

تخصیص منابع آب و شبیه‌سازی عملکرد محصولات در حوضه آبریز دشت تجن با رویکرد تلفیق دو مدل WOFOST و VENSIM

سیده فاطمه هاشمی^۱، علی شاهنظری^{۲*}، محمود رایینی^۳، محمدرضا شهبازبگیان^۴، یان فرانکلین آداموسکی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۵

چکیده

بکارگیری استراتژی‌های مدیریت یکپارچه منابع آب و خاک در مدل‌های سیستم پویا مستلزم در نظر گرفتن فرآیندهای فیزیکی همراه با بازخوردهای اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی و هیدرولوژیکی می‌باشد. از همین‌رو روش مطلوب برای دستیابی به بهترین حالت از هر دو دنیای مدل، تلفیق آنهاست که بتوان تبادل داده‌ها را بین مدل‌های مختلف فراهم آورده و رفتار پیچیده ناشی از برهم‌کنش‌های مختلف را تحت پوشش قرار داد. لذا در این تحقیق به منظور تخصیص منابع آب و برآورد عملکرد محصولات حوضه آبریز دشت تجن، مدل سیستم پویایی VENSIM و مدل رشد گیاهی WOFOST با استفاده از رویکرد کدنویسی توسعه و مدل تلفیقی PySD-PCSE ایجاد شد. بر همین اساس ابتدا مدل‌های VENSIM و WOFOST در بازه زمانی روزانه برای سال ۱۳۹۴ ساخته و واسنجی شد و با توجه به فرامین کدنویسی به زبان پایتون برگردانده شد و مرحله تلفیق دو مدل انجام پذیرفت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تراز منابع آب برای تأمین مصارف کشاورزی کافی نبوده و از ۱۵۵ میلیون متر مکعب، تنها تقریباً ۸۱ میلیون متر مکعب آن تأمین شده است که باقی به شکل تأمین نشده باقی می‌ماند، به طوری که میزان کمبود سیاه‌ریشه، مرکبات، شالی، جالیز، ذرت دانه‌ای، حبوبات، دانه‌های روغنی و گندم به ترتیب ۵۲، ۲۵، ۳۰، ۲، ۱/۲، ۰/۵، ۱ و ۱/۵۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است که بر میزان عملکرد محصولات بسیار مؤثر است. با توجه به اندک بودن پتانسیل منابع آب موجود در دشت، عملکرد محاسبه شده برای محصولات نظیر ذرت دانه‌ای ۸/۸ گندم ۱/۷۶ و دانه‌های روغنی ۲/۶ تن در هکتار برآورد شده است که با عملکرد واقعی محصولات تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. همچنین از آنجایی که پتانسیل منابع آب موجود حوضه آبریز دشت تجن برای تأمین مصارف کشاورزی آن کافی نبوده، نتایج میانگین تأمین در طی ۱۵ سال شبیه‌سازی در این پژوهش نشان می‌دهد که تأمین برای جالیز در تمام مناطق و دانه‌های روغنی، گندم، ذرت دانه‌ای و حبوبات نیز در برخی از مناطق، صورت نگرفته است. همچنین به منظور برآورد بهترین تابع عملکرد ضریب تبیین نمودارهای مختلف رسم شده مقایسه و نتایج این مقایسه نشان داد که تمامی این توابع از نوع درجه دوم و منطبق بر رابطه دورنبوس و کاسام می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: بازخورد، تابع عملکرد، کدنویسی پایتون، مدل پویایی سیستم، مدل رشد گیاهی

مقدمه

دارند و نمی‌توانند نمایش متعادلی از بازخوردهای اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی و هیدرولوژیکی سیستم باشند. از طرفی استراتژی‌های مدیریت منابع آب و خاک نه تنها بر فرایندهای فیزیکی مؤثر هستند، بلکه باید نمایش کاملی از بازخوردهای پویایی نیز باشند. اگرچه مدل‌های پویا برای تحلیل بازخوردها و رفتارهای ناگهانی متغیرهای هیدرولوژیکی - اقتصادی به خوبی عمل می‌نمایند (Pahl-Wostl, 2007)، اما برای شرح جنبه‌های بیوفیزیکی حوضه آبریز و سیستم‌های کشاورزی کارآمد نیستند. لذا مدل پویایی سیستم‌ها مستلزم تلفیق با مدل‌های بیوفیزیکی مناسبی است که از یک‌سو بتواند نشان‌دهنده دقت اجزای مختلف این مدل فیزیکی بوده و از سوی دیگر با در نظر گرفتن متغیرهای فیزیکی مشترک بین این دو مدل پاسخگوی تمامی فرضیات پویایی سیستم باشد (Butler and

در مدیریت منابع آب، مدل‌های شبیه‌سازی به عنوان ابزاری دقیق در مطالعه فرایندهای فیزیکی و سیستم‌های محیط زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Valipour et al., 2013, 2017). بیشتر این مدل‌ها در شبیه‌سازی تنها به فرایندهای فیزیکی خاصی اختصاص

- ۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - ۲- استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - ۳- استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - ۴- استادیار گروه آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس
 - ۵- دانشیار مرکز مدیریت منابع آب، دانشگاه مک‌گیل کانادا
- (*)- نویسنده مسئول: (Email: Alipoh@yahoo.com)

عملکرد محصولات حوضه آبریز تجن با استفاده از الگوی تخصیص منابع در این حوضه و رویکرد تلفیق مدل با زبان کدنویسی پایتون شبیه‌سازی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تجن (شکل ۱- الف) با مساحت تقریبی ۴۰۰۵ کیلومتر مربع که ۳۹۸۰ کیلومتر مربع آن در استان مازندران قرار گرفته، در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ۱۰°-۵۲° تا ۴۵°-۵۶° طول شرقی و ۴۵°-۳۵° تا ۰۰°-۳۸° عرض شمالی قرار دارد. رود تجن با سرشاخه‌های متعددی از جمله ورن، رودخانه سفید، زارم‌رود، شیرین رود، لاجیم و گرم‌رود بوده که با پیوستن این انشعابات به پیکره اصلی تجن، آورد اصلی رودخانه تجن شکل می‌گیرد. سد شهید رجایی، سد فینسک و زارم به ترتیب با ظرفیت ۱۶۱ میلیون متر مکعب، ۱۲ میلیون متر مکعب و ۸۳ میلیون متر مکعب ساخته شده است. در پایین دست رودخانه تجن، بند انحرافی تجن با ظرفیت آبیگری ۳۸ متر مکعب بر ثانیه احداث شده که قابلیت تنظیم برای کلیه دبی‌های مورد نیاز را داراست. با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه و سازه‌های موجود و در نظر گرفتن تقاضاها و منابع، حوضه آبریز دشت تجن به ۴ بخش تقسیم شد: ۱- سد فینسک برای نیاز شرب، کشاورزی و زیست محیطی، ۲- سد شهید رجایی برای تأمین نیاز شرب، کشاورزی، صنعت و زیست محیطی، ۳- سد زارم برای نیاز شرب، صنعت، کشاورزی و زیست محیطی، ۴- بند انحرافی تجن تا بالادست رودخانه برای تأمین نیاز شرب، صنعت، کشاورزی و زیست محیطی (شکل ۱- ب).

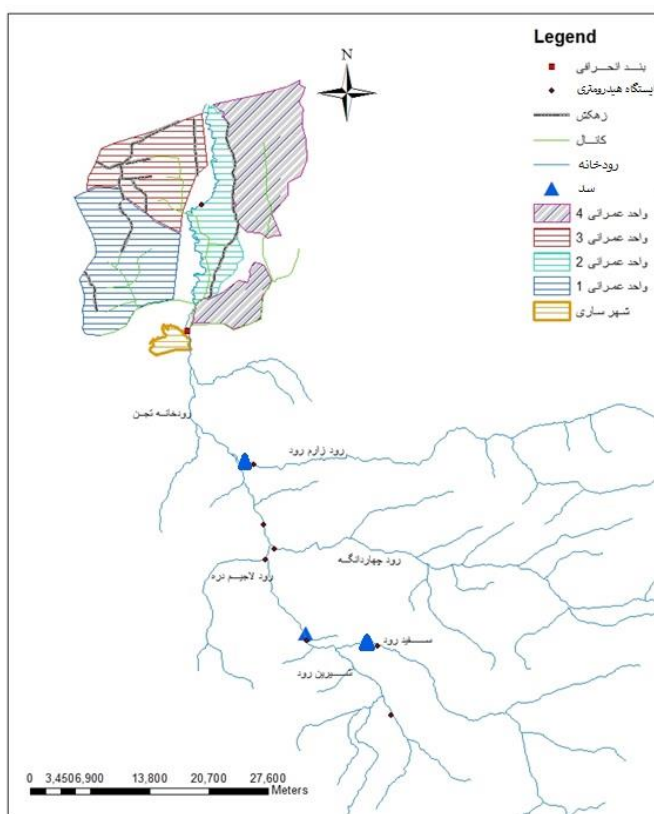
تلفیق مدل‌های سیستم پویا با مدل رشد گیاهی با استفاده از زبان کدنویسی پایتون

هدف کلی از این پژوهش، تلفیق مدل سیستم پویا VENSIM (Ventana Systems Inc, 1998) با مدل رشد گیاهی WOFOST (Supit et al., 2010) از طریق زبان برنامه‌نویسی پایتون است تا بتوان با استفاده از سیستم تلفیقی و با توجه به کمبودهای قابل ملاحظه عملکرد محصولات مختلف در منطقه را مورد تحلیل قرار داد.

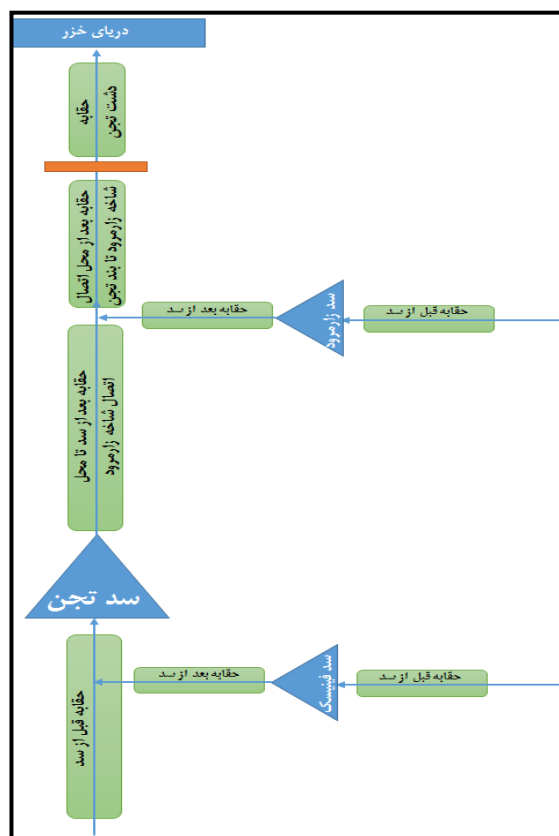
مدل PySD-PCSE

روش کار مورد استفاده در این پژوهش شامل چندین قدم اساسی است. در مرحله اول WOFOST برای منطقه مورد نظر با توجه به نوع محصولات شبیه‌سازی و پارامترهای گیاهی آن برای سال ۱۳۹۴ اعتبارسنجی و واسنجی شد.

(Adamowski, 2015)، به‌طوری‌که بتوان تبادل داده‌ها را بین مدل‌های مختلف فراهم آورده و رفتار پیچیده ناشی از برهم‌کنش‌های مختلف را تحت پوشش قرار دهد. بر همین اساس تلفیق مدل‌های مبتنی بر سیستم پویا با مدل‌های بیوفیزیکی رشد محصول نظیر WOFOST (Supit et al., 2010) شرایطی را فراهم می‌آورد که در آن روشی مطلوب برای دستیابی به بهترین حالت از هر دو دنیای مدل میسر شود. در چنین شرایطی امکان دستیابی غیرمستقیم به قابلیت پیش‌بینی مدل بیوفیزیکی و تبادل داده‌های ورودی و خروجی متغیرها بین این دو مدل در زمان شبیه‌سازی از طریق رابط مدل‌سازی سیستم پویا فراهم می‌شود. تاکنون مدل‌های یکپارچه مختلفی در زمینه کدنویسی توسعه یافته که به فواید تلفیق مدل از طریق برهم‌کنش‌های بیوفیزیکی بین اجزای سیستم اشاره می‌کند (Laudien et al., 2008). اما در زمینه توسعه و تلفیق برهم‌کنش‌های پویایی بین فرایندهای زیست محیطی، فیزیکی و اجتماعی تحقیقات اندکی انجام شده است که می‌توان به پرادویچ و سیمونویچ (۲۰۰۷ a,b) اشاره نمود که در آن اثرات تغییر اقلیم در حوضه آبریز تامز در جنوب شرقی انتاریو کانادا را با استفاده از تلفیق مدل سیستم پویا و HEC-HMS، از طریق زبان برنامه‌نویسی جاوا مورد بررسی قرار دادند. با توسعه زبان پایتون که یک زبان برنامه‌نویسی تفسیری، پویا و شی‌گرا می‌باشد، در تلفیق مدل سیستم پویا VENSIM با مدل ArcGIS (Peck et al., 2014)، مدل آب زیرزمینی (Inam et al., 2017a, Malard et al., 2017) و برنامه بهینه‌سازی مدل MATLAB (Akhtar et al., 2013) استفاده شد. در بخش دیگری از این تحقیقات به تلفیق مدل SWAT و مدل انتقال رسوب برای ارزیابی رواناب شهری (Shrestha et al., 2013)، ترکیب رواناب شهری و مدل فاضلاب Storm (Liao et al., 2012) و مدل‌های آب زیرزمینی، کشاورزی و اقتصادی (Bulatewicz et al., 2013) پرداخته شده است. بررسی سوابق تحقیق در زمینه تعیین عملکرد محصولات در یک مدل شبیه‌سازی سیستم پویا نشان می‌دهد که تاکنون چگونگی تلفیق یا توسعه مدل مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین بررسی تحقیقات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد تنها یا جنبه‌های مدیریت مشارکت‌مدار مورد ارزیابی قرار گرفته است (زحمتکش و منتظر، ۱۳۹۰، Hosseinpour et al., 2016, Horelman and Jafari Berenji, 2017) و یا عملکرد آنها در فرایند مدیریت انتقال مدیریت آبیاری (Madani, 2014). همچنین پاره‌ای دیگر از این تحقیقات اثرات احداث مخازن را از لحاظ کمی و کیفی بر منابع آبی موجود در منطقه مورد بررسی قرار می‌دهند (خوش‌روش و ولی‌زاده، ۱۳۹۶). از طرفی دیگر با توجه به اینکه بازخوردهای پویا بین دو مدل سیستم پویا VENSIM و مدل رشد گیاهی WOFOST مستلزم ارتباط رویکرد مدل‌سازی اجزای مختلف هر کدام از مدل‌هاست، بر همین اساس در این پژوهش،



الف. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



ب. شماتیک بازه‌های مصارف حوضه آبریز رودخانه تاجن

شکل ۱- جانمایی از حوضه آبریز مورد مطالعه

مورد واسنجی قرار گرفته است و پارامترهای گیاهی از جمله برای این منطقه بدست آمد. همچنین از آنجایی که در این مدل عملکرد گیاهانی مورد پایش قرار می‌گیرد که یکساله بوده یا در طی دو سال متوالی کشت شده‌اند، لذا برای سیاه ریشه و مرکبات هیچ نوع فایل پارامتر گیاهی نداشته و در این پژوهش فایل گیاهی آنها نیز ساخته شد.

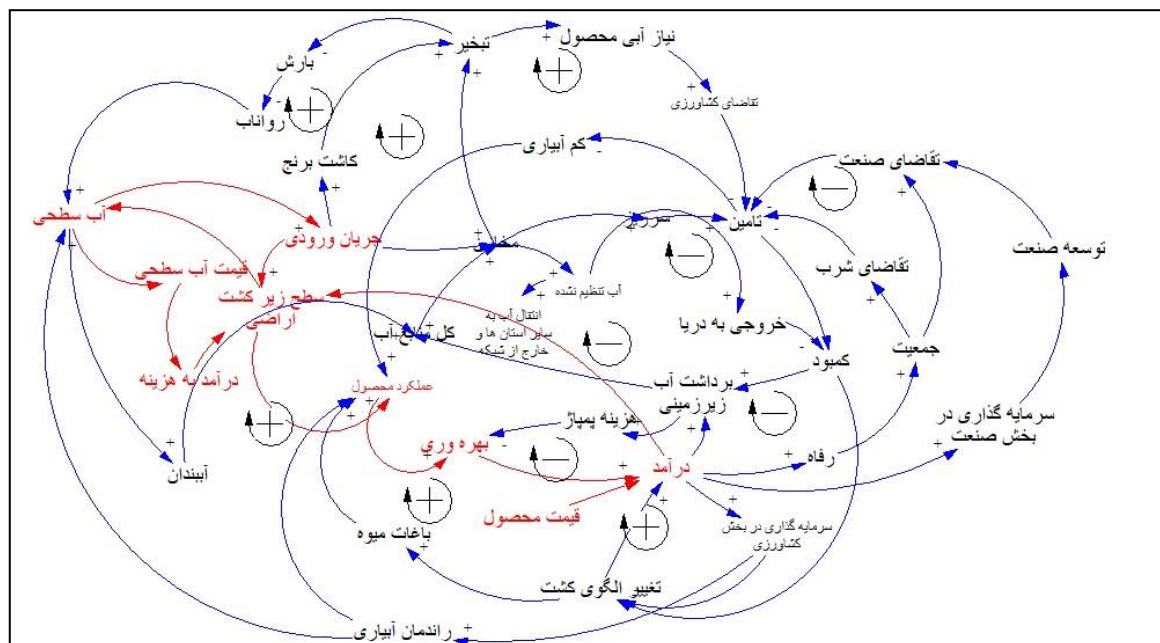
به منظور تحلیل سیستمی، چهار زیر سیستم کشاورزی، اقتصادی، صنعتی- اجتماعی و هیدرولوژی در مدل با توجه به پارامترها و روابط اساسی حاکم شبیه‌سازی و ساخته شد. مدل VESNIM ساخته شده به عنوان فایل *.mdl می‌باشد. در شکل ۲ فرضیات پویایی و چگونگی تاثیر آنها نشان داده شده است. مطابق شکل ۲ حلقه‌های قرمز نشان‌دهنده حلقه‌های درآمد به هزینه، حلقه درآمد و حلقه بهره‌وری می‌باشد. باقی حلقه‌ها بیان‌کننده حلقه ورودی به دریا، حلقه آب حاصل از رهاسازی سد و آب‌بندان، حلقه رفاه و حلقه سرریز است. علامت مثبت و منفی به ترتیب به اثرات افزایشنده و کاهشنده فرضیات پویا بر هم اشاره دارد.

برهمن اساس و به منظور ساخت WOFOST در منطقه مورد مطالعه نیاز آبی گیاهان با استفاده از نرم‌افزار 8 Cropwat در طی سال ۱۳۹۴ محاسبه و براساس تاریخ کاشت و برداشت و بر اساس شماره روز ژولوسوی، به مدل WOFOST وارد شد. زمان وقوع مراحل فنولوژیکی گیاهان محدوده مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. در مدل پارامترهایی نظیر ضریب روشنایی نور ($KDIF^1$)، حداکثر شدت جذب CO_2 ($AMAX^2$)، کسر ماده خشک بالای سطح زمین به اندام‌های ذخیره به صورت تابعی از DVS ($FOTB^3$) و کسر ماده خشک بالای سطح زمین به ساقه به صورت تابعی از DVS ($FSTB^4$) که مدل نسبت به آنها حساسیت بیشتری دارد، با استفاده از عملکرد محصول مشاهده‌ای مطالعه کنونی، برای هر منطقه و هر محصول

- 1- Extinction coefficient for diffuse visiblelight [-] as function of DVS
- 2- Maximum leaf CO_2 assimilation as function of DVS
- 3- Fraction of above-gr. DM to stor. org.as a function of DVS
- 4- Fraction of above-gr. DM to stems as a function of DVS

جدول ۱- اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت

گیاه	سیاه ریشه	مرکبات	شالی	گندم	دانه‌های روغنی	ذرت دانه ای	جالیز	حبوبات
تاریخ کاشت	۲۵ آوریل	۳ مارچ	۱۷ مارچ	۱۰ ژوئن	اول می	۲۰ ژوئن	۲۰ ژوئن	۲۰ آوریل
شماره روز ژولیبوسی	۱۴۹	۹۳	۱۱۱	۱۹۵	۱۵۴	۲۰۴	۲۰۴	۱۴۴
رسیدگی کامل فیزیولوژیکی	۲۵ سپتامبر	۲۸ سپتامبر	۲۰ آگوست	۱۰ سپتامبر	۱۰ سپتامبر	۱۰ اکتبر	۱ سپتامبر	۲۸ ژوئن
شماره روز ژولیبوسی	۳۰۰	۳۰۳	۲۶۰	۲۸۵	۲۸۵	۳۱۴	۲۷۶	۲۱۳



شکل ۲- نمودار علت و معلولی بین سیستم هیدرولوژیکی

اولویت اول و دوم را دارا بوده و سایر محصولات اولویت‌های بعدی (اولویت هفتم برای گندم در بالادست بند انحرافی تجن و فینسک، اولویت چهارم برای دانه‌های روغنی در بالادست زارم و اولویت ششم برای گندم در بالادست سد شهید رجایی) را تحت پوشش قرار می‌دهند.

در مرحله دوم و بعد از ساخت هر کدام از دو مدل VENSIM و WOFOST با توجه به روابط اساسی حاکم بر آنها و فرضیات موجود به زبان برنامه‌نویسی پایتون برگردانده و در بسته تقسیم‌بندی شد. بایستی توجه نمود آخرین گزینه برای تلفیق مدل‌ها توسط بسته مدل است که توسعه برنامه کامپیوتری را به صورت مجزا برای هر کدام از مدل‌هایی که قرار است تلفیق یابند، فراهم نموده و استخراج و انتقال داده و اطلاعات را بین دو مدل تلفیق یافته، مدیریت می‌کند (Malard et al., 2017).

مدل VENSIM براساس پارامترهای ورودی و بر حسب بازه زمانی روزانه و میانگین ۱۵ ساله در طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۹ مطابق جدول ۲ به مدل وارد شد. سپس الگوی تخصیص منابع آب به هر بخش از حوضه آبریز با توجه به فرضیات پویا که دربرگیرنده قوانین رهاسازی از سدها، آب‌بندان و آب زیرزمینی توسط مدل VENSIM شبیه‌سازی شد تا بتوان کمبودهای احتمالی را برآورد نمود.

در حوضه آبریز دشت تجن، عمده‌ترین نیاز، تأمین تقاضای کشاورزی در منطقه است و هر گونه تغییری در این بخش می‌تواند بر میزان آب در دسترس مؤثر باشد. لذا نیاز آبی به تفکیک الگوی کشت هر منطقه و میزان آن بر اساس مدل Cropwat 8 در طی سال ۹۴-۱۳۷۹ و با در نظر گرفتن حداکثر سود فروش برای شرکت آب منطقه‌ای به مدل وارد گردید. در جدول ۳ اولویت تخصیص منابع آب هر یک از مناطق بالادست سدها به همراه الگوی کشت فعلی و سطح زیر کشت آنها آورده شده است. الگوی کشت به ترتیب نزولی اولویت تأمین مرتب شده است. بدین صورت که مرکبات و سیاه‌ریشه به ترتیب

جدول ۲- فهرست پارامترهای مورد استفاده در حوضه آبریز تجن در طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۹

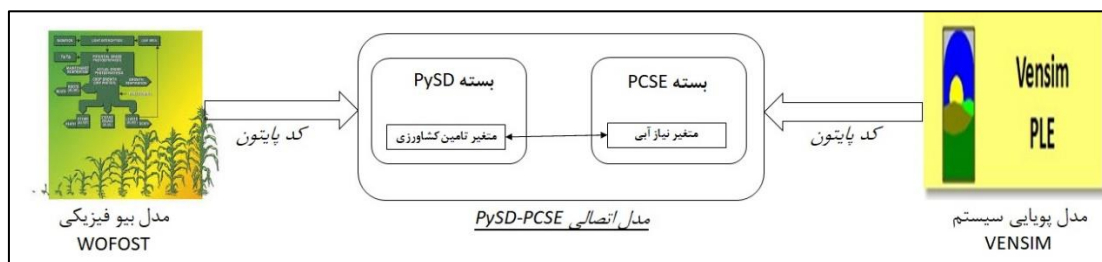
مقادیر	پارامترها
۱۳۸	ارتفاع تاج سد شهید رجایی (متر)
۵۹	ارتفاع تاج سد فیسنک (متر)
۷۸	ارتفاع تاج سد زارم (متر)
۱۵۳	کنترل سیلابی سد شهید رجایی (متر)
۹/۵۲	کنترل سیلابی سد فیسنک (متر)
۶۰	کنترل سیلابی سد زارم (متر)
۹۲	کنترل سیلابی آب‌بندان (متر)
۱۶۲	حداکثر حجم ذخیره سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)
۱۱/۸	حداکثر حجم ذخیره سد فیسنک (میلیون متر مکعب)
۸۲/۷۳	حداکثر حجم ذخیره سد زارم (میلیون متر مکعب)
۱۰۲	حداکثر حجم ذخیره آب‌بندان (میلیون متر مکعب)
۱۷/۱۲	حداقل حجم ذخیره سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)
۲/۲۷	حداقل حجم ذخیره سد فیسنک (میلیون متر مکعب)
۱۳	حداقل حجم ذخیره سد زارم (میلیون متر مکعب)
۲۵/۶	حداقل حجم ذخیره آب‌بندان (میلیون متر مکعب)
۰/۹	تبخیر از سطح دریاچه مخازن (متر)
۶۶/۶۳	نیاز زیست محیطی - بالادست سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)
۴۰	نیاز زیست محیطی - بالادست سد فیسنک (میلیون متر مکعب)
۹/۲۳	نیاز زیست محیطی - بالادست سد زارم (میلیون متر مکعب)
۱۶۸	نیاز زیست محیطی - بالادست بند انحرافی تجن (میلیون متر مکعب)
۷۰	راندمان بخش کشاورزی (درصد)
۲/۵	نیاز شرب سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب در ماه)
۰/۶	نیاز شرب سد فیسنک (میلیون متر مکعب در ماه)
۳/۹	نیاز شرب سد زارم (میلیون متر مکعب در ماه)
۱	نیاز صنعت سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب در ماه)
۰/۵	نیاز صنعت سد زارم (میلیون متر مکعب در ماه)
۷۰	عمق آبخوان (متر)

جدول ۳- الگوی کشت فعلی محصولات حوضه آبریز تجن به ترتیب نزولی اولویت تأمین

الگوی کشت	سطح زیر کشت بالادست (ha)			
	سد زارم	سد فیسنک	سد شهید رجایی	بند انحرافی تجن
مرکبات	-	۹۶	۳۹	۱۲۹۴۰
سیاه ریشه	۹۷۳	۲۷۵۳	۵۰۱	۶۴۰۲۶
شالی	۱۶۰	۱۹۰۷	۱۰۶۰	۲۱۹۶۱
جالیز	۱/۷	۲۷۸۳	۳/۵	۲۳/۵
ذرت دانه ای	-	۱	-	۳۶۹
حبوبات	-	۶/۱	-	۸/۵
دانه‌های روغنی	۴۱۵۷	۱۳	۰/۳	۴۳۵
گندم	-	۹۰۱	۰/۸	۱۷۱۰

واقعی مدل تلفیقی شبیه‌سازی را انجام دهد (Houghton, 2018). به‌طور همزمان، PCSE که یک بسته Python برای ساخت مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه و عملکرد محصول است با ایجاد محیطی برای پیاده‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی محصول، امکان خواندن داده‌های اصلی (آب و هوا، خاک و زراعت) و مؤلفه‌های شبیه‌سازی فرایندهای بیوفیزیکی مانند فنولوژی، تنفس و تبخیر و تعرق را فراهم می‌کند (Wit, 2018) که در نسخه حاضر فراخوانی داده‌های آب و هوا با نسخه پیشین متمایز است (شکل ۳).

ستون اصلی شبیه‌سازی هر کدام از دو مدل در این بسته قرار دارد و هر بار برای هر شبیه‌سازی بایستی با استفاده از کدهای نوشته شده فراخوانی شود و در نهایت در مرحله آخر، تمامی نتایج ذخیره گردد. PySD که به مدل VENSIM ایجاد شده تحت زبان پایتون اطلاق می‌شود، فایل 'vensim.mdl' را به اجزای تشکیل دهنده آن تجزیه نموده و نتایج را به پایتون برمی‌گرداند که امکان استخراج اجزای وابسته از محیط VENSIM را ایجاد نموده و می‌تواند به سهولت برای ارتباط مدل یا محاسبات توزیع یافته موازی استفاده شود و در نهایت بدون هیچ تغییری در ساختار پویایی سیستم‌ها یا متغیرهای



شکل ۳- ساختار کلی مدل تلفیقی ساخته با زبان پایتون

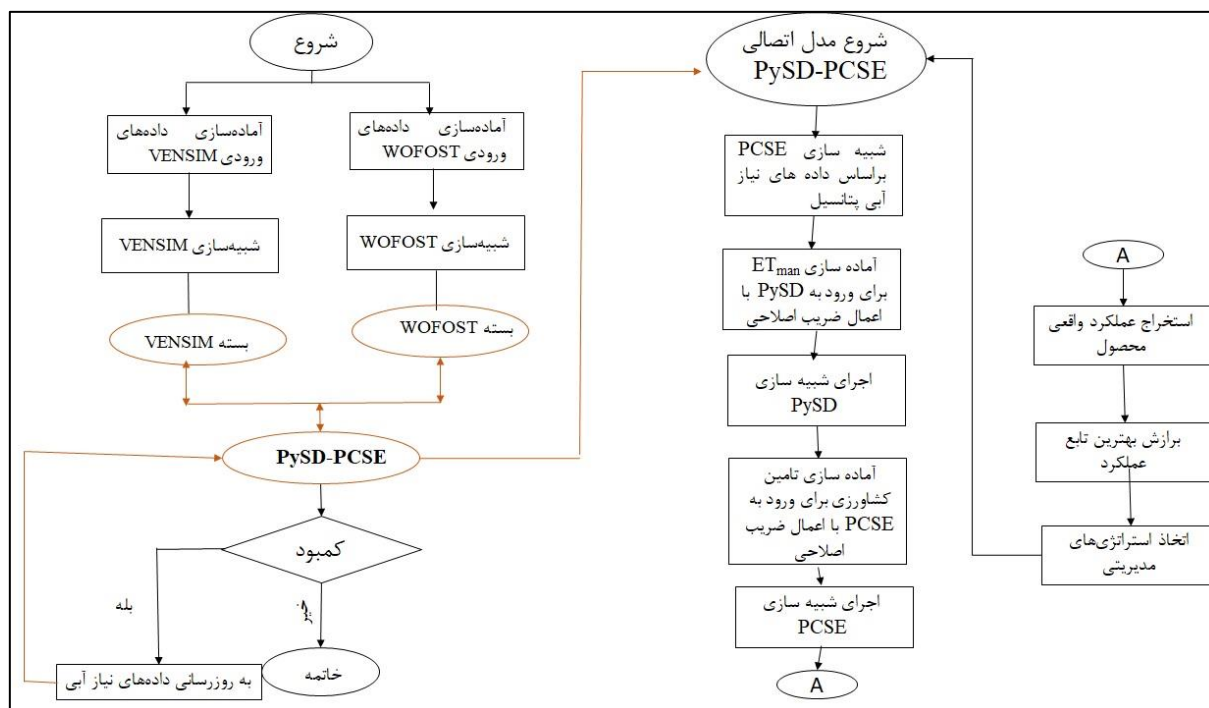
بررسی گردند. لذا محصولاتی که در هر دوره شبیه‌سازی با کمبود مواجه باشند، تامین برابر صفر بوده و آن دوره از حلقه شبیه‌سازی حذف شده و تاثیری در برآورد عملکرد نخواهد داشت.

سناریوی استخراج تابع عملکرد از مدل تلفیقی PySD-PCSE
به منظور برآورد تابع عملکرد بهینه برای هر یک از محصولات در الگوی کشت منطقه مورد مطالعه، مدل تلفیقی PySD-PCSE برای سال ۲۰۱۴ شبیه‌سازی شد و بعد از تکمیل حلقه شبیه‌سازی، عملکرد واقعی و تبخیر - تعرق واقعی^۳ (به ترتیب Y و ET) به عنوان خروجی اولیه استخراج شد در مرحله بعدی، ده دوره از دوره رشد در بسته PCSE مشخص شده که بعنوان داده‌های شبیه‌سازی مبنای اصلی محاسبات قرار گرفت. بدین ترتیب که در همان روزها، مبتنی بر شماره روز ژولیبوسی، عملکرد و تبخیر - تعرق به ازای ET_{max} در مدل تلفیقی، در بسته PCSE اضافه و در محاسبات Y_{max} و ET_{max} در نظر گرفته شد. این مقادیر از طریق دستور نمودارهای خطی^۴، درجه دو^۵، توانی^۶ و نمایی^۷ برای محاسبه ضریب تبیین و استخراج تابع عملکرد پایتون تنظیم شد.

هدف اولیه شبیه‌سازی مدل PySD-PCSE تعیین عملکرد محصولات است. بر همین اساس بعد از ساخت هر مدل تحت ویندوز و تبدیل آنها به نسخه تحت پایتون، بسته مدل تلفیقی شکل می‌گیرد که این امکان را فراهم می‌سازد که خروجی یک مدل قابلیت تبدیل به ورودی مدل دیگر را دارا باشد و فرایندهای اساسی مدل‌های سیستم پویا و مدل‌های بیوفیزیکی را به یک زبان مشترک و به عنوان یک واحد اجرایی ایجاد نماید (Inam et al., Malard et al., 2017). در شکل ۴ فلوجارت روند اجرای تلفیق به صورت خلاصه بیان شده است. در بسته تلفیقی PySD-PCSE ابتدا بایستی پارامترهای تلفیقی مشخص گردد. در این پژوهش نیاز آبی گیاهان^۱ و تامین نیاز آبی^۲ به عنوان پارامتر تلفیقی انتخاب شدند که بدین ترتیب که اگر کمبودی مشاهده نشود، عملکرد واقعی و عملکرد حداکثر در منطقه برابر است در غیر این صورت پارامتر تلفیقی مرحله اول جایگزین پارامتر تلفیقی مرحله دوم شده و بعد از اتمام شبیه‌سازی در این مرحله، عملکرد در مرحله بعدی محصولات به دست می‌آید و مبنای مقایسات را ممکن می‌سازد. همچنین بایستی توجه نمود که در محدوده حوضه آبریز تجن به‌طور کلی ۸ الگوی کشت مختلف حاکم است که بایستی علاوه بر محاسبه میزان عملکرد هر کدام از آنها، نحوه تخصیص منابع آب در طی ۵۲ سال و در بازه زمانی ماهانه

3 Actual Evatranspiration
4- Linear
5- Polynomial
6- Power
7- Exponential

1- Evatranspiration
2- Water supply



شکل ۴- فلوجارت مدل تلفیقی با فرایند برنامه نویسی

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی مدل PySD-PCSE

مدل PySD-PCSE در منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی شد و خلاصه نتایج آن در بخش‌های زیر آورده شده است. بایستی توجه نمود که در این مدل تلفیقی، بعد از ساخت هر کدام از پارامترهای مدل رشد گیاهی و SD دیگر نیازی به نسخه تحت ویندوز آنها نبوده و این مسئله برتری نسبی این مدل تلفیقی را نسبت به (Tinamit et al., 2017) و (Inam et al., 2017) نشان می‌دهد.

نتایج تأمین منابع آبی از مدل تلفیقی PySD-PCSE

برآورد تأمین تقاضاهای آبی در مدل تلفیقی، اولین خروجی قابل توجه به‌شمار می‌رود که علاوه بر امکان ارزیابی تراز منابع و مصارف کشاورزی در منطقه، با محاسبه میزان کمبودهای احتمالی، روند تعیین عملکرد واقعی در منطقه را فراهم می‌کند. در جدول ۴ خلاصه نتایج میزان تقاضا و تأمین در دشت مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی این مقادیر که به ازای تبخیر - تعرق واقعی محصولات حوضه آبریز دشت تجن به‌دست آمده‌اند، بر این امر دلالت دارد که در اکثر مناطق آبخور سدها تأمین به میزان اندک یا برابر با صفر است. برای نمونه تأمین سیاه ریشه در دو منطقه فینسک و بند انحرافی تجن به ترتیب صفر یا نسبت به تقاضا بسیار ناچیز بوده است. چنین روندی کم و

بیش در تأمین نیاز آبی محصولات سد شهید رجایی نیز قابل مشاهده است. همچنین بررسی نتایج تأمین در این جدول نشان می‌دهد در منطقه فینسک تنها محصولی که نیاز آبی آن به طور کامل تأمین شده، مرکبات بوده است. همچنین بررسی سایر محصولات نیز نشان می‌دهد برای برنج به میزان بسیار کمی تأمین صورت گرفته و از چهار منطقه مورد کشت، تنها در منطقه زارم و بند انحرافی تجن، تقاضا تقریباً به میزان ۵۰ درصد تأمین شده است. برای جالیز نیز چنین روندی مشاهده می‌شود که از میان این مناطق نام برده، تأمینی برای جالیز صورت نگرفته است. به طور مشابه، دانه‌های روغنی، گندم، ذرت دانه‌ای و حبوبات نیز با توجه به تأمین صفر در برخی از مناطق عملاً از حلقه شبیه‌سازی خارج خواهند شد. از طرفی دیگر، این مسئله نشان می‌دهد که تراز منابع آب در حوضه آبریز دشت تجن برای تأمین مصارف کشاورزی کافی نبوده و استفاده از سایر منابع یا تغییر الگوی کشت در منطقه امری ضروری خواهد بود.

نتایج عملکرد محاسبه شده از مدل تلفیقی PySD-PCSE

عملکرد واقعی براساس به روزرسانی اطلاعات تبخیر - تعرق واقعی گیاهان در مدل PySD-PCSE آخرین بخش از حلقه شبیه‌سازی تلفیق است. از آنجایی که محصولاتی نظیر جالیز و حبوبات در تمامی مناطق، سیاه‌ریشه در فینسک، شالی در شهید رجایی، ذرت دانه‌ای در فینسک، دانه‌های روغنی در شهید رجایی و

جایگزین نماید، به خوبی توانسته عملکرد را نیز محاسبه نماید. زیرا مقایسه مقادیر تأمین و عملکرد واقعی هماهنگی خوبی با هم دارند به طوری که با کاهش تأمین، میزان عملکرد در برخی از محصولات کاهش یافته است. چنین روندی به طور معکوس نیز صادق است.

نتایج استخراج تابع عملکرد از مدل تلفیقی PySD-PCSE

به منظور برآورد بهینه‌ترین تابع عملکرد، مقادیر ET و Y میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده تمامی مناطق و مقادیر Y_{max} و ET_{max} که به عنوان عملکرد و تبخیر-تعرق بیشینه از مهم‌ترین نتایج مدل PySD-PCSE به شمار می‌رود، از مدل تلفیقی PySD-PCSE انتخاب و رسم می‌شود.

گندم در فینسک و شهید رجایی، مقادیر تأمین توسط مدل PySD-PCSE برابر صفر محاسبه شد، در نتیجه به روزرسانی پارامتر تبخیر-تعرق نداشتند، لذا از حلقه شبیه‌سازی مدل PySD-PCSE حذف شدند. بر همین اساس عملکرد این محصولات قابل محاسبه نبوده و تابعی پیشنهاد نخواهد شد. اما برای محصولات باقیمانده، عملکرد واقعی در جدول زیر به طور خلاصه بیان شده است. بررسی اجمالی جدول ۵ نشان می‌دهد که سیاه‌ریشه در مناطق زارم و سد شهید رجایی بیشترین میزان عملکرد را داشته‌اند که با توجه به تأمین تقریبی تمام نیازهای این محصولات در این مناطق قابل پیش‌بینی بود. همچنین مرکبات نیز در منطقه فینسک عملکرد واقعی آن نسبت به عملکرد بیشینه اختلاف ناچیزی دارد و از آنجایی که در منطقه فینسک، باقی نیازهای کشاورزی تأمین نشده بود و تنها محصول مرکبات تأمین شد، از همین رو عملکرد بالایی نیز انتظار می‌رفت. همچنین بررسی سایر مقادیر در جدول نشان می‌دهد که مدل

جدول ۴- تقاضا و تأمین مصارف کشاورزی به تفکیک الگوی کشت در حوضه آبریز دشت تجن

مناطق آبخور سد	گیاهان	میلیون متر مکعب	
		تأمین	تقاضا
فینسک	سیاه‌ریشه	۰	۶/۰۴
زارم		۸/۴	۹/۱۲
شهید رجایی		۰/۸۸	۱/۱
بند انحرافی تجن		۲/۰۲	۴۷/۷
فینسک	مرکبات	۰/۲۷	۰/۲۷
زارم		۰/۴۳	۰/۴۶
شهید رجایی		۰/۱	۰/۱۱
بند انحرافی تجن		۱۱/۸۴	۳۷/۶۶
فینسک	شالی	۰	۱۴
زارم		۴/۵	۷/۲۳
شهید رجایی		۰	۷/۸۷
بند انحرافی تجن		۱۰/۰۹	۱۶/۲۳
فینسک	جالیز	۰	۱/۸۹
شهید رجایی		۰	۰/۰۲
بند انحرافی تجن		۰	۰/۰۱
فینسک		۰	۰/۲
بند انحرافی تجن	ذرت دانه‌ای	۱/۲	۲/۳۸
فینسک		۰	۰/۰۵
زارم	دانه های روغنی	۰/۰۱	۰/۰۵
شهید رجایی		۰	۰/۰۵
بند انحرافی تجن		۰/۵۱	۱/۴۱
فینسک		۰	۰/۰۶
شهید رجایی	گندم	۰	۰/۰۱
بند انحرافی تجن		۰/۲۱	۱/۱۲
مجموع		۸۰/۹	۱۵۵/۵۸

جدول ۵- عملکرد بیشینه و شبیه‌سازی مبتنی بر کمبود با استفاده از مدل تلفیقی PySD-PCSE به تفکیک الگوی کشت در حوضه آبریز دشت تجن

مناطق آبخور سد	گیاهان	تن در هکتار	
		عملکرد بیشینه	عملکرد واقعی
زارم			۲۲/۳۴
شهید رجایی	سیاه‌ریشه	۲۲/۳۵	۲۲/۳۴
بند انحرافی تجن			۱۵/۴۳
فینسک			۳۱/۵۰
زارم			۳۱/۵۴
شهید رجایی	مرکبات	۳۱/۵۴	۲۴/۶۵
بند انحرافی تجن			۱۹/۶۴
زارم			۲/۸۲
بند انحرافی تجن	شالی	۵/۴۱	۵/۲۴
بند انحرافی تجن	ذرت دانه‌ای	۲۶/۰۸	۸/۸
زارم			۵/۱۴
بند انحرافی تجن	دانه های روغنی	۸/۴۵	۲/۶
بند انحرافی تجن	گندم	۳/۴۲	۱/۷۶

است که بالاترین ضریب تبیین معادلات پیشنهادی را دارا است. همچنین در توضیح مقدار آن معادل ۰/۴۶ می‌توان به میزان تأمین تقاضا در این محدوده اشاره نمود که از مجموع ۳۸/۵۵ میلیون متر مکعب تقاضای کشاورزی، پتانسیل منابع آب دشت تقریباً ۱۴ میلیون متر مکعب است توانسته تنها بخشی از نیازها را تأمین نماید. چنین روندی کم و بیش در مورد سایر محصولات نیز صادق است.

در ادامه نمودار توابعی که بیشترین ضریب تبیین را در مدل تلفیقی PySD-PCSE دارا می‌باشند، رسم می‌شود. تمامی این توابع از نوع درجه دوم هستند. علاوه بر این، بررسی شکل توابعی که بیشترین ضریب تبیین را دارا بوده‌اند، به استخراج تابع عملکرد محصول در این منطقه منجر شد. بدین ترتیب که توابع این محصولات منطبق بر رابطه دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹)، پیشنهاد می‌شود که در شکل ۵ ارائه شده است. در تحقیقاتی که تاکنون برای برآورد تابع عملکرد گیاهان مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، بیشتر بر بررسی بهینه‌ترین تابع تولید در سطوح مختلف آبیاری متمرکز بوده (جنت صادقی و همکاران، ۱۳۹۷) یا مقایسه روش‌های مختلف برآورد بهترین تابع عملکرد را مورد ارزیابی قرار داده است (قبایی سوق و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین بررسی تحقیقات نیز نشان می‌دهد هر منطقه با توجه به پارامترهای هواشناسی و اقلیم خاص که مؤثر بر دوره رشد محصولات مختلف است (Hassanzadeh, 2016)، توابعی خاص دارند و هر کدام براساس توابع مختلف ثبت شده که در بالا به اختصار به آن اشاره شد. اما از آنجایی که در این تحقیق هدف بررسی چگونگی شبیه‌سازی اجزای مختلف مدل تلفیقی PySD-PCSE بوده و استخراج تابع عملکرد محصول به عنوان نتیجه یکی از

در جدول ۶، توابع رسم شده در حوضه آبریز دشت تجن توسط مدل تلفیقی PySD-PCSE ارائه شده است. طبق جدول، معادلات براساس چهار نوع تابع پیشنهادی برازش یافته است. معیار بهترین تابع برازش یافته، ضریب تبیین نزدیک به یک است به طوری که هر معادله‌ای که ضریب تبیین نزدیک به یک داشته باشد، به عنوان معادله بهینه انتخاب شده و بر اساس آن تابع عملکرد محصول در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. همچنین باید توجه داشت که مدل PySD-PCSE با توجه به مجهز بودن به ابزار بهینه‌سازی و پردازش خودکار پارامترها، بهینه‌ترین حالت ممکن تابع را به دست می‌دهد. در جدول زیر معادلات و ضریب تبیین محاسبه شده آورده شده است. بررسی ضریب تبیین از دو منظر حائز اهمیت است. از یک سو به دلیل بهینه‌ترین حالت تابع از میان توابع مختلف برای هر محصول را در نظر گرفته و از سویی دیگر می‌تواند مبنای مقایسه نتایج خروجی عملکرد به شمار رود. بهترین تابع برازش یافته در کل منطقه برای درختان سیاه ریشه با ضریب تبیین ۰/۹۵ و طبق معادله درجه دوم $y = 0.53x^2 - 8.7x + 32.82$ می‌باشد. از طرفی می‌توان چنین استنباط نمود که با توجه به تأمین کافی تقاضاهای کشاورزی در منطقه، عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل PySD-PCSE با مقادیر واقعی در دشت مذکور تطابق خوبی دارد. همچنین می‌توان از نتایج جدول ۶ این‌طور استنباط نمود که ضعیف‌ترین برازش انواع توابع، در مورد محصول ذرت دانه‌ای است که تقریباً ۳۰٪ از کل تقاضای کشاورزی آن، تأمین شده است چنین روندی کم و بیش مشابه در مورد محصول مرکبات نیز صادق است و تابع عملکرد غالب در منطقه مورد مطالعه برای گیاه مرکبات، تابع $y = 0.9x^2 - 1.31x + 0.6$

سناریوهای آن است و از سویی دیگر در این مرحله نیاز به داده‌های مشاهداتی زیادتری است تا بتوان تابع عملکرد را برآورد نمود که در این سطح کلان امکان تهیه و جمع‌آوری آن نبود، در اینجا این توابع از لحاظ شکل ریاضی و تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۶- معادلات استخراج شده به همراه ضرایب تبیین به تفکیک الگوی کشت در حوضه آبریز دشت تجن

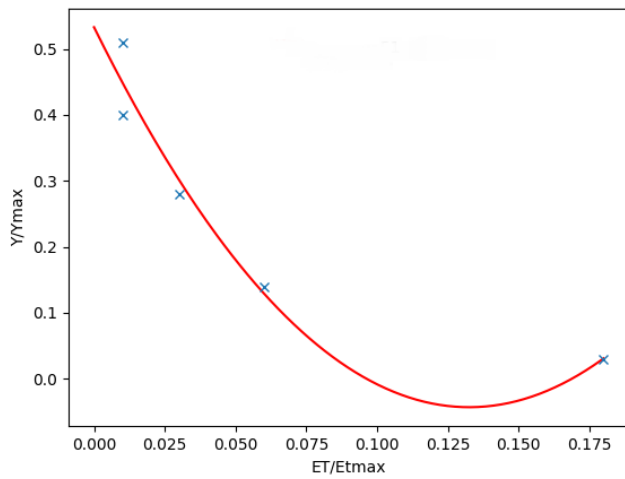
تابع	گیاهان	PySD-PCSE	
		R ²	معادله
خطی	سیاه‌ریشه	۰/۵۰۹۵	$y=۰/۵۶x+۰/۲۵$
درجه دو		۰/۹۵۵۱	$y=۳۲/۸۲x^2-۸/۷x+۰/۵۳$
توانی		۰/۳۲۱۲	$y=۰/۶۵x^{-۰/۲۴}$
نمایی		۰/۶۲۱۰	$y=۰/۲۵e^{۰/۲۵x}$
خطی	گرجکات	۰/۳۹۳۷	$y=۰/۰۵x+۰/۱۶$
درجه دو		۰/۴۶۶۰	$y=۰/۹x^2-۱/۳۱x+۰/۱۶$
توانی		۰/۴۰۳۲	$y=۰/۱۹x^{-۰/۴۶}$
نمایی		۰/۳۴۸۳	$y=۰/۱۹e^{-۰/۱۴x}$
خطی	شالی	۰/۰۴۵۳	$y=۰/۰۱x+۰/۵۳$
درجه دو		۰/۶۱۶۴	$y=-۳/۱۵x^2+۳/۴۶x-۰/۱۵$
توانی		۰/۱۲۳۹	$y=۰/۵۶x^{-۰/۰۷}$
نمایی		۰/۰۴۰۵	$y=۰/۵۳e^{-۰/۰۲x}$
خطی	ذرت دانه ای	۰/۰۰۰۷	$y=۰/۲۸x+۰/۳۷$
درجه دو		۰/۱۳۰۷	$y=-۲/۴۸x^2+۱/۸۵x+۰/۲۵$
توانی		۰/۰۷۳۰	$y=۰/۵۹x^{-۰/۱۶}$
نمایی		۰/۰۰۰۵	$y=۰/۳۸e^{-۰/۵۵x}$
خطی	دانه های روغنی	۰/۰۴۸۲	$y=۰/۰۰۷x+۰/۴۳$
درجه دو		۰/۵۴۱۳	$y=-۱/۸x^2+۲/۰۹x+۰/۱۹$
توانی		۰/۰۷۷۷	$y=۰/۴۸x^{-۰/۰۸}$
نمایی		۰/۰۳۸۹	$y=۰/۴۳e^{-۰/۰۱x}$
خطی	گندم	۰/۲۶۸۰	$y=۰/۰۹x+۰/۱۶$
درجه دو		۰/۵۳۰۶	$y=-۰/۲۴x^2+۰/۵۸x+۰/۴۳$
توانی		۰/۳۸۳۵	$y=۰/۷۱x^{-۰/۱۲}$
نمایی		۰/۲۴۴۶	$y=۰/۶۰e^{-۰/۱۲x}$

ساله چندان مناسب نبوده و اگرچه می‌تواند میزان عملکرد را محاسبه نماید، ولی محاسبه دقیق آن مستلزم اجرای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و میدانی پارامترهای گیاهی می‌باشد.

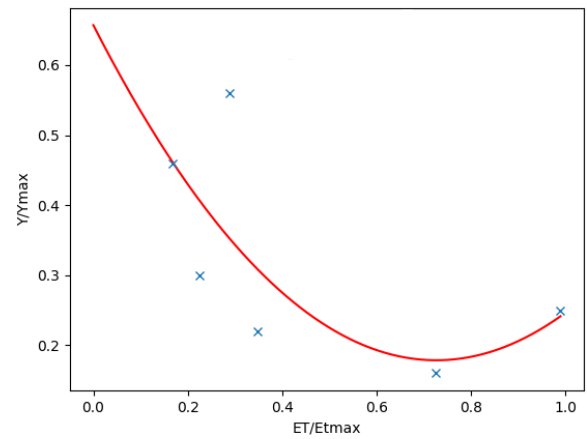
نتیجه‌گیری

قابل توجه‌ترین نتیجه شبیه‌سازی عملکرد محصولات با مدل تلفیقی PySD-PCSE در حوضه آبریز دشت تجن، عدم نیاز به نسخه تحت ویندوز آنها بعد از ساخت بسته‌های مدل رشد گیاهی PCSE و پویایی سیستم VENSIM است که نسبت به مدل Tinamit (Inam et al., 2017, Malard et al., 2017) در این زمینه برتری نسبی آنرا نشان می‌دهد.

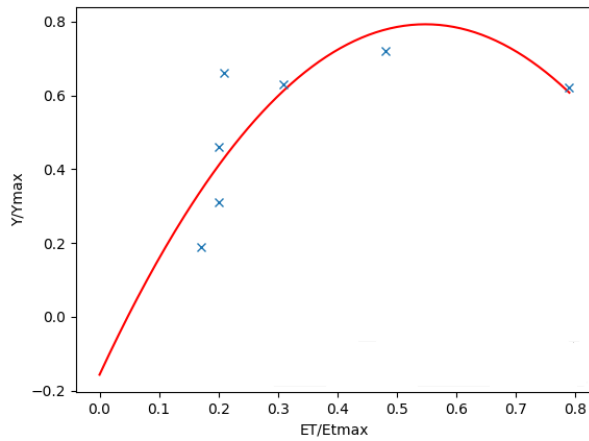
همچنین بررسی کلی نمودارها نشان می‌دهد از شش تابع به دست آمده توابع مربوط به شالی، ذرت دانه‌ای، دانه‌های روغنی و گندم (شکل ۵- نمودار ج - ی) روندی کم و بیش مشابه دارند. بدین ترتیب که شکل کلی نمودارها مشابه بوده و البته با توجه به پارامترهای مخصوص هر کدام از محصولات از جمله تنفس، جذب، فنولوژی، تبدیل تنفس به زی توده و غیره که از جمله پارامترهای اساسی مدل PCSE هستند و محاسبه آنها منوط به نتایج آزمایشگاهی است، هر کدام دارای نقطه اوج و افولی هستند متمایز از هم است. اما در مورد درختان مرکبات و سیاه‌ریشه از آنجایی که بسته PCSE مخصوص گیاهان یک ساله است، به خوبی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد (شکل ۵- نمودار الف-ب) که برای گیاهان چندین



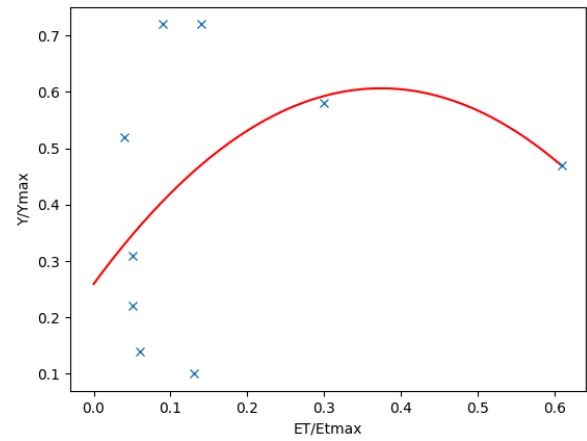
الف: تابع درجه دو سیاه‌ریشه



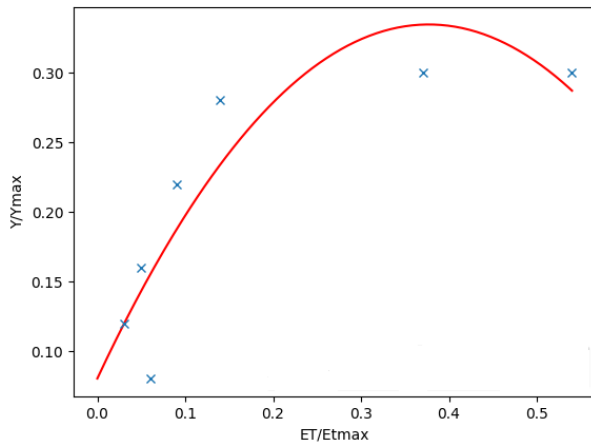
ب: تابع درجه دو مرکبات



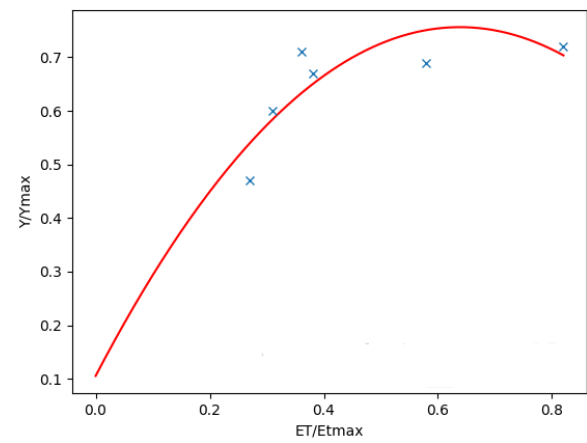
پ: تابع درجه دو شالی



ت: تابع درجه دو ذرت دانه‌ای



ث: تابع درجه دو دانه‌های روغنی



ج: تابع درجه دو گندم

شکل ۵- نمودارهای انتخابی توابع عملکرد از مدل تلفیقی PySD-PCSE

دیگری نیازی به اجرای نسخه *.exe آن در هر بار شبیه‌سازی نیست. همچنین بررسی نتایج تراز منابع و مصارف کشاورزی حوضه آبریز دشت تجن با استفاده از مدل PySD-PCSE نشان می‌دهد تراز منابع

به‌طوری‌که در مدل مذکور برای اجرای نسخه تحت پایتون مدل بیوفیزیکی (SAHYSMOD) بایستی نسخه *.exe آن موجود باشد ولی در مدل تلفیقی حاضر، بعد از ساخت اولیه نسخه تحت پایتون،

۲۵. از صفحه ۱۰۴۲ تا صفحه ۱۰۵۷.

قبائی سوق. م.، زارع ایبانه. ح. و. مساعدی، ا. ۱۳۹۶. تعیین توابع تولید عملکرد گندم و جو دیم در سطح استان گلستان با استفاده از (ARID) شاخص مرجع کشاورزی برای خشکسالی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. - شماره ۱، جلد، فروردین - اردیبهشت، ص ۱۱-۲۱.

Akhtar, M.K., Wibe, J., Simonovic, S.P., and MacGee, J. 2013. Integrated assessment model of society-biosphere-climate-economy-energy system. *Environ. Model. Softw.* 49, 1e21.

Butler, C., and Adamowski, J. 2015. Empowering marginalized communities in water resources management: Addressing inequitable practices in Participatory Model Building. *J. Environ. Manage.* 153, 153-162.

Bulatewicz, T., Allen, A., Peterson, J.M., Staggenborg, S., Welch, S.M., and Steward, D.R. 2013. The simple script wrapper for OpenMI: enabling interdisciplinary modeling studies. *Environ. Model. Softw.* 39, 283-294.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. "Yield response to Water." irrigation and drainage. Paper No. 33, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.

Houghton, J. 2018. PySD Documentation Release 0.9.0. P: 27.

Hosseinpour, Z., Menhaj, M.H., Kavooosi-Kalashami, M. 2016. Assessment Improving and Organizing Mechanism of Water Users Cooperatives Using AHP Method in Esfarayen County, Iran. *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 06, 3.

Horlemann, L., and Jafari Berenji P. 2017. Participation in Water Management in Iran. *Reviving the Dying Giant* pp 51-62.

Hassanzadeh, E. 2016. Integrated management of water resource systems under changing water availability, policy, and irrigation expansion plans. A thesis submitted to the college of graduate studies and research in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in the department of civil and geological engineering university of Saskatchewan Saskatoon.

Inam, A., Adamowski, J., Halbe, J., Malard, J., Albano, R., and Prasher, S. 2017a. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management Part 2: model coupling and application. *J. Hydrol.* 551, 278e299.

Liao, Y.-P., Lin, S.-S., and Chou, H.-S. 2012. Integration of urban runoff and storm sewer models using the OpenMI framework. *J. Hydroinformatics*

آب برای تأمین مصارف کشاورزی کافی نبوده و از ۱۵۵ میلیون متر مکعب، تنها تقریباً ۸۱ میلیون متر مکعب آن تأمین شده است که بر میزان عملکرد محصولات بسیار مؤثر است. به طوری که تأمین جالبیز و حبوبات در تمامی مناطق این دشت با استفاده از مدل PySD-PCSE صفر شبیه‌سازی شد. همچنین با توجه به اندک بودن پتانسیل منابع آب موجود در دشت، در منطقه فیسنگ مرکبات به میزان ۰/۲۷ میلیون متر مکعب، در منطقه زارم تمامی محصولات به میزان ۱۳/۳۴ میلیون متر مکعب، در سد شهید رجایی سیاه‌ریشه و گندم ۰/۹۸ میلیون متر مکعب و تمامی محصولات بند انحرافی ۲۵/۸۷ میلیون متر مکعب تأمین شد. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد مدل PySD-PCSE نشان داد که عملکرد از ۱/۷۶ تن در هکتار برای گندم در بند انحرافی تجن تا ۳۱/۵۶ تن در هکتار برای مرکبات زارم متغیر است. همچنین به منظور برآورد بهترین تابع عملکرد ضریب تبیین نمودارهای مختلف رسم شده مقایسه و نتایج این مقایسه نشان داد که تمامی این توابع از نوع درجه دوم و منطبق بر رابطه دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) می‌باشد. چنین رویکردهایی در محاسبه تابع عملکرد با توجه به تحقیقات پیشین که محدود به بررسی بهینه‌ترین تابع تولید در سطوح مختلف آبیاری (جنت صادقی و همکاران، ۱۳۹۷) یا مقایسه روش‌های مختلف برآورد بهترین تابع عملکرد (قبائی سوق و همکاران، ۱۳۹۶) متمرکز بوده، می‌تواند تنها با کد نویسی کوتاهی و در زمان بسیار کم، هم تراز منابع آب موجود در منطقه را ارزیابی نموده و هم نمای کلی از چگونگی تأثیر کمبود منابع آب با توجه به لحاظ نمودن تمامی بازخوردهای اجتماعی - اقتصادی - هیدرولوژیکی و کشاورزی در منطقه به دست آورد تا بتوان با بیشترین دقت و کمترین دخالت انسانی به تحلیل همه جانبه و یکپارچه دست یافت.

منابع

خوش‌روش. م. و ولی زاده. م. ۱۳۹۶. اثرات احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد مخزنی شهید رجایی روی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت ساری-نکا. علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۲۱، شماره ۲.

جنت‌صادقی. م.، شاه‌نوشیفروشانی. ن.، دانشور کاخکی. م.، دوراندیش. آ.، محمدی. ح. ۱۳۹۷. بررسی عامل‌های مؤثر بر عملکرد محصول‌های راهبردی کشاورزی (گندم و جو) در استان خراسان رضوی. اقتصاد کشاورزی/جلد ۲۱/ شماره ۱/صفحه های ۲۳۱ - ۱۱۱.

زحمتکش. م.، منتظر. ع. ا. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد تعدادی از شبکه‌های آبیاری جهان با استفاده از شیوه مقایسه‌ای و تحلیل داده کاوی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) شماره ۵، دوره

- Western Ontario, Canada.
- Prodanovic, P., and Simonovic, S.P. 2007b. Integrated Water Resources Modelling of the Upper Thames River Basin, pp. 1–10.
- Prodanovic, P., and Simonovic, S.P. 2010. An operational model for support of integrated watershed management. *Water Resour. Manag.* 24, 1161–1194.
- Supit, I., Van Diepen, C.A., De Wit, A.J.W., Kabat, P., Baruth, B., and Ludwig, F. 2010. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in Europe. *Agric. Syst.* 103, 683–694.
- Shrestha, N.K., Leta, O.T., De Fraine, B., van Griensven, A., and Bauwens, W. 2013. OpenMI-based integrated sediment transport modelling of the river Zenne, Belgium. *Environ. Model. Softw.* 47, 193e206.
- Valipour, M., Banihabib, M.E., and Behbahani, S.M.R. 2013. Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. *J. Hydrol.* 476, 433–441.
- Valipour, M., Sefidkouhi, M.A.G., and Raeini, M. 2017. Selecting the best model to estimate potential evapotranspiration with respect to climate change and magnitudes of extreme events. *Agric. Water Manag.* 180, 50–60.
- Ventana Systems Inc. 1998. Vensim PLE Software Version 3.0. Ventana Systems, Inc.: 60 Jacob Gates Road, Harvard, Mass.
- Wit, A.D. 2018. PCSE Documentation Release 5.4. P: 120.
- 14(4), 884e901.
- Laudien, R., Klose, S., Klose, A., Rademacher, C., and Brocks, S. 2008. Implementation of non-java based interfaces to embed existing models in spatial decision support systems – case study : integration of MS_ excel-models in IWEGS -, in: Chen, J., Jiang, J., Kainz, W. (Eds.), *Proc. XXXVII, Part B2, Commission II. Beijing, China*, pp. 1682–1750.
- Madani, K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*. Volume 4, Issue 4, pp 315–328.
- Malard, J.J., Inam A., Hassanzadeh E., Adamowski J., Tuy H.A., and Melgar-Quiñonez H. 2017. Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models. *Environmental Modelling & Software* 96: 410e420.
- Peck, A., Neuwirth, C., and Simonovic, S.P. 2014. Coupling System Dynamics with Geographic Information Systems: CCaR Project Report. University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering, report no. 086. ISBN 1913-3219.
- Pahl-Wostl, C. 2007. The implications of complexity for integrated resources management. *Environ. Model. Softw.* 22, 561e569.
- Prodanovic, P., and Simonovic, S.P. 2007a. Dynamic Feedback Coupling of Continuous Hydrologic and Socio-Economic Model Components of the Upper Thames River Basin. Department of Civil and Environmental Engineering, the University of

Water Resource Allocation and Crop Yield Simulation in Tajan Plain Watershed by Coupling of WOFOST and VENSIM Models

S.F. Hashemi¹, A. Shanazari^{2*}, M. Rayini³, M.R. Shahbazbegian⁴, J. Adamowski⁵

Received: Dec.29, 2020

Accepted: Feb.14, 2020

Abstract

Integrated water and land resource's strategies requires consideration of physical process in bio-physic model parallel to hydrological, agricultural, social and economic feedbacks in dynamics system. Coupling SD-based models with physically- based models of environment is therefore a promising method for obtaining the best of both worlds to enable data exchange between different models which could cover the complex behavior caused by the various interactions. Therefore, in this study, in order to water resources allocation and performance estimation of Tajan irrigation and drainage scheme, VENSIM dynamics system model and WOFOST crop growth model were developed using scripting approach and PySD-PCSE coupling model. On this basis, the VENSIM and WOFOST models were first applied and calibrated in 2015, and were returned to Python according to coding instructions and the integration of the two models was performed. The results of the present study showed that the water resources balance was insufficient to supply agricultural demand, and from 155 million cubic meters, only approximately 81 million cubic meters were supplied that the deficiencies for fruits, citrus, rice, grain maize, cereal, oilseed and wheat are 52, 25, 30, 2, 1.2, 0.05, 1 and 1.52 MCM, respectively, which greatly impacts on crop yield. Also, according to the poor potential of water resources in the Tajan scheme, the calculated yield for crops such as corn 8.8, wheat 1.76 and oilseeds 2.6 ton/ha were simulated that is significantly different from the actual yield of crops. On the other hand, since the potential water resources of the Tajan irrigation and drainage scheme are insufficient to provide for agricultural demands, in averaging 15 years no supplies have been made for pulse in all areas annually and for oilseeds, wheat, corn and beans in some areas. Also, in order to estimate the best yield function of the coefficient of explanation of the different plotted graphs, the results of this comparison showed that all of these functions are of polynomial type and are consistent with the Dornbus-Kasam relation.

Keywords: Crop Growth Model, Dynamic System Model, Feedback, Python Scripting, Yield Function

1- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4- Assistant Professor Geography and Spatial Planning Department at Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Associate Professor, Centre for Water Resources Management, McGill University

(*- Corresponding Author Email: aliponh@yahoo.com)