

مقدمه:

پدیده فرسایش و رسوب یکی از معضلاتی است که در حال حاضر بسیاری از کشورهای جهان با آن روبرو هستند. فرسایش خاک باعث فرسوده و شسته شدن تدریجی خاک شده و به مرور از ضخامت آن می‌کاهد، تا در نهایت از بین برود. خسارت ناشی از فرسایش خاک و از دست رفتن منابع غذایی، بالغ بر 7.2 میلیارد دلار در سال برآورد شده است.

در اکثر حوزه‌های آبخیز ایران، میزان فرسایش بیش از حد قابل قبول می‌باشد که از عواقب آن می‌توان به افزایش جاری شدن سیل، کم آبی ناشی از عدم تغذیه سفرهای آب زیرزمینی، کاهش سطح مراتع و جنگلها اشاره نمود. در سال های اخیر پیشرفت های زیادی در زمینه شناخت مفاهیم مختلف فرایند فرسایش خاک حاصل شده است و به دنبال آن، مدل های مختلف برآورد فرسایش و رسوب پا به عرصه وجود گذاشته است. به طور کلی مدل های فرسایشی به سه گروه تقسیم بندی می‌شوند:

1- مدل های جعبه خاکستری¹

2- مدل های جعبه سیاه²

3- مدل های جعبه سفید³

از مدل های جعبه خاکستری می‌توان به معادله جهانی تلفات خاک (USLE) اشاره نمود که امروزه به دلیل منطقه‌ای بودن و نیازمندی به داده‌های

فراوان و دراز مدت، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس کار مدل‌های جعبه سیاه برقراری ارتباط بین میزان تلفات خاک با عوامل موثر روی آن که از طریق مشاهده، اندازه‌گیری تجربی و تجزیه و تحلیل آماری بدست می‌آید می‌باشد. بررسی‌های اخیر نشان داده است که این روش چندان کارآیی ندارد، زیرا اطلاعات ما از فرآیند فرسایش و تاثیر متقابل عوامل موثر بر آن، مرتب در حال فزونی است.

مدل‌های جعبه سفید روش‌هایی مبتنی بر اصول فیزیکی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به مدل‌های ریاضی - فیزیکی¹ اشاره کرد. بدین ترتیب مدل‌های جعبه خاکستری جای خود را به جعبه سفید داده‌اند؛ به عبارت دیگر حل معادلات دیفرانسیلی جایگزین تجزیه و تحلیل آماری گردیده است.

مدل‌های شبیه‌سازی، توانمندترین ابزار تولید آمار در عرصه‌های علمی بخصوص در حوزه‌های آبخیز هستند. استفاده از این روش‌ها برای محاسبه رواناب راهکار دیگری برای متخصصین این امر است. نظام‌های پیچیده را باید به طوری ساده کرد که با سهولت بیشتری قابل درک باشند. پیشینه طولانی در زمینه استفاده از تفاسیر ساده شده از موقعیت‌های جهان واقعی وجود دارد که تحلیل راحت‌تر و راهی برای آزمایش کم‌هزینه‌تر را فراهم می‌سازد.

مدل، نمادی از واقعیت در مقیاس کوچکتر است. مدل مورد بحث یک مدل ریاضی است که برای توصیف مسئله رواناب مورد استفاده واقع شده است. ابتدا یک فرآیند را به صورت نکات اصلی و محوری خلاصه می‌کند که در واقع باز

نمود مسئله است و این مسئله را تجرید گویند که در واقع نوعی هنر است و مربوط به نوشتن برنامه مدل است .

بعد از تجرید، تحلیل مبتنی بر مبحث ریاضی استفاده می‌شود تا به تئوری‌ها یا نتایج ریاضی برسد. سپس نتایج به صورت استنتاج‌های فیزیکی در مورد جهان واقعی تفسیر مجدد می‌گردد که این عمل تا اندازه‌ای عکس فرایند تجرید است و نیاز به درک تخصصی مشابه‌ای از نظام و جهان واقعی دارد. نتایج فیزیکی که همان داده‌های شبیه‌سازی شده هستند که حاصل فرایند مدل «تطابق در خور» و معیار اعتبار مدل است (Dawdy, 1965; Boyd, 1981).

مبانی مدل SWAT

SWAT یک مدل پیوسته مفهومی-توزیعی است که ابتدا برای حوزه‌های بزرگ طراحی شده و بتدریج برای منظوره‌های مختلفی بسط داده شده است. سیستم مدل SWAT دارای سه پارامتر اصلی می‌باشد که عبارتند از: ورودی‌های مدل، خروجی‌های مدل و برنامه اصلی مدل.

اکنون مدل دارای برنامه‌های گسترده‌ای است که از نرم افزار GIS نظیر Arc-Info و Arc-View بمنظور تهیه اطلاعات رقومی از تصاویر ماهواره‌های و عکس‌های هوایی و نقشه‌ها استفاده می‌کند و از برنامه‌های پایگاه کمکی تصمیم‌گیری¹ (DSS) بمنظور Link اطلاعات و انتقال اطلاعات داده‌ها به برنامه‌های اصلی مدل استفاده می‌نماید (Arnold & Allen, 1996).

¹ - Decision Support System

مدل *SWAT* حاوی 9 پارامتر اصلی و حدود 22 پارامتر فرعی می‌باشد که شش پدیده هیدرولوژیکی و بیولوژیکی زیر را شبیه سازی می‌شود (*Arnold et al., 1990*)

1- دبی روزانه رودخانه (*daily stream flow*)

2- رسوب روزانه (*daily sediment yield*)

3- بیلان آبی ماهانه و سالانه (*water balance*)

4- کیفیت آب (*water pollutant*)

5- تولید محصولات زراعی

6- برآورد تولید پوشش گیاهی مرتعی با اعمال مدیریت سیستم‌های چرائی

دام.

این برنامه دارای 7 مولفه اصلی شامل هیدرولوژی، اقلیم، رسوب، حرارت خاک رویش، محصولات زراعی، کودپاشی و مدیریت اراضی می‌باشد که هر کدام یک زیربرنامه¹ از برنامه اصلی محسوب شوند و یک فایل کنترل به نام *File-cio* ورودی و خروجی برنامه را تنظیم می‌نماید. مدل مجهز به سیستم طبقه بندی داده‌ها *Data Base Management* است و نیز تهیه اطلاعات از خصوصیات فیزیکی حوزه نظیر اطلاعات خاک، توپوگرافی، زمین شناسی و... از طریق سیستم‌های *RS-GIS* می‌باشد همچنین انتقال داده‌ها از طریق برنامه به برنامه اصلی انجام می‌گیرد (*Arnold, 1996*).

¹ - subroutine

ساختمان مدل

ساختمان مدل از مجموعه معادلات و فرمول‌های تجربی ساخته شده است. بیش از 120 فرمول در این مدل کار گرفته شده و فرمول‌های مربوط به برآورد دبی، بخش از آنها را تشکیل می‌دهند و طی دو مرحله در مدل استفاده می‌شوند: الف) مرحله برآورد دبی ب) مرحله روندیابی (*Routing*) دبی در رودخانه. مدل به لحاظ فیزیکی بیشتر به تشکیل معادله‌های رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی پایه ریزی شده است. این مدل برای شبیه سازی وقایع روزانه، ماهانه و سالانه طراحی شده است و همچنین قادر است، وقایع لحظه‌ای را پیش بینی کند. مدل *SWAT* از طریق روندیابی سیل، سیلاب‌های لحظه‌ای را می‌تواند با دقت زیادی شبیه سازی کند.

ساختار مدل تا ارائه خروجی‌های نهایی شامل مراحل زیر است:

1. زیربرنامه‌ها ی مدل که در برگیرنده پارامترها و خصوصیات حوزه می‌باشد.
2. فایل‌های انتقال داده‌ها و اطلاعات که با *GIS* و *DSS* قابل اجرا هستند.
3. فرمان‌های مدل،
4. کنترل مدل،
5. تست حساسیت مدل،
6. واسنجی و اعتبارسنجی مدل،
7. تحلیل خروجی‌های مدل،
8. سناریوهای مدل،
9. خروجی‌های مدل.

شایان ذکر است که هر کدام از زیربرنامه‌های مدل *SWAT* براساس کاربرد معمول بنام مدل اسم گذاری شده اند. ساختمان مدل در ارتباط با شبیه سازی دبی روزانه و سایر پدیده‌های هیدرولوژیکی حوزه از طریق زیربرنامه‌هایی است که ذیلا تشریح می گردد (Srinivasan & Arnold, 1994):

مدل هیدرولوژی

این مدل هیدرولوژیکی روی معادله بیلان آبی پایه ریزی شده است.

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

که در آن:

SW : حجم آب موجود در خاک منهای حجم آب با فشار 15 بار یا ظرفیت آب خاک اولیه منهای ظرفیت آب نقطه پژمردگی دائمی که برای گیاهان، بر حسب میلیمتر موجود است،

SW_t : ظرفیت آب خاکها (mm)،

t : زمان بر حسب روز،

R : بارش روزانه (mm)

رواناب مدل دارای چرخه پیوسته آب با حوزه‌های مرکب که به زیرحوزه‌های با اختلاف برگشت چرخه‌ای مختلف برای تبخیر و تعرق خاک محصولات و غیره تقسیم می‌شوند. سپس رواناب جداگانه‌ای برای هر زیرحوزه پیش بینی و روندیابی شده و مجموع رواناب برای حوزه بدست می‌آید. این موضوع دقت توزیع فیزیکی چرخه آب را افزایش میدهد (Helvey, 1971).

مدل رواناب سطحی

این مدل، رواناب، حجم رواناب سطحی، ارتفاع رواناب حداکثر و مقادیر رواناب روزانه را شبیه‌سازی می‌کند. حجم رواناب بوسیله روش شماره منحنی SCS اصلاح شده، تخمین زده می‌شود (USDA-SCS, 1972) یک روش محاسباتی کارآمد است، ورودیهای مورد نیاز موجود است. رواناب را با نوع خاک کاربری اراضی و عملیات مدیریت مربوط می‌سازد. مخصوصاً این نوع استفاده راحت از داده‌های بارش روزانه موجود، استناد مهمی از روش شماره منحنی محسوب می‌شود.

دو روش برای محاسبه مقدار رواناب حداکثر وجود دارد. فرمول استدلالی اصلاح شده و روش TR-55 (USDA, SCS, 1986). یک اصل استوکاستیک¹ در معادله حسابی به شبیه‌سازی رواناب حداکثر امکان می‌دهد تا فقط بارش روزانه و شدت بارش ماهانه را بکار گیرد.

مدل حجم رواناب

حجم رواناب سطحی حاصل از بارش روزانه، توسط معادله شماره منحنی SCS پیش‌بینی می‌شود (USDA-SCS, 1972)

$$Q = \frac{(R - 0.2s)}{R + 0.8s} > R > 0.2s \quad (2)$$

که در آن:

s : پارامتر تلفات،

Q : ارتفاع رواناب (cm)

R : بارش روزانه (cm).

¹ - Stochastic

$$Q = 0.0 > R' = 0.2s \quad (3)$$

پارامتر تلفات S میان زیر حوزه‌ها تغییر می‌کند زیرا:

(a) خاکها، کاربری اراضی، مدیریت و شیب آنها تغییر می‌کند.

(b) در طول زمان، تغییراتی در حجم آب خاک‌ها ایجاد می‌شود پارامتر S به

CN مربوط می‌شود که بوسیله معادله SCS داریم (USDA-SCS, 1972).

$$s = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (4)$$

به خاطر عدد ثابت 254، مقدار S به میلی‌متر محاسبه می‌شود پس R, Q هم به میلی‌متر بیان می‌گردند. CN_2 شماره برای وضعیت مرطوب با CN متوسط است که می‌تواند به آسانی برای هر منطقه‌ای محاسبه شود. جداولی مقادیر آنرا در مدیریت خاک و کاربری اراضی را لحاظ می‌کند. بر فرض مثال مقادیر CN مذکور برای شیب 5٪ مناسب است معادله زیر برای محاسبه مقادیر شیب تنظیم شده است (USDA-SCS, 1972).

$$CN_{2s} = \frac{1}{3} (CN_3 - CN_2) [1 - 2 \exp(-1386 * S)] + CN_2 \quad (5)$$

که در آن:

CN_{2s} : مقادیر اصلاح شده CN_2 جداول مذکور برای شیب‌هاست،

CN_3 : شماره منحنی دارای شرایط رطوبتی 3 یا مرطوب است،

S : متوسط شیب برای حوزه است.

مقادیر CN_1 مقدار شماره منحنی برای شرایط رطوبتی خشک (1) است

و CN_3 مطابق با CN_2 بدست می‌آید. برای محاسبه اهداف و شرایط دیگر

CN_1, CN_3 با معادله‌ای با CN_2 در ارتباط هستند.

$$CN_{2x} = CN_2 - \frac{20(100CN_2)}{100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636(100 - CN_2)]}$$

$$CN_3 = CN_2 \exp[0.00673(100 - CN_2)] \quad (6)$$

تغییر (افزایش یا کاهش) در حجم آب خاک سبب می‌شود که پارامتر تلفات مطابق معادله زیر تغییر کند.

$$S = s_1 \left(1 - \frac{FFC}{FFC + \exp[w_1 - w_2(FFC)]} \right) \quad (7)$$

S_1 : مقداری از S هست که با CN_1 ، FFC ارتباط دارد که تحت تاثیر ظرفیت مزرعه‌ای و w_1 و w_2 پارامتر شکل هستند.

FFC با معادله زیر حساب می‌شود.

$$FFC = \frac{SW - WP}{FC - WP} \quad (8)$$

که در آن:

SW : حجم آب خاک در منطقه ریشه است.

WP : رطوبت در نقطه پژمردگی خاک است که برای بیشتر خاکها 500

کیلو پاسکال می‌باشد،

FC : ظرفیت مزرعه‌ای خاک است،

مقادیر w_1 و w_2 (پارامترهای مفروض) مطابق با این فرض که $S=S_2$ زمانی

که $FFC=0.6$ و $S=S_3$ زمانی که $(SW-FC)/(PO-FC)=0.5$ است،

بدست می‌آید.

$$w_1 = \ln \left(\frac{60}{1 - \frac{s_2}{s_1}} - 60 \right) + 60.w_2 \quad (9)$$

$$w_2 = \frac{\ln \left(\frac{60}{1 - \frac{s_2}{s_1}} - 60 \right) - \ln \left(\frac{POFC}{1 - \frac{s_2}{s_1}} - POFC \right)}{POFC - 60} \quad (10)$$

که در آن:

S_3 : پارامتر تلفات CN_3 است.

خلل و فرج ظرفیت مزرعه‌ای $POFC$ با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$POFC = 100 + 50 \left(\frac{\sum_{t=1}^M (PO_t - FC_t)}{\sum_{t=1}^M (FC_t - WP_t)} \right) \quad (11)$$

که در آن:

PO : خلل و فرج لایه اول خاک است.

$SWAT$ حجم آب در هر لایه خاک به طور روزانه تخمین می‌زند پس توزیع عمق خاک موجود است این اثر توزیع عمق روی رواناب و با توابع وزنی عمق بیان می‌گردد.

$$FFC^* = \frac{\sum_{t=1}^M FFC_t \frac{Z_t - Z_{t=1}}{Z_t}}{\sum_{t=1}^M \frac{Z_t - Z_{t=1}}{Z_t}} Z_{t < 1.0m} \quad (12)$$

که در آن:

FFC^* : مقدار وزنی عمق FFC است،

Z : عمق (m) تا کف لایه‌ای خاک است،

1 و m : شماره لایه‌های خاک هستند. همچنین تخمین رواناب خاک یخ زده را مقدور می‌سازد. اگر دمای لایه دوم خاک کمتر از صفر درجه سانتیگراد باشد پارامتر تلفات با محاسبه معادله زیر کم خواهد شد:

$$SF = 0.1s \quad (13)$$

که در آن:

SF : پارامتر تلفات برای زمین یخ زده است.

مدل رواناب اوج

مدل SWAT، 2 روش برای تخمین حداکثر رواناب در نظر می‌گیرد فرمول استدلالی اصلاح شده و روش TR-55 (USDA-SCS, 1988)

روش استدلالی

این معادله می‌تواند به فرم مقابل نوشته شود.

$$q_p = \frac{(p)(r)(A)}{360} \quad (14)$$

q_p : رواناب حداکثر است (m^3/s)،

p : ضریب رواناب است که با توجه به مشخصات نفوذ پذیری حوزه بیان می‌گردد،

r : شدت بارش است (mm/hr) برای زمان تمرکز بارش،

A : سطح حوزه به ha است (Hershfield, 1961).

$$p = \frac{Q}{R} \quad (15)$$

$$r = \frac{R_{tc}}{t_c} \quad (16)$$

Q با معادله CN بدست می‌آید.

R_{tc} : بارش در زمان تمرکز

t_c : زمان تمرکز

$$R_{tc} = aR \quad Q = p.R \quad (17)$$

پس معادله رواناب حداکثر از فرمول زیر بدست می‌آید

$$q_p = \frac{(p)(r)(A)}{360} \quad (18)$$

روش TR-55

در این روش برای تخمین رواناب حداکثر، جزئیات تشریح شده است. رواناب حداکثر به توزیع بارش، مقدار بارش، شماره منحنی رواناب و زمان تمرکز بستگی دارد و با معادله زیر تشریح شده است (USDA-SCS, 1988).

$$q_p = (q_p^*)(R) \quad (19)$$

که در آن:

q_p : نرخ پیک (mm/m)

q_p^* : نرخ پیک هر واحد از بارش ($mm/hr.mm$)

R : برای بارش رگبار (mm)

مدل جریانهای زیر سطحی تاخیری

مدل ذخیره جنبشی بوسیله Sloan (1983) و همکاران توسعه داده شد. این فرایند از معادله پیوستگی از پروفیل داخلی خاک استفاده می کند. معادله پیوستگی در اختلاف متناهی برای مدل ذخیره جنبشی به صورت زیر است:

$$\frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = iL - \frac{q_{lat1} + q_{lat2}}{2} \quad (20)$$

که در آن:

K : حجم قابل زهکش از آب ذخیره شده در منطقه اشباع (m/m),

t : زمان بر حسب ساعت،

q_{lat} : مقدار آب ورودی به منطقه اشباع (m^2/hr)

L : طول شیب تپه (توده) (m)

ضخامت های نرمال تپه های شیب دار اشباع شده، (H_0) است که برابر:

$$H_0 = \frac{2s}{\theta_a L} \quad (21)$$

که در آن:

O_d : خلل فرج با قابلیت زهکشی خاک است.

K : حجم زهکشی آب ذخیره شده هست که در مدل حوزه به صورت روزانه می باشد.

جریان تاخیری در خروجی های تپه های شیب دار، بوسیله معادله زیر بدست می آید:

$$q_{lat} = H_0 v w \quad (22)$$

که در آن:

v : سرعت جریان خروجی است

w : عرض تپه های شیب دار است.

سرعت در خروجی با فرمول زیر تخمین زده می شود:

$$v = K_s \sin(\alpha) \quad (23)$$

که در آن:

K_s : هدایت اشباع است

با ترکیب این سه معادله زیر خواهیم داشت:

$$q_{lat} = 0.024 \frac{2sK_s \sin(\alpha)}{O_d L} \quad (24)$$

که در آن:

S : بر حسب (m/hr) و q_{lat} بر حسب (mm/d) .

α : بر حسب (m/m)

O_d : بر حسب m/m و L بر حسب (m)

اگر منطقه اشباع در ناحیه خاک بالا بیاید، آب در لایه‌های بالایی جاری می‌گردد. مقدار جریان فوقانی از K_s و طول شیب اشباع با معادله زیر بدست می‌آید (Sloan et al., 1983).

$$q_{sat} = \frac{24K_s L_s}{L} \quad (25)$$

که در آن:

L_s : طول شیب اشباعی

q_{sat} : جریان فوقانی به mm/d

مدل تبخیر و تعرق

مدل سه روش برای پیش بینی تبخیر و تعرق پتانسیل عرضه می‌کند. پنمن-مونتیس¹ (1965)، سامانی-هارگریوز² (1985) پریستلی-تایلور³ (1972). روش پنمن-مونتیس به تشعشع خورشیدی و دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی نیاز دارد. روش پریستلی-تایلور به تشعشع خورشیدی و دمای هوا به عنوان ورودی نیاز دارد در حالی که روش هارگریوز فقط به دمای هوا نیاز دارد.

مدل، تبخیر را جداگانه از گیاهان و خاک حساب می‌کند که بوسیله رایتچی (1972) تشریح گردید. تبخیر پتانسیل آب خاک در تابع تبخیر پتانسیل و شاخص سطح برگ، پیش بینی می‌شود (LAI سطح برگ گیاهان با سطح خاک ارتباط دارد). تبخیر آب گیاهان تابع خطی تبخیر پتانسیل و شاخص سطح برگ شبیه سازی می‌شود.

¹ - Penman-Montieth

² - Samani-Hargreaves

³ - Priestly- Taylor

روش تبخیر پتانسیل پنمن-مانتیس

روش پنمن مانتیس (1965) به مدل *SWAT* اضافه شده (Montiese, 1965) تا به عنوان یک وسیله برای تخمین اثرات تغییرات CO_2 به کار رود (Stockle et al., 1992). معاله پنمن-مانتیس به صورت زیر بیان می شود:

$$E_a = \frac{\delta(h_a - G) + 86.7AD(e_a - e_d)}{\frac{AR}{(HV)(\delta + \gamma)}} \quad (26)$$

و

$$E_p = \frac{\delta(h_a - G) + 86.7AD(e_a - e_d)}{HV \left(\delta + \gamma \left(1 + \frac{CR}{AR} \gamma \right) \right)} \quad (27)$$

که در آنها:

h_a : تشعشع شبکه (mj/m^2),

δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع (Kpa/c),

G : جریان حرارت خاک (mj/m^2)

e_a : فشار بخار اشباع در دمای متوسط هوا kpa ,

e_d : فشار بخار در دمای متوسط هوا Kpa

HV : حرارت بخار

γ : ثابت سایکرومتر (Kpa/c)

AD : تراکم هوا (gr/m^3),

AR : مقاومت آیرودینامیکی انتقال بخار و حرارت (s/m)

CR : مقاومت کانوپی برای انتقال بخار (s/m) است.

تراکم هوا بامعادله زیر تخمین زده می شود:

$$AD = \frac{0.01276PB}{1 + 0.0367T} \quad (28)$$

که در آن:

PB : فشار هوا سنجی است Kpa

T : دمای متوسط روزانه ($^{\circ}c$)

مقاومت آیرودینامیکی با معادله زیر حساب می گردد.

$$AR = \frac{6.25 \left(\ln \left(\frac{10 - ZD}{ZO} \right) \right)^2}{V} \quad (29)$$

که در آن:

ZD : ارتفاع جابجاسازی محصول (m) است،

پارامتر ZO : زبری سطح (m)،

V سرعت متوسط باد روزانه (m/s) است.

زبری سطح با معادله زیر تخمین زده می شود

$$ZO = 0.131CHT^{0.997} \quad (30)$$

و ارتفاع جابجا شده محصول با هوا در معادله زیر پیش بینی می گردد:

$$ZD = 0.702CHT^{0.979} \quad (31)$$

که در آنها:

CHT : ارتفاع محصول (m) است زمانی که هیچ محصول در حال رشد

نیست مقاومت آیرودینامیکی با معادله زیر پیش بینی می گردد.

$$AR = \frac{350}{V} \quad (32)$$

مقاومت کانوپی با معادله زیر محاسبه می گردد:

$$CR = \frac{P_1}{(LAI)(g_0)(1.4 - 0.00121Co_2)} \quad (33)$$

که در آنها:

P_1 : پارامتری که با محدوده بین 1 تا 2 تغییر می کند،

LAI : شاخص سطح برگ محصول است.

g_0 : هدایت برگها (m/s) است،

CO_2 : سطح دی اکسید کربن در اتمسفر است (ppm). شاخص هدایت برگ

از روی محصول برای کسر فشار بخار اصلاح می شود.

$$\dot{g}_0 = (g_0)(FV) \quad (34)$$

که در آن:

g_0 : مقاومت برگ محصول است زمانی که VPD_T کمتر از آستانه VPD

محصول است،

FV : فاکتور اصلاح VDP است.

$$FV = 1 - b\tau(VPD - VPD_t) \geq 0.1 \quad (35)$$

که در آن:

$b\tau$: ضریب محصول است،

VPD_t آستانه VPD برای محصول است.

روش پرستلی-تیلر¹ (1972)

این روش تبخیر پتانسیل را فقط بر پایه دما و تشعش پیش بینی می کند:

$$E_0 = 1.28 \left(\frac{h_0}{HV} \right) \left(\frac{\delta}{\delta + \gamma} \right) \quad (36)$$

که در آن:

E_0 : تبخیر پتانسیل به mm است،

δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع ($Kpa/^\circ c$).

¹ - Priestly-taylor

γ : ثابت سایکرومتر ($Kpa/^{\circ}c$)،

h_0 : تشعشع شبکه (خالص) (mj/m^2)

HV : حرارت بخار (mj/mg)

تابع حرارت به صورت زیر حساب می‌گردد.

$$HV = 2.50 - 0.0022T \quad (37)$$

که در آن:

T : دمای متوسط روزانه ($^{\circ}c$)،

فشار بخار اشباع تابعی از حرارت بود و با معادله زیر حساب می‌گردد:

$$E_0 = 0.1 \exp \left(54.88 - 5.03 \ln(T + 273) - \frac{6791}{T + 273} \right) \quad (38)$$

شیب منحنی فشار بخار اشباع با معادله زیر حساب می‌گردد:

$$\delta = \left(\frac{e_0}{T + 273} \right) \left(\frac{6791}{T + 273} - 5.03 \right) \quad (39)$$

ثابت سایکرومتر با معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$\gamma = 6.610^{-4} PB \quad (40)$$

که در آن:

PB : فشار هوا سنجی (Kpa)

فشار هوا سنجی که تابعی از ارتفاع است با معادله زیر حساب می‌گردد:

$$PB = 101 - 0.0115ELEV + 5.4410^{-7} ELEV^2 \quad (41)$$

که در آن:

$ELEV$: ارتفاع محل است (m)

حداکثر تشعشع خورشیدی ممکن است با معادله زیر حساب می‌گردد:

$$RAMX = 30 \left(1.0 + 0.0335 \sin \left[\frac{2\pi}{360} (i + 88.2) \right] \right) \quad (42)$$

$$\dots \left[XT \sin\left(\frac{2\pi}{360} LAT\right) \sin(SD) + \cos\left(\frac{2\pi}{360} LAT\right) \cos(SD) \sin(XT) \right] \quad (3)$$

$$XT = \cos^{-1} \left(-\tan\left(\frac{2\pi}{360} LAT\right) \tan(SD) \right), 0 < XT \quad (44)$$

که در آنها:

LAT : عرض جغرافیایی محل به درجه است،

SD : زاویه انحراف خورشیدی (رادیان)،

i : روزهای سال است. زاویه انحراف خورشیدی با معادله زیر حساب

می‌گردد:

$$SD_i = 0.4102 \sin\left[\frac{2\pi}{360}(i - 80.25)\right] \quad (45)$$

تشعشع خالص با معادله زیر حساب می‌گردد:

$$hr = RA_i(1 - AB_i) \quad (46)$$

که در آن:

RA : تشعشع خورشیدی (mj/m^2)

AB : آلبدو است.

روش سامانی وهارگریوز¹ (1985)

این روش تبخیر و تعرق پتانسیل را از تابع تشعشع و دمای هوا حساب میکند. روش هارگریوز برای استفاده از $SWAT$ بوسیله افزایش نمایی اختلاف دما بین 0.5 تا 0.6 اصلاح شده بود و نیز تشعشع خارج الارضی بوسیله $RAM X$ (حداکثر تشعشع خورشیدی ممکن در سطح زمین) جابجا شده بود که این ضریب بین 0.0023 تا 0.0032 برای تبدیل صحیح، تغییر میکند.

¹ -Samani-Hargreaves

معادله اصلاح شده به فرم:

$$E_0 = 0.0032 \left(\frac{RAMX}{HW} \right) (T + 17.8) (T_{max} - T_{min})^6 \quad (47)$$

هر دو روش آلبدو را با لحاظ پوشش برف محصول و خاک حساب می کنند. اگر پوشش برف $5mm$ باشد یا حجم آب بیشتر، مقدار آلبدو 0.6 می باشد. اگر پوشش برف کمتر از $5mm$ باشد و هیچ محصولی در خاک رشد نکند آلبدو خاک مقدار مناسبی است. زمانی که محصولات رشدی می کنند، آلبدو با معادله زیر تعیین می شود:

$$AB = 0.23(1.0 - EA) + (AB_s)(EA) \quad (48)$$

که در آن:

0.23 : آلبدوی گیاهان است،

AB_s : آلبدو خاک است،

EA : شاخص پوشش خاک مقدار EA بین $0-1$ تغییر میکند، که طبق معادله

زیر می باشد:

$$EA = \exp(0.02CV) \quad (49)$$

که در آن:

CV : مجموع وزن خشک محصولات (t/ha).

مدل جریان آب زیرزمینی

زیربرنامه مهم دیگر در ساختمان مدل، مدل آب زیرزمینی بود، که تغییرات مدیریت را برای تهیه مجموع آب، پیش بینی می کند. این مدل عمدتاً در اراضی زراعی، برای بدست آوردن ورودیهایی که حصول آنها آسان نیست، استفاده

می‌شود. پس ساختار آب زیرزمینی می‌بایست این ورودیها را به سهولت استفاده کند (Arnold, Allen, 1993)

سیستم هیدرولوژیکی برای SWAT شامل چهار لایه کنترل در شبیه سازی می‌باشد که عبارت از لایه پروفیل خاک یا منطقه ریشه، لایه سفره‌های کم عمق و لایه سفره‌های عمیق می‌باشد. حرکت‌های جریان در این لایه‌ها، رواناب سطحی، جریان تاخیری پروفیل خاک و جریان برگشتی از سفره‌های عمیق هستند. نفوذ آب در پروفیل خاک برای پرکردن سفره‌های کم عمق فرض شده است. به محض نفوذ آب به سفره عمیق، سیستم شبیه‌ساز آن را تلف شده تلقی کرده و نمی‌تواند برگرداند (Moore & Clarke, 1993). چرخه آب برای سفره‌های کم عمق به صورت:

$$V_{sq} = V_{sqt=l} + RC - revap - q_{rf} - perc_{gw} - WU_{SA} \quad (50)$$

که در آن:

V_{sq} : برگشت جریان آب از سطح الارض به عمق

$revap$: برگشت جریان آب از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک است،

q_{rf} : جریان برگشتی

$Perc_{gw}$: نفوذ به سفره‌های عمیق،

WU_{SA} : استفاده مجدد آب از سفره‌های کم عمق

i : روز

Smedema و Rycroft (1983) از اثر مراحل مطالعه جریان ناپیوسته

جریان زیرزمینی برای پیش‌بینی برگشت مجدد جریان به آب زیرزمینی سفره‌ها، از

فرمولی با مراحل پیوسته زیر استفاده کردند:

$$q = \frac{8kd}{L^2}h \quad (51)$$

که در آن:

q : جریان برگشتی

k : هدایت هیدرولیکی

L : فاصله زهکشی،

h : ارتفاع سفره آب.

با فرض اینکه آب زیرزمینی (سفره‌های کم عمق) بوسیله تراوش کانال‌های جریان، مخازن یا پروفیل خاک (بارش یا آبیاری) دوباره پر می‌شود، و یا برگشت جریان به داخل رودخانه جریان می‌یابد، تغییر (کم یا زیاد شدن) اب با معادله زیر محاسبه می‌شود (Smedema & Pycroft, 1985)

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Rc - q}{0.8\mu} \quad (52)$$

که در آن:

RC : مقدار پر شدن دوباره سفره‌های کم عمق

μ : بازدهی ویژه

تغییر در جریان برگشتی در واحد زمان با مقدار تغییر ارتفاع سفره آب ارتباطی دارد. این بازدهی با معادله زیر حساب می‌گردد:

$$\frac{dq}{dt} = 10 \frac{Kd}{\mu L_2} (Rc - q) = \alpha (Rc - q) \quad (53)$$

که در آن:

d : ثابت تناسب یا فاکتور واکنش است. بدست آوردن و ساختن معادله و

حل آن برای q عبارتست از:

$$qi = qi = 1e^{-\alpha t} + Rc(1.0 - e^{-\alpha t}) \quad (54)$$

روابط ارتفاع سفره آب از ترکیب چهار معادله فوق گرفته شده است.

$$h_i = h_i = Ie^{-\alpha t} + \frac{Rc}{0.8\mu\alpha} (1.0 - e^{-\alpha t}) \quad (55)$$

Sangrey و همکاران (1984) معادله برای محاسبه زمان تاخیری برای جریان برگشتی در مدل اثر آب زیرزمینی-بارش استفاده کردند. آنها تابع زیر را استفاده کردند که بوسیله Venetis (1969) پیشنهاد شده بود:

$$Rc = (1.0 - e^{(-1.08)})Rc_t + e^{-1.08}Rc_{t=1} \quad (56)$$

که در آن:

δ : زمان تاخیر یا زمان زهکشی سفره است این معادله فقط بر جریان برگشتی موثر خواهد بود نه کل حجم (Sanger, 1984)

Revap آبی است که از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک منتقل می‌شود و به اتمسفر برمی‌گردد که به صورت تبخیر از خاک یا آبیگری ریشه گیاهان می‌باشد. این حجم بوسیله معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$revap = \beta_r ET_{act} revap > revap_{st} \quad (57)$$

$$revap = 0.0 \text{ if } revap < revap_{st} \quad (58)$$

که در آن:

Et_{act} : تبخیر تعرق واقعی است که در پروفیل خاک اتفاق می‌افتد، β : ضریب $revap$ ، $st revap$ ذخیره $revap$ است. جریان $revap$ مستقیماً به بیلان آبی پروفیل خاک منتقل نمی‌شود اما $revap$ ذخیره می‌گردد. جریان برگشتی اتفاق نمی‌افتد، تا اینکه ذخیره $revap$ تلافی شود (Hill, 1990)

بیلان آب برای سفره‌های عمیق به صورت زیر است:

$$Vda = vda_{t-1} + perc_{gw} - WU_{da} \quad (59)$$

که در آن:

Vda : ذخیره سفره عمیق است،

$Perc_{gw}$: نفوذ آب به سفره عمیق است،

WU_{da} : استفاده (برداشت آب) از سفره‌های عمیق است.

مقدار نفوذ از سفره‌های کم عمق (دوباره پرشدن سفره‌های عمیق با جریان

عمقی) به صورت زیر است:

$$perc_{gw} = \beta R_c \quad (60)$$

B_p : ضریب نفوذ است.

مدل ذوب برف

در شرایطی که برف داشته باشیم، اگر گرمای لایه دوم خاک بیش از صفر درجه شود ممکن است در این مواقع، ذوب گردد. برف طبق تابع دمای پیک برف با استفاده از مدل زیر ذوب می‌شود (Srinivasan et al., 1985)

$$SML = T(1.52 + 0.54SPT) \quad (61)$$

$$0 < SML < SNO$$

که در آن:

SML : میزان ذوب برف است (mm/d)،

SNO : برف فعلی معادل آب (mm)،

T : دمای متوسط روزانه هوا به سانتیگراد است،

SPT دمای پیک برف به سانتیگراد است. دمای پیک برف با معادله زیر

تخمین زده می‌شود (Bengtsson & Westerstorm, 1992):

$$SPT = \min(T_s T(2)) \quad (62)$$

که در آن:

TS : دمای بالای ارتفاع برف است،

$T(2)$: دمای مرکز لایه دوم برف است. برف ذوب شده به عنوان مقداری بارش موقع محاسبه حجم رواناب و نفوذ منظور می‌شود، اما گرمای بارش را برای آن صفر در نظر می‌گیرند و مقدار اوج رواناب با فرض یکنواختی توزیع بارش در طول 24 ساعت حساب می‌گردد (Price, 1988)

مدل مدیریت آب

در مدیریت آب زراعی، عملیات آبیاری از مواردی است که توسط *SWAT* شبیه سازی می‌گردد. این عملیات ممکن است برای چرخه آب شبیه سازی گردد ولی در این تحقیق، پارامتر تاثیر گذار نبود.

آب مورد استفاده در زراعت

شبیه سازی استفاده آب، برداشت متوسط روزانه برای هر ماه، ورودی برای هر زیرحوزه می‌باشد. پس گیری می‌تواند برای کانال (آبراهه)، نگهداشت آب، سفره‌های کم عمق و سفره‌های عمق ایجاد شود مدل هر روز پس گیری معینی را از منبع مناسب کم می‌کنند البته اگر آب موجود باشد (Arnold & 1992, Stockel).

$$\begin{aligned} Vc_i &= vc_i - WU_{c.mo} \\ Vi_i &= vi_i - WU_{i.mo} \\ Vsa_i &= vsa_i - WU_{sa.mo} \\ Vda_i &= vda_i - WU_{da.mo} \end{aligned} \quad (63)$$

که در آن:

V_c : حجم آب کانال

V_i : حجم آب چاله‌ها و مخازن نگهداشت

V_{sa} : حجم آب سفره‌های کم عمق،

V_{da} حجم آب سفره‌های عمیق (m^3 در روز) است،

WU: متوسط پس گیری روزانه در هر ماه است
(*mo*) زمانی که آب پس گیری می شود دیگر به سیستم بر نمی گردد
(*Srinivasan et al., 1994*).

تعیین محل های ذخیره چاله ای

سه روش برای تعیین محل ماندابها وجود دارد. دو روش برای زیرحوزهها بکار می رود و یک روش دیگر خاص شبکه خاص روندیابی است. روش اول برای ماندابهای کوچک داخل در حوزه های بزرگ است. (چاله ها، مردابها و مخازن کوچک) ماندابهای کوچک متعدد می توانند روی هم برای ورود مجموع زهکشی داخل زیرحوزه حساب شوند که برای ماندابها، مجموع حجم ها و سطوح شرکت می کنند. این ماندابها روی رودهای فرعی تعیین محل می شوند. روندیابی اصلی امتدادهای جریان برخلاف جریان زیرحوزه است و داخل این چاله ها جریان نمی یابد. روش دوم شبیه سازی مخزن در روندیابی اصلی امتداد زیرحوزه، همه جریان عبوری توسط جریانهای زیرحوزه داخل مخزن است روش سوم قابلیت انعطاف بیشتری دارد و تعیین محل ویژه در شکل روندیابی است. این روش به هر کدام یا همه هیدروگراف ها این امکان را می دهد که با لحاظ مانداب، روندیابی شوند. این روش معمولاً حداکثر با 18 مانداب انجام شده، که می تواند در مدل *SWAT* شبیه سازی شود (*Arnold, 1992*).

واحدهای اثر هیدرولوژیک

در بیشتر حالات، شبیه سازی ها در هر نوع مزرعه یا اراضی در حوزه آبخیز یا حوزه رودخانه مقدور یا آسان نیست. اغلب داده ها ممکن است برای قسمتی از ناحیه یا خاکهای خاص داخل زیر حوزه روی محل های خاصشان، موجود باشند.

در این حالات تعیین محل ویژه عرصه‌های خاص و نقشه‌های خاک موجود هست، ولی مقتضی پروژه‌های اضطراری، هر عرصه نمی تواند تک تک شبیه سازی گردد و بایستی با هم حساب گردند.

این حالات می تواند در *SWAT* با استفاده از مفهومی به نام «واحدهای اثر هیدرولوژیکی» *HRUs* شبیه سازی در زیر حوزه‌های شامل توپوگرافی تعریف شده، همین طور در زیر حوزه‌ها تعریف می شوند. *HRUs* متعدد داخل این زیرحوزه‌ها می توانند تعریف شوند. ورودیهای مدل شامل اقلیم، خاکها، آب زیرزمینی و مدیریت برای هر *HRU* نیاز می باشد، تعادل آب خاک، رشد محصولات، چرخه مواد غذایی، مدیریت و غیره برای هر *HRU* شبیه سازی می شود. ترکیبات چرخه آب شامل بازدهی آب برای زیرحوزه‌ها به صورت وزنی هستند. اما زمانی که مقدار دبی اوج (q_p) لازم برای محاسبه، داده‌های توپوگرافیکی (طول و شیب زمین و کانال) حوزه برای تخمین زمان تمرکز استفاده می شود برای تخمین رسوب دهی رویکرد وزنی، از رابطه زیر استفاده می شود (Cilolkosz et al., 1995).

$$Y_{sub} = 11.8 \left(V_{q_p} \right)^{0.56} \left(\frac{\sum_{i=1}^{hru} (k_i)(C_i)(PE_i)(S_i)(A_i)}{DA_{su}} \right) \quad (64)$$

که در آن:

i: نشاندهنده *HRU* است

SUB: نشان دهنده زیرحوزه است.

hru مجموع شماره‌های *HRU* داخل زیر حوزه است این رویکرد برای زیرحوزه امکان می‌دهد تا به زیربخش‌های زیادی متناسب با خاک، کاربری اراضی و مدیریت تقسیم گردند در حالی که نگهداشت توپوگرافی زیر حوزه تعریف می‌شود که این رویکرد می‌تواند جزئیات خاص قابل ملاحظه‌ای روی حوزه‌های آبخیز بزرگ بدون شبیه سازی تک تک عرصه‌ها ایجاد کند.

مدل اقلیم

متغیرهای مورد نیاز برای اجرای *SWAT*، بارش، دمای هوا، تشعشع خورشیدی سرعت باد و رطوبت نسبی است. اگر بارش، دمای حداکثر و حداقل روزانه مشاهده شده موجود باشند، آنها می‌توانند، به عنوان ورودیهای مستقیم *SWAT* استفاده شوند. اگر پارامترهای مذکور اقلیم برای مدل موجود نباشد، مدل می‌تواند دما و بارش روزانه را شبیه سازی کند. تشعشع خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی روزانه همیشه شبیه سازی می‌شوند (Kuchment 1980؛ Arnold et al, 1996)

مدل ساختار روند یابی

مدل قادر به روندیابی سیل، روندیابی رسوبات مانده در چاله‌های حوزه و روند یابی چاله‌ها و مخازن سطح حوزه است که در این تحقیق روندیابی سیل بحث میشود.

روندیابی سیل در کانال‌ها

پیگیری عملیات روندیابی در گام‌های زمان روزانه به تکرار نیاز دارد. مدل به اندازه کافی قادر برای شبیه سازیهای درازمدت (ساله 50-100) در حوزه‌های بزرگ است. همچنین جزئیات داده‌های جریان متقاطع حذف شده است. داده‌های

ورودی کانالها شامل طول امتداد کانال، شیب کانال، عمق کانال، عرض بالای کانال، شیب کناری کانال، شیب دشت سیلابی، ضریب مانینگ کانال n و شیب دشت سیلابی می باشد. مقدار جریان و سرعت متوسط بوسیله معادله مانینگ محاسبه می شود. زمان طی شده بوسیله تقسیم طول کانال توسط سرعت محاسبه می گردد. این محاسبات برای تمام عمق کانال و عمق طی شده در $0/1$ زمان، کامل انجام گیرد که به زمان پیمایش جریانی مربوط است، که از روابط غیرخطی بدست می آید (Williams et al., 1985)

$$TT = x_1 q_r^{x_2} \quad (65)$$

که در آن:

TT : بر حسب ساعت (زمان پیمایش)؛

q_r : مقدار جریان (m^3/hr)

x_1, x_2 پارامترهای متغیر در هر امتداد زمانی که جریان در کانال وجود دارد. این فرایند برای عمق کامل تکرار می گردد. زمانی که جریان در کل عمق کانال جاری باشد در طول روندیابی، رابطه به شکل زیر می شود

$$TT = x_3 q_r^{x_4} \quad (66)$$

که در آن:

x_3, x_4 پارامترهای متغیرهای هر امتداد زمانی که جریان بیش از جریان کل کانال باشد.

ضریب ذخیره SC : با استفاده از معادلات زیر بدست می آید
(Williams & Hann 1973):

$$SC = \frac{48}{2TT + 24} \quad (67)$$

جریان خروجی امتداد بوسیله معادله زیر تغییر داده می شود:

$$O_i = SC(I_i + S_{i-1}) \quad (68)$$

که در آن:

Q : جریان خروجی است (m^3)

I : جریان ورودی (m^3)

$S_{i=1}$: ذخیره در هر امتداد در روز (m^3) است. جریان خروجی برای افت‌های انتقال، تبخیر، انحراف برگشت جریان تنظیم و اصلاح می‌گردد. ذخیره در هر امتداد توسط معادله بیلان محاسبه می‌گردد.

$$S_i = S_{i-1} + I_i - O_i - TL - EV + dv + rt \quad (69)$$

که در آن:

TL : افت انتقال کانال (m^3)

EV : تبخیر (m^3)،

rv : انحراف (m^3)

rt : برگشت جریان (m^3) می‌باشد.

مدل روندیابی ماندابی

این زیر برنامه *SWAT* برای محاسبه اثرات مخازن، چاله‌های (گودیه‌های) زراعی و مردابها روی بازدهی آب طراحی شده بود. روابطی که برای محاسبه تبخیر و تراوش استفاده می‌شوند، برای هر سه نوع مانداب یکسان است (Begnold, 1977).

معادله بیلان آب:

$$VM = VM_o + QI - QO - EV - SEP \quad (70)$$

که در آن:

VMO: حجم آب ذخیره در همه ماندابهای داخل زیرحوزه در شروع روز،

VM: حجم آب در پایان روز،

QI: جریان ورودی در طول روز،

QO: جریان خروجی،

EV: تبخیر

SEP: تراوش که همه واحدها به مترمکعب است.

OI در رواناب سطحی از مجموع ماندابهای سطح زهکشی تشکیل شده به

اضافه بارش روی سطح آب سطحی می‌باشد. تبخیر با معادله زیر محاسبه می‌شود

(Doorenbos & Kassaman, 1979).

$$EV = 10(\eta)(E_0)(SA) \quad (71)$$

که در آن:

η : ضریب تبخیر است (0.6)،

SA: سطح ناحیه ماندابهاست.

تراوش از ماندابها از معادله زیر به دست می‌آید:

$$SEP = 240(SC)(SA) \quad (72)$$

که در آن:

SC: هدایت اشباع کف مانداب است (mm/hr)

سطح ناحیه ماندابها برای محاسبه تبخیر و تراوشی نیاز می‌شود، رابطه بین سطح

و حجم مانداب نیاز است، داده‌ها برای ماندابهای موجود و مخازن کوچک در

تگزاس و آکلاهما (*USDA-SCS, 1957*) نشان می‌دهد که سطح ناحیه

می‌توان با معادله زیر حساب گردد:

$$SA = \omega_1 (VM)^{\omega_2} \quad (73)$$

که در آن:

w_1 : پارامتر 1.3×10^{-4} است

w_2 : پارامتر نسبتاً ثابت (0/9) است مدل SWAT

$w_2 = 0.9$ را فرض می‌کند و w_1 برای هر زیر حوزه با استفاده از SA_{mx} و

Vm_{mt} تعیین می‌کند (Lane, 1982; Hargreaves, 1985).

برای مخازن بزرگ، این روش‌ها برای تخمین w_1 و w_2 اندکی متفاوت است.

از سطح و حجم ناحیه برای آبراهه‌های ارتفاع بالادست اصلی و اضطراری برای

شبیه‌سازی حل معادلات بالا استفاده می‌شود، در نتیجه معادلات،

$$\varpi_1 = \frac{\log SA_F - \log SA_S}{\log VR_F - \log VR_S} \quad (74)$$

$$\varpi_2 = \frac{SA_F}{VR^{\varpi_2}} \quad (75)$$

که در آن:

SA سطح مخزن ناحیه است، اندیس‌های S, F به ترتیب به آبراهه‌های

ارتفاعات بالادست اضطراری و اصلی برمی‌گردد، اگرچه این روابط برای پیش

بینی تبخیر و تراوش استفاده می‌شوند. برای همین مانداب و گودال‌ها، یکسان

هستند، روش‌ها برای تعیین خروجی به طور ملحوظ تغییر می‌کنند. مردابها ممکن

است خروجی نداشته باشند. استخرهای ذخیره آب کشاورزی فقط پارامتر ذخیره

استخر آب دارند، در حالی که مخازن کوچک کنترل سیل قسمت‌های سطح و

حجم آبراهه‌ای اضطراری و اصلی را دارند (Monsi & Saeki, 1953).

برای استخرهای کشاورزی، خروجی جریان زمانی اتفاق می‌افتد که حجم به

ظرفیت ذخیره ماندابی دائمی افزایش یابد و با معادله زیر تشریح می‌گردد:

$$\begin{aligned} QO &= VM - VM_{mx} & VM &\geq VM_{mx, VM < VM} \\ QO &= 0 \end{aligned} \quad (76)$$

که در آن:

VM_{mx} : حداکثر ذخیره ماندابی دائمی است برای همه چاله‌ها در زیرحوزه (m^3)

این برنامه‌ها اساساً برای شبیه‌سازی جریان توسط مخازن کوچک طراحی شده بودند. همچنین می‌تواند روی مخازن بزرگ استفاده شود. چرخه ساختار مخازن آب مثل ترکیب چاله‌ها است، این امکان را می‌دهد که در آبراهه‌های اضطراری و اصلی جریان یابند.

برای مخازن کنترل سیل تنظیم شده بزرگ در تجدید نظر توسط مهندسين زراعی ارتش آمریکا برای شبیه‌سازی جریان‌های خروجی استفاده شده بود. این رویکرد برای قوانین ساده عمومی شبیه‌سازی می‌شود و ممکن است بوسیله کارکنان مخازن استفاده گردد. گرچه این مدل ساده است ولی ملاکی برای همه تصمیم‌گیری‌های محسوب می‌شود. می‌تواند به طور ساده جریانهای خروجی اصلی را در دوره‌های کوتاه شبیه‌سازی می‌کند. به اضافه قواعد این عملیات می‌تواند برای مدل کردن مخازن ویژه با سیستم‌های مخازن اضافه گردد (Smedea & Rycroft, 1983)

برای این حالات حجم آبراهه‌های معمولی یا اصلی با مخازن کنترل سیلاب، حداکثر مطابقت را دارد در حالیکه حجم آبراهه اضطراری با مخزن کنترل سیل مطابقت ندارد این به ماه شروع و پایان فصل سیل نیاز دارد. در سراسر آمریکا مسئله تغییر می‌کند ولی به طور معمول شامل ماه‌های زمستان است و می‌تواند به تاخیر در بهار برای نواحی برفی کوهستانی معین اجرا گردد. مدل از روش ذخیره مخزن کنترل سیل که پایه ریزی شده بر فصل سیلاب و شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز استفاده می‌کند (Venetis, 1969):

$$QO = \left(\frac{VR - VR_T}{ND_T} \right) + QR_{mo, VR \geq VR_T} \quad (77)$$

$$QO = QR_{mo, VR < VR_T}$$

که در آن:

VR_T : مخزن کنترل سیل (m^3)

ND_T : روزهای ذخیره هدف است،

QR : مخزن رها شده حداقل روزانه برای ماه (m^3)

در فصل‌های بدون سیل به مخازن کنترل سیلاب نیاز نیست و مخزن هدف با حجم آبراهه‌های اضطراری هماهنگ است. در طول فصل سیلابی، مخزن کنترل سیل (مخزن هدف) تابعی از حجم آب خاک در آبخیز است. مخزن کنترل سیل برای شرایط مرطوب خاک مزرعه (ظرفیت مزرعه ای) با حداکثر و برای شرایط خشک خاک مزرعه (نقطه پژمردگی) مخزن کنترلی سیل با 1/5 برابر حداکثر مطابق است (Sirinvasan et al., 1994).

$$VR_t = VR_S + 0.5(1 - SWF)VR_S - VR_F \quad (78)$$

که در آن:

SWF : فاکتور آب خاک است و با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$SWF = \frac{SW_w}{FC_w} \quad (79)$$

که در آن:

SW_w : آب خاک (mm) است.

FC_w : ظرفیت مزرعه‌ای است برای سطح زهکشی حوزه (mm)