برآورد رطوبت خاک با استفاده از مدل SWAT مطالعه موردی آبخیز امامه- لتیان

شعبانعلی غلامی
استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

مقدمه

خاک بستر اصلی تولید مواد غذایی بشر و یکی از چهار عنصر اصلی زندگی و حیات بشر را تشکیل می‌دهد. رطوبت خاک در دو محور اساسی مورد توجه است. در تولیدات کشاورزی و دامپروری و در محور دوم در مدیریت آبخیز یا آبخیزداری نقش ویژه‌ای دارد. امروزه دریافته‌اند که یک رابطه منطقی و اصولی بین رطوبت خاک و سیلاب یا رواناب سطحی وجود دارد. داشتن اطلاعات کافی از میزان رطوبت خاک در قسمت های مختلف یک مزرعه یا اراضی مرتعی، تأثیر زیادی در کارایی مدیریت حوضه و یا مزرعه می‌گذارد. بنابراین، اندازه گیری رطوبت خاک یا جمع‌آوری آمار رطوبت خاک در آبخیزداری به منظور پیش‌بینی وقوع سیلاب در زمان معینی از سال و در اراضی زراعی و دشتی برای تعیین الگوی کشت و آبیاری و کشت محصولات مناسب خواهد بود. مطالعه حاضر در آبخیز سد لتیان در زیرحوضه امامه انجام شده است. حدود۷۰٪ سطح حوضه از اراضی مرتعی و حدود۲۰٪ تحت کشت درختان میوه و زراعت قرار دارد. در این مطالعه، مدل SWAT به عنوان یک مدل توزیعی- مفهومی که امکان شبیه سازی میزان رطوبت خاک در آن وجود دارد و اطلاعات در زمان و مکان قابل حصول می‌باشد استفاده شده است. اندازه‌گیری رطوبت خاک به ویژه در اراضی زراعی، کار آسان و ساده‌ای نیست و از طرفی نیازمند به صرف زمان زیاد و هزینه سنگینی می‌باشد. از طرفی داشتن اطلاعات و آمار از رطوبت خاک از نظر زمانی و مکانی جهت برنامه‌ریزی زراعی و افزایش راندمان تولید، اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف تحقیق حاضر کاربرد مدل SWAT در تعیین میزان رطوبت خاک از نظر زمانی و مکانی است.

در ایران مدل هایی که در خصوص محاسبه و به ویژه شبیه سازی مقدار رطوبت خاک به صورت مقاله ارائه شده باشد، مشاهده نگردید ولی با جستجو در شبکهٔ اینترنت و بررسی ژورنال های مربوطه، تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است که راهنمای تحقیق حاضر بوده است.

کاستالیو و همکاران در سال ۱۹۹۶ تحقیقی در رابطه با شبیه سازی رابطه رطوبت خاک و اتمسفر انجام داده‌اند. در این رابطه از یک مدل ریاضی استفاده شده است و پارامترهای ارتفاع یا ضخامت خاک(z) و پروزیته خاک(Ps) و میزان اشباع شدگی خاک(Su) و با داشتن اطلاعات میزان بارندگی(P)، رواناب سطحی(Q) و بیلان آبی(Y) به عنوان پارامترهای اصلی خاک و میزان ابرناکی، درجه حرارت، رطوبت هوا و فشار هوا به عنوان پارامترهای اصلی شرایط اتمسفر مورد بررسی واقع شدند. عملکرد مدل نشان داده است که ابرناکی و فشار هوا، بیشترین تأثیر را در تغییرات رطوبت خاک داشته‌اند و رطوبت نسبی هوا و درجه حرارت در مراحل بعدی بر تغییرات رطوبت خاک تأثیرگذار بوده‌اند.

پرازاک و همکاران(۱۹۹۶) تغییرات مقدار رطوبت خاک را تحت تأثیر تبخیر و تعرق گیاهن جنگلی، مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از یک مدل ریاضی، در فصل رویش درختان، تبخیر و تعرق و پارامترهای مختلف درختان جنگلی(عمدتاً از گونه صنوبر) را در مراحل فنولوژی(شامل مرحله جوانه زدن، سربرگزایی، ساقه دهی، گلدهی، دانه بندی و...) مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که بیشترین تأثیر در کاهش رطوبت خاک، مرحله جوانه‌زنی(هنگام بارور شدن بذر) و همین طور هنگام گلدهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل SWAT یک مدل مفهومی فیزیکی - توزیعی است، یعنی در هر نوع پوشش گیاهی یا کاربری های مختلف، نتایج جداگانه‌ای ارائه می‌دهد. بنابراین رطوبت خاک در هر یک از تقسیمات حاصل می‌گردد.

این مدل شامل برنامه های گسترده‌ای است که از ۵۶ نوع مدل پشتیبانی می‌شود. یکی از مدول های آن برنامه محاسبات رطوبت خاک می باشد که با استفاده از برنامه FORTRAN90 نوشته شده است.

مدل SWAT، تکامل یافته از ۴۰ مدل شبیه سازی در دنیا است، دارای برنامه گسترده‌ای است که از نرم‌افزارهای GIS نظیر Arc-info و Arc-view به منظور تهیه اطلاعات و آمار رقومی از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می کند. از برنامه‌های DSS (Decision Support System) به منظور مرتبط کردن داده‌ها به برنامه اصلی، طراحی شده است. مدل مجهز به سیستم طبقه بندی داده ها(Data Base Management) می‌باشد که داده را در خود مرتب می‌نماید. ساختمان مدل شامل یک کنترل مرکزی به نام فایل Cio است که، خود سه قسمت دارد. قسمت A شامل داده‌های ایستگاهی(نزولات آسمانی و هیدرومتریک) و قسمت B شامل فایل های ذخیره و خروجی مدل و قسمت C شامل خصوصیات فیزیکی حوضه شامل وضعیت توپوگرافی، رودخانه و شبکه هیدروگرافی و همین طور وضعیت پوشش گیاهی مثلاً محاسبهٔ Lai، مقدار Bio-Mass و... و وضعیت رودخانهٔ اصلی شیب، طول رودخانه، ضریب مانینگ و... و همینطور دارای یک فایل داده های رقومی حاصل از GIS بنام Fig.file و هسته یا بخش مرکزی مدل شامل برنامه اصلی و مدول های مربوط به مدل می باشد که تحت محیط Windows عمل می‌کند ولی خروجی تحت محیط Dos ارائه می‌شود. در این مرحله از بررسی مدل، فایل Data Base

Management اهمیت زیادی دارد که فایل مربوط برای مدل تنظیم گردیدند.

از ویژگیهای خاص مدل، کالیبره کردن مدل و ارزیابی و مقایسه داده های اندازه‌گیری شده که در فایل Mgt.file مرتب شدند، با داده های شبیه‌سازی شده (برآورد شده) که خروجی مدل می‌باشند، انجام گردید. در این صورت ممکن است مدل به پارامترهایی از زمین یا نزولات آسمانی حساسیت نشان دهد، در این حالت هم حساسیت مدل (Sensitivity Analysis) با پارامترهای اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار گرفته است.

برای حصول نتایج، مراحل مطالعات بشرح ذیل انجام شده است:

۱- تهیه نقشه توپوگرافی آبخیز امامه (زیرحوضه سد لتیان)

۲- تهیه نقشه خاکشناسی و تیپ‌بندی خاک

۳- تجزیه و تحلیل خاک از طریق پروفیل برداری و تشریح پروفیل خاک

۴- لایه‌بندی خاک و اندازه‌گیری عمق لایه های مختلف خاک

۵- تهیه اطلاعات بارندگی منطقه و تجزیه و تحلیل آمار بارندگی

۶- تنظیم جدول بارندگی روزانه در پایه آماری ۲۰ ساله

۷- کاربرد مدل SWAT و تهیه و تنظیم اطلاعات مورد نیاز مدل

۸- اخذ اطلاعات یا خروجی مدل تحت عنوان رطوبت خاک در مکان و زمان مختلف

اطلاعات مورد نیاز مدل (ابزار مدل)

۱- خصوصیات فیزیکی حوضه: از خصوصیات فیزیکی حوضه مورد نیاز مدل، سطح حوضه در قطعات با تقسیمات مختلف اندازه‌گیری شده است.

۲- خصوصیات خاک: از اطلاعات خاک، عمق لایه ها در افق های مختلف و تیپ بندی خاک می‌باشد. اطلاعات جزیی‌تر در مورد خاک شامل تراکم حجمی خاک، ظرفیت حجمی آب قابل دسترس، هدایت الکتریکی لایه های خاک، ماده کربن آلی، بافت خاک، آبدوی خاک و... می‌باشد.

۳- ویژگی آب وهوایی: از پارامترهای مهم این نوع اطلاعات برای مدل SWAT تنها میزان بارندگی روزانه در دو دوره پایه آماری ۲۰ ساله و مقدار هرزآبهای سطحی یا دبی ماهانه دردوره پایه آماری ۲۰ ساله لازم است. این گونه اطلاعات از ایستگاه معرف امامه (ایستگاه A، کلوکان و ایستگاه B) جمع‌آوری شده است. شایان ذکر است که اطلاعات آبهای زیرمینی منطقه مورد مطالعه شامل ارتفاع سطح آب زیرزمینی، ضریب آب پایه، دبی ویژه و... به فایل داده های مورد نیاز مدل اضافه می‌شوند.

۴- اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی و مدیریت زراعی: از مهم ترین فایل اطلاعاتی مدل در رابطه با رطوبت خاک، فایل اطلاعاتی پوشش گیاهی یا Mgt.File می‌باشد که شامل اطلاعات و آماری نظیر اندکس پوشش گیاهی و مقدار نهاده هایی که به زمین داده می شود (مثل کود، سم و...) و میزان وزن توده گیاهی(Bio-mass) و... می‌باشد که اطلاعات کامل در جدول۱ ارائه شده است.

شایان توجه است که میزان اطلاعات و داده های مورد نیاز مدل SWAT شامل ۱۲ نوع جدول اطلاعاتی است که تعداد داده های هرکدام به طور متوسط در یک ماتریس۸×۶ تنظیم می‌شوند و سپس به عنوان SWATdata-base به مدل ارائه می‌شوند. ذکر همهٔ آنها در این مقاله نیازمند به حجم بسیار زیاد است و در اینجا مقدور نمی‌باشد لذا از ذکر بقیه آنها خودداری شده است. صرفاً آنچه که در موضوع شبیه سازی برآورد رطوبت خاک ضروری بود ارائه گردید.

موقعیت عمومی آبخیز مورد مطالعه

آبخیز امامه، یکی از زیرحوضه های رودخانه جاجرود محسوب می‌گردد که در موقعیت ″۱۰′۴۹°۳۵ تا ″۰۵′۵۷°۳۵ عرض شمالی و ″۳۰′۳۱°۵۱ تا ″۴۰′۳۸°۵۱ طول شرقی واقع شده است. فاصله آن تا شهر تهران ۳۵ کیلومتر می‌باشد. از نظر توپوگرافی، یک آبخیز کاملاً کوهستانی است، ولی داخل حوضه اراضی زراعی و باغات را هم شامل می‌شود. حداکثر ارتفاع ۳۰۸۲ متر و حداقل ارتفاع در نقطه خروجی(outlet) ۱۸۱۰ متر می‌باشد.

نوع استفاده از زمین(Land-use) در حوضه، شامل ۶۹/۸٪ از سطح حوضه، تحت پوشش گیاهان مرتعی، ۱۶/۸٪ اراضی صخره‌ای، ۵/۸٪ اراضی باغ و قلمستان و ۴/۳٪ اراضی زراعت آبی و ۰/۶٪ اراضی زراعت دیم و ۰/۵٪ اراضی تحت پوشش ساختمان مسکونی و شهری هستند (جدول ۱).

جدول (۱) نوع استفاده از زمین در آبخیز امامه.

زیرحوضه	سطح به (هکتار)	سناریو	درصد سطح اشغال شده
کلوکان	۱۶۱۰*	زراعت گندم و جو	۵/۴
		زراعت علوفه (یونجه، شبدر و...)	۲/۲
		باغداری	۵/۸
		مرتع	۶۹/۸
		جمع کل	۸۳/۲

* باقیمانده سطح حوضه متعلق به اراضی صخره‌ای که حدود: ۱۶/۸٪ می‌باشد.

میزان ریزش جوی سالیانه ۶۸۸/۹ میلی متر در یک دوره ۲۰ ساله و ضریب رواناب سالیانه C=%69 اندازه‌گیری شده است.

وضعیت زمین شناسی حوضه، عمدتاً از تشکیلات آهکی، توف کرج و تشکیلات مارنی و شیل همراه هستند که سنگ مادر خاک های موجود در اراضی زراعی و باغی و اراضی مرتعی را تشکیل می‌دهند. وضعیت خاک در اراضی زراعی و باغی عمیق به بیش از یک متر می‌رسد که دارای افق های مختلف A و B و C می‌باشد. بافت خاک Sand-loam و تیپ خاک Calceric-Regosoil می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از اجرای مدل در چهار سناریوی مختلف، نتایج حاصل از شبیه سازی به شرح ذیل بدست آمده است:

در سناریوی ۱ (کشت گندم و جو)، هنگامی که اراضی آبخیز تحت کشت گندم و جو قرار دارند، به عنوان سناریوی ۱ برای مدل مفروض شده است و هنگامی که سطح حوضه توسط درختان مثمر(باغداری) اشغال شده‌اند به عنوان سناریوی ۲ و در مرحله بعد، سطح اراضی که توسط گیاهان علوفا ای کشت شده‌اند به عنوان سناریوی ۳ و همینطور در آخرین سناریو، اراضی که توسط گیاهان مرتعی پوشیده شده‌اند به عنوان سناریوی ۴ برای مدل تعریف شده و سپس مدل SWAT اجرا شدند و نتایج در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

جدول (۲) نتایج خروجی مدل در چهار سناریو، در رابطه با برآورد رطوبت خاک اراضی.

واحدها	پار مترهای خروجی مدل	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴
mm	P	۷۶۰	۷۶۰	۷۶۰	۷۶۰
M^3/Se	WY	۲۸۵/۵۴	۳۵۲/۳۲	۳۰۴/۲۸	۳۴۱/۳۹
mm	PER	۱۲۹/۷۶	۱۴۳/۳۰	۱۱۱/۲۹	۱۷۰/۲۹
mm	ET	۳۸۹/۵۲	۳۰۴/۸۷	۳۰۵/۷۰	۲۹۰/۰۸
mm	SW	۷/۲۳	۵/۵۳	۴/۷۴	۲/۶۲
mm	Q_{sur}	۲۴۴/۹۱	۳۱۰/۵۹	۲۸۰/۴۷	۳۴۰/۷۸
mm	Q_{sub}	۵/۲۲	۵/۹۹	۱۰	۱۲/۲۹
mm	gw	۴۵/۳۸			
نتایج آماری خروجی مدل در چهار سناریو					
سالانه	R^2	٪۸۱	٪۷۸	٪۸۲	٪۷۶
ماهانه	R^2	٪۷۴	٪۷۲	٪۷۶	٪۶۸

SW یا Water Storage رطوبت باقیمانده در خاک می باشد. شایان ذکر است که مقدار رطوبت خاک سالانه می‌باشد. مقدار رطوبت خاک در ماه های مختلف و حتی در عمق های مختلف خاک توسط مدل قابل استحصال است. جدول(۳)میزان رطوبت خاک در ماه های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول (۳) رطوبت خاک در پایان هر ماه مقدار رطوبت خاک را نشان می‌دهد

ماه / سناریو	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
سناریو ۱	۱/۰۷	۰/۹۱	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۸۹	۱/۷	۱/۶۴	۲/۱۲
سناریو ۲	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۴۴	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۸۳	۰/۵۶	۰/۹۶	۱/۲۱
سناریو ۳	۰/۷۳	۰/۴۹	۰/۸۵	۰	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۹	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۹۱	۱/۱۱
سناریو ۴	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۲۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۵۲

همان طوری که قبلاً اشاره شد، مدل SWAT یک مدل فیزیکی-مفهومی است که از پارامترهای مختلف اراضی آبخیز استفاده می‌نماید. لذا بسیاری از داده ها یا پارامترهای اراضی آبخیز بر مدل اثر می‌گذارند و به عبارت دیگر مدل به آنها حساسیت نشان می‌دهد که نیازمند به اندازه گیری دقیق آن پارامترها و یا اعمال ضرایب و اصلاحاتی بر مدل می‌باشد تا مدل بتواند نتایج مناسب و واقعی را ارائه دهد. درک این که مدل درست کار می‌کند این است که حساسیت آن به پارامتر کمتر شود و به صفر برسد. یعنی تست حساسیت مدل و تست های

آماری نتایج خروجی مدل را تأیید کنند. از جمله تست های آماری، ضریب رگرسیون و یا ضریب تعیین را می‌توان نام برد که مقدار آنها در جدول(۲) ارائه شده است.

در رابطه با رطوبت خاک، پارامترهایی که براساس فرمول پایه‌گذاری شده‌اند، مورد بررسی واقع شده‌اند. از این قبیل پارامترها می‌توان به پارامتر CN (Curve-Number)، Z (عمق خاک)، FFC (ضریب ظرفیت رطوبتی خاک) و ضریب α (ضریب آب پایه در آبهای زیرزمینی) اشاره نمود.

$$FFC = \frac{SW - WP}{FC - WP} \qquad (۱)$$

$$FFC = \frac{\sum_{i=1}^{n} FFC_1 \frac{Zi - Zi-1}{Zi}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{Zi - Zi-1}{Zi}} \qquad (۲)$$

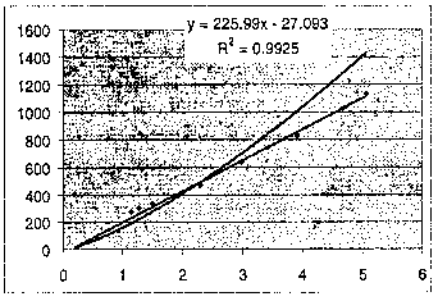
$$S = 254\left(\frac{1000}{CN} - 1\right) \qquad (۳)$$

FFC= ضریب ذخیره اولیه آب در خاک؛

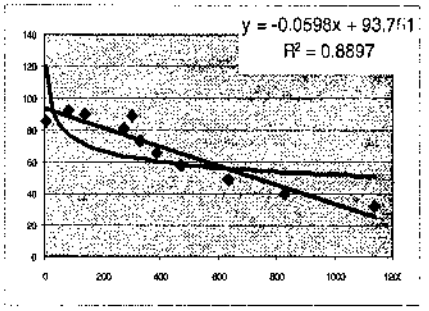
SW= مقدار رطوبت یا ذخیره آب در خاک؛ Z= عمق خاک؛

WP= نقطه پژمردگی گیاه در خاک؛ CN= شماره منحنی؛

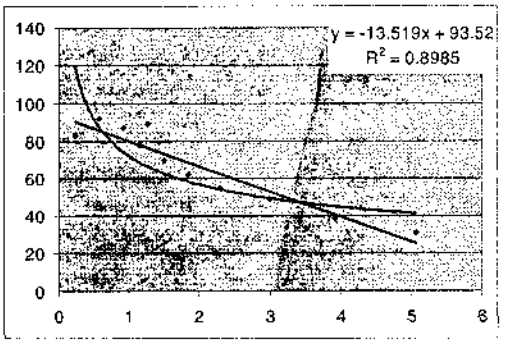
فرمول های روابط خاک و رطوبت نشان می‌دهند که بین FFC ضریب رطوبتی خاک و رطوبت با ذخیره خاک رابطه مستقیم و با عمق خاک هم رابطهٔ مستقیم و هر دو آنها با CN رابطهٔ معکوس دارند، یعنی هر چه عمق خاک زیادتر باشد، می‌تواند رطوبت خاک بیشتری را در خود ذخیره نماید ولی هرچه مقدار CN کمتر باشد، مقدار عمق خاک و ضریب رطوبتی رابطهٔ معکوس دارند. هر چه مقدار CN افزایش یابد، نشان می‌دهد که میزان رواناب سطحی افزایش می‌یابد. همان طوری که شکل ۲ نشان می‌دهد، در محدودهٔ نصف مقدار CN مقدار رطوبت افزایشی است، ولی به نظر می‌رسد که با زیاد شدن مقدار رطوبت خاک، مقدار CN افزایش یافته و رواناب سطحی نیز بیشتر می شود. که یک امر منطقی در هیدرولوژی است. این امر برای رابطه CN و FFC (شکل ۳) یکسان است که در واقع تأییدی بر عمل شکل (۲) می‌باشد. اما در شکل (۴) رابطه α با رطوبت خاک برعکس و همبستگی ضعیفی دارند. این حالت مشکوک به نظر می‌رسد و نیازمند به تحقیقات بیشتری است زیرا با افزایش سطح آب زیرزمینی قطعاً باید تأثیری در رطوبت خاک باشد، به ویژه به هنگام رویش گیاه و عمل پارامتر Tension از سطح آب زیرزمینی باید تأثیراتی را ملاحظه کرد. ولی در این حالت خاص ممکن است به واسطه کوهستانی بودن و فاصله زیاد سطح آب زیرزمینی با خاک سطح الارض و همین طور به واسطه اینکه جنس منطقه غیراشباع از سنگ و آن هم سنگ های آهکی هستند امکان عمل Tension فراهم نمی‌گردد. لذا نیازمند به بررسی بیشتری می‌باشد. با توجه به روابط ارائه شده و نتایج بدست آمده، تحلیلی بر نتایج انجام گردید که در شکل های(۱ الی ۴) ارائه شده است.



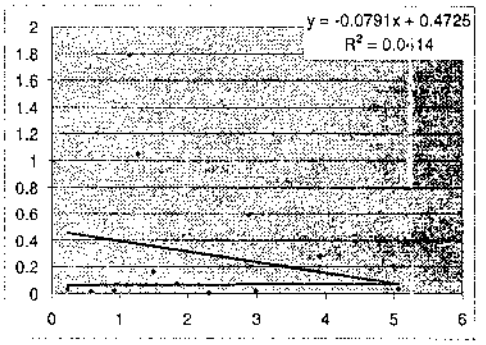
شکل(۱) رابطه عمق خاک و ضریب ذخیره اولیه آب در خاک



شکل(۲) رابطه عمق خاک و CN



شکل (۳) رابطه CN و FFC



شکل (۴) رابطه ضریب آب پایه آب زیرزمینیα با مقدار SW

منابع مورد استفاده

1- Arnold, J.G. 1992. Spatial Scale Variability in Model Development and parameterization. Ph.D Dissertation, Agricultural Engineering Department Purdue/University ,West

2- Arnold, J. G., J. R. Williams R. Serine Vasan, and K. W. King. 1996. SWAT, Soil and Water Assessment Tool. MSDA, Agriculture Research. Service.

3- Beasley. D. B. 1977. A math. metical model for simulating the effects of land-use & management on water quality. Ph.D. Thesis Purdue university.

4- Gholami, S. A. 1999. Distribution watershed modeling of a mountainous catchments. Ph. D. Thesis, Department of avail Engineering, I. I. T. D, university Dahlia India.

5- Koorevar, P., G. Manlike, and C. Dickson 1983. Elements of soil physics. Elsevier, Amsterdam, 228 pp.

6- Fabio, C R. I, Ignacio, and E. Dared, 1995. An analytical framework for the modeling of the spatial interaction between the soil moisture the atmosphere.

7- Parazak, J., M. Sir, and M Tsar. 1995. Parameters determining plant transpiration under condition of sufficient soil moisture. Journal of Hydrology, 425-431.