مقايسه مدل‌هاي نسبي و توازن جرمي در برآورد فرسايش و رسوب به روش راديونوکلئويد سزيم-۱۳۷ در منطقه اردل چهارمحال و بختياري

فريده عباس زاده افشار[۱]، شمس الله ايوبي[۲]*، احمد جلاليان[۳]، حسين خلفي[۴] و فريد اصغري‌زاده[۵]
[۱] دانشجوي سابق کارشناسي ارشد، [۲] دانشيار و [۳] استاد گروه خاکشناسي، دانشکده کشاورزي
دانشگاه صنعتي اصفهان [۴] دانشيار و [۵] مربي پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌اي، سازمان انرژي اتمي ايران

چکيده

فرسايش خاک و تخريب اراضي از مشکلات اساسي براي توسعه و حفاظت منابع محيطي هستند. بنابراين به‌دست آوردن اطلاعات کمي معتبر از سرعت و وسعت جهاني فرسايش خاک يک نياز ضروري است. استفاده از سزيم-۱۳۷، براي مطالعات فرسايش و رسوب خاک يکي از روش‌هاي شناخته شده جهاني است. اين تحقيق به منظور تخمين فرسايش و رسوب خاک با استفاده از روش سزيم- ۱۳۷ و مدل‌هاي نسبي، توازن جرمي۱ و توازن جرمي ۲ در منطقه اردل چهارمحال و بختياري صورت گرفته است. نمونه‌برداري خاک به صورت شبکه بندي منظم در ابعاد ۲۰*۲۰متر انجام شد. جهت اندازه‌گيري سزيم-۱۳۷، ۵۰۰ گرم از هر نمونه خاك داخل ظرف پلاستيکي استاندارد شمارش ريخته شد و توسط دستگاه اسپکترومتري اشعه گاما مورد اندازه‌گيري قرار گرفت. موجودي سزيم اندازه گيري شده در نقاط نمونه برداري شده در دامنه ۲۴۵-۴۷۴۴ بکرل بر متر مربع متغير بود. ميزان ريزش سزيم در نقطه مرجع ۲۱۳۰ بکرل بر متر مربع اندازه‌گيري شد. ميانگين فرسايش خاک در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل‌هاي نسبي، توازن جرمي ۱ و توازن جرمي ۲ به ترتيب ۲۰/۹، ۲۹/۸ و ۲۰/۱ تن در هکتار در سال محاسبه شد. نتايج کلي اين تحقيق نشان داد که اراضي تپه ماهوري منطقه اردل استان چهار محال و بختياري دچار فرسايش خاك نسبتاً بالائي هستند. مقدار نسبت تحول رسوب محاسبه شده توسط سه مدل نشان مي دهد که بخش اعظمي از ذرات فرسايش يافته مجدداً در منطقه مورد مطالعه رسوب مي کند. مقايسه نتايج سه مدل مورد مقايسه نشان داد که مدل هاي توازن جرمي ميزان فرسايش را بيشتر از مدل نسبي برآورد مي‌کند. تفاوت بين اين دو مدل بيشتر در جايي که سرعت فرسايش خاک بالا بوده واضح‌تر است و در صورتي که در نقاطي که ميزان فرسايش کمتر بوده، تقريباً تفاوتي ديده نمي‌شود.

واژه‌هاي کليدي: راديونوکلئويد، سزيم-۱۳۷، فرسايش خاک، رسوبگذاري خاک، اردل چهارمحال و بختياري

مقدمه

فرسايش و رسوب خاک از فرآيندهاي طبيعي هستند، اما با دخالت انسان از طريق جنگل تراشي، چراي بيش از حد و فعاليت‌هاي کشاورزي بي‌رويه تشديد مي‌شوند. فرسايش خاک تشديدي و تخريب اراضي از مشکلات اساسي براي توسعه و حفاظت محيط زيست هستند. به‌دست آوردن اطلاعات کمي معتبر از سرعت و وسعت جهاني فرسايش خاک جهت برنامه‌ريزي و مديريت حوزه‌هاي آبخيز امري ضروري است (Zapata, 2003).

استفاده از فناوري هسته‌اي در محاسبه فرسايش و مخصوصاً براي توصيف هدر رفت خاک يک ابزار اقتصادي و سريع است. سزيم-۱۳۷ يک راديوايزوتوپ مصنوعي با نيمه عمر ۳۰/۱۲ سال است که در نتيجه انفجارات هسته‌اي که در سال‌هاي ۱۹۵۰-۱۹۷۰ بوجود آمده و همراه با بارش باران وارد خاک شد. سزيم-۱۳۷ به سرعت جذب ذرات زير افق خاک سطحي از جمله ذرات رس و ماده آلي خاک مي‌شود (Ritchie and Mc Henry, 1990; Walling and Quine, 1993). تحرک سزيم-۱۳۷ در خاک به‌صورت شيميايي و بيولوژيکي بسيار اندک بوده و فقط به صورت فيزيکي همراه ذرات کلوئيدي در خاک جابجا مي‌شود. پراکنش مجدد آن اصولاً همراه با تحولات فيزيکي در خاک نظير فرسايش و شخم مي‌باشد و همچنين به علت نيمه عمر طولاني و نگهداري آن در لايه سطحي مي‌تواند به عنوان يک رديات مناسب براي تعيين جابجايي خاک از طريق فرسايش آبي يا فرسايش بادي در ۴۰ سال اخير مورد استفاده قرار گيرد (Ritcheie and Mc Henry, 1990; Walling and Quine, 1990b; Ronggui and Tiessen, 2002).

اولين بار در آزمايشي که در سال ۱۹۷۰ توسط Rogowski and Tamura صورت گرفت، ارتباط معني‌داري بين هدر رفت خاک از يک کرت آزمايشي کوچک (۲/۳*۲/۳ متر) و

* پست الکترونيك مکاتبه کننده: ayoubi@cc.iut.ac.ir

هدر رفت سزیم- ۱۳۷ گزارش گردید. این تحقیق استفاده از عنصر رادیواکتیو مزبور را که در اثر آزمایش‌هاي هسته‌اي به جو زمین رسیده است، در مطالعات فرسایش خاک متداول کرد. Andrello et al. (۲۰۰۳) براي ازریابي فرآیندهاي فرسایشي از فناوري سزیم-۱۳۷ استفاده کردند و نشان دادند که فناوري سزیم-۱۳۷ یک روش خوب براي ارزیابي برنامه هاي ترویجي وحفاظت خاک است و نتایج را نسبت به روش‌هاي سنتي سریعتر بدست مي‌آورد. همچنین تخمیني از انتقال خاک را در یک دوره تقریبا ۳۵ ساله تهیه مي‌کند.

Hassouni and Bouhlassa (۲۰۰۵) از فناوري سزیم-۱۳۷ براي تخمین سرعت توزیع مجدد خاک و اندازه‌گیري میزان فرسایش و رسوب در اراضي کشاورزي شیب‌دار استفاده کردند. مطالعه آنها نشان داد که فناوري سزیم-۱۳۷ یک روش مؤثر در تخمین سرعت توزیع مجدد خاک در مناطق بزرگ در زمان کوتاه است. Sac et al. (۲۰۰۸) براي اندازه‌گیري میزان فرسایش و رسوب خاک در ترکیه از تکنیک سزیم-۱۳۷ و مدل-هاي مختلف محاسبه فرسایش استفاده کردند. Wang et al. (۲۰۰۸) نیز از روش سزیم- ۱۳۷ براي تعیین سرعت فرسایش در مناطق با ارتفاع زیاد در چین استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که پتانسیل روش سزیم- ۱۳۷ در بررسي الگوهاي مکاني توزیع مجدد خاک در منطقه مورد مطالعه مناسب است. Ritchie et al. (۲۰۰۷) از روش سزیم-۱۳۷ به عنوان ابزاري براي تشخیص توزیع مکاني خاک و کربن آلي خاک در یک زمین نما استفاده کردند.

Kalhor (۱۹۹۸) از دو روش سزیم- ۱۳۷ و معادله جهاني تلفات خاك براي برآورد فرسایش و رسوب استفاده کرد. با توجه به بررسي انجام شده، مشخص شد که روش سزیم- ۱۳۷، روشي با ویژگي‌هاي خاص خود و با دقت بالائي است که مي‌توان جهت محاسبه میزان فرسایش و رسوبگذاري اراضي، از آن بهره گرفت. Asadi et al. (۲۰۰۵) از روش سزیم- ۱۳۷براي تخمین فرسایش سطحي استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از یك سو نیاز به کار صحرایي کمي داشته و از سوي دیگر دستیابي به نتایج مورد نظر در کمترین زمان امکان پذیر است. Honarjo et al. (۲۰۰۵) نیز براي اندازه‌گیري میزان فرسایش و رسوب از روش سزیم-۱۳۷ استفاده کردند و نتیجه گرفتند که با روش سزیم-۱۳۷ مقدار فرسایش خالص را مي‌توان محاسبه کرد.

با توجه به مدیریت نامناسب در اراضي شیبدار استان چهار محال بختیاري از جمله جنگل تراشي و تبدیل مراتع به دیم‌زارهاي کم بازده، تخمین دقیق فرسایش خاک داراي اهمیت است. از روش اندازه‌گیري سزیم-۱۳۷ در استان چهارمحال و بختیاري استفاده نشده است و در کشور هم مقایسه بین مدل-هاي مختلف برآورد فرسایش در این روش صورت نگرفته است. در این تحقیق میزان فرسایش خاک در یک تپه با شیب مرکب با استفاده از روش سزیم-۱۳۷ و کاربرد مدل‌هاي محاسبه فرسایش خاک از جمله مدل نسبي(PM) ، توازن جرمي۱ (MBM1) و توازن جرمي۲ (MBM2) مورد مطالعه قرار گرفت.

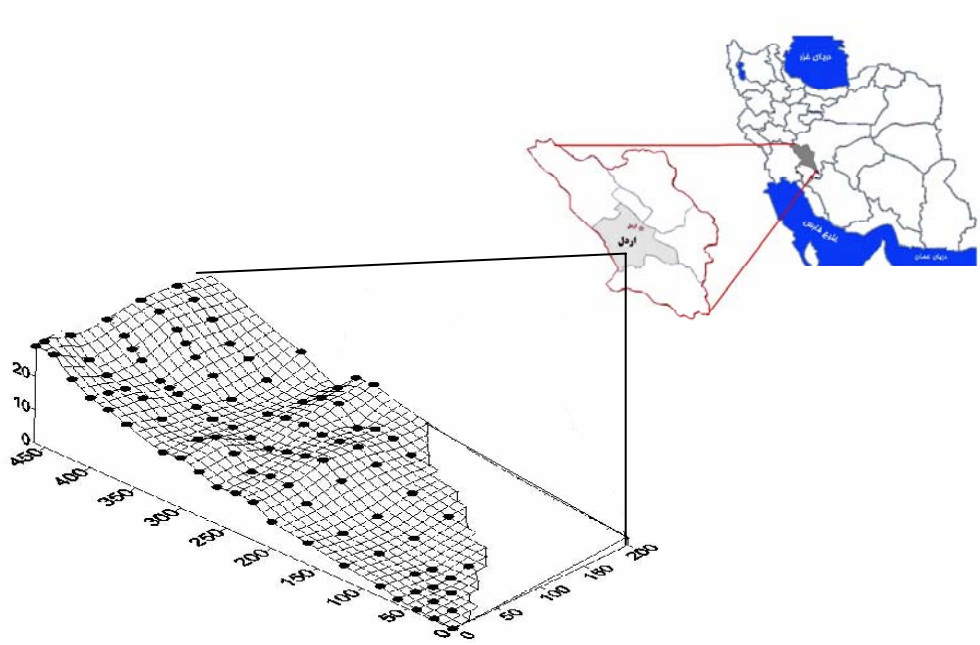
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه یک تپه با شیب مرکب با مساحت ۱۰ هکتار در استان چهارمحال و بختیاري است که در عرض جغرافیایي ´ ۳ °۳۲ تا ´۵۸ °۳۱ شمالي و طول جغرافیایي ´۱۲ °۵۰ تا ´۳۷ °۵۰ شرقي واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع این منطقه حدود ۱۸۶۰ متر از سطح دریا مي‌باشد. میزان بارندگي سالیانه حدود ۶۰۰ میلي‌متر و متوسط دماي هوا در سال ۱۵ درجه سانتي‌گراد مي‌باشد. رژیم رطوبتي خاک زریک و رژیم حرارتي منطقه ترمیک مي‌باشد.

از نظر زمین شناسي منطقه مورد مطالعه شامل سازندهاي پابده و بنگستان است. غالباً خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه به صورت Typic Haploxerolls و Calcic Chromoxerets طبقه بندي شده‌اند (Ministry of Agriculture, 1988).

در این بررسي نمونه برداري بصورت شبکه بندي سیستماتیک به ابعاد شبکه ۲۰*۲۰ متر با استفاده از دوربین تئودولیت و متر انجام شد (شکل۱). نمونه برداري از خاک به‌وسیله اوگر، با قطر ۷/۵ سانتي‌متر با سطح مقطع ۴۴/۱۵ سانتي‌متر مربع از عمق ۳۰-۰۰ سانتي‌متر از روي نقاط با مختصات معلوم صورت گرفت. شایان ذکر است که در بعضي نقاط نمونه برداري شده که احتمال رسوبگذاري بوده از عمق ۵۰-۳۰ سانتي‌متري نیز نمونه-برداري انجام شد و جمعاً ۱۳۰ نمونه براي آنالیزهاي سزیم مورد استفاده قرار گرفت.

جهت انجام آزمایش لازم است نقاطي به عنوان مرجع انتخاب شوند. محل مرجع در منطقه مورد مطالعه بر روي یک زمین تقریباً مسطح که رسوبي بر روي آن قرار نگرفته و خود نیز به سبب نداشتن شیب در معرض فرسایش نبوده است، انتخاب شد. قابل ذکر است که نقطه مرجع از نظر بارندگي، ارتفاع و...، شرایطي مشابه نقاط مورد مطالعه داشته است. همچنین نقاط مرجع داراي پوشش گیاهي متراکم و چند ساله گون (*Astragalus sp*) و دافنه (*Mucronata sp*) بود (شکل ۲). تکامل پروفیلي نقاط مرجع نشان دهنده پایداري این نقاط بود. در این سایت مرجع ٦ پروفیل تا عمق ٤٠ سانتي متري (با فواصل افزایشي ۵ سانتي متري با عمق) نمونه برداري و مورد آنالیز قرار گرفتند.



شکل ۱- موقعيت و توپوگرافي منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختياري و پراکنش نقاط نمونه برداري شده

جهت اندازه‌گيري سزيم-۱۳۷ نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک دو ميلي‌متر عبور داده شده، در آون خشک گرديد و سپس جرم آنها اندازه‌گيري شد. ۵۰۰ گرم از نمونه‌ها داخل ظرف استاندارد شمارش ريخته شد. اندازه‌گيري ميزان غلظت پرتوزائي سزيم-۱۳۷ در نمونه‌ها در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌اي وابسته به سازمان انرژي اتمي ايران توسط دستگاه اسپکترومتري اشعه گاما صورت گرفت. با استفاده از سه مدل PM، MBM1 و MBM2 که با استفاده از نرم افزاري که توسط Walling and He (۱۹۹۹) ارائه شده، ميزان فرسايش و رسوب در همه نقاط نمونه برداري شده منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. همچنين جرم مخصوص ظاهري با استفاده از روش کلوخه و پارافين (Day, 1982) اندازه گيري شد.

شکل ۲- پوشش گياهي گون و دافنه در نقاط مرجع

برآورد فرسايش و رسوب توسط مدل **MBM1**

ميزان فرسايش در اراضي شخم خورده به روش MBM1 به‌صورت زير محاسبه مي‌شود (Zhang et al., 1990):

$$Y = 10BD\left[1-\left(1-\frac{X}{100}\right)^{1/(t-1963)}\right] \qquad (۱)$$

مقدار متوسط سالانه فرسايش خاک در سال‌هاي Y که در آن X) بر حسب تن در هکتار در سال، 1963-tپس از ريزش سزيم (جرم مخصوص ظاهري خاک بر حسب Bدرصد هدر رفت سزيم، عمق شخم بر حسب متر است. Dکيلوگرم بر متر مکعب و درصد هدررفت سزيم با استفاده از معادله زير محاسبه مي‌شود:

$$X = \left(1-\frac{A}{A_{ref}}\right)\times 100 \qquad (۲)$$

که در آن A_{ref} و A به ترتيب ميزان سزيم موجود بر حسب بکرل بر متر مربع ($Bq\ m^{-2}$) در نقطه مرجع و در نقطه مورد نظر است. براي نقاطي که رسوب در آنها رخ داده است براي محاسبه ميزان رسوب در منطقه از معادله زير استفاده مي‌شود:

$$R = A - A_{ref} \Big/ \int_{1963}^{t} C_d(t')e^{-\lambda(t-t')}dt' \qquad (۳)$$

$$\lambda = \frac{Ln(2)}{30.17} \qquad (۴)$$

که در آن R مقدار رسوب بر حسب تن در هکتار در سال، λ ثابت تجزيه سزيم که برابر است با ۰/۰۲۳ و $C_d(t')$ ميزان سزيم موجود بر حسب بکرل بر متر مربع در محل رسوب در سال t' مي‌باشند (Zhang et al., 1990).

برآورد فرسایش و رسوب توسط مدل **MBM2**

میزان فرسایش با استفاده از مدل MBM2 به‌صورت زیر محاسبه مي‌شود:

$$\frac{dA(t)}{dt} = (1-\Gamma)I(t) - (\lambda + \frac{R}{d})A(t) \qquad (۵)$$

که در آن A(t) میزان سزیم موجود برحسب $Bq\ m^{-2}$، R شدت فرسایش بر حسب کیلوگرم در متر مربع در سال، d حاصلضرب متوسط عمق شخم در جرم مخصوص ظاهري برحسب کیلوگرم در متر مربع، λ ثابت تجزیه سزیم که برابر است با ۰/۰۲۳ I(t) سرعت تجمع سالیانه سزیم-۱۳۷و Γ درصدي از ریزش‌هاي سزیم-۱۳۷ انتقال یافته به‌وسیله فرسایش قبل از مخلوط شدن در لایه شخم مي‌باشند.

در این روش میزان رسوب در نقاط رسوبگذاري با رابطه زیر محاسبه مي‌شود:

$$R' = \frac{A_{ex}}{\int_{t_0}^{t} C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} \qquad (۶)$$

که در آن R′ سرعت ترسیب خاک برحسب کیلوگرم در متر مربع در سال، A_{ex} درصد زیاد بود سزیم-۱۳۷ بر حسب بکرل بر متر مربع، $C_d(t')$ فعالیت سزیم-۱۳۷ در نقاط رسوبگذاري شده برحسب بکرل بر کیلوگرم ($Bq\ kg^{-1}$) مي‌باشند (Walling and Quine, 1990a; Walling and He, 1999).

برآورد فرسایش و رسوب توسط مدل **PM**

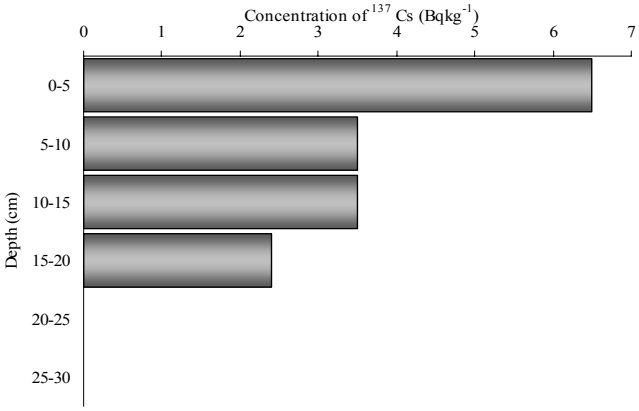
در مدل نسبي، فرسایش و رسوب خاک را در اراضي شخم خورده با رابطه زیر محاسبه مي‌شود:

$$Y = 10BDX/100T \qquad (۷)$$

در این فرمول Y میانگین هدر رفت خاک یا ترسیب بر حسب تن در هکتار در سال، B جرم مخصوص ظاهري بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، D عمق لایه شخم برحسب متر، X درصد هدر رفت سزیم یا ازدیاد سزیم و T زمان از آغاز تجمع سزیم مي‌باشد (Walling and Quine, 1990a; Walling and He, 1999).

نتایج و بحث

متوسط موجودي سزیم- ۱۳۷ در ۶ پروفیل نقطه مرجع برابر ۲۱۳۰ بکرل بر متر مربع بود، و با افزایش عمق داراي کاهش نمایي بود. این مقدار به عنوان مرجع و مبناي مقایسه و محاسبه انتخاب گردید. بطوریکه ۹۰ درصد سزیم در عمق ۱۲-۱۰ سانتي‌متري قرار گرفته است (شکل ۳). ضریب تغییرات سزیم در نقاط مرجع ۰/۲۲ محاسبه شد. همچنین ضریب تغییرات مشابه‌اي براي نقاط مرجع تحت پوشش گیاهي بومي در تحقیق‌هاي دیگر گزارش شده است، از جمله Nagle et al. (۲۰۰۰) ضریب تغییرات ۰/۲۸ را براي مناطق جنگلي در مناطق حاره‌اي اندازه گیري کردند.

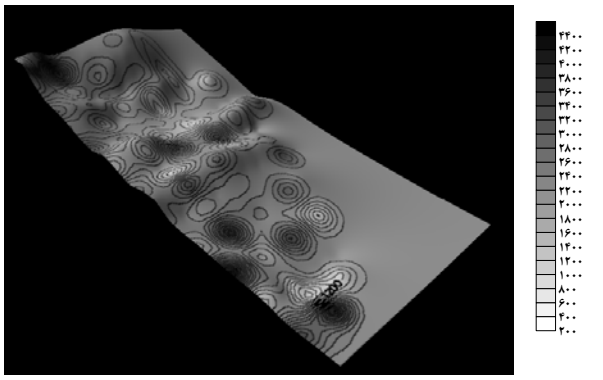


شکل ۳- توزیع عمقي فعالیت سزیم- ۱۳۷ در پروفیل مرجع

میزان موجودي سزیم-۱۳۷ در نقاط نمونه برداري شده بین ۲۴۵ تا ۴۷۴۴ بکرل در متر مربع متغیر بود (شکل ۴). ضریب تغییرات سزیم-۱۳۷ برابر ۵۱/۵ درصد بود، که نشان-دهنده توزیع مجدد سزیم در اثر فرآیند فرسایش و رسوب خاک در منطقه مورد مطالعه است. Yang et al. (۲۰۰۶) و Li and Lindstrom (۲۰۰۱) به‌ترتیب ضریب تغییرات ۸۵ و ۴۶ درصد را براي سزیم-۱۳۷ به‌دست آوردند.

دامنه تغییرات فرسایش و رسوبگذاري خاک براي مدل PM به ترتیب ۷۸/۴-۰/۱۵ تن در هکتار در سال و ۱۰۸/۸-۳/۳ تن در هکتار در سال، براي مدل MBM1 به ترتیب ۱۸۶/۹-۰/۱۵ و ۱۸۳/۹-۴/۸ تن در هکتار در سال و همچنین براي مدل MBM2 به ترتیب ۱۵۴/۴-۰/۱ و ۱۳۱/۱-۳/۳ تن در هکتار در سال محاسبه شد

میانگین فرسایش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل PM ۲۰/۹ تن در هکتار در سال و با استفاده از MBM1 ۲۹/۸ تن در هکتار در سال و مدل MBM2 ۲۰/۱ تن در هکتار در سال اندازه گیري شد. همچنین با استفاده از این مدل‌ها (PM، MBM1 و MBM2) میزان رسوب ویژه خاک (رسوب خارج شده از منطقه) در منطقه به ترتیب ۶/۳، ۸ و۵/۳ تن در هکتار در سال محاسبه شد (جدول ۱).



شکل ۴- توزیع موجودي سزیم-۱۳۷ در منطقه مورد مطالعه

طبق مطالعات Morgan (۲۰۰۵) میزان خاکسازي یا حد قابل قبول فرسایش در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر ایران یک تن در هکتار در سال است. لذا با توجه به میزان فرسایش محاسبه شده، میزان فرسایش در منطقه مورد مطالعه ۳۰-۲۰ برابر حد قابل قبول مي‌باشد. Jalalian et al. (۱۹۹۶) طي مطالعه‌اي نشان دادند که متوسط فرسایش در حوزه‌هاي آبخیز کشور ۳۰-۲۰ برابر حد قابل قبول آن مي‌باشد.

در هر سه مدل بیشترین فرسایش محاسبه شده در شانه شیب (shoulder) مشاهده شد. از علل عمده فرسایش زیاد در شانه شیب، عملیات خاک‌ورزي و فرسایش آبي است. در شانه شیب زماني که پوشش آن مرتعي است میزان فرسایش به حداقل مي‌رسد. در مناطقي با شیب زیاد، با انجام عملیات خاک‌ورزي میزان فرسایش افزایش مي‌یابد از این‌رو اهمیت قابلیت و استعداد اراضي در کاربري اراضي بسیار حائز اهمیت است. در مشاهدات صحرایي در شانه شیب بعضي نقاط به خوبي مواد مادري مشهود و آهک در اثر شخم با خاک سطحي مخلوط شده است.

شیب برگشتي (back slope) نسبت به شانه شیب از فرسایش کمتري برخوردار است. این موقعیت شیب داراي وضعیت دینامیکي است یعني همزمان فرآیندهاي رسوبگذاري و فرسایش در این موقعیت شیب وجود دارد و بسته به شرایط یکي از فرآیندها غالب است. در منطقه مورد مطالعه به علت مرکب بودن دامنه شیب، دراین موقعیت شیب فرسایش مشاهده شد. بررسي نتایج نشان داد در پاي شیب (foot slope) به استثنأ بعضي از نقاط که به علت عملیات شخم و شیار سالانه تلفات خاک وجود داشت، در بقیه نقاط رسوبگذاري مشاهده شد.

نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل‌هاي PM، MBM1 و MBM2 به ترتیب ۳۰، ۲۷ و ۲۶ درصد محاسبه شد. این مسئله نشاندهنده این است که مقدار قابل ملاحظه‌اي از مواد فرسایش یافته مجدداً در منطقه مورد مطالعه رسوب کرده است. Mabit et al. (۲۰۰۸) میزان دامنه فرسایش در منطقه‌اي با مساحت ۲/۱۶ هکتار و تحت پوشش کشاورزي را با استفاده از مدل MBM2 بین ۶۵-۱۷ تن در هکتار در سال گزارش نمودند. همچنین میزان نسبت تحویل رسوب در منطقه مورد مطالعه را ۹۹ درصد برآورد نمودند که نشان دهنده این است که کل مواد فرسایش یافته از منطقه خارج شده است. Sac et al. (۲۰۰۸) میانگین فرسایش خاک را در شیب تپه‌اي تحت پوشش کشاورزي در شرق ترکیه با استفاده از مدل نسبي و توازن جرمي ساده شده به ترتیب ۶۵ و ۱۱۶ تن در هکتار در سال گزارش نمودند. نتایج آنها نشان داد که میزان فرسایش برآورد شده با مدل توازن جرمي ساده شده بیشتر از مدل نسبي بود. همچنین تفاوت این دو مدل را در نقاطي که سرعت فرسایش بالا داشتند، مشاهده کردند و بیشترین و کمترین میزان فرسایش را به‌ترتیب در موقعیت‌هاي شانه شیب و پنجه شیب مشاهده کردند. Theocharopoulos et al. (۲۰۰۳) دامنه تغییرات فرسایش و رسوبگذاري را با استفاده از مدل توازن جرمي به ترتیب ۸۵/۵۵-۶/۷۱ و ۱۶۸/۱۹-۱/۲۳ تن در هکتار در سال گزارش کردند. Hrachowitz et al. (۲۰۰۵) سرعت فرسایش خاک در مزرعه‌اي تحت کشت ذرت را با استفاده از مدل PM در بالاي شیب ۶۰ تن در هکتار در سال و براي پاي شیب ۲۷ تن در هکتار در سال گزارش نمودند همچنین با استفاده از مدل MBM1 دامنه فرسایش را در بالاي شیب بین ۸۳-۶۵ تن در هکتار در سال و براي پاي شیب دامنه ۳۲-۲۹ تن در هکتار در سال گزارش نمودند.

با توجه به نتایج مدل MBM1 میزان فرسایش را بیشتر از مدل PM برآورد مي‌کند. تفاوت بین این دو مدل بیشتر در جایي که سرعت فرسایش خاک بالا بوده واضح‌تر است و در صورتي که در نقاطي که میزان فرسایش کمتر بوده، تقریباً تفاوتي دیده نمي‌شود (جدول ۲). علت را مي‌توان در این دانست که برخلاف مدل PM، مدل MBM1 توزیع سزیم در طول عمق شخم در زمان را محاسبه مي‌کند. همچنین چارک اول مدل MBM1 نسبت به چارک اول مدل PM بیشتر محاسبه شد. و در هردو مدل مقدار چارک اول نسبت به چارک دوم بزرگتر بود.

جدول ۱- میانگین فرسایش خاک محاسبه شده با استفاده از مدل‌هاي مختلف

متغیر	PMمدل	MBM1 مدل	MBM2 مدل
فرسایش ناخالص ($t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	۲۰/۹	۲۹/۸	۲۰/۱
رسوب ویژه ($t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	۶/۳	۸	۵/۳
نسبت تحویل رسوب (%)	۳۰	۲۷	۲۶

جدول ۲- تفاوت بین دو مدل نسبي و توازن جرمي [۱]

متغیر	مدل	حداقل	حداکثر	چارک اول	چارک دوم (میانه)
میزان فرسایش ($t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	PM	-۰/۱۵	-۷۸/٤	-۴۷/۸	-۳۲/۵
	MBM1	-۰/۱۵	-۱۸٦/۹	-۶۸/۱	-۴۰/۳

نتايج حاصل از اين تحقيق به وضوح بيانگر بالا بودن شدت فرسايش سطحي در منطقه مورد مطالعه است. اين نتيجه با مطالعات و بازديدهاي صحرايي مطابقت مي‌كند لازم به ذكر است كه خاک در موقعيت شانه شيب به كلي فرسايش يافته بود. سرعت فرسايش بالا در اين منطقه تاثير عمليات شخم و شيار در هدررفت خاک را نشان داد ولي هنوز به‌نظر مي‌رسد فرسايش آبي بيشترين تاثير را در هدررفت خاک داشته است. همچنين Jalalian et al. (۱۹۹۶) ميزان فرسايش را در اراضي شيبدار تحت كشت ديم در حوزه آبخيز كارون شمالي۱۳/۷۲ تن در هكتار در سال محاسبه نمودند. بنابراين اعمال مديريت زراعي صحيح و عمليات حفاظتي بيولوژيكي در اين منطقه ضروري به نظر مي‌رسد. نگاهي به بررسي منابع نشان مي دهد كه استفاده از اندازه‌گيري‌هاي سزيم-۱۳۷ در برآورد فرسايش و رسوب خاک روش كمي است كه صرف‌نظر از ديدگاه‌هاي كيفي و تجربي از طريق اندازه گيري سزيم در نمونه‌هاي خاک امكان برآورد شدت فرسايش خاک را در دوره‌هاي چندين ساله ميسر مي‌سازد. همچنين با اين روش مي‌توان مقدار رسوب ويژه (رسوب خارج شده از منطقه) را به‌دست آورد.

از معايب روش سزيم- ۱۳۷ اين است كه قادر نيست توزيع مجدد خاک در سطح مزرعه كه ناشي از عمليات خاک-ورزي، فرسايش آبي و فرسايش بادي را از هم متمايز كند و فقط نشان مي‌دهد كه از سال ۱۹۶۳ تا حال چه مقدار خاک از منطقه مورد مطالعه انتقال يافته است.

نتيجه گيري كلي

مطالعه انجام شده در برآورد فرسايش و رسوب توسط مدلهاي مختلف نسبي و بيلن وزني ۱ و ۲ در يك شيب تپه مركب در منطقه اردل استان چهار محال و بختياري نشان داد كه در مجموع فرسايش در منطقه از شدت بالائي برخوردار است كه اين نتيجه با مشاهدات صحرائي و مطالعات قبلي در منطقه (Jalalian et al.,1996) مطابقت دارد. مقدار نسبت تحول رسوب محاسبه شده توسط سه مدل نشان مي دهد كه بخش اعظمي از ذرات فرسايش يافته مجدداً در منطقه مورد مطالعه رسوب مي كند.

مقايسه نتايج سه مدل مورد مقايسه نشان داد كه مدل هاي توازن جرمي ميزان فرسايش را بيشتر از مدل نسبي برآورد مي‌كند. تفاوت بين اين دو مدل بيشتر در جايي كه سرعت فرسايش خاک بالا بوده واضح‌تر است و در صورتي كه در نقاطي كه ميزان فرسايش كمتر بوده، تقريباً تفاوتي ديده نمي‌شود. براي انجام پژوهش‌هاي آتي پيشنهاد مي‌شود كه از روش پين گذاري (Pin) جهت اندازه گيري واقعي فرسايش و رسوب منطقه مورد مطالعه استفاده شود ونتايج بدست آمده با نتايج اين تحقيق مقايسه شود. و از بين مدل‌هاي محاسبه فرسايش و رسوب بهترين مدل، مدلي كه به واقعيت نزديک باشد را براي اندازه گيري فرسايش و رسوب انتخاب كرد.

REFERENCES

Andrello, A., C. Guimaraes, M. D. F., Appoloni, C .R. and Filho, V. F. D. N. (2003). Use of cesium-137 methodology in the evaluation of superficial erosive processes. *Brazilian Arch. Bio. Tech*, 46: 307-314.

Asadi, T., Shahoyi, S., Rohipour, H. and Asadi, M. (2005). Relation between soil chemical properties and cesium-137 in Tasaran-Kabodar Ahang catchment. In: 3rd *International Conference on erosion and deposition*, 28-31 Aug., Tehran, pp. 75-76. (In Farsi)

Day, R. (1982). Particle fractionation and particle size analysis. In: A. L. Page (ed) *Methods of Soil Analysis*. Part 1. P: 545-566. SSSA. Inc. publisher

Jalalian, A., Ghahsareh, A. M. and Karimzadeh, H. R. (1996). Soil erosion estimates for some watersheds in Iran. Abstract Book. In: *International Conference on Land Degardation*, 10-14 June, Adana, Turkey, pp: 12-13

Hassouni, K. and Bouhlassa, S. (2005). Estimate of soil erosion on cultivated soils using 137 Cs measurements and calibration models: A case study from Nakhla watershed, Morocco. *Canadian J. Soil Sci*, 86: 77-87.

Honarjo, N., Mahmodi, S., Charkhabi, H., Alimohamadi, A., Ghaforian, H. and Jalalian, A. (2005). Measurement erosion and deposition by cesium-137 in Gharghak catchment. In: *9th Iranian Soil Sciences Congeress*, 28-31 Aug., Tehran, pp. 164-167. (In Farsi)

Hrachowitz, M., Maringer, F. J., Steineder, C. and Gerzabek, M. H. (2005). Soil redistribution model for undisturbed and cultivated site based on chernobyl-derived cesium-137 fallout. *J. Environ. Qual*. 34: 1302–1310.

Kalhor, M. (1998). *Comparison of Cs-137 and USLE methods to estimate the soil loss of Rimeleh watershed (Lorestan Prov)*. MSc thesis in Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Farsi)

Li, Y. and Lindstrom, M. J. (2001). Evaluating soil quality-soil redistribution relationship on terraces and steep hillslopes. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 65 (5), 1500–1508.

Mabit, L. Bernard, C. Makhlouf, M. And Laverdiere, M. R. (2008). Spatial variability of erosion and soil organic matter content estimated from 137Cs measurements and geostatistics. *Geoderma*, 145: 245-251.

Ministry of Agriculture, Planning and Program

Assistance. (1988). Reconsinanince investigations of revival survey in north Karun watershed, Vol: 6, P: 25-34. Land Capability and Land Resources. (In Farsi)

Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed). Blackwells, 314 pp.

Nagle, G. N., Lassoie, J. P., Fahey, T. J. and McIntyre, S. C. (2000). The use of 137Cs to estimate agricultural erosion on steep slopes in a tropical watershed. *Hydrological Processes*, 14: 957–969.

Ritchie, J. C. and Mc Henry, J. R. (1990). Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and pattern, Areview. *J. Environ. Qual*. 19: 215-233.

Ritchie, J. C., Mc Carty, G. W., Venteris, E. R. and Kaspar, T. C. (2007). Soil and soil organic carbon redistribution on the landscape. *Geomorpholog*, 89: 163-171.

Rogowski, A. S. and Tamura, T. (1970). Erosional behavior of caesium-137. *Health Phys*, 18: 467-477.

Ronggui, W. and Tiessen, H. (2002). Effect of land use on soil degradation in Alpine grassland soil China. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 66: 1648-1655.

Sac, M. M., Ugur, A., Yener, G. and Ozden, B. (2008). Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. *Environ. Monit. Assess*. 136: 461-467.

Theocharopoulos, S. P., Florou, H., Walling, D. E., Kalantzakos, H., Christou, M., Tountas, P. and Nikolaou, T. (2003). Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the 137 Cs technique. *Soil Till. Res*, 69: 153-162.

Walling, D. E. and He, Q. (1999). Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *J. Environ. Qual*, 28: 611–622.

Walling, D. E. and Quine, T. A. (1990a). Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. *Land Degrad. Rehabil*, 2:161–175.

Walling, D. E. and Quine, T. A. (1990b). Use of 137Cs measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: potential applications and limitations. *European j. Soil* Sci, 42: 147-165.

Walling, D. E. and Quine, T. A. (1993). Use of Cs-137 as a tracer of erosion and sedimentation. *Handbook of the application of Cs-137 technique*. 195 pages.

Wang, Y., Wang, G., Hu, H. and Cheng, H. (2008). Erosion rates evaluated by the 137Cs technique in the high altitude area of the Qinghai–Tibet plateau of China. *Environ. Geol*, 53: 1743-1749.

Yang, M.Y., Tian, J. L. and Liu, P. L. (2006). Investigating the spatial distribution of soil erosion and deposition in a small catchment on the Loess Plateau of China, using 137Cs. *Soil Till. Res*, 87: 186–193.

Zapata, F. 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. *Soil Till. Res*, 69: 3–13.

Zhang, X. B., Higgitt, D. L. and Walling, D. E. (1990). A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrol. Sci. J*, 35:267–276.