



مناطق در حال فرسایش و رسوبگذاری حوزه آبخیز لادیز

محمّد رضا نورا^{۱*} و رضا موسوی هرامی^۲

۱) گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، noura706@yahoo.com

۲) گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد harami2004@yahoo.com

*عهده دار مکاتبات

هکیده

با محاسبه عواملی نظیر سطح، شکل، شیب، شبکه زهکشی و محاسبه و ترسیم منحنی‌های هیپسومتری و هیپسومتری بی بعد، تحلیل فرسایش و رسوبگذاری در حوزه آبخیز لادیز انجام گرفته است. خصوصیات فیزیوگرافی حوزه‌های فرعی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، حالت تعادل بین وسعت مناطق کوهستانی و دشت در زیرحوزه سعدآباد را نشان می‌دهد. ارتفاعات زیرحوزه میانرود و سیاه جنگل، به عنوان حوزه‌هایی جوان، شدیداً در معرض فرسایش قرار دارند. مقایسه وسعت، شکل، شیب و منحنی‌های هیپسومتریک زیرحوزه‌ها نشان می‌دهد که وسعت و شدت فرسایش در زیرحوزه میانرود نسبت به سایر زیرحوزه‌ها بیشتر است. به طور کلی حوزه آبخیز لادیز حوزه‌ای جوان و فعال محسوب می‌شود. بیش از دو سوم سطح آن را مناطق کوهستانی در معرض فرسایش، تشکیل می‌دهد و حالت تعادل در آن برقرار نیست.

واژه‌های کلیدی: فیزیوگرافی حوزه، منحنی هیپسومتری، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق کوهستانی.

Erosion and Sedimentation Area of the Ladiz Drainage Basin

M. R. Noura¹ & R. Moussavi Harami²

1) Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Sciences and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran - Iran, noura706@yahoo.com

2) Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad - Iran, harami2004@yahoo.com

Abstract

In order to analyze the erosion and sedimentation areas of the Ladiz drainage basin, factors such as level, shape, slope, drainage network and constructed hypsometric and undimensional hypsometric curves have been taken into account. Physiographical properties of subordinate drainage basins obtained from Geographical Information System (GIS) indicate that the extent of mountains and plains of the Saadabad drainage basin are in equilibrium. The Mianrud and Siahjangan subordinate drainage basins are in an elevated youth stage, therefore highly exposed to erosion. Comparison of the extent, shape, slope and hypsometric curves of subordinate drainage basins indicate a greater extent and more severe erosion of the Mianrud area than of others.

Key words: drainage basin, physiographical, hypsometric curve, geographical information system, mountainous area.

۱- مقدمه

رودخانه‌ها از چشم‌اندازهای زیبای سیستم زهکشی سطح زمین و بخش بسیار مهم و پویای محیط اطراف ما می‌باشند. مطالعه رفتار و ماهیت آنها و به تبع مطالعه حوزه‌های آبخیز از جهات متعددی از قبیل کنترل سیلاب، فرسایش و رسوب‌گذاری قابل توجه است (Brierley & Fryirs 2008). مسئله فرسایش در حوزه‌های آبخیز ایران، که همواره در معرض هدر رفتن آب‌های سطحی و تولید هرز آب‌ها قرار دارد از موضوعات بسیار مهم اقتصادی، اجتماعی و عمرانی کشور ما محسوب می‌شود. آثار و علایم فرسایش در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور دیده می‌شود و سالانه بیش از یک میلیارد تن از خاک پر ارزش تحت تأثیر فرسایش، حمل و در دریاچه‌ها، دریاها و یا داخل مخازن سدها رسوب می‌کند (ضیائی ۱۳۸۰).

فرسایش آبی شامل فرسایش در حوزه‌ی آبخیز و فرسایش در مسیر رودخانه است. عامل ایجاد کننده فرسایش و کنده شدن ذرات جامد از سطح حوزه، قطرات باران و جریان ناشی از آن بوده در حالی که در فرسایش مسیر، رودخانه عامل ایجاد کننده فرسایش و حمل رسوب جریان سیلاب‌ها است (Gavers et al. 2007). در مناطق خشک و نیمه خشک که سطح حوزه‌ی آبخیز عموماً فاقد پوشش گیاهی است رگبارها و بارندگی‌های شدید از یک سو فرسایش حوزه‌ی آبخیز را تهدید می‌کند و از سوی دیگر سیلاب‌های مهیب و رسوبات سیلابی خسارت فراوانی در پی دارد (Bridge & Demicco 2008).

نظر به اهمیت و اثرات فرسایش و رسوب‌گذاری به ویژه بروز سیلاب‌های خطرناک و پر شدن سریع سدها، پژوهشگران در سراسر جهان از دیرباز در پی این بوده‌اند تا با استفاده از روش‌های مختلف بتوانند مناطق تحت فرسایش و رسوب‌گذاری را شناسایی و شدت آن- را مورد محاسبه قرار دهند (De Vente & Poesen 2005). تفاوت قابل توجه در روابط و مدل‌های مختلف پیشنهادی به منظور شرح و پیش بینی فرسایش و تولید رسوب در اهداف، زمان و مقیاس مکانی است. مدل‌هایی با مبنای داده‌های فیزیکی، مدل‌های تجربی و مدل‌های مفهومی از آن جمله‌اند (De Vente & Poesen 2005). شناخت نوع فرسایش، علت و مکانیسم به وجود آمدن آن کمک بزرگی به مهار فرسایش و مبارزه با آن می‌نماید (Grauso et al. 2007).

فیزیوگرافی حوزه که در حقیقت مطالعه خصوصیات فیزیکی و شکل شناسی حوزه‌ی آبخیز است نه فقط به‌طور مستقیم بر روی رژیم هیدرولوژیک و میزان تولید آبی سالیانه، حجم سیلاب‌ها، شدت فرسایش خاک و میزان رسوب تولیدی اثر می‌گذارد بلکه به‌طور غیر- مستقیم نیز بر آب و هوا، پوشش گیاهی و به میزان زیادی رژیم آبی

حوزه‌ی آبخیز را تحت کنترل خود قرار می‌دهد (علیزاده ۱۳۸۶). در بررسی فیزیوگرافی حوزه‌ی آبخیز عواملی نظیر سطح، شکل، شیب، شبکه زهکشی، ارتفاع، توپوگرافی و توزیع سطح با ارتفاع مورد شناسایی و مطالعه قرار می‌گیرند (Pelletier 2008).

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه اثر کمی خصوصیات فیزیوگرافی بر روی فرسایش و رسوب‌زایی در حوزه‌های آبخیز صورت گرفته و روش‌های متعددی در چگونگی بررسی هر یک از این عوامل ارائه شده است و لیکن سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS, Geographical Information System) می‌تواند برای تحلیل دینامیکی فرسایش در حوزه‌های آبخیز کوهستانی به کار رود (Haffmann & Sander 2007) و در بدست آوردن مؤلفه‌های شیب و توزیع فضایی سطح نسبت به ارتفاع مورد استفاده قرار گیرد (Curtis et al. 2005). معیارسازی و تحلیل‌های بی‌بعد از جمله تکنیک‌های مدل‌سازی مهمی هستند که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با استفاده از این تکنیک‌ها می‌توان از طریق حذف متغیرهای بی‌تأثیر یا فرعی تحلیل را ساده نمود (Lawerence 1996). در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فیزیوگرافی حوزه و همچنین ترسیم منحنی‌های توزیع سطح با ارتفاع و مقایسه این منحنی-ها با منحنی‌های بی‌بعد هیپسومتریک مناطق تحت فرسایش و رسوب-گذاری در حوزه‌ی آبخیز کوهستانی لادیز شناسایی شوند.

۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز رودخانه لادیز در جنوب شرق کشور بین طول‌های جغرافیایی ۴۵° ۶۰' تا ۳۰' ۶۱° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۲۸' تا ۲۹° شمالی واقع شده است (تصویر ۱). از نظر تقسیمات استانی، ناحیه‌ای از بخش میرجاوه در جنوب شهرستان زاهدان در استان سیستان و بلوچستان محسوب می‌شود (مرکز آمار ایران ۱۳۸۵). در تقسیم بندی طرح جامع آب کشور این حوزه به عنوان بخشی از حوزه‌ی آبخیز ماشکیل به شماره ۵۳۰۵ مشخص شده است (سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان ۱۳۸۵). حوزه‌ی آبخیز لادیز از نظر اقلیمی ناحیه‌ای خشک محسوب می‌گردد. مسیل‌های اصلی آن فصلی بوده و بارش در این حوزه به صورت رگبارهای شدید می‌باشد که منجر به سیلاب‌های ناگهانی و مخرب می‌گردد.

با توجه به خطوط تقسیم آب در حوزه‌ی لادیز برای این حوزه سه زیرحوزه مستقل به نام‌های سعدآباد، میانرود و سیاه جنگل شناسایی گردید (تصویر ۱) که برای هر یک از این زیرحوزه‌ها و همچنین کل حوزه‌ی آبخیز، تحلیل فرسایش و رسوب‌گذاری انجام شده است.

۳- روش مطالعه

اکثر خصوصیات فیزیوگرافی یک حوزه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی تعیین می‌شوند (علیزاده ۱۳۸۶). با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور ۱۳۷۰)، ابتدا محدوده فیزیکی کل حوزه آبخیز لادیز، که همان خطوط تقسیم آب می‌باشند، تعیین و سپس بر حسب نیاز، زیر حوزه‌های مختلف مشخص و محیط و مساحت هر یک از آنها محاسبه گردید. با ترسیم نقشه شبکه آبراهه‌ها، فرم شبکه زهکشی حوزه بدست آمده و با اندازه‌گیری طول آبراهه‌ها اندیس تراکم زهکشی (Drainage density) (D_d) (Pelletier 2008) محاسبه گردید. شیب حوزه که از عوامل مهم در مطالعات حوزه آبخیز است و به صورت نسبت ارتفاع به فاصله بیان می‌شود از معادله $S = \Delta h \cdot L / A$ بدست آمده است ($L =$ طول مجموع منحنی‌های تراز واقع در محدوده حوزه آبخیز، $A =$ مساحت آبخیز و $\Delta h =$ اختلاف ارتفاع بین دو منحنی تراز) (ضیائی ۱۳۸۰).

اندیس شیب (Index slope) به روش Roche (Pelletier 2008)

و از معادله ۱

$$I_s = L^{1/2} \sum^n \sqrt{a_i} \cdot d_i \quad (1)$$

که در آن،

a_i ، مساحت جزیی واقع بین دو خط تراز مجاور اختلاف

و

L ، طول مستطیل معادل محاسبه شده است.

ارتفاع متوسط حوزه و زیر حوزه‌های آبخیز از روش میانگین وزنی بدست آمد (علیزاده ۱۳۸۶).

جهت بررسی وضعیت ناهمواری حوزه آبخیز از منحنی‌های هیپسومتریک (Hypsometric) (نمودار توزیع سطح بر حسب ارتفاع) و آلتی متریک (Altimetric) (نمودار فراوانی سطح بر حسب ارتفاع) استفاده شده است.

برای این منظور سطح واقع بین دو خط تراز متوالی اندازه‌گیری و سپس جدول توزیع سطح نسبت به ارتفاع تنظیم و منحنی‌های مربوطه ترسیم و ارتفاع میانه از منحنی‌های هیپسومتریک بدست آمد. منحنی‌های هیپسومتریک از نظر چگونگی مراحل فرسایش یا رسوب‌گذاری قابل تجزیه و تحلیل بوده ولی از نظر کمی نمی‌توان برای آن معادله ریاضی معرفی نمود (فریفته ۱۳۷۰).

استرالر (Strahler 1952) تجزیه و تحلیل فرسایش حوزه‌های آبخیز را با استفاده از منحنی‌های هیپسومتریک به صورت جدید و بدون بُعد را ارائه و مورد استفاده قرار داده است.

متغیرهای بدون بعدی که بر اساس آنها تجزیه و تحلیل هیپسومتریک انجام می‌شود در معادله ۳ نشان داده شده‌اند (نخعی و قنوتی ۱۳۸۵).

در یک حوزه آبخیز که بین خط تقسیم آب و سطح اساس افق منطبق بر دهانه خروجی حوزه محدود است، ارتفاع نسبی (y) برابر با نسبت ارتفاع یک منحنی میزان مشخص (h) به کل ارتفاع حوزه (ناهمواری) (H) است.

مساحت نسبی حوزه (x) از نسبت سطح مقطع افقی آن قسمت از مساحت حوزه در بالای منحنی میزان مشخص (a) به مساحت کل حوزه (A) بدست می‌آید.

منحنی هیپسومتریک به صورت درصد براساس تابع پیوسته $y_c = ((d-x/x) \times (a/d-a))^2$ در رابطه با ارتفاع نسبی (y) به مساحت ناحیه (x) ترسیم می‌گردد (فریفته ۱۳۷۰).

در این رابطه $y_c =$ ارتفاع محاسبه شده از نظر تئوری، $a =$ فاصله انتخابی از مبدا و $d = 1 + a$ است. این معادله به گونه‌ای طراحی شده است که در وضعیت حد، $y_c = 1$ باشد و زمانی که $x = d$ باشد، $y_c = 0$ بدست می‌آید.

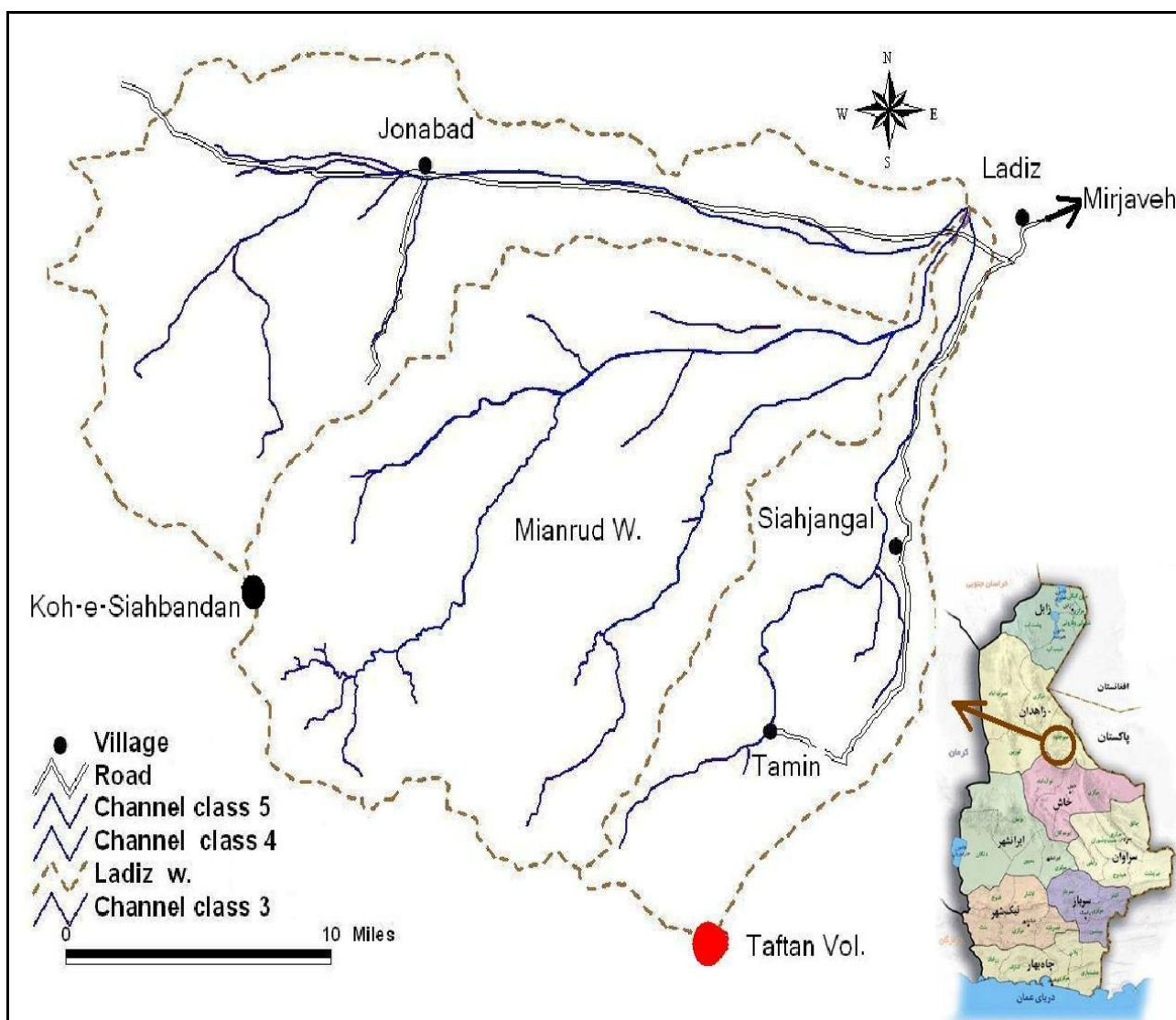
شکل نموداری این معادله از نظر فرسایش حوزه مراحل جوانی، بلوغ، تعادل و پیری یا رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. به همین منظور جهت مقایسه برای هر یک از زیر حوزه‌ها و حوزه آبخیز لادیز منحنی‌های بدون بعد محاسبه و ترسیم شده‌اند (تصویر ۲).

سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی روند، الگو و مدل‌سازی و فراهم نمودن اطلاعاتی که به نحوی با زمین و نقشه و یا به‌طور کلی برای اطلاعات جغرافیایی مکان‌دار و تحلیل‌های فضایی به‌کاربرده می‌شود. اصولاً قدرت سیستم اطلاعات جغرافیایی در جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل توام مقادیر زیادی از داده‌های مکانی است که به صورت تلفیق و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی جهت تهیه واحدهای همگن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gustavsson et al. 2006). این موضوع در شناسایی و تحلیل مناطق تحت فرسایش و رسوب‌گذاری حوزه‌های آبخیز که عوامل مختلفی در آن نقش دارند بسیار مورد توجه است. در محیط نرم‌افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان حجم زیادی از اطلاعات را در زمان کوتاه به روز کرد که این مسئله از دیدگاه فرسایش بسیار حائز اهمیت است، چرا که در هر لحظه از زمان حوزه آبخیز در حال تغییر و تحول است (Haffmann & Sander 2007).

مجموعه اطلاعات فیزیوگرافی حوزه آبریز لادیز در این تجزیه و تحلیل از منابع مختلف شامل: ۱- اطلاعات توزیع سطح نسبت به ارتفاع ۲- اطلاعات مربوط به شیب و ارتفاع که از مدل ارتفاع دیجیتال نتیجه می‌شود ۳- اطلاعات توزیع قله در سطح حوزه و ۴- اطلاعات شبکه توزیع آبراهه در سطح حوزه آبخیز لادیز، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم و مورد محاسبه قرار گرفته‌اند. (جدول ۲، ۳ و ۴).

جدول ۱- اطلاعات و اندیسه‌های مهم که در تعیین شکل و تفسیر حوزه لادیز و زیرحوزه‌های آن در محیط نرم افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شده است.

| حوزه | مساحت حوزه (km ²) | محیط حوزه (km) | طول آبراهه اصلی (km) | کمترین ارتفاع (m) | بیشترین ارتفاع (m) | ارتفاع متوسط (m) | اندیس تراکم زهکشی --- | شیب متوسط وزنی % | اندیس شیب --- | ضریب فشردگی --- | ضریب شکل --- | نسبت دایره ای بودن --- | نسبت طول مستطیل بودن --- | عرض مستطیل معادل (km) |
|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------|-----------------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| زیر حوزه سعد آباد | ۶۱۱/۰۵ | ۱۵۷/۷ | ۶۶/۱۸ | ۱۱۰۰ | ۲۸۰۰ | ۱۸۴۸ | ۱/۰۷ | ۱۲/۸۲ | ۳/۱۸ | ۱/۸ | ۰/۱۲ | ۰/۳۱ | ۰/۴ | ۸/۶۲ |
| زیر حوزه میانرود | ۷۳۱/۲۴ | ۱۴۲/۸ | ۵۷/۷۶ | ۱۲۰۰ | ۳۱۲۶ | ۱۹۵۷ | ۱/۰۶ | ۲۴/۸۲ | ۴/۲۷ | ۱/۴۹ | ۰/۲۰ | ۰/۴۵ | ۰/۵۱ | ۱۲/۲۵ |
| زیر حوزه سیاه جنگل | ۳۱۹/۲ | ۱۰۴/۸ | ۵۴/۶۳ | ۱۱۰۰ | ۳۹۴۳ | ۱۹۰۷ | ۱/۲۰ | ۱۸/۰۸ | ۳/۷۶ | ۱/۶۹ | ۰/۱۰ | ۰/۳۶ | ۰/۳۶ | ۶/۹۹ |
| حوزه لادیز | ۱۶۶۱/۵ | ۱۸۶/۴ | ۵۷/۷۶ | ۱۱۰۰ | ۳۹۴۳ | ۱۸۰۵ | ۱/۰۹ | ۱۶/۰۷ | ۶/۳۴ | ۱/۲۹ | ۰/۳۴ | ۰/۶۰ | ۰/۶۶ | ۲۳/۶۵ |



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی آتشفشان تفتان، حوزه آبخیز لادیز و زیرحوزه‌های آن در استان سیستان و بلوچستان

فیزیوگرافی حوزه در محیط نرم‌افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی ESRI Arc GIS, V.9.1 (ESRI 2006) و جدول ۲ الی ۵ براساس روابط ریاضی مورد محاسبه قرار گرفت. منحنی‌های هیپسومتریک مشاهده‌ای و بی‌بعد و معادله و نمودار مربوط به هر یک از زیرحوزه‌ها با ضریب اطمینان ۹۵ درصد بدست آمد (تصویر ۲).

بررسی اشکال و ارقام به دست آمده نشان می‌دهد:

- زیرحوزه میانرود با مساحت ۷۳۱/۲۴ کیلومتر مربع (جدول ۱) نسبت به سایر زیر حوزه‌ها دارای وسعت بیشتری است (تصویر ۱).

- زیرحوزه میانرود با اندیس شیب (IS) ۴/۲۷ و شیب متوسط وزنی ۲۴/۸۲ درصد و ارتفاع متوسط ۱۹۵۷ متر از سطح دریا (جدول ۱) نشان دهنده زیرحوزه‌ای نا هموار با شیب زیاد و از نظر فرسایش فعال و زیرحوزه سعدآباد با اندیس شیب (IS) ۳/۱۸ و شیب متوسط وزنی ۱۲/۸۲ درصد و ارتفاع متوسط ۱۸۴۸ متر از سطح دریا زیرحوزه‌ای هموار با کمترین شیب، به‌طوریکه در این زیر حوزه گسترش دشت و ارتفاع به حالت تعادل است (جدول ۱) (تصویر ۳).

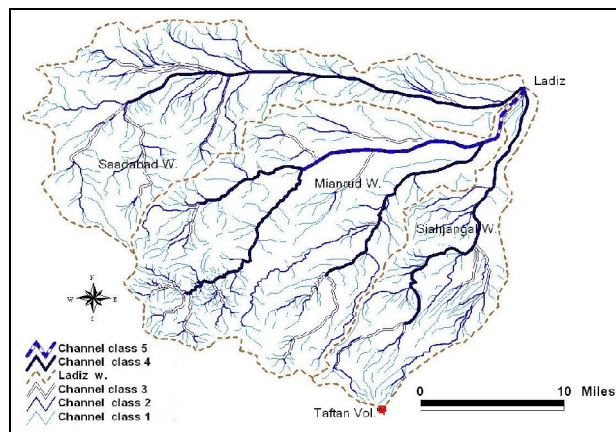
- زیرحوزه سعد آباد با ضریب فشردگی ۱/۸، نسبت دایره‌ای بودن ۰/۳۱، نسبت طولی بودن ۰/۰۴، طول مستطیل معادل ۷۰/۸۲ کیلومتر و عرض مستطیل معادل ۸/۶۲ کیلومتر نشان دهنده حالت کشیدگی حوزه و زیر حوزه میانرود با ضریب فشردگی ۱/۴۹، نسبت دایره‌ای بودن ۰/۴۱، نسبت طولی بودن ۰/۵۱، طول مستطیل معادل ۵۹/۷۰ کیلومتر و عرض مستطیل معادل ۱۲/۲۵ کیلومتر پهن بودن شکل این زیرحوزه را نشان می‌دهد.

- توجه به اندیس تراکم زهکشی (تصویر ۲) نشان می‌دهد که زیرحوزه سیاه جنگل با اندیس ۱/۲ کیلومتر بر کیلومتر مربع بیشترین تخلیه رواناب و زیر حوزه میانرود با اندیس ۱/۰۶ کیلومتر بر کیلومتر مربع کمترین تخلیه رواناب انجام می‌گیرد.

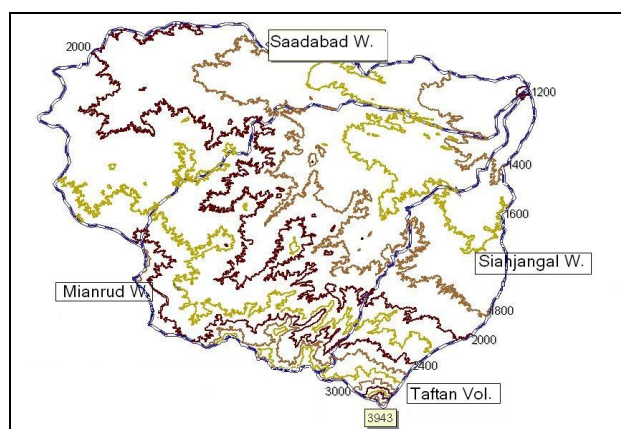
بررسی نقشه آرایش قله در درون محدوده حوزه آبریز لادیز (تصویر ۴) که بین ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارند نشان می‌دهد که بیشترین توزیع ناهمواری با ۵۵ درصد در زیرحوزه میانرود و کمترین آن با ۱۷ درصد در زیرحوزه سیاه جنگل قرار دارد.

۵- بهت

مطالعه و بررسی منحنی‌های مشاهده‌ای و بی‌بعد با تلفیقی از اطلاعات میدانی و فیزیوگرافی حوزه می‌تواند در شناسایی و تجزیه و تحلیل حوزه‌های آبخیز از نظر فرسایش و رسوب‌گذاری حائز اهمیت باشد.



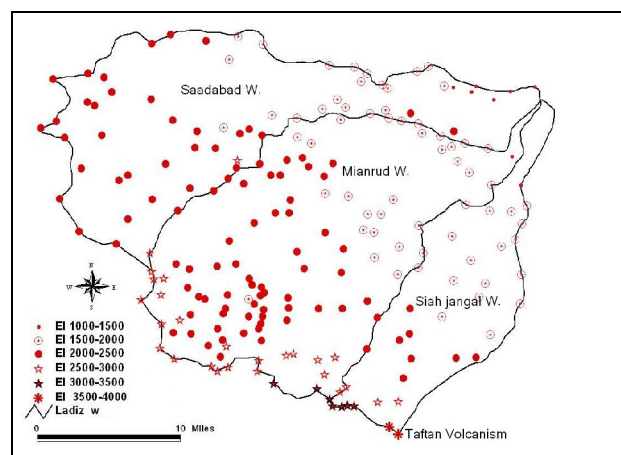
تصویر ۲- شبکه زهکشی و رتبه بندی کانال‌های رودخانه‌های حوزه آبخیز لادیز و زیر حوزه های آن



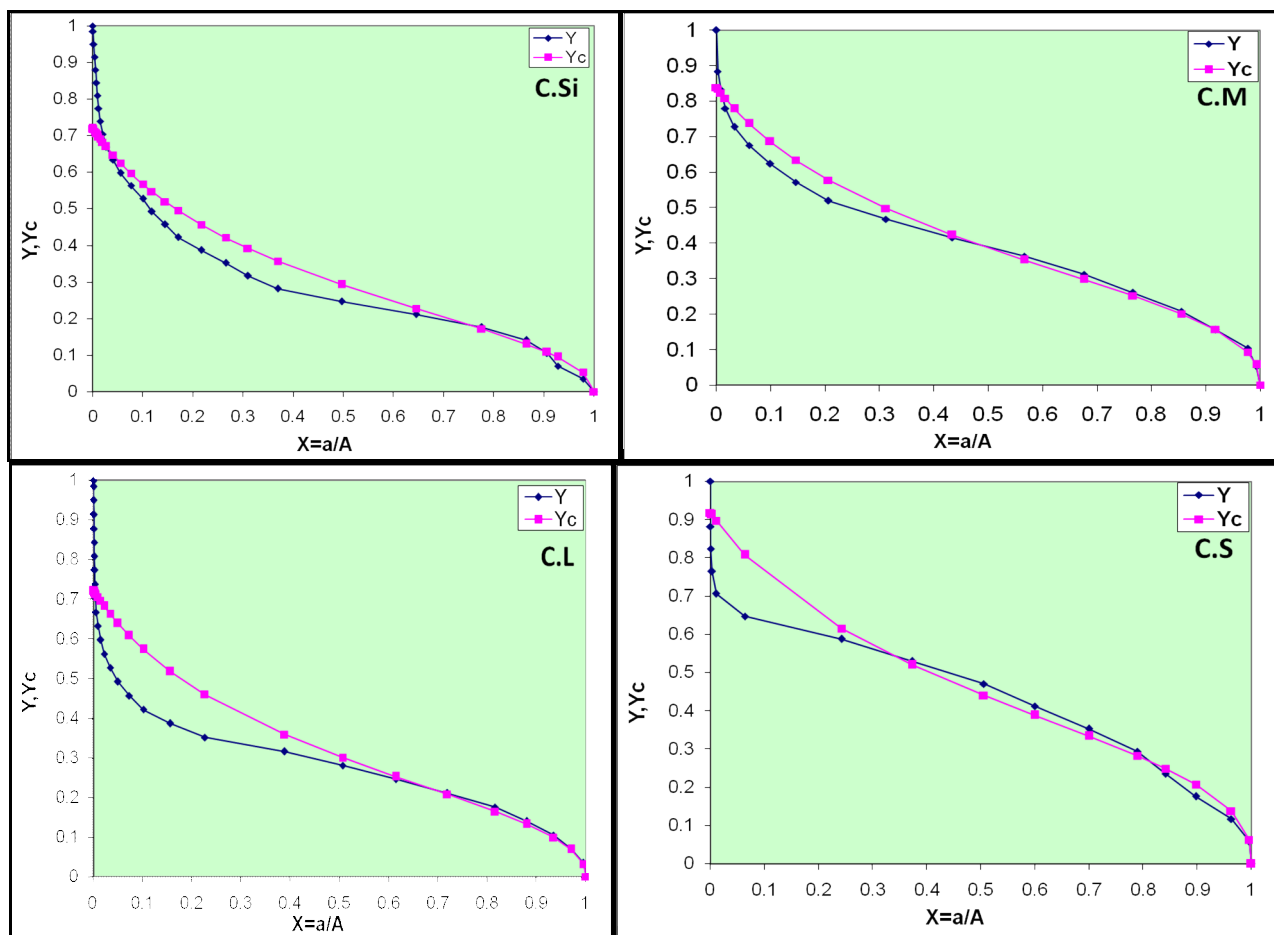
تصویر ۳- نقشه هیپسومتریک حوزه آبخیز لادیز

۴- نتایج

جهت شناسایی و تحلیل مناطق تحت فرسایش و رسوب‌گذاری در حوزه آبخیز لادیز و زیرحوزه‌های آن مقادیر جدول ۱ بر اساس اطلاعات



تصویر ۴- پراکندگی و آرایش قله در سطح حوزه آبخیز لادیز و زیر حوزه های آن



تصویر ۵- نمودار منحنی های مشاهداتی و تئوریک هیپسومتریک بی بعد حوزه آبریز لادیز و زیر حوزه های آن (C.S) -حوزه سعدآباد، C.M -حوزه میانرود، C.Si -حوزه سیاهچنگل، C.L -حوزه لادیز، Y -منحنی مشاهداتی، Yc -منحنی تئوریک بی بعد، X -مساحت نسبی حوزه

جدول ۲- محاسبات مربوط به منحنی بی بعد حوزه آبخیز سعدآباد

| Elevation (m) | Area b(sq.km)×(a) | X=a/A (--) | H (m) | Y=h/H (--) | Yc (--) |
|---------------|-------------------|------------|-------|------------|---------|
| 1100 | 611.05 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1200 | 608.33 | 0.995 | 100 | 0.059 | 0.062 |
| 1300 | 588.59 | 0.963 | 200 | 0.118 | 0.138 |
| 1400 | 548.35 | 0.897 | 300 | 0.176 | 0.207 |
| 1500 | 514.03 | 0.841 | 400 | 0.235 | 0.249 |
| 1600 | 482.03 | 0.789 | 500 | 0.294 | 0.282 |
| 1700 | 427.48 | 0.699 | 600 | 0.353 | 0.334 |
| 1800 | 366.47 | 0.599 | 700 | 0.412 | 0.388 |
| 1900 | 308.82 | 0.505 | 800 | 0.471 | 0.441 |
| 2000 | 228.1 | 0.373 | 900 | 0.529 | 0.52 |
| 2100 | 148.01 | 0.242 | 1000 | 0.588 | 0.615 |
| 2200 | 39.06 | 0.064 | 1100 | 0.647 | 0.807 |
| 2300 | 6.51 | 0.011 | 1200 | 0.706 | 0.897 |
| 2400 | 1.53 | 0.002 | 1300 | 0.765 | 0.913 |
| 2500 | 0.21 | 0.0003 | 1400 | 0.823 | 0.916 |
| 2600 | 0.005 | 0.000008 | 1500 | 0.882 | 0.918 |
| 2800 | 0 | 0 | 1700 | 1 | 0.919 |

$$r=99.05 \quad Y_c=0.918(0.2(1-X)/X+0.2)^{0.374}$$

زیرحوزه سعدآباد با روندی شرقی- غربی سراسر منطقه شمالی حوزه آبخیز لادیز را شامل می‌شود (تصویر ۱) و از نظر زمین شناسی از سازندهای فلیشی کرتاسه- ائوسن که شدیداً تحت تأثیر

فرآیندهای تکتونیکی قرار گرفته‌اند تشکیل شده است (شهرابی ۱۳۷۴). مقایسه وضعیت دو منحنی مشاهده‌ای و بی‌بعد (تصویر ۵) نشان‌دهنده حالت فرسایش شدید در ۳۵ درصد از مساحت بالا دست (۲۱۴ کیلومترمربع) حوزه است که از شیل و ماسه سنگ‌هایی که در اثر تکتونیک شدیداً خرد شده و تحت فرسایش شدید قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. در فاصله ۳۵ درصد تا ۸۲ درصد بالا دست (۲۹۳ کیلومترمربع)، زیرحوزه حالت رسوب‌گذاری و نزدیک بودن به حالت تعادل و گسترش دشت‌های آبرفتی در بستر محدوده میانی را نشان می‌دهد. در ۱۰۰ کیلومتر مربع پایین دست زیرحوزه سعد آباد به دلیل گسترش سنگ‌های نوع فلیش و کم شدن عرض حوزه، فرسایش ضعیفی دیده می‌شود (تصویر ۲).

زیرحوزه میانرود در جنوب زیرحوزه سعد آباد با روندی شمال شرقی - جنوب غربی قرار گرفته است (تصویر ۲). از نظر زمین- شناسی سازندهای فلیشی کرتاسه- ائوسن، رخنمون‌هایی از آمیزه رنگین و سنگ‌های آتشفشانی تفتان با سن کواترنری در این زیرحوزه گسترش دارند. در شمال غرب زیرحوزه، سنگ‌های آتشفشانی شامل روانه‌های آندزیتی همراه با داسیت و لابه‌های آگلومرا تشکیل

جدول ۴- محاسبات مربوط به منحنی بی بعد حوزه آبخیز سیاه جنگل

| Elevation (m) | Area b(sq.km)×(a) | X=a/A (--) | H (m) | Y=h/H (--) | Yc (--) |
|---------------|-------------------|------------|-------|------------|---------|
| 1100 | 319.2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1200 | 312.38 | 0.979 | 100 | 0.035 | 0.053 |
| 1300 | 296.23 | 0.928 | 200 | 0.07 | 0.095 |
| 1400 | 289.38 | 0.907 | 300 | 0.106 | 0.108 |
| 1500 | 276.12 | 0.865 | 400 | 0.141 | 0.13 |
| 1600 | 247.83 | 0.776 | 500 | 0.176 | 0.171 |
| 1700 | 205.92 | 0.645 | 600 | 0.211 | 0.227 |
| 1800 | 158.71 | 0.497 | 700 | 0.246 | 0.292 |
| 1900 | 117.95 | 0.369 | 800 | 0.281 | 0.357 |
| 2000 | 98.93 | 0.31 | 900 | 0.316 | 0.392 |
| 2100 | 84.85 | 0.266 | 1000 | 0.352 | 0.421 |
| 2200 | 68.13 | 0.217 | 1100 | 0.387 | 0.456 |
| 2300 | 54.37 | 0.17 | 1200 | 0.422 | 0.495 |
| 2400 | 46.3 | 0.145 | 1300 | 0.457 | 0.519 |
| 2500 | 37.68 | 0.118 | 1400 | 0.492 | 0.547 |
| 2600 | 32.09 | 0.101 | 1500 | 0.528 | 0.566 |
| 2700 | 24.47 | 0.077 | 1600 | 0.563 | 0.596 |
| 2800 | 17.93 | 0.056 | 1700 | 0.598 | 0.624 |
| 2900 | 13.14 | 0.041 | 1800 | 0.633 | 0.647 |
| 3000 | 8.69 | 0.027 | 1900 | 0.668 | 0.669 |
| 3100 | 6.52 | 0.02 | 2000 | 0.703 | 0.682 |
| 3200 | 4.77 | 0.014 | 2100 | 0.739 | 0.691 |
| 3300 | 3.72 | 0.012 | 2200 | 0.774 | 0.697 |
| 3400 | 2.99 | 0.009 | 21300 | 0.809 | 0.701 |
| 3500 | 2.41 | 0.007 | 2400 | 0.844 | 0.705 |
| 3600 | 1.86 | 0.006 | 2500 | 0.879 | 0.708 |
| 3700 | 1.29 | 0.004 | 2600 | 0.914 | 0.711 |
| 3800 | 0.54 | 0.001 | 2700 | 0.95 | 0.716 |
| 3900 | 0.9 | 0.0003 | 2800 | 0.985 | 0.719 |
| 3943 | 0 | 0 | 2843 | 1 | 0.719 |

$$r=0.84 \quad Y_c=0.719(0/2(1-X)/0.2+X)^{0.465}$$

مشاهده‌ای در نمودار هیپسومتری بی‌بعد نشان می‌دهد (تصویر ۵) که حالت رسوب‌گذاری در ارتفاعات در حال انجام است. این ناحیه منطبق با دهانه فعلی آتشفشان تفتان و از روانه‌های آندزیتی بیشتر از نوع آندزیت پورفیریک و داسیت، تشکیل شده است. این واحد لیتولوژیکی بر روی سنگ‌های قدیمتر به صورت دگر شیب قرار گرفته است و جوانترین مرحله از فوران آتشفشان در کواترنری است (شهرابی ۱۳۷۴). در ۲ تا ۷۵ درصد بالا دست زیرحوزه (۲۳۴ کیلومتر مربع) فرسایش شدیدی وجود دارد و در پایین دست زیرحوزه با کم شدن شیب و گسترش سازندهای فلیشی حالت رسوب‌گذاری و رسیدن به حالت تعادل را نشان می‌دهد.

ناحیه خروجی زیرحوزه فرسایش کمی وجود دارد و می‌تواند با کم عرض شدن و وجود ارتفاعات در ناحیه خروجی زیرحوزه مرتبط باشد. به‌طور کلی این زیرحوزه را می‌توان یک زیرحوزه جوان و فعال محسوب نمود که حالت تعادل نسبی در آن برقرار نیست (تصویر ۳).

جدول ۳- محاسبات مربوط به منحنی بی بعد حوزه آبخیز میانرود

| Elevation (m) | Area b(sq.km)×(a) | X=a/A (--) | H (m) | Y=h/H (--) | Yc (--) |
|---------------|-------------------|------------|-------|------------|---------|
| 1200 | 731.24 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1300 | 726.06 | 0.993 | 100 | 0.052 | 0.057 |
| 1400 | 714.33 | 0.977 | 200 | 0.104 | 0.092 |
| 1500 | 670.96 | 0.918 | 300 | 0.156 | 0.156 |
| 1600 | 624.86 | 0.855 | 400 | 0.208 | 0.201 |
| 1700 | 560.23 | 0.766 | 500 | 0.26 | 0.252 |
| 1800 | 494.1 | 0.676 | 600 | 0.312 | 0.298 |
| 1900 | 413.61 | 0.566 | 700 | 0.363 | 0.353 |
| 2000 | 317.41 | 0.434 | 800 | 0.415 | 0.423 |
| 2100 | 227.89 | 0.312 | 900 | 0.467 | 0.497 |
| 2200 | 151.06 | 0.206 | 1000 | 0.519 | 0.577 |
| 2300 | 107.25 | 0.146 | 1100 | 0.571 | 0.633 |
| 2400 | 72.48 | 0.099 | 1200 | 0.623 | 0.685 |
| 2500 | 44.18 | 0.06 | 1300 | 0.675 | 0.737 |
| 2600 | 24.33 | 0.033 | 1400 | 0.727 | 0.778 |
| 2700 | 11.79 | 0.016 | 1500 | 0.779 | 0.808 |
| 2800 | 5.85 | 0.008 | 1600 | 0.831 | 0.823 |
| 2900 | 1.7 | 0.002 | 1700 | 0.883 | 0.834 |
| 3126 | 0 | 0 | 1926 | 1 | 0.838 |

$$r=99.39 \quad Y_c=0.838(0.2(1-X)/X+0.2)^{0.397}$$

قللی را می‌دهد که دارای بامهای تخت و هموار بوده و به صورت پوششی بر روی سازندهای فلیشی و آمیزه رنگین قرار گرفته‌اند (شهرابی ۱۳۷۴).

توجه به نمودار هیپسومتری بی‌بعد و مقایسه آن با نمودار مشاهده‌ای نشان می‌دهد (تصویر ۵) که در یک درصد بالا دست زیرحوزه (۷/۳ کیلومتر مربع) رسوب‌گذاری و در ۵۱ درصد پایین دست (۳۷۲ کیلومتر مربع) فرسایش شدیدی در حوزه حکمفرماست. در بالا دست زیرحوزه میانرود ناحیه‌ای که به صورت رسوب‌گذاری در منحنی‌ها نشان داده شده است در واقع جوانترین سازند زمین‌شناسی و حاصل نخستین مرحله فوران کوه آتشفشان تفتان در کواترنری است که به صورت دگر شیب بر روی سازندهای فلیش و آمیزه رنگین کرتاسه-اوسن قرار گرفته‌اند. در فاصله ۵۲ تا ۹۹ درصد پایین دست (۳۴۰ کیلومتر مربع) حالت رسوب‌گذاری و نزدیک بودن به حالت تعادل است (تصویر ۵).

در پایین دست زیرحوزه میانرود به دلیل کم شدن عرض زیرحوزه و وجود کوه‌های مرتفع با شیب تند در دو طرف کانال خروجی در معرض فرسایش قرار دارد (تصویر ۳).

زیرحوزه سیاه جنگل جنوبی ترین بخش حوزه لادیز است که با روندی جنوب شرقی - شمال غربی مسیل آن از ارتفاعات کوه آتشفشان تفتان آغاز شده و در نزدیکی روستای لادیز به دو مسیل میانرود و سعدآباد می‌پیوندد (تصویر ۲). مقایسه منحنی‌های تئوریک و

جدول ۵- محاسبات مربوط به منحنی بی بعد حوزه آبخیز لادیز

| Elevation (m) | Area b)(sq.km)×(a | X=a/A (--) | H (m) | Y=h/H (--) | Yc (--) |
|---------------|-------------------|------------|-------|------------|---------|
| 1100 | 1661.49 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1200 | 1651.95 | 0.994 | 100 | 0.035 | 0.053 |
| 1300 | 1610.88 | 0.969 | 200 | 0.07 | 0.095 |
| 1400 | 1552.06 | 0.934 | 300 | 0.106 | 0.108 |
| 1500 | 1461.38 | 0.879 | 400 | 0.141 | 0.13 |
| 1600 | 1354.72 | 0.815 | 500 | 0.176 | 0.171 |
| 1700 | 1193.63 | 0.718 | 600 | 0.211 | 0.227 |
| 1800 | 1019.28 | 0.613 | 700 | 0.246 | 0.292 |
| 1900 | 840.38 | 0.506 | 800 | 0.281 | 0.357 |
| 2000 | 644.44 | 0.388 | 900 | 0.316 | 0.392 |
| 2100 | 460.75 | 0.277 | 1000 | 0.352 | 0.421 |
| 2200 | 259.25 | 0.156 | 1100 | 0.387 | 0.456 |
| 2300 | 168.13 | 0.101 | 1200 | 0.422 | 0.495 |
| 2400 | 120.31 | 0.072 | 1300 | 0.457 | 0.519 |
| 2500 | 82.69 | 0.049 | 1400 | 0.492 | 0.547 |
| 2600 | 56.43 | 0.034 | 1500 | 0.528 | 0.566 |
| 2700 | 36.26 | 0.022 | 1600 | 0.563 | 0.596 |
| 2800 | 23.78 | 0.014 | 1700 | 0.592 | 0.624 |
| 2900 | 14.84 | 0.0089 | 1800 | 0.633 | 0.647 |
| 3000 | 8.69 | 0.0052 | 1900 | 0.668 | 0.669 |
| 3100 | 6.52 | 0.0039 | 2000 | 0.703 | 0.682 |
| 3200 | 4.77 | 0.0029 | 2100 | 0.739 | 0.691 |
| 3300 | 3.72 | 0.0022 | 2200 | 0.774 | 0.697 |
| 3400 | 2.99 | 0.0018 | 2300 | 0.809 | 0.701 |
| 3500 | 2.41 | 0.0014 | 2400 | 0.844 | 0.705 |
| 3600 | 1.86 | 0.0011 | 2500 | 0.879 | 0.708 |
| 3700 | 1.29 | 0.0007 | 2600 | 0.914 | 0.711 |
| 3800 | 0.54 | 0.0003 | 2700 | 0.95 | 0.715 |
| 3900 | 0.09 | 0.00006 | 2800 | 0.985 | 0.718 |
| 3943 | 0 | 0 | 2843 | 1 | 0.719 |

$$r=96.2 \quad Y_c=0.723(0.2(1-X)/0.2+X)^{0.445}$$

فعالیت کوه آتشفشان تفتان و روانه‌های بازالتی آندزیتی و داسیتی است که به صورت دگرشیب بر روی سازندهای قدیمترفلش، ماسه سنگ و شیل که شدیداً گسل خورده و در مناطقی تحت دگرگونی ضعیف قرار گرفته و دارای شیستوزیته می‌باشد. این عوامل در گسترش مناطق تحت فرسایش در بالا دست حوزه بسیار موثر هستند.

۴- نتیجه گیری

بررسی و مقایسه منحنی‌های مشاهده‌ای و تئوریک در نمودار هیپسومتریک سعدآباد و همچنین توجه به نمایه های فیزیوگرافی حوزه نشان‌دهنده حالت تعادل نسبی دشت و کوهستان و گسترش مناطق رسوب‌گذاری در این زیرحوزه است.

نمایه مساحت، شیب متوسط و اندیس شیب و همچنین وسعت نواحی مرتفع و کوهستانی در زیرحوزه میانرود، فرسایش شدید را نشان می‌دهد. لذا این زیرحوزه نسبت به وضعیت تعادل فاصله نسبتاً زیادی داشته و حوزه‌ای جوان و فعال محسوب می‌شود.

۷۵ درصد مساحت زیرحوزه سیاه جنگل در حال فرسایش شدید می‌باشد و توجه به نمایه شیب متوسط، اندیس شیب و ارتفاع متوسط نشان‌دهنده یک زیرحوزه فعال و ناهموار است که در آن نواحی مرتفع وسعت زیادی دارند.

به‌طورکلی حوزه آبخیز لادیز که از سه مسیل اصلی سعدآباد، میانرود و سیاه جنگل تشکیل شده و ارتفاعات کوه تفتان در آن واقع شده است، از نظر فرسایش حوزه ای فعال و جوان محسوب می‌شود که حالت تعادل در آن برقرار نیست. در بیش از ۷۰ درصد سطح آن ناهمواری‌ها گسترش داشته که شدیداً در معرض فرسایش می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با همکاری و مساعدت شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان طبق قرارداد شماره م/۸۶/۱۰۴ مورخه ۸۶/۲/۱ به انجام رسیده است که بدین وسیله تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

به‌طورکلی حوزه آبخیز لادیز از نظر فرسایش به عنوان یک حوزه جوان و فعال محسوب شده که در آن، بیش از ۲/۳ سطح حوزه را ارتفاعات که در حال فرسایش شدید تا متوسط می‌باشند و ۱/۳ سطح حوزه را نیز دشت‌های آبرفتی که حاصل رسوب‌گذاری مناطق فرسایش یافته است تشکیل می‌دهد.

فعالیت کوه آتشفشان تفتان و روانه‌های بازالتی آندزیتی و داسیتی است که به صورت دگرشیب بر روی سازندهای قدیمترفلش، ماسه سنگ و شیل که شدیداً گسل خورده و در مناطقی تحت دگرگونی ضعیف قرار گرفته و دارای شیستوزیته می‌باشد. این عوامل در گسترش مناطق تحت فرسایش در بالا دست حوزه بسیار موثر هستندحوزه را نیز دشت‌های آبرفتی که حاصل رسوب‌گذاری مناطق فرسایش یافته است تشکیل می‌دهد.

مراجع

- Gustavsson, M., Kolstrup, E., & Seijmonsbergen, A.C., 2006, "A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal to a scientific discipline for understanding landscape development", *Geomorphology*, Vol. 77: 90-111.
- Haffmann, J., & Sander, P., 2007, "Remote sensing and GIS in Hydrogeology", *Hydrogeology Journal*, Vol. 15: 1-3.
- Lawrence, D.S.I., 1996, "Physically based modeling and the analysis of landscape development in The Scientific Nature of Geomorphology", in: *Rhoads B.I and Ethorn, C. (editors), John Wiley and Sons Ltd., 237pp.*
- Pelletier, J. D., 2008, "Quantitative Modeling of Earth Surface Processes", *Cambridge University Press*, 295pp.
- Strahler, A.N., 1952, "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Bulletin Geological Society of America*, Vol. 63: 1117-1142.
- سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، معاونت پژوهش و مطالعات پایه منابع آب، ۱۳۸۵، "گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت دشت لادیز"، گزارش ۱۴۸، ۳۹ص.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۷۰، "نقشه‌های توپوگرافی جون آباد، اسکل آباد، تمین پایین، سیاه جنگل، سنگان و لادیز (۱/۵۰۰۰۰)"، ۱۲۴۷K753، چاپ دوم.
- شهرابی، م.، ۱۳۷۴، "نقشه زمین شناسی چهارگوش خاش، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین شناسی کشور.
- ضیائی، ح.، ۱۳۸۰، "اصول مهندسی آبخیزداری"، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، آستان قدس رضوی، ۵۴۲ص.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۶، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، آستان قدس رضوی، چاپ شانزدهم، ۱۳۵ص.
- فریفته، ج.، ۱۳۷۰، "تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳۶ص.
- مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵، "تقسیمات کشوری"، ۲۵۳ص.
- نخعی، م.، قنوتی، ع.، ۱۳۸۵، "کاربرد منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد در تعیین مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری حوزه خیر آباد استان کهگیلویه و بویراحمد"، زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره ۴، ۶۵-۷۲.
- Bridge, J., & Demicco, R., 2008, "Earth Surface Processes and Sediment Deposite", *Cambridge University press*, 815pp.
- Brierley, G. I. & Fryirs, K. I., 2006, "Geomorphology and River Management", *Blackwell Publication*, 387pp.
- Curtis, J. A., Flint, L., Alpers, C., & Yarnell, S., 2005, "Conceptual model of sediment process in the upper Yuba River watershed, Sierra Nevada", *Geomorphology*, Vol. 68: 149-166.
- De Vente, J. & Poesen, J., 2005, "Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative model", *Earth Science Review*, Vol. 75: 95-125.
- ESRI. 2006, "Arc GIS Desktop 9.1. Environmental Systems Research Institute", *Press Redlands, California, USA*, 227pp.
- Gavers, G., Gimenez, & R., Van Oosst, K., 2007, "Rill erosion: Exploring the relationship between experiments, modeling and field observation", *Earth Science Reviews*, Vol. 84: 87-102.
- Grauso, S., Fatloruso, G., Crocetti, C., & Montanaral, A., 2007, "A spatially distributed analysis of erosion susceptibility and sediment yield a river basin by means of geomorphic parameters and regression relationships", *Hydrol. Earth syst. Sci. Discuss.*, Vol. 4: 627-654.