به نام خداوند جان و خرد

معاونت پژوهش و فناوری

دانشکده تولید گیاهی - گروه زراعت

گزارش طرح پژوهشی

تهیه سیستم استانی بیلان و حسابداری آب کشاورزی با مدل‌سازی تولید گیاهی و موازنه آب در اراضی کشاورزی: مطالعه موردی استان گلستان

مجری طرح:

افشین سلطانی

همکاران طرح:

صفورا جافر نوده، امیر دادرسی، سمانه رهبان، محمد ناظری،

ابراهیم زینلی، علی نجفی‌نژاد، بنیامین ترابی، حسین کاظمی

تابستان ۱۴۰۱

شناسنامه طرح

معاونت پژوهش و فناوری

دانشکده تولید گیاهی - گروه زراعت

۱- عنوان: تهیه سیستم استانی بیلان و حسابداری آب کشاورزی با مدل‌سازی تولید گیاهی و موازنه آب در اراضی کشاورزی: مطالعه موردی استان گلستان

۲- مجری طرح: افشین سلطانی

۳- همکاران طرح: صفورا جافر نوده، امیر دادرسی، سمانه رهبان، محمد ناظری، ابراهیم زینلی، علی نجفی نژاد، بنیامین ترابی، حسین کاظمی

٤- ناظر طرح: جاوید قرخلو

۵- اعتبار طرح: ۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال

٦- محل تامین اعتبار: از اعتبارات پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۷- تصویب: پیشنهادیه طرح در جلسه ٤۱۸ مورخ ۱۳۹۹/۰٤/۳۰ شورای پژوهش و فناوری دانشگاه به تصویب رسید.

۸- اختتام: گزارش نهایی طرح در جلسه ٤٦۳ مورخ ۱٤۰۱/۰٦/۱۲ شورای پژوهش و فناوری دانشگاه به تصویب نهایی رسید.

۹- شماره شناسه طرح: ۲-٤۱۸-۹۹

مسئولیت صحت مطالب مندرج در این گزارش بر عهده مجری طرح می‌باشد.

چکیده

سازگاری به کم‌آبی در بخش کشاورزی کشور یک ضرورت است. تهیه و اجرای مناسب برنامه‌های سازگاری به خشکی در سطح استانی نیازمند وجود اطلاعاتی متنوع، یکپارچه و معتبر آب می‌باشد، اطلاعاتی مانند: مقدار مصرف و برداشت آب آبی برای کشاورزی، نحوه توزیع آب آبی برای تولید گیاهان مختلف در سطح استان، حجم آب آبی به کار رفته در شرایط کشاورزان، بهره‌وری آب آبیاری و مانند این‌ها. برای دستیابی به این اطلاعات به صورت پویا و یکپارچه در سطح استانی، سیستمی به صورت موردی برای استان گلستان تهیه شد. ابتدا با بررسی شرایط اقلیمی و خاک، کل اراضی کشاورزی استان (دیم، آبی و باغی) به ۳۰ پهنه همگن اگرواکولوژیک تقسیم‌بندی شدند (برای صرفا اراضی آبی ۱۱ پهنه کافی بود). سپس یک مدل شبیه‌سازی گیاهی (SSM-iCrop2) که هسته اصلی سیستم را تشکیل می‌دهد برای شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بیلان آب مزرعه ۳۱ گیاه مهم استان در شرایط کشاورزان برای کشت آبی و دیم در ۳۰ پهنه اگرواکولوژیک استان کالیبره و ست‌آپ (setup) شد. خروجی‌های سیستم به صورت روزانه و نیز انتهای فصل رشد گیاه تولید می‌شوند؛ به‌علاوه، برای مؤلفه‌های بیلان آب در مزرعه، خروجی‌های ماهانه تولید می‌گردند. برخی خروجی‌های مدل عبارتند از تاریخ کاشت گیاهان زراعی و تاریخ بازشدن جوانه درختان، مراحل مهم فنولوژیک گیاهان مثل روز تا شروع پرشدن دانه یا میوه یا روز تا برداشت، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ، و مؤلفه‌های بیلان آب یعنی رواناب، تبخیر، تعرق، زه‌کشی عمقی، برگاب، تعرق علف‌های هرز و آبیاری. خروجی‌ها برای هر پهنه، شهرستان و استان قابل دسترس هستند. برآوردهای این سیستم از مصرف آب (حجم آب آبیاری) در شرایط مزرعه به برداشت آب قابل تعمیم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، بیلان آب، حسابداری آب، سازگاری به کم آبی، مدل

چکیده این گزارش در سایت معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه در آدرس www.gau.ac.ir قابل دسترس می‌باشد.

یافته‌های کوتاه علمی

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

شماره: ۲-۴۱۸-۹۹

تاریخ: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

عنوان: تهیه سیستم استانی بیلان و حسابداری آب کشاورزی با مدل‌سازی تولید گیاهی و موازنه آب در اراضی کشاورزی: مطالعه موردی استان گلستان

نویسنده(گان): افشین سلطانی، صفورا جافر نوده، امیر دادرسی، سمانه رهبان، محمد ناظری، ابراهیم زینلی، علی نجفی نژاد، بنیامین ترابی، حسین کاظمی

منبع یافته: طرح تحقیقاتی شماره شناسه ۲-۴۱۸-۹۹

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، بیلان آب، حسابداری آب، سازگاری به کم آبی، مدل

معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، خیابان شهید بهشتی، صندوق پستی: ۳۸۶؛ کد پستی: ۱۵۷۳۹-۴۹۱۳۸، نمابر: ۳۲۲۲۵۹۸۹

مهم‌ترین یافته‌ها

- تهیه و اجرای مناسب برنامه‌های سازگاری به خشکی در سطح استانی نیازمند وجود اطلاعاتی متنوع، یکپارچه و معتبر آب مانند مقدار مصرف و برداشت آب آبی برای کشاورزی، نحوه توزیع آب آبی برای تولید گیاهان مختلف در سطح استان، حجم آب آبی به کار رفته در شرایط کشاورزان، بهره‌وری آب آبیاری.
- بر اساس یک مدل شبیه‌سازی گیاهی ساده سیستمی تهیه شد که چنین اطلاعاتی را برای شرایط پتانسیل و شرایط کشاورزان مهیا می‌کند.
- این سیستم برای تهیه برنامه های سازگاری به کم آبی در بخش کشاورزی استان قابل استفاده است.

مقدمه (شرح مساله)

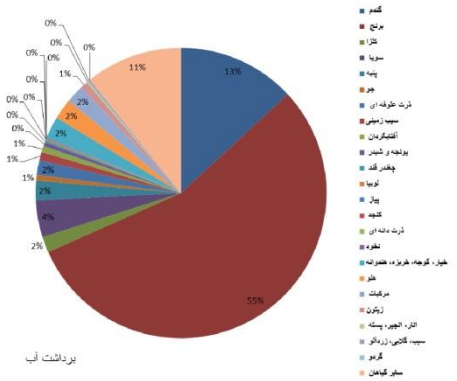
سازگاری به کم آبی در بخش کشاورزی کشور یک ضرورت است. تهیه و اجرای مناسب برنامه‌های سازگاری به خشکی در سطح استانی نیازمند وجود اطلاعاتی متنوع، یکپارچه و معتبر آب می‌باشد. اطلاعاتی مانند مقدار مصرف و برداشت آب آبی برای کشاورزی، نحوه توزیع آب آبی برای تولید گیاهان مختلف در سطح استان، حجم آب آبی به‌کار رفته در شرایط کشاورزان، بهره‌وری آب آبیاری و مانند این‌ها.

اهمیت موضوع

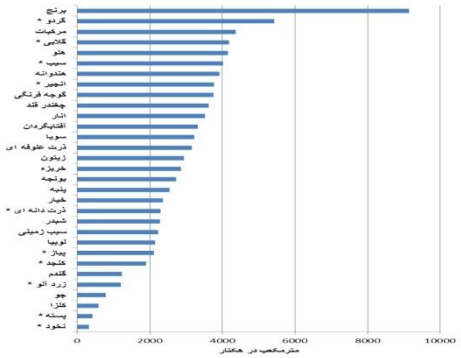
سیستمی برای دستیابی اطلاعات بیلان آب، مصرف، برداشت و توزیع آب بین گیاهان استان در شرایط کشاورزان به صورت پویا و یکپارچه، سیستمی تهیه شد. یک مدل شبیه‌سازی گیاهی (SSM-iCrop2) که هسته اصلی سیستم را تشکیل می‌دهد برای شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بیلان آب مزرعه ۳۱ گیاه مهم استان در شرایط کشاورزان برای کشت آبی و دیم در ۳۰ پهنه اگرواکولوژیک استان کالیبره و ست‌آپ (setup) شد. خروجی‌های سیستم به صورت روزانه و نیز انتهای فصل رشد گیاه تولید می‌شوند؛ به علاوه، برای مؤلفه‌های بیلان آب در مزرعه، خروجی‌های ماهانه تولید می‌گردند. برخی خروجی‌های مدل عبارتند از تاریخ کاشت گیاهان زراعی و تاریخ بازشدن جوانه درختان، مراحل مهم فنولوژیک گیاهان مثل روز تا شروع پرشدن دانه یا میوه یا روز تا برداشت، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ، و مؤلفه‌های بیلان آب یعنی رواناب، تبخیر، تعرق، زه‌کشی عمقی، برگاب، تعرق علف‌های هرز و آبیاری. خروجی‌ها برای هر پهنه، شهرستان و استان قابل دسترس هستند. برآوردهای این سیستم از مصرف آب (حجم آب آبیاری) در شرایط مزرعه به برداشت آب قابل تعمیم می‌باشد.

معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، خیابان شهید بهشتی، صندوق پستی: ۳۸۶؛ کد پستی: ۱۵۷۳۹-۴۹۱۳۸، نمابر: ۳۲۲۲۵۹۸۹

اطلاعات تکمیلی (مشتمل بر شکل‌ها، جداول و سایر مستندات)



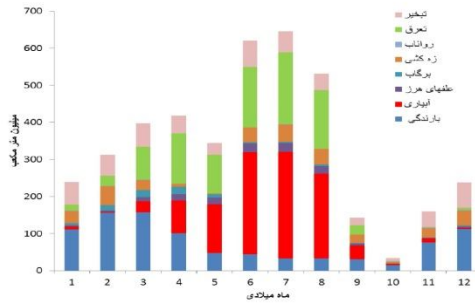
شکل ۱- توزیع منابع آب بین گیاهان مختلف در شرایط کشت آبی استان گلستان



شکل ۲- حجم آب آبیاری برآورد شده برای مزارع کشاورزان برای کل استان گلستان.
گیاهانی که سطح زیر کشت آن‌ها در استان کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتار است با * مشخص شده‌اند

معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، خیابان شهید بهشتی، صندوق پستی: ۳۸۶؛ کد پستی: ۱۵۷۳۹-۴۹۱۳۸، نمابر: ۳۲۲۲۵۹۸۹

اطلاعات تکمیلی (مشتمل بر شکل‌ها، جداول و سایر مستندات)



شکل ۳- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای کل اراضی آبی استان گلستان بر اساس شبیه‌سازی با سیستم تهیه شده

معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، خیابان شهید بهشتی، صندوق پستی: ۳۸۶؛ کد پستی: ۱۵۷۳۹-۴۹۱۳۸، نمابر: ۳۲۲۲۵۹۸۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۱

فصل دوم- مواد و روش‌ها ۷
۲-۱- گیاهان مهم استان ۷
۲-۲- مدل شبیه‌سازی مورد استفاده ۱۲
۲-۳- روش مورد استفاده برای ست‌آپ مدل و تهیه سیستم ۱٤

فصل سوم- نتایج و بحث ۲۵
۳-۱- تهیه پهنه‌های اگرواکولوژیک استان ۲۵
۳-۲- نقشه های پراکنش گیاهی در استان ۳۰
۳-۳- نمونه خروجی‌های سیستم ۳٤
۳-٤- برآوردهای مهم آبی استان برای شرایط کشاورزان ٤۱
۳-۵- توزیع منابع آب کشاورزی در تولید گیاهان مختلف ٤۸
۳-٦- برآورد ماهانه و سالانه بیلان، مصرف و برداشت منابع آب برای کشاورزی ۵۰
۳-۷- عدم قطعیت در برآوردهای سیستم ۵۵
۳-۸- سایر کاربردهای سیستم ۵۷
۳-۹- نتیجه‌گیری ۵۹

منابع ٦۱

پیوست‌ها ٦۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- متوسط سطح کشت، تولید و عملکرد محصولات زراعی آبی، باغی آبی و سایر گیاهان آبی در استان گلستان براساس آمار ۳ ساله از ۱۳۹٦ تا ۱۳۹۸.....۸
جدول ۲-۲- متوسط سطح کشت، تولید و عملکرد محصولات زراعی دیم، باغی دیم و سایر گیاهان دیم در استان گلستان براساس آمار ۳ ساله از ۱۳۹٦ تا ۱۳۹۸ .....۱۰
جدول ۳-۱- پهنه‌های اقلیمی مهم استان و مساحت اراضی کشاورزی در هر یک از آن‌ها.....۲٦
جدول ۳-۲- پهنه‌های خاکی مهم استان و مساحت اراضی کشاورزی در هر یک از آن‌ها.....۲٦
جدول ۳-۳- ایستگاه‌های انتخابی برای تهیه سیستم و مشخصات هر یک از ایستگاه‌ها ۲۷
جدول ۳-٤- مشخصات پهنه‌های اگرواکولوژیک شناسایی شده که بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی استان.....۲۹
جدول ۳-۵- سطح زیر کشت جو دیم در هر یک از پهنه‌های اگرواکولوژیک استان گلستان.....۳۳
جدول ۳-٦- برآورد حجم مؤلفه‌های بیلان آب در مزارع آبی استان در ماه‌های مختلف سال و کل سال. همه برآوردها بر حسب میلیون مترمکعب هستند.....۵۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- مقایسه روش‌های بالا به پایین و پایین به بالا برای برآورد عملکرد، نیاز آبیاری و سایر متغیرها در سطح بزرگ توسط مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی ٤

شکل ۱-۲- حجم فعلی برداشت آب برای کشاورزی در استان گلستان و مقایسه آن با حجم قابل برنامه‌ریزی اعلام‌شده توسط وزرات نیرو و حجم قابل برنامه‌ریزی در حالت پایداری ٥

شکل ۲-۱- خلاصه‌ای از روش‌های محاسباتی مورد استفاده در مدل SSM-iCrop2 ..... ۱۳

شکل ۲-۲- پهنه‌بندی اقلیمی اراضی کشاورزی استان بر اساس روش GYGA-ED ۱٥

شکل ۲-۳- پهنه‌بندی خاک اراضی کشاورزی استان دستیابی شده از بانک اطلاعات خاک HC27 ..... ۱٦

شکل ۲-٤- تعیین ایستگاه هواشناسی برای هر پهنه اگرواکولوژیک ۱۷

شکل ۲-٥- نقشه پراکنش اراضی مختلف زراعی آبی، دیم و باغی در استان گلستان ۱۸

شکل ۲-٦- تبدیل عملکرد واقعی سال‌های اخیر شهرستان‌ها به عملکرد واقعی در پهنه‌های اگرواکولوژیک ۱۹

شکل ۲-۷- عملکرد شبیه‌سازی شده برای مزارع کشاورزان در مقابل عملکرد گزارش شده در پهنه‌های مختلف اگرواکولوژیک استان گلستان در شرایط دیم و آبی ۲۱

شکل ۲-۸- فلوچارت گردش اطلاعات در سیستم استانی بیلان آب و حسابداری آب کشاورزی (SAWA) ۲۳

شکل ۳-۱- پهنه‌های اگرواکولوژیک به دست آمد که بیش از ۹٥ درصد اراضی کشاورزی استان را پوشش می‌دهند ۲۸

شکل ۳-۲- نقشه پراکنش کلزای دیم (بالا) و گندم آبی (پایین) در استان گلستان ۳۱

شکل ۳-۳- مقایسه برآوردهای شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ، ماده خشک کل و تبخیرتعرق تجمعی توسط مدل برای شرایط مطلوب و شرایط مزارع کشاورزان در سال ۲۰۱۰ در پهنه اگرواکولوژیک ۲٥ (ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد) ۳٥

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-٤- عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده برای شرایط پتانسیل و شرایط مزراع کشاورزان در سطح استان گلستان ۳۷
شکل ۳-۵- حجم آب آبیاری شبیه‌سازی شده برای شرایط پتانسیل و شرایط کشاورزان در زراعت گندم آبی در سراسر استان گلستان ۳۸
شکل ۳-٦- شبیه‌سازی متغییرهای بیلان آب (شامل بارندگی، زه‌کشی، آبیاری و تبخیرتعرق) برای گندم آبی در پهنه شماره ۱۱ (ایستگاه هواشناسی علی‌آباد کتول) در ماه‌های مختلف سال ۳۹
شکل ۳-۷- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای مزارع کشاورزان استان گلستان..... ٤۰
شکل ۳-۸- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب گیاهان مهم استان گلستان در شرایط مزارع کشاورزان این استان ٤۲
شکل ۳-۹- حجم آب آبیاری برآورد شده برای مزارع کشاورزان برای کل استان گلستان ٤۳
شکل ۳-۱۰- ردپای آب آبی (مترمکعب آب آبیاری بر تن محصول تولیدی) برآورد شده برای محصولات مختلف برای مزارع کشاورزان برای کل استان گلستان ٤۵
شکل ۳-۱۱- درآمد حاصل از هر مترمکعب آب آبیاری برای شرایط کشاورزان در استان گلستان که بر اساس برآورد حجم آب آبیاری توسط سیستم و درآمد حاصل از هر تن محصول ٤۷
شکل ۳-۱۲- توزیع سطح زیر کشت(بالا) و منابع آب (پایین) بین گیاهان مختلف در شرایط کشت آبی استان گلستان..... ٤۹
شکل ۳-۱۳- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای کل اراضی دیم استان گلستان ۵۱
شکل ۳-۱٤- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای کل اراضی آبی استان گلستان..... ۵۲
شکل ۳-۱۵- مقایسه برآوردهای سیستم از حجم آب آبیاری در شرایط کشاورزان در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده..... ۵۷

فهرست جداول پیوست

عنوان **صفحه**

جدول پیوست ۱- کلاس‌های تعریف شده برای هر یک از متغیرهای مورد استفاده در طبقه‌بندی اقلیمی ٦٨
جدول پیوست ۲- مشخصات خاک‌های اصلی استان بر اساس بانک HC27 ..... ٦٩
جدول پیوست ۳- تهیه سیستم استانی بیلان آب و حسابداری آب استان گلستان فقط برای شرایط کشت آبی ٧١

فهرست اشکال پیوست

عنوان **صفحه**

شکل پیوست ۳- تهیه سیستم استانی بیلان آب و حسابداری آب استان گلستان فقط برای شرایط کشت آبی ۷۰
شکل پیوست ٤- نقشه‌های پراکنش گیاهی استان ۷۲
شکل پیوست ٥- مقایسه عملکرد مدل کالیبره شده در برابر عملکرد کشاورزان..... ۱۰۱

فصل اول- مقدمه

۱-۱- مقدمه

سالانه ۸۶ میلیارد مترمکعب آب آبی از منابع سطحی و زیرزمینی برای کشاورزی برداشت می‌شود (FAO, 2008; Mesgaran and Azadi, 2018؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). اما، وزارت نیرو حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی را ۶۲ میلیارد مترمکعب در سال اعلام نموده‌است به این معنی که ۲۸ درصد (۲۴ میلیارد متر مکعب در سال) از برداشت فعلی برای کشاورزی، اضافه برداشت می‌باشد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) با تحلیل اطلاعات منابع آب کشور و استان‌ها نشان دادند که با نظرداشت استانداردهای پذیرفته شده جهانی درباره کسر آب تجدیدپذیر که قابل‌بهره‌برداری است و نیز تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر، حجم آب قابل بهره‌برداری برای کشاورزی به صورت پایدار کم‌تر از ۴۰ میلیارد مترمکعب در سال است و بنابراین اضافه برداشت از منابع آب برای کشاورزی از ۲۸ درصد فراتر رفته و به بالاتر از ۵۰ درصد بالغ می‌گردد[1]، حاکی از این که برداشت آب برای کشاورزی باید تا بیش از ۵۰ درصد کاهش پیدا کند.

اضافه برداشت آب اثرات زیان‌باری بر منابع طبیعی و محیط زیست کشور دارد. در این ارتباط می‌توان به پایین افتادن سطح ایستابی و کم آبی یا خشک شدن سرشاخه رودخانه‌ها، رودخانه‌ها و احجام آبی (تالاب‌ها و دریاچه‌ها) اشاره نمود، که خود موجب زوال و نابودگی گسترده تنوع زیستی (گیاهان در جنگل‌ها و مراتع، انواع جانداران از جمله پرندگان، حشرات، ماهیان و مانند این‌ها)، افزایش سیلاب و فرسایش خاک، تشدید وقوع ریزگردها، فرونشست زمین، کاهش حاصلخیزی خاک‌ها و بیابانی شدن، می‌گردد. در اثر این پیامدها سیستم‌های کشاورزی نیز تحت تأثیر قرار

۱- در نتایج و بحث گزارش مذکور و در پیوست شماره ۷ آن جزییات بیش‌تر در این ارتباط ارایه شده است.

می‌گیرند، نوسانات تولید در آن‌ها زیاد می‌شود و میزان تولیدات کاهش خواهد یافت (سلطانی و میرزایی، ۱٤۰۰). با توجه به اثرات زیان‌بار اضافه برداشت آب، ضرورت دارد هر چه زودتر متوقف شود. در همین ارتباط، هیئت وزیران مصوبه‌ای (مصوبه شماره ۱۵۸۹٦۹/ت ۵۵۰۹۲ هیئت وزیران به تاریخ ۱۳۹٦/۱۲/۰٦) در خصوص تشکیل کارگروه ملی سازگاری با کم آبی گذارنده است که در آن وزارت نیرو، سازمان صدا و سیما، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان برنامه و بودجه، سازمان حفاظت محیط زیست کشور و وزارت صنعت، معدن و تجارت به عنوان دستگاه‌های مجری موظف به اقدامات لازم برای کاهش مصرف در بخش‌های مختلف خانگی، صنعت و کشاورزی شده‌اند. بیش از ۹۰ درصد برداشت آب در کشور برای کشاورزی صورت می‌گیرد (FAO, 2008). و بنابراین باید بیش‌ترین کاهش را در این بخش شاهد باشیم. متاسفانه، تأثیرات ملموسی را از این مصوبه شاهد نیستیم و دلیل آن این است که کاهش برداشت آب باعث می‌شود تولیدات کشاورزی و خودکفایی کشور کاهش یابد و بخشی از شغل‌های کشاورزی از دست بروند.

سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ ب) با تهیه سیستمی (سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط زیست: SEA[1]) وضعیت کنونی و آینده تولید و تقاضا برای غذا در کشور را در ارتباط با منابع آب و سایر محدودیت‌ها و ظرفیت‌های کشور بررسی کردند و مجموعه‌ای از سیاست‌ها و دو برنامه راهبردی برای سازگاری با کم آبی با حفظ منابع طبیعی و محیط زیست برای برون رفت از وضعیت موجود ارایه نمودند. سیستم مذکور از یک مدل شبیه‌سازی گیاهی و تعدادی ماژول تشکیل شده و برآوردهایی از حجم آب آبیاری، بهره وری آب آبیاری و مانند این‌ها برای بیش از ۳۵ گیاه اصلی کشاورزی کشور فرآهم می‌آورد. سیستم مذکور برای سطح ملی تهیه شده است که در آن استان‌ها زیرواحدهای شبیه‌سازی هستند. برآوردهای این سیستم مورد آزمون قرار گرفته است و در سطح ملی معتبر هستند و برآوردهای استانی آن نیز با احتیاط قابل استفاده هستند (Soltani *et al*., 2020c). حال چنان‌چه در مرحله بعد قرار باشد آن سیاست‌ها و برنامه‌های راهبردی یا هر برنامه دیگری به اجرا گذاشته شوند، نیاز به سیستمی می‌باشد که بتواند برآوردهای آبی مختلف و متنوعی مرتبط با توزیع آب و بهره‌وری استفاده از آن به صورت یکپارچه (اعداد ارقامی که در چند نقطه در گوشه‌ای از استان یا نقاطی از استان در یک یا چند فصل به‌دست می‌آیند، ممکن است برای این منظور کافی نباشد) و با دقت مناسب در سطح استان‌ها و زیرواحدهای آن‌ها مثل شهرستان‌ها فرآهم آورد.

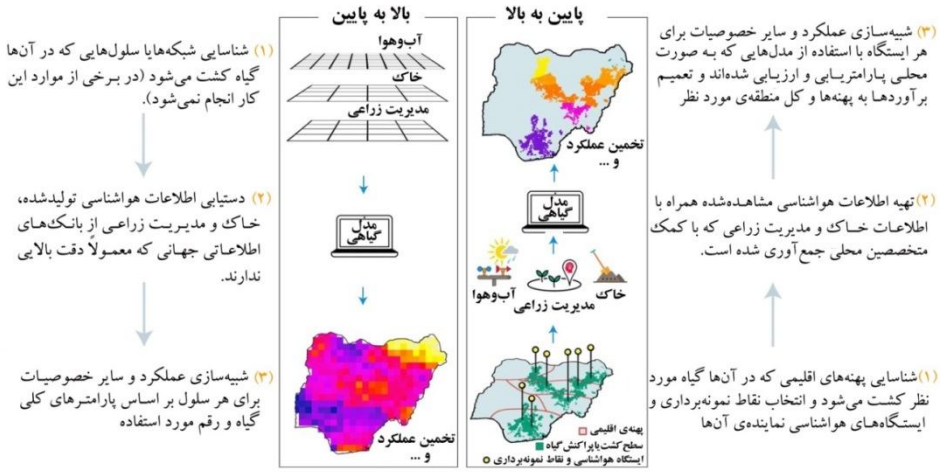
1- System for integrated Assessment of water, land, food and environment (SEA)

این سیستم استانی باید بتواند نشان دهد که در هر استان چه میزان آب در کجا با چه کارایی و برای چه گیاهی بهره‌برداری می‌شود تا برنامه‌ریزی بعدی برای حالت‌های بهتر قابل انجام باشد. افزون بر این، در گزارش‌های سازمان‌های مرتبط مانند جهادکشاورزی و مدیریت منابع آب از نظر مصرف آب اختلافاتی وجود دارد. چنین سیستمی باید بتواند به رفع یا کاهش این اختلافات نیز کمک کند. علاوه بر این‌ها، برای تعیین این‌که چه میزان آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود باید برآوردهایی از مزارع کشاورزان در دسترس باشد. بدین منظور بیش‌تر اوقات نرم‌افزارها و مدل‌هایی استفاده می‌شوند که برآوردهایی برای شرایط مطلوب و آزمایشی- تحقیقاتی ارایه می‌دهند. در این برآوردها، فرض بر این است مزارع عاری از علف‌های هرز بوده و آفات و بیماری‌ها، کمبود عناصرغذایی به طور موثر کنترل می‌شوند و اثری در کاهش عملکرد ندارند. این برآوردها برای شرایط مزراع کشاورزان قابل استفاده نیستند، مگر این‌که اصلاحاتی تجربی در آن‌ها صورت گیرد. این اصلاحات همراه با خطا و فرضیات بیش‌تر هستند (Soltani *et al*., 2020b). بنابراین، سیستم استانی مورد نظر باید بتواند مستقیما برآوردهایی از شرایط مزارع کشاورزان ارایه دهد تا برای برنامه‌ریزی‌های استانی قابل استفاده باشد.

روش‌ها برای شبیه‌سازی بیلان آب و رشد و عملکرد گیاهان در سطح وسیع مثل استان و کشور به دو گروه کلی تقسیم می‌شود. گروه اول، روش‌های بالا به پایین[1] هستند که در آن‌ها استان یا ناحیه موردنظر را شبکه‌بندی می‌کنند سپس اطلاعات هواشناسی، خاک، گیاهی و مانند این‌ها را برای آن شبکه‌ها از بانک‌های اطلاعاتی موجود استخراج می‌کنند. اطلاعات این بانک‌های مختلف که از طریق برون‌یابی و درون‌یابی تولید می‌شوند، معمولا دقیق نیست (Mourtzinis *et al*., 2017; Rattalino Edreira *et al*., 2021). سپس این اطلاعات به مدل شبیه‌سازی داده می‌شود و برای آن ناحیه یا استان با استفاده از پارامترهای ژنریک گیاهی شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. گروه دوم، روش‌های پایین به بالا[2] هستند که از سال ۲۰۱۰ به این سو بیش‌تر و در پروژه‌های بزرگ و متعددی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (van Ittersum *et al*., 2013). در این روش‌ها ابتدا در ناحیه مورد نظر پراکنش گیاه یا گیاهان مورد مطالعه مشخص می‌شود که در کجا چه گیاهانی کشت می‌شوند (تعیین موقعیت مکانی محصول یا محصولات مورد کشت) و همچنین پهنه‌های اقلیمی کشت گیاه شناسایی شده و سپس

1- Top-down
2- Bottom-up

نقاطی به عنوان نماینده آن پهنه‌ها شناسایی می‌شوند. از آن نقاط اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری می‌شود و به عنوان اطلاعات ورودی به مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی شبیه‌سازی مدل‌ها برای این نقاط به نواحی کشت و سپس استان تعمیم داده‌می‌شوند. شکل ۱-۱ این دو روش را مقایسه کرده‌است. در مجموع می‌توان گفت که روش پایین به بالا به زمان، کار و تلاش بیش‌تری نیاز دارد و دقت آن نیز بالاتر است. برای جزییات بیش‌تر به Rattalino Edreira و همکاران (۲۰۲۱) مراجعه شود.

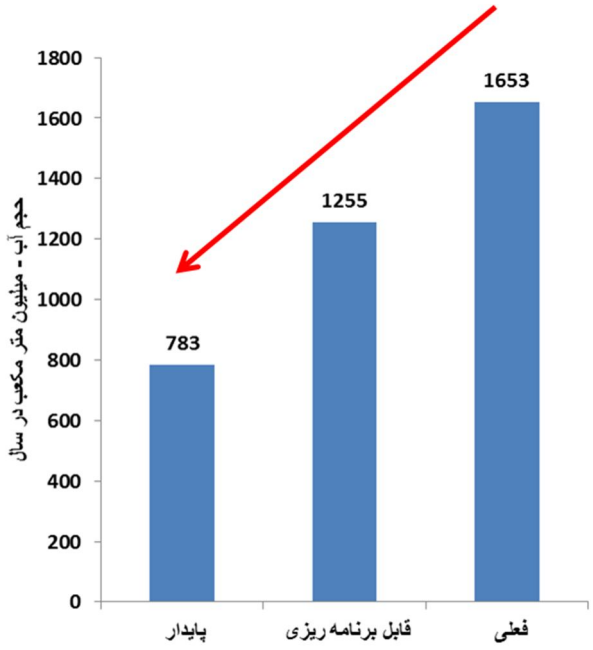


شکل ۱-۱- مقایسه روش‌های بالا به پایین و پایین به بالا برای برآورد عملکرد، نیاز آبیاری و سایر متغیرها در سطح بزرگ توسط مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی

با توجه به مطالب فوق، هدف اصلی مطالعه حاضر تهیه سیستم استانی بیلان آب و حسابداری آب در اراضی کشاورزی (دیم، آبی و باغی) بر اساس شبیه‌سازی تولید گیاهی و موازنه آب در این اراضی بود. این سیستم بر پایه روش پایین به بالا تهیه می‌شود و باید بتواند برآوردهایی برای شرایط مطلوب مدیریت کشاورزی و نیز شرایط کشاورزان ارایه دهد، شامل:

- برآورد اجزای بیلان آب و حجم آب آبیاری در مزارع کشاورزان برای گیاهان مهم در سراسر استان
- برآورد شاخص‌هایی مثل ردپای آب آبی و بهره‌وری آب آبیاری
- سایر اطلاعات مشابه

این سیستم برای استان گلستان به عنوان پایلوت تهیه می‌شود و با استفاده از این سیستم برآوردهای مذکور برای گیاهان مهم استان گلستان تولید و ارایه خواهند شد. هر گونه برنامه‌ریزی استانی برای سازگاری به کم‌آبی نیازمند برآوردهای مشابه می‌باشد. شایان ذکر است که برداشت فعلی آب برای کشاورزی در این استان ۱۶۵۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد در حالی‌که حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی توسط وزارت نیرو ۱۲۵۵ میلیون مترمکعب در سال و حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی در حالت پایدار ۷۸۳ میلیون مترمکعب در سال (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) تعیین شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- حجم فعلی برداشت آب برای کشاورزی در استان گلستان و مقایسه آن با حجم قابل برنامه‌ریزی اعلام‌شده توسط وزرات نیرو و حجم قابل برنامه‌ریزی در حالت پایداری (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)

فصل دوم- مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده در این مطالعه مبتنی بر به‌کارگیری یک مدل شبیه‌سازی گیاهی است که قبلا برای بیش از ۳۵ گیاه اصلی کشاورزی کشور به طور گسترده پارامتریابی و ارزیابی شده‌است. با به‌کارگیری یک پروتکل خاص، اراضی کشاورزی استان به پهنه‌های یکنواخت تقسیم می‌گردد. مساحت کشت هر گیاه در هر پهنه به صورت آبی و دیم تعیین می‌گردد و اطلاعات هواشناسی و خاک هر پهنه تهیه شده و مدل برای شبیه‌سازی گیاهان مهم استان در هر پهنه در شرایط کشت آبی و دیم ست‌آپ[1] می‌شود، طوری که رشد، عملکرد و بیلان آب مزرعه برای این گیاهان در سراسر استان را به‌طور یکپارچه شبیه‌سازی کند.

۲-۱- گیاهان مهم استان

گیاهان مهم کشور قبلا توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ الف) به صورت گیاهانی که حداقل سطح کشت آن‌ها در کشور ۵۰ هزار هکتار باشد، تعیین شدند. بر این اساس گیاهان مهم استان گیاهانی تعیین شدند که حداقل سطح کشت آن‌ها در استان ۱۰۰۰ هکتار باشد و یا جز گیاهان مهم کشور باشند. فهرست این گیاهان برای شرایط دیم و آبی استان در جدول‌های ۲-۱ و ۲-۲ آورده‌شده‌است. سیستم مورد نظر این مطالعه باید بتواند این گیاهان را در سراسر استان شبیه‌سازی کند. در کشت آبی، گندم، برنج، کلزا، سویا، پنبه و جو مهم‌ترین گیاهان زراعی و هلو، مرکبات و زیتون مهم‌ترین گیاهان باغبانی هستند. در کشت دیم، گندم، جو و کلزا مهم‌ترین گیاهان زراعی و زیتون و گردو مهم‌ترین گیاهان باغبانی می‌باشند (جدول ۲-۱، ۲-۲).

1- Setup; معادل فارسی مناسب که منظور را برساند یافت نشد

جدول ۲-۱- متوسط سطح کشت، تولید و عملکرد محصولات زراعی آبی، باغی آبی و سایر گیاهان آبی در استان گلستان براساس آمار ۳ ساله از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸

نام محصول	سطح کشت (هکتار)		تولید	عملکرد
	غیرمثمر†	مثمر	(تن در استان)	(کیلوگرم در هکتار)
یونجه	-	۸۳۳	۹۱۸۱	۱۰۳۲۹
جو	-	۱۱۰۱۷	۳۸۰۱۲	۳۴۷۲
لوبیا	-	۸۲۲	۱۲۷۱	۱۵۳۲
کلزا	-	۴۰۳۴۸	۸۷۷۹۵	۲۳۴۹
نخود	-	۵۶	۹۹	۱۸۰۵
شبدر	-	۱۵۹۳	۱۴۱۴۶	۸۵۵۵
پنبه	-	۱۱۳۶۴	۲۰۸۳۳	۱۸۰۳
ذرت علوفه‌ای	-	۶۸۲۹	۲۵۸۴۵۶	۳۷۸۲۰
ذرت دانه‌ای	-	۷۶	۳۹۷	۵۲۵۱
سیب زمینی	-	۵۵۶۲	۱۳۹۶۵۱	۲۵۱۱۴
کنجد	-	۴۶۱	۴۵۵	۱۰۴۳
سویا	-	۱۶۸۴۵	۳۴۰۱۴	۲۰۶۰
چغندرقند	-	۸۶۰	۳۱۹۱۳	۴۰۴۲۳
آفتابگردان	-	۲۷۷۵	۳۲۹۰	۲۱۴۷
برنج	-	۸۰۲۲۰	۴۳۶۴۵۸	۵۳۲۶
گندم	-	۱۴۱۰۱۸	۷۰۵۳۱۳	۵۰۰۰
خیار	-	۹۰۹	۲۸۸۵۲	۳۱۱۵۶
خربزه	-	۸۱۰	۲۹۳۵۵	۳۶۱۳۶
پیاز	-	۵۴۰	۱۴۶۸۳	۲۷۱۱۱
گوجه فرنگی	-	۵۶۳۷	۲۳۸۶۵۸	۴۲۶۷۰
هندوانه	-	۱۸۰۳	۹۶۵۳۲	۵۳۲۰۰

ادامه جدول ۲-۱-

نام محصول	سطح کشت (هکتار)		تولید	عملکرد
	غیرمثمر†	مثمر	(تن در استان)	(کیلوگرم در هکتار)
سیب	۱۵	۱۶۶	۳۶۹۵	۸۰۹۸
زردآلو	۳	۱۵	۹۳	۶۶۲۶
خرما	۰	۱	۰	۲۰۰
انجیر	۶	۳	۲۴	۶۲۳۸
انگور	۰	۲	۲۲	۱۳۴۰۷
زیتون	۱۸۲۹	۲۳۳۸	۵۴۴۶	۲۳۶۴
مرکبات	۴۹۰	۵۷۱۵	۱۰۳۶۱۷	۱۸۱۳۲
هلو	۱۵۱۹	۸۲۶۷	۱۱۶۸۳۲	۵۸۰۲۱
گلابی	۲۹۹	۴۵۴	۷۲۴۴	۹۶۱۱
پسته	۸۳	۸	۴	۴۹۳
انار	۲۲۹	۷۳۳	۶۴۹۷	۸۹۵۲
گردو	۱۱۵	۱۲۵	۳۰۳	۲۴۲۰
سایر زراعی	۰	۳۳۳۷۳	۳۴۱۹۱۹	۱۰۲۴۵
سایر سبزیجات	۰	۵۶۰۱	۱۱۶۲۱۴	۲۰۷۴۷
سایر باغ	۳۸۷	۲۶۵۹	۲۰۸۰۹	۷۸۲۶
سایر گلخانه	۰	۲	۳۰۳	۱۴۲۸۵۷
کل	۴۹۷۵	۳۸۹۸۴۰	۲۹۱۲۳۸۶	–

† غیرمثمر: منظور باغ‌هایی که به تازگی احداث شده است و هنوز درختان به باردهی و میوه‌دهی نرسیده باشند.

جدول ۲-۲- متوسط سطح کشت، تولید و عملکرد محصولات زراعی دیم، باغی دیم و سایر گیاهان دیم در استان گلستان براساس آمار ۳ ساله از ۱۳۹٦ تا ۱۳۹۸

نام محصول	سطح کشت (هکتار)		تولید (تن در استان)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
	غیرمثمر†	مثمر		
یونجه		۳۰۵	۲۵۰۳	۷۸٦۸
جو		٦۱۳٤٦	۱۲۳۵۱۲	۲۰۳۵
لوبیا		۱۳	۱۷	۱۲۸۱
کلزا		۱۳٤۳۸	۲۲۱۸۵	۱۷۱٦
نخود		۷۰۷	۹۰۷	۱۲۱۵
شبدر		۳٤۵	۲۰٤۷	۵۵۷۱
پنبه		۲۳۷۵	۲٦۱۱	۹۹۰
عدس		۹۷۷	۸۲۱	۸۵۸
ذرت علوفه‌ای		٤۵۵	۱۸۲۱۳	٤۰۰۰۰
سویا		۲۲۵۹	۳۱۲۱	۱۳۱۳
آفتابگردان		۱٤۸۹	۱٤۳۲	۹۸۵
گندم		۲۰٦۰۰۵	٦۰۸۲۷۸	۲۹۷۸
خربزه		۵۳	۱۰۱۸	۲۰٦۳۲
پیاز		۳٤	۵۱٤	۱۵۰۰٤
گوجه فرنگی		۵٤	٤۵۱	۸٤۰۳
هندوانه		۵۲٦	۱٤۹٦٦	۲٤٦۰٤

ادامه جدول ۲-۲-

نام محصول	سطح کشت (هکتار)		تولید	عملکرد
	غیرمثمر†	مثمر	(تن در استان)	(کیلوگرم در هکتار)
بادام	۲	۰	۰	۰
سیب	۲۹	۸٦	۲۱۷	۲۵۵۲
زردآلو	۱	۲۹	۲۲۸	۷۷۸۷
خرما	٤	۱	۱	٦٤۳
انجیر	۲	۱	۵	۷٤۳٦
انگور	۰	۱	۸	۹٦۱۳
زیتون	۷۳۲	۱۵۷۹	۲۳۵٦	۱۵٤۱
مرکبات	۲۵۰	۱۷۱	۲٤۵۹	۱٤۳٦۰
هلو	۱۷۱	۱۱۳	۹۳۹	۳۸۸۳۲
گلابی	۵۹	۸۷	۳٤۹	۳۹۲۳
پسته	۳٤	۰	۰	–
انار	۷۹	۳٤	۱۷۱	٤٦٦۸
گردو	۲۵۱	۸۹۸	۱۱٦٦	۱۲۹٤
سایر زراعی	۰	۷۰۱۷	۳۹۰٦٦	۵۵٦۷
سایر سبزیجات	۰	۱٦۸٤	۲٦۹۳۹	۱٦۰۰۰
سایر باغ	۸۷	٤۲۲٦	۳۵۵۹	۸٤۲
کل	۱۷۰۱	۳۰٦۳۰۸	۸۸۰۰۵۹	-

† غیرمثمر: منظور باغ‌هایی که به تازگی احداث شده است و هنوز درختان به باردهی و میوه‌دهی نرسیده باشند.

۲-۲- مدل شبیه‌سازی مورد استفاده

در این مطالعه از مدل شبیه‌سازی گیاهی SSM-iCrop2 استفاده شد (Soltani *et al*., 2020a). تهیه و کاربرد مدل‌های SSM از سال ۱۹۸٦ شروع شده‌است که در آن زمان مدلی توسط Sinclair برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا ارائه شد (Sinclair, 1986). و از آن زمان تا به حال مدل‌های SSM در مطالعات مختلف برای گیاهان متنوع در قاره‌ها و کشورهای مختلف استفاده شده‌اند (Soltani and Sinclair, 2012; Sinclair *et al*., 2019). مدل SSM-iCrop2 (Soltani *et al*., 2020a). ساده شده مدل اصلی SSM (Soltani *et al*., 2013) می‌باشد که به اطلاعات و ورودی‌های کم‌تری نیاز دارد و برای شبیه‌سازی انواع گونه‌های گیاهی در سطح وسیع مناسب است. این مدل رشد، عملکرد و موازنه آب را بر مبنای داده‌های هواشناسی، ویژگی‌های خاک، نحوه مدیریت (مانند آبیاری) و پارامترهای گیاهی (رقم مورد استفاده) محاسبه می‌کند. مدل توانایی شبیه‌سازی نمو فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، تجمع و توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه (بیلان) آب خاک را دارد. مدل، شبیه‌سازی را به‌صورت روزانه انجام می‌دهد. لازم به ذکر است که این مدل اثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را برروی گیاه در نظر نمی‌گیرد و فرض می‌کند به‌طور مؤثر مدیریت شده‌اند. همچنین فرض شده‌است که هر گونه کمبود عناصر غذایی با مدیریت مناسب رفع می‌شود.

در مدل SSM-iCrop2 برای انجام محاسبات موازنه آب خاک، خاک به‌صورت دو لایه درنظرگرفته شده است: یک لایه فوقانی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و یک لایه دوم که شامل لایه اول نیز می‌باشد و برابر با عمق مؤثر استخراج آب توسط ریشه است. عمق لایه دوم با شروع رشد ریشه افزایش می‌یابد تا به حداکثر خود برسد. عمق مؤثر ریشه در زمان سبز شدن در گیاهان زراعی در اکثر موارد برابر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است و برای گیاهان دائمی مثل درختان در اکثر موارد برابر ۱۰۰ سانتی‌متر لحاظ شده است. پس از مرحله سبز شدن به ازای هر واحد دمایی، به مقداری که از پارامترهای گیاهی محسوب می‌شود، بر عمق ریشه افزوده می‌شود. عمق نهایی قابل دسترس برای ریشه می‌تواند بر اساس مرحله فنولوژیک، عمق نفوذ ریشه، عمق خاک و یا موانع فیزیکی و شیمیایی موجود در خاک برای رشد ریشه تعیین شود (Soltani and Sinclair, 2012). واکنش به CO_2 و دما نیز در این مدل لحاظ شده که بسته به هدف مطالعات برای تغییر اقلیم در آینده کاربرد دارد. برای جزییات بیش‌تر درباره مدل به سلطانی (۱۳۸۸)، سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ب)، Soltani و Sinclair (۲۰۱۲)، Soltani و همکاران (۲۰۲۰ الف) مراجعه شود. خلاصه‌ای از روش‌های مورد استفاده در مدل

در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. مدل و کلیه فایل‌های مرتبط با آن از جمله راهنمای مرجع مدل و راهنمای کاربرد آن در وب‌سایت www.SSM-crop-models.net قابل دستیابی هستند.

شکل ۲-۱- خلاصه‌ای از روش‌های محاسباتی مورد استفاده در مدل SSM-iCrop2

(Soltani *et al.*, 2020a; Soltani *et al.*, 2012؛ برای جزییات به سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ الف مراجعه شود)

مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی هر گونه و رقم به طور مؤثر به ۲۰ پارامتر نیاز دارد. این مدل در مطالعات قبلی (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ۱۳۹۸ الف، ب) با جمع‌آوری گسترده اطلاعات از سراسر کشور (در برگیرنده چند طرح تحقیقاتی و بیش از ۱۵ پایان‌نامه دکترا) برای بیش از ۳۵ گیاه اصلی کشاورزی کشور، پارامتریابی و ارزیابی شده‌است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸الف؛ Soltani *et al.*, 2020a). در مطالعه حاضر، پارامتریابی و ارزیابی بیش‌تری برای مدل در شرایط استان گلستان صورت نمی‌گیرد چون بخش مهمی از اطلاعات و داده‌های قبلی که برای پارامتریابی و ارزیابی مدل استفاده شدند، مربوط به این استان بوده‌اند و زمان زیادی نیز از آخرین فعالیت‌های پارامتریابی و ارزیابی نمی‌گذرد.

۲-۳- روش مورد استفاده برای ست‌آپ مدل و تهیه سیستم

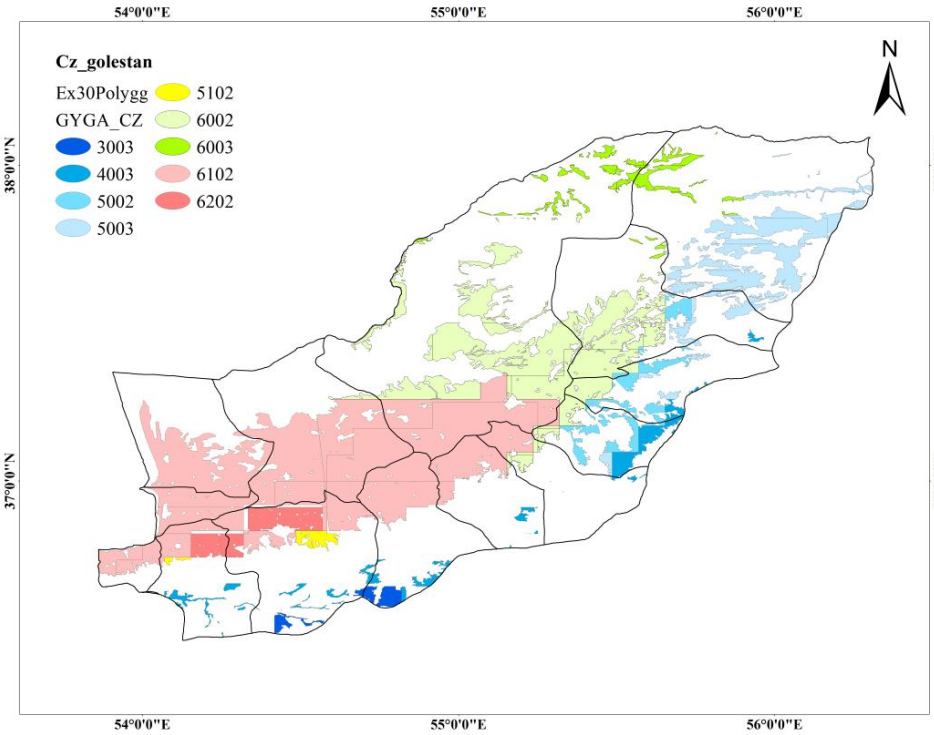
تهیه سیستم طی سه مرحله اصلی صورت گرفت:

(۱) پهنه‌بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی استان

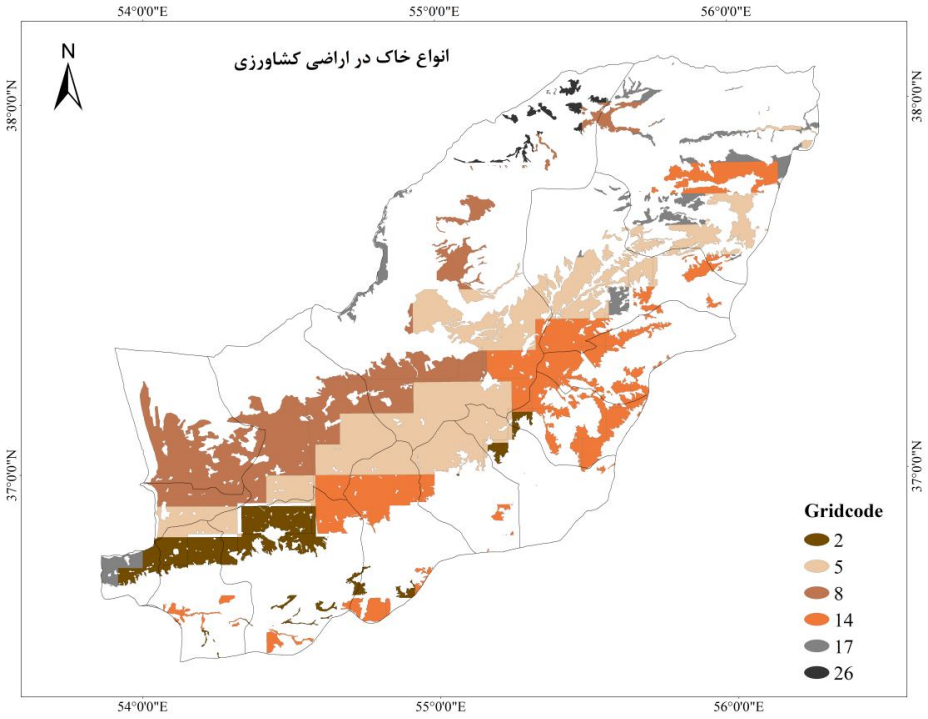
(۲) تعیین ایستگاه های هواشناسی و نوع خاک در هر پهنه اگرواکولوژیک

(۳) ست‌آپ و کالیبراسیون یک مدل گیاهی ساده برای شبیه‌سازی عملکرد، بیلان آب و سایر متغیرهای گیاهان مهم استان در مزارع کشاورزان در هر پهنه اگرواکولوژیک

پهنه‌بندی اگرواکولوژیک استان و دستیابی به پهنه‌های همگن اقلیمی- خاکی اراضی کشاورزی بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی GYGA-ED (van Wart, *et al.*, 2013b؛ www.yieldgap.org) و پهنه‌بندی خاک HC27 (Koo and Dimes, 2013) صورت گرفت. پهنه‌بندی اقلیمی GYGA-ED توسط van Wart و همکاران (۲۰۱۳ الف) ارایه شده است و یک پهنه‌بندی گیاهی محور است که در آن از سه متغیر واحد دمایی (درجه روز رشد با دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد) سالانه، شاخص خشکی (نسبت بارندگی به تبخیرتعرق) و دامنه نوسان سالانه دما، برای پهنه‌بندی استفاده شده است. پهنه‌بندی اقلیمی استان بر اساس این روش در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. از آن جایی که نقشه و بانک اطلاعاتی خاک مناسب برای استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی در کشور موجود نیست، برای این منظور از اطلاعات و پهنه‌بندی خاک بانک اطلاعاتی HC27 استفاده گردید (Koo and Dimes, 2013). این بانک اطلاعاتی توسط موسسه بین‌المللی تحقیقات سیاست غذا با هدف تسهیل کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی در مطالعات امنیت غذایی در دنیا تهیه شده است و شامل ۲۷ پروفیل خاک ژنریک می‌باشد که از ترکیب سه عمق خاک، سه بافت خاک و سه سطح حاصلخیزی خاک به دست آمده‌اند. وضوح این بانک اطلاعاتی ۱۰ کیلومتر است و قبلا کیفیت اطلاعات آن در شرایط کشور آزمون شده است که نتیجه رضایت‌بخش بوده است. برای جزییات بیش‌تر در این ارتباط به سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ الف؛ پیوست ۳ ایشان) یا Nehbandani و همکاران (۲۰۲۰) مراجعه شود. نقشه خاک‌های استان بر اساس بانک HC27 در شکل ۲-۳ آورده شده‌است. با روی‌هم‌اندازی نقشه‌های کاربری اراضی کشاورزی (آبی، باغی، دیم)، پهنه‌های اقلیمی GYGA-ED و پهنه‌های خاک HC27 تعداد ۳۰ پهنه اگرواکولوژیک شناسایی شدند. جزییات و مشخصات این پهنه‌ها در بخش نتایج و بحث ارایه خواهد شد.

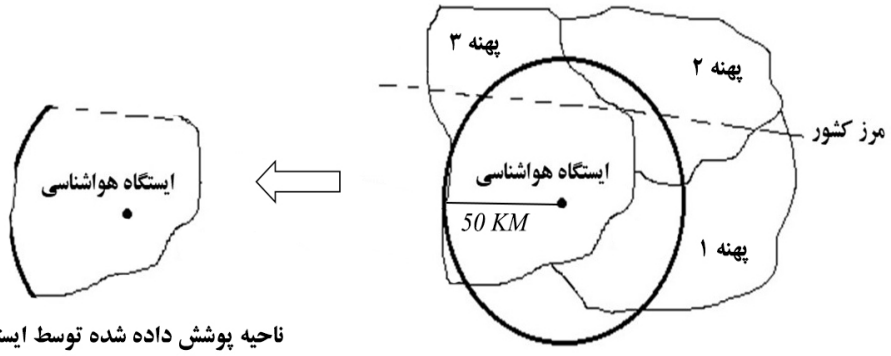


شکل ۲-۲- پهنه‌بندی اقلیمی اراضی کشاورزی استان بر اساس روش GYGA-ED (Wart et al., 2015؛ www.yieldgap.org). شماره‌ها کدهای اقلیمی در پهنه‌بندی GYGA-ED هستند در پیوست ۱ این طرح ارایه شده است



شکل ۲-۳- پهنه‌بندی خاک اراضی کشاورزی استان دستیابی شده از بانک اطلاعات خاک HC27 (Koo and Dimes, 2013). شماره‌ها کدهای خاک در بانک اطلاعاتی HC27 هستند و در پیوست ۲ این طرح ارایه شده است

با مشخص شدن پهنه‌های اگرواکولوژیک، ایستگاه اقلیمی نماینده هر پهنه شناسایی شد و عبارت از ایستگاهی است که در اقلیم مشابه با اقلیم پهنه واقع شده باشد و پهنه مورد نظر در بافر ایستگاه با شعاع ۵۰ کیلومتر قرار داشته باشد (شکل ۲-٤). اطلاعات هواشناسی روزانه این ایستگاه‌ها برای ۱۵ سال اخیر برای شبیه‌سازی گیاهی جمع‌آوری، کنترل کیفی و استفاده گردید (برای جزییات روش به پیوست ۲ در سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ الف مراجعه شود). همچنین مشخصات خاک پهنه از بانک HC27 استخراج و برای استفاده در مدل آماده گردید.



شکل ۲-٤- تعیین ایستگاه هواشناسی برای هر پهنه اگرواکولوژیک

ست‌آپ و کالیبراسیون مدل (مرحله سوم) خود شامل سه مرحله زیر بود:

(۱) تهیه نقشه پراکنش گیاهان مهم استان و تعیین مساحت مورد کشت هر گیاه در هر پهنه اگرواکولوژیک در شرایط دیم و آبی

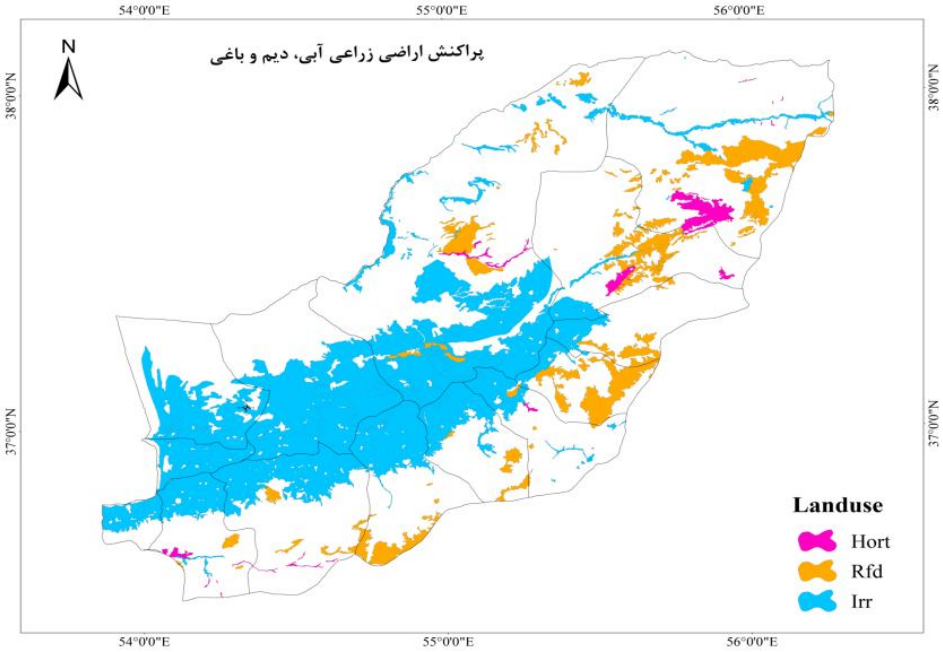
(۲) برآورد عملکرد واقعی کشاورزان در هر پهنه بر اساس عملکرد واقعی کشاورزان در شهرستان های استان (تبدیل عملکردها از شهرستان به پهنه اگرواکولوژیک)

(۳) کالیبراسیون مدل برای شبیه‌سازی عملکرد واقعی هر گیاه در مزارع کشاورزان در هر پهنه اگرواکولوژیک در شرایط تولید دیم و آبی

برای تهیه نقشه‌های پراکنش گیاهان مهم استان، از نقشه کاربری اراضی کشاورزی استان که برشی از نقشه مذکور برای کشور است، به عنوان نقشه پایه استفاده گردید (شکل ۲-۵). در این نقشه اراضی کشاورزی شهرستان‌های استان به تفکیک آبی، دیم و باغی مشخص شده‌اند. برای تهیه نقشه پراکنش هر گیاه در شرایط دیم و آبی جداگانه بر اساس روش توضیح داده شده توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸؛ پیوست ۱) عمل گردید. این روش برگرفته از پروژه SPAM[1] موسسه بین‌المللی تحقیقات غذا[2] می‌باشد (You *et al*., 2014). در این روش آمار سطح کشت هر گیاه در هر شهرستان بسته به

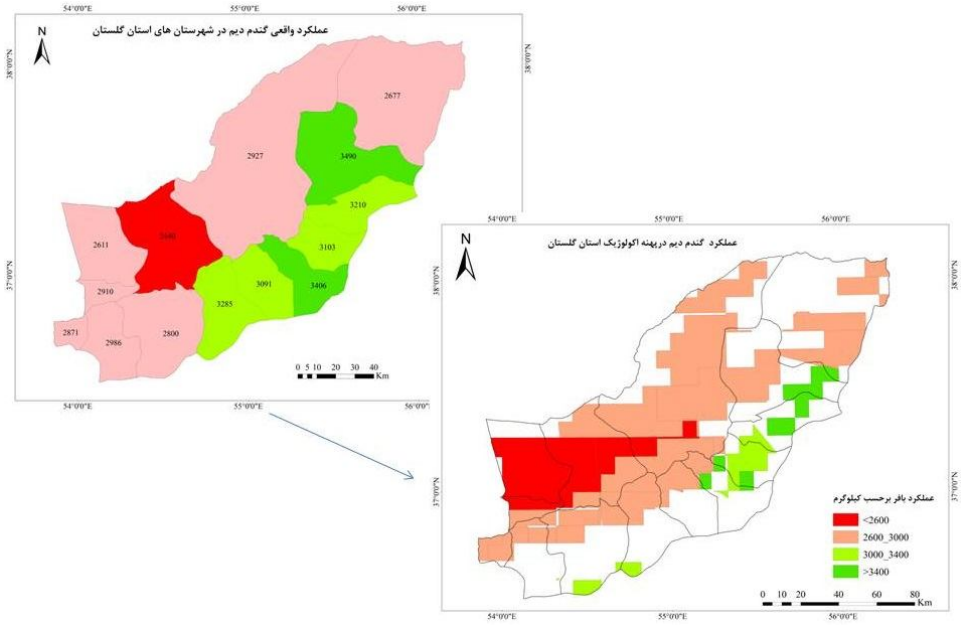
1- Spatial Production Allocation Model
2- International Food Policy Institute

نوع کشت در کاربری مربوطه به صورت یکنواخت پخش می‌گردد. برای مثال، فرض می شود کشت گندم آبی در شهرستان گرگان در کل سطح زیر کشت آبی این شهرستان به صورت یکنواخت توزیع شده است. برای تهیه نقشه پراکنش از اطلاعات سه سال (برداشت) ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است طبیعتا با گذشت زمان سطح کشت و پراکنش گیاهان تغییر خواهد یافت. در چنین سیستم‌هایی لازم است هر چند سال یک‌بار (مثلا هر ۵ سال) بروزرسانی شده و با نقشه‌های جدیدتر محاسبات تکرار گردد.



شکل ۲-۵- نقشه پراکنش اراضی مختلف زراعی آبی، دیم و باغی در استان گلستان. شایان ذکر است که در برخی نقاط همپوشانی وجود دارد که ممکن است در نقشه بالا قابل مشاهده نباشد. Hort اراضی باغی، Rfd اراضی دیم و Irr اراضی آبی هستند

در مرحله دوم نیاز بود که عملکرد در واحد سطح گیاهان مهم استان که به صورت شهرستانی از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه شده بودند به عملکرد در واحد سطح در پهنه‌های اگرواکولوژیک تبدیل شوند. بدین منظور ابتدا نقشه عملکرد برای هر گیاه به تفکیک دیم و آبی تهیه گردید که شامل ٥٦ ترکیب گیاه–شرایط تولید بود. سپس این نقشه‌های عملکرد برای پهنه‌های اگرواکولوژیک برش خوردند و نقشه‌های عملکرد در پهنه‌ها به دست آمد. عملکرد در واحد سطح پهنه‌ها برای کالیبراسیون مدل شبیه سازی گیاهی از این نقشه‌ها استخراج گردید. شکل ۲–٦ یک نمونه نقشه عملکرد در واحد سطح برای شهرستان‌ها و پهنه‌های اگرواکولوژیک استان را نشان می‌دهد. شایان ذکر است عملکرد در واحد سطح گیاهان مهم استان در شهرستان‌های استان در سال‌های برداشت ١٣٩٦ تا ١٣٩٨ به روش فوق به عملکرد در واحد سطح پهنه‌های اگرواکولوژیک تبدیل شدند.

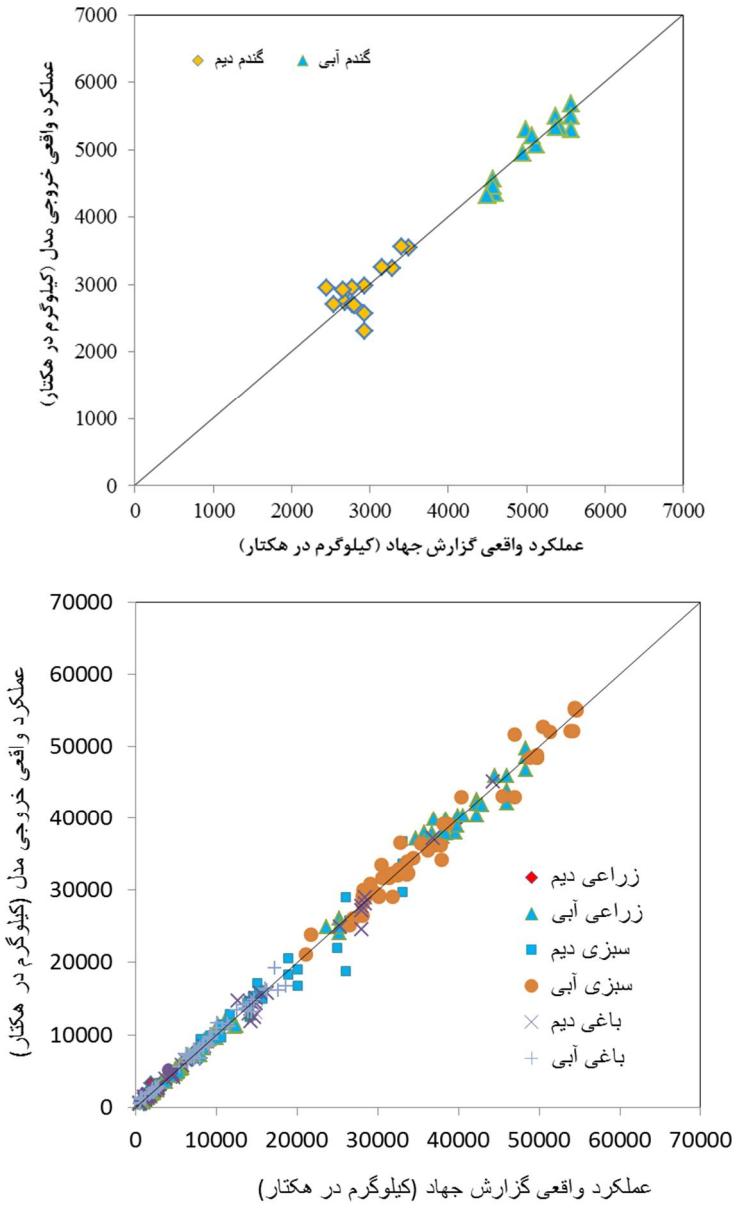


شکل ۲–٦- تبدیل عملکرد واقعی سال‌های اخیر شهرستان‌ها به عملکرد واقعی در پهنه‌های اگرواکولوژیک. این محاسبات برای ٥٦ ترکیب گیاه- شرایط تولید انجام شد که در این‌جا نقشه گندم دیم برای نمونه ارائه شده است

برای کالیبراسیون، عملکردهایی که مدل شبیه‌سازی SSM-iCrop2 برای هر گیاه در هر شرایط تولید (دیم و آبی) در هر پهنه اگرواکولوژیک پیش‌بینی نموده با عملکرد در واحد سطح واقعی کشاورزان مستخرج در مرحله دوم در مقابل هم در نمودار قرار داده شدند. این امر برای هر گیاه در هر شرایط تولید به صورت جداگانه انجام پذیرفت. چنان‌چه ذکر شد این مدل قبلا برای بیش از ۳۵ گیاه مهم کشاورزی کشور پارامتریابی و ارزیابی شده‌است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸الف؛ Soltani *et al*., 2020a). این پارامتریابی و ارزیابی برای شرایط آزمایش‌های کشاورزی برای شرایط آبی و دیم با فرض عدم محدودیت عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز صورت گرفته است در حالی که در شرایط مزارع کشاورزان این عوامل فعال هستند و موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شوند. با توجه به ماهیت مدل و فیزیولوژی تأثیر این عوامل بر رشد و عملکرد گیاهان، فرض شد این عوامل از طریق کاهش سه پارامتر موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند. این سه پارامتر عبارت بودند از:

- LAIMX حداکثر شاخص سطح برگ که در شرایط مطلوب رشد قابل دستیابی است
- IRUE کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی و تبدیل آن به ماده خشک
- HImax حداکثر شاخص برداشت در شرایط مطلوب رشد

در کالیبراسیون مدل، پارامترهای سه گانه فوق تغییر داده شدند تا عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل به عملکرد واقعی کشاورزان نزدیک شود. همچنین برای شبیه‌سازی تأثیر علف‌های هرز بر بیلان آب مزرعه از طریق تعرق، پارامتری به مدل اضافه شد که عبارت است از متوسط سطح برگ علف‌های هرز در مزرعه (LAIW). چنان‌چه برآوردی از این پارامتر در مدل وارد گردد، تعرق علف‌های هرز شبیه‌سازی می‌شود. در صورت عدم قرار دادن مقداری برای این پارامتر، مدل فرض می‌کند تعرق علف‌های هرز ناچیز است و از شبیه‌سازی آن صرف نظر می‌کند. شکل ۲-۷ عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل کالیبره شده در مقابل عملکرد کشاورزان برای گندم در کشت آبی و دیم و نیز کل گیاهان مهم استان را نشان می‌دهد (نتایج بیش‌تر در پیوست ۵). کالیبراسیون برای ۳۱ گیاه مهم استان برای شرایط دیم و آبی جداگانه صورت گرفت.

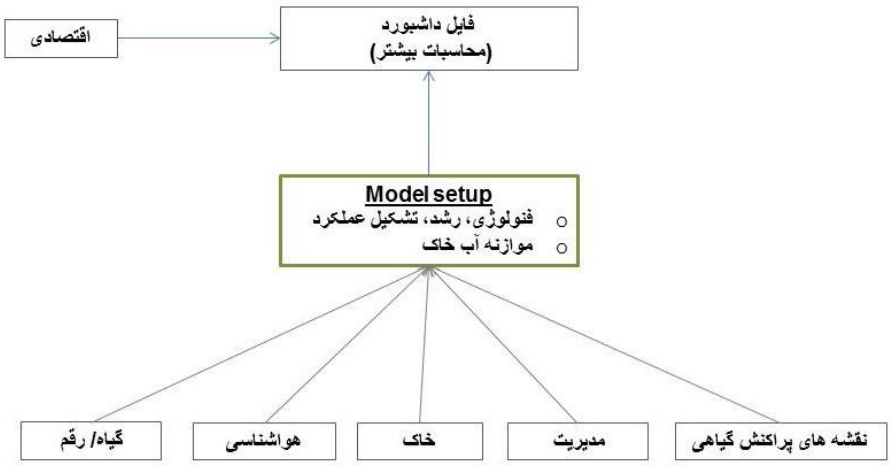


شکل ۲-۷- عملکرد شبیه‌سازی شده برای مزارع کشاورزان در مقابل عملکرد گزارش شده در پهنه‌های مختلف اگرواکولوژیک استان گلستان در شرایط دیم و آبی

مدل ست‌آپ شده برای استان گلستان به روش بالا عبارت از یک مدل شبیه‌سازی است که با دریافت اطلاعات مدیریت، خاک، هواشناسی و گیاه یا رقم گیاهی، رشد، عملکرد و مؤلفه‌های بیلان آب برای ۳۱ گیاه مهم کشاورزی استان در ۳۰ پهنه اگرواکولوژیک در سراسر استان را در شرایط آبی و دیم جداگانه شبیه‌سازی می‌کند. این شبیه‌سازی با مدل ست‌آپ شده برای شرایط مدیریت مطلوب (پتانسیل) و شرایط مزراع کشاورزان قابل انجام است. خروجی‌های مدل نیز به صورت روزانه و نیز فصلی تولید می‌شوند. به علاوه، برای مؤلفه‌های بیلان آب در مزرعه، خروجی‌های ماهانه تولید می‌گردند. برخی خروجی‌های مدل عبارتند از تاریخ کاشت[۱] و تاریخ بازشدن جوانه درختان، مراحل مهم فنولوژیک گیاهان مثل روز تا شروع پرشدن دانه یا میوه یا روز تا برداشت، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ، و مؤلفه‌های بیلان آب یعنی رواناب، تبخیر، تعرق، زه‌کشی عمقی، برگاب، تعرق علف‌های هرز و آبیاری. خروجی‌های ست‌آپ به صورت در واحد سطح هستند که برای هر گیاه- شرایط تولید در هر پهنه به مقادیر کل در پهنه قابل تبدیل هستند. برای این منظور در سیستم تهیه شده خروجی در واحد سطح حاصل از مدل ست‌آپ شده به فایل دیگری (داشبورد) منتقل می‌شوند که حاوی اطلاعات سطح زیر کشت گیاهان در پهنه‌های اگرواکولوژیک است و در این فایل در مساحت مرتبط ضرب می‌گردد. برای مثال، حجم آب آبیاری در واحد سطح برای گیاهان هر پهنه به کل حجم آب آبیاری در پهنه اگرواکولوژیک قابل تبدیل است. به این ترتیب، خروجی‌های مختلف از جمله مؤلفه‌های بیلان آب در سطح کل استان به تفکیک گیاه یا کل استانی قابل محاسبه هستند. شکل ۲-۸ گردش اطلاعات در سیستم تهیه شده را نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر از سیستم برای شبیه‌سازی از با استفاده از اطلاعات هواشناسی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ استفاده شد ولی برای هر بازه زمانی و نیز اجرا به صورت real time قابل استفاده است. اگرچه ست‌آپ مدل حاضر برای استان تهیه شده (زیرا عمدتا برنامه‌ریزی‌ها استانی است)، ولی بسته به هدف مطالعه می‌توان در سطح آبخیز و یا برای ناحیه دیگر مرکب از چند حوزه آبخیز یا استان و شهرستان نیز ست‌آپ مدل را تهیه نمود. این سیستم SAWA[۲] نامگذاری می‌شود.

۱- تاریخ کاشت گیاهان زراعی توسط الگوریتم‌های معرفی شده توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸؛ پیوست ٤) به صورت تقلید رفتار کشاورزان توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود

2- System for regional Agricultural Water balance and water Accounting



شکل ۲-۸- فلوچارت گردش اطلاعات در سیستم استانی بیلان آب و حسابداری آب کشاورزی (SAWA)

فصل سوم- نتایج و بحث

۳-۱- تهیه پهنه‌های اگرواکولوژیک استان

با ترکیب پهنه‌های اقلیمی و خاکی استان تعداد ۳۰ پهنه همگن اگرواکولوژیک برای اراضی کشاورزی استان شناسایی شد (شکل ۳-۱). این پهنه‌ها بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی استان را پوشش می‌دهند، بدین معنی که بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی استان در این پهنه‌ها قرار گرفته‌اند. این پهنه‌ها از ترکیب ۹ پهنه اقلیمی اراضی کشاورزی استان (شکل ۲-۲) و ٦ پهنه خاکی اراضی کشاورزی استان (شکل ۲-۳) حاصل شده‌اند. مساحت اراضی کشاورزی در هر یک از پهنه‌های اقلیمی در جدول ۳-۱ و در هر یک از پهنه‌های خاکی در جدول ۳-۲ آورده شده است. از بین پهنه‌های اقلیمی سه پهنه ۵۰۰۳، ٦۰۰۲ و ٦۱۰۲ بیش از ۸۰ درصد اراضی کشاورزی استان را در بر دارند و نیز بیش از ۸۰ درصد اراضی کشاورزی استان دارای یکی از پروفیل‌های خاک ۵ (رسی با حاصلخیزی متوسط و عمق ۱۲۰ سانتی‌متر)، ۸ (رسی با حاصلخیزی کم و عمق ۱۲۰ سانتی‌متر) یا ١٤ (لومی با حاصلخیزی متوسط و عمق ۱۲۰ سانتی‌متر) هستند. از پهنه‌بندی های اقلیم و خاک ذکر شده می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مطالعاتی و اجرایی سود جست بدین ترتیب که برای مطالعات تحقیقاتی و نیز بررسی‌های اجرایی، دستگاه‌های مرتبط باید به این پهنه‌های اصلی توجه نموده و از آن‌ها استفاده نمایند.

جدول ۳-۱- پهنه‌های اقلیمی مهم استان و مساحت اراضی کشاورزی در هر یک از آن‌ها

پهنه‌های اقلیمی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۳۰۰۳	۸۵۰۲	۱/۱
٤۰۰۳	۲٥٤٤۱	۳/٤
٥۰۰۲	۲۷۱۱۹	۳/٦
٥۰۰۳	۷٦٥۳۹	۱۰/۱
٥۱۰۲	٥٦۷۸	۰/۸
٦۰۰۲	۱۷۳۲٥۱	۲۲/۹
٦۰۰۳	۲۰۰۸٦	۲/۷
٦۱۰۲	۳۷۳۸۳۲	٤۹/٥
٦۲۰۲	۲۷۰۳۲	۳/٦
کل	۷۳۷٤۸۰	۹۷/۷

جدول ۳-۲- پهنه‌های خاکی مهم استان و مساحت اراضی کشاورزی در هر یک از آن‌ها

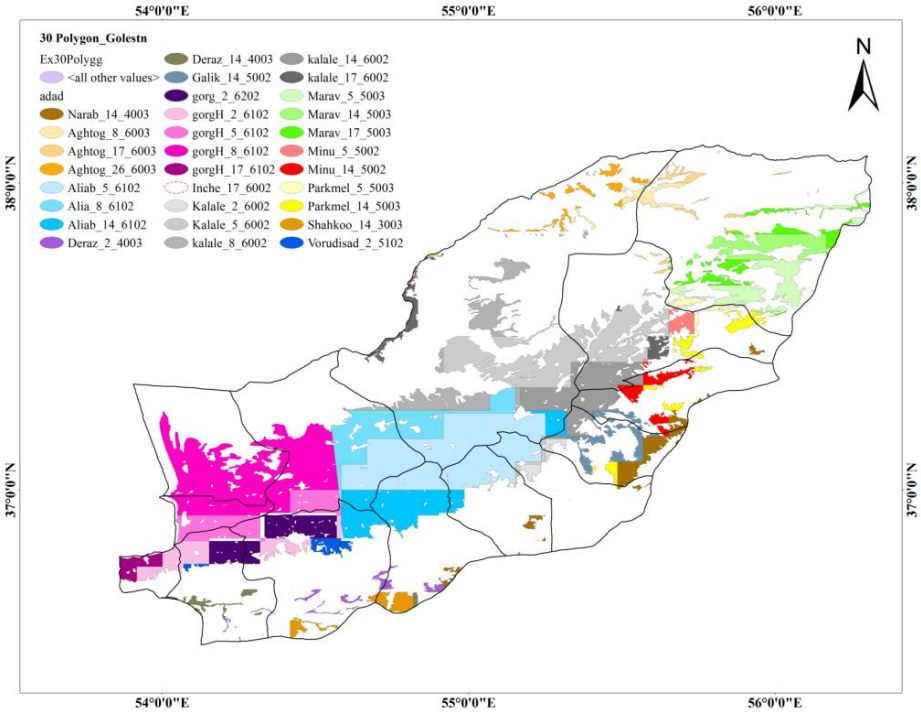
خاک	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱٤	۱۷۷٤۹۱	۲۳/٥
۲	٦۲٥۹٥	۸/۳
٥	۲٥۳۰۹۳	۳۳/٥
۱۷	٤۳٤۸٤	٥/۸
۸	۱۹۳٥۸٤	۲٥/٦
۲٦	۷۲۳۳	۱
کل	۷۳۷٤۸۰	۹۷/۷

برای پوشش پهنه‌های اقلیمی نیاز بود تا از اطلاعات هواشناسی ۱٤ ایستگاه در سطح استان استفاده شود. این ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن شعاع ۵۰ کیلومتری برای هر یک از آن‌ها و ملاحظاتی که در بخش روش‌ها ذکر شده شناسایی و انتخاب شدند. دلیل تعداد بیش‌تر ایستگاه در مقایسه با تعداد پهنه اقلیمی این است که برخی پهنه‌های اقلیمی بزرگ هستند و برای پوشش آن‌ها به بیش از یک ایستگاه هواشناسی نیاز بود. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که استفاده از شعاع ۱۰۰ یا ۱۵۰ کیلومتر در شرایطی که اقلیم‌ها نزدیک به هم هستند می‌تواند کافی باشد (van Ittersum *et al.*, 2013)، اما در این مطالعه از شعاع ۵۰ کیلومتر برای ارایه دقت بیش‌تر استفاده گردید. فهرست ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی در جدول ۳-۳ آورده شده است.

جدول ۳-۳- ایستگاه‌های انتخابی برای تهیه سیستم و مشخصات هر یک از ایستگاه‌ها

شناسه ایستگاه	نام ایستگاه	اقلیم	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۹۹۳۰۰	علی‌آباد کتول	٦۱۰۲	٥٤/۸۸	۳٦/۹۰	۱۸٤
۹۹۲٤۱	گرگان (هاشم‌آباد)	٦۱۰۲	٥٤/۱٦	۳٦/٥۱	۱۳/۳
۸۸۱۱۳	کلاله (فرودگاه)	٦۰۰۲	٥٥/٤٦	۳۷/۳۹	۱۲۸/۸
٤۰۷۳۸	گرگان	٦۲۰۲	٥٤/٤۱	۳٦/۹۱	۰
٤۰۷۲۱	مراوه تپه	٥۰۰۳	٥٥/۹٤	۳۷/۸	٤٦۰
آب منطقه‌ای	نراب	٤۰۰۳	٥٥/٥۸	۳۷/۰۲	۱٥۰۰
آب منطقه‌ای	گالیکش	٥۰۰۲	٥٥/٤٥	۳۷/۲٥	۲٥۰
آب منطقه‌ای	پارک ملی گلستان	٥۰۰۳	٥٥/۸	۳۷/٤۰	٤٦۰
۹۹۲۳۷	مینودشت	٥۰۰۲	٥٥/٦۳	۳۷/۳۷	۲۲۳
آب منطقه‌ای	شاه کوه بالا	۳۰۰۳	٥٤/٥	۳٦/٥۷	۲٥۰۰
آب منطقه‌ای	آق توق	٦۰۰۳	٥٥/٦۳	۳۷/۹	۲٥۰
آب منطقه‌ای	ورودی سد کوثر	٥۱۰۲	٥٤/٥٥	۳٦/۸	۰
آب منطقه‌ای	درازنو	٤۰۰۳	٥٤/۱۳	۳٦/٦۷	۲٤۲۰
۹۹۲۷۱	اینچه برون	٦۰۰۲	٥٤/۷۲	۳۷/٤٥	۷

پهنه‌های اگرواکولوژیک حاصله از پهنه‌های اقلیمی-خاکی در شکل ۳-۱ ارائه شده است. مشخصات اقلیمی-خاکی این پهنه‌ها، ایستگاه هواشناسی نماینده هر پهنه و میزان اراضی کشاورزی استان در هر یک از پهنه‌های ۳۰ گانه در جدول ۳-٤ آورده شده است. مهم‌ترین پهنه‌های اگرواکولوژیک استان به ترتیب عبارتند از ۱۱ (اقلیم ٦۱۰۲، خاک ۵)، ۲٦ (اقلیم ٦۱۰۲، خاک ۸)، ۳۳ (اقلیم ٦۰۰۲، خاک ۵)، ۱۳ (اقلیم ٦۱۰۲، خاک ۱٤)، ۱۲ (اقلیم ٦۱۰۲، خاک ۸) و ۳۵ (اقلیم ٦۰۰۲، خاک ۱٤) که هر یک بیش از ۵ درصد اراضی کشاورزی استان را در خود جای داده‌اند و روی‌هم حدود ٦۰ درصد اراضی کشاورزی استان را پوشش می‌دهند.



شکل ۳-۱- پهنه‌های اگرواکولوژیک به دست آمد که بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی استان را پوشش می‌دهند

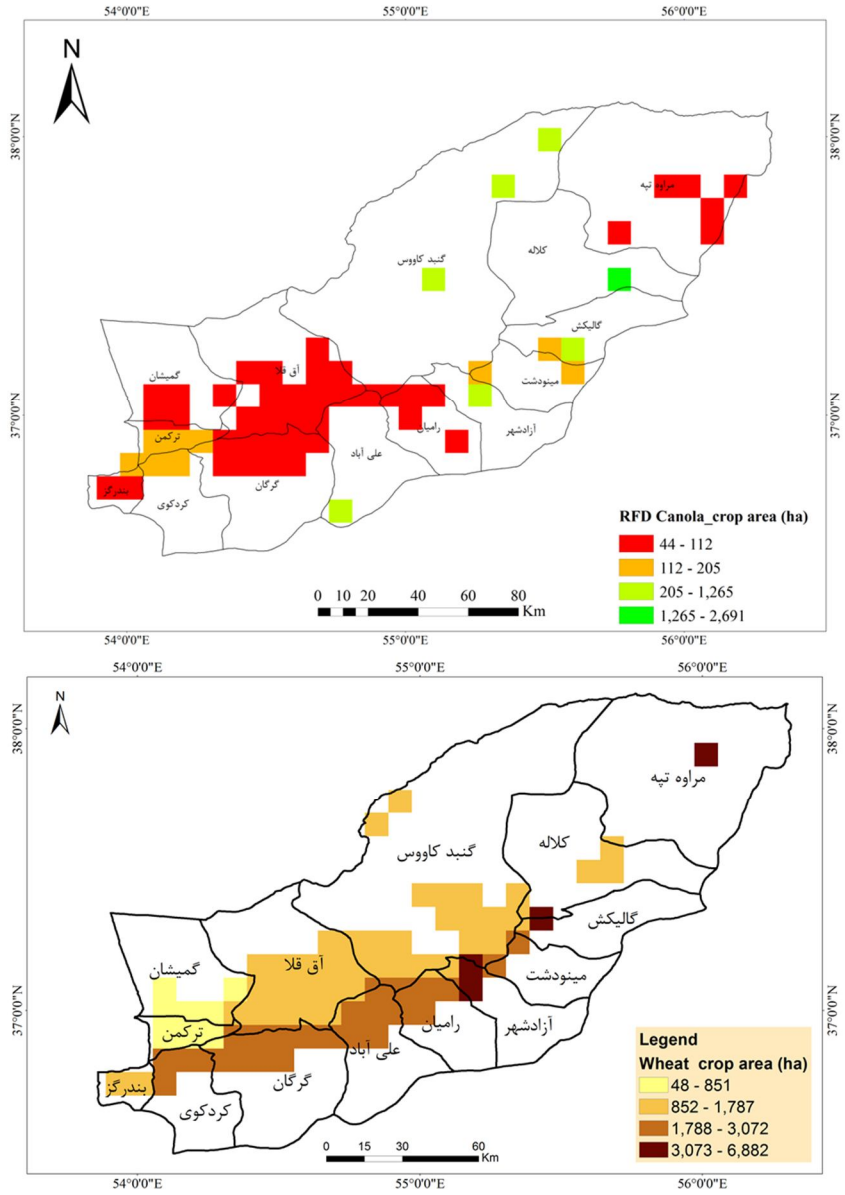
جدول ۳-٤- مشخصات پهنه‌های اگرواکولوژیک شناسایی شده که بیش از ۹۵ درصد اراضی کشاورزی استان را در خود جای داده‌اند. برای مشخصات عرض و طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای هر ایستگاه به جدول ۳-۳ مراجعه شود

پهنه‌های اگرواکولوژیک (AEZ)	نام ایستگاه	اقلیم	کد خاک	سطح کشت در پهنه (هکتار)	سطح کشت در پهنه (درصد)
٥١	شاه کوه بالا	٣٠٠٣	١٤	٨٥٠٢	١/١١
٤	نراب	٤٠٠٣	١٤	١٥٨٧٦	٢/٠٨
١٤	درازنو	٤٠٠٣	٢	٥٤٤٣	٠/٧١
١٦	درازنو	٤٠٠٣	١٤	٤١٢٢	٠/٥٤
٢٠	گالیکش	٥٠٠٢	١٤	١٢٧٤٢	١/٦٧
٤٢	مینودشت	٥٠٠٢	١٤	٩٩١٢	١/٣٠
٤١	مینودشت	٥٠٠٢	٥	٤٤٦٦	٠/٥٨
٣٨	مراوه تپه	٥٠٠٣	٥	٢٣٦٦٥	٣/٠٩
٣٩	مراوه تپه	٥٠٠٣	١٤	٢٠٤٧٤	٢/٦٨
٤٠	مراوه تپه	٥٠٠٣	١٧	١٥٩٣٩	٢/٠٨
٤٧	پارک ملی گلستان	٥٠٠٣	١٤	١١٦٦٢	١/٥٢
٤٥	پارک ملی گلستان	٥٠٠٣	٥	٤٧٩٩	٠/٦٣
٥٦	ورودی سد کوثر	٥١٠٢	٢	٥٦٧٨	٠/٧٤
٣٣	کلاله (فرودگاه)	٦٠٠٢	٥	٧٣٩١٧	٩/٦٦
٣٥	کلاله (فرودگاه)	٦٠٠٢	١٤	٤٤٣٤٨	٥/٨٠
٣٤	کلاله (فرودگاه)	٦٠٠٢	٨	٣٥٦٤٧	٤/٦٦
٣٦	کلاله (فرودگاه)	٦٠٠٢	١٧	٩٦٩٢	١/٢٧
٣٠	اینچه برون	٦٠٠٢	١٧	٥٢٩٣	٠/٦٩
٣٢	کلاله (فرودگاه)	٦٠٠٢	٢	٤٣٥٤	٠/٥٧
٩	آق‌توق	٦٠٠٣	٢٦	٧٢٣٣	٠/٩٥
٦	آق‌توق	٦٠٠٣	٨	٦٩٨٢	٠/٩١
٨	آق‌توق	٦٠٠٣	١٧	٥٨٧١	٠/٧٧
١١	علی‌آباد کتول	٦١٠٢	٥	١١٤٦٨٦	١٤/٩٩
٢٦	گرگان (هاشم‌آباد)	٦١٠٢	٨	١٠٦١١٥	١٣/٨٧
١٣	علی آباد کتول	٦١٠٢	١٤	٤٩٨٥٢	٦/٥٢
١٢	علی آباد کتول	٦١٠٢	٨	٤٤٨٤١	٥/٨٦
٢٥	گرگان (هاشم‌آباد)	٦١٠٢	٥	٣١٥٦١	٤/١٣
٢٤	گرگان (هاشم‌آباد)	٦١٠٢	٢	٢٠٠٨٨	٢/٦٣
٢٨	گرگان (هاشم‌آباد)	٦١٠٢	١٧	٦٦٨٩	٠/٨٧
٢١	گرگان	٦٢٠٢	٢	٢٧٠٣٢	٣/٥٣
	کل			٧٣٧٤٨١	٩٦/٤

شایان ذکر است که به دلیل این که استان گلستان به لحاظ کشت آبی و نیز کشت دیم استان مهمی می‌باشد، پهنه‌بندی اگرواکولوژیک و تهیه سیستم برای هر دو کشت آبی و دیم در سطح استان مدنظر بود. چنان‌چه در استانی یا ناحیه صرفا کشت آبی و سازگاری به کم آبی برای این نوع کشت مدنظر باشد، می‌توان سیستم را فقط برای اراضی کشت آبی تهیه نمود که در این صورت به حجم کار کم‌تری نیاز خواهد بود و تعداد پهنه‌ها نیز کم‌تر می‌گردد. در پیوست ۳ این گزارش پهنه‌های اقلیمی و پهنه‌های اگرواکولوژیک خاص برای کشت آبی ارایه شده است که در این حالت استفاده از تعداد ۱۱ پهنه کافی بود.

۳-۲- نقشه های پراکنش گیاهی در استان

نقشه‌های پراکنش گیاهان مختلف برای اراضی دیم و آبی استان برای موقعیت یابی کشت این گیاهان و تعیین مساحت کشت هر گیاه در هر پهنه اگرواکولوژیک مورد نیاز بود. این نقشه‌ها برای ٥٦ ترکیب گیاه و شرایط تولید (دیم و آبی) تهیه شد. در شکل ۳-۲ برای نمونه نقشه پراکنش کلزای دیم و گندم آبی ارائه شده است و نقشه پراکنش برای سایر ترکیبات در پیوست ٤ قابل دسترس هستند. در این نقشه‌ها هر پیکسل به ابعاد ۰/۰۸۳ در ۰/۰۸۳ درجه و مساحت ۸٦۰۰ هکتار می‌باشد. موقعیت هر پیکسل محل کشت گیاه در استان را مشخص می‌سازد و تفاوت رنگ پیکسل‌ها نشان‌گر تفاوت در چگالی یا تراکم کشت گیاه در هر پیکسل است و نشان می‌دهد چه بخشی از مساحت پیکسل به کشت گیاه مورد نظر اختصاص یافته است. یکی از کاربردهای مهم این نقشه‌ها که در این مطالعه بهره‌گیری شد استفاده از آن‌ها در ترکیب با نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی و نقشه‌های خاک برای انتخاب ایستگاه هواشناسی و نوع خاک در مطالعات شبیه‌سازی تولید گیاهی است. علاوه بر این، وجود این نقشه‌ها، می‌تواند اهمیت زیادی در مطالعات و تصمیمات کلان کشوری در زمینه‌های مختلف مانند برنامه‌ریزی و توسعه کشاورزی، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، بررسی خلأ عملکرد و امنیت غذایی، مدیریت سیستم‌های تولید دام، خدمات اکوسیستم‌ها، مدیریت مصرف کود، تعیین الگوی کشت و سایر مطالعات در بخش‌های کشاورزی، جنگل‌داری و مرتع‌داری داشته باشد (You *et al*., 2014).



شکل ۳-۲- نقشه پراکنش کلزای دیم (بالا) و گندم آبی (پایین) در استان گلستان. این نقشه بر اساس اطلاعات سطح زیر کشت ۱۳۹۶-۱۳۹۸ در استان گلستان تهیه شده است. تفاوت رنگ‌ها مربوط به هکتار سطح زیر کشت در هر پیکسل است و هر پیکسل به ابعاد ۰/۰۸۳ در ۰/۰۸۳ درجه بوده و ۸۶۰۰ هکتار مساحت دارد

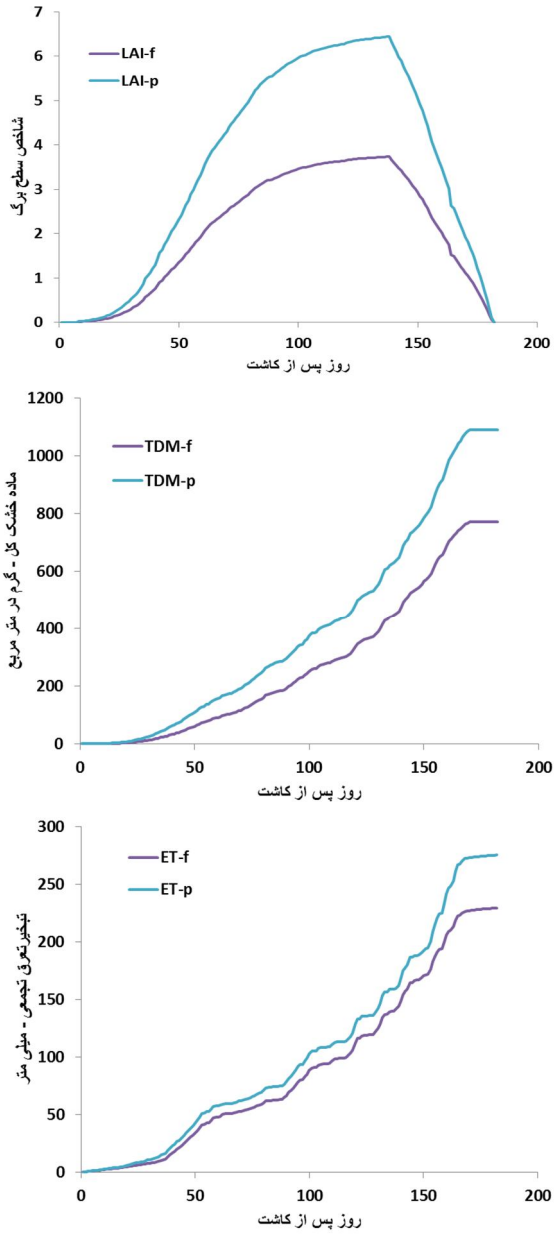
با روی هم اندازی نقشه پراکنش گیاهی و نقشه پهنه‌بندی اگرواکولوژیک، مساحت زیر کشت هر گیاه در هر یک از شرایط تولید دیم و آبی در هر پهنه تعیین شدند. این مساحت‌ها در تبدیل برآوردهای واحد سطح پهنه به کل در پهنه کاربرد دارند. یک نمونه محاسبه سطح زیر کشت گیاه در هر یک از پهنه‌های اگرواکولوژیک که با استفاده از نقشه‌های پراکنش گیاهی تهیه شده است در جدول ۳-۵ آورده شده است. این جدول مربوط به گیاه زراعی جو در شرایط تولید دیم استان است. کد پهنه، نوع اقلیم و خاک در پهنه نیز در جدول درج شده است. چنان‌چه ملاحظه می‌گردد حدود ٦۰ درصد سطح زیر کشت جو دیم در پهنه اگرواکولوژیک شماره ۲٦ واقع شده است. پهنه های ۹ با ۱۷ درصد، ۳٤ با ۹ درصد و ۱۲ با ۵ درصد دیگر پهنه‌های مهم کشت این گیاه در استان هستند. در سیستم تهیه شده چنان‌چه به متغیرهای کل مثل تولید گیاه در پهنه یا حجم آب آبیاری برای گیاه در پهنه نیاز باشد، با حاصل‌ضرب برآورد صورت گرفته در واحد سطح و مساحت کشت گیاه در پهنه محاسبه می‌شوند. توجه شود که ۳/٤ درصد از کشت جو در استان گلستان در جاهایی خارج از پهنه‌های ۳۰ گانه اگرواکولوژیک صورت می‌گیرد بنابراین در برآورد متغیرهای کل باید از ضریب ۰/۹٦٦ برای این گیاه استفاده شود. برای مثال، اگر برآورد حجم تبخیرتعرق در زراعت جو دیم در استان مد نظر باشد، باید تبخیرتعرق شبیه‌سازی شده توسط سیستم برای هر پهنه در مساحت آن ضرب شود و سپس حاصل جمع به دست آمده بر ۰/۹٦٦ تقسیم گردد تا برآوردی برای کل استان به دست آید.

جدول ۳-۵- سطح زیر کشت جو دیم در هر یک از پهنه‌های اگرواکولوژیک استان گلستان

پهنه‌های اگرواکولوژیک (AEZ)	نام ایستگاه	اقلیم	کد خاک	سطح کشت در پهنه (هکتار)	سطح کشت در پهنه (درصد)
۵۱	شاه کوه بالا	۳۰۰۳	۱٤	۰	۰
٤	نراب	٤۰۰۳	۱٤	۰	۰
۱٤	درازنو	٤۰۰۳	۲	۰	۰
۱٦	درازنو	٤۰۰۳	۱٤	۰	۰
۲۰	گالیکش	۵۰۰۲	۱٤	۰	۰
٤۲	مینودشت	۵۰۰۲	۱٤	۰	۰
٤۱	مینودشت	۵۰۰۲	۵	۰	۰
۳۸	مراوه تپه	۵۰۰۳	۵	۰	۰
۳۹	مراوه تپه	۵۰۰۳	۱٤	۰	۰
٤۰	مراوه تپه	۵۰۰۳	۱۷	۰	۰
٤۷	پارک ملی گلستان	۵۰۰۳	۱٤	۰	۰
٤۵	پارک ملی گلستان	۵۰۰۳	۵	۰	۰
۵٦	ورودی سد کوثر	۵۱۰۲	۲	۰	۰
۳۳	کلاله (فرودگاه)	٦۰۰۲	۵	۰	۰
۳۵	کلاله (فرودگاه)	٦۰۰۲	۱٤	۰	۰
۳٤	کلاله (فرودگاه)	٦۰۰۲	۸	۵۲۳٤	۸/٦۳
۳٦	کلاله (فرودگاه)	٦۰۰۲	۱۷	۰	۰
۳۰	اینچه برون	٦۰۰۲	۱۷	٦۱۱	۱
۳۲	کلاله (فرودگاه)	٦۰۰۲	۲	۰	۰
۹	آق‌توق	٦۰۰۳	۲٦	۱۰٤٦۸	۱۷/۲٦
٦	آق‌توق	٦۰۰۳	۸	۰	۰
۸	آق‌توق	٦۰۰۳	۱۷	۰	۰
۱۱	علی‌آبادکتول	٦۱۰۲	۵	۱۹۲۱	۳/۱٦
۲٦	گرگان (هاشم‌آباد)	٦۱۰۲	۸	۳۵۲۵۸	۵۸/۱۵
۱۳	علی‌آبادکتول	٦۱۰۲	۱٤	٦۱۱	۱
۱۲	علی‌آبادکتول	٦۱۰۲	۸	۳۰۵۵	۵/۰۳
۲۵	گرگان (هاشم‌آباد)	٦۱۰۲	۵	۱٤۰۵	۲/۳۱
۲٤	گرگان (هاشم‌آباد)	٦۱۰۲	۲	۰	۰
۲۸	گرگان (هاشم‌آباد)	٦۱۰۲	۱۷	۰	۰
۲۱	گرگان	٦۲۰۲	۲	۰	۰
باقی‌مانده		–	–	۲۰٦٤	۳/٤

۳-۳- نمونه خروجی‌های سیستم

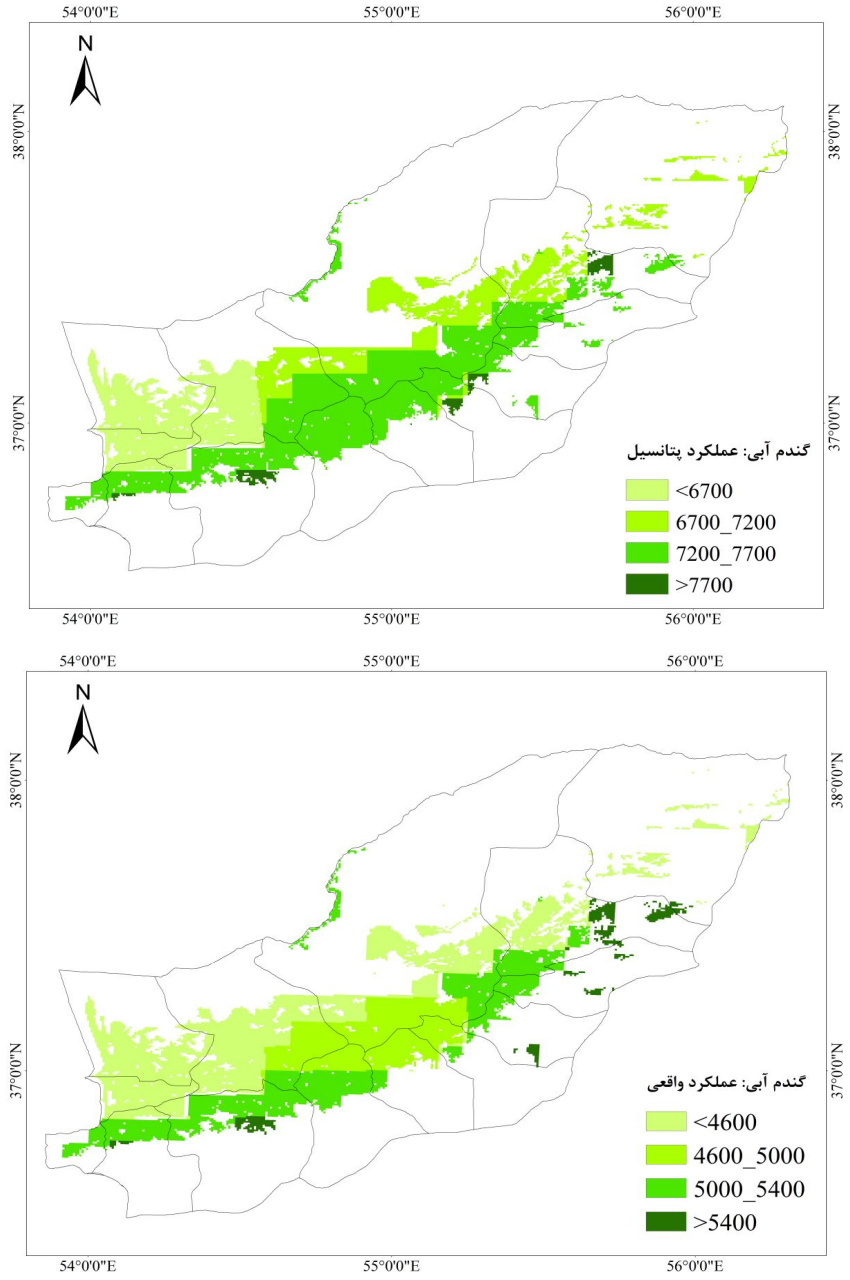
چنان‌چه گفته شد در تهیه این سیستم هدف این بود که بتواند برآوردهایی از بیلان آب، رشد و عملکرد گیاهان در مزارع کشاورزان نیز به دست دهد، در حالی‌که همین برآوردها را برای شرایط مطلوب (پتانسیل) تولید می‌کند. منظور از شرایط پتانسیل یعنی شرایطی که آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و نیز عناصر غذایی و آب (در کشت آبی) به طور مؤثر مدیریت می‌شوند و نقش معنی‌داری در کاهش رشد و عملکرد گیاه ندارند. یک نمونه شبیه‌سازی شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و تبخیرتعرق تجمعی گندم آبی که در پهنه اگرواکولوژیک ۲۵ (ایستگاه هاشم آباد) در سال ۲۰۱۰ برای شرایط پتانسیل و کشاورزان انجام شده است، در شکل ۳-۳ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در شرایط کشاورزان برآوردها کم‌تر از شرایط پتانسیل هستند. اکثر مدل‌ها و نرم افزارهایی که برای محاسبه نیاز آبی و حجم آب آبیاری استفاده می‌شوند محاسبات را برای شرایط مطلوب (رشد مطلوب گیاهی بدون تأثیر منفی عوامل ذکر شده) به دست می‌دهند که متفاوت از آن چیزی است که در مزارع کشاورزان رخ می‌دهد و برای شرایط کشاورزان قابل استفاده نیستند مگر این که با روش‌های تجربی برای شرایط کشاورزان تعدیل شوند. اما، در سیستم تهیه شده در مطالعه حاضر این برآورده‌ها مستقیما توسط مدل انجام می‌شوند و به کاربرد روش‌های تجربی نیازی نخواهد بود.



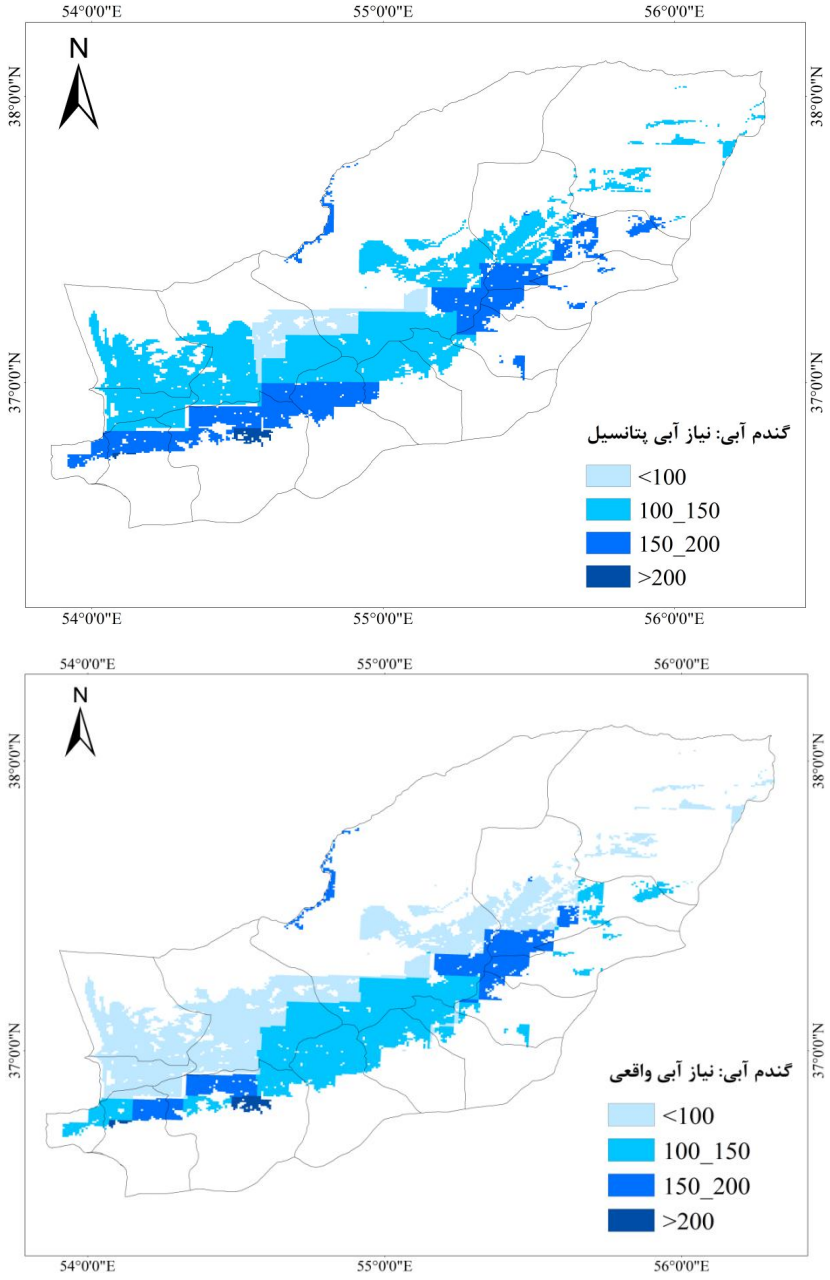
شکل ۳-۳- مقایسه برآوردهای شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ، ماده خشک کل و تبخیرتعرق تجمعی توسط مدل برای شرایط مطلوب و شرایط مزراع کشاورزان در سال ۲۰۱۰ در پهنه اگرواکولوژیک ۲۵ (ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد)

خاطر نشان می‌شود در مدل SSM-iCrop2 تعرق به عنوان تابعی از میزان رشد گیاه (تولید ماده خشک) و درجه خشکی هوا محاسبه می‌شود (Soltani *et al*., 2020a; Soltani *et al*., 2012)، در حالی که در اکثر مدل‌های شبیه‌سازی تعرق به عنوان تابعی از تبخیرتعرق پتانسیل، شاخص سطح برگ گیاه (برای تقسیم تبخیرتعرق به تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه) و رطوبت خاک محاسبه می‌شود (برای مثال، Ritchie, 1998). مزیت مدل مطالعه حاضر این است که کاهش در رشد و عملکرد گیاه، در نتیجه تعدیل پارامترهای سه گانه ذکر شده در بخش روش‌ها، به کاهش تعرق و آبیاری منجر می‌شود و نیاز به ورودی و اطلاعات بیش‌تر برای شبیه‌سازی آبیاری نیست. در صورت به‌کارگیری دیگر مدل‌ها باید نحوه و شرایط آبیاری کشاورزان نیز به مدل داده شود که با توجه به گوناگونی نحوه عمل کشاورزان، جمع‌آوری و آماده‌سازی این اطلاعات برای مدل‌ها خود چالش مهمی خواهد بود.

به‌عنوان یک نمونه دیگر، شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی برای شرایط مطلوب (پتانسیل) و شرایط کشاورزان در سطح استان در شکل ۳-٤ نشان داده شده است. تغییرات پتانسیل عملکرد گندم از ٦۷۰۰ تن در هکتار تا ۷۷۰۰ کیلوگرم در هکتار دامنه دارد، ولی برای مزارع کشاورزان این دامنه ٤٦۰۰ تا ٥٤۰۰ کیلوگرم در هکتار شبیه‌سازی شده است. به همین ترتیب حجم آب آبیاری برای شرایط پتانسیل از ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر دامنه دارد که برای شرایط کشاورزان همین دامنه پیش‌بینی شده ولی برآوردها در همه پهنه‌ها نسبت به شرایط پتانسیل پایین‌تر هستند (شکل ۳-٥). چنین برآوردهایی برای سایر گیاهان مهم در سطح استان از سیستم تهیه شده قابل دسترس می‌باشد. همچنین این برآوردها برای سایر متغیرهای مرتبط با رشد و عملکرد (مثل ماده خشک کل) و بیلان آب مزرعه (مثل تبخیر، تعرق یا زه‌کشی عمقی یا رواناب) توسط سیستم تولید می‌شود. از آن جایی که مدل هم پتانسیل عملکرد و هم عملکرد واقعی را پیش‌بینی می‌کند می تواند در تحلیل خلأ عملکرد نیز به‌کاربرده شود. اختلاف پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی خلأ عملکرد نامیده می‌شود که تخمین مقدار آن و بررسی دلایل ایجادکننده آن یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی می‌باشند (van Ittersum *et al*., 2013) گفته شده است رفع خلأ عملکرد یکی از امیدبخش ترین راه‌ها برای بهبود امنیت غذایی در جهان است (Soltani *et al*., 2020c; van Loon *et al*., 2018). (به‌علاوه، رفع خلأ عملکرد می‌تواند باعث کاهش ردپای آب شده و در کاهش اثرات زیست محیطی کشاورزی (به دلیل جلوگیری از گسترش سطح زمین‌ها و منابع آب بیش‌تر) مؤثر باشد (سلطانی و میرزایی، ۱٤۰۰). برآوردهای مدل برای حجم آبیاری در شرایط پتانسیل و شرایط کشاورزان نیز برای تخمین نیاز به منابع بیش‌تر آب برای رفع خلأ عملکرد را ممکن می‌سازد.

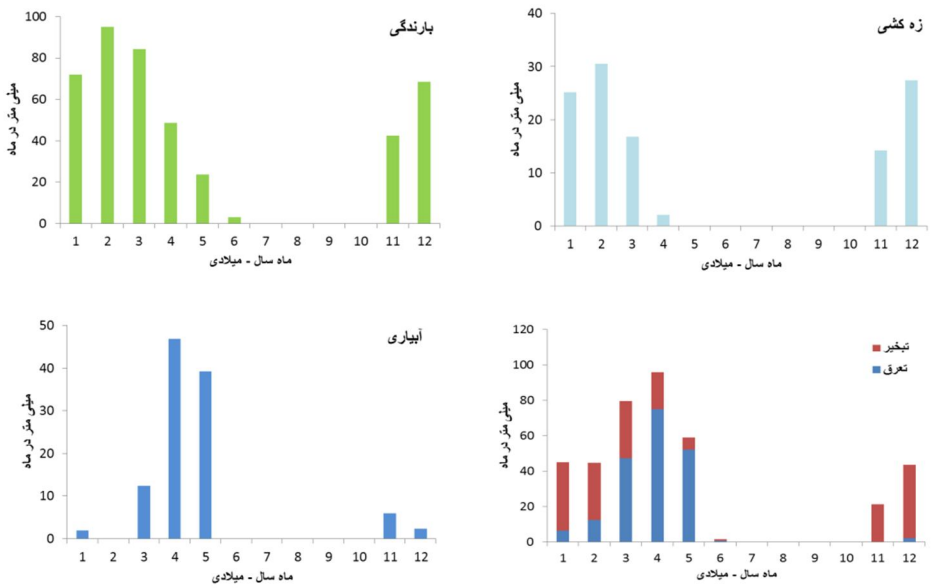


شکل ۳-٤- عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده برای شرایط پتانسیل و شرایط مزراع کشاورزان در سطح استان گلستان. واحد کیلوگرم در هکتار می‌باشد



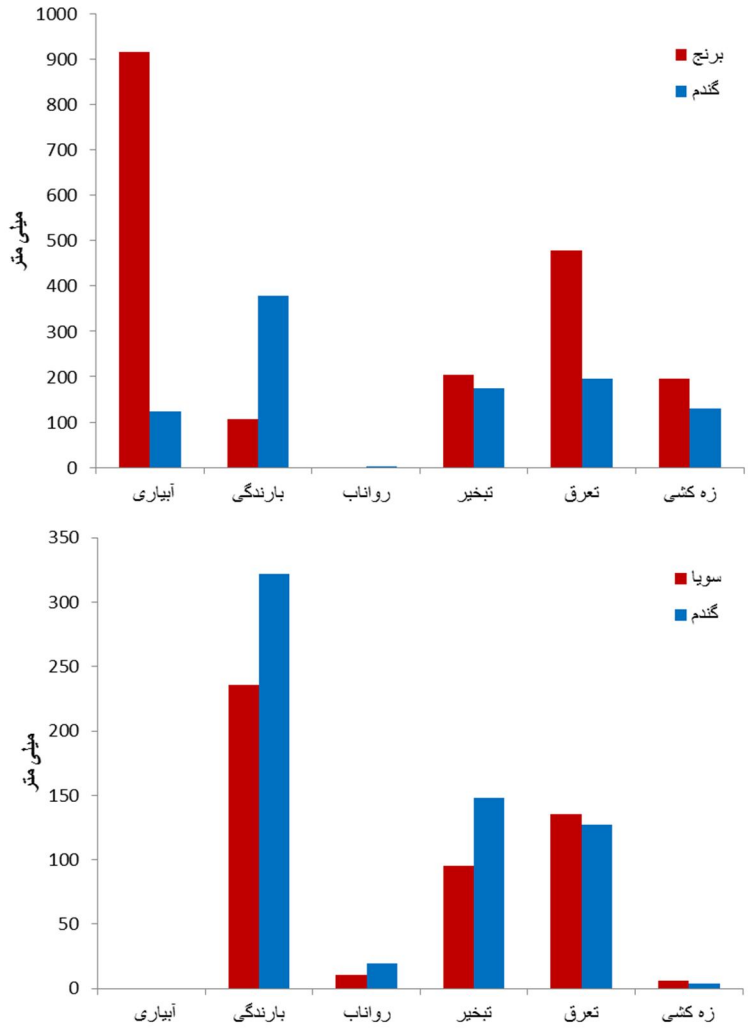
شکل ۳-۵- حجم آب آبیاری شبیه‌سازی شده برای شرایط پتانسیل و شرایط کشاورزان در زراعت گندم آبی در سراسر استان گلستان

برای متغیرهای مرتبط با بیلان آب مزرعه، سیستم برآوردهای ماهانه نیز تولید می‌کند. برای مثال، برآوردهای انجام شده با سیستم برای گندم آبی در پهنه شماره ۱۱ (ایستگاه علی‌آباد کتول) در شکل ۳-٦ نشان داده شده‌اند. شبیه‌سازی مرتبط با این برآوردها برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ انجام شده است. چنین برآوردهای آبی برای همه گیاهان و پهنه‌های استان توسط سیستم تولید می‌شوند و برای برنامه‌ریزی‌های مرتبط با منابع آب و آبیاری مورد نیاز هستند. یکی از نیازهای اطلاعاتی برای ارزیابی اقتصادی الگوی‌های کشت جایگزین برای استان حجم آب آبیاری ماهانه مورد نیاز برای گیاهان مختلف می‌باشد (جولایی، ۱۳۹۳). ارزیابی الگوی‌های کشت بدون توجه به محدودیت ماهانه منابع آب استان می‌تواند به پاسخ‌های غیر واقعی منتهی گردد.



شکل ۳-٦- شبیه‌سازی متغییرهای بیلان آب (شامل بارندگی، زه‌کشی، آبیاری و تبخیرتعرق) برای گندم آبی در پهنه شماره ۱۱ (ایستگاه هواشناسی علی‌آباد کتول) در ماه‌های مختلف سال

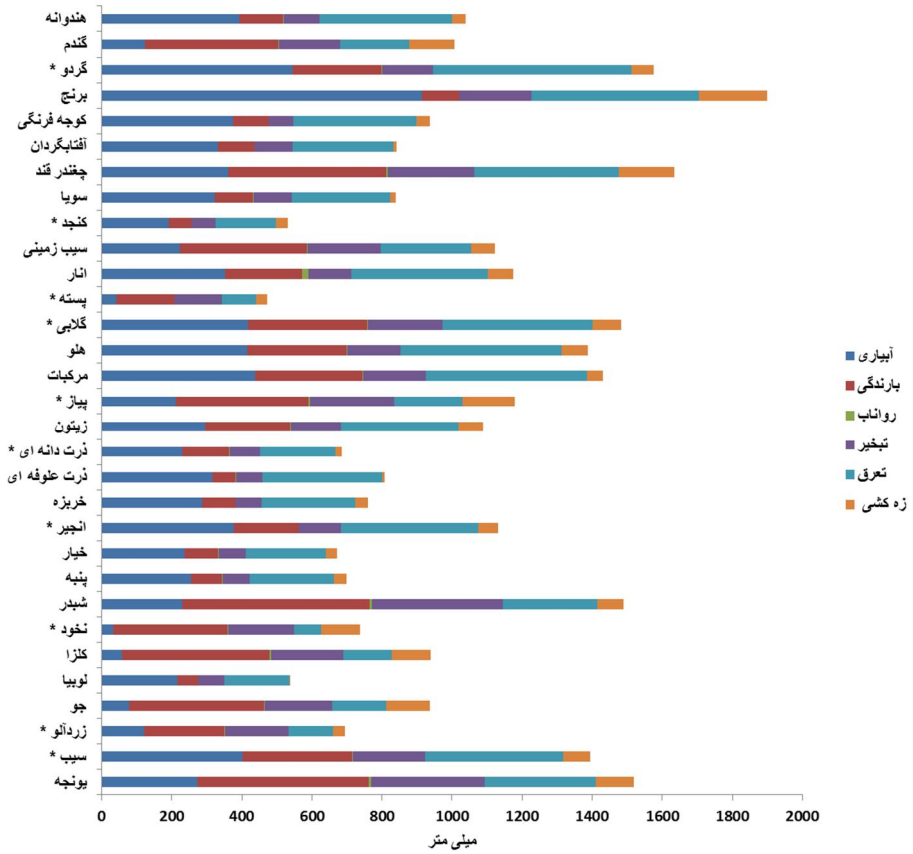
یک نمونه دیگر از خروجی‌های مدل برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای کل فصل رشد در شرایط مزارع کشاورزان استان در کشت آبی و دیم می‌باشد. شکل ۳-۷ مؤلفه‌های بیلان آب مزرعه برای گندم و برنج در شرایط آبی و سویا و گندم در شرایط کشت دیم را نشان می‌دهد. برآوردهای این شکل مقادیر تیپیک استان و یا به عبارتی میانگین استانی برای گیاهان و شرایط کشت مذکور هستند.



شکل ۳-۷- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای مزارع کشاورزان استان گلستان. بالا: برنج و گندم در کشت آبی. پایین: سویا و گندم در کشت دیم. برآوردها بر حسب میلی‌متر می‌باشند

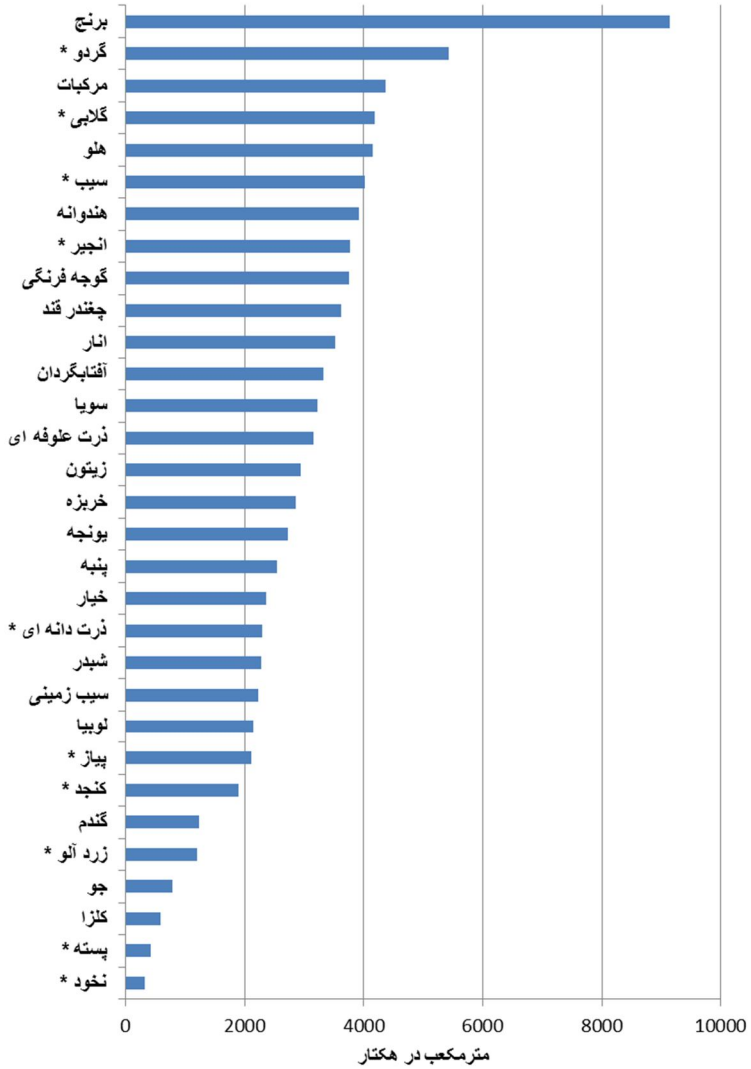
٣-٤- برآوردهای مهم آبی استان برای شرایط کشاورزان

سیستم تهیه شده برآوردهای مؤلفه‌های بیلان آب را برای ٣١ گیاه مهم استان در هر یک از ٣٠ پهنه اگرواکولوژیک ارایه می‌دهد که این برآوردها برای برش شهرستان‌ها نیز قابل تهیه هستند. در شکل ٣-٨ برآوردهای مؤلفه‌های بیلان آب برای گیاهان مهم استان در کشت آبی ارایه شده است. برآورد حجم آب آبیاری برای گیاهان استان یکی از برآوردهای مهم و چالشی می‌باشد که در شکل ٣-٩ جداگانه نشان داده شده‌اند. در این دو شکل، گیاهانی که سطح کشت آنها کم‌تر از ١٠٠٠ هکتار است با علامت * مشخص شده‌اند. چون سطح کشت این گیاهان کم است، بنابراین حجم داده‌های عملکردهای واقعی آن‌ها برای استفاده در کالیبراسیون مدل نیز کم بوده و بهتر است در مورد این گیاهان برآوردها با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند. انتظار می‌رود برآوردها برای گیاهانی که سطح کشت بیش‌تری دارند، دقیق‌تر باشند. باید توجه داشت که برآوردهای شکل ٣-٨ و ٣-٩ متوسط وزنی استانی و دراز مدت (١٥ ساله اخیر) هستند و برآوردها برای هر پهنه و شهرستان در سال یا سال‌های خاص نیز از سیستم قابل دسترس هستند. برای مثال، برآورد متوسط حجم آب آبیاری گندم برای کل استان ١٢٣٨ مترمکعب در هکتار برآورد شده است (شکل ٣-٩) در حالی تغییرات آن در سطح استان بین از کم‌تر از ١٠٠٠ تا بیش از ٢٠٠٠ مترمکعب در هکتار دامنه دارد (شکل ٣-٥).



شکل ۳-۸- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب گیاهان مهم استان گلستان در شرایط مزارع کشاورزان این استان.
گیاهانی که سطح زیر کشت آن‌ها در استان کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتار است با * مشخص شده‌اند

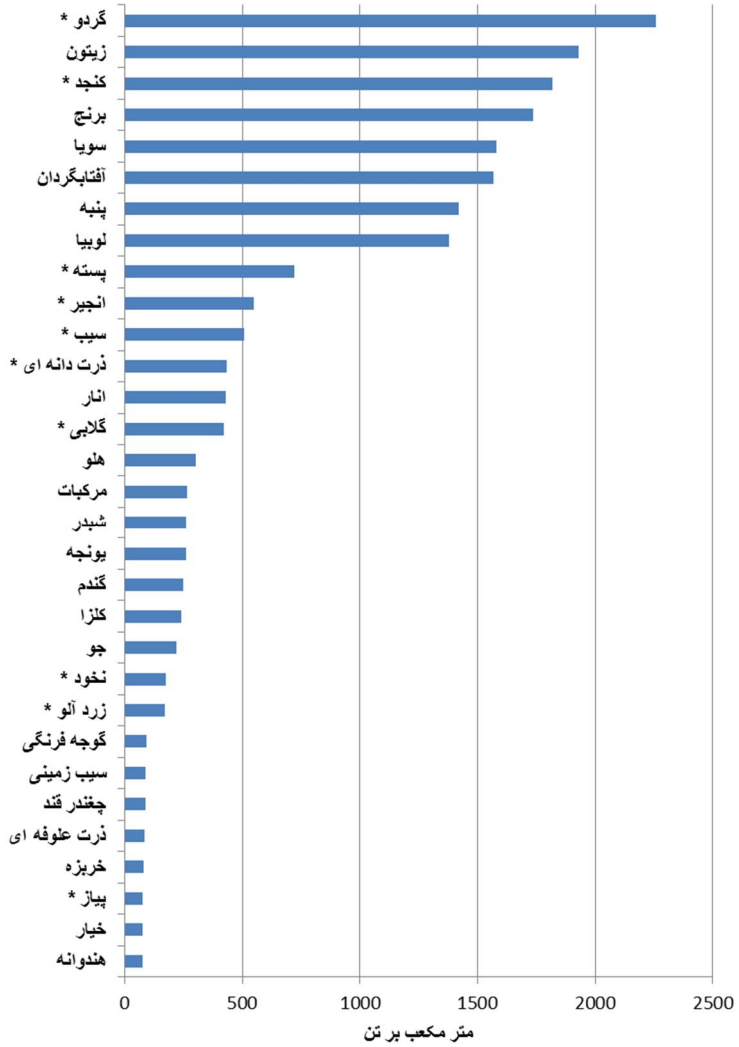
به لحاظ حجم آب آبیاری در هکتار، گیاه برنج با ۹۱۵۰ مترمکعب در هکتار صدر نشین است. برآورد حجم آب آبیاری برنج به وضوح بالاتر از سایر گیاهان استان می‌باشد (شکل ۳-۹). برای سایر گیاهان استان، حجم آب آبیاری کم‌تر ۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار است که در بین سایر گیاهان گردو، مرکبات، گلابی، هلو و سیب در رتبه‌های نخست قرار دارند. کنجد، گندم، زردآلو، جو، کلزا، پسته و نخود گیاهانی هستند که متوسط حجم آب آبیاری مورد نیاز آن‌ها در شرایط مزارع کشاورزان در سطح استان کم‌تر از ۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار است.



شکل ۳-۹- حجم آب آبیاری برآورد شده برای مزارع کشاورزان برای کل استان گلستان.
گیاهانی که سطح زیر کشت آن‌ها در استان کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتار است با * مشخص شده‌اند

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آبی که کاربرد فراوانی در برنامه‌ریزی‌های مختلف دارد، ردپای آب آبی[1] می‌باشد که عبارت است از میزان آب آبی (از منابع سطحی یا زیرزمینی) به کار رفته در تولید هر واحد (تن) محصول. چنان‌چه عکس آن مدنظر باشد، یعنی میزان محصول تولید شده به ازای هر متر مکعب آب آبی، بهره‌وری آب آبیاری[2] نامیده می‌شود. شکل ۳-۱۰ برآورد ردپای آب آبی برای محصولات مختلف استان را نشان می‌دهد. دوباره خاطر نشان می‌سازد که این برآوردها مربوط به شرایط کشاورز هستند در حالی‌که در روش‌های متداول برای محاسبه ردپای آب، محاسبه حجم آب برای شرایط پتانسیل صورت می‌گیرد که اگر برای شرایط کشاورز اصلاح نشده باشد بیان‌گر ردپای آب آبی واقعی نخواهد بود. مرور مقالات چاپ شده در زمینه ردپای آب آبی محصولات کشاورزی در ایران نشان می‌دهد که چنین اصلاحی صورت نگرفته‌است و یا اگر صورت گرفته به‌طور مشخص روش انجام و جزییات آن مشخص نشده است (برای نمونه روحانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عربی‌یزدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ باغستانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ اعتدالی و همکاران، ۱۳۹٦).

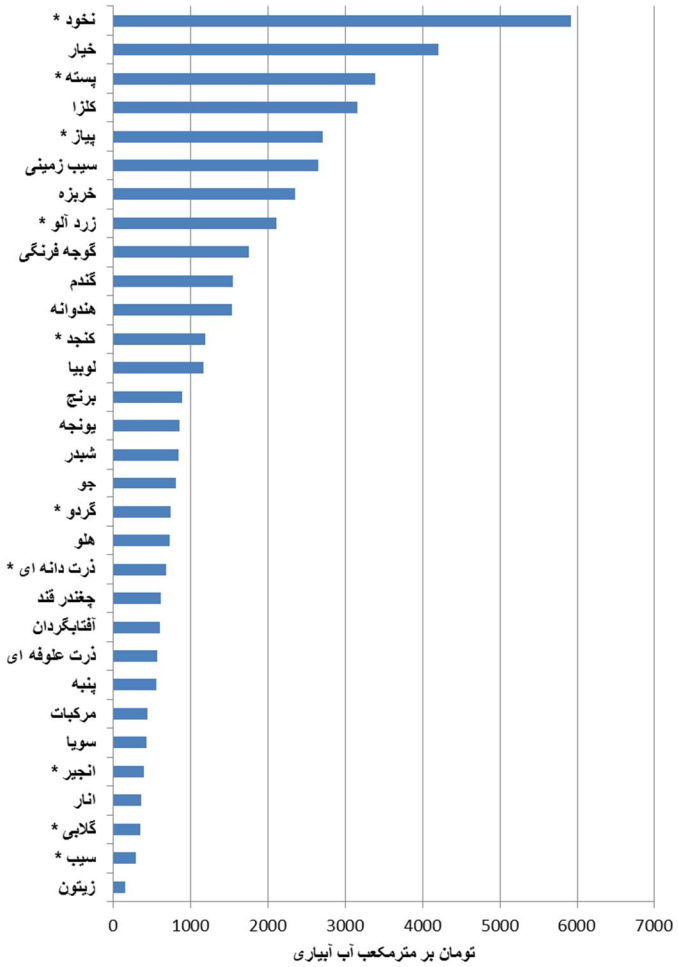
1- Blue water footprint
2- Irrigation water productivity



شکل ۳-۱۰- ردپای آب آبی (مترمکعب آب آبیاری بر تن محصول تولیدی) برآورد شده برای محصولات مختلف برای مزارع کشاورزان برای کل استان گلستان.

گیاهانی که سطح زیر کشت آن‌ها در استان کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتار است با * مشخص شده‌اند

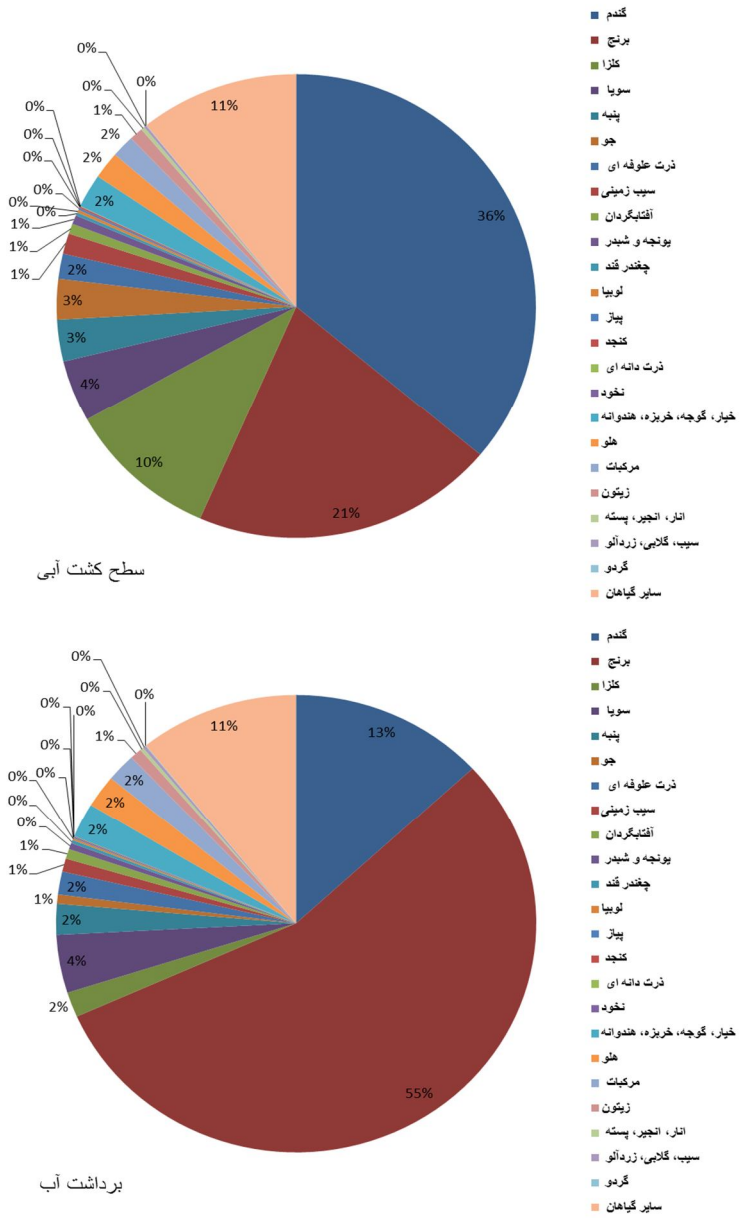
چنان‌چه اطلاعات قیمت و هزینه و درآمد برای محصولات مختلف استان در دست باشد یا جمع‌آوری شده و در سیستم وارد گردد، برآوردهای مرتبط با اقتصاد آب قابل دستیابی خواهند بود. برای نمونه، در این جا عملکرد هر یک از محصولات مهم استان بر اساس اطلاعات درآمد خالص گیاهان کشور (مربوط به دوره ۱۳۹۲ تا ۱۳۹٦؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) به درآمد تبدیل شده و با توجه به ردپای آب آبی، درآمد حاصل از هر متر مکعب آب آبیاری به صورت تومان بر مترمکعب محاسبه گردید که نتایج در شکل ۳-۱۱ آورده شده‌اند. بر اساس نتایج حاصله بالاترین درآمدها از هر مترمکعب آب آبیاری (بیش‌تر از ۳۰۰۰ تومان بر متر مکعب) به نخود، خیار، پسته و کلزا تعلق دارد که برآوردها برای نخود و پسته با توجه به سطح زیر کشت پایین این دو محصول در استان باید با احتیاط استفاده شود. در مرتبه بعدی پیاز، سیب‌زمینی، خربزه، زردآلو، گوجه فرنگی، گندم، هندوانه، کنجد و لوبیا قرار دارند که درآمدی بیش از ۱۰۰۰ تومان به ازای هر مترمکعب آب ایجاد می‌کنند. برای سایر گیاهان درآمد حاصل از هر متر مکعب آب آبیاری زیر ۱۰۰۰ تومان می‌باشد.



شکل ۳-۱۱- درآمد حاصل از هر مترمکعب آب آبیاری برای شرایط کشاورزان در استان گلستان که بر اساس برآورد حجم آب آبیاری توسط سیستم و درآمد حاصل از هر تن محصول بر حسب قیمت‌های سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ محاسبه شده است.
گیاهانی که سطح زیر کشت آن‌ها در استان کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتار است با * مشخص شده‌اند

۳-۵- توزیع منابع آب کشاورزی در تولید گیاهان مختلف

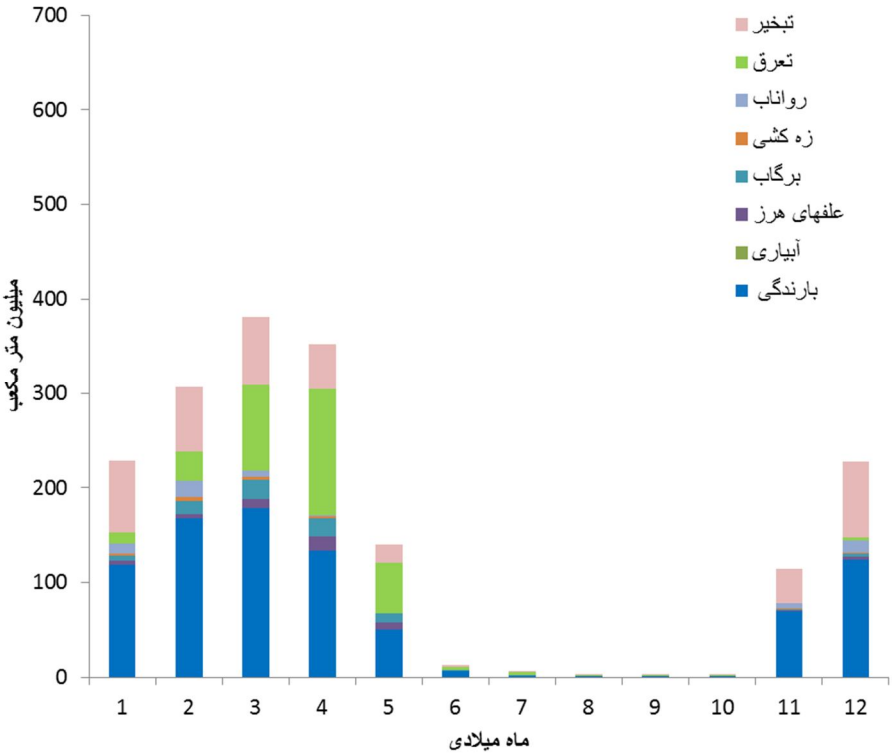
یکی از کاربردهای مهم این سیستم این است که با کمک آن می‌توان به اطلاعاتی درباره توزیع منابع آب برداشت شده بین گیاهان مختلف در استان دست یافت. شکل ۳-۱۲ چگونگی توزیع سطح کشت شرایط کشت آبی و چگونگی توزیع منابع آب بین گیاهان را به تصویر کشیده است. بالاترین سطح زیر کشت آبی استان به‌ترتیب به گندم (۳۶ درصد)، برنج (۲۱ درصد)، کلزا (۱۰ درصد)، سویا (٤ درصد)، پنبه (۳ درصد) و جو (۳ درصد) تعلق دارد و سطح زیر کشت هر یک از سایر گیاهان کشاورزی ۲ درصد یا کم‌تر است (شکل ۳-۱۲). در مقابل، از نظر اختصاص منابع آبی، برنج با اختصاص ۵۵ درصد منابع آبی کشاورزی به خود در صدر قرار دارد بدین معنی که بیش از ۵۰ درصد از کل منابع آبی استان را در اختیار دارد. سهم سایر گیاهان مهم استان از منابع آب کشاورزی به این ترتیب است: گندم ۱۳ درصد، کلزا ۲ درصد، سویا ٤ درصد و پنبه ٤ درصد. با توجه به نتایج حاصله، یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای کاهش اضافه برداشت آب در استان گلستان کاهش سطح زیر کشت این گیاه و نیز استفاده از روش‌هایی می‌باشد که حجم آب آبیاری برای این گیاه را کاهش دهند. سلطانی و همکاران (۱٤۰۰) با ایجاد یک سیستم مشابه با سیستم مطالعه حاضر که فقط برای برنج در استان گلستان تهیه شده بود نشان دادند کشت هوازی می‌تواند برداشت آب برای برنج در استان گلستان را ۳۰ تا ٤۰ درصد معادل ۲۲۵ تا ۳۰۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش دهد (سلطانی و همکاران، ۱٤۰۰). انجام بررسی‌های مشابه با هدف کاهش برداشت آب برای کشاورزی مثل ارزیابی تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی یا سایبان در باغات در کاهش مصرف آب با سیستم حاضر امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل ۳-۱۲- توزیع سطح زیر کشت(بالا) و منابع آب (پایین) بین گیاهان مختلف در شرایط کشت آبی استان گلستان که بر اساس اطلاعات و آمار سطح زیر کشت سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ و شبیه‌سازی بیلان آب با داده‌های هواشناسی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ محاسبه شده است

۳-٦- برآورد ماهانه و سالانه بیلان، مصرف و برداشت منابع آب برای کشاورزی

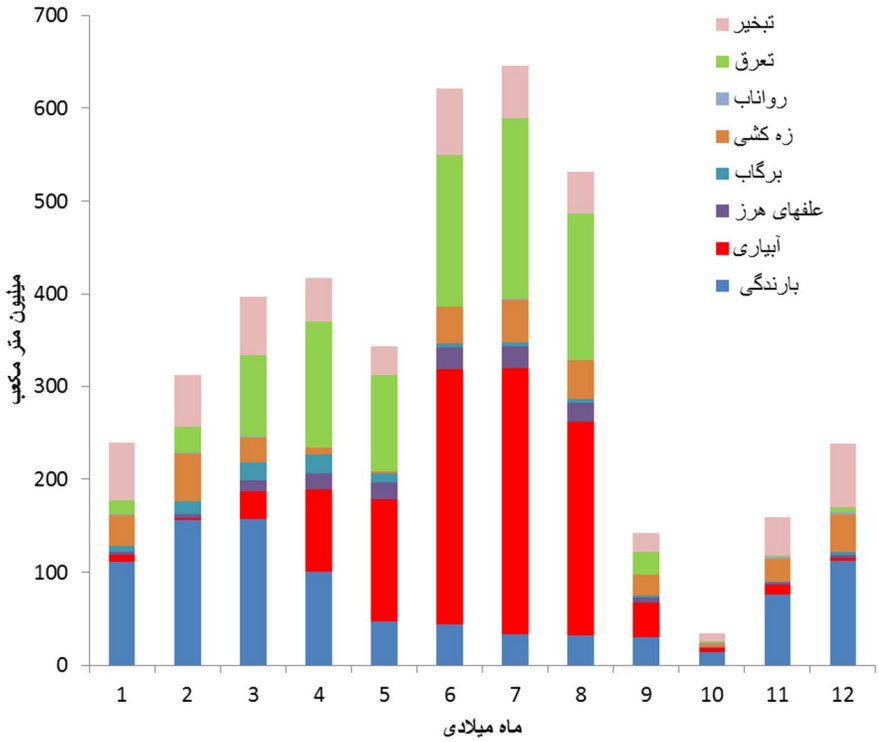
یکی از کاربردهای این سیستم این است که برآوردهای واحد سطح آن برای هر گیاه در هر پهنه اگرواکولوژیک را می‌توان با کمک سطح زیر کشت گیاه یا گیاهان مورد نظر به برآوردهای کل در سطح پهنه و سپس استان تبدیل نمود. انجام این امر برای مؤلفه‌های بیلان آب به اطلاعات و آمار مفید و مهمی منجر می‌شود. در این‌جا و برای نمونه، حجم آب مربوط به هر یک از مؤلفه‌های بیلان آب در سطح کل استان به صورت ماهانه برای هر یک از شرایط تولید آبی و دیم ارایه می‌شود. شکل ۳-۱۳ برآوردهای استانی تعرق، تبخیر، رواناب، زه‌کشی، برگاب، تعرق علف‌های هرز، آبیاری و بارندگی را در سطح کل اراضی دیم استان بر حسب میلیون مترمکعب در ماه نشان می‌دهد. در ماه‌های خرداد تا مهر حجم مؤلفه‌های بیلان آب در مقایسه با سایر ماه‌ها اندک است که با توجه به دیم بودن اراضی و وقوع بیش‌تر بارندگی‌ها در پاییز و زمستان طبیعی به نظر می‌رسد. بیش‌تر حجم تعرق که مرتبط با رشد گیاهان می‌باشد در ماه‌های اسفند و فروردین رخ می‌دهد.



شکل ۳-۱۳- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای کل اراضی دیم استان گلستان بر اساس شبیه‌سازی با سیستم تهیه شده با اطلاعات هواشناسی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ و آمار سطح زیر کشت ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹

شکل ۳-۱٤ مؤلفه‌های بیلان آب برای کل اراضی آبی استان را به صورت ماهانه نشان می‌دهد. بالاترین حجم‌های آبیاری مربوط به فروردین تا مرداد هستند. در این ماه‌ها حجم آب آبیاری از حدود ۹۰ میلیون مترمکعب در فرودین شروع می‌شود، در اردیبهشت به ۱۳۲ میلیون مترمکعب می‌رسد، در خرداد و تیر ماه بالاتر از ۲۷۵ میلیون مترمکعب است، در مرداد به ۲۳۰ و در شهریور به ۳۷ میلیون مترمکعب کاهش پیدا می‌کند. برآورد حجم آب آبیاری در مدیریت و تخصیص منابع آب بین مصارف مختلف مثل کشاورزی و محیط زیست اهمیت زیادی دارد. همچنین چنین برآوردهایی توسط سیستم برای هر پهنه اگرواکولوژیک تولید می‌شود که برای برش‌های شهرستان یا مقاطع دیگر قابل تولید هستند. همچنین برای کل گیاهان یا گیاهان خاص (مثل برنج) قابل انجام می‌باشند. نکته دیگر این که

برآوردهای شکل ۳-۱۳ و ۳-۱٤ با استفاده از ۱۵ سال آمار هواشناسی اخیر محاسبه شده‌اند. چنان‌چه برای دوره‌ای خاص یا یک سال خاص مدنظر باشند نیز قابل محاسبه می‌باشند.



شکل ۳-۱٤- برآورد مؤلفه‌های بیلان آب برای کل اراضی آبی استان گلستان بر اساس شبیه‌سازی با سیستم تهیه شده با اطلاعات هواشناسی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ و آمار سطح زیر کشت ۱۳۹٦ تا ۱۳۹۹

با استفاده از برآوردهای مؤلفه‌های بیلان آب می‌توان مصرف و برداشت آب در ماه‌های مختلف و کل سال را برای استان برآورد نمود. این برآوردها از آن‌جایی که چالش‌ها و اختلافات جدی در تخمین برداشت و مصرف آب برای کشاورزی در سطح کشور وجود دارد، می‌تواند کمک‌کننده باشد. در جدول ۳-٦ برآوردهای مؤلفه‌های بیلان آب برای استان درج شده‌اند. برآوردهای سیستم از حجم آب آبیاری را می‌توان به‌عنوان آب مصرف شده در نظر گرفت ولی باید توجه داشت که این برآورد با

لحاظ تلفات زه‌کشی عمقی و رواناب صورت گرفته است در حالی‌که در موارد متعددی آب مصرف شده به صورت حجم آب تبخیرتعرق شده در مزرعه که باید با آبیاری جبران شود، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، برآوردهای حاضر مقداری بزرگ‌تر هستند. بر اساس نتایج جدول ۳-٦ حجم آب آبیاری ماهانه در اراضی آب تحت پوشش سیستم بین ۳/۲ میلیون مترمکعب (در دی ماه) تا ۲۸۷ میلیون مترمکعب (در تیر ماه) دامنه دارند. برآورد کل حجم سالانه آب مصرفی در استان برای اراضی آبی که سیستم پوشش می‌دهد، ۱۱۰٦ میلیون مترمکعب می باشد.

جدول ۳-٦- برآورد حجم مؤلفه‌های بیلان آب در مزارع آبی استان در ماه‌های مختلف سال و کل سال.

همه برآوردها بر حسب میلیون مترمکعب هستند

ماه	بارندگی	آبیاری	علف‌های هرز	برگاب	زه‌کشی	رواناب	تعرق	تبخیر	تبخیرتعرق
۱	۱۱۱/٤	۹/٦	۳/۸	٦/۷	۳۳	۱	۱٤	٦۲/٦	۷٦/٦
۲	۱٥٦/٥	۱/۳	٤/۷	۱٤/۲	٥۰/٦	۱/۱	۲۸/۲	٥٦/۷	۸٤/۸
۳	۱٥۷/٤	۲۹/٦	۱۱/۲	۱۹/۷	۲۷	۰/٦	۸۹	٦۲/۹	۱٥۱/۹
٤	۱۰۰/٦	۸۸/۹	۱۷/۳	۱۹/٥	۷/۳	۰/۱	۱۳۷	٤٦/٤	۱۸۳/٤
٥	٤۷	۱۳۱/۸	۱۷/٤	۱۰/۱	۱/٦	۰	۱۰٥/٥	۳۰	۱۳٥/٥
٦	٤۳/۸	۲۷٥/۲	۲٤/۱	٤/٤	۳۹	۰/۲	۱٦۲/۸	۷۲	۲۳٤/۷
۷	۳۳/٥	۲۸٦/٥	۲٤/۳	٤/۳	٤٥/۸	۰/۳	۱۹٤/٤	٥٦/٦	۲٥۱
۸	۳۱/۹	۲۳۰/۱	۱۹/۹	٤/۲	٤۲/٦	۰/۱	۱٥۷/۷	٤٥/۲	۲۰۲/۹
۹	۳۰/۳	۳۷/۳	٤/۹	۲/۳	۲۲	۰/۲	۲٥/۱	۱۹/٥	٤٤/٦
۱۰	۱٤	٤/۷	۰/٥	۰/۳	٤/٤	۰/۸	۹/٤	۸/٥	۹/٤
۱۱	۷٦/٤	۱۰/۱	۲/٤	۱/۳	۲٤/٦	۱/٦	۰/۹	٤۲/۳	٤۳/۲
۱۲	۱۱۱/۹	۳/۲	۳/٦	۲/۹	٤۱/۱	۲	٥/۱	٦۸/۹	۷٤
کل ماه‌ها	۹۱٥	۱۱۰٦*	۱۳٤	۹۰	۳۳۹	۸	۹۲۱	٥۷۲	۱٤۹۲
تعمیم از پهنه به کل		۱۱۸۷							
تعمیم از گیاهان مهم به کل گیاهان		۱٤۳۰							

*این رقم برای سطح زیر پوشش سیستم می‌باشد. برای کل سطح زیر کشت گیاهان مهم استان ۱۱۸۷ میلیون متر مکعب در سال است و برای کل گیاهان استان (مهم و غیر مهم) ۱۳۳۰ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود. برای توضیح بیش‌تر به متن مراجعه شود.

چنان‌چه گفته شد سیستم تهیه شده کل سطح کشت آبی گیاهان مهم استان را پوشش نمی‌دهد. برای مثال، در جدول ۳-۵ نشان داده شد که ۳/٤ درصد سطح زیر کشت جو در استان تحت پوشش سیستم نیست. با در نظر گرفتن کل سطح زیر کشت گیاهان مهم در استان و در سیستم و نسبت آن‌ها (۰/۹۳)، تخمین آب مصرفی گیاهان مهم در سطح استان ۱۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال به دست می‌آید. از سوی دیگر، گیاهان مهم استان ۸۳ درصد کل سطح زیر کشت آبی را تشکیل می‌دهند. بنابراین، برای دستیابی به آب مصرفی برای کل گیاهان مورد کشت استان در سطح کل استان باید تعدیل دیگری با تقسیم ۱۱۸۷ بر ۰/۸۳ صورت گیرد تا کل آب مصرفی در کشت آبی کل استان به دست آید. برآورد حاصله ۱٤۳۰ میلیون مترمکعب در سال حاصل می‌شود. خلاصه محاسبات برای تعمیم آب مصرفی سیستم به آب مصرفی استان به قرار زیر است:

- آب مصرفی گیاهان مهم استان در سطح کشت آبی تحت پوشش سیستم ۱۱۰٦ میلیون مترمکعب در سال
- آب مصرفی گیاهان مهم استان در کل سطح کشت آبی آن‌ها در استان ۱۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال
- آب مصرفی همه گیاهان استان در کل سطح کشت آبی استان ۱٤۳۰ میلیون مترمکعب در سال

از برآورد آب مصرفی می‌توان به آب برداشت شده دست یافت. مرجع رسمی اطلاعات آب وزارت نیرو می‌باشد و برآوردهای آن‌ها از تخصیص و برداشت آب حاصل اندازه‌گیری‌ها یا تخمین‌ها از بهره‌برداری از منابع سطحی و زیرزمینی است. با استفاده از برآوردهای حاصل از سیستم تهیه شده در مطالعه حاضر می‌توان به برآوردهایی از برداشت آب از مصرف آن دست یافت که در واقع برآورد با دیدگاهی دیگر است و می‌تواند به غنای اطلاعات آب بیافزاید.

آب از آن‌جایی که برآوردهای سیستم از حجم آب آبیاری با لحاظ تلفات زه‌کشی و رواناب می‌باشد، برای رسیدن به حجم آب برداشت شده یا اختصاص یافته به کشاورزی باید (۱) راندمان انتقال آب از مبدا مثل رودخانه یا چاه به مزرعه و نیز (۲) توزیع غیریکنواخت آب در مزرعه را نظر گرفت. برآوردهای دقیقی برای هر یک از دو مورد ذکر شده در منابع در دسترس یافت نشد. با این حال می‌توان ۲۰ تا ۳۵ درصد برای جمع این دو لحاظ نمود که در این صورت حجم آب برداشت

شده برای کشاورزی ۱۶۶۳ تا ۲۰۴۶ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود در حالی که وزارت نیرو حجم آب برداشت شده برای کشاورزی در استان را ۱۶۵۳ میلیون مترمکعب اعلام کرده است.

بخشی از تلفات به‌صورت زه‌کشی و رواناب از مزارع مجددا به اکوسیستم‌ها و طبیعت باز می‌گردد. اگر فرض کنیم میزان این آب برگشتی ۵۰ درصد کل تلفات زه‌کشی ورواناب باشد، حجم آب برگشتی ۱۷۴ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود که باید از حجم آب برداشت شده کسر گردد. با کسر این رقم، حجم آب برداشت شده برای کشاورزی ۱۴۸۹ تا ۱۸۷۳ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد برداشت واقعی آب برای کشاورزی در استان در حد اعلام شده وزارت نیرو یا اندکی بیش‌تر باشد. برآورد برداشت آب با کمک این سیستم از این نظر که از مصرف به برداشت رسیده‌است، حایز اهمیت است.

۳-۷- عدم قطعیت در برآوردهای سیستم

سیستم تهیه شده بر اساس یک مدل شبیه‌سازی گیاهی، یک روش مقیاس نمایی پایین به بالا و اطلاعات ورودی مختلف می‌باشد. بنابراین، کارکرد و پیش‌بینی‌های سیستم با یک حد قابل قبول در عدم قطعیت به کیفیت اجزای زیر بستگی دارد: (۱) مدل مورد استفاده، (۲) روش مورد استفاده برای مقیاس‌نمایی، (۳) نقشه‌های پراکنش گیاهی، (۴) آمار هواشناسی، (۵) اطلاعات خاک، (۶) اطلاعات مدیریت کشت و کار گیاه، و (۷) اطلاعات و آمار سطح زیر کشت و عملکردهای واقعی.

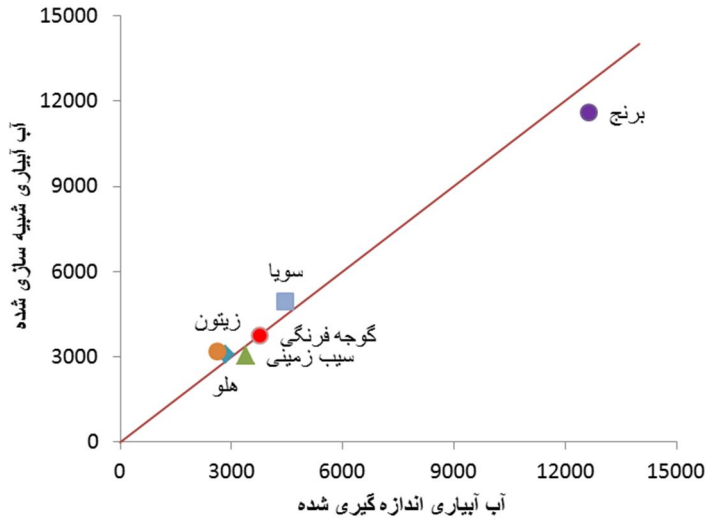
مدل مورد استفاده یک مدل مکانیستیک می‌باشد که قبلا با جمع‌آوری گسترده اطلاعات آزمایش‌های مزرعه‌ای از سراسر کشور پارامتریابی و آزمون شده است. بخش قابل توجهی از این اطلاعات و آمار مربوط به استان گلستان می‌باشند. جزییات در سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ الف؛ Soltani *et al*., 2020) آمده است. نتایج آزمون مدل رضایت بخش بوده حاکی از این که برآوردهای مدل قابل اعتماد هستند. بنابراین، انتظار می‌رود عدم قطعیت از این ناحیه کم باشد. در مورد روش استفاده شده برای مقیاس نمایی گفته شده است که باید حداقل سطح زیر کشت تحت پوشش در پهنه‌های انتخابی ۴۰ تا ۵۰ درصد باشد (van Wart *et al*., 2013a; van Bussel *et al*., 2015). در مطالعه حاضر این امر رعایت شده است و سطح پوشش سیستم به مراتب بیش‌تر است. در مطالعه حاضر از نقشه‌های پراکنش گیاهی برای گیاهان استان که در سطح کشور قبلا تهیه شده بود و وجود داشت (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ ب) استفاده نشد بلکه این نقشه‌ها مجددا بر اساس آخرین اطلاعات

قابل دسترس سطح زیر کشت در استان و مطابق توصیه‌های مرتبط (You *et al*., 2014) تهیه شدند. استفاده از آمار هواشناسی اندازه‌گیری شده برای دستیابی به برآوردهای قابل اطمینان اهمیت دارد (van Ittersum *et al*., 2013). خاطر نشان می‌سازد در موارد مشابه برای سیستم‌هایی برای پیش‌بینی در سطح بزرگ عمدتا از آمار هواشناسی تولید شده شبکه‌ای استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های گیاهی که با این آمار به دست می‌آید بالا است (van Wart *et al*., 2013a; Mourtzinis *et al*., 2017). در مطالعه حاضر، از آمار هواشناسی ثبت شده اخیر استفاده شد که عدم قطعیت از این لحاظ را به حداقل می‌رساند. برای اطلاعات خاک بهتر بود از اطلاعات جمع‌آوری شده محلی استفاده گردد. اما، این اطلاعات به صورت دیجیتاز شده موجود نبود و به دلیل کمبود منابع امکان تهیه آن‌ها نیز وجود نداشت. بنابراین، از اطلاعات بانک HC27 استفاده گردید. با توجه به این که تأثیر حاصلخیزی خاک و کمبود عناصر غذایی توسط مدل شبیه‌سازی نمی‌شود، تنها تأثیر اطلاعات خاک مرتبط با رابطه آب خاک و گیاه اهمیت دارد. ارزیابی قبلی توسط Nehbandani و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که استفاده از اطلاعات بانک مذکور در مقایسه با اطلاعات خاک اندازه‌گیری شده به اختلافات معنی‌داری در پیش‌بینی‌های مدل منتهی نمی‌گردد. از اطلاعات مرتبط با کشت و کار گیاهان، اطلاعات تاریخ کاشت و تاریخ باز شدن جوانه درختان برای شبیه‌سازی اهمیت دارد. برای این منظور از این اطلاعات که قبلا برای سراسر کشور و از جمله استان گلستان جمع‌آوری شده بود (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ پیوست‌های ٤ و ٥ ایشان)، استفاده گردید. برای اطلاعات و آمار سطح زیرکشت و عملکرد نیز از آخرین اطلاعات در دسترس (سال‌های برداشت ۱۳۹٦ تا ۱۳۹۸) سازمان کشاورزی استان استفاده شد. استفاده از آمار غیر اخیر می‌تواند به کالیبراسیون اریب‌دار مدل و ضعف در پیش‌بینی‌های آن منتهی گردد. با توجه به نکات فوق انتظار می‌رود عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های سیستم کم باشد.

برای ارزیابی صحت برآوردهای سیستم داده‌های اندازه‌گیری شده اندکی در دسترس بودند چون بیش‌تر برآوردهای در دسترس در شرایط مزرعه کشاورزان و بدون تداخل در عملیات آن‌ها انجام نشده بودند. بدین منظور از مطالعات انجام گرفته در مراکز تحقیقات کشاورزی کشور استفاده شد. اندازه‌گیری‌هایی برای شرایط کشاورزان در گیاهان گوجه فرنگی (عباسی و همکاران، ۱٤۰۰)، سویا (کیانی و همکاران، ۱٤۰۱)، زیتون (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹)، سیب زمینی (باغانی و همکاران، ۱۳۹۹)، هلو (اکبری و همکاران، ۱٤۰۰) و برنج (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۹) وجود داشت که در

سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شده بودند. برای هر مکان (گرگان، علی آباد، کردکوی و بندرگز) و سالی که اندازه‌گیری انجام شده بود، سیستم اجرا شد و خروجی سیستم برای حجم آب آبیاری با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند که نتایج در شکل ۳-۱۵ ارایه شده است. خوشبختانه برای موارد مورد ارزیابی برآوردهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی دارند. یادآوری می‌گردد برآوردهای سیستم برای شرایط پتانسیل و مقایسه آن با مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها قبلا توسط سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ الف؛ Soltani *et al.*, 2020a) انجام شده است.

از آنجایی که تهیه سیستم مبتنی بر اطلاعات سطح زیر کشت گیاهان مختلف در استان است، لازم است هر چند سال یک بار (۲ تا ۵ سال بسته به منابع در دسترس) این اطلاعات و سیستم به‌روزرسانی شوند.



شکل ۳-۱۵- مقایسه برآوردهای سیستم از حجم آب آبیاری در شرایط کشاورزان در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده مربوطه در گوجه‌فرنگی (عباسی و همکاران، ۱۴۰۰)، سویا (کیانی و همکاران، ۱۴۰۱)، زیتون (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹)، سیب‌زمینی (باغانی و همکاران، ۱۳۹۹)، هلو (اکبری و همکاران، ۱۴۰۰) و برنج (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۹)

۳-۸- سایر کاربردهای سیستم

همان‌طور که نشان داده شد کاربرد اصلی سیستم تهیه شده تولید اطلاعات متنوع و یکپارچه مرتبط با عملکرد، تولید و آب در سطح مزارع کشاورزان استان می‌باشد. این برآوردها به‌صورت نقطه‌ای، پهنه

اگرواکولوژیک، شهرستان و کل استان برای شرایط کشاورزان و نیز شرایط پتانسیل قابل دستیابی هستند. برای مؤلفه‌های بیلان آب برآوردهای ماهانه نیز تولید می‌شوند. با کمک برآوردهای این سیستم می‌توان آب مصرفی (حجم آب آبیاری در مزرعه) و آب برداشت شده (اختصاص یافته از منبع مثل رودخانه یا چاه) در سطح استان را نیز تخمین زد. اما، این سیستم می‌تواند کاربردهای دیگری هم داشته باشد. در این قسمت به سایر کاربردهای سیستم اشاره می‌گردد.

یکی از مهم‌ترین کابردهای تهیه این سیستم کمک به تجمیع و تلفیق اطلاعات و آمار می‌باشد. در تهیه این سیستم از یک مدل پارامتریابی و ارزیابی شده استفاده می‌شود که انجام پارامتریابی و ارزیابی مستلزم جمع‌آوری اطلاعات رشد و عملکرد گیاه و نیز اطلاعات تبخیرتعرق و آبیاری از منابع مختلف مثل مقالات، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های تحقیقاتی است و بنابراین به گردآوری این تحقیقات و آرشیو شدن آن‌ها کمک می‌کند. از سوی دیگر، تهیه سیستم مستلزم جمع‌آوری اطلاعات خاک، آب و هوا و مدیریت کشاورزی و نیز اطلاعات سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گیاهان مختلف در استان است. به این ترتیب، تهیه سیستم به جمع‌آوری و آرشیو این اطلاعات کمک می‌کند.

با کمک اطلاعات تولیدی این سیستم می‌توان برخی ارزیابی‌های کلیدی مرتبط با کشاورزی-آب را انجام داد. ارزیابی الگوهای کشت سازگار با کم آبی نمونه‌ای از این کاربرد است. این ارزیابی استفاده از برآوردهای سیستم مطالعه حاضر همراه با اطلاعات هزینه و درآمد برای شرایط و فرضیات مختلف، قابل انجام است. برای مثال، در صورت نیاز به کاهش برداشت آب چه الگوی کشتی در استان می‌تواند حداکثر درآمد را برای کشاورزان از منابع آب محدود شده، فرآهم آورد؟ یا چه الگوی کشتی کمک می‌کند که در شرایط کاهش برداشت، کاهش سطح زیر کشت در حداقل ممکن خود باشد تا میزان اشتغال در بخش کشاورزی کم‌تر صدمه ببیند؟

دیگر کاربردها عبارتند از:

- ارزیابی تأثیر گزینه‌های سازگاری با کم‌آبی و کمّی‌سازی تأثیر هر یک از آن‌ها. برای مثال، بررسی حجم صرفه‌جویی در منابع آب آبی استان در شرایط به کارگیری خاک‌ورزی و کشاورزی حفاظتی یا کاربرد مالچ‌ها در مزارع و باغ‌ها یا سایبان در باغ‌ها برای کاهش تبخیر و صرفه‌جویی در آب.
- ارزیابی تأثیر رفع خلأ عملکرد بر بهره‌وری آب آبیاری (ردپای آب آبی)، آب مصرفی و برداشت آب.
- ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد، تولید، مؤلفه‌های بیلان آب.

۳-۹- نتیجه‌گیری

در کشور ما کاهش برداشت آب برای کشاورزی و سازگاری به کم‌آبی یک فوریت محسوب می‌شود. برای برنامه‌ریزی‌های مرتبط با این امر نیاز به اطلاعات آبی متنوع و یکپارچه از مصرف، برداشت و بهره‌وری در سطح استان‌ها هستیم. سیستم تهیه شده با کمک تحلیل شرایط آب و هوایی و خاک در سطح استان و پهنه‌بندی اگرواکولوژیک، مهم‌ترین پهنه‌های همگن در استان را مشخص می‌سازد. با تهیه نقشه‌های پراکنش گیاهی، سطح زیر کشت گیاهان مهم استان در این پهنه‌ها مشخص می‌گردد و نسبت به جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی، خاک و مدیریت تولید گیاهان در هر پهنه اقدام می‌شود. یک مدل شبیه‌سازی هسته اصلی این سیستم را تشکیل می‌دهد که برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه و بیلان آب در مزرعه در شرایط کشاورزی کالیبره می‌شود (با استفاده از آمار عملکرد واقعی گیاهان در پهنه‌ها). برآورد مدل برای نقطه یا نقاط (ایستگاه هواشناسی) نماینده هر پهنه به کل آن پهنه و سپس کل استان تعمیم داده می‌شود و با کمک اطلاعات سطح زیر کشت گیاهان در پهنه‌ها، متغیرها به صورت کل در پهنه یا استان قابل محاسبه هستند.

سیستم تهیه شده برآوردهایی از مؤلفه‌های بیلان آب شامل حجم آب آبیاری، تعرق علف‌های هرز، برگاب، زه‌کشی عمقی، رواناب، تعرق و تبخیر در واحد سطح به صورت ماهانه و فصلی برای هر گیاه فرآهم می‌آورد. از این برآوردها مؤلفه‌های بیلان آب برای هر پهنه اگرواکولوژیک، شهرستان و کل استان به صورت ماهانه، فصلی یا سالانه قابل محاسبه است. با کمک اطلاعات تولید شده توسط سیستم، محاسبه آب مصرفی در آبیاری و نیز برداشت آب در مقیاس‌های پهنه، شهرستان و استان به صورت ماهانه یا سالانه برای هر دوره زمانی مورد نظر قابل محاسبه می‌باشد. اطلاعات تولید شده توسط این سیستم می‌تواند به کاهش اختلافات بین سازمان‌های دولتی از نظر حجم آب مصرفی یا آب برداشت شده برای کشاورزی کمک کند. اطلاعات تولید شده این سیستم برای هر گونه برنامه‌ریزی برای سازگاری کشاورزی با کم آبی در سطح استانی، ضروری است.

منابع

اکبری، م.، ناصری، ا.، نورجو، ا.، پرچمی عراقی، ف.، نخجوانی مقدم، م.، سپهری صادقیان، س.، علیمحمدی نافچی، ر.، اسلامی، ا.، قاسمی، م.، گمرکچی، ا.، کمالی پاشائی، م.ا.، کیا، ع.، گودرزی، م.، و بهراملو، ر. ١٤٠٠. تعیین آب کاربردی هلو و شلیل در کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات کشاورزی کشور. شماره ثبت ٥٩٦٢٤.

اعتدالی، ه.ر.، شکوهی، ع.، و مجتبوی، س.ا. ١٣٩٦. بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی برای عبور از بحران آب منطقه قزوین. آب و خاک. ٣١: ٤٢٢-٤٣٣.

باغانی، ج.، ع. کیانی، ع. فیروزآبادی، م. شاهرخ نیا، م. جلینی، ح. خسروی، ر. علیمحمدی نافچی، م. معیری، ر. بهراملو، ک. اخوان، ح. سالمی، ا. مقبلی، ر. نیکانفر، م. عباسی. ١٣٩٩. تعیین آب مصرفی سیب زمینی در کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات کشاورزی کشور. شماره ثبت ٥٧٩٦٧.

باغستانی، ع.ا.، مهرابی بشرآبادی، ح.، زارع مهرجردی، م.ح.، شرافتمند، ح. ١٣٨٩. کاربرد مفهوم آب مجازی در مدیریت منابع آب ایران. تحقیقات منابع آب ایران. ٦: ٢٨-٣٨.

جولایی، ر. ١٣٩٣. گزارش طرح مدیریت الگوی کشت محصولات زراعی و باغی استان مازندران. جلد ٢. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.

رزاقی، م.، کیانی، ع.، و آبیار، ن. ١٣٩٩. کشت نشایی و خشکه‌کاری برنج، راهکاری فنی و اقتصادی برای تولید برنج در شرایط استان گلستان. مدیریت آب کشاورزی. ٧(١): ٣٣-٤٤.

عباسی، ن.، م. طاهری، م.، کیانی، ع.، یوسف گمرکچی، ا.، دهقانیان، س.ا.، و شاهین رخسار، پ. ١٣٩٩. تعیین آب مصرفی زیتون در کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات کشاورزی کشور. شماره ثبت ٥٧٧٢٤.

عباسی، ف.، جلینی، م.، خرمیان، م.، دهقانیان، س.ا.، مقبلی دامنه، ا.، نوروزی، م.، یوسف گمرکچی، ا.، طاهری، م.، زارع مهرانی، ا.، کیانی، ع.، سلامتی، ن.، موسوی فضل، ح.، قدومی فیروز آبادی، ع.، بیات، پ.، و ناصری، ا. ۱۴۰۰. نقش سامانه‌های نوین آبیاری در مدیریت مصرف آب گوجه‌فرنگی در کشور. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زه‌کشی. ۲۲(۸۲): ۴۳- ۶۴.

عربی یزدی، ا.، علیزاده، ا.، محمدیان، ف. ۱۳۸۸. بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران. آب و خاک. ۲۳: ۱۵-۱.

سلطانی،ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی‌در گیاهان زراعی.جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۶ صفحه.

سلطانی، ا.، و میرزایی، ع. ۱۴۰۰. کشاورزی پایدار. انتشارات واژگان سیرنگ. ۳۸۴ صفحه.

سلطانی، ا.، عرب عامری، ر.، جافرنوده، ص.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، و قرخلو، ج. ۱۴۰۰. مقایسه کشت هوازی برنج با کشت معمول از نظر مصرف آب در استان گلستان با روش مدلسازی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، ا.، نه‌بندانی، ع.، عالیمقام، م.، دادرسی، ا.، ترابی، ب.، زینلی، ا.، زند، ا.، قاسمی، ث.، بارانی، ح.، الستی، ا.، حسینی، ر.، زاهد، م.، فیاضی، ح.، کمری، ح.، عرب عامری، ر.، محمدزاده، ز.، رهبان، س.، پورشیرازی، ش.، محمدی، س.، کرامت، ص.، سوسرایی، ن.، آشناور، م.، و احمدی، م. ۱۳۹۸ الف. مدل‌سازی رشد و تولید پوشش‌های گیاهی در سطح وسیع با SSM-iCrop2 گیاهان زراعی، سبزیجات، باغات میوه و مراتع. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، ا.، زند، ا.، عالیمقام، س.م.، نه‌بندانی، ع.، بارانی، ح.، سلطانی، ا.، ترابی، ب.، زینلی، ا.، میرکریمی، ش.، جولایی، ر.، خسرویان، ت.، حبیب‌پورکاشفی، ا.، جافرنوده، ص.، دادرسی، ا.، قاسمی، ث.، رهبان، س.، پورشیرازی، ش.، بهره‌مند، ع.ر.، دهقانی، ا.ا.، اشراقی، ف.، بهمنی، م.، فتاح طالقانی، د.، احمدی، ک.، محمدرضایی، م.، گلی، ش.، الستی، ا.، حسینی، ر.، زاهد، م.، فیاضی، ح.، کمری، ح.، عرب‌عامری، ر.، محمدزاده، ز.، محمدی، س.، کرامت، ص.، سوسرایی، ن.، آشناور، م.، و احمدی، م.، و تقدیسی نقاب، ر. ۱۳۹۸ ب. تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل‌سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط‌زیست: چشم انداز و سیاست‌های لازم. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، ا. نه بندانی، ع.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، زند، ا.، قاسمی، ث.، الستی، ا.، دادرسی، ا.، حسینی، ر.، عالیمقام، س.م.، زاهد، م.، فیاضی، ح.، کمری، ح.، عرب عامری، ر.، محمدزاده، ز.، رهبان، س.، پورشیرازی، ش.، محمدی، س.، کرامت، ص.، ۱۳۹۷الف. اطلس خلأ عملکرد و توان تولید گیاهان زراعی مهم در کشور در شرایط اقلیمی فعلی و آینده. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی،ا.، نه بندانی، ع. دادرسی، ا.، عالیمقام، س.م.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، ۱۳۹۷ب. پهنه‌بندی زراعی-بوم شناختی کشور برای تولید گیاهی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

کیانی، ع.، کمالی، م.ا.، و عباسی، ف. ۱۴۰۱. بررسی بهره‌وری آب آبیاری سویا در مزارع استان گلستان. آبیاری و زه‌کشی ایران. ۱۶ (۱):۸۲-۶۹.

FAO. 2008. Iran (Islamic republic of Iran). Country profile. http://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/IRN.

Koo, J., and Dimes, J. 2013. HC27 Generic soil profile database. Harvard Dataverse ver. 4. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.Groves SJ, Bailey RJ. Strategies for the sub-optimal irrigation of sugar beet. *Aspects of Applied Biology*. 1994. Vol. 38: 201-207.

Mesgaran, B., and Azadi, P. 2018. A national adaptation plan for water scarcity in Iran. working paper 6, Stanford Iran 2040 project, Stanford University.

Mourtzinis, S., Edreira, J.R., Conley, S.P., and Grassini, P. 2017. From grid to field: assessing quality of gridded weather data for agricultural applications. *European Jouranl of Agronomy*. 82: 163-172.

Nehbandani, A., Soltani, A., Taghdisi, R., Dadrasi, A., and Alimagham, S.M. 2020. Assessing HC27 Soil Database for Modeling Plant Production. *International Journal of Plant Production*. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00114-4.

Ritchie, J.T. 1998. Soil water balance and plant water stress. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., and Thornton, P.K. (eds) *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands pp. 41-54.

Rattalino Edreira, J.I., Andrade, J.A., Cassman, K.G., van Ittersum, M.K., van Loon, M.P., and Grassini, P. 2021. Spatial frameworks for robust estimation of yield gaps. *Nature Food*. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00365-y

Sinclair, T.R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model development. *Field Crops Research*. 15(2): 125-141.

Sinclair, T.R., Soltani, A., Marrou, H., Ghanem, M., and Vadez, V. 2019. Geospatial assessment for crop physiological and management improvements with examples using the Simple Simulation Model. *Crop Science*. 59: 1-9.

Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. *CABI Publisher*. 312 p.

Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R. 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*. 7(4): 711-740.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E.,Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R.S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S.,Vadez, V., van Ittersum, M.K., and Sinclair, T.R. 2020a. SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*. 182: 102855.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Ghassemi, S., Vadez, V., Sinclair, T.R., and van Ittersum, M.K. 2020b. Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*. 183: 102859.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., van Loon, M.P., and van Ittersum, M.K. 2020c. Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*. 24: 100351.

van Bussel, L.G.J., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and van Ittersum, M.K. 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*. 177: 98-108. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.005.

van Ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tittonell, P., and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A Review. *Field Crops Research*. 143: 4-17.

van Loon, M.P., Deng, N., Grassini, P., Edreira, J.I.R., Wolde-Meskel, E., Baijukya, F., Marrou, H., and van Ittersum, M.K. 2018. Prospect for increasing grain legume crop production in East Africa. *European Journal of Agronomy*. 101: 140-148.

van Wart, J., Grassini, P., and Cassman, K.G. 2013a. Impact of derived global weather data on simulated crop yields. *Global Change Biology*. 19: 3822-3834.

van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., and Cassman, K.G., 2013b. Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*. 143: 34-43.

You, L., Wood, S., Wood-Sichra, U., and Wu, W. 2014. Generating global crop distribution maps: From census to grid. *Agricultural Systems*.127: 53-60.

پیوست‌ها

پیوست ۱- کلاس‌های تعریف شده برای هر یک از متغیرهای مورد استفاده در طبقه‌بندی اقلیمی به GYGA-ED

در این روش پهنه‌های اقلیمی براساس سه متغیر واحد دمایی (TU) با دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد، شاخص خشکی سالیانه (AI) و نوسانات دمای فصلی انجام شده است. برای نامگذاری هر پهنه اقلیمی از کلاس‌های تعریف شده برای هر متغیر استفاده شده است. نام هر پهنه متشکل از یک عدد ٤ رقمی می‌باشد (در مواردی که مقدار متغیر برای یک پهنه در کلاس ۹۸۵۱< TU قرار گیرد عدد ٥ رقمی خواهد شد). هر کلاس متغیر TU با اعداد ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مشخص شده است. همچنین کلاس‌های مربوط به متغیر AI با اعداد ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ تا ۹۰۰ و کلاس‌های متغیر نوسانات دمایی (TS) با اعداد ۱، ۲، ۳ مشخص شده‌اند. وجود واحد دمایی بالاتر در یک منطقه نشان‌دهنده گرم‌تر بودن، AI بالاتر نشان‌دهنده خشک تر بودن و TS بالاتر نشان‌دهنده نوسانات دمایی بیش‌تر در منطقه مورد نظر است. اگر در یک پهنه اقلیمی مقدار متغیر TU در کلاس ۳۰۰۰ (دامنه ۳۷۹۱-۳۱۷۰)، متغیر AI در کلاس ٤۰۰ (دامنه ٦٥٨٨-٥٩٦۰) و متغیر نوسانات دمای فصلی در کلاس ۲ (دامنه ۸۳٥٥-۳۸۳۳) قرار داشته باشد، نام یا کد آن پهنه اقلیم ۳٤۰۲ خواهد بود. به عبارتی ساده‌تر از جمع کلاس‌های تعیین شده توسط گیگا برای هر متغیر در یک منطقه کد پهنه اقلیمی آن منطقه حاصل می‌شود (۳٤۰۲=۳۰۰۰+٤۰۰+۲) که عدد هزارگان (۳۰۰۰) این کد کلاس متغیر TU، عدد صدگان (٤۰۰) این کد کلاس متغیر AI و عدد یکان (۲) این کد کلاس متغیر نوسانات دمای فصلی را نشان می‌دهد. در حالتی که متغیر TU در کلاس ۱۰۰۰۰ قرار گیرد عدد هزارگان نیز صفر خواهد بود و کد پهنه اقلیمی ٥ رقمی خواهد شد. به عنوان مثال اگر در یک پهنه اقلیمی مقدار متغیر TU در کلاس ۱۰۰۰۰ (TU> ۹۸٥۱)، متغیر AI در کلاس ٤۰۰ (دامنه ٦٥٨٨-٥٩٦۰) و متغیر نوسانات دمای فصلی در کلاس ۲ (دامنه ۸۳٥٥-۳۸۳۳) قرار داشته باشند، نام یا کد آن پهنه اقلیمی ۱۰٤۰۲ (۱۰٤۰۲=۱۰۰۰۰+٤۰۰+۲) خواهد بود.

کد گیگا	TU*	کد گیگا	شاخص خشکی**	کدگیگا	نوسانات دمای فصلی***
۱۰۰۰	۰-۲۶۷۰	۰	۰-۲۶۹۵	۱	۰-۳۸۳۲
۲۰۰۰	۲۶۷۱-۳۱۶۹	۱۰۰	۲۶۹۶-۳۸۹۳	۲	۳۸۳۳-۸۳۵۵
۳۰۰۰	۳۱۷۰-۳۷۹۱	۲۰۰	۳۸۹۴-۴۷۹۱	۳	<۸۳۵۹
۴۰۰۰	۳۷۹۲-۴۸۲۹	۳۰۰	۴۷۹۲-۵۶۸۹		
۵۰۰۰	۴۸۳۰-۵۹۴۹	۴۰۰	۵۶۹۰-۶۵۸۸		
۶۰۰۰	۵۹۵۰-۷۱۱۱	۵۰۰	۶۵۸۹-۷۷۸۵		
۷۰۰۰	۷۱۱۲-۸۵۶۴	۶۰۰	۷۷۸۶-۸۶۸۵		
۸۰۰۰	۸۵۶۵-۹۳۱۱	۷۰۰	۸۶۸۶-۱۰۱۸۱		
۹۰۰۰	۹۳۱۲-۹۸۵۰	۸۰۰	۱۰۱۸۲-۱۲۸۷۶		
۱۰۰۰۰	> ۹۸۵۱	۹۰۰	>۱۲۸۷۷		

* محاسبه واحد دمایی بر اساس دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد.

** در صورتی‌که این اعداد تقسیم بر ۱۰۰۰۰ شوند نسبت بارندگی سالیانه بر پتانسیل تبخیر سالیانه حاصل می‌شود.

*** در صورتی‌که این اعداد بر ۱۰۰۰ تقسیم شوند مقدار انحراف معیار دمای ماهانه از متوسط دمای سالیانه حاصل می‌شود.

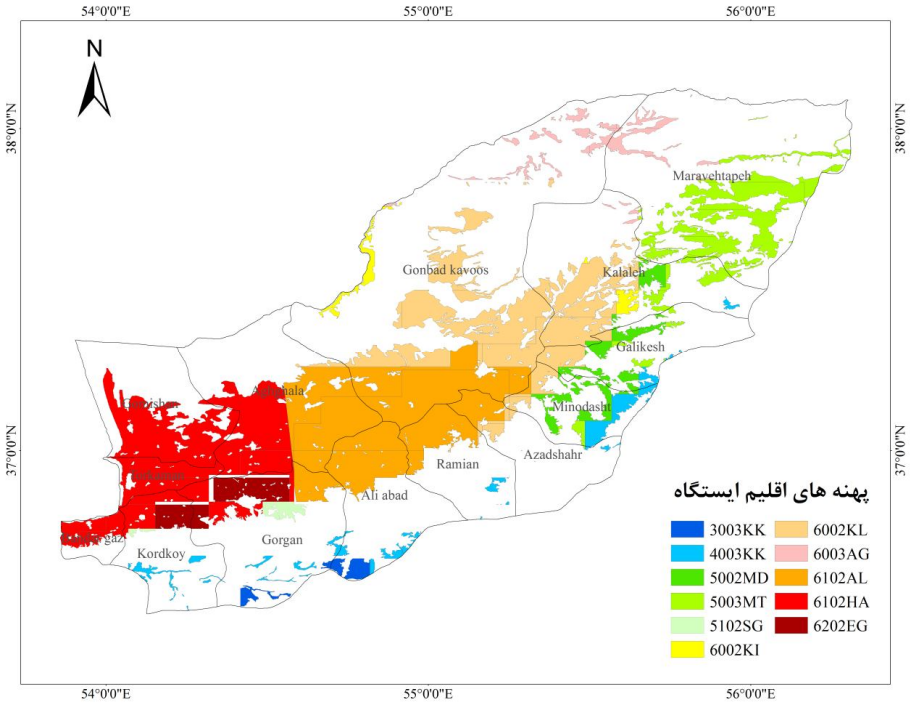
پیوست ۲- مشخصات خاک‌های اصلی استان بر اساس بانک HC27 (Koo and Dimes, 2013)

نوع خاک	عمق خاک (mm)	آلبیدوی خاک	شماره منحنی خاک	ضریب زهکشی عمقی خاک*	آب خاک در اشباع	آب خاک در ظرفیت زراعی	آب قابل‌دسترس خاک	آب در نقطه پژمردگی دائم
HC2-Clay HF120	۱۲۰۰	۰/۰۵	۸۵	۰/۲	۰/٤٥٨	۰/٤٠٥	۰/۱۷۲	۰/۲۳۳
HC5-Clay MF120	۱۲۰۰	۰/۰۵	۸۵	۰/۲	۰/٤٥٨	۰/٤٠٥	۰/۱۷۲	۰/۲۳۳
HC8-Clay LF120	۱۲۰۰	۰/۰۵	۸۵	۰/۲	۰/٤٥٨	۰/٤٠٥	۰/۱۷۲	۰/۲۳۳
HC14-Loam MF120	۱۲۰۰	۰/۱	۷۵	۰/۵	۰/٤۱۰	۰/۳۰۷	۰/۱۲۷	۰/۱۸۰
HC26-Sand LF120	۱۲۰۰	۰/۱۵	٦۵	۰/۷۵	۰/۳٦۵	۰/۱٦۹	۰/۰۹٦	۰/۰۷۳

*این ضرایب زهکشی برای خاک قبل از گل‌خرابی یا بدون گل‌خرابی است. بعد از گل‌خرابی ضریب زهکشی به ۰/۰۳۵ کاهش پیدا می‌کند.

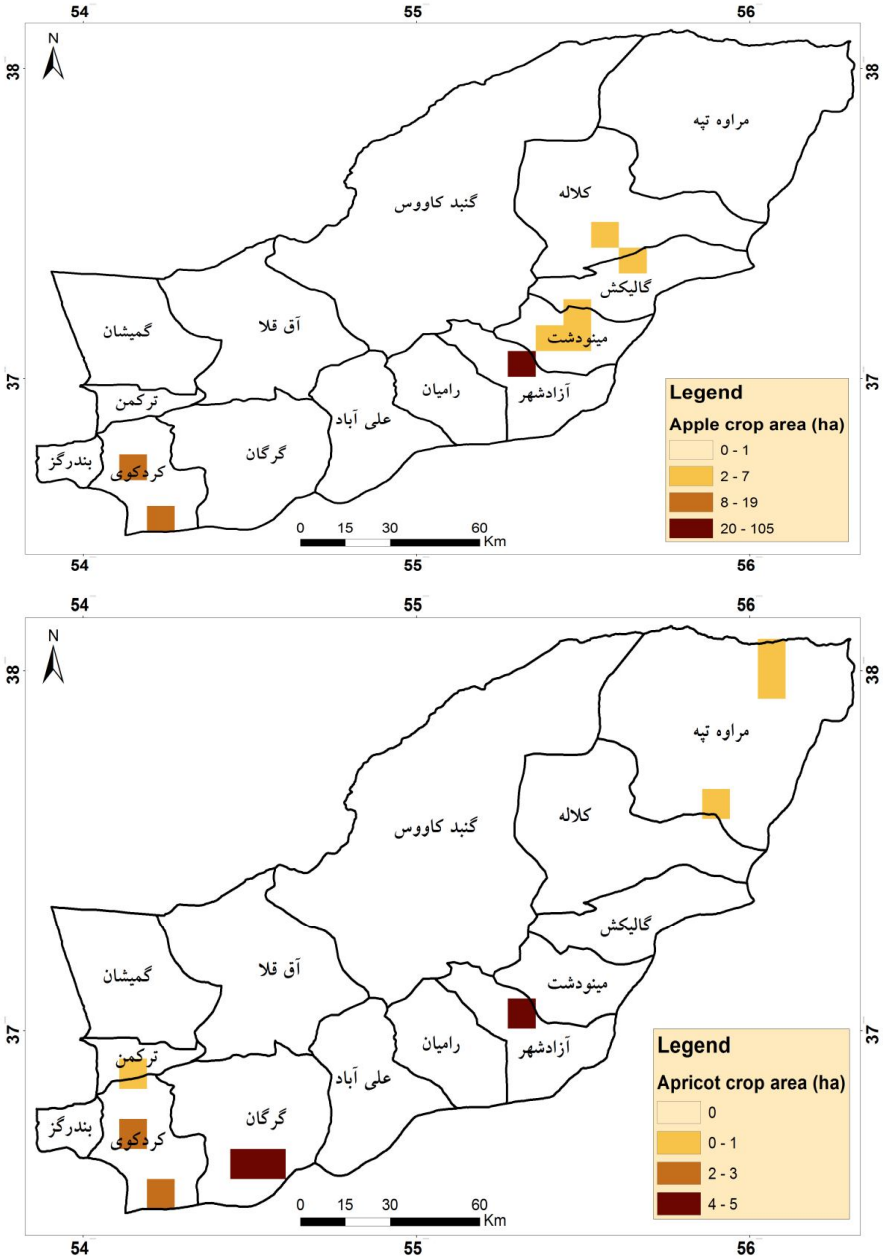
پیوست ۳- تهیه سیستم استانی بیلان آب و حسابداری آب استان گلستان فقط برای شرایط کشت آبی

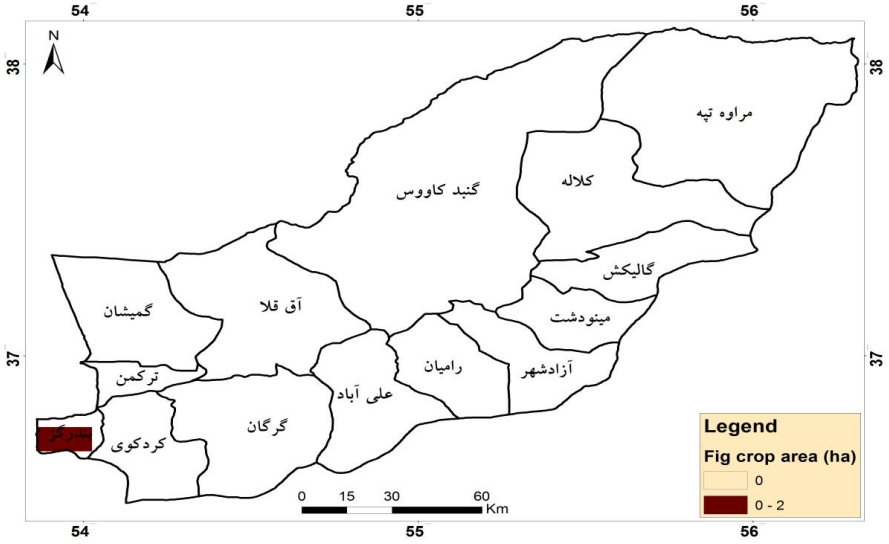
بیش از ۹۰ درصد تولیدات کشاورزی کشور از کشت آبی به دست می‌آید. چنان‌چه هدف این باشد که برای یک منطقه، حوزه آبخیز یا استان یک سیستم بیلان آب و حسابداری آب کشاورزی با روش ارایه شده در این مطالعه حاضر و فقط برای اراضی آبی تهیه کنیم، حجم کار کم‌تر شده و سیستم جمع و جورتر قابل تهیه خواهد بود. در مطالعه حاضر برای استان گلستان و فقط اراضی کشت آبی زراعی و باغی نیز سیستم تهیه گردید که مشخصات آن این‌جا ارایه می‌شود. برای تهیه سیستم فقط برای اراضی آبی تعداد ۱۱ پهنه کافی بود که نقشه مربوطه در زیر ارایه شده است. همچنین در جدول زیر مساحت زیر پوشش پهنه‌ها برای هر گیاه مهم استان ارایه شده است. کل اراضی آبی استان که تحت پوشش سیستم فقط کشت آبی قرار می‌گیرد، ۳۲۶۰۰۰ هکتار بود که ۸۳ درصد کل اراضی آبی (زراعی و باغی) استان را تشکیل می‌دهد.

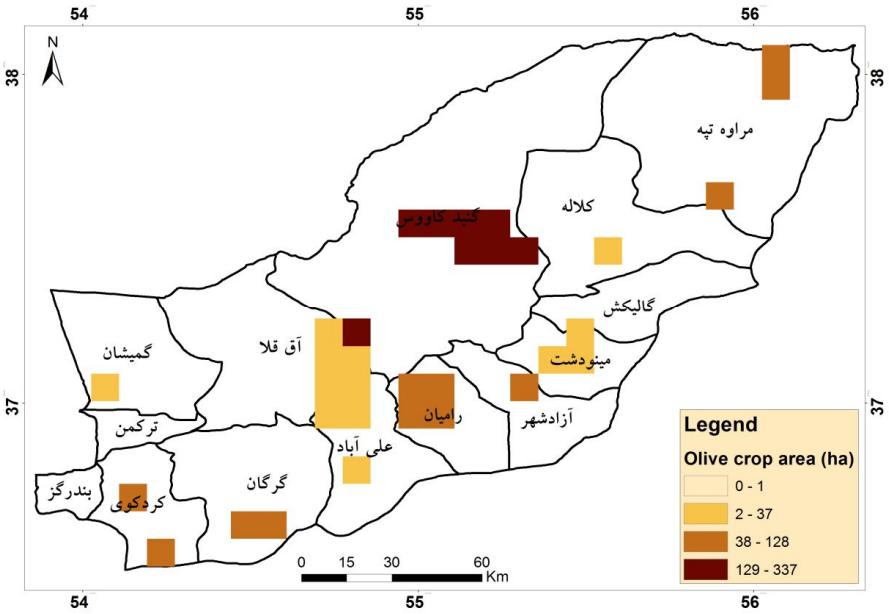


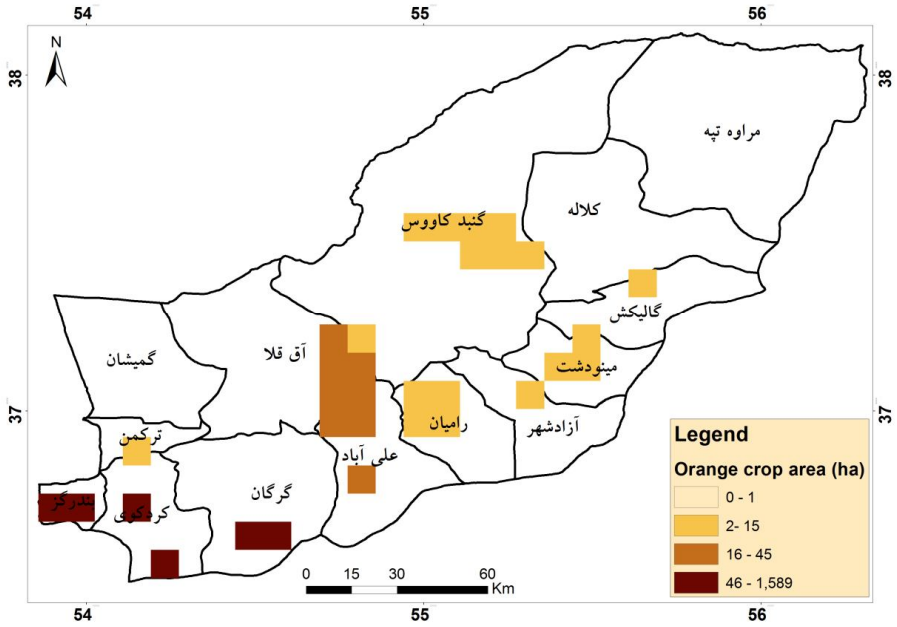
گیاه	مساحت		گیاه	مساحت	
	هکتار	درصد		هکتار	درصد
یونجه	۷۷۸	۹٤/٥	خیار	۸۱٦	۹۱/٤
جو	۱۰۱۹۰	۹۲/٦	خربزه	۷۳۳	۹۰/٦
لوبیا	۸۰٥	۹۸	پیاز	٥۱٤	۹٥/۹
کلزا	۳٦۹٤٥	۹۱/۱	گوجه فرنگی	٤٥٥٤	۸۰/۷
نخود	٥٥	۹۸/٤	هندوانه	۱٥۷۲	۸۷
شبدر	۱٥٤۳	۹٦/۹	سیب	۷۰	۳۸/۷
ذرت علوفه‌ای	٦٥٦۰	۹٥/۸	زرد آلو	۱٤	۸۱/۱
ذرت دانه‌ای	۷٤	۹۳	انجیر	٤	٤۱
پنبه	۱۰۷٤۳	۹٤/٥	زیتون	۳٥۹۳	۸٦/۲
سیب زمینی	٥۳۳۹	۹٦/۲	مرکبات	٦۰٤٤	۹۷/۱
کنجد	٤۳۳	۹۳/۷	هلو	۷۳٥٦	۷٥/۲
سویا	۱٥٦۸۱	۹۳/۳	گلابی	٥۹۳	۷۸/۷
چغندر قند	۷٦۱	۸۹/٥	پسته	۸۸	۹۷/۲
آفتابگردان	۲٦٦۱	۹٦/۲	انار	۸٥٥	۸۸/٤
برنج	۷٤۷۸۱	۹۳/٤	گردو	۱۱۲	٤٦/۹
گندم	۱۳۱۷۳۳	۹۳/۲			

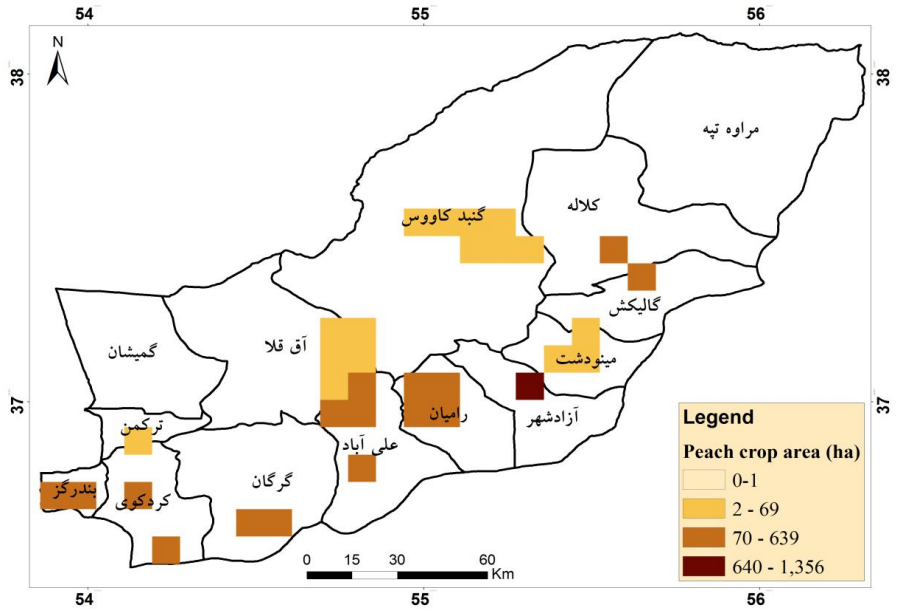
پیوست ٤- نقشه‌های پراکنش گیاهی استان

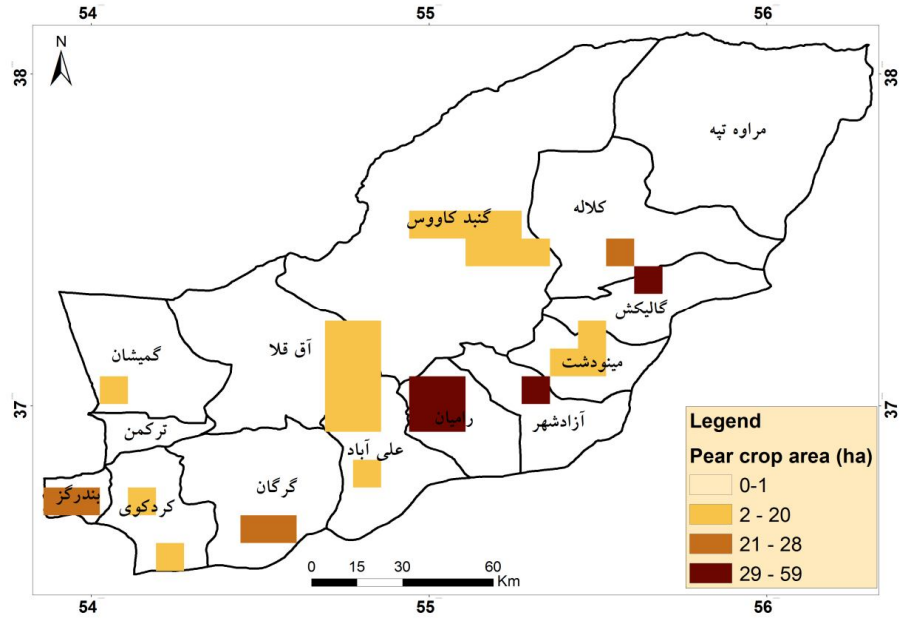


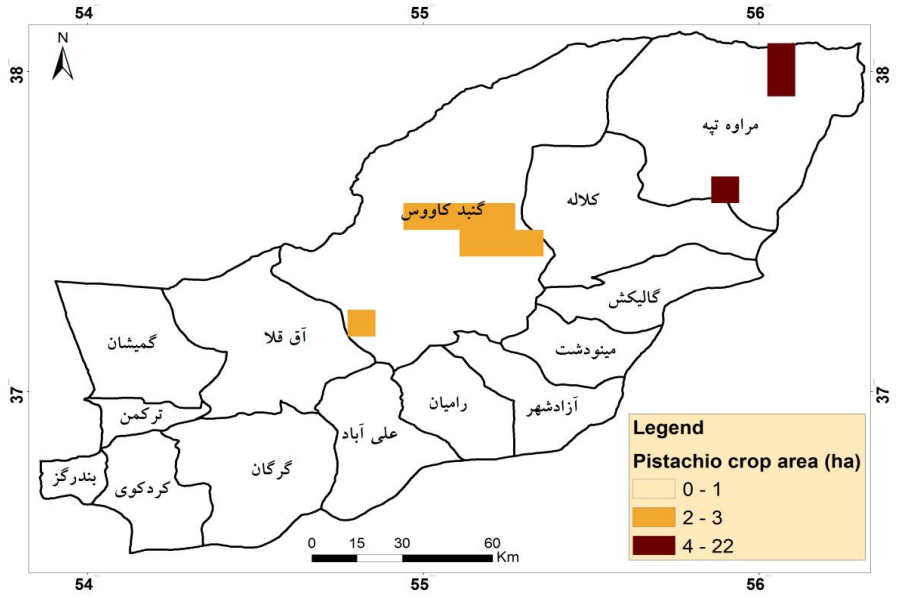

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
Fig crop area (ha)
0
0 - 2

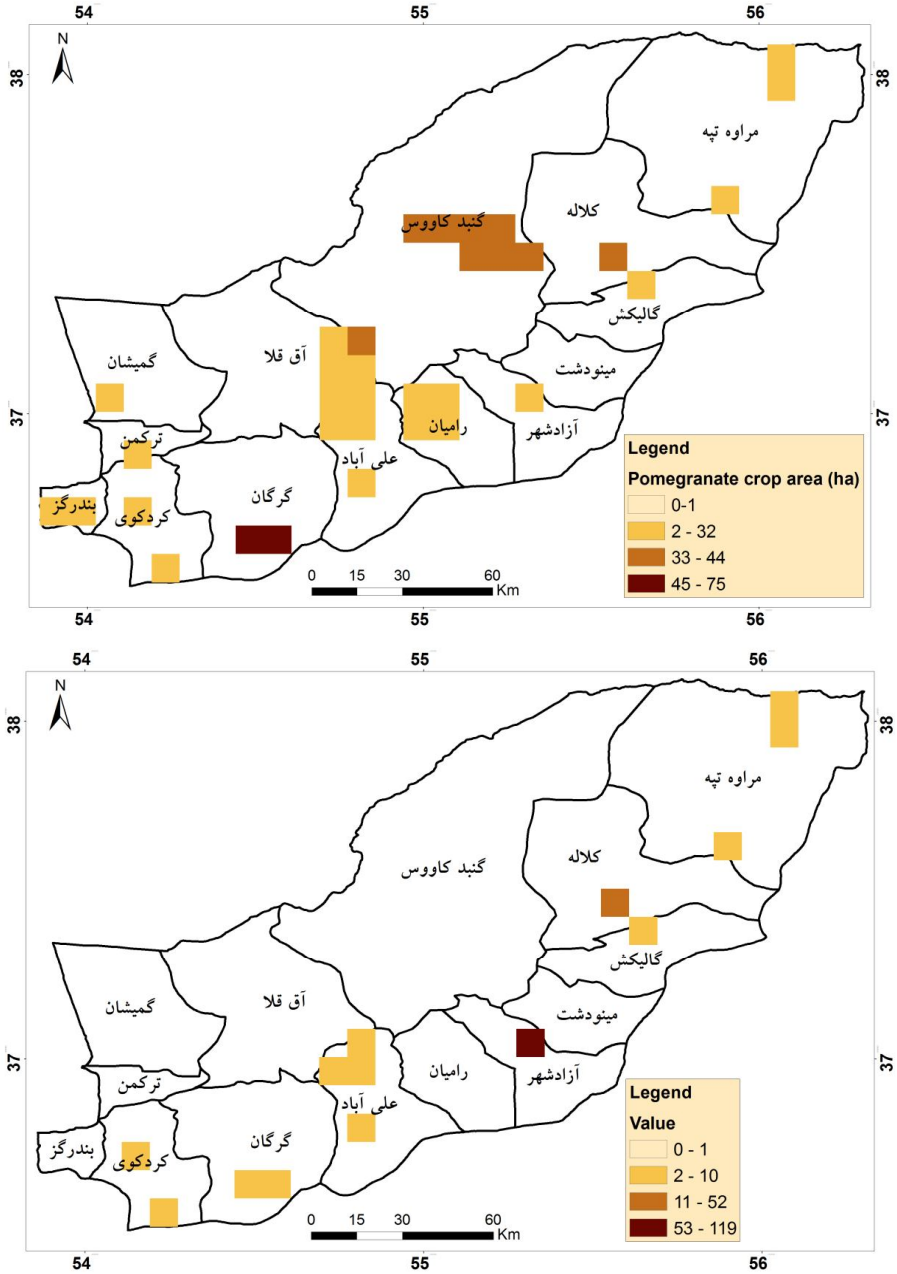

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
Olive crop area (ha)
0 - 1
2 - 37
38 - 128
129 - 337

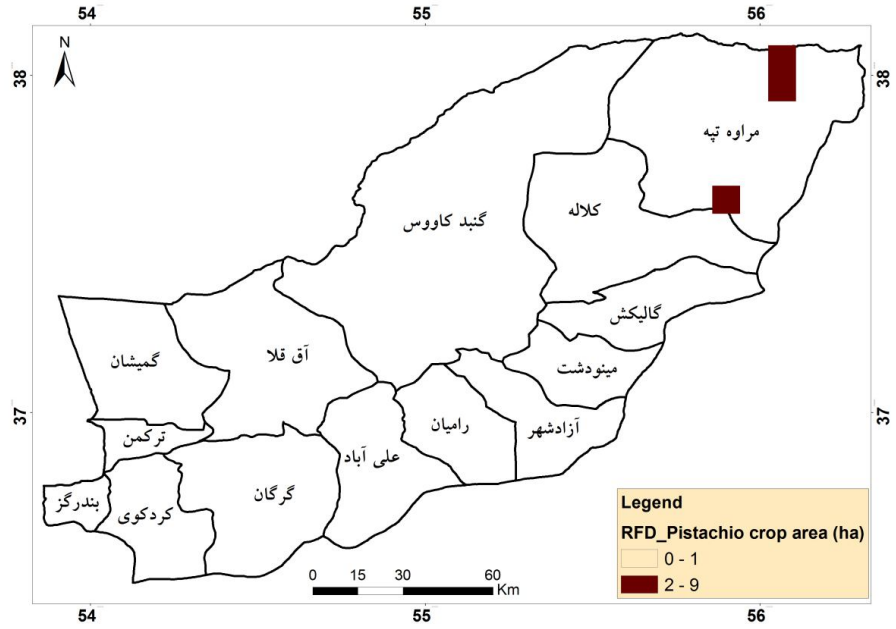

54
55
56
N
38
37
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
آق قلا
گمیشان
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
Orange crop area (ha)
0 - 1
2- 15
16 - 45
46 - 1,589

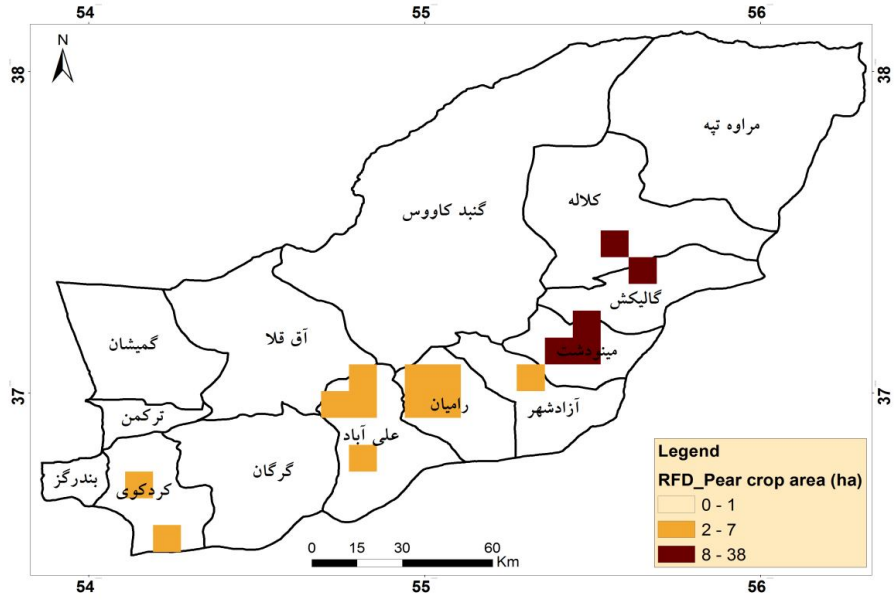

54
55
56
N
38
37
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
آق قلا
گمیشان
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
Peach crop area (ha)
0-1
2 - 69
70 - 639
640 - 1,356

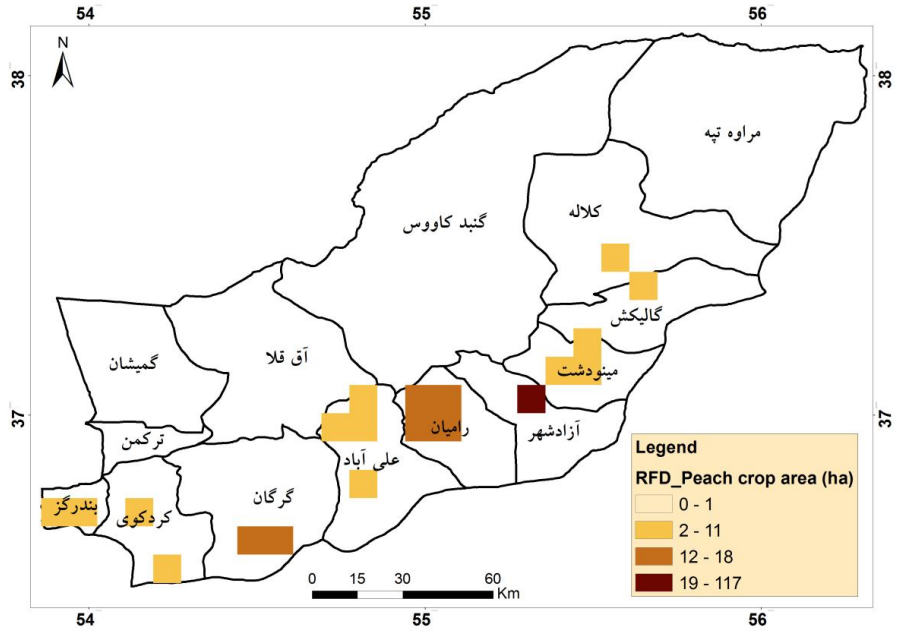

54
55
56
N
38
37
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60 Km
Legend
Pear crop area (ha)
0-1
2 - 20
21 - 28
29 - 59

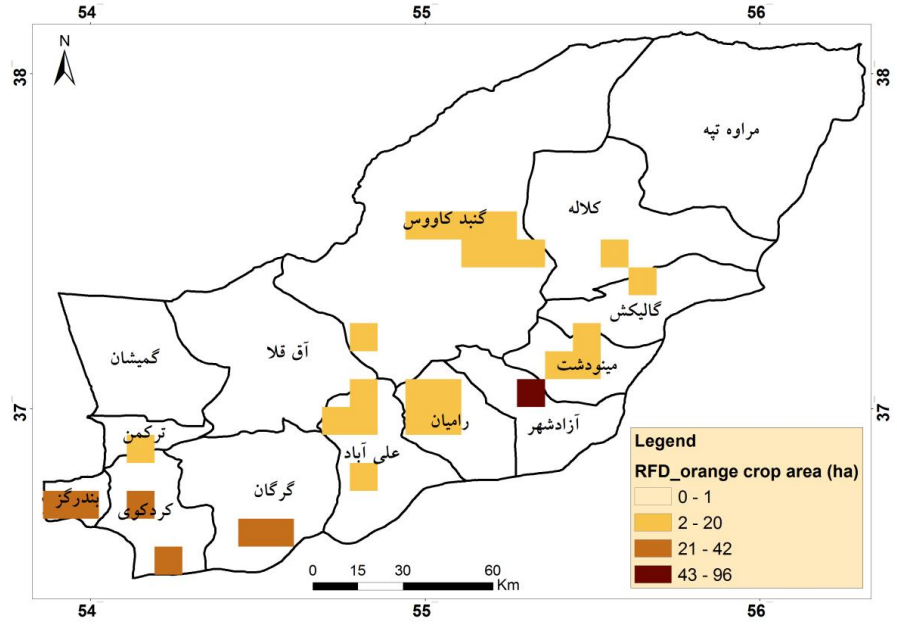

54
55
56
N
38
37
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60 Km
Legend
Pistachio crop area (ha)
0 - 1
2 - 3
4 - 22

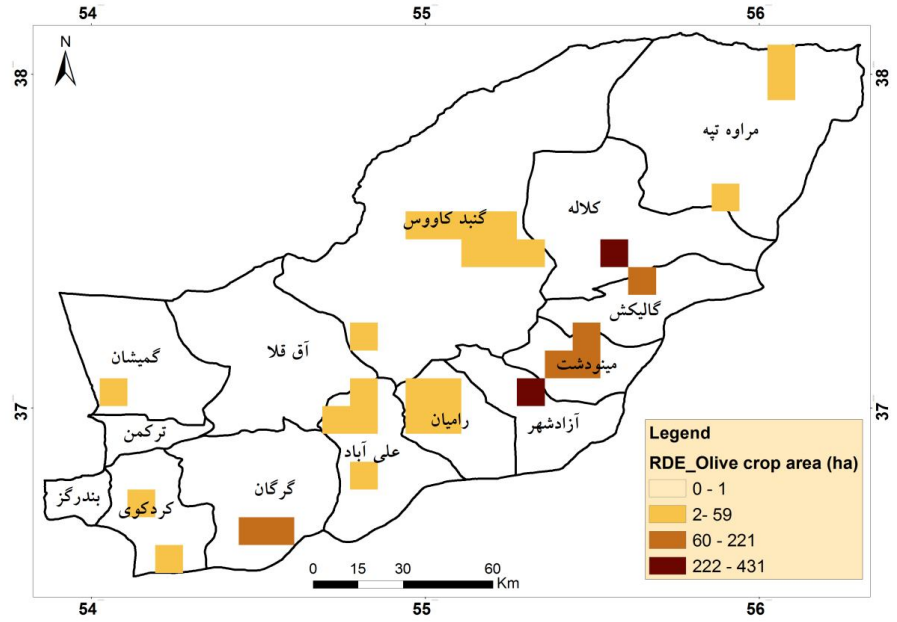

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
Pomegranate crop area (ha)
0-1
2 - 32
33 - 44
45 - 75
Legend
Value
0 - 1
2 - 10
11 - 52
53 - 119

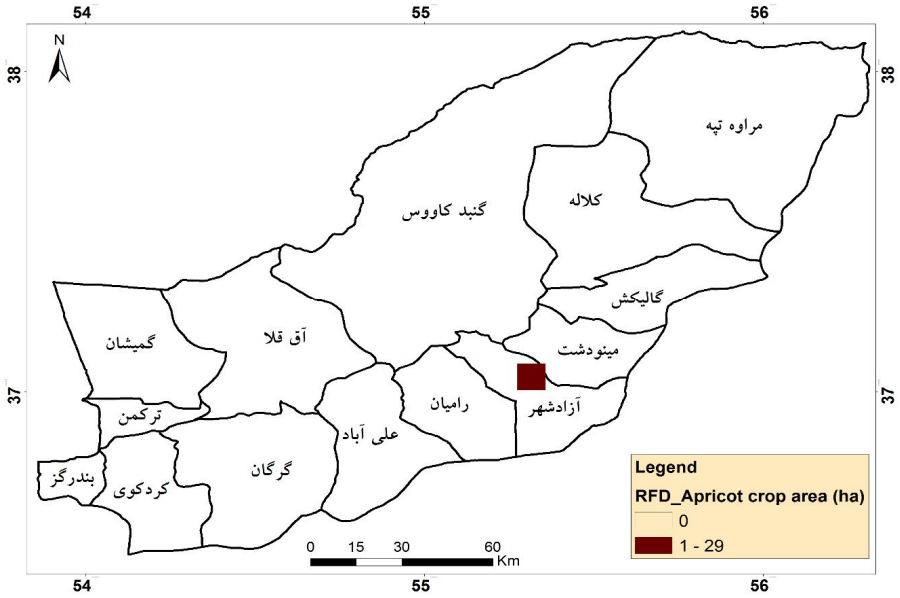

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
بندرگز
کردکوی
گرگان
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_Pistachio crop area (ha)
0 - 1
2 - 9

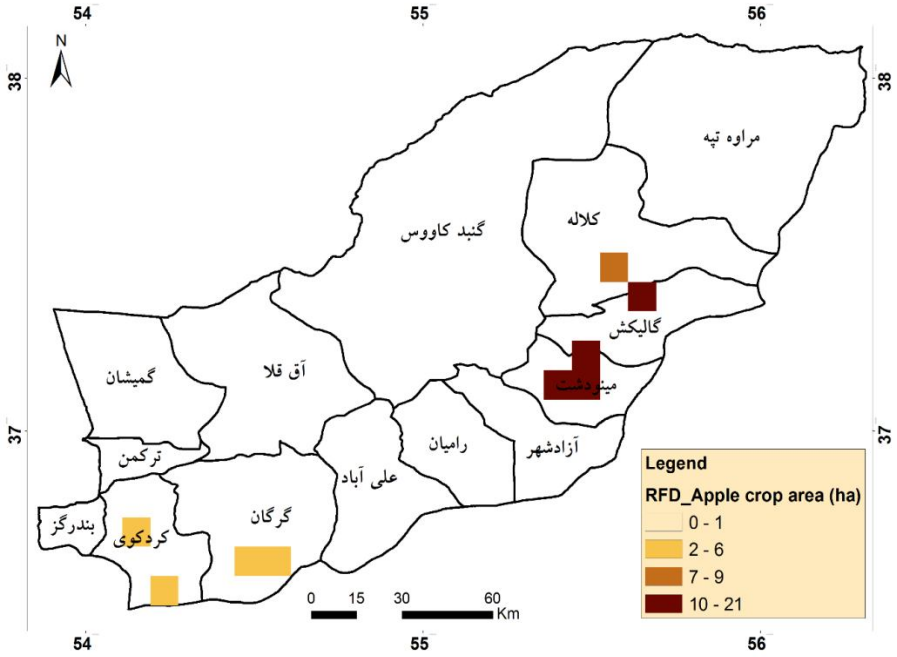

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
بندرگز
کردکوی
گرگان
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_Pear crop area (ha)
0 - 1
2 - 7
8 - 38

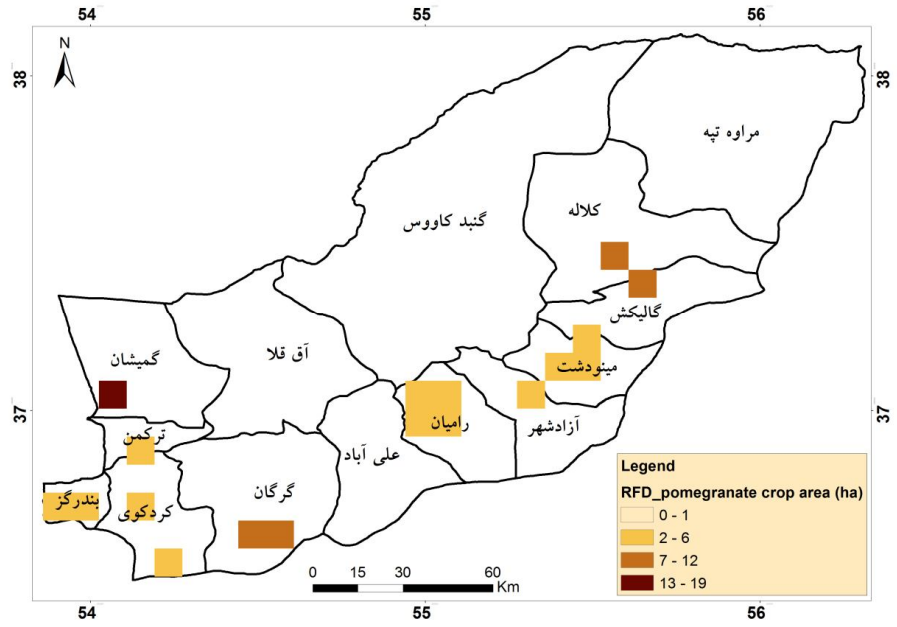

54
55
56
N
38
37
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_Peach crop area (ha)
0 - 1
2 - 11
12 - 18
19 - 117

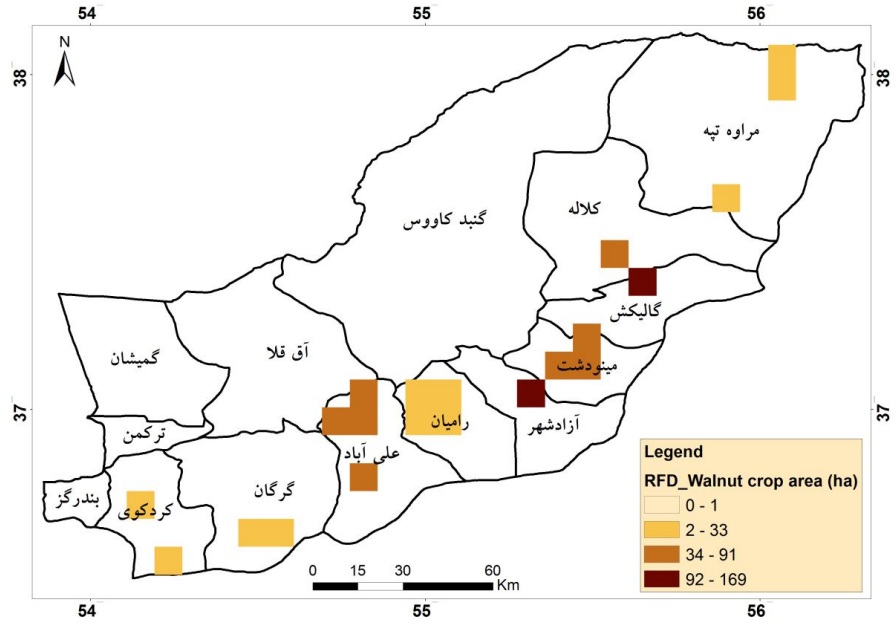

54
55
56
N
38
37
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_orange crop area (ha)
0 - 1
2 - 20
21 - 42
43 - 96


54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
RDE_Olive crop area (ha)
0 - 1
2- 59
60 - 221
222 - 431

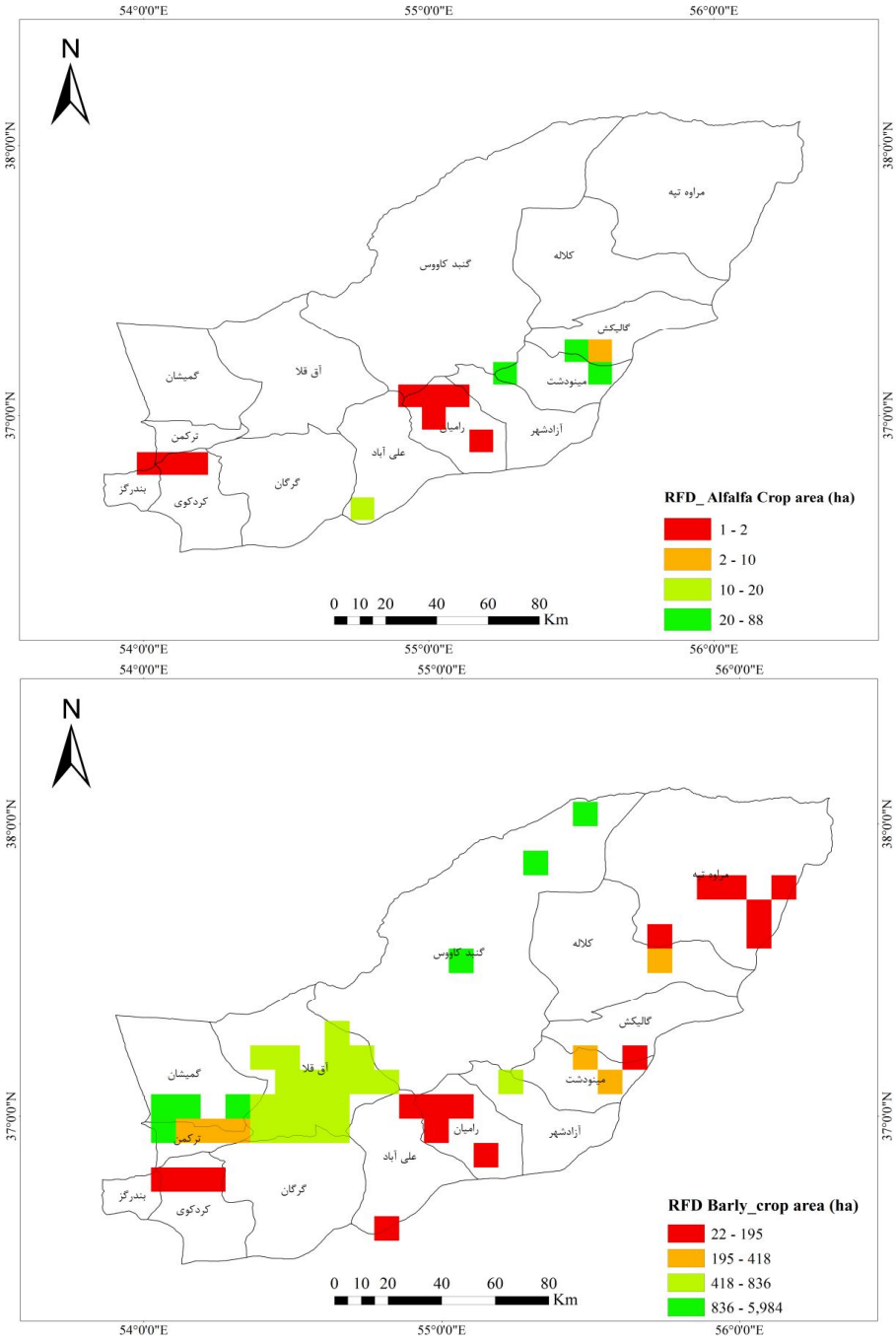

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_Apricot crop area (ha)
0
1 - 29

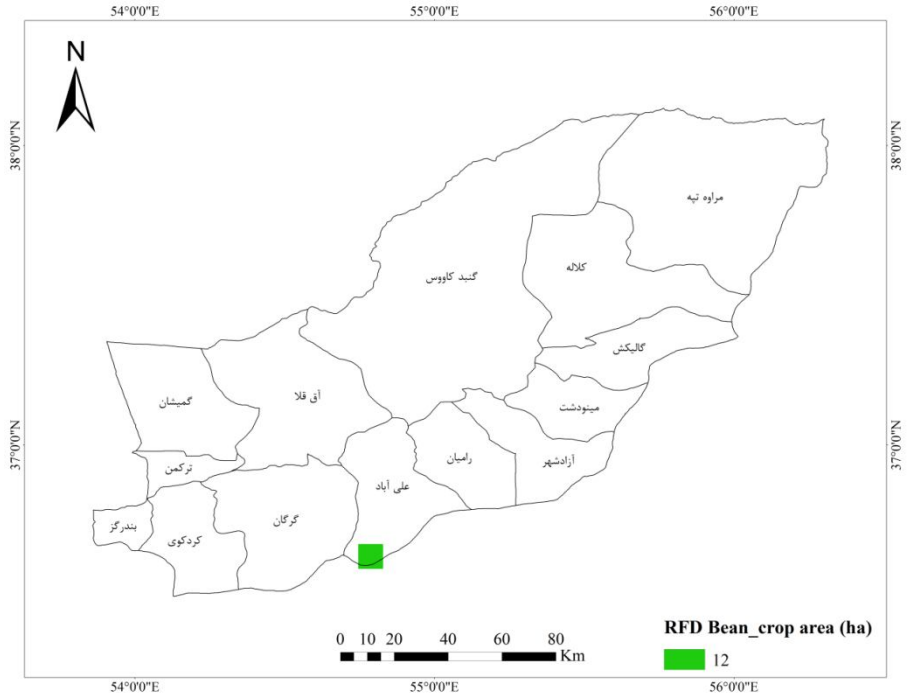

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_Apple crop area (ha)
0 - 1
2 - 6
7 - 9
10 - 21

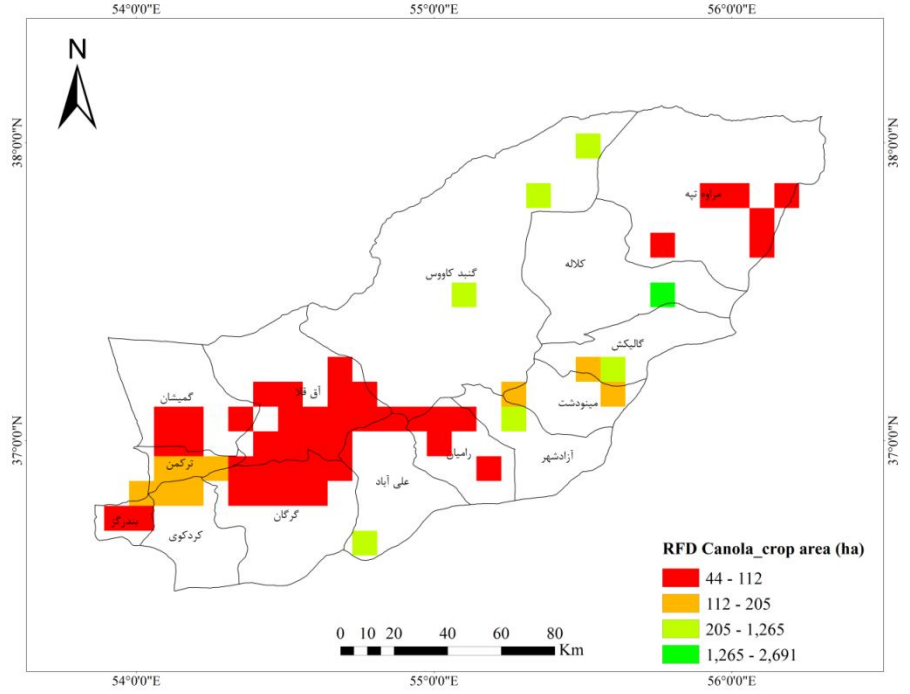

54
55
56
38
37
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
گمیشان
آق قلا
رامیان
آزادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 15 30 60
Km
Legend
RFD_pomegranate crop area (ha)
0 - 1
2 - 6
7 - 12
13 - 19

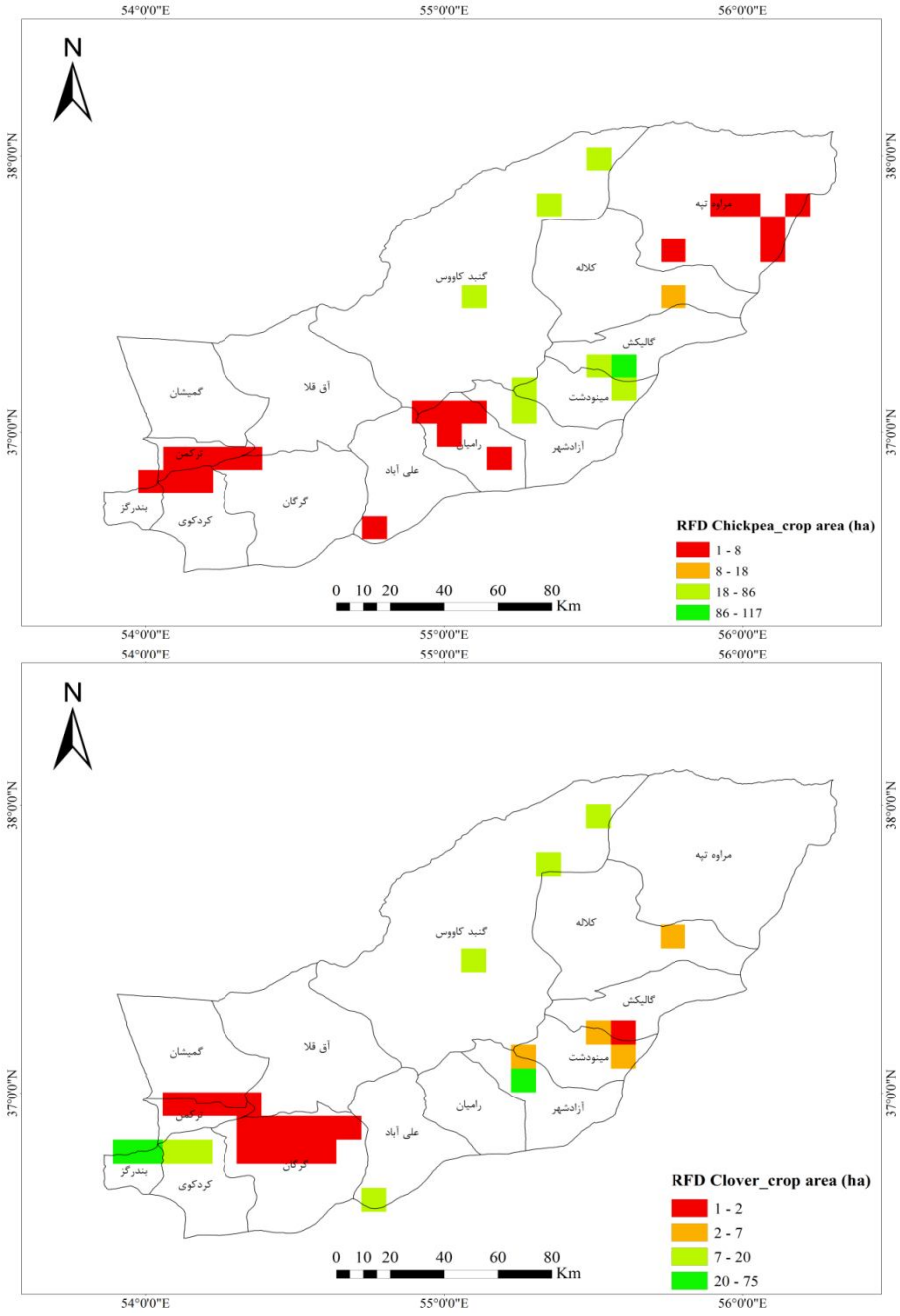


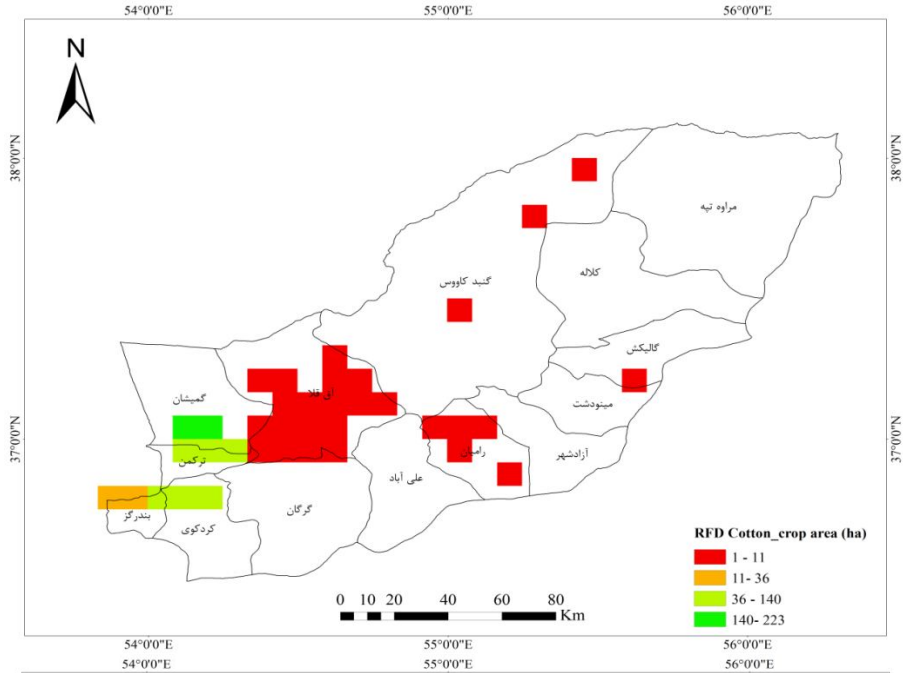
شکل ٤ پیوست- نقشه پراکنش سطح کشت محصولات باغی آبی و دیم (شامل ۱۹ نقشه)

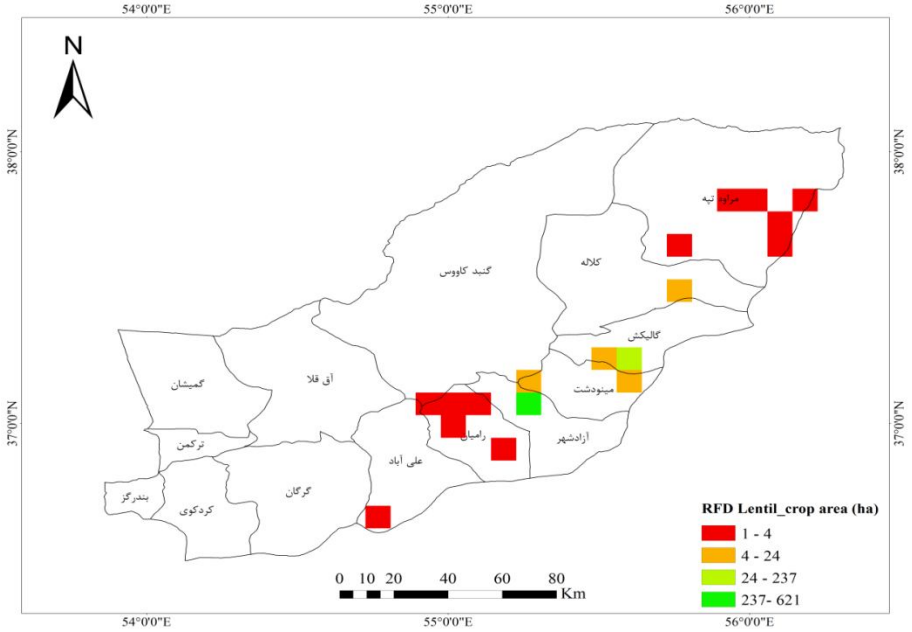

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
ترکمن
رامیان
آزادشهر
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
RFD_ Alfalfa Crop area (ha)
1 - 2
2 - 10
10 - 20
20 - 88
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Barly_crop area (ha)
22 - 195
195 - 418
418 - 836
836 - 5,984

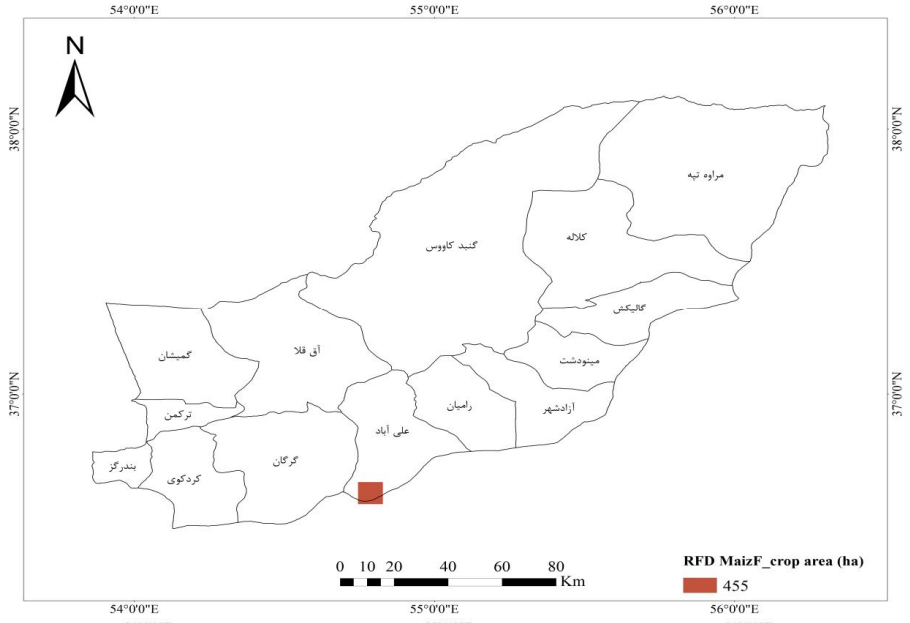

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
گرگان
آق قلا
گمیشان
ترکمن
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Bean_crop area (ha)
12

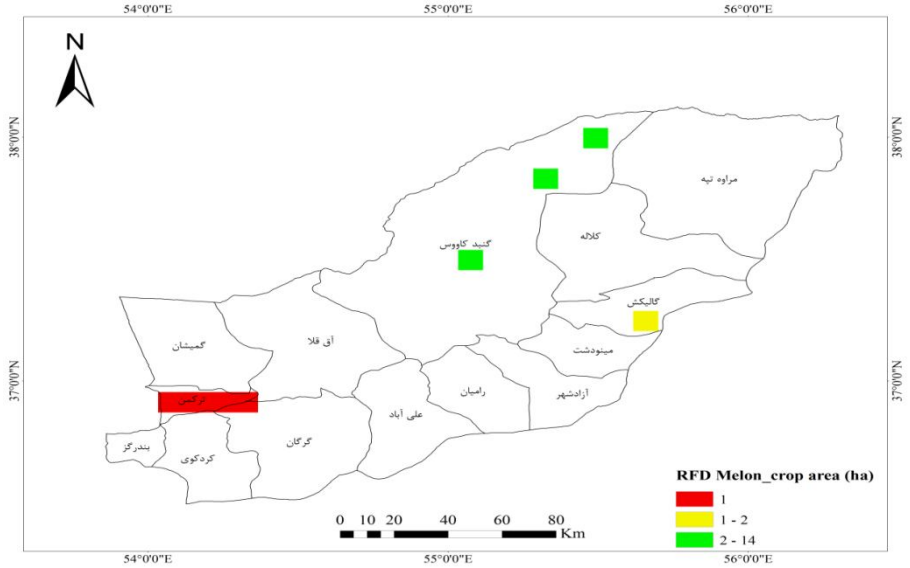

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
گرگان
آق قلا
گمیشان
ترکمن
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Canola_crop area (ha)
44 - 112
112 - 205
205 - 1,265
1,265 - 2,691

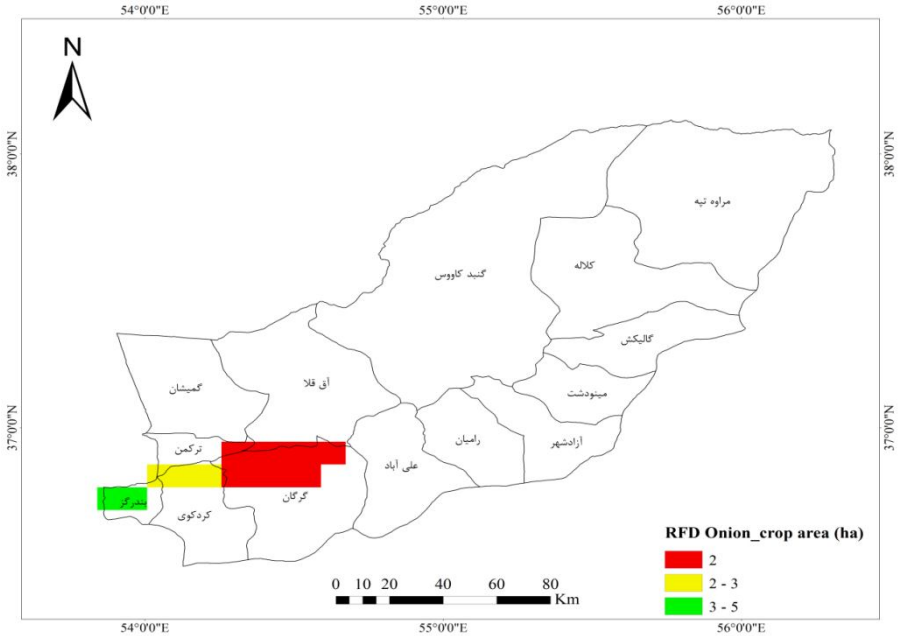

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
آزادشهر
علی آباد
گرگان
ترکمن
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Chickpea_crop area (ha)
1 - 8
8 - 18
18 - 86
86 - 117
RFD Clover_crop area (ha)
1 - 2
2 - 7
7 - 20
20 - 75

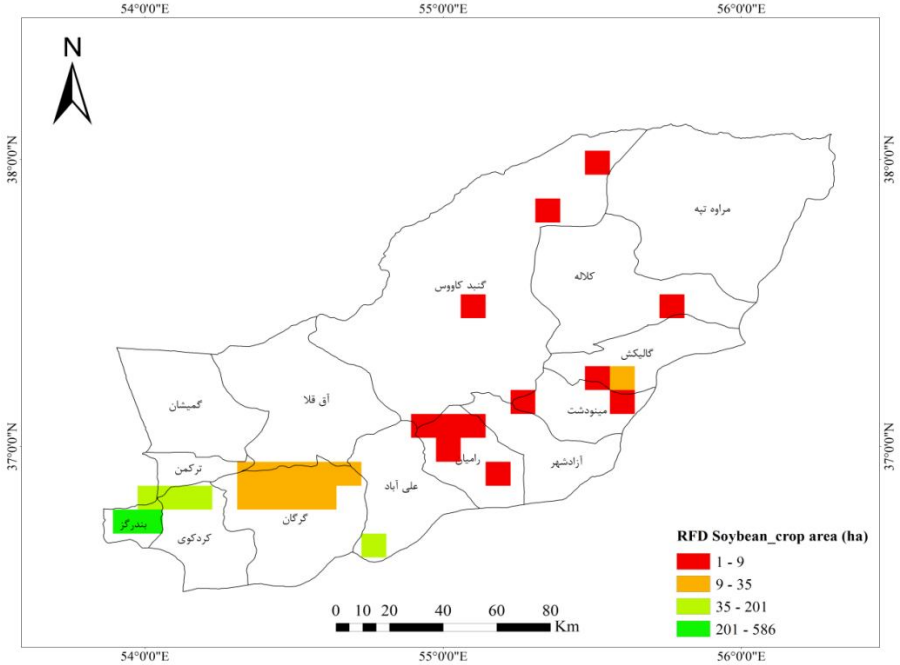

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
گمیشان
آق قلا
ترکمن
رامیان
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Cotton_crop area (ha)
1 - 11
11- 36
36 - 140
140- 223

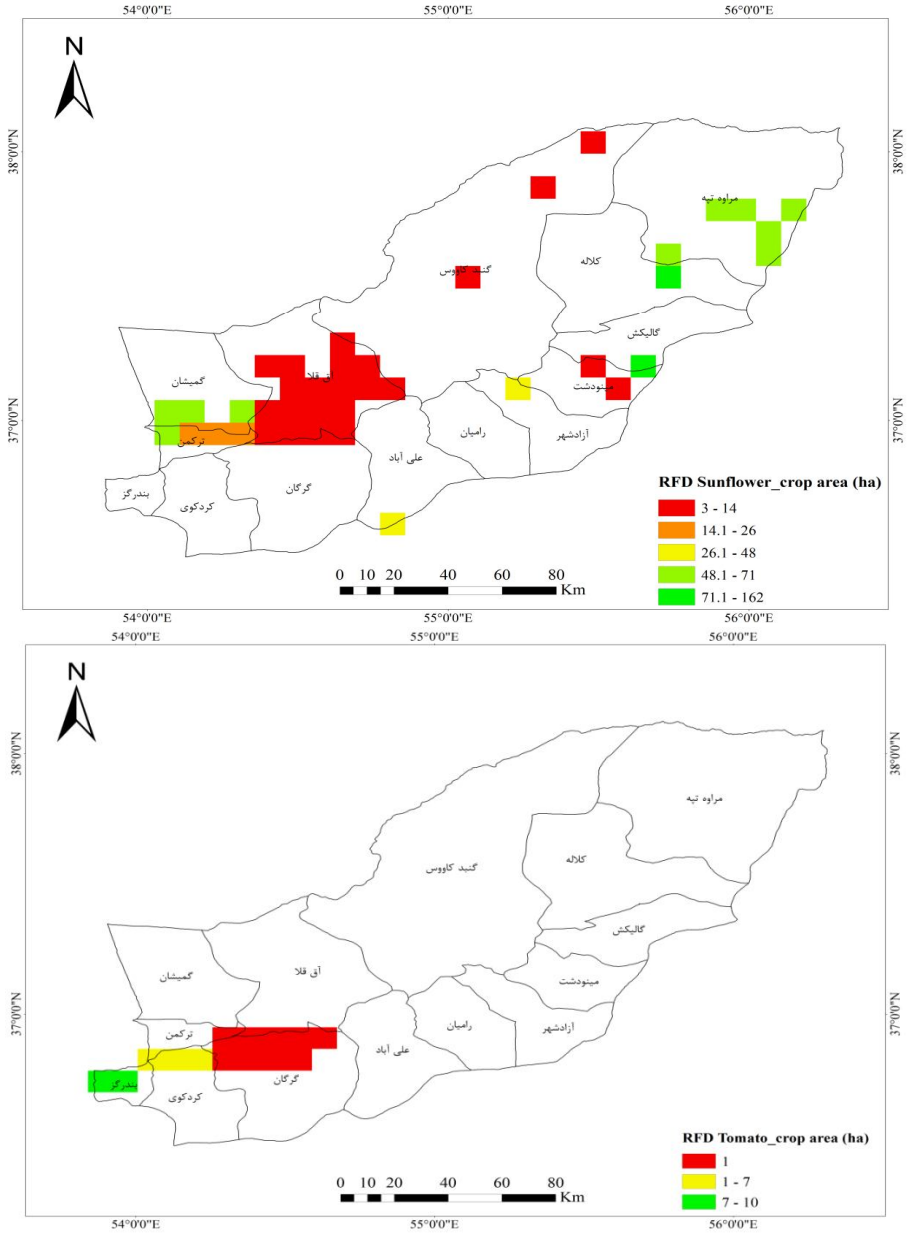

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
گمیشان
آق قلا
ترکمن
رامیان
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Lentil_crop area (ha)
1 - 4
4 - 24
24 - 237
237- 621

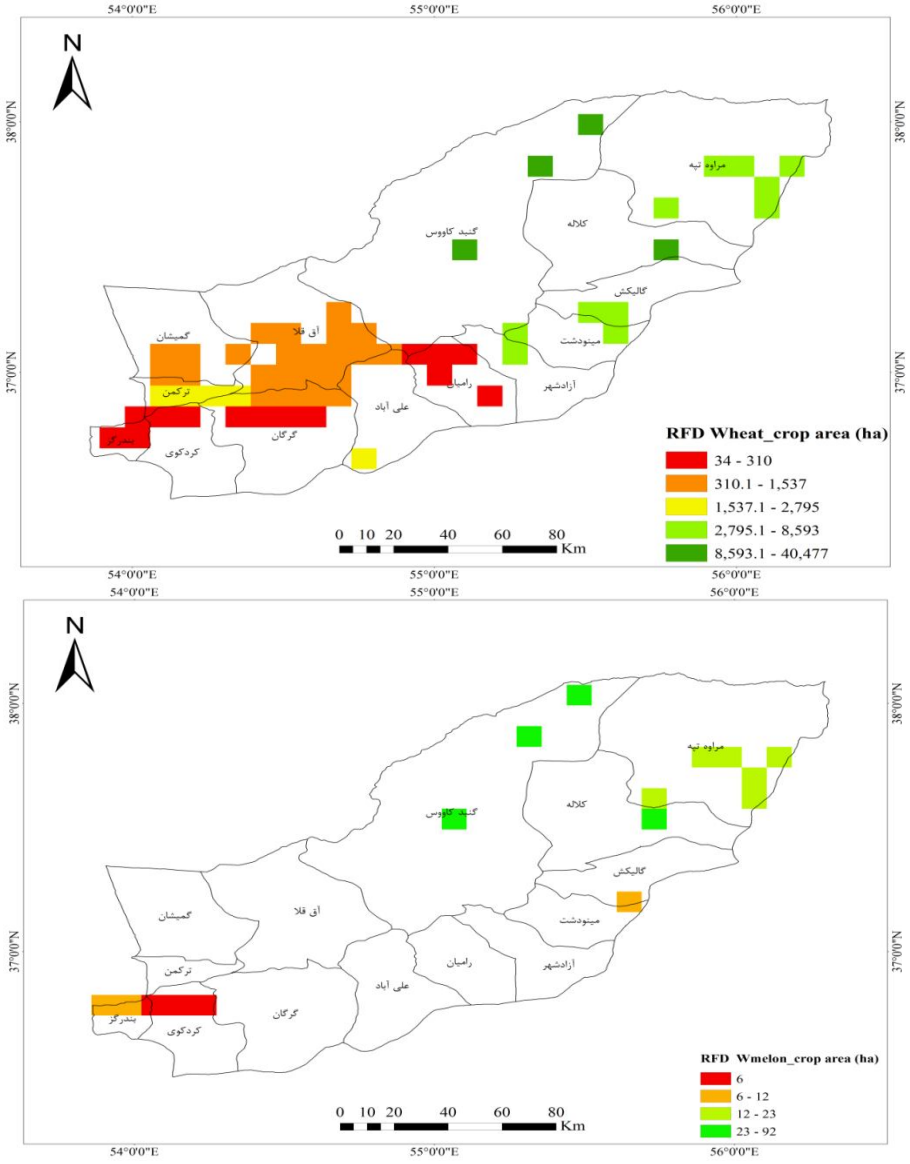

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
ازادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD MaizF_crop area (ha)
455


54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
ازادشهر
ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Melon_crop area (ha)
1
1 - 2
2 - 14

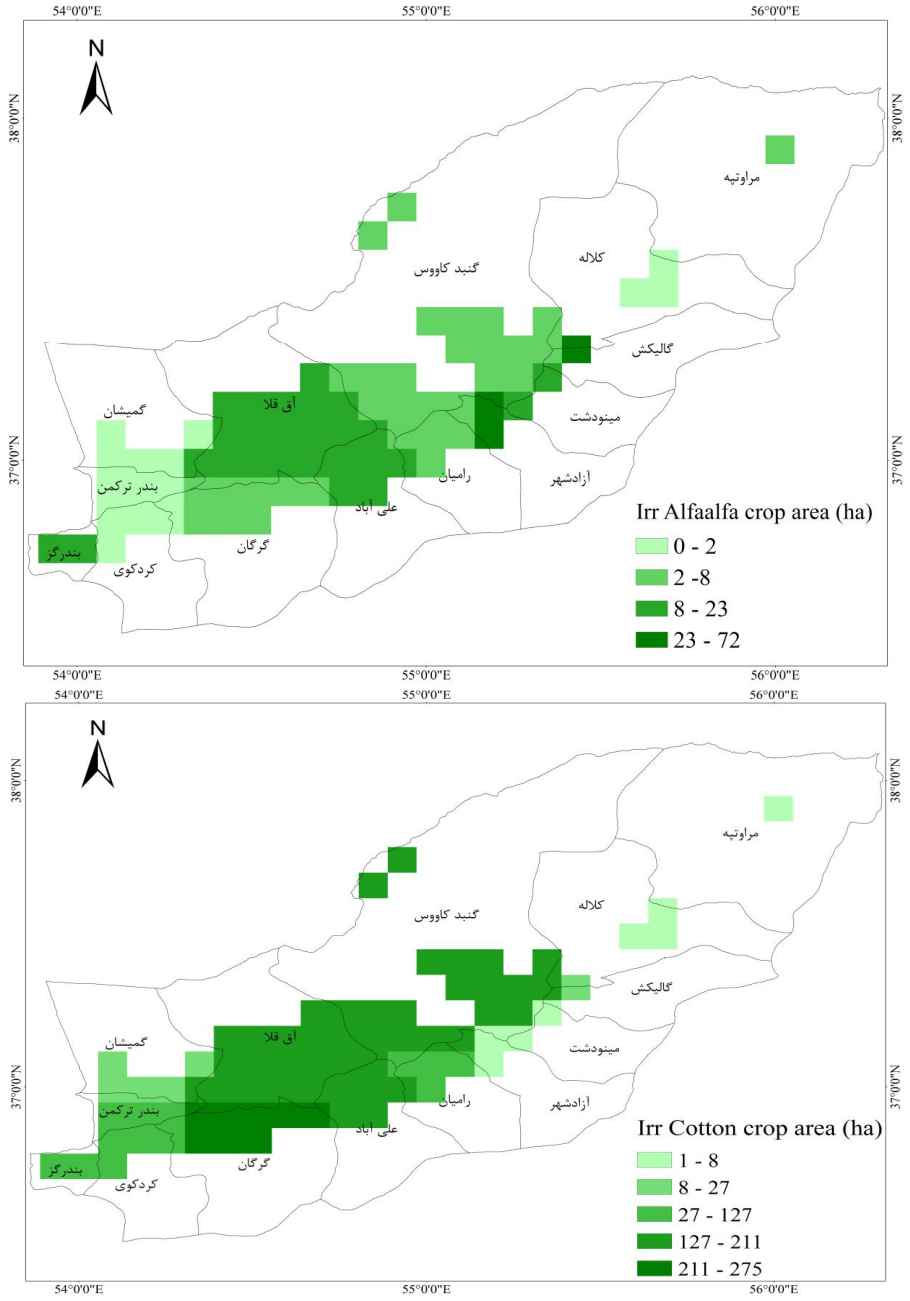

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
ازادشهر
علی آباد
ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Onion_crop area (ha)
2
2 - 3
3 - 5

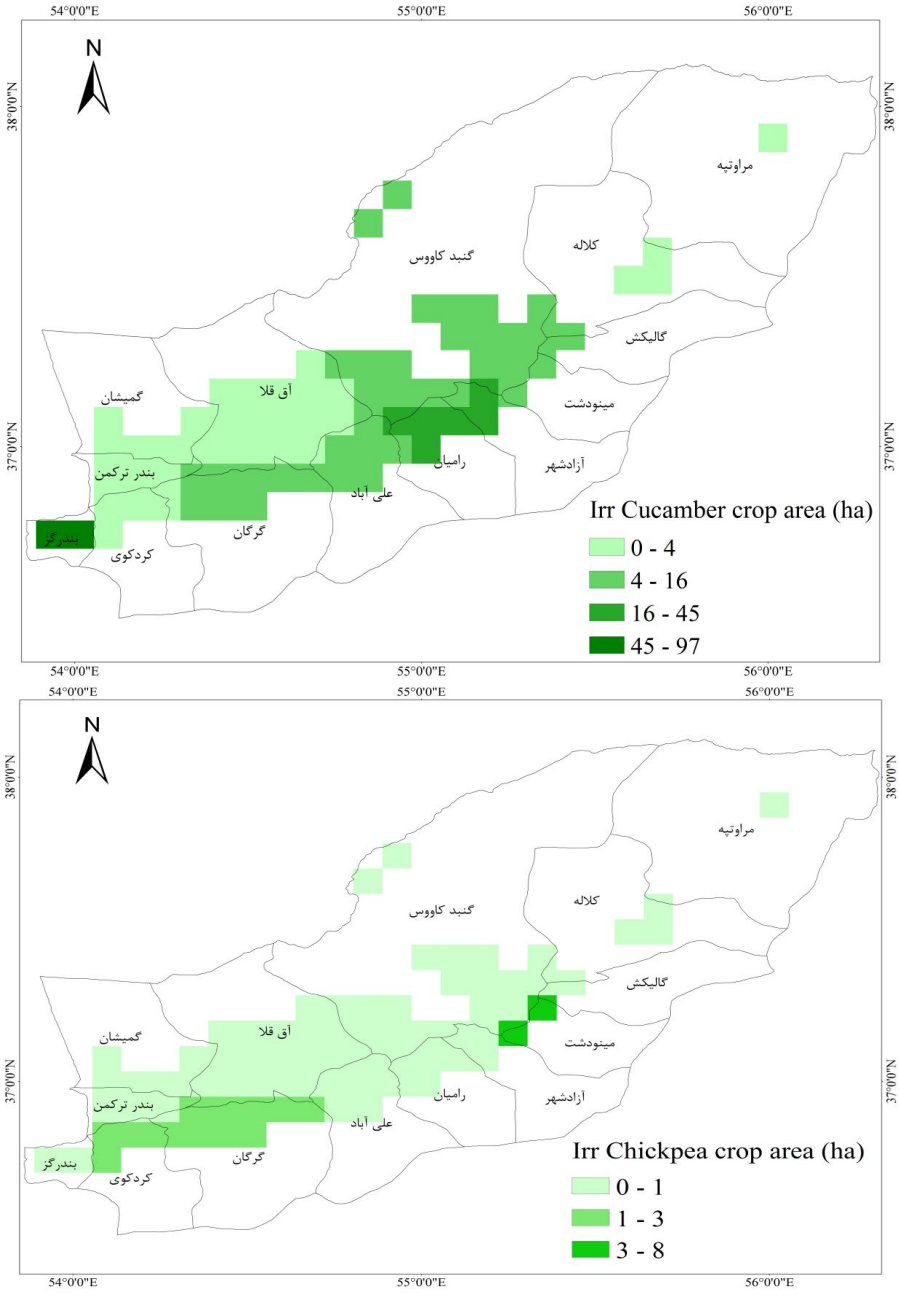

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
رامیان
ازادشهر
علی آباد
ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Soybean_crop area (ha)
1 - 9
9 - 35
35 - 201
201 - 586

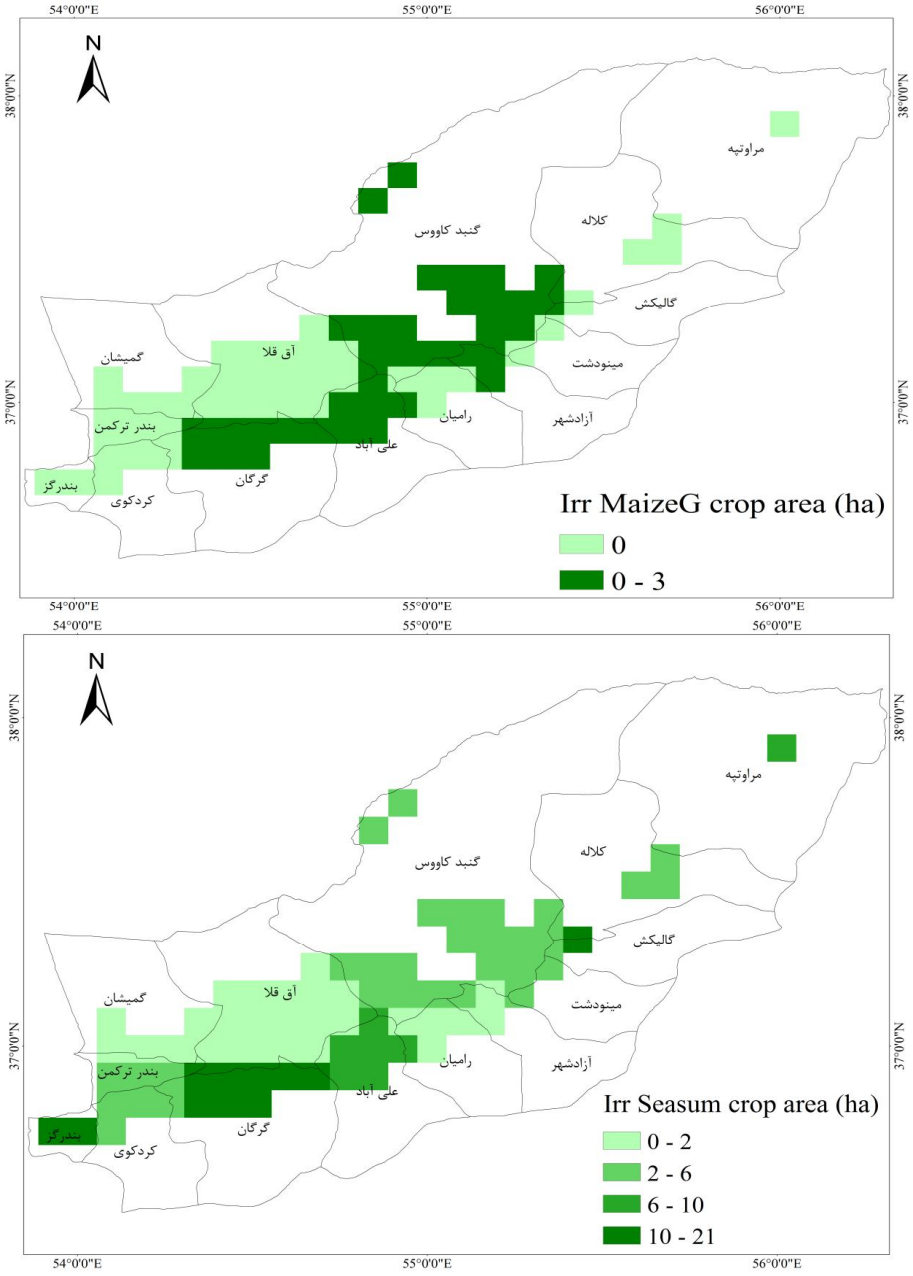

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوه تپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
ترکمن
رامیان
آزادشهر
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
0 10 20 40 60 80
Km
RFD Sunflower_crop area (ha)
3 - 14
14.1 - 26
26.1 - 48
48.1 - 71
71.1 - 162
RFD Tomato_crop area (ha)
1
1 - 7
7 - 10

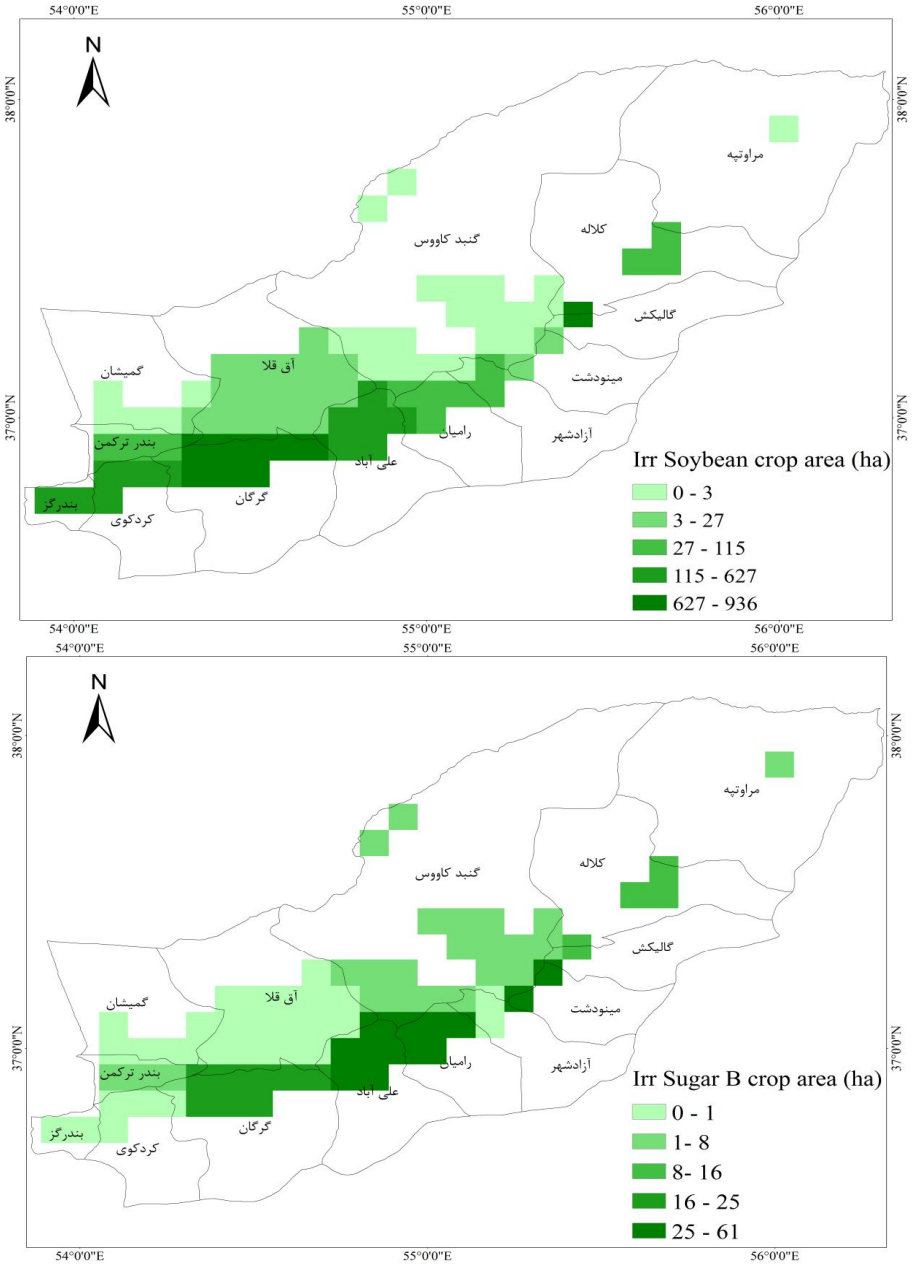


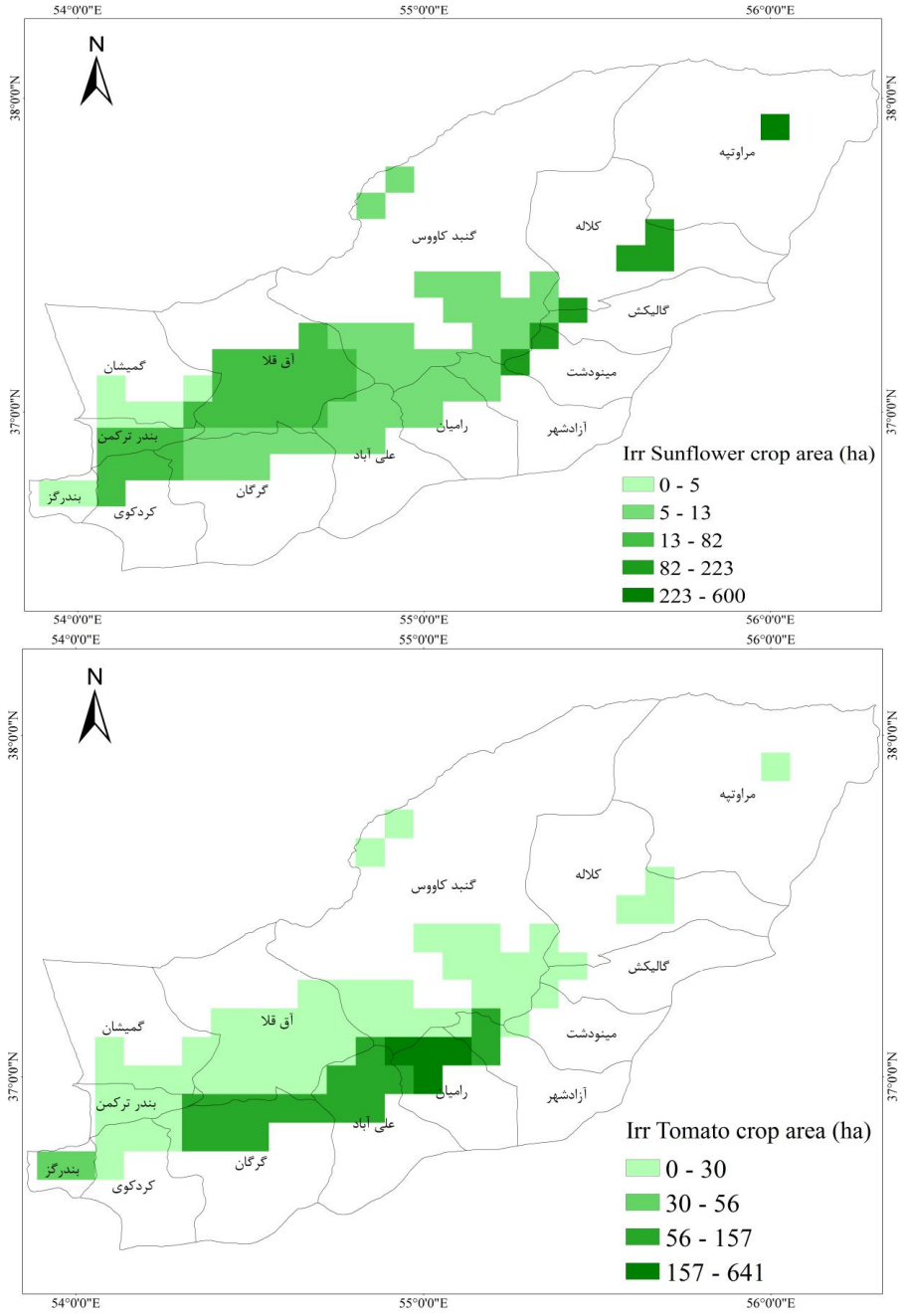
شکل پیوست ۵- نقشه‌های پراکنش سطح کشت محصولات زراعی دیم

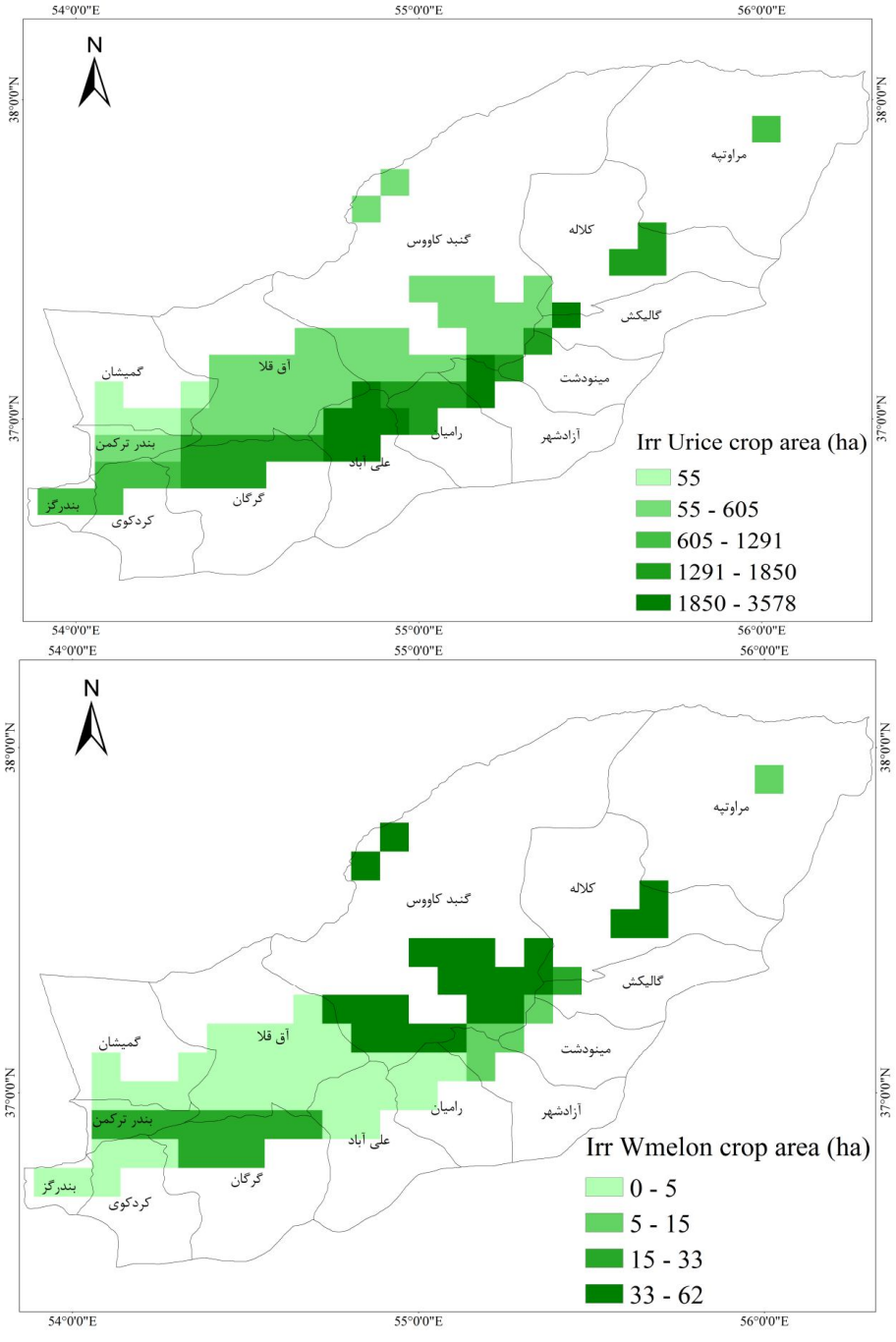

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
اق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Alfaalfa crop area (ha)
0 - 2
2 -8
8 - 23
23 - 72
Irr Cotton crop area (ha)
1 - 8
8 - 27
27 - 127
127 - 211
211 - 275

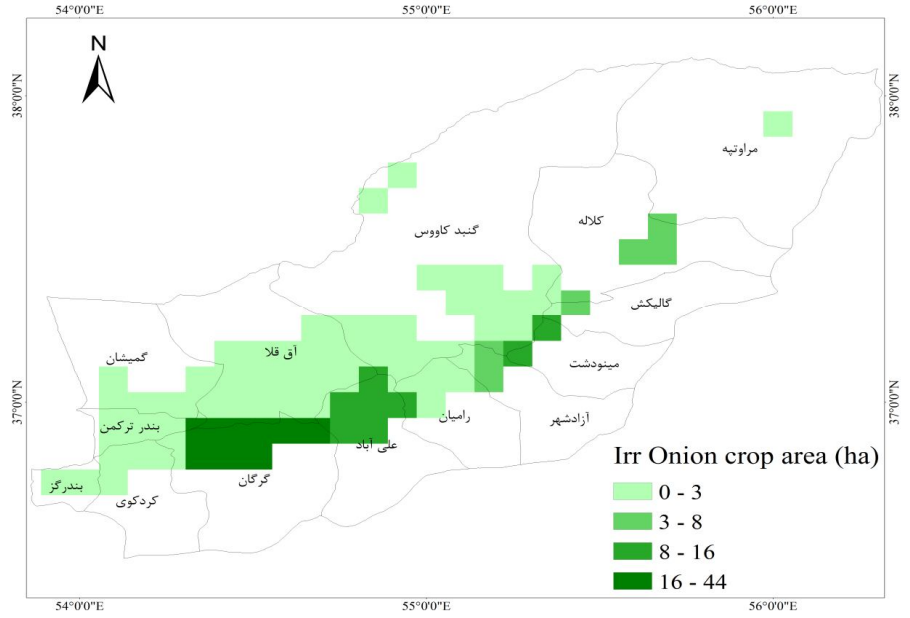

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Cucamber crop area (ha)
0 - 4
4 - 16
16 - 45
45 - 97
Irr Chickpea crop area (ha)
0 - 1
1 - 3
3 - 8

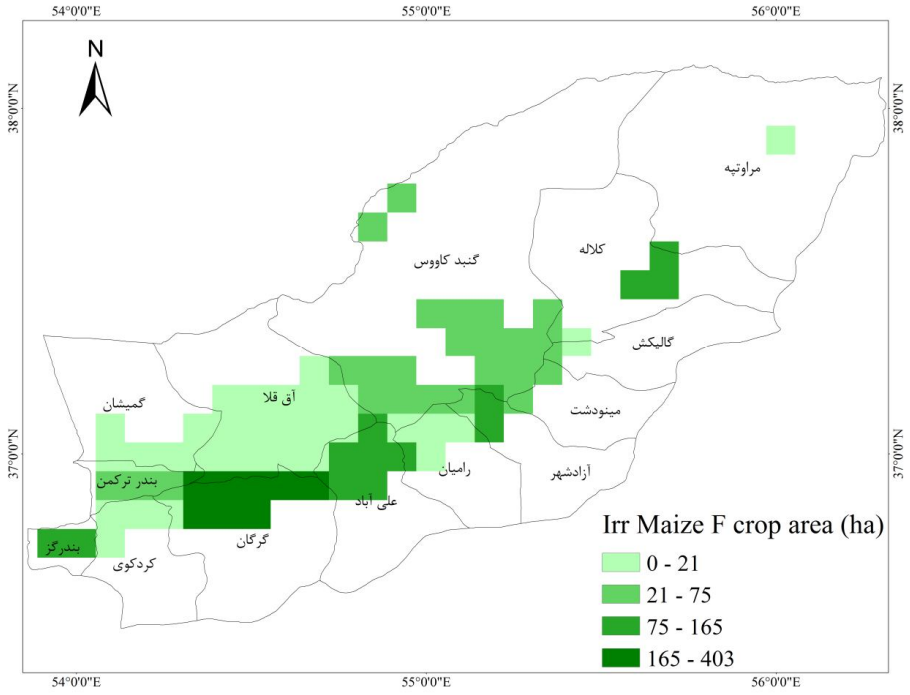

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr MaizeG crop area (ha)
0
0 - 3
Irr Seasum crop area (ha)
0 - 2
2 - 6
6 - 10
10 - 21

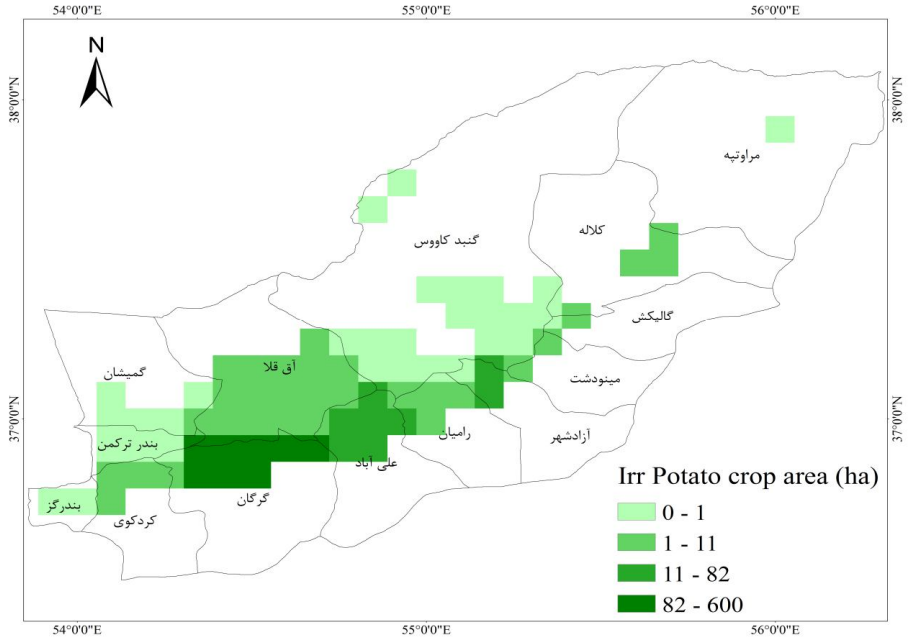

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Soybean crop area (ha)
0 - 3
3 - 27
27 - 115
115 - 627
627 - 936
Irr Sugar B crop area (ha)
0 - 1
1- 8
8- 16
16 - 25
25 - 61

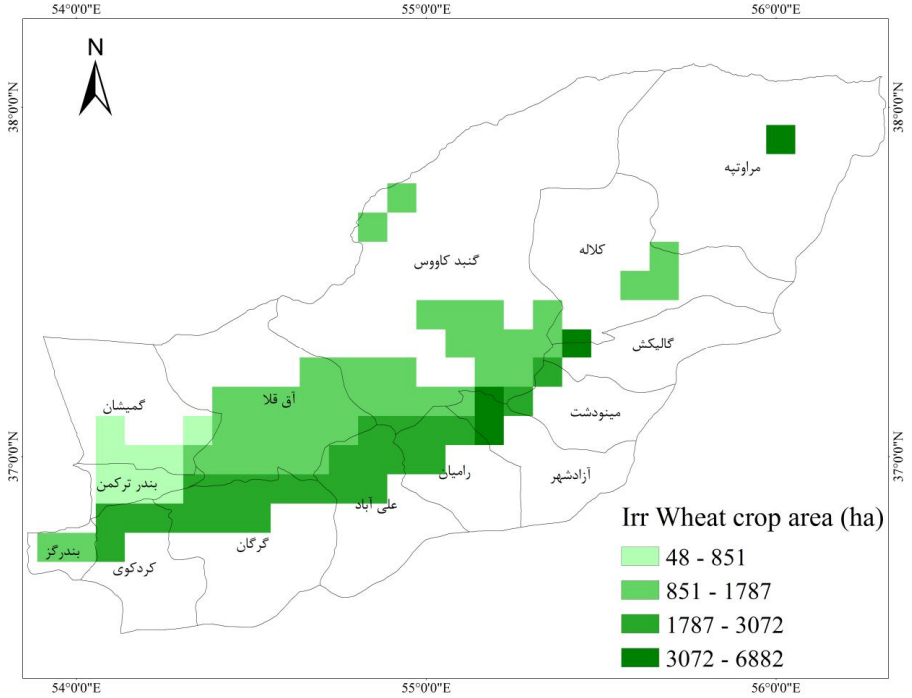

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Sunflower crop area (ha)
0 - 5
5 - 13
13 - 82
82 - 223
223 - 600
Irr Tomato crop area (ha)
0 - 30
30 - 56
56 - 157
157 - 641

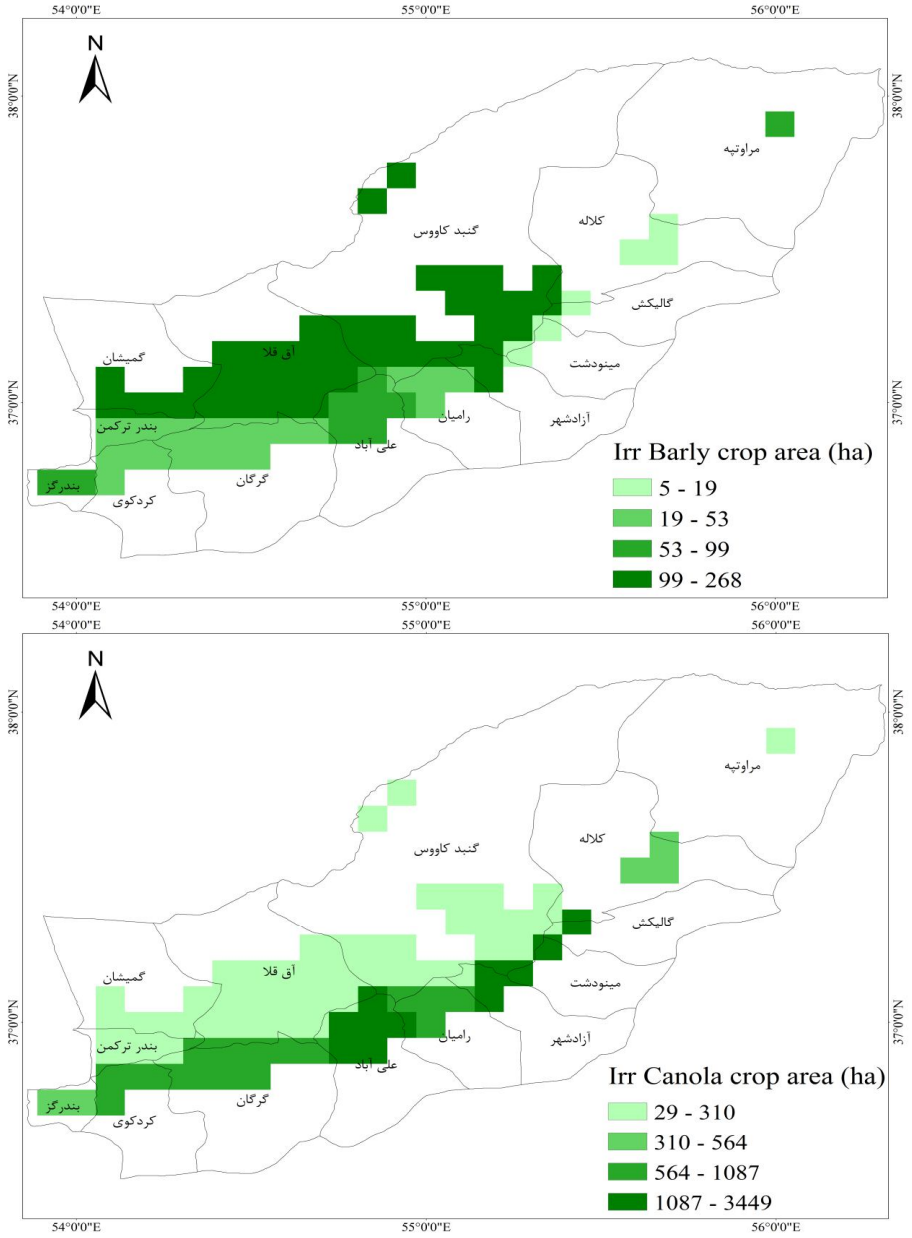

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Urice crop area (ha)
55
55 - 605
605 - 1291
1291 - 1850
1850 - 3578
Irr Wmelon crop area (ha)
0 - 5
5 - 15
15 - 33
33 - 62

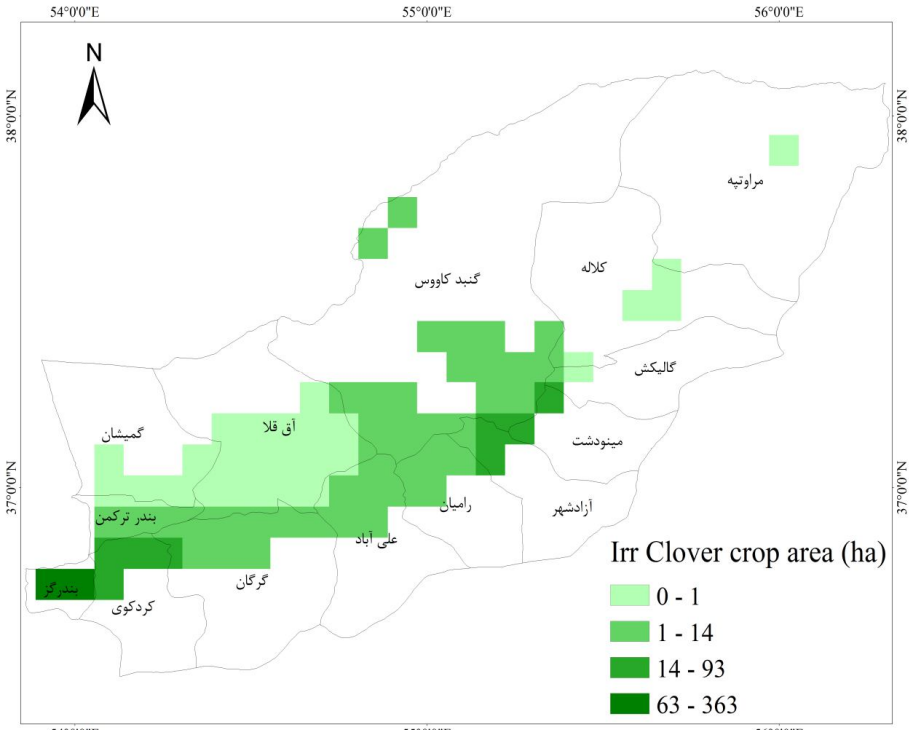

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Onion crop area (ha)
0 - 3
3 - 8
8 - 16
16 - 44

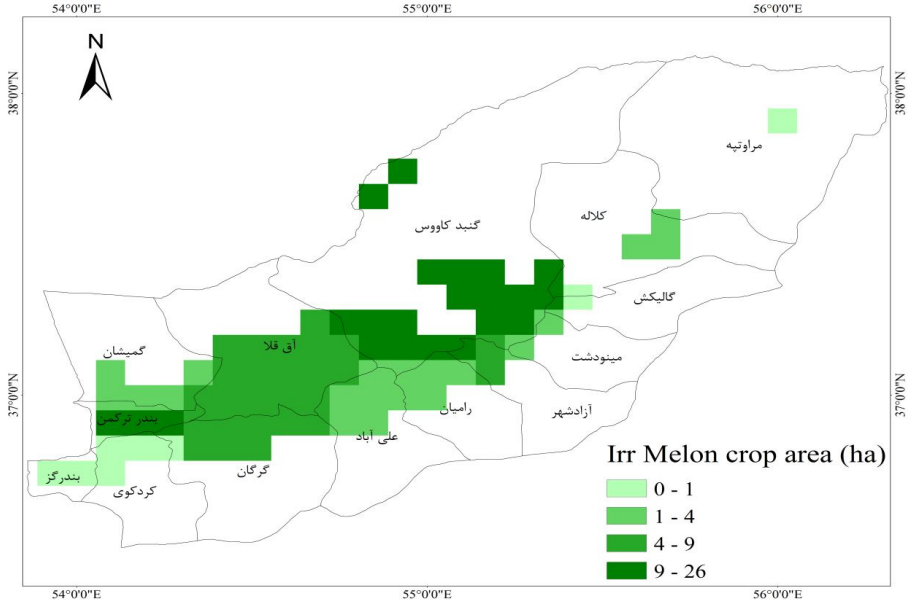

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Maize F crop area (ha)
0 - 21
21 - 75
75 - 165
165 - 403

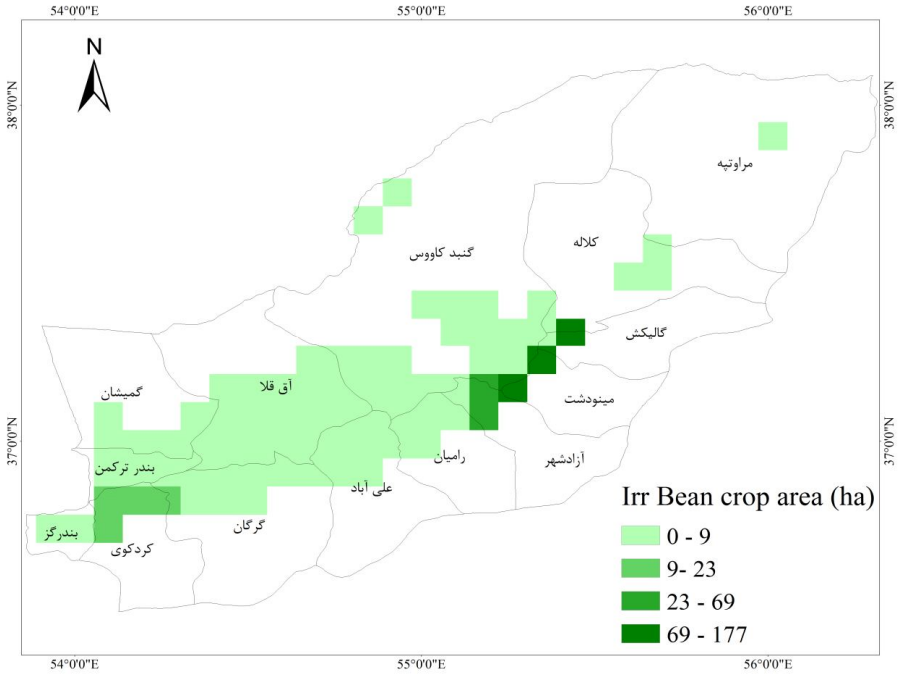

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Potato crop area (ha)
0 - 1
1 - 11
11 - 82
82 - 600


54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Wheat crop area (ha)
48 - 851
851 - 1787
1787 - 3072
3072 - 6882

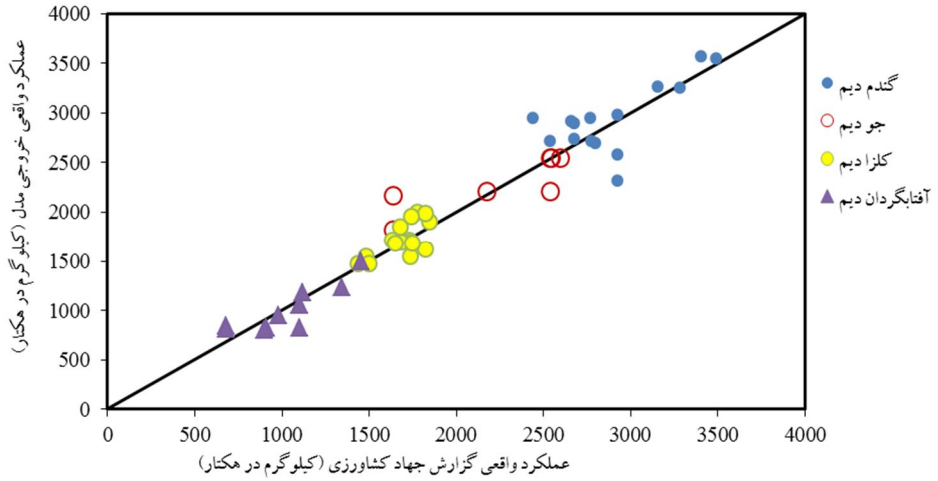

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آزادشهر
رامیان
علی آباد
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Barly crop area (ha)
5 - 19
19 - 53
53 - 99
99 - 268
Irr Canola crop area (ha)
29 - 310
310 - 564
564 - 1087
1087 - 3449

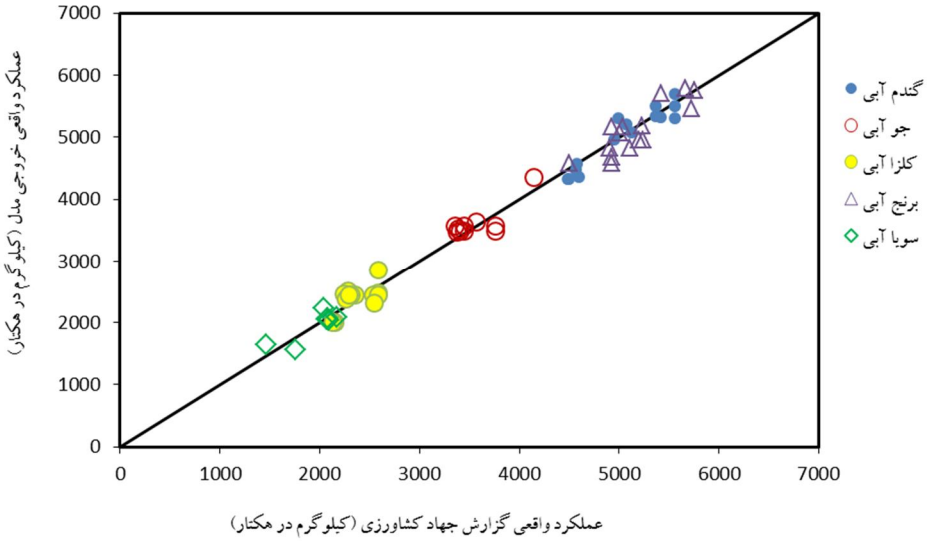

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
آق قلا
گمیشان
مینودشت
رامیان
آزادشهر
بندر ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Clover crop area (ha)
0 - 1
1 - 14
14 - 93
63 - 363

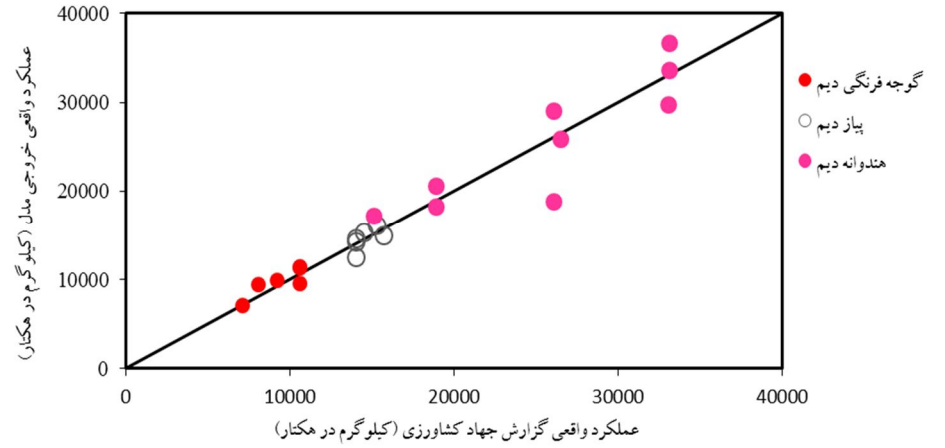

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
گنبد کاووس
کلاله
گالیکش
آق قلا
گمیشان
مینودشت
رامیان
آزادشهر
بندر ترکمن
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Melon crop area (ha)
0 - 1
1 - 4
4 - 9
9 - 26

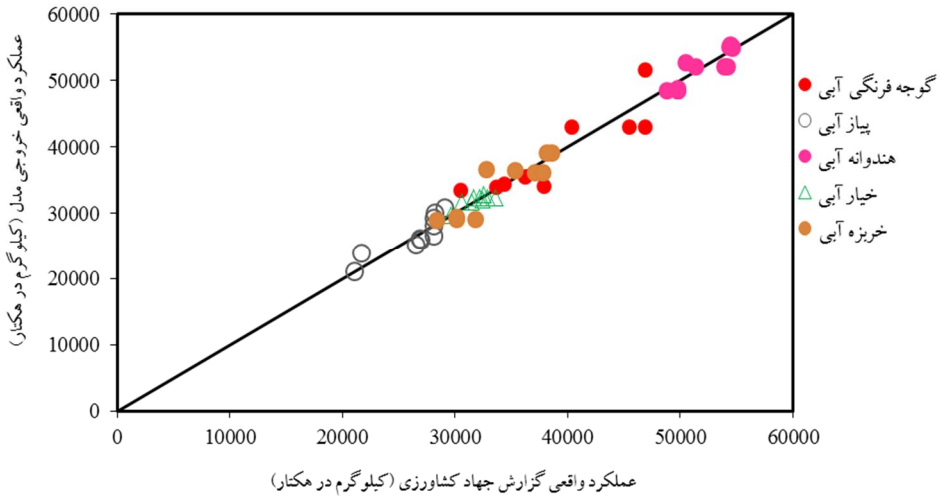

54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
N
مراوتپه
کلاله
گنبد کاووس
گالیکش
مینودشت
آق قلا
گمیشان
بندر ترکمن
رامیان
آزادشهر
علی آباد
گرگان
بندرگز
کردکوی
Irr Bean crop area (ha)
0 - 9
9- 23
23 - 69
69 - 177

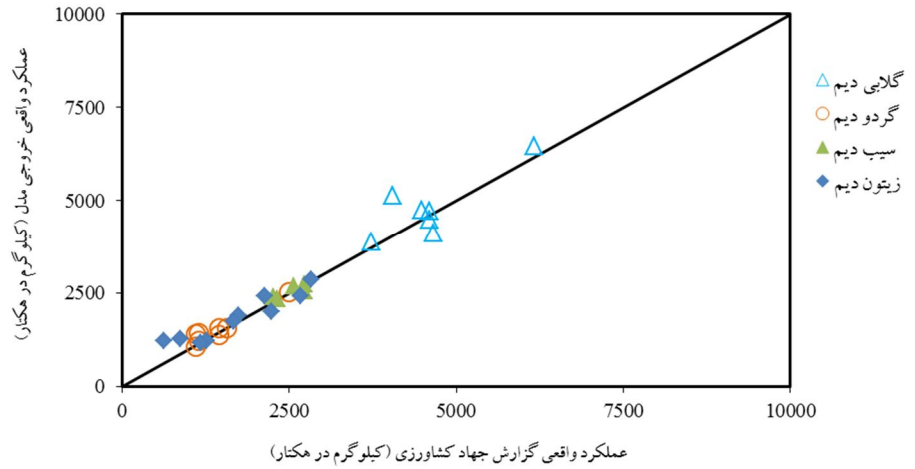
پیوست ۵- مقایسه عملکرد مدل کالیبره شده در برابر عملکرد کشاورزان

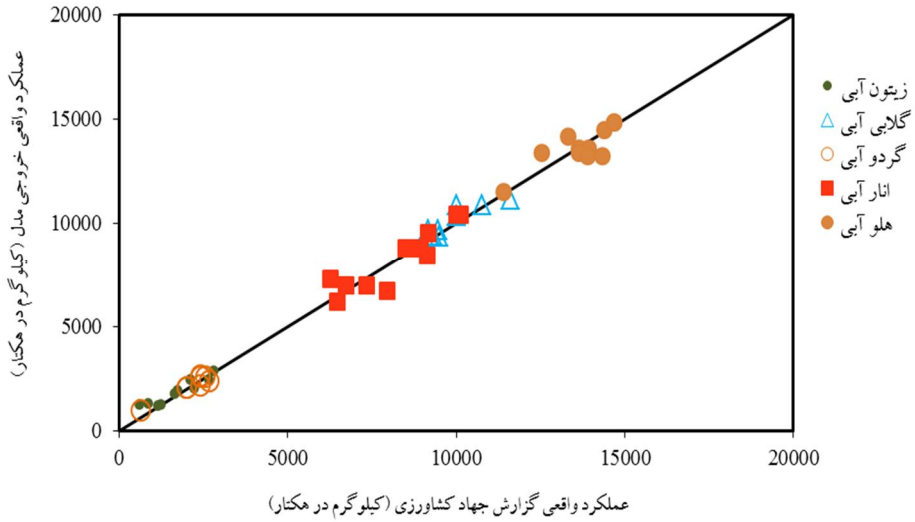





40000
30000
20000
10000
0
0
10000
20000
30000
40000
عملکرد واقعی خروجی مدل (کیلوگرم در هکتار)
عملکرد واقعی گزارش جهاد کشاورزی (کیلوگرم در هکتار)
گوجه فرنگی دیم
پیاز دیم
هندوانه دیم


60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
0
10000
20000
30000
40000
50000
60000
عملکرد واقعی خروجی مدل (کیلوگرم در هکتار)
عملکرد واقعی گزارش جهاد کشاورزی (کیلوگرم در هکتار)
گوجه فرنگی آبی
پیاز آبی
هندوانه آبی
خیار آبی
خربزه آبی


10000
7500
5000
2500
0
0
2500
5000
7500
10000
عملکرد واقعی خروجی مدل (کیلوگرم در هکتار)
عملکرد واقعی گزارش جهاد کشاورزی (کیلوگرم در هکتار)
گلابی دیم
گردو دیم
سیب دیم
زیتون دیم


20000
15000
10000
5000
0
0
5000
10000
15000
20000
عملکرد واقعی خروجی مدل (کیلوگرم در هکتار)
عملکرد واقعی گزارش جهاد کشاورزی (کیلوگرم در هکتار)
زیتون آبی
گلابی آبی
گردو آبی
انار آبی
هلو آبی

Other Information (including tables and figures)

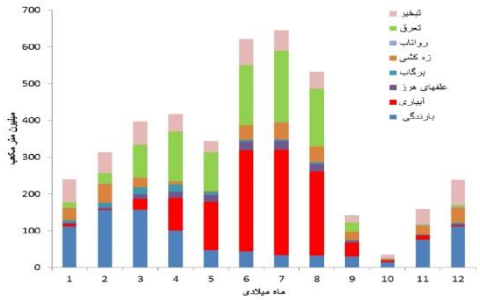


Fig. 3. Estimation of water balance components on irrigated agricultural lands of Golestan province

Vice Presidency of Research and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR). This material may be reprinted provided that the article and the author(s) are acknowledged.

Other Information (including tables and figures)

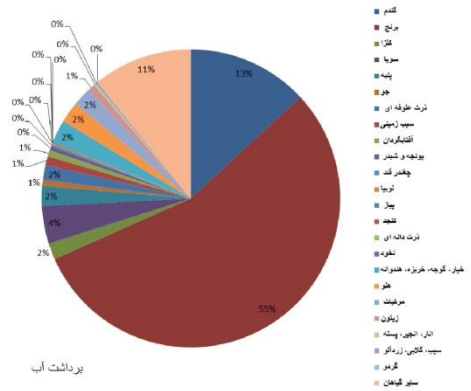


Fig. 1. Blue water distribution between agricultural plants in Golestan province of Iran

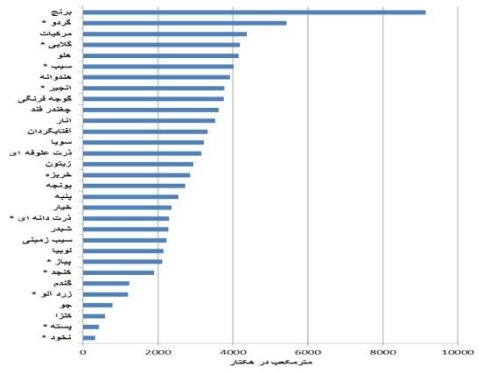


Fig. 2. Estimation of irrigation water applied under farmer conditions

Vice Presidency of Research and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR). This material may be reprinted provided that the article and the author(s) are acknowledged.

Highlights

- Precise, integrated water information are needed on water consumption, water withdrawal and water productivity under farmers conditions.
- A system was developed, based on a simple crop simulation model that provide such information under potential and farmer conditions.
- The system can be used in preparation of water scarcity adaptation plans.

Introduction (Hypothesis and aims)

Adaptation to water scarcity in agricultural section of Iran is a necessity. To do this, different precise and integrated water information are needed at provincial scale, information such as water withdrawal for agriculture, water distribution between agricultural species, irrigation water applied under farmer and potential conditions, water productivity and so on.

Importance

A system, based on a simple crop model, was developed that provides water consumption, irrigation water volume, water balance components and crop characteristics like total biomass production, grain yield, leaf area index under potential and farmers conditions. Water balance compotents, i.e. run-off, soil evaporation, crop transpiration, deep drainage, interception, weeds transpiration and irrigation, are predicted daily and monthly. The information are provided for different agroecological zones of province under rainfed and irrigated conditions.

Vice Presidency of Research and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR). This material may be reprinted provided that the article and the author(s) are acknowledged.

FactSheet

Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

NO: 99-418-2

Date: 03.09.2022

Title: Development of a provincial system for water balance and water accounting in agricultural lands: case study of Golestan province

Author(s): Afshin Soltani, Safora JafarNodeh, Amir Dadrasi, Samaneh Rahban, Mohammad Nazeri, Ebrahim Zeinali, Ali Najafinejad, Benyamin Torabi, Hossein Kazemi

Finding source: Research project - identifier Number 99-418-2

Keywords: Irrigation water, Water balance, Water accounting, Water scarcity adaptation, Model

Vice Presidency of Research and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR). This material may be reprinted provided that the article and the author(s) are acknowledged.

Abstract

Adapting to water scarcity is a necessity in agricultural sector of Iran. The proper preparation and implementation of drought adaptation programs at the provincial level requires the availability of diverse, integrated and reliable water information, such as the amount of blue water consumption and withdrawal for agriculture, the distribution of blue water for the production of different plants in the province, the volume of blue water applied in the conditions of farmers, the utilization efficiency of irrigation water. To obtain this information in a dynamic and integrated manner at the provincial level, a system was prepared for Golestan province as a case study. First, by examining the climatic and soil conditions, all the agricultural lands of the province (rainfed, irrigated, and garden) were divided into 30 homogenous agro-ecological zones (11 zones were sufficient for only irrigated lands). Then a plant simulation model (SSM-iCrop2) which forms the core of the system was set up to simulate the growth, yield and water balance of 31 important plants of the province under the conditions of farmers for irrigated and rainfed cultivation in the 30 agro-ecological zones of the province. The outputs of the system are produced daily and at the end of the plant growth season; In addition, monthly outputs are produced for the water balance components under farmer conditions. Some outputs of the model include the planting date of crops and the date of tree bud opening, important phenological stages of plants such as days to beginning of seed or fruit filling, days to harvest, biological yield, leaf area index, and water balance components, i.e. runoff, evaporation, transpiration, deep drainage, weeds transpiration and irrigation. Outputs are available for each agro-ecological zone, counties and province. The estimates of this system of water consumption (volume of irrigation water) in farm conditions can be used to estimate water withdrawal. The system can be used in preparation of water scarcity adaptation plans

***Keywords*:** Irrigation water, water balance, water accounting, adaptation to water scarcity, model.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

Vice Presidency for Research and Technology

Faculty of Plant Production - Department of Agronomy

Research Report

Development of a provincial system for water balance and water accounting in agricultural lands: case study of Golestan province

By:
Afshin Soltani

Co-Workers:
Safora Jafar Nodeh, Amir Dadrasi, Samaneh Rahban,
Mohammad Nazeri, Ebrahim Zeinali, Ali Najafinejad,
Benyamin Torabi, Hossein Kazemi

Summer 2022