



## انتخاب مدل تبدیل مناسب برای روش سزیم<sup>۱</sup> ۱۳۷ در مطالعات فرسایش و رسوب در نهشته‌های لسی شمال شرق ایران

محمدحسین سیدعلیپور<sup>۱</sup>، محسن حسینعلی زاده<sup>۲\*</sup>، سادات فیض‌نیا<sup>۳</sup>، حسن احمدی<sup>۴</sup>، محمدرضا زارع<sup>۵</sup>

### چکیده

فرسایش آبی به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تخریب خاک به شمار می‌آید. برای محاسبه فرسایش خاک تقریبی مدل‌های تجربی و نظری زیادی توسعه یافته‌اند. سزیم<sup>۱</sup> ۱۳۷ در مطالعات فرسایش خاک در بسیاری از مناطق مختلف جهان، به عنوان یک فناوری جدید و دقیق استفاده می‌شود. ضرورت استفاده از این فناوری، انتخاب و استفاده از مدل تبدیل مناسب برای برآورد بهتر میزان فرسایش و رسوب است. به دلیل کمبود منابع فارسی در زمینه مدل‌های تبدیل روش سزیم<sup>۱</sup> ۱۳۷ و سایر رادیونوکلئیدها، هدف از این مقاله معرفی مدل‌های تبدیل و مقایسه آن‌ها به منظور شناخت بهتر آن‌هاست. بدین منظور در این تحقیق برای تعیین میزان فرسایش / رسوب برای مناطق کشاورزی از مدل‌های تبدیل نسبی، توازن جرمی I و توازن جرمی II و برای مناطق غیر کشاورزی از مدل‌های تبدیل توزیع نیمرخ و پخش و انتقال استفاده شد. پس از اجرای مدل‌های تبدیل، نتایج حاکی از آن است که در مناطق کشاورزی، مدل توازن جرمی I بیشترین تخمین و مدل توازن جرمی II کمترین تخمین را داشته‌اند، در حالی که در مناطق غیر کشاورزی مدل توزیع نیمرخ نسبت به مدل پخش و انتقال برآورد بیشتری داشته است. این در حالی است که میزان نرخ تحویل رسوب در هر سه مدل کشاورزی، کاملاً مشابه و در مدل‌های غیر کشاورزی، ۱۶ درصد تفاوت دارد. در کل، مدل نسبی و توزیع نیمرخ با توجه به درصد تغییرات کمتر، پارامترهای مورد نیاز کمتر و نرخ تحویل رسوب مشابه مدل‌های دیگر به ترتیب در مناطق کشاورزی و غیر کشاورزی در منطقه مورد مطالعه اولویت دارد.

### واژه‌های کلیدی:

فرسایش خاک، سزیم<sup>۱</sup> ۱۳۷، مدل‌های تبدیل، نهشته‌های لسی، مراوه تپه استان گلستان

۱ - دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، h.seyedalipour@gmail.com

۲ - استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، alizadeh\_m2001@yahoo.com

۳ - استاد گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، sfeiznia@ut.ac.ir

۴ - استاد دانشگاه آزاد، واحد علوم تحقیقات، ahmadi@ut.ac.ir

۵ - دانشجوی دکتری فیزیک هسته‌ای دانشگاه صنعتی اصفهان، m\_r\_zare@yahoo.com



Scientific-Research Quarterly Journal Of  
Environmental Erosion Researches  
Vol. 2, No. 7, autumn 2013, pp: 44-57

## Selection of Appropriate Conversion Model for 137Cs Method in Erosion and Sediment Studies In Loess Deposits in North-East of Iran

Seyedalipour M.H, Hosain alizadeh M, Feiznia S, Ahmadi H, Zare M.R

### Abstract

Soil erosion is one of the effective elements on soil destruction. Many empirical and theoretical models has been developed for soil erosion estimation 137 Cs technique is used as new and accurate method in this case across world. For applying this technique on computing erosion and sediment rate, an appropriate conversion model should be selected. For this propose in this study proportional, mass balance I and mass balance II were used in cultivated soils, also in uncultivated soils profile distribution and diffusion ad migration were used. The result shows that in cultivated soils mass balance I has the highest estimation, whereas in uncultivated soils profile distribution estimate this rate more than diffusion and migration model. While the SDR estimation by all three models are similar in cultivated soils, this result is not the same at uncultivated soils, but the models results indicate 16% difference. In general proportional model and distribution profile model are preferred for following reasons: less coefficient of variation (CV), less parameters needed, and similar SDR estimation with other models.

### Keywords:

Soil Erosion, 137 Cs Technique, Conversion Model, Loess Deposit, Maraveh-Tappeh

## ۱- مقدمه

خاک یک منبع حیاتی بوده و در بازه زمانی طول عمر انسان یک منبع تجدیدناپذیر است، در عین حال پویا بوده و مستعد تخریب سریع از طریق استفاده نادرست از آن است. فرسایش آبی به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تخریب خاک به شمار می‌آید (Blanco and Lal, 2008) برای محاسبه فرسایش خاک تقریبی معادلات، مدل‌های تجربی و نظری زیادی توسعه یافته‌اند (Zapata, 2002). اما به علت مشکلات مربوط به روش‌های متداول برای برآورد فرسایش خاک و عدم قطعیت معادلات و مدل‌های پیش‌بینی، در بسیاری از مناطق مختلف جهان، سزیم<sup>۱</sup> ۱۳۷ به عنوان یک فناوری جدید و دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد (Collins et al, 2010).

سزیم<sup>۱۳۷</sup> موجود در طبیعت حاصل دو پدیده فعالیت‌های بشری است: الف) آزمایشات اتمی که در سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۵۰ آغاز و تا سال ۱۹۷۰ ادامه یافت؛ ب) انفجار مرکز هسته‌ای چرنوبیل در شوروی سابق که در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ به وقوع پیوست. سزیم<sup>۱۳۷</sup> حاصل از انفجارات اتمی موجب گردید که این عنصر ابتدا به لایه استراتوسفر وارد شود و پس از توزیع در این لایه، به لایه تروپوسفر بازگردد و از این طریق و به وسیله آب حاصل از نزولات آسمانی به پهنا اراضی وارد شود. سزیم<sup>۱۳۷</sup> (نیمه عمر ۳۰/۱۲ سال) از آنجایی که دارای منبع طبیعی نبوده (Ritchie and McHenr, 1990) پس از آزمایش‌های جنگ‌افزارهای هسته‌ای در دهه‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ به عنوان یک ردیاب منحصر به فرد برای برآورد فرسایش و رسوب به شمار رفته و با توجه به میزان بارش و تعداد آزمایش‌های هسته‌ای در خاک ته‌نشین شد (Zapata, 2002). سزیم<sup>۱۳۷</sup> ریزش یافته به سرعت به وسیله ذرات ریز خاک سطحی مانند ذرات رس و ماده آلی خاک جذب می‌شود. حرکت سزیم<sup>۱۳۷</sup> در خاک به صورت شیمیایی و بیولوژیکی بسیار اندک بوده و فقط به صورت فیزیکی همراه ذرات کلئیدی در خاک جابه‌جا می‌شود (Afshar et al, 2010). اگرچه اندازه‌گیری سزیم<sup>۱۳۷</sup> اطلاعات کیفی راجع به توزیع مجدد در یک منطقه یا زمین‌نما ارائه می‌کند، اما در اکثر مطالعات لازم است چنین اندازه‌گیری‌هایی به برآوردهای کمی از فرسایش و ته‌نشست تبدیل شود که این وظیفه را مدل‌های تبدیل بر عهده دارند. این موضوع در برگیرنده استفاده از رابطه کالیبرا سیون است که بین افزایش و کاهش در صد رادیونوکلئید پرتوزا در یک ایستگاه متناسب با میزان مرجع (منطقه دست نخورده از واقعه چرنوبیل تا به حال) یک منطقه را به میزان فرسایش و ته‌نشست اتفاق افتاده مرتبط می‌سازد (Zapata, 2003). در بررسی شیوه‌ها و مدل‌های گوناگون که در تبدیل رادیونوکلئیدهای اندازه‌گیری شده به میزان فرسایش یا رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرند، تفاوت ما بین خاک‌های کشاورزی و غیر کشاورزی دارای اهمیت است. بنابراین مدل‌های تبدیل به دو دسته اصلی مدل‌های تبدیل برای خاک‌های کشاورزی و غیر کشاورزی تبدیل می‌شوند (Walling et al, 2007). مدل‌های کشاورزی به دو دسته تجربی و تئوری تقسیم‌بندی می‌شوند. استفاده از مدل‌های تجربی به دلایلی مانند: عدم قطعیت بالا، محدود بودن داده‌های مناسب و مناسب بودن معادله فقط برای داده‌های میانگین، منسوخ شده و در حال حاضر مدل‌های تئوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مدل‌های تبدیل در اراضی کشاورزی می‌توان به مدل نسبی<sup>۱</sup> و تعادل جرمی<sup>۲</sup> اشاره کرد. از مهمترین مدل‌های تئوری، مدل خانواده تعادل جرمی است که در سرتاسر جهان، استفاده گسترده‌ای دارد. در مورد مدل‌های تبدیل در خاک‌های غیر کشاورزی، مدل‌های توزیع پروفیل و پخش و انتقال، بیشترین کاربرد در مطالعات فرسایش و رسوب در جهان را به خود اختصاص می‌دهد (Zapata, 2002 ; Walling, et al, 2007).

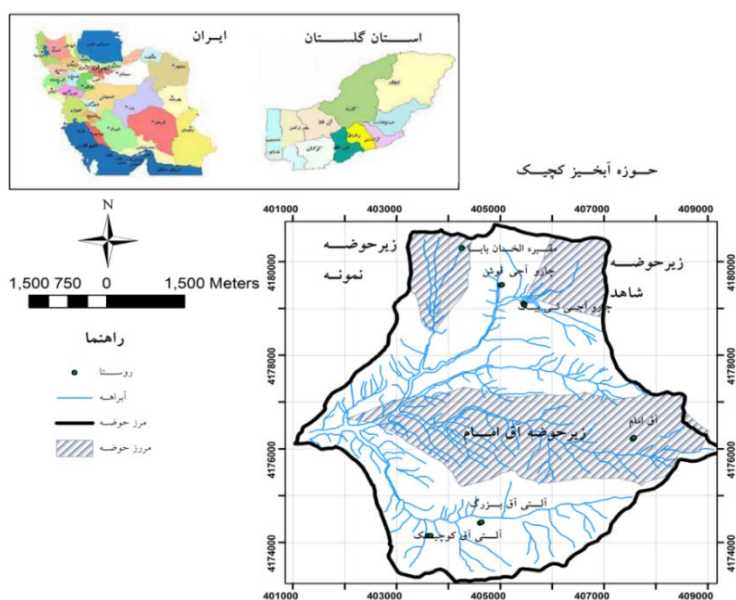
نرخ فرسایش‌پذیری در لس‌های شمال و شمال شرقی استان گلستان زیاد و در لس‌های حاشیه‌ی شمالی البرز به حداقل مقدار خود می‌رسد و این در حالی است که وسعت نهشته‌های لسی در استان گلستان بالغ بر ۳۲۰ هزار هکتار است که بیش از ۲۲۰ هزار هکتار آن در حوزه گزرگان رود واقع شده است (Khajeh, et al, 2003) بنابراین با توجه به حساسیت بالای نهشته‌های لسی ایران به فرسایش و در عین حال حاصلخیز بودن آن‌ها، استفاده از روش‌های دقیق برآورد فرسایش و رسوب مانند روش سزیم<sup>۱۳۷</sup> به همراه استفاده از مدل‌های تبدیل مناسب، اهمیت به سزایی دارد. این مهم باعث شد که در این تحقیق میزان فرسایش

خاک در سه زیرحوزه از حوزه آبخیز کچیک که کاملاً پوشیده از نهشته‌های لسی هستند، با استفاده از سزیم ۱۳۷ محاسبه و مدل‌های تبدیل کشاورزی و غیرکشاورزی در آن‌ها مقایسه شد.

تاکنون محققین زیادی از تکنیک سزیم ۱۳۷ در زمینه برآورد فرسایش و رسوب در سرتاسر دنیا استفاده کرده‌اند که هر کدام از مدل تبدیل به خصوصی استفاده کرده‌اند (Ritchie and Ritchie, 2008) و (Wakiyama et al, 2010). در ژاپن جهت برآورد فرسایش در مناطق جنگلی از مدل پخش و انتقال استفاده کرده و همانند آن (Kato et al, 2009) در مغولستان در مراتع نیمه‌خشک از مدل تبدیل پخش و انتقال استفاده کرده (Saç et al, 2008). در غرب ترکیه در حوزه آبخیز یاتاگان از مدل تبدیل نسبی برای مناطق کشاورزی و از مدل تبدیل توزیع نیمرخ در مناطق غیر کشاورزی استفاده کرده‌اند (Junge et al, 1990) در نیجریه (Theocharopoulos et al, 2003) در یونان (Schuller et al, 2003) در شیلی برای برآورد فرسایش و رسوب در مناطق کشاورزی از مدل تبدیل خانواده توازن جرمی استفاده کرده‌اند. اما تعداد اندکی از مقالات بر روی تفاوت بین مدل‌ها تمرکز کرده‌اند که از بین آن‌ها میتوان به (افشار و همکاران، ۱۳۸۹) اشاره کرد که در آن به بررسی مدل‌های تبدیل کشاورزی پرداخته است.

## ۲- روش تحقیق

### محدوده مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، سه زیرحوزه با نام‌های آق‌امام، شاهد و نمونه از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز کچیک انتخاب شد. حوزه آبخیز کچیک یکی از زیرحوزه‌های آبخیز قرناوه به‌شمار می‌آید. از طرفی حوزه آبخیز قرناوه نیز یکی از زیرحوزه‌های چندگانه حوزه آبخیز گرگان‌رود محسوب می‌شود. این حوزه، از نظر تقسیمات سیاسی جز شهرستان مراوه‌تپه بوده و در انتهای شمال شرق استان گلستان قرار دارد. حوزه آبخیز کچیک با حداقل ارتفاع ۶۲۰ متر و حداکثر ارتفاع ۱۲۶۴ متر از سطح دریا در بین طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه و

۵۲ ثانیه و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۵ ثانیه قرار گرفته است. واحد فیزیوگرافی در این حوزه عمدتاً متشکل از مناطق کوهستانی نسبتاً مرتفع با پوشش ضخیمی از نهشته لس بوده و کاربری اراضی آن در برخی قسمت‌ها به صورت زراعت دیم غلات و قسمتی به صورت مرتع با پوشش گیاهی ناچیز و در مناطق پرشیب از بوته‌ها و درختچه‌های جنگلی نسبتاً پراکنده برخوردار است. طبق تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه، اقلیم نیمه‌خشک معتدل تا سرد را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به آمار ۱۵ ساله، میانگین بارش سالانه ۴۸۲ میلی‌متر است که ماه‌های دی و بهمن از بیشترین و ماه‌های خرداد، تیر و مرداد از کمترین بارندگی برخوردار هستند. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و تبخیر سالانه ۱۶۲۵ میلی‌متر را به خود اختصاص داده است (شکل ۱).

**مدل‌های تبدیل<sup>۱</sup>:** در بررسی شیوه‌ها و مدل‌های گوناگون که در تبدیل رادیونوکلئیدهای اندازه‌گیری شده به میزان فرسایش یا رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرند، تفاوت قائل شدن ما بین خاک‌های کشاورزی و خاک‌های تحت چراگاه یا مرتع دائمی که به خاک‌های غیر کشاورزی یا دست نخورده معروف هستند، اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد. دلیل این تفاوت، وجود اختلاف در توزیع عمودی سزیم<sup>۲</sup> ۱۳۷ در پروفیل خاک آن‌ها است. در مورد خاک‌های کشاورزی، سزیم<sup>۳</sup> ۱۳۷ به خوبی در لایه شخم خورده مخلوط شده است، در حالی که در خاک‌های دست نخورده، غلظت سزیم<sup>۴</sup> ۱۳۷ در سطح خاک تمرکز دارد. از طرفی میزان فرسایش خاک برای اراضی غیر کشاورزی معمولاً کمتر از اراضی کشاورزی است. علاوه بر این، در غیاب مخلوط شدن مکانیکی خاک در طی عملیات کشت و کار، توزیع عمودی سزیم<sup>۵</sup> در پروفیل خاک متفاوت از اراضی کشاورزی است (He and Wallingm, 1997, 2003). فرآیند فرسایش خاک می‌تواند بین خاک دست نخورده و خاک کشاورزی متفاوت باشد. با توجه به موارد بالا، مدل‌های تبدیل به دو دسته اصلی اعم از مدل‌های تبدیل برای خاک‌های کشاورزی و غیر کشاورزی تبدیل می‌شود (Walling, et al, 2007).

جدول ۱- مدل‌های تبدیل برای سزیم<sup>۲</sup> ۱۳۷ در مناطق کشاورزی و غیر کشاورزی (Waling et. Al. ۲۰۰۷)

غیر کشاورزی	کشاورزی	
مدل توزیع نیمرخ <sup>۳</sup> مدل پخش و انتقال <sup>۴</sup>	مدل نسبی مدل توازن جرمی I مدل توازن جرمی II مدل توازن جرمی III	سزیم <sup>۲</sup> ۱۳۷

**مدل‌های کشاورزی:** در یک بررسی مهم در مدل‌های واسنجی مورد استفاده در فرسایش خاک (Walling and Quine, 1990). بین شیوه‌های تجربی و تئوری تمایز قائل شدند و مدل‌های واسنجی را به دو دسته تجربی و تئوری تقسیم بندی کردند. استفاده از مدل‌های تجربی به دلایلی مانند: عدم قطعیت بالا، محدود بودن داده‌های مناسب و مناسب بودن معادله فقط برای داده‌های میانگین، منسوخ شده است و در حال حاضر مدل‌های تئوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. به نحوی که بسیاری از عدم قطعیت و ثبات در مورد روابط تجربی با توسعه مدل‌های تئوری، اصلاح شده و با ارزیابی دقیق داده‌های حاصل از پلات‌های فرسایشی تصحیح شده است، که با این وجود استفاده از اندازه‌گیری سزیم<sup>۲</sup> ۱۳۷ در مطالعات فرسایش خاک، همواره یک شیوه پر کاربرد خواهد بود (Walling and Quine, 1990, 1995). استفاده از روش‌های تئوری محاسبه‌ای که قادر به ارزیابی تأثیرات ترکیبی فرایندهای پخش مجدد از ابتدای ریزش جوی بوده و تاریخچه مدیریت سرزمین در منطقه مورد نظر را نشان می‌دهند، روش مناسبی برای برقراری روابط کالیبراسیون مربوط به هر منطقه‌ای است (Walling and Quine, 1990, 1993). چنانچه نشانه‌های مستقلی از فرسایش بلندمدت وجود داشته باشد، با استفاده از این فرایندها نتایج بسیار نزدیک به برآوردها به دست می‌آید (Walling and Quine, 1993) از مدل‌های تبدیل تجربی در اراضی کشاورزی می‌توان به مدل نسبی و از مهمترین مدل‌های تبدیل تئوری می‌توان به تعادل جرمی I و II اشاره کرد که در سرتاسر جهان، استفاده گسترده‌ای دارد (جدول ۱).

**مدل نسبی:** مدل نسبی بر این اساس است که سزیم<sup>۲</sup> ۱۳۷ ریزش یافته به طور کامل در لایه شخم مخلوط شده و هدر رفت خاک مستقیماً متناسب با کاهش در موجودی<sup>۵</sup> سزیم<sup>۲</sup> ۱۳۷ (بکرل<sup>۶</sup> بر مترمربع) به علت فرسایش از نیمرخ خاک در نظر گرفته

۱ conversion model

۲ 137Cs

۳ Profile shape model

۴ Diffusion and migration model

۵ Inventory

۶ Bq مقدار ماده پرتوزا که در هر ثانیه یک اتم از آن واپاشی می‌شود

می‌شود. بنابراین اگر نیمی از سزیم ورودی برداشته شود، کل تلفات خاک در دوره مورد نظر معادل ۵۰ درصد عمق شخم در نظر گرفته می‌شود. اگر چه فرضیات این مدل یک رابطه ساده‌ای را بر حسب تجمع سزیم در خاک ارائه می‌کند، اما به دلیل اینکه تجمع سزیم در خاک در طی چندین سال طول می‌کشد، در صورتی که عمل برآورد فرسایش قبل از ادغام کامل سزیم در لایه شخم صورت گرفته و سزیم سطحی توسط عوامل طبیعی برداشته شده باشد، میزان برآورد بیش از مقدار واقعی خواهد بود. (Walling, et al, 2007)

**مدل توازن جرمی I:** مدل توازن جرمی ساده شده نیز نامیده می‌شود، به وسیله (Junge et al, 1990) ارائه شد (Walling, et al, 2007) این مدل جهت برطرف کردن محدودیت‌های مدل نسبی به وجود آمد. (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۰) مدل توازن جرمی I را با فرض اینکه تمام سزیم ۱۳۷ موجود در خاک در سال ۱۹۶۳ ریزش یافته است، ارائه کردند. این مدل نسبت به مدل نسبی، دقت بیشتری دارد و در عین حال به راحتی قابل استفاده است. اما با این حال این مدل ریزش‌های سزیم ی که اخیراً از راه فرسایش در لایه شخم جا به جا شده‌اند را در نظر نمی‌گیرد (Zapata, 2002).

**مدل توازن جرمی II:** مدل توازن جرمی II نسبت به مدل توازن جرمی I کامل‌تر است، که سزیم ریزشی در زمان‌های گوناگون و سزیم اخیراً ته نشین شده قبل از ادغام در لایه شخم را در نظر می‌گیرد (Walling, et al, 2007) این مدل هم تغییرات زمانی ریزش سزیم و هم توزیع اولیه ریزش تازه در سطح خاک را در نظر می‌گیرد. این مدل نسبت به مدل‌های قبلی دارای دقت بالاتری بوده و برآورد آن با مقدار واقعی دارای شباهت زیادی است، هرچند تعداد پارامترهای این مدل نسبت به مدل‌های نسبی و توازن جرمی I بیشتر است (Zapata, 2002).

**مدل توازن جرمی III:** در خانواده مدل‌های توازن جرمی، مدل دیگری تحت عنوان مدل توازن جرمی III وجود دارد که برای برآورد حرکت خاک تحت تأثیر شخم به کار می‌رود. این مدل نسبت به دو مدل دیگر این خانواده دقت بالاتری دارد، اما به دلیل پیچیده بودن و نیاز به پارامترهای متعدد در مطالعات فرسایش خاک، کمتر به کار گرفته شده است. برای کسب اطلاعات بیشتر از این مدل و بقیه مدل‌های تبدیل به (Zapata, 2002) و (Walling, et al, 2007) مراجعه شود.

**مدل‌های غیرکشاورزی:** در خاک‌های دست نخورده (غیرکشاورزی) فرایند توزیع سزیم ۱۳۷ در لایه خاک تفاوت‌های عمده‌ای با خاک‌های کشاورزی دارد (He and Walling, 1997, Zapata, 2002) در بیشتر محیط‌های کشاورزی، موجودی سزیم به لایه‌های نزدیک سطح خاک مربوط بوده و غلظت سزیم نسبت به عمق به صورت نمایی کاهش می‌یابد. در بسیاری از موارد، مقدار زیادی از سزیم کل در لایه ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک قرار دارد (Zapata, 2002).

**نمونه توزیع نیمرخ:** مدل توزیع نیمرخ، یک مدل ساده بوده و در نتیجه کار با آن آسان است. این مدل شامل تعدادی فرضیه ساده و مهم است. اما با این حال ماهیت وابسته به زمان بودن ریزش سزیم و تحول تدریجی توزیع عمق سزیم ۱۳۷ در پروفیل خاک بعد از ته نشین شدن از اتمسفر را در نظر نمی‌گیرد (Walling, 1997, Zapata, 2002).

**مدل پخش و انتقال:** هر چند مدل توزیع نیمرخ را می‌توان به منظور تخمین فرسایش و رسوب در اراضی دست نخورده استفاده کرد، ولی یک روش واقع‌گرایانه‌تر، نیاز است که تغییرات موقتی پروفیل عمقی سزیم (که منجر به توزیع مجدد سزیم بعد از رسوب‌گذاری شده) و رفتار وابسته به زمان و ورودی ریزش سزیم در پروفیل خاک را محاسبه کند (He and Zapata, 2002). حرکت‌های روبه پایین سزیم در یک پروفیل خاک دست‌نخورده شامل فرایندهای پخش و انتقال است (He and Walling, 1997). پخش<sup>۱</sup> سزیم در خاک، فرآیندی است که در آن جابجایی سزیم به‌واسطه فشار غلظت به فرم یون یا مولکول بوده و این بدین معنی است که هسته فقط قادر است از غلظت بالا به غلظت پایین، از راه تخلیه فشار جابه‌جا شود. انتقال<sup>۲</sup> سزیم در خاک، فرآیندی است که در آن حرکت رو به پایین سزیم به سبب انتقال واسطه‌ها، از قبیل جذب سطحی ذرات جامد و سیال‌های حل شده انجام می‌شود. بنابراین هسته قادر است از غلظت بالا به غلظت پایین و بر عکس حرکت کند. در مدل پخش و انتقال، رفتار وابسته به زمان ریزش سزیم و توزیع‌های مجدد سزیم در نیمرخ خاک به صورت توأم در نظر گرفته

۱ Diffusion

۲ Migartion

می‌شود. بنابراین نسبت به مدل توزیع نیمرخ، دارای دقت بالاتری در مطالعات فرسایش خاک است، اما برای اجرای این مدل پارامترهای بیشتری نیاز است (He and Walling, 1999, Walling, et al, 2007).

**برنامه کامپیوتری مدل‌های تبدیل:** مدل‌های متعددی برای تبدیل رادیونوکلوئیدهای خاک به میزان فرسایش و رسوب وجود دارد (He and Walling, 1999) به دلیل زیاد بودن و پیچیده بودن مدل‌ها و استانداردهای و تسهیل در استفاده از مدل‌ها (He and Walling, 2000) بسته نرم‌افزاری (Add-Ins) ارائه کردند که دربردارنده مدل‌های کاربردی تبدیل است. از یک طرف کار با این برنامه آسان بوده و دارای مدل‌های تبدیل برای رادیونوکلوئیدهای سزیم<sup>۱۳۷</sup>، سرب<sup>۲۱۰</sup> و بریلیوم<sup>۱۷</sup> است، از طرف دیگر برای کار با این برنامه داشتن اطلاعات کافی و پارامترهای مورد نیاز (جدول ۲) لازم و ضروری است (Walling et al, 2007).

جدول ۲- پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌های تبدیل

پارامترهای مورد نیاز	مدل
عمق شخم <sup>۱</sup> ، وزن مخصوص <sup>۲</sup> ، سال شروع به شخم <sup>۳</sup>	مدل نسبی و توازن جرمی II
عمق شخم، وزن مخصوص، سال شروع به شخم، فاکتور نسبی <sup>۴</sup> ، طول واهلش <sup>۵*</sup> ، سال ریزش اتمی <sup>۶</sup>	مدل توازن جرمی I
عمق شخم، ثابت شخم <sup>۷</sup> ، فاکتور نسبی، طول واهلش، طول شیب و درجه شیب برای هر قسمت از ترانسکت، سال ریزش اتمی	مدل توازن جرمی III
ضریب پخش <sup>۸</sup> ، طول واهلش <sup>۹*</sup> ، سال ریزش اتمی	مدل پخش و انتقال
فاکتور توزیع نیمرخ	مدل توزیع نیمرخ

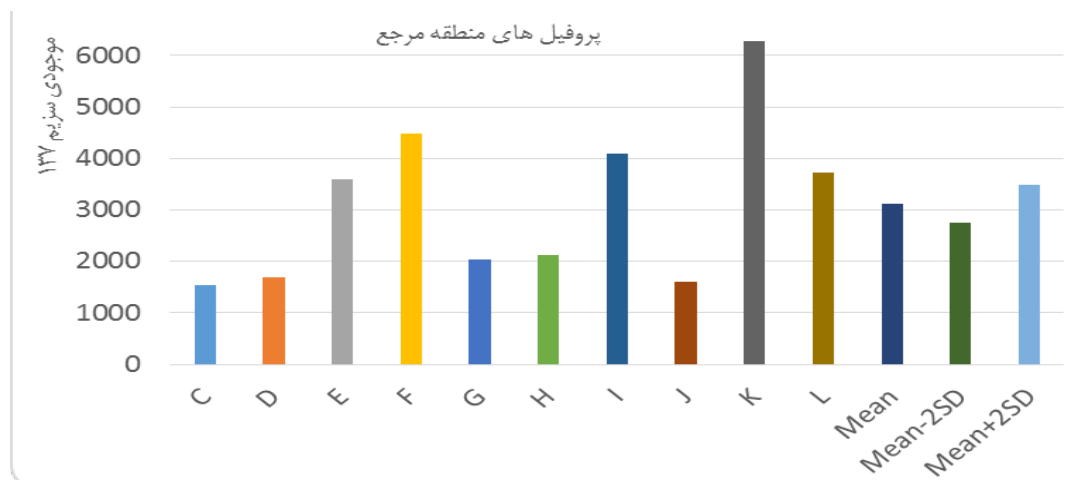
1- Tillage depth, 2- Bulk density, 3- Year of tillage commencement, 4- Proportional factor, 5- Relaxation depth, 6- Annual fallout flux, 7- Tillage constant, 8- Diffusion coefficient, 9- migration coefficient  
\* طول واهلش: طولی است که در آن میزان اکتیویته (بکرل بر کیلوگرم) به  $1/e$  مقدار سطح کاهش می‌یابد و برای رادیو نوکلئیدهای مختلف فرق می‌کند.

بهینه‌سازی محل‌ها (محل استقرار بهینه‌ی آشکارساز) بر اساس نمونه‌برداری مکانی مدل مینا با استفاده از روش مینیماکس صورت گرفت که خارج از مبحث این تحقیق است. جهت شمارش میزان سزیم<sup>۱۳۷</sup> از نمونه‌های منطقه مرجع و مورد مطالعه، می‌بایستی قبل از طیف‌نگاری طی مراحل نمونه‌ها آماده شوند. طبقه آماده‌سازی نمونه‌ها به این گونه است که ابتدا نمونه‌ها در مدت ۷۲ ساعت در فضای باز آزمایشگاه خشک شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از خروج از دستگاه و سرد شدن، نمونه‌ها از دو الک با روزه‌های ۱۰ و ۵۰ عبور داده شد. سپس ذرات زیر الک به میزان ۹۵۰ گرم در داخل ظروف مخصوص مارینلی قرار گرفت. پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها برای طیف‌گیری به آزمایشگاه اسپکترومتری منتقل شدند. برای طیف‌گیری از دو آشکارساز ژرمانیومی فوق خالص هم محور از نوع P با بازده نسبی ۳۸/۵ و ۵۵ درصد استفاده شد. زمان لازم برای طیف‌سنجی سزیم<sup>۱۳۷</sup> در هر نمونه تقریباً ۸۶۴۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد (Hosseinalizadeh, et al, 2002) یکی از ویژگی‌های سزیم<sup>۱۳۷</sup>، استفاده از داده‌های خام سزیم<sup>۱۳۷</sup> به منظور بررسی مطالعات فرسایش و رسوب است. میزان موجودی سزیم<sup>۱۳۷</sup> در منطقه یکی از موارد کلیدی در استفاده از فن سزیم<sup>۱۳۷</sup> در مطالعات فرسایش و رسوب، داشتن داده‌های سزیم<sup>۱۳۷</sup> از منطقه مرجع<sup>۱</sup> است. منطقه مرجع، منطقه‌ای است که تقریباً ۵۰ سال اخیر از دسترس بشر دور بوده و هیچ‌گونه کشت و زرع و جابه‌جایی خاک را متحمل نشده باشد (Zapata, 2002). بنابراین در ابتدا با توجه به بررسی‌های نقشه‌های محلی، پایش منطقه و مشورت با کارشناسان اداره منابع طبیعی و محلی، منطقه مرجع در

نزدیکی سایت هوایی ارتش انتخاب شد (Zapata, 2002). در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که در منطقه مرجع، کمتر از ۱۱ پروفیل جهت محاسبه میزان سزیم ۱۳۷ قابل قبول نیست. به همین منظور در منطقه مرجع با استفاده از یک سیستم شبکه نمونه برداری، ۱۲ پروفیل حفر شد، که در هر پروفیل از سطح زمین تا عمق ۱۰ سانتی متری با فاصله‌های ۲ سانتی متری و از ۱۰ تا ۳۰ سانتی متری با فاصله ۵ سانتی متری نمونه برداری صورت گرفت. برای نمونه برداری از دستگاه صفحه خراشنده<sup>۱</sup> با سطح مقطع ۱۰۰۰ سانتی متر مربع (۵۰×۲۰ سانتی متر) و با ارتفاع ۴۰ سانتی متر استفاده شد. پس از برآورد میزان سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع و مشخص شدن عمق نفوذ سزیم ۱۳۷، از منطقه‌های مورد مطالعه نمونه برداری صورت گرفت. در زیر حوزه آبخیز آق امام با استفاده از نقشه واحد کاری که از تلفیق چهار نقشه زمین شناسی، شیب، فرسایش و کاربری اراضی تهیه شده بود، ۲۴ موقعیت نمونه برداری که معرف کل زیر حوزه است، انتخاب شد. در زیرحوزه‌های شاهد و نمونه، تعداد محل‌های طیف سنجی نمونه‌ها بر اساس یک روش دنباله‌ای و بر اساس معیار طرح (واریانس کریگینگ)، ۶۰ محل برای هر زیرحوزه تعیین مرجع، ۳۱۱۸ بکرل بر مترمربع به دست آمد. با توجه به طیف سنجی سزیم ۱۳۷ می‌توان با مقایسه میزان سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع و منطقه مورد مطالعه، به صورت کیفی از فرسایش منطقه اطلاعات کسب کرد، اما برای کسب اطلاعات کمی و دقیق، به مدل‌های تبدیل نیاز است. با استفاده از برنامه کامپیوتری که در بالا توضیح داده شد، داده‌های خام سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع و منطقه مورد مطالعه، به میزان کمی فرسایش، رسوب و SDR تبدیل شد. برای اطلاع از میزان دقت مدل‌های تبدیل، برای مناطق کشاورزی مدل‌های نسبی، توازن جرمی I و II و برای مناطق غیر کشاورزی، مدل‌های توزیع نیمرخ و پخش و انتقال اجرا شده و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

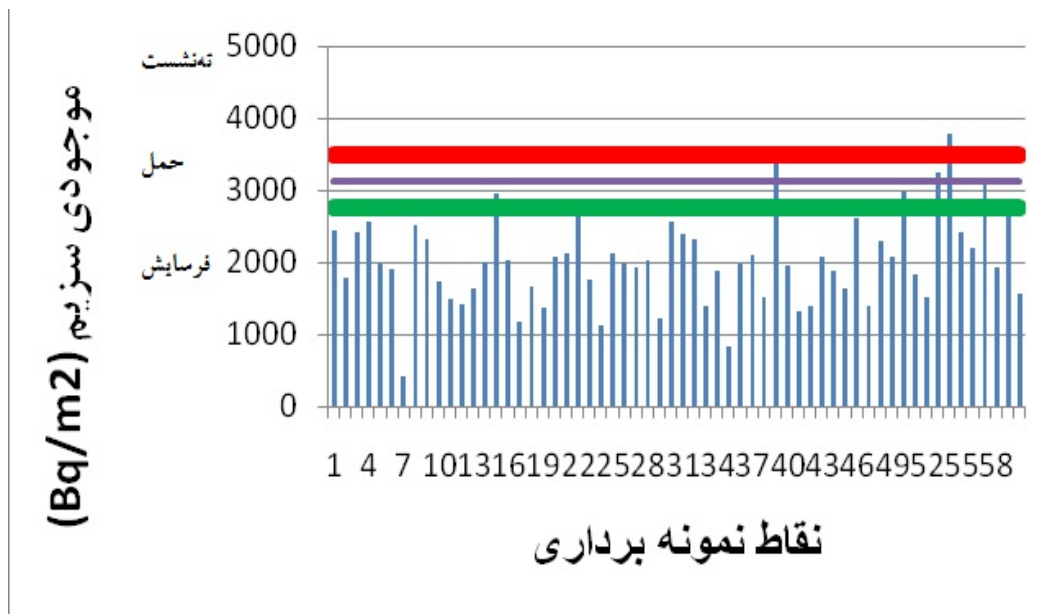
### ۳- نتایج

پس از اندازه‌گیری میزان سزیم ۱۳۷ از ۱۲ پروفیل منطقه مرجع و بررسی نتایج، ۱۰ پروفیل واجد شرایط منطقه مرجع بوده که با استفاده از آن‌ها میزان متوسط موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع ۳۱۱۸ بکرل بر مترمربع محاسبه شد. در مقایسه میزان موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع و منطقه مورد مطالعه به صورت کیفی و وضعیت فرسایش، انتقال یا رسوب با در نظر گرفتن حدود اطمینان  $95 \pm$  درصد (میانگین  $\pm 2$  برابر انحراف معیار) (نمودار ۱)، نمودارهای ۲، ۳ و ۴ نقاط فرسایش، انتقال و رسوب در هر سه زیرحوزه محاسبه و نمایش داده شده است. در این نمودارها نوار بنفش (وسط) بیانگر میانگین موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع، نوار سبز (پایین) بیانگر میانگین موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع منهای ۲ برابر انحراف معیار موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع و نوار قرمز (بالا) بیانگر میانگین موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع به اضافه ۲ برابر انحراف معیار موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع است.

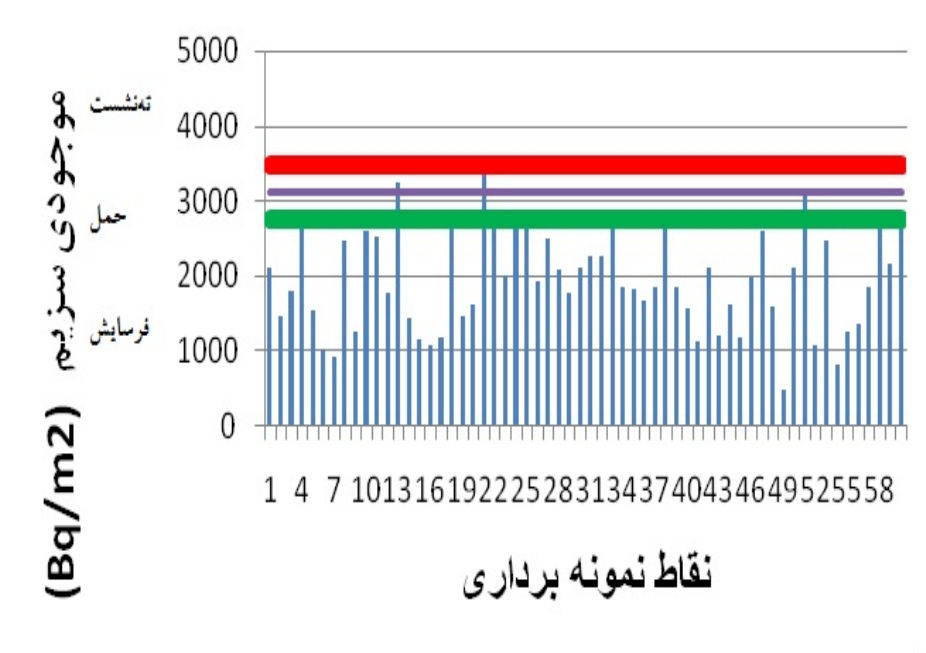


نمودار ۱- میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در پروفیل‌های منطقه مرجع و میانگین و ۲ برابر انحراف معیار آن‌ها

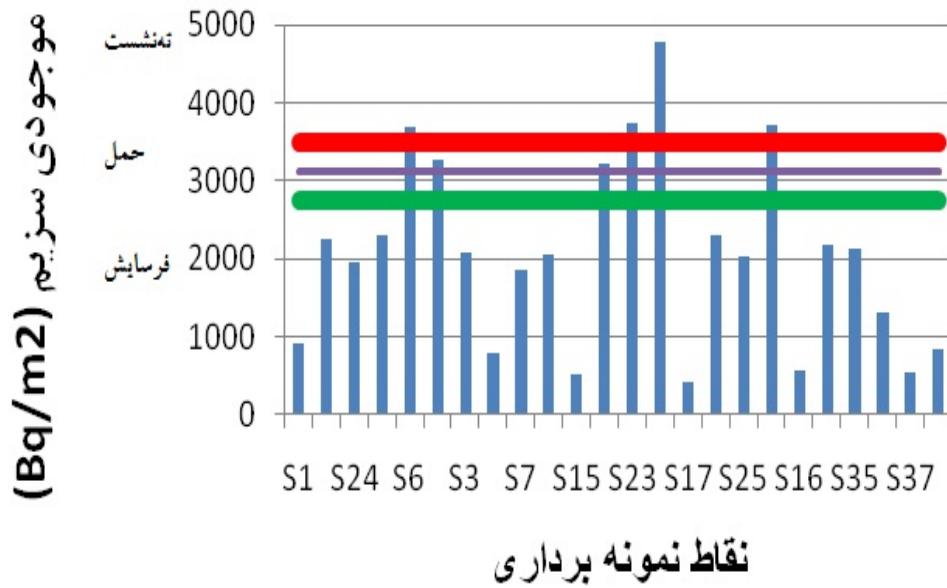




نمودار ۲- تعیین نقاط فرسایش، انتقال و رسوب در زیر حوزه شاهد



نمودار ۳- تعیین نقاط فرسایش، انتقال و رسوب در زیر حوزه نمونه



نمودار ۴- تعیین نقاط فرسایش، انتقال و رسوب در زیر حوزه آق امام

پس از محاسبه میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع، میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در هر سه زیرحوزه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

جدول ۳- موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مورد مطالعه

موجودی سزیم ۱۳۷ (بکرل بر مترمربع)			تعداد (نمونه)	کاربری	
متوسط	حداکثر	حداقل			
۲۰۲۷/۸۹	۳۷۸۵/۵۷	۴۲۹/۹۰	۶۰	کشاورزی	زیرحوزه شاهد
۱۹۳۵/۱۱	۳۴۲۷/۱۳	۴۸۴/۸۷	۶۰	کشاورزی	زیرحوزه نمونه
۱۷۴۹/۸۱	۳۶۸۳/۳۵	۴۰۸/۹۹	۱۵	کشاورزی	زیرحوزه آ امام
۲۵۷۳/۵۸	۴۷۹۱/۶۵	۵۱۲/۹۷	۹	غیرکشاورزی	زیرحوزه آق امام

پس از اندازه‌گیری میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع و سه زیرحوزه مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های تبدیل موجود در برنامه کامپیوتری Add-ins، میزان فرسایش و رسوب محاسبه شد. با استفاده از این برنامه کامپیوتری علاوه بر محاسبه فرسایش و رسوب در هر نقطه نمونه برداری یا طیف‌سنجی، می‌توان میزان فرسایش خالص، فرسایش ناخالص و نرخ تحویل رسوب کل منطقه را نیز محاسبه کرد (جدول ۴).

جدول ۴- میزان فرسایش در منطقه‌ای مورد مطالعه

مدل‌های تبدیل برای کاربری غیرکشاورزی (تن در هکتار در سال)	مدل‌های تبدیل برای کاربری کشاورزی (تن در هکتار در سال)				مدل پارامتر	زیرحوزه
	توزیع نیمرخ	توازن جرمی II	توازن جرمی I	نسبی		
۴/۳	۱۰/۶	۱۸/۶	۷۶/۹	۴۶/۴	فرسایش ناخالص	زیرحوزه آق امام
۲/۷	۸/۴	۱۸/۱	۷۴/۴	۴۴/۸	فرسایش خالص	
۶۳٪	۷۹٪	۹۷٪	۹۷٪	۹۷٪	نرخ تحویل رسوب	
۲/۷۲	۸/۳۶	۱۸/۰۵	۷۴/۴۴	۴۴/۸۱	متوسط فرسایش	
-	-	۱۰/۳	۴۹/۸	۳۶/۴	فرسایش ناخالص	زیرحوزه شاهد
-	-	۱۰/۱	۴۸/۸	۳۵/۷	فرسایش خالص	
-	-	۹۸٪	۹۸٪	۹۸٪	نرخ تحویل رسوب	
-	-	۱۰/۱۲	۴۸/۷۸	۳۵/۷۰	متوسط فرسایش	
-	-	۱۱/۵	۵۵/۳	۳۹	فرسایش ناخالص	زیرحوزه نمونه
-	-	۱۱/۴	۵۴/۹	۳۸/۷	فرسایش خالص	
-	-	۹۹٪	۹۹٪	۹۹٪	نرخ تحویل رسوب	
-	-	۱۱/۳۹	۵۴/۸۹	۳۸/۷۴	متوسط فرسایش	

محاسبات آماری مربوط به مدل‌های تبدیل در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- محاسبات آماری در منطقه‌ای مورد مطالعه

غیرکشاورزی		کشاورزی									کاربری منطقه
آق امام		آق امام			نمونه			شاهد			مدل تبدیل
پخش و انتقال	توزیع نیمرخ	توازن جرمی II	توازن جرمی I	نسبی	توازن جرمی II	توازن جرمی I	نسبی	توازن جرمی II	توازن جرمی I	نسبی	
-۲/۷۲	-۸/۳۶	-۱۸/۰۶	-۷۴/۴۴	-۴۴/۸۱	-۱۱/۳۹	-۵۴/۸۹	-۳۸/۷۴	-۱۰/۱۲	-۴۸/۷۸	-۳۵/۷۰	متوسط
۲/۴۲	۵/۷۷	۴/۱۸	۱۷/۱۸	۸/۰۹	۱/۰۵	۵/۰۳	۲/۸۱	۰/۹۸	۴/۶۸	۲/۶۸	خطای استاندارد
-۳/۶۲	-۶/۴۱	-۱۱/۴۷	-۴۷/۷۰	-۳۸/۲۶	-۱۱/۰۵	-۵۳/۴۱	-۴۱/۷۷	-۹/۵۵	-۴۶/۱۷	-۳۷/۲۹	میان
۷/۲۷	۱۷/۳۳	۱۶/۲۲	۶۶/۵۷	۳۱/۳۷	۸/۱۵	۳۹/۰۳	۲۱/۷۶	۷/۵۸	۳۶/۲۹	۲۰/۸۲	انحراف معیار
۵۲/۸۱	۳۰۰/۲۵	۲۶۳/۱۰	۴۴۳/۱۳	۹۸۴/۱۳	۶۶/۴۳	۱۵۲۳/۴۱	۴۷۳/۵۸	۵۷/۴۲	۱۳۱۷/۳۳	۴۳۳/۳۸	واریانس
-۰/۶۱	-۰/۰۵	-۰/۵۱	-۰/۵۲	-۰/۲۳	۰/۹۴	۰/۸۴	-۰/۶۶	۴/۳۳	۴/۱۰	۰/۷۴	کشیدگی
-۰/۳۲	-۱/۰۵	-۰/۵۲	-۰/۴۹	۰/۴۴	-۰/۷۹	-۰/۷۶	۰/۱۱	-۱/۱۶	-۱/۱۰	۰/۴۲	چولگی
۲۱/۵۸	۴۹/۱۴	۵۶/۵۴	۲۳۲/۱۷	۱۰۷/۲۵	۴۲/۱۶	۲۰/۱۲۰	۹۶/۳۸	۴۷/۸۸	۲۲۸/۵۹	۱۰۹/۹۲	دامنه تغییرات
-۱۳/۵۳	-۳۷/۸۶	-۴۹/۶۳	-۲۰۳/۰۳	-۸۸/۷۳	-۳۹/۱۴	-۱۸۶/۳۵	-۸۶/۲۵	-۴۱/۶۸	-۱۹۸/۱۵	-۸۸/۰۵	حداقل
۸/۰۵	۱۱/۲۸	۶/۹۱	۲۹/۱۴	۱۸/۵۲	۳/۰۲	۱۴/۸۵	۱۰/۱۳	۶/۲۰	۳۰/۴۴	۲۱/۸۷	حداکثر
۹		۱۵			۶۰			۶۰			تعداد
٪۲۶۷	٪۲۰۷	٪۸۹	٪۸۹	٪۷۰	٪۷۱	٪۷۱	٪۵۶	٪۷۴	٪۷۴	٪۵۸	درصد تغییرات

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

پس از بررسی‌های به عمل آمده با توجه به ۶۰ موقعیت طیف‌سنجی در زیرحوزه شاهد با کاربری کشاورزی مشخص شد که این زیرحوزه تنها دارای ۲ موقعیت رسوب و ۵ موقعیت انتقال بوده و ۵۳ موقعیت باقیمانده جزء مناطق فرسایشی به حساب می‌آیند. با توجه به ۶۰ موقعیت طیف‌سنجی در زیرحوزه نمونه با کاربری کشاورزی رسوب‌گذاری وجود نداشته و تنها ۸ موقعیت دارای ویژگی‌های منطقه انتقال بوده و ۵۲ موقعیت باقیمانده فرسایشی هستند. بنابراین نرخ فرسایش در این زیرحوزه‌ها بسیار بالاست. در زیرحوزه آق امام با کاربری مشترک کشاورزی و غیرکشاورزی ۴ موقعیت به صورت رسوب، ۲ موقعیت جزء انتقال و ۱۸ موقعیت باقیمانده جزء فرسایش است، که از ۴ موقعیت رسوب در این زیرحوزه یک موقعیت در مناطق کشاورزی، یک موقعیت در جنگل طبیعی، یک موقعیت در جنگل دست‌کاشت و یک موقعیت در مرتع مشجر قرار دارند. از ۲ موقعیت قرارگرفته در منطقه انتقال یک موقعیت دارای کاربری کشاورزی و موقعیت دیگر دارای کاربری جنگل دست‌کاشت است. از کل ۱۴۴ نمونه در هر سه زیرحوزه، تنها ۱۴/۶ در صد از نمونه‌ها جزء نقاط رسوب و انتقال بوده و ۸۵/۴ در صد نمونه‌ها جزء مناطق فرسایشی هستند. از دلایل فرسایشی بودن این نقاط می‌توان به مواردی نظیر، وجود نهشته‌های حاصلخیز و درعین حال مستعد به فرسایش، سیستم کشت غالب به صورت دیم، شخم در جهت شیب و رعایت نکردن اصول حفاظت خاک اشاره کرد. یکی از نکات حائز اهمیت که می‌توان به آن اشاره کرد، قرار گرفتن مناطق انتقال و رسوب در بخش غیرکشاورزی در کاربری‌های دارای درخت، نظیر جنگل طبیعی، جنگل دست‌کاشت و مرتع مشجر است. با توجه به میزان نرخ تحویل رسوب و جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت، در صورتی که در مناطق کشاورزی هدف مطالعه فرسایش و رسوب با سزیم ۱۳۷ بوده و نرخ تحویل رسوب دارای اهمیت باشد، بین مدل‌های تبدیل در این کاربری هیچ‌گونه تفاوتی مشاهده نشده و بر اساس داده‌های در دسترس، همه مدل‌های مذکور می‌توانند خروجی قابل قبولی ارائه دهند. ولی هر کدام از مدل‌ها معایب و مزایای مربوط به خود را دارا هستند. بزرگی مقادیر فرسایش خالص و ناخالص در هر سه زیرحوزه به ترتیب به مدل‌های توازن جرمی II، نسبی و توازن جرمی I اختصاص دارد، به نحوی که مقادیر فرسایش خالص و ناخالص در تمامی زیرحوزه‌ها در مورد مدل توازن جرمی I بیش از چهار برابر مقادیر برآورد شده توسط مدل توازن جرمی II است. مدل نسبی در تمامی موارد حد واسط قرار گرفته است. از مدل‌های تبدیل به کار گرفته شده در کاربری غیرکشاورزی، بین مدل توزیع نیمرخ و مدل پخش و انتقال، تفاوت ۱۶ درصدی بین نرخ تحویل رسوب مشاهده شد. با توجه به نتایج موجود می‌توان گفت که در هر سه زیرحوزه در مناطق کشاورزی، مدل توازن جرمی II و در منطقه غیرکشاورزی در زیرحوزه آق امام، مدل پخش و انتقال دارای کمترین میزان انحراف معیار می‌باشد و به همین صورت در هر سه زیرحوزه مدل توازن جرمی II کمترین درجه اطمینان (۹۵٪) را دارا بوده و در منطقه غیرکشاورزی (زیرحوزه آق امام) مدل پخش و انتقال دارای کمترین درجه اطمینان است که این بیانگر همگنی داده‌ها می‌باشد. اما با توجه به ضریب تغییرات، مدل نسبی کمترین در صد تغییرات را در هر سه زیرحوزه با کاربری کشاورزی به خود اختصاص می‌دهد. در منطقه غیرکشاورزی مدل توزیع نیمرخ با کمترین در صد تغییرات شرایط بهتری دارد. در صورتی که در صد تغییرات را ملاک ارزیابی قرار دهیم در مناطق کشاورزی با شرایط خاص منطقه مورد مطالعه مدل نسبی با توجه به در صد تغییرات کمتر، پارامترهای مورد نیاز کمتر و دارای نرخ تحویل رسوب مشابه دو مدل دیگر دارای اولویت بوده و در مناطق غیرکشاورزی نیز با توجه به دلایل ذکر شده برای مدل نسبی، مدل توزیع نیمرخ دارای ارجحیت کاربرد در این مناطق می‌باشد. در مطالعه مشابه که توسط افشار و همکاران (۱۳۸۹) صورت گرفته است، در مناطق کشاورزی مدل توازن جرمی میزان فرسایش را بیشتر از مدل نسبی برآورد کرده است و تفاوت این دو مدل بیشتر در جایی است که سرعت فرسایش خاک بالا است.

برای انجام پروژه‌های آتی پیشنهاد می‌شود که از روش اندازه‌گیری مستقیم برای مقایسه بهتر مدل‌ها در این حوزه و در سایر حوزه‌های کشور استفاده شده و نتایج به دست آمده با نتایج این تحقیق مقایسه شود تا بدین صورت بهترین مدل تبدیل که نتایج آن به داده‌های واقعی نزدیک‌تر است، به عنوان مدل مناسب برای مناطق مشابه معرفی گردد.

## ۵- مراجع

- ۱- عباس زاده افشار، ف.، ایوبی، ش.، جلالیان، ا.، خلیقی، ح.، اصغری‌زاده، ف. ۱۳۸۹. مقایسه مدل‌های نسبی و توازن جرمی در برآورد فرسایش و رسوب به روش رادیونوکلوئید سزیم - ۱۳۷ در منطقه اردل چهارمحال و بختیاری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. شماره ۴۱، ۱۳۷-۱۳۱.
- 2- Afshar, F. A., et al. (2010). Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using  $^{137}\text{Cs}$  technique in a cultivated complex hill slope in western Iran." *J Environ Radioact* 101(8): 606-614.
- 3- Blanco, H. and R. Lal (2008). Principles of Soil Conservation and Management." book: 836.
- 4- Collins, A. L., et al. (2010). A preliminary investigation of the efficacy of riparian fencing schemes for reducing contributions from eroding channel banks to the siltation of Salmonid spawning gravels across the south west UK. *J Environ Manage* 91(6): 1341-1349.
- 5- He, Q. and D. E. Walling (1997). "The distribution of fallout  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in undisturbed and cultivated soils." *Applied Radiation and Isotopes* 48(5): 677-690.
- 6- Hosseinalizadeh, M., et al (2011). Optimization and simulation of surface erosion (Case study: paired sub-catchment of Kachik). Thesis.
- 7- Junge, B., et al (1990). "First use of the  $^{137}\text{Cs}$  technique in Nigeria for estimating medium-term soil redistribution rates on cultivated farmland." *Soil and Tillage Research* 110(2): 211-220.
- 8- Kato, H., et al. (2009). "Using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  ex measurements to estimate soil redistribution rates on semi-arid grassland in Mongolia." *Geomorphology* 114(4): 508-519.
- 9- khajeh, M., et al. (2003). "assessment the sedimentology, sedimental area and sedimentation of quaternary deposits of Gorganrod watershed." PhD thesis.
- 10- Poreba, G., et al. (2003). "Concentration and vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in agricultural and undisturbed soils from chechŃo and czarnocin areas." *Geochronometria* 22: 67-72.
- 11- Quine, T. A. (1995). Estimation of erosion rates from caesium-137 data: the calibration question. . *Sediment and Water Quality in River Catchments*. I. D. L. Foster, Gurnell, A.M., Webb, B.W. Chichester, Wiley: 307-329.
- 12- Quine, T. A. and D. E. Walling (1993). Use of caesium-137 measurements to investigate relationships between erosion rates and topography *Landscape sensitivity* D. S. G. Thomas and R. J. Allison. London, John Wiley and Sons Ltd, Chichester (United Kingdom): 31-48.
- 13- Ritchie, J. C. and J. R. McHenry (1990). "Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review." *Journal of environmental quality* 19 (2) (2): 47-2425.
- 14- Ritchie, J. C. and C. A. Ritchie (2008, Last update 15 December 2008). "Bibliography of publications of  $^{137}\text{Cs}$  studies related to erosion and sediment deposition.
- 15- Saç, M., et al. (2008). "Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models." *Environmental Monitoring and Assessment* 136(1): 461-467.
- 16- Schuller, P., et al. (2003). "Use of  $^{137}\text{Cs}$  to estimate tillage- and water-induced soil redistribution rates on agricultural land under different use and management in central-south Chile." *Soil and Tillage Research* 69(1&2): 69-83.
- 17- Theocharopoulos, S. P., et al. (2003). "Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the  $^{137}\text{Cs}$  technique." *Soil and Tillage Research* 69(1&2): 153-162.
- 18- Wakiyama, Y., et al. (2010). "Soil erosion rates on forested mountain hill slopes estimated using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$ ." *Geoderma* 159(1-2): 39-52.

- 19-** Walling, D. E. and Q. He (1999). "Improved models for estimating soil erosion rates from cesium 137 measurements." *Journal of Environmental Quality* 28(2): 611-622.
- 20-** Walling, D. E. and T. A. Quine (1990). "Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data." *Land Degradation & Development* 2(3): 161-175.
- 21-** Walling, D. E., et al. (2007). "Models for Converting Measurements of Environmental Radionuclide Inventories ( $^{137}\text{Cs}$ , Excess  $^{210}\text{Pb}$ , and  $^7\text{Be}$ ) to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates (Including Software for Model Implementation)."
- 22-** Zapata, F. (2002). *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides*. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- 23-** Zapata, F. (2003). The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. *Soil and Tillage Research* 69 (1-2): 3-13.