279, 111631.
12. Nyssen J, Poesen J, HaileMet al. (2000) Tillage erosion on slopes with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. Soil Tillage Res 57:115–127.
13. Quine TA, Zhang Y (2004) Re-defining tillage erosion: quantifying intensity-direction relationships for complex terrain. 1. Derivation of an adirectional soil transport coefficient. Soil Use Manage 20:114–123.
14. Rosner, J., Zwatz, E., Klik, A., Gyuricza, C., 2008. Conservation tillage systems soil nutrient and herbicide loss in lower Austria and the mycotoxin problem. Substance 2(1.0), 0–6.
15. St Gerontidis DV, Kosmas C, Detsis B et al. (2001) the effect of moldboard plow on tillage erosion along a hillslope. J Soil Water Conserv 56:147–152.
16. Strauss, P., Klaghofer, E., 2001. Effects of soil erosion on soil characteristics and productivity. Aust. J. Agric. Res. 52 (2), 147–153.
17. Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere,M., (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. Eur. J. Agron. 33, 231–241.
18. Van Muysen W, Govers G, Van Oost K (2002) Identification of important factors in the process of tillage erosion: The case of mouldboard tillage. Soil Tillage Res 65:77–93.
19. Van Muysen W, Govers G, Van Oost K et al. (2000) the effect of tillage depth, tillage speed, and soil condition on chisel tillage erosivity. J Soil Water Conserv 55:355–364.
20. Van Muysen W, Van Oost K, Govers G (2006) Soil translocation resulting from multiple passes of tillage under normal field operating conditions. Soil Tillage Res 87:218–230.
21. Wang, Z,. Liu. L,. Chen, Q,. Wen, X and Liao, Y. (2016). Conservation tillage increases soil bacterial diversity in the dryland of northern China. Agron. Sustain. Dev. (2016) 36: 28.

# Equations and methods employed to estimate soil displacement due to tillage operations (A case study of Chehelgazi Sub-basin, Kurdistan Province)

**S. P. Nainiva[1], M. Shahrivar, and A. Najafi Nejad**

PhD Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (GUASNR), Iran. **Pedram.nainava@gmail.com**

PhD Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (GUASNR), Iran. **shahrivar.m2015@yahoo.com**

Associate Professor of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sci.& Natural Resources, Gorgan, Golestan Province, Iran. **najafinejad@gmail.com**

Received: April 2021, and Accepted: July 2021

## Abstract

Natural resources comprise principal ingredients of human life and require special consideration of their potentials and realities within a comprehensive and integrated framework; such an outlook might be only achieved through a disciplined planning and management system. Resource exploitation in the absence of due attention to sustainability principles will lead to irreparable or costly effects. Using the land use map of 2014, the present study employed GIS to estimate soil displacement due to tillage operations in an attempt to develop planning schemes, making managerial decisions, and implementing projects to reduce soil displacement rates across the dry farms in Chehelgazi sub-basin. For this purpose, the land use and sloping maps of the dry farms in the region were prepared and the type of tillage tools (plow and chisel) used were identified using the exiting data and field visits. Subsequently, soil displacement equations were developed according to the type of tools used and soil displacement estimates in the region were obtained. The results showed the high potential of tillage erosion and soil displacement due to the large area under dryland farming in this sub-basin so that the average longitudinal soil displacement due to reversible plough operation as the dominant practice in the basin was estimated to range from 1.40 to 44.53 m. The importance of tillage operations and soil erosion as well as the role of the sub-basin in supplying water to Gheshlagh dam require more decisive actions to reduce soil movement and to monitor and improve the agricultural system in Kurdistan Province and across the whole state.

**Keywords:** Tillage tools, Tillage erosion, Soil degradation, Soil loss, reduced crop production

[1] - Corresponding author: Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (GUASNR), Iran.