جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای قم

کمیته تحقیقات

(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش الحاقیه طرح تحقیقاتی

قیمت گذاری و تعیین ارزش اقتصادی آب در دشتهای مختلف استان قم

با لحاظ ارزشهای مصرفی و غیر مصرفی آب و سرمایه گذاریهای انجام شده

«مدل پویای ارزشگذاری آب در استان قم»

سازمان مجری: شرکت مهندسی توسعه آب محیط (پارک علم و فناوری دانشگاه تهران)

پژوهشگران:

عبدلمجید لیاقت، بیژن نظری، حمزهعلی علیزاده، زینب سرایی

زمان انتشار: فروردین ماه ۱۳۹۳

گزارش الحاقیه طرح تحقیقاتی

قیمت گذاری و تعیین ارزش اقتصادی آب در دشتهای مختلف استان قم

با لحاظ ارزشهای مصرفی و غیر مصرفی آب و سرمایه گذاریهای انجام شده

مدل پویای ارزشگذاری آب در استان قم

فهرست مطالب

۳-۱- محیط برنامهنویسی ۵

۳-۲- تدوین مدل پویا ۶

۳-۲-۱- تبیین فرضیه‌های دینامیکی (رفتار متغیرهای کلیدی) ۶

۳-۲-۲- شبیه‌سازی (مدلسازی) ۷

۳-۲-۲-۱- زیرمدل تقاضای آب ۷

تقاضای آب در بخش کشاورزی ۸

محاسبه نیاز آبی خالص ۸

محاسبه نیاز آبی ناخالص (gross irrigation requirment) ۱۰

تقاضای آب کشاورزی دشت (Total Water Demand for Agricultur) ۱۰

محاسبه عملکرد محصولات زراعی (Crop yield) ۱۳

۳-۲-۲-۲- زیرمدل اقتصاد آب ۱۶

آببها (water charge) یا تعرفه آب ۱۷

هزینه‌های جبرانی (Compensation costs) ۱۸

هزینه کف‌شکنی چاه‌ها (Well Development Costs) ۱۹

هزینه آب (water cost) ۲۰

مجموع هزینه‌های ملی (Total National Codts) ۲۱

هزینه چاه‌ها (Well Cost) ۲۱

هزینه تولید محصولات زراعی و باغی ۲۲

مجموع کل هزینه‌ها (Crop Cost) ۲۲

درآمد محصولات (Crop benefit) ۲۲

نسبت سود به هزینه (B/C) ۲۲

سود خالص محصول در هکتار ۲۳

سود خالص یک هکتار محصول در دشت (Crop Net Benefit in Study Area) ۲۳

درآمد خالص کل کشاورزی دشت (Agri Income) ۲۳

قیمت سایه‌ای آب (Marginal Cost): ۲۴

ارزش اقتصادی آب (Economic Value of Water) ۲۴

بهره‌وری آب ۲۴
۳-۲-۲-۳- زیرمدل بیلان منابع آب ۲۷
سطح آب زیرزمینی (GW Level) ۲۷
بیلان املاح در خاک زراعی ۲۸
بیلان املاح در منطقه انتقالی ۳۲
بیلان املاح در آب زیرزمینی ۳۳
۳-۳- نتایج **۳۶**
۳-۳-۱ – صحت سنجی مدل ۳۶
۳-۳-۱-۱- آزمون حدی شماره ۱- هزینه آب آبیاری در صورت افزایش ناگهانی تعرفه انرژی ۳۶
۳-۳-۱-۲- آزمون حدی شماره ۲- سود خالص در صورت افزایش ناگهانی تعرفه انرژی ۳۸
۳-۳-۱- زیان‌های ناشی از افت کمی و کیفی آبخوان ۳۹
قیمت سایهای آب (Marginal Cost) ۳۹
ارزش اقتصادی آب ۴۰
فهرست منابع **۴۳**

۳-۱- محیط برنامه‌نویسی

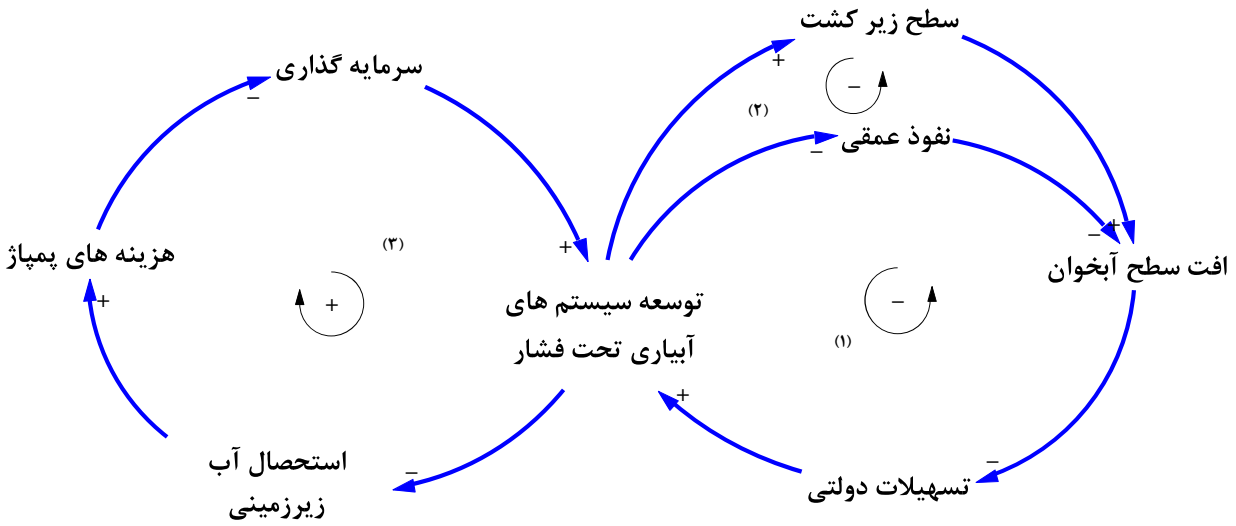
پویایی سیستم‌ها یک روش مدل‌سازی مبتنی بر تفکر سیستمی با تأکید بر قیدها، بازخوردها و تأخیرهایی است که برای تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی رفتار مسائل پیچیده و ارزیابی پیامد سیاستگذاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد بر پایه تئوری پویایی غیرخطی، کنترل بازخوردی و دیدگاه سیستمی است و امکان ساخت مدلی جهان واقعی، به منظور درک بهتر فرآیندها را میسر می‌سازد (Sterman, 2000). در این مطالعه از محیط Vensim برای برنامه‌نویسی و تدوین مدل پویا استفاده شد. Vensim دارای قابلیت شبیه‌سازی بصری اجزاء بوده و روابط موجود را به همان ترتیبی که در واقعیت است دارا می‌باشد. این محیط در ایران کاربرد بیشتری داشته است و در نظامنامه تخصیص وزارت نیرو نیز استفاده از آن توصیه شده است. این ابزار مدل‌سازی، امکان ایجاد مدل‌های پیچیده را با سهولت بیشتری نسبت به زبان‌های برنامه نویسی مرسوم بهوجود می‌آورد (نظری، ۱۳۹۲). لذا پس از فرموله کردن فرضیه دینامیکی و شناسایی ارتباط بین متغیرهای کلیدی و روابط بین آنها، متغیرهای درونی و برونی سیستم و ارتباط بین آنها تعیین می‌شود تا بتوان ورودی‌های سیستم و خروجی‌های آنرا محاسبه نمود.

۳-۲- تدوین مدل پویا

در این مطالعه مدلی پویا برای قیمت‌گذاری آب در محدوده مطالعاتی قم ارائه می‌نماید. مدل مذکور قادر است با توجه به وضعیت اقلیمی و همچنین مصارف آب در سال‌های مختلف افت کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت را محاسبه نموده و از این طریق ارزش جبرانی آب را نیز وارد محاسبات قیمتگذاری آب نماید.

۳-۲-۱- تبیین فرضیه‌های دینامیکی (رفتار متغیرهای کلیدی)

در این مرحله اثرات مثبت و منفی متغیرهای کلیدی در قالب تعیین روابط علی معلولی و بازخوردها تعیین شد. در شکل ۳-۱ نمونه ساده‌ای دیگری از حلقه‌های علی و معلولی به تصویر کشیده شده است. حلقه اول و دوم حلقه علی معلولی منفی یا تعادلی می‌باشند. در حلقه دوم با افزایش تسهیلات دولتی سطح تحت پوشش سیستم‌های آبیاری توسعه می‌یابد، با توسعه سیستم‌های آبیاری سطح زیر کشت افزایش می‌یابد، با افزایش سطح زیر کشت افت آبخوان افزایش می‌یابد، با افزایش افت آبخوان میزان تسهیلات دولتی کاهش پیدا خواهد کرد. در حلقه سوم که یک حلقه علی معلولی مثبت است با توسعه آبیاری تحت‌فشار، استحصال آب زیرزمینی کاهش می‌یابد، با افزایش استحصال آب زیرزمینی هزینه‌های پمپاژ افزایش می‌یابد، با افزایش هزینه‌های پمپاژ میزان سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد و در نهایت با افزایش سرمایه‌گذاری سطح سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱- نمونه‌ای از حلقه‌های علی و معلولی در آبیاری تحت‌فشار

۳-۲-۲- شبیه‌سازی (مدلسازی)

در این مرحله روابط بین متغیرها (متغیرهای کلیدی و متغیرهای کمکی) و مقادیر متغیرها (متغیرهای ثابت) در قالب ساختار حالت و جریان تعیین می گردد.

حالت و جریان همراه با بازخورد دو مفهوم اساسی تئوری تحلیل پویایی سیستم میباشند . در واقع حالتها انباشتگی‌های سیستم میباشند و نشان دهنده وضعیت سیستم بوده و تصمیمات و فعالیتهای سیستم بر پایه آنها صورت میگیرد . جریان‌ها نیز نرخهای تغییر را نشان میدهند یعنی نشاندهنده فرآیندهایی هستند که متغیر حالت را پر یا خالی میکنند . می‌توان گفت در یک سیستم، بر اساس متغیر حالت تصمیمها اتخاذ شده و با تغییر متغیرهای جریان آن تصمیمات اعمال میشود. در ادامه این بخش، مهمترین روابط مورد استفاده در مدلسازی، متغیرهای کلیدی و کمکی و همچنین خلاصه ساختار حالت و جریان مدل به تفکیک زیر مدل‌ها و زیربخش‌ها ارائه می‌شود.

۳-۲-۲-۱- زیرمدل تقاضای آب

تقاضای آب در بخش کشاورزی

تقاضای آب در بخش کشاورزی با توجه به نیاز آبی خالص الگوی کشت، سناریوهای الگوی کشت، ضرایب تنش آبی (Ks)، بازده آبیاری (بازده کاربرد وابسته به نوع خاک و سیستم آبیاری، بازده انتقال و توزیع وابسته به نوع منبع آب) محاسبه شد. مهمترین متغیرهای زیرسیستم مزرعه عبارتند از: تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، تبخیر و تعرق واقعی گیاه، بارندگی مؤثر، نیاز خالص آبیاری، ضریب کم آبیاری، راندمان آبیاری، عمق آبیاری کاربردی در هر دوره، کل آب آبیاری در طی فصل رشد، مقدار آب در دسترس خاک، ضریب تنش خشکی، تبخیر از سطح خاک و عملکرد محصول. در ادامه روش اندازه‌گیری و روابط بین متغیرها ارائه شده است.

محاسبه نیاز آبی خالص

به منظور استخراج و برنامه‌نویسی روابط برآورد نیاز آبی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) به صورت روزانه با استفاده از روش فائو پنمن مانتیت (Allen et al., 1998) محاسبه و از طریق فایل Excel فراخوانی شد. Kc با استفاده جداول فائو (با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی منطقه) برآورد شد و از طریق فایل Excel فراخوانی شد. تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان زراعی (ETc_P)، تبخیر و تعرق واقعی گیاهان زراعی ETc و ضریب تنش خشکی K_S به ترتیب از روابط (۳-۱ تا ۳-۳) برآورد شدند. مقدار پارامتر Ks با توجه به نوع خاک، نوع گیاه، دور آبیاری و سیستم آبیاری با استفاده از بیلان آب در خاک محاسبه شد.

$$ET_{cp} = ET_o \times K_c \qquad [۳-۱]$$

$$ET_c = K_S \times ET_{cp} \qquad [۳-۲]$$

$$K_S = \begin{cases} 1, & Dr \le RAW \\ \dfrac{TAW - Dr}{TAW - RAW} = \dfrac{TAW - Dr}{TAW(1 - MAD)}, & RAW < Dr \le TAW \end{cases} \qquad [۳-۳]$$

که در آن مقدار Dr مقدار تخلیه رطوبتی منطقه توسعه ریشه می‌باشد. آب در دسترس در خاک (Soil AW)، بر اساس بیلان آب در خاک (رابطه ۳-۴) و بر اساس متغیرهایی نظیر کل آب قابل استفاده در خاک (TAW)، میزان تغذیه (آبیاری و بارش مؤثر)، میزان تخلیه آب از خاک در اثر زهکشی، میزان تخلیه آب از خاک در اثر تبخیر و تعرق گیاه و میزان تخلیه آب از خاک در اثر تبخیر از سطح خاک محاسبه می‌گردد. این متغیر با تأثیر بر ضریب تنش خشکی بر روی تبخیر و تعرق واقعی گیاه اثر می‌گذارد.

$$Soil\ AW[crop,soil] = \int_{t_0}^{t_n} (Inflow\ rate[crop] - depletion[crop,soil])dt + Soil\ AW[crop,soil](t_0) \quad [۳-۴]$$

ورودی‌ها (Inflow) شامل بارندگی مؤثر، شامل ضریب تنش آبی، آب آبیاری کاربردی و خروجی‌ها شامل تبخیر از سطح خاک و نفوذ عمقی می‌باشد (جزئیات در جعبه ۳-۱).

جهت برآورد تبخیر از سطح خاک از روش ارائه شده توسط فائو (۲۰۱۲) در راهنمای مدل AquaCrop استفاده است. در این روش با توجه به موجودیت نسبی آب در خاک (W rel) ضریب kr محاسبه می‌شود (رابطه ۳-۵) و بر اساس این ضریب و تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر سطح خاک محاسبه می‌گردد (رابطه ۳-۶). در این روش به منظور لحاظ کردن کاهش هدایت هیدرولیکی به واسطه کاهش موجودیت آب در خاک، از یک رابطه نمایی بین ضریب Kr و موجودیت نسبی آب در لایه فوقانی خاک (W rel) استفاده میگردد.

$$0 \le Kr = \frac{exp^{f_k W_{rel}} - 1}{exp^{f_k} - 1} \le 1 \quad [۳-۵]$$

که مقدار ۴ برای ضریب f_k توصیه شده است (Ritchie, 1972).

$$SoilEvaporation = Kr \times ETo \quad [۳-۶]$$

نیاز آبی محصولات الگوی کشت از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$net\ irrigation\ requirment = ET_C - Peff \quad [۳-۷]$$

که در آن P_{eff} بارش موثر و از طریق معادله فائو محاسبه شد:

$$Peff = 0.6 \times P - 10 \quad if\ P <= 70mm$$
$$Peff = 0.8 \times P - 240 \quad if\ P > 70mm \qquad [۸-۳]$$

که در آن P بارندگی ماهانه بلند مدت استان می‌باشد. در شکل ۳-۲ درخت عوامل مؤثر بر ETC ارائه شده است.

محاسبه نیاز آبی ناخالص (gross irrigation requirment)

نیاز ناخالص آبیاری از رابطه زیر محاسبه شد:

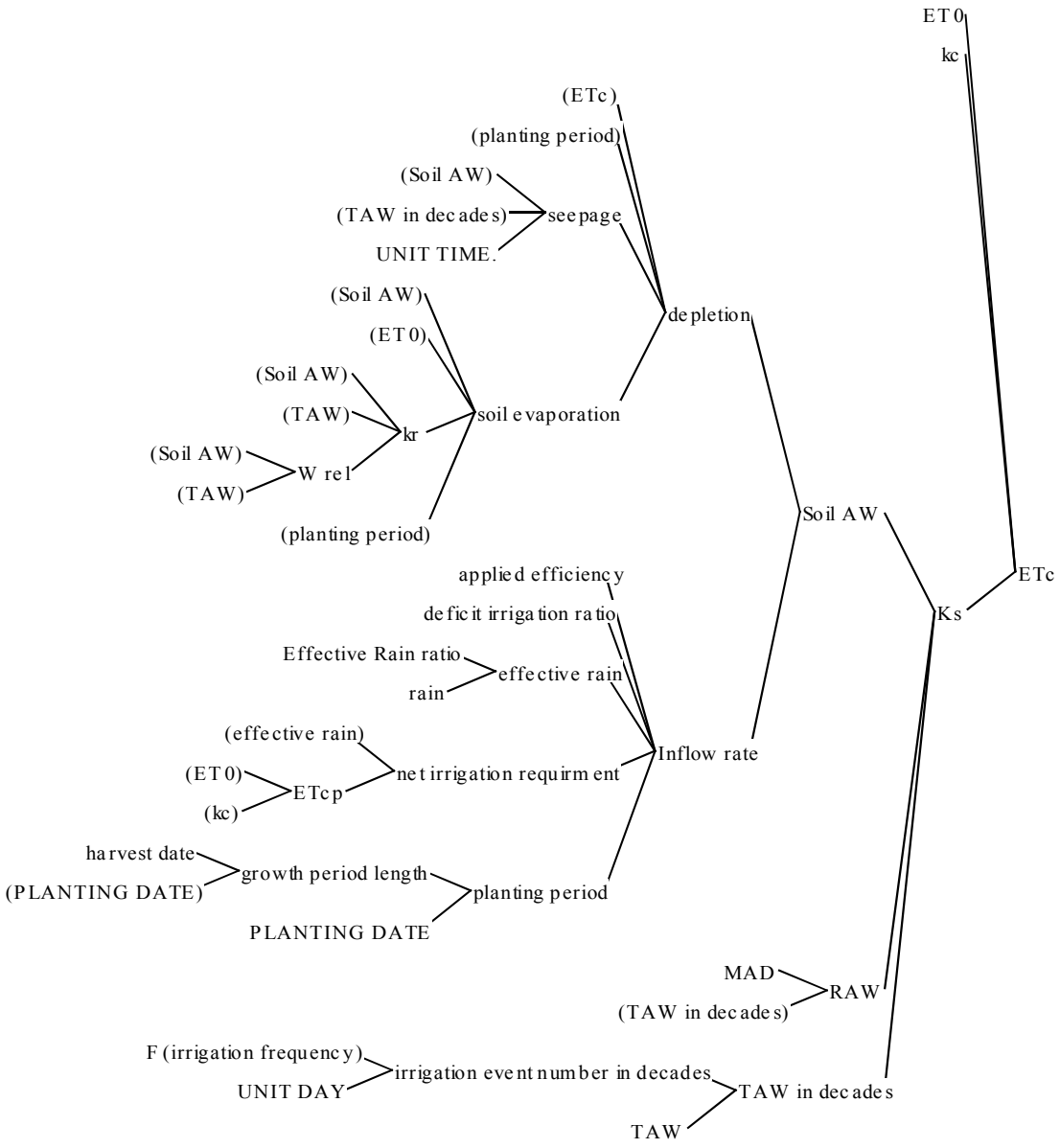
$$gross\ irrigation\ requirment = \frac{net\ irrigation\ requirment}{Efficiency} \qquad [۹-۳]$$

که در آن Efficiency راندمان آبیاری می‌باشد.

تقاضای آب کشاورزی دشت (Total Water Demand for Agricultur)

تقاضای آب در بخش کشاورزی برای دوره‌های ماهانه با استفاده از سطح زیر کشت هر محصول، سناریوی الگوی کشت، سناریوهای کم‌آبیاری، سطح تحت پوشش سیستم‌های آبیاری (بارانی، سطحی و قطره‌ای) و سهم هر یک از منابع آب سطحی و زیرزمینی محاسبه شد.

در جعبه ۳-۱ خلاصه برنامه اندازه‌گیری نیاز آبی گیاهان ارائه شده است. قابل ذکر است که این برنامه به صورت خلاصه ارائه شده و کلیه برنامه‌های محاسبه آب مورد نیاز دشت را در بر نمی‌گیرد.



شکل ۳-۲- درخت عوامل مؤثر بر نیاز آبی

جعبه ۳-۱- نمایش بخشی از برنامه محاسبه تقاضای آب در بخش کشاورزی

- ETo= GET XLS DATA(Qom Ver1.xls', 'climate', 'A', 'e2')
- ETc [crop,soil]= ET0 × kc[crop] ×Ks[crop,soil]
- kc[crop]=GET XLS DATA('QOM Ver1.xls', 'Crop Kc', 'A', 'd2')
- Ks[crop,soil]= MIN(1, Soil AW[crop,soil]/(TAW in decades[crop,soil]-RAW[crop,soil]))
- TAW in decades[crop,soil]=TAW[soil] ×irrigation event number in decades[crop]
- RAW[crop,soil]=MAD[crop]×TAW in decades[crop,soil]
- $$Soil\ AW[crop,soil] = \int_{t_0}^{t_n} (Inflow\ rate[crop] - depletion[crop,soil])dt + Soil\ AW[crop,soil](t_0)$$
- Inflow rate[crop] = IF THEN ELSE(planting period[crop]=1, (1-deficit irrigation ratio)×net irrigation requirment[crop]/applied efficiency+effective rain, effective rain)
- depletion[crop,soil]=IF THEN ELSE(planting period[crop]=1, ETc[crop,soil]+seepage[crop,soil], soil evaporation[crop,soil])
- seepage[crop,soil]= IF THEN ELSE(Soil AW[crop,soil]<TAW in decades[crop,soil], 0, (Soil AW[crop,soil]-TAW in decades[crop,soil])/UNIT TIME 0)
- soil evaporation[crop,soil]= IF THEN ELSE(planting period[crop]=1, 0, IF THEN ELSE(Soil AW[crop,soil]>10, kr[crop,soil]×ET0, 0))
- planting period[crop]=PULSE TRAIN(PLANTING DATE[crop], growth period length[crop], 36, 1260)
- growth period length[crop]=IF THEN ELSE(harvest date [crop]>PLANTING DATE[crop], harvest date [crop] - PLANTING DATE[crop] , harvest date [crop] -PLANTING DATE[crop]+36)
- PLANTING DATE[crop]= GET XLS CONSTANTS('QOM Ver1.xls', 'constants', 'b6')
- harvest date[crop]= GET XLS CONSTANTS('QOM Ver1.xls', 'constants', 'b7')
- kr[crop,soil]=IF THEN ELSE(Soil AW[crop,soil]>TAW[soil],1, (EXP(4×W rel[crop,soil])-1)/(EXP(4)-1))
- W rel[crop,soil]=Soil AW[crop,soil]/TAW[soil]
- Effective rain =(rain*Effective Rain ratio)
- Effective Rain ratio= IF THEN ELSE(Rain<=70, 0.6×Rain-10,0.8×Rain-240)
- net irrigation requirment[crop]=MAX(ETcp[crop]-effective rain, 0)
- gross irrigation requirment[crop,irrigation system,soil] =(1-deficit irrigation ratio) × net irrigation requirment[crop]/Application efficiency[irrigation system,soil]×100
- required irrigation in network soils[crop,irrigation system]=SUM(soil ratio in network[soil!] ×gross irrigation requirment[crop,irrigation system,soil!])×10
- Network efficiency=convection efficiency×SUM(network area irrigation efficiency[irrigation system!] ×irrigation system ratio in network[irrigation system!])
- network area irrigation efficiency[irrigation system]=SUM(soil ratio in network[soil!] ×irrigation efficiency[irrigation system,soil!])
- soil ratio in network[soil!]= % Clay Soil, % Silt loam Soil, % Silt Clay Loam Soil.
- required irrigation in network[crop]=SUM(irrigation system ratio in network[irrigation system!]×required irrigation in network soils[crop,irrigation system!]
- irrigation system ratio in network[irrigation system]= % [surface],% [sprinkler], % [trickle]
- Total Water Demand for Agricultur [crop pattern senario]=SUM(required irrigation in network[crop!]×crop areas[crop!,crop pattern senario])/10^6

محاسبه عملکرد محصولات زراعی (Crop yield)

عملکرد محصول (Crop Yield) که از مهمترین متغیرهای مدل می‌باشد. مدل قادر به شبیه‌سازی اثر تنش‌های محیطی و مقدار آب مصرفی بر عملکرد محصول می‌باشد.

اثر تنش آبی بر عملکرد

تخمین عملکرد در سناریوهای مختلف تنش آبی با فرض یکنواخت بودن تنش در طول فصل از رابطه دورنباس و کسام (۱۹۷۹) استفاده شد (رابطه ۳-۱۰).

$$\frac{Y_a}{Y_P} = 1 - K_Y\left(1 - \frac{\sum_{t=Planting date}^{t=harvest date} ET_{Ct}}{\sum_{t=Planting date}^{t=harvest date} ET_{Pt}}\right) \qquad [۳-۱۰]$$

که در آن Ky، Planting date ، harvest date، ET_{Ct} ، ET_{Pt} ، Y_a و Y_P به ترتیب میانگین ضریب واکنش گیاه به آب آبیاری، تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، تبخیر و تعرق گیاه در دهه‌های مختلف و تبخیر، تعرق پتانسیل گیاه در دهه‌های مختلف، عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل می‌باشد. میانگین ضریب واکنش گیاه به آب آبیاری با فرض یکنواخت بودن تنش در طول فصل (Ky) از نشریه ۳۳ فائو استخراج شد. مقادیر ضرایب ky و عملکرد ماکزیمم محصولات منطقه در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱- متوسط Ky با فرض یکنواخت بودن تنش در طول فصل

پارامتر	گندم	جو	ذرت علوفه ای	پنبه
Ky	۱/۰۵	۱/۰۵	۰/۹	۰/۸۵
عملکرد پتانسیل (Kg/ha)	۶۰۰۰	۵۰۰۰	۶۰۰۰۰	۵۵۰۰

اثر تنش شوری بر عملکرد

اثر تنش شوری بر عملکرد محصول نیز از رابطه زیر موسوم به رابطه ماس و هافمن (۱۹۷۷) تعیین شد.

$$\frac{Y_a}{Y_P} = 1 - b(EC_e - EC^*) \qquad [۳-۱۱]$$

که در آن ECe، *EC و b به ترتیب شوری عصاره اشباع خاک، شوری عصاره اشباع آستانه کاهش عملکرد و شیب کاهش عملکرد می‌باشد. در جدول ۳-۲ پارامترهای مقاومت گیاه به تنش شوری (b و *EC) ارائه شده است (نشریه ۲۹ آبیاری و زهکشی).

جدول ۳-۲- پارامترهای مقاومت گیاه به تنش شوری

پارامتر	گندم	جو	ذرت علوفه ای	پنبه
شیب کاهش عملکرد((1/(dS/m))	۰/۰۷۱	۰/۰۵	۰/۰۷۴	۰/۰۵۲
(dS/m) EC	۶/۰	۸/۰	۱/۸	۷/۷

شوری عصاره اشباع با استفاده از اصل بقاء جرم در خاک محاسبه شد:

$$0.64 \times \mathrm{ECe} = \int_{t_0}^{t_n} (\text{Salt add to Soil[crop pattern]} - \text{Salt leached from Soil[crop pattern]})\, dt + \text{initial Soil Salinity}$$

[۳-۱۲]

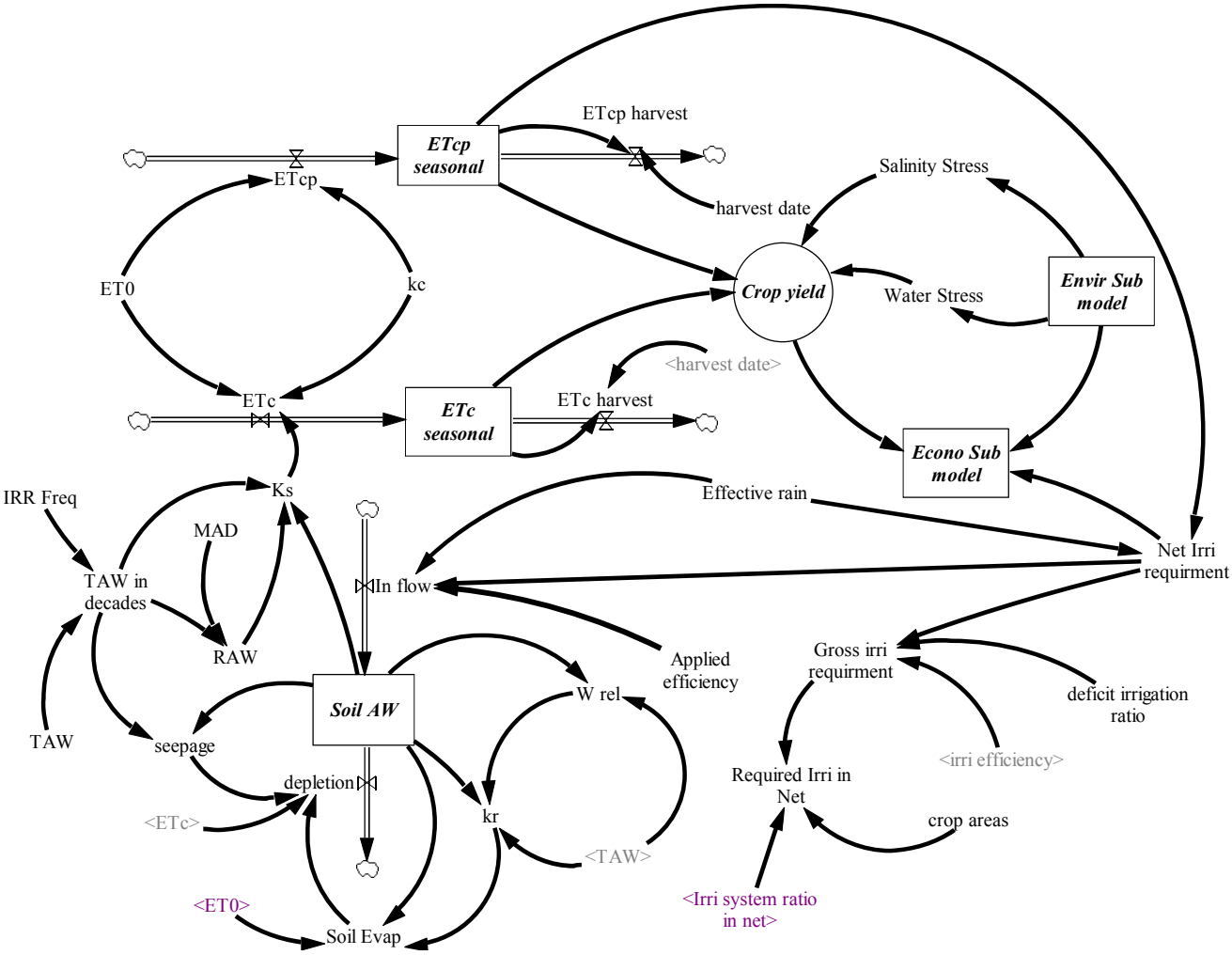
که در آن ECe بر حسب dS/m و Salinity بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. جزئیات بیشتر این معادله بیلان املاح در قسمت مسائل زیست محیطی ارائه خواهد شد.

اثر تنش همزمان آبی و شوری بر عملکرد

در مناطق خشک و نیمه خشک در اغلب موارد گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر تنش شوری و کم آبی قرار می‌گیرند. برای تعیین اثر تنش شوری از رابطه ارائه شده در نشریه ۲۹ آبیاری و زهکشی استفاده شد.

$$\frac{Y_a}{Y_P} = (1 - b(EC_e - EC^*)) \times \left(1 - K_Y \left(1 - \frac{\sum_{t=Plantingdate}^{t=harvestdate} ET_{Ct}}{\sum_{t=Plantingdate}^{t=harvestdate} ET_{Pt}}\right)\right) \qquad [۱۳-۳]$$

در شکل ۳-۳- خلاصه ساختار حالت- جریان (Stock- Flow) تقاضای آب در بخش کشاورزی ارائه شده است.



شکل ۳-۳- خلاصه ساختار حالت- جریان (Stock- Flow) تقاضای آب در بخش کشاورزی

۳-۲-۲-۲- زیرمدل اقتصاد آب

این زیرسیستم شامل هزینه‌های کاشت محصولات، هزینه‌های آب (به تفکیک نوع منبع سطحی و زیرزمینی)، هزینه سیستم‌های آبیاری و پمپاژ ثانویه و قیمت محصولات می‌باشد. در این بخش به اختصار متغیرهای این زیر سیستم شرح داده می‌شود.

مهمترین متغیرهای زیرسیستم اقتصادی عبارتند از:

- آب بها (به تفکیک منبع آب)
- حق النظاره
- هزینه‌های جبرانی: هزینه‌های ناشی از افت کمی و کیفی آب زیرزمینی
- هزینه‌انرژی
- قیمت تمام شده آب (به تفکیک منبع)
- هزینه کف‌شکنی چاه
- هزینه‌های سیستم آبیاری
- هزینه تعمیر و نگهداری چاه
- هزینه‌های تولید
- قیمت محصول
- درآمد کشاورزی
- سود خالص کشاورزی
- ارزش اقتصادی آب

- قیمت سایه‌ای آب
- زیان‌های ملی ناشی از اثرات کشاورزی
- مجموع درآمدهای ملی

به علت تعدد متغیرهای موجود در این بخش فقط روش روابط مورد استفاده برای متغیرهای ارائه شده و از ارائه کدهای برنامه‌نویسی صرف‌نظر می‌شود.

آببها (water charge) یا تعرفه آب

آببها مبلغی است که مشترکین منابع آبی تنظیم شده (سدها، شبکهها و...) به صورت سالانه یا در طی سال پرداخت می‌نمایند. در تعیین آببها ضمن توجه به هزینه‌های احداث، نگهداری و بهرهبرداری به شرایط اقتصادی، قوانین و آئیننامهها و نوع مصرف نیز توجه میشود. مبنای محاسبه آببها در بخش زراعی و باغی قانون تثبیت آببهای زراعی، بهشرح ذیل می باشد:

- ✓ متوسط آببها از آبهای تنظیم شده شبکه‌های مدرن ۳٪ ارزش محصول کاشت شده
- ✓ متوسط آببها از آبهای تنظیم شده و کانالهای تلفیقی ۲٪ ارزش محصول کاشت شده
- ✓ متوسط آببها از آبهای تنظیم شده و کانالهای سنتی ۱٪ ارزش محصول کاشت شده

حق النظاره (Abstraction charge) و خدمات کارشناسی (Expert Services)

حق النظاره نیز یکی از مقولات نرخ‌گذاری است که براساس آن هزینه نظارت بر منابع و مصارف آب جهت تداوم عرضه مطمئن آب سطحی و زیر زمینی متناسب با میزان و نوع مصرف دریافت می‌شود. در واقع حق‌النظاره

بهای تضمین حقوق آب در مقابل عوامل اجتماعی است و دولت با استفاده از حق النظاره موجبات حفاظت از محیط زیست و حفظ حقوق سایرین را فراهم می‌سازد. در بیشتر کشورها، کشاورزان از پرداخت این هزینهها معاف میباشن د. طبق قوانین جدید کشور، حق النظاره بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی حذف شده است.

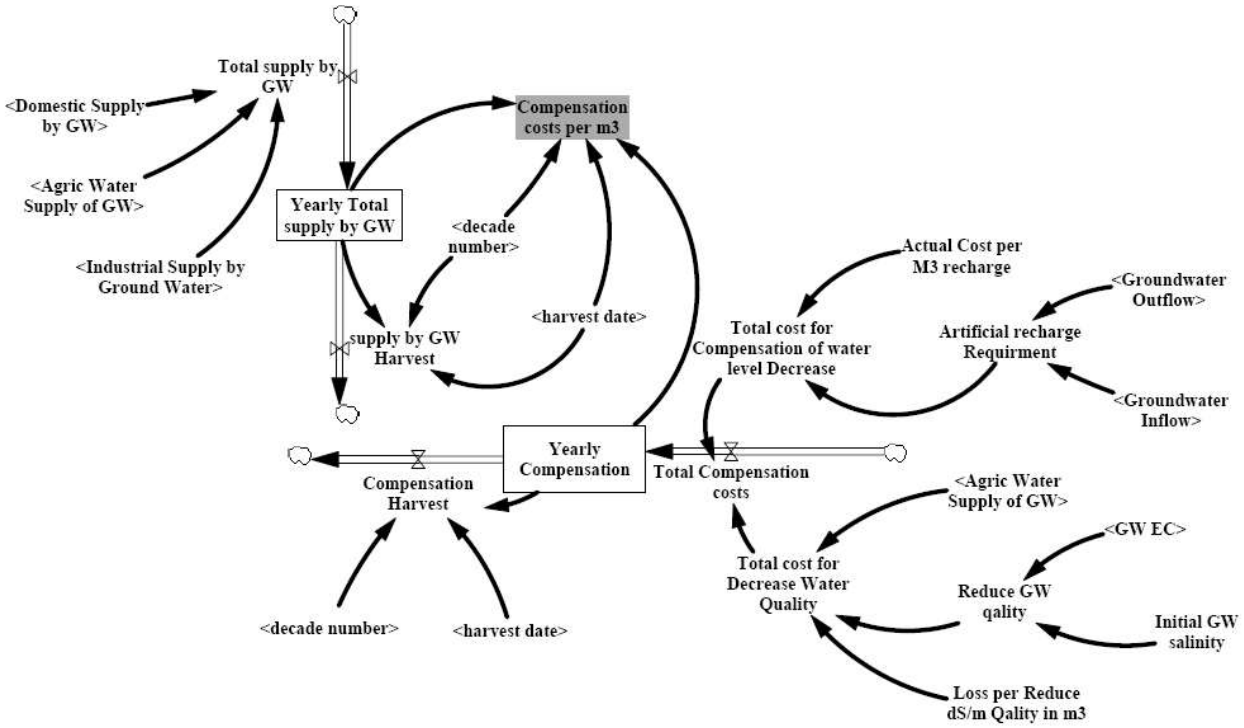
هزینه‌های جبرانی (Compensation costs)

هزینه‌های جبرانی در حوزه آب به هزینهای که برای جبران افت آب زیرزمینی و ارتقای کیفیت آب‌های زیرزمینی در گرفته میشود مرسوم است. بر اساس بند ماده "۵۷ قانون الحاق موادی به قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت " که در تاریخ ۸۴/۸/۲۹ توسط ریاست مجلس شورای اسلامی ابلاغ گردیده، به شرکت‌های آب منطقه‌ای اجازه داده می‌شود که در مقابل اجرای طرح‌های علاج بخشی و ایجاد تعادل در سفره‌های زیرزمینی (برای جبران افت سطح آبخوان‌ها یا ارتقای کیفیت آب‌های زیرزمینی یا جلوگیری از ورود جبهه شور و یا بستن چاه‌های غیر مجاز) وجوهی متناسب با هزینه‌های مربوطه از متقاضیان اخذ نمایند. اما در بعضی طرح‌ها اگر سطح آبخوان‌ها بالا بیاید و مجوز حفر چاه‌های جدید به مردم منطقه داده شود مردم باید پول این طرح‌ها را پرداخت نمایند، در صورتی که غالباً بعد از اجرای این طرح‌ها آبی تخصیص داده نمی‌شود. به این هزینه‌های جبرانی، تعرفه‌های افت و اضرار گفته می‌شود. اما در حال حاضر شواهدی مبنی بر پرداخت این وجود ندارد.

در این مطالعه برای محاسبه هزینه جبران افت سطح آبخوان، ابتدا افت سالانه آب زیرزمینی با استفاده از بیلان آب زیرزمینی محاسبه و سپس با توجه به هزینه تمام شده تغذیه هر مترمکعب آب هزینه جبران افت سطح محاسبه شد. در مورد افت کیفی هم هزینه شورزدایی هر مترمکعب برآورد و در مطالعات لحاظ شد. علاوه بر موارد فوق

اثر کاهش کیفیت آب را می‌توان از طریق اثرات آن بر کاهش عملکرد محصولات زراعی کمی نمود. مهمترین روابط کمی کردن اثرات تنش شوری معادله ماس و هافمن (۱۹۷۷) و وان گنوختن (۱۹۸۷) می‌باشد.

در شکل ۳-۴ ساختار حالت جریان محاسبه هزینه جبرانی و هزینه واقعی آب جهت اتخاذ سناریوهای قیمت‌گذاری آب ارائه شده است. قیمت واقعی آب در ادامه مطالب ارائه خواهد شد.



شکل ۳-٤- ساختار حالت جریان محاسبه هزینه جبرانی و هزینه واقعی آب

هزینه کف‌شکنی چاه‌ها (Well Development Costs)

سطح آب زیرزمینی در دشت قم – کهک سالانه حدود ۱/۰۵ متر افت پیدا می‌کند بدیهی است که بعد از چند سال لازم است چاه‌ها برای دسترسی به آب عمیقتر شوند. به عنوان مثال ضخامت لایه آبدار چاهی که در

سال ۱۳۷۴ حفر شده است حدود ۱۵ متر کاهش یافته است. بدیهی است برای دستیابی به آبدهی اولیه نیاز به توسعه چاه می‌باشد. هزینه کف شکنی چاه‌ها بر اساس فهرست‌بهای رشته چاه محاسبه شد.

هزینه آب (water cost)

به مجموع کل هزینه‌های لازم برای انتقال آب تا سر مزرعه بر حسب (ریال بر مترمکعب) و همچنین کلیه هزینه‌هایی که در آینده به کشاورز تحمیل می‌گردد مانند کف‌شکنی چاه‌ها، تغییر کیفی آب آبخوان، گویند. هزینه آب برای منابع آب مختلف (به صورت ۲ زیرنگاشت،SW و GW) بر مبنای متغیر نرخ آببها (water harge) و هزینه پمپاژ (که در مورد آب سطحی صفر است)، محاسبه می‌گردد. هزینه پمپاژ آب‌های زیرزمینی بر اساس دبی متوسط، تغییرات عمق متوسط سطح آب زیرزمینی (h=h0+Δh)، ساعت کارکرد متوسط ۳۰۰۰ ساعت در سال، راندمان کارکرد ۴۱ درصد و تعرفه انرژی سال ۱۳۹۰ وزارت نیرو محاسبه شد (شکل ۳-۵).

سناریوهای افزایش تعرفه انرژی (Energy charge) بعد از فاز دوم هدفمندی یارانه‌ها در بخش سناریوها تعریف شده است. در بحث افزایش قیمت برق بر اساس ماده یک قانون هدفمندی یارانه‌ها تا پایان برنامه پنجم توسعه دولت مؤظف است قیمت برق را تا حد قیمت تمام شده آن افزایش دهد.

ماده ۱– دولت مکلف است با رعایت این قانون قیمت حامل‌های انرژی را اصلاح کند:

الف -قیمت فروش داخلی بنزین، نفت گاز، نفت کوره، نفت سفید و گاز مایع و سایر مشتقات نفت، با لحاظ کیفیت حامل‌ها و با احتساب هزینه‌های مرتب (شامل حمل و نقل، توزیع، مالیات و عوارض قانونی) به تدریج تا پایان برنامه پنج ساله پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران کمتر از نود درصد (۹۰ درصد) قیمت تحویل روی کشتی (فوب) درخلیج فارس نباشد.

ب -میانگین قیمت فروش داخلی گاز طبیعی به گونه‌ای تعیین شود که به تدریج تا پایان برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، معادل حداقل هفتاد و پنج درصد (۷۵٪) متوسط قیمت گاز طبیعی صادراتی پس از کسر هزینه‌های انتقال، مالیات و عوارض شود.

ج – میانگین قیمت فروش داخلی برق به گونه‌ای تعیین شود که به تدریج تا پایان برنامه پنج ساله پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران معادل قیمت تمام شده آن باشد.

مجموع هزینه‌های ملی (Total National Codts)

برخی هزینه‌ها مانند تسهیلات اعطایی به کشاورزان و هزینه‌های افت کمی و کیفی آب زیرزمینی هر چند توسط کشاورز پرداخت نمی‌شوند لیکن در بُعد مدیریت کلان جزء هزینه‌هایی است که بر دولت تحمیل می‌شود. در مدل پویا مجموع هزینه‌های ملی از مجموع هزینه‌های جبرانی و هزینه‌های ناشی از تسهیلات اعطایی به کشاورزان (شامل تسهیلات توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار) محاسبه می‌شود.

هزینه چاه‌ها (Well Cost)

مدل با استفاده از تبدیل هزینه‌های سرمایه‌ای به جاری قادر به محاسبه همزمان هزینه طول عمر و هزینه استهلاک سرمایه‌ای سالانه می‌باشد. از آنجا که چاه‌های منطقه اکثراً قدیمی می‌باشند، فقط هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از آنها در محاسبات لحاظ شد. برای محاسبه هزینه طول عمر چاه‌های منطقه ابتدا هزینه حفر یک چاه در منطقه محاسبه شده و هزینه نگهداری و بهره‌برداری از چاه ۱/۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در نظر

گرفته شد. هزینه حفر یک چاه ۱۰۰ متری بر اساس فهرست بهای سال ۱۳۹۲ در منطقه حدود ۵۰ میلیون تومان برآورد شد.

هزینه‌های سرمایه‌ای با استفاده از سری یکنواخت سالیانه و نرخ بازگشت سرمایه ۱۵٪ و طول عمر ۲۰ ساله، به هزینه یکنواخت سالیانه تبدیل شد:

$$A = P\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}\right] \qquad [۴-۳]$$

که در این رابطه i نرخ تنزیل، P ارزش کنونی سرمایه‌گذاری و A معادل یکنواخت سرمایه‌گذاری طی سال‌های عمر مفید می‌باشد.

هزینه تولید محصولات زراعی و باغی

هزینه تولید محصولات زراعی و باغی (که در فصل دوم ارائه شده است) از طریق فایل Excel فراخوانی شد.

مجموع کل هزینه‌ها (Crop Cost)

مجموع کل هزینه‌های تولید (هزینه آب، انرژی، سیستم آبیاری و ...) می‌باشد.

درآمد محصولات (Crop benefit)

درآمد محصولات کشاورزی حاصل‌ضرب قیمت محصول در عملکرد محصول محاسبه شد. قیمت تضمینی محصولات زراعی سال ۹۲-۱۳۹۱ که در فصل دوم ارائه شده است. قیمت و عملکرد برای سال ۹۲-۱۳۹۱ از طریق فایل Excel فراخوانی شد.

نسبت سود به هزینه (B/C)

نسبت سود به هزینه (B/C) عبارت از نسبت درآمد کل حاصل از کاشت یک هکتار از محصولات الگوی کشت به مجموع هزینه‌های تولیدی می‌باشد.

سود خالص محصول در هکتار

سود خالص محصول (crop net benefit) بر حسب ریال بر هکتار از تفریق هزینه و منفعت محصول در هر سال محاسبه میگردد.

سود خالص یک هکتار محصول در دشت (Crop Net Benefit in Study Area)

سود خالص محصول در هکتار ارائه شده در قسمت قبل شامل زیرنگاشت‌های نوع منبع آب، نوع سیستم آبیاری، نوع خاک و نوع محصول می‌باشد. جهت محاسبه میانگین سود خالص یک هکتار اراضی دشت با لحاظ اثرات تجمعی فاکتورهای مذکور از شاخص Crop Net Benefit in Study Area استفاده شد. به عنوان مثال برای اعمال نوع منبع آب Crop net benefit in water sources از رابطه ۳-۱۴ ارائه شده است. به علت حجم زیاد برنامه‌نویسی سایر اثر سایر عوامل از ارائه آنها در این نوشتار صرف‌نظر شد.

Crop net benefit in water sources[crop,irrigation system, soil,crop pattern senario] = crop net benefit[crop,irrigation system,soil,SW,crop pattern senario]×ratio of SW allocated water[crop pattern senario]+crop net benefit[crop,irrigation system,soil,GW,crop pattern senario]×ratio of GW allocated water [crop pattern senario] [۳-۱۵]

که در آن SW و GW به ترتیب منبع آب سطحی و منبع آب زیرزمینی می‌باشد.

درآمد خالص کل کشاورزی دشت (Agri Income)

درآمد خالص کل کشاورزی دشت از حاصلضرب درآمد خالص یک هکتار محصول دشت در الگوی کشت محاسبه شد. در رابطه ۳-۱۵ طریقه محاسبه Agri Incom بر حسب میلیارد ریال ارائه شده است. علامت ! در معادله به معنای جمع به صورت وزنی می‌باشد (در واقع درصد الگوی کشت محصولات ضرب در سطح کل دشت معادل مساحت تحت کشت محصول مورد نظر خواهد بود).

Agri Income [crop pattern senario] = SUM(crop areas[crop!,crop pattern senario]× Crop net benefit in water sources [crop!,crop pattern senario])/1e+9 [۳-۱۶]

قیمت سایه‌ای آب (Marginal Cost):

از طریق محاسبه B/C در سناریوهای مختلف افزایش قیمت آب محاسبه شد. به عبارت دیگر قیمت آب تا زمانیکه B/C=1 شد ادامه پیدا می کرد.

Marginal cost [crop, crop pattern senario] = IF THEN ELSE(B/C<=1, Water Charge, 0)

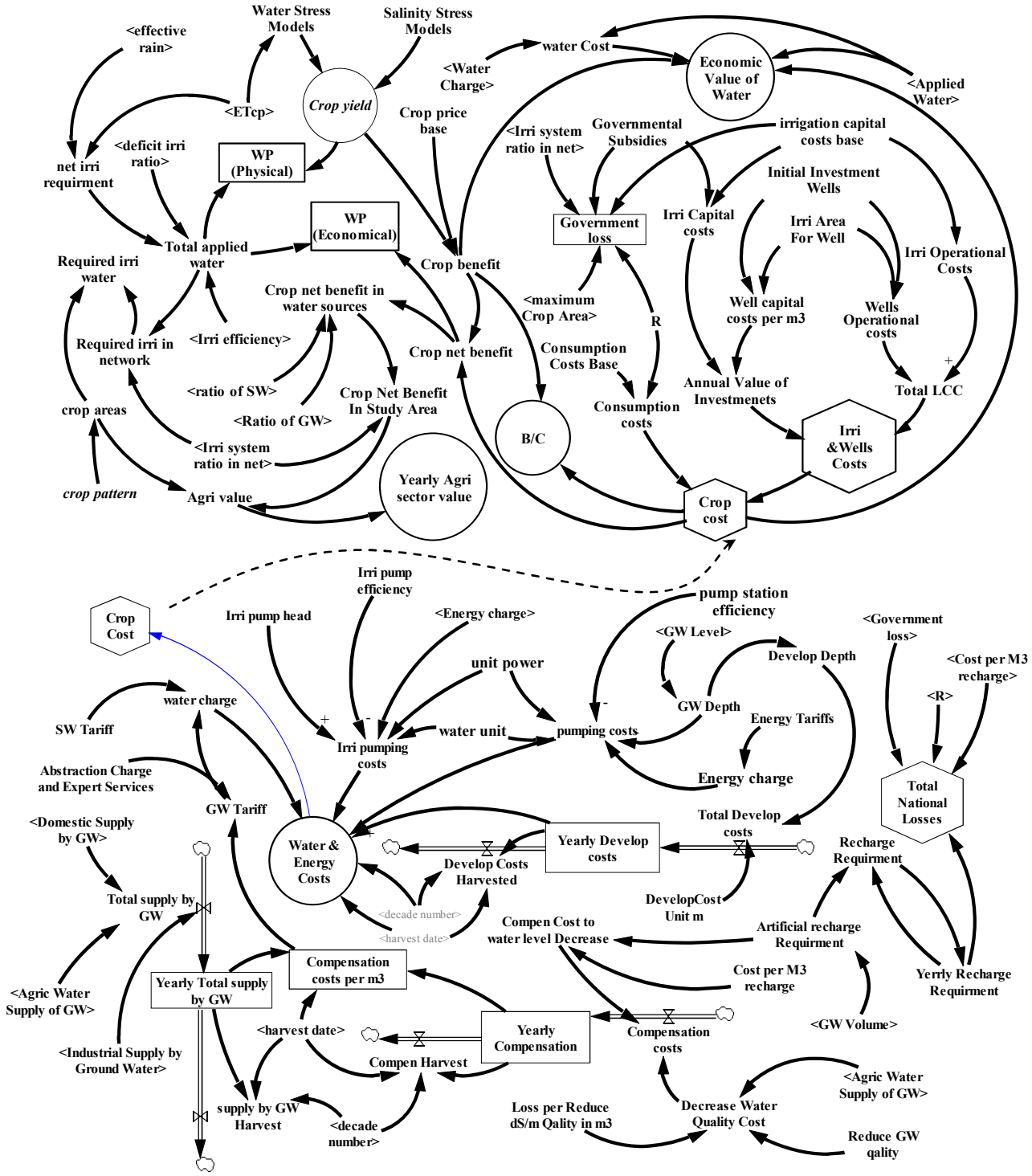
ارزش اقتصادی آب (Economic Value of Water)

قیمت اقتصادی آب (Economic Value of Water) برای هر یک از محصولات الگوی کشت از تقسیم سود خالص تولیدی حاصل بر آب آبیاری کاربردی آن محصول محاسبه شد. در واقع ارزش اقتصادی تولیدی توسط یک متر مکعب آب می‌باشد. ارزش اقتصادی تولیدی به نوع محصول کشت شده، منبع آب آبیاری، سیستم آبیاری و الگوی کشت (هزینه‌های انرژی و ...) بستگی دارد.

بهره‌وری آب

بهره‌وری اقتصادی آب ((WP (Economical) از تقسیم سود خالص بر عمق آب کاربردی (Irri water seasonal) و بهره‌وری فیزیکی آب (WP (Physical)) از تقسیم عملکرد محصول بر آب آبیاری کاربردی

محاسبه شد. که در آن آب آبیاری طی فصل رشد (Irri water seasonal) مجموع آب آبیاری ناخالص طی فصل رشد محصول می‌باشد.



شکل ۳-۵- خلاصه ساختار حالت- جریان (Stock- Flow) زیرمدل اقتصادی

۳-۲-۲-۳- زیرمدل بیلان منابع آب

مهمترین متغیرهای زیرسیستم زیست‌محیطی عبارتند از:

- سطح آب زیرزمینی
- حجم آب زیرزمینی
  - شور شدن آب زیرزمینی (EC)
  - شور شدن خاک (EC_e)

سطح آب زیرزمینی (GW Level)

برای شبیه‌سازی تغییرات سطح و حجم آبخوان از معادله بقاء جرم استفاده شد:

$$Qin + QP + QI + QSW + QR + QA - (QW + QEg + Qd + Qout) = \Delta V \qquad [۱۷-۳]$$

که در آن Qin: جریان زیرزمینی ورودی جانبی از سمت ارتفاعات و یا دشت بالادست، QP: تغذیه آبخوان از نفوذ بارش بر سطح دشت، QI: تغذیه آبخوان از آب‌های نفوذی کشاورزی، QSW: تغذیه از پساب آب مصرفی شرب و صنعت (عمدتاً از طریق چاه‌های جذبی)، QR: تغذیه از جریان‌های سطحی یا رودخانه‌ها، QA میزان تغذیه مصنوعی، QW: مصارف آب زیرزمینی، QEg: تبخیر از آب زیرزمینی، Qd، زهکشی از آبخوان، Qout، جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان وΔV: تغییر ذخیره ثابت آبخوان می‌باشد. واحد همه پارامترها بر حسب میلیون مترمکعب می‌باشد. در این تحقیق پارامترهای اصلی بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت قم کهک از مطالعات بهنگام سازی بیلان دریاچه نمک (تماب، ۱۳۸۹) استخراج شده است.

به هر حال حجم دینامیک آبخوان و تراز سطح آب زیرزمینی در هر لحظه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$V(t+dt)=V(t)+\Delta V(dt)\Rightarrow V(t)=\int_{t0}^{tn}(GW\ Inflow_{(t)}-GW\ \ Outflow_{(t)})dt+V(t_0)$$ [۱۸-۳]

که در آن V(t) حجم آب موجود در آبخوان در هر لحظه، $GW\ Inflow_{(t)}$ و $GW\ Outflow_{(t)}$ به ترتیب مجموع آبهای نفوذی به آب زیرزمینی و خروجی از آب زیرزمینی در هر لحظه (ارائه شده در معادله ۳-۱۷)، t0 زمان شروع شبیه‌سازی، tn زمان پایان شبیه‌سازی و V(t0) حجم آبخوان در ابتدای شبیه‌سازی می‌باشد. هم - چنین تراز سطح آب زیرزمینی در هر لحظه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$H(t+dt)=H(t)+\frac{\Delta V(dt)}{dV/dH}$$ [۱۹-۳]

که در آن $H(t+dt)$: سطح آب زیرزمینی در زمان (t+dt) و dV/dH: تغییر حجم آبخوان به علت افت یک متر سطح آب زیرزمینی می‌باشد. dV/dH برای آبخوان قم با استفاده از آبنمود دشت ۱۱/۱ میلیون مترمکعب محاسبه شد.

بیلان املاح در خاک زراعی (top Soil)

برای محاسبه تجمع املاح در خاک، گیاهان زراعی و آب زیرزمینی در مدل از معادله توازن جرم در سطح خاک، منطقه انتقالی (غیر اشباع) و آب زیرزمینی استفاده شد. بیلان املاح در لایه زراعی خاک در رابطه (۳- ۲۰) ارائه شده است.

$$CiWi - CdWd - Mhc + PCp - Msd + Mis_{t0} + Mfer + MR - Mdp = \Delta S$$ [۲۰-۳]

که در آن Ci: غلظت آب آبیاری وابسته به منابع آب مصرفی (mg/lit)، Wi: مقدار آب آبیاری (m^3/ha)، Cd: غلظت آب نفوذ عمقی (mg/lit)، Wd: مقدار نفوذ عمقی (m^3/ha)، Mhc: مقدار نمک جذب شده به وسیله

گیاهان (kg/ha)، Cp: غلظت آب باران (mg/lit)، P: مقدار بارندگی مؤثر (m^3/ha)، MSd: مقدار نمک رسوب شونده در خاک (kg/ha)، Mis مقدار اولیه نمک در خاک (kg/ha)، Mpre: مقدار نمک شستشو شده در اثر رواناب (kg/ha)، Mfer: مقدار نمک اضافه شده از طریق کودها و سایر افزودنی‌ها (kg/ha)، MR: مقدار نمکی که از طریق رواناب شسته می‌شود (kg/ha) و ΔS تغییرات املاح خاک (kg/ha) می‌باشد.

- مقدار نمک جذب شده به وسیله گیاهان (Mhc)

مقدار نمک جذب شده توسط محصولات زراعی بسته به نوع محصول ۳ تا ۵ درصد ماده خشک تولیدی محصول در نظر گرفته شد (van Rensburg, 2008 و Ayars et al, 2012).

- مقدار اولیه نمک در خاک (MiS_{t0})

شوری اولیه خاک با استفاده از رابطه رابطه Ayars و همکاران (۲۰۱۲) محاسبه گردید:

$$Mis_{t0} = 0.64 \times ECe \times (\frac{\theta_S \times D_r}{100}) \times 10000 \qquad [۲۱-۳]$$

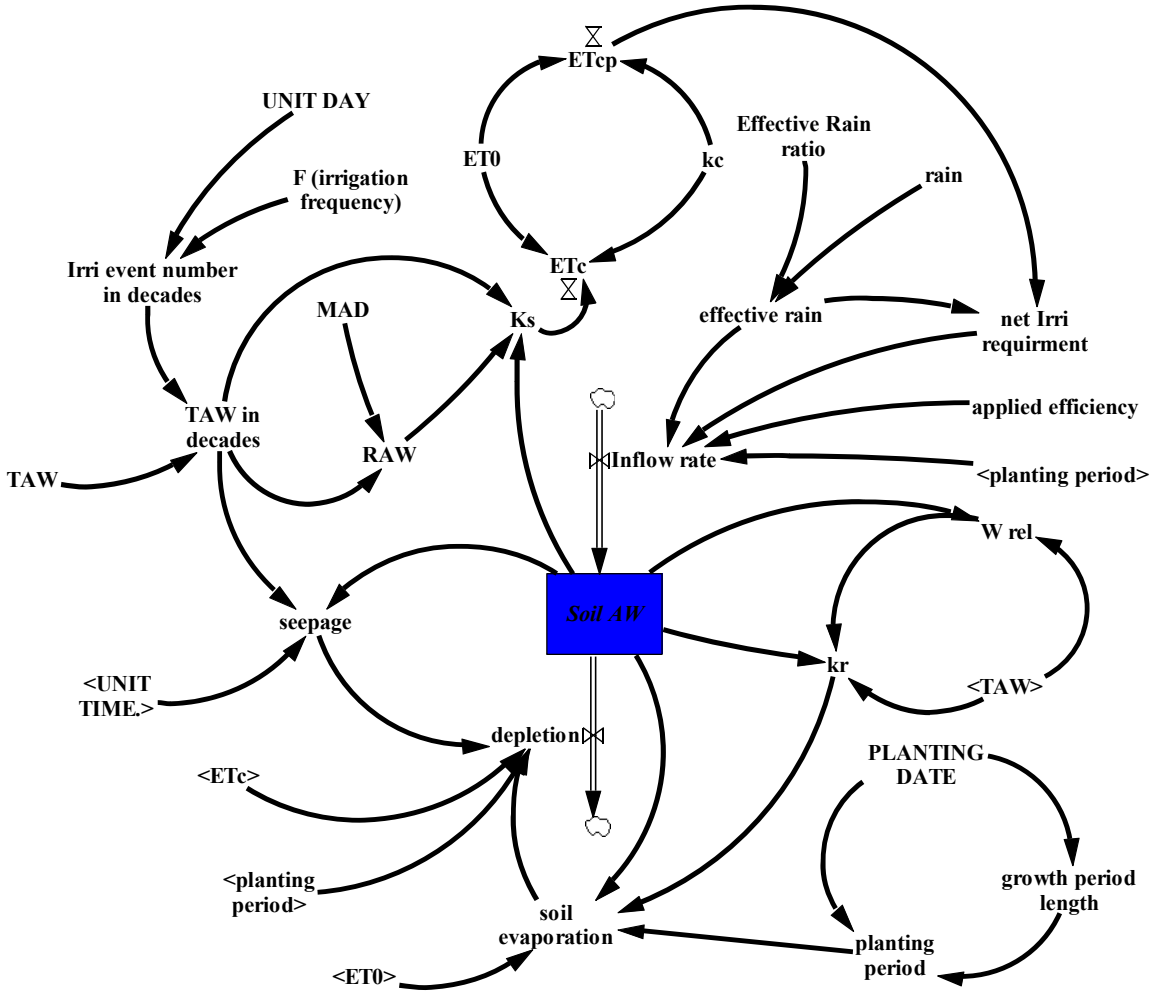
که در آن θ_S: رطوبت خاک در حالت اشباع، Dr: عمق توسعه ریشه (متر) و ECe_0 هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m) در ابتدی شبیه‌سازی می‌باشد. قابل ذکر است که مشخصات کیفی خاک در قسمت بیلان املاح ارائه شده است.

- شوری آب زهکشی یا نفوذ عمقی (Cp)

شوری آب زهکشی در زمان t با استفاده از رابطه Ayars و همکاران (۲۰۱۲) محاسبه شد:

$$Cp(t) = fC_{FC} + (1-f)Ci = 2fC_e + (1-f)Ci \qquad [۲۲-۳]$$

که در آن Ce: شوری عصاره اشباع (mg/lit)، Ci: غلظت آب آبیاری (جدول ۳-۲۰) و f راندمان زهکشی می‌باشد.



شکل ۳-۶- ساختار حالت و جریان بیلان آب در لایه سطحی خاک (خاک زراعی)

- نمک خاک در هر لحظه (MiS_t)

مقدار نمک موجود در خاک در هر لحظه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$Mis(t+dt) = Mis(t) + \Delta S \times dt \Rightarrow Mis(t)$$
$$= \int_{t0}^{tn} (Salt\ added\ to\ topsoil_{(t)} - Salt\ harvested\ from\ topsoil_{(t)})dt + Mis(t_0)$$

[۲۳-۳]

که در آن $Salt\ added\ to\ topsoil_{(t)}$ و $Salt\ harvested\ from\ topsoil$ به ترتیب مقدار نمک ورودی و خروجی از خاک می‌باشد (رابطه ۳-۲۰).

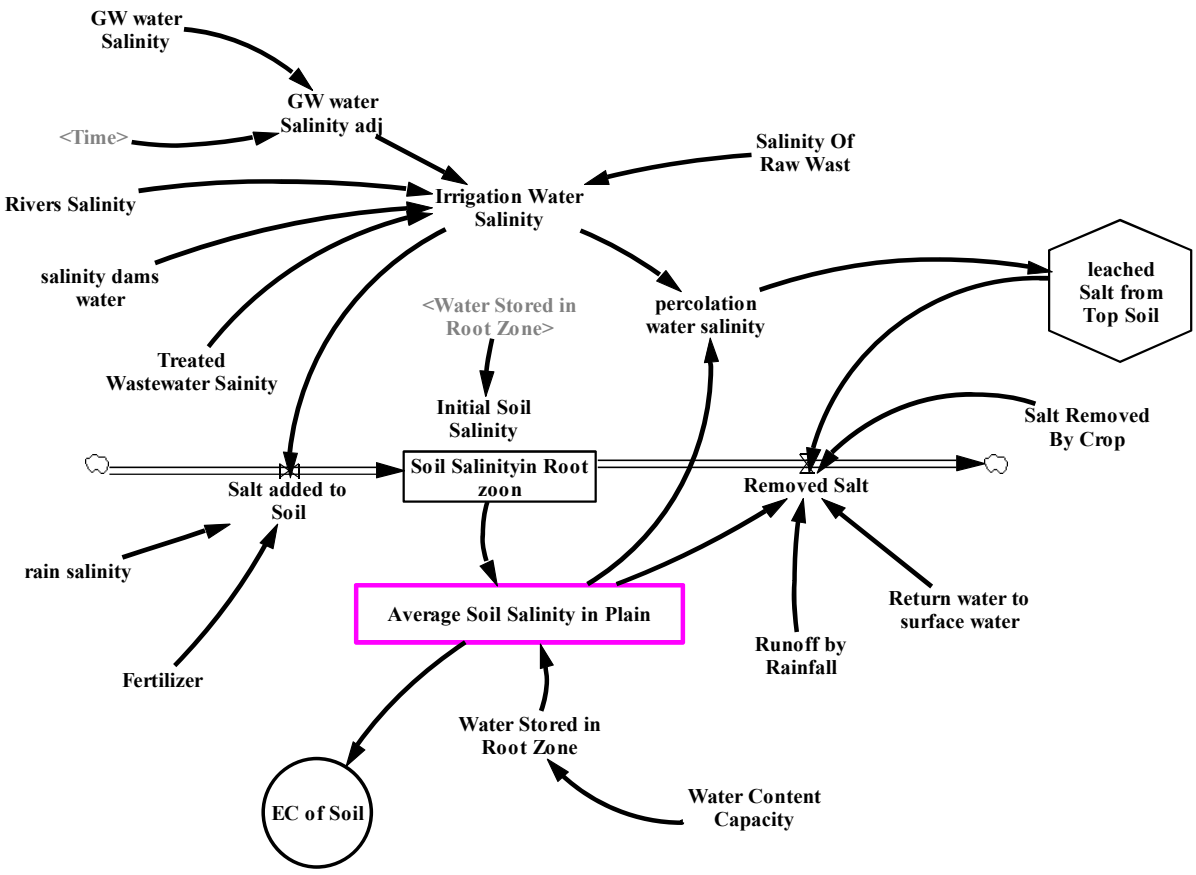
- شوری ($Ce_{(t)}$) و هدایت الکتریکی ($EC_{e(t)}$) خاک در هر لحظه

غلظت املاح و هدایت الکتریکی (dS/m) خاک در هر لحظه به ترتیب از روابط ۳-۲۴ و ۳-۲۵ محاسبه گردید.

$$C_e(t) = \frac{Mis(t)}{(\frac{\theta_S \times D_r}{100}) \times 10000}$$ [۲۴-۳]

$$EC_e(t) = \frac{C_e(t)}{640}$$ [۲۵-۳]

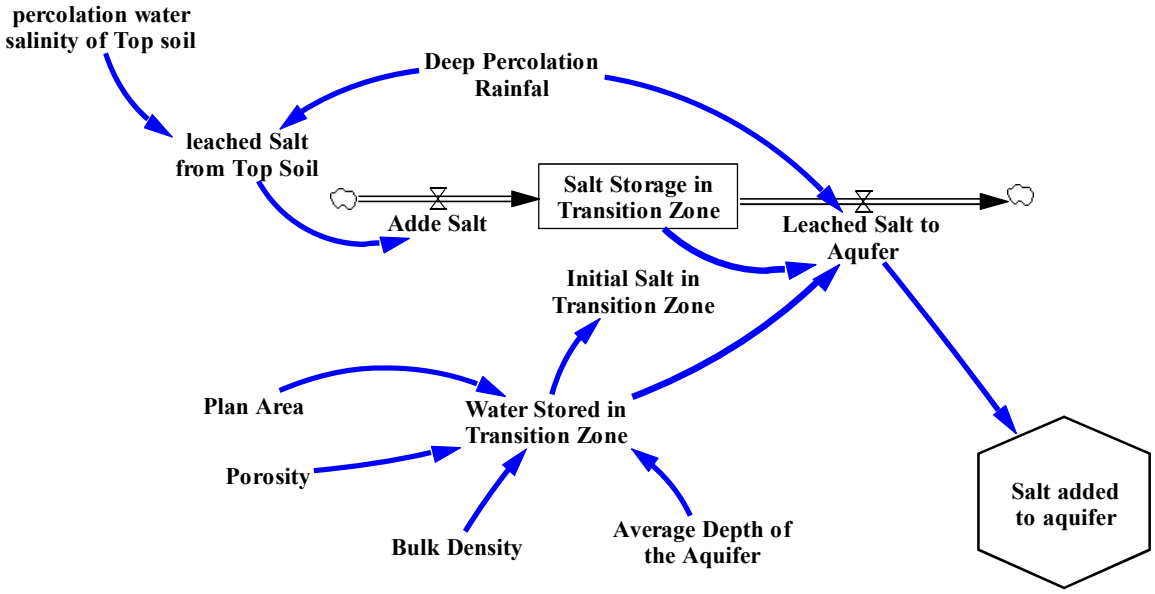
که در آن همه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. ساختار حالت و جریان بیلان املاح در خاک در شکل ۳-۷ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در بیلان املاح در خاک، شوری آب زیرزمینی به عنوان یک پارامتر پویا بوده و از بیلان املاح در آب زیرزمینی محاسبه می گردد.



شکل ۳-۷- ساختار حالت و جریان بیلان املاح در لایه سطحی خاک (خاک زراعی)

بیلان املاح در منطقه انتقالی

به همین ترتیب برای بررسی تغییرات املاح در منطقه انتقالی و منطقه اشباع (آب زیرزمینی) از قانون توازن جرم استفاده شد (van Rensburg, 2008). معادله بیلان املاح ناحیه انتقالی دقیقاً مشابه بیلان املاح در سطح خاک تعریف شد با این تفاوت که در منطقه انتقالی آب نفوذی از کانال‌ها، آب جانبی ورودی و زهکش خروجی به عنوان منابع آب ورودی و خروجی لحاظ شد. EC آب ورودی از ارتفاعات ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و کانال‌های آبیاری معادل شوری آب آبیاری لحاظ شد. ساختار حالت و جریان بیلان املاح در لایه غیر اشباع در شکل ۳-۸ ارائه شده است.



شکل ۳-۸- ساختار حالت و جریان بیلان املاح در لایه غیر اشباع

بیلان املاح در آب زیرزمینی

بیلان املاح آب زیرزمینی در رابطه بقاء جرم محاسبه شد:

$$C_{Iww}W_{Iww} + C_{Dww}W_{Dww} + C_rW_r + C_AW_A + C_{Agw}W_{Agw} + C_{ig}W_{ig} + M_{gw} - C_{gw}(W_I+W_{Ag}+W_D) = \Delta S \quad [۲۶-۳]$$

که در آن W_I، W_{Ag} و W_D به ترتیب حجم آب برداشتی برای مصارف صنعت، کشاورزی و شرب (MCM)، C_{gw}: غلظت آب زیرزمینی (Mg/MCM)، Wig: حجم آب ورودی از آبخوانهای دیگر (MCM)، Cgw: غلظت آب زیرزمینی (Mg/MCM)، C_{ig}: غلظت آب زیرزمینی از آبخوانهای دیگر (Mg/MCM)، W_{Iww}: آب برگشتی از صنایع (MCM)، C_{Iww}: غلظت آب برگشتی صنایع (Mg/MCM)، W_{Dww}: آب برگشتی از شرب (MCM)، C_{Dww}: غلظت آب برگشتی شرب (Mg/MCM)، W_{Agw} آب برگشتی از کشاورزی (MCM)، C_{Agw}: غلظت آب برگشتی کشاورزی (Mg/MCM)، M_{gw} مقدار اولیه نمک در آب زیرزمینی (Mg)، Cr: غلظت آب رودخانه (Mg/MCM)،

Wr: حجم آب نفوذی از رودخانه (MCM) و ΔS تغییرات املاح آب زیرزمینی (Mg/MCM) می‌باشد. اکثر پارامترهای فوق از طرح جامع آب استخراج شده است. لازم به ذکر است که یک مگاگرم بر میلیون مترمکعب (Mg/MCM) معادل یک میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit) می‌باشد.

- مقدار املاح اولیه آب زیرزمینی (Mgw_{t0})

شوری اولیه آب زیرزمینی با استفاده از رابطه van Rensburg (۲۰۰۸) محاسبه گردید:

$$Mgw_{t0} = (GW\,Volume_{t0}) \times C_{gw} \qquad [۲۷-۳]$$

که در آن $GW\,Volume_{t0}$: حجم استاتیک اولیه آب زیرزمینی (MCM)، C_{gw} غلظت اولیه آب زیرزمینی (Mg/MCM) در ابتدی شبیه‌سازی می‌باشد.

- مقدار املاح آب زیرزمینی در هر لحظه (Mgw_t)

مقدار نمک موجود در آب زیرزمینی در هر لحظه از رابطه زیر محاسبه گردید:

[۲۸-۳]

$$Mgw(t+dt) = Mgw(t) + \Delta S \times dt \Rightarrow Mgw(t)$$
$$= \int_{t0}^{tn} (Salt\ added\ to\ GW_{(t)} - Salt\ harvested\ from\ GW_{(t)})dt + Mgw(t_0)$$

که در آن $Salt\ added\ to\ GW_{(t)}$ و $Salt\ harvested\ from\ GW_{(t)}$ به ترتیب مقدار نمک ورودی و خروجی آب زیرزمینی می‌باشد (رابطه ۳-۲۷).

- شوری و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در هر لحظه (Mgw_t)

غلظت آب زیرزمینی در هر لحظه $Cgw_{(t)}$ بر حسب میلی‌گرم بر لیتر از رابطه ۳-۲۹ محاسبه گردید.

$$Cgw_{(t)} == \frac{\int_{t0}^{tn} (Salt\ added\ to\ GW_{(t)} - Salt\ harvested\ from\ GW_{(t)})dt + Mgw(t_0)}{GW\ Volume_t} \qquad [۲۹-۳]$$

که در آن $Salt\ added\ to\ GW_{(t)}$ و $Salt\ harvested\ from\ GW_{(t)}$ به ترتیب مقدار نمک ورودی و خروجی آب زیرزمینی می‌باشد (رابطه ۳-۲۸). $GW\ Volume_t$ حجم آب زیرزمینی در هر لحظه که از معادله بیلان جرم محاسبه می‌گردد.

همچنین هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (EC_{GW}) در هر لحظه بر حسب dS/m از رابطه ۳-۳۰ محاسبه گردید.

$$EC_{GW(t)} = \frac{Cgw_{(t)}}{640} \qquad [۳۰-۳]$$