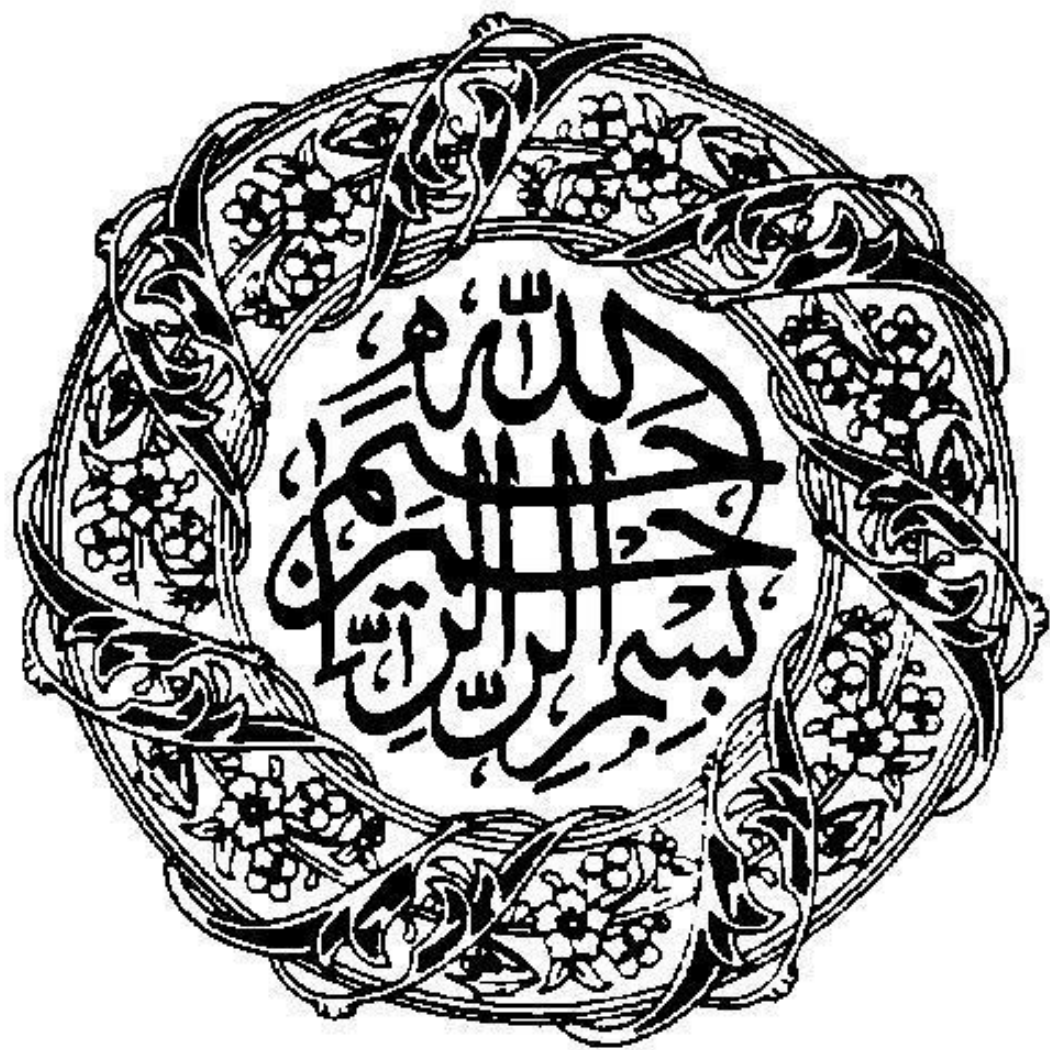






دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی

عنوان

مصرف آب در مزارع برنج غرب اصفهان و اثر آن بر دبی زاینده‌رود

توسط

حامد امامی حیدری

اساتید راهنما

دکتر غلامحسین کرمی

دکتر هادی جعفری

بهمن ۱۳۹۱

مقالات ارائه شده از این پایان نامه شامل:

- ۱- "به روز رسانی تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در استان اصفهان در راستای کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک" اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک، اردیبهشت ۱۳۹۱، ابرکوه یزد، سخنرانی.
- ۲- "نیاز آبی برنج در مناطق نیمه خشک غرب اصفهان" اولین همایش ملی کشاورزی در شرایط محیطی دشوار، اردیبهشت ۱۳۹۱، رامهرمز، سخنرانی.

تعهد نامه

اینجانب حامد امامی حیدری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مصرف آب در مزارع برنج غرب اصفهان و اثر آن بر دبی زاینده رود تحت راهنمایی آقایان دکتر کرمی و دکتر جعفری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضاء دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .
- این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

سپاس نامه

حد و سپاس مخصوص آفریدگار زمین و آسمان هست. خداوند متعال را شاکرم که توفیق فراگیری علم در سایه ایمان به خود و پیروی از ائمه معصومین سلام الله علیه را نصیبم نمود. پس خداوند از آفت های علم مصونم دارم و مسیر راست هدایت فرما. اکنون که تمام این منافع از تحصیل با عنایت حق تعالی حاصل گشت، شاید است مراتب بشکر و قدردانی خویش را از زحمات پدر و مادر عزیزم و خواهران مهربانم و همه استادی که مرا تا این مرحله یاری نمودند ابراز دارم. لذا از زحمات غزیرانی چون:

پدر و مادر که وجودم برایشان به رنج بود و وجودشان برایم به مهر،

استاد راهنمای فریخته و بزرگوارم آقایان دکتر مهدی جعفری و دکتر غلامحسین کرمی که روشی بخش و راهنمای این راه بودند،

استاد ارجمند و اور این پایان نامه آقایان دکتر غلامعباس کاظمی و دکتر منوچهر قلی پور و دیگر

استاد بزرگوار که روزه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود و از همه

دوستان عزیزم، که مراد انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه

بشکر و قدردانی

می نمایم.

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی اثرات برنجکاری در حاشیه زاینده‌رود بر کمیت آب رودخانه می‌باشد. با اندازه‌گیری تبخیر و تعرق برنج و تخمین میزان برداشت آب رودخانه زاینده‌رود در مقطع بین دو ایستگاه هیدرومتری پل کله و لنج در جنوب غرب اصفهان (شبکه سنتی زیر کشت برنج) به روش بیلان، دلایل کاهش شدید دبی رودخانه در فصل کشت مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ابتدا داده‌های هواشناسی اخذ و با روش جرم مضاعف صحت سنجی گردید. سپس تبخیر و تعرق مرجع در سه ایستگاه زرین‌شهر، مبارکه و فلاورجان محاسبه شد و به ترتیب مقادیر ۱۷۵۸، ۱۶۹۰ و ۱۴۶۶ میلی‌متر در سال به دست آمد. با اعمال ضرایب گیاهی برنج با روش فائو ۵۶، نیاز آبی واقعی برنج به صورت روزانه محاسبه گردید و نیاز آبی برنج (با احتساب نیاز آماده سازی زمین) در طول دوره رشد برای سه ایستگاه مذکور به ترتیب ۱۴۸۵، ۱۴۳۸ و ۱۲۲۴ میلی‌متر به دست آمد. حجم آب خالص مورد نیاز برای مساحت ۶۶۳۰ هکتاری شالیزارها حدود ۷۷ میلیون متر مکعب برآورد گردید. با در نظر گرفتن راندمان آبیاری در مزارع برنج (۵۰ درصد) حجمی معادل ۱۱۱ میلیون متر مکعب از آب رودخانه در طی دوره کشت به اراضی شالیزاری در حواشی رودخانه اختصاص یافته است. این عدد تطابق خوبی با رقم به دست آمده از رابطه بیلان (۱۰۰ میلیون متر مکعب) نشان می‌دهد. در نهایت تغییر فرضی در الگوی کشت منطقه، به عنوان راهکاری برای برداشت کمتر آب از زاینده‌رود مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور لوبیا، ذرت دانه‌ای، گردو، سیب و انگور انتخاب و نیاز آبی آن‌ها به ترتیب ۷۳۹، ۹۲۹، ۱۶۱۰، ۱۵۳۲ و ۱۴۱۱ میلی‌متر محاسبه شد. با جایگزینی این محصولات به جای برنج به ترتیب ۲۷، ۱۵، ۲۴، ۲۹ و ۴۰ میلیون متر مکعب در حجم آب مصرفی کشاورزی صرفه‌جویی به عمل می‌آید که این مقادیر می‌تواند دبی حداقل ۱/۱۳ تا ۳ متر مکعب در ثانیه را به دبی زاینده‌رود در کل سال اضافه نماید. این میزان از دبی را می‌توان به نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: زاینده‌رود، تبخیر و تعرق، برنج، الگوی کشت، فائو ۵۶، بیلان.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- بیان مسئله ۱
- ۲-۱- پیشینه و تاریخچه تحقیق ۳
- ۳-۱- اهداف تحقیق ۳
- ۴-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۴
- ۵-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه ۵
- ۶-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه ۶
- ۷-۱- زمین‌شناسی عمومی منطقه ۸
- ۸-۱- تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر منابع آب ۱۲
- ۹-۱- تکتونیک و فازهای کوهزایی ۱۳
- ۱۰-۱- ژئومورفولوژی ۱۴
- ۱۱-۱- توپوگرافی و شیب ۱۷
- ۱۲-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه ۱۸
- ۱۳-۱- شرایط کشاورزی ۲۱
- ۱۴-۱- مراحل زراعت برنج در منطقه مورد مطالعه ۲۳

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

- ۱-۲- تعریف اصطلاحات ۳۱
- ۲-۲- اهمیت برآورد تبخیر و تعرق ۳۲
- ۳-۲- عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق ۳۲

- ۴-۲- اندازه‌گیری تبخیر و تعرق مرجع ۳۴
- ۵-۲- مروری بر مطالعات تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) ۳۵
- ۶-۲- مروری بر مطالعات نیاز آبی گیاه برنج ۴۳
- ۷-۲- مروری بر مطالعات هیدرواقلیمی و هیدرولوژیکی زاینده‌رود ۴۹

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۱-۳- روش‌های غیر مستقیم استفاده شده جهت تخمین تبخیر و تعرق مرجع ۵۵
- ۲-۳- مراحل محاسبه ET_0 در منطقه مورد مطالعه ۵۷
- ۳-۳- روش‌های اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه ۶۱
- ۴-۳- داده‌های مورد نیاز برای محاسبات تبخیر و تعرق گیاه ۶۵
- ۵-۳- نیاز آماده سازی زمین ۶۷
- ۶-۳- نفوذ در شالیزار ۶۸
- ۷-۳- زهکشی در شالیزار ۶۹
- ۸-۳- آبیاری و مدیریت آب در شالیزار ۷۰
- ۹-۳- راندمان آبیاری ۷۱
- ۱۰-۳- بررسی مصرف آب در شبکه سنتی زیر کشت برنج از طریق بیلان ۷۱

فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۱-۴- همگنی و صحت داده‌های هواشناسی ۷۴
- ۲-۴- نتایج تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های مختلف ۷۷
- ۳-۴- تعیین پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه ۸۶
- ۴-۴- نتایج تبخیر و تعرق واقعی برنج (ET_c) در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۸۹
- ۵-۴- مساحت شالیزارهای منطقه مورد مطالعه ۹۲

- ۶-۴- حجم آب مورد نیاز شالیزارها در حدفاصل پل کله تا لنج ۹۵
- ۷-۴- تخمین میزان نیاز آبیاری مزارع برنج به روش بیلان ۹۵
- ۴-۷-۱- منابع خروجی رودخانه زاینده‌رود در حدفاصل ایستگاه پل کله و لنج ۹۵
- ۴-۷-۲- منابع ورودی رودخانه زاینده‌رود در حدفاصل پل کله و لنج ۹۷
- ۴-۷-۳- برداشت آب توسط شبکه آبیاری سنتی زیر کشت برنج با روش بیلان ۱۰۴
- ۴-۸- نیاز آبی کشت‌های فرضی جایگزین برنج در منطقه مورد مطالعه ۱۰۷

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۵
- ۵-۲- پیشنهادها ۱۱۸

فهرست اشکال و جداول

- شکل ۱-۱- نمایی از خشک شدن زاینده‌رود و اعتراض کشاورزان در شرق اصفهان ۲
- شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۴
- شکل ۳-۱- نمودار آمبروترمیک سال ۲۰۱۰ ایستگاه زرین‌شهر ۷
- شکل ۴-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۹
- شکل ۵-۱- نمای کلی از ژئومورفولوژی منطقه ۱۲
- شکل ۶-۱- برشی از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی در حاشیه اراضی برنجکاری ۱۵
- شکل ۷-۱- نقشه ارتفاعی حوضه آبگیر زاینده‌رود ۱۷
- شکل ۸-۱- حوضه آبگیر زاینده‌رود و موقعیت زیرحوضه لنجانات و آبخوان آن ۲۰
- شکل ۹-۱- موقعیت شبکه‌های زراعی در حوضه زاینده‌رود ۲۲
- شکل ۱۰-۱- عمل گلخرابی (پادلینگ) در مرحله آماده سازی زمین برای نشاءکاری ۲۴
- شکل ۱۱-۱- نشاء برنج منتقل شده به زمین اصلی ۲۶
- شکل ۱۲-۱- نمایی از شالیزار حدود ۶۰ روز پس از کاشت نشاء ۲۸
- شکل ۱۳-۱- مراحل فنولوژیکی کشت برنج در منطقه مورد مطالعه ۲۹
- شکل ۱۴-۱- نمایی از زمین برنجکاری پس از برداشت محصول و خشک شدن زمین ۲۹
- شکل ۱-۳- معرفی داده‌ها به نرم‌افزار Ref-ET ۵۹
- شکل ۲-۳- توصیف داده‌ها و ایستگاه‌های هواشناسی ۶۰
- شکل ۳-۳- انتخاب روش‌های محاسباتی ۶۱
- شکل ۴-۳- بیلان آب در مزارع برنج ۶۲
- شکل ۱-۴- آزمون جرم مضاعف آمار ایستگاه زرین‌شهر جهت بررسی همگنی داده‌ها ۷۵
- شکل ۲-۴- مقایسه روند پارامترهای هواشناسی ایستگاه زرین‌شهر و ایستگاه‌های مجاور... ۷۶
- شکل ۳-۴- تغییرات ET_0 روزانه ایستگاه زرین‌شهر و روند مشابه آن با تغییرات دما ۷۷

- شکل ۴-۴-ET₀ ماهانه ایستگاه زرین شهر ۷۸
- شکل ۴-۵- تغییرات ET₀ روزانه ایستگاه مبارکه و روند مشابه آن با تغییرات دما ۸۰
- شکل ۴-۶-ET₀ ماهانه ایستگاه مبارکه ۸۰
- شکل ۴-۷- تغییرات ET₀ روزانه ایستگاه فلاورجان و روند مشابه آن با تغییرات دما ۸۲
- شکل ۴-۸-ET₀ ماهانه ایستگاه فلاورجان ۸۲
- شکل ۴-۹- مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به روش انتخابی پنمن فائو ۲۴ در سه ایستگاه .. ۸۵
- شکل ۴-۱۰- نقشه عمومی بافت خاک و موقعیت نقاط نمونه برداری ۸۶
- شکل ۴-۱۱- آزمایش هیدرومتری و الک تر ۸۷
- شکل ۴-۱۲- تعیین بافت خاک در مزارع برنج منطقه مورد مطالعه با روش USDA ۸۷
- شکل ۴-۱۳- تغییرات ضریب گیاهی برنج در طول فصل رشد ۸۹
- شکل ۴-۱۴- تغییرات تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج (ET_c) و (ET₀) در زرین شهر ۹۰
- شکل ۴-۱۵- تغییرات تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج (ET_c) و (ET₀) در مبارکه ۹۱
- شکل ۴-۱۶- تغییرات تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج (ET_c) و (ET₀) در فلاورجان ۹۱
- شکل ۴-۱۷- محدوده اراضی یکپارچه زیر کشت برنج در حاشیه زاینده رود ۹۳
- شکل ۴-۱۸- موقعیت شالیزارها (با تن سبز تیره) در اطراف رودخانه زاینده رود ۹۳
- شکل ۴-۱۹- سطح زیر کشت برنج در مناطق مختلف در سال‌های زراعی ۸۸-۸۲ ۹۴
- شکل ۴-۲۰- دبی متوسط ماهانه ایستگاه پایین دست (لنج) در سال آبی ۸۸-۸۹ ۹۶
- شکل ۴-۲۱- دبی متوسط ماهانه ایستگاه بالادست (پل کله) در سال آبی ۸۸-۸۹ ۹۸
- شکل ۴-۲۲- دبی مطلق در پل کله (بالادست) و لنج (پایین دست) ۹۹
- شکل ۴-۲۳- اختلاف دبی پل کله و لنج در فصل غیرزراعی در سال‌های ۹۰-۱۳۸۵ ۹۹
- شکل ۴-۲۴- دبی در بالادست (پل کله) و پایین دست (لنج) در فصل غیرزراعی (سال -
- های ۹۰-۱۳۸۵) با کسر برداشت صنایع و کانال‌های آبرسان از دبی بالادست ۱۰۰

- شکل ۴-۲۵- نقشه هم‌پتانسیل بخشی از آبخوان لنجان در فصل زراعی ۱۰۱
- شکل ۴-۲۶- نقشه هم‌پتانسیل بخشی از آبخوان لنجان در فصل غیرزراعی ۱۰۱
- شکل ۴-۲۷- شرایط معمولی سطح آبخوان در زمستان و تابستان ۱۰۲
- شکل ۴-۲۸- سطح آبخوان در حواشی زاینده‌رود در زمستان و تابستان ۱۰۳
- شکل ۴-۲۹- تراز آب پیزومترها در مناطق کشت برنج و مناطق غیر کشت برنج ۱۰۳
- شکل ۴-۳۰- تغییرات ماهانه دبی شبکه سنتی زیر کشت برنج بر اساس رابطه بیلان ۱۰۶
- شکل ۴-۳۱- طول دوره رشد محصولات جایگزین برنج ۱۰۷
- شکل ۴-۳۲- دبی روزانه مورد نیاز شبکه سنتی با کشت‌های مختلف ۱۱۱
- شکل ۴-۳۳- حجم کل آب مصرفی در دوره رشد هر گیاه در سطح اراضی زراعی ۱۱۲

- جدول ۱-۱- مشخصات اقلیمی منطقه در سال ۲۰۱۰ ۷
- جدول ۱-۲- درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی در اصفهان و چند شهر غرب آن ۲۱
- جدول ۱-۳- تقویم زراعی محصولات زراعی حوضه زاینده‌رود ۲۳
- جدول ۲-۱- متوسط ET_0 روزانه (mm) در شرایط اقلیمی مختلف ۳۳
- جدول ۲-۲- روند ET_0 ماهانه برای سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ ایستگاه اصفهان ۴۰
- جدول ۲-۳- مقادیر به دست آمده ET_0 در مناطق مختلف ۴۲
- جدول ۲-۴- خلاصه‌ای از مقادیر تبخیر و تعرق برنج در کشورهای دیگر ۴۴
- جدول ۲-۵- مقادیر گزارش شده برای تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایران ۴۶
- جدول ۲-۶- آب مورد نیاز و نیاز آب آبیاری محصولات زراعی در منطقه اصفهان ۴۷
- جدول ۲-۷- آب خالص مورد نیاز و عملکرد محصولات زراعی در منطقه اصفهان ۴۷
- جدول ۲-۸- دبی در چهار ایستگاه هیدرومتری پس از سد زاینده‌رود طی ۸۲-۱۳۶۰ ۵۰
- جدول ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی ۵۸

جدول ۳-۲- مشخصات اقلیمی ثبت شده در هر ایستگاه در سال ۲۰۱۰	۵۸
جدول ۳-۳- رابطه بین تعداد به هم زدن خاک و آب و نفوذ	۶۹
جدول ۴-۱- مقادیر ET_0 ماهانه ایستگاه زرین شهر	۷۹
جدول ۴-۲- مقادیر ET_0 زرین شهر و مقایسه آن با روش تشتک تبخیر به عنوان معیار ..	۷۹
جدول ۴-۳- مقادیر ET_0 ماهانه ایستگاه مبارکه	۸۱
جدول ۴-۴- مقادیر ET_0 مبارکه و مقایسه آن با روش تشتک تبخیر به عنوان معیار	۸۲
جدول ۴-۵- مقادیر ET_0 ماهانه ایستگاه فلاورجان	۸۳
جدول ۴-۶- مقادیر ET_0 فلاورجان و مقایسه آن با روش تشتک تبخیر به عنوان معیار ...	۹۹
جدول ۴-۷- مقادیر ET_0 در ایستگاه‌های مختلف در سال ۲۰۱۰	۸۴
جدول ۴-۸- مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه	۸۸
جدول ۴-۹- مقادیر ET_c در ایستگاه‌های مختلف	۹۲
جدول ۴-۱۰- میزان تأمین آب مصرفی صنایع اصلی از زاینده‌رود	۹۷
جدول ۴-۱۱- حجم آب برداشتی کانال‌های انتقال آب آبیاری در سال زراعی ۸۸-۸۹	۹۷
جدول ۴-۱۲- بیلان زاینده‌رود در حدفاصل پل کله و لنج از اردیبهشت تا مهر ۱۳۸۹ ...	۱۰۵
جدول ۴-۱۳- تخمین برداشت آب از رودخانه و نیاز واقعی آب در دوره کشت برنج	۱۰۶
جدول ۴-۱۴- مشخصات گیاهی محصولات مختلف جایگزین کشت برنج	۱۰۸
جدول ۴-۱۵- زمان کاشت و طول مراحل مختلف رشد بر حسب روز	۱۰۸
جدول ۴-۱۶- نیاز آبی (ET_c) برنج و کشت‌های جایگزین آن	۱۰۹
جدول ۴-۱۷- دبی و حجم نیاز آبی گیاه برنج و محصولات جایگزین	۱۱۰
جدول ۴-۱۸- اختلاف حجم نیاز آبی کشت‌های فرضی جایگزین، با برنج و معادل دبی	
تولیدی آن در دوره سالانه و دوره خشک	۱۱۳

فصل اول

مقدمه



فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

آب به عنوان یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی، از نهاده‌های اصلی تداوم حیات و پایداری محیط زیست است. با توجه به موقعیت جغرافیایی استان اصفهان از نظر عوامل محدود کننده طبیعی، بی-گمان آب در شرایط کنونی از جمله اصلی‌ترین تنگناها بر سر راه توسعه کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی در این استان محسوب می‌گردد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۷۹؛ کرمی، ۱۳۹۰).

رودخانه زاینده‌رود شاهرگ حیاتی در فلات مرکزی ایران است. با توجه به اهمیت این رودخانه از نظر تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت و خصوصاً گردشگری، مدیریت و تداوم جریان آن از سراب تا پایاب ضروری می‌باشد. مدیریت‌های نادرست در استفاده از آب به خصوص در بخش کشاورزی که مصرف کننده عمده آب در حوضه زاینده‌رود می‌باشد، سبب اتلاف حجم زیادی از آب قابل دسترس می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به کشت محصولاتی چون برنج که نیاز آبی بالایی دارد، با وجود شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک در این مناطق اشاره نمود.

از جمله مشکلات ایجاد شده در اثر قطع یا کاهش شدید جریان آب زاینده‌رود می‌توان به افت سطح آب زیرزمینی، فرسایش اراضی کشاورزی رها شده در شرق اصفهان در اثر خشکسالی، افت کیفیت آب و خاک و خشک شدن تالاب گاوخونی اشاره نمود. از نظر کمی، خشکسالی‌های متوالی در سال‌های اخیر شاخص مهمی برای بحران آب زاینده‌رود است. در حالت کلی دو عامل طبیعی و انسانی اثرات اصلی را در خشکی رودخانه داشته اند که نقش عامل انسانی به مراتب بیشتر است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). برداشت‌های متعدد از زاینده‌رود باعث برهم خوردن تعادل بین ورود و خروج منابع آبی این رودخانه و ایجاد بحران خشکی آن شده است. در شرایط فعلی حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب و در شرایط طبیعی ۱۷۰۰ میلیون متر مکعب بیلان منفی برآورد شده است. مصارف صنعتی، شهری، افزایش سطح زیر کشت، جمعیت، مدیریت منابع آبی، عدم توازن در برداشت آب در نواحی مختلف و نگرش اقتصادی به رودخانه از مهمترین مؤلفه‌های فشار کمی بر زاینده‌رود بوده‌اند (کوشافر، ۱۳۹۱).

با توجه به اینکه کشت برنج در مناطقی از غرب و جنوب غرب اصفهان رایج است و اقلیم گرم و خشک منطقه سبب تبخیر بخش اعظمی از آب آبیاری می‌شود، در این تحقیق به بررسی میزان مصرف آب در شالیزارهای منطقه و در نتیجه اثر آن بر دبی رودخانه زاینده‌رود به عنوان منبع اصلی تأمین آب آبیاری پرداخته شده است. به طور کلی ضرورت‌های مدیریت تقاضا و مصرف آب کشاورزی در منطقه را می‌توان در موارد زیر عنوان کرد:

افزایش جمعیت، ارتباط مستقیم آب و امنیت غذایی، ضرورت توسعه پایدار با حفظ محیط زیست، محدودیت منابع آب شیرین، کمبود و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش، متوسط تبخیر بیش از سه برابر متوسط جهانی، بروز خشکسالی‌های ادواری، پایان یافتن استحصال آب‌های شیرین ارزان و سهل‌الوصول، محدودیت منابع مالی، برداشت بی‌رویه از منابع آب، افزایش آلودگی آب و کارایی و بهره‌وری پایین آب کشاورزی (زمزمیان، ۱۳۸۶).

قطره‌ای کز جویباری می‌رود از پی انجام کاری می‌رود (پروین اعتصامی)



شکل ۱-۱- نمایی از خشک شدن زاینده‌رود و اعتراض کشاورزان در شرق اصفهان

۲-۱- پیشینه و تاریخچه تحقیق

مشکل کمبود آب و دعوا بر سر تقسیم آن مسئله امروز و دیروز نیست. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک منطقه و وقوع خشکسالی‌های ادواری مسئله تقسیم و بهره‌برداری از آب این رودخانه همواره با پیچیدگی‌ها و مشکلات خاص خود در بین کشاورزان و حقابه‌بران همراه بوده است.

آخرین تقسیم‌نامه آب زاینده‌رود در عرف محلی به نام طومار شیخ بهایی مرسوم است. آمده است که شیخ بهایی با محاسبه دقیق و به دست آوردن آمار بارندگی مناطق مختلف اصفهان، حومه و کوهستان‌های اطراف و همچنین سرچشمه زاینده‌رود، طرح دقیق نهرها (یا به اصطلاح محلی مادی‌ها) و شیب و مقطع آن‌ها و سهم استفاده آب هر باغ و محله، به مشکل و اختلاف چندین ساله این منطقه پایان داد (داوری، ۱۳۸۷). بر اساس این طومار کل آب رودخانه به ۳۳ سهم کلی و ۲۷۵ سهام جزئی بین ۷ بلوک آبخور زاینده‌رود که از حدود ۷۰ کیلومتری غرب اصفهان تا ۱۲۰ کیلومتری شرق این شهر ادامه دارد، تقسیم شده است. تقسیم آب بر اساس طومار از ۷۵ روز بعد از نوروز تا آخر آبان‌ماه به مدت ۱۶۰ روز مجری بوده و در فصول سرد سال که نیاز به آبیاری وجود نداشته است، هر کس به هر میزان نیاز داشته است می‌توانسته از آن بهره برداری نماید. طومار مزبور تا سال‌های اخیر که شبکه‌های جدید آبیاری رودخانه تکمیل نشده بود (در بلوک آیدوغمش، آشیان و رودشتین) مجری بود (حسینی‌ابری، ۱۳۸۸). بر اساس این طومار که امروزه به آن دفترچه مشخصات فنی می‌گویند، تقسیم بندی و استفاده از آب زاینده‌رود قانونمند شد و هنوز بر مبنای همان رونوشت تقسیم مقدار مصرف آب با توجه به دبی، سرعت، شیب و سطح مناطق مزروعی و باغ‌ها و یا برای استفاده عامه مردم مشخص شده است (داوری، ۱۳۸۷).

۱-۳- اهداف تحقیق

- (۱) تعیین نیاز آبی کشت برنج و تأثیر تأمین آب آبیاری آن از زاینده‌رود بر تداوم جریان آن.
- (۲) تأثیر تغییر در الگوی کشت منطقه بر تداوم جریان زاینده‌رود.
- (۳) تأکید بر جاری بودن زاینده‌رود از سراب تا پایاب جهت مبارزه با آثار زیست‌محیطی و دیگر آثار جانبی حادث شده در اثر خشک شدن در بخشی از مسیر آن با تغییر در مدیریت منابع آب و کشاورزی در منطقه.

۴-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل بخش غرب و جنوب غرب اصفهان، در امتداد مسیر رودخانه زاینده‌رود از پل کله (غرب لنجان) تا شهرستان مبارکه و فلاورجان می‌باشد. در شکل (۱-۲) موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

راه اصلی دسترسی به محل بزرگراه ذوب‌آهن می‌باشد. فاصله اصفهان تا فلاورجان حدود ۱۳ کیلومتر و تا زرین‌شهر حدود ۴۰ کیلومتر می‌باشد.

۵-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

مراکز جمعیتی مهم در محدوده مورد مطالعه شامل موارد زیر می‌باشد. شهرستان لنجان: شامل ۸ شهر به نام‌های باغبهادران، زاینده رود، چرمهین، چمگردان، زرین‌شهر، سده لنجان، ورنامخواست و فولادشهر است. به جز باغبهادران و فولادشهر که در محدوده مورد مطالعه نمی‌باشد، در زیر به معرفی سایر شهرهای مذکور پرداخته می‌شود.

شهر زرین شهر: مرکز شهرستان لنجان است و در ۴۱ کیلومتری اصفهان واقع شده است. جمعیت این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ خورشیدی ۵۶,۳۷۵ نفر اعلام شده است.

شهر زاینده رود: در فاصله ۷ کیلومتری زرین شهر قرار دارد و از قطب‌های اصلی تولید برنج در منطقه محسوب می‌شود.

شهر چمگردان: در ۰/۶ کیلومتری زرین شهر و ۴۵ کیلومتری اصفهان، در جنوب کارخانه ذوب آهن و بر روی جلگه آبرفتی حاشیه رودخانه واقع گردیده است. جمعیت آن ۱۶,۱۰۱ نفر در سال ۱۳۸۵ اعلام شده است. این شهر در شمال خود توسط ارتفاعاتی محدود گردیده که مرتفع ترین قله آن به نام جوزدان به ارتفاع ۲۹۹۸ متر می‌باشد.

شهر سده لنجان : شهر سده لنجان با مساحتی معادل ۲۲۳ هکتار در فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب غرب اصفهان قرار گرفته است. این شهر با ارتفاع متوسط ۱۷۰۰ متر از سطح دریا بر روی دشت آبرفتی نسبتاً هموار واقع گردیده و جمعیت آن ۱۷,۳۷۲ نفر در سال ۱۳۸۵ بوده است. این شهر با اتکا به رودخانه زاینده رود به عنوان تنها منبع آب سطحی منطقه از نواحی پر رونق کشاورزی محسوب می‌گردد. جنوب و غرب شهرستان توسط ارتفاعات نه چندان مرتفع احاطه گردیده که مرتفع ترین قله آن ۱۷۷۸ متر ارتفاع دارد.

شهر ورنامخواست: در سه کیلومتری جنوب زرین شهر و در حاشیه راه ارتباطی زرین شهر به مبارکه، شهر ورنامخواست قرار دارد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۵۵۰ متر بوده و جمعیت آن ۱۵,۳۰۱ نفر در سال ۱۳۸۵ برآورد گردیده است.

شهرستان مبارکه: شهرستان مبارکه در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان واقع است. جمعیت آن معادل ۶۲,۷۲۸ نفر در سال ۱۳۸۵ برآورد گردیده است. از نظر تقسیمات سیاسی این شهرستان دارای دو بخش مرکزی و گرکن جنوبی است. در این شهرستان کارخانه‌های بزرگی چون فولاد مبارکه، پلی اکریل، تولید مواد اولیه الیاف مصنوعی، سیمان سپاهان، آجر نسوز و غیره قرار دارد که آن را به قطب صنعتی استان مشهور کرده است. همچنین وجود اراضی حاصلخیز، عبور رودخانه زاینده رود در امتداد

زمین‌های کشاورزی، احداث سد نکوآباد به منظور انتقال و توزیع آب کشاورزی و ایجاد شبکه‌های آبیاری و زهکشی مدرن نقش مؤثری در رونق کشاورزی منطقه ایفا نموده است.

۱-۶- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

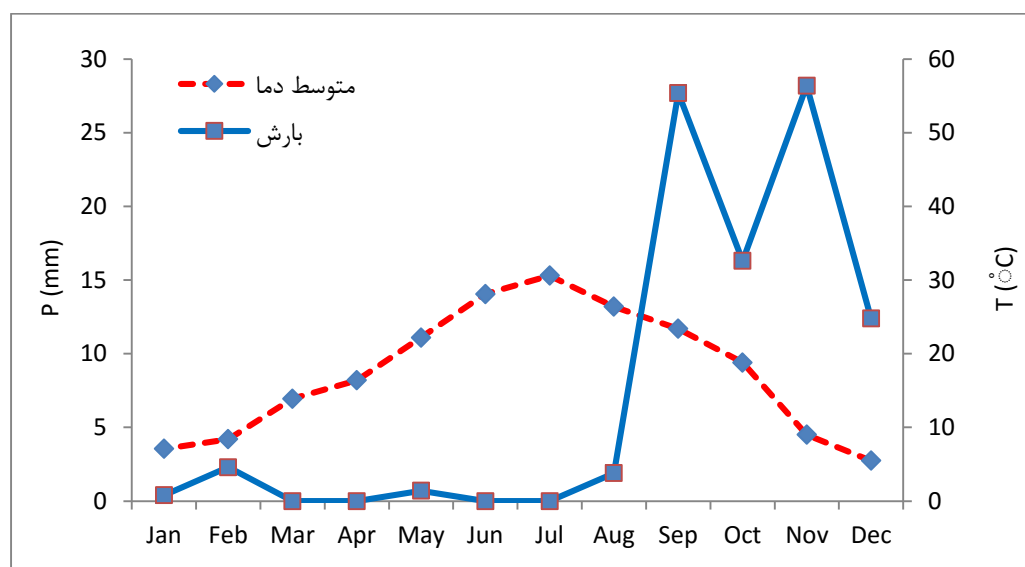
به طور کلی محدوده مورد نظر از شرایط آب و هوایی خشک مشابه با دیگر بخش‌های مرکزی فلات ایران برخوردار است. هوا در تابستان گرم و خشک و در زمستان‌ها سرد و مرطوب می‌باشد. وجود نواحی مرتفع غربی رطوبت هوا را به شدت کاهش می‌دهد. میزان متوسط بارندگی دراز مدت سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر بوده و اغلب در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. گرم‌ترین ماه سال تیرماه و سردترین ماه سال دی‌ماه است. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر مطلق درجه حرارت منطقه نیز مربوط به تیرماه معادل ۳۸ درجه سانتیگراد و حداقل مطلق درجه حرارت آن در دی‌ماه ۴۳- درجه سانتیگراد است. دارای زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد و تعداد روزهای یخبندان بطور متوسط ۷۰ روز در سال می‌باشد که بیشترین آن مربوط به ماه آذر گزارش شده است. متوسط تبخیر سالیانه آن ۲۲۴۰ میلی‌متر است. در جدول (۱-۱) مشخصات اقلیمی بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک زرین‌شهر و مبارکه و ایستگاه تبخیرسنجی فلاورجان در سال ۲۰۱۰ آمده است.

جدول ۱-۱- مشخصات اقلیمی منطقه در سال ۲۰۱۰

پارامترهای هواشناسی	زرین‌شهر	مبارکه	فلاورجان
متوسط دما (°C)	۱۵/۹	۱۵/۳	۱۵/۹
متوسط رطوبت نسبی (%)	۳۸/۷	۳۹/۴	۴۹/۹
متوسط سرعت باد (m/s)	۸/۴	۱۲/۴	۰/۴۴
تبخیر از تشتک (mm)	۱۹۰۷	۱۸۷۷	۱۶۸۵
ساعات آفتابی	۳۲۷۵	۳۴۰۷	---
کل بارش (mm)	۱۰۸/۲	۱۰۶/۶	۹۷

* در دوره زمانی ۱۵ نوامبر تا ۱۸ مارس

با توجه به شکل (۳-۱) مشاهده می‌شود که دوره مرطوب از اواخر ماه آگوست در منطقه شروع و تا ماه دسامبر ادامه دارد. این روند بدین معناست که بیشترین میزان بارندگی در دوره مرطوب متمرکز است و در دوره خشک بارندگی‌ها اغلب به صورت پراکنده و میزان آن به حداقل خود رسیده است.



شکل ۳-۱- نمودار آمبروترمیک سال ۲۰۱۰ ایستگاه زرین‌شهر

در این مطالعه با توجه به متوسط بارندگی سالیانه محدوده مورد مطالعه و متوسط درجه حرارت سالیانه آن، اقلیم منطقه با دو روش دومارتن و آمبرژه تعیین گشت. در روش دومارتن با توجه به رابطه درجه حرارت و بارندگی نوع اقلیم مشخص می‌گردد (رابطه ۱-۱).

$$I = P/T + 10 \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

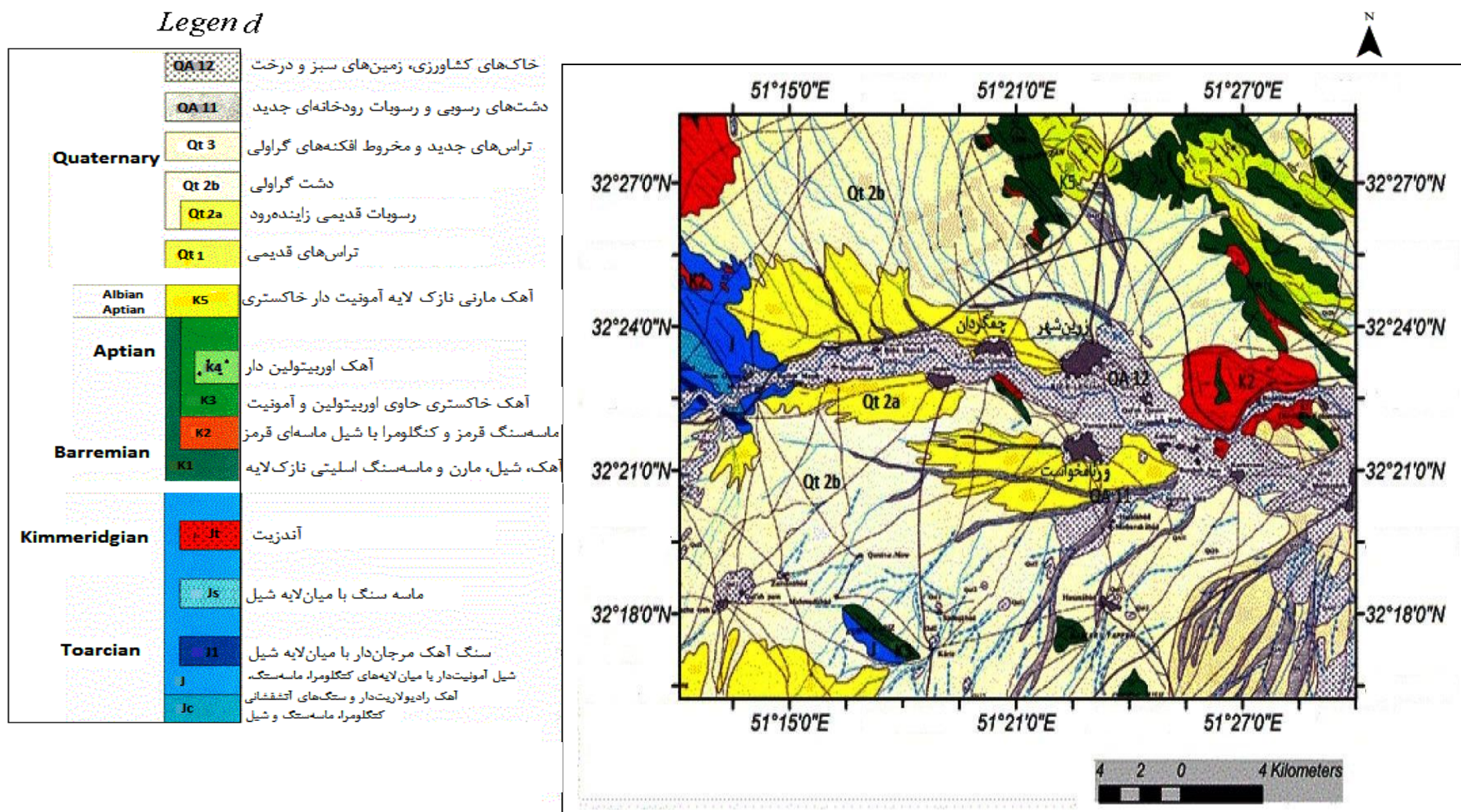
در این رابطه I ، ضریب خشکی، P ، متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) و T ، متوسط درجه حرارت سالیانه (سانتی‌گراد) می‌باشد. با استفاده از روش دومارتن ضریب خشکی $۶/۰۵$ به دست آمد که معرف اقلیم خشک است. با استفاده از اقلیم نمای آمبرژه که از پارامترهای میانگین بارندگی سالیانه (۱۶۰ میلی‌متر)، میانگین حداکثر درجه حرارت در گرمترین ماه سال (۳۶/۴ درجه سانتی‌گراد) و میانگین حداقل درجه حرارت در سردترین ماه سال (۱/۷- درجه سانتی‌گراد) استفاده می‌نماید اقلیم خشک سرد برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

۱-۷- زمین‌شناسی عمومی منطقه

حوضه آبگیر سد زاینده‌رود و مسیر شرقی - غربی زاینده‌رود در اصفهان تا باتلاق گاوخونی که خود دنباله گودال سرتاسری ارومیه دختر می‌باشد، در واحد زمین‌شناسی سنندج - سیرجان قرار دارد. به طور کلی رخنمون‌های سنگی منطقه مورد مطالعه رسوبی و اغلب کربناته می‌باشد. سطح وسیعی از اراضی پوشیده از رسوبات دوران چهارم می‌باشد و بستر حاصلخیزی را برای کشاورزی فراهم نموده است. در شکل (۱-۴) نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، تهیه شده از نقشه یکصد هزارم لنگانات، آمده است. سازندهای زمین‌شناسی که در منطقه رخنمون دارند از قدیم به جدید شامل موارد زیر است.

۱-۷-۱- سنگ‌های ژوراسیک

اواسط دوران دوم (ژوراسیک) با تناوبی از شیل و سیلت به نام شیست لیا در کل منطقه شناخته شده است. تقریباً تمام بخش بالادست زاینده‌رود (به جز محدوده کوه‌رنگ) بر روی آن جریان داشته و با خاصیت نفوذناپذیری خود در شیب جریانی خود بستر زاینده‌ای را تا آبریز نهایی تشکیل می‌دهد (جعفریان، ۱۳۶۵). رخنمون سنگ‌های ژوراسیک در شمال غربی لنگانات خاتمه می‌یابد.



شکل ۱-۴- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ لنجان)

۱-۷-۲- ردیف‌های آواری زیرین (K₂)

متشکل از نهشته‌های کنگلومرایی و ماسه‌سنگی کرتاسه زیرین، به سن هوتریون-بارمین، به رنگ سرخ-ارغوانی که گاهی میان لایه‌هایی از مارن و یا سنگ آهک دارد. ستبرای این واحد از خیلی کم (۱۰ متر) تا حدود چند صد متر متغیر است (آقانباتی، ۱۳۸۳). در شمال مبارکه این واحد با ضخامت قابل توجهی رخنمون دارد که رودخانه زاینده‌رود از میان آن عبور می‌کند. در جنوب چمگردان نیز رخنمونی با ضخامت تقریبی ۲۰۰ متر وجود دارد.

۱-۷-۳- آهک‌های کرتاسه (K₃)

ردیف‌های کربناتی میانی که از رخساره کربناتی کرتاسه پایینی می‌باشد، واحدی بسیار آشکار از کربنات‌های ضخیم لایه با سیمای کوه‌ساز در ایران مرکزی می‌باشد. رخساره سنگی کربنات‌های اربیتولین‌دار ایران مرکزی نشانگر محیط‌های دریایی گرم با ژرفای کم و گاهی نشانگر محیط‌های ریفی است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سنگ آهک در همه جا ریخت‌شناسی خشن و صخره‌ساز دارد که به شناسایی آن کمک می‌کند. آهک‌های خاکستری رنگ اربیتولین‌دار به سن کرتاسه به طور گسترده در شمال مبارکه و در جنوب چمگردان به ضخامت حدود ۳۰۰ متر رخنمون دارند.

۱-۷-۴- ردیف‌های شیلی-مارنی کرتاسه بالایی

این واحد سنگی، سیمایی فرسوده و تپه ماهوری دارد و سنگواره‌های گوناگون آن به ویژه آمونیت‌های بودانتی‌سراس معرف آشکوب آلبین است. به همین دلیل از آن اغلب با عنوان «شیل‌های آلبین» یاد می‌شود. در منطقه مورد مطالعه رخنمون‌های مربوط به آن به صورت آهک‌های مارلی نازک لایه به رنگ سفید تا خاکستری در جنوب نجف‌آباد و غرب فلاورجان به همراه واحدهای K₃ رخنمون دارند. ضخامت ظاهری آن متغیر و به چند هزار متر نیز می‌رسد.

۱-۷-۵- آبرفت‌های کواترنری

نهمین‌های این دوران به صورت آبرفت‌های قدیمی و جدید و تراس‌های آبرفتی زاینده‌رود دیده می‌شود. آبرفت‌های قدیمی و جدید را چه در دامنه کوه‌ها به صورت مخروط افکنه و یا دورتر به طرف دشت‌های آبرفتی می‌توان دید که از ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. عمق این آبرفت‌ها در حوالی سد زاینده‌رود به چندین متر می‌رسد و اکثراً سنگ‌های دگرگونی را می‌پوشاند ولی در اصفهان عمق آن به ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر هم می‌رسد. آبرفت‌ها زمین‌های کم شیب و همواری هستند که توسط رسوبات رودخانه‌ای ایجاد گردیده‌اند و بیشتر به صورت پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه نمایان می‌شوند. از به هم پیوستن چند مخروط افکنه در یک ناحیه زمین همواری پدید می‌آید که آن را دشت آبرفتی می‌نامند. این گونه دشت‌ها در سراسر منطقه وجود دارد. به طور کلی سطح بیشتر دشت‌های حوضه را آبرفت‌های جدید فراگرفته که به نسبت وسعت دشت‌ها و عمق دره‌ها از ضخامت کم و بیش زیادی برخوردارند. در اطراف بستر رودخانه زاینده‌رود و در دشت لنجان‌ات و در اطراف اصفهان و جنوب دشت برخوار، آبرفت‌های جدید همراه با آبرفت‌های رودخانه‌ای وجود دارند که بیشتر از شن و ماسه تشکیل شده‌اند. میانگین ضخامت آبرفت در کل زیرحوضه لنجان‌ات ۱۰۰ متر و حداکثر آن به بیش از ۲۵۰ متر (جنوب شهر مبارکه) می‌رسد. کمترین ضخامت آبرفت در حاشیه زاینده‌رود واقع شده و به کمتر از ۱۰ متر می‌رسد. بطور کلی در محدوده مطالعاتی ضخامت متوسط آبرفت حدود ۴۰ متر است (حاجی‌مرادی و گندمکار، ۱۳۸۹). آبرفت‌های قدیمی نیز پهنه وسیعی از مرکز دشت‌های منطقه به خصوص از شمال دشت برخوار تا مرکز دشت کوهپایه- سگری را می‌پوشاند. این رسوبات حاوی مقادیر زیادی گچ و نمک می‌باشند (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۷۶).

رسوبات پادگانه‌های آبرفتی در بسترهای قدیمی رودخانه زاینده‌رود و مسیل‌های قدیمی که بعداً تغییر مسیر داده‌اند و همچنین در حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌های کنونی حوضه مشاهده می‌گردد. در جنوب و غرب دشت لنجان‌ات در پای دامنه ارتفاعات و اطراف رودخانه زاینده‌رود این رسوبات گسترش دارند (شکل ۱-۵). بافت تشکیل دهنده آنها شن و ماسه و مقداری سیلت و رس است. تحولات اقلیمی

دوران‌های مختلف از جمله تحولات کواترنری در حوضه زاینده‌رود تشکیل پادگانه‌های رودخانه‌ای و دریاچه‌ای را موجب شده است. طبق تحقیقات انجام شده جدیدترین پادگانه آبرفتی زاینده‌رود مربوط به ۳۸۰۰ سال قبل است که طی یک حادثه اتفاقی (باران‌های سیل‌آسا) ایجاد شده است (رامشت و سیف، ۱۳۷۵). رسوبات پادگانه‌های آبرفتی رودخانه زاینده‌رود بستری مناسب و حاصلخیز، شامل رسوبات لومی، رسی و شنی برای کشاورزی ایجاد کرده، به طوری که حاصلخیزترین اراضی حوضه زاینده‌رود را همین رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهد. رسوبات واریزه‌ای نیز در پای اکثر نواحی کوهپایه-ای دیده می‌شود که با افزایش فاصله از کوه‌ها دانه‌ریزتر می‌شوند.



شکل ۱-۵- برشی از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی در حاشیه اراضی برنجکاری (جنوب زاینده‌رود در منطقه لنجان)

۸-۱- تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر منابع آب

سازندهای پرکامبرین، دوران اول زمین‌شناسی، تریاس و ژوراسیک به دلیل نداشتن تخلخل و نفوذپذیری تأثیری بر منابع آب ندارند. ولی سری سازندهای کرتاسه که گسترش نسبتاً زیادی در شمال و جنوب حوضه دارند در تغذیه منابع آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند. این سازندها در اطراف دشت‌های نجف‌آباد و مهیار سبب تغذیه جانبی آبرفت‌ها می‌شوند. سازندهای دوران سوم با سنگ‌های کنگلومرا، ماسه‌سنگ و آهک‌های ماسه‌ای و مارن نه تنها اثر تعیین کننده‌ای در تغذیه منابع آبی

حوضه ندارند، بلکه سازندهای دوره میوپلیوسن نیز به دلیل عدم نفوذپذیری، عاملی در جلوگیری از آبگذری می‌باشند و با حل شدن ژپس موجود در سازند، کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی را به شدت نامطلوب می‌نماید. آبرفت‌های دوران چهارم که حاصل تخریب سازندهای قدیمی‌تر به خصوص سازندهای دوران سوم می‌باشند، در هنگام عبور آب، بسته به سرعت جریان آب و طول مسیر حرکت، کیفیت آب را به خصوص در نیمه شرقی زاینده‌رود نامطلوب می‌سازد. با این حال کیفیت شیمیایی آب رودخانه زاینده‌رود در تمامی طول آن از آبخوان زیرزمینی مناسب‌تر است و نفوذ آب آن در مطلوب نمودن کیفیت آب آبخوان تأثیر زیادی دارد (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۷۶).

۹-۱- تکتونیک و فازهای کوهزایی

اصفهان از ۱۴۰۰ تا ۸۰۰ میلیون سال قبل به بعد، تحت تأثیر چهار مرحله حرکات کوهزایی اصلی به نام‌های کوهزایی بایکالین یا کاتانگایی، کالدنین، حرکات هرسی‌نین و آلپی و دوازده مرحله خشکی زایی و کوهزایی قرار گرفته است. یکی از فازهای اصلی مؤثر در مورفولوژی منطقه، کوهزایی کاتانگایی بوده است. این کوهزایی ضمن دگرگونی پی‌سنگ منطقه و ایجاد دگرشیبی، منجر به بالا آمدگی شمال غرب و غرب دره زاینده‌رود (ناحیه سد زاینده‌رود و چادگان) گردیده، که خود در تعیین خط تقسیم آب‌های منطقه و شیب آن‌ها مؤثر بوده است (جعفریان، ۱۳۶۵). حرکات کالدونین و هرسی‌نین در منطقه اثر چندانی نداشته و فقط منجر به خشکی‌زایی و نبود چینه‌شناسی شده است. یکی از کارسازترین جنبش‌های زمین‌ساختی در منطقه در تریاس بالایی به وقوع پیوسته که همزمان با آغاز اولین جنبش‌های آلپی بوده و به نام سیمین پسین نامیده شده که بر اساس شواهد چینه‌شناسی، ارتفاعات کلاه قاضی واقع در جنوب شرق اصفهان در همین مرحله شکل گرفته است. بعد از این فاز، فاز کوهزایی پیرنئن رخ داده است. جنبش‌های کوهزایی این دوره همراه با چین خوردگی و بالا آمدگی بوده، سپس دریای الیگوسن-میوسن قسمت‌های شرقی منطقه را فراگرفته و لایه‌های کم ضخامتی از آهک‌های فسیل‌دار در آن نهشته گردیده است. در پایان فعالیت‌های کوهزایی آلپ، یک فاز کوهزایی

وسیع به نام آتیکان باعث راندگی در قسمت زاگرس گردیده است که با ایجاد چندین گسل شمالی-جنوبی و شمال غربی-جنوب شرقی، مسیر اصلی زاینده‌رود را تا باتلاق گاوخونی پی‌ریزی نموده و بالاخره با ایجاد فرورفتگی گاوخونی، خاستگاه نهایی زاینده‌رود را در کنار دیواره بلند شرقی جدا کننده حوضه اصفهان- سیرجان از حوضه اردستان- یزد، شکل داده و به شکل امروزی در آورده است. این فاز کوهزایی باعث گردیده که قسمت اعظم منطقه به جز چند ناحیه در شمال و شمال غرب به صورت خشکی درآمده و فرسایش نهایی خود را آغاز نماید. بدین صورت که ابتدا رسوبات فوقانی مربوط به اواخر میوسن در جهت شمال غرب- جنوب شرق به طرف گودال گاوخونی کشیده شده، تا جایی که از آغاز فرسایش تا به امروز کلیه رسوبات متعلق به دوران سوم و بخش بالایی دوران دوم و بالاخره در پاره‌ای نقاط، تمام رسوبات دوران دوم نیز کاملاً شسته شده است. از طرفی قسمت اعظم رسوبات تبخیری (گچ و نمک) موجود در کویر سگزی (شرق اصفهان) و اطراف گاوخونی را می‌توان مربوط به دوره میوسن دانست. این رسوبات تا به امروز باقیمانده است و از طرف دیگر پایان فرسایش تشکیلات تبخیری مربوط به اواخر دوران سوم در قسمت اصلی حوضه و به خصوص در مسیر آبگیر و آبریز دره زاینده‌رود سبب شده است که رودخانه در بیشتر مسیر بستر به حداقل رسوبات تبخیری برسد. چنین به نظر می‌رسد که حرکات تکتونیکی تا ۲ میلیون سال قبل فعالیت زیادی داشته و به تدریج تخفیف حاصل نموده است.

۱۰-۱- ژئومورفولوژی

اشکال اصلی مشاهده شده در منطقه را می‌توان به سه تیپ کوهستان، رودخانه و دشت تقسیم نمود. محدوده اصفهان از نظر محیط رسوبی یک محیط رودخانه‌ای بوده و از نظر مورفولوژی یک پشته یا سد رسوبی میان رودخانه‌ای می‌باشد. شکل (۱-۶) نمایی از ژئومورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- نمای کلی از ژئومورفولوژی منطقه (دید به سمت شمال)

۱-۱۰-۱- تیپ کوهستان

این بخش بیشتر در امتداد رشته کوه زاگرس و در غرب منطقه (از پل کله به سمت غرب) قرار دارد. از مهمترین کوه‌های منطقه می‌توان به کوه جوزان و خاش سفید در شمال زرین‌شهر و کوه کاریز در جنوب آن اشاره نمود. کوه‌های منطقه اکثراً سنگی و بدون خاک و یا با پوشش خاک‌های بسیار کم عمق سنگ‌ریزه دار می‌باشد که عموماً به دلیل اقلیم گرم و خشک حاکم بر منطقه بدون پوشش گیاهی بوده و یا با پوشش کم گیاهان مرتعی همراه است.

۱-۱۰-۲- تیپ رودخانه

دره‌های زاینده‌رود و نجف‌آباد از غرب به شرق به سوی دشت لنجان‌ات و اصفهان کشیده شده‌اند. رسوبات این دره در قسمت غرب همراه با شن و ماسه درشت دانه می‌باشد. طول آن قسمت از زاینده‌رود که در این دره نسبتاً پهن بین اصفهان و سد زاینده‌رود قرار گرفته حدود ۱۵۵ کیلومتر است. رودخانه در این دره با پیچ و خم‌های فراوان به خصوص در بخش کوهستانی تا پل کله ادامه دارد. با نزدیک شدن به دشت اصفهان، رسوبات آبرفتی آن دانه ریزتر می‌شود و زمین‌های مناسب برای کشاورزی ایجاد می‌نماید. بعد از پل کله تا اصفهان، رودخانه از دره تنگ زاینده‌رود خارج شده و وارد

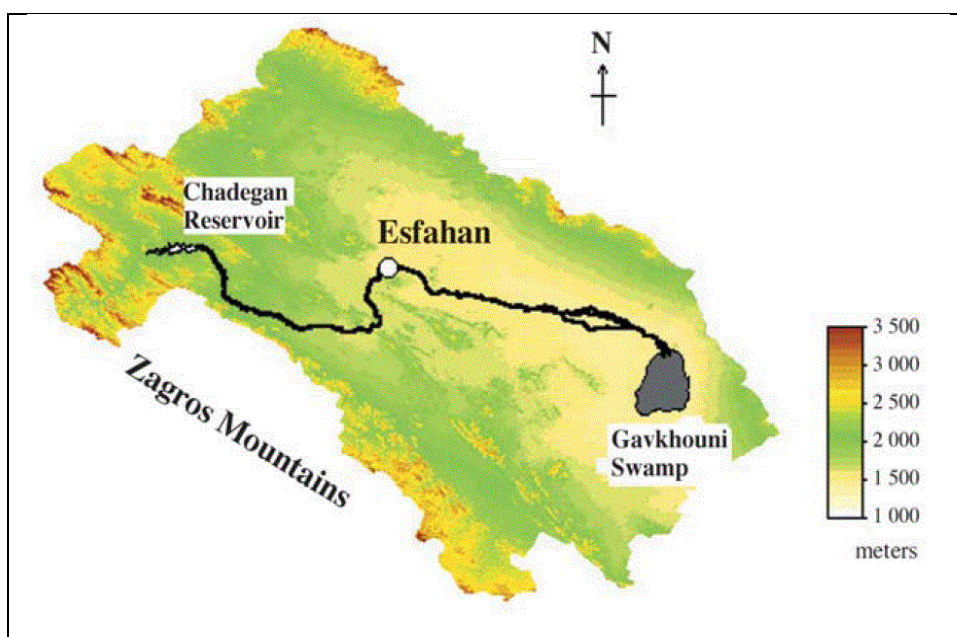
دره پهن لنجان‌ات می‌گردد. مهمترین عوامل تأثیر گذار بر مورفولوژی آبراهه‌های حوضه زاینده‌رود فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی و نوع پوشش گیاهی حاشیه و کف رودخانه می‌باشد (شیرانی و خوشحال، ۱۳۸۸).

۱-۱۰-۳- تیپ دشت

بیشترین بخش از حوضه آبرگیر زاینده‌رود را دشت‌ها در بر می‌گیرند. سطح تمام این دشت‌ها توسط رسوبات دوران چهارم پوشیده شده که به صورت مخروط افکنه‌ها در پای کوه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی در امتداد رودخانه و تراس‌های دریاچه‌ای در سواحل گاوخونی نمایان است. رسوبات آبرفتی قدیم و جدید به صورت زمین‌های کم شیب و همواری هستند که توسط رسوبات رودخانه‌ای ایجاد گردیده‌اند و بیشتر به صورت پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه نمایان می‌شوند. در اطراف بستر رودخانه زاینده‌رود و در دشت لنجان‌ات و در اطراف اصفهان و جنوب دشت برخوار، آبرفت‌های جدید همراه با آبرفت‌های رودخانه‌ای وجود دارند که بیشتر از شن و ماسه تشکیل شده‌اند. طبق تحقیقات انجام شده جدیدترین پادگانه آبرفتی زاینده‌رود مربوط به ۳۸۰۰ سال قبل است که طی یک حادثه اتفاقی (باران-های سیل‌آسا) ایجاد شده است (رامشت و سیف، ۱۳۷۵). رسوبات پادگانه‌های آبرفتی در بسترهای قدیمی رودخانه زاینده‌رود که بعداً تغییر مسیر داده‌اند مشاهده می‌گردد (شکل ۱-۶). این رسوبات در جنوب و غرب دشت لنجان‌ات در پای دامنه ارتفاعات و اطراف رودخانه زاینده‌رود گسترش دارند. رسوبات پادگانه‌های آبرفتی رودخانه زاینده‌رود بستری مناسب و حاصلخیز شامل رسوبات لومی، رسی و شنی برای کشاورزی ایجاد کرده است، به طوری که حاصلخیزترین اراضی حوضه زاینده‌رود را همین رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهد. میانگین ضخامت آبرفت در کل زیرحوضه لنجان‌ات ۱۰۰ متر و حداکثر آن به بیش از ۲۵۰ متر (جنوب شهر مبارکه) می‌رسد. کمترین ضخامت آبرفت در حاشیه زاینده‌رود واقع شده و به کمتر از ۱۰ متر می‌رسد. به طور کلی در محدوده مطالعاتی ضخامت متوسط آبرفت حدود ۴۰ متر است (حاجی‌مرادی و گندمکار، ۱۳۸۹).

۱-۱۱- توپوگرافی و شیب

به طور کلی در حوضه آبرگیر زاینده‌رود میزان شیب از غرب به شرق و از ارتفاعات به طرف مرکز دشت کاهش می‌یابد. اراضی کوهستانی دارای شیب بسیار تند (۵۰ تا ۹۰ درصد) بوده و به دلیل عدم پوشش گیاهی یا پوشش اندک با خطر فرسایش بسیار زیاد تا زیاد روبرو بوده و جزء اراضی بایر محسوب می‌شود. شیب اراضی کوهپایه‌ای، فلات‌ها و تراسهای فوقانی بین ۳ تا ۱۰ درصد بوده و به دلیل خطر فرسایش، کشاورزی روی آن‌ها خطرناک بوده و موجب تخریب و فرسایش خاک می‌گردد. شیب دشت‌های دامنه‌ای، رسوبی و رودخانه‌ای کم و بین ۲ تا ۰/۵ درصد می‌باشد. با نزدیک شدن به باتلاق گاوخونی میزان شیب به ۰/۵ تا صفر درصد می‌رسد. به طور کلی زمین تا ۱۱ درصد شیب را می‌توان با موفقیت کشت نمود، اما در زمینی با شیب ۱۲ تا ۱۷ درصد باید کشت را روی تراس انجام داد. زمینی که شیب آن ۲۰ تا ۴۷ درصد باشد باید به چراگاه دائمی تبدیل شود (ستاری، ۱۳۷۸). تغییرات شدید ارتفاع و تأثیر آن بر بیشتر عناصر اقلیمی باعث حاکمیت اقالیم مختلف از فراخشک تا مرطوب در منطقه شده و رویشگاه‌های مختلفی را پدید آورده است. شکل (۱-۷) نقشه ارتفاعی حوضه زاینده‌رود را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷- نقشه ارتفاعی حوضه آبرگیر زاینده‌رود (Heydari 2006)

۱-۱۲- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

۱-۱۲-۱- موقعیت و خصوصیات حوضه آبریز زاینده‌رود

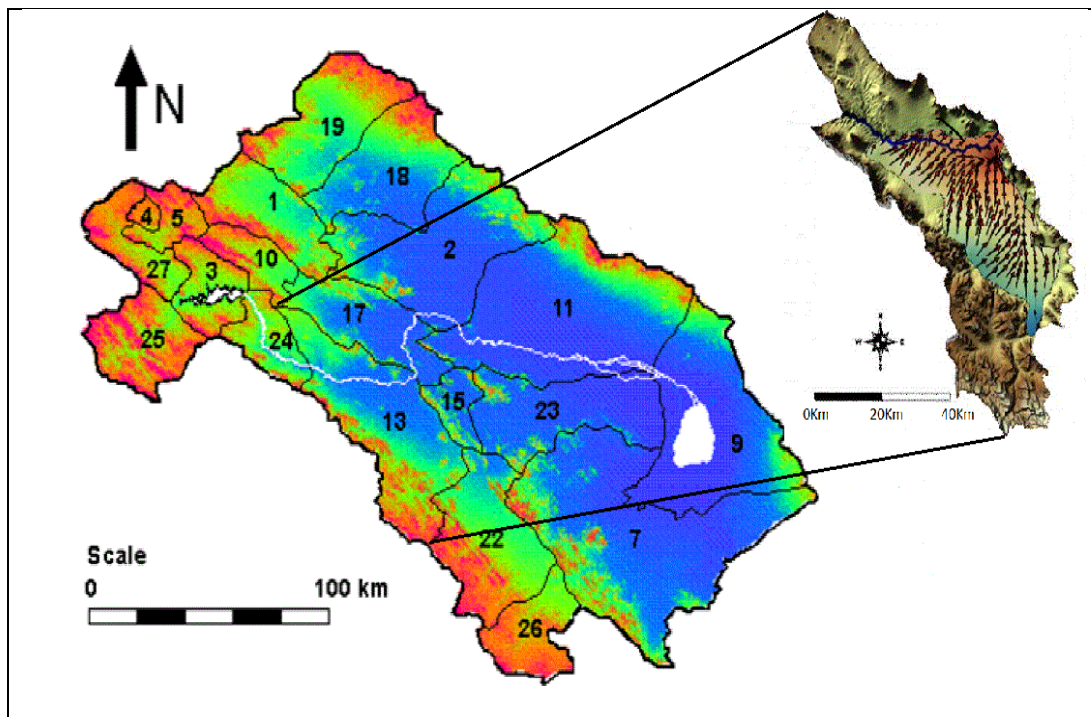
حوضه آبریز زاینده‌رود بین طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی قرار گرفته است. ۱/۹ درصد مساحت (۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع) و ۱/۹۵ درصد بارندگی کشور را به خود اختصاص داده است. در حال حاضر سرانه آب در دنیا ۷۴۰۰ متر مکعب به ازاء هر نفر و در حوضه زاینده‌رود ۱۱۵۰ متر مکعب است (حدود ۱۵ درصد سرانه دنیا). همچنین این حوضه حدود ۵ درصد جمعیت کشور را در خود جای داده و سهم مصارف آب شرب و صنعت و کشاورزی این حوضه از کل کشور حدود ۷/۵ درصد می‌باشد. زاینده‌رود مهمترین جریان آب سطحی بوده و از دامنه‌های شرقی زاگرس سرچشمه گرفته و در جهت عمومی غرب به شرق جریان می‌یابد. این حوضه از شمال به کوه‌های پنج‌پنجه و حوضه آبریز گلپایگان، از جنوب به رشته‌کوه‌های قیصری و قسمتی از حوضه آبریز کارون، از شرق به حوضه آبریز مرغاب و از غرب به قسمتی از حوضه آبریز رودخانه دز و کارون محدود می‌گردد. شاخه اصلی زاینده‌رود پس از مشروب کردن استان چهارمحال و بختیاری با پیمودن ۷۵ کیلومتر به سد مخزنی زاینده رود می‌رسد. تونل‌های اول و دوم کوهرنگ که به ترتیب از سال ۱۳۳۳ و ۱۳۶۵ مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. در شرایط معمولی به ترتیب ۳۳۰ و ۲۷۰ میلیون مترمکعب در سال آب سرشاخه‌های کوهرنگ حوضه آبریز کارون را به پشت سد زاینده‌رود منتقل می‌نمایند. آورد طبیعی رودخانه در سال‌های مختلف متفاوت است. به عنوان مثال آورد رودخانه از مهر ۱۳۸۴ تا مهر ۱۳۸۶، ۳۷۰۰ میلیون متر مکعب بوده است و از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ به ۱۷۰۰ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. به طور معمول آورد سالیانه رودخانه زاینده‌رود ۸۵۰ میلیون متر مکعب در سال در نظر گرفته می‌شود (۴۰ تا ۵۰ متر مکعب در ثانیه). این در حالی است که حجم آورد آبی سه تونل اول، دوم و سوم کوهرنگ (در حال اتمام) ۸۶۷ میلیون متر مکعب است که از متوسط جریان رودخانه بیشتر است. آب رودخانه زاینده‌رود و تونل اول کوهرنگ دارای حقابه‌های مشخص است. آب تونل دوم

کوه‌رنگ متعلق به دولت است و به تأمین آب شرب شهرها و روستاهای استان اصفهان، چهارمحال و بختیاری، یزد و همچنین صنایع مادر مستقر در استان تخصیص داده شده است (مؤمن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). سد مخزنی زاینده‌رود اصلی‌ترین منبع ذخیره آب با گنجایش ۱۴۵۰ میلیون متر مکعب در ۷۵ کیلومتری سراب رودخانه ساخته شده و از سال ۱۳۵۰ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. بخش پایاب سد در تأمین آب رودخانه چندان مؤثر نیست. شاخه‌های فرعی مرغاب و شوردهاقان که به ترتیب از شمال و جنوب به زاینده‌رود می‌پیوندند، فاقد جریان آب قابل توجهی‌اند. بهره‌برداری عمده از آب رودخانه برای مصارف کشاورزی از پل کله شروع می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۸۸). صنایع عمده موجود در حوضه شامل ذوب‌آهن اصفهان، فولاد مبارکه، صنایع دفاع، پلی‌اکریل و کارخانجات نساجی، بیش از ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال آب مصرف می‌کنند (Droogers and Torabi 2002). مجموع آب ورودی به حوضه زاینده‌رود برابر ۱۹۷۹ میلیون متر مکعب در سال و مجموع آب مصرفی از محل سد تنظیمی تا تالاب گاوخونی برابر با ۱۷۷۹ میلیون متر مکعب بوده و در حدود ۲۰۰ میلیون متر مکعب باقیمانده نیز وارد تالاب گاوخونی، در انتهای مسیر زاینده‌رود می‌گردد (شیرانی و نصرآزادانی، ۱۳۸۸). البته این مقدار در سال‌های پربارش یا کم بارش تغییر می‌کند.

۱-۱۲-۲- زیرحوضه لنجانان

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در زیرحوضه لنجانان قرار دارد و از نظر مقطع طول رودخانه، محدوده بین پل کله تا روستای لنج را شامل می‌شود. آورد متوسط سالیانه رودخانه زاینده‌رود در مقطع ورودی (پل کله) ۱۳۲۱ میلیون متر مکعب و در خروجی به ۸۱۵ میلیون می‌رسد که نتیجه برداشت‌های فراوان توسط تأسیسات مختلف آبی می‌باشد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۹). در طول مسیر رودخانه تعداد زیادی سرریز و بندهای انحرافی احداث شده که از این طریق در مکان‌های متعدد شهری و صنعتی، آبگیری صورت می‌گیرد. رودخانه زاینده‌رود در این منطقه عمدتاً نقش زهکش داشته و عمده تغذیه آبخوان از ارتفاعات غربی و جنوبی دشت و آب برگشتی کشاورزی

صورت می‌گیرد. رسوبات تشکیل دهنده دشت آبرفتی آبخوان لنجان، بیشترین مساحت را داشته (۳۷/۴۶ درصد) و ۵۵۹ کیلومتر مربع (۱۶/۴ درصد) از آن نیز توسط واحدهای کربناته اشغال شده است. همچنین رسوبات تخریبی شامل شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا با مساحتی بالغ بر ۶۷۲ کیلومتر مربع (۲۰ درصد) اطراف آبخوان را احاطه کرده‌اند. آبخوان لنجان از نوع آزاد با ضریب ذخیره‌ای در حدود ۲ درصد، مساحتی بالغ بر ۷۱۹ کیلومتر مربع دارد. شکل (۱-۸) حوضه زاینده‌رود و زیرحوضه‌های آن را نشان می‌دهد. در این شکل زیرحوضه لنجان با کد ۱۳ مشخص گردیده است.



شکل ۱-۸- حوضه آبریز زاینده‌رود (چپ) و موقعیت زیرحوضه لنجان و آبخوان آن (راست)

به طور کلی آب‌های زیرزمینی دشت لنجان را از نظر تغذیه می‌توان به دو قسمت تقسیم نمود (حاجی‌مرادی و گندمکار، ۱۳۸۹)؛

۱- قسمت جنوبی دشت که از دهانه ورودی دهقان و رودخانه لاریجه واقع در جنوب غربی دشت تغذیه نموده و ارتفاعات آهکی جنوب غربی دشت مبارکه نیز در تغذیه آن کم و بیش تأثیر دارند.

۲- حاشیه رودخانه زاینده‌رود، در این منطقه به علت بالا بودن سنگ بستر تقریباً سفره آب زیرزمینی تابع رودخانه بوده و با آن در ارتباط دائم است. رودخانه در مسیر خود در نقاطی تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی و در نقاط دیگر تخلیه کننده آن می‌باشد.

۱-۱۳- شرایط کشاورزی

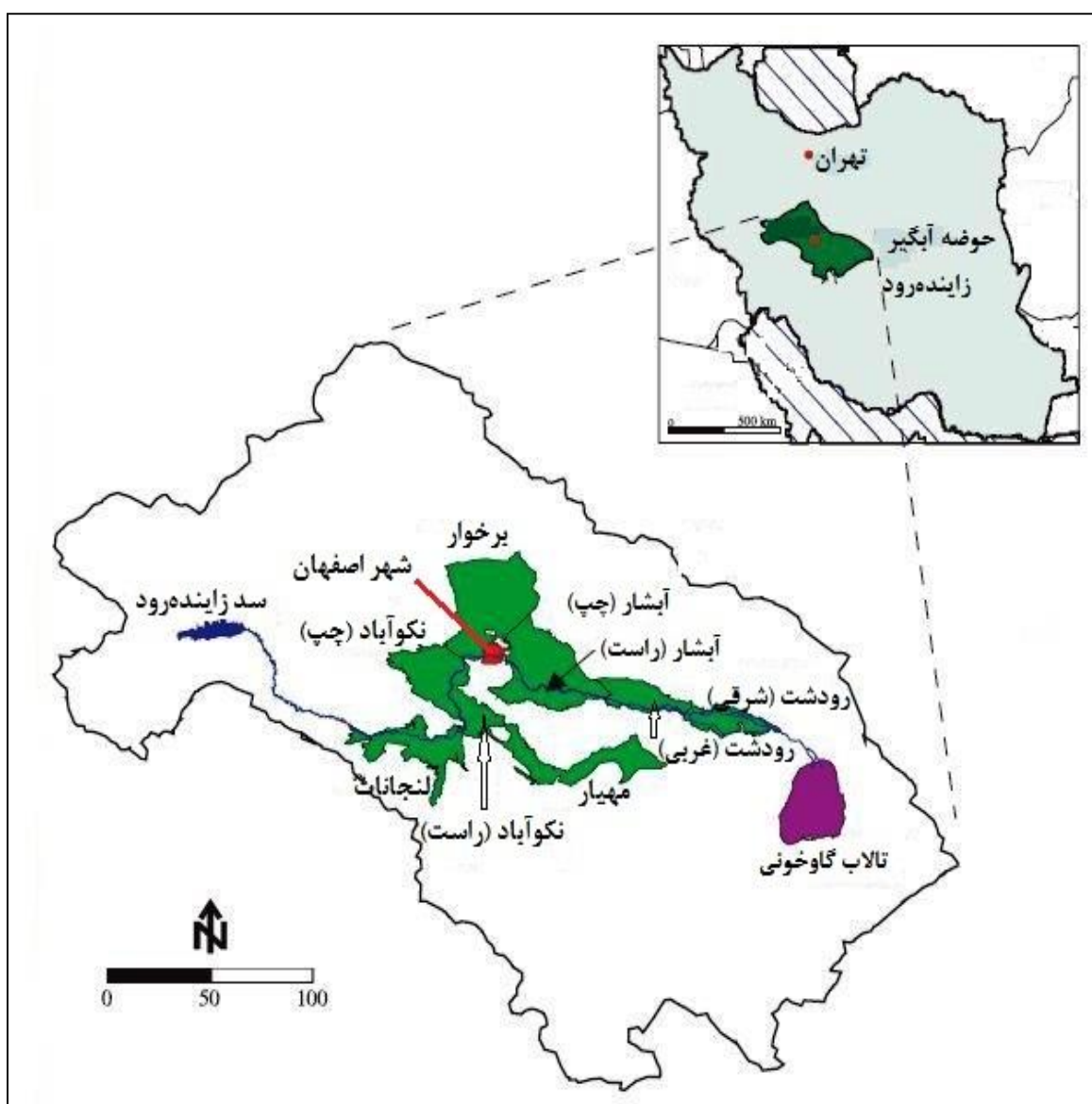
نوع کشت در هر منطقه تابع شاخص‌های مختلفی از جمله اقلیم، سنت‌های تولید حاکم در منطقه، ترکیب کمی و کیفی عوامل تولید، ساختار واحدهای تولیدی، سطح دانش و تکنولوژی در مناطق و میان افراد جامعه کشاورزی، ساختار اقتصاد روستایی، الگوهای منطقه‌ای و شبکه‌های بازاررسانی داده‌ها و ستانده‌ها می‌باشد (سلیمانی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹).

کشاورزی در حوضه زاینده‌رود بیشتر در امتداد رودخانه زاینده‌رود گسترش دارد. کل ناحیه تحت پوشش شبکه‌های آبیاری بزرگ احداث شده در طول رودخانه حدود ۱۸۰,۰۰۰ هکتار است. توسعه اراضی کشاورزی تا روستای شاه‌کرم در شرق اصفهان ادامه داشته و بعد از آن به دلیل شور شدن خاک، هر قدر که به باتلاق گاوخونی نزدیک شویم، زمین‌های کشاورزی محدودتر می‌گردد. اراضی زراعی آبی شهر اصفهان و چند شهر مهم حاشیه رودخانه در غرب اصفهان (شامل خمینی‌شهر، فلاورجان، لنجان، مبارکه و نجف‌آباد) در سال زراعی ۸۹-۸۸ بالغ بر ۶۸,۳۷۶ هکتار اعلام شده است (آمار جهاد کشاورزی اصفهان، ۱۳۸۹). در جدول (۱-۲) درصد محصولات زراعی کشت شده در این ناحیه ذکر شده است.

جدول ۱-۲- درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی در اصفهان و چند شهر مهم غرب آن

محصول	گندم	جو	برنج	محصولات جالیزی	سبزیجات	علوفه	دانه روغنی	پنبه	چغندر قند	حبوبات	سایر محصولات
درصد کشت	۲۸/۲	۱۷/۵	۱۱/۷	۱/۳	۱۲/۴	۲۴/۶	۱/۳	۱/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۸

اراضی حاشیه رودخانه زاینده رود از پل کله تا سد نکوآباد یکپارچه سازی شده و کشت و کار برنج عمدتاً به صورت مکانیزه انجام می گیرد. از شبکه آبیاری سنتی جهت آبیاری شالیزارها در این ناحیه استفاده می شود. کم بودن میانگین سهم سرانه زمین و اقتصادی تر بودن برنج نسبت به دیگر محصولات از دلایل کشت برنج در این منطقه عنوان شده است (سرحدی و همکاران، ۱۳۸۵)، اگر چه در دسترس بودن آب فراوان عامل اصلی آن است. در شکل (۱-۹) شبکه های زراعی حاشیه زاینده رود نشان داده شده است.



شکل ۱-۹- موقعیت شبکه های زراعی تحت پوشش شبکه های آبیاری زاینده رود

در جدول (۱-۳) محصولات زراعی اصلی کشت شده در حوضه زاینده‌رود آورده شده است.

جدول ۱-۳- تقویم زراعی محصولات عمده زراعی حوضه زاینده‌رود (مرید و انوری، ۱۳۹۰)

ماه محصول	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گندم		*	*	*	*	*	*	*	*			
جو		*	*	*	*	*	*	*	*			
چغندر قند							*	*	*	*	*	*
سیب زمینی						*	*	*	*	*		
یونجه (چین اول و دوم)	*	*	*									
یونجه (چین سوم تا ششم)							*	*	*	*	*	*
برنج	*									*	*	*

معمولاً دو فصل کشت در شبکه‌های زراعی زاینده رود وجود دارد. کشت تابستانه شامل غلات (برنج و گندم)، علوفه و سبزیجات می‌باشد. کشت زمستانه با غالب بودن گندم، جو و سبزیجات انجام می‌گیرد. به علاوه سطحی به کشت گیاهان یکساله مثل یونجه و گیاهان چندساله و باغات اختصاص می‌یابد. با ایجاد شبکه‌های مدرن آبیاری، الگوی کشت در حوضه، خصوصاً قسمت نکوآباد و بخش بالادست آبشار تغییر کرد. به طوری که گندم ۴۳ درصد، علوفه ۱۲ درصد، سبزیجات ۱۱ درصد و برنج ۱۰ درصد افزایش یافت (Droogers and Murray 2004).

۱-۱۴- مراحل زراعت برنج در منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه تعیین نیاز آبی هر گیاهی مستلزم دانستن اطلاعات کلی در مورد مراحل کشت آن می‌باشد، در این قسمت به نحوه زراعت برنج در منطقه مورد مطالعه اشاره می‌شود.

در منطقه اصفهان کاشت برنج به صورت تهیه خزانه و نشاءکاری در زمین اصلی صورت می‌گیرد. مراحل کلی زراعت آن به ترتیب شامل مراحل آماده کردن خزانه، انتخاب بذر و جوانه دار نمودن آن، کاشت بذر در خزانه و کاشت نشاء در زمین اصلی می‌باشد.

۱-۱۴-۱- آماده سازی زمین

در فروردین ماه عملیات شخم و آماده سازی زمین انجام می‌شود. در آماده سازی زمین دو نوع شخم معمول است. یکی شخم معمولی یا اولیه و دومی شخمی که داخل آب زده می‌شود که به آن گلخراپی یا به هم زدن خاک و آب (Puddling) گفته می‌شود. این عمل یکی از خصوصیات ویژه کشت برنج بوده که اکثراً آنرا عملی ضروری می‌دانند. در این عمل قبل از بذریابی در خزانه یا نشاء کاری در زمین اصلی، زمین را در حالت غرقاب شخم زده و با مال‌های عرضی و طولی آنرا نرم می‌کنند. این عمل در واقع شکستن خاکدانه‌ها با به کار بردن نیروهای مکانیکی جهت بدست آوردن توده یکنواخت می‌باشد. فرایند کار به این ترتیب است که زمین با شروع فصل کشت به صورت اشباع در می‌آید (چند روز قبل از شخم) و سپس با تراکتور شخم زده می‌شود (شکل ۱-۱۰). به فواصل چند روز مال‌های متعددی زده می‌شود که باعث تشکیل یک ورقه گل شبیه به پلاستیک ضخیم می‌شود. سپس در آن می‌توان نشاءهای برنج را کاشت.



شکل ۱-۱۰- عمل گل آب کردن (پادلینگ) در مرحله آماده سازی زمین برای نشاءکاری

به این ترتیب آماده‌سازی زمین از چند روز تا چند هفته بسته به مساحت مزرعه، تعداد کارگر، میزان آب در دسترس و وجود ادوات مورد نیاز به طول می‌انجامد. وقتی که عمل گل آب کردن تکرار می‌شود یک لایه نسبتاً غیرقابل نفوذ، درست در قسمت زیرین لایه شخم تشکیل می‌شود که سخت لایه (Plough Pan) نامیده می‌شود. تشکیل این لایه مربوط به فشرده شدن فیزیکی طی عمل گل آب کردن و ترسیب ترکیبات احیا شده آهن و منگنز است. معمولاً در خاک‌های سنگین و همچنین در خاک‌های شنی، آلوویال جوان و آهکی و اکثر خاک‌هایی که به تازگی کشت برنج در آن صورت گرفته، این لایه وجود ندارد. بررسی‌ها نشان داده است که رشد برنج در خاک‌های گل آب شده بیشتر از خاک‌های گرانوله است. زیرا تحت شرایط غرقابی در خاک‌های گرانوله اتلاف شدید ازت رخ می‌دهد. البته معلوم شده است وقتی مدیریت مناسبی در مصرف ازت اعمال گردد، هیچ گونه تفاوتی بین خاک‌های به هم خورده و گرانوله دیده نخواهد شد. عمل گل آب کردن تأثیری در افزایش جذب ازت توسط گیاه نداشته ولی در راندمان مصرف کود ازته تأثیر قابل توجهی دارد (فلاح، ۱۳۵۴).

از اهداف عمده گل آب کردن زمین می‌توان به تسهیل در نشاءکاری، مبارزه با علف‌های هرز، مخلوط کردن یکنواخت کود با خاک، جلوگیری از نفوذ زیاد آب به داخل خاک، تسطیح زمین، افزایش ظرفیت ذخیره غذایی خاک و کاهش اتلاف ازت اشاره نمود. اثر گل آب کردن بر روی سایر محصولات زیان بخش تشخیص داده شده است، زیرا این عمل موجب صدمه در هنگام جوانه زنی و محدودیت توسعه ریشه، کاهش جذب آب و مواد غذایی و نهایتاً کاهش شدید محصول می‌شود.

۱-۱۴-۲- کاشت

پس از این که زمین به روش ذکر شده آماده گردید، شلتوک‌ها را که از چند روز قبل خیس شده‌اند در قطعه زمین کوچکی که آفتاب‌گیر باشد، در کنار و یا خارج از مزرعه اصلی به حالت پاششی می‌کارند (خزانه‌گیری). معمولاً بعد از اینکه آب را به داخل کرت‌ها باز کردند ۳ روز بعد آب را خارج می‌کنند و بعد از یک روز، در طول روزها آب را وارد خزانه می‌کنند و شب‌ها آب را خارج می‌کنند. البته خارج

کردن آب در شب‌ها از مزرعه حدوداً یک هفته ادامه می‌یابد و بعد از آن تا انتقال نشاء به مزرعه اصلی بایستی پای بوته آب وجود داشته باشد. حدوداً ۳۰ روز دیگر نشاء را می‌توان به زمین اصلی انتقال داد (شکل ۱-۱۱). اندازه خزانه معمولاً ۵ تا ۱۰ درصد اندازه کل زمین اصلی برنجکاری می‌باشد. تهیه زمین خزانه یک ماه قبل از کاشت خزانه شروع می‌شود. خاک خزانه بایستی نرم، بدون علف هرز، مرطوب و حاصلخیز باشد.

زمان کاشت خزانه در منطقه مورد مطالعه بسته به آب و هوا متغیر بوده و بین ۱۵ فروردین تا ۲۰ اردیبهشت می‌باشد. بهترین زمان برای خزانه‌گیری ۱۱ تا ۲۵ اردیبهشت توصیه شده است (ستاری، ۱۳۷۸). زمان خزانه‌گیری در منطقه مبارکه و زرین‌شهر از نیمه دوم فروردین شروع می‌شود و در شهرستان فلاورجان و سایر مناطق تا نیمه دوم اردیبهشت ادامه دارد.



شکل ۱-۱۱ - نشاء برنج منتقل شده به زمین اصلی

کاشت نشاء‌ها به روش سنتی یا به صورت مکانیزه توسط نشاءکارهای مکانیکی انجام می‌گیرد. البته روش کاشت مستقیم دانه نیز برای کشت برنج وجود دارد که از این روش در منطقه مورد مطالعه استفاده نمی‌شود. نشاءکاری معمولاً از سن ۳۰ روزه نشاء شروع و غالباً ۴۰ روزه تا ۵۰ روزه و بعد از

تناوب گندم و جو با سن تا ۶۰ روز نیز نشاءکاری انجام می‌شود. طول زمان نشاءکاری در مناطق مختلف اصفهان حداقل یک ماه است. زمان نشاءکاری در منطقه بین ۱۰ خرداد تا ۲۰ تیرماه است که به طور کلی ۳۰ تا ۴۵ روز پس از خزانگی (که نشاءها به ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌رسند) آغاز می‌گردد. با توجه به اینکه اکثر کشاورزان برنج را به عنوان کشت مجدد در سال می‌کارند و بیشتر زمین‌ها قبل از کشت برنج به زیر کشت گندم، جو، سیب‌زمینی و غیره است، باید پس از رسیدن محصول اول به کشت برنج پردازند. لذا از آنجایی که در منطقه جو در اواسط خرداد و گندم در اوایل تیرماه می‌رسد، توصیه شده است که در منطقه برای کشت اول، جو و گیاهان علوفه‌ای مانند شبدر انتخاب شود (ستاری، ۱۳۷۸).

۱-۱۴-۳- داشت

از مهمترین اقدامات در این مرحله می‌توان به آبیاری، کود دهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات اشاره کرد، ولی هیچ یک از عملیات زراعی به اهمیت آبیاری نیست. برنج از آغاز رشد تا رسیدن به طور مداوم به آب نیاز دارد که میزان آن به پارامترهای مختلفی از جمله شرایط اقلیمی بستگی دارد. از آنجایی که میزان آب در منطقه دارای محدودیت است و هر روز در دسترس نمی‌باشد آبیاری بیشتر به صورت چند روز یک بار انجام می‌شود (به جز در بعضی از اراضی یکپارچه حواشی زاینده‌رود). در مورد آبیاری توجه به ارتفاع آب در پای بوته‌ها از اهمیت به سزایی برخوردار است. گیاه برنج در مراحل مختلف رشد به ارتفاع خاصی از آب در پای بوته احتیاج دارد. برای آبیاری خزانه در ابتدای بذركاری عمق آب باید بین ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر تنظیم گردد و در زمان سبز کردن به مدت ۲ روز آب خزانه تخلیه گردد. بعد از اینکه نشاءها به زمین اصلی منتقل شد به منظور تأمین سلامتی نشاءها و جلوگیری از زیان ناشی از باد، خزانه باید به مدت یک هفته با ۱۰ سانتی‌متر آب غرقاب گردد. در مرحله پنجه زدن عمق آب کمتر شده و به ۲ تا ۵ سانتی‌متر می‌رسد. در پایان مرحله پنجه‌زنی لازم است به خاطر اصلاح خاک و رشد بهتر ریشه، زهکشی میان فصلی صورت گیرد. از این مرحله به بعد

تا آغاز مرحله خمیری شدن که خود شامل مراحل ساقه رفتن، خوشه رفتن و گزرداری است، گیاه بیشترین نیاز را به آبیاری مداوم دارد. ارتفاع مناسب آب برای این دوره ۵ تا ۷ سانتی متر است. به طور کلی این مرحله در منطقه با ۵۰ درصد احتمال از ۲۳ تیرماه شروع و تا ۵ شهریور ادامه می یابد که در این زمان باید بیشترین توجه به آبیاری مداوم در مزرعه صورت گیرد. بعد از طی این مراحل، هرچه گیاه به پایان مرحله رسیدن نزدیک تر شود، نیازش به آب کمتر شده و باید به تدریج آب مزرعه زهکشی شود. در اصفهان به دلیل تابش شدید خورشید و کمبود مواد آلی در خاک به ویژه تا قبل از کامل شدن پنجه دهی ارتفاع آب ۳ تا ۵ سانتی متر توصیه شده است. اولین ظهور خوشه ۹۱ تا ۱۱۵ روز پس از خيساندن بذر رخ می دهد. دانه ها ۱۳۱ تا ۱۴۷ روز پس از خيساندن بذر به حالت ۹۵ درصد رسیدگی می رسد.

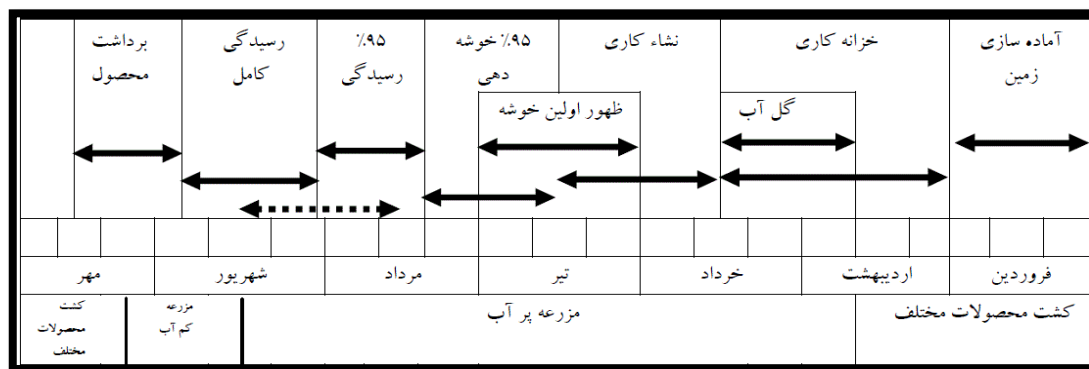


شکل ۱-۱۲- نمایشی از شالیزار حدود ۶۰ روز پس از کاشت نشاء

۱-۱۴-۴- برداشت

هنگامی که دانه های برنج کاملاً سفت گردید و ۹۰ تا ۹۵ درصد خوشه ها زرد شد، محصول رسیده و قابل برداشت است. به طور کلی زمان برداشت در هر منطقه با توجه به درجه حرارت محیط و رقم

مورد کاشت (دیررس بودن یا زودرس بودن) متفاوت است. در منطقه مورد مطالعه زمان رسیدن معمولاً یک ماه بعد از پایان گلدهی رخ می‌دهد که این زمان با احتمال ۵۰ درصد در ۴ مهر و با احتمال ۱۰ تا ۹۰ درصد بعد از ۲۷ شهریور تا ۱۲ مهر می‌باشد که لازم است ۱۰ تا ۱۵ روز قبل از برداشت، آب زمین را قطع نموده تا زمین خشک شده برای برداشت مهیا شود (ستاری، ۱۳۷۸). شکل (۱۳-۱) مراحل مختلف رشد برنج را در زمان‌های خود نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۳- مراحل فنولوژیکی کشت برنج در منطقه مورد مطالعه (خواجه الدین، ۱۳۸۶)

در شکل (۱۴-۱) برداشت مکانیزه محصول برنج در مهرماه در منطقه زرین‌شهر و ترک‌های گلی ایجاد شده در سطح مزارع برنج پس از خشک شدن زمین را نشان می‌دهد که ناشی از میزان رس بالا در خاک است.



شکل ۱-۱۴- نمایی از زمین برنجکاری پس از برداشت محصول و خشک شدن زم

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته



فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

در این فصل، خلاصه‌ای از تحقیقات قبلی انجام شده مرتبط با موضوع این پایان‌نامه ارائه می‌شود. در ابتدا اصطلاحات به کار رفته در متن تعریف شده است. در ادامه به اهمیت برآورد تبخیر و تعرق و مطالعات انجام شده پیرامون تبخیر و تعرق مرجع و گیاه برنج پرداخته شده است. در پایان نیز مروری بر مطالعات انجام شده در باره رژیم آبی رودخانه زاینده‌رود ارائه گردیده است.

۲-۱- تعریف اصطلاحات

- الف- تبخیر و تعرق پتانسیل** ($Potential\ Evapotranspiration = ET_p$): حداکثر مقدار آبی که در صورت وجود، بدون محدودیت توسط سطوح خاک و گیاه تبخیر می‌شود (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶).
- ب- تبخیر و تعرق مرجع** ($Reference\ Evapotranspiration = ET_0$): مشابه تعریف ET_p می‌باشد، با این تفاوت که این اصطلاح برای یک گیاه مرجع مانند یونجه یا چمن به کار می‌رود (هاشمی‌نیا، ۱۳۷۸). به عبارتی مقدار تبخیر و تعرق از یک سطح پوشش گیاهی تعریف شده است.
- ج- گیاه مرجع** ($Reference\ crop$): گیاهی است که تبخیر و تعرق بر اساس ویژگی‌های شناخته شده آن محاسبه می‌شود و معمولاً چمن یا یونجه در نظر گرفته می‌شود.
- د- ایستگاه هواشناسی کشاورزی** ($Agrometeorological\ Station$): ایستگاهی که در یک ناحیه وسیع مزروعی پوشیده از چمن یا گیاهان واقع بوده و در آن پارامترهای دما و رطوبت هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی در ارتفاع ۲ متری سطح زمین، توسط دستگاه‌های دقیق، اندازه‌گیری می‌شود (Allen et al. 1998).

ه- نیاز آبی گیاه (Crop Water Requirement): مقدار آبی است که گیاه در طی یک دوره معین بدون تنش آبی برای رشد با حداکثر توان خود نیاز دارد و به مجموع کل تبخیر از سطح زمین، تعرق گیاه، فروشست و نفوذ در طول رشد گیاه اطلاق می‌شود.

و- نیاز آبیاری (Irrigation Requirement): به مقدار آبی گفته می‌شود که باید به صورت آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد نموده و تولید محصول نماید. مقدار آن برابر با تبخیر و تعرق گیاه به علاوه مقداری آب اضافی جهت شستشوی نمک‌های اضافی از منطقه توسعه ریشه، می‌باشد. بنابراین نیاز آبیاری همیشه از نیاز آبی گیاه بیشتر است. در محاسبات آن باید راندمان آبیاری (درصدی از مقدار آب تأمین شده برای مزرعه که بتواند مفید واقع گردد) در نظر گرفته شود.

۲-۲- اهمیت برآورد تبخیر و تعرق

در مقیاس جهانی حدود ۵۷ درصد از آبی که روی خشکی‌ها به صورت نزولات جوی فرو می‌ریزد، مستقیماً تبخیر می‌شود. در آب و هوای خشک و نیمه خشک قسمت اعظم بارندگی سالانه بلافاصله پس از بارش توسط تبخیر یا تعرق مجدداً وارد اتمسفر می‌شود (فرهودی و شمسی‌پور، ۱۳۷۹؛ رزاقی و سپاسخواه، ۱۳۸۶). تبخیر و تعرق ($Evapotranspiration = ET$) یکی از مهمترین اجزای چرخه هیدرولوژی بوده و تخمین آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان هیدرولوژیکی آب، تخمین رواناب، مطالعات اقلیم‌شناسی، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، تعیین آب مصرفی اراضی کشاورزی و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ضروری است. تبخیر و تعرق علاوه بر نشان دادن ویژگی‌های اقلیم، در تعیین نیاز آبی گیاهان مختلف و الگوی کشت مناسب کاربرد دارد. تخمین درست تبخیر و تعرق از عوامل مهم در جلوگیری از بروز تنش آبی در گیاه یا هرزروی آب است (کریمی‌راد و شریفان، ۱۳۹۰).

۲-۳- عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق

عواملی که در میزان تبخیر و تعرق مؤثرند عبارتند از:

الف- عوامل اقلیمی (Weather Parameters): شامل دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد و تشعشع.

ب- عوامل گیاهی (Crop Factors): شامل نوع گیاه، گوناگونی و طول مرحله رشد، تفاوت گیاه در برابر تعرق، ارتفاع گیاه، زبری گیاه، انعکاس، نحوه پوشش زمین و خصوصیات ریشه گیاه باعث اختلاف در ET در انواع مختلف گیاهان می‌شود.

ج- مدیریت و شرایط محیطی (Management and Environmental Conditions): شوری خاک، حاصلخیزی کم زمین، اقدامات محدودکننده حاصلخیزی، وجود لایه‌های سخت یا نفوذناپذیر در خاک، محتوای آب خاک، نبود کنترل بر بیماری‌ها و آفات و مدیریت ضعیف خاک از عواملی است که رشد گیاه را محدود و باعث کاهش ET می‌شود.

تنها عوامل اقلیمی، تبخیر و تعرق مرجع را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طور کلی ساعات آفتابی و سرعت باد کنترل کننده اصلی ET_0 در نواحی مختلف جهان هستند (Jhajharia et al. 2009; Thomas 2000 به نقل از Dinpashoh; 2011). در مناطق خشک و نیمه خشک، دو پارامتر دما و تشعشع خورشیدی نقش اصلی را در مقدار تبخیر و تعرق ایفا می‌کند (Saleh and Sandil 1984 به نقل از موسوی‌بایگی و همکارانش، ۱۳۸۸). در جدول (۱-۲) متوسط (ET_0) برای شرایط اقلیمی مختلف ارائه شده است.

جدول ۱-۲- متوسط ET_0 روزانه (mm) در شرایط اقلیمی مختلف (Allen et al. 1998)

ناحیه	میانگین درجه حرارت روزانه		
	سرد ($^{\circ}C \sim 10$)	ملایم ($^{\circ}C \sim 20$)	گرم ($^{\circ}C > 30$)
<u>گرمسیری</u> مرطوب و نیمه مرطوب خشک و نیمه خشک	۲-۳	۳-۵	۵-۷
	۲-۴	۴-۶	۶-۸
<u>معتدل</u> مرطوب و نیمه مرطوب خشک و نیمه خشک	۲-۴	۲-۴	۴-۷
	۱-۳	۴-۷	۶-۹

۲-۴- اندازه‌گیری تبخیر و تعرق مرجع

جهت تعیین تبخیر و تعرق مرجع، روش‌های متعددی در شرایط آب و هوایی متفاوت ارائه شده است که هر کدام از آنها به نوعی دارای محدودیت‌هایی هستند. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دو گروه مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. در روش مستقیم بخش کوچک و کنترل شده‌ای از مزرعه مجزا شده و میزان تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود. به این بخش کوچک که ارتباط رطوبتی با خاک اطراف ندارد لایسیمتر می‌گویند. امکان استفاده از لایسیمتر برای این منظور، به دلیل زمان‌گیر بودن، نیاز به عملیات و برنامه ریزی دقیق و همچنین هزینه زیاد، همواره میسر نخواهد بود. از این روش‌های غیر مستقیم بر پایه داده‌های هواشناسی برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع رایج‌تر است (صیادی و همکاران، ۱۳۸۸). در روش‌های غیر مستقیم از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از طریق ارتباط آنها با تبخیر و تعرق و معادلاتی که قبلاً با روش مستقیم واسنجی شده‌اند، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود (موسوی‌بایگی و همکاران، ۱۳۸۸). به طور کلی روش‌های موجود برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع (روش‌های غیر مستقیم) به سه دسته معادلات تجربی، فرآیندهای انتقال جرم (بخار آب) و ترکیبی تقسیم می‌شوند (کریمی‌راد و شریفان، ۱۳۹۰). روش‌های ترکیبی تغییرات تبخیر را با شار تابش خالص و خصوصیات انتقال آئرودینامیک یک سطح طبیعی مرتبط می‌نماید و بر اساس فرایند-های فیزیکی پیچیده هستند.

از دهه ۱۹۶۰ به بعد مدل‌های کامپیوتری به منظور سرعت، سهولت و دقت در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به کار گرفته شده است. Crop Wat از جمله نرم‌افزارهایی است که با استفاده از داده‌های هواشناسی تبخیر و تعرق را بر مبنای روش پنمن-مانتیت اصلاح شده محاسبه می‌نماید (نیازی و همکاران، ۱۳۸۴). از دیگر نرم‌افزارهای به کار گرفته شده توسط محققین مختلف می‌توان به AWSET III و DAILYET (جهت محاسبه تبخیر و تعرق روزانه از طریق اطلاعات هواشناسی به روش ترکیبی پنمن-مانتیت و صور مختلف معادله پنمن)، IWR (جهت تعیین نیاز آبی گیاهان اصلی

بر اساس روش پنمن-مانتیت و BODGET (بر اساس معادله بیلان جرمی آب و نمک در حجم مشخصی از خاک) اشاره نمود. نرم افزار REF-ET نیز توسط آلن و همکاران (۲۰۰۰) ضمن توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های نرم افزارهای پیشین ارائه شده است. این نرم افزار (REF-ET) توانست محدودیت‌هایی نظیر تعداد روشهای محاسباتی و قابلیت به کارگیری در ایستگاه‌های غیر تحقیقاتی را برطرف سازد (قاسمی و زارع ابیانه، ۱۳۸۶). نرم افزار Ref-ET تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن و یونجه) را به ۱۷ روش برآورد می‌نماید. این روش‌ها شامل ۱۰ روش ترکیبی بر پایه پنمن، ۳ روش ترکیبی تشعشعی دمایی، ۲ روش دمایی، ۱ روش تشعشعی و روش تشتک تبخیر است. از نظر علمی روشی مطلوب‌تر است که اولاً آسان بوده و ثانیاً نتایج حاصل از آن واقعی‌تر باشند (علیزاده، ۱۳۸۸). فاکتورهایی نظیر داده‌های موجود، هدف از استفاده و مقیاس زمانی لازم برای موضوع مورد نظر، برای انتخاب روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در نظر گرفته می‌شود (Shih et al. 1983).

۲-۵- مروری بر مطالعات تبخیر و تعرق مرجع (ET_0)

ایده تبخیر و تعرق مرجع (ET_0 = Reference Evapotranspiration) را دورنبوس و پرویت (Doorenbos and Pruitt) در سال ۱۹۷۷ مطرح کردند که مورد پذیرش سازمان خوار و بار جهانی (FAO) نیز واقع شد. از تبخیر و تعرق گیاه مرجع تعاریف مختلفی ارائه شده است. مثلاً دورنبوس و پرویت تبخیر و تعرق از یک سطح پوشیده از چمن یکنواخت با ارتفاع ۸ تا ۱۶ سانتی‌متر که رشد فعال داشته و زمین را به طور کامل می‌پوشاند و هیچ گونه محدودیت آبی ندارد را در نظر گرفته‌اند (Lee et al. 2004; Doorenbos and Pruitt 1977).

بورمن و همکارانش (Burman et al. 1983) با استفاده از تحقیقاتی که توسط دورنبوس و پرویت (Doorenbos and Pruitt 1977) و جنسن (Jensen 1971) انجام شده بود، دو تعریف رایج از ET_0 را به صورت زیر بیان نمودند (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۷).

الف) ET_0 عبارت است از بالاترین حد ET که در شرایط آب و هوایی مشخص، در زمینی که به وسیله یونجه پوشیده شده، ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر دارد و کمبود آب ندارد اتفاق می‌افتد.

ب) ET_0 عبارت است از سرعت تبخیر و تعرق در یک سطح وسیع با پوشش کاملاً سبز و ارتفاع گیاه ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر و دارای رشد فعال و سایه‌اندازی در سطح زمین و بدون کمبود آب.

جنسن و همکارانش (Jensen et al. 1990) بیان نمودند که تبخیر و تعرق مرجع، همان تبخیر و تعرق پتانسیل است، با این تفاوت که سطح برگ خیس نبوده و گیاه مرجع مشخص است. اسمیت و همکارانش (Smite et al. 1992) تبخیر و تعرق مرجع را میزان تبخیر و تعرق از یک گیاه فرضی با ارتفاع ۱۲ cm و با مقاومت و پوشش کامل ۷۰ cm/m و ضریب آلبیدو ۰/۲۳ و در شرایط مساعد برای رشد (بدون تنش) تعریف می‌کنند.

۲-۵-۱- مطالعات تبخیر و تعرق مرجع در سطح جهان

بسیاری از محققین ابراز داشته‌اند بسیاری از پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرواقليمی مانند دمای هوا، بارش، دبی رودها، غلظت آلاینده‌ها، مشخصه‌های خشکسالی، تبخیر از تشتک و تبخیر و تعرق مرجع در قسمت‌هایی از جهان تغییر یافته است (Lins and Slack 2004; Kahya and Kalayci 1999; Burn 2008; Deni 2010; Dinpashoh et al. 2011). برخلاف واقعه گرم شدن کره زمین برخی از گزارشات حاکی از کاهش روند ET_0 و E_{pan} در کشورهای مختلف است (Shen et al. 2010; Xu et al. 2006; Bandyopadhyay et al. 2009). محققین علت اصلی این امر را کاهش سرعت باد ذکر می‌کنند. برخی از تحقیقات نیز نشان دهنده افزایش روند ET_0 و E_{pan} در برخی مناطق است (Burn 1998; Hess 1998; Yu et al. 2002; Hesck 2007).

در منطقه بولیویا (Bolivian)، مقایسه داده‌های لایسیمتر (Lysimeter) با چند روش از جمله هارگریوز-سامانی (Hargreavs-Samani) و پنمن-مانتیت (Penman-Montith) نشان داد که معادله پنمن-مانتیت بهترین برآورد ET_0 با کمترین خطا را دارد (Garcia et al. 2004).

جنسن و همکارانش (Jensen et al. 1990)، بیست روش تخمین تبخیر و تعرق را نسبت به نتایج لایسیمتر در یازده ایستگاه در نقاط مختلف جهان با اقلیم‌های متفاوت مقایسه نمودند که در همه اقلیم‌ها روش پنمن - مانیتث دارای بهترین نتایج و مرتبه سایر روش‌ها با توجه به اقلیم متفاوت بود. هارگریوز و همکارانش (Hargreavs et al. 2003) در مقایسه‌ای که بین داده‌های تبخیر - تعرق به دست آمده از معادلات هارگریوز - سامانی (۱۹۸۵) و پنمن - مانیتث فائو (Allen et al. 1998) با لایسیمتر در آیداهو (Idaho) انجام دادند، مشاهده کردند که داده‌های تبخیر - تعرق روزانه به دست آمده از معادله هارگریوز - سامانی، ۰/۹۷ و از معادله پنمن - مانیتث، ۱/۰۱ داده‌های تبخیر و تعرق به دست آمده از لایسیمتر می‌باشد.

از مجموعه مطالعات فوق می‌توان دریافت که روش پنمن - مانیتث در سطح جهانی از اعتبار بالایی برخوردار است. اگرچه ممکن است این روش برای بعضی از مناطق دقت لازم را نداشته باشد. این روش به عنوان یک روش استاندارد از سوی فائو پذیرفته شده است. در بسیاری از موارد روش‌های دیگر با مبنا قرار گرفتن این روش کالیبره شده و یا با آن مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۲-۵-۲- مطالعات تبخیر و تعرق مرجع در سطح ایران

در قسمت‌های مختلف کشور روندهای مختلفی برای ET_0 طی سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ مشاهده شده (با روش پنمن - مانیتث فائو ۵۶ و در بازه‌های زمانی ماهانه و سالانه) که در کل روند کاهشی غالب بوده است. بیشترین مناطقی که کاهش روند ET_0 را نشان می‌دهند در نواحی خشک و نیمه خشک مرکزی ایران که بارش سالیانه کمتر از ۰/۱ ET_0 است، واقع بوده‌اند و دلیل آن را کاهش سرعت باد دانسته‌اند (Dinpashoh et al. 2011).

تحقیقات زیادی نیز در ارتباط با ارزیابی روش‌های مختلف با توجه به تنوع اقلیمی کشورمان صورت گرفته است. دین‌پژوه (Dinpashoh 2006) طی مطالعه‌ای در سطح کشور روش ترنت‌وایت اصلاحی را

برای نواحی شمال و شمال شرق، روش هارگریوز- سامانی را در نواحی غرب، شمال غرب و جنوب غرب و روش لیناکر را برای مناطق مرکزی، شرق و جنوب شرق کشور توصیه نموده است.

صمدی و مجدزاده (۱۳۸۲) ضمن اندازه گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) توسط لایسیمتر در کرمان روش های بلانی- کریدل، تورنت وایت و پنمن- فائو را مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفتند که معادله بلانی- کریدل مناسب ترین روش برای استفاده در مناطق خشک است.

با مقایسه روش های پنمن- مانتیث، هارگریوز، تشعشعی و تشتک تبخیر با داده های لایسیمتری در اراک، نتایج روش هارگریوز به نتایج لایسیمتر نزدیکتر بوده است (دادیور و همکاران، ۱۳۸۹). میرزایی تختگاهی و معاضد (۱۳۸۵) با مطالعه ای که در منطقه کردستان انجام دادند به ترتیب روش- های بلانی- کریدل، تشتک تبخیر و هارگریوز را مناسب دانسته اند.

قاسمی و زارع ابیانه (۱۳۸۶)، مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شده با نرم افزار Ref-ET را در ماه- های مختلف کشت با نتایج لایسیمتری مقایسه نموده (در همدان) و مشاهده کردند روش تشتک تبخیر فائو ۲۴ نسبت به سایر روش ها نیاز آبی گیاه مرجع چمن را در زمان های ابتدا و انتهای فصل رشد کمتر، و در فصل میانی رشد بیشتر از مقادیر لایسیمتری برآورد نموده است. در مقابل روش های تشعشعی و بلانی- کریدل فائو برآوردهای مناسب تری در مقایسه با نتایج لایسیمتر داشتند.

رزاقی و سپاسخواه (۱۳۸۶) تبخیر و تعرق روزانه و ماهانه را با استفاده از معادلات پنمن- مانتیث، هارگریوز- سامانی، تابش فائو، پنمن فائو و تشتک تبخیر تخمین زدند و نتایج را با مقادیر اندازه گیری شده توسط لایسیمتر وزنی در منطقه کوشک استان فارس در سال ۸۵-۱۳۸۴ مقایسه نموده و دریافتند که معادله تابش فائو از دقت بیشتر و معادله تشتک تبخیر از دقت کمتری نسبت به سایر معادلات برخوردار بوده است. در این مطالعه روش هارگریوز- سامانی، پنمن- مانتیث و معادله پنمن فائو به ترتیب در رتبه های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۷) با مقایسه روش های مختلف برآورد ET_0 برای همدان و محاسبه خطای آن ها نسبت به تغییرات پارامترهای اقلیمی، در نهایت مدل های ترکیبی نظیر مدل پنمن- مانتیث فائو

۵۶ را جهت پیش‌بینی ET_0 مناسب‌تر دانسته‌اند. زیرا احتمال همپوشانی خطاهای مثبت و منفی پارامترهای مختلف (نظیر دما و تابش با خطای مثبت، رطوبت و ضریب آلبیدو با خطای منفی) میانگین خطای اریب (Mean Bias Error) خروجی مدل را کاهش می‌دهد.

بیات‌ورکشی و همکاران (۱۳۸۷) با محاسبه تبخیر و تعرق مرجع از روش‌های مختلف در همدان و کرج (با اقلیم نیمه خشک) و گرگان (با اقلیم نیمه مرطوب) به ترتیب روش‌های هارگریوز-سامانی را برای همدان، روش تورک را برای کرج و روش پنمن-کیمبرلی را برای گرگان برگزیدند.

جلالی‌کوتنابی و ناصری (۱۳۸۹) در بررسی مناسب‌ترین روش تعیین ET_0 در اراضی شالیزاری مازندران با استفاده از لایسیمتر دریافتند که روش‌های ایوانف و هارگریوز در مقایسه با دیگر روش‌ها از قبیل پنمن-مانتیت، تشتک تبخیر، هارگریوز-سامانی، بلانی کریدل، تورک و تابش بیشترین تطابق را با نتایج لایسیمتر دارد. با توجه به اینکه روش ایوانف جهت تعیین ET_0 در سطوح آزاد آب کاربرد دارد و همچنین وجود حالت غرقابی در شالیزارها، این روش برای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل برای محاسبه نیاز آبی توصیه گردیده است.

آقاجانلو و طبری (۱۳۹۰)، مدل‌های اصلاح شده هارگریوز را در چهار اقلیم مختلف کشور نسبت به مدل پنمن-مانتیت مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفتند بهترین برآورد توسط کلیه مدل‌های اصلاحی در اقلیم نیمه خشک (زنجان) و پس از آن اقلیم خشک (بیرجند) مشاهده می‌شود.

سبزی‌پرور و طبری (Sabziparvar and Tabari 2010)، به منظور برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع، چند مدل از جمله هارگریوز را در مناطق خشک و نیمه خشک ایران بررسی نموده و با مدل پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. نتایج نشان می‌دهد که مدل هارگریوز بهترین مدل برای مناطق خشک و نیمه خشک ایران است.

در مورد مقادیر به دست آمده برای ET_0 در نقاط مختلف ایران می‌توان به نتایج زیر اشاره نمود. بهبهانی و همکاران (۱۳۷۰) در منطقه طرق مشهد نیاز آبی گیاه مرجع چمن را برابر ۱۰۹۵ و میزان تبخیر از تشتک را برابر ۱۲۰۰ میلی‌متر گزارش کردند. شریعتی (۱۳۷۲) در آزمایش خود میزان

تبخیر و تعرق چمن را در فصل رشد در کرج برابر ۱۵۷۳ میلی‌متر به دست آورد. نیکمرام (۱۳۷۳) در ارومیه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع را از اول اردیبهشت تا پایان آبان برابر ۱۰۴۱/۵ میلی‌متر و میزان تبخیر از تشتک را برابر ۱۱۹۴/۲ میلی‌متر بدست آورد. صارمی (۱۳۷۳) در خوزستان میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در یک دوره ۱۰۸ روزه با ۱۴ نوبت آبیاری ۲۸۶ میلی‌متر تعیین نمود. آذری (۱۳۷۴) میزان تبخیر و تعرق پتانسیل هفت ماهه را در گرگان و گنبد برابر ۸۳۴/۷ میلی‌متر تعیین نمود.

از مرور تحقیقات صورت گرفته در سطح کشور و تعدد روش‌های پیشنهاد شده برای مناطق مختلف می‌توان به تنوع اقلیمی کشورمان پی برد. با توجه به اینکه هر روش برای شرایط آب و هوایی خاصی پیشنهاد شده است، قطعاً یک روش خاص برای مناطق با شرایط اقلیمی مختلف دقت لازم را نخواهد داشت. در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران، از بین روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع، روش‌های هارگریوز، بلانی-کریدل، پنمن-مانتیث، پنمن فائو و تشتک تبخیر فائو بهترین نتایج را ارائه نموده‌اند.

۲-۵-۳- مطالعات تبخیر و تعرق مرجع در سطح استان اصفهان

از بین ۱۶ ایستگاه مطالعاتی بیشترین تغییرات منفی ET_0 سالانه در سراسر کشور برای ایستگاه اصفهان در سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ به دست آمده است (Dinpashoh et al. 2011). روند کلی ET_0 ماهانه اصفهان در جدول (۲-۲) آمده است.

جدول ۲-۲- روند ET_0 ماهانه برای سالهای ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ ایستگاه اصفهان (*: بدون روند، -: روند کاهشی)

ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
روند ET_0	*	*	-	*	*	-	-	-	-	-	*	*

پناهی (۱۳۷۸) طی سال‌های ۷۴-۱۳۷۳ با ارزیابی چند روش با لایسیمتر در ایستگاه کبوترآباد اصفهان، نشان داد روش تشتک تبخیر با ضریب کانکا بهترین تخمین را دارد. همچنین، احتشامی و

همکاران (۱۳۷۸) با استفاده از داده‌های لایسیمتری کبوترآباد اصفهان، نتیجه گرفتند که روش هارگریوز-سامانی در مقایسه با روش‌هایی نظیر پنمن اصلاح شده، پنمن-مانتیت و بلانی-کریدل اصلاح شده از دقت بالاتری برخوردار است. نتیجه مشابهی توسط نجفی (۱۳۸۳) گزارش شده است. نجفی (۱۳۸۷)، بر اساس داده‌های ۸ ساله تشتک تبخیر (طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۵) که در دو ایستگاه متفاوت، یکی در منطقه غیر زراعی و دیگری در منطقه مزروعی واقع بودند (ایستگاه‌های جنوب شرق اصفهان و کبوترآباد)، نشان داد به طور متوسط بین این دو ایستگاه در زمان یکسان، ۱/۳۵ میلی‌متر بر روز اختلاف تبخیر از تشتک وجود دارد. با توجه به مجاورت و یکنواختی شرایط اقلیمی دو ایستگاه، این مطلب شدت تأثیر پدیده لغزش حرارتی را نشان می‌دهد. خصوصاً که اختلاف در ماه‌های گرم سال شدت می‌یابد. بنابراین استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، در صورتی که محل اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی در مناطق غیر زراعی باشد، برآورد تبخیر و تعرق را با خطای قابل توجه همراه می‌کند. نورمهنداد و طباطبایی (۱۳۸۵) تبخیر و تعرق مرجع ماهانه و سالانه را با ۴ روش (بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، پنمن-مانتیت فائو و روش استاندارد شده ASCE) در استان اصفهان (۱۰ ایستگاه هواشناسی) و همچنین حجم تبخیر و تعرق را برای سال ۱۹۹۳ به عنوان سال خشک و سال ۲۰۰۰ به عنوان سال تر، در دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۳ بررسی نمودند. بر اساس نتایج داده‌های لایسیمتری شهر اصفهان مشاهده گردید که به جز روش هارگریوز-سامانی، سایر روش‌ها حجم تبخیر و تعرق مرجع را بین ۱۵ تا ۳۰ درصد در دوره خشکسالی و ۲۵ تا ۴۵ درصد در دوره ترسالی بیشتر برآورد کرده‌اند.

هاشمی‌گرم‌دره و همکاران (۱۳۸۶)، به منظور تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق برای دشت اصفهان، با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار طی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ در ایستگاهی در شمال شرق اصفهان مناسب‌ترین روش برای منطقه را روش تشتک تبخیر با ضریب K_p و پس از آن روش بلانی-کریدل اصلاح شده و پس از آن چندین روش دیگر به ترتیب رتبه‌بندی شد.

عابدی‌کوپایی و همکاران (۱۳۸۷)، با مقایسه نتایج ET_0 (در یک دوره ۱۲۰ روزه از فروردین تا مرداد ۱۳۸۷) حاصل از معادلات پنمن-مانتیت، ترک، هارگریوز و تشتک تبخیر را با نتایج سه

میکرو لایسیمتر وزنی در ایستگاه دانشگاه صنعتی اصفهان، بیان نمود روش پنمن - مانتیت فائو از دقت بیشتری نسبت به سایر معادلات برخوردار است. اخوی میراباشی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از آمار هواشناسی ۱۲ ایستگاه واقع در درون و بیرون استان اصفهان جهت درون یابی پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق به کمک روش پنمن - مانتیت نقشه های تبخیر و تعرق مرجع استان را برای هر ماه ترسیم نمودند. در این پژوهش بیشترین مقدار تبخیر و تعرق مرجع مربوط به فصل تابستان بوده که در نواحی مرکزی استان رخ داده و به 14 mm/d نیز رسیده است. در مورد مقادیر ET_0 به دست آمده در مناطق مختلف استان اصفهان می توان به موارد زیر اشاره نمود.

ستار (۱۳۷۷) برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن توسط لایسیمتر در اصفهان، کل تبخیر و تعرق را برابر $1568/5$ میلی متر بدست آورد. هاشمی گرم دره و همکاران (۱۳۸۶)، تبخیر و تعرق اصفهان را از فروردین تا آبان سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ توسط لایسیمتر ۱۹۳۷ میلی متر به دست آوردند. در جدول (۲-۳) نتایج به دست آمده با روش های مختلف در اصفهان و دیگر شهرها آمده است.

جدول ۲-۳- مقادیر به دست آمده ET_0 در مناطق مختلف

منبع	تشتک تبخیر فائو	پنمن اصلاح شده	پنمن	تشعشع	بلانی کریدل	پنمن مانتیت	دوره	روش محل
انتصاری و همکاران، ۱۳۷۵	۳/۰۸	۳/۵۳	۳/۴۶	۳/۹۵	۲/۹۹	۲/۸۰	روزانه	ارومیه
	۱۱۲۴	۱۲۸۸	۱۲۶۳	۱۴۴۲	۱۰۹۱	۱۰۲۲	سالانه	
	---	---	۲/۹۸	۳/۲۷	۲/۵۸	۲/۳۵	روزانه	مازندران
	---	۱۱۶۸	۱۰۹۵	۱۱۹۳	۹۴۱	۸۵۶	سالانه	
	۵/۱۴	۵/۸۷	۵/۹۰	۶/۰۱	۶/۳۵	۴/۸۰	روزانه	کالیفرنیا
	۱۸۷۶	۲۱۴۲	۲۱۵۳	۲۱۹۳	۲۳۱۷	۱۷۵۲	سالانه	
نورمهند و طباطبایی، ۱۳۸۵	---	---	---	---	۲۲۰۰	۲۵۱۰	سالانه	اصفهان (۱۹۹۳)
					۲۰۴۳	۱۸۴۱		اصفهان (۲۰۰۰)
دادیور و همکاران، ۱۳۹۰	۱۷۷۵	---	---	---	---	۱۳۱۲	فروردین تا مهر	اراک (۱۳۸۴)

با توجه به مطالعات فوق، برای منطقه اصفهان روش هارگریوز- سامانی به عنوان روشی که بهترین نتایج را ارائه نموده است، پیشنهاد شده است. روش تشتک تبخیر نیز میانگین رضایت بخشی از تبخیر و تعرق پتانسیل و بنابراین تبخیر و تعرق برنج تحت شرایط غرقابی فراهم می کند. پس از آن روش پنمن-مانتیت فائو را می توان برتر از سایر روش ها معرفی نمود.

۲-۶- مروری بر مطالعات نیاز آبی گیاه برنج

نیاز آبی گیاه برنج از حاصل ضرب ضریب گیاهی آن در تبخیر و تعرق مرجع به دست می آید. در این قسمت به ارقام به دست آمده برای نیاز آبی گیاه برنج در تحقیقات مختلف اشاره می گردد.

۲-۶-۱- مطالعات نیاز آبی گیاه برنج در سطح جهان

گیاه برنج (*Oriza Sativa*) تا مرحله رسیدن به حدود ۸ تا ۲۰ هزار مترمکعب آب در هر هکتار نیاز دارد. به عبارت دیگر برای تولید یک کیلوگرم دانه برنج خشک احتیاج به ۷۰۰ لیتر آب است (کریمی، ۱۳۷۵). حدود ۴۵ میلیارد هکتار از قاره آسیا را شالیزار تشکیل می دهد. تنش خشکی بیشترین اهمیت را برای محدودیت تولید دارد و تخمین زده شده است که حدود ۲۳ تا ۱۹ میلیارد هکتار از شالیزارها را تحت تأثیر قرار می دهد (Garrity et al. 1986 به نقل از Haefele et al. 2009). فشارهای موجود برای کاهش آب مورد استفاده در آبیاری مزارع، نتیجه منطقی بحران آب در جهان است. در این راستا، باید آب مورد استفاده بی حاصل (تبخیر، نفوذ و تعرق از گیاهان هرز) کاهش یابد و مقدار یا راندمان آب مورد استفاده مفید (تعرق) افزایش یابد (Haefele et al. 2009). نتایج تحقیقاتی در مالزی میزان ET/E_{pan} را در طول مرحله آغازین رشد ۱ تا ۱/۲، در مرحله میانی رشد ۱/۲ تا ۱/۳ و در مرحله پایانی رشد ۱/۴ میلی متر در روز و میزان متوسط آن در کل دوره رشد را ۱/۲ میلی متر در روز نشان می دهد (Sugimoto 1971 به نقل از Chan and Chong 2009).

مقدار ET برای فصل کشت برنج در مادا (Mada) بالغ بر ۷۷۸ میلی‌متر گزارش شده است. این مقدار به طور روزانه برابر با ۱۰/۶ میلی‌متر است. همچنین ET را برای فصل کشت (Main-season) ۶۰۴ و برای فصل غیرکشت (Off-season crop) ۶۳۱ میلی‌متر گزارش نموده است. مقادیر مذکور از طریق نسبت ET/E_{pan} محاسبه شده است (Kitamura 1984 به نقل از Chan and Chong 2009).

بر اساس تحقیقات انجام شده در دره رود نیجر در فاصله زمانی ۹۷-۱۹۹۱ کارایی مصرف آب در شبکه‌های تحت کشت برنج از ۰/۶ تا ۱/۵ کیلوگرم شلتوک به ازاء مصرف هر متر مکعب آب گزارش شده است (Abernethy et al. 2000 به نقل از جعفری و همکاران، ۱۳۸۶). مقدار معمول برای آبیاری مزارع برنج در قاره آسیا ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر است (Chan and Chong 2009). میزان معمول ET مزارع برنج برای فصول مرطوب ۴ تا ۵ میلی‌متر در روز و برای فصول خشک ۶ تا ۷ میلی‌متر در روز می‌باشد، اما می‌تواند بیش از ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر در روز در نواحی نزدیک استوا نیز باشد (Tabbal 2002 به نقل از Chan and Chong 2009). در طول دوره رشد برنج حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از ET را تبخیر شامل می‌شود (Simpson et al. 1992; Bouman et al. 2005 به نقل از Chan and Chong 2009). در جدول (۴-۲) مقادیر تبخیر و تعرق برنج در کشورهای مختلف آمده است.

جدول ۴-۲ - خلاصه‌ای از مقادیر به دست آمده برای تبخیر و تعرق برنج در کشورهای دیگر

منبع	تبخیر و تعرق کل دوره کشت برنج (mm)	تبخیر و تعرق روزانه برنج	محل
Phengphaengsy & Okudaira 2008	----	۳/۲۲	لائوس (Numhom)
	----	۵/۰۳	تایلند (Huay Luang)
	----	۹-۵	نواحی خشک
		۷-۴	نواحی مرطوب
Tomar & O'Toole 1980	----	۴/۴	چین
	----	۹/۸	ویتنام
Milton 1980	۹۱۹	----	کالیفرنیا
Hendrickx et al. 1986	----	۵/۵	غرب آفریقا
Hira 1996	۵۶۶ تا ۷۳۷ بسته به تاریخ کشت	----	پنجاب (پاکستان)

بر خلاف دیگر محصولات، بازده تعرق ($TE = \text{Transpiration Efficiency}$) برای برنج خیلی کم است و با شرایط اقلیمی محیط کشت آن مرتبط است. بازده تعرق عبارت است از کل ماده خشک تولیدی به واحد آب تعرق یافته. این یک ویژگی مهم محصول، خصوصاً وقتی آب در منطقه کم باشد، به حساب می‌آید. TE اغلب به نوع محصول و فشار بخار هوا و کمتر به وارسته، وضعیت آب خاک و تغذیه گیاه وابسته است. بر اساس آزمایش‌های انجام شده در انستیتو بین‌المللی برنج در فیلیپین، TE برنج متغیر از $1/8$ تا $4/7$ گرم ماده خشک به ازاء هر لیتر تعرق، در شرایط مختلف به دست آمده است (بدون احتساب بیوماس ریشه، که باعث ۱۰ درصد فراب‌آورد می‌شود). این مقدار برای دیگر گیاهان دانه‌ای بین $3/1$ تا $6/7$ گرم ماده خشک به ازاء هر لیتر تعرق متغیر است (Haefele et al. 2009). بنابراین برنج گیاهی است که در کشت آن هم تبخیر و هم تعرق زیاد است.

۲-۶-۲- مطالعات نیاز آبی گیاه برنج در سطح ایران

از مجموع $7/8$ میلیون هکتار اراضی فاریاب کشور، $7/4$ درصد به کشت برنج اختصاص یافته، در صورتی که $12/6$ درصد از 83 میلیون متر مکعب آب بخش کشاورزی برای آبیاری شالیزارها به کار می‌رود. سطح زیر کشت این محصول در ایران برابر 560 هزار هکتار، معادل 4 درصد کل جهان است (سالمی و همکاران، ۱۳۸۴). برای به دست آوردن نیاز آبی برنج می‌توان با محاسبه تبخیر و تعرق فصل رشد مقدار آن را محاسبه نمود. ولی برای تعیین نیاز آبیاری، علاوه بر تبخیر و تعرق، میزان از دست رفتن آب در اثر نفوذ در خاک را نیز باید محاسبه نمود.

پیرمردیان و همکاران (۱۳۸۱) تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج را در طول فصل رشد برای منطقه کوشک استان فارس بین $3/76$ تا $9/34$ میلی‌متر اندازه‌گیری نمودند. مقدار ضریب گیاهی در دوره اول فصل رشد حدود $0/97$ ، در مرحله میانی $1/25$ و در هنگام برداشت محصول به حدود $1/09$ به دست آمده است. تبخیر و تعرق کل دوره کشت برای سال‌های 1376 و 1375 در جدول (۲-۵) آمده است. کل نیاز آبی طی این دو سال به ترتیب، 1983 و 2361 میلی‌متر برآورد شده است.

عربزاده (۱۳۸۱)، میزان تولید برنج، گندم و ذرت را به ازاء هر متر مکعب آب ورودی به مزرعه را به ترتیب ۰/۲۵ تا ۰/۶، ۰/۸ تا ۱/۶ و ۳/۹ تا ۱/۶ کیلوگرم اعلام نموده است. در جدول (۲-۵) مقادیر به دست آمده برای تبخیر و تعرق برنج در شهرهای مختلف ایران ذکر شده است. با توجه به این جدول مقادیر مختلفی برای تبخیر و تعرق برنج در نواحی مختلف ذکر شده است که این اختلاف ناشی از شرایط اقلیمی و کشاورزی متفاوت در هر منطقه است.

جدول ۲-۵- مقادیر گزارش شده برای تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایران

محل	تبخیر و تعرق روزانه برنج	تبخیر و تعرق کل دوره کشت برنج (mm)	منبع
گیلان	----	۵۶۰	خوش خواهش، ۱۳۷۶
کوشک (فارس)	۶/۲۷ و ۶/۸ به ترتیب برای سال ۷۶ و ۷۵	۵۶۰ و ۷۵۷ به ترتیب برای سال ۷۵ و ۷۶	پیرمردیان و همکاران، ۱۳۸۱
مازندران	----	۴۹۹	جلالی کوتنایی و همکاران، ۱۳۸۶
آمل (۱۹۷۰ تا ۱۹۹۹)	----	۷۷۰ تا ۸۵۹ برای واریته زود رس و دیررس	مجد و همکاران، ۱۳۸۴
بابلسر (۱۹۷۰ تا ۱۹۹۹)	----	۷۲۰ تا ۱۰۲۱ برای واریته زود رس و دیررس	

۲-۶-۳- مطالعات نیاز آبی گیاه برنج در سطح استان اصفهان

بر اساس مطالعات فرشی و همکاران (۱۳۷۶)، نیاز خالص آب آبیاری جهت تولید ۱۰۰ درصد محصول برنج برای منطقه اصفهان، ۱۵۲۳۰ متر مکعب در هکتار می باشد که نسبت به سایر محصولات زراعی در منطقه خشک و نیمه خشک اصفهان رقم بسیار بالایی می باشد. در جدول (۲-۶) نیاز آبی چند محصول زراعی عمده در منطقه اصفهان آمده است. همچنین نیاز آبی خالص (بدون احتساب راندمان) و عملکرد چند محصول زراعی در طی دوره رشد به صورت جدول (۲-۷) محاسبه گردیده است.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

جدول ۲-۶- آب خالص مورد نیاز و نیاز آب آبیاری (بدون احتساب راندمان) محصولات زراعی بر حسب متر مکعب در هکتار در منطقه اصفهان (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)

نوع محصول	دوره رشد	آب خالص مورد نیاز	آب قابل تأمین از بارندگی
گندم و جو	۲۴۰	۶۸۲۰	۱۰۲
ذرت دانه‌ای	۱۵۰	۷۹۴۰	۸۰
سیب‌زمینی	۱۳۰	۶۵۷۰	۴۱۰
برنج	۱۸۰	۹۱۷۰	۶۰

جدول ۲-۷- آب خالص مورد نیاز و عملکرد محصولات زراعی در منطقه اصفهان (مأمن‌پوش، ۱۳۸۴)

محصول زراعی	برنج	گندم	جو	سیب‌زمینی	ذرت
نیاز آبی خالص (m^3/ha)	۱۴۹۶۰	۹۶۵۰	۵۹۶۰	۹۹۵۰	۸۱۷۰
عملکرد (kg/ha)	۵۴۰۰	۵۶۵۹	۴۹۵۹	۳۷۸۰۰	۴۹۳۰۰

سالمی و عابدی (۱۳۸۴) بر اساس تحقیقی در اصفهان، مقدار تولید شلتوک را به ازاء یک متر مکعب آب، $۰/۴۴$ کیلوگرم گزارش نمودند. در برنج توان تولید به ازای واحد جریان آب ورودی به مزرعه حدود $۰/۶$ تا $۰/۲۵$ گرم بر کیلوگرم است. این مقدار برای گندم $۰/۸$ تا $۱/۶$ و در ذرت $۱/۶$ تا $۳/۹$ گرم بر کیلوگرم می‌باشد. اگر مقدار آب کاربردی در دوره آماده سازی زمین نیز محاسبه گردد توان تولید آب در برنج کمتر نیز می‌شود.

سرحدی و همکاران (۱۳۸۵) کشت محصولاتی چون برنج که دارای نیاز آبی بالایی می‌باشد را برای منطقه غرب اصفهان (محدوده لنجان و فلاورجان) فاقد هرگونه توجیه علمی دانسته‌اند. طی سال زراعی ۸۰-۸۱ سطح زیر کشت برنج در استان اصفهان ۱۳۸۱۵ هکتار و نیاز خالص آبیاری هر هکتار ۱۶۰۰۳ مترمکعب و نیاز خالص آبیاری در سطح استان اصفهان ۲۲۱ میلیون متر مکعب گزارش شده است. این رقم بیشترین مقدار را بین محصولات زراعی و باغی به خود اختصاص داده است (جعفری و همکاران، ۱۳۸۶). متوسط مصرف آب به ازاء هر هکتار زمین کشاورزی در حوضه زاینده‌رود حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب در سال و راندمان آبیاری بین ۳۵ تا ۳۹ درصد است (ضرابی و همکاران، ۱۳۸۶).

نیکویی و زیبایی (۱۳۸۸) با مدلسازی از طریق اعمال محدودیت آبی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصدی نسبت به منابع آب موجود، عملکرد برخی از محصولات و تغییرات سطح زیرکشت آن‌ها را در محدوده چند شبکه زراعی اطراف زاینده‌رود (محدوده ۵ شبکه از ۹ شبکه آبیاری یعنی شبکه‌های آبیاری جرقویه، آبشار راست و چپ، رودشتین و بخشی از شبکه برخوار) را در سال زراعی ۸۵-۸۴ برای ۱۳ محصول مختلف بررسی نمودند. تقریباً ۳۳۰۰ هکتار از مناطق مذکور را برنجکاری تشکیل می‌دهد. همچنین نیاز آبی محصولات توسط نرم‌افزار Crop Wat محاسبه شده است. نتایج این مدلسازی برای کاهش در موجودی منابع آب بر اساس سناریوهای ذکر شده، کاهش سطح زیر کشت برنج را به ترتیب صفر، صفر و ۱۱/۹ درصد پیشنهاد نموده است. ضمن اینکه در هر سه مورد پیشنهاد ۶ درصد کاهش در میزان کل آبیاری برای محصول برنج پیشنهاد شده است.

گزارشات وزارت کشاورزی نشان می‌دهد که هزینه تولید برنج در مرحله آماده‌سازی ۴ برابر هزینه آماده سازی دیگر محصولات زراعی (مانند گندم، جو، سیب‌زمینی و ذرت) و هزینه مراحل کاشت داشت و برداشت آن تقریباً ۳/۵ برابر بیشتر از جو و گندم و ۱/۵ برابر بیشتر از سیب‌زمینی است. از طرفی گندم و جو دارای تاریخ‌های کشت پاییزه و بهاره می‌باشند. در نتیجه با جایگزین کردن کشت-های گندم، جو و سیب‌زمینی با دوره رشد کمتر نسبت به برنج و در شرایطی که اقلیم و میزان آب مورد نیاز آن فراهم است و تبخیر و تعرق کمتر می‌شود، می‌توان مصرف آب و تبخیر و تعرق ناشی از آن را تقلیل داد (مختاری و سلیمانی، ۱۳۸۸).

اکبری و همکاران (۱۳۸۹)، با بررسی اثرات دراز مدت کشت برنج در منطقه زرین‌شهر اصفهان توصیه نمودند در کشت برنج الزاماً از تناوب استفاده شود تا تخریب خاک کمتر صورت گیرد. همچنین بیان نمودند در کشت برنج مقدار EC، Na و Cl نسبت به دیگر کاربری‌ها با شدت بیشتری افزایش می‌یابد. در نهایت با توجه به گرم و خشک بودن استان اصفهان و نیاز آبی زیاد برنج و تخریب خاک در کاربری کشت دراز مدت برنج پیشنهاد نمودند کشت جایگزین این محصول در دستور کار قرار گیرد.

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، می‌توان گفت برنج در بین غلات نیاز آبی بالایی داشته و کشت آن مستلزم وجود منابع قابل اطمینان و کافی آب در هر منطقه می‌باشد. با توجه به شرایط آبیاری غرقابی و دوره کشت منطبق با گرم‌ترین ماه‌های سال با حداکثر پتانسیل تبخیر و تعرق و حداقل بارش، بخش زیادی از منابع محدود آب مصرفی به فرم تبخیر از دسترس خارج شده و سبب کم بودن بهره‌وری آب در کشت این محصول می‌شود. همچنین در مناطق گرم و خشک در درازمدت شور شدن خاک و بیابان‌زایی را در پی دارد. بنابراین لازم است تبخیر و تعرق برنج با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و کشاورزی در هر منطقه محاسبه گردد و متناسب با منابع آب موجود نسبت به کشت آن اقدام شود.

۲-۷- مطالعات هیدرواقليمی و هیدرولوژیکی زاینده‌رود

سعادت و همکاران (۱۳۸۸) با پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی توسط شاخص SPI در استان اصفهان، دریافتند که تناوب وقوع خشکسالی به ویژه در قسمت غرب استان، مدیریت و برنامه‌ریزی جامع‌تری را با نگاه به تغییر الگوی کشت به سمت گیاهانی با نیاز آبی کمتر را خاطر نشان می‌کند. درست برعکس شرایط مذکور، کشت برنج با بیشترین نیاز آبی در قسمتی از این منطقه شامل لنجان و زرین‌شهر رایج است. بر اساس مدل منطقه‌ای گردش عمومی جو (UKMO) پیش‌بینی شده است که دمای هوا در ایران تا سال ۲۰۵۰ به مقدار ۲/۷ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. این امر می‌تواند افزایش نیاز آبی گیاهان را به دنبال داشته باشد (Kocheiki et al. 2006).

داده‌های مربوط به بارش سالانه اصفهان در یک دوره آماری ۵۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۴۰) نشان می‌دهد در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۹ بارش اصفهان از میزان میانگین بیشتر بوده است ولی در سال‌های ۱۳۴۱ و ۱۳۸۷ روند کاهشی را طی کرده و به مقداری کمتر از میانگین نزول کرده است. بررسی انحراف از میانگین در این دوره آماری نشان دهنده ۲۱ سال مرطوب، ۲۳ سال خشکسالی و ۵ سال نرمال می‌باشد (منتظری و شریفی، ۱۳۹۱). با توجه به نقشه‌های دوره برگشت خشکسالی در استان اصفهان،

شهرستان‌های شهرضا، لنجان، زرین‌شهر و میمه کمترین دوره برگشت خشکسالی (۱۰ سال) را دارند که این امر مستلزم اتخاذ راهکارهای مدیریتی لازم در این زمینه است (سلطانی و مدرس، ۱۳۸۵).

تنظیم آب خروجی توسط سد زاینده‌رود بیشتر متناسب با نیاز به آب در فصول مختلف می‌باشد. میزان دبی در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری که بعد از این سد قرار دارند وابسته به میزان آب خروجی از سد و میزان برداشت‌ها می‌باشند. به طوری که در زمستان با کاهش نیاز کشاورزی خروجی سد کاهش و با افزایش مصرف در بهار و تابستان افزایش دبی رخ می‌دهد. طی زمان (۸۲-۱۳۶۰) دبی متوسط سالانه تالاب گاوخونی ۴/۸ مترمکعب در ثانیه برآورد شده که با توجه به نیاز تالاب گاوخونی به دبی متوسط ۹ متر مکعب در ثانیه، این تالاب هر ساله رو به نابودی می‌رود. به عنوان مثال در سال ۸۰-۱۳۷۹ دبی ورودی به تالاب صفر بوده و پس از آن نیز تا کنون چندین بار این اتفاق تأسف برانگیز رخ داده است. به دلیل برداشت تقریباً تمام آب رودخانه تا قبل از ایستگاه ورزنه، میانگین دبی سالانه رودخانه از سال ۷۷-۷۸ در این ایستگاه کمتر از نیم متر مکعب در ثانیه بوده است. بیشینه دبی متوسط، حداقل و حداکثر ایستگاه‌های مورد نظر در این دوره آماری در جدول (۲-۸) آمده است (براتیان، ۱۳۸۵). ایستگاه سد تنظیمی بیانگر جریان خروجی از سد است و ایستگاه ورزنه نشان‌دهنده دبی ورودی به تالاب گاوخونی می‌باشد.

جدول ۲-۸- میزان دبی در چهار ایستگاه هیدرومتری پائین دست سد زاینده‌رود طی ۸۲-۱۳۶۰ (مترمکعب در ثانیه)

ایستگاه	دبی حداقل	دبی حداکثر	دبی متوسط
سد تنظیمی	۱۷/۷	۷۹/۵	۴۵/۷
پل کله	۶/۳	۷۵/۵	۴۲/۷
لنج	۸/۹	۵۴/۷	۲۴/۹
ورزنه	۰	۲۹/۷	۴/۸

مطالعه براتیان (۱۳۸۵) روی رژیم آبدی زاینده‌رود (بر اساس آمار سال‌های ۸۲-۱۳۶۰) نشان می‌دهد از محل خروجی سد تنظیمی تا ایستگاه پل کله برداشت آب از رودخانه با برگشت آب تقریباً

برابر است. ولی روند کاهشی از سال ۷۳-۷۲ به بعد قابل مشاهده است. از ایستگاه پل کله به بعد به دلیل استفاده‌های متناوب و پرحجم از آب رودخانه، برداشت از رودخانه تناسب معناداری با روند آبدهی رودخانه دارد، هرچند که در این روند، همبستگی با نزولات جوی نیز به خوبی قابل مشاهده است. سالمی و جوان (۱۳۸۳) بیان می‌دارند که برداشت آب در حدفاصل پل کله تا نکوآباد (حدود ۳۹ کیلومتر از طول رودخانه) و همچنین آب استخراجی آبیاری در محل سد نکوآباد حدود نصف آب رها شده از مخزن سد است.

مدنی و مارینو (Madani and Marino 2009) با تعیین نوع بازخورد پارامترهای هیدرولیکی، اقتصادی، سیاسی و زیست محیطی بر روی منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه زاینده‌رود به مدلسازی رفتار متغیرهای مختلف در واکنش به ورودی‌های مختلف پرداخته‌اند. بر این اساس؛

- ۱- رفتار متغیرهای مختلف مدل در زیرسیستم‌های سیاسی- اجتماعی و اقتصادی با کم و زیاد شدن آب در همان زمان تغییر زیادی نخواهد کرد.

- ۲- رفتار جمعیت و گراف کل آب مورد نیاز اغلب یکسان است و همبستگی بالایی نشان می‌دهد.

- ۳- حوضه ممکن است کشش خود را در نتیجه کاهش شاخص پایداری از دست بدهد.

- ۴- مدیریت تقاضا در کاهش استخراج آب زیرزمینی و افزایش جریان به سمت گاوخونی واقعاً مؤثر است. تحت اغلب سناریوها بهره برداری از تونل سوم کوه‌رنگ جریان ورودی به گاوخونی را تنها برای یک دوره کوتاه در پی خواهد داشت.

- ۵- در اغلب سناریوها، بدترین نتیجه، جریان ورودی به گاوخونی و همچنین زیاد بودن میزان استخراج آب زیرزمینی که پیامد نامطلوبی برای تالاب و آبخوان به حساب می‌آید، بوده است. ادامه مدیریت حوضه زاینده‌رود به همین شکل (تجارت معمول) می‌تواند ضربه ناگهانی به آن وارد کند. اگر رشد جمعیت و تقاضای آب توأماً کنترل شود، کارایی سیستم به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد و استخراج آبهای زیرزمینی متوقف و گاوخونی دوباره زنده می‌شود. اما متأسفانه مدیران منابع آب اغلب روی تأمین آب بیشتر، بدون مبذول نمودن توجه کافی به محیط زیست تمرکز دارند.

تقریباً دو سوم از آب مورد نیاز حوضه زاینده‌رود که بالغ بر ۳۵۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. با خشکسالی‌های اخیر و کاهش آورد رودخانه، تقاضای آب زیرزمینی افزایش یافته و افت سطح آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های این حوضه مشاهده می‌شود (میرانزاده و مامن پوش، ۱۳۸۵).

مرید و همکاران (Morid et al. 2003)، وضعیت آب زیرزمینی دشت لنجان (با مساحت ۷۱۹ کیلومتر مربع آبخوان) را با تعیین دو سناریو تغییر اقلیم برای سال‌های آینده بررسی نمودند. با توجه به اینکه بخش کشاورزی مصرف کننده اصلی آب در حوضه است (حدود ۸۰ درصد)، پیش بینی شد که در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۳۹ به ترتیب ۷۷ و ۷۲ درصد نیاز کشاورزی قابل تأمین باشد (در صورتی که هیچ گونه منبع جدیدی از دیگر حوضه‌ها منتقل نشود). در نهایت دو اقدام پیشگیرانه برای ارزیابی محصول عنوان شده است. یکی تغییر در سطح کشت حوضه و دیگری تغییر در الگوی کشت. وی با توجه به سطح زیر کشت برنج برابر با ۱۱۲۶۰ هکتار در ناحیه نکوآباد و آب مورد نیاز استخراج شده ۱۷۰۰۰ متر مکعب در هکتار برای آن، آب مورد نیاز را برای سناریوهای تعیین شده در سال‌های ۳۹-۲۰۱۰ برای محصول برنج ۲۰۶/۲۶ و ۱۹۶/۹۷ میلیون متر مکعب به دست آورده است. در صورت جایگزین شدن گندم به جای برنج ۳۳ تا ۴۸ درصد افزایش کالری تولیدی در حوضه را خواهیم داشت، کما اینکه این راهبرد می‌تواند آب مورد نیاز کشاورزی را تا ۱۰ درصد کاهش دهد. همچنین میزان زیادی از جریان برگشتی زمین‌های کشاورزی و حمل آن به سمت رودخانه را ناشی از زهاب ذوب‌آهن دانسته که به منظور کنترل سطح آب زیرزمینی زرین‌شهر وارد یک سری کانال‌های روباز می‌شود. میزان تقریبی این جریان حدود ۱۴۴۰۰ متر مکعب در روز ذکر شده است. رحمانی و مامن-پوش (۱۳۷۵)، این مقدار را ۱۱۷۰۰ متر مکعب در روز ذکر کرده اند.

با توجه به مطالعات مرور شده در بالا، می‌توان دریافت که مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که عمده‌ترین مصرف کننده آب است، می‌تواند در تداوم جریان زاینده‌رود مؤثر باشد. مدیریت مصرف آب در حوضه زاینده‌رود می‌تواند در تقلیل حجم آب انتقالی از حوضه کارون نیز مثر ثمر واقع گردد. با

توجه به اینکه تأمین آب از حوضه‌های مجاور در گذشته پاسخگوی نیازهای روزافزون آب در حوضه زاینده‌رود نبوده است، لذا باید جهت بهینه کردن مصرف خصوصاً در بخش کشاورزی اقدام نمود. در غیر این صورت باید منتظر کاهش تولید کل محصولات و از بین رفتن اراضی حاصلخیزی بود که در اثر نبود آب رها شده و پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی را به دنبال خواهد داشت. از مهمترین راهکارهای ارائه شده می‌توان تغییر به سمت الگوی کشت با حداقل نیاز آبی را عنوان نمود.

فصل سوم

مواد و روش ها



فصل سوم: مواد و روش‌ها

در این فصل روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق (نیاز آبی)، مراحل و داده‌های مورد نیاز بیان می‌گردد. در این تحقیق از چند روش مختلف جهت محاسبه ET_0 استفاده شده و سپس از بین آن‌ها روش مناسب انتخاب گردید. همچنین روش فائو ۵۶ برای تعیین نیاز آبی واقعی گیاه استفاده شد. با استفاده از روش بیلان نیز آب برداشت شده جهت آبیاری مزارع برنج در منطقه تخمین زده شد.

۳-۱- روش‌های غیر مستقیم استفاده شده جهت تخمین تبخیر و تعرق مرجع

۳-۱-۱- روش فائو پنمن - مونتیت (FAO-56 Penman - Monteith)

یکی از روش‌های ترکیبی بوده که از پارامترهای درجه حرارت، رطوبت، باد، تشعشع و شار گرمای خاک (که معمولاً صفر فرض می‌شود) استفاده می‌نماید. در روش فائو پنمن - مونتیت (۱۹۹۸)، گیاه مرجع یک گیاه فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و ضریب تابش ۲۳ درصد بوده که مقاومت روزنه‌های آن در مقابل تعرق 70 s m^{-1} می‌باشد (شبیه گیاه چمن). این روش دارای دو مزیت عمده است. اول اینکه به دلیل فیزیکی بودن رابطه استفاده از آن در هر نقطه از کره زمین امکان‌پذیر بوده و نیازی به واسنجی با استفاده از پارامترهای اضافی ندارد. مزیت دوم، فراگیر بودن این روش و استفاده گسترده از آن در نرم‌افزارهای مختلف و نیز انجام مطالعات گوناگون لایسیمتری جهت صحت سنجی برآوردهای آن در نقاط مختلف جهان می‌باشد (آقاجانلو و طبری، ۱۳۹۰). در ارزیابی خطای این روش بیشترین حساسیت به ترتیب برای متغیرهای اقلیمی فشار بخار، سرعت باد و تشعشع به دست آمده است (Kown and Choi 2011). قابل ذکر است که آلن و همکارانش (Allen et al. 1998) روش پنمن - مانتیت فائو را اصلاح نموده و با عنوان روش استاندارد شده ASCE توسعه دادند.

۳-۱-۲- روش پنمن اصلاح شده فائو (FAO-24 Penman)

فرمول پنمن مرکب از دو عامل تشعشع و آئرودینامیک است. در شرایط آب و هوایی آرام و بدون باد قسمت تشعشع از قسمت آئرودینامیک اهمیت بیشتری می‌یابد. فرمول اولیه پنمن نیز در چنین شرایطی برای تعیین تبخیر از سطح آزاد آب ارائه شد. در مناطق بادخیز اثر باد در تبخیر اهمیت بیشتری یافته و در محاسبه تبخیر و تعرق با این روش خطا به وجود می‌آید. بطور کلی در شرایطی که رطوبت نسبی ماکزیمم حدود ۷۰ درصد و سرعت باد کم باشد این روش تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به خوبی برآورد می‌نماید (Doorenbos and Pruitt 1984 به نقل از زندپارسا و اشک‌تراب، ۱۳۷۵). معادله پنمن بعدها توسط FAO اصلاح گردید، (اثرات باد و رطوبت نسبی به صورت یک ضریب در آن به کار برده شد) و به این نام مشهور شد.

۳-۱-۳- روش هارگریوز - سامانی (Hargreaves - Samani)

این روش به دو پارامتر درجه حرارت و تشعشع (تابش خورشیدی) وابسته است و از داده‌های ۸ ساله لایسیمتری گیاه مرجع چمن در دیویس کالیفرنیا بدست آمده است. این روش برای مواردی که اطلاعات مربوط به تشعشع خورشیدی، رطوبت نسبی و یا سرعت باد موجود نباشند، پیشنهاد شده است. مقایسه این روش در مناطق مختلف از جمله استرالیا، کالیفرنیا، نیوجرسی، هائیتی و بنگلادش نشان می‌دهد این روش از دقت خوبی برخوردار است و در اکثر نقاط احتیاج به کالیبراسیون نیز ندارد (Doorenbos and Pruitt 1977 ؛ Hargreaves and Samani 1985).

۳-۱-۴- روش بلانی - کریدل (Blaney - Criddle FAO-24)

این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تخمین تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد، که بعداً توسط پرویت، از اساتید دانشگاه کالیفرنیا، مورد واسنجی قرار گرفت. این روش از آمارهای اندازه‌گیری شده درجه حرارت، رطوبت، باد و آفتاب استفاده می‌نماید. این معادله جهت تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع

چمن ارائه گردید (Doorenbos and Pruitt 1977). توصیه شده است در مناطق ساحلی و با رطوبت بالا از روش بلانی-کریدل استفاده نشود (انتصاری و همکاران، ۱۳۷۵).

۳-۱-۵- روش تشتک تبخیر فائو (Pan Evaporation FAO-24)

این روش به عنوان یک روش ساده و مناسب جهت برآورد ET_0 معرفی شده است. در ایستگاه‌های هواشناسی معمولاً از تشتک استاندارد کلاس A استفاده می‌شود. ET_0 از حاصل ضرب مقدار تبخیر از تشتک در ضریب تشتک تبخیر (K_p) بدست می‌آید. ضریب تشتک به موقعیت قرارگیری آن و شرایط آب و هوایی بستگی دارد (Doorenbos and Pruitt 1977; Allen et al. 1998).

۳-۲- مراحل محاسبه ET_0 در منطقه مورد مطالعه

۳-۲-۱- انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی

ابتدا ایستگاه‌های هواشناسی که در برگیرنده عمده‌ترین نواحی کشت برنج در منطقه می‌باشند انتخاب شد. از بین ایستگاه‌های سینوپتیک اصفهان، نجف آباد، داران، زرین‌شهر، مبارکه و فریدون شهر، ایستگاه‌های زرین‌شهر و مبارکه بهترین موقعیت را دارا هستند. همچنین از بین ایستگاه‌های تبخیر سنجی، ایستگاه زفره فلاورجان انتخاب گردید. موقعیت مکانی آن‌ها در جدول (۳-۱) آمده است. هدف از انتخاب این ایستگاه‌ها استفاده از ET_0 به دست آمده برای تعیین نیاز آبی گیاهان مزروعی رایج در این منطقه (خصوصاً برنج) است. به این منظور از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک زرین-شهر (تأسیس؛ مهر ۱۳۸۳) و مبارکه (تأسیس؛ دی ۱۳۸۶) مربوط به سال ۲۰۱۰ شامل دمای ماکزیمم و مینیمم، رطوبت ماکزیمم و مینیمم، سرعت باد، تبخیر از تشتک و ساعات آفتابی استفاده گردید. آمار ایستگاه تبخیر سنجی فلاورجان در همین دوره زمانی، شامل موارد ذکر شده به جز ساعات آفتابی می‌باشد. آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک از اداره کل هواشناسی اصفهان و آمار ایستگاه تبخیر سنجی فلاورجان از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان اخذ گردید.

جدول ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از دریا
زرین‌شهر	سینوپتیک	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۳۷'	۱۶۸۰
فلاورجان	تبخیرسنجی	۵۱° ۲۹'	۳۲° ۳۰'	۱۶۴۸
مبارکه	سینوپتیک	۵۱° ۲۷'	۳۲° ۲۱'	۱۶۸۰

۳-۲-۲- کمیت و کیفیت داده‌های هواشناسی

همه داده‌های روزانه مربوط به پارامترهای دمای ماکزیمم و مینیمم، رطوبت ماکزیمم و مینیمم و بارش در هر سه ایستگاه تکمیل بود. داده‌های تبخیر از تشتک در ایستگاه‌های سینوپتیک ناقص بوده و اندازه‌گیری‌ها در مواقع سرد سال (حدود ۴ ماه) به دلیل مشکلات ناشی از یخبندان انجام نشده است. این داده‌ها در ایستگاه تبخیرسنجی فلاورجان تکمیل بوده و روزهای یخبندان در آن مشخص است. تبخیر از تشتک در روزهای یخبندان ناچیز است و معمولاً صفر فرض می‌شود. به دلیل نبود آمار ساعات آفتابی در ایستگاه تبخیرسنجی فلاورجان، در انجام محاسبات داده‌های مربوط به ایستگاه همجوار (زرین‌شهر) لحاظ گردید. با توجه به تعداد زیاد داده‌ها، متوسط سالانه آمار هواشناسی در جدول (۳-۲) آمده است. جهت انجام مقایسه بهتر در مورد میزان تبخیر از تشتک، مقدار آن از ۱۸ مارس تا ۱۵ نوامبر که آمار در هر سه ایستگاه تکمیل بود، در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳-۲- مشخصات اقلیمی ثبت شده در هر ایستگاه در سال ۲۰۱۰

پارامترهای هواشناسی	زرین‌شهر	مبارکه	فلاورجان
متوسط دما (°C)	۱۵/۹	۱۵/۳	۱۶/۲۳
حداقل مطلق دما (°C)	-۱۱	-۱۱/۸	-۷/۴
حداکثر مطلق دما (°C)	۴۱/۶	۴۰/۶	۴۰/۲
متوسط حداکثر دما (°C)	۲۵/۵	۲۵/۳	۲۵/۷
متوسط حداقل دما (°C)	۸	۷/۱	۶/۷
حداقل مطلق رطوبت (%)	۶	۴	۱۳
حداکثر مطلق رطوبت (%)	۹۷	۱۰۰	۹۷
متوسط حداقل رطوبت (%)	۲۲/۵	۲۰	۳۴/۵۶

ادامه جدول ۳-۲- مشخصات اقلیمی ثبت شده در هر ایستگاه در سال ۲۰۱۰			
متوسط حداکثر رطوبت (/.)	۵۷/۷۶	۵۸/۷	۶۵/۲۵
متوسط رطوبت (/.)	۳۸/۷	۳۹/۴	۴۹/۹
متوسط سرعت باد (m/s)	۱/۷۸	۱/۵۶	۰/۴۴
تبخیر از تشتک (mm)	۱۹۰۷	۱۸۷۷	۱۵۲۱
کل ساعت‌های آفتابی	۳۲۷۵	۳۴۰۷	---
بارش (mm)	۱۰۸/۲	۱۰۶/۶	۹۷

۳-۲-۳- محاسبه ET_0 با نرم‌افزار Ref-ET

در این مطالعه محاسبات تبخیر و تعرق مرجع با نسخه جدید نرم‌افزار Ref-ET, v 3.1 انجام گردید. از بین روش‌های متعددی که این نرم‌افزار قادر به محاسبه ET_0 می‌باشد، روش‌های ذکر شده انتخاب گردید. در ابتدا داده‌های هواشناسی روزانه مربوط به هر ایستگاه به صورت جداول منظم در نرم‌افزار Excel ذخیره شد. سپس به عنوان فایل داده‌ها (Data file) به نرم‌افزار معرفی شد (شکل ۳-۱).

Data file Name is: datafile Fe 2010.txt
Definition File defin fe 2010.def

Para	beg	end	The following lists
No.	ID	col	col
7	19	*	Min. Rel. Humidity, % (daily or h
8	37	*	Pan Evaporation, mm/day
9	56	*	Precipitation, mm
10	66	*	Sunshine Hours (daily)
11	321	*	Ave. Wind Speed, knots
12			
13			
14			
15			

Parameter Identifiers for the Data
 (Double Click on Item below to Insert Item into the Line highlighted in the Box to the Left)

- 27: Dry Bulb Temperature, F
- 28: Ave. Wind Speed, km/day
- 29: Ave. Wind Speed, m/s
- 30: Ave. Wind Speed, m/day
- 31: Ave. Wind Speed, km/hr
- 32: Ave. Wind Speed, mi/hr
- 321: Ave. Wind Speed, knots
- 33: DayTime (7am-7pm) Wind, km/h
- 34: DayTime (7am-7pm) Wind, m/s
- 35: DayTime (7am-7pm) Wind, mi/h
- 36: Day/Night Wind Ratio, decimal
- 37: Pan Evaporation, mm/day
- 38: Pan Evaporation, in/day

Note: You can leave column numbers blank or use "*" (default) when the data are separated by blanks, commas or tabs

The table below displays several lines of the data file for your reference. A "bar" symbol indicates a tab

1	2	3	4	5	6	7	8
12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890
yearmonth Mday MT	(max)T(min)e(max)	e(min)Evaporrainfa	11sunshin-zrwind-z	r(knot)			
20101115.2-288	460.904.74.67						
20101216-28447	0.908.80						
20101315.6-1.89	5441.308.62						
20101417.4-2.69	1480.909.34.67						

Data Delimiters
 Select the characters (besides a space) used to delimit data columns (i.e. tabs, commas, slashes.
☒ Tab ☒ Comma (,) ☐ Decimal (.) ☐ Slash (/) ☐ Vert.Slash (|) ☐ Colon (:)
 (usually only tab and comma are needed (besides space))
 Treat two back-to-back delimiters as one? ☐ Yes ☒ No
 (multiple spaces are always treated as a single delimiter)
 Are data in the European system where the comma is the decimal? ☐ Yes ☒ No

Insert New ID Line Delete ID Line Back Exit Cancel Continue

شکل ۳-۱- صفحه مربوط به معرفی داده‌ها به نرم‌افزار Ref-ET

در شکل (۳-۱) پارامتر مربوط به هر ستون در فایل معرفی شده به نرم افزار که شامل ۱۱ ستون از داده‌های مختلف می‌باشد، برای نرم‌افزار تعریف می‌گردد. در این قسمت واحد مربوط به هر کمیت نیز معرفی می‌گردد. سپس فایل تعریفی (Definition) که فرمت و دستور استفاده از داده‌ها و نوع واحد-های اندازه‌گیری را مشخص می‌کند، تعیین گردید. این فایل همچنین شامل ارتفاع بادسنج و دماسنج، ارتفاع ایستگاه از سطح دریا، عرض جغرافیایی ایستگاه، نسبت سرعت باد روز به شب و همچنین معادلات مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق است. در شکل (۳-۲) مرحله‌ای که توصیف ایستگاه هواشناسی به نرم‌افزار معرفی می‌گردد نشان داده شده است.

ET Description of the Weather Station and Data File

REF-ET
Label4

The anemometer height is: meters (32.8) ft

The temperature/RH height is: meters (4.9) ft

The weather station elevation is: meters (5406.8) ft

The weather station latitude is: degrees (- for Southern)

(Parameters within this box are Required only for Hourly or shorter time period data)

The weather station longitude is: degrees** W (E or W**)

Center of time zone longitude is: degrees** W (E or W**) ← (Hint:

(The time zone longitude must be in multiples of 15 degrees)

The default Day/Night wind ratio is: (2 if unknown*)

The weather site vegetation height: m (0 if same as ref. or as ht. specified in the data file)

The green fetch on the Class A Pan: m (1000 if unknown*)

Initial Lines of the Data file to be skipped: Code for missing data (e.g. -999)

Description of the station and data (No more than 1000 characters)

Felavarjan 2010

How "hourly" time stamps are defined

☒ Time represents time at the end of the period (most common and the default)

☐ Time represents time at the start of the period (uncommon)

☐ Time represents time at the center of the period (uncommon)

☐ For "hourly" data in U.S.A., Daylight Savings Time is Observed in Data Set (check if true)

Note: For daily time steps, REF-ET presumes that the data represent the period from midnight to midnight.

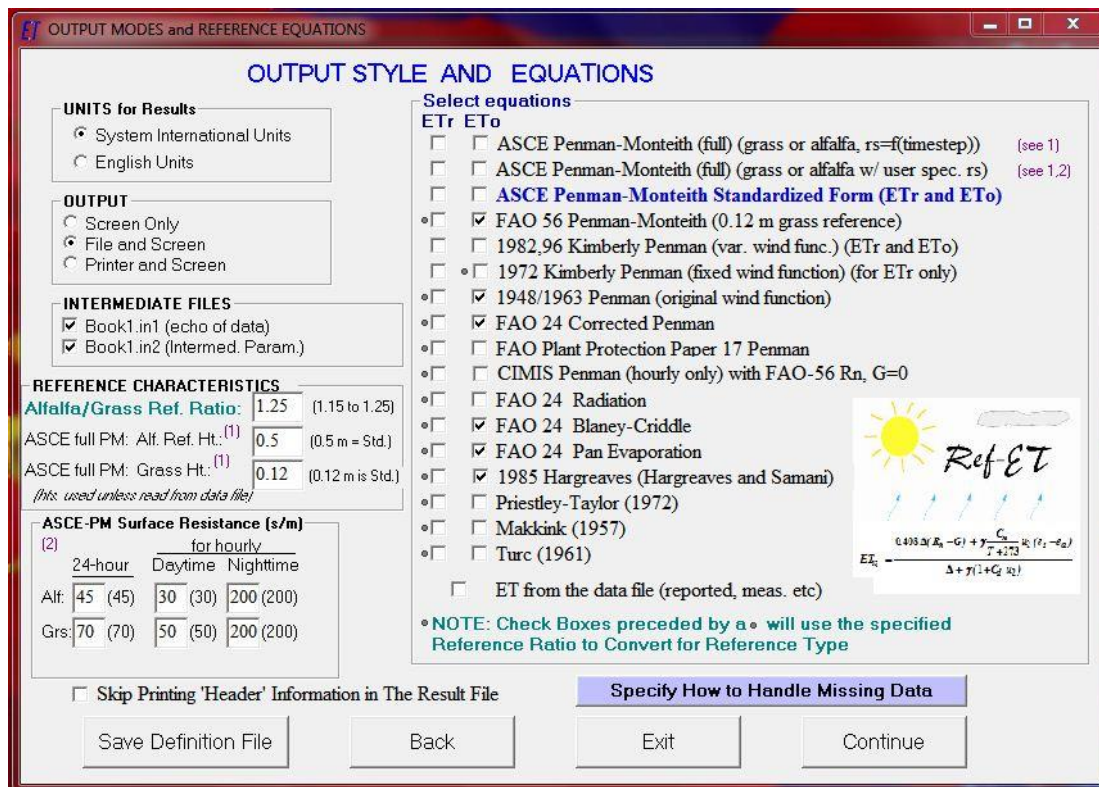
***Hourly* data applies to any timestep shorter than 24 hours.**

Note: Data marked with * are required only for FAO-24 Eqns. **Req. only for ~hourly data.

Back Cancel Exit Continue

شکل ۳-۲- توصیف داده‌ها و ایستگاه‌های هواشناسی

بعد از ایجاد فایل تعریفی، روش‌های محاسباتی مورد نظر تعیین می‌گردد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳- انتخاب روش‌های محاسباتی

سرانجام در فایل خروجی، ET_0 روزانه برای روش‌های منتخب به دست آمد.

۳-۳- روش‌های اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه

نیاز آبی گیاه (Crop Water Requirement) شامل مجموع مقادیر تبخیر از سطح زمین، تعرق گیاه، فروشست و نفوذ در طول دوره رشد گیاه می‌باشد. نیاز آبی گیاه (ET_c) را می‌توان با روش‌های مستقیم یا محاسباتی به دست آورد.

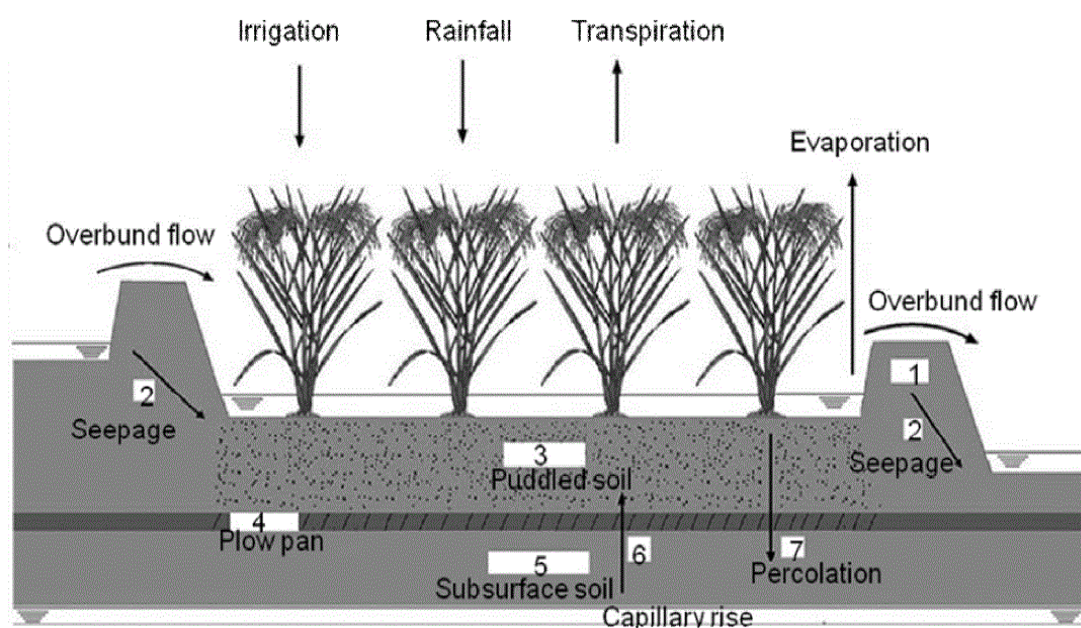
۳-۳-۱- روش‌های مستقیم اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه

چندین روش برای اندازه‌گیری مستقیم نیاز آبی گیاه وجود دارد که در زیر به هر یک اشاره می‌شود.

الف- اندازه‌گیری افت عمق آب مزرعه: با اندازه‌گیری افت ارتفاع آب در مزرعه میزان آب مصرفی به دست می‌آید. بدیهی است که مقدار به دست آمده به این روش مجموع تبخیر و تعرق و نفوذ را شامل می‌شود. لذا اگر میزان تبخیر و تعرق را از آن کم کنیم میزان نفوذ به دست می‌آید.

ب- لایسیمتر: مخزنی است که در داخل مزرعه و در عمقی از خاک استقرار یافته و کشت به صورت یکنواخت روی آن انجام می‌شود. لایسیمترها از نظر طرز کار به دو نوع وزنی و غیر وزنی (زهکش‌دار) تقسیم می‌شوند. در همه آن‌ها اساس اندازه‌گیری تبخیر و تعرق، رابطه بیلان می‌باشد. به همین منظور در نوع زهکش‌دار، آب آبیاری و همچنین بارندگی مرتباً اندازه‌گیری می‌گردد (ستار، ۱۳۷۷).

ج- بیلان هیدرولیکی: بیلان آب را می‌توان با در نظر گرفتن جریان‌های ورودی و خروجی تعیین نمود. جریان‌های ورودی شامل آبیاری و باران و خروجی شامل تعرق، تبخیر، نفوذ افقی (Seepage)، رواناب خروجی (Overbund flow) و نفوذ عمقی (Percolation) می‌باشد. از میان تمام آب‌های خروجی تنها آب تعرق یافته آب بارور و مفید محسوب می‌شود (Chan and Chong 2009). در شکل (۳-۴) شکلی شماتیک از پارامترهای مؤثر در بیلان یک مزرعه برنج معرفی شده است.



شکل ۳-۴- بیلان آب در مزارع برنج (Chan and Chong 2001)

این روش وقتی قابل استفاده است که آب ورودی و خروجی مزرعه قابل اندازه‌گیری باشد. در چنین موردی همبستگی زیر وجود خواهد داشت (فلاح، ۱۳۵۴).

$$I_s + I_g + R = S + ET + P_v + P_h + O_s \quad (\text{رابطه ۱-۳})$$

در این رابطه، I_s آب ورودی از طریق آبیاری، I_g آب ورودی از طریق آب زیرزمینی، R بارندگی، S تغییرات رطوبت، ET تبخیر و تعرق، P_v نفوذ عمقی، P_h نفوذ افقی و O_s رواناب خروجی است. I_s و O_s را می‌توان با پارشال فلوم یا سرریز اندازه‌گیری نمود. لذا مجموع ET ، P_v ، P_h به دست می‌آید. نفوذ افقی را می‌توان با مقایسه کردن اتلاف آب در مزارع بدون مانع با مزارع آب‌بندی شده به دست آورد. مزرعه آزمایشی باید بین چند مزرعه شالیزاری واقع شده باشد. این موضوع به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک و یا در دوره‌های خشکی هوا جهت به حداقل رساندن اختلاف درجه حرارت و شیب رطوبتی بین اراضی آبیاری شده و اراضی خشک، حائز اهمیت است.

۳-۲-۳- روش محاسباتی تعیین نیاز آبی گیاه (روش فائو ۵۶)

در روش محاسباتی نیاز آبی گیاه از طریق حاصل ضرب مقدار تبخیر و تعرق مرجع در ضریب گیاهی (K_c) تخمین زده می‌شود. ضریب گیاهی را می‌توان در قالب ضریب گیاهی منفرد (Single Crop Coefficient) یا ضریب گیاهی دوگانه (Dual Crop Coefficient) بیان نمود. در ضریب گیاهی منفرد تأثیر تعرق گیاه و تبخیر از خاک ترکیب شده (رابطه ۲-۳)، در صورتی که در ضریب گیاهی دوگانه تأثیر تعرق گیاه و تبخیر از خاک به صورت دو ضریب جداگانه به نام‌های ضریب گیاهی پایه برای تعرق گیاه (K_{cb}) و ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e) مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۳-۳). محاسبه ET_C گیاهان مختلف با استفاده از ضریب گیاهی دوگانه، از رابطه (۴-۳) صورت می‌گیرد.

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (\text{رابطه ۲-۳})$$

$$K_C = K_{cb} + K_e \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

$$ET_C = (K_{cb} + K_e) ET_0 \quad (\text{رابطه ۴-۳})$$

بیشترین تأثیرات آب و هوایی در محاسبه ET_0 گنجانده شده است. بنابراین ضریب گیاهی (K_C) اغلب با خصوصیات ویژه گیاهی در یک دوره تغییر می‌کند، ولی نباید از نظر دور داشت که ضریب گیاهی به شرایط آب و هوایی نیز بستگی دارد. ضریب گیاهی اثر مشخصه‌هایی که یک مزرعه غیر مرجع را از یک مزرعه مرجع که در آن زمین کاملاً پوشیده شده و وضع ظاهری آن ثابت است، متمایز می‌کند. ضریب گیاهی بستگی به عواملی مانند نوع گیاه، اقلیم، تبخیر از سطح خاک و مرحله رشد گیاه دارد. این ضریب یک مقدار ثابت نبوده و مقدار آن در طول دوره رویش گیاه تغییر می‌کند. بر اساس تقسیم‌بندی مراحل رشد به شرح زیر ضریب گیاهی برای هر مرحله تعیین می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۶):

- مرحله آغازین (Initial Stage): از زمان کاشت تا زمانی که گیاه ۱۰٪ سطح زمین را می‌پوشاند.
- مرحله توسعه گیاه (Crop Development Stage): این مرحله از پوشش ۱۰٪ شروع شده، و تا زمان پوشش موثر کامل (زمان پیدایش گل یا هنگامی که گیاه به اندازه نهایی خود نزدیک شود، یا در اثر تداخل برگ‌ها سایه‌اندازی خاک کامل شود)، ادامه دارد.
- مرحله میانی (Mid-Season Stage): این مرحله از پوشش کاملاً موثر شروع شده، و تا رسیدن محصول (زرد شدن و پلاسیده شدن و افتادن برگ)، ادامه می‌یابد.
- مرحله پایانی (Late Season Stage): این مرحله از انتهای مرحله میانی (رسیدگی محصول) شروع شده، و تا مرحله برداشت گیاه یا پلاسیدگی آن ادامه می‌یابد.

ضریب تبخیر (K_e) بیانگر میزان تبخیر از سطح خاک در زمان مرطوب بودن آن می‌باشد. با خشک شدن خاک به تدریج ضریب تبخیر کاهش یافته، و با تخلیه کل آب موجود در لایه سطحی خاک به صفر می‌رسد. به دنبال یک بارندگی یا آبیاری مجدد خاک خیس شده و مقدار K_e به حداکثر مقدار خود می‌رسد. با این وجود K_C نمی‌تواند از یک مقدار ماکزیمم (K_{Cmax}) تجاوز نماید. این مقدار ماکزیمم به وسیله انرژی در دسترس برای تبخیر و تعرق گیاه در سطح خاک تعیین می‌شود. هنگامی که از گیاه مرجع چمن استفاده می‌شود، مقدار K_{Cmax} بین ۱/۰۵ تا ۱/۳ متغیر می‌باشد. ضریب

گیاهی پایه (K_{cb})، نسبت ET_C به ET_0 است، هنگامی که لایه سطح خاک متراکم و خشک بوده، ولی ظرفیت نگهداری میانگین آب خاک در ناحیه ریشه برای تعرق گیاه کافی می‌باشد.

در این تحقیق از روش ضریب گیاهی دوگانه (Allen et al. 1998) جهت محاسبات نیاز آبی استفاده شده است. ضریب گیاهی دوگانه نیاز به محاسبات عددی بیشتری نسبت به ضریب گیاهی منفرد دارد و از آن می‌توان برای تعیین زمان واقعی آبیاری و توازن آب خاک استفاده نمود.

در مواردی که شرایط غیر استاندارد در مزرعه حاکم باشد (مانند وجود شرایط شوری، بیماری‌ها و آفات، کمبود رطوبت، هجوم علف‌های هرز یا عدم حاصلخیزی) تبخیر و تعرق گیاه (ET_C) با اعمال یک ضریب اصلاحی تحت عنوان ضریب تنش (K_s) تصحیح می‌گردد. زیرا این شرایط باعث کاهش جذب آب شده و تبخیر و تعرق گیاه را محدود می‌سازد. در شرایط استاندارد فرض می‌شود هیچ محدودیتی در طول دوره رشد گیاه وجود ندارد. از بین عوامل مختلف که باعث کاهش میزان تبخیر و تعرق گیاه می‌گردند، تنش آبی (Water Stress) که همان کمبود آب می‌باشد، اهمیت بیشتری دارد. در مواردی که تنش رطوبتی وجود نداشته باشد K_s برابر یک، و در مواردی که شرایط محدود کننده‌ای از نظر رطوبت خاک وجود داشته باشد K_s کمتر از یک خواهد بود. با توجه به غرقاب بودن زمین در طی دوره کشت برنج و حاصلخیزی زمین در منطقه مورد مطالعه، تنش رطوبتی معمولاً وجود ندارد و K_s در این تحقیق یک فرض شده است (شرایط استاندارد).

۳-۴- داده‌های مورد نیاز برای محاسبات تبخیر و تعرق گیاه

داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه نیاز آبی گیاه شامل داده‌های هواشناسی، داده‌های مربوط به نوع گیاه و شرایط خاک است که به صورت جداگانه در ادامه بررسی شده است.

۳-۴-۱- پارامترهای هواشناسی

آمار روزانه محاسبات تبخیر و تعرق گیاه، شامل دمای ماکزیمم روزانه، سرعت باد، دمای نقطه شبنم، تبخیر و تعرق مرجع روزانه و بارش مربوط به دوره کشت محصول می‌باشد.

۳-۴-۲- پارامترهای گیاهی

الف- طول مراحل مختلف رشد: با توجه به دوره کشت برنج در منطقه که از اواسط اردیبهشت تا اوایل مهر ماه است، طول کل دوره ۱۴۴ روز از زمان کاشت در خزانه در نظر گرفته شد. طول دوره کشت از زمان خزانه‌گیری بین ۱۳۵ تا ۱۵۵ روز می‌باشد که برای محاسبات ۱۴۴ روز در نظر گرفته شد که ۴۰ روز به مرحله آغازین رشد (خزانه)، ۳۰ روز به مرحله توسعه، ۴۴ روز به مرحله میانی و ۳۰ روز به مرحله پایانی اختصاص دارد.

ب- ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب گیاهی حداقل (K_{cmin}): ضریب گیاهی پایه برای مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۱، ۱/۱۵ و ۰/۷ در نظر گرفته شد. ضریب گیاهی حداقل نیز برای خاک خشک و بدون پوشش، ۰/۱۵ در نظر گرفته شد (Allen et al. ۱۹۹۸).

ج- حداکثر ارتفاع گیاه ($Max.Ht$): این پارامتر به صورت مستقیم در پایان فصل رشد در مزرعه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در ۲۰ نقطه مختلف، طول گیاه برنج را بین ۱۱۰ تا ۱۳۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد که مقدار متوسط آن یعنی ۱۲۰ سانتی‌متر در محاسبات لحاظ شد. این رقم ۲۰ سانتی‌متر بیشتر از مقدار پیشنهادی فائو (Allen et al. ۱۹۹۸) است.

د- بخشی از سطح خاک خیس شده توسط آبیاری (f_w): مقدار این پارامتر به نوع آبیاری بستگی دارد. با توجه به غرقابی بودن آبیاری در کرت‌ها این عدد حداکثر، یعنی ۱ می‌باشد.

ه- عمق مؤثر زون ریشه در مرحله ابتدایی کاشت ($Root_{min}$) و حداکثر عمق مؤثر ریشه در دوره میانی رشد ($Root_{max}$): عمق مؤثر ریشه در مرحله ابتدایی رشد (بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ متر) مقدار ۰/۲ متر و بیشینه آن در فصل میانی (۰/۵ تا ۱ متر) ۰/۷۵ متر لحاظ گردید (Allen et al. ۱۹۹۸).

۳-۴-۳- پارامترهای وابسته به بافت خاک

انجام محاسبات تبخیر و تعرق گیاه برنج با روش فائو ۵۶ علاوه بر اطلاعاتی در مورد گیاه و اقلیم، نیازمند آگاهی از بافت خاک منطقه می‌باشد. پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه که مرتبط با بافت خاک است شامل موارد زیر است.

الف- کل آب قابل تبخیر ($\text{Total Evaporable Water} = \text{TEW}$): بیانگر حداکثر عمق آبی است که اگر سطح خاک در ابتدا کاملاً مرطوب باشد می‌تواند تبخیر شود. مقدار آن بسته به بافت خاک بین ۵ تا ۲۹ میلی‌متر است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶، Allen et al. ۱۹۹۸).

ب- آب قابل دسترس برای تبخیر ($\text{Readily Evaporable Water} = \text{REW}$): این پارامتر در واقع نشان دهنده حداکثر عمق آبی است که از لایه بالایی خاک می‌تواند به سهولت و بدون محدودیت تبخیر شود. مقدار آن بسته به بافت خاک بین ۲ تا ۱۲ میلی‌متر است.

ج- مقدار آب موجود (Available Water): که همان رطوبت اولیه خاک می‌باشد. در نهایت نیاز آبی در یک منطقه مزروعی با ضرب کردن واحد نیاز آبی در کل سطح زراعی با احتساب اتلاف‌های انتقال آب و اتلاف در سیستم‌های آبیاری به دست می‌آید. نظر به اینکه احتیاج آبی هر کدام از مزارع در داخل پروژه تفاوت‌های قابل توجهی دارد و از طرف دیگر چون می‌توان از آب نفوذ کرده یا زهکشی شده در مزارع همجوار استفاده کرد، توازن آب در سطح منطقه ضروری است. این امر مستلزم آن است که حداقل میزان آب ورودی و خروجی در سیستم مشخص باشد. همچنین از اهمیت راندمان آبیاری که عامل مهمی در تعیین احتیاجات آبی منطقه است نباید غافل بود.

۳-۵- نیاز آبی آماده‌سازی زمین

عمل گل آب کردن در مرحله آماده‌سازی زمین احتیاج به مقدار قابل ملاحظه‌ای آب دارد که از ۶۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر متغیر است. معمولاً این عمل ۳ تا ۱۰ روز بسته به در دسترس بودن آب و کارگر به طول می‌انجامد. نیاز آبی عمل گل‌خراشی شامل مجموع پارامترهای عمق آب پس از به هم زدن (حدود ۵ سانتی‌متر تا ۱۵ سانتی‌متر)، آب لازم جهت اشباع شدن خاک (اختلاف رطوبت خاک قبل و بعد از گل‌خراشی که معمولاً حدود ۳ درصد آن پر نشده و در خاک باقی می‌ماند)، تبخیر هنگام انجام عملیات، نفوذ عمقی و افقی (بر حسب نفوذپذیری خاک، سطح آب زیرزمینی، ارتفاع هیدرولیکی و زمان لازم برای به هم زدن متغیر است) می‌باشد.

روش‌های تعیین نیاز آبی پادلینگ (Q) عبارتند از اندازه‌گیری مستقیم آب ورودی به مزرعه و روش تخمین زدن که با اندازه‌گیری ضخامت خاک (T)، نسبت رطوبت خاک که باید اشباع شود (V) و عمق غرقاب پس از گلخراشی (D)، می‌توان آن را با استفاده از فرمول زیر تخمین زد (فلاح، ۱۳۵۴).

$$Q = (T \times V) + D \quad (\text{رابطه ۳-۵})$$

همه پارامترها به جز V با واحد سانتی‌متر به کار می‌رود. فاکتورهای T و V را باید هم برای خاک رویی و هم برای خاک زیرین به دست آورد ولی معمولاً ارقام قراردادی و ثابت به کار می‌رود. اغلب به جای نسبت رطوبت پارامتر تخلخل (به درصد) به کار می‌رود. نیاز آبی دوره آماده‌سازی زمین را می‌توان به طریق زیر محاسبه نمود (فلاح، ۱۳۵۴).

$$W.P = \{ AS + Ad (n-1) / 2 \} \times 10 \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

در این رابطه W.P نیاز آبی در طول دوره گلخراشی بر حسب متر مکعب، n تعداد روزهای عملیات، S احتیاج آبی گلخراشی بر حسب میلی‌متر، d نیاز آبی واحد (تبخیر + نفوذ) بر حسب میلی‌متر بر روز و A سطح مزرعه بر حسب هکتار است. ماکزیمم نیاز آبی با تسریع دوره گلخراشی با استفاده از ماشین-آلات کشاورزی کاهش می‌یابد.

۳-۶- نفوذ در شالیزار

نفوذ در شالیزار به صورت افقی و عمودی صورت می‌گیرد. نفوذ افقی معمولاً در مزارعی که در ارتفاع قابل توجهی قرار دارند و یا در مزارعی که دارای بافت سنگین و سخت لایه کامل هستند دیده می‌شود. قسمت عمده این آب را می‌توان در مزارع همجوار مصرف و یا به سیستم آبیاری برگشت داد. گاهی هم در اثر زهکش‌های طبیعی مثل رودخانه وارد جریان آب سطحی می‌شود. نفوذ عمودی در مزارعی که فاقد سخت لایه و یا طبقات تحتانی خاک نفوذپذیر باشد دیده می‌شود. نفوذ آب در زمین دارای محاسنی از قبیل آبشویی مواد سمی ایجاد شده تحت شرایط حیائی در خاک می‌باشد. اما اگر

نفوذ زیاد باشد موجب آبشویی مواد مغذی خاک، کاهش درجه حرارت آب و خاک و نتیجه معکوس بر رشد محصول به ویژه در مناطق سرد و معتدل می‌گذارد.

روش‌های عملی در کاهش نفوذ اضافی عبارتند از عمل گل‌خرابی، ایجاد لویه‌های غیرقابل نفوذ با استفاده از رس، بتون و بنتونیت، متراکم کردن خاک زیرین، خاک دهی که در شالیزارهای دارای بافت شنی انجام می‌شود و توسط گل آلود کردن آب آبیاری صورت می‌گیرد (۵ درصد وزنی رس در آب). بررسی‌های انجام شده در ژاپن در مورد تأثیر عمل گل‌خرابی بر نفوذ به شرح جدول (۳-۳) است.

جدول ۳-۳- رابطه بین تعداد دفعات به هم زدن خاک و آب و نفوذ

تعداد عمل پادلینگ	متوسط نفوذ روزانه (cm)	
	۵ روز پس از پادلینگ	۱۰ تا ۱۵ روز پس از پادلینگ
۰	۰/۹	۰/۶
۲	۰/۴	۰/۵
۱۰	۰/۲	۰/۲

مطالعاتی که در مورد اختلاف اتلاف آب از طریق نفوذ بین خاک‌های گل‌خراب شده و گرانوله به عمل آمده نشان داده است که در خاک‌های گرانوله تقریباً یک سوم آب از طریق نفوذ و دو سوم بقیه از طریق تبخیر (در ۷ روز) مصرف شده در حالی که در خاک گل‌خراب شده به طور متوسط یک دهم آب از طریق نفوذ و بقیه از طریق تبخیر از دست رفته است (فلاح، ۱۳۵۴).

۳-۷- زهکشی در شالیزار

زهکشی (Drainage) و خشک کردن (Drying) گاهی اوقات به صورت مترادف در برنجکاری بکار رفته‌اند. در حالی که زهکشی یعنی انتقال آب به طور مصنوعی و خشک کردن یعنی خشک شدن آب در اثر نفوذ و تبخیر و تعرق. سامانه‌های زهکشی مختلفی طراحی شده‌اند که شامل زهکشی سطحی-کم عمق و سطحی-عمیق است. در مواردی چون تخلیه آب از شالیزار قبل از برداشت، زهکشی در

دوره رشد و جلوگیری از صدمات غرقاب برای انتقال آب اضافی از سطح خاک از سامانه زهکشی سطحی - کم عمق استفاده می‌شود. در مواردی مثل تسریع در انتقال آب جهت بهبود شرایط خاک زیرین، پایین بردن سطح آب زیرزمینی برای محصولات غیر از برنج، آبشویی املاح از زیر پروفیل خاک (در موارد اصلاح خاک)، ادغام سامانه زهکشی سطحی - عمیق با زهکشی سطحی - کم عمق ضروری است (فلاح، ۱۳۵۴). در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بیشتر از روش خشک کردن با کنترل آبیاری یا زهکشی سطحی - کم عمق اقدام به دفع آب مازاد می‌کنند.

۳-۸- آبیاری و مدیریت آب در شالیزار

اصولاً دو نوع مدیریت در امر آبیاری برنج وجود دارد: یکی غرقاب دائم و دیگری غرقاب متناوب. غرقاب دائم رایج‌تر بوده در حالی که غرقاب متناوب وقتی انجام می‌گیرد که منبع آب کافی نبوده یا وضعیت حاصلخیزی خاک خشک شدن دوره‌ای را ایجاب می‌نماید (فلاح، ۱۳۵۴).

الف- آبیاری غرقاب دائم: در شالیزارها معمولاً آبیاری به این روش صورت می‌گیرد زیرا تهیه سیستم‌های مناسب آبیاری و کنترل مصنوعی آب آبیاری آسان نیست. دلایلی چون کاهش رشد علف هرز، تنظیم درجه حرارت خاک و جلوگیری از اثرات شدید حرارت به علت گرمای ویژه آب (در مقایسه با خاک)، تثبیت ازت هوا در خاک در اثر ایجاد شرایط مناسب رشد آلفه‌های آبی - سبز، دسترسی به مواد مغذی از قبیل فسفر، آهن، منگنز و سیلیسیم در مراحل اولیه رشد، صرفه جویی در کارگر و بهبود فتوسنتز در برگ‌های پایین به علت انعکاس نور از آب در به کاربردن این روش ذکر شده است. محققین بسیاری عنوان می‌کنند که این روش یک ابزار مدیریتی مناسب به منظور کنترل آفات، دسترسی آسان به مواد غذایی و جلوگیری از تنش آبی می‌باشد و یک ضرورت برای گیاه نیست. به کارگیری این روش نیازمند مصرف مقادیر زیاد آب است (سالمی و عابدی، ۱۳۸۴).

ب- آبیاری متناوب: اگرچه در این نوع آبیاری رطوبت خاک در دوره غیرغرقاب در نزدیکی رطوبت اشباع نگهداشته می‌شود، محصول رضایت بخش به دست می‌آید ولی به دلایلی چون نیاز داشتن به سیستم کامل آبیاری و زهکشی و در نتیجه هزینه سرمایه‌گذاری، نیاز به کارگر، احتیاج به تکنیک‌های جدید زراعت و عملیات مدیریت خاک و آب هنوز کاملاً پذیرفته نشده است. از مزایای عمده آبیاری متناوب می‌توان به جلوگیری از هرز رفتن آب از طریق نفوذ اشاره نمود. به علاوه در آبیاری متناوب می‌توان از بارندگی استفاده کامل نمود.

۳-۹- راندمان آبیاری

تعریف راندمان آبیاری برحسب جائیکه اندازه‌گیری آب آبیاری صورت می‌گیرد متفاوت است. فلاح (۱۳۵۴) این تعریف را برای محاسبات احتیاج آبی برنج به این صورت ارائه کرده است؛ نسبت آب تبخیر و تعرق شده به اضافه آب مصرف شده جهت آبخوبی مواد سمی و شوری خاک به مقدار کل آب آبیاری. باید متذکر شد که نفوذ عمقی که معمولاً به عنوان اتلاف آب شناخته می‌شود گاهی اوقات جهت رشد سالم برنج به خصوص در خاک‌هایی که در معرض شوری واقع‌اند یا در معرض احیای شیمیایی مواد سمی قرار دارند ضروری است. معمولاً بین قیمت آب و راندمان آبیاری همبستگی وجود دارد. راندمان آبیاری در اکثر پروژه‌های آبیاری برنج از ۱۰ الی ۵۰ درصد متغیر بوده که متوسط آن ۳۰ درصد می‌باشد. بدیهی است اگر میزان آب نفوذی را جزء مصرف مؤثر آب به حساب آوریم، راندمان بیشتر خواهد شد (فلاح، ۱۳۵۴).

۳-۱۰- بررسی مصرف آب در شبکه سنتی زیر کشت برنج از رابطه بیلان

پس از محاسبه نیاز آبی برنج با روش فائو ۵۶، حجم آب مورد نیاز با توجه به سطح زیر کشت آن در محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. جهت مقایسه مقدار به دست آمده با روش فائو ۵۶ با شرایط

طبیعی برداشت آب از رودخانه در منطقه، تخمینی کلی از میزان برداشت آب توسط شبکه سنتی زیر کشت برنج از زاینده‌رود با استفاده از رابطه بیلان به دست آمد. با توجه به اینکه منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز شالیزارها رودخانه زاینده‌رود است، آمار دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری پل کله (در بالادست محدوده مطالعاتی) و لنج (در انتهای محدوده مطالعاتی) در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در رابطه بیلان تعریف شده، علاوه بر اختلاف دبی بالادست و پایین دست، مقادیر مربوط به مصرف صنایع و خروجی کانال‌های انتقال آب در بین این دو ایستگاه و سایر ورودی‌ها (آب برگشتی) لحاظ گردیده تا تخمین قابل قبولی از مصرف آب در شبکه سنتی محدوده مورد مطالعه به دست آید. در این راستا سطح پیزومترهای موجود در منطقه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و جهت جریان در دو ماه مختلف، یکی در فصل زراعی و دیگری در فصل غیرزراعی مقایسه شد. در نهایت با استفاده از رابطه بیلان، حجم آب برداشت شده برای شبکه سنتی زیر کشت برنج در محدوده مورد مطالعه تعیین گردید. میزان آب مورد نیاز از طریق محاسبات نیاز آبی برنج با روش فائو ۵۶ با حجم آب برداشت شده از رودخانه که از رابطه بیلان به دست آمد مقایسه شد. در نهایت صرفه جویی در میزان مصرف آب با تغییر الگوی کشت در ناحیه و در نتیجه تداوم جریان زاینده‌رود در اثر برداشت کمتر آب مورد بررسی قرار گرفت. این قسمت در فصل چهارم به تفصیل بیان شده است.

فصل چہارم

نتیجہ و بحث



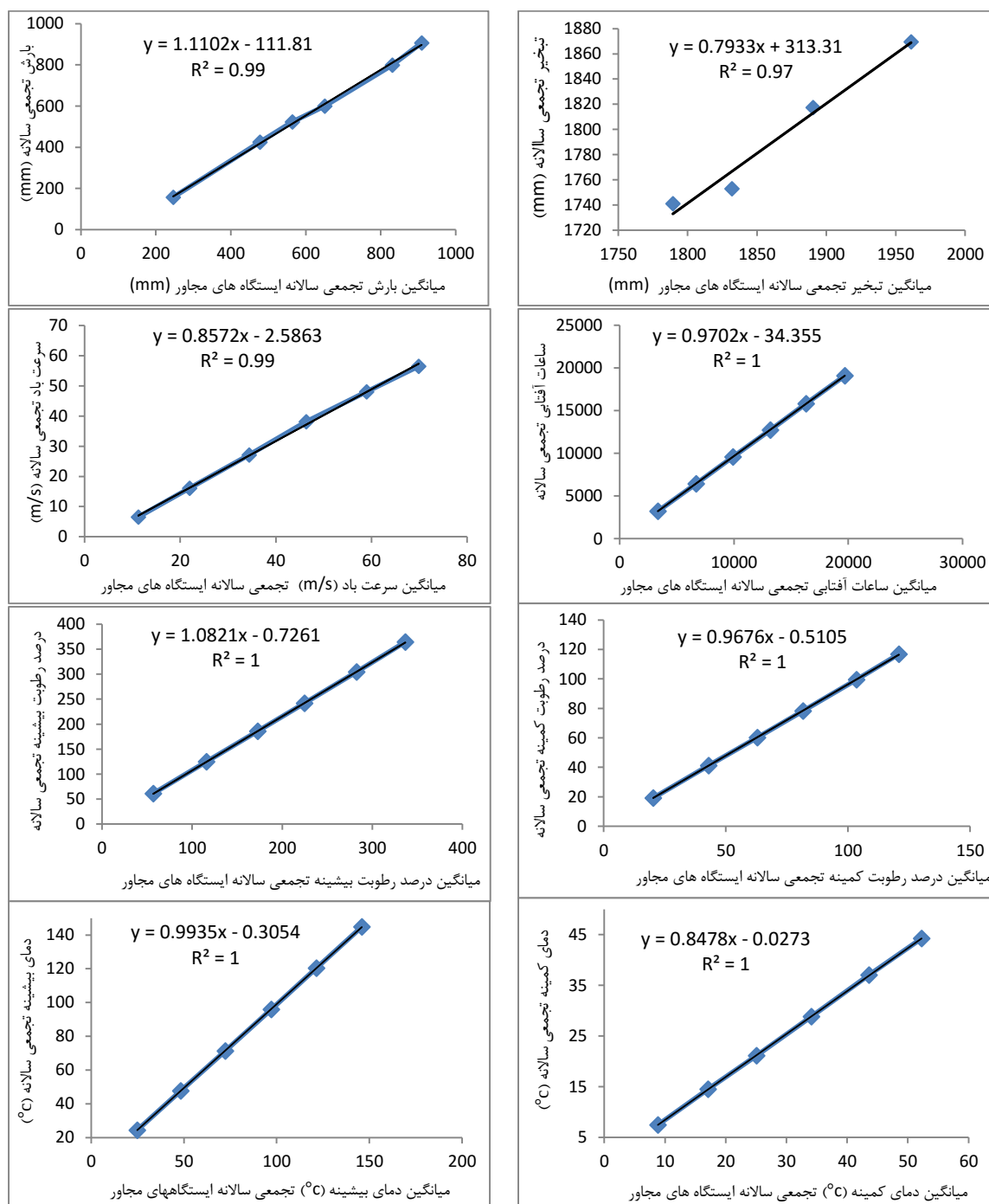
فصل چهارم: نتایج و بحث

در این فصل ابتدا به مقدمات محاسبات تبخیر و تعرق مرجع مانند بررسی همگنی و صحت سنجی داده‌ها پرداخته شده است. پس از این مرحله نتایج به دست آمده برای ET_0 در ایستگاه‌های مورد نظر بحث گردیده و مناسب‌ترین روش برای منطقه انتخاب گردید. سپس تبخیر و تعرق گیاه برنج بر اساس روش فائو ۵۶، در ایستگاه‌های مختلف محاسبه شد. همچنین با روش بیلان در مقطع مورد نظر از رودخانه آب برداشت شده توسط شبکه زیر کشت برنج به دست آمد. در نهایت نیاز آبی برای چند نمونه کشت جایگزین فرضی تعیین شد و با میزان نیاز آبی برنج مقایسه شد.

۴-۱- همگنی و صحت داده‌های هواشناسی

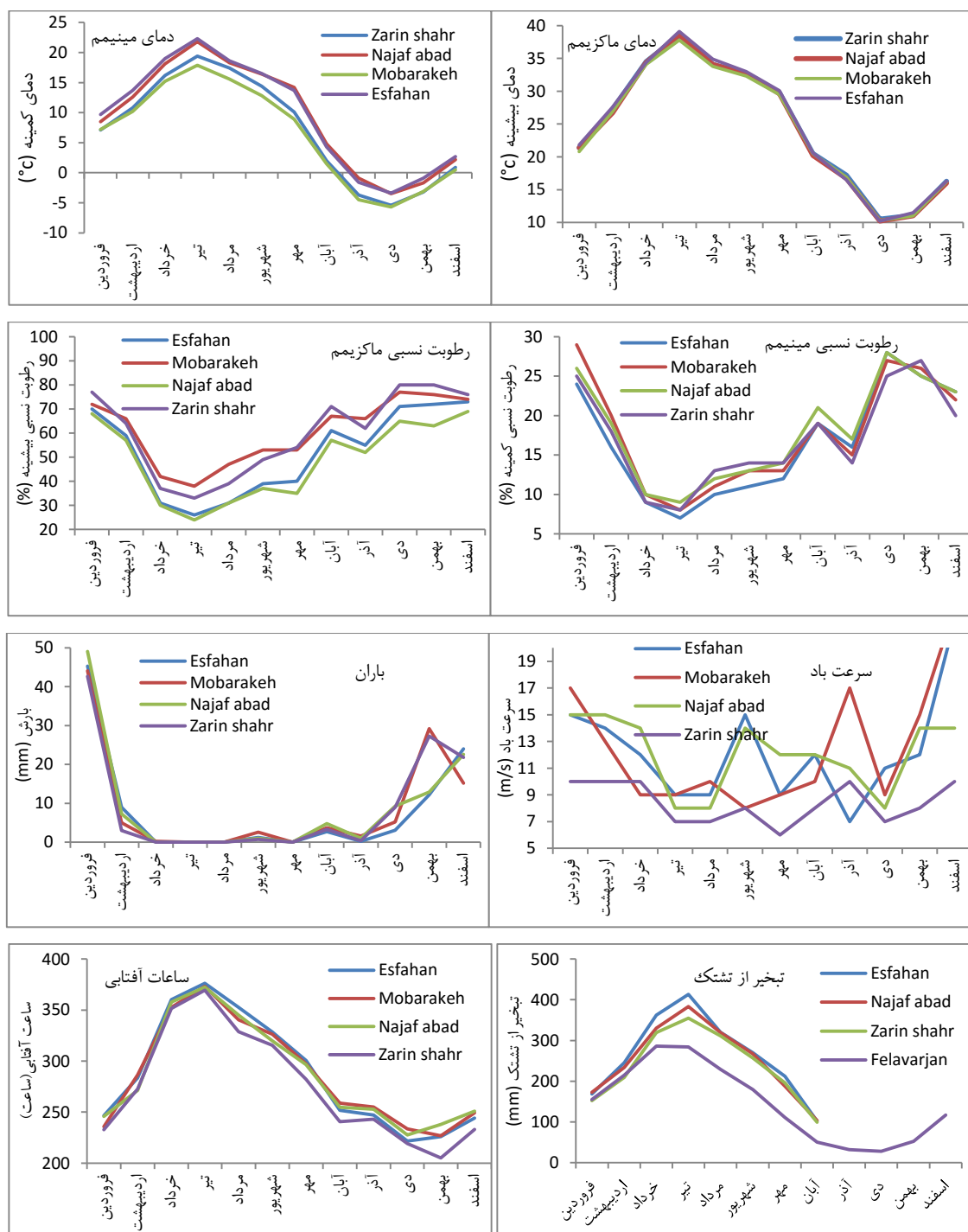
اولین گام در کار با داده‌های هواشناسی کسب اطمینان در مورد صحت و همگن بودن داده‌ها می‌باشد. لذا داده‌های هواشناسی اخذ شده، مورد آزمون همگنی به روش جرم مضاعف قرار گرفت تا از همگنی داده‌ها اطمینان حاصل شود. این روش از معمول‌ترین روش‌هایی است که به منظور اطمینان از یکنواختی داده‌ها به کار برده می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۹). در این مرحله آمار سالانه پارامترهای اقلیمی مورد نیاز یعنی کمینه و بیشینه دما، کمینه و بیشینه رطوبت، ساعت‌های آفتابی، سرعت باد، بارش و تشک تبخیر از بدو تأسیس ایستگاه هواشناسی تا سال ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت و ضریب همبستگی داده‌ها به دست آمد. به این صورت که میانگین تجمعی هر پارامتر در چند ایستگاه هواشناسی منطقه شامل ایستگاه‌های سینوپتیک مبارکه، اصفهان، نجف‌آباد، زرین‌شهر و ایستگاه تبخیرسنجی فلاورجان نسبت به میانگین تجمعی همان پارامتر در ایستگاه مورد نظر (ایستگاه سینوپتیک زرین‌شهر) رسم شد. چنانچه شیب خط حاصله برای هر نمودار یکنواخت باشد داده‌ها

همگن بوده و از یک روند پیروی می‌کنند اما زمانی که تغییر شیب خط بیش از ۱۰ درصد باشد، باید نسبت به اصلاح داده‌ها اقدام نمود. نمودارهای حاصله در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- نتایج آزمون جرم مضاعف برای آمار ایستگاه زرین‌شهر جهت بررسی همگنی داده‌ها (۸۹-۱۳۸۴)

با توجه به اینکه تمامی نمودارهای شکل (۴-۱) دارای تغییرات شیب کمتر از ۱۰ درصد است، لذا داده‌ها از همگنی لازم برخوردار است. همچنین روند تغییرات پارامترهای گوناگون در ایستگاه‌های مختلف به صورت نمودار ترسیم و مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- مقایسه روند پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زرین‌شهر و ایستگاه‌های مجاور (۱۳۸۹)

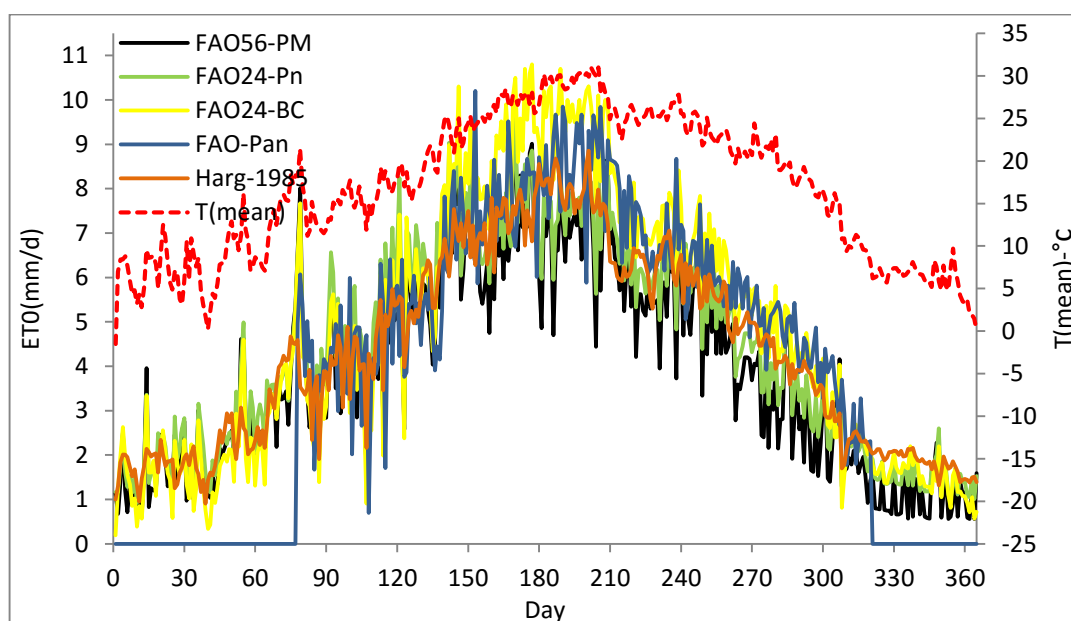
بر اساس نمودارهای به دست آمده روند پارامترهای مختلف اقلیمی در سال ۱۳۸۹ در ایستگاه‌های مختلف مطابقت نشان می‌دهد که نشان دهنده صحت اطلاعات هواشناسی است.

۲-۴- نتایج محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در ایستگاه‌های مختلف

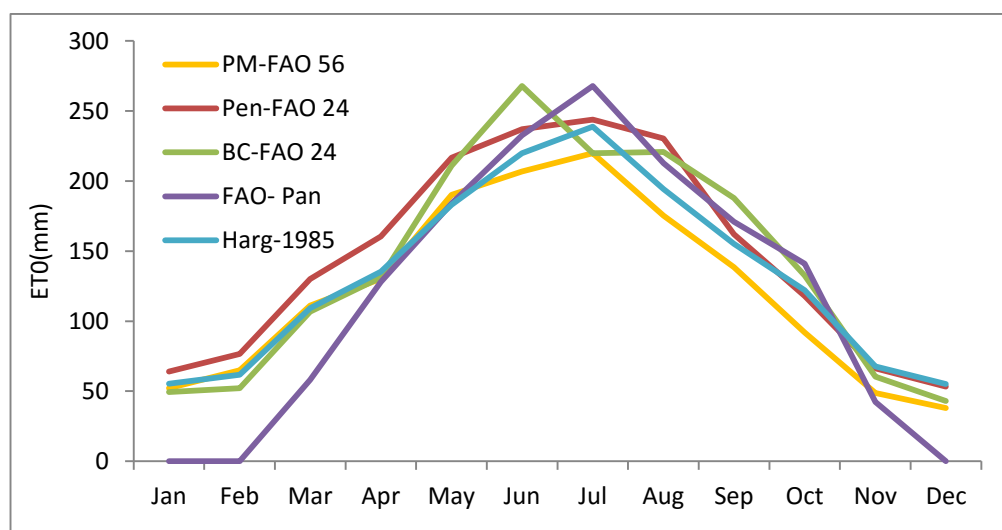
پس از صحت سنجی داده‌های اقلیمی، از آن‌ها جهت محاسبات ET_0 روزانه در ایستگاه‌های زرین‌شهر، مبارکه و فلاورجان استفاده گردید. کلیه نتایج از نرم‌افزار Ref-ET استخراج شده است. در ادامه نتایج به دست آمده در هر ایستگاه بررسی شده است.

۱-۲-۴- تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه زرین‌شهر

در شکل (۳-۴) تغییرات روزانه ET_0 در طول سال ۲۰۱۰ نمایش داده شده است. با توجه به تعداد زیاد داده‌های روزانه و همپوشانی روش‌های مختلف در شکل (۳-۴) این داده‌ها به صورت ماهانه در شکل (۴-۴) آمده است.



شکل ۳-۴- تغییرات ET_0 روزانه ایستگاه زرین‌شهر با روش‌های مختلف و روند مشابه آن با تغییرات دما



شکل ۴-۴ ET₀ ماهانه ایستگاه زرین شهر

بیشترین مقدار ET₀ در همه روش‌ها به جز روش بلانی-کریدل در ماه جولای حاصل گردیده است. مقادیر ET₀ برای سایر روش‌ها در این ماه کمتر از روش تشتک تبخیر بوده و بین ۲۲۰ تا ۲۴۴ میلی-متر به دست آمده است (جدول ۴-۲). روش پنمن فائو در ماه‌های گرم مقادیر نزدیکی به روش تشتک تبخیر نشان می‌دهد. اما این اختلاف در ماه‌های سرد خصوصاً ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر همانند نتایج سایر روش‌ها بیشتر شده است. علت آن وجود روزهای یخبندان است، که تبخیر از تشتک صفر بوده یا عملاً ثبت نشده است. داده‌های تشتک تبخیر در سایر روش‌ها کاربرد ندارد. روش پنمن-مانتیت فائو در ماه‌های گرم سال مقادیر کمتری نسبت به روش‌های دیگر ارائه نموده است. در واقع این روش کمترین مقدار ET₀ را در کل سال تخمین زده است. روش بلانی-کریدل نیز بیشترین تخمین سالانه را داشته است. با توجه به ناقص بودن آمار سالانه تبخیر از تشتک در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه، جهت مقایسه ET₀ به دست آمده از روش تشتک تبخیر فائو با روش‌های دیگر، از آمار مربوط به دوره زمانی ۱۸ مارس تا ۱۵ نوامبر که در همه ایستگاه‌ها آمار روزانه تکمیل است، استفاده شد. با توجه به تعداد زیاد داده‌های روزانه مجموع ET₀ در هر ماه برای هر یک از ایستگاه‌ها به روش‌های مختلف آورده شده است. در جدول (۴-۱) نتایج ET₀ با روش‌های مختلف در ایستگاه زرین شهر به صورت ماهانه ذکر شده است.

جدول ۴-۱- مقادیر ET_0 ماهانه برای ایستگاه زرین شهر بر حسب میلی متر

ماه	روش محاسبه ET_0				
	PM FAO - 56	Pn-FAO -24	BC - FAO-24	FAO- Pan	Harg-1985
Jan	۵۲/۱	۶۴/۰	۴۹/۴	۰/۰	۵۵/۳
Feb	۶۴/۹	۷۶/۶	۵۲/۲	۰/۰	۶۱/۷
Mar	۱۱۱/۲	۱۳۰/۰	۱۰۶/۷	۵۸/۰	۱۰۹/۳
Apr	۱۳۰/۲	۱۶۰/۴	۱۳۱/۲	۱۲۸/۰	۱۳۵/۳
May	۱۹۰/۲	۲۱۶/۸	۲۱۰/۹	۱۸۳/۹	۱۸۳/۰
Jun	۲۰۶/۸	۲۳۷/۱	۲۶۷/۸	۲۳۲/۸	۲۱۹/۹
Jul	۲۱۹/۸	۲۴۳/۸	۲۱۹/۹	۲۶۷/۸	۲۳۸/۸
Aug	۱۷۵/۴	۲۳۰/۵	۲۲۰/۷	۲۱۲/۹	۱۹۴/۳
Sep	۱۳۸/۶	۱۶۲/۰	۱۸۸/۰	۱۷۱/۰	۱۵۵/۳
Oct	۹۱/۸	۱۱۸/۰	۱۳۲/۶	۱۴۱/۰	۱۲۲/۱
Nov	۴۸/۸	۶۶/۳	۶۰/۴	۴۲/۳	۶۷/۷
Dec	۳۸/۰	۵۳/۲	۴۳/۰	۰/۰	۵۵/۰
مجموع	۱۴۶۸	۱۷۲۴	۱۷۴۵	۱۴۳۹	۱۶۰۵

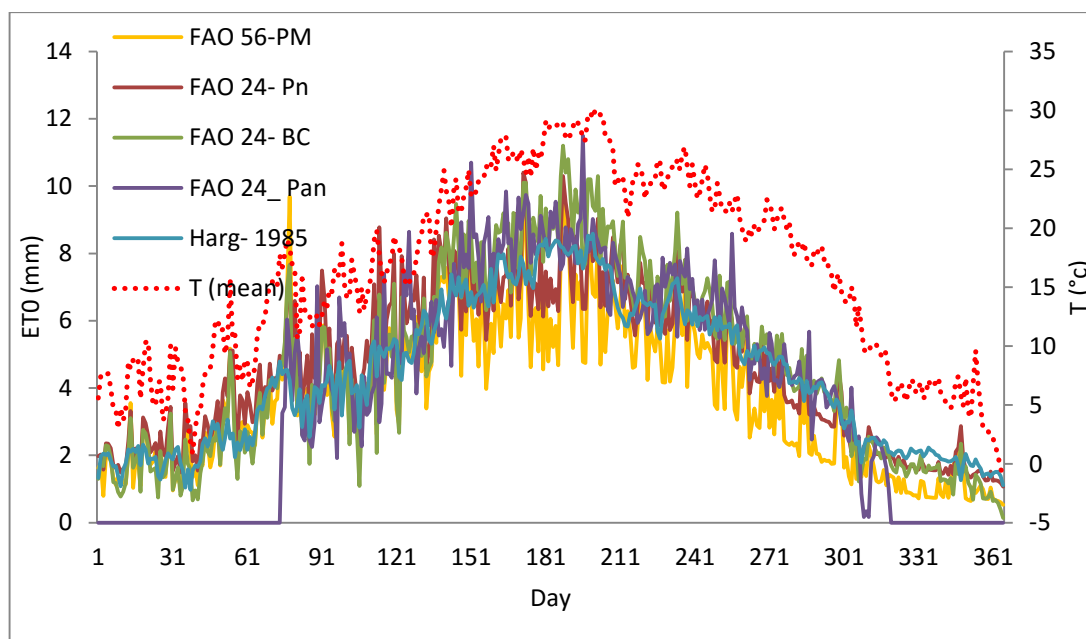
میزان تبخیر از تشتک کلاس A در دوره زمانی ۱۸ مارس تا ۱۵ نوامبر ۲۰۱۰ (۲۴۲ روز) در این ایستگاه برابر ۱۹۰۶ میلی متر است. متوسط روزانه آن ۷/۹ میلی متر می باشد. جدول (۴-۲) مقادیر ET_0 بدست آمده در همین بازه زمانی را نشان می دهد. چون داده های تبخیر از تشتک بیانگر شرایط واقعی تبخیر در منطقه می باشد، لذا مقادیر ET_0 به دست آمده با روش تشتک تبخیر فائو در بازه زمانی که آمار آن وجود دارد می تواند در انتخاب روش مناسب برای کل سال در نظر گرفته شود. کمترین مقدار در بین سایر روش ها مربوط به روش پنمن - مانتیت فائو می باشد. از بین سایر روش ها، روش پنمن فائو مقدار مشابهی را با روش تشتک تبخیر فائو نشان می دهد.

جدول ۴-۲- مقادیر ET_0 جهت مقایسه با روش تشتک تبخیر به عنوان معیار در ایستگاه زرین شهر بر حسب میلی متر

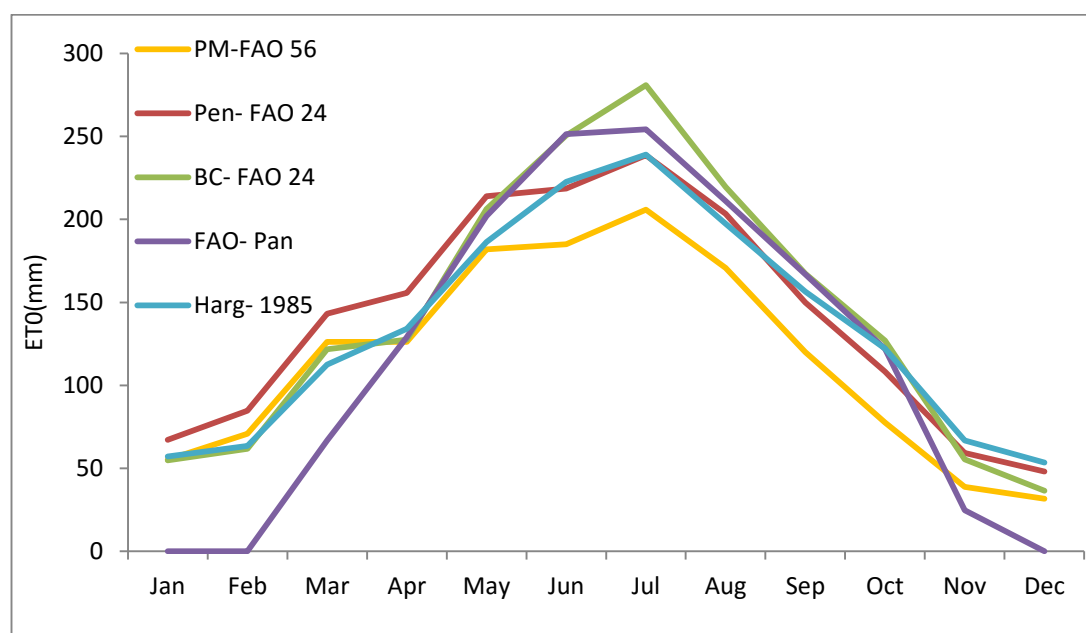
دوره زمانی	Harg-1985	FAO- Pan	BC- FAO-24	Pn-FAO-24	PM FAO- 56
18 Mar- 15 Nov	۱۳۴۱	۱۴۳۶	۱۵۱۹	۱۴۳۷	۱۲۴۰
روزانه	۵/۵	۵/۹	۶/۳	۵/۹	۵/۱

۴-۲-۲- تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه مبارکه

در شکل (۴-۵) و شکل (۴-۶) به ترتیب تغییرات روزانه و ماهانه ET_0 در طول سال ۲۰۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۵- تغییرات ET_0 روزانه ایستگاه مبارکه به روش‌های مختلف و روند مشابه آن با تغییرات دما



شکل ۴-۶- ET_0 ماهانه ایستگاه مبارکه

در ایستگاه مبارکه نیز بیشترین تخمین در روش بلانی-کریدل و کمترین تخمین توسط روش پنمن-مانتیت و در ماه جولای دیده می‌شود (جدول ۴-۳). بیشترین مقدار ET_0 در مبارکه برای همه روش‌ها در ماه جولای حادث گردیده است. بیشترین مقدار به دست آمده مربوط به روش بلانی-کریدل و کمترین مقدار ET_0 در این ماه مربوط به روش پنمن-مانتیت فائو است. روش پنمن فائو در ماه‌های گرم مقادیر متوسطی نسبت به سایر روش‌ها ارائه نموده است. همچنین مقادیر آن به روش تشتک تبخیر نزدیک است. البته روش هارگریوز نیز تطابق خوبی با نتایج تشتک تبخیر نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳- مقادیر ET_0 محاسبه شده در هر ماه برای ایستگاه مبارکه بر حسب میلی‌متر

روش محاسبه ET_0					ماه
PM FAO- 56	Pn-FAO-24	BC- FAO-24	FAO- Pan	Harg-1985	
۵۵/۰۹	۶۷/۲	۵۴/۷۹	۰	۵۷/۰۲	Jan
۷۰/۸۳	۸۴/۷۲	۶۱/۷۱	۰	۶۳/۵	Feb
۱۲۶/۰۹	۱۴۳/۲	۱۲۱/۶۷	۶۶/۸	۱۱۲/۴۸	Mar
۱۲۶/۲	۱۵۵/۷۴	۱۲۷/۴۶	۱۲۹/۰۴	۱۳۴/۱۴	Apr
۱۸۱/۸۸	۲۱۳/۹۳	۲۰۶/۳۱	۲۰۲/۰۶	۱۸۶/۳۹	May
۱۸۵/۰۳	۲۱۸/۵۲	۲۵۰/۶۴	۲۵۱/۳۶	۲۲۲/۷	Jun
۲۰۵/۷۸	۲۳۸/۵۸	۲۸۰/۹	۲۵۴/۲۳	۲۳۸/۹۸	Jul
۱۷۰/۷۷	۲۰۳/۳۶	۲۱۹/۵۸	۲۱۰/۹۸	۱۹۷/۳۸	Aug
۱۲۰/۰۴	۱۴۹/۹۴	۱۶۷/۲	۱۶۶/۹۱	۱۵۶/۳۹	Sep
۷۷/۴۶	۱۰۸/۲۹	۱۲۶/۹۷	۱۲۱/۹۸	۱۲۲/۰۴	Oct
۳۸/۶۸	۵۹/۱۹	۵۵/۴۲	۲۴/۷۲	۶۶/۷	Nov
۳۱/۶۳	۴۷/۹۶	۳۶/۴۶	۰	۵۳/۳۵	Des
۱۳۸۹	۱۶۹۰	۱۷۰۷	۱۴۲۸	۱۶۱۱	جمع

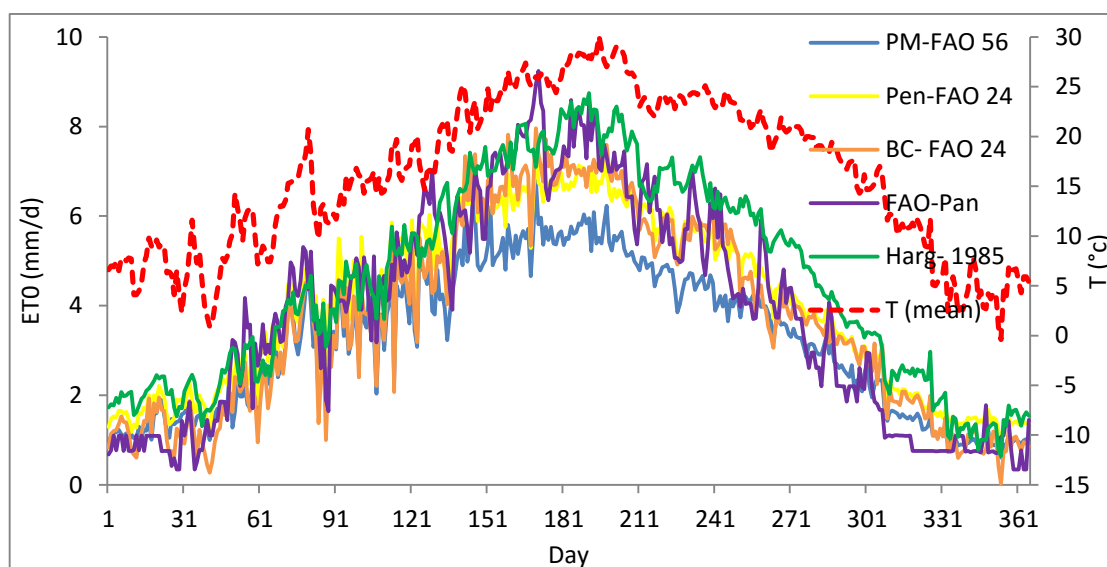
در این ایستگاه میزان کل تبخیر از تشتک در بازه زمانی مذکور، برابر ۱۸۷۶ میلی‌متر بوده که متوسط روزانه آن ۷/۸ میلی‌متر می‌باشد. در جدول (۴-۴) مقادیر ET_0 به دست آمده ذکر شده است. در این ایستگاه نیز روش پنمن فائو مقدار نزدیک‌تری به مقدار روش تشتک تبخیر نشان می‌دهد.

جدول ۴-۴- مقادیر ET_0 جهت مقایسه با مقدار روش تشتک تبخیر به عنوان معیار در مبارکه بر حسب میلی‌متر

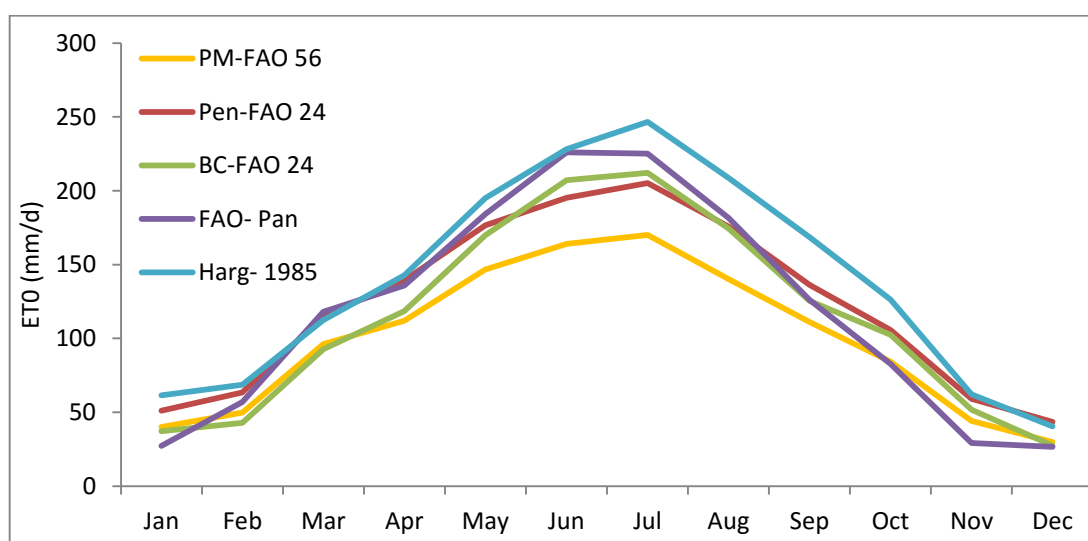
دوره زمانی	Harg-1985	FAO- Pan	BC- FAO-24	Pn-FAO-24	PM FAO- 56
18 Mar- 15 Nov	۱۳۴۳	۱۴۱۵	۱۴۶۷	۱۳۹۳	۱۱۵۳
روزانه	۵/۵	۵/۸	۶/۰	۵/۷	۴/۷

۴-۲-۳- تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه فلاورجان

در شکل (۴-۷) و (۴-۸) تغییرات روزانه و ماهانه ET_0 در سال ۲۰۱۰ در این ایستگاه آمده است.



شکل ۴-۷- تغییرات ET_0 روزانه ایستگاه فلاورجان به روش‌های مختلف و روند مشابه آن با تغییرات دما



شکل ۴-۸- ET_0 ماهانه ایستگاه فلاورجان

بیشترین مقدار ET_0 برای ایستگاه فلاورجان نیز برای همه روش‌ها در ماه جولای به دست آمد. با این تفاوت که روش هارگریوز بیشترین تخمین را در این ماه و همچنین در کل سال ارائه نموده است. همانند ایستگاه‌های قبلی، کمترین مقدار سالانه نیز مربوط به روش پنمن-مانتیت فائو می‌باشد. در فصل گرم، روش هارگریوز با اندکی برآورد بیشتر و روش‌های بلانی-کریدل و پنمن فائو با اندکی برآورد کمتر از روش تشتک تبخیر، نزدیکترین مقادیر به این روش هستند. این ایستگاه از نوع تبخیر سنجی است و آمار مربوط به تشتک تبخیر آن کاملتر از سایر ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد. اختلافی که داده‌های اقلیمی این ایستگاه با دو ایستگاه سینوپتیک مبارکه و زرین‌شهر دارد، عامل کمتر بودن ET_0 در این ایستگاه است. مثلاً، متوسط سرعت باد روزانه در ایستگاه زرین‌شهر و مبارکه به ترتیب $1/56$ و $1/78$ متر بر ثانیه و در فلاورجان حدود یک ششم آن، یعنی $0/44$ متر بر ثانیه می‌باشد. این عامل و رطوبت بیشتر در منطقه فلاورجان دو عامل اصلی کمتر بودن ET_0 در این ایستگاه است. در جدول (۴-۵) نتایج ET_0 آمده است.

جدول ۴-۵- مقادیر ET_0 ماهانه برای ایستگاه فلاورجان بر حسب میلی‌متر

ماه	روش محاسبه ET_0				
	PM FAO- 56	Pn-FAO-24	BC- FAO-24	FAO- Pan	Harg -1985
Jan	۴۰/۰۰	۵۱/۰۸	۳۷/۳۳	۲۷/۲۱	۶۱/۵۱
Feb	۴۹/۷۱	۶۳/۴۷	۴۲/۸۲	۵۶/۸۷	۶۸/۶۹
Mar	۹۶/۲۷	۱۱۵/۰۳	۹۲/۶۹	۱۱۸/۰۴	۱۱۲/۳۵
Apr	۱۱۲/۰۵	۱۳۹/۳۰	۱۱۸/۵۲	۱۳۵/۷۵	۱۴۲/۸۷
May	۱۴۶/۷۰	۱۷۶/۶۲	۱۶۹/۹۰	۱۸۴/۲۳	۱۹۵/۰۴
Jun	۱۶۴/۱۲	۱۹۵/۱۶	۲۰۷/۰۵	۲۲۶/۰۸	۲۲۸/۱۸
Jul	۱۷۰/۰۵	۲۰۵/۲۹	۲۱۲/۱۴	۲۲۵/۲۱	۲۴۶/۵۲
Aug	۱۴۰/۱۴	۱۷۵/۶۷	۱۷۴/۵۰	۱۸۱/۶۳	۲۰۸/۷۱
Sep	۱۱۱/۰۵	۱۳۶/۳۹	۱۲۵/۴۵	۱۲۶/۰۸	۱۶۸/۶۸
Oct	۸۴/۳۵	۱۰۵/۶۳	۱۰۲/۵۰	۸۲/۶۵	۱۲۶/۲۸
Nov	۴۴/۱۸	۵۹/۲۳	۵۱/۸۱	۲۹/۳۰	۶۲/۰۶
Dec	۲۹/۸۵	۴۳/۴۸	۲۷/۶۰	۲۶/۵۴	۴۰/۴۴
جمع	۱۱۸۸	۱۴۶۶	۱۳۶۲	۱۴۲۰	۱۶۶۹

فصل چهارم: نتایج و بحث

میزان تبخیر از تشتک در سال ۲۰۱۰ برای این ایستگاه ۱۷۴۶ میلی‌متر با متوسط روزانه ۴/۸ میلی-متر می‌باشد. مقادیر ET_0 با روش‌های مختلف در دوره زمانی ۱۸ مارس تا ۱۵ نوامبر در جدول (۴-۶) آمده است.

جدول ۴-۶- مقادیر ET_0 جهت مقایسه با روش تشتک تبخیر به عنوان معیار در ایستگاه فلاورجان بر حسب میلی‌متر

دوره زمانی	Harg-1985	FAO- Pan	BC- FAO-24	Pn-FAO-24	PM FAO- 56
18 Mar - 15 Nov	۱۴۰۹	۱۲۳۴	۱۱۸۵	۱۲۲۲	۱۰۰۰
روزانه	۵/۸	۵/۱	۴/۹	۵/۰	۴/۱

در جدول (۴-۷) مقادیر ET_0 در دوره کشت برنج از زمان خزانة‌گیری تا زمان برداشت (۱۵ اردیبهشت تا ۴ مهر ۱۳۸۹ به طول ۱۴۴ روز) و همچنین متوسط روزانه آن در همین بازه زمانی آورده شده است.

جدول ۴-۷- مقادیر ET_0 در ایستگاه‌های مختلف در سال ۲۰۱۰ بر حسب میلی‌متر

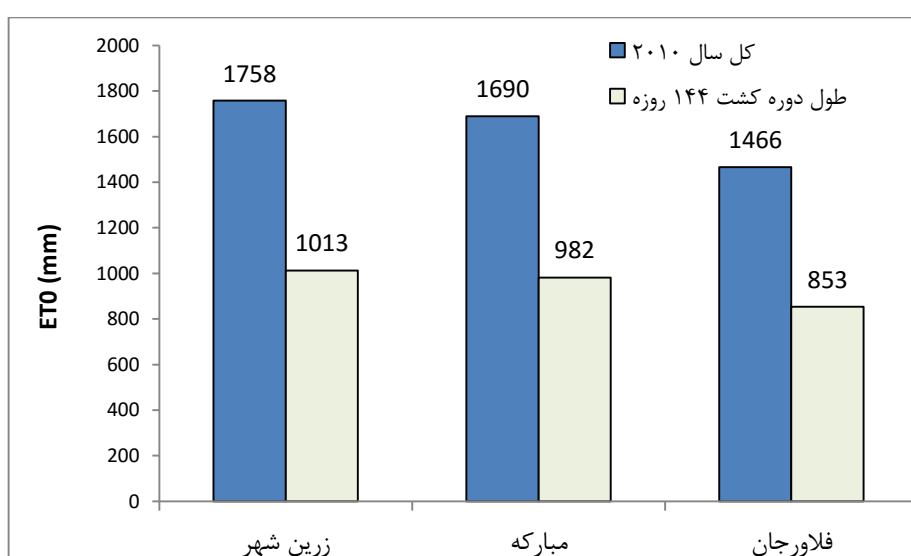
روزانه	فلاورجان					زرین‌شهر					مبارکه					دوره کشت برنج
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	
روزانه	۴/۸۷	۵/۹۲	۴/۵۳	۵/۲۸	۶/۹۷	۱۲/۹۲	۲/۷۱	۷/۱۲	۷/۱۶	۶/۵۹	۵/۸۸	۶/۱۲	۷/۵۳	۷/۲۴	۶/۹۸	روزانه
دوره کشت برنج	۲	۳	۵	۵	۱۰	۸	۲	۱۱	۲۰	۷	۲	۹	۱۰	۱۴	۷	دوره کشت برنج

(اعداد ۱ تا ۵ به ترتیب شامل روش پنمن-مانتیث، پنمن فائو، بلانی-کریدل، تشتک تبخیر فائو و هارگریوز می‌باشد)

به طور کلی در ماه‌های سرد اختلاف مقادیر ET_0 در روش‌های مختلف کمتر مشاهده می‌شود. این اختلاف معمولاً در ماه‌های گرم بیشتر می‌شود. حداکثر ET_0 مربوط به فصل تابستان که نزولات جوی ناچیز است (کمتر از ۲۰ میلی‌متر) می‌باشد. این زمان درست مطابق با دوره کشت برنج بوده که نیاز آبی بالایی دارد. کمتر بودن مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر از تشتک در ایستگاه فلاورجان نسبت به

ایستگاه‌های زرین‌شهر و مبارکه را می‌توان مرتبط با کمتر بودن سرعت باد دانست. همچنین متوسط رطوبت در این منطقه حدود ۱۰ درصد بیشتر بوده که در کاهش تبخیر مؤثر می‌باشد.

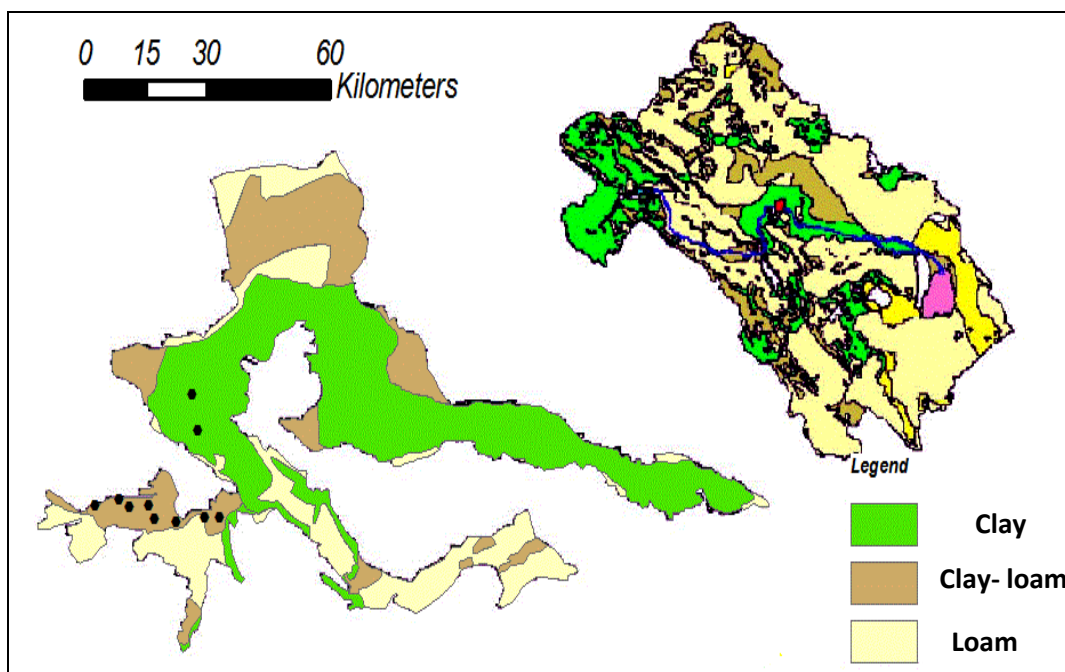
مقایسه ET_0 به دست آمده در دوره زمانی که آمار تشتک تبخیر در هر سه ایستگاه وجود دارد، نشان می‌دهد که کمترین مقدار به دست آمده مربوط به روش پنمن-مانتیت است. بیشترین مقدار ET_0 به دست آمده برای ایستگاه‌های زرین‌شهر و مبارکه مربوط به روش بلانی-کریدل و این مقدار برای ایستگاه فلاورجان برای روش هارگریوز بدست آمد. نزدیک‌ترین رقم به نتایج روش تشتک تبخیر به عنوان مبنایی از شرایط طبیعی در هر سه منطقه برای روش فائو ۲۴ به دست آمد. در بسیاری از مناطق داده‌های مربوط به تشتک تبخیر ناقص است و در فصول سرد به دلیل مشکلات ناشی از یخبندان اندازه‌گیری صورت نمی‌گیرد. بنابراین روش پنمن فائو با توجه به انطباق نتیجه حاصل از آن با روش تشتک در دوره زمانی که آمار آن وجود دارد، بهترین نتایج را ارائه داده است. پس می‌توان برای کل سال این روش را برای کل منطقه انتخاب نمود. شکل (۴-۹) نتایج این روش را برای سه منطقه در سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد از میزان تبخیر و تعرق مرجع سالانه همزمان با دوره کشت برنج است.



شکل ۴-۹- مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به روش انتخابی پنمن فائو ۲۴ در ایستگاه‌های زرین‌شهر، مبارکه و فلاورجان در سال ۲۰۱۰ و طول دوره رشد برنج (از ۵ ماه می تا ۲۶ سپتامبر به مدت ۱۴۴ روز)

۴-۳- تعیین پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه

همان طور که در فصل سوم گفته شد، نیاز آبی گیاه (ET_c) از حاصل ضرب مقدار تبخیر و تعرق مرجع در ضریب گیاهی (K_c) تخمین زده می‌شود. محاسبات نیاز آبی گیاه با روش (فائو - ۵۶) انجام گردید. به این صورت که پارامترهای اقلیمی، گیاهی و مربوط به بافت خاک تعیین و در محاسبات به کار برده شد. داده‌های لازم مربوط به بافت خاک مستلزم تعیین بافت خاک می‌باشد. بنابراین تعداد ۱۰ نمونه از خاک مزارع برنج (عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) از منطقه مورد مطالعه (فلاورجان، مبارکه و زرین‌شهر) جمع آوری و مورد آزمایش تعیین بافت قرار گرفت. شکل (۴-۱۰) نقاط نمونه برداری را بر روی نقشه عمومی بافت خاک نشان می‌دهد. طبق این شکل سه نوع بافت خاک در منطقه مشاهده می‌شود، اما بیشتر اراضی برنجکاری در محدوده مورد مطالعه در بافت لومی - رسی واقع شده‌اند.



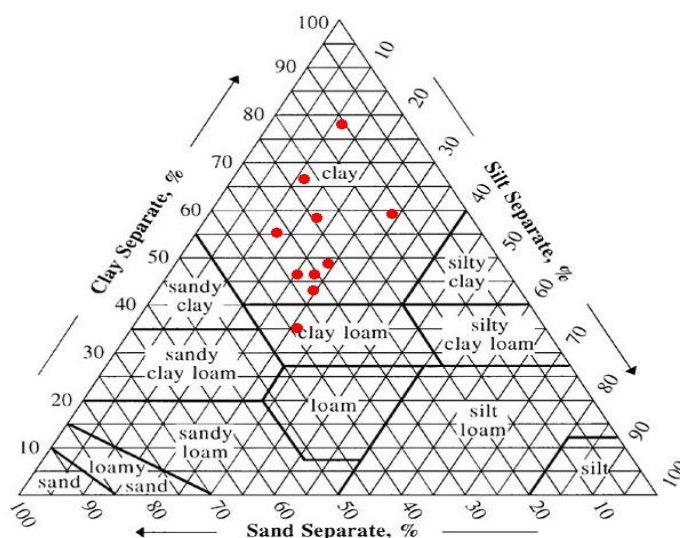
شکل ۴-۱۰- نقشه عمومی بافت خاک در شبکه‌های زراعی حاشیه زاینده‌رود و موقعیت نقاط نمونه برداری

با توجه به چسبندگی زیاد ذرات خاک، با روش الک تر میزان گراول و ماسه و با روش هیدرومتری درصد سیلت و رس آن تعیین شد. در شکل (۴-۱۱) که نشان دهنده آزمایش هیدرومتری است، کدر بودن نمونه‌ها نشان دهنده فراوانی ذرات رس می‌باشد.



شکل ۴-۱۱- آزمایش هیدرومتری (راست) و الکتر (چپ)

تغییرات درصد وزنی ذرات گراول در نمونه‌ها بین ۰/۰۴ تا ۲۲/۰۵ و با میانگین ۸/۷۷ درصد تعیین شد. کمترین درصد ذرات در همه نمونه‌ها نیز گراول می‌باشد. تغییرات درصد وزنی ذرات ماسه بین ۱۰/۴۷ تا ۳۸/۷۸ و با میانگین ۲۶/۳۷ درصد تعیین شد. تغییرات درصد وزنی ذرات سیلت بین ۳/۵۱ تا ۲۸/۱۲ و با میانگین ۱۱/۲۸ درصد به دست آمد. ذرات رس نیز که در همه نمونه‌ها بیشترین درصد وزنی را به خود اختصاص می‌دهد، دارای تغییرات بین ۳۵/۵۵ تا ۷۸/۴۷ درصد و با میانگین ۵۴/۱۴ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه میانگین ذرات گراول در نمونه‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود، بافت خاک بر اساس درصد ذرات ماسه، سیلت و رس با استفاده از مثلث بافت خاک (USDA) تعیین گردید. از ده نمونه آزمایش شده، ۹ نمونه دارای بافت رسی بوده و یک مورد با بافت لومی رسی تعیین گردید. در شکل (۴-۱۲) درصد ذرات اصلی هر یک از نمونه‌ها مشخص گردیده است.



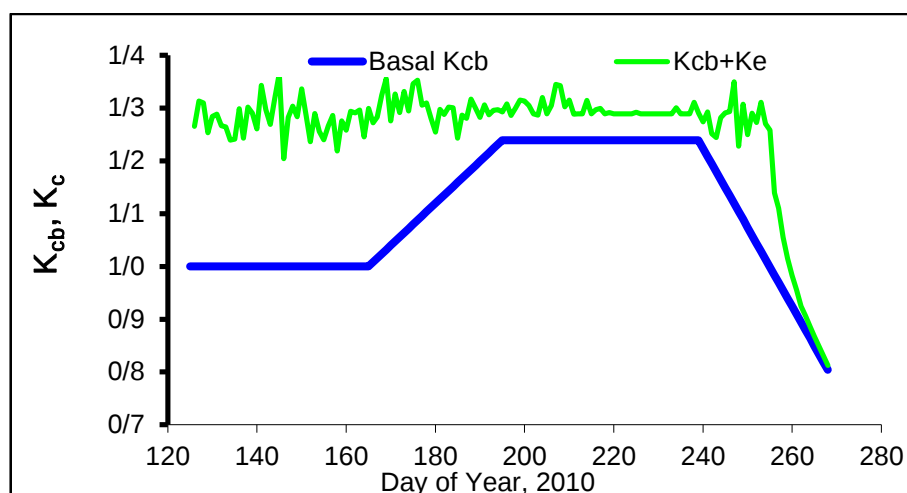
شکل ۴-۱۲- تعیین بافت خاک در مزارع برنج منطقه مورد مطالعه با روش USDA

با معلوم شدن بافت خاک، پارامترهای وابسته به آن، از جداول مربوطه در نشریه فائو- ۵۶ استخراج گردید. به این ترتیب که کل آب قابل تبخیر (TEW) برابر با ۲۷ میلی-متر، آب قابل دسترس برای تبخیر (REW)، ۱۱ میلی-متر و مقدار آب موجود (Avail.Water) مقدار (mm) ۱۵۰ لحاظ گردید. کلیه داده‌های مورد نیاز جهت محاسبات نیاز آبی در جدول (۴-۸) آورده شده است. توضیح هر کدام از موارد ذکر شده در جدول در فصل سوم ذکر گردید. پارامترهای گیاهی ذکر شده در این جدول مربوط به گیاه برنج می‌باشد.

جدول ۴-۸- مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه در منطقه مورد مطالعه

Avail.Water (mm)	Root _{max} (m)	Root _{min} (m)	TEW (mm)	REW (mm)	f _w	Max.Ht (m)	K _{cmin}	K _{cb end}	K _{cb mid}	K _{cb ini}
۱۵۰	۰/۷۵	۰/۲	۲۷	۱۱	۱	۱/۲	۰/۱۵	۰/۷	۱/۱۵	۱

در این تحقیق تبخیر و تعرق گیاه برنج در محدوده مطالعاتی جنوب غرب اصفهان با روش ضریب گیاهی دوگانه محاسبه شده است. برای تعیین ضریب گیاهی بر اساس روش پیشنهادی فائو، منحنی تغییرات ضریب گیاهی رسم می‌شود تا در هر مرحله از رشد، ضریبی متناسب با همان مرحله اعمال شود. در این روش فرض شده است که ضریب گیاهی از ابتدای رشد گیاه تا مرحله برداشت آن متغیر است. هرچند این تغییرات خطی نیست، ولی کل دوره رویش به چهار بخش آغازین، توسعه، میانی و پایانی تقسیم شده که در هر قسمت تغییرات ضریب گیاهی به صورت یک خط مشخص می‌شود. شکل (۴-۱۳) تغییرات ضریب گیاهی برنج را در طول فصل رشد در منطقه زرین‌شهر، نشان می‌دهد. خط مربوط به K_{cb} یا ضریب گیاهی پایه در شکل (۴-۱۳) از چهار قسمت تشکیل شده است. هر قطعه از این خط نمایشگر مراحل چهار گانه رشد گیاه (اولیه، توسعه، میانی و پایانی) است. منحنی سبز رنگ که نشان دهنده مجموع اثر تبخیر از سطح خاک (K_e) و تعرق گیاه (K_{cb}) است، در مرحله ابتدایی و توسعه اختلاف زیادی با K_{cb} نشان می‌دهد که با شرایط غرقاب بودن مزرعه در این مراحل و پوشش ناچیز سطح توسط گیاه مطابقت دارد.



شکل ۴-۱۳- تغییرات ضریب گیاهی برنج در طول فصل رشد

پارامتر دیگری که در محاسبات به دست می‌آید، ضریب گیاهی تنظیم شده ($\text{Adjusted } K_c = K_{c \text{ adj}}$) است که با ضرب شدن یک ضریب به نام ضریب تنش (K_s) در ضریب گیاهی دوگانه به دست می‌آید. در مناطقی که مدیریت خوبی اعمال می‌شود، شرایط مزرعه با شرایط استاندارد (بدون محدودیت رشد) مطابقت دارد. اما در شرایط غیر استاندارد مانند شوری، خشکی و غیره که باعث کاهش رشد گیاه و در نتیجه کاهش تبخیر و تعرق می‌شود، ضریب تنش مقدار تبخیر و تعرق گیاه را اصلاح می‌کند. در این تحقیق با توجه به شرایط کشت برنج در منطقه و حاصلخیزی خاک شرایط استاندارد در نظر گرفته شده است. بنابراین ضریب تنش واحد است.

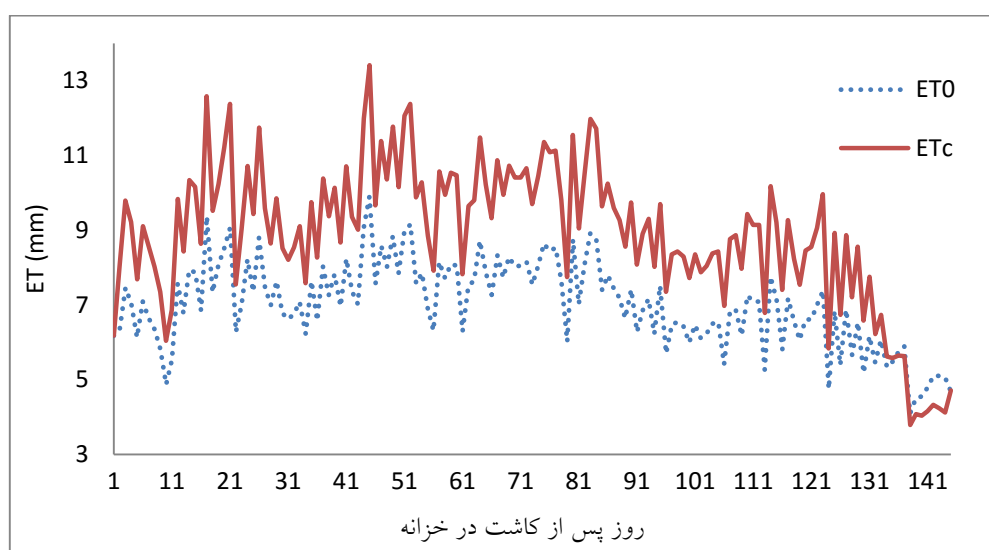
۴-۴- نتایج تبخیر و تعرق واقعی برنج (ET_c) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

مقادیر ET_c برنج برای ایستگاه‌های مختلف با استفاده از روش فائو ۵۶ محاسبه شد. نتایج به دست آمده برای هر ایستگاه به شرح زیر است.

۴-۴-۱- نیاز آبی برنج در ایستگاه زرین‌شهر

مقدار میانگین تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج در طول دوره رشد برنج در سال ۲۰۱۰ در منطقه زرین‌شهر، ۸/۹ میلی‌متر در روز به دست آمد. کمترین مقدار به دست آمده تبخیر و تعرق روزانه ۳/۷۸

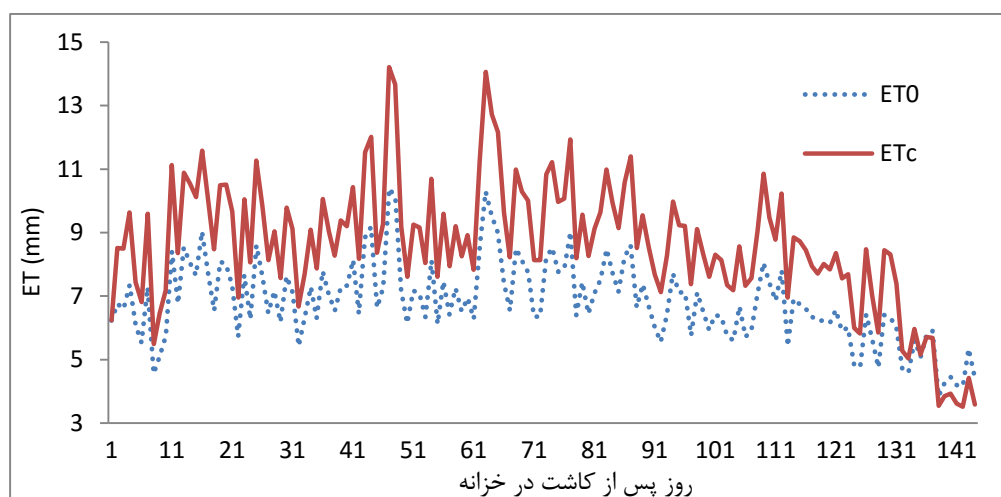
میلی متر بوده و مربوط به اواخر دوره رشد است. بیشترین مقدار آن نیز $13/42$ میلی متر می باشد که ۲۱ روز پس از زمان کاشت اتفاق افتاده است. بر این اساس نیاز آبی برنج در این سال 1285 میلی متر به دست آمد که 920 میلی متر آن مربوط به پس از نشاء کاری (104 روز) می باشد. در شکل (۴-۱۴) تغییرات تبخیر و تعرق گیاه برنج و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در طول دوره رشد برنج در منطقه زرین شهر را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۴- تغییرات تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج (ET_c) و تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در منطقه زرین شهر

۴-۴-۲- نیاز آبی برنج در ایستگاه مبارکه

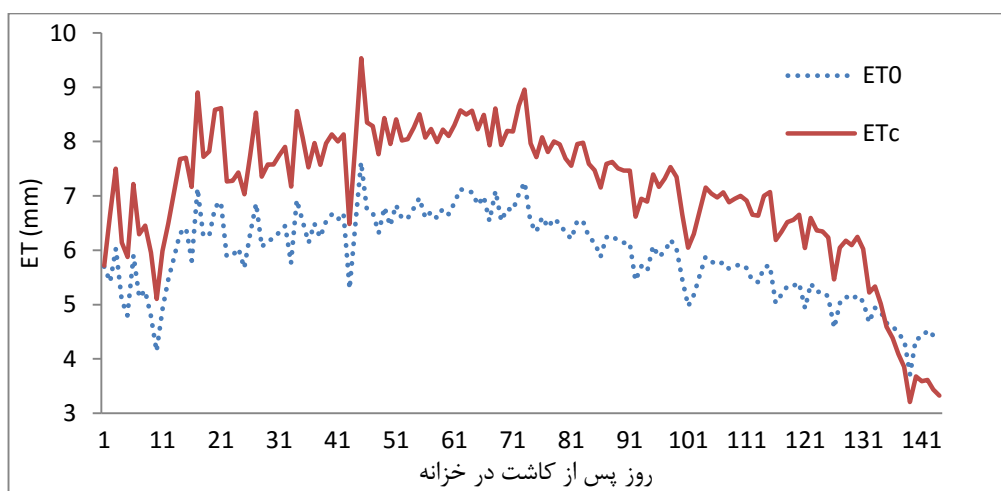
میانگین تبخیر و تعرق برنج در طول دوره رشد در منطقه مبارکه، $8/6$ میلی متر در روز به دست آمد. کمترین مقدار به دست آمده تبخیر و تعرق روزانه $3/5$ میلی متر بوده و مربوط به اواخر دوره رشد است. بیشترین مقدار آن نیز $14/21$ میلی متر بوده و 47 روز پس از زمان کاشت اتفاق افتاده است. بر این اساس نیاز آبی برنج در سال 2010 مقدار 1238 میلی متر به دست آمد که 884 میلی متر آن مربوط به پس از نشاء کاری (104 روز) می باشد. شکل (۴-۱۵) تغییرات تبخیر و تعرق گیاه برنج و تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در طول دوره رشد برنج در منطقه مبارکه نشان می دهد.



شکل ۴-۱۵- تغییرات تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج (ET_c) و تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در ایستگاه مبارکه

۴-۳- نیاز آبی برنج در ایستگاه فلاورجان

میانگین تبخیر و تعرق برنج در طول دوره رشد در منطقه فلاورجان، $7/11$ میلی‌متر در روز به دست آمد. کمترین مقدار به دست آمده تبخیر و تعرق روزانه $3/3$ میلی‌متر بوده و مربوط به اواخر دوره رشد است. بیشترین مقدار آن نیز $9/5$ میلی‌متر بوده و 45 روز پس از زمان کاشت اتفاق افتاده است. بر این اساس نیاز آبی برنج در سال 2010 مقدار 1024 میلی‌متر به دست آمد که 731 میلی‌متر آن مربوط به پس از نشاءکاری می‌باشد. شکل (۴-۱۶) تغییرات تبخیر و تعرق گیاه برنج و تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در طول دوره رشد برنج در منطقه فلاورجان نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶- تغییرات تبخیر و تعرق روزانه گیاه برنج (ET_c) و تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در ایستگاه فلاورجان

جدول (۹-۴) مقادیر ET_c به دست آمده در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۹-۴- مقادیر ET_c در ایستگاه‌های مختلف

منطقه	ET_c در کل دوره رشد برنج (mm)	ET_c پس از نشاءکاری (mm)	متوسط روزانه در دوره رشد (mm)
زرین‌شهر	۱۲۸۵	۹۲۰	۸/۹
مبارکه	۱۲۳۸	۸۸۴	۸/۶
فلاورجان	۱۰۲۴	۷۳۱	۷/۱

اختلافی که در مقادیر به دست آمده در ایستگاه‌های سه گانه مشاهده می‌شود، اغلب مربوط به تغییرات پارامترهای اقلیمی از جمله سرعت باد، رطوبت و دمای هوا در ایستگاه‌های مختلف است.

۵-۴- مساحت شالیزارهای منطقه مورد مطالعه

پس از تعیین نیاز آبی برنج، برای محاسبه میزان کل آب مورد نیاز در اراضی شالیکاری منطقه، سطح زیرکشت برنج در اراضی یکپارچه شبکه سنتی تعیین شد. همچنین مقدار به دست آمده با آمار و اطلاعات موجود در مورد سطح زیر کشت برنج در منطقه مقایسه شد.

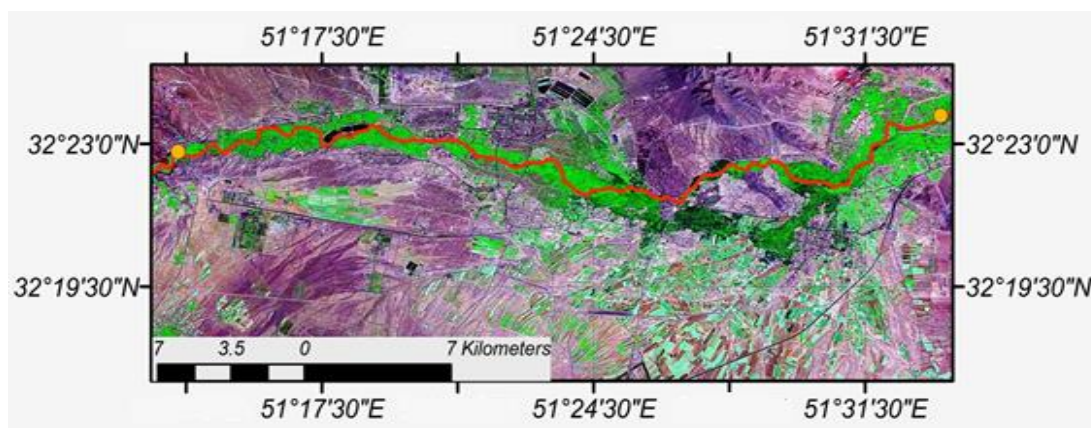
۵-۴-۱- تعیین مساحت شالیزارهای منطقه با تصویر ماهواره‌ای

اراضی یکپارچه برنجکاری در حاشیه زاینده‌رود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به اوایل نشاء- کاری در تصاویر نرم‌افزار Google Earth به خوبی قابل تشخیص است. شکل (۴-۱۷) محدوده مشخص شده در حدفاصل دو ایستگاه هیدرومتری مذکور را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که محدوده مورد نظر با مشاهدات میدانی از نظر نوع کشت تطبیق داده شده است.



شکل ۴-۱۷- محدوده اراضی یکپارچه زیر کشت برنج (شبکه سنتی) در حاشیه زاینده رود

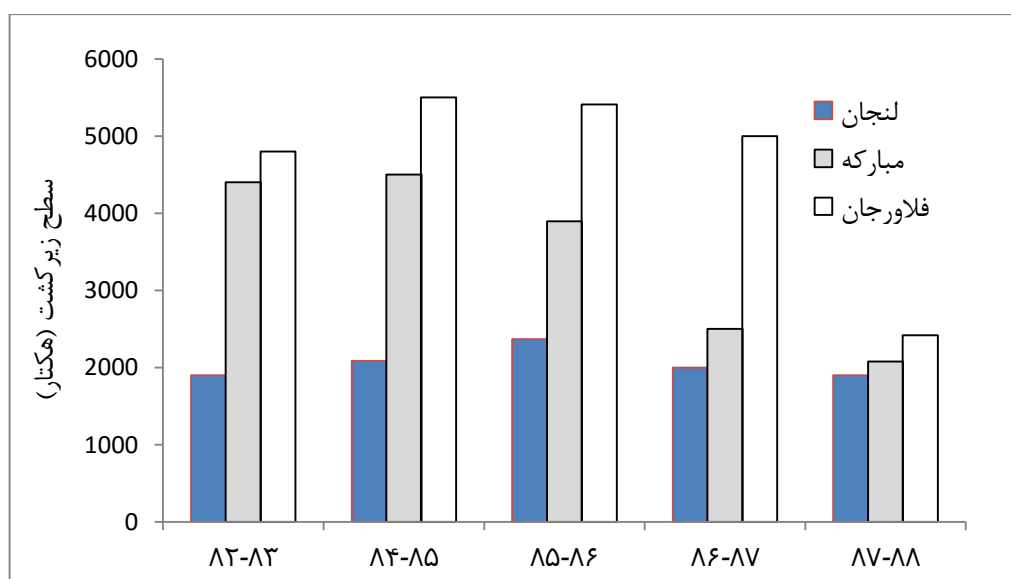
مساحت این اراضی در تصاویر زمین مرجع شده توسط نرم افزار Arc GIS ، حدود ۶۹۸۰/۸۵ هکتار به دست آمد. اندازه گیری دقیق سطح اراضی برنجکاری در چند واحد ۱۰ هکتاری از اراضی مشخص شده در شکل (۴-۱۷) نشان دهنده حدود ۵ درصد فرابراورد مساحت کل شالیزارها می باشد که مربوط به فضاهای غیر کشت چون راهها، رودخانه و زمین های آیش است. بنابراین سطح خالص اراضی شالیکاری، ۵ درصد کمتر میزان محاسبه شده یعنی حدود ۶۶۳۰ هکتار در محاسبات لحاظ گردید. شکل (۴-۱۸) تصویر ماهواره ای مربوط به سنجنده ETM اراضی شالیکاری را نشان می دهد. نقات نارنجی در این شکل موقعیت ایستگاه های هیدرومتری را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۸- موقعیت شالیزارها (با تن سبز تیره) در اطراف رودخانه زاینده رود بین دو ایستگاه هیدرومتری

۴-۵-۲- مساحت شالیزارها در آمار و اطلاعات موجود

استان اصفهان از نظر سطح زیر کشت برنج در کشور در رتبه پنجم و از لحاظ کیفیت و کمیت با میانگین ۵۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بین مقام‌های اول و دوم قرار دارد (سالمی و همکاران، ۱۳۸۴). مساحت شالیزارها در حاشیه زاینده‌رود با استفاده از تکنیک سنجش از دور توسط ماهواره IRS و سنجنده‌های LISS3 و WIFS حدود ۲۰۰۰۰ هکتار در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ توسط تصاویر ماهواره‌ای تعیین شده است (خواجه‌الدین و پورمنافی، ۱۳۸۶). متوسط سطح زیر کشت برنج طی این دوره در منطقه لنجان ۲۰۵۱ هکتار، در منطقه مبارکه ۳۴۷۸ هکتار و در منطقه فلاورجان ۴۶۲۶ هکتار می‌باشد (آمارنامه جهاد کشاورزی استان اصفهان، سال‌های ۸۲ تا ۸۸). در شکل (۴-۱۹) سطح زیر کشت برنج در سه منطقه لنجان، مبارکه و فلاورجان در سال‌های زراعی ۸۲ تا ۸۸ آمده است. مساحت به دست آمده برای اراضی شالیکاری از طریق عکس ماهواره‌ای (۶۶۳۰ هکتار) تقریباً مربوط به محدوده شهرهای مبارکه و زرین‌شهر می‌باشد که با توجه به مجموع آمار سطح زیر کشت برنج در دو شهرستان مبارکه و لنجان (یعنی ۵۵۲۹ هکتار)، قابل قبول می‌باشد.



شکل ۴-۱۹- تغییرات سطح زیر کشت برنج در مناطق مختلف در سال‌های زراعی ۸۲-۸۸

به طور کلی در سال‌های اخیر به دلیل تداوم خشکسالی‌ها و کمبود آب، در مناطق فلاورجان و اصفهان و تا حدودی شهر مبارکه، از مساحت کل شالیزارها کاسته شده است. همچنین سهم آب زیرزمینی در تأمین آب مورد نیاز آن، در این مناطق افزایش یافته است.

۴-۶- حجم آب مورد نیاز شالیزارها در حدفاصل پل کله تا لنج با روش فائو ۵۶

بر اساس نتایج در ایستگاه زرین‌شهر، نیاز آبی برنج در دوره خزانه‌گیری ۳۶۵ میلی‌متر به دست آمد. چون سطح خزانه حدود ۱۰ درصد کل سطح اراضی می‌باشد (فلاح، ۱۳۵۴) یعنی حدود ۶۶۳ هکتار، میزان آب مورد نیاز در این دوره ۲/۴ میلیون متر مکعب به دست می‌آید. نیاز آبی از زمان نشاءکاری (۲۸ خرداد) تا پایان دوره رشد (۴ مهر)، ۹۲۰ میلی‌متر بوده که بر اساس سطح زیرکشت ۶۶۳۰ هکتاری حدود ۶۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. همچنین ۲۰۰ میلی‌متر برای آماده سازی زمین جهت نشاءکاری در نظر گرفته شده (فلاح، ۱۳۵۴، فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) که حجم آن حدود ۱۳/۲ میلیون متر مکعب می‌باشد. بنابراین کل نیاز آبی خالص برنج در این سطح از اراضی شالیزاری حدود ۷۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. با توجه به اینکه نیاز آبیاری بیشتر از رقم به دست آمده خواهد بود، در زیر میزان برداشت آب از رودخانه زاینده‌رود برای مصارف شالیزارها تخمین زده شده است.

۴-۷- تخمین میزان نیاز آبیاری مزارع برنج به روش بیلان

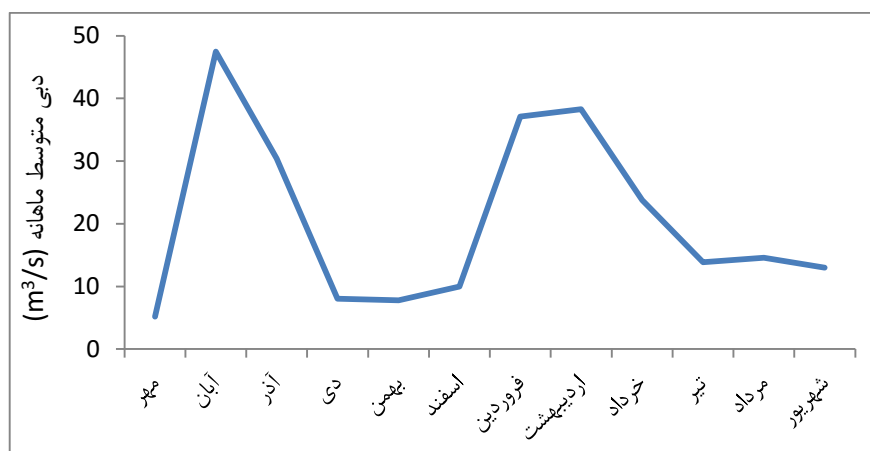
در این قسمت با استفاده از آمار مصارف و منابع آب در محدوده مقطع بین دو ایستگاه هیدرومتری پل کله و لنج، میزان آب مصرفی در شبکه سنتی زیر کشت برنج از رابطه بیلان تخمین زده شد.

۴-۷-۱- منابع خروجی رودخانه زاینده‌رود در حدفاصل ایستگاه پل کله و لنج

آب ورودی در مقطع پل کله تا ایستگاه لنج، به مصارف گوناگونی می‌رسد. در زیر به میزان برداشت بخش‌های گوناگون در این محدوده اشاره می‌شود.

۴-۷-۱-۱- خروجی ایستگاه پایین دست (لنج)

میزان دبی خروجی در این ایستگاه به صورت ماهانه از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان دریافت شد. بر اساس آمار این ایستگاه، دبی در ماه‌های اردیبهشت تا مهرماه سال ۱۳۸۹ از ۳۸/۲۸ تا ۷/۲ متر مکعب در ثانیه تغییر می‌کند. در فصل زراعی (اردیبهشت تا مهر سال ۱۳۸۹) متوسط دبی این ایستگاه ۱۸/۴۵ مترمکعب در ثانیه بوده است. شکل (۴-۲۰) هیدروگراف این ایستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۰- دبی متوسط ماهانه ایستگاه پایین دست (لنج) در سال آبی ۸۸-۸۹

۴-۷-۱-۲- برداشت صنایع

از جمله مصارف عمده، مصرف صنایع بزرگی چون ذوب‌آهن اصفهان، فولاد مبارکه، صنایع نظامی و پلی‌اکریل می‌باشد. میزان برداشت تقریبی این صنایع در جدول (۴-۱۰) ذکر شده است (آمار شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۹). حدود ۸۴ میلیون متر مکعب در سال به مصرف صنایع مذکور می‌رسد. قابل ذکر است که بخش عمده‌ای از پساب تولیدی این صنایع به مصرف فضای سبز اطراف آن‌ها (خصوصاً در فصل زراعی) یا جهت تغذیه آبخوان روی زمین پخش می‌شود (مانند پساب ذوب‌آهن اصفهان). از آنجا که میزان برداشت صنایع در طول سال تقریباً ثابت است، میزان برداشت ماهانه، یک دوازدهم رقم مذکور یعنی ۷ میلیون متر مکعب (معادل ۲/۶۱ متر مکعب در ثانیه) محاسبه می‌شود.

جدول ۴-۱۰- میزان تأمین آب مصرفی صنایع اصلی از زاینده‌رود (میلیون متر مکعب در سال)

نام صنعت	ذوب آهن اصفهان	فولاد مبارکه	صنایع دفاع	پلی‌اکریل	جمع کل
برداشت از زاینده‌رود	۳۱	۴۰	۱۰	۳	۸۴

۴-۷-۱-۳- برداشت از طریق کانال‌های آبرسان شبکه‌های زراعی

از دیگر برداشت‌های عمده در این مقطع از رودخانه، انتقال آب از طریق کانال‌های آبرسان آبیاری به شبکه‌های زراعی می‌باشد. بین دو ایستگاه هیدرومتری مورد نظر دو شبکه آبرسان اصلی به نام نکوآباد در مبارکه و شبکه مهیار و جرقویه در لنجان، به ترتیب آب مورد نیاز آبیاری شبکه چپ و راست نکوآباد و شبکه زراعی مهیار و جرقویه را تأمین می‌نماید. آمار ماهانه حجم آب برداشت شده توسط این کانال‌ها از شرکت میراب زاینده‌رود دریافت و در محاسبات لحاظ گردید. در جدول (۴-۱۱) حجم کل آب برداشت شده توسط این کانال‌ها در فصول مختلف سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۱- حجم آب برداشت شده توسط کانال‌های انتقال آب آبیاری در سال زراعی ۸۹-۸۸

حجم برداشت (میلیون متر مکعب)				
شبکه انتقال آب	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
نکوآباد	۳۳/۵۰	۸۵/۱۲	۸/۴۰	۰/۰۰
مهیار و جرقویه	۱۹/۸۳	۶/۰۹	۷/۸۰	۰/۰۰
جمع کل	۵۳/۳۳	۹۱/۲۱	۱۶/۲	۰/۰۰

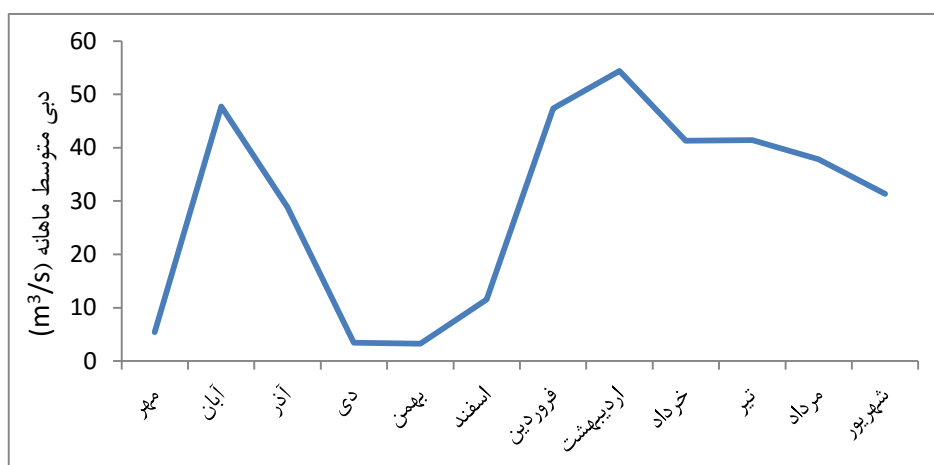
کانال‌های چپ و راست نکوآباد به ترتیب با ظرفیت ۵۰ و ۱۵ متر مکعب بر ثانیه به منظور آبیاری اراضی به وسعت ۴۸ و ۱۵ هزار هکتار در طرفین سد نکوآباد احداث گردیده است. میزان کل حجم آب برداشتی توسط شبکه‌های انتقال آب در فصل بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برابر با ۵۳/۳۳، ۹۱/۲۱ و ۱۶/۲ میلیون متر مکعب بوده و در فصل زمستان برداشت صورت نگرفته است. این ارقام به ترتیب معادل ۶/۶۳، ۱۱/۳۵ و ۲/۰۱ متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

۴-۷-۲- منابع ورودی رودخانه زاینده‌رود در حدفاصل پل کله و لنج

منابع آب ورودی در این مقطع از رودخانه شامل دبی ورودی در ایستگاه پل کله و مقداری نیز از سایر منابع مثل تغذیه رودخانه توسط سفره و غیره می‌باشد که در ادامه بیان شده است.

۴-۷-۲-۱- ورودی رودخانه در محل ایستگاه پل کله

دبی آب در ایستگاه هیدرومتری پل کله که در ابتدای مقطع مورد نظر بیان قرار دارد در ماه‌های اردیبهشت (حداکثر) تا مهر (حداقل) ۱۳۸۹ از ۵۴/۳۷ تا ۱۶/۹۵ متر مکعب در ثانیه در تغییر می‌باشد. متوسط دبی ورودی در فصل زراعی سال ۱۳۸۹ در این ایستگاه، ۳۷/۲۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل (۴-۲۱) هیدروگراف این ایستگاه را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

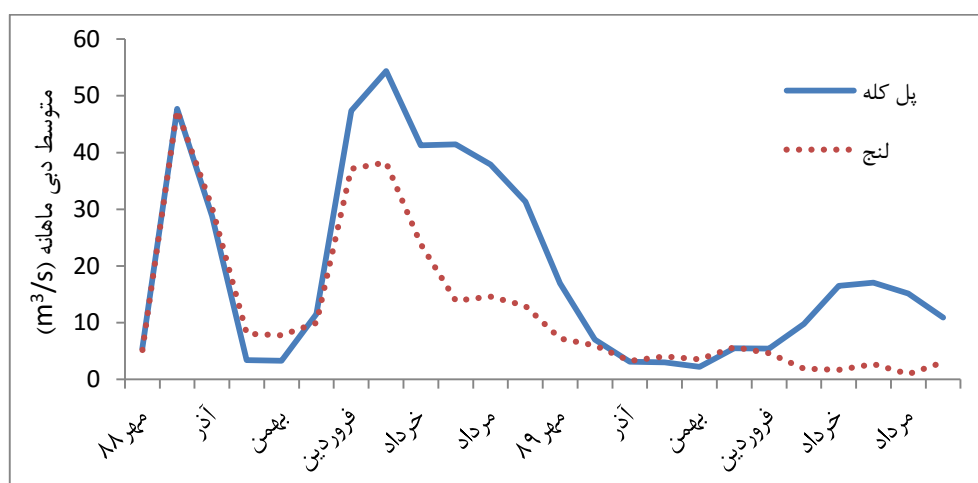


شکل ۴-۲۱- دبی متوسط ماهانه در ایستگاه بالادست (پل کله) در سال آبی ۸۹-۸۸

۴-۷-۲-۲- تخمین سایر ورودی‌ها به زاینده‌رود در حدفاصل پل کله و لنج

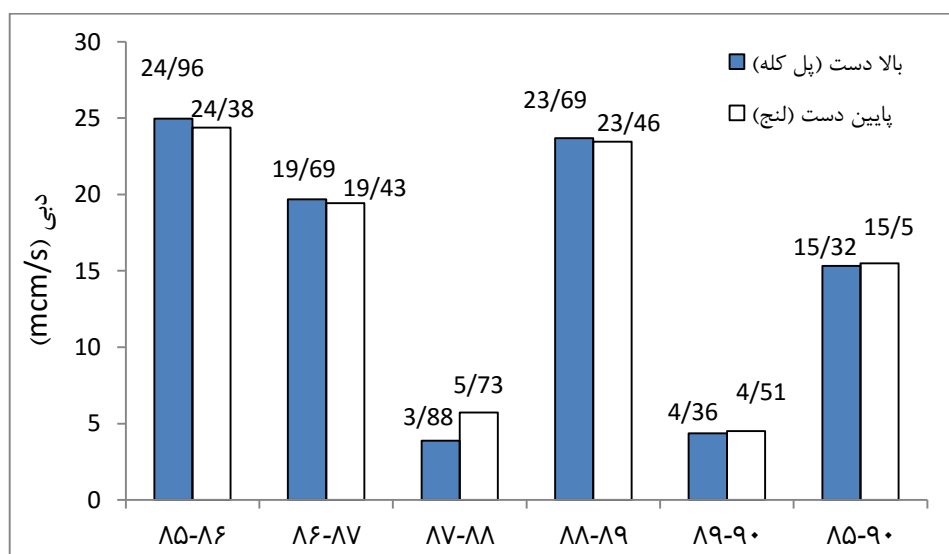
سایر منابع ورودی مثل آبخوان، آب برگشتی و غیره نیز وجود دارد که مقدار هر یک از آنها مشخص نمی‌باشد. برای تخمین مقدار آب اضافه شده در فاصله دو ایستگاه هیدرومتری پل کله (بالا دست) و ایستگاه هیدرومتری لنج (پایین دست)، از مقایسه دبی بالادست و پایین دست در دو دوره شامل فصل زراعی (اردیبهشت تا مهر) که مصرف کشاورزی بالا است و فصل غیرزراعی (آبان تا فروردین) که

مصرف کشاورزی محدود است استفاده گردید. شکل (۴-۲۲) مقادیر دبی ماهانه در دو ایستگاه پل کله و لنج را نشان می‌دهد. به طور کلی دبی در این دو ایستگاه در ماه‌های مختلف یکسان نیست که عمدتاً تحت تأثیر رهاسازی از سد زاینده‌رود و میزان برداشت می‌باشد. در فصل زراعی جهت تأمین نیاز کشاورزی رهاسازی از سد افزایش می‌یابد. اختلاف دبی دو ایستگاه در فصل زراعی حداکثر است که به دلیل برداشت آب از رودخانه جهت مصارف کشاورزی است.



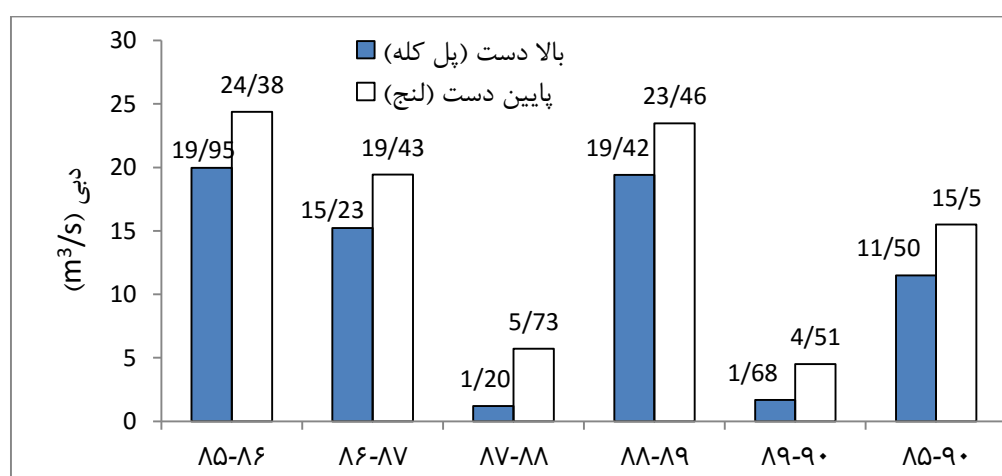
شکل ۴-۲۲- دبی مطلق در ایستگاه‌های هیدرومتری پل کله (بالادست) و لنج (پایین دست)

اختلاف دبی متوسط در فصل غیرزراعی در بالادست و پایین دست در شکل (۴-۲۳) آمده است.



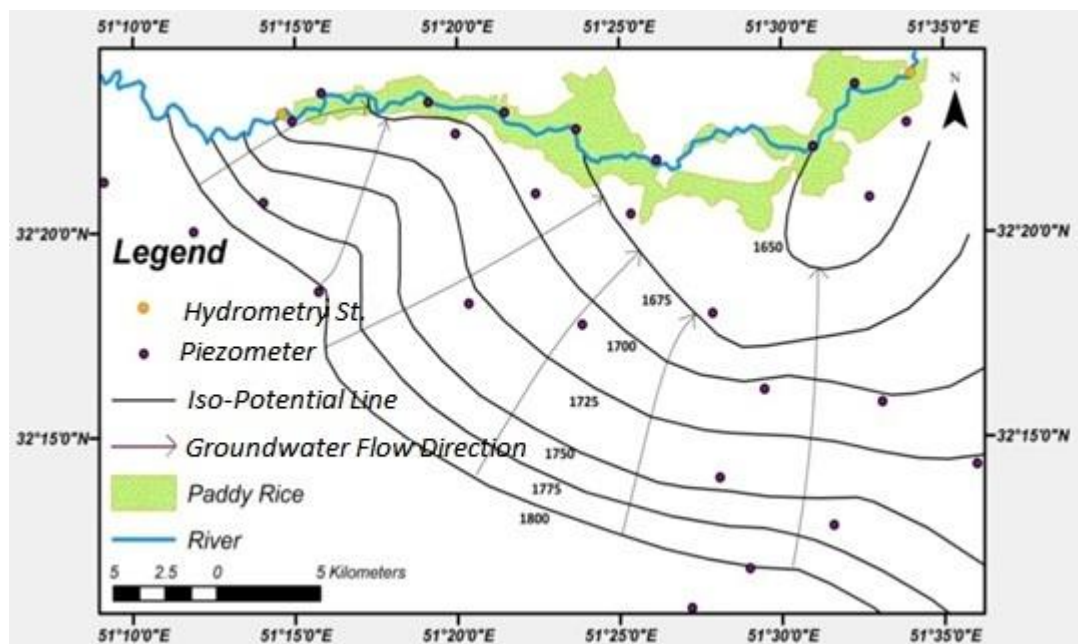
شکل ۴-۲۳- اختلاف دبی در بالادست و پایین دست در فصل غیرزراعی در سال‌های ۹۰-۱۳۸۵

با توجه به اینکه اختلاف دبی در فصل غیرزراعی بین ایستگاه هیدرومتری بالادست (پل کله) و پایین دست (لنج) در سال ۸۸-۸۹، نشان دهنده تنها کاهشی معادل ۰/۲۳ متر مکعب در ثانیه در ایستگاه لنج می‌باشد و میزان برداشت توسط صنایع و کانال‌های آبرسان در فصل غیرزراعی (آبان ۱۳۸۸ تا فروردین ۱۳۸۹)، به طور متوسط ۴/۲۷ متر مکعب در ثانیه می‌باشد، لذا در طول این دو ایستگاه حداقل حدود ۴ متر مکعب در ثانیه به رودخانه آب اضافه شده است. به عبارت دیگر در فاصله بین دو ایستگاه همواره مقداری آب به رودخانه در طول مسیر اضافه می‌شود که با برداشت آب صنایع و کانال‌ها در فصل غیرزراعی تقریباً برابر می‌باشد. شکل (۴-۲۴) اختلاف بین ورودی خالص (دبی پل کله) با کسر برداشت‌ها توسط صنایع و کانال‌ها) و خروجی را نشان می‌دهد. طبق این شکل، این اختلاف در سال‌های قبل نیز تقریباً ثابت بوده است. این رقم بیانگر مجموع آب برگشتی از صنایع، تغذیه توسط آبخوان، آب برگشتی کشاورزی و رواناب بارندگی بوده که به دبی خروجی در ایستگاه هیدرومتری لنج اضافه شده است. این محاسبات مربوط به فصل غیرزراعی است اما در فصل زراعی که بارندگی قابل توجهی رخ نمی‌دهد (ناچیز بودن رواناب بارندگی)، و آب برگشتی صنایع نیز ناچیز است (به دلیل مصرف در فضای سبز)، ۵۰ درصد رقم به دست آمده (یعنی ۲ متر مکعب در ثانیه) به عنوان ورودی به رودخانه از سایر منابع (آب برگشتی) در محاسبات بیلان برای فصل زراعی فرض گردید.

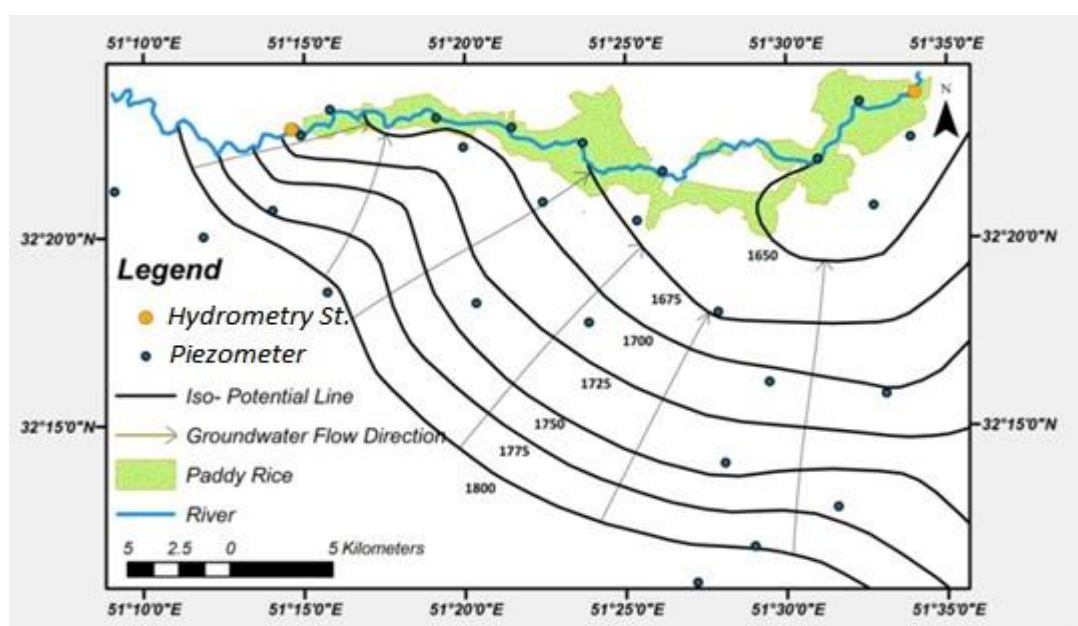


شکل ۴-۲۴- دبی در بالادست (پل کله) و پایین دست (لنج) در فصل غیرزراعی (سال‌های ۸۵-۹۰) با کسر برداشت صنایع و کانال‌های آبرسان از دبی بالادست

همچنین جهت تأیید وجود جریان‌های زیرزمینی در بین دو ایستگاه، نقشه هم‌پتانسیل جریان آب زیرزمینی برای دو فصل زراعی و غیرزراعی ترسیم و جهت جریان آب زیرزمینی مشخص گردید (شکل ۴-۲۵ و ۴-۲۶). نقشه‌های ترسیم شده نشان دهنده تغذیه رودخانه از طریق آبخوان یا به عبارت دیگر زاینده بودن رودخانه می‌باشد.



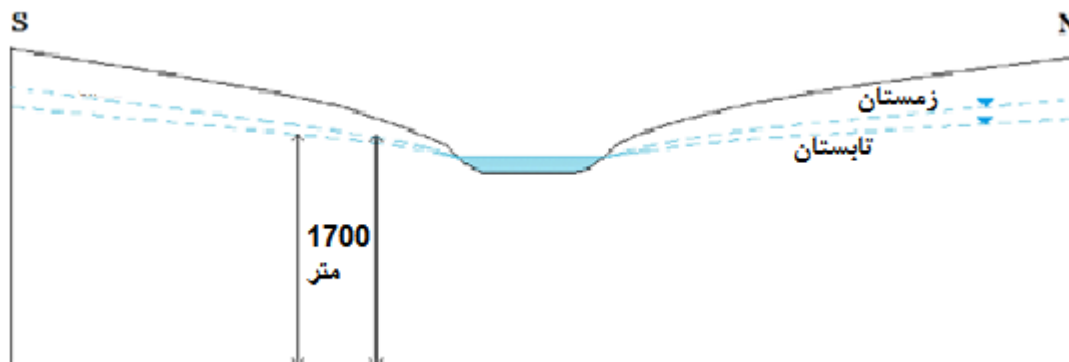
شکل ۴-۲۵- نقشه هم‌پتانسیل بخشی از آبخوان لنجان در فصل زراعی (اردیبهشت تا مهر)



شکل ۴-۲۶- نقشه هم‌پتانسیل بخشی از آبخوان لنجان در فصل غیرزراعی (آبان تا فروردین)

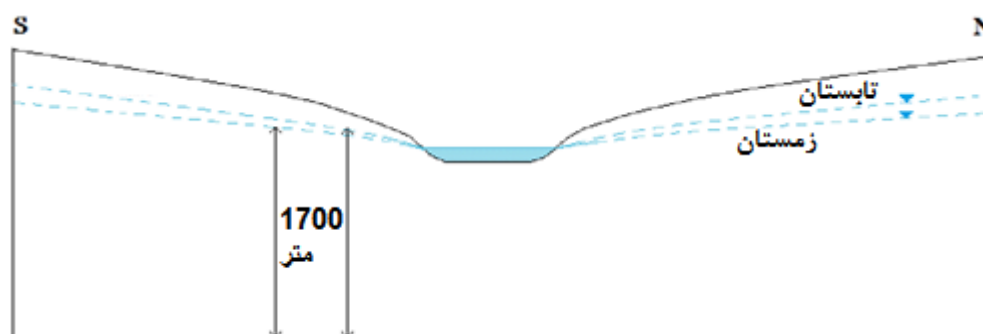
جهت جریان آب زیرزمینی در بالادست (سمت چپ شکل ۴-۲۵ و ۴-۲۶) بیشتر به سمت رودخانه است و هر چه به سمت پایین دست حرکت کنیم جهت جریان بیشتر به موازات رودخانه میل می‌یابد. این شرایط طوری پیش می‌رود که پس از ایستگاه هیدرومتری لنج، شرایط برعکس شده و در دشت نجف آباد رودخانه تغذیه کننده آبخوان می‌شود. همان طور که در فصل یک اشاره شد، آبخوان آزاد لنجان به دو قسمت در تعادل با رودخانه (نزدیک به رودخانه) و قسمت در تعادل با مرزهای حوضه و بارندگی (دور از رودخانه) تقسیم می‌شود. چون اراضی برنجکاری در حاشیه زاینده‌رود واقع است، سطح آبخوان در این قسمت، تابع سطح آب رودخانه دچار نوسان می‌گردد.

تراز آبخوان در مناطق دورتر (با سطح مناطق زراعی محدود) در آبان تا فروردین، بالاتر و در فصل زراعی (اردیبهشت تا مهر) پایین‌تر است. این شرایط طبیعی است. در تابستان بارندگی رخ نمی‌دهد و پمپاژ چاه‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین سطح تراز آبخوان پایین می‌رود (شکل ۴-۲۷).



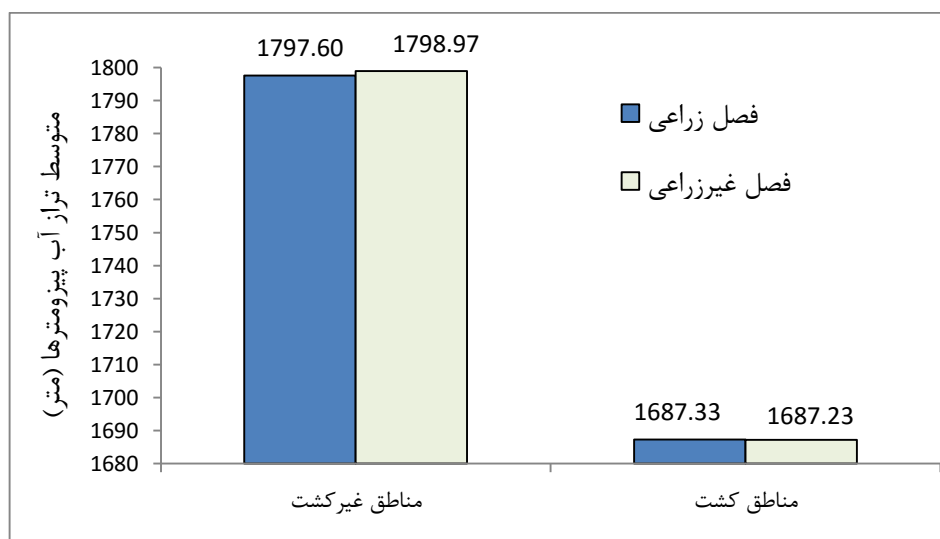
شکل ۴-۲۷- شرایط معمولی سطح آبخوان در زمستان و تابستان

در مناطق کشت برنج (حاشیه رودخانه)، در فصل کشت، سطح آبخوان اندکی بالاتر (حدود ۱۰ سانتی‌متر) از زمانی است که کشت برنج صورت نمی‌گیرد (آبان تا اردیبهشت) (شکل ۴-۲۸). این افزایش می‌تواند ناشی از بالا آمدن سطح آب در رودخانه به دلیل افزایش جریان خروجی سد در فصل زراعی باشد. این مقایسه نشان می‌دهد، مقدار نفوذ آب از اراضی شالیزاری به حدی نیست که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سطح تراز آبخوان ایجاد نماید. این امر تأیید می‌نماید که اهمیت تبخیر و تعرق در مصرف آب بسیار بیشتر از پدیده نفوذ و تغذیه آبخوان یا رودخانه است.



شکل ۴-۲۸- شرایط سطح آبخوان در حواشی تحت کشت برنج زاینده رود

شکل (۴-۲۹) سطح آب در پیزومترهای مناطق دور از رودخانه (فاصله بیش از ۵ کیلومتر) و پیزومترهای در محدوده کشت برنج را در فصل زراعی و غیرزراعی نشان می‌دهد. این شکل نیز شرایط طبیعی در مناطق دور از رودخانه و همچنین عدم تغییر محسوس تراز آب در مناطق کشت برنج را نشان می‌دهد. در مناطق غیر کشت برنج، در فصل زراعی که تبخیر زیاد و بارندگی ناچیز است و اراضی کشاورزی و آبیاری نیز محدود است، متوسط سطح آبخوان پایین‌تر از فصل غیرزراعی است. همچنین در این مناطق میزان برداشت آب زیرزمینی نسبت به اراضی حاشیه رودخانه که دسترسی به آب سطحی وجود دارد، بیشتر است. اما در مناطق حاشیه رودخانه که عمدتاً زیر کشت برنج است تراز متوسط آب زیرزمینی در کل سال تغییر قابل توجهی ندارد.



شکل ۴-۲۹- تراز آب پیزومترها در مناطق کشت برنج (حاشیه رودخانه) و مناطق غیر کشت برنج (دور از رودخانه)

۴-۷-۳- محاسبه مقدار برداشت آب توسط شبکه سنتی زیر کشت برنج با روش بیلان

آب مورد نیاز شالیزارهای حاشیه رودخانه در محدوده مورد نظر از طریق شبکه آبیاری سنتی تأمین می‌گردد. به این صورت که با احداث بندهای کوچک سنگی در مسیر رودخانه، آب را به کانال‌های کنار آن (در اصطلاح محلی به آن مادی گفته می‌شود) منتقل می‌نمایند. معمولاً نظارتی بر میزان ورود آب به این کانال‌ها وجود ندارد و بر اساس نیاز کشاورزان، آب برداشت می‌شود. برداشت از آب زیرزمینی برای زراعت برنج به مناطق دورتر از رودخانه و خصوصاً در پایین دست (مناطق فلاورجان، اسفهان و غیره) اختصاص دارد.

با توجه به منابع و مصارف ارائه شده، می‌توان میزان برداشت آب را در این مقطع از رودخانه جهت مصرف در شبکه سنتی زیر کشت برنج با استفاده از رابطه زیر تخمین زد.

$$Q_T = (Q_{up} + Q_R) - (Q_{down} + Q_I + Q_C) \quad (\text{رابطه ۴-۱})$$

در این رابطه Q_T دبی متوسط وارد شده به شبکه سنتی، Q_{up} متوسط دبی اندازه‌گیری شده در بالادست مقطع، Q_R دبی اضافه شده به رودخانه از طریق جریان‌های برگشتی، Q_{down} دبی خروجی در پایین دست، Q_I دبی برداشت شده توسط صنعت و Q_C دبی خروجی توسط کانال‌های انتقال آب می‌باشد. همه موارد مذکور بر حسب متر مکعب در ثانیه و به صورت متوسط ماهیانه می‌باشد.

در جدول (۴-۱۲) کلیه مقادیر ورودی و خروجی ارائه شده و میزان آب برداشت شده توسط شبکه سنتی زیر کشت برنج در مقطع بین ایستگاه‌های پل کله و لنج با استفاده از رابطه (۴-۱) محاسبه شده است. بر این اساس، دبی برداشت شده توسط کانال‌های سنتی در ماه‌های اردیبهشت تا خرداد سال ۱۳۸۹ (معادل با ۲۰۱۰ میلادی) از حدود ۵ تا ۱۵ متر مکعب بر ثانیه در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند. کمترین دبی وارد شده به شبکه سنتی در مهرماه با ۵/۴ مترمکعب بر ثانیه و حداکثر آن در تیرماه با ۱۵/۲۶ به دست آمد.

جدول ۴-۱۲- بیلان آب زاینده‌رود در حدفاصل پل کله و لنج از اردیبهشت تا مهر سال ۱۳۸۹ (متر مکعب بر ثانیه)

ماه	ورودی			خروجی				شبکه سنتی
	Q _{up}	Q _R	جمع	Q _{down}	Q _I	Q _C	جمع	Q _T
اردیبهشت	۵۴/۳۷	۲	۵۶/۳۷	۳۸/۲۸	۲/۶۱	۸/۰۵	۳۸/۹۴	۷/۴۳
خرداد	۴۱/۲۸	۲	۴۳/۲۸	۲۳/۷۹	۲/۶۱	۸/۶۱	۳۵/۰۱	۸/۲۷
تیر	۴۱/۴۳	۲	۴۳/۴۳	۱۳/۸۸	۲/۶۱	۱۱/۶۸	۲۸/۱۸	۱۵/۲۶
مرداد	۳۷/۸۶	۲	۳۹/۸۶	۱۴/۵۹	۲/۶۱	۱۱/۴۸	۲۸/۶۸	۱۱/۱۸
شهریور	۳۱/۳۴	۲	۳۳/۳۴	۱۲/۹۸	۲/۶۱	۱۰/۸۹	۲۶/۴۸	۶/۸۶
مهر	۱۶/۹۵	۲	۱۸/۹۵	۷/۲۰	۲/۶۱	۳/۶۷	۱۳/۶۹	۵/۴۷

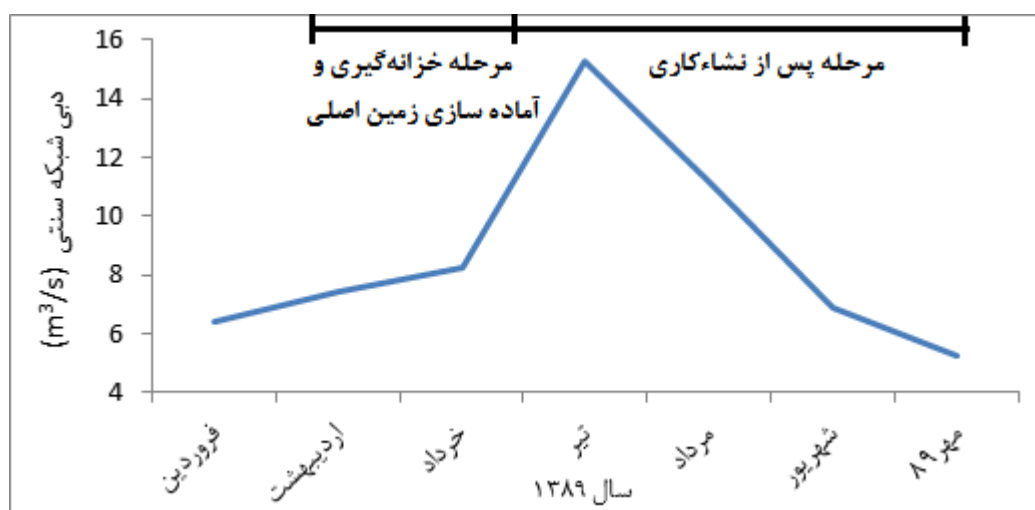
اگر دبی برداشت شده توسط شبکه سنتی در هر ماه را به حجم آب تبدیل کنیم، در اردیبهشت ۱۹/۹، در خرداد ۲۲/۱۵، در تیر ۴۰/۸۷، در مرداد ۲۹/۹۴، در شهریور ۱۸/۳۷ و در مهر ۱۴/۱۸ میلیون متر مکعب آب توسط شبکه سنتی مصرف شده است. با در نظر گرفتن دوره کشت ۳/۳۵ ماهه کشت برنج در منطقه از بعد از نشاءکاری (۱۰۴ روز)، متوسط حجم آب برداشت شده از رودخانه تقریباً ۱۰۰ میلیون متر مکعب به دست می‌آید. نیاز آبی خالص کشت برنج در سطح اراضی محدوده با روش فائو در کل دوره کشت ۷۷ میلیون متر مکعب و در دوره پس از نشاء حدود ۷۴ میلیون متر مکعب به دست آمد. اگر راندمان آبیاری در منطقه ۱۰۰ درصد می‌بود، می‌بایست همین مقدار آب از رودخانه برداشت می‌گردید. اختلاف این عدد با روش بیلان به راندمان آبیاری در منطقه مربوط بوده و بیانگر تلفات آب برداشتی از رودخانه (در شبکه انتقال، نفوذ عمقی و غیره) می‌باشد. به عبارت دیگر عملاً راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد نمی‌باشد و برای تأمین نیاز آبی، باید میزان بیشتری از آب رودخانه برداشت گردد. در صورتی که متوسط راندمان در منطقه حدود ۵۰ درصد در نظر گرفته شود، میزان آب آبیاری بر اساس روش فائو به عدد ۱۱۱ میلیون متر مکعب افزایش می‌یابد. بنابراین میزان آب مورد نیاز محاسبه شده با روش فائو از دقت کافی برخوردار بوده و می‌توان از آن در محاسبات بعدی با اطمینان استفاده نمود.

در جدول (۴-۱۳) حجم آب مورد نیاز و حجم برداشت شده از رودخانه آمده است.

جدول ۴-۱۳- تخمین برداشت آب از رودخانه و نیاز واقعی آب در دوره کشت برنج از زمان نشاء در سال ۲۰۱۰
(بر حسب میلیون متر مکعب)

تخمین آب برداشت شده از رودخانه توسط شبکه سنتی آبیاری با روش بیلان		تخمین آب مورد نیاز شالیزارها با روش فائو ۵۶ با احتساب نیاز آماده سازی زمین (پس از نشاء کاری)
بدون احتساب راندمان	با احتساب راندمان ۵۰ درصد	
۷۴	۱۱۱	۱۰۰

شکل (۴-۳۰) میزان دبی ورود آب رودخانه زاینده رود به شبکه سنتی در ماه های فروردین تا مهر ۱۳۸۹ را نشان می دهد. این شکل بر اساس نتایج رابطه بیلان رسم گردید. طبق این شکل در تیر ماه حداکثر جریان ورودی به شبکه سنتی وجود دارد که همزمان با آماده سازی زمین و انتقال نشاءها به زمین اصلی است.

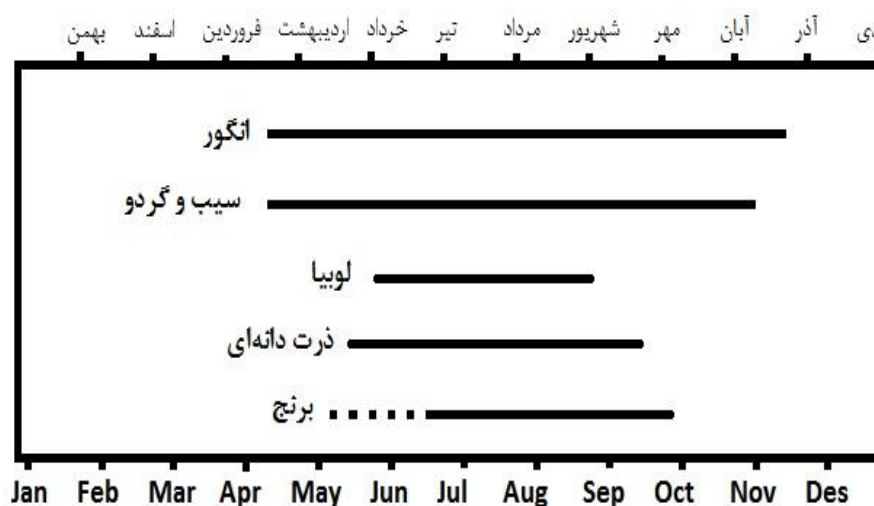


شکل ۴-۳۰- تغییرات ماهانه دبی وارد شده به شبکه سنتی زیر کشت برنج بر اساس رابطه بیلان

ارقام به دست آمده نشان می دهد از کل آب ورودی در مقطع پل کله در تابستان ۱۳۸۹ تنها حدود ۳۷/۵ درصد آن به ایستگاه هیدرومتری لنج رسیده و ۳۰/۶ درصد آن فقط در سطحی حدود ۶۶۳۰ هکتار از اراضی شالیکاری در شبکه سنتی حاشیه رودخانه مصرف شده است.

۴-۸- نیاز آبی کشت‌های فرضی جایگزین برنج در منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی تفاوت نیاز آبی برنج و دیگر محصولات، نیاز آبی چند محصول دیگر به عنوان کشت-های فرضی جایگزین برنج بررسی شد. از جمله محصولات دیگر شهرستان لنجان و مبارکه، می‌توان به گندم، جو، ذرت، علوفه، گوجه، سیب‌زمینی و محصولات باغی مثل انگور، سیب، هلو، گردو و بادام اشاره نمود. چون دوره رشد این محصولات در بهار و تابستان است، در راستای کاهش برداشت آب از زاینده‌رود، امکان جایگزینی تعدادی از این محصولات به جای برنج مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به اینکه جایگزینی باغات عملاً باعث حذف دو کشت سالانه (برنج و کشت بعد از آن یعنی گندم) در منطقه می‌شود، نیاز آبی گندم زمستانه که به عنوان کشت غالب در منطقه بعد از برنج محسوب می‌شود، نیز محاسبه گردید. نیاز آبی محصولات زراعی سالانه (مجموع نیاز آبی برنج - گندم) با نیاز آبی باغات مورد مقایسه قرار گرفت تا میزان اختلاف نیاز آبی سالانه در الگوی کشت فعلی (برنج- گندم) و الگوی جایگزینی باغات معلوم گردد. شکل (۴-۳۱) طول دوره رشد محصولاتی که دوره کشت مشترک با برنج دارند را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۱- طول دوره رشد محصولات جایگزین برنج (خط‌چین نشان دهنده دوره خزانه‌گیری برنج می‌باشد)

در جدول (۴-۱۴) اطلاعات مربوط به هر کدام از این محصولات ذکر شده است. پارامترهای ذکر شده در این جدول در بخش‌های قبل توضیح داده شده است.

فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۱۴- مشخصات گیاهی محصولات مختلف جایگزین کشت برنج (فائو ۵۶؛ فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)

محصول	کل طول دوره رشد (روز)	ضرایب گیاهی پایه			حداکثر ارتفاع گیاه (m)	حداکثر عمق ریشه (m)
		اولیه (K _{cb ini})	میانی (K _{cb mid})	پایانی (K _{cb end})		
ذرت	۱۲۵	۰/۱۵	۱	۰/۳۵	۲	۱/۵
لوبیا	۹۵	۰/۱۵	۱/۱۰	۰/۲۵	۰/۴	۰/۷۵
گندم	۲۲۰	۰/۱۵	۱/۱۰	۰/۳۰	۱	۱/۶
گردو	۲۰۰	۰/۴۰	۱/۰۵	۰/۶	۴/۵	۲
سیب	۲۰۰	۰/۵۰	۰/۹۰	۰/۷۰	۲	۱/۵
انگور	۲۲۰	۰/۱۵	۰/۸۰	۰/۴۰	۲	۱/۵
برنج	۱۴۴	۱	۱/۱۵	۰/۷	۱/۲	۰/۷۵

در جدول (۴-۱۵) طول مراحل رشد و زمان کاشت (یا جوانه‌زنی برای درختان) ارائه شده است.

جدول ۴-۱۵- زمان کاشت و طول مراحل مختلف رشد بر حسب روز

محصول	تاریخ کاشت		طول مراحل چهارگانه رشد (روز)			
	دهه	ماه	اولیه (L _{ini})	توسعه (L _{dev})	میانی (L _{mid})	پایانی (L _{late})
ذرت	۳	اردیبهشت	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰
لوبیا	۱	خرداد	۱۵	۲۵	۳۵	۲۰
گندم	۲	آبان	۳۰	۹۰	۶۰	۳۰
گردو	۳	فروردین	۲۰	۲۰	۱۳۰	۳۰
سیب	۳	فروردین	۲۰	۵۰	۹۰	۴۰
انگور	۳	فروردین	۲۰	۵۰	۱۰۰	۵۰
برنج	۳	خرداد	۴۰	۳۰	۴۴	۳۰

ضریب مربوط به نوع آبیاری (f_w) نیز برای محصولات باغی و لوبیا ۰/۵ در نظر گرفته شد که مربوط به آبیاری نوع جوی و پشته‌ای است. برای ذرت و گندم با توجه به آبیاری کرتی ضریب ۱ در نظر گرفته شد (فائو ۵۶). سایر پارامترهای ورودی که مربوط به بافت خاک بود، همانند محاسبات ذکر شده برای

برنج وارد شد. جدول (۴-۱۶) نتایج تبخیر و تعرق گیاهان محاسبه شده با روش فائو ۵۶ را نشان می‌دهد. نیاز آبی محصولات باغی برای تولید حداکثر محصول (تولید پتانسیل) محاسبه شده است.

جدول ۴-۱۶- نیاز آبی (ET_c) برنج و کشت‌های جایگزین آن

گیاه ET_c (mm)	برنج			ذرت دانه‌ای	لوبیا	سیب	گردو	انگور
	خزان	پس از نشاء	کل دوره					
کل دوره	۳۶۵	۹۲۰	۱۴۸۵*	۹۲۹	۷۳۹	۱۵۳۲	۱۶۱۰	۱۴۱۲
متوسط روزانه	۹/۱۳	۸/۸۵	۸/۹	۷/۴۴	۷/۷۸	۷/۶۶	۸/۰۵	۶/۴۲

• با احتساب ۲۰۰ میلی‌متر جهت آماده سازی زمین

نتایج به دست آمده در جدول (۴-۱۶) نشان می‌دهد نیاز آبی برنج در مجموع بیشتر از ذرت و لوبیا می‌باشد. با احتساب نیاز آماده سازی زمین در کشت برنج (۲۰۰ میلی‌متر)، نیاز آبی آن از انگور نیز بیشتر می‌باشد. در مورد سیب و گردو نیاز آبی آن‌ها به ترتیب ۴۷ و ۱۲۵ میلی‌متر بیشتر از نیاز آبی برنج می‌باشد. این مقدار افزایش در حالی است که طول دوره رشد برنج ۱۴۴ روز و طول دوره رشد سیب و گردو ۲۰۰ روز می‌باشد. با توجه به اینکه با کاشت درخت امکان کشت دیگری در سال وجود ندارد، لذا نیاز آبی دوره رشد درخت عملاً نیاز آبی سالانه می‌باشد. بنابراین بایستی مجموع نیاز آبی دو کشت در سال (برنج - گندم) را با نیاز آبی باغات مقایسه نمود. گندم و جو در آبان ماه کاشته می‌شود و قبل از نشاء کاری برنج برداشت می‌شود. میزان ET_c گندم با دوره رشد ۲۲۰ روزه برای دوره قبل از کشت برنج محاسبه شد و مقدار ۸۱۰ میلی‌متر به دست آمد. متوسط روزانه آن در دوره کشت ۳/۷ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین در یک سال زراعی با الگوی کشت گندم- برنج نیاز آبی کل حدود ۲۲۹۵ میلی‌متر بوده در حالیکه نیاز آبی محصولات جایگزین فرضی گردو، سیب و انگور به ترتیب ۱۶۱۰، ۱۵۳۲ و ۱۴۱۲ میلی‌متر در یک سال زراعی خواهد بود. در نتیجه با جایگزینی باغات گردو، سیب و

انگور به جای الگوی کشت برنج- گندم به ترتیب ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی سالانه کاهش می‌یابد. آنچه باعث افزایش مصرف آب در کشت برنج شده، بیشتر مربوط به نحوه کشت آن یعنی غرقاب بودن مزرعه و نیازهای آبی مربوط به آماده‌سازی زمین در کشت این محصول می‌باشد. با کاهش نیاز آبی کشت‌های جایگزین فرضی، میزان کل برداشت آب از رودخانه نیز کاهش خواهد یافت. اگر حجم کل آب مورد نیاز هر گیاه در دوره کشت آن به دبی معادل آن بر حسب متر مکعب بر ثانیه تبدیل شود، اثر کشت هر محصول بر میزان برداشت آب از زاینده‌رود مشخص می‌گردد. بدیهی است که دبی به دست آمده به صورت متوسط در کل دوره رشد گیاه می‌باشد. در جدول (۴-۱۷) ارقام به دست آمده برای تبخیر و تعرق هر گیاه، بر اساس سطح زیر کشت شبکه سنتی (۶۶۳۰ هکتار) و طول دوره رشد هر محصول، به صورت متوسط دبی مورد نیاز برای کشت آن محاسبه شده است.

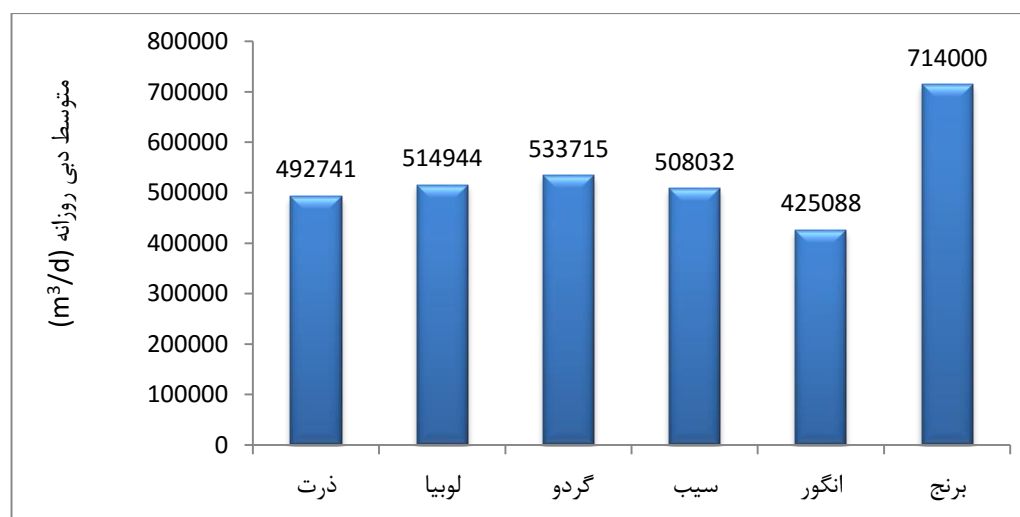
جدول ۴-۱۷- دبی و حجم آب مورد نیاز جهت تأمین نیاز آبی گیاه برنج و سایر محصولات در سطح اراضی زراعی

محصول	طول دوره رشد (روز)	ET _c (mm)	متوسط دبی مورد نیاز جهت آبیاری در کل دوره کشت		حجم نیاز آبی در کل دوره (Mm ³)
			(m ³ /day)	(m ³ /s)	
برنج	خزانه- گیری	۴۰	۳۶۵	۱۰/۷	۲/۴۲
	پس از نشاء	۱۰۴	۹۲۰	۶/۷۸	۶۰/۹۹
	کل دوره ^۲	۱۴۴	۱۴۸۵	-----	۷۶/۶۷
ذرت دانه‌ای	۱۲۵	۹۲۹	۵/۷۰	۴۹۲۷۴۱	۶۱/۵۹
لوبیا	۹۵	۷۳۹	۵/۹۶	۵۱۴۹۴۴	۴۹/۰۲
گردو	۲۰۰	۱۶۱۰	۶/۱۸	۵۳۳۷۱۵	۱۰۶/۷۴
سیب	۲۰۰	۱۵۳۲	۵/۸۸	۵۰۸۰۳۲	۱۰۱/۶۰
انگور	۲۲۰	۱۴۱۱	۴/۹۲	۴۲۵۰۸۸	۹۰/۲۴

۱ سطح زیر کشت در خزانه ۱۰ درصد سطح کل یعنی ۶۶۳ هکتار در نظر گرفته شده است.

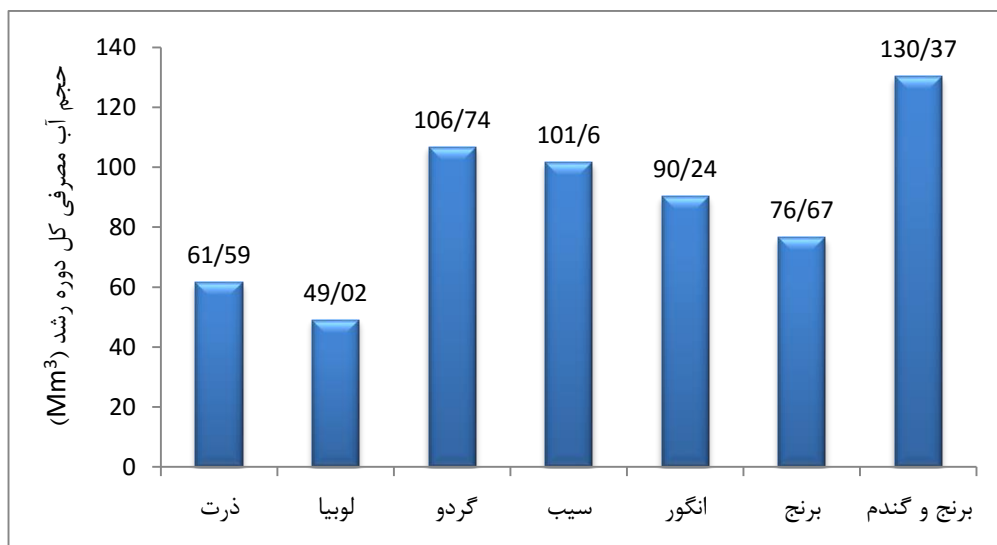
۲ با احتساب نیاز آماده سازی زمین (۲۰۰ میلی‌متر).

با توجه به جدول (۴-۱۶)، تمامی محصولات در کل دوره کشت خود دبی کمتری جهت تأمین نیاز آبی خود نسبت به برنج دارند. با احتساب ۲۰۰ میلی‌متر آب مصرفی برای آماده‌سازی زمین جهت کاشت نشاء (برابر با ۱۳/۲۶ میلیون متر مکعب در سطح اراضی زراعی)، متوسط دبی لحظه‌ای مورد نیاز برنج در دوره بعد از نشاء به ۸/۲ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. این رقم برای سایر کشت‌های فرضی بین ۴/۹۲ تا ۶/۱۸ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. دبی مورد نیاز روزانه هر محصول در سطح اراضی زراعی، با تقسیم حجم نیاز آبی خالص کل دوره رشد هر محصول بر طول دوره رشد آن حاصل گردید. شکل (۴-۳۲) متوسط دبی روزانه مورد نیاز جهت تأمین نیاز آبی محصولات مختلف در سطح ۶۶۳۰ هکتار از اراضی کشاورزی را در دوره کشت آن‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۲- دبی روزانه مورد نیاز شبکه سنتی با کشت‌های مختلف (برای برنج دوره پس از نشاء با احتساب نیاز آماده‌سازی زمین در نظر گرفته شده است)

با توجه به شکل (۴-۲۹)، دبی روزانه مورد نیاز برای تأمین نیاز آبی برنج (در دوره پس از نشاء و با احتساب نیاز آماده‌سازی زمین) بیشتر از دیگر محصولات است. کمترین دبی متوسط روزانه مورد نیاز نیز مربوط به انگور می‌باشد. در شکل (۴-۳۳) کل حجم آب مصرفی در دوره رشد هر گیاه برای سطح مذکور مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۴-۳۳- حجم کل آب مصرفی در دوره رشد هر گیاه در سطح اراضی زراعی

حجم کل آب مصرفی هر گیاه به طور مستقیم به طول دوره رشد آن وابسته است. محصولات باغی با طول دوره رشد بیشتر نسبت به گیاهان زراعی، حجم آب بیشتری نیاز دارند. چون با جایگزینی باغات به جای زراعت عملاً کشت دوم حذف می‌گردد، بنابراین به صورت سالانه حجم آب کمتری مصرف می‌گردد. حجم آب مصرفی سالانه در سطح مورد نظر، با الگوی کشت برنج- گندم، ۱۳۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. با جایگزینی گردو، سیب و انگور به ترتیب کاهش معادل ۲۳/۶۳، ۲۸/۷۷ و ۴۰/۱۳ میلیون متر مکعب در مصرف آب سالانه ایجاد می‌شود. همچنین جایگزینی کشت ذرت دانه‌ای و لوبیا به جای برنج در ۶۶۳۰ هکتار اراضی منطقه به ترتیب ۱۵/۰۸ و ۲۷/۶ میلیون متر مکعب نیاز آبی کمتری را نسبت به کشت برنج به دنبال خواهد داشت (با احتساب حجم نیاز آبی دوره خزانه‌گیری و آماده‌سازی زمین برای برنج). بنابراین با تغییر الگوی کشت به سمت هر یک از گیاهان مذکور مقداری در کل حجم آب مصرفی کشاورزی در محدوده اراضی مورد نظر صرفه جویی به عمل می‌آید. این مقدار را می‌توان در پشت سد زاینده‌رود ذخیره و به نیاز زیست محیطی رودخانه اختصاص داد. اختلاف حجم نیاز آبی محصولات فرضی جایگزین برنج در جدول (۴-۱۸) آمده است. همچنین دبی که این مقدار از حجم آب می‌تواند در طول سال یا در فصول کم آبی (خرداد تا مهر به مدت ۵ ماه) از سد رها شود آورده شده است.

جدول ۴-۱۸- اختلاف حجم نیاز آبی کشت‌های فرضی جایگزین، با برنج و معادل دبی تولیدی آن در دوره سالانه و دوره خشک

محصول جایگزین فرضی	اختلاف حجم نیاز آبی خالص (Mm^3) با		دبی معادل (m^3/s)	
	برنج	برنج- گندم	سالانه	ماه‌های بحران آب (خرداد تا مهر)
لوبیا	۲۷/۶۰	---	۰/۸۷۵	۲/۰۸۸
ذرت دانه‌ای	۱۵/۰۸	---	۰/۴۷۸	۱/۱۳۳
انگور	---	۴۰/۱۳	۱/۲۷۲	۳/۰۱۶
سیب	---	۲۸/۷۷	۰/۹۱۲	۲/۱۶۲
گردو	---	۲۳/۶۳	۰/۷۴۹	۱/۷۷۶

جدول (۴-۱۸) نشان می‌دهد بهترین محصول جهت جایگزینی برنج از بین موارد بررسی شده، با عدم تغییر کاربری زراعی اراضی منطقه به ترتیب گیاه لوبیا و ذرت و با تغییر کاربری اراضی به باغات به ترتیب انگور، سیب و گردو می‌باشد. برای بیشتر روشن شدن این مسئله چنانچه صرفه جویی حاصل شده با جایگزینی محصولات مذکور در کل سطح اراضی زیر کشت برنج در غرب استان اصفهان یعنی حدود ۲۰۰۰۰ هکتار اعمال شود، حجم آب قابل توجهی صرفه‌جویی می‌شود. بر فرض مثال، جایگزینی کشت لوبیا در ۲۰۰۰۰ هکتار اراضی شالیزاری باعث صرفه‌جویی در حدود ۱۴۸ میلیون متر مکعب آب در دوره کشت این محصول می‌شود. این حجم آب می‌تواند دبی حدود ۴/۷ مترمکعب بر ثانیه را در طول سال برای زاینده‌رود به ارمغان آورد. بدیهی است که تحقق این مطلب بسته به راندمان آبیاری و اختصاص آب کشاورزی به اندازه مورد نیاز هر نوع محصولی می‌باشد.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادہ



فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اهداف تحقیق، در این فصل نتایج به دست آمده در هر مرحله از انجام کار شامل محاسبه تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق گیاه برنج و گیاهان جایگزین فرضی، سطح اراضی برنجکاری منطقه و حجم آب مورد نیاز آنها با روش‌های بیلان و فائو ۵۶ و در نهایت تأثیر تغییر الگوی کشت بر دبی زاینده‌رود، به طور خلاصه ارائه می‌گردد. در پایان برای کاربرد نتایج این پژوهش و تکمیل آن پیشنهادهایی بیان گردیده است.

۵-۱- نتیجه‌گیری

۱- از بین ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه یعنی غرب و جنوب غرب اصفهان، ایستگاه‌های سینوپتیک زرین‌شهر و مبارکه و ایستگاه تبخیرسنجی فلاورجان به دلیل نزدیک‌تر بودن به اراضی زراعی زیر کشت برنج انتخاب شدند. آمار این ایستگاه‌ها مورد صحت‌سنجی با روش جرم مضاعف قرار گرفتند. نتایج صحت‌سنجی به صورت نمودار آماده شد و مشخص گردید که از دقت و صحت لازم برخوردار بوده و می‌توان از آن در محاسبات مربوط به نیاز آبی استفاده نمود.

۲- بر اساس مطالعات پیشین، با پنج روش برگزیده شامل روش‌های پنمن - مانیتث فائو ۵۶، پنمن فائو ۲۴، بلانی - کریدل، تشتک تبخیر فائو و هارگریوز (۱۹۸۵)، محاسبات تبخیر و تعرق مرجع برای هر ایستگاه انجام شد. با مبنا قرار دادن روش تشتک تبخیر، روش پنمن فائو بهترین نتایج را از نظر تطابق با آن داشت و برای محاسبات نیاز آبی دیگر گیاهان انتخاب شد.

۳- مجموع تبخیر و تعرق مرجع روزانه در سال ۲۰۱۰ با روش پنمن فائو در منطقه فلاورجان ۱۴۶۶، مبارکه ۱۶۹۰ و در زرین‌شهر ۱۷۲۴ میلی‌متر به دست آمد. در هر سه ایستگاه، روش پنمن-مانیت فائو ۵۶ کمترین تخمین و روش بلانی-کریدل بیشترین تخمین را در ایستگاه‌های مبارکه و زرین‌شهر نشان داد.

۵- برای انجام محاسبات نیاز آبی گیاه (ET_c) لازم بود بافت خاک اراضی برنجکاری تعیین گردد. به همین منظور نمونه‌گیری از سطح اراضی برنجکاری منطقه (عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) انجام شد و برای ده نمونه آنالیز بافت خاک صورت گرفت. با توجه به بافت دانه ریز خاک و چسبندگی بالا، با آزمایش الک تر سه بخش اصلی اندازه ذرات خاک شامل گراول، ماسه و گل تفکیک شد. سپس با روش هیدرومتری، میزان سیلت و رس تعیین گردید. نتایج آنالیز بافت خاک نشان داد تقریباً همه نمونه‌ها دارای بافت رسی هستند. میانگین درصد رس در نمونه‌ها ۵۴ درصد تعیین شد.

۶- مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج برای سه منطقه فلاورجان، مبارکه و زرین‌شهر در کل دوره کشت با روش معتبر فائو ۵۶ به ترتیب ۱۰۲۴، ۱۲۳۸ و ۱۲۸۵ میلی‌متر به دست آمد. برای آماده‌سازی زمین (بستر نشاء) نیز ۲۰۰ میلی‌متر باید به این مقدار افزود.

۷- با توجه به اراضی یکپارچه برنجکاری حاشیه زاینده‌رود ناحیه بین دو ایستگاه هیدرومتری پل کله در بالادست رودخانه و لنج در پایین دست (محدوده زرین‌شهر و مبارکه) انتخاب و سطح اراضی آن با تصویر ماهواره‌ای ۶۶۳۰ هکتار تعیین شد.

۸- بر اساس نیاز آبی خالص به دست آمده با روش فائو ۵۶، این سطح از اراضی برنجکاری حدود ۷۴ میلیون متر مکعب آب، تقریباً در سه ماهه تابستان (دوره کشت برنج) نیاز دارد.

۹- محاسبات بیلان جریان در حدفاصل دو ایستگاه هیدرومتری مذکور، حجم تقریبی کل آب برداشت شده از رودخانه جهت اراضی شبکه آبیاری سنتی زیر کشت برنج را حدود ۱۰۰ میلیون متر مکعب نشان می‌دهد. از کل آب ورودی در مقطع پل کله در زمان کشت برنج، حدود ۳۰ درصد در

سطح ۶۶۳۰ هکتاری شالیزارهای مورد نظر به مصرف می‌رسد. به عبارت دیگر نسبت به کل سطح اراضی فاریاب زاینده‌رود مقدار آب بسیار زیادی به این بخش محدود اختصاص می‌یابد.

۱۰- محاسبات بیلان جریان رودخانه در حدفاصل دو ایستگاه هیدرومتری مذکور، نشان می‌دهد در فصل غیرزراعی (آبان تا فروردین) حدود ۴ متر مکعب در ثانیه به آب رودخانه در فاصله بین این دو ایستگاه افزوده می‌گردد. این مقدار برای سال‌های متوالی تقریباً یکسان بوده و ناشی از مجموع آب برگشتی از صنایع، تغذیه توسط آبخوان، آب برگشتی کشاورزی و رواناب بارندگی در طول مقطع مورد نظر می‌باشد که به رودخانه اضافه می‌شود.

۱۲- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه نشان داد جهت جریان آب زیرزمینی در کل سال به سمت رودخانه می‌باشد. تراز آبخوان در مناطق دورتر (با سطح مناطق زراعی محدود) در آبان تا فروردین، بالاتر و در فصل زراعی (اردیبهشت تا مهر) پایین‌تر است که این شرایط طبیعی است. ولی در مناطق کشت برنج (حاشیه رودخانه)، در فصل زراعی، سطح آبخوان حدود ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از زمانی است که کشت برنج صورت نمی‌گیرد (آبان تا اردیبهشت).

۱۳- حجم کل آب مورد نیاز محصولات فرضی جایگزین بر اساس روش فائو ۵۶ برای لوبیا با دوره کشت ۹۵ روز ۴۹، برای ذرت دانه‌ای با دوره کشت ۱۲۵ روز ۶۱/۵، برای گردو و سیب با دوره رشد ۲۰۰ روز به ترتیب ۱۰۶/۷ و ۱۰۱/۶ و برای انگور با دوره رشد ۲۲۰ روز ۹۰/۲ میلیون متر مکعب در سطح ۶۶۳۰ هکتاری اراضی مورد نظر به دست آمد.

۱۴- با توجه به اینکه جایگزینی باغات عملاً باعث حذف دو کشت (برنج - گندم) در سال می‌شود، لذا نیاز آبی برای گندم زمستانه نیز محاسبه گردید. نیاز آبی به دست آمده برابر با ۸۱۰ میلی‌متر در دوره رشد ۲۲۰ روزه می‌باشد که بر اساس سطح مورد نظر حجم آبی در حدود ۵۴ میلیون متر مکعب در طول دوره رشد خود نیاز دارد. بنابراین مجموع نیاز آبی سالانه در سطح این اراضی شامل مجموع حجم آب مورد نیاز برنج و گندم یعنی مقدار ۱۳۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. اگر مجموع نیاز آبی دو کشت در سال (گندم - برنج) را با نیاز آبی باغات مقایسه کنیم به ترتیب ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی

سالانه با جایگزینی گردو، سیب و انگور کاهش می‌یابد. همچنین با جایگزینی ذرت دانه‌ای و لوبیا به جای (فقط) برنج به ترتیب ۲۰ و ۳۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی به عمل می‌آید. این مقدار را می‌توان در پشت سد زاینده‌رود ذخیره و به نیاز زیست محیطی رودخانه اختصاص داد.

۱۵- تمامی محصولات جایگزین فرضی در کل دوره کشت خود دبی کمتری جهت تأمین نیاز آبی خود نسبت به برنج دارند. متوسط دبی لحظه‌ای مورد نیاز اراضی برنجکاری در دوره بعد از نشاء به $8/2$ مترمکعب در ثانیه می‌باشد در حالی که این رقم برای سایر کشت‌های فرضی بین $4/92$ تا $6/24$ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

۱۷- نتایج نشان می‌دهد با جایگزینی لوبیا به جای برنج تنها در سطح 6630 هکتاری منطقه، می‌توان حدود 2 متر مکعب در ثانیه در ماه‌های بحران آب (خرداد تا مهر ماه)، آب مازاد نسبت به کشت برنج داشته باشیم. این رقم برای انگور (با جایگزینی به جای زراعت سالانه) حدود 3 متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

۱۸- اگر صرفه‌جویی حاصل شده با جایگزینی محصولات مذکور در کل سطح اراضی زیر کشت برنج در طول رودخانه زاینده‌رود یعنی حدود $20,000$ هکتار اعمال شود، حجم آب زیادی صرفه‌جویی می‌شود. بر فرض مثال، جایگزینی کشت لوبیا در این سطح از اراضی برنجکاری باعث صرفه‌جویی در حدود 148 میلیون متر مکعب آب در دوره کشت این محصول می‌شود. ذخیره این حجم آب می‌تواند دبی حدود $4/7$ مترمکعب بر ثانیه را در طول سال برای زاینده‌رود به ارمغان آورد.

۵-۲- پیشنهادها

- ۱- سنجش نسبی حساسیت مدل‌های تبخیر و تعرق مرجع به تغییرات پارامترهای هواشناسی.
- ۲- اندازه‌گیری مستقیم نیاز آبی مزرعه در طول دوره کشت برنج با اندازه‌گیری نفوذ و میزان آبیاری و مقایسه آن با روش فائو ۵۶.

۳- بررسی کشت‌های جایگزین دیگر برای برنج با در نظر گرفتن مقاومت گیاه به خشکی و طول دوره رشد کوتاه‌تر نسبت به برنج.

۴- تغییر الگوی کشت تابستانه در راستای کاهش مصرف آب، مثل جایگزینی لوبیا به جای برنج. می‌توان بخشی از اراضی شالیکاری منطقه مورد مطالعه را به طور آزمایشی با تغییر الگوی کشت و سنجش نیاز آبی واقعی در دو حالت بررسی نمود.

۵- با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌گردد تغییر در مدیریت کشاورزی در مناطق حاشیه زاینده رود به عنوان راهکاری در جهت کاهش اثرات کم آبی و بی آبی زاینده رود به ویژه در ماه‌های گرم سال مورد توجه مدیران و مسئولان قرار گیرد. اهمیت این موضوع با توجه به اهمیت و جایگاه زیست محیطی تالاب گاوخونی که در انتهای مسیر زاینده رود قرار دارد، دوچندان می‌گردد.

منابع فارسی

- ابراهیمی، ب، سیف، ا، پسندی، م. (۱۳۸۹). تأثیر آلاینده های کشاورزی بر کیفیت آب آبخوان لنجان اصفهان، اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم^۱، اصفهان.
- احتشامی، م، نجفی، پ، ستار، م. (۱۳۷۸). برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از حداقل اطلاعات اقلیمی در منطقه اصفهان، مجموعه مقالات همایش مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه های آبیاری، تهران، صفحه ۹-۱۷.
- اخوای میراب باشی، س. م. پور محمدی، س، رحیمیان، م. ح. (۱۳۸۸). پهنه بندی تبخیر و تعرق پتانسیل به کمک تکنیک سامانه اطلاعات مکانی (استان اصفهان)، اولین همایش ملی اصلاح الگوی مصرف با محوریت منابع طبیعی، کشاورزی و دامپزشکی، دانشگاه زابل.
- آذری، ح. م. (۱۳۷۴). تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل چمن با روش لایسیمتری. نشریه شماره ۲۳۹/۷۵/۸۲/، صفحه ۱۵-۱.
- آقائباتی، ع. (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۷۰۷ صفحه.
- آقاجانلو، م. ب، طبری، ح. (۱۳۹۰). ارزیابی مدل های اصلاح شده هارگریوز برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در چهار اقلیم مختلف کشور، چهارمین کنفرانس منابع آب ایران، دانشگاه تهران.
- اکبری، ن، جلالیان، ا، هنرجو، ن. (۱۳۸۹). اثرات دراز مدت کشت برنج، باغ، تناوب برنج و آیش بر روی خصوصیات شیمیایی خاک در منطقه زرین شهر اصفهان، پنجمین همایش ملی ایده های نو در کشاورزی، دانشگاه آزاد خوراسگان اصفهان.
- انتصاری، م. ر، نوروزی، م، سلامت، ع. ر، احسانی، م، توکلی، ع. ر. (۱۳۷۵). مقایسه روش پنمن مانیتث با سایر روش های توصیه شده جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در چند منطقه مختلف ایران، هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان، صفحه ۲۲۹-۲۲۱.

¹ کلیه مقالاتی که شماره صفحه ندارند مربوط به فایل الکترونیکی (سی دی) مجموعه مقالات همایش می باشند.

براتیان، ع. (۱۳۸۵). بررسی رژیم آبدهی رودخانه زاینده‌رود، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب کارون و زاینده‌رود، شهرکرد.

بهبهانی، ع، کاویانی، ف، سبیلی، ف. س. (۱۳۷۰). تعیین میزان تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن). گزارش پژوهشی سال ۱۳۷۲ استان خراسان، صفحات ۹۷-۱۰۱.

بیات ورکشی، م، سبزی‌پرور، ع. ا، قاسمی، ع. (۱۳۸۷). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق در دو اقلیم متفاوت (مطالعه موردی: همدان، کرج و گرگان)، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

پناهی، م. (۱۳۷۸)، ارزیابی چند روش محاسباتی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، مجموعه مقالات هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، صفحه ۳۱-۲۱.

پیرمردیان، ن، کامکارحقیقی، ع، سپاسخواه، ع. (۱۳۸۱)، ضریب گیاهی و نیاز آبی برنج در منطقه کوشک استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۶، شماره ۳، صفحه ۲۲-۱۵. جعفریان، م. ع. (۱۳۶۵). جغرافیای گذشته و مراحل مختلف تکوین دره زاینده‌رود، نشریه پژوهشی دانشگاه اصفهان، شماره ۱، صفحه ۳۱-۱۵.

جعفری، ا، محلوچی، م، مأم‌پوش، ع. (۱۳۸۶). برآورد راندمان آبیاری و مقدار آب مصرفی در کشاورزی استان اصفهان، دومین همایش کمیته منطقه‌ای آبیاری و زهکشی، اصفهان، صفحه ۳۰-۲۴.

جلالی کوتنابی، ن، ناصری، ع. (۱۳۸۹). بررسی مناسب‌ترین روش تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) در اراضی شالیزاری، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه ساری.

جلالی کوتنابی، ن، (۱۳۸۶)، برآورد ضریب گیاهی (K_c) برنج توسط لایسیمتر و N-Type در شهرستان محمودآباد استان مازندران، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی شوشتر، صفحه ۹-۱.

حاجی‌مرادی، ا، گندم‌کار، ا. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی بر افت و خیز سطح ایستابی آبخوان دشت لنجان اصفهان، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران.

حسینی ابری، ح. (۱۳۸۸). رابطه طومار شیخ بهایی با تقسیم سنتی آب زاینده رود، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی گروه جغرافیا، سال اول، شماره ۲، صفحه ۵-۱۴.

خواجه الدین، س. ج، پورمنافی، س. (۱۳۸۶). تعیین سطح شالیزارهای حاشیه زاینده رود در منطقه اصفهان با داده‌های رقومی سنجنده‌های ماهواره IRS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره ۱، صفحه ۵۲۷-۵۱۳.

خوش اخلاق، ر، عمادزاده، م، نورعلیزاده، ل. (۱۳۷۹). تخمین تابع عرضه دراز مدت آب در حوضه آبریز زاینده رود، مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره ۳۰، صفحه ۱۳۰-۱۱۷.

خوش خواهش، ی. (۱۳۷۶). ارزیابی راندمان آبیاری مزرعه در برنجزارهای تحت شبکه آبیاری گیلان و فومنات. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

داوری، س. (۱۳۸۷). شاهکارهای مهندسی شیخ بهایی، نخستین همایش فناوری‌های بومی ایران، تهران.

دادپور، م، اکبری، م، محسنی موحد، س. ا، خودشناس، م. ع. (۱۳۹۰). مقایسه دقت مدل‌های معمول برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن با لایسیمتر، سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

رامشت، م. ح، سیف، ع. (۱۳۷۵). تعیین سن مطلق پادگانه‌های آبرفتی رودخانه‌ای، مجله علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان، سال دوم، شماره ۱، صفحه ۲۸-۲۱.

رزاقی، ف، سپاسخواه، ع. ر. (۱۳۸۶). ارزیابی روش‌های مختلف تخمین تبخیر و تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده با لایسیمتر وزنی، نهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، صفحه ۹-۱.

رحمانی، ح، مأمّن پوش، ع. (۱۳۸۵). اثر فعالیت‌های کشاورزی بر آب زاینده رود، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحه ۸-۱.

زمزمیان، م. ر. (۱۳۸۶). مدیریت تقاضا و مصرف آب کشاورزی در شرایط بحران آب، اولین همایش سازگاری با کم آبی، تهران.

زندپارسا، ش، اشک‌تراب، ح. (۱۳۷۵). تعیین متوسط ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحه ۲۵۷ تا ۲۶۷.

سازمان جهاد کشاورزی اصفهان، آمارنامه جهاد کشاورزی استان اصفهان، (۸۸-۱۳۸۲).

سالمی، ح. ر، موری‌راست، ه. (۱۳۸۳). سیمای کلی هیدرولوژی حوضه آبخیز زاینده‌رود، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۰، صفحه ۱۳-۲.

سالمی، ح. ر، جوان، م. (۱۳۸۳). سیستم مدیریت، بهره برداری، تعمیر و نگهداری شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود اصفهان و درودزن فارس، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۲، صفحه ۶۳-۵۶.

سالمی، ح. ر، عابدی، ح، دامادزاده، م. (۱۳۸۴). بررسی واکنش ارقام بومی برنج نسبت به سطوح مختلف آب مصرفی در منطقه لنجان اصفهان، گزارش نهایی طرح مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، شماره ۰۶۹-۸۱-۲۰-۱۸-۱۰۳، ۳۶ صفحه.

سالمی، ح، عابدی، ح. (۱۳۸۴). بررسی واکنش ارقام بومی برنج نسبت به سطوح مختلف آب مصرفی در منطقه لنجان اصفهان. گزارش نهایی طرح مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، شماره ۸۴/۵۳۱، ۳۰ صفحه.

سبزی‌پرور، ع. ا، تفضلی، ف، زارع ابیانه، ح، بانژاد، ح، غفوری، م، موسوی بایگی، م، مریانچی، ز. (۱۳۸۷). ارزیابی حساسیت مدل‌های مختلف تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) به سیگنال‌های تغییر اقلیم در اقلیم سرد نیمه خشک همدان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۶، صفحه ۵۸۱-۵۹۲.

ستار، م. (۱۳۷۷). تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع. گزارش مرحله اول، مرکز تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان. صفحه ۶۴-۵۷.

ستاری، ح. (۱۳۷۸). اقلیم کشاورزی حوضه آبخیز زاینده‌رود با تأکید بر کشت برنج، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.

سرحدی، ع، سلطانی، س، پورمنافی، س. (۱۳۸۵). مقایسه نیاز آبی برنج و سایر محصولات زراعی در منطقه اصفهان جهت مدیریت بهینه منابع آب، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

سعادت، س، سلطانی کوپائی، س، اسلامیان، س. (۱۳۸۸). پهنه بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI در استان اصفهان، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، شیراز، صفحه ۸-۱. سلطانی، س، مدرس، ر. (۱۳۸۵). تحلیل فراوانی و شدت خشکسالی هواشناسی استان اصفهان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۱، صفحه ۲۶-۱۵.

سلیمانی پور، ا، نیکوئی، ع، باقری، ع، ملاحسینی، ح، علامه، ع، عبدلی، س. (۱۳۸۹). الگوی منطقه‌ای کشت راهبردی بر استفاده بهینه از منابع تولید (مطالعه موردی استان اصفهان)، اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، اصفهان، صفحه ۱۱-۱.

شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، آمار منابع و مصارف زاینده‌رود، (۱۳۸۹). شریعتی، م. (۱۳۷۲). تعیین آب مصرفی پتانسیل منطقه (مطالعات لایسیمتری گیاه چمن)، گزارش پژوهشی سال، موسسه تحقیقات خاک و آب، صفحه ۱۵۷-۱۵۴.

شیرانی، ک، نصرآزادانی، ا. (۱۳۸۸). مدیریت یکپارچه آب سطحی حوضه آبخیز زاینده‌رود (گاوخونی) از سراب تا پایاب، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز.

شیرانی، ک، خوشحال، ج. (۱۳۸۸). بررسی شاخص‌های هیدروژئومورفولوژیکی حوضه آبخیز زاینده‌رود-گاوخونی با استفاده از GIS، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز.

صارمی، م. (۱۳۷۳). تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن، گزارش پژوهشی سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان، صفحات ۲۸-۲۶.

صمدی، ح، مجدزاده، ب. (۱۳۸۲). مقایسه تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده به وسیله فرمول‌های تجربی با لایسیمتر در کرمان، مجموعه مقالات هشتمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، صفحه ۲۲-.

صیادی، ح، اولاد غفاری، ا، فعالیان، و، اشرف صدرالدینی، ع. (۱۳۸۸). مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی BRF&MLP در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مجله دانش آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۱، صفحه ۱۲-۱.

ضرابی، ا، حلبیان، ا. ح، شبانکاری، م. (۱۳۸۶). برنامه ریزی انتقال بین حوضه ای آب از کارون به زاینده رود، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، شماره ۲۲، صفحه ۶۷-۸۴.

عابدی کوپایی، ج، اسلامیان، س، امیری، م. ج. (۱۳۸۷). مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرو لایسیمتری در منطقه اصفهان، دومین همایش مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

عربزاده، ب. (۱۳۸۱). آب و آبیاری در برنج، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، صفحه ۱۴۵.

علیزاده، ا. (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۸۷۰ صفحه.

علیزاده، ا، کمالی، غ. (۱۳۸۶). نیاز آبی گیاهان در ایران، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۲۷ صفحه.

فرهودی، ر، شمسی‌پور، ع. (۱۳۷۹). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۹، صفحه ۱۱۴-۱۰۵.

فلاح، و. م. (۱۳۵۴). احتیاجات آبی برنج و اندازه‌گیری آن، مؤسسه خاکشناسی و حاصلخیزی خاک، نشریه شماره ۴۳۳، ۳۶ صفحه.

فرشی، ع. (۱۳۷۶). برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، انتشارات مؤسسه تحقیقات آب و خاک، جلد اول، گیاهان زراعی، ۹۱۸ صفحه.

قاسمی، ع، زارع ابیانه، ح. (۱۳۸۶). ارزیابی نرم‌افزار Ref-ET در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

کریمی‌راد، ا، شریفان، ح. (۱۳۹۰). بهینه کردن مقادیر ET_0 برآورد شده به روش هارگریوز-سامانی (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک گرگان)، چهارمین کنفرانس منابع آب ایران، تهران، صفحه ۸-۱.

کریمی، ه. (۱۳۷۵). گیاهان زراعی، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۷۶.

کرمی، ا. (۱۳۹۰). تخمین ارزش اقتصادی آب و عوامل مؤثر بر تولید محصول برنج، مطالعه موردی؛ شهرستان‌های منتخب استان اصفهان، همایش ملی مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی جهرم، صفحه ۱-۴۰.

کوشافر، م. (۱۳۹۱). مروری بر راهکارهای کاهش بحران خشکی زاینده‌رود، دوازدهمین همایش خشکسالی، زاینده رود، چالش‌ها و راهکارها، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان، اصفهان، صفحه ۱-۳.

مأم‌پوش، ع. (۱۳۸۴). بررسی راندمان نیاز آبی گیاهان زراعی مهم منطقه اصفهان و رابطه آن با راندمان، گزارش طرح پژوهشی، مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی اصفهان، ۴۵ صفحه.

مرید، س، انوری، ص. (۱۳۹۰). مقایسه تراکم کشت رایج و بهینه در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود اصفهان با استفاده از برنامه ریزی خطی و آرمانی، چهارمین کنفرانس منابع آب ایران، تهران، صفحه ۱-۹.

محمدی، س، صادقی امینی، م، کاظمی، م، قراخانی، م. (۱۳۸۹). مجموعه مقالات همایش بررسی بحران زاینده‌رود، انتشارات سازمان فرهنگی تفریحی شهرداری اصفهان، ۲۲۰ صفحه.

مجد، ف، قمرنیا، ه، نصیری، ش. (۱۳۸۴)، برآورد بارش مؤثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صفحه ۷۶-۵۹.

مختاری، ف، سلیمانی، ع. (۱۳۸۸). مدیریت بهینه منابع آب با استفاده از تکنیک GIS & RS (بخشی از منطقه لنجان‌ات اصفهان)، دومین کنفرانس سراسری آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، صفحه ۴۶۲-۴۶۸.

مومن‌زاده، س. ا، یزدیان، ح، حبیبی، ن. (۱۳۸۵). مدیریت حوضه زاینده‌رود و چالش‌های فراروی آن، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.

موسوی بایگی، م، عرفانیان، م. سرمد، م. (۱۳۸۸). استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (استان خراسان رضوی)، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۱، صفحه ۹۹-۹۱.

منتظری، م، شریفی، ف. (۱۳۹۱). بررسی روند بارش و خشکسالی در ایستگاه اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI)، اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک، ابرکوه، یزد.

مهندسین مشاور یکم، (۱۳۷۶). زمین‌شناسی عمومی حوضه آبرگیر زاینده‌رود، گزارش وزارت جهاد کشاورزی، تهران، صفحه ۳-۱.

میرزایی تختگاهی، ح، معاضد، ه. (۱۳۸۵). مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

میرانزاده، م، مأم‌پوش، ع. (۱۳۸۵). برداشت آب زیرزمینی در محدوده شبکه‌های عمده آبیاری زاینده رود در استان اصفهان، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، شهرکرد، صفحه ۴۱۶-۴۰۹.

نجفی، پ. (۱۳۸۳). مدل کامپیوتری تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش اصلاح شده هارگریوز-سامانی در نقاط مختلف ایران، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

نجفی، پ. (۱۳۸۷). بررسی مناطق اطراف در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق خشک و نیمه خشک، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

نورمهند، ن، طباطبایی، س.ح. (۱۳۸۵). تعیین حجم تبخیر و تعرق در استان اصفهان در زمان‌های خشکسالی و ترسالی، اولین همایش بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، صفحه ۱۴۹۳-۱۴۸۷.

نیازی، ج.ا، فولادمند، ح. ر، احمدی، س. ح، وزیری، ژ. (۱۳۸۴). نیاز آبی و ضریب گیاهی گندم در منطقه زرقان استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی در منابع طبیعی، شماره ۱، صفحه ۷-۱.

نیکمرام، م. ص. (۱۳۷۳). تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) و بررسی رابطه آن با تبخیر از تشت کلاس A و مقادیر محاسبه شده از فرمول‌های تجربی، گزارش پژوهشی جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، صفحه ۵-۱.

نیکویی، ع، زیبایی، م. (۱۳۸۸). مدیریت بحران خشکسالی در استفاده از منابع آب کشاورزی حوضه آبخیز زاینده‌رود در سطح مزرعه، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، صفحه ۹-۱.

هاشمی‌گرم‌دره، س. ا، مصطفی زاده، ب، حیدر زاده، م. (۱۳۸۶). برآورد نیاز آبی برخی از گونه‌های غالب فضای سبز شهر اصفهان با استفاده از لایسیمتر، سومین همایش ملی فضای سبز و منظر شهری، جزیره کیش، صفحه ۲۵۵-۲۴۷.

هاشمی‌نیا، م. (۱۳۷۸). تبخیر - تعرق و داده‌های اقلیمی، نشر آموزش کشاورزی، ۲۴۲ صفحه.

منابع انگلیسی

- Abernethy, C.L., Sally, H., Lonsway, K. and C. Mamah.(2000). Farmer-based financing of operation in the Niger valley irrigation schemes. IWMI report research No. 37.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., (1998). Crop Evapotranspiration Guidelines For Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO. 56. Rome, Italy.
- Bandyopadhyay, A, Bhadra, A, Raghuwanshi, N.S, Singh, R. (2009). Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. Journal of Hydrologic Engineering 14 (5), 508-518.
- Burman, R. D, Cuenca, R. H. and Weiss, A. (1983). Techniques for estimating irrigation water requirements. Advances in Irrigation, 2: 335-391.
- Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A.R. and Visperas, R.M.(2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agric. Water Manage. 74:87-105.
- Burn, D.H., Hesch, N.M.(2007). Trends in evaporation for the Canadian Prairies. Journal of Hydrology 336, 61-73.
- Burn, D.H., (2008). Climatic influences on stream flow timing in the headwaters of the Mackenzie River basin. Journal of Hydrology 352, 225-238.

- Chan, C. S. and Chong, A. W. (2009). Seasonal weather effects on crop evapotranspiration and rice yield. Conference of the Malaysian National Committee on Irrigation and Drainage.
- Deni, S.M., Suhaila, J., Zin, W.Z.W., Jemain, A.A. (2010). Spatial trends on dry spells over Peninsular Malaysia during monsoon seasons. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 357–371.
- Dinpashoh, Y., Jhahharia, D., Fakhery-Fard, A., P. Singh, V., Kahya, E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran, *Journal of Hydrology* 399, 422–433.
- Dinpashoh, Y. (2006). Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agricultural Water Management* 84, 123–129.
- Droogers, P. and Torabi, M. (2002). Field scale scenarios for water and salinity management by simulation modeling. *IAERI-IWMI Research Reports* 12.
- Droogers, P. Murray-Rust, H. (2004). *Water for the future: Linking irrigation and water allocation in the Zayandeh Rud Basin, Iran*. Colombo, Sri Lanka: IWMI.
- Doorenbos, j. and Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirement. *Irrigation Drain. Paper. NO. 24*. FAO, Rome, Italy.
- Garrity, D.P., Oldeman, L.R., Morris, R.A., Lenka, D. (1986). Rainfed lowland rice ecosystems: characterization and distribution. In: *Progress in Rainfed Lowland Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp. 3-24.
- Garcia, M., Raes, D., Allen, R. and Herbas, C. (2004). Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands. *Agricultural and Forest Meteorology* 125:67-82.
- Haefele, S.M., Siopongco, J.D.L.C., Boling, A.A., Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., (2009). Transpiration efficiency of rice (*Oryza sativa* L.). International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, *Field Crops Research* 111, 1–10.
- Hargreaves, G.H., and Allen, R.G. (2003). History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(1):53-63.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature *Transactions of the ASAE*, vol. 1, No. 2, 96-99.
- Hendrickx, J.M.H., Vink, N.H., and Fayink, T. (1986). Water requirement for irrigated rice in semi-arid region in west Africa. *Agric. Water Manag.* 22: 75-90.
- Hess, T.M. (1998). Trends in reference evapo-transpiration in the North East Arid Zone of Nigeria, 1961–1991. *Journal of Arid Environment* 38, 99–115.

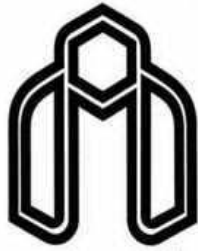
- Heydari, N. (2006). Water and irrigation management in the water-stressed Zayandeh–Rud and Karkheh River Basins, Islamic Republic of Iran, proceedings of the international forum on water resources management and irrigation modernization in Shanxi province, China, 22–24.
- Hira, G.S. (1996). Evapotranspiration of rice and falling water table in Punjab. PP. 579-584. In: C. R. Camp, E.J. Sadler and R. E. Yoder. Evapotranspiration and irrigation Scheduling. San Antonio, Texas.
- Jhajharia, D., Shrivastava, S.K., Sarkar, D., Sarkar, S. (2009). Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India , Agricultural Forest Meteorology 149, 763–770.
- Jensen, M. E, Wright, J. L. and Pratt, B. J. (1971). Estimating soil moisture depletion from climate ,crop and soil data. Trans ASAE, 14: 954-959.
- Jensen, M. E, Burman, R. D. and Allen, R. G. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements , ASCE Manual 70. ASCE, New York.
- Kahya, E., Kalaycı, S., 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. Journal of Hydrology 289, 128–144.
- Koocheki, A., M. Nasiri, G.A. Kamali and H. Shahandeh. 2006. Potential impacts of climate change on agro climatic indicators in Iran. Arid Land Res. and Manag. 20: 245-259.
- Kwon, H , Choi, M. (2011). Error assessment of climate variables for FAO-56 reference evapotranspiration Meteorol Atmos Phys 112:81–90.
- Lee, T. S, Najim, M. M. M. and Aminul, M. H. (2004): Estimating evapotranspiration of irrigated rice at the West Coast of the Peninsular of Malaysia; Journal of Applied Irrigation Science, Vol. 39. No 1, pp.103 – 117.
- Lins, H.F., Slack, J.R., 1999. Streamflow trends in the United States. Geophysical Research Letters 26 (2), 227–230.
- Madani, K. and Marino, M. A, (2009). System Dynamics Analysis for Managing Iran’s Zayandeh-Rud River Basin. Water Resource Manage 23:2163–2187.
- Milton, D.M. (1980). Rice Irrigation. Division of Agric. Sciences. University of California, Leaflet 21175.
- Morid, S, Massah, A.R., Agha Alikhani, M., Mohammadi, K., and Lasage, R. (2003). Water, Climate, Food, and Environment in the Zayandeh Rud Basin, Financed by DGIS, Directorate-General for International cooperation.

- Phengphaengsy, F., Okudaira, H. (2008). Assessment of irrigation efficiencies and water productivity in paddy fields in the lower Mekong River Basin., *Paddy Water Environ* (2008) 6:105–114.
- Sabziparvar, A. A. and Tabari, H. (2010). Regional Estimation of Reference Evapotranspiration in Arid and Semiarid Regions, *J. Irrigation and Drainage Engineering*, 136 (10), 724–731.
- Salih, A.M.A. and U. Sendil. (1984). Evapotranspiration under extremely arid climates. *J. Irrig. and Drain. Eng.*, ASCE, 110(3): 289-303.
- Shen, Y., Liu, C., Liu, M., Zeng, Y., Tian, C.(2010). Change in pan evaporation over the past 50 years in the arid region of China. *Hydrological Processes* 24, 225–231.
- Shih, S. F., Allen, L. H., Jr., Hammond, L. C., Jones, J. W., Rogers, J. S. and A. G. Smajstrla. (1983). Basinwide water requirement estimation in Southern Florida. – *Transactions of the ASAE*. 26(3): 760-766.
- Simpson. H.J., Herczeg, A.L. and Meyer, W.S. (1992). Stable isotope ratios in irrigation water an estimate rice crop evaporation. *Geophys. Res. Lett.* 19:377-380.
- Smith, M, Allen, R, Monteith, J. L, Perrier, A. Santos Pereira, L. and A. Segeren, (1992): Report on the Expert Consultation on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements Land and Water Development Division. - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S., Sibayan, E.B. and Sattar, M.A.(2002). On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. *Agric. Water Manage.* 56:93-112.
- Thomas, A., 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *International Journal of Climatology* 20, 381–396.
- Tomar, V.S. and J.C. O'Toole. (1980). Water use in lowland rice cultivation in Asia: a review of evapotranspiration. *Agri. Water Manag.* 3: 83-106.
- Xu, C.-Y., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., Singh, V.P.(2006). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of Hydrology* 327, 81–93.
- Yu, P.-S., Yang, T.-C., Chou, C.-C.(2002). Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in southern Taiwan. *Climate Change* 54, 165–179.

Abstract

This research aims to assess the effects of water consumption in paddy rice fields around Zayandeh-Rud, at the west of Isfahan, on the river water quantity. Values of actual evapotranspiration for rice (ET_c) were calculated by FAO method and compared with the water used for irrigation between two hydrometry stations of Pol-Kalleh and Lenj calculated based on balance equation. Meteorological data for Zarrin-Shahr, Mobarakeh and Felavarjan stations was firstly collected and verified by double mass test. Then, daily reference crop evapotranspiration (ET_0) was calculated by different methods using Ref-ET computer program. Based on the best selected method of FAO-24 Penman annual values of ET_0 for these stations were 1758, 1690 and 1466 mm, respectively,. ET_c for rice was calculated by FAO-56 method, multiplying ET_0 by a crop coefficient. The values of ET_c for aforementioned stations were 1485, 1438 and 1224 mm, respectively, considering 200 mm for puddling. Total volume of rice water requirements was estimated to be about 77 Mm^3 for the whole area of the paddy fields located between the two hydrometry stations, which is about 6630 ha. Considering irrigation efficiency of 50% in rice fields, this value is in agreement with the balance method (100 Mm^3). Finally, change in cropping pattern around Zayandeh-Rud (form rice to other crops) was evaluated as a tool for optimal management of the river. Water requirements calculated for proposed crops of bean, sorghum, walnut, apple and grape were 739, 929, 1610, 1532 and 1411 mm, respectively. Results show that replacing rice with these crops will decrease water consumption of about 27, 15, 24, 29 and 40 Mm^3 /year, respectively. In other word, changing crop pattern from rice can provide a discharge of about 1.13 to 3 m^3/s for river, annually. This water can be allocated to the environmental demand of the river.

Keyword: Zayandeh-Rud river, Evapotranspiration (ET_0 & ET_c), Rice, Cropping pattern.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

**Water consumption in paddy fields in the west of Isfahan
and its effect on discharge of Zayandeh-rud river**

by

Hamed Emami Heidari

Supervisor:

Dr. G. H. Karami

Dr. H. Jafari

January 2013