

مدل‌سازی فضایی تولید سیب درختی در ایران با رویکرد اقلیمی

منوچهر فرج‌زاده‌اصل^{۱*}، یوسف قویدل‌رحیمی^۲، نوید شریفی^۳

۱- استاد آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۹۳/۶/۸

پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۵

چکیده

درخت سیب یکی از مهم‌ترین و قدیم‌ترین گونه‌های باغی در سطح جهان که میزان تولید آن به عناصر اقلیمی وابسته است. هدف از این تحقیق ارائه مدلی فضایی اقلیم‌مبنا و مناسب برای تولید سیب درختی کشور با استفاده از مدل رگرسیون موزون جغرافیایی است. به همین منظور، عوامل اقلیم‌شناختی پس از بررسی و انتخاب به صورت میانگین ۹ ساله (۱۳۷۶-۱۳۸۴) متناسب با طول آماری تولید محصول سیب در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه و به صورت لایه‌های اطلاعاتی مکان‌مند وارد سیستم اطاعات جغرافیایی شدند. با به‌کارگیری عناصر اقلیمی با بیشترین هم‌بستگی فضایی به‌عنوان متغیرهای مستقل، مدل‌های فضایی اقلیم‌مبنا با کمترین فاکتور تورم واریانس حاصل شد. براساس شاخص‌های آماری ضریب تعیین، کمترین مقدار باقی‌مانده‌ها و کمترین مقدار درصد خطا، مدل مناسب و بهینه تولید سیب انتخاب شد. خروجی مدل نهایی بیانگر مهم‌ترین عامل در تبیین میزان تولید محصول سیب میانگین دمای دسامبر است که نقش این عامل اقلیمی در شمال و شمال‌غرب کشور معکوس و به سمت جنوب و جنوب‌شرق رابطه آن با تولید سیب مستقیم است. میانگین کمینه دمای مارس دارای اولویت دوم در میزان تولید سیب است که نقش مکانی آن در مناطق شمالی، غربی و شمال‌شرقی کشور مستقیم و در نیمه جنوبی کشور معکوس است. در نهایت ضرایب محلی مجموع ساعات آفتابی فوری به‌عنوان سومین متغیر تأثیرگذار، در جنوب‌شرق معکوس و به سمت غرب و شمال‌غرب مقادیر آن مثبت است. ضریب تعیین (R_2) مدل فضایی انتخاب شده با کمینه جای‌گیری در مناطق شمال‌غرب و شمال‌شرق کشور، در بهترین شرایط ۴۸ درصد از تغییرپذیری فضایی تولید سیب را در سطح کشور توسط متغیرهای اقلیمی وارد شده در مدل قابل توجیه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، سیب درختی، تولید، رگرسیون موزون جغرافیایی، ایران

۱- مقدمه

درخت سیب با نام علمی Malus-Pmutila، از خانواده گلسرخیان^۱ است که در مراحل مختلف رشد و نمو^۲ و همچنین میزان تولید وابسته به عناصر اقلیمی است (شودهای و مهتا^۳، ۱۴۹، ۲۰۱۰). سیب در عرض‌های میانی ۳۰ تا ۶۰ درجه شمالی و جنوبی و از سطح دریا تا ارتفاع ۳۰۰۰-۲۰۰۰ متری با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی به‌صورت گسترده کشت می‌شود (عزیزی و یزدانی، ۱۴۷، ۱۳۸۵). مراکز اصلی پیدایش سیب اهلی مرکز و غرب آسیا، شرق اروپا و جنوب‌غربی سبیری است که بیشتر منطبق با شرایط آب و هوایی معتدل سرد است (رسول‌زادگان، ۳۷، ۱۳۷۵). کشت درخت سیب به‌عنوان مهم‌ترین گونه‌های باغی در کشور، از گذشته‌های بسیار دور متداول بوده و امروزه نیز به استثنای استان‌های بوشهر، هرمزگان و خوزستان تقریباً در تمامی استان‌های کشور تا ارتفاع ۳۰۰۰-۲۷۰۰ متری کاشته می‌شود (لنگرودی، ۱۶۴، ۱۳۸۵). مهم‌ترین مراکز تولید سیب براساس آمار منتشر شده در سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب شامل استان‌های آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی، فارس، خراسان رضوی و شمالی، تهران، اصفهان و زنجان است که در مجموع ۸۱/۱ درصد از کل تولید سیب کشور را به خود اختصاص داده‌اند (وزارت جهاد کشاورزی، ۲۳، ۱۳۸۷). کشور ایران به دلیل داشتن پتانسیل‌های طبیعی و شرایط آب و هوایی مناسب برای کشت اغلب میوه‌های سردسیری به‌ویژه سیب جایگاه ممتازی در دنیا دارد. براساس آخرین گزارش رسمی سایت اینترنتی سازمان خواروبار جهانی (فائو^۴)، در سال ۲۰۱۲ میزان تولید سیب کشور ۱۷۰۰۰۰۰ میلیون تن برآورد شده است. علاوه‌بر متغیرهای تعدیل‌کننده و پایدار کشاورزی، عناصر آب و هوایی از مهم‌ترین عوامل تغییرات سالانه تولید محصول حتی در محیط‌های با فناوری و بازده بالاست (کاشکی، ۴۶، ۱۳۸۷). درختان میوه از این عناصر به‌صورت کنش متقابل فرایندها در مراحل مختلف رشد سالانه تأثیر می‌پذیرند (رحیمی، ۵۲، ۱۳۸۸). امروزه بزرگ‌ترین مسئله در مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی بررسی اثر متقابل عناصر آب و هوایی بر محصولات کشاورزی در غالب کمی‌سازی روابط و استخراج مدل‌های برآوردگر محصول است. از سوی دیگر با توجه به سیاست‌های افزایش صادرات غیرنفتی، برآورد میزان تولید با استفاده از متغیرهای مستقل تأثیرگذار از جمله عناصر اقلیمی پیش از برداشت جهت بازاریابی و قیمت‌گذاری،

1. Rosaceae
2. Phenology
3. Choudhary and Mehta
4. Food and Agriculture Organization Of The United Nations (FAO)

ایجاد تسهیلات مختلف در زمینه حمل و نقل، برنامه‌های صادراتی و غیره ضروری است. تلاش در مرتب ساختن تولید کشاورزی با عناصر اقلیمی بیشینه‌ای در حدود ۲۰۰۰ ساله دارد (محمدی، ۶، ۱۳۸۸). پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه با تأکید بر چند محصول زراعی از جمله گندم و با استفاده از روش‌های کلاسیک آماری و در مقیاس محدود است. سان^۱ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه به بررسی رابطه میان پارترهای اقلیمی و عملکرد محصول ذرت در سال‌های ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۱ در ایالت به نسبت خشک سیرا در کشور برزیل پرداختند. کین^۲ (۲۰۰۹) با وارد کردن عناصر اقلیمی تبخیر و تعرق، بارش و میزان رطوبت خاک برای ۹ مرحله مختلف رشد گیاه، از مدل‌های رگرسیونی گام به گام استفاده کرد، بالاترین میزان ضریب تعیین^۳ به دست آمده در این مطالعه ۷۷ درصد است. توماس و استفانی^۴ (۲۰۱۰) تأثیر تغییر عناصر اقلیمی بر عملکرد محصولات استراتژیکی آفریقا مانند ذرت خوشه‌ای، ارزن و بادام زمینی را ارزیابی و تأثیر عملکرد این محصولات را در رابطه با هر یک از عناصر اقلیمی نشان دادند. مظفری (۱۳۸۰) به تحلیل اثرات شرایط جوی بر عملکرد گندم دیم سرداری در منطقه صحنه کرمانشاه پرداخت. فرج‌زاده و زرین (۱۳۸۱) با استفاده از ۱۱ عنصر اقلیمی اقدام به مدل‌سازی عملکرد محصول گندم دیم در استان آذربایجان غربی کردند، مدل‌های نهایی برای شهرستان‌های مختلف توانست ۲۷/۱-۷۹/۵ درصد از تغییرات میزان عملکرد گندم دیم را با پارامترهای مورد نظر تبیین کند. ادب (۱۳۸۵) با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی به مدل‌سازی عملکرد کلزای پاییزه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخت. بازگیر و کمالی (۱۳۸۷) با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی عملکرد گندم دیم در برخی از مناطق غرب کشور را پیش‌بینی کردند. براساس نتایج این تحقیق در سنندج و قروه ۶۸ درصد، کرمانشاه ۹۱ درصد و کنگاور ۸۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم دیم، به دلیل تغییرات پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های منتخب هواشناسی کشاورزی است. خورانی (۱۳۸۹) عملکرد گندم دیم را با استفاده از شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان مدل‌سازی کرد. براساس نتایج این پژوهش مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی برآورد عملکرد گندم دیم در کل استان کردستان مربوط به مرحله زایشی (۲۳ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) است. از شاخص‌های طیفی استخراج شده در

1. Sun
2. Qian
3. Coefficient of determination (R²)
4. Thomas & Stephanie



این مطالعه نیز شاخص پوشش گیاهی تفاضلی^۱ از شرایط بهتری برای مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد گندم دیم برخوردار است. مطالعات صورت گرفته برای محصولات باغی از جمله سیب بیشتر در زمینه‌های سرمازدگی و خطر یخ‌بندان، نیازهای اقلیمی و دمایی، پتانسیل و مکان‌یابی احداث باغ، گونه‌شناسی و فیزیولوژی گیاهی، مزیت نسبی و صادرات، گیاه پزشکی، شبیه‌سازی رشد و غیره است. هدف از پژوهش کنونی ضمن تبیین روابط فضایی عناصر اقلیمی و تولید سیب درختی، برآزش یک مدل فضایی اقلیم‌مبنا و مناسب براساس شاخص‌های آمار فضایی در برآورد تولید محصول سیب درختی با ضرایب محلی در سطح ملی است.

۲- مواد و روش‌ها

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع میان ۲۵-۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴-۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است. در کشور ایران ناهمواری‌ها و ارتفاعات از مهم‌ترین بازیگران اقلیمی است (مسعودیان، ۱۰، ۱۳۹۰).

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

برای انجام این پژوهش از دو گروه داده‌های کشاورزی و هواشناسی طی سال‌های زراعی ۱۳۷۵-۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳-۱۳۸۴ استفاده شده است. ابتدا اطلاعات تولید محصول سیب کشور به تفکیک شهرستان‌ها در طول دوره آماری موجود (۱۹۹۷-۲۰۰۵م) از وزارت جهاد کشاورزی به‌دست آمد. در ادامه میزان تولید نوع آبی محصول در مراکز استان‌ها با توجه به کامل بودن و توزیع فضایی مناسب در سطح کشور انتخاب و استخراج شد. داده‌های ماهانه دما (میانگین، بیشینه، کمینه و اختلاف این دو)، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد، مجموع ساعات آفتابی و مجموع بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک مراکز استان‌ها نیز بر مبنای دوره آماری مشترک ۹ ساله از سازمان هواشناسی تهیه شد (جدول ۱). نکته مهمی که استفاده از داده‌های طولانی مدت را غیرممکن ساخته، فقدان داده‌های کشاورزی مستند طولانی مدت است. در تشکیل پایگاه داده و مرتب‌سازی داده‌های هواشناسی برحسب سال زراعی علاوه‌بر استفاده از آمار داده‌های

1. Difference Vegetation Index (DVI)

اقلیمی تمام ماه‌های سال، ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر یک سال پیش از دوره آماری یعنی از سال ۱۹۹۶ نیز استفاده شد. نواقص آماری موجود در هر دو گروه از داده‌ها نیز به روش هم‌بستگی و رگرسیون خطی در راستای روش کلی پژوهش بازسازی شد. در گام بعد، پس از مدیریت داده‌ها، با استفاده از هم‌بستگی ایستگاهی و به روش پیرسون^۱ عناصر اقلیمی مؤثر در میزان تولید شناسایی و جهت سادگی در انجام تحلیل‌ها و روابط فضایی، نمادهایی براساس متغیر مستقل X_n در نظر گرفته شد. پس از انتخاب متغیرهای مستقل اقلیمی میانگین این عناصر و تولید محصول سبب در سطح ایستگاه‌ها محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
اراک	۴۹/۷۷	۳۴/۱۰	۱۷۰۸	زنجان	۴۸/۴۸	۳۷/۶۸	۱۶۶۳
اردبیل	۴۸/۲۸	۳۸/۲۵	۱۳۳۲	سمنان	۵۳/۵۵	۳۵/۵۸	۱۱۳۱
ارومیه	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	۱۳۱۵	سندج	۴۷/۷۸	۳۵/۰۰	۱۳۷۳
اصفهان	۵۱/۰۷	۳۲/۶۲	۱۵۵۰	شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۲۸	۲۰۴۸/۹
اهواز	۴۸/۰۱	۳۸/۰۰	۲۳	شیراز	۵۲/۶۰	۲۹/۵۳	۱۴۸۱
ایلام	۴۶/۴۳	۳۳/۶۳	۱۳۳۷	قزوین	۵۰/۰۱	۳۷/۲۵	۱۲۷۹/۲
ساری	۵۲/۶۵	۳۶/۷۲	-۲۱	قم	۵۰/۸۵	۳۴/۷۰	۸۷۷
بجنورد	۵۷/۳۲	۳۷/۴۷	۱۰۹۱	کرمان	۵۶/۴۷	۳۰/۲۵	۱۷۵۳
بندرعباس	۵۶/۳۷	۲۷/۲۲	۱۰	کرمانشاه	۴۷/۱۱	۳۴/۳۵	۱۳۱۸
بوشهر	۵۰/۰۱	۲۸/۹۸	۱۹/۶	گرگان	۵۴/۲۷	۳۶/۸۵	۱۳۳
بیرجند	۵۹/۲۰	۳۲/۸۷	۱۴۹۱	مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۷	۹۹۹
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۱	۱۳۶۱	همدان	۴۸/۷۲	۳۵/۲۰	۱۶۷۹
تهران	۵۱/۳۲	۳۵/۶۸	۱۱۹۱	یاسوج	۵۱/۶۸	۳۰/۸۵	۱۸۳۱
خرم‌آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۸	یزد	۵۴/۲۸	۳۱/۹۰	۱۳۳۷/۲
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۷	۱۳۷۰	رشت	۴۹/۶۵	۳۷/۲۰	۳۷
کرج	۵۰/۵۴	۳۵/۵۵	۱۳۱۲/۵	-	-	-	-

1. Pearson

جدول ۲ میانگین ۹ ساله (۱۹۹۷-۲۰۰۵) تولید محصول سیب بر حسب تن

شهرستان	تولید	شهرستان	تولید	شهرستان	تولید
اراک	۳۲۰۵/۳	خرم‌آباد	۲۵۴۰/۷	قزوین	۳۸۸۰۶/۲
اردبیل	۲۹۹۸/۳	رشت	۸۹/۵	قم	۱۲۰۸۰/۶
ارومیه	۳۵۲۸۸۷/۴	زاهدان	۱۶۰/۹	کرج	۱۹۴۲۱/۸
اصفهان	۹۷۶	زنجان	۱۷۶۱۱/۸	کرمان	۹۶۳۲/۲
ایلام	۶۶۷	ساری	۲۷۴/۲	کرمانشاه	۸۵۰۶/۲
بجنورد	۵۶۱۰/۷	سمنان	۱۴۹۴/۸	مشهد	۶۱۸۹۳/۶
بیرجند	۲۷۴	سندج	۲۷۱۹	همدان	۸۲۰۸/۳
تبریز	۷۰۱۲/۴	شهرکرد	۱۷۷۴/۴	یاسوج	۳۲۰۰۴/۱
تهران	۸۸۳/۴	شیراز	۲۶۸۲۶/۱	یزد	۱۳۴/۲

در راستای آشکارسازی اثرگذارترین عناصر اقلیمی در طول سال به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل رگرسیون موزون جغرافیایی، پایگاه داده براساس میانگین‌های ایستگاهی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تشکیل و ۶۱ لایه اطلاعاتی به‌صورت مکان‌مند و ماهانه جهت محاسبه هم‌بستگی فضایی تولید شد. برای آزمون نرمال‌بودن توزیع مشاهدات اقلیمی و همچنین اطمینان از نرمال‌بودن لگاریتم میزان تولید سیب نیز از آزمون گرافیکی کلموگروف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد. به دلیل هم‌خطی^۲ بودن داده‌های اقلیمی همواره امکان ارائه یک مدل فضایی واحد با وارد کردن همه متغیرها در مدل اقلیم‌مبنا وجود ندارد؛ از این‌رو مدل برازنده و مناسب با استفاده از شاخص‌های آمار فضایی انتخاب و توزیع مکانی فراسنج‌های آن به روش وزن‌دهی معکوس فاصله^۳ پهنه‌بندی و به شکل نقشه ارائه شد.

۲-۳- رگرسیون موزون جغرافیایی^۴

رگرسیون موزون جغرافیایی یکی از روش‌های رگرسیونی قابل استفاده در مطالعات فضایی است. این نوع از رگرسیون که در برابر رگرسیون خطی ساده یا چند متغیره^۵ با پیش‌نیازهای مشترک

1. Kolmogrov. Smirnov
2. Variance Inflation Factor (VIF)
3. Inversed Distance Weighting (IDW)
4. Geographical Weighted Regression (GWR)
5. Multiple Linear Regression

قرار دارد، بر این منطبق استوار است که ارائه یک ضریب خطی ثابت برای کل منطقه مورد مطالعه و در یک فضای مقطوع دقت مدل‌سازی را بسیار کاهش و مانند رگرسیون وزن‌دار^۱ ضرایب را به صورت مکانی ارائه می‌دهد، با این تفاوت که تابع موقعیت محلی متغیرهاست. رگرسیون موزون جغرافیایی با مدل‌سازی ناهمگونی‌های فضایی که به عوارض جغرافیایی مربوط می‌شود، امکان پیش‌بینی متغیرهای نامعلوم و فهم بهتر از عوامل اثرگذار بر یک متغیر را می‌دهد (عسگری، ۱۱۱، ۱۳۹۰). در این روش که بر پایه اصل نزدیکی و همانندی قرار دارد، وزن‌دهی برای هر نقطه متناسب با فاصله از مرکز هر یاخته صورت می‌گیرد. جوهره اصلی این مدل رگرسیونی به صورت رابطه (۱) است (فوترینگهام^۲ و همکاران، ۵۲، ۲۰۰۲).

$$y_i = \beta_0(\phi_i, \lambda_i) + \sum_{j=1}^m (\beta_j(\phi_i, \lambda_i) X_{ij}) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

در رابطه (۱)، y_i متغیر وابسته، β ضرایب رگرسیونی، (ϕ_i, λ_i) مختصات آامین نقطه در فضا، X_{ij} مقادیر متغیر پیش‌گو و ε_i مقدار خطای مدل است. موقعیت هر نقطه عامل اصلی در تخمین وزن برآوردگراهاست که متناسب با فاصله و بر مبنای یک ماتریس $n \times n$ است. عناصر خارج از قطر اصلی این ماتریس صفر و عناصر قطر اصلی آن وزن‌های فضایی $(W(\phi_i, \lambda_i))$ را نشان می‌دهد.

$$w(\phi_i, \lambda_i) = \begin{pmatrix} w_1(\phi_i, \lambda_i) & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & w_n(\phi_i, \lambda_i) \end{pmatrix} \quad (2)$$

ضرایب فراسنج‌ها در هر سطر از ماتریس نیز از رابطه (۳) و با الگوهای وزن‌دهی برآورد می‌شود.

$$\hat{\beta}(\phi_i, \lambda_i) = (X^T w(\phi_i, \lambda_i) X)^{-1} X^T W(\phi_i, \lambda_i) y \quad (3)$$

در رابطه (۳)، $\hat{\beta}(\phi_i, \lambda_i)$ برداری حاوی برآورد پارامترها، $X^T w(\phi_i, \lambda_i) X$ ماتریس کواریانس وزن‌دار مکانی و y مقادیر مربوط به متغیر وابسته در نقطه (ϕ_i, λ_i) است.

در فرایند انجام این پژوهش، مدل رگرسیون موزون جغرافیایی در سیستم اطلاعات

1. Weighted Least Squares (WLS)
2. Fotheringham



جغرافیایی و با توجه به دو مشخصه اصلی آن یعنی گزینش پهنای باند^۱ یا هسته فضایی انطباقی (W_{ij}) و دیگری پارامتر کرنل^۲ اجرا شد. پهنای باند پنجره با انتخاب نقطه مرکزی رگرسیون در کالیبراسیون مدل از تمام نقاطی استفاده می‌شود که در درون پنجره جست و جو قرار می‌گیرد. از تابع وزن‌دهی یا کرنل نیز به روش کمینه‌سازی شاخص اطلاعاتی آکائیک^۳ برای استخراج وزن‌های اختصاص داده شده به هر نقطه استفاده می‌شود (فوترینگهام و همکاران، ۲۰۰۲، ۴۵).

۲-۴- نیازها و محدودیت‌های آب و هوایی درخت سیب

آب و هوا محدودیت‌هایی را برای کشت محصول سیب به وجود می‌آورد، همچنین تا اندازه بسیاری ثبات سالیانه تولید و کیفیت مورد نظر را نیز تعیین می‌کند (فریبی^۴ و وارینگتون^۵، ۲۰۱۸، ۲۰۰۳). با توجه به اهمیت عناصر اقلیمی در دو مرحله اصلی خواب^۶ (زندگی پنهان) و رشد فعال از مراحل رشد سالانه درخت سیب، پایش این مراحل در ایستگاه‌های بیومتری براساس تغییرات این عناصر صورت می‌گیرد (یزدان‌پناه و همکاران، ۹۸، ۲۰۱۰). رشد و نمو کوتاه مدت درخت سیب واکنشی بیولوژیک در مقابل عناصر اقلیمی به شمار می‌آید. درخت سیب مانند سایر درختان دانه‌دار منطقه معتدل سرد جهت کامل کردن دوره رشد و باروری مناسب به فصل سرد نیاز دارد. نیاز سرمایی جوانه‌های سیب در ارقام مختلف حدود ۱۶۰۰-۱۰۰۰ ساعت زیر ۷ درجه سانتی‌گراد است (خالدی و روشنی، ۱۳۸۳:۳). درخت سیب در برابر سرما یک گیاه مقاوم است و دمای پایین‌تر از ۳۵- درجه سانتی‌گراد را نیز تحمل می‌کند (مهندسین مشاور، ۹۴، ۱۳۵۶). زمان آغاز مراحل فنولوژیکی به وسیله تجمع تعداد معینی درجه روزهای رشد^۷ تعیین می‌شود که مقدار پایه برای درخت سیب بین صفر تا ۹ درجه سانتی‌گراد است (سزاراسیو^۸ و همکاران، ۶۴، ۲۰۰۱). میزان ساعات روشنایی در مراحل رویشی دارای اهمیت است به گونه‌ای که مقدار تولید محصول سیب هم‌بستگی نزدیکی با شدت و طول مدت نور دارد. در شدت نور بین ۴۰۰۰-۶۰۰۰-

-
1. Bandwidth
 2. Kernel
 3. Akaike (AIC)
 4. Ferree
 5. Warrington
 6. Dormancy
 7. Growing degree-days (GDD)
 8. Cesaraccio

۴۴۰۰۰ لوکس عمل فتوستز در درخت سیب به بیشینه مقدار خود می‌رسد که به‌عنوان واحدهای اشباع نور محسوب می‌شود (مهندسین مشاور، ۱۳۵۶:۱۰۰). درخت سیب به میزان ۶۰-۸۰ درصد رطوبت قابل دسترس نیاز دارد، ولی رطوبت زیاد با زمینه‌سازی شیوع بیماری‌ها، موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود (مهندسین مشاور، ۹۵، ۱۳۵۶). در مجموع ویژگی اصلی آب و هوایی مراکز تولیدکننده عمده سیب در جهان با میانگین سالانه درجه حرارت ۸-۹/۵ درجه سانتی‌گراد و با میزان بارندگی ۷۰۰-۶۰۰ میلی‌متر است. شرایط یادشده به‌عنوان یک شرایط مطلوب مطرح است و رابطه با نوع گونه، تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. برای نمونه در ایران در شرایط بارشی کمتر از مقادیر بالا، محصول به عمل می‌آید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- هم‌بستگی ایستگاهی میان داده‌های اقلیمی و تولید سیب

با توجه به جدول ۳ از میان عناصر اقلیمی دیده‌بانی‌شده در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه، متوسط دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما، میانگین اختلاف دما، میانگین رطوبت نسبی، مجموع بارندگی، سرعت باد و مجموع ساعت آفتابی بالاترین هم‌بستگی‌ها را در سطوح اطمینان ۹۹ درصد و ۹۵ درصد در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهند که به ترتیب از X_1 تا X_{16} نمادگذاری شده است. از آن‌جا که تعیین متغیرهای مستقل مدل‌های برآوردگر، تأثیر مستقیمی بر خروجی‌های مدل و میزان هم‌خطی داده‌ها دارد باید سایر شرایط منطقی در ارتباط با داده‌های تحقیق را نیز علاوه بر رابطه کمی بین آن‌ها در نظر گرفت. مجموع بارندگی ماهانه (X_{11} - X_{12})، میانگین سرعت باد (X_{13} - X_{14}) و اختلاف دمای بیشینه و کمینه (X_{15} - X_{16}) به ترتیب به دلیل استفاده از داده‌های کشت آبی تولید محصول سیب و عنصر اقلیمی رطوبت ماهانه، اثر فیزیکی غالب باد در مراحل مختلف رشد و قابل توجه بودن عنصر اقلیمی اختلاف دما با سایر عناصر دمایی مورد استفاده در تحقیق در ادامه تحلیل‌ها نادیده انگاشته می‌شود.

ادامه جدول ۳

ایستگاه	ضریب هم‌بستگی	ایستگاه	ضریب هم‌بستگی	ایستگاه	ضریب هم‌بستگی
بجنورد	$X_{18}(-.770^*)_{-}.681^*(X_6_{-}.668^*(X_3_{-}X_{51}(-.722^*)_{-}X_{61}(705^*)_{-}.693^*(X_{27}X_{82}(.847^{**})_{-}.702^*(X_{81})_{-}.714^*(X_{80}$	سمنان	$X_{52}(.634^*)_{-}.687^*(X_{23})_{-}.781^*(X_{11}(.834^{**})_{-}X_{95}(-.707^*)X_{62}(.720^*)_{-}X_{71}$		$X_{18}(-.729^*)_{-}X_{17}(.772^*$
بیرجند	$X_{30}(-.704^*)_{-}.744^*(X_{11})_{-}.675^*(X_6_{-}X_{64}(-.675^*)_{-}X_{93}(-.754^*)_{-}.769^*(X_{54}_{-}X_{80}(-.778^*)_{-}X_{93}(-.733^*)X_{74}(-.761^*)$	سنندج	$X_{34}(.748^*)_{-}.769^*(X_{25})_{-}.926^{**}(X_{20}X_{81}(-.761^*)_{-}.677^*(X_{37}$		$X_{68}(-.862^{**})_{-}.740^*(X_{63})_{-}.677^*(X_{27}X_{92}(.885^{**})$
تبریز	$X_{23}(-.695^*)_{-}.682^*(X_{21}_{-}.742^*(X_{11}_{-}X_{42}(.690^*)_{-}X_{45}(837^{**})_{-}.743^*(X_{24}_{-}X_{75}(-.792^*)_{-}.799^{**}(X_{74}_{-}.722^*(X_{48}_{-}X_{82}(.736^*)_{-}.688^*(X_{80}$	شهرکرد	$X_5(-.699^*)_{-}.817^{**}(X_4_{-}.721^*(X_3_{-}X_{15}(-.821^{**})_{-}X_{16}(-.797^*)_{-}.725^*(X_9_{-}X_{40}(.666^*)_{-}.683^*(X_{37}_{-}.809^{**}(X_{28}$		$X_4(-.806^{**})_{-}X_{16}(-.797^*)_{-}X_{28}(-.813^{**})X_{29}(-.686^*)_{-}X_{42}(-.699^*)$
تهران	$X_{10}(.667^*)_{-}.793^*(X_8)_{-}.789^*(X_7_{-}X_{31}(-.784^*)_{-}.709^*(X_{22}_{-}.750^*(X_{20}_{-}X_{45}(-.709^*)_{-}.692^*(X_{44}_{-}.794^*(X_{32}_{-}X_{94}(-.771^*)_{-}.784^*(X_{79})_{-}.696^*(X_{77}_{-}X_{96}(.823^{**})_{-}.739^*(X_{95}$	شیراز	$X_{36}(-.694^*)_{-}.739^*(X_{15})_{-}.723^*(X_{12}_{-}X_{82}(-.767^*)_{-}X_{83}(-.802^{**})_{-}.726^*$		$X_{15}(.682^*)$

Null متغیری شناسایی نشده است. * معناداری در سطح خطای ۱۰٪ / ** معناداری در سطح خطای ۰٫۰۱٪

۳-۲- هم‌بستگی فضایی بین داده‌های اقلیمی و تولید سیب

پس از آماده‌سازی و انتخاب متغیرهای اقلیمی مورد نظر، آزمون هم‌بستگی فضایی تولید سیب با عوامل اقلیم‌شناختی به صورت ماهانه در راستای به‌کارگیری تأثیرگذارترین عناصر اقلیمی در مدل‌سازی انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تولید سیب به ترتیب با بیشینه دمای ماه اکتبر ($X_{۲۵}$)، متوسط دمای ماه دسامبر ($X_{۳}$)، کمینه دمای ماه مارس ($X_{۱۸}$)، میانگین رطوبت نسبی فوریه ($X_{۵۳}$) و مجموع ساعات آفتابی فوریه ($X_{۸۹}$) دارای بالاترین هم‌بستگی فضایی است.



جدول ۴ هم‌بستگی فضایی تولید سیب و عناصر اقلیمی به‌صورت ماهانه

X_{89}	X_{53}	X_{18}	X_3	X_{25}	تولید سیب
-۰/۳۲	۰/۳۶	-۰/۴۰	۰/۴۳	-۰/۴۵	

۳-۳- مدل‌سازی فضایی تولید سیب با استفاده از متغیرهای مستقل اقلیمی

با وارد کردن متغیرهای مستقل اقلیمی به‌صورت ماهانه در مدل رگرسیون موزون جغرافیایی براساس نتایج هم‌بستگی فضایی، هفت مدل برآوردگر مکانی تولید سیب در سطح کشور حاصل شد. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود مؤلفه‌های دمایی در تمام مدل‌ها وارد شده که بیانگر اهمیت آن‌ها در مراحل مختلف رشد و در نتیجه میزان تولید محصول درخت سیب است.

جدول ۵ مدل‌های برآوردگر مکانی تولید سیب با استفاده از رگرسیون موزون جغرافیایی

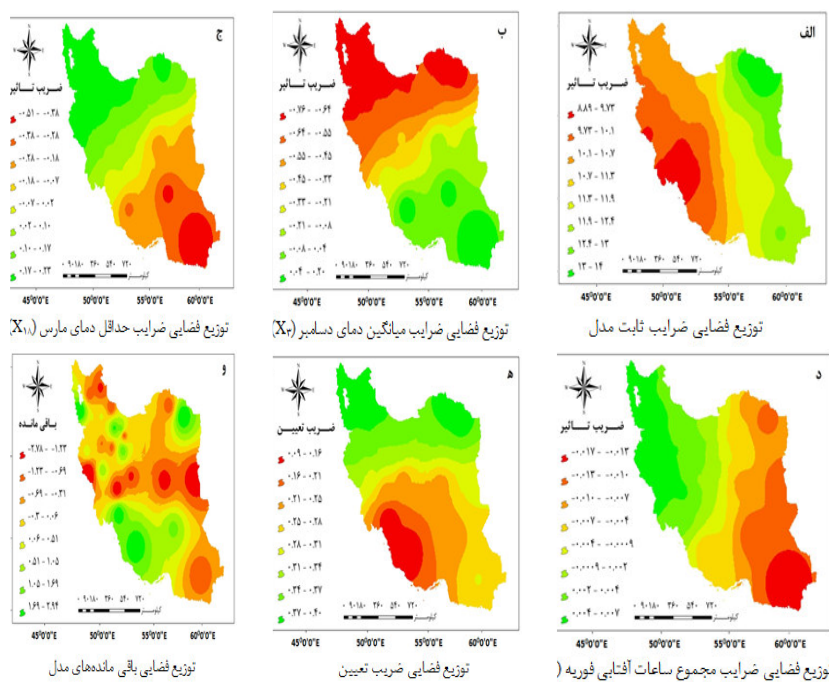
تصریح مدل‌ها	R^{2*}	RSS**	SER***
$+Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_3 + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{18} + \beta_3 (\phi_i, \lambda_i) * X_{53})$	۰/۳۱۱	۸۳/۸	۱/۷۶
$+ Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_3 + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{18} + \beta_3 (\phi_i, \lambda_i) * X_{89})$	۰/۴۸۳	۶۴	۱/۵۲
$_{18}) Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_3 + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{18} + \beta_3 (\phi_i, \lambda_i) * X_{53})$	۰/۳۱۱	۸۳/۸	۱/۷۷
$Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_3 + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{53})$	۰/۳۰۶	۸۴/۴	۱/۷۶
$Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_3 + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{89})$	۰/۴۰۶	۷۲/۲	۱/۵۸
$*X_{53}) (\phi_i, \lambda_i) \beta_2 Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_{18} + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{89})$	۰/۲۰۱	۹۷/۲	۱/۸۹
$+ \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{89}) Y = \beta_0 (\phi_i, \lambda_i) + (\beta_1 (\phi_i, \lambda_i) * X_{18} + \beta_2 (\phi_i, \lambda_i) * X_{53})$	۰/۱۹۷	۹۷/۶	۱/۹۰

(R-Square * Residual Squares ** Std. Error ***)

مدل ردیف دو با بیشترین مقدار ضریب تعیین به‌عنوان شاخص خوبی مدل (۰/۴۸۳)، کمترین مقدار باقی‌مانده‌ها در برآورد متغیر وابسته (۶۴) و کمترین مقدار درصد خطا (۱/۵۲) به‌عنوان یک مدل نهایی و مناسب اقلیم‌بنا در برآورد تولید سیب درختی برای پهنه فضایی کشت سیب کشور است.

۳-۴- تحلیل مکانی ضرایب مدل بهینه تولید سیب

در مدل رگرسیون موزون جغرافیایی علاوه بر این که درجه تأثیر هر یک از متغیرها در مدل فضایی امکان‌پذیر است؛ امکان آگاهی از تغییرات مکانی ضرایب مدل از طریق پهنه‌بندی در منطقه مورد مطالعه نیز وجود دارد. در مدل بهینه تولید سیب دمای ماهانه دسامبر (X_3)، کمینه دمای مارس (X_{18}) و مجموع ساعات آفتابی فوریه (X_{19}) به ترتیب به‌عنوان تأثیرگذارترین عناصر اقلیمی است. شکل ۱ توزیع مکانی تأثیرگذاری ضرایب ثابت (β_0)، ضرایب متغیرهای مستقل (β_j) و برخی از شاخص‌های آمار فضایی حاصل از خروجی مدل فضایی را برحسب درصد تغییرپذیری در واحد سطح نشان می‌دهد.



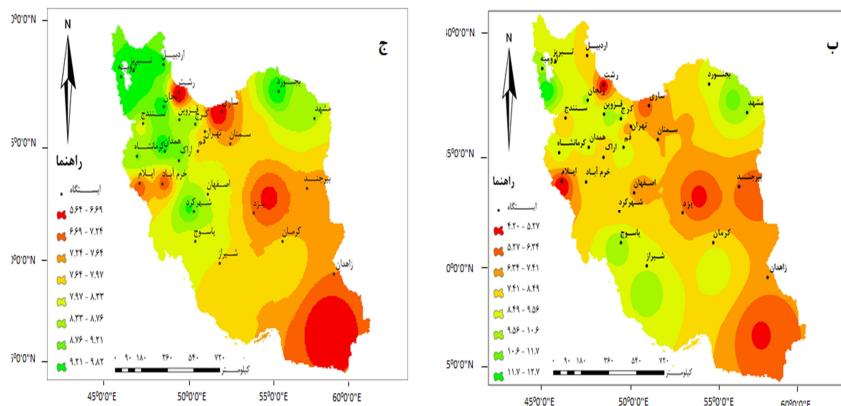
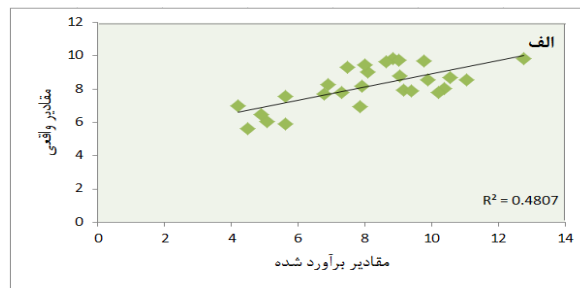
شکل ۱ توزیع فضایی ضرایب و شاخص‌های مدل بهینه برآورد تولید سیب درختی در سطح کشور

شکل ۱- الف پراکنش مکانی ضرایب ثابت هر یاخته را با دامنه ۸/۸۹ تا ۱۴ تن در هکتار نشان



می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شرق کشور با محوریت استان خراسان شمالی بیشترین جای‌گیری را در میزان تولید سیب در صورت صفر فرض کردن متغیرهای مستقل اقلیمی دارد که با حرکت به سمت غرب با محوریت استان خوزستان از مقدار آن کاسته می‌شود. درخت سیب به‌عنوان محصول شاخص باغی در مناطق معتدل سرد، مراحل فنولوژیکی و تقویم زراعی مختلفی را در عرض‌های مختلف جغرافیایی دارد. با توجه به شکل ۱-ب ضرایب متوسط دمای دسامبر (X_3) در دامنه تأثیرگذاری ۰/۷۶- تا ۰/۲۰ قرار گرفته که تأثیرگذارترین عنصر اقلیمی در مدل فضایی تولید سیب نیز است. با توجه به این شکل در شمال و شمال‌غرب کشور که درختان وارد مرحله خواب زمستانی شده‌اند رابطه معکوس و به سمت جنوب و جنوب‌شرق که درختان در مرحله رسیدگی میوه و نیازمند کسب واحدهای حرارتی و درجه دمای روز هستند، رابطه آن با تولید سیب مستقیم است. دمای پایین سبب تحریک تولید ماده رشدی به نام ورنالین می‌شود که عامل سنتز ماده محرک گلدهی بوده و عمل بهاره‌سازی را در غالب تأمین نیازهای سرمایی سبب می‌شود (کمالی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۷۳). براین اساس نقشه مربوط به توزیع مکانی ضرایب کمینه دمای مارس (X_{18}) در شکل ۱-ج در دامنه ۰/۵۱- تا ۰/۲۳ قرار گرفته است. در مناطق شمالی، غربی و شمال‌شرقی کشور که درختان سیب هنوز در مرحله خواب زمستانی هستند، رابطه مثبت و در نیمه جنوبی کشور که ارقام سیب وارد مرحله رشد فعال شده و در دمای پایین آسیب می‌بینند رابطه منفی است. نیاز درخت سیب به نور و میزان ساعات روشنایی علاوه‌بر کنترل آنیزم‌های رشد در مراحل مختلف فنولوژیکی و تنظیم خصوصیات کمی و کیفی محصول، مانند سایر درختان خزان‌کننده برای آغاز و تکوین مرحله گل‌دهی و همچنین ظهور برگ در اواخر زمستان بسیار زیاد است. با نظر گرفتن شکل ۱، ضرایب محلی مجموع ساعات آفتابی ماه فوریه (X_{89}) به‌عنوان سومین متغیر تأثیرگذار، با دامنه ۰/۰۱۷- تا ۰/۰۰۷ در جنوب شرق معکوس و به سمت غرب و شمال غرب مقادیر آن مثبت است. افت و خیزهای نقش هر ضریب (β_j) در دامنه‌های مثبت و منفی سبب افزایش کارایی مدل رگرسیون موزون جغرافیایی در یک پهنه فضایی با نقاط ایستگاهی کمتر می‌شود. برآورد مقادیر ضریب تعیین به‌صورت یاخته‌ای یکی دیگر از دستاوردهای جالب مدل رگرسیون موزون جغرافیایی است. براساس شکل ۱ هاتولید سیب در نیمه شمالی کشور با بیشینه جای‌گیری در شمال‌غرب و شمال‌شرق بیشترین تغییر را از عناصر اقلیمی وارد شده در مدل می‌پذیرد. در مناطق با مقادیر باقی‌مانده نزدیک به صفر، دقت مدل بیشتر

است. باقی‌مانده‌های مدل بهینه برآوردگر تولید سیب (شکل ۳- و) در دامنه ۰/۳۱- تا ۰/۰۶ کمترین مقدار را دارد. شکل ۲ پراکنش نگار و موقعیت مقادیر مشاهداتی و برآوردشده برای تولید سیب درختی در واحد سطح را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲- الف، مدل اقلیم‌مبنا به کار گرفته شده قابلیت توجیه ۴۸ درصد از تغییرپذیری فضایی تولید سیب را توسط سه متغیر مستقل اقلیمی دارد و ۵۳ درصد دیگر از تغییرات تولید سیب به سایر ویژگی‌های محیطی و نهاده‌های کشاورزی می‌تواند وابسته است. شکل ۲- ب توزیع مکانی مقادیر برآورد شده تولید سیب را با ضرایب مستقیم و معکوس عناصر اقلیمی نشان می‌دهد، که در مقایسه با توزیع فضایی مقادیر مشاهداتی (شکل ۲- ج) قابلیت‌های کاربردی در امر تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و آمایش محیط دارد.



شکل ۲ الف- پراکنش نگار مقادیر برآوردشده و مقادیر واقعی تولید سیب درختی برحسب تن در هکتار،
ب- موقعیت مقادیر مشاهداتی، ج- موقعیت مقادیر برآوردشده

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با رویکرد اقلیمی به ارائه مدل تولید سیب درختی پرداخته و مدل ارائه‌شده در آن در بهترین شرایط می‌تواند تا ۴۸ درصد از تغییرپذیری فضایی تولید سیب را در سطح کشور با استفاده از عناصر اقلیمی توجیه کند. به‌طور مسلم پرداختن به سایر متغیرهای محیطی با توجه به اهمیت آن‌ها نیازمند پژوهش‌های جداگانه‌ای مانند استفاده از شاخص‌های طیفی به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل، و یا استفاده متغیرهای محیطی در سطح مزرعه مانند جنس خاک، شیب اراضی، کیفیت آب است. براساس یافته‌های این پژوهش، از میان عناصر اقلیمی دیده‌بانی‌شده در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه، متوسط دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما، میانگین اختلاف دما، میانگین رطوبت نسبی، مجموع بارندگی، سرعت باد و مجموع ساعات آفتابی بالاترین هم‌بستگی‌ها را با تولید سیب درختی در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. با توجه به نتایج هم‌بستگی فضایی به‌ترتیب بیشینه دمای اکتبر، متوسط دمای دسامبر، کمینه دمای مارس، میانگین رطوبت نسبی فوریه و مجموع ساعات آفتابی فوریه بالاترین هم‌بستگی فضایی با تولید سیب را دارد. با به‌کارگیری این عناصر اقلیمی در مدل فضایی و با در نظر گرفتن میزان هم‌خطی و تولارنس عناصر اقلیمی هفت مدل اقلیم‌مبنا با ضرایب محلی در برآورد مکانی تولید سیب حاصل شد. جهت بررسی درجه اطمینان و پایداری مدل‌های رگرسیون موزون جغرافیایی از شاخص‌های آماری برای اعتبارسنجی این مدل‌ها استفاده شد. در مدل نهایی و مناسب فضایی متوسط دمای دسامبر، کمینه دمای مارس و مجموع ساعات آفتابی فوریه به‌ترتیب اهمیت در میزان تولید سیب کشور نقش دارند، همچنین نقش مکانی هر یک از این عناصر اقلیمی در پهنه فضایی کشور شناسایی شد. مدل ارائه‌شده در این تحقیق می‌تواند مبنای نظری در امر برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین برای کشت محصول سیب با توجه به پتانسیل اقلیمی کشور در راستای تصمیم‌گیری و اتخاذ سیاست‌های تولیدی و افزایش صادرات غیر نفتی داشته باشد. باید توجه داشت که این پژوهش با رویکرد اقلیمی است و تأثیرگذاری سایر متغیرهای دخیل در میزان تولید محصول سیب مانند ویژگی‌های سطحی، خاک، آب و غیره در نظر گرفته نشده است.

۵- منابع

- ادب، حامد، «مدل‌سازی برآورد عملکرد محصول کلزای پاییزه با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس، ۱۳۸۵.
- بازگیر، سعید و غلامعلی کمالی، «پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی در برخی از مناطق غرب کشور»، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ش ۲، صص ۱۱۳-۱۲۱، ۱۳۸۷.
- خالدی، شهریار و احمد روشنی، «پتانسیل‌یابی مناطق بهینه کشت و پرورش درخت سیب بر پایه پارامترهای اقلیمی در شهرستان دماوند»، *فصل‌نامه جغرافیا*، ش ۱۷، صص ۱-۱۶، ۱۳۸۸.
- خورانی، اسداله، *مدل‌سازی آماری برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان*، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس، ۱۳۸۹.
- رحیمی، محمد، *مدل‌سازی خطر خسارت یخبندان بهاره درختان میوه (مطالعه موردی: محصول سیب، منطقه مشهد)*، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس، ۱۳۸۸.
- عزیزی، جعفر و سعید یزدانی، «بررسی بازار صادراتی سیب ایران با تأکید بر اصل مزیت نسبی صادرات»، *مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ش ۷۳، صص ۱۴۵-۱۵۵، ۱۳۸۵.
- عسگری، علی، *تحلیل‌های آمار فضایی با Arc Gis*، تهران: انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، ۱۳۹۰.
- فرج‌زاده، منوچهر و آذر ذرین، «مدل‌سازی میزان عملکرد محصول گندم دیم با توجه به پارامترهای اقلیم‌شناسی کشاورزی در استان آذربایجان غربی»، *مدرس علوم انسانی*، ش ۲۵، صص ۴۴-۶۵، ۱۳۸۱.
- کمالی، غلامعلی، محمد رحیمی و نوشین محمدیان و عبدالرضا مهدویان، «پیش‌بینی زمان

- گل‌دهی سیب رقم Golden براساس نیازهای تجمعی سرمای جهت جلوگیری از خسارت یخبندان در منطقه گلمکان خراسان»، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان (ویژنامه جغرافیا)، ش ۲۲، صص ۱۱۷-۱۸۲، ۱۳۸۶.
- کاشکی، عبدالرضا، تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول گندم دیم با رویکرد تغییرات اقلیمی (منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس، ۱۳۸۶.
- کوانتا، راهنمای نیازها و محدودیت‌های هواشناسی ۱۵ محصول اصلی ایران، سازمان هواشناسی، ۱۳۵۹.
- م-ان، وست وود، میوه‌کاری در مناطق معتدله، ترجمه: یوسف رسول‌زادگان، اصفهان، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۵.
- ماوی، هاریال اس و گرائم جی تاپر، اصول و کاربردهای آب و هواشناسی کشاورزی، ترجمه حسین محمدی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
- مسعودیان، ابوالفضل، آب و هوای ایران، مشهد: انتشارات شریعه توس، ۱۳۹۰.
- مطیعی لنگرودی، سید حسن، جغرافیای اقتصادی ایران (کشاورزی)، مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۳۸۵.
- مظفری، غلامعلی، ارزیابی قابلیت‌های محیطی کشت گندم دیم- اقلیم‌شناسی کشاورزی (مطالعه موردی کرمانشاه)، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس، ۱۳۸۰.
- وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور برنامه‌ریزی و اقتصادی دفتر آمار و فناوری اطلاعات، نتایج طرح آمارگیری نمونه‌ای محصولات باغی، ۱۳۸۷.
- Adab, H., *Modeling of Autumn Colza Yield Using Multiple Regression in GIS (Case Study: Sabsevar County)*, Physical Geography Master Thesis Climatology, Tarbiat Modares University, 2006. [in Persian].
- Asgari, A., *Spatial Statistics Analysis with ArcGIS*, Tehran: Information Technology and Communication Organization of Tehran Municipality Publisher, 2010. [in Persian].
- Azizi, J. & S. Yazdani, "The Study of Export Marketing of Iran Apple Based on

- Export Proportional Properties”, *Research and Performance in Cultivation and Gardening*, No. 73, pp. 145-155, 2006. [in Persian].
- Bazgeer, S. & G. Kamali, “The Forecasting of Dry Wheat Yield Using Agricultural Meteorology Indices in Some Areas of West Regions of Iran”, *Agricultural Science and Natural Resources Journal*, No. 2, pp. 113-121, 2008. [in Persian].
 - Cesaraccio, C., D. Spano, P. Duce & R. Snyder, “An Improved Model for Determining Degree-Day Values from Daily Temperature Data”, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 45, pp. 161–169, 2001.
 - Choudhary, D. S. & A. I. Mehta, *Fruit Crops*, Jaipur India, Oxford Book Company, 2010.
 - FAO Statistics, <http://faostat.fao.org>, 2012.
 - Farajzadeh. M. & A. Zarrin, “The Modeling of Dry Wheat Yield Based on Agroclimatology Factors in Western Azerbaijan”, *Modares Humanities Journal*, No. 25, pp. 44-65, 2002. [in Persian]
 - Ferree, D. C. & I. J. Warrington, *Apples: Botany, Production and Uses*, USA, CABI Publishing, 2003.
 - Fotheringham, A., C. Brunson & M. Charlton, *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2002.
 - *The Result of Garden Product Sampling*, Jihad Keshavarzi Ministry, Statistics and Technology Office, 2009. [in Persian].
 - Kamali, G., M. Rahimi, N. Mohammadian & A. Mahdavian, “The Forecasting Bud Burst Time of Apple (Golden Specie) Based on Accumulate Cooling Needs to Protect Forest Hazards in Golmakan City in Khorasan Province”, *Research Journal Of Humanities Of Isfahan University, (Geography Special Issue)*, No. 22, pp. 117-182, 2007. [in Persian]
 - Kashki, A., *The Analysis of Dry Wheat Yield Variability with Climate Change Approach (Case Study Of Razavi Khorasan Province)*, Master Thesis of Tarbiat Modares University of Physical Geography (Climatology), Tarbiat Modares

- University, 2007. [in Persian].
- Khaledi, S. & A. Roushani, "The Potential Selection of Optimum Areas of Apple Farmlands Based on Climatic Factors in Damavand County", *Geography Quarterly*, No. 17, pp. 1-16, 2009. [in Persian].
 - Khorani, A., *Statistical Modeling of Dry Wheat Using Agricultural Meteorology Indices and Remote Sensing in Kurdistan Province*, PhD Thesis in Physical Geography (Climatology), Tarbiat Modares University, 2010. [in Persian].
 - Mavi, H., S. Graem & G. Tapper, *Principles and Applications of Agroclimatology*, Translated by Hossim Mohammadi, Tehran University Publications, 2009. [in Persian].
 - Masoodian, A., *Iran Climatology*, Mashhad, Sharieh Toos Publisher, 2011. [in Persian].
 - Motiey Langrodi, S. H., *Economical Geography of Iran (Agriculture)*, Mashhad, Jihad Daneshgahi Publisher, 2006.
 - Mozafari, G., *The Evaluation of Cultivation Potential of Dry Wheat- Agroclimatology (Case Study: Kermanshah)*, PhD Thesis in Physical Geography, Tarbiat Modares University, 2001. [in Persian]
 - Qanta, *A Guide to Meteorology Needs and Limitations of 15 Main Products in Iran*, Iranian Meteorology Organization, 1980. [in Persian].
 - Qian, B., "Statistical Spring Wheat Yield Forecasting for the Canadian Prairie Provinces", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 149, pp. 1022-1031, 2009.
 - Rahimi, M., *Modeling of Frost Hazard Risk of Spring Apple Tree (Case Study of Apple for Mashhad Area)*, PhD Thesis in Physical Geography (Climatology), Tarbiat Modares University, 2009. [in Persian].
 - Sun, L., H. Li & M. Ward, "Climate Variability and Corn Yields in Semiarid Ceará, Brazil", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 46, pp. 226-240, 2007.
 - Thomas, W. & D. Stephanie, "Climate Change, Agriculture, and Poverty", *Applied Economic Perspectives and Policy*, Vol. 32, pp. 355-385, 2010.
 - West Wood, M. N., *Fruit Cultivation in Temperate Rejoin*, Translated by Yusef

Rasol Zadeghan, Isfahan University Publisher, 1996. [in Persian].

- Yazdanpanah, H., D. Ohadi & M. Soleimani Tabar, “Forecasting Different Phonological Phases of Apple Using Artificial Neural Network”, *Journal of Research in Agricultural Science*, Vol. 6, pp. 97-106, 2010.