

## کاربرد مدل‌های سیستمی در مدیریت حوزه های آبخیز به منظور برآورد فرسایش و اثرات آن

مسعود نصری: عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان و دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز  
اردستان- دانشگاه آزاد اسلامی- گروه کشاورزی  
تلفن: ۰۳۶۲۵۲۴۲۰۴۸    نمابر: ۰۳۶۲۵۴۲۲۰۴۷ ، پست الکترونیکی: ps\_sepahan@yahoo.com  
جمال قدوسی: مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران .

### چکیده

در دهه‌های اخیر به دلیل رشد بالای جمعیت و گسترش شهرنشینی، مناطق وسیعی از کوهها و شیبها به منظور استفاده های تجاری، کشاورزی و مسکونی مورد بهره برداری قرار گرفته است. این موضوع باعث افزایش فشار به حوزه های آبخیز شده و منجر به وقوع سیلابها، جریانهای واریزه ای آواری و دیگر خطرات مرتبط با شیبها شده است. علاوه بر این آفت کشته و کودهای استفاده شده در میوه های درختان ، زراعت و دیگر رویدننها باعث بروز منابع آلودگی غیر متمرکز بصورت جدی شده است. رودخانه ها در حوزه های آبخیز یکی از مهمترین مکانهایی هستند که دچار این مشکل شده است. هدف ارائه این مقاله چگونگی محاسبه و شبیه سازی فرسایش، بار رسوب و آلودگی این رودخانه ها در ارتباط با عوامل اقتصادی است. مدل‌های فیزیکی مربوط به آن نیز با استفاده از نرم افزارهای مربوط قابل برنامه نویسی است نرم افزار Vensim یکی از آنها بوده که برای سهولت طراحی در کشورهای دیگر مورد استفاده قرار گرفته است در این برنامه نرم افزار Arcviwe و GIS نیز به منظور رقومی کردن اطلاعات مورد نیاز مورد استفاده قرار گرفته است. نرم افزار Excel رابط بین این دو نرم افزار در محاسبات است. ۵ مدل فرعی شامل مدل فرسایشی خاک، مدل انتقال رسوب، مدل رواناب، مدل مواد غذایی و مدل اقتصادی در این مدل جامع و برنامه ریزی می تواند وارد گردد. با توجه به این مدل و اطلاعات هیدرولوژی و جغرافیایی اندازه گیری شده در سالهای گذشته می توان مقدار فرسایش و بار رسوب و مواد غذایی را برای حوزه های آبخیز برآورد نمود و نتایج آن قابل قیاس با مطالعات قبلی است. نتایج استفاده از این مدل نشان داد که کل برآورد فرسایش و رسوب و مواد تغذیه ای در یک دوره بررسی ۵ ساله انطباق خوبی با مقادیر واقعی آن دارد و با توجه به نتایج علمی که بر اساس مدل اقتصادی بدست آمد نشان داد که سرمایه گذاری بیشتر باعث کاهش رسوب حاصل از فرسایش می شود.

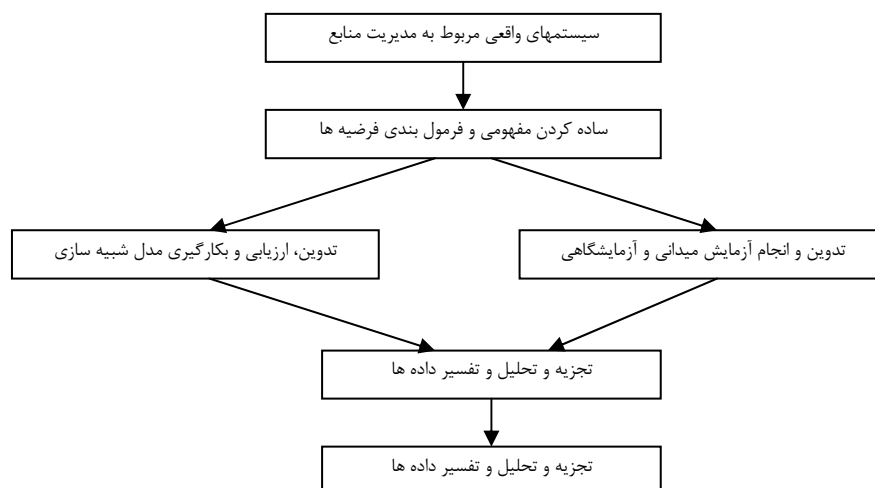
کلمات کلیدی: مدل‌های سیستمی ، شبیه سازی ، فرسایش و رسوب ، آلودگی و مدیریت حوزه های آبخیز

## ۱- مقدمه

وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل، طوفان و غیره در اکثر مناطق دنیا امری عادیست. با عنایت به رژیم بارندگی و با توجه به ناهمگونی بارش و شیب جغرافیایی در حوزه های آبخیز، مقادیر بالایی از خاکها فرسایش یافته و به منابع آبی رودخانهها انتقال می یابد. در دهه های اخیر در اکثر مناطق سکونتگاهی به دلیل رشد بالای جمعیت و گسترش شهرنشینی، مناطق وسیعی از کوهها و شیبها به منظور استفاده های تجاری، کشاورزی و مسکونی مورد بهره برداری قرار گرفته است. این موضوع باعث افزایش فشار به حوزه های آبخیز شده و منجر به وقوع سیلابها، جریانهای واریزه ای آواری و دیگر خطرات مرتبط با شیبها شده است. علاوه بر این آفت کشته و کودهای استفاده شده در میوه های درختان، زراعت و دیگر رویدادها باعث بروز منابع آلودگی غیر متمرکز بصورت جدی شده است. در سالهای اخیر فرسایش خاک به عنوان یکی از بحرانهای زیست محیطی که می تواند امنیت غذایی را در اکثر مناطق تحت تأثیر قرار داده و بعنوان یک مسئله نیز مطرح می باشد. محققان بسیاری در این زمینه کار کرده اند و روشها و دیدگاههای مختلفی را مورد استفاده قرار داده اند. **Bewket و Sterk (۲۰۰۳)** مقدار فرسایش خاک در اراضی کشاورزی را در ایتوپیا با استفاده از روشهای ارزیابی شیارها برآورد نمودند. **Royall (۲۰۰۱)** با استفاده از روشهای مغناطیسی مواد معدنی، مقدار فرسایش خاک و تحویل رسوب را در یک حوزه کوچک کشاورزی واقع در اراضی آهکی برآورد نمود. **Bhuyan و همکاران (۲۰۰۲)** نتایج شبیه سازی حاصل از بکارگیری سه مدل پیش بینی فرسایش خاک - **WEEP**، **ANSWERS** و **EPIC** - را در یک کشتزار مقایسه کردند. همچنین در بررسی های دیگری که توسط نصری و همکاران (۱۳۸۴ و ۲۰۰۶) در حوزه های آبخیز علی آباد چادگان انجام شد به مسئله اهمیت فرسایش و رسوب و هدر رفت خاک و تخریب اراضی تاکید گردیده و مهمترین عامل موثر در عرصه های منابع طبیعی و اراضی کشاورزی را مجموعه تغییرات کاربری ایجاد شده در افزایش رسوبدهی و کاهش حاصلخیزی خاک و رها شدن اراضی، ذکر نموده است.

## ۲- شبیه سازی و تجزیه و تحلیل سیستمی

به بیان ساده، تجزیه و تحلیل سیستمی را می توان بدین صورت تعریف نمود: بکارگیری روش علمی برای پرداختن به مسائل مربوط به سیستمهای پیچیده. تجزیه و تحلیل سیستمی شامل نظریه ها و تکنیک هایی است که برای مطالعه، توصیف و پیش بینی سیستم های پیچیده مورد استفاده قرار می گیرند و اغلب روشهای پیشرفته ریاضی، آمار و کامپیوتر را به کار می بندند. اما اساس تجزیه و تحلیل سیستمی را نمیتوان در مجموعه ای از تکنیک های کمی و جستجو نموده بلکه شالوده آن را یک استراتژی فراگیر حل مسأله تشکیل می دهد. (شهریار و فردین ۱۳۸۲)

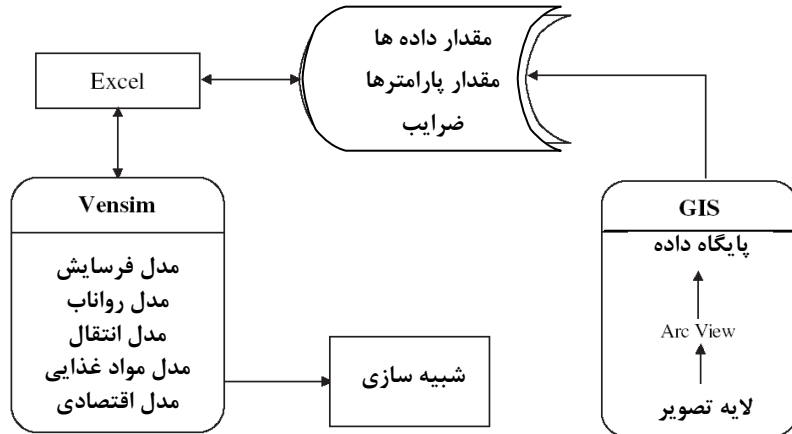


شکل شماره ۱: مقایسه شبیه سازی با آزمایشات میدانی و آزمایشگاهی به عنوان روشهای رویکرد

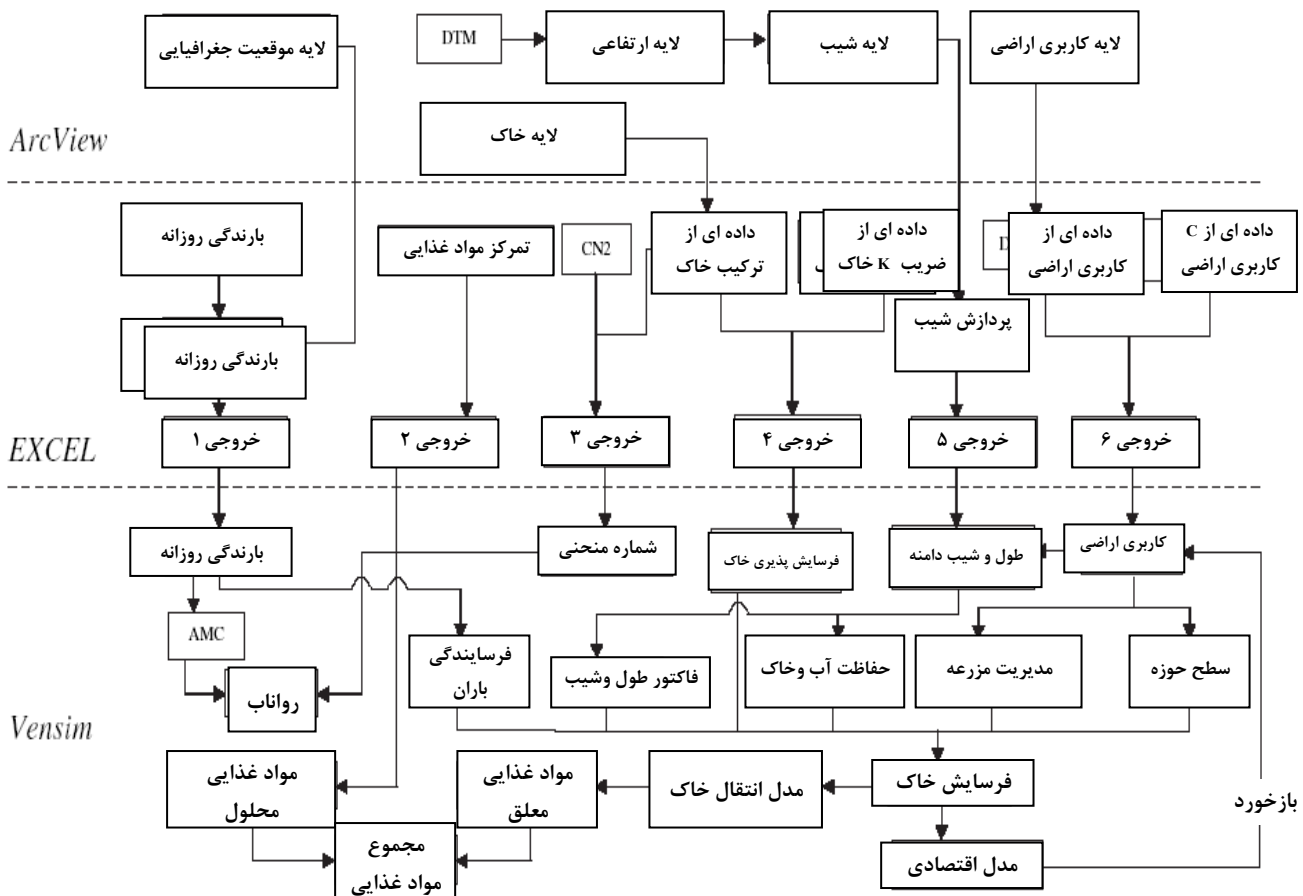
### ۳- متدولوژی

۳-۱- مکانیسم جامع‌نگر مدل

اول از همه ویژگیهای حوزه آبخیز وارد برنامه Arcview و پارامترهای مورد نیاز برای برآورد فرسایش در روش USLE استخراج می‌شود و سپس وارد مدل نرم‌افزار Vensim می‌شود به طوری که با محاسبه پارامترها و ضرائب، محاسبات ساده‌تر شده و تعداد ورودی کاهش می‌یابد در این نرم‌افزار می‌توان متغیرهای کلیدی و اثرات آنها بر یکدیگر را تعیین کرد نرم‌افزار Excel به عنوان پل ارتباطی بین Arcview و Vensim عمل می‌کند. این فرآیند در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.



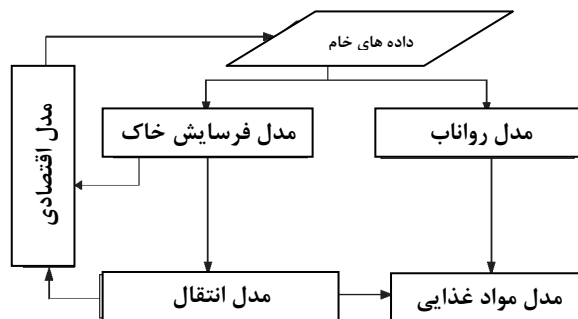
شکل شماره ۲: مراحل شبیه سازی در مدل جامع نگر



شکل شماره ۳: فلوچارت مفهومی مدل در به کارگیری سه نرم افزار مربوط

در سالهای اخیر روشهای شبیه‌سازی مختلفی به منظور بررسی متغیرهای مختلفی در سناریوهای زیست محیطی اقتصادی توسعه پیدا کرده است در بین این مدلها ابزارهای سیستم پویا به دلیل توانایی در ایجاد ارتباط بین متغیرهای وابسته و مؤثر بر یکدیگر روابط بین پارامترهای ورودی و خروجی از اهمیت زیادی برخوردار است که می‌تواند به صورت مدل مفهومی ارائه گردد (قدوسی ۱۳۸۴).

در این تحقیق مدل نرم‌افزار Vensim که یک ابزار برنامه‌ریزی شیء گراست. مورد استفاده قرار گرفته است. هدف کلی مدل برآورد متغیرهای فیزیکی مانند مقدار فرسایش خاک به انتقال رسوب و مواد غذایی و در عین حال توجه به مسائل اقتصادی است. ۵ زیر مدل شامل مدل فرسایش خاک، مدل انتقال رسوب، مدل رواناب، مدل مواد غذایی و مدل اقتصادی در این نرم‌افزار با یکدیگر گنجانده شده است. شکل ۴ توالی محاسبات را در این مدل نشان می‌دهد.



شکل ۴: توالی و ارتباط بین زیرمدلها در مدل جامع نگر

داده‌های خام در هر دو زیرمدل فرسایش و رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد، خروجی زیرمدل فرسایش خاک به عنوان ورودی در زیرمدل مدل اقتصادی و انتقال رسوب وارد می‌شود. بنابراین با استفاده از دو زیرمدل رواناب و انتقال، زیرمدل مواد غذایی ایجاد و برآورد می‌شود. همچنین زیرمدل اقتصادی با استفاده از خروجی زیرمدل فرسایشی و انتقال بر داده‌های خام تأثیر گذاشته و آنها را تغییر می‌دهد. تمام زیرمدلها به جز مدل اقتصادی بر اساس مدل (Generalized Watershed Loading Function) GWLF که توسط (Haith و Shoemaker ۱۹۸۷) توسعه پیدا کرد، ساخته می‌شوند. مدل اقتصادی به عنوان محور بازخورد داده‌های اصلی عمل می‌کند بنابراین نه فقط متغیرها دارای خاصیت پویایی هستند بلکه کل سیستم نیز با وجود چرخه بازخورد دارای ویژگیهای پویایی است. با استفاده از مدل Vensim به عنوان سکو و پایه طراحی و عمل مدل توابع پردازش داده در نرم‌افزار Excel، پردازش تصویر در Arcview و شبیه‌سازی سناریو در نرم‌افزار Vensim یک سیستم جامع‌نگر پدید می‌آید.

این سیستم به سادگی، ایجاد و مدیریت می‌شود و برای کاربران مختلف به سادگی در دسترس و قابل فهم است. در این مدل صدها متغیر و پارامتر وجود دارند که با روابط تجربی و نظری با یکدیگر ارتباط داشته و زیرساخت‌های هر زیرمدل را تشکیل می‌دهند.

در Vensim متغیرها، پارامترها و ضرائب واقعی به عنوان متغیر نوشته می‌شوند که دارای ویژگیهایی مانند داده‌های کمکی، مقادیر ثابت، داده، پیش‌تاز، سطح در نظر گرفته می‌شوند. داده‌ای واقعی به عنوان داده‌های درون‌زا و پارامترها و ضرائب به عنوان داده‌های بیرون‌زا در مدل شناخته می‌شوند. مدل مفهومی Vensim را با متغیرها و پارامترهای آن می‌توان ترسیم و با علائم مربوط نشان داد علامت مثبت و منفی جهت تأثیر یک متغیر بر متغیر دیگر را بیان می‌نماید. به عنوان مثال با افزایش سطح مثبت تعدیل رسوب افزایش می‌یابد.

۳-۳- زیر مدل فرسایش خاک

هسته این مدل شاکل GWLF است که بر اساس USLE کار می‌کند (۱۹۸۷) رابطه ۱ تا ۴ روابط این مدل را نشان می‌دهد که در آن تعداد زیرحوزه‌ها و T زمان در واحد روز است.

$$X_{kt} = 0.132 RE_{kt} K_k (LS)_k C_k P_k AR_k \quad (1)$$

$$RE_{kt} = a R_{kt}^{1.81} \quad (2)$$

$$(LS)_k = (0.045 X_k)^b (65.42 \sin^2 \theta_k + 4.56 \sin \theta_k + 0.065) \quad (3)$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \left( \frac{PS_k}{100} \right) \quad (4)$$

در اینجا

$X_{kt}$ : فرسایش خاک در زیرحوزه K در روز T ام در روز T ام (MS mm/ha).

$RE_{kt}$ : فاکتورهای بارندگی فرسایش در زیرحوزه K در روز T ام (MS mm/ha)

$K_k$ : عامل فرسایش‌پذیری خاک در زیرحوزه K در روز T ام (MS mm/ha).

$C_k$ : عامل مدیریت زراعی در زیرحوزه K در روز T ام (MS mm/ha).

$P_k$ : عامل حفاظت آب و خاک در زیرحوزه K در روز T ام (MS mm/ha).

$AR_k$ : سطح زیرحوزه K در روز T ام (MS mm/ha).

$a$ : ضریب فرسایش بارندگی.

$LS_{(k)}$ : عامل طول و شیب در زیرحوزه K ام در روز T ام (MS mm/ha).

$X_k$ : طول افقی رواناب مورد نظر در زیرحوزه K (m).

$Q_k$ : زاویه شیب زیرحوزه K (به درجه).

$b$ : توان (بدون بعد ND).

$PS_k$ : شیب (درصد).



شکل ۵: فلوچارت مفهومی مدل جامع نگر

#### مدل رواناب انتقال رسوب و مواد غذایی

به منظور محاسبه رواناب سطحی در مدل از روش شماره منحنی استفاده می‌شود که در آن نفوذ، نگهداشت سطحی و برگاب به طور مجزا در نظر گرفته نمی‌شوند بلکه ترکیبی از آنها به عنوان پارامتر حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود مقدار رواناب از روابط زیر محاسبه می‌شود. (روابط ۵، ۶ و ۷)

$$Q_{kt} = \frac{(R_{kt} + M_{kt} - 0.2DS_{kt})^2}{}, \text{for } R_{kt} + M_{kt} > 0.2DS_{kt} \quad (5)$$

در اینجا

$Q_{kt}$ : رواناب حوزه K در روز T ام.

$$M_{kt} = 0.45T_{kt} \quad (6)$$

$R_{kt}$ : مقدار بارندگی حوزه K در روز T ام.

$$DS_{kt} = \frac{2540}{CN_{kt}} - 25.4 \quad (7)$$

$M_{kt}$ : ذوب برف حوزه K در روز T ام.

$DS_{kt}$ : پارامتر نگهداشت حوزه K در روز T ام.

$T_{kt}$ : دمای نگهداشت حوزه K در روز T ام.

$CN_{kt}$ : شماره منفی حوزه K در روز T ام (بدون بعد ND).

در روش USLE، مقدار فرسایش پتانسیل (فرسایش امکان‌پذیر) حوزه K در روز T ام. بر اساس اطلاعات جغرافیایی مورفولوژیکی و اقلیمی است در شرایط واقعی فقط مقداری از خاک به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها

منتقل می‌شود که به آن بار رسوب گفته و با  $SX_{kt}$  نشان داده می‌شود به صورت زیر نوشته می‌شود. (رابطه ۸)

$$SX_{kt} = D_k X_{kt} \quad (8)$$

که  $D_t$  که نسبت تحویل رسوب است. بر اساس این مدل مقدار رسوب و از  $m$  که ۳۶۵ روز سال محاسبه می‌شود همچنین ضریب تحویل رسوب نیز برای هر روز بر اساس روز قبل محاسبه می‌شود. مواد غذایی به حوزه

آبخیز در مدل به صورت مواد قابل حل و جامد طبقه‌بندی شده است که بر اساس مدل GWLF استوار است. مدل مواد غذایی بر اساس نمکهای مختلف به طور مجزا در نظر گرفته نمی‌شود بلکه مقدار کلی نمکهای نیتروژنه و فسفره در نظر گرفته می‌شود. به منظور برآورد مواد غذایی قابل حل در حوزه کاربر باید در مورد کاربری اراضی به الگوی کشت و مقدار رواناب سطح و متوسط غلظت مواد غذایی در هر کشت اطلاعات داشته باشد. که در آن

$$DR_t = \sum_{k=1}^{36} DR_{kt} \quad (9)$$

\$DR\_t\$: کل مواد غذایی در روز T.

\$DR\_{kt}\$: مقدار مواد غذایی روز T در حوزه K.

$$DR_{kt} = 10^{-4} Cd_k Q_{kt} AR_k \quad (10)$$

\$Cd\_k\$: غلظت مواد غذایی در رواناب در حوزه K.

\$Q\_{kt}\$: رواناب حوزه K در روز T ام.

\$AR\_k\$: مساحت حوزه K.

جدول ۱: متوسط غلظت‌های نیتروژن و فسفر در رواناب ناشی از کانونهای مختلف

نوع کاربری اراضی	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	منبع
برنج	17.74	9.56	Chang et al., 2000
اراضی دیم	17.74	9.56	Huang et al., 1995
باغ	1.709	0.46	Huang et al., 1995
چمنزار	2.3	0.35	Hooda et al., 2000
جنگل	1.925	0.18	Huang et al., 1995
اراضی متروکه	2.6	0.10	U.S. Army Engineer Research and Development Center, 1992
گراسلند	0.3	0.15	Wen et al., 1995
پارک	1.925	0.18	Hooda et al., 2000

این اطلاعات بر اساس تحقیقات محلی و بین‌المللی انجام شده

برای مواد غذایی معلق (جامد) متغیر مقدار مواد غذایی کل موجود در رسوب با ضریب مقدار رسوب در ضریب غنی شدن محاسبه می‌شود.

$$SR_t = 10^{-6} C_s Y_t E_r \quad (11)$$

که در آن

\$SR\_t\$: مقدار کل مواد غذایی جامد در کل حوزه در روز T.

\$C\_t\$: غلظت مواد غذایی در رسوب در روز T.

\$Y\_k\$: مقدار رسوب در روز T.

\$E\_t\$: ضریب حاصلخیزی مواد غذایی.

مدل اقتصادی

مدل اقتصادی بر اساس مدل‌های قبلی ساخته می‌شود و میزان خطر طبیعی یا انسانی بر اقتصاد را نشان می‌دهد. اصول این مدل تحلیل سود/هزینه ست در این مدل فرض می‌شود که دولت مردم را به کاشت درختان که باعث کاهش رسوب می‌شود ترغیب می‌کند. در این مدل فرض می‌شود که دولت مشوق جنگل‌زایی است بنابراین برای

دولت هزینه محسوب می‌شود. بنابراین با افزایش سطح جنگلها هزینه نگهداری جنگلها زیاد می‌شود و از طرف دیگر هزینه از بین بردن جنگلها با تبدیل اراضی کاهش می‌یابد و بنابراین عملیات حفاظت آب و خاک توسعه یافته و فرسایش خاک که ناشی از بارندگی است کاهش می‌یابد. کاهش فرسایش خاک هزینه ساخت بندهای رسوبگیر و کنترل رسوب را کاهش می‌دهد. بنابراین یک روش ساده برای محاسبه هزینه اجتماعی فرسایش خاک و جنگل زایی به صورت زیر است.

$$TC_t = AC_t + BCD_t + SC_t + DC_t \quad (12) \quad \text{که در آن}$$

$TC_t$ : کل هزینه‌ها در روز T ام.

$BCD_t$ : کل هزینه ساخت و نگهداری در روز T ام.

$SC_t$ : هزینه‌های جاری در روز T ام.

$DC_t$ : هزینه تخریب در روز T ام.

$AC_t$ : هزینه عملیات در روز T ام.

#### ۴- مطالعه موردی: رودخانه گیلیانگ در حوزه آبخیز تایوان

رودخانه گیلیانگ با طول حدود ۸۰ کیلومتر یکی از سه شاخه تشکیل دهنده حوزه آبخیز کموسو است. که مهمترین و طولانیترین در تایوان شمالی است که مرکز تایوان در آن واقع شده است. شهر تایپه و مهمترین مرکز جمعیت شامل شهر تایپه گیلیانگ است. شکل ۶ این منطقه را نشان می‌دهد. بدلیل وجود شیب‌های تند، بارشهای شدید و توسعه سریع شهری در دو دهه گذشته فرسایش خاک به مهمترین مشکل منطقه تبدیل شده است. تجمع رسوبات در کف رودخانه باعث افزایش کف آن به اندازه ۲۰ متر شده است. این حوزه به ۳۶ زیرحوزه کوچکتر تبدیل شده است. در هر کدام از این زیرحوضه‌ها داده‌های ورودی به مدل محاسبه شده. این حوضه‌ها بر اساس دو عامل طبقه‌بندی گردید (Yeh و همکاران، ۲۰۰۵)

۱- عدم تغییر شدید در شیب

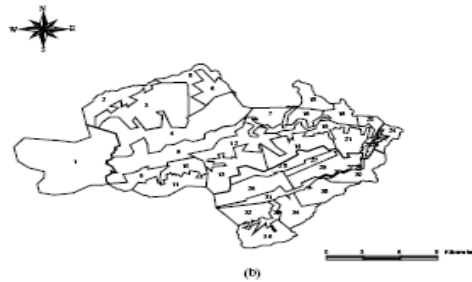
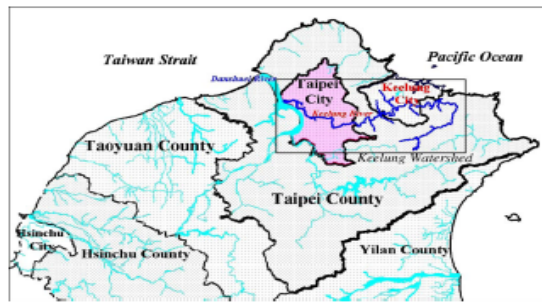
۲- عدم تغییر شدید در پوشش زمین بطوری که یک نوع پوشش ۷۵٪ منطقه را در بر گرفته و کل حوزه نیز به عنوان واحد کنترل در نظر گرفته شده،

با استفاده از GIS اطلاعات و پارامترهای هر زیرحوزه برای وارد کردن در Excel برآورد شد.

این پارامترها در ضمیمه A آورده شده است.

برای ضریب فرسایش بارندگی A چون اقلیم با عرض جغرافیایی حوزه مشابه شهر سایوکس در ایالات آیووا آمریکا است مقدار ۲۴ ثانیه با توجه به مطالعه Selker و همکاران ۱۹۹۰ برای این مطالعه در نظر گرفته شد.





شکل شماره ۶: منطقه مورد مطالعه (a) رودخانه کلیانگ و موقعیت شهر تایپه (b) نقشه زیر حوزه بندی منطقه

#### ۴-۱- نتایج اندازه گیری‌های فیزیکی

با توجه به ویژگیهای مدل GWLF پارامتر فیزیکی باید سال به سال محاسبه شود در این مطالعه آمار هواشناسی و هیدرولوژی ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ برای تولید متغیرهای مربوط به فرسایش خاک، بار رسوبی مورد استفاده قرار گرفت. مقدار کل رسوب حاصل از فرسایش را در سال ۱۹۹۵ در روز اول در تابستان به ویژه در ماههای ژولای تا سپتامبر بیشتر از بقیه مواقع بوده است و حدود ۱۸ هزار تن در روز است.

این موضوع به دلیل بارانهای شدید ناشی از تیفونها است. مقدار بارندگی در سال ۱۹۹۸ به طور قابل ملاحظه‌ای بالا بوده و به خاطر همین مقدار رسوب بسیار زیاد شده است و به ۶۱۰ هزار تن رسیده که تقریباً ۴ برابر سال ۱۹۹۹ است.

از طرفی مقدار نیتروژن محلول در رواناب و نیتروژن جامد در رسوب برای سال ۱۹۹۸ نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن محلول مقدار اعظم نیتروژن را تشکیل داده است. در مورد فسفر نیز این چنین بوده است. بررسی‌ها نشان داد تاکنون چنین اطلاعاتی برای این حوزه توسط مراکز دولتی ثبت و برآورد نشده بود. برای برآورد مقدار فرسایش در هر هکتار ما (۱۹۹۴) با استفاده از زمین‌آمار و روش USLE این مقادیر را برآورد کرده بود. بر اساس داده‌های بارندگی از سال ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۹ مقدار فرسایش ۹/۰۲ تن در سال در هکتار برآورد شده بود. که با مقدار ۹/۰۶ در این مطالعه بدست آمده قابل مقایسه است.

در خصوص مقدار کل رسوب حاصل از فرسایش و مقدار بار رسوبی بیان گردید که رسوب جدا شده در نزدیک رودخانه به واسطه بارندگی‌های اتفاق افتاده از آگوست تا دسامبر به طور ناگهانی وارد جریان رودخانه شده است. همچنین در مدل اقتصادی و شبیه‌سازی سناریو به منظور تشویق جنگلکاری در حوضه‌های حساس به فرسایش دولت ۲۱ هزار دلار در سال در ایگر در سال ۱۹۹۴ خرج کرد (Lin ۱۹۹۴) این موضوع را سناریو «حال حاضر» نامگذاری کردند. با مقایسه افزایش هزینه‌ها و کاهش مجموع هزینه تخریب، هزینه ساخت رسوبگیرها مقدار

سرمایه‌گذاری اپتیمم نامگذاری می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش مقدار سرمایه‌گذاری میانگین تجمعی رسوب حاصل از فرسایش کاهش می‌یابد. و از آنجائیکه مقدار بار مغذی به طور معناداری کمتر خواهد شد ذکر این نکته حائز اهمیت است که مقدار سرمایه‌گذاری نمی‌تواند بیش از مجموع بقیه هزینه‌ها باشد.

## ۵- نتایج

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در بخش تحقیقات منابع آب و خاک در سطح دنیا توسعه یافته است. در این مطالعه مدل جامع نگر **vensim** به منظور برآورد مقدار فرسایش و بار رسوب و هدررفت مواد غذایی حوزه آبخیز گیلیانک در تایوان مورد استفاده قرار گرفت با استفاده از این مدل مشخص گردید که با توجه به اطلاعات جغرافیایی و هیدرولوژیکی ۵ سال گذشته مقدار کل فرسایش و رسوب و مواد تغذیه‌ای در برار ۱۰۱۶۶۱،۲۹۲۳۲۷ و ۱۴۲۸ تن می‌باشد. مقدار فرسایش سالانه در واحد هکتار نیز ۹/۰۶ تن در هکتار در سال است که با مطالعات قبلی تطبیق دارد. با توجه به سناریوی پایه که نشان دهنده عدم انجام هیچگونه جنگلکاری توسط دولت است. دو سناریو دیگر بر اساس دو نوع جنگلکاری که یکی بر اساس بررسی نتایج علمی و دیگری و بر اساس مدل اقتصادی انجام شد، در این مدل مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که سرمایه‌گذاری بیشتر باعث کاهش رسوب حاصل از فرسایش می‌شود شبیه‌سازی سناریو را با استفاده از این مدل می‌توان با ترتیبی از پارامترهای مختلف انجام داد. با وجود انعطاف‌پذیری و کاربردی بودن این مدل امکان توسعه آن همچنان وجود دارد. در بررسی زمینه‌های تحقیقاتی که توسط لال و همکاران (۱۹۹۸) در مورد تخریب خاک انجام شده است این نکته خاطر نشان شده است که برون یا بی اطلاعات از مقیاس آزمایشگاهی یا مزرعه به مقیاس حوزه آبخیز یا ناحیه نیازمند استفاده از تکنیک‌های مقیاس بندی دارد. این روشها می‌بایستی هم در مقیاس مکانی و هم در مقیاس زمانی توسعه پیدا کند روشهای مقیاس بندی برای بررسی حجم فرسایش خاک در مقیاس جهانی، مقیاس نقطه‌ای و منطقه‌ای مورد نیاز هستند. توسعه و کاربرد این روشها تحت تأثیر مفهوم مقیاس قرار دارد. در حال حاضر استفاده از **GIS** پیشرفتهای سریعی کرده است اما همچنان به روشهای مناسب برای بررسی تخریب خاک و اثرات زیست محیطی آن نیاز است. همچنین اشاره دارد که مدل‌های شبیه‌سازی جایگزینی برای اندازه‌گیریهای صحرائی نیستند اما به منظور رفع شکافهای علمی و تعیین ارتباطاتی که نسبت به آنها آگاهی نداریم مفید می‌باشد. مدل‌سازی روشی مناسب برای چند جانبه‌نگری به فرآیندهای تخریب خاک مانند فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و تأثیرات آن بر حاصلخیزی و کیفیت زیست محیطی است. شبیه‌سازی همچنین می‌تواند مشاهدات انجام شده در مقیاس‌های کوچک را به مقیاسهای زمانی و مکانی بزرگتر تعمیم دهد و **GIS** می‌تواند بررسی ما را به مقیاس یک حوزه تعمیم دهند. بنابراین توصیه میشود به منظور توجه به اهمیت فرسایش و اثرات آن در حوزه‌های آبخیز کشور زمینه‌های تحقیقاتی در استفاده از روش‌های شبیه‌سازی در مقیاس منطقه‌ای و آزمایشگاهی تعریف و اجرا گردد و مدل‌های تجربی مناسب مربوطه برای استفاده در بخشهای تحقیقاتی و اجرایی کشور توسعه یابد.

## ۶- مراجع

- ۱- احمدی، حسن (۱۳۷۴)، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- قدوسی، جمال، ۱۳۸۴، درس نامه شبیه سازی در حوزه های آبخیز دوره دکتری علوم و مهندسی آبخیز. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات .
- ۳- محمدرضایی، شهریار . اسکافی، فردین ، ۱۳۸۲، اکولوژی و مدیریت منابع طبیعی ، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.
- ۴- نصری، مسعود، جعفری، محمد ۱۳۸۶، تخریب خاک و اراضی - فرآیندی در زمان و مکان و اولویتهای تحقیقاتی آن. مجله جنگل و مرتع شماره ۷۴
- ۵- تخریب خاک و اراضی ، موضوع ویژه دکتری علوم و مهندسی آبخیز - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

- 6- Bhuyan, S.J., Kalita, P.K., Janssen, K.A., Barnes, P.L., 2002. Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environmental Modelling and Software* 17 (1), 137e146.
- 7- Bewket, W., Sterk, G., 2003. Assessment of soil erosion in cultivated fields using a survey methodology for rills in the Chemoga watershed, Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 81e93
- 8- Haith, D.A., Shoemaker, L.L., 1987. Generalized watershed loading function for stream flow nutrients. *Water Resources Bulletin* 12 (2), 471e478.
- 9- Lal, R., Blum, W. H., Valentine, C. and Stewart, B. A., 1998, *Methods for assessment of soil degradation*, CRC Press LLC, 558p.
- 10- Nasri M., Gholami A., Najafi A. and Modarres R., (2006), The Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS and statistical multivariate techniques, proceedings of 5th symposium Agro-inviron, Ghent university, Ghent, Belgium.
- 11- Royall, D., 2001. Use of mineral magnetic measurement to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena* 46, 15e34.
- 12- Selker, J.S., Haith, D.A., Reynolds, J.E., 1990. Calibration and testing of daily rainfall erosivity model. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 33 (5), 1612e1618.
- 13- Yeh, S.C., Wang, C. A., Yu, H.C., (2005) Simulation of soil erosion and nutrient impact using an integrated system dynamics model in a watershed in Taiwan. *Environmental Modelling & Software*. Elsevier.