

برآورد زمان و سرعت جابجایی رواناب‌ها در سطوح شیب دار نواحی کوهستانی

مطالعه موردی: حوضه آبریز اوجان چای

مریم بیاتی خطیبی* - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
فریبا کرمی - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

جریان رواناب‌ها در سطوح شیب دار علت اصلی آسفتگی دامنه‌ها و تولید رسوب برای رودخانه‌ها هستند. هرچه سرعت جابجایی رواناب‌ها بیشتر و زمان تمرکز آنها کمتر باشد، نشان دهنده حساسیت سطوح برای سایش بیشتر توسط آب‌های جاری است. با بررسی زمان تمرکز و سرعت رواناب‌ها در سطوح شیب دار می‌توان پتانسیل ایجاد سیلاب‌ها و رسوب‌زایی دامنه‌ها را مورد بررسی قرار داد. حوضه اوجان چای که در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند قرار گرفته است، دارای دامنه‌هایی است که سطح آنها توسط آب‌کنده‌های متعددی بریده شده و یکی از رسوب‌زاترین زیرحوضه‌های آبی چای محسوب می‌شود. در این مقاله برای برآورد زمان تمرکز رواناب سطحی در سطوح دامنه‌های حوضه اوجان چای، سطح حوضه بر حسب محدوده‌های جمع‌آوری به بیش از ۱۴۰ زیرحوضه کوچک تقسیم‌بندی شده و تمامی محاسبات با استفاده از داده‌های برگرفته از ویژگی‌های این زیرحوضه‌ها صورت گرفته است. در این محاسبات، بخشی از اطلاعات از نقشه‌های رقومی گرفته شده و بخشی از داده‌های مورد نیاز از بررسی‌ها و سنجش‌های میدانی بدست آمده است. برای برآورد زمان تمرکز و سرعت جابجایی رواناب‌ها در سطح این زیرحوضه از روابط مختلفی استفاده شده است (Tc1, Tc, Tti, Tt, Tl1, V1, V, ...). که در آنها متغیرهای بارش، شیب، نوع آبراهه‌ها و... دخیل داده شده است. نتایج حاصل از بکارگیری این روابط در حوضه اوجان چای نشان می‌دهد که میزان تمرکز رواناب‌ها در آبراهه‌ها در بخش‌های شمالی و جنوبی حوضه که شیب دامنه‌ها زیاد است بالایی باشد. نتایج بررسی‌ها حاکی از این است که سرعت جابجایی رواناب‌ها با توجه به نوع متغیرهایی مورد بررسی مانند، شیب، نوع بارش، نوع سازندهای سطحی و نوع آبراهه‌ها در بخش‌های مختلف حوضه مورد مطالعه، بسیار متفاوت است.

واژگان کلیدی: زمان تمرکز، سرعت جابجایی، رواناب‌ها، آب‌کنده‌ها، حوضه اوجان چای.

مقدمه

در بین کلیه اشکال ژئومورفولوژیکی، فرسایش دامنه‌ها توسط آب‌های تمرکز یافته در رابطه با زمان قابل بررسی است و تغییر در سطوح دامنه‌ها و تغییر اشکال ژئومورفولوژیکی مانند شیارها به خندق‌ها و خندق‌ها به راوین‌ها در طول زمان قابل توجه است.

فرسایش تسریع شده دامنه‌ها معمولاً توسط رواناب‌هایی صورت می‌گیرد که به عللی عملکرد آنها تغییر کند. این تغییر عملکرد می‌تواند در رابطه با کشت غیر اصولی، مدیریت نامناسب آبخیزها، تغییرات اقلیمی و بسیاری از عوامل دیگر در حیطه آبخیزها صورت گیرد. تفسیر این تغییر عملکرد در رابطه با زمان می‌تواند اتخاذ تدابیر اصلی در رابطه با حفظ خاک دامنه‌ها بسیار مهم باشد. با توجه به نقش فرسایشی جریان رواناب‌ها در سطوح دامنه‌ها محققین زیادی از زوایای مختلفی به بررسی موضوع پرداخته‌اند و با توجه به ویژگی‌های محلی و روش‌های بکار گرفته شده به نتایج مهمی دست یافته و راه‌حل‌هایی ارائه نموده‌اند.

در سال‌های اخیر محققانی مانند لوبو و همکاران (۲۰۱۱)^۱، داورت و همکاران (۲۰۱۰)^۲، اوراد و همکاران (۲۰۱۰)^۳، فنگ و همکاران (۲۰۱۰)^۴، و... فرسایش سطوح دامنه‌ها را در طیف زمانی ویژه و با امکانات موجود بررسی و مقدار آن را برآورد نموده‌اند و در تحقیقات خود به فرسایش خطی توجه ویژه‌ای مبذول کرده‌اند (خیرالماینی و همکاران، ۲۰۱۱^۵؛ کرتز و گرگلی^۶، ۲۰۱۱؛ پرووی و همکاران^۷، ۲۰۱۰؛ وایت فورد و همکاران^۸، ۲۰۱۰ و...) و برای ارائه نتایج بهتر از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده نموده‌اند (خیر و همکاران^۹).

وتر و همکاران (۲۰۱۴)^{۱۰} نقش رواناب‌ها در فرسایش سطوح نواحی خشک را مورد بررسی قرار دادند و به تاثیر نوع کاربری در ایجاد و تشدید فرسایش ناشی از جریان رواناب‌ها تاکید نمودند (وتر و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۶). هاس و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۴) نیز با بررسی چینه‌بندی سازندها در محدوده مخروط افکنه‌ها، به بررسی اثرات فرسایشی رواناب‌ها در گذشته پرداختند. روتر و همکاران^{۱۲} به بررسی ارتباط بین رواناب‌ها و باررسوبی ایجاد شده تحت شرایط مختلف آب و هوایی در شبه جزیره ایبری پرداختند. آنها با بکارگیری داده‌های ۱۱ ایستگاه مختلف و گرفتن ۲۶ نمونه از ۱۶ مکان مختلف و با در نظر گرفتن تاثیر متغیرهایی مانند بارش، نوع کاربری و نوع خاک به این نتیجه رسیدند که نوسانات بارش به همراه شیب، نوع کاربری، نوع خاک و مدیریت آبخیزها می‌تواند به عنوان عوامل دخیل در تشدید و یا کاهش فرسایش عمل کنند. در واقع مشابه همان نتیجه‌ای است که یان و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۵) در فلات لسی چین به آن دست یافته‌اند. ویرا و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۶) به رابطه رواناب‌های سالانه و فرسایش در جنگل‌های مدیترانه توجه نمودند و به این نتیجه رسیدند که دستکاری انسانی و وقوع آتش‌سوزی‌ها می‌تواند تسهیل‌کننده تشکیل رواناب‌ها و ایجاد فرسایش گردد. جونز و

^۱ - Lubo et al., 2011

^۲ - Duvert et al., 2010

^۳ - Evrard et al., 2010

^۴ - Feng et al., 2010

^۵ - Khairulmaini et al., 2011

^۶ - Kertesz and Grgely, 2011

^۷ - Perroy et al., 2010

^۸ - Whitford et al., 2010

^۹ - Kheir et al., 2008

^{۱۰} - Vetter et al., 2014

^{۱۱} - Hass et al., 2014

^{۱۲} - Roero et al., 2015

^{۱۳} - Yan et al., 2015

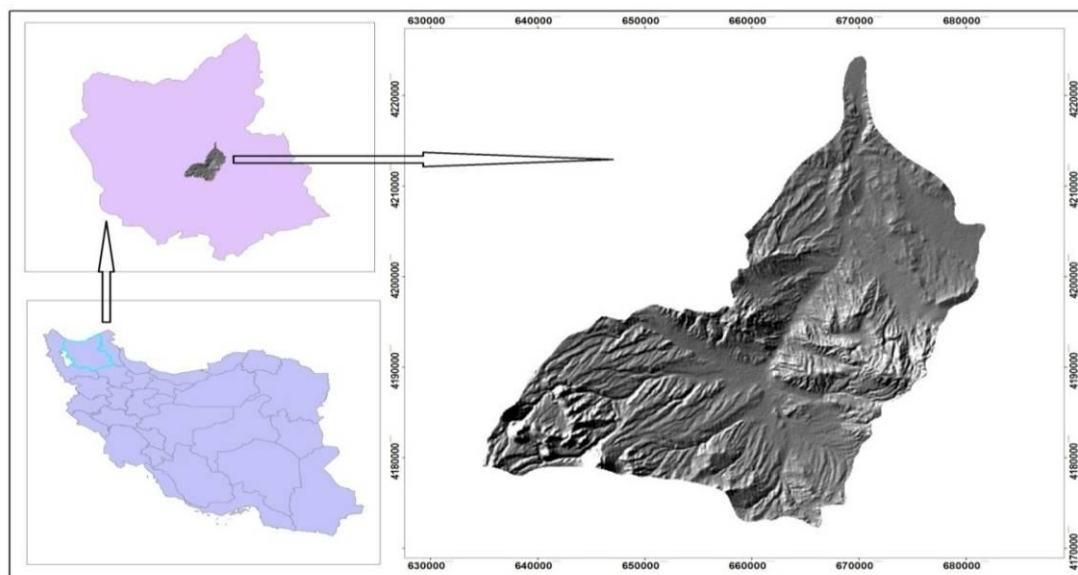
^{۱۴} - Vieira et al., 2016

همکاران^۱ (۲۰۱۷) نیز به بررسی نقش اندازه دانه بندی خاک و بارش های ناگهانی در فرسایش ناشی از جریان رواناب ها در سطوح شیب دار پرداختند.

حوضه اوجان با دامنه های فرسایش یافته توسط آبکندهای بزرگ و کوچک یکی از رسوب زا ترین زیرحوضه های آجی چای است و رواناب های جاری از دامنه ها، سالانه رسوبات زیادی را وارد آبراهه ها می سازند. در زیرحوضه اوجان چای فرسایش خطی در شدیدترین حالت خود و در بخش های پایینی سطوح کشت شده و در دامنه های تندتر بالای بخش های تحت کشت تشکیل دیده می شود. به دلیل اینکه آبخیز اوجان چای از محدوده های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند به شمار می آید، فرسایش خندقی و شیاری تشدید و تسریع شده می تواند خسارات جبران ناپذیری در پی داشته باشد. از این نظر بررسی و شناسائی محدوده های تحت فرسایش خاک در اثر تمرکز رواناب های سطحی سطوح شیب دار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در واقع، نتایج حاصل از ارزیابی و پژوهش در مورد زمان تشکیل رواناب ها از دیدگاه حفاظت خاک و عملیات آبخیزداری و کاهش مقادیر رسوبات پشت سدها بسیار کاربردی باشد. این حوضه با داشتن دامنه های آشفته شده در اثر تشکیل آبکندهای متعدد و جریان رواناب ها و کندوکاری ها ناشی از آنها، هنوز مورد بررسی اصولی قرار نگرفته اند. مقاله حاضر با هدف برآورد زمان تمرکز و سرعت جابجایی رواناب ها در سطح حوضه اوجان چای سعی در پرکردن خلع موجود در این زمینه دارد.

موقعیت جغرافیایی ویژگی های طبیعی حوضه اوجان چای

حوضه زهکشی اوجان، یکی از زیرحوضه های دامنه های شرقی سهند هست که در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 54'$ تا $37^{\circ} 44'$ عرض شمالی و $50^{\circ} 46'$ تا $51^{\circ} 31'$ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). رودخانه اوجان چای از شاخه های مهم آجی چای است که زیرحوضه آن از غرب به زیرحوضه سعیدآباد و از شرق به زیرحوضه های دیگری که از رودخانه های دامنه های شرقی سهند تغذیه می شوند، محدود می شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی اوجان چای

زمین شناسی و لیتولوژی حوضه اوجان چای بسیار متنوع است. سنگ های رسوبی و آذرین و خاک هایی با ضخامت زیاد بخش های مختلف آن را پوشش می دهند. رسوبات کواترنریه شکل تراس ها و مخروط افکنه ها به طور عمده در قسمت های شمالی

حوضه دیده می‌شوند. جنس این آبرفت‌ها از نوع رودخانه‌ای همراه با گل و لای، رس و ماسه‌های تخریب شده از سنگ‌های حوضه محسوب می‌شوند.

آب و هوای حوضه اوجان از نوع نیمه خشک بوده و میزان بارش سالانه آن بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است که در سال‌های اخیر بسیار کاهش یافته است. در ماه‌های اردیبهشت حوضه بیشترین بارندگی را دریافت می‌کند و مرداد و تیر از خشک‌ترین ماه‌های سال محسوب می‌شوند.

روش تحقیق

برای برآورد زمان تمرکز رواناب سطحی در سطوح دامنه‌های حوضه اوجان چای، سطح این حوضه بر حسب محدوده‌های جمع‌آوری به بیش از ۱۴۰ زیرحوضه کوچک (شکل ۲، ب) تقسیم بندی شده (بر روی نقشه‌های ۵۰:۱) و تمامی محاسبات با داده‌های برگرفته از ویژگی‌های این زیرحوضه‌ها (زیرحوضه‌های جمع‌آوری آب در بالای تک آبراهه‌ها، (شکل ۲، ب و الف) صورت گرفته است. در این محاسبات، بخشی از اطلاعات از نقشه‌های رقومی گرفته شده و بخشی از داده‌های مورد نیاز از بررسی‌ها و سنجش‌های میدانی بدست آمده است (شکل ۲، الف).

(ب)

(الف)



شکل ۲: الف) اندازه‌گیری طول آبراهه هادرتی بررسی‌های میدانی وب) حوضه‌های جمع‌آوری آب در بالای تک آبراهه‌ها به لحاظ اهمیت سنجش زمان تمرکز رواناب‌ها، در این مقاله سعی شده است با بکارگیری روابط مختلف، زمان تمرکز، تاخیر و سرعت جریان رواناب‌ها در سطح حوضه اوجان به عنوان فرسایش پذیرترین دامنه‌های سه‌پند، برآورد گردد.

تعیین زمان تمرکز رواناب‌ها در سطوح شیب دار

برای برآورد زمان تمرکز رواناب‌های سطحی در زیرحوضه‌های سطوح دامنه‌ها و محدوده جمع‌آوری آب‌های سطحی در بالای تک مسیر رواناب‌های متمرکز، از روابط زیر بهره‌گیری شده است. در مرحله نخست، در محدوده مورد مطالعه، زمان تمرکز با روابط زیر تعیین شده است:

$$\text{رابطه (۱)} \quad T_c = 5/3L \quad \text{و} \quad \text{رابطه (۲)} \quad T_{c1} = 1.6TL$$

در رابطه (۱)، T_c = زمان تمرکز (بر حسب ساعت) و L = طول آبراهه (به متر) و در رابطه (۲) TL = طول دامنه و یا آبراهه

زمان تمرکز جریان‌ات سطحی در سطوح دامنه‌های حوضه اوجان چای علاوه بر رابطه ۲ و ۱، با رابطه (۳) نیز تعیین شده است.

$$\text{رابطه (۳)} \quad T_{ti} = (0.933/I^{0.4})(NI/\sqrt{s})^{0.6}$$

در رابطه (۳) I = شدت بارندگی، n = ضریب مانینگ، L = طول جریان، S = شیب سطح

$$\text{رابطه (۴)} \quad T_{t1} = 0.007(nl)^{0.8}/(p_2)^{0.5}S^{0.4}$$

در رابطه (۴) T_{t1} = زمان جابجایی (به ساعت)، n = ضریب مانینگ (جدول ۱)، l = طول جریان، $P_2 = 2$ سال بارندگی ۲۴ ساعت و S = شیب دامنه

جدول ۱: ضریب ناهمواری مانینگ، n

ضریب n	ویژگی های سطوح	ویژگی های پوششی
۰,۱۱	آسفالت نرم	سنگفرش/آسفالت
۰,۱۲	آسفالت سخت	
۰,۱۵	علفزارهای تنک	علفزار
۰,۲۴	علفزارهای متراکم	

۲- برآورد سرعت جابجایی رواناب ها در سطوح شیب دار

سرعت و زمان جابجایی رواناب ها در محدوده مورد مطالعه به روش های متعدد تعیین شده است. در این مطالعه، برای برآورد سرعت جابجایی رواناب ها در سطوح دامنه های زیر حوضه اوجان چای، یکی از روابط بکاربرده شده رابطه (۷) است، که سرعت جابجایی رواناب ها در سطح شیب ها را به روش زیر تعیین می کند.

$$V_1 = 16.13(S)^{0.5} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه، V_1 = سرعت جابجایی (به ساعت) و S = شیب (به درصد)

برای برآورد سرعت جابجایی رواناب ها در سطح حوضه، از روابط مختلفی استفاده شده است. یکی از روابط مهم که برای تعیین زمان جابجایی رواناب ها بهره گیری شده، رابطه زیر می باشد:

$$T_1 = L/60V \quad \text{رابطه (۷)}$$

در روابط بالا، T_1 = زمان جابجایی (به ساعت) و L = طول جریان سطحی (به متر) و V = سرعت جابجایی

زمان جابجایی از طریق یک زیر حوضه در بالای دامنه ها به صورت جریان صفحه ای و یا جریانات متمرکز کم عمق به کانال ها آبی در پایین دست، با استفاده از رابطه (۵) قابل محاسبه است. این رابطه (T_t) در برگزیده متغیرهایی مانند طول جریان و سرعت جریان است. رابطه مذکور به صورت زیر طراحی شده است:

$$T_t = L/3600V \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه بالا، T_t = زمان جابجایی (به ساعت)، L = طول جریان (ft) و V = سرعت جریان (ft/s)

$$T_t = 0.007(nl)^{0.8}/(p_2)^{0.5} S^{0.4} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶)، T_t = زمان جابجایی (به ساعت)، n = ضریب مانینگ، l = طول جریان، P_2 = ۲ سال بازنگی ۲۴ ساعت و S = شیب دامنه

با توجه به اهمیت سرعت جابجایی رواناب ها در سطوح شیب دار در فرسایش خطی، در این مقاله سعی شده است سرعت جریان رواناب ها با رابطه معتبر دیگری نیز تعیین شود.

$$V = 3.28k_s p^{0.5} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه (۷)، V = سرعت (در ثانیه)، K = ضریب برخورد (با استفاده از جدول ۲)، S_p = شیب به درصد

پارامترهای دخیل در رابطه ۷ نوع جریان است که با k مشخص می گردد (K = ضریبی است که بستگی به نوع جریان دارد)، (جدول ۲) و شیب سطحی مسیر جریان (S_p = شیب مسیر جریان) است.

جدول ۲: ضریب برخورد (intercept) یا ضریب K

ویژگی های سطح	K
سطوح سنگفرش	۰,۶۱۹
سطوح غیر سنگفرش	۰,۴۹۱
علفزارهای مسیر جریان	۰,۴۵۷

در این تحقیق از رابطه دیگری که به نوع آبراهه ها و شیب توجه دارد، استفاده شده است (رابطه ۸).

$$V = K \times S^{0.5} \quad \text{رابطه (۸)}$$

جدول ۳: ضریب سرعت جریان برای انواع جریان

ردیف	انواع جریان	K
۱	Small tributary	۲,۱
۲	Waterway	۱,۲
۳	Sheet flow	۰,۴۸

در این روش و طبق جدول ۳، گروه ۱، شامل جویبارهای موقتی است که در نقشه‌های توپوگرافی به صورت خطوط آبی منقطع و یا ممتد نمایش داده می‌شوند، گروه ۲، مسیر حرکت رواناب‌ها که در نقشه‌های توپوگرافی با انحناهای منحنی‌های میزان مشخص می‌شود (لزو ما نمایش آنها در نقشه‌های توپوگرافی به صورت خطوط آبی نیست) و گروه ۳، تقریباً تمامی سطوح و مسیر جابجایی آب‌های سطحی را در بر می‌گیرد.

بحث و یافته‌ها

رودخانه اوجان، که آب‌های یک زیرحوضه کوهستانی را جمع‌آوری می‌کند، دارای بار رسوبی زیادی است. بخش زیادی این بار رسوبی مربوط به فرسایش دامنه‌های شیب دار توسط جریان رواناب‌ها است. سازندهای مستعد برای فرسایش و شیب از عوامل اصلی برای حضور آبکندهای متعدد بر سطح دامنه‌های این زیرحوضه کوهستانی است. در برآورد زمان جابجایی رواناب‌ها، شیب نقش اولیه را ایفای می‌کند. بخش‌های مرکزی و محدوده‌های جنوب غربی زیرحوضه اوجان از شیب بالایی برخوردارند و اغلب چنین بخش‌هایی می‌توان شاهد تشدید فرسایش خطی بود. در دامنه‌هایی که شکل شیب امکان جمع‌آوری آب‌های سطحی را بوجود آورد، (شکل 3)، آب‌های سطحی پراکنده در کانال جمع شده و اگر مواد سطحی امکان عمیق‌تر شدن را فراهم سازند، آبکندها (شکل 3) و در نهایت خندق‌هایی در بخش‌های پایین‌تر تشکیل می‌گردد.

۱- برآورد پتانسیل سطوح مختلف حوضه برای ایجاد رواناب و تعیین زمان تمرکز جریانات سطحی در سطوح شیب دار^۱

زمان تمرکز جریانات سطحی با متغیرهای متعددی در رابطه است. در مواردی زمان تمرکز فقط با طول جریان سنجیده می‌شود. در این مقاله از دو رابطه مهم که زمان تمرکز را با وارد نمودن متغیر طول جریان تعیین می‌کند (tc1, tc) استفاده شده است. برای این سنجش، طول کلیه آبراهه‌های تشکیل شده روی شیب‌ها اندازه‌گیری شده است. زمان تمرکز در زیرحوضه اوجان چای با استفاده از رابط معتبر TC مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به صورت نمودار (شکل‌های ۳ و ۴) و نقشه ارائه شده است (شکل‌های ۷ و ۸). بررسی داده‌های نمایشی با استفاده از متغیر طول جریان و با استفاده از رابطه TC حاکی از تمرکز رواناب‌ها در سطح دامنه‌ها در حد دقیقه‌ای است و این امر نشان می‌دهد که رواناب‌ها در زمان کمتری تمرکز یافته و بنابراین در سطح دامنه‌ها، شیارهای متراکم می‌توانند توسط رواناب‌های متمرکز که بطور سریعی در اثر یک رگبار مجزا تشکیل می‌گردند، ایجاد شوند (شکل ۴). چنین شیارهایی در بیشتر بخش‌های پر شیب حوضه قابل مشاهده هستند. نتایج حاصل از بررسی میدانی حوضه‌های بالادست این شیارها، حاکی از این است که وسعت این حوضه‌ها چندان زیاد نیست و اغلب به صورت حوضه‌های گردی هستند که رواناب‌ها را به سوی بخش‌های پایین دست هدایت می‌کنند. نتایج حاصل از بکارگیری رابطه tc1 که متغیر طول جریان را در سنجش زمان تمرکز را مد نظر قرار داده است و در شکل ۷ و ۵ به نمایش درآمده است، نشان می‌دهد در کل حوضه و در بخش‌های مختلف آن، زمان تمرکز رواناب‌ها بسیار پایین است و در بخش اعظم

^۱-Sheet flow travel time:

^۲-Tc=5/3L

حوضه این زمان زیر یک ساعت است. در بخش های دیگر حوضه این زمان به بیش از ۲ ساعت نیز می رسد. مقایسه نمودارهای حاصل از نتایج سنجش با دو رابطه $tc, tc1$ نشان دهنده یکسان بودن نتایج در کلیه بخش های حوضه است (شکل های ۳ و ۴).

روابط دیگری هستند که برای سنجش زمان تمرکز ارائه شده متغیرهای دیگری را مانند شیب، ویژگی های سطحی و بارش را نیز مد نظر قرار می دهد. یکی از این روابط که برای تعیین زمان تمرکز جریانات سطحی در سطوح شیب در رابطه با ویژگی های سطحی بکار گرفته می شود در تحلیل فرسایش آبراهه ای به آن استناد می شود، رابطه Ti^1 است که در آن شیب و ضریب مانینگ - به عنوان نماینده شرایط سطحی و شدت بارندگی برای نیل به نتیجه دلخواه - به عنوان پارامترهای مهم، بکار گرفته می شود. با توجه به حضور فرسایش خطی در سطوح شیب دار، حوضه اوجان چای و تاثیر رواناب های سطحی در سایش سطحی، در این مطالعه سعی شده است زمان تمرکز جریانات سطحی با چنین روابطی نیز محاسبه شود. نتایج محاسبات انجام گرفته که در سطح حوضه صورت گرفته، به صورت نمودار نمایش داده شده است (شکل ۵). با توجه به نمودار ترسیمی (شکل ۳) می توان گفت که زمان تمرکز جریانات سطحی از چند ساعت تا چند دقیقه متفاوت است. اما اغلب زیر حوضه ها زمان تمرکزی کمتر از ۴۰ دقیقه را دارا هستند. این بدین معنی است که بارش های رگباری می توانند در زمان کمتری در سطوح شیب ها بهم پیوسته و تبدیل به جریانات بهم پیوسته گردند و در شیارهای اولیه جریان یابند و در قالب خندق ها دامنه ها را فرسایش دهند. می توان زمان تمرکز جریانات سطحی صفحه ای را با رابطه TC^2 (به دقیقه) در ارتباط با طول جریان و تفاوت ارتفاعی بین نقاط مختلف حوضه محاسبه نمود. در این مقاله با توسل به این رابطه میزان تمرکز جریانات صفحه ای برآورد و نتایج در نمودار (شکل ۳) نمایش داده شده است. با توجه به نمودار ترسیمی می توان نتیجه گیری نمود که در بخش اعظم حوضه اوجان چای زمان تمرکز زیر خط ۲۵ دقیقه است. در مقابل در بخش کمی از حوضه، زمان تمرکز بالای ۵۰ دقیقه است (شکل ۳). با توجه به نمودار (شکل ۵) می توان مشاهده نمود که در بخش های میانی و هموار محدوده مورد مطالعه به هنگام جاری شدن رواناب ها، زمان تمرکز بسیار طولانی می شود. در برآورد سیلاب ها و در بررسی فرسایش سطوح شیب دار، سنجش زمان تمرکز آب های سطحی، که نشان دهنده قدرت آب ها و شروع سایش دامنه ها هست، از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. در این مقاله به لحاظ این اهمیت، علاوه از زمان تاخیر، میزان تمرکز حوضه نیز مورد برآورد قرار گرفته است. تعیین زمان تاخیر حوضه ها به روش سازمان حفاظت خاک آمریکا با استفاده از رابطه ای صورت می گیرد ($TL_1 =$ زمان تاخیر به ساعت) که شیب، طول آبراهه و ویژگی های سطوح در آن در نظر گرفته شده است. رابطه TL_1^3 رابطه مورد بحث است که در اغلب تحقیقات کاربردی مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله نیز به دلیل اعتبار این رابطه از آن بهره گیری شده است و نتایج حاصل از برآوردها در شکل (۳) به نمایش درآمده است. با توجه به اطلاعات داده های نمایشی در شکل (۳) می توان گفت که طبق این رابطه نیز زمان تاخیر در بیشتر قسمت های حوضه به زیر یک ساعت می رسد.

- تعیین سرعت جریان سطحی در سطوح دامنه ها

در سطوح دامنه ها، رواناب های سطحی برای رسیدن به پای دامنه ها با توجه به شیب و ویژگی های سطحی، سرعت متفاوتی دارند، هرچه سرعت جریان سریع تر باشد، زمان تمرکز کم تر شده و زمان بیشتری برای فرسایش صرف خواهد شد. یکی از روابط مورد استفاده برای تعیین سرعت جریانات سطحی رابطه V^4 است که با استفاده از شیب و ضریب k - که نشان دهنده رابطه ویژگی های سطحی با سرعت به ثانیه است - سرعت جریان را برآورد می کند. در این مطالعه با بهره

^۱- $Ti = (0.933/I^{0.4})(NI/\sqrt{s})^{0.6}$

^۲- $Tc = 0.0078L^{0.77}(L/H)^{0.385}$

^۳- $TL_1 = L^{0.8}(S+1)^{0.7}/1900 W^{0.5}$

^۴ $V = 3.28ks_p^{0.5}$

گیری از این رابطه نتیجه متفاوتی در سطوح مختلف حوضه بدست آمده است (شکل ۴). بررسی نتایج حاصل حاکی از این است که سرعت رواناب‌ها در کل سطح حوضه اوجان چای با توجه به ویژگی‌های حاکم در سطوح شیب دار، بسیار بالا است. معمولاً سطوح دامنه‌های حوضه مورد مطالعه توسط پوشش گیاهی متراکم پوشیده نمی‌شود و اغلب دامنه‌ها یا عاری از پوشش گیاهی هستند یا تحت کشت ردیفی قرار گرفته‌اند که این امر موجب می‌شود که رواناب‌ها بدون برخورد به موانعی، با سرعت بیشتری جاری شوند و آبکنده‌های‌های نسبتاً عمیقی را در سطح دامنه‌ها ایجاد کنند.

اگر زمان جابجایی (به ثانیه) بادر نظر گرفتن سرعت جریان و طول آبراهه صورت گیرد، می‌توان در بررسی فرسایش خطی و نقش رواناب‌ها در تشکیل آنها، به نتایج حاصل از چنین محاسباتی تکیه کرد. رابطه‌ای که به چنین متغیرهایی توجه دارد، رابطه T_1 است. این رابطه در این مقاله مدنظر قرار گرفته و با استفاده از آن زمان جابجایی تعیین شده و نتایج در شکل (۴) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۴) می‌توان مشاهده نمود که سرعت جابجایی در سطح حوضه در زیر خط ۵ ثانیه است. زمان جابجایی از طریق یک حوضه به صورت جریان صفحه‌ای و یا جریان متمرکز کم عمق به کانال‌ها آبی، با استفاده از رابطه (Tt) قابل محاسبه است. با این رابطه بادخیل دادن سرعت جریان (V) و طول جریان (L) و ضریب ثابت زمان جابجایی رواناب هادر طول شیب‌ها را می‌توان محاسبه نمود. در این مقاله نیز از رابطه مذکور بهره‌گیری شده و زمان جابجایی رواناب هادر سطح حوضه برآورد شده است. نتایج برآورد هادر نمودار (شکل ۴) نشان داده شده است. همانگونه که شکل (۴) نشان می‌دهد زمان جابجایی رواناب‌ها در شیب‌های محدود مورد مطالعه بسیار کوتاه است و بر روی شیب‌هایی که خندق‌ها در سطوح آنها تشکیل شده‌اند، آب‌ها بطور سریع متمرکز و قدرتمندی شوند. سرعت جابجایی و زمان جابجایی در شکل‌های (۵ و ۶) به صورت نقشه پراکنده‌گی ارائه شده است.

عامل شیب در بیشتر موارد نقش اولیه و اصلی در تعیین سرعت رواناب هادر دارد. روابط مختلفی در مورد تعیین رواناب‌ها با در نظر گرفتن متغیر شیب ارائه شده که یکی از آنها که در بررسی فرسایش دامنه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، رابطه V_1^2 (به ثانیه) است. در این مطالعه نیز از آن استفاده شده و نتایج محاسبات در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده در شکل (۵) می‌توان مشاهده نمود که سرعت جابجایی رواناب‌ها در شیب هادر اغلب بخش‌های حوضه در زیر خط ۱۰ ثانیه است. رابطه قابل استنادی طراحی شده است^۳ که با تعیین نوع جریان (جدول ۳) می‌توان با استفاده از آن سرعت جریان در ثانیه را محاسبه و برآورد نمود. در این رابطه آنچه که برآورد می‌گردد سرعت جریان است (۷).

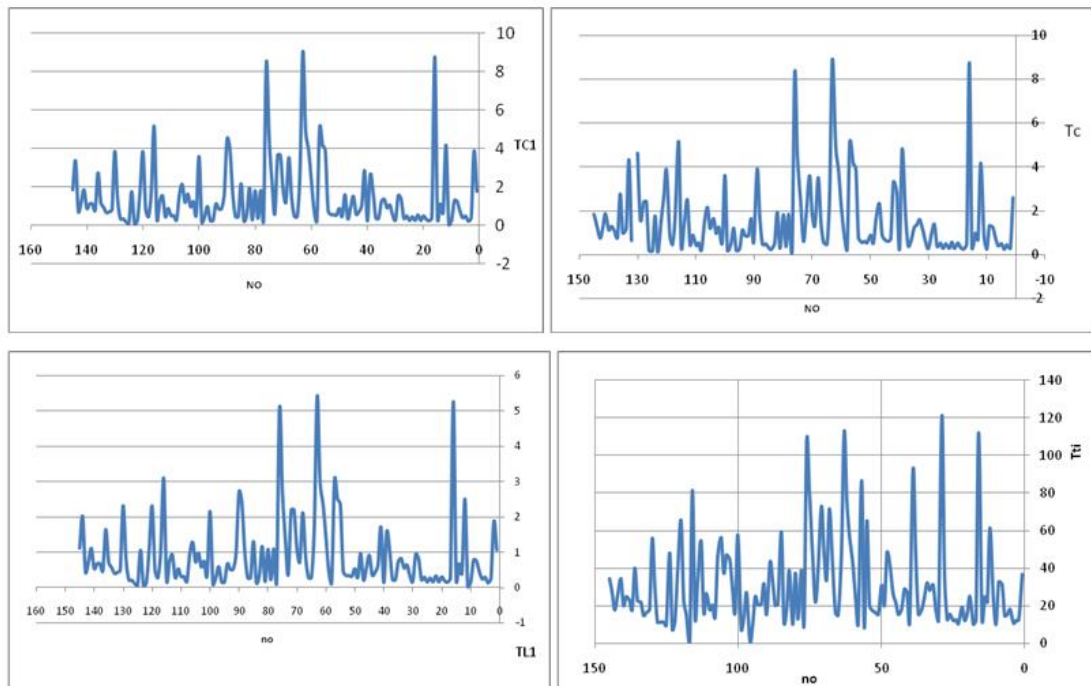
بررسی نقشه‌های ترسیمی از زمان و سرعت جریان رواناب‌ها در سطح حوضه اوجان نشان می‌دهد که زمان جابجایی رواناب‌های سطحی در شیب‌های حوضه با استفاده از رابطه tC_1 ، زمان جابجایی در بخش‌های شمالی و قسمت‌هایی از بخش‌های مرکزی کمتر است. در قسمت‌های مرکزی زمان تمرکز بیشتر است. نتیجه کار با رابطه tC نیز تقریباً مشابه به روش قبلی است (شکل ۷ الف و ب). در این روش به دلیل اینکه طول آبراهه‌ها برای سنجش زمان جابجایی رواناب‌ها در نظر گرفته می‌شود، بیشتر نقش شیارهای کوتاه در سطوح شیب‌ها برجسته می‌گردد و در قسمت‌هایی که تراکم آنها بیشتر است، بخش‌هایی با زمان کمتر تراکم بیشتر خودنمایی می‌کنند. بررسی نقشه‌های ترسیمی از زمان تمرکز با استفاده از روش t_{t1} ، نشان می‌دهد که باز رواناب هادر قسمت‌های شمالی و جنوبی در زمان کمتری خود را به آبراهه‌های اصلی می‌رسانند (شکل ۵، پ و ت). در این روش به دلیل اینکه شیب به عنوان عامل اصلی وارد رابطه می‌شود، نقشه زمان تمرکز را تاحدی توانسته است تغییر دهد. یعنی در قسمت‌هایی که شیب بیشتر بوده زمان تمرکز کاهش یافته است.

^۱ $T_1=L/60V$

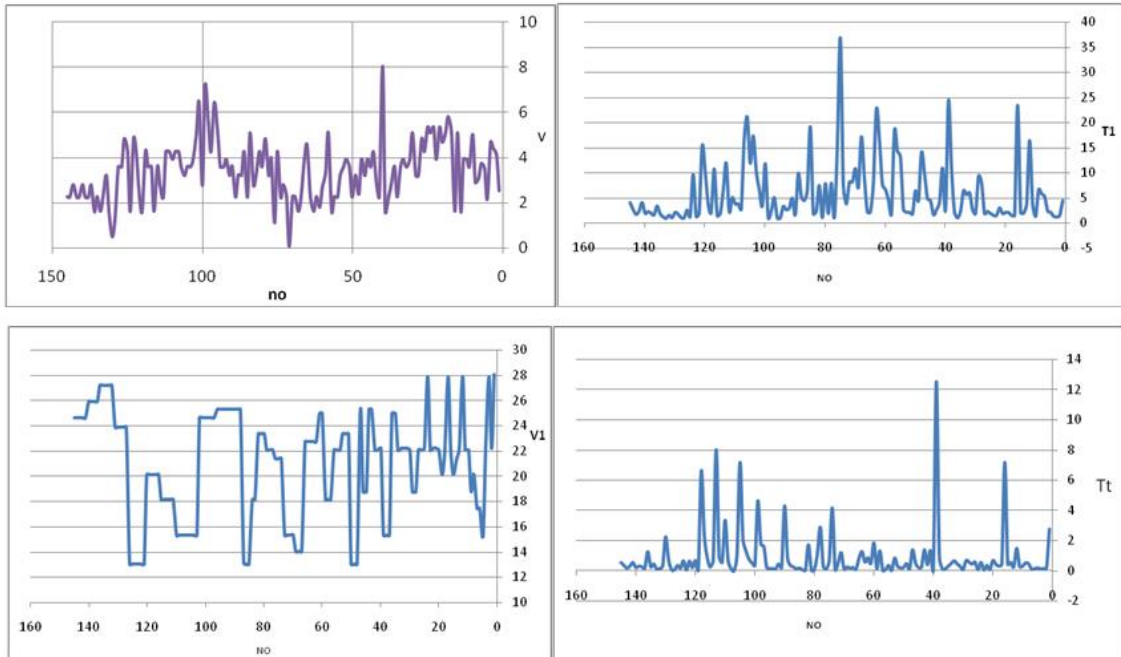
^۲ $V_1=16.13(S)^{0.5}$

^۳ $V=K \times S^{0.5}$

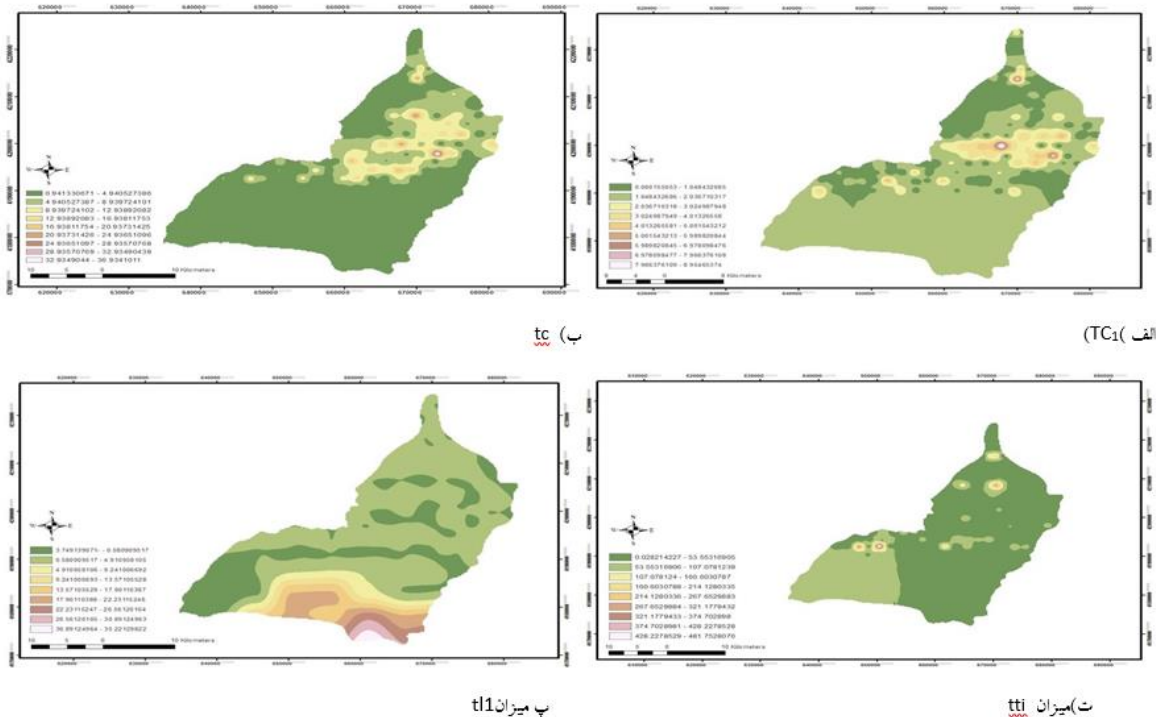
سرعت جابجایی رواناب در سطح حوضه به نوع آبراهه ها و شیب سطحی و البته به سایرویزگی سطحی بستگی دارد. بررسی نقشه های ترسیمی از سرعت جابجایی رواناب ها باروش v_1, v_2 نشان می دهد که سرعت رواناب ها در قسمت های شمالی و جنوب غربی و شرقی بیشتر است و نتایج حاصل از بکارگیری دو رابطه مشابه است (شکل ۵ و ۶). زمانی که متغیرهای دیگری به روابط اضافه می شود (رابطه t_1, t_2) مانند بارش و طول آبراهه و شیب، در نقشه ترسیمی مربوط به سرعت رواناب ها در سطح حوضه اوجان چای (شکل ۵) تغییراتی مشاهده می شود. سرعت رواناب ها در قسمت های جنوب مرکزی و بخش های کوچکی در شمال شرقی بیشتر است. این محدوده ها منطبق با بخش های پرشیب حوضه است که وظیفه انتقال سریع تر رواناب ها را به بخش های پایین تر دامنه ها به عهده دارد.



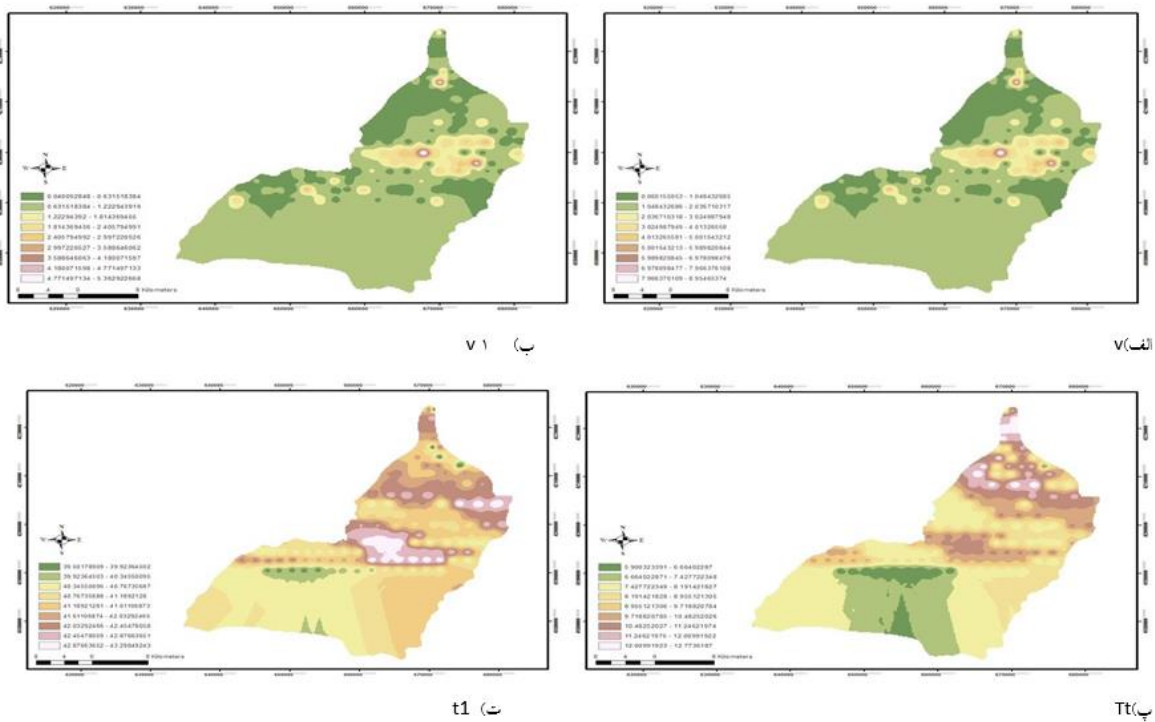
شکل ۳: زمان تمرکز در سطح حوضه اوجان چای



شکل ۴: سرعت جابجایی رواناب‌ها در سطح حوضه اوجان چای



شکل ۵: زمان جابجایی رواناب‌ها در سطح حوضه اوجان چای



شکل ۶: سرعت جابجایی رواناب ها در سطح حوضه اوجان چای

نتیجه گیری

بررسی حوضه اوجان چای نشان می دهد که رواناب های موقتی در سطوح شیب دار- که آبکندهای اولیه را ایجاد می کنند- در آشفتگی سطوح دامنه ها و تولید رسوب نقش اولیه ایفا می کنند. نتایج حاصل از محاسبات کمی و بازدیدهای میدانی حاکی از آن است که هرچه سرعت جابجایی بیشتر و زمان تمرکز رواناب ها کمتر باشد، نشان دهند حساسیت سطوح برای سایش بیشتر توسط رواناب ها است. در چنین دامنه های می توان شیارهای متراکم، خندق های عمیق و راوین های گسترده را مشاهده نمود. علاوه بر این چنین دامنه هایی می توانند سیلاب های ناگهانی را موجب شوند. به دلیل اینکه پوشش گیاهی سطح دامنه ها را محافظت نمی کند و مواد سطحی نفوذ ناپذیر هستند، قسمت بیشتری از بارش ها تبدیل به رواناب شده و در آبکندها جاری می گردد و با اتصال سریع به یکدیگر سیلاب های ناگهانی را پدید می آورند. در حوضه اوجان چای به عنوان یکی از رسوب زاترین زیرحوضه ها آجی چای، فرسایش خطی را در شدیدترین حالت ممکن قابل مشاهده است. سطوح دامنه ها توسط شیارها کنده شده و خندق هایی به عمق بیش از ۳ متر می توان در پای دامنه ها مشاهده نمود که همه این اشکال توسط رواناب ها ایجاد شده اند.

بررسی نقشه های ترسیمی از زمان و سرعت جریان رواناب ها در سطح حوضه اوجان نشان می دهد که زمان جابجایی رواناب ها در بخش های شمالی و قسمت هایی از بخش های مرکزی کمتر است. در دامنه هایی که طول آبراهه کم است زمان تمرکز هم کوتاه تر است. نتایج نشان می دهد که نقش شیارهای کوتاه در فرسایش سطوحی با شیب های زیاد برجسته تر است. در قسمت هایی که تراکم آبکندهای کوتاه بیشتر است، در نقشه های ترسیمی بخش هایی مشخص می شود که رواناب های کندتر تراکم بیشتری را نشان می دهند. بررسی نقشه های ترسیمی از زمان تمرکز با استفاده از روش t1, tti نشان می دهد که باز رواناب هادر قسمت های شمالی و جنوبی در زمان کمتری خود را به آبراهه های اصلی

می‌رسانند. در این روش به دلیل اینکه شیب به عنوان عامل اصلی وارد رابطه می‌شود، نقشه زمان تمرکز را تاحدی توانسته است تغییر دهد. یعنی در قسمت‌هایی که شیب بیشتر بوده زمان تمرکز کاهش یافته است. سرعت جابجایی رواناب در سطح حوضه به نوع آبراهه‌ها و شیب سطحی و البته به سایر ویژگی‌های سطحی بستگی دارد. بررسی نقشه‌های ترسیمی از سرعت جابجایی رواناب‌ها با روش $V1, V$ نشان می‌دهد که سرعت رواناب‌ها در قسمت‌های شمالی و جنوب غربی و شرقی بیشتر است و نتایج حاصل از بکارگیری دو رابطه مشابه است. زمانی که متغیرهای دیگری به روابط اضافه می‌شود مانند بارش و طول آبراهه و شیب، در نقشه ترسیمی مربوط به سرعت رواناب‌ها در سطح حوضه اوجان چای تغییراتی مشاهده می‌شود. سرعت رواناب‌ها در قسمت‌های جنوب مرکزی و بخش‌های کوچکی در شمال شرقی بیشتر است. این محدوده‌ها منطبق با بخش‌های پرشیب حوضه است که وظیفه انتقال سریع تر رواناب‌ها را به بخش‌های پایین تر دامنه‌ها به عهده دارد.

نتایج بررسی‌های انجام یافته نشان می‌دهد که در بخش‌هایی که توپوگرافی و نوع سازندها به تشکیل آبکندهای کوتاه اما متراکم اجازه می‌دهد، رواناب در مسیر آبکندهای ایجاد شده در زمان کمتری به بخش‌های پایین سرازیر شده و تمرکز رواناب‌ها در این قسمت‌ها، توان بیشتری به رواناب‌ها برای عمیق تر نمودن آبکندها و تشکیل خندق‌های عمیق تر می‌بخشد. شکل حوضه‌های بالا دست نیز در هدایت سریع تر رواناب‌ها به آبراهه‌های پایین دست نقش ایفا می‌کنند. در آبراهه‌هایی که حوضه بالا دست آنها کم وسعت هست، آبراهه‌ها به صورت شیارهای کوتاه هستند که در شیب‌ها تند تشکیل شده‌اند و آب‌های سطحی را به سرعت زیاد به پایین هدایت می‌کنند. در حالیکه در بخش‌هایی که حوضه‌های بالا دست از وسعت نسبتاً زیادی برخوردار هستند، بدون تشکیل شیارها، خندق‌ها تشکیل می‌شوند. در چنین شرایطی شیب نسبتاً ملایم است و سرعت رواناب‌ها نیز خیلی زیاد نیست. چنین آبکندهایی به لحاظ جمع‌آوری آب‌های زیاد از یک حوضه نسبتاً بزرگ از قدرت کنش زیادی برخوردار هستند بنابراین خندق‌هایی عمیقی را در مسیر خود ایجاد می‌کنند. آنچه مهم است این است که باید در نظر داشت که کلیه آبراهه‌هایی که ایجاد می‌شوند، ویژگی‌های خود را از عوامل توپوگرافی، سازندهای سطحی، پوشش گیاهی و نوع بارش غالب در محدوده مورد مطالعه می‌گیرند. بنابراین در کلیه بررسی‌ها باید برای گرفتن نتیجه منطبق با واقعیات کلیه تاثیر عوامل در نظر گرفته شوند. همچنین در بررسی سیلاب‌های محلی و یا مطالعه پتانسیل رسوب‌زایی شیب‌ها، به نوع آبکندها، زمان و سرعت رواناب‌ها باید توجه بیشتری مبذول گردد.

References

- -Bayati Khatibi, M., 2010. Role of changes in physical and chemical properties of soils during the slopes in erodibility of soils in mountains. *Human Science Modares*. 1, 33-56.
- -Bayati Khatibi, M., Karami, F., Mokhatary. 2006. Investigation and analyzing stream erosion, by geomorphological evidences and using referring to classical and quantitative methods case study: Garangoo chay basin. *Human Science Modares*. 2, 83-59.
- -Bayati Khatibi, M. 2006. Characteristics and controlling factors of gully erosion. *Geography and development*. No. 7, 115-135.
- -Bayati Khatibi, M. 2006. An investigation on the cause of thresholds of gulling initiation and gulling processes in semi arid mountains. *Geosciences*, NO. 60, 56-71.
- Bayati Khatibi, M., 2007. Concept of time, scale and scale at Geomorphological research, analysis view on time concept at natural systems. *Roshd Amozesh Geography*. No, 57, 37-40.
- -Duvert, C., Nicolas Gratiot., Olivier Evrard., Oldrich Navratil., Julien Némery., Christian Prat., Michel Esteves. 2010. Drivers of erosion and suspended sediment transport in three headwater catchments of the Mexican Central Highlands. *Geomorphology* 123, 243-256
- -Evrard, O., Julien Némery., Nicolas Gratiot., Clément Duvert., Sophie Ayrault., Irène Lefèvre., Jérôme Poulenard., Christian Prat., Philippe Bonté., Michel

- Esteves.2010.Sediment dynamics during the rainy season in tropical highland catchments of central Mexico using fallout radionuclides,*Geomorphology* 124, 42–54
- -Feng,X., Yafeng Wang.,Liding Chen.,Bojie Fu., Gangshuan Bai.2010.Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau,*Geomorphology* 118 , 239–248
 - -Hentati,A.,Akira Kawamura, Hideo Amaguchi, Yoshihiko Iseri.2010.Evaluation of sedimentation vulnerability at small hillside reservoirs in the semi-arid region of Tunisia using the Self-Organizing Map,*Geomorphology* 122, 56–64
 - -Khairulmaini Osman Salleh and Fatemeh Mousazadeh.2011.Gully erosion in semiarid regions,*Procedia Social and Behavioral Sciences* 19, 651–661
 - -Kertész,Á.,Gergely,J.2011.The 2nd International Geography Symposium GEOMED2010 Gully erosion in Hungary, review and case study , *Procedia Social and Behavioral Sciences* 19, 693–701
 - -Kheir, R.,Jean Chorowicz., Chadi Abdallah., Damien Dhont.2008.Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS-based decision-tree model for Lebanon,*Geomorphology* 93,482–492
 - -Malik,I.2008.Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland), *Geomorphology* 93, 421–436
 - -John Inkpen,R.,Wayne Stephenson.2006.Statistical analysis of the significance of site topography and erosion history on erosion rates on intertidal shore platforms, *Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand,Geomorphology* 81,18–28
 - -Jones, Robbie , Robert E. Thomas, Jeff Peakall, Vern Manville.2017. Rainfall-runoff properties of tephra: Simulated effects of grain-size and antecedent rainfall, *Geomorphology* 282 (2017) 39–51
 - -Haas ,Tjalling de , Dario Ventra , Patrice E. Carbonneau , Maarten G. Kleinhans.2014.Debris-flow dominance of alluvial fans masked by runoff reworking and weathering, *Geomorphology* 217 (2014) 165–181
 - -Imaizumi,F.,Tsuyoshi Hattanji., Yuichi S. Hayakawa.2010.Channel initiation by surface and subsurface flows in a steep catchment of the Akaishi Mountains, Japan,*Geomorphology* 115, 32–42
 - -Lubo,G.,Yun Lei, Ren Yi., Cui Zhewei., Bi Huaxing.2011.Spatial and temporal change of landscape pattern in the Hilly-gully region of Loess Plateau *Procedia Environmental Sciences* 8 , 103 – 111
 - -Lesschen,J.,J.M. Schoorl., L.H. Cammeraat.2009.Modelling runoff and erosion for a semi-arid catchment using a multi-scale approach based on hydrological connectivity,*Geomorphology* 109 , 174–183
 - -Nyssen,J., Dominiek Vermeersch.2010.Slope aspect affects geomorphic dynamics of coal mining spoil heaps in Belgium,*Geomorphology* 123, 109–121
 - -Maeda,E., Petri K.E. Pellikka, Mika Siljander, Barnaby J.F.Clark.2010.Potential impacts of agricultural expansion and climate change on soil erosion in the Eastern Arc Mountains of Kenya,*Geomorphology* 123, 279–289
 - Motahaeh H,S.,Naseri,M.A.,Golkarian,K.A.2012.Identification of the most effective elements on rill erosion in the southwestern of mashhad district.*Geography and environmental hazards*,No,2,71-83.
 - -Perroy , Ryan L.,Bookhagen,B., Asner,G., Chadwick,O.2010.Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California ,*Geomorphology* 118, 288–300
 - -Reid,L., Nicholas J. Dewey, Thomas E. Lisle, Susan Hilton.2010.The incidence and role of gullies after logging in a coastal redwood forest *Geomorphology* 117 ,155–169.

- -Rodríguez-Blanco, M., M.M. Taboada-Castro, L. Palleiro, M.T. Taboada-Castro. 2010. Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain, *Geomorphology* 123, 181–188
- -Romero, E. Nadal, J.C. González-Hidalgo, N. Cortesi, G. Desir, J.A. Gómez, T. Lasanta, A. Lucía, C. Marín, J.F. Martínez-Murillo, E. Pacheco, M.L. Rodríguez-Blanco, A. Romero Díaz, J.D. Ruiz-Sinoga, E.V. Taguas, M.M. Taboada-Castro, M.T. Taboada-Castro, X. Úbeda, A. Zabaleta. 2015. Relationship of runoff, erosion and sediment yield to weather types in the Iberian Peninsula, *Geomorphology* 228 (2015) 372–381
- -Seta, M., M. Del Monte, P. Fredi, E. Lupia Palmieri. 2009. Space–time variability of denudation rates at the catchment and hillslope scales on the Tyrrhenian side of Central Italy, *Geomorphology* 107, 161–177
- -Whitford, J., Newham, O. Vigiak, A.R. Melland, A.M. Roberts. 2010. Rapid assessment of gully sidewall erosion rates in data-poor catchments: A case study in Australia, *Geomorphology* 118, 330–338
- -Vetter, T. A.-K. Rieger, A. Nicolay. 2014. Disconnected runoff contributing areas: Evidence provided by ancient watershed management systems in arid north-eastern Marmarica (NW-Egypt), *Geomorphology* 212 (2014) 41–57
- -Yan, Qinghong, Tingwu Lei, Cuiping Yuan, Qixiang Lei, Xiusheng Yang, Manliang Zhang, Guangxu Su, Leping An. 2015. Effects of watershed management practices on the relationships among rainfall, runoff, and sediment delivery in the hilly-gully region of the Loess Plateau in China, *Geomorphology* 228 (2015) 735–745
- -Vieira, D.C.S., M.C. Malvar, C. Fernández, D. Serpa, J.J. Keizer. 2016. Annual runoff and erosion in a recently burn Mediterranean forest – The effects of plowing and time-since-fire, *Geomorphology* 270 (2016) 172–183.