برنامه مدیریت ریسک خشکسالی حوضه آبخیز

دریاچه ارومیه

مبانی مدل تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی

«جلد هفتم»

دبیرخانه دائمی شورای منطقه‌ای مدیریت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه

پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس

طرح حفاظت از تالابهای ایران

UNDP

سازمان حفاظت محیط زیست

کارگروه مدیریت پایدار منابع آب و کشاورزی

شورای منطقه‌ای مدیریت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه

آذر ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

برنامه مدیریت ریسک خشکسالی حوضه آبخیز
دریاچه ارومیه

مبانی مدل تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی

«جلد هفتم»

کارگروه مدیریت پایدار منابع آب و کشاورزی
شورای منطقه‌ای حوضه آبخیز دریاچه ارومیه
آذر ۱۳۹۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- کاهش تدریجی تخصیص‌ها در شرایط خشکسالی ۲

۱-۳- منطقه مطالعاتی، بخش غربی رودخانه آجی‌چای ٤

فصل دوم: پیشینه تحقیق ٦

۲-۱- مقدمه ٦

۲-۲- مدلسازی تخصیص آب کشاورزی و کم آبیاری ۷

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۱۲

۳-۱- مقدمه ۱۲

۳-۲- نیاز آبی در سند ملی آب ۱۳

۳-۳- رابطه عملکرد گیاه با تبخیر– تعرق و آب مصرفی ۱۳

۳-۳-۱- توابع عملکرد فصلی ۱٤

۳-۳-۲- توابع عملکرد درون فصلی ۱٤

۳-٤- مدل های بهینه سازی تخصیص آب آبیاری ۱۵

۳-٤-۱- بهینه سازی توزیع آب در طول فصل رشد بین گیاهان (زیر مدل ۱) ۱٦

۳-۵- سطح زیر کشت اراضی و الگوی کشاورزی ۱۹

۳-٦- توابع عملکرد در منطقه مطالعاتی ۲۲

فصل چهارم: مدلسازی کم آبیاری در سطح سیستم‌های آبیاری ۲۵

٤-۱- مقدمه ۲۵

٤-۲- بهینه سازی توزیع آب بین گیاهان مختلف در یک سیستم/شبکه آبیاری (زیر مدل دوم) ۲٦

٤-۲-۱- فرضیات و اطلاعات اولیه مورد نیاز برای مدل تخصیص ۲۷

٤-۳- تعریف سطوح خشکسالی ۲۸

٤-۳-۱- راه‌کارهای مدیریتی برای سطوح خشکسالی ۲۹

٤-٤- تخصیص آب کشاورزی بر مبنای کم آبیاری با کاهش سطح ۳۰

٤-٤-۱- نقش قیود حداقل سطوح در نتایج اقتصادی مدلسازی ۳۳

٤-۵- تخصیص آب کشاورزی برمبنای تنها با کاهش سطح ۳٤

٤-٦- جمع بندی و نتیجه گیری ۳۵

فهرست مراجع ۳۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱: مرحله چهارم خشکسالی و اقدامات لازم در سیتم آب شهری سیاتل (Palmer, 1987) ۳

شکل ۱-۲: موقعیت محدوده مطالعات، آجی‌جای بعد از ایستگاه ونیار ۵

شکل ۳-۱ : تصاویری از نرم افزار NETWAT ۱۳

شکل ۳-۲ : فلوچارت مدلسازی تخصیص بهینه آب ۱۶

شکل ۳-۳: تابع عملکرد محصولات گندم، جو و گوجه فرنگی در سیستم منابع آب غربی آجی‌چای ۲۳

ادامه شکل ۳-۳: تابع عملکرد محصولات پیاز و یونجه در سیستم منابع آب غربی آجی‌چای ۲٤

شکل ٤-۱: تغییرات درآمد سیستم در صورت امکان کاهش کامل محصولات (نقاط لوزی) و حفظ حداقل ۵۰٪ سطوح برای گندم و جو (نقاط مربع) ۳٤

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱ : نحوه دسته بندی محصولات در منطقه مطالعاتی براساس دوره رشد و نیاز آبی ۲۰

جدول ۳-۲: تقویم زراعی و عملکرد حداکثر (kg/ha) محصولات زراعی در منطقه مطالعاتی ۲۰

جدول ۳-۳: ضریب حساسیت (Ky) مراحل مختلف رشد محصولات زراعی به تنش آبی ۲۱

جدول ۳-٤: مدت دوره های مختلف رشد برای محصولات زراعی غالب در منطقه مطالعاتی (روز) ۲۱

جدول ۳-۵ : تراکم کشت (ha) در منطقه مطالعاتی (بخش غربی آجی‌چای) ۲۲

جدول ٤-۱ : تعریف آستانه ها و راهکارهای تطبیق براساس سناریوها کم آبیاری با کاهش سطح ۳۱

جدول ٤-۲ : توزیع آب بین محصولات زراعی (میلی‌متر در هکتار) و درآمد در سطوح خشکسالی ۳۲

جدول ٤-۳ : سطح کشت محصولات زراعی و درآمد بر اساس سطوح خشکسالی (هکتار) ۳۳

جدول ٤-٤ : راهکارهای تطبیق براساس سطوح خشکسالی در رویکرد تنها کاهش سطح ۳۵

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

از ممهمترین اقدامات در مدیریت ریسک خشکسالی سیستم‌های منابع آب، تدوین برنامه‌هایی است که چگونگی کاهش مصرف آب در آنها را تعیین نماید، بطوریکه حداقل نیازها تامین شود و در عین حال سیستم با حداقل خسارات مواجه گردد. رویکرد معمول در این برنامه کاهشی، تعریف معرف‌هایی (indicators) از وضعیت سیستم است که بطور مستمر پایش (monitoring) می‌شوند و متناسب با بحرانی شدن آنها(triggers)، اقدامات کاهشی فعال می‌گردند. بدلیل ماهیت این برنامه‌ها لازم است، از قبل روی آنها کار شود و با یک نگاه علمی و عملیاتی به آنها پرداخته گردد که از آن با عنوان مدیریت ریسک یاد می‌گردد.

این مهم هدف گزارش حاضر را رقم می‌زند. در این گزارش ابتدا به سابقه این رویکرد در داخل و خارج از کشور پرداخته می‌شود و سپس از آنجائیکه مصرف عمده حوضه بخش کشاورزی است، روش-شناسی مد نظر در کم آبیاری ارائه می‌گردد که در آن کاهش عمق آبیاری با هدف حداقل سازی خسارت به محصول می‌باشد. جهت نمایش این روش‌شناسی اطلاعات بخش غربی رودخانه آجی‌چای بعد از ایستگاه ونیار مورد استفاده قرار گرفته است.

این مدل و مبانی آن در کارگاه مهر ماه ۱۳۹۰ این طرح، برای سازمان‌های آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی حوضه دریاچه ارمیه ارائه شد و نقطه نظرات کارشناسی دریافت و در این گزارش لحاظ شده است.

۱-۲- کاهش تدریجی تخصیص‌ها در شرایط خشکسالی

این رویکرد منطقی‌ترین اقدام ممکن در شرایط خشکسالی به منظور غلبه بر کاهش منابع آب است و سابقه موفقی از آن در داخل و خارج از کشور گزارش شده است که در ادامه به نمونه‌هایی از آنها اشاره می‌گردد.

- *خارج از کشور:*

کاهش تدریجی تخصیص‌ها در برخی مراجع راهنما مانند Medroplan [1] و طرح مرحله‌ای NDMC [2] مورد تاکید قرار گرفته است که در گزارش "ساختار مدیریت خشکسالی" این طرح به آنها اشاره گردید. همچنین بطور عملیاتی در مدیریت خشکسالی بعضی سیستم‌های آبی مانند شهر سیاتل بکار گرفته شده که در شکل ۱-۱ مرحله ٤ آن قابل مشاهده است. برای این شرح سطوح خشکسالی در ٤ مرحله تعریف

[1] www.iamz.ciheam.org/medroplan
[2] National Drought Mitigation Center

شدند و در هر سطح با توجه به منابع قابل پیش‌بینی، دستور العمل نحوه کاهش مصارف اعلام شده است. سوابق بیشتری از این شیوه برای مدیریت خشکسالی در حوزه Rio Bravo مکزیک (Vigerstol، 2003) و ایالت جورجیا آمریکا (Palmer et al., 2002) موجود است.

مرحله چهارم – کاهش شدید منابع آبی
علت استفاده از آن:
۱- پیش بینی می‌گردد که کل سیستم ذخیره زیر معیار ۹۸٪ اطمینان قرار گیرد.
۲- کاهش ورودی آب به سیستم ادامه دارد.
۳- شرایط خشک‌تر آب و هوایی قابل پیش‌بینی است.
٤- ورود به حداکثر فصل مصرف
عکس العمل سیستم مدیریت آب:
۱- دستور کاهش مصرف آب در محدوده خارج از خانه
۲- کاهش داوطلبانه مصرف آب در محدوده داخل خانه
۳- کاهش مصرف آب در بخش تجاری
کل صرفه‌جویی قابل پیش‌بینی ۱۲،۱۰۰،۰۰۰ گالن در روز

شکل۱-۱: مرحله چهارم خشکسالی و اقدامات لازم در سیتم آب شهری سیاتل (Palmer, 1987)

- در داخل کشور

این رویکرد بطور سنتی در داخل کشور مورد استفاده بوده است و کشاورزان اصفهان از آن با عنوان "ونش" یاد می‌کنند. در دوره خشکسالی ۸۰-۱۳۷۷ نیز با توصیه معاونت حفاظت و بهره برداری سازمان مدیریت منابع آب وزارت نیرو و طی نامه ۲٦٦۱۸/۱٤۲ مورخ ۱۳۷۸/۱۲/۲۸ از سازمان‌های آب منطقه‌ای درخواست شد که کاهش پله‌ای تخصیص‌ها به منظور مقابله با خشکسالی در دستور کار قرار گیرد و سازمان‌ها برای کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی مصرف آب برنامه داشته باشند. در پاسخ به این نامه،

بعضی از سازمان‌ها مانند سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی و اصفهان بخوبی آن را عملیاتی کردند و گزارشات مثبتی از آنها وجود دارد.

در رابطه سازمان منطقه‌ای آذربایجان غربی کاهش بخش کشاورزی را با تجدید برنامه‌ریزی آبیاری انجام داد. بر این اساس، دور آبیاری به ۲۳ روزه افزایش داده شد. این برنامه ابتدا با مخالفت روستائیان مواجه شد، ولی از طریق ارتباط با ریش سفیدان، آگاهی رسانی و اقدامات فرهنگی نهایتا همکاری لازم جلب گردید. در این برنامه هنگام تحویل آب به روستاها، سازمان افرادی را مامور می‌کرد تا از برداشت غیر مجاز جلوگیری شود و چنانچه هم کسی مبادرت به این کار می‌کرد، حقابه آنها قطع می‌شد. ما حصل این اقدامات این نتیجه را داد که به عنوان مثال سازمان با حدود ٤٤٪ کمبود در منابع آبی، بتواند ۷۰ تا ۷۵ درصد دشت میاندوآب را آب دهد. شرح بیشتری از این تجربیات در مرجع مرید و عرب (۱۳۸۸) قابل دسترس می‌باشد.

۱-۳- منطقه مطالعاتی، بخش غربی رودخانه آجی‌چای

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب آمریکا از ۱۷ رودخانه دائمی تشکیل شده است که رودخانه‌های زرینه‌رود، سیمینه‌رود و آجی‌چای از مهمترین آنها هستند. اما آجی‌چای که بخش غربی آن منطقه مطالعاتی این تحقیق می‌باشد در شکل ۱-۱ قابل مشاهد می‌باشد. این بخش از آجی‌چای پس از عبور از تبریز شاخه‌های دیگری مانند گماناب، زینجناب، اسکوچای و چند شاخه دیگر را دریافت می‌نماید و سرانجام در باختر خسرو شهر وارد دریاچه ارومیه می‌گردد.

شهرستان‌های آذرشهر، اسکو، تبریز و شبستر در این قسمت واقع شده اند و یکی از قطب‌های اصلی تولید پیاز در کشور است. گندم، جو، سیب‌زمینی، یونجه و گوجه‌فرنگی هم از محصولات در این ناحیه

می‌باشد.

شکل ۱-۲: موقعیت محدوده مطالعات، آجی‌جای بعد از ایستگاه ونیار

فصل دوم

پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

در زمینه مدیریت تخصیص آب کشاورزی و سطح کشت در شرایط کم‌آبی و خشکسالی تاکنون تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. رویکرد اصلی در آنها تخصیص آب با هدف حداقل نمودن خسارات به گیاه با توجه به حساسیت آن در مراحل رشد به تنش‌های آبی است. در این فصل تلاش می گردد تا به بعضی از تحقیقات و مطالعات صورت گرفته در خصوص مدلسازی تخصیص و کم آبیاری، اشاره و از آنها برای روش‌شناسی این گزارش استفاده شود.

۲-۲- مدل‌سازی تخصیص آب کشاورزی و کم آبیاری

در تحقیقی Yaron و Dinar (۱۹۸۲) با استفاده از یک روش دو مرحله‌ای بر اساس تکنیک‌های LP[3] وDP[4] و با هدف حداکثر نمودن درآمد، الگوی بهینه کشت و تخصیص آب به محصولات برآورد گردید. مجموعه کار آنها شامل مراحل زیر بود: الف) محاسبه الگوی کشت بهینه با استفاده از LP ، ب) بدست آوردن قیمت و هزینه اقتصادی آب در دوره‌های زمانی بین فصلی و تعریف یک برنامه‌ریزی جدید بر اساس اطلاعات بدست آمده با استفاده از DP ، ج) وارد کردن برنامه‌ریزی جدید در مرحله دوم و محاسبه پاسخ‌های جدید و د) تکرار مراحل ب و ج تا جائی که نتایج به یک جواب بهینه کلی رسیده و همگرا شود. Paudyal و Gupta (۱۹۹۰) با هدف حداکثر سازی درآمد، برنامه‌ریزی برای آبیاری بهینه را با استفاده از تکنیک LP تهیه نمودند. مشکل اصلی آنها تعیین الگوی کشت بهینه در کرت‌ها، ظرفیت‌های طراحی بهینه تاسیسات آبیاری و سیاست بهینه تخصیص منابع بود. آنان پتانسیل آبهای سطحی و زیرزمینی را بطور جداگانه بعنوان منبع آب مورد نیاز مدنظر قرار داده و بر اساس آن، میزان آب مورد نیاز در ماه‌های مختلف سال و همچنین مساحت تحت کشت هر محصول در حالت بهینه را محاسبه نمودند. ترابی (۱۳۷۵) اثر نیاز متغیر را بر مدلهای بهره‌برداری از مخازن سدها با مطالعه موردی بر روی سد زاینده‌رود بررسی نمود. وی الگوی کشت موجود در منطقه و دوره‌های مختلف رویش گیاهان و زمان کشت آنان را مورد بررسی قرار داد، سپس نیاز آبی گیاهان منطقه مورد نظر را تعیین و اثر نیاز متغیر را با اعمال مدل برنامه‌ریزی پویا در تدوین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری بررسی کرد. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن نیاز متغیر در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و در تدوین مدل‌های بهره‌برداری از مخازن که

[3]Linear Programming

[4]Dynamic Programming

تامین نیاز آبی کشاورزی از اهداف عمده احداث آنها می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در تحقیق دیگری Mainuddin و همکاران (۱۹۹۷) با ارائه مدل خطی و روش آنالیز سلسله مراتبی، توانستند الگوی کشت مزارعی در تایلند را برای سه حالت، بهینه‌سازی نمایند. این حالات شامل حداکثرسازی درآمد، حداکثرسازی سطح زیر کشت و هر دو هدف بودند. آنها مدل را برای سه وضعیت ۸۰٪ (خشکسالی) ، ۵۰٪ (نرمال) و ۲۰٪ (ترسالی)، قابلیت دسترسی به آب و نیز کم آبیاری ۲۵٪ و ۵۰٪ و همچنین آبیاری کامل حل نموده و علاوه بر نوع محصولات، سطح زیرکشت هریک را در شرایط فوق مشخص کردند. نهایتا با روش سلسله مراتبیAHP [۵] ، بهترین تناوب در الگوی کشت منطقه را تنها در سطح یک شبکه، بدون لحاظ داشتن تغییرات نیاز آبی گیاهان و برنامه‌ریزی بهینه بدست آوردند.

در خصوص بهینه‌سازی آبیاری در مزارع سالواترا واقع در منطقه نیمه مرطوب اسپانیا تحقیقی توسط Juan و همکاران (۲۰۰۱) در سه مرحله به انجام رسید. در مرحله اول تبخیروتعرق گیاهی و تابع تولید- آب بدست آمد، در مرحله دوم اثر یکنواختی فرونشت بر عملکرد محصول و آب مصرفی بررسی و نهایتا با حداکثرسازی درآمد، الگوی کشت و ارتفاع آب آبیاری مشخص گردید. بر اساس بررسی بعمل آمده در این تحقیق نتیجه شد که نیمی از مزارع باید در شرایط کم آبیاری و مابقی در وضعیت آبیاری کامل کشت شوند.

Ghahraman و Sepaskhah (۲۰۰٤و ۲۰۰۲) نیز مدلی برای تخصیص بهینه آب از سد مخزنی و تک منظوره ارداک (واقع در نزدیکی مشهد) به شبکه‌ای با الگوی کشت از پیش تعیین شده توسعه دادند. این مدل شامل دو زیر برنامه بود. بخش اول، به تخصیص بین فصلی (برنامه ریزی غیرخطی) برای تخصیص آب بین محصولات مختلف می‌پرداخت و ترکیب محدودی از متغیرهای حالت (شامل ورودی،

[5]Analytic Hierarchy Process

بارندگی، حجم مخزن در شروع و پایان فصل) را با هدف حداکثر نمودن درآمد، بکار می‌برد. بخش دوم نیز تخصیص درون فصلی (برنامه ریزی پویای استوکاستیکی) بود که در آن هدف، حداکثر نمودن درآمد سالانه بود.

کم آبیاری (DI)[6] اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری نه براساس نیاز آبی کامل گیاه، بلکه بر اساس مصرف بهینه آب می‌باشد (Dry et al., 2001). در این خصوص برای بسیاری از محصولات نشان داده شده که بهره‌وری آب (WP[7]) تحت کم آبیاری نسبت به مقدارش در حالت آبیاری کامل می‌تواند افزایش یابد (Ali et al., 2007; Zwart and Bastiaansen, 2004; Fan et al., 2005).

در این خصوص Azaiez (۲۰۰۸) یک مدل ترکیبی LP-DP برای استفاده بهینه از زمین با یک محصول در شمال عربستان سعودی توسعه داد. این مدل، کم آبیاری را برای افزایش سطح کشت بکار می‌برد. هدف مدل حداکثر نمودن کل عملکرد مورد انتظار است. در تحقیق دیگری نیز نشان داده شد که اعمال استراتژی کم آبیاری و کاهش سطح در شرایط کم آبی منجر به در آمد اقتصادی (WP بالاتر) می‌گردد (Vazifedoust et al., 2008). در «کم آبیاری کلاسیک» برای اینکه کاهش حداقل باشد، برنامه ریزی آبیاری، مدیریت و تمهیدات زراعی بگونه ای خاص صورت می‌پذیرد که آن را « کم آبیاری تنظیم شده»[8] می‌نامند.

Moghaddasi و همکاران (۲۰۰۹a) در تحقیقی دو رودیکرد بهینه سازی و ونش بندی (کاهش یکسان حقابه‌ها) در مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی را مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور، تاثیر این دو رودیکرد در مدیریت خشکسالی سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ در شبکه های زاینده رود

---

6 Deficit Irrigation

7 Water productivity

8 Regulated Deficit Irrigation

اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. برای تخصیص و توزیع آب در پائین دست سد چادگان و شبکه های فوق، مدل های لازم تهیه گردید. در مدل بهینه سازی مراحل رشد گیاهان و حساسیت آنها به تنش های آبی وارد در محاسبات دخالت داده شد. نتایج نشان داد که اعمال روش بهینه سازی در توزیع آب می تواند درآمد شبکه ها را تا ٤٢ درصد بالا ببرد. این اختلاف گویای اهمیت توزیع آب بین مراحل رشد گیاهان زراعی با در نظر گرفتن حساسیت آنها نسبت به تنش آبی می باشد. هرچند سیستم مدیریت این رویکرد پیچیده تر خواهد بود.

در تحقیق دیگری Moghaddasi و همکاران (۲۰۰۹b) مدیریت سدهای آبیاری با روشهای بهره‌برداری با قوانین استاندارد و محدود کننده تحت دو شرایط نیاز متغیر و ثابت بخش کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور یک دوره تاریخی ۲۹ ساله از ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۹ در سد زاینده‌رود واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود انتخاب گردید. برای ارزیابی عملکرد این روش‌ها از شاخص های مدت، شدت و خسارت کمبود و در آمد کل سیستم استفاده شد. نتایج نشان داد با روش استاندارد و نیاز ثابت ٤ دوره کمبود اتفاق افتاده و در مجموع ۲۵ سال از بین ۲۹ سال با مشکل تامین آب مواجه شده است. طی این سالها شدیدترین کمبود ۸۱۰۰ میلیون مترمکعب و به مدت ۱۰ سال پیوسته، بوده است. با استفاده از همین قانون برای بهره‌برداری و با لحاظ نیاز متغیر برای بخش کشاورزی ، کاهش نسبی در کمبودها اتفاق افتاده و ۲۵ سال قبل به ۲۳ سال تقلیل یافته است. حال با روش محدود کننده و نیاز ثابت، در مجموع ۲۰ سال از ۲۹ سال با کمبود آب روبرو شده است. شدیدترین دوره کم آبی در این سناریو به مدت ۱۰ سال و با شدت ٦۰۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. اجرای آخر و اعمال نیاز متغیر در بهره‌برداری سالانه نیز کمبود آب را به ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب و خسارت را به ۱۵۰۰ میلیون ریال کاهش می‌دهد. در نهایت، مقایسه و تحلیل چهار نوع بهره‌برداری نشان داد، لحاظ نمودن قانون بهره‌برداری محدود کننده و نیاز واقعی برای

بخش کشاورزی را به خوبی تاکید می‌نماید.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه

این فصل به تشریح روش‌ها و محاسبات مورد نیاز در توسعه مدل بهینه سازی تخصیص این گزارش می‌پردازد. از متغیرهای اصلی حالت در فرآیند بهینه‌سازی تخصیص آب گیاهی، نیاز آبی گیاهان است که بدین منظور از اطلاعات سند ملی آب برای محدوده منطقه مطالعاتی استفاده می‌گردد. همچنین دیگر اطلاعات مانند سطح زیر کشت، قیمت محصولات و تقویم زراعی از سازمان جهاد کشاورزی و دیگر مراجع معتبر تهیه شده است. نظر به وجود محصولات متنوع زیر کشت، آنها دسته‌بندی شده‌اند و در این بخش به نحوه انجام آن اشاره خواهد شد.

۳-۲- نیاز آبی در سند ملی آب

سند ملی ماحصل نتایج مطالعات خود در سطح کشور را، در نرم‌افزاری تحت عنوان NETWAT جای داده است. پایگاه داده نرم افزار شامل: اطلاعات تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس روش پنمن مانتیث و نیاز آبی محصولات در سطح دشت‌های کشور است که در آن راندمان‌های آبیاری لحاظ نشده است. شکل (۳-۱) صفحه اصلی نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

اطلاعات دریافتی از سطوح زیر کشت مطابق با مرز شهرستان می‌باشند و بر اساس آنها دشت مربوط به آن شهرستانها و نوع محصول تعیین و سپس نیاز آبی برآورد گردید. بدین ترتیب نیاز آبی محصولات در شرایط عدم تنش‌های آبی (بدون کم آبیاری) قابل محاسبه خواهد بود.

شکل ۳-۱ : تصاویری از نرم افزار NETWAT

۳-۳- رابطه عملکرد گیاه با تبخیر– تعرق و آب مصرفی

در شرایط کم آبیاری و اعمال تنش‌های آبی، محصول دچار آسیب خواهد شد که شدت آن تابع زمان مواجهه با تنش و شدت آن است. در این بخش روابط مورد استفاده در محاسبات مربوط به کاهش

عملکرد و به عبارتی توابع عملکرد ارائه می‌گردد. این توابع در مراحل بعدی برای مدل بهینه سازی تخصیص و توزیع آب مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۳-۳-۱- توابع عملکرد فصلی

تحقیقات نشان داده که رابطه همبستگی شدیدی بین مقدار کل ماده خشک تولید شده با مقدار تعرق وجود دارد(Gerard and Namken,1996). این رابطه (میزان کل ماده خشک تولید شده بر اساس تبخیر- تعرق) معمولا خطی بوده (Kirda, 2005) و از مبدا مختصات و یا از نزدیک آن شروع و در نقطه‌ای، به حداکثر تعرق و حداکثر تولید محصول می‌رسد. از این نقطه به بعد آب مازاد همراه با کاهش محصول خواهد بود. سازمان خوارو بار جهانی (FAO) در نشریه شماره ۳۳ خود تحت عنوان "Yield Response to Water" در این خصوص رابطه ذیل را ارائه داده است (Doorenboss and Kassam, 1997):

$$\left[1-\frac{Y_a}{Y_m}\right] = Ky\left[1-\frac{ET_a}{ET_{\max}}\right] \quad (۱-۳)$$

که

که در آن Y_a عملکرد واقعی، Y_{max} عملکرد حداکثر، ET_a تبخیر- تعرق واقعی، ET_{max} تبخیر- تعرق حداکثر و Ky ضریب حساسیت محصول به تنش آبی در کل دوره رشد گیاه می‌باشد. ضریب حساسیت محصول به نوع گیاه و مقاومت آن به خشکی بستگی دارد. معمولا مقادیر کوچکتر از یک دلیل بر مقاومت بیشتر گیاه به خشکی (حساسیت کمتر به کم آبی) و مقادیر بزرگتر از یک، بیانگر مقاومت کمتر گیاه به خشکی است (Kirda *et al*., 1999).

۳-۳-۲- توابع عملکرد درون فصلی

هر گاه ضریب حساسیت و تبخیر- تعرق در مراحل مختلف رشد گیاه نیز مورد نیاز باشد، توابع بطور

درون فصلی مورد بررسی قرار می‌گیرند و رابطه بین میزان عملکرد نسبی و تبخیر- تعرق نسبی، بصورت زیر قابل محاسبه خواهد بود (Jensen, 1968):

$$\frac{Y_a}{Y_{\max}} = \prod_{i=1}^{n}\left(\frac{ET_a}{ET_{\max}}\right)_i^{\lambda i} \qquad (۲-۳)$$

که در آن λ ضریب حساسیت رشد در مرحله i، n تعداد مراحل رشد و Π عملگر حاصل ضرب می‌باشد. این رابطه به شکل‌های دیگری نیز ارائه شده است (Rao *et al*., 1988):

$$\frac{Y_a}{Y_{\max}} = 1 - \sum_{i=1}^{n} Ky_i\left(1 - \frac{ET_a}{ET_{\max}}\right)_i \qquad (۳-۳)$$

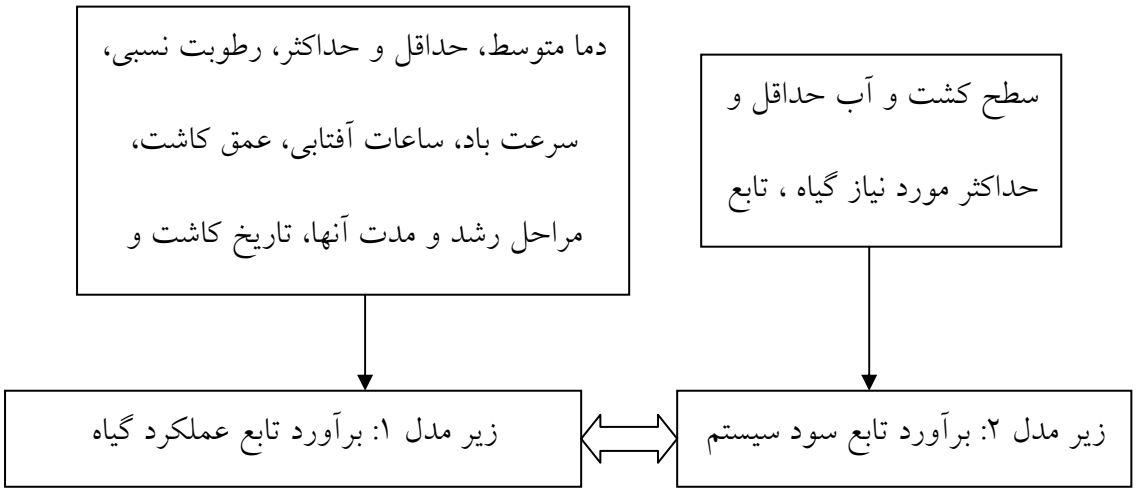
$$\frac{Y_a}{Y_{\max}} = \prod_{i=1}^{n}\left(1 - Ky_i\left(1 - \frac{ET_a}{ET_{\max}}\right)_i\right) \qquad (٤-۳)$$

مدل‌های ریاضی فوق، امکان بهینه‌سازی برنامه ریزی آبیاری را در شرایط خشکسالی جهت دستیابی به حداکثر عملکرد در ازای واحد حجم آب (حداکثر سازی WP) را فراهم می‌سازد. در عین حال تعیین ضرایب حساسیت در مراحل مختلف رشد حتما باید با دقت باشد (Ghahraman and Sepaskhah، 1997). ضرایب Ky برای مراحل مختلف رشد بسیاری از گیاهان، در نشریه ۳۳ سازمان خواروبار جهانی قابل دسترس می‌باشد.

۳-٤- مدل های بهینه سازی تخصیص آب آبیاری

در این مدلسازی‌ها هدف برآورد تابع عملکرد بهینه گیاه و تابع سود بهینه سیستم به ازای آب تخصیص یافته می‌باشد که از دو زیر مدل تشکیل شده است. برای درک بهتر ساختار و اجزاء آن، فلوچارت زیر (شکل ۳-۲) ارائه شده است و در ادامه به شرح زیرمدل اول و در فصل بعد به زیر مدل

دوم پرداخته خواهد شد.



شکل ۳-۲ : فلوچارت مدلسازی تخصیص بهینه آب

۳-٤-۱- بهینه سازی توزیع آب در طول فصل رشد بین گیاهان (زیر مدل ۱)

این زیر مدل، کل آب مصرفی هر محصول را طی فصل رشد بصورت بهینه در دوره آبیاری معین توزیع می‌نماید. تابع هدف حداکثر نمودن نسبت عملکرد واقعی به عملکرد حداکثر محصول در هر هکتار می‌باشد :

$$MAX: \frac{Y_{ac}}{Y_{\max c}} = 1 - \sum_{g=1}^{n} Ky_g \left(1 - \frac{ETa_{c,g}}{ET\max_{c,g}}\right) \qquad (۵-۳)$$

در این رابطه $ETa_{c,g}$ تبخیر - تعرق واقعی محصول c در مرحله رشد g (mm/10days)، $ET\max_{c,g}$ حداکثر تبخیر - تعرق محصول c در هر مرحله رشد (mm/10days)، Ky_g ضریب حساسیت عملکرد نسبت به تنش آبی برای هر گیاه در هر مرحله رشد، n تعداد مراحل رشد، Y_{ac} عملکرد واقعی محصول c و $Y\max_c$ حداکثر عملکرد محصول c (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. متغیر تصمیم در این زیر مدل، آب اختصاص یافته به هر دور آبیاری بوده و متغیرهای حالت آن، تبخیر و تعرق واقعی، فرونشت عمقی، طول

ریشه و رطوبت خاک در طی فصل رشد می‌باشد.

قیودات و مواردی که در مدل‌سازی این بخش مد نظر بوده، شامل موارد زیر است:

– طول ریشه طی فصل رشد مطابق زیر تعریف شده است (Borg and Grimes, 1986):

$$Root_{c,t} = 10 * (r + Root_{Max}(0.5 + 0.5 * Sin(3.03 * t * / T - 1.47))) \quad (۶-۳)$$

که در آن $Root$ طول ریشه (mm/10days)، r عمق کاشت (گندم وجو ۷، یونجه ۵، چغندرقند ۵ ، سیب زمینی ۱۵، گوجه فرنگی ۷ و پیاز ۷ سانتیمتر) و t مبین دوره زمانی ۱۰ روزه (برابر با دور آبیاری) و T طول دوره زمانی رشد می‌باشد.

– تبخیر و تعرق واقعی، همواره کوچکتر یا مساوی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی خواهد بود:

$$ETa_{c,t} \le ET\max_{c,t} \quad (۷-۳)$$

– هر مرحله رشد نسبت به تنش آبی دارای حساسیتی بوده که با ضریبی بنام Ky نشان داده می‌شود (رابطه ۳-۵). در واقع این ضریب نشان دهنده میزان حساسیت عملکرد گیاه نسبت به تنش آبی می‌باشد و رابطه‌ای مستقیم با نسبت $ETa_g / ET\max_g$ دارد. مقدار این ضرایب برای هر مرحله رشد تعریف شده است، ولی برای دوره‌های آبیاری واقع در مراحل رشد وجود ندارد. لذا با توجه به اینکه این ضریب چه رابطه‌ای با تبخیر و تعرق داشته و در نظر گرفتن اینکه دوره‌های اولیه هر مرحله از رشد نسبت به تنش آبی حساس‌تر هستند، این قید بصورت زیر تعریف شده است:

$$\frac{ETa_{t+1}}{ET\max_{t+1}} \le \frac{ETa_t}{ET\max_t} \quad (۸-۳)$$

با در نظر گرفتن معادله بیلان آب در خاک، تبخیر و تعرق واقعی کوچکتر از نسبتی از مقدار پتانسیل آن می باشد:

$$ETa_{c,t} \le \frac{ET\max_{c,t}}{(1-P_c)(FC_c - PWP_c)}\left[SM_{c,t} - PWP + (\frac{IR_{c,t} + ER_{c,t} - DP_{c,t}}{Root_{c,t}})\right] \quad (۹-۳)$$

که در آن IR عمق آب آبیاری (mm/10days)، DP نشت عمقی (mm/10days)، ER بارندگی موثر، P کمبود مجاز رطوبتی، SM رطوبت موجود در خاک (cm^3/cm^3)، PWP نقطه پژمردگی دائم (cm^3/cm^3) و FC ظرفیت مزرعه (cm^3/cm^3) تعریف می‌گردد.

– معادله بیلان آب در خاک و منطقه ریشه مطابق زیر تعریف شده است:

$$SM_{c,t+1}Root_{c,t+1} = SM_{c,t}Root_{c,t} + IR_{c,t} + ER_{c,t} - ETa_{c,t} - DP_{c,t} + SM'(Root_{c,t+1} - Root_{c,t}) \quad (۱۰-۳)$$

این متغیرها شامل رطوبت اولیه و ثانویه، عمق آبیاری، تبخیر و تعرق واقعی، نشت عمقی و تغییرات رطوبت در طول زمان رشد ریشه (SM') می‌باشد. SM نیز در طول فصل رشد، بین نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی در تغییر می‌باشد:

$$PWP_c \le SM_{c,t} \le FC_c \quad (۱۱-۳)$$

– نشت عمقی حداقل برابر تلفات مقدار آبیاری است و در صورت اعمال آب مازاد (مانند وجود بارندگی بیش از نیاز آبی)، از این حد هم بیشتر می‌شود:

$$DP_{c,t} \ge IR_{c,t}(1 - Eff_c) \quad (۱۲-۳)$$

که در رابطه بالا Eff[9] نیز راندمان آبیاری است.

– مجموع آب آبیاری در دوره‌های درون فصلی (دورهای آبیاری) باید با آب در نظر گرفته شده برای کل فصل رشد (TAW[10]) مساوی و یا از آن کمتر باشد:

[9] Efficiency

[10] Total Available Water

$$\sum_t IR_{c,t} \le TAW_c \qquad (۱۳-۳)$$

- مقدار حداکثر تبخیر و تعرق گیاه ($ETmax$) در گیاهان مختلف از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$ET\max_{c,t} = Kc_{c,t} * ET_O \qquad (۱٤-۳)$$

که در آن ET_O تبخیر- تعرق گیاه مرجع، $Kc_{c,t}$ ضریب گیاهی و t دوره زمانی است. در واقع این همان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی ET_P می‌باشد.

شرح بیشتر این قیودات و روابط در مراجع(Hornbuckle, 2000; Ghahraman and Sepaskhah, Moghaddasi *et al.,* 2009a,b; 2002;) قابل دسترس می‌باشد. در ادامه اطلاعات مورد استفاده در این مدل و نتایج این مدلسازی برای سیستم آجی‌چای قابل مشاهده است.

۳-۵- سطح زیر کشت اراضی و الگوی کشاورزی

همانگونه که ابتدا اشاره شد، برای مدلسازی بخش کشاورزی و تخصیص آب، به آمار و اطلاعات فراوانی مانند تقویم زراعی، مراحل رشد، تعیین مدت هر مرحله، ، نیاز آبی، درآمد، هزینه، حداکثر طول ریشه، عمق کاشت، بارندگی موثر، راندمان زراعی، الگوی کشت، سطح کشت نیاز می‌باشد. هم اکنون محصولات متنوعی در حوضه کشت می‌گردد که رویکرد مرسوم در این شرایط، طبقه‌بندی آنها است. برای این گزارش، این کار بر اساس محصولات مشابه از لحاظ تقاضای آبی و دوره رشد، و سپس انتخاب محصول معرف برای هر طبقه صورت گرفته که نتایج آن در جدول (۳-۱) قابل مشاهده است.

بدین ترتیب آمار و اطلاعات مربوط برای محصولات منتخب از مراجع مختلف سازمان جهاد کشاورزی، سند ملی آب، و نشریات FAO (۳۳و ٥٦) تهیه گردید که نتایج در جداول ۳-۲ تا ۳-٤ آمده است. همچنین راندمان آبیاری در منطقه مطالعاتی بین ۳۸ تا ٤۰ درصد در نظر گرفته شد

جدول۳-۱ : نحوه دسته بندی محصولات در منطقه مطالعاتی براساس دوره رشد و نیاز آبی

نماینده	محصولات
گندم	چاودار، هویج، عدس، نخود، کلزا، اسپرس، هویج، باقلا سبز،
جو	نخود فرنگی
پیاز	-
سیب زمینی	ذرت، لوبیا، پنبه، آفتابگردان، زیره، سیر، سبزیجات برگی، سویا، کنجد
چغندرقند	-
گوجه فرنگی	خیار، هنداونه، خربزه، طالبی، کدو، بادمجان
یونجه	-

جدول ۳-۲: تقویم زراعی و عملکرد حداکثر (kg/ha) محصولات زراعی در منطقه مطالعاتی

ماه / محصول	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	عملکرد ماکزیمم
گندم		❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊		۵۵۰۰
جو			❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊			٤۵۰۰
پیاز			❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊	٦۰۰۰۰
سیب‌زمینی								❊	❊	❊	❊	❊	۵۰۰۰۰
چغندرقند	❊	❊	❊					❊	❊	❊	❊	❊	۷۰۰۰۰
گوجه‌فرنگی									❊	❊	❊	❊	۵۰۰۰۰
یونجه(چین اول)							*	❊	❊				٤۰۰۰
یونجه(چین دوم)										❊	❊	❊	۵۰۰۰
یونجه(چین سوم)	*	*										❊	٤۰۰۰

جدول ۳-۳: ضریب حساسیت (Ky) مراحل مختلف رشد محصولات زراعی به تنش آبی

نام دوره / نام محصول	رویش	گلدهی	شکل گیری عملکرد	رسیدن
گندم	۰/۲	۰/٦	۰/۵	۰/۰۱
جو	۰/۲	۰/٦	۰/۵	۰/۰۱
پیاز	۰/٤۵	–	۰/۸	۰/۳
سیب زمینی	۰/۸	–	۰/۷	۰/۲
چغندرقند	۲	–	۰/۳٦	۰/۱۲
گوجه فرنگی	۰/٤	۱/۱	۰/۸	۰/٤
یونجه	۰/۲	–	۰/۷	–

جدول ۳-٤: مدت دوره های مختلف رشد برای محصولات زراعی غالب در منطقه مطالعاتی (روز)

نام دوره / نام محصول	طول دوره رشد	رویش	گلدهی	شکل‌گیری عملکرد	رسیدن	طول ریشه(Cm)
گندم	۲۵۰	۱۳۰	٤۰	۵۰	۳۰	۳۰
جو	۲۳۰	۱۳۰	٤۰	۵۰	۱۰	۳۰
پیاز	۳۰۰	۱۸۰	–	۹۰	۳۰	۲۵
سیب زمینی	۱٦۰	۷۰		٦۰	۳۰	٤۰-۵۰
چغندرقند	۱۸۰	٦۰	–	۱۰۰	۲۰	٦۰-۷۰
گوجه فرنگی	۱۵۰	٦۰	۲۰	۵۰	۲۰	٤۰-۵۰
یونجه(چین اول)	۹۰	۷۰	۲۰	–	–	۵۰-٦۰
یونجه(چین دوم)	۷۰	۵۰	۲۰	–	–	۷۵-۹۰
یونجه(چین سوم)	۷۰	۵۰	۲۰	–	–	۱۱۰-۱۲۰

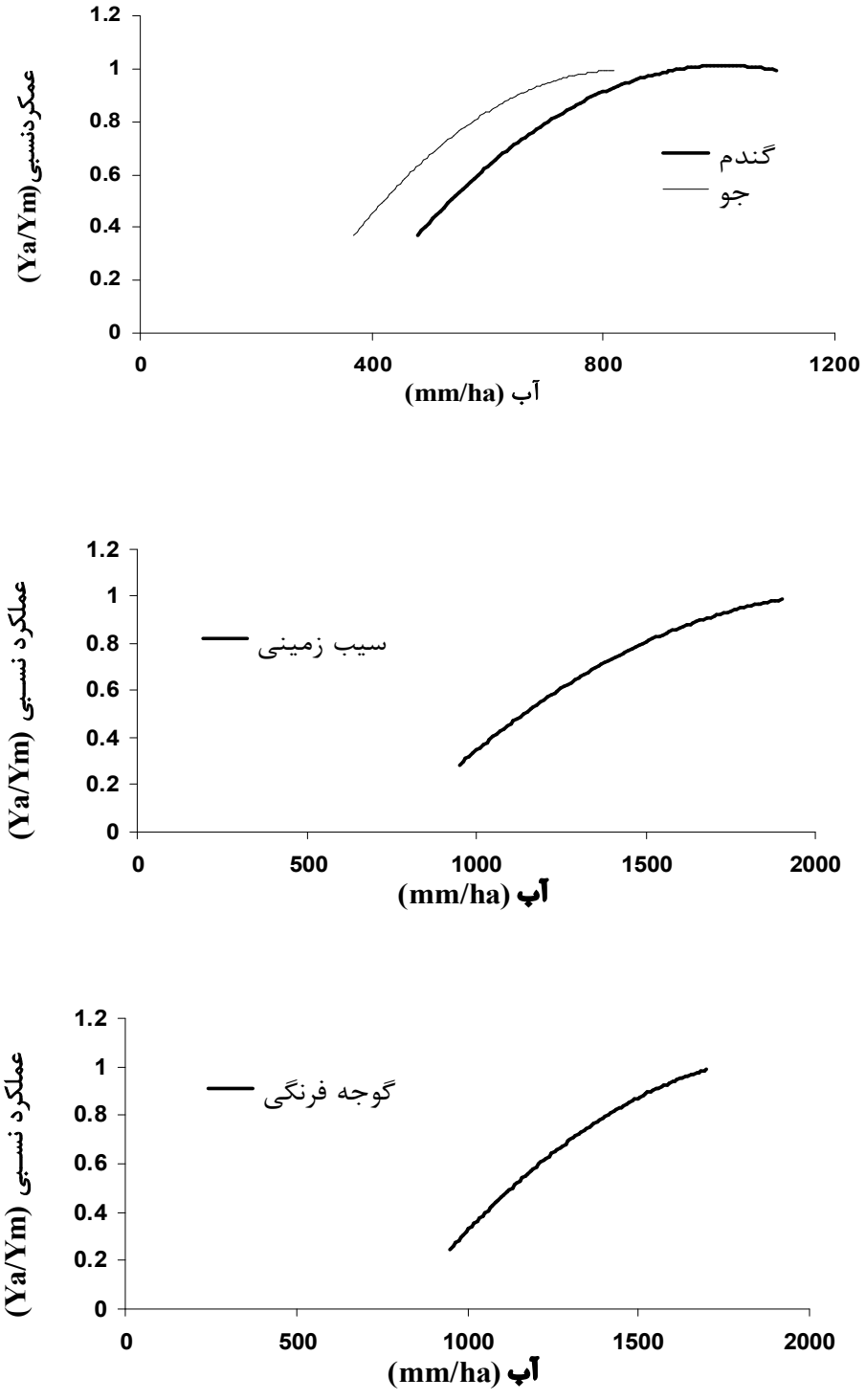
درباره یونجه قابل ذکر است که این محصول با توجه به میانگین دمای منطقه دارای سه چین (برداشت) در نظر گرفته شد. الگوی و تراکم کشت در این سیستم بر اساس شهرستان‌های واقع بخش غربی آجی‌چای مطابق جدول ۳-۵ قابل مشاهده است.

جدول ۳-۵ : تراکم کشت (ha) در منطقه مطالعاتی (بخش غربی آجی‌چای)

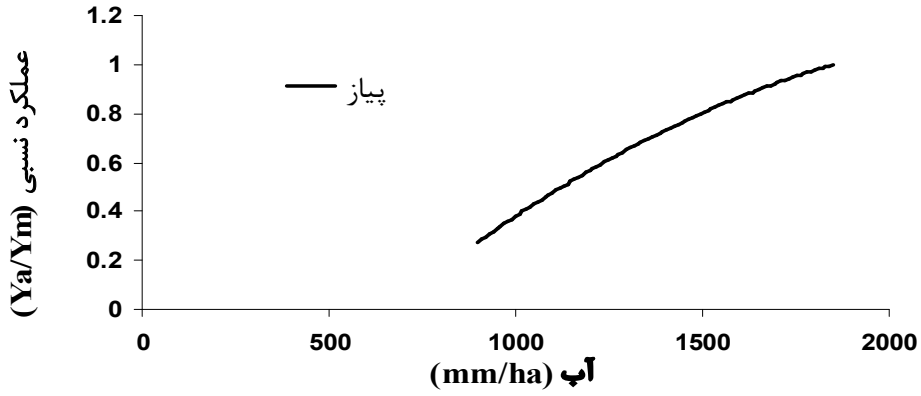
محصولات	آذرشهر	اسکو	تبریز	شبستر
گندم	۳۷۳۵	٤۱۳۹	۱۱۱۲۳	۸۲٤۰
جو	۷۷۹	۱٦۹۰	۲٤۲۷	۱۷۳۰
پیاز	٤۸۰	۵۳۵	٤۵۰	۸۰۰
یونجه	۷۰۲	٤٤۵۲	۱۸۵۰	۲۸۱۰
چغندرقند	۰	۰	۲۱	۰
سیب زمینی	۱۱۸۷	٦۰۳	۱۹۵۱	۷٦۰
گوجه فرنگی	۵٦۳	۱۲٦	۵۹۰	۱۳۰۸

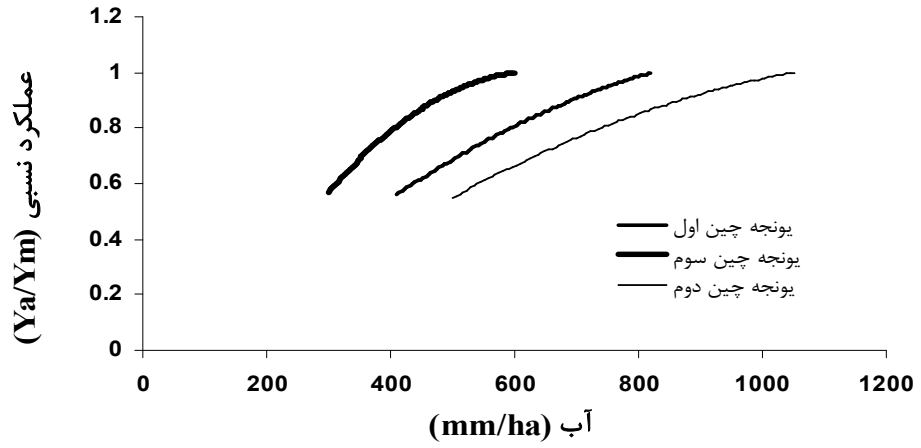
۳-٦- توابع عملکرد در منطقه مطالعاتی

با استفاده از آمار و اطلاعات تهیه شده و اجرای گسترده مدل‌های توسعه یافته، توابع عملکرد محصولات منتخب برای بخش غربی آجی چای بدست آمد که در شکل ۳-۳ (الف تا و) قابل مشاهده هستند. این توابع به ازای حجم های مختلف و برای هر محصول (محدوده حداقل و حداکثر نیاز آبی طی کل دوره رشد گیاه) عملکرد نسبی آن را می‌دهد.



شکل ۳-۳: تابع عملکرد محصولات گندم، جو و گوجه فرنگی در سیستم منابع آب غربی آجی‌چای





ادامه شکل ۳-۳: تابع عملکرد محصولات پیاز و یونجه در سیستم منابع آب غربی آجی‌چای

فصل چهارم

مدل‌سازی کم آبیاری در سطح سیستم‌های آبیاری

٤-١- مقدمه

مدل‌سازی‌های فصل قبلی منجر به تولید توابع عملکرد گردید. این توابع برای مدل تخصیص که زیر مدل دوم مورد اشاره در شکل (۳-۲) است، مورد استفاده قرار خواهد گرفت. هدف محاسبات، تخصیص بهینه منابع آب بین محصولات مختلف در شرایط کم آبی می‌باشد، بطوریکه سیستم کمترین خسارت را متحمل گردد. به عبارتی مقیاس از مزرعه به سیستم آبیاری تغییر می‌کند.

در ادامه مانند قبل ابتدا به روابط و قیودات بهینه‌سازی اشاره و سپس نتایج آن برای قسمت غربی آجی‌چای ارائه می‌شود. همچنین نتایج این بخش، بر اساس براساس بهترین ارقامی بوده که

تاکنون برای برخی اطلاعات اولیه مانند سهم آجی‌چای در تامین حقابه دریاچه حاصل شده است. اما همانگونه که در فصل اول آمد، هدف گزارش صرفا ارائه روش‌شناسی تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی می‌باشد و در گزارش بعدی (گزارش کشاورزی طرح) مدل تخصیص با ارقامی که به تائید نهایی ذی‌نفعان رسیده باشد، اجرا خواهد شد.

٤-٢- بهینه‌سازی توزیع آب بین‌گیاهان مختلف در یک سیستم/شبکه آبیاری (زیر مدل دوم)

این مدل تخصیص بهینه کل آب در یک سیستم را بین محصولات مختلف عهده دار می باشد. تابع هدف این مدل حداکثر نمودن سود حاصل از همه محصولات بوده که بصورت ذیل می باشد:

$$MAX\left\{\sum_{k=1}^{K} F_k(V_k) A_k Y_{\max k} P_k\right\} \qquad (١-٤)$$

که در آن K تعداد محصولات، $F_k(V_k)$ تابع عملکرد (رابطه بین حداکثر عملکرد نسبی به آب تخصیص داده شده)، A_k سطح کشت (ha)، $Y_{\max k}$ حداکثر محصول و P درآمد محصول k است.

$F_k(V_k)$ از زیر مدل قبل برآورد می‌گردد. بدین منظور مدل اول برای هر محصول و به ازای حجم های مختلف (محدوده حداقل و حداکثر نیاز آبی طی کل دوره رشد گیاه) اجرا گردید تا عملکرد آن به ازای احجام مختلف تعیین و تابع بدست آید. قیدهای این مدل شامل موارد زیر هستد:

- کل سطح کشت محصولات مختلف (A_k)نبایستی از سطح کل (A_{total}) بیشتر باشد:

$$\sum_{k=1}^{K} A_k \le A_{total} \qquad (٢-٤)$$

- مجموع آب اختصاص یافته به هر محصول (m^3) (V_K) باید با آب در نظر گرفته شده برای کل سیستم

(V_{total}) مساوی و یا از آن کمتر باشد":

$$\sum_{k=1}^{K} V_k \leq V_{total} \qquad (۳-٤)$$

سطح زیر کشت هر محصول می‌بایست ما بین حداکثر($A_{\max k}$) و حداقل($A_{\min k}$) سطح زیر کشت آن محصول در سیستم مورد نظر باشد:

$$A_{\min k} \leq A_k \leq A_{\max k} \qquad (٤-٤)$$

٤-۲-۱- فرضیات و اطلاعات اولیه مورد نیاز برای مدل تخصیص

برای اجرای مدل اطلاعات زیر مورد نیاز می‌باشند. بخشی از این اطلاعات تابع سیاست گذاری، دینامیک، شرایط اقتصادی و یا تجربیات ذی‌مدخلان بخش آب و کشاورزی منطقه هستند که تامین آنها برای واقعی کردن نتایج ضروری هستند: این موارد شامل اقلام زیر هستند:

- *پتانسیل آورد رودخانه در سیستم آبیاری*

این بخش با استفاده از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در این بخش و برآورد از آورد حوضه‌های میانی انجام می‌گردد که می‌تواند بطور سالیانه تغییر کند.

- *آب برگشتی*

میزان آب برگشتی بر اساس پاره‌ای مراجع ۱۰٪ تا ۱۵٪ آورد رودخانه تخمین زده می‌شود (در گزارش فعلی این مقدار وارد محاسبات نشده است).

- *نیاز باغات*

مدلسازی‌های قبلی مربوط به زراعت است و شیوه کم‌آبیاری باغات بصورت درصدی در نظر گرفته شده است. با توجه به الگوی و تراکم کشت باغات در این حوزه و بر اساس سند ملی و راندمان در

منطقه، نیاز ناخالص ۲۰۰۰۰ مترمکعب بر هکتار محاسبه شد. اما این مقدار با توجه به اطلاعات محلی ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار مرسوم است و با وجود حدود ۱۱۶۰۰ هکتار باغ در منطقه، کل نیاز ۱۱٦ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌شود.

- *نیاز شرب و صنعت*

با توجه به شرایط موجود، سهم این دو برای غرب آجی‌چای ناچیز در نظر گرفته شده است. اما می‌توان هر مقداری را تعیین و حقابه آنها را مد نظر قرار داد.

- *آیش*

آیش بر اساس اطلاعات محلی ۱۵٪ در نظر گرفته شده است.

- *درآمد محصولات*

درآمد خالص محصولات از عوامل تعیین کننده در نتایج مدل است، زیرا هدف تابع بهینه‌سازی حداکثرسازی درآمد با منابع آب موجود است. برای این گزارش ارقام مربوط به هزینه تولید و فروش محصولات از سازمان‌های جهاد کشاورزی و میادین بدست آمده و سپس درآمد خالص برآورد و کنترل‌های لازم با سازمان جهاد کشاورزی شده است. اما مقدار آن از مواردی است که سالی به سال تغییر کرده و مدل را می‌توان هنگام اجراهای جدید، بر اساس آن به‌هنگام نمود.

٤-۳- تعریف سطوح خشکسالی

مدل بهینه سازی تخصیص، مدیریت منابع آب حوضه را قادر می‌سازد تا در شرایط مختلف خشکسالی برنامه تخصیص محصولات تعیین نماید. در این مرحله با بررسی سری زمانی جریان ورودی به سیستم (موقعیت ایستگاه ونیار) و جریان حوزه میانی، وضعیت متوسط منابع آب همراه با تعدادی از

شرایط خشکسالی‌های تاریخی در منطقه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت و نهایتا بر اساس آنها ٤ سطح تعیین گردید که عبارتند از :

- وضعیت نرمال سیستم ٤٥٠ میلیون متر مکعب (وضعیت آبی متوسط آورد سیستم)
- خشکسالی سطح ۱، برآورد ۳۸۰ میلیون متر مکعب ورودی به سیستم (وضعیت مشابه سال آبی ٦٣-١٣٦٢)
- خشکسالی سطح ۲، برآورد ۳۱۰ میلیون متر مکعب ورودی به سیستم (وضعیت مشابه سال آبی ٣٩-١٣٣٨)
- خشکسالی سطح ۳، برآورد ۲۵۰ میلیون متر مکعب ورودی به سیستم (وضعیت مشابه سال آبی ٧٠-١٣٦٩)
- خشکسالی سطح ٤، برآورد ۱۷۰ میلیون متر مکعب ورودی به سیستم (حداقل نیاز آبی برای تخصیص کامل آب دریاچه و حفظ باغات)

با ارقام فوق، مدل‌های بهینه سازی اجرا و با توجه به اولویت‌ها، تخصیص دریاچه، باغات و زراعت تعیین می‌گردد. لازم به ذکر می‌باشد که سیستم آجی‌چای شرایط سخت‌تر از این را هم تجربه کرده‌است، مانند خشکسالی‌های مستمر سال‌های آبی ٧٨-١٣٧٧ تا ٨٠- ١٣٧٩ که به ترتیب جریان عبوری از ایستگاه ونیار در حدود ۷۰، ٦٤ و ۳۲ میلیون متر مکعب به ثبت رسیده است.

٤-٣-١- راه‌کارهای مدیریتی برای سطوح خشکسالی

برای ارائه راه‌کارهای مدیریتی ۲ شیوه مد نظر قرار گرفته اند که عبارتند از:

- *رویکرد اول: اعمال توام کم آبیاری و کاهش سطح*

- *رویکرد دوم: کاهش سطح و بدون اعمال کم آبیاری*

بدیهی است که هر کدام از این دو رویکرد ویژگی‌های مدیریتی خاص خـود را دارنـد کـه در ادامـه مورد اشاره قرار می‌گیرند:

- *مزایای و معایب رویکرد اول: اعمال توام کم آبیاری و کاهش سطح*

۱- حفظ بیشتر سطح زیر کشت اراضی و تبعات اجتماعی کمتر بدلیل اشتغال بیشتر

۲- هزینه کمتر بابت جبران خسارات به کشاورزان

۳- مدیریت پیچیده‌تر

٤- نیاز بیشتر به همکاری کشاورزان در اعمال روش‌های کم آبیاری

۵- نیاز بیشتر به مدلسازی

٦- کنترل بیشتر برای نظارت بر برداشت‌های غیر مجاز

- *مزایای و معایب رویکرد دوم: کاهش سطح و بدون اعمال کم آبیاری*

۱- مدیریت راحتر

۲- نیاز کمتر به همکاری کشاورزان در اعمال روش‌های کم آبیاری

۳- تبعات اجتماعی بدلیل حذف بخشی از اشتغال

٤- هزینه بیشتر بابت جبران خسارات به کشاورزان

۵- کنترل راحت‌تر برای نظارت بر برداشت‌های غیر مجاز

لازمست در حذف اراضی معیارهایی در نظر گرفته و از قبل روی آنها کارشـود. مـثلا شـاید اراضـی حاشیه رودخانه‌ها را بدلیل دسترسی راحت‌تر برای برداشت‌های غیر مجاز، در اولویت باشند.

٤-٤- تخصیص آب کشاورزی بر مبنای کم آبیاری با کاهش سطح

در این رویکرد برای سطوح خشکسالی آمده در بخش ٤-۳ مدل بهینه‌سـازی اجـرا گردیـد و نتـایج

راهکارهای تطبیق برای هر کدام در جدول (٤-١) ارائه شده‌اند. در ادامه در جداول (٤-٢) و (٤-٣) عمق آب آبیاری و تغییرات سطح کشت (و نحوه حذف بعضی محصولات) را برای هر محصول بر حسب میلیمتر در هکتار نشان می‌دهد.

جدول ٤-١ : تعریف آستانه ها و راهکارهای تطبیق براساس سناریوها کم آبیاری با کاهش سطح

سطح کم‌آبیاری و تغییر سطح کشت	زراعت (MCM)	باغات (MCM)	دریاچه (MCM)	پتانسیل آورد سیستم آبی (MCM)	سطح خشکسالی
کم‌آبیاری و کاهش سطح زیر کشت تا ٦٥٪	٢١٤	١١٦ بدون کاهش	١٢٠	٤٥٠	٠
کم‌آبیاری و کاهش سطح زیر کشت تا ٦٥٪ و حذف صیفی‌جات و سیب‌زمینی	١٦٧	٩٣ ٨٠٪ کاهش	١٢٠	٣٨٠	١
کم‌آبیاری و کاهش سطح زیر کشت تا ٥٢٪ و حذف صیفی‌جات ، سیب‌زمینی و پیاز	١٢٠	٧٠ ٦٠٪ کاهش	١٢٠	٣١٠	٢
کم‌آبیاری و کاهش سطح زیر کشت تا ٣٦٪ و حذف صیفی‌جات ، سیب‌زمینی و پیاز	٦٠	٧٠ ٦٠٪ کاهش	١٢٠	٢٥٠	٣
حذف کامل زراعت	٠	٤٦ ٤٠٪ کاهش	١٢٠	١٧٠	٤

جدول ٤-٢ : توزیع آب بین محصولات زراعی (میلی‌متر در هکتار) و درآمد در سطوح خشکسالی

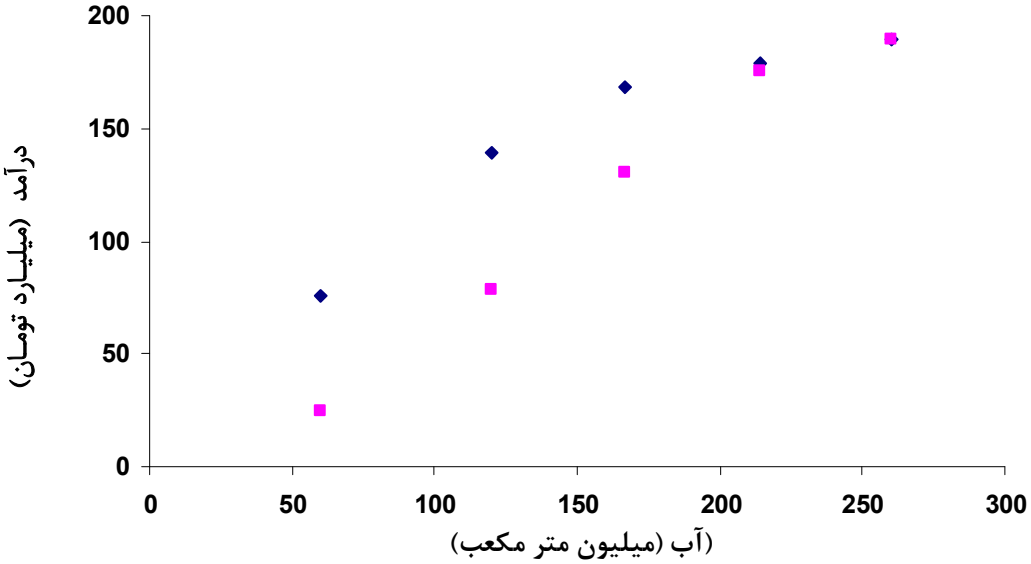
عمق آب (mm/ha)	سطح صفر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
گندم	٤٨٠	٤٨٠	٤٨٠	٤٨٠	٠
جو	٣٧٠	٣٧٠	٣٧٠	٣٧٠	٠
سیب‌زمینی	١٠٩٢	٠	٠	٠	٠
گوجه‌فرنگی	١٣٩٧	٠	٠	٠	٠
یونجه ١	٤١٠	٤١٠	٤١٠	٤١٠	٠
یونجه ٢	٥٠٠	٥٠٠	٥٠٠	٠	٠
یونجه ٣	٣٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٠	٠
پیاز	١٢٢٩	١٢٥٠	٠	٠	٠
کل سطح	٤٠١٥٤	٣٦٢٣٠	٢٧٧١٠	١٣٣٨٠	٠
درآمد (میلیاردتومان)	٨٨	٤٤	٢١	٩/٧	٠

جدول ٤-٣ : سطح کشت محصولات زراعی و درآمد بر اساس سطوح خشکسالی (هکتار)

سطح کشت(ha)	سطح صفر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
گندم	١٥٠٤٨	١٥٠٤٨	١١٩٢٣	٨٣٤٦	٠
جو	٣٦٦١	٣٦٦١	٢٩٠٠	٢٠٣٠	٠
سیب‌زمینی	٢٤٩٩	٠	٠	٠	٠
گوجه‌فرنگی	١٤٢٩	٠	٠	٠	٠
یونجه ١	٥٤٢٢	٥٤٢٢	٤٢٩٦	٣٠٠٧	٠
یونجه ٢	٥٤٢٢	٥٤٢٢	٤٢٩٦	٠	٠
یونجه ٣	٥٤٢٢	٥٤٢٢	٤٢٩٦	٠	٠
پیاز	١٢٥١	١٢٥١	٠	٠	٠
کل سطح زیر کشت	٤٠١٥٤	٣٦٢٢٦	٢٧٧١١	١٣٣٨٣	٠
درآمد (میلیاردتومان)	٨٨	٤٤	٢١	٩/٧	٠

٤-٤-١- نقش قیود حداقل سطوح در نتایج اقتصادی مدلسازی

یکی از قیود مهم مدل تخصیص حداکثر ممکن کاهش سطح می‌باشد. مثلا ممکن است، بنا به دلالیل راهبردی گندم را تا ٥٠٪ کاهش داد، ولی صیفی‌جات را تا ١٠٠٪. این موارد در مدل قابل پیاده سازی و تحلیل اقتصادی است. شکل ٤-١ نتایج این تحلیل را برای احجام مختلف موجودی آب در شرایطی که گندم و جو تا ٥٠٪ و ١٠٠٪ قابل کاهش بوده است، نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که بدلیل درآمد بالای سایر محصولات (غیر از گندم و جو)، حفظ آنها با درآمد بیشتری برای سیستم همراه است.



شکل ٤-١: تغییرات درآمد سیستم در صورت امکان کاهش کامل محصولات (نقاط لوزی) و حفظ حداقل ۵۰٪ سطوح برای گندم و جو (نقاط مربع)

٤-٥- تخصیص آب کشاورزی برمبنای تنها با کاهش سطح

این رودیکرد بنا به نظرات کارشناسی کارگاه مهرماه ۱۳۹۰ اضافه شد. برای آن سطوح صفر مانند قبل است، ولی در سطوح بعدی با توجه به منابع آب موجود درصد یکسانی از سطح زیر کشت محصولات کاهش داده می‌شود (بدون کم آبیاری). الگوی کشت نیز بدون تغییر باقی می‌ماند. در این رودیکرد نیازی به مدل تخصیص نخواهد بود. نتایج این رویکرد در جدول (٤-٤) قابل مشاهده است.

جدول ٤-٤ : راهکارهای تطبیق براساس سطوح خشکسالی در رویکرد تنها کاهش سطح

درصد کاهش سطح زیر کشت زراعت	آب قابل تحویل به زراعت (MCM)	سطح کشت زراعت (ha)	آب قابل تحویل به باغات (MCM) و درصد کاهش عمق آبیاری	دریاچه (MCM)	پتانسیل آورد سیستم آبی (MCM)	سطح خشکسالی
۰	۲۱٤	٦۱۷۷۷	۱۱٦	۱۲۰	٤٥۰	۰
۷۸	۱٦۷	٤۸۲۰۰	۹۳ (۲۰٪ کاهش)	۱۲۰	۳۸۰	۱
٥٦	۱۲۰	۳٤٦۰۰	۷۰ (٤۰٪ کاهش)	۱۲۰	۳۱۰	۲
۲۸	٦۰	۱۷۳۰۰	۷۰ (٦۰٪ کاهش)	۱۲۰	۲٥۰	۳
۰	۰	۰	٤٦ (٦۰٪ کاهش)	۱۲۰	۱۷۰	٤

٤-٦- جمع بندی و نتیجه گیری

گزارش خاضر متناسب با اهداف طرح مدیریت ریسک خشکسالی دریاچه ارومیه، مدلی را بهینه-سازی تخصیص آب در بخش کشاورزی توسعه داد. برای شرح روش‌شناسی مدل، نمایش و تفسیر خروجی‌ها، در این گزارش ابتدا مدل تنها برای بخش غربی آجی‌چای که از شرایط متنوعی به لحاظ کشاورزی برخوردار است، اجرا شد و نتایج برای کل حوضه نیز در گزارش کشاورزی ارائه خواهد شد.

برای این مدل ویژگی‌هایی در نظر گرفته شد که به اختصار عبارتند از:

- مدل تلاش دارد تا راهبرد "کم آبیاری" را جهت تخفیف اثرات خشکسالی که قبلا نیز در حوضه تجربه شده است را به شکلی علمی، عملیاتی نماید.

- مدل با توجه به منابع قابل پیش‌بینی در ابتدای فصل کاشت، می‌تواند برنامه تخصیص آب محصولات مختلف را بطور بهینه ارائه دهد.
- در صورت تمایل کاربر، می‌توان بهینه‌سازی را هم در عمق آبیاری و هم در سطح زیر کشت اعمال نمود.
- رویکردهای مورد استفاده برای کاهش سطح محصولات می‌تواند متناسب با نظر کاربر و معیارهای عملیاتی تغییر کند، مانند درصد حذف گیاهان مختلف، یا الویت محصولات در حذف یا کاهش. مدل برای تمامی این شرایط قابل استفاده خواهد بود. به همین ترتیب موارد دیگری مانند اینکه بارندگی و بارش موثر را در محاسبات مد نظر قرار گیرد یا خیر؟ میزان آب برگشتی تا چه حد باشد؟ و مواردی دیگری از این قبیل.
- مدل نتایجی از درآمد را در هر راهبرد متناسب با سطح خشکسالی ارائه می‌دهد که می‌تواند در تحلیل‌های اقتصادی و مقایسه راهبردها مفید باشد.

فهرست مراجع

-مرید س. و عرب د. (۱۳۸۸) مستندسازی اقدامات انجام شده سازمان‌های آب منطقه‌ای در مقابله باخشکسالی، شرکت سهامی مدیریت منابع آب، معاونت پژوهش و مطالعات پایه، طرح تحقیقات کاربردی.

- **Ali، M. H.، Hoque، M. R.، Hassan، A. A. and Khair، M.** (2007). Effects of deficit irrigation on yield، water productivity and economic returns of wheat، Agricultural Water Management، 92:151-161.

- **Borg، H. and Grimes، W.** (1986). Depth development of roots with time: an empirical description، Transactions of the ASAE، 29(1):194-197.

- **Doorenbos، J. and Kassam، A. H.** (1977). Yield response to water، Irrigation and Drainage، Paper 33، Food and Agricultural Organization of the United Nations، Rome، Italy، 39.

- **Dry، P. R.، Loveys، B. R.، McCarthy، M. G. and Stoll، M.** (2001). Strategic management in Australian vineyards، Journal International des Science de la Vigne et du Vin، 35: 129-139.

- **Ghahraman، B. and Sepaskhah، A. R.** (2002). Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping patterns، Irrigation Science، 21: 127-137.

- **Ghahraman، B. and Sepaskhah، A. R.** (2004). Linear and non-linear optimization models for allocation of a limited water supply، Irrigation and Drainage، 53:39-54.

- **Hornbuckle J. W، Christen W.، Podger G.، White R.، Seaton S.، Perraud J. M. and Rahman J. M.** (2000). Predicting Irrigation Return Flows to River Systems: Conceptualisation and Model Development of an Irrigation Area Return Flow Model، http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/hornbuckle_2.pdf

- **Jensen، J. W.** (1968). Water consumption by agricultural plants (Chapter 1)، In Water Deficit and Plant Growth، Vol. 2، Kozlowski T.

- **Juan، R.، Roldan، J.، Alcaide، M.، Lopez، R. and Camacho، E.** (2001). Optimization model of water allocation in deficit irrigation systems: description of model، Agricultural Water Management، 48(2):103-116.

- **Kirda، C.، Moutonnet، P.، Hera، C. and Nielsen، D. R** .(1999). Crop yield response to deficit irrigation، Dordrecht، The Netherlands، Kluwer Academic Publishers.

- **Kirda، C.** (2005). Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance، Natural Resources Management and Environment Department، Cukuroya University، Adana، Turkey.

- **Mainuddin، M.، Gupta، A. D. and Onta، P. R.** (1997). Optimal crop planning model for an existing groundwater development project in Thailand، Agricultural Water Management، 33: 121-151.

- **Moghaddasi، M.، Morid، S.، Araghinejad، S. and Agha Alikhani، M.** (2009a). Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduce agricultural drought losses: the 1999 drought in the Zayandeh rud irrigation system(Iran)، Journal of Irrigation and Drainage (in Press).

- **Moghaddasi، M.، Araghinejad، S. and Morid، S.** (2009b). Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: case study of Zayandeh-rud reservoir، Iran، Journal of Irrigation and Drainage Engineering (in press).

- **Palmer، R.N. (1987)** Expert System for Drought Management Planning، Journal of Computing in Civil Engineering، Vol. 1، No. 4، October 1987، pp. 284-297

- **Palmer، R. N.، Sandra، L. K.، and Steinemann، A. C.،** (2002). "Developing drought triggers and drought responses: an application in Georgia"، Journal of Water Resources Planning and Management، 132: 164-174.

- **Paudyal، G. N. and Gupta، A. D**. (1990). A nonlinear chance constrained model for irrigation model، Agricultural Water Management، 18: 87-100.

- **Rao، N. H.، Sarma، P. B. S. and Chander، S.** (1988). A simple dated water –production function for use in irrigated agriculture، Agricultural Water Management، 13: 25-32.

- **Vazifedoust، M، Van Dam، J. C.، Feddes، R. A. and Feizi، M.** (2008). Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale، Agricultural Water Management، 95: 89-102.

- **Zwart، S. J. and Bastiaanssen، WGM.** (2004). Review of measured crop water productivity

values for irrigated wheat، rice، cotton and maize، Agricultural Water Management، 69: 115-133.

-**Vigerstol، K**.، (2003). "Drought management in Mexicos Rio Bravo Basin"، Masters thesis، University of Washington، Seattle، WA.