

## The Effects of Land Use Change on Sediment Yield of Kouhdasht Basin Using Fingerprinting Technique

FORUZAN AHMADI<sup>1</sup>, KAZEM NOSRATI<sup>1\*</sup>, MOHAMAD MEHDI HOSEINZADEH<sup>1</sup>

1. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran  
(Received: Oct. 1, 2018- Revised: March. 25, 2019- Accepted: Apr. 22, 2019)

### ABSTRACT

Sediment yield is the most important environmental issues in watershed basins which greatly affects human and animal life. Therefore, soil conservation and sediment control is one of the most important measures that should be paid attention. As various factors such as land use change can affect sediment yield, this study was performed to investigate the effect of land use change on sediment yield of Kouhdasht basin, located in the west of Lorestan province. For this purpose firstly, land use changes were investigated using satellite imagery and then sediment discharge was estimated using discharge and sediment concentration data of Kashkan Afrine station located at the basin outlet. Finally, the contribution of land use in sediment yield was estimated using the fingerprinting technique based on the Bayesian uncertainty model. The results showed that the change in land use from grazing land and forest to agriculture was significant. So that during 1361-1395, 49 and 24.8% of the grazing and forest lands were reduced, respectively and agricultural lands increased by 47.5%. Also the results obtained from Kashkan Afrine station data showed that the average sediment discharge increased from 5.954 ton/day in 1361 to 7.079 ton/day in 1395. The results of fingerprinting sediment model indicated that the agricultural lands have the most contribution in sediment yield. The contribution (uncertainty of 5 to 95%) of agriculture, grazing land and forest in sediment yield were calculated to be 95 (86-99), 3.1 (0-12) and 0.9 (0-3) percent, respectively and the relative importance of each resources was calculated to be 1.5, 0.28 and 0.03, respectively. These results indicated that the most important factor increasing sediment discharge is the land use change from forest and rangeland to agriculture.

**Kay word:** Sediment sources, Uncertainty model, Sediment discharge, Lorestan

## اثرات تغییر کاربری اراضی بر رسوبدهی حوضه کوهدشت با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب

فروزان احمدی<sup>۱</sup>، کاظم نصرتی<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی حسینزاده<sup>۱</sup>

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۲)

### چکیده

تولید رسوب از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی حوزه‌های آبخیز است که بشدت حیات انسانی و زندگی جانوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقداماتی است که بایستی به آن توجه شود. با توجه به این که عوامل مختلفی مانند تغییر کاربری اراضی می‌تواند بر میزان رسوبدهی حوضه‌ها اثر گذارد، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر رسوبدهی حوضه کوهدشت واقع در غرب استان لرستان انجام گرفت. به این منظور ابتدا تغییرات کاربری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی و سپس میزان دبی رسوب با استفاده از داده‌های دبی جریان و غلظت رسوب ایستگاه هیدرومتری کشکان افرینه در خروجی حوضه محاسبه شد. سهم هر یک از کاربری‌های اراضی در تولید رسوب با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب بر اساس مدل عدم قطعیت Bayesian برآورد شد. نتایج نشان داد، تغییر کاربری از مرتع و جنگل به کشاورزی قابل توجه بوده به طوری که از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۹۵ به ترتیب حدود ۴۹ و ۲۴/۸ درصد از زمین‌های مرتع و جنگل کاهش یافته و ۴۷/۵ درصد به زمین‌های کشاورزی اضافه شده است. نتایج بررسی داده‌های ایستگاه هیدرومتری کشکان افرینه نشان داد، میانگین دبی رسوب از ۵/۹۵۴ تن در روز منتهی به سال ۱۳۶۱ به میانگین ۷/۰۷۹ تن در روز منتهی به سال ۱۳۹۵ رسیده است. نتایج مدل منشایابی رسوب نیز نشان داد اراضی کشاورزی بیشترین سهم را در تولید رسوب منطقه دارد. سهم (عدم قطعیت ۵ تا ۹۵ درصد) هر یک از منابع کشاورزی، مرتع و جنگل در تولید رسوب به ترتیب برابر با ۹۵ (۸۶-۹۹)، ۳ (۰-۱۲) و ۰/۹ (۰-۳) درصد و ضریب اهمیت نسبی هر کدام از این منابع به ترتیب برابر با ۱/۵، ۰/۲۸ و ۰/۰۳ محاسبه شد. این نتایج نشان می‌دهد، مهم‌ترین عامل در افزایش دبی رسوب، تغییر کاربری از مرتع و جنگل به کشاورزی است.

واژه‌های کلیدی: منابع رسوب، عدم قطعیت، دبی رسوب، لرستان

### مقدمه

رسوبدهی حوضه‌ها از مخرب‌ترین پدیده‌هایی است که باعث تغییرات اکولوژیکی قابل توجه در بسیاری از مناطق گردیده و در حال افزایش است، به طوری که مطالعات نشان داده این مسئله یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی است (Aiello et al., 2015). رسوبدهی حوضه‌ها اثرات منفی بسیاری را به دنبال دارد که به شدت حیات انسانی و زندگی جانوری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. از جمله این مسائل می‌توان به شستشوی مواد رویی خاک، تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری خاک، کاهش بهره‌دهی خاک، پر شدن حجم مفید مخازن آبی توسط گل و لای، افزایش خطر سیل و به خطر افتادن زندگی حیوانات و آبزیان به دلیل کم شدن مواد غذایی و آلوده شدن آب‌ها اشاره کرد. با توجه به این اثرات زیان‌بار، در استفاده از اراضی نمی‌توان استعداد و توان اراضی و همچنین روش‌های حفاظت خاک را نادیده گرفت. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقداماتی است

که بایستی به آن توجه خاصی شود. به این منظور نیاز است اطلاعات کاملی از مناطق حساس به فرسایش داشته باشیم، چراکه برای مدیران و سیاست‌گذاران، آمار و اطلاعات به‌منظور مدیریت موفق و برنامه‌ریزی، فوق‌العاده ضروری است (Lamba et al., 2015; Palazon et al., 2015). به طوری که بدون این مهم، تدوین و اجرای هیچ برنامه و سیاستی امکان‌پذیر نیست و در واقع تولید آمار و اطلاعات دقیق و واقعی همیشه مهم‌ترین دغدغه فکری مدیران و برنامه‌ریزان است. برای این منظور باید مکان‌هایی که در معرض خطر و رسوبدهی بیش‌تری هستند شناسایی شده و سپس با مشخص کردن عوامل مؤثر در تولید رسوب، مدیریت بهتری را در مورد خاک اعمال نمود. برای این منظور روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی در سراسر دنیا استفاده شده که تکنیک منشایابی رسوب از جمله تکنیک‌هایی رسوبدهی است که می‌تواند به ما کمک کند (Lin et al., 2015; Lamba et al., 2015). امروزه تکنیک منشایابی رسوب به ابزار بسیار گسترده‌ای

تبدیل شده است که می‌تواند به خوبی منابع رسوب را در داخل حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار دهد. این تکنیک با استفاده از ردیاب‌های مختلفی از جمله عناصر ژئوشیمیایی، منابع رسوب را به رسوبات تولیدی ارتباط داده و می‌تواند روش مناسبی در مقابل روش‌های غیر مستقیم (پین، کرت...) برای ارزیابی منابع و تولید رسوب باشد. با توجه به این که این تکنیک بر مشکلات و مسائل روش‌های غیرمستقیم غلبه کرده، کاربرد گسترده‌تری در مطالعات رسوب‌دهی حوضه‌ها پیدا کرده است. (Owens *et al.*, 2016; Collins *et al.*, 2017; Du and Walling, 2017; Palazon *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2016)

در استفاده از تکنیک منشایابی رسوب دو نکته حائز اهمیت است: نکته اول انتخاب منابع رسوب است که می‌توان به طبقه‌بندی بر اساس کاربری اراضی (Fox and Wallbrink, 2004) Papanicolaou., 2008; Ballantine *et al.*, 2009) زیر حوضه‌ها (Nosrati *et al.*, 2018; Atapour and Hakimkhani., 2003) رسوب‌دهی سطحی و زیرسطحی (Gruszowski *et al.*, 2003; Collins *et al.*, 2009) کاربری و فرسایشی (Nosrati *et al.*, 2011) و یا ترکیبی از این موارد اشاره کرد. نکته دوم استفاده از ردیاب‌های مختلف به منظور تفکیک منابع رسوب است. در این تکنیک، ردیاب‌های گوناگونی مانند خاصیت مغناطیسی (Hatfield and Maher, 2009)، رادیونوکلئیدی (Wilkinson *et al.*, 2009)، عناصر ژئوشیمیایی (Nosrati *et al.*, 2014; Pulley *et al.*, 2015) مواد آلی (Lamba *et al.*, 2015) اندازه ذرات (Walling Ballantine *et al.*, 2009) فعالیت آنزیم‌ها (Nosrati *et al.*, 2011; Nosrati *et al.*, 2013) و ایزوتوپ پایدار (Fox and Papanicolaou, 2008) برای منشایابی رسوب استفاده می‌شود.

پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از تکنیک منشایابی رسوب برای تعیین سهم نسبی منابع رسوب در تولید رسوب در دنیا انجام شده است. (Porto *et al.*, 2009) تکنیک منشایابی رسوب را با استفاده از دو ردیاب سزیم و سرب، برای تأثیر قطع درختان جنگل بر روی تولید رسوب، در دو حوضه کوچک ایتالیا به کار گرفتند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که رسوب‌دهی در زمین‌هایی که پوشش جنگلی ناپیوسته‌ای دارد بیش‌تر است و همچنین قطع درختان جنگل و تبدیل آن‌ها به زمین کشاورزی نیز باعث رسوب‌دهی زیادی در حوضه‌ها شده است. Zhou *et al.* (2016) به منظور تعیین مناطق حساس به رسوب‌دهی در حوضه کوچکی از جیانگسو تکنیک منشایابی رسوب را به کار گرفتند. مطالعات آن‌ها نشان داد زمین‌های کشاورزی نسبت به دیگر اراضی حساسیت بیشتری نسبت به رسوب‌دهی دارند. Nosrati,

(2012) مدل منشایابی رسوب را بر اساس عدم قطعیت Bayesian به منظور شناسایی منابع رسوب در حوزه آبخیز زیدشت به کار گرفتند و منابع رسوب بر اساس فرسایش سطحی و زیر سطحی در نظر گرفته شد. نتایج مطالعات ایشان نشان داد فرسایش آبراه‌های بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب منطقه دارد. Liu *et al.* (2016) مدل منشایابی رسوب را به منظور تعیین سهم منابع رسوب در دو طرف راه‌آهن نزدیک دریاچه کیونا واقع در شهر تبت چین مورد استفاده قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، ماسه سواحل، تپه‌های خاکی و کانال‌ها در غرب راه‌آهن به ترتیب ۴۸، ۳۱ و ۲۱ درصد و در شرق راه‌آهن ۴۳، ۳۳ و ۲۴ درصد رسوب منطقه را تشکیل می‌دهند. تفاوت در سهم منابع رسوب در شرق و غرب راه‌آهن به ویژگی‌های حمل رسوبات محلی منطقه برمی‌گردد. (Chen *et al.*, 2016) مدل منشایابی رسوب را با استفاده از ردیاب‌های زیستی در منطقه هوزیان، فلات لس در چین به کار بردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد اراضی جنگلی جوان، اراضی کشاورزی، مرتع و گالی به ترتیب ۵۰/۵، ۲۶/۶، ۱۴/۴ و ۹/۵ درصد در تولید رسوب منطقه سهم داشتند. (Tiecher *et al.*, 2017) مدل منشایابی رسوب را با استفاده از عناصر ژئوشیمیایی به منظور تعیین سهم منابع رسوب (مرتع، جاده و کنار آبراهه) در حوضه‌ای در جنوب برزیل مورد استفاده قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، کناره آبراهه با ۴۹ درصد بیشترین سهم را در تولید رسوب منطقه دارد. (Zhang *et al.*, 2019) منشایابی رسوب را با استفاده از عناصر ژئوشیمیایی جهت شناسایی منابع رسوبات بادی - آبی منطقه لوس پلاتو چین بکار گرفتند و واحدهای ژئومورفولوژی را به‌عنوان منابع رسوب در نظر گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که بیش‌تر رسوبات منطقه از زمین‌های ماسه‌ای و تپه‌های لسی آمده و منابع کوهستانی نقش چندانی در تولید رسوب منطقه ندارند. (Nosrati and Collins, 2019) به‌منظور تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب در حوضه کوهسار واقع در شمال تهران منشایابی رسوب را با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره به کار گرفتند و جاده‌های تفریحی، تپه‌های خاکی و لبه کانال را به عنوان منابع رسوب در نظر گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد جاده‌های تفریحی سهم قابل‌توجهی در تولید رسوب منطقه دارد. (Lim *et al.*, 2019) منشایابی رسوب را با استفاده از عناصر ژئوشیمیایی و رادیونوکلئیدی به‌منظور تعیین سهم منابع رسوب (مرتع، جنگل و کناره آبراهه) در تولید رسوب به کار گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد کناره آبراهه بیشترین سهم را در تولید رسوب منطقه دارد.

نتایج مطالعات پژوهشگران در استفاده از تکنیک منشایابی به‌منظور تعیین سهم منابع رسوب نشان داده این تکنیک، روش

تبدیل شده است که می‌تواند به خوبی منابع رسوب را در داخل حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار دهد. این تکنیک با استفاده از ردیاب‌های مختلفی از جمله عناصر ژئوشیمیایی، منابع رسوب را به رسوبات تولیدی ارتباط داده و می‌تواند روش مناسبی در مقابل روش‌های غیر مستقیم (پین، کرت...) برای ارزیابی منابع و تولید رسوب باشد. با توجه به این که این تکنیک بر مشکلات و مسائل روش‌های غیرمستقیم غلبه کرده، کاربرد گسترده‌تری در مطالعات رسوب‌دهی حوضه‌ها پیدا کرده است. (Owens *et al.*, 2016; Collins *et al.*, 2017; Du and Walling, 2017; Palazon *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2016)

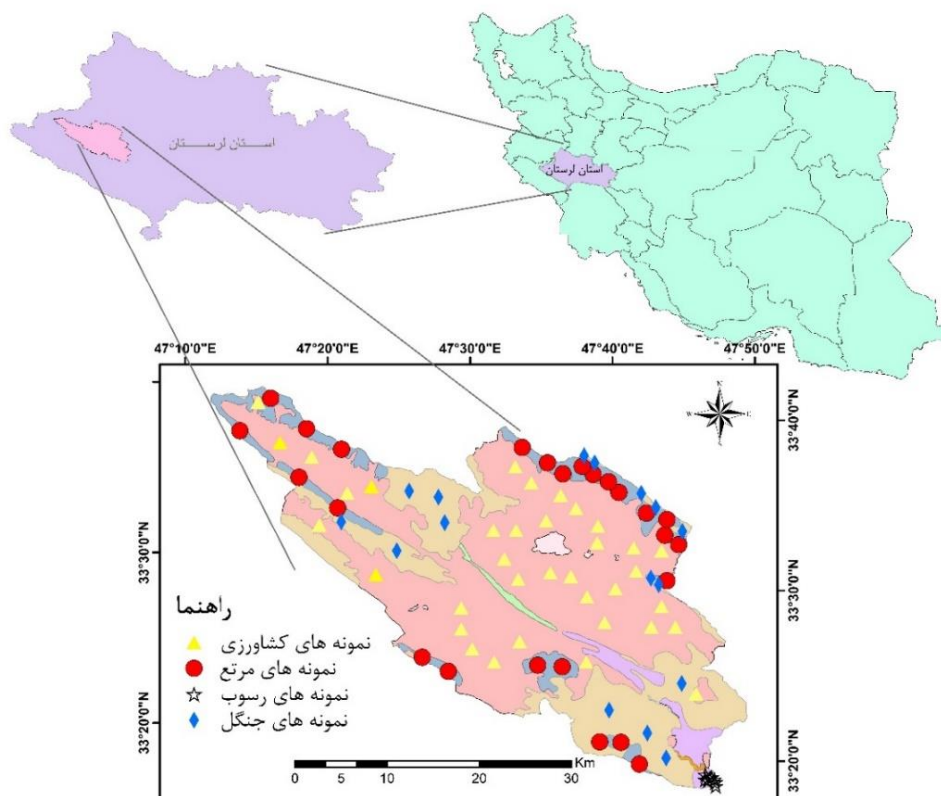
در استفاده از تکنیک منشایابی رسوب دو نکته حائز اهمیت است: نکته اول انتخاب منابع رسوب است که می‌توان به طبقه‌بندی بر اساس کاربری اراضی (Fox and Wallbrink, 2004) Papanicolaou., 2008; Ballantine *et al.*, 2009) زیر حوضه‌ها (Nosrati *et al.*, 2018; Atapour and Hakimkhani., 2003) رسوب‌دهی سطحی و زیرسطحی (Gruszowski *et al.*, 2003; Collins *et al.*, 2009) کاربری و فرسایشی (Nosrati *et al.*, 2011) و یا ترکیبی از این موارد اشاره کرد. نکته دوم استفاده از ردیاب‌های مختلف به منظور تفکیک منابع رسوب است. در این تکنیک، ردیاب‌های گوناگونی مانند خاصیت مغناطیسی (Hatfield and Maher, 2009)، رادیونوکلئیدی (Wilkinson *et al.*, 2009)، عناصر ژئوشیمیایی (Nosrati *et al.*, 2014; Pulley *et al.*, 2015) مواد آلی (Lamba *et al.*, 2015) اندازه ذرات (Walling Ballantine *et al.*, 2009) فعالیت آنزیم‌ها (Nosrati *et al.*, 2011; Nosrati *et al.*, 2013) و ایزوتوپ پایدار (Fox and Papanicolaou, 2008) برای منشایابی رسوب استفاده می‌شود.

پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از تکنیک منشایابی رسوب برای تعیین سهم نسبی منابع رسوب در تولید رسوب در دنیا انجام شده است. (Porto *et al.*, 2009) تکنیک منشایابی رسوب را با استفاده از دو ردیاب سزیم و سرب، برای تأثیر قطع درختان جنگل بر روی تولید رسوب، در دو حوضه کوچک ایتالیا به کار گرفتند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که رسوب‌دهی در زمین‌هایی که پوشش جنگلی ناپیوسته‌ای دارد بیش‌تر است و همچنین قطع درختان جنگل و تبدیل آن‌ها به زمین کشاورزی نیز باعث رسوب‌دهی زیادی در حوضه‌ها شده است. Zhou *et al.* (2016) به منظور تعیین مناطق حساس به رسوب‌دهی در حوضه کوچکی از جیانگسو تکنیک منشایابی رسوب را به کار گرفتند. مطالعات آن‌ها نشان داد زمین‌های کشاورزی نسبت به دیگر اراضی حساسیت بیشتری نسبت به رسوب‌دهی دارند. Nosrati,

### معرفی منطقه

حوضه کوهدشت با ۱۱۳۸ کیلومترمربع با مختصات ۱۷° ۳۳' تا ۴۱° ۳۳' عرض شمالی و ۲۰° ۴۷' تا ۵۰° ۴۷' طول شرقی در غرب استان لرستان واقع شده است (شکل ۱). کمترین ارتفاع منطقه ۸۰۰ متر، بیشترین ارتفاع منطقه ۱۷۵۰ متر و ارتفاع متوسط ۱۱۹۵ متر از سطح دریا است. میانگین دمای سالانه ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی شهرستان به‌طور متوسط ۳۵۰ میلی‌متر در سال و متوسط جریان دبی خروجی حوضه ۸۰/۷۸ مترمکعب بر ثانیه است. جنس خاک منطقه بیشتر آهکی می‌باشد. این حوضه شامل سه کاربری اراضی اصلی، کشاورزی با مساحت ۶۸۹ کیلومترمربع، مرتع با مساحت ۱۲۲ کیلومترمربع و جنگل با مساحت ۳۱۴ کیلومترمربع است.

بسیار موفقی بوده است، اما مطالعات اندکی وجود دارد که اثر تغییر کاربری بر رسوبدهی حوضه را با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب مطالعه کرده باشند. از آنجاکه یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش رسوبدهی حوضه‌ها، تغییر کاربری اراضی بدون توجه به استعداد و توان اراضی است پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر رسوبدهی حوضه انجام گرفت. به این منظور ابتدا با استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور خصوصیات و کاربری‌های مختلف حوضه از نظر روند تغییرات کاربری اراضی در گذشته (بر اساس داده‌های موجود) بررسی و سپس میزان دبی رسوب با استفاده از داده‌های دبی جریان و غلظت رسوب ایستگاه هیدرومتری محاسبه شد و در نهایت سهم هر یک از کاربری‌های اراضی در تولید رسوب با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب بر اساس مدل عدم قطعیت Bayesian، برآورد گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه در استان و کشور

کاربری اراضی منطقه در طی دو دوره (۱۳۶۱ و ۱۳۹۵) تهیه شد و مساحت هر یک از کاربری‌ها و تغییرات آن‌ها در دوره‌های مذکور محاسبه شد.

### محاسبه دبی رسوب

در این تحقیق به‌منظور محاسبه دبی رسوب از آمار دبی جریان و بار معلق اندازه‌گیری شده در ایستگاه خروجی حوضه به نام ایستگاه کشکان افرینه استفاده گردید. به‌منظور بررسی تغییر وضعیت رسوب، آمار گرفته شده به سه زیر دوره (۱۳۶۱-۱۳۴۷،

### مواد و روش‌ها

#### تهیه نقشه کاربری اراضی

نقشه کاربری اراضی ۱۳۶۱ بر پایه تصویر ماهواره لندست سه، سنجنده MSS سال ۱۹۸۴ به Google Earth به روش بصری مرز پوشش گیاهی و کاربری اراضی مختلف تفکیک گردید؛ و این لایه کاربری اراضی به‌عنوان مبنا و شروع مطالعه در نظر گرفته شد. سپس با نقشه کاربری اراضی (مأخذ از وزارت جهاد کشاورزی) مقایسه و در بازدیدهای صحرائی با اصلاحات نهایی، نقشه تغییرات

### انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها طی دو مرحله و با انجام مقایسه‌های آماری کروسکال والیس و تحلیل تشخیص بر روی نمونه‌های منابع رسوب انجام گرفت. با استفاده از آزمون کروسکال والیس قدرت تفکیک هر عنصر در منابع رسوب در سطح معنی-داری ۰/۰۵ مشخص گردید و در مرحله بعد تحلیل تابع تشخیص انجام شد و ضریب توان تفکیک‌پذیری ردیاب‌ها برآورد شد. در این روش برای رسیدن به ترکیب بهینه، از الگوریتم انتخاب گام به گام و کمینه نمودن آماره Wilk's Lambda استفاده شد. تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

### تعیین سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب

به‌منظور تعیین سهم نسبی منابع رسوب آنالیز عدم قطعیت، بر اساس مدل ترکیبی Bayesian (Nosrati et al., 2018; Nosrati et al., 2014) به کار گرفته شد و در قالب یک مدل ترکیبی منشایی رسوب استفاده گردید. ابتدا بر اساس روش آماری Bayesian، توابع احتمال برای سهم نسبی هر منبع رسوب (Fi) برای هر یک از منابع رسوب i و حاصل از مخلوطی از خاک فرسایش یافته منابع مختلف محاسبه شد. همچنین تابع احتمال سهم نسبی منابع رسوب (Fq) با تولید داده‌های تصادفی از روی داده‌های اولیه (داده‌های اصلی منابع رسوب) محاسبه شد. بر اساس قانون تئوری Bayesian، احتمال هر یک از Fq بر اساس داده‌ها و اطلاعات اولیه محاسبه شد. بدین ترتیب تابع احتمال پسین برای تمام Fi از طریق ضرب توزیع احتمال اولیه در درست‌نمایی آن و تقسیم حاصل آن بر مجموع کل آن و به‌صورت معادله زیر به دست آمد.

$$P(f_q | data) = \frac{L(data | f_q) \times P(f_q)}{\sum L(data | f_q) \times P(f_q)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $L(data | f_q)$  درست‌نمایی داده  $f_q$ ،  $P(f_q)$  احتمال اولیه بر اساس اطلاعات اولیه و  $f_q$  توزیع سهم منابع رسوب q می‌باشد. همچنین منظور از  $L(data | f_q) \times P(f_q)$  احتمالات پسین غیر نرمال است. برای مثال فرض شود که برآورد توزیع i منابع رسوب با مخلوطی از رسوب با زردیاب مدنظر است. در این مدل ردیاب‌ها از ترکیب داده‌های رسوب به‌دست‌آمده و فرض می‌شود که توزیع آن‌ها نرمال است. عدم قطعیت در مقادیر ردیاب منابع با تعریف میانگین و واریانس پارامترهای هر یک از منابع رسوب i و مقادیر غلظت ردیاب z تعریف می‌شود. توابع توزیع پیشنهادی برای مخلوط رسوب توسط میانگین و انحراف معیار مخلوط رسوب بر اساس مقادیر تصادفی fi تعیین می‌شود.

۱۳۶۱-۱۳۷۵ و ۱۳۹۵-۱۳۷۶) تقسیم شد و سپس میزان دبی رسوب بر اساس تن در روز و دبی آب بر اساس مترمکعب بر ثانیه در هر سه زیر دوره محاسبه و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. به‌منظور محاسبه دبی رسوب از رابطه زیر استفاده شد.

$$Q_s = 0.0864C \cdot Q_w \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $Q_s$  = دبی رسوب بر حسب تن در روز،  $Q_w$  = دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه و  $C$  = متوسط غلظت مواد رسوبی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

### جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌های رسوب و منابع رسوب

تعداد ۷۷ نمونه از اراضی مختلف شامل اراضی کشاورزی (۳۵ نمونه)، مرتع (۲۵ نمونه) و جنگل (۱۷ نمونه) به‌عنوان نمونه‌های منابع رسوب جمع‌آوری شد. برای اینکه نمونه‌ها بتواند معرف کاملی از نقاط نمونه‌برداری باشند، در یک محدوده ۱۰۰ مترمربعی حدود ۱۰ نمونه برداشت گردید و به‌منظور مخلوط کردن آنها در داخل یک ظرف ریخته شدند و پس از به هم زدن، مقدار خاک لازم به میزان تقریبی یک کیلوگرم برداشت شد.

نمونه‌های رسوب از خروجی حوزه آبخیز مورد مطالعه برداشت شد. در این مرحله سعی شد نمونه‌برداری از رسوبات تازه ته‌نشین شده (draped) برداشت شود (Nosrati et al., 2018) و پس از خشک کردن در هوای آزاد و کوبیدن و عبور از الک، ذرات کمتر از ۶۳ میکرون برای مراحل بعدی انتخاب شد. در این مطالعه در مجموع ۱۲ نمونه رسوب برداشت شد.

### اندازه‌گیری ردیاب‌ها

عناصر ژئوشیمیایی شامل آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، استرونیوم (Sr)، سرب (pb)، نیکل (Ni)، کبالت (Co)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn) و فسفر قابل جذب (P) و همچنین کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) به‌عنوان ردیاب در این مطالعه انتخاب شدند.

برای اندازه‌گیری عناصر ژئوشیمیایی ابتدا نمونه‌ها هضم اسیدی شدند به‌طوری‌که سه گرم نمونه خشک کوچک‌تر از ۶۳ میکرون توسط محلول aqua regia (ترکیب سه به یک اسیدکلریدریک غلیظ و اسید نیتریک) به مدت دو ساعت روی حمام آبی قرار داده شد. سپس پس از سرد شدن، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی قطر ۰/۲ میکرون صاف شدند. درنهایت با استفاده از دستگاه ICP-OES (GBC Integra) و با استفاده از نمونه استاندارد Merck و رسم منحنی واسنجی، ردیاب‌ها اندازه‌گیری و به واحد میکروگرم بر گرم نمونه خاک گزارش شدند. کربن آلی به روش والکلی و بلاک (Skjemstad and Baldock, 2008)، اندازه‌گیری شد.

تولید رسوب بود که به صورت نمودارهایی برای هر یک از منابع رسوب به صورت جداگانه و به شکل سطوح اطمینان یا محدوده عدم قطعیت ارائه شد. همچنین به منظور ارائه سطوح اطمینان در بازه‌های مختلف، صدک‌های ۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد از خروجی‌های اجرای این مدل است که صدک ۵۰ درصد بیانگر میانه سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب است. همچنین به منظور محاسبه میزان اهمیت هر منبع در تولید رسوب، درصد سهم هر کدام از منابع رسوب تقسیم بر مساحت آن منبع شد و در نهایت به منظور بررسی صحت این نتایج، وضعیت فرسایش در کاربری‌های مختلف با استفاده از روش BLM (Refahi, 2001) مورد ارزیابی قرار گرفت. این روش هفت عامل حرکت خاک، وجود لاشبرگ در سطح خاک، وضعیت سنگ‌ها، قطعات سنگی تحکیم یافته، وجود فرسایش شیاری، فرم آبراهه‌ها و وجود فرسایش خندقی را به منظور نشان دادن وضعیت فرسایش در نظر می‌گیرد و سپس بر اساس این پارامترها امتیاز هر کدام از کاربری‌ها در میزان فرسایش مشخص می‌شود.

### نتایج و بحث

#### تغییرات کاربری اراضی

با بررسی نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه اطلاعات آن با نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های اخیر مشخص شد تغییرات زیادی در بهره‌برداری از زمین صورت گرفته که این تغییرات بیشتر مربوط به افزایش زمین‌های کشاورزی و کاهش مراتع و اراضی جنگلی می‌باشد (شکل ۲ و جدول ۱). اراضی جنگلی و مرتع از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۵ به ترتیب ۲۴/۸ و ۴۹ درصد کاهش یافته و به عکس اراضی کشاورزی ۴۷/۵ درصد افزایش داشته است. این تغییر کاربری به علت فعالیت‌های شدید کشاورزی و عملیات زراعی است که در منطقه به صورت گسترده و غیر اصولی صورت گرفته است.

$$\mu_j = \sum_{i=1}^n (f_i \times m_{jsourcei}) \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\hat{\sigma}_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i^2 \times s_{jsourcei}^2)} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که  $m_{jsourcei}$  میانگین ردیاب  $j$  از منبع رسوب  $i$  ام،  $s_{jsourcei}^2$  واریانس ویژگی ردیاب  $j$  از منبع رسوب  $i$  ام است. بر اساس انحراف معیار و میانگین، درست‌نمایی داده‌های نمونه‌های رسوب به صورت زیر محاسبه می‌شود.

(رابطه ۵)

$$L(x|\mu_j, \sigma_j) = \prod_{k=1}^n \prod_{j=1}^n \left[ \frac{1}{\sigma_j \times \sqrt{2 \times \pi}} \times \exp \left( -\frac{(X_{kj} - \mu_j)^2}{2 \times \sigma_j^2} \right) \right]$$

که در آن  $X_{kj}$  ویژگی ردیاب  $k$  ام نمونه رسوب است. درست‌نمایی سهم نسبی منابع رسوب  $f_j$  بر اساس اطلاعات اولیه (با استفاده از ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  برای هر منبع) بر اساس تابع توزیع بتا محاسبه می‌شود.

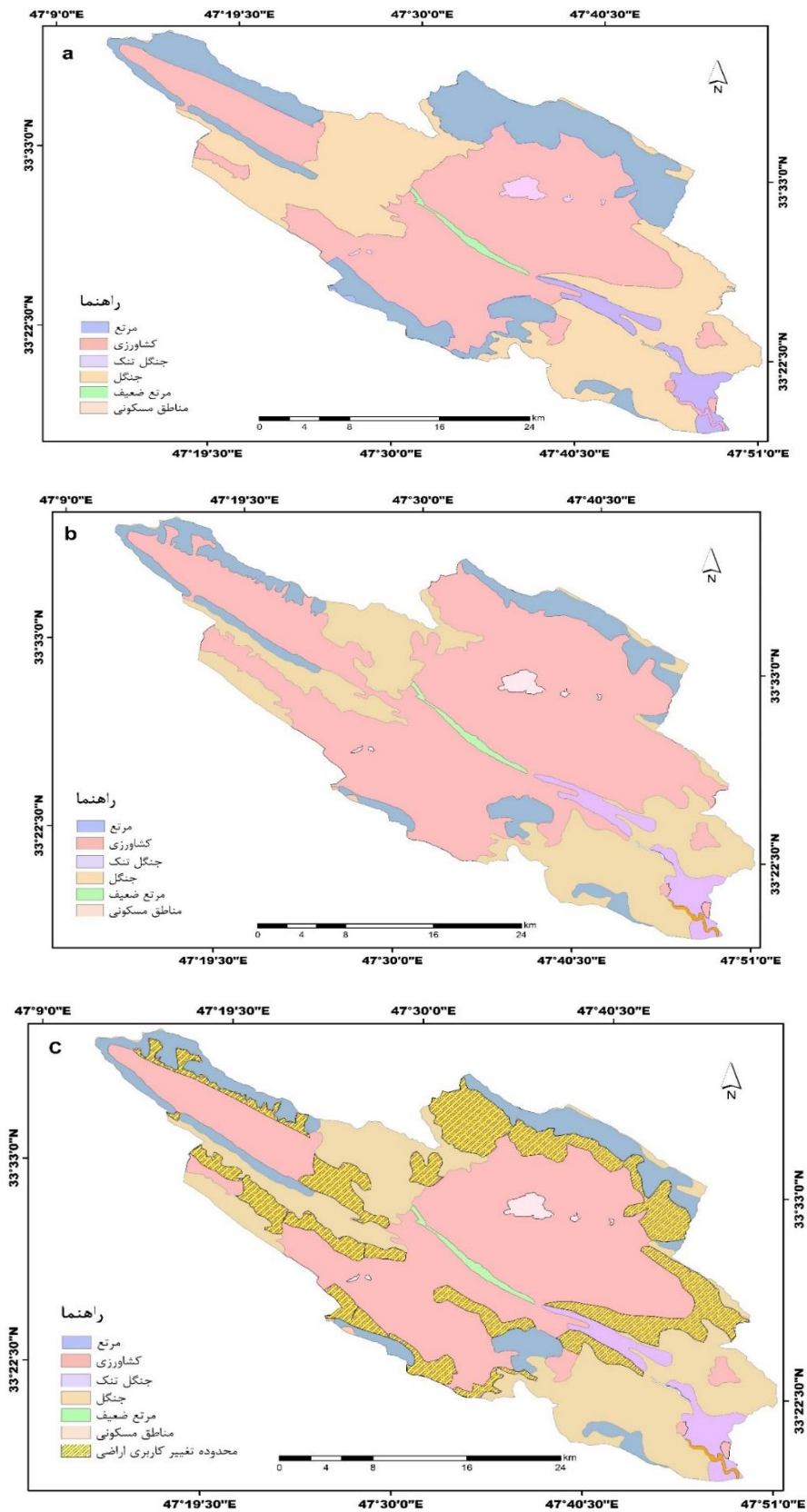
$$L(f_j \alpha_i, \beta_i) = \prod_{i=1}^n \frac{f_i^{\alpha_i-1} \times (1-f_i)^{\beta_i-1}}{B(\alpha_i, \beta_i)} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در نهایت به منظور محاسبه احتمال پسین غیر نرمال، درست‌نمایی اطلاعات اولیه در درست‌نمایی نمونه‌های رسوب ضرب می‌شود. سپس نتایج سهم منابع رسوب با در نظر گرفتن عدم قطعیت بر اساس دو شرط ارائه شده که شرایط مذکور شامل تغییرپذیری درصد سهم منابع رسوب بین صفر و یک ( $0 \leq f_i \leq 1$ ) و برابری مجموع درصد سهم منابع رسوب با یک ( $\sum_{i=1}^n f_i = 1$ ) است، مشخص می‌شود.

در این مطالعه، مدل عدم قطعیت در قالب یک برنامه با استفاده از برنامه‌نویسی در برنامه Matlab تهیه و اجرا شد. خروجی این برنامه شامل سهم نسبی هر یک از منابع رسوب در

جدول ۱. میزان تغییر کاربری اراضی در دوره آماری مورد مطالعه

| کاربری       | ۱۳۶۱                  |       | ۱۳۹۵                  |       |
|--------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
|              | مساحت Km <sup>2</sup> | درصد  | مساحت Km <sup>2</sup> | درصد  |
| کشاورزی      | ۴۶۷                   | ۴۱/۵۱ | ۶۸۹                   | ۶۱/۲۴ |
| مرتع         | ۲۴۰                   | ۲۱/۳۳ | ۱۲۲                   | ۱۰/۸۴ |
| جنگل         | ۴۱۸                   | ۳۷/۱۵ | ۳۱۴                   | ۲۷/۹۱ |
| درصد تغییرات |                       |       |                       | ۴۷/۵  |



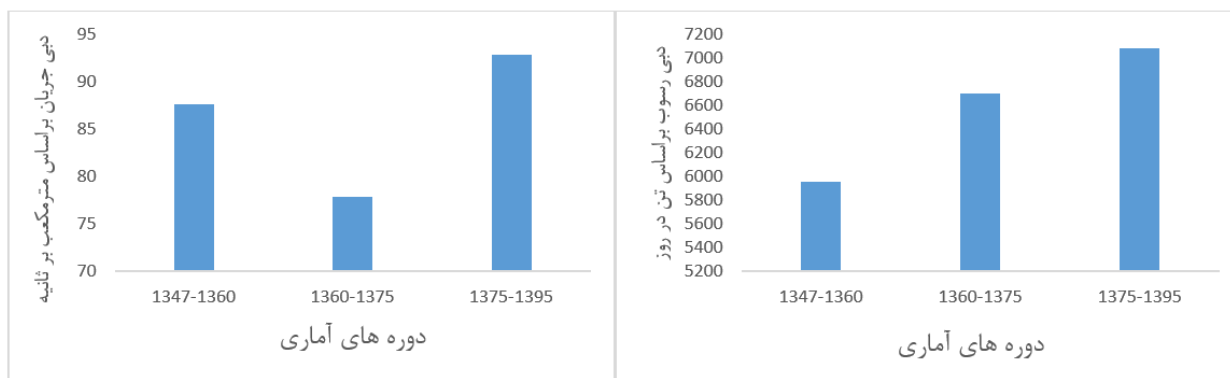
شکل ۲. میزان تغییر کاربری اراضی در دوره آماری مورد مطالعه. a: کاربری اراضی سال ۱۳۶۱، b: کاربری اراضی سال ۱۳۹۵ و c: میزان تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۵

آماري نشان از افزایش میزان دبی رسوب دارد (شکل ۳). با وجود این که در طول این دوره مطالعاتی در سه مقطع مشخص، روند

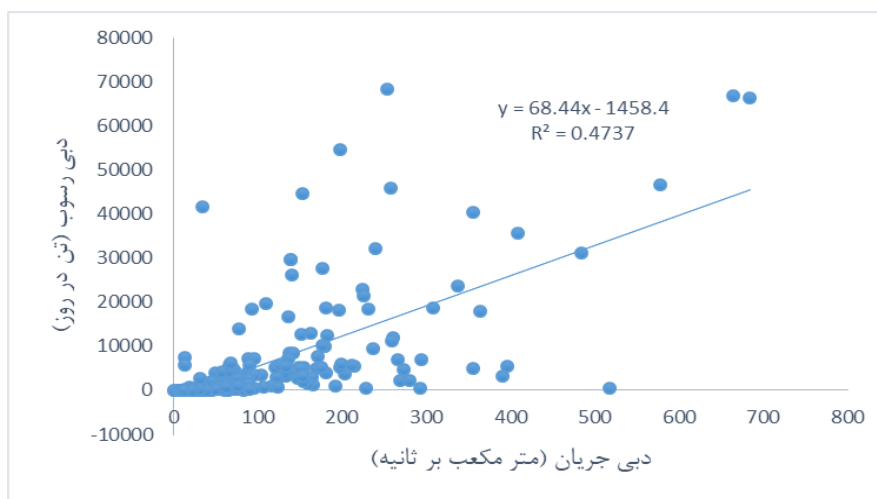
مقایسه داده‌های هیدرومتری با تغییرات کاربری اراضی  
مقایسه میزان دبی رسوب با دبی‌های جریان ثابت در طول دوره

آن‌ها به کشاورزی می‌باشد چرا که این مسئله باعث به هم خوردن و نرم شدن خاک در اثر عملیات خاک‌ورزی شده و باعث می‌شود مقاومت خاک کاهش یابد.

دبی جریان روند مشخصی ندارد، ولی روند دبی رسوب یک روند صعودی را نشان می‌دهد. همچنین رابطه منحنی سنجه در شکل (۴) نشان داده شده است. افزایش دبی رسوب از اثرات مهم تغییر کاربری اراضی به خصوص تخریب اراضی مرتع و جنگل و تبدیل



شکل ۳. روند تغییرات دبی رسوب و دبی جریان ایستگاه هیدرومتری کشکان افرینه



شکل ۴. منحنی سنجه رسوب ایستگاه کشکان افرینه

جدول (۳) مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش Stepwise و تأثیر آن‌ها بر توان جداسازی منابع رسوب برای کاربری اراضی را نشان می‌دهد. Wilk's Lambda معیاری مناسب از نسبت اختلاف‌های درون-گروهی به اختلاف‌های بین گروهی است. در هر مرحله متغیری وارد تابع شده که در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در جدول مشخص شده است. با اضافه شدن هر ردیاب مقدار Wilk's Lambda کاهش یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است.

نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص در جدول (۴) نشان داده شده است. با توجه به این جدول دو تابع بر اساس ویژگی‌های

#### انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

جدول (۲) نتایج آزمون آماری کروسکال والیس را در کاربری اراضی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول از ۱۵ عنصر به کار رفته هفت عنصر C, N, K, Pb, Zn, Sr, Mg و سطح معنی‌داری آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ است که با ستاره مشخص شده‌اند. این هفت عنصر قادر به تفکیک و جداسازی واحدهای کاربری اراضی می‌باشند. یعنی میانگین غلظت هر یک از عناصر حداقل در یک منبع از منابع دیگر متفاوت است. در این جدول مقدار آماره H نیز در نظر گرفته شده است؛ هر چه مقدار H بالاتر باشد قدرت تفکیک عنصر هم بیشتر می‌شود. همان‌طور که در اینجا مشخص شده با افزایش مقدار آماره H سطح معنی‌داری نیز بهتر شده است.



ردیاب‌ها مشخص شده است. درصد واریانس دو تابع به ترتیب برابر با ۹۸/۳ و ۱۰۰ درصد نشان داده شده است. در جدول (۴) معنی‌داری توابع به‌وسیله آماره کای مشخص شده است.

جدول ۲. سطح معنی‌داری ردیاب‌ها در واحدهای کاربری اراضی

| ردیاب        | H مقدار | سطح معنی‌داری | ردیاب          | H مقدار | سطح معنی‌داری |
|--------------|---------|---------------|----------------|---------|---------------|
| کربن آلی (C) | ۱۲/۷    | *۰/۰۰۱        | روی (Zn)       | ۱۴/۱    | *۰/۰۰۱        |
| نیتروژن (N)  | ۱۳/۹    | *۰/۰۰۱        | آهن (Fe)       | ۰/۷۰۱   | ۰/۷۰۴         |
| فسفر (P)     | ۱/۸     | ۰/۴۹۶         | منگنز (Mn)     | ۱/۷۶۳   | ۰/۴۱۴         |
| سدیم (Na)    | ۱/۲     | ۰/۵۴۸         | کلسیم (Ca)     | ۳/۱۵۶   | ۰/۲۰۶         |
| پتاسیم (K)   | ۱۳/۲    | *۰/۰۰۱        | منیزیم (Mg)    | ۳۳/۱    | *<۰/۰۰۰۱      |
| مس (Cu)      | ۰/۸۸۵   | ۰/۶۴۲         | استرونیوم (Sr) | ۱۴/۱    | *۰/۰۰۱        |
| سرب (Pb)     | ۱۳/۲    | *۰/۰۰۲        | نیکل (Ni)      | ۱/۲     | ۰/۵۴۹         |
| کوبالت (Co)  | ۴/۳     | ۰/۱۱۲         |                |         |               |

\*سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵

جدول ۳. وضعیت گام‌های مختلف ورود عناصر به مدل در کاربری اراضی

| گام | خصوصیات ردیاب | Wilk,s Lambda | معنی‌داری |
|-----|---------------|---------------|-----------|
| ۱   | Mg            | ۰/۱۱۸         | <۰/۰۰۰۱   |
| ۲   | K             | ۰/۰۸۴         | <۰/۰۰۰۱   |
| ۳   | Sr            | ۰/۰۷          | <۰/۰۰۰۱   |
| ۴   | Pb            | ۰/۰۴۶         | <۰/۰۰۰۱   |

جدول ۴. ویژگی‌های توابع تحلیل تشخیصی در کاربری اراضی

| تابع | مقدار ویژه | درصد واریانس | درصد تجمعی واریانس | همبستگی کانونی | کای اسکور | سطح معنی‌داری |
|------|------------|--------------|--------------------|----------------|-----------|---------------|
| ۱    | ۱۴/۹       | ۹۸/۳         | ۹۸/۳               | ۰/۹۶           | ۱۰۷/۵     | <۰/۰۰۰۱       |
| ۲    | ۰/۳۱       | ۱/۷          | ۱۰۰                | ۰/۴۴           | ۰/۹۲      | ۰/۰۴۸         |

جدول (۵) درصد طبقه‌بندی صحیح در هر گروه و تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول نمونه‌ها در کاربری اراضی ۱۰۰ درصد صحیح برداشت و طبقه‌بندی شده‌اند. درصد طبقه‌بندی صحیح به‌طور کل برابر با ۱۰۰ درصد می‌باشد. قسمت دوم جدول نیز نتایج ارزیابی متقابل تحلیل تشخیصی را نشان می‌دهد. در این قسمت درصد طبقه‌بندی درست برابر با ۹۷/۳ درصد می‌باشد.

جدول ۵. درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در کاربری اراضی

| کاربری اراضی        | پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها |      |      | کل نمونه‌ها |
|---------------------|---------------------------|------|------|-------------|
|                     | کشاورزی                   | مرتع | جنگل |             |
| نتایج تحلیل         | کشاورزی                   | ۰    | ۰    | ۳۵          |
|                     | مرتع                      | ۰    | ۲۵   | ۲۵          |
|                     | جنگل                      | ۰    | ۰    | ۱۷          |
| درصد                | کشاورزی                   | ۱۰۰  | ۰    | ۱۰۰         |
|                     | مرتع                      | ۰    | ۱۰۰  | ۱۰۰         |
|                     | جنگل                      | ۰    | ۰    | ۱۰۰         |
| نتایج ارزیابی تحلیل | کشاورزی                   | ۰    | ۰    | ۳۵          |
|                     | مرتع                      | ۱    | ۲۳   | ۲۵          |
|                     | جنگل                      | ۰    | ۰    | ۱۷          |
| درصد                | کشاورزی                   | ۱۰۰  | ۰    | ۱۰۰         |
|                     | مرتع                      | ۴    | ۹۲   | ۱۰۰         |
|                     | جنگل                      | ۰    | ۰    | ۱۰۰         |

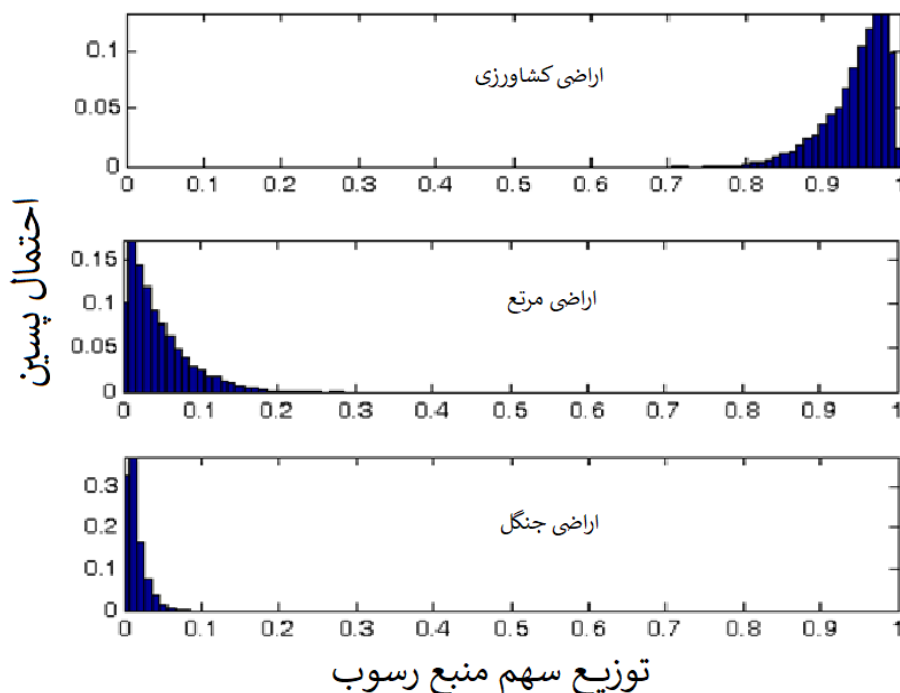
### تعیین سهم منابع رسوب

برای تعیین سهم نسبی منابع رسوب در تولید رسوب از تکنیک منشایابی رسوب بر اساس برآورد عدم قطعیت استفاده شد. برای ارزیابی عدم قطعیت در سهم هر یک از منابع رسوب، مدل ترکیبی عدم قطعیت برای ترکیب کل نمونه‌های رسوب مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن ۱۰<sup>۶</sup> تکرار برای نمونه‌برداری مجدد برای برآورد احتمال پسین، این مدل توانست تابع تراکمی پسین صحیحی از داده‌ها ایجاد کند.

با در نظر گرفتن این که میانگین سهم هر منبع برابر با میانه یا صدک ۵۰ باشد، صدک ۵ و ۹۵ میانه سطوح اطمینان عدم قطعیت می‌باشد که نتایج حاصل از ترکیب ردیاب‌ها مشخص می‌کند، برای سه منبع حوضه مورد مطالعه سهم نسبی تولید رسوب هر منبع کشاورزی، مرتع و جنگل به ترتیب برابر با مقادیر ۹۵ (۸۶-۹۹)، ۳ (۰-۱۲) و ۰/۹ (۰-۳) درصد است. مقادیر داخل پیرانتز بیان‌کننده حدود اطمینان صدک ۵ و ۹۵ درصد است. توزیع سهم هر یک از منابع رسوب بر اساس برآورد توزیع احتمال پسین

در شکل (۵) نشان داده شده است. محور Xها نشان دهنده میزان سهم نسبی هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب و محور Yها بیانگر احتمال پسین به دست آمده از تکرار نمونه‌برداری مجدد بر اساس داده‌های واقعی است. روش منشایابی رسوب بر اساس مدل عدم قطعیت Bayesian از هر دو منبع اطلاعات شامل اطلاعات داده‌های اصلی و اطلاعاتی که در محتوای داده‌ها نهفته است، استفاده می‌نماید. همچنین احتمال پسین مربوط به داده‌هایی است که واقعا اتفاق افتاده، نه داده‌هایی که احتمال وقوع دارند (Nosrati, 2012). بنابراین آماره‌های Bayesian در مقایسه با سایر روش‌ها ابزار قدرتمندی را به منظور برآورد عدم قطعیت با توجه به استفاده از پارامترهای اندک ارائه نموده است.

به منظور بررسی اهمیت نسبی کاربری اراضی در تولید رسوب و فراهم نمودن امکان مقایسه آن‌ها، سهم هر کدام از منابع در تولید رسوب به درصد گستره تحت پوشش تقسیم شد. جدول (۶) نتایج این تقسیم را نشان می‌دهد.



شکل ۵. سهم منابع رسوب حوزه آبخیز با استفاده از مدل عدم قطعیت

جدول ۶. اهمیت نسبی منابع رسوب در تولید رسوب

| منابع   | مساحت Km <sup>2</sup> | درصد مساحت | سهم تولید رسوب برحسب درصد | اهمیت نسبی |
|---------|-----------------------|------------|---------------------------|------------|
| کشاورزی | ۶۸۹                   | ۶۱/۲۴      | ۹۵                        | ۱/۵        |
| مرتع    | ۱۲۲                   | ۱۰/۸۴      | ۳                         | ۰/۲۸       |
| جنگل    | ۳۱۴                   | ۲۷/۹       | ۰/۹                       | ۰/۰۳       |

درصد برای سال ۱۳۹۵ شده است. رشد جمعیت و نیاز روزافزون غذا، کشاورزان را به سوی استفاده از اراضی نامرغوب، مراتع و جنگل‌ها هدایت کرده که این مسئله می‌تواند این حجم تغییرات کاربری را توجیه نماید. نتایج داده‌های هیدرومتری منطقه نشان داد در طول دوره‌های آماری (۱۳۴۷-۱۳۶۰)، (۱۳۶۰-۱۳۷۵) و (۱۳۷۵-۱۳۹۱) به ترتیب میانگین میزان دبی رسوب ۵۹۵۴، ۶۶۹۹ و ۷۰۷۹ تن در روز و میانگین میزان دبی جریان ۸۷، ۷۷ و ۹۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد اگرچه در طول دوره آماری دبی جریان روند مشخصی را دنبال نمی‌کند، اما دبی رسوب روند صعودی را داشته که این مسئله مستقل بودن روند صعودی دبی رسوب را از میزان بارش منطقه به اثبات می‌رساند. همچنین با توجه به نتایج منشایی رسوب که سهم اراضی کشاورزی در تولید رسوب را بیشتر از دیگر منابع تشخیص داد، می‌توان نتیجه گرفت مهم‌ترین و اصلی‌ترین مسئله رسوب‌دهی منطقه مربوط به تغییر کاربری از جنگل و مرتع به کشاورزی است. با توجه به مشخص شدن این موضوع که اراضی کشاورزی منطقه سهم بیشتری در تولید رسوب منطقه دارد و با توجه به وسعت زیاد اراضی کشاورزی در منطقه توصیه می‌شود توجه بیشتری به نوع بهره‌برداری از اراضی کشاورزی شده و برنامه‌های مدیریت و حفاظت خاک در منطقه به‌ویژه در بهره‌برداری از اراضی کشاورزی اجرا شود. می‌توان به برنامه‌هایی مثل؛ تغییر نوع کشت، آیش گذاشتن و یا به زیر کشت زمستانه بردن اراضی اشاره کرد. در مطالعات فرسایش خاک و تولید رسوب و شناخت مناطق حساس به رسوب‌دهی، استفاده از تکنیک منشایی رسوب توصیه می‌شود چرا که این تکنیک نسبت به دیگر روش‌ها و مدل‌های برآورد رسوب مزایای زیادی دارد؛ از جمله این مزایا می‌توان به سرعت زیاد، اقتصادی بودن، دقت بالا و همچنین امکان استفاده آن در مناطق مختلف اشاره کرد.

### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری می‌باشد و کلیه حمایت مالی آن توسط دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین صورت گرفته است.

### REFERENCES

- Aiello, A., Adamo, M. and Canora, F. (2015). Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *Catena* (131), 174-185.
- Atapour, A. and Hakimkhani, Sh. (20003). Determine the contribution of sediment sources to sediment yield in Chandab Sub-basins using clay minerals.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده منابع کشاورزی با داشتن ضریب ۱/۵ در مقایسه با جنگل و مرتع به ترتیب با ضریب ۰/۰۳ و ۰/۲۸ نقش بیشتری در تولید رسوب حوضه دارند و گویای این مسئله است که نوع بهره‌برداری از اراضی عامل بسیار مهمی در رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز است و استفاده غیراصولی بدون در نظر گرفتن توان اراضی می‌تواند مقاومت خاک در برابر فرسایش را کاهش دهد. مغایرت با این نتیجه، Collins et al (2010) با استفاده از مدل ترکیبی منشایی رسوب در حوضه‌ای از سامرست لولز، جنوب غربی انگلستان نشان دادند، اراضی مرتع با ۴۲ درصد بیشترین سهم تولید رسوب را در منطقه داشته و سهم اراضی کشاورزی در تولید رسوب ۲۲ درصد بوده است. در مطالعه‌ای دیگر (Hakimkhani 2006) به‌منظور تعیین سهم نسبی رسوب در حوضه‌ای از شهرستان ماکو با استفاده از مدل ترکیبی منشایی رسوب نشان دادند، اراضی مرتع با ۷۹/۶۶ درصد نسبت به اراضی کشاورزی با ۲۰/۳۴ درصد سهم بیشتری در تولید رسوب منطقه دارد. دلیل این نتایج وجود انواع مختلف فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، آبراهه‌ای و رودخانه‌ای در اراضی مرتع مشخص شد.

مطابقت با این نتیجه، Zhou et al (2016) با استفاده از تکنیک منشایی رسوب در حوضه‌ای از جیانگسو نشان دادند اراضی کشاورزی نسبت به دیگر اراضی حساسیت بیشتری نسبت به رسوب‌دهی دارند. در مطالعه‌ای دیگر، Porto et al (2009) با استفاده از تکنیک منشایی رسوب، تأثیر تغییر کاربری اراضی از جنگل به کشاورزی را در دو حوزه آبخیز در ایتالیا مورد مطالعه قرار دادند. مطالعات ایشان نشان داد این تغییر کاربری باعث رسوب‌دهی بیشتری در حوضه‌ها شده است. با توجه به مشاهدات میدانی بر اساس روش BLM و صحت نتایج به دست آمده، دقت و عملکرد مدل مورد تأیید قرار گرفت.

### نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های سنجش‌ازدور در مطالعه تغییرات کاربری اراضی در طول دوره آماری ۳۵ ساله نشان داد، تغییرات از جنگل و مرتع به کشاورزی قابل توجه بوده به طوری که این تغییرات باعث افزایش مساحت کشاورزی از ۴۱/۵۱ درصد برای سال ۱۳۶۱ به ۶۱/۲۴

*3rd Conference of Watershed Management*, 74-82. (In Farsi)

- Ballantine, D., Walling, D., Collins, A. and Leeks, G. (2009). The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. *Geoderma* (151), 141-149.

- Chen, F., Fang, N. and Shi, Z. (2016). Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment. *Science of the Total Environment*, (557-558), 123-133.
- Collins, A. L., Pulley, S., Foster, I. D. L., Gellis, A., Porto, P. and Horowitz, A. J. (2017). Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: A review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users. *Journal of Environmental Management* (194), 86-108.
- Collins, A., Walling, D., Webb, L. and King, P. (2010). Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. *Geoderma*, (155), 249-261.
- Collins, A., Anthony, S., Hawley, J. and Turner, T. (2009). The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. *Catena* (79), 243-250.
- Du, P. and Walling, D. E. (2017). Fingerprinting surficial sediment sources: Exploring some potential problems associated with the spatial variability of source material properties, *Journal of Environmental Management* (194), 4-15.
- Fox, J. and Papanicolaou, A. (2008). Application of the spatial distribution of nitrogen stable isotopes for sediment tracing at the watershed scale. *Hydrology* (358), 46-55.
- Gruszowski, K., Foster, I.D.L., Lees, J. and Charlesworth, S. (2003). Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes* (17), 2665-2681.
- Hakimkhani, Sh. (2006). Investigate the use of trackers in fingerprinting of fine sediments. Ph. D. dissertation, University of Tehran, Tehran. (In Farsi)
- Hatfield, R.G. and Maher, B.A. (2009). Fingerprinting upland sediment sources: particle size-specific magnetic linkages between soils, lake sediments and suspended sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, (34), 1359-1373.
- Lamba, J., Karthikeyan, K. G. and Thompson, A. M. (2015). Apportionment of suspended sediment sources in an agricultural watershed using sediment fingerprinting. *Geoderma*, (239), 25-33
- Lim, Y.S., Kim, J.W. and Kim J.W. (2019). Suspended sediment source tracing at the Juksan Weir in the Yeongsan River using composite fingerprints. *Quaternary International*, (In press).
- Lin, J., Huang, Y., Wang, M. K., Jiang, F. and Zhang, X., Ge, H. (2015). Assessing the sources of sediment transported in gully systems using a fingerprinting approach: An example from South-east China. *Catena*, (129), 9-17.
- Liu, B., Niu, Q., Qu, J. and Zu, R. (2016). Quantifying the provenance of aeolian sediments using multiple composite fingerprints. *Aeolian Research*, (22), 117-122.
- Nosrati, K. (2012). Fingerprinting based on estimation of uncertainty. *Iranian water research*, (9), 51-60. (In Farsi).
- Nosrati, K., Ahmadi, H. and Sharifi, F. (2013). Sediment Sources Fingerprinting: Relation between Enzyme Activities in Soil and Sediment. *Water and Soil Sci.* (16), 227-237. (In Farsi).
- Nosrati, K., Collins, L. A. and Madankan, M. (2018). Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model. *Catena*, (164), 32-43
- Nosrati, K. and Collins, A. L. (2019). Investigating the importance of recreational roads as a sediment source in a mountainous catchment using a fingerprinting procedure with different multivariate statistical techniques and a Bayesian un-mixing model. *Journal of Hydrology*, (569), 506-518.
- Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozegar, M. A., Merckx, R. and Vanmaercke, M. (2011). An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints. *Sediment Research*, (26), 136-151.
- Nosrati, K., Govers, G., Semmens, B.X. and Ward, E.J. (2014). A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma*, 217-218: 173-180.
- Owens, P. N., Blake, W. H., Gaspar, L., Gateuille, D., Koiter, A. J., Lobb, D. A., Petticrew, E. L., Reiffarth, D. G., Smith, H. G. and Woodward, J. C. (2016). Fingerprinting and tracing the sources of soils and sediments: Earth and ocean science, geoaerchaeological, forensic, and human health applications. *Earth-Science Reviews*, (162), 1-23.
- Palazon, L., Latorre, B., Gaspar, L., Blake, W. H., Smith, H. G. and Navas, A. (2016). Combining catchment modelling and sediment fingerprinting to assess sediment dynamics in a Spanish Pyrenean river system, *Science of The Total Environment*, (569-570), 1136-1148.
- Palazon, L., Latorre, B., Gaspar, L., Blake, W. H., Smith, H. G. and Navas, A. (2015). Comparing catchment sediment fingerprinting procedures using an auto-evaluation approach with virtual sample mixtures. *Science of the Total Environment*, (532), 456-466.
- Porto, P., Walling, D.E. and Callegari, G. (2009). Investigating the effects of afforestation on soil erosion and sediment mobilisation in two small catchments in Southern Italy. *Catena*, (79), 181-188.
- Pulley, S., Foster, I. and Antunes, P. (2015). The uncertainties associated with sediment fingerprinting suspended and recently deposited fluvial sediment in the Nene river basin. *Geomorphology*, (228), 303-319.
- Refahi, H. (2000). *Water earosion and contorol it.* (3th ed). Tehran: Tehran. (In Farsi)
- Skjemstad, J.O., and Baldock, J.A. (2008). Total and organic carbon. In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis.* CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca

- Raton, 225-237.
- Tiecher, T., Caner, L., Minella, J.P., Pellegrini, A., Capoane, V., Rasche, J.W.R., Schaefer, J.L. and Rheinheimer, D.S. (2017). Tracing sediment sources in two paired agricultural catchments with different riparian forest and wetland proportion in southern Brazil. *Geoderma*, (285), 225–239.
- Wallbrink, P.J. (2004). Quantifying the erosion processes and land-uses which dominate fine sediment supply to Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Journal of environmental radioactivity*, (76), 67-80.
- Walling, D.E., Owens, P.N., Waterfall, B.D., Leeks, G.J.L. and Wass, P.D. (2000). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *The Science of the Total Environment* (251), 205-222.
- Wilkinson, S., Wallbrink, P., Hancock, G., Blake, W., Shakesby, R. and Doerr, S. (2009). Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest. *Geomorphology*, (110), 140-151.
- Zhang, J., Yang, M., Zhang, F. and Li, Y. (2019). Fingerprinting sediment sources in the water-wind erosion crisscross region on the Chinese Loess Plateau. *Geoderma*, (337), 649-663.
- Zhou, H., Chang, W. and Zhang, L. (2016). Sediment sources in a small agricultural catchment: A composite fingerprinting approach based on the selection of potential sources. *Geomorphology*, (266), 11-19.