

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی - اکولوژی گیاهان زراعی

## ارزیابی خلاء عملکرد گندم با استفاده از مدل های شبیه سازی SSM-Wheat در شهرستان گنبد کاووس

نگارنده:

ابوالفضل واحدی

استاد راهنما:

دکتر منوچهر قلی پور

اساتید مشاور:

دکتر حمید عباس دخت

دکتر حسن مکاریان

بهمن ۱۴۰۰

شماره: ۲۳۰  
تاریخ: ۱۴۰۱/۱۲/۳۰  
ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد  
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

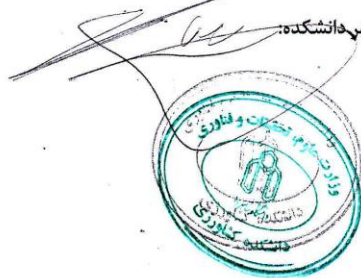
با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای ابوالفضل واحدی با شماره دانشجویی ۹۸۱۲۸۲۴ رشته اکرونولوژی گرایش اکولوژی گیاهان زراعی تحت عنوان ارزیابی خلاء عملکرد گندم با استفاده از مدل های شبیه سازی SSM-Wheat در شهرستان گنبدکاووس که در تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۰۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ ☒  
 ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ (د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐  
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐  
 نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☒

| عضو هیأت داوران           | نام و نام خانوادگی           | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------|------------------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنمای اول      | منوچهر قلی پور               | دانشیار    |       |
| ۲- استاد راهنمای دوم      |                              |            |       |
| ۳- استاد مشاور            | حمید عباس دخت<br>حسن مکاریان | دانشیار    |       |
| ۴- استاد داور اول         | مهدی برادران فیروزآبادی      | دانشیار    |       |
| ۵- استاد داور دوم         | احمد غلامی                   | دانشیار    |       |
| ۶- نماینده تحصیلات تکمیلی | مصطفی حیدری                  | دانشیار    |       |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



## تقدیم بہ

پدر و مادر م؛ اسطورہ ہا می محبت و صفا کہ من توان جبران محبت آنہا را ندارم۔  
ہمسرم و دخترانم؛ تکیہ گاہ ہمیشگی، وفای ہمسرم و ہمراہی او و دخترانم کہ در تمام مراحل، مایہ شور  
و نشاط و زندگی بودہ و ہستند۔

## تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که به من فرصتی داد تا بخشی از زندگیم را با انسانهای فرهیخته و دانشمند سپری کنم. به انجام رسیدن این پایان نامه مرهون راهنمایی و کمک بزرگوارانی است که در مراحل مختلف تحصیل از پیچ کوششی دریغ نورزیدند و مراتب قدردانی خود را به ایشان ابراز می نمایم.

ابتداءً رومادرم که همیشه و همه حال یار من بوده و محبت بی دریغ را به من ارزانی داشته اند.

از همسر عزیزم که در لحظه لحظه زندگی تنهائیم نگذاشت و زیباترین احساساتش را از من دریغ نکرد.

مهارم و بهارم؛ انگیزه و شوق برای ادامه مسیر و آسان نمودن راه شما بودید و هستید.

استاد محترم راهنما آقای دکتر قلی پور؛ راهنماییهای گرانهاوار و زشمندتان در تهیه و تدوین این رساله چراغ راه من بود. اساتید محترم مشاور آقایان دکتر عباس دخت و دکتر کاریان که زحمت مشاوره را بعهده داشتند.

و تمام کسانی که مراد انجام این پایان نامه کمک کردند.

# تعهدنامه

اینجانب ابوالفضل واحدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اگرو تکنولوژی، اکولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی خلاء عملکرد گندم با استفاده از مدل های شبیه سازی SSM-Wheat در شهرستان گنبد کاووس تحت راهنمایی آقای دکتر منوچهر قلی پور متعهد می شوم.

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

تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۶

امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

گندم (*Triticum aestivum*) از محصولات استراتژیک کشاورزی است که نقش بسزایی در امنیت غذایی هر کشور دارد. هدف از این تحقیق برآورد خلاء عملکرد گندم با استفاده از روش مدل توسط مدل SMM-Wheat در شش منطقه در استان گلستان بود. مناطق مورد بررسی عبارتند از سلطانعلی، فجر، اترک، ایمر، کاکا و آق آباد. داده های مورد بررسی شامل اطلاعات هواشناسی، وضعیت خاک، میزان رعایت اصول مربوط به کنترل آفات و علف های هرز، آبیاری و تغذیه گیاهی توسط کشاورزان بود. نتایج نشان داد که به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول مربوط به کنترل آفات و علف های هرز، عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب به میزان ۱۹/۲۳۵ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. همچنین، به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول صحیح تأمین تغذیه گیاهی، عملکرد دانه گندم به میزان ۳۹/۶۶۹ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. در شرایط دیم، ترتیب مناطق از لحاظ بیشترین خلاء عملکرد عبارت بود از سلطانعلی، فجر، اترک، ایمر، کاکا و آق آباد. در شرایط فاریاب، ترتیب مناطق از لحاظ بیشترین خلاء عملکرد به صورت کاکا، سلطانعلی، ایمر، فجر، اترک و آق آباد بدست آمد. به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول صحیح تغذیه گیاهی در شرایط دیم و فاریاب، خلاء عملکرد به ترتیب به میزان ۱۱۶/۶ و ۱۷۲/۷۵ کیلوگرم در هکتار تقلیل یافت.

**کلمات کلیدی:** مدل SSM-Wheat، عملکرد پتانسیل، مدیریت به زراعی، خلاء عملکرد.

# فهرست مطالب

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول مقدمه و کلیات.....                                        | ۱  |
| ۱-۱- نقش گندم در آینده غذایی بشر .....                            | ۲  |
| ۲-۱- امنیت غذایی .....                                            | ۶  |
| ۳-۱- خلاء عملکرد .....                                            | ۷  |
| ۴-۱- تشعشع خورشید، عاملی مهم در تعیین عملکرد پتانسیل .....        | ۱۰ |
| ۵-۱- محاسبه عملکرد پتانسیل .....                                  | ۱۴ |
| فصل دوم بررسی منابع.....                                          | ۲۱ |
| ۱-۲- مطالعات و پژوهشهای خلاء عملکرد .....                         | ۲۲ |
| ۲-۲- اهداف تحقیق: .....                                           | ۳۴ |
| فصل سوم مواد و روش ها.....                                        | ۳۵ |
| ۱-۳- مناطق مورد بررسی و شماتیک فرآیندهای محاسبه خلاء عملکرد ..... | ۳۶ |
| ۲-۳- جمعآوری دادهها .....                                         | ۳۹ |
| ۳-۳- محاسبه تشعشع خورشید .....                                    | ۳۹ |
| ۴-۳- مدل شبیهسازی مورد استفاده .....                              | ۳۹ |
| ۱-۴-۳- فنولوژی .....                                              | ۴۰ |
| ۲-۴-۳- بهاره سازی .....                                           | ۴۳ |
| ۳-۴-۳- گسترش سطح برگ .....                                        | ۴۴ |
| فصل چهارم نتایج و بحث.....                                        | ۴۹ |
| ۱-۴- مقایسه مناطق مورد بررسی از لحاظ میزان تشعشع .....            | ۵۰ |
| ۲-۴- رابطه بین عملکرد دانه و تشعشع خورشید .....                   | ۵۸ |
| ۳-۴- بررسی عملکرد واقعی گندم .....                                | ۶۳ |
| ۴-۴- عملکرد پتانسیل .....                                         | ۷۰ |
| ۵-۴- خلاء عملکرد .....                                            | ۷۱ |
| ۶-۴- خلاء تولید .....                                             | ۷۸ |
| ۷-۴- نتیجهگیری .....                                              | ۸۱ |
| ۸-۴- پیشنهادات .....                                              | ۸۲ |
| منابع .....                                                       | ۸۳ |



# فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- رشد جمعیت در مقابل تغییرات زمین‌های کشاورزی در سطح دنیا به همراه میزان افزایش عملکرد محصول گندم (گزارش ۲۰۱۴؛ اقتباس از حجارپور، ۱۳۹۵). عنوان محور عمودی سمت راست، عملکرد دانه (تن در هکتار) میباشد. .... ۳
- شکل ۱-۲- روند تغییرات سطح زیر کشت و عملکرد گندم در استان گلستان (اقتباس از جهاد کشاورزی استان گلستان، ۱۳۹۶). .... ۵
- شکل ۱-۴- خلاء عملکرد ایجاد شده و عوامل موثر بر آن با استفاده از روش شبیه‌سازی ..... ۱۷
- شکل ۳-۱- نقشه موقعیت و مساحت مناطق مورد مطالعه ..... ۳۶
- شکل ۳-۲- شکل جریانی شبیه سازی تولید و خلاء عملکرد گندم در شهرستان گنبد کاووس ..... ۳۸
- شکل ۳-۳- نمایش شماتیک تابع بتا برای محاسبه ضریب دما ( $A; TEMPFUN$ )، تابع درجه دوم برای محاسبه عملکرد دوره نوری ( $B; PPFUN$ ) و تابع تک‌های برای محاسبه بهاره سازی ( $C; VERFUN$ )؛ و توابع تابع تک‌های برای کمی سازی تأثیر کمبود آب ( $D; WSFD$ ) ..... ۴۱
- شکل ۳-۴- سطح برگ گیاه به عنوان تابعی از تعداد برگ ساقه اصلی در تراکم‌های مختلف گیاه ( $A$ )، و وابستگی ضریب استاندارد شده به تراکم گیاه ( $B$ ) ..... ۴۵
- شکل ۴-۱- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه آق آباد ..... ۵۰
- شکل ۴-۲- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه اترک ..... ۵۱
- شکل ۴-۳- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه ایمر ..... ۵۲
- شکل ۴-۴- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه فجر ..... ۵۳
- شکل ۴-۵- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه کاکا ..... ۵۴
- شکل ۴-۶- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه سلطانعلی ..... ۵۵
- شکل ۴-۷- مقایسه میانگین تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) به تفکیک ماه‌های مورد مطالعه در مراکز شش گانه. .... ۵۵
- شکل ۴-۸- رابطه بین عملکرد مشاهده شده گندم در شرایط فاریاب با تشعشع خورشید. .... ۶۱
- شکل ۴-۹- رابطه بین عملکرد مشاهده شده گندم در شرایط دیم با تشعشع خورشید. .... ۶۲
- شکل ۴-۱۰- رابطه بین عملکرد پتانسیل گندم در شرایط فاریاب با تشعشع خورشید. .... ۶۲

- شکل ۴-۱۱- رابطه بین عملکرد پتانسیل گندم در شرایط دیم با تشعشع خورشید. .... ۶۲
- شکل ۴-۱۲- رابطه بین عملکرد دیم و عملکرد فاریاب گندم. .... ۶۳
- شکل ۴-۱۳- مقایسه عملکرد واقعی و پتانسیل در شرایط فاریاب مناطق مورد مطالعه. .... ۶۴
- شکل ۴-۱۴- رابطه عملکرد دانه گندم مشاهده شده در مزرعه در شرایط فاریاب با رعایت اصول کنترل آفات و علف های هرز توسط کشاورزان. .... ۶۶
- شکل ۴-۱۵- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان. .... ۶۷
- شکل ۴-۱۶- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول آبیاری توسط کشاورزان. .... ۶۷
- شکل ۴-۱۷- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول کنترل آفات و علف های هرز توسط کشاورزان. .... ۶۹
- شکل ۴-۱۸- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان. .... ۶۹
- شکل ۴-۱۹- مقایسه عملکرد واقعی و پتانسیل در شرایط دیم در مناطق مورد مطالعه. .... ۷۰
- شکل ۴-۲۰- مقایسه خلاء عملکرد گندم دیم و فاریاب در مناطق مورد مطالعه. .... ۷۲
- شکل ۴-۲۱- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان. .... ۷۳
- شکل ۴-۲۲- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول کنترل علفهای هرز و آفات توسط کشاورزان. .... ۷۳
- شکل ۴-۲۳- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان. .... ۷۴
- شکل ۴-۲۴- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول کنترل علفهای هرز و آفات توسط کشاورزان. .... ۷۵
- شکل ۴-۲۵- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول آبیاری توسط کشاورزان. .... ۷۶
- شکل ۴-۲۶- میزان (مقیاس هزار تن) خلاء تولید گندم در شرایط فاریاب (زرد رنگ) در مناطق مورد بررسی. .... ۷۹

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱- سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم در استان گلستان ..... ۶
- جدول ۱-۲. سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم در کل کشور ..... ۶
- جدول ۴-۱- تأثیر مدیریت زراعی بر عملکرد واقعی گندم در شرایط فاریاب ..... ۶۵
- جدول ۴-۲- تأثیر مدیریت زراعی بر عملکرد واقعی گندم در شرایط دیم ..... ۶۸



# فصل اول

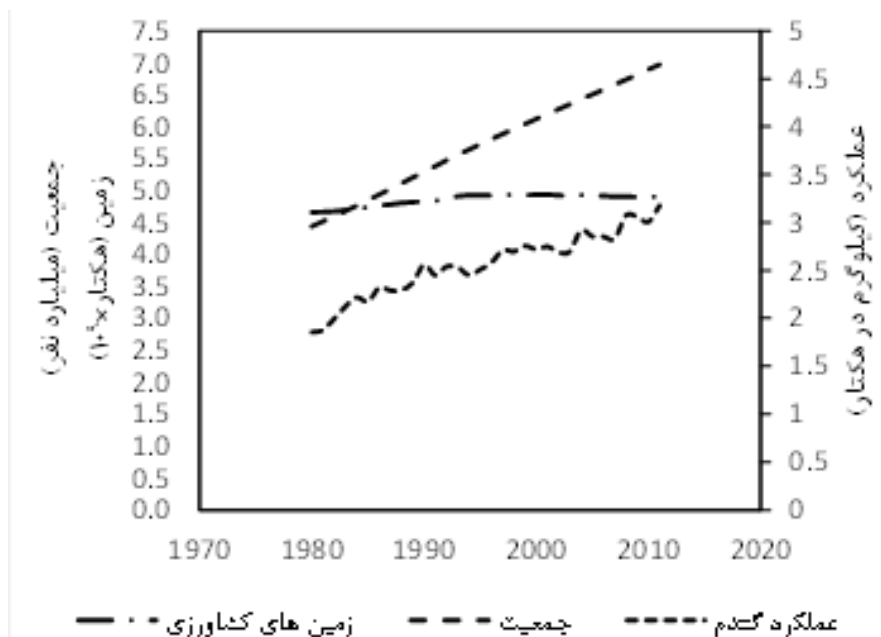
## مقدمه و کلیات

## ۱-۱- نقش گندم در آینده غذایی بشر

گندم به عنوان یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی و مهمترین محصول زراعی و ماده غذایی در اکثر کشورها، از جایگاه ویژه‌ای در بسیاری جهات برخوردار است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش قیمت این کالا در بازارهای بین‌المللی، اهمیت دستیابی به خود کفایی در تولید این محصول استراتژیک، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. در ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای جهان، نان مهمترین ماده غذایی روزانه مردم را تشکیل می‌دهد و نقش عمده‌ای در تأمین انرژی و پروتئین مورد نیاز بدن به عهده دارد. نان گندم یکی از ضروری‌ترین مواد غذایی و قوت اصلی اکثر مردم کشورمان را تشکیل می‌دهد.

جمعیت جهان در حال حاضر بیش از ۷ میلیارد نفر است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ به بیش از ۸ میلیارد افزایش پیدا کرده و تا سال ۲۰۵۰ از مرز ۹ میلیارد نفر بگذرد (اونیل و همکاران، ۲۰۱۰؛ فائو، ۲۰۱۴). جمعیت ایران نیز طبق پیش‌بینی‌های سازمان‌های جهانی در سال ۲۰۵۰ به ۹۲/۲ میلیون نفر خواهد رسید. همچنین طبق اعلام سازمان خوارو بار جهانی، تأمین غذای کافی برای جمعیت در حال رشد دنیا تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد افزایش در تولید محصولات کشاورزی احتیاج دارد.

همانطور که در شکل ۱-۱ آورده شده است، از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۱ جمعیت جهان در حدود ۴۰ درصد رشد داشته است در حالی که مقدار افزایش زمین‌های تحت کشت محصولات کشاورزی کمتر از ۵ درصد بوده است (حجارپور، ۱۳۹۵). عملکرد بالاتر ارقام جدید در مقایسه با ارقام قدیمی در گذشته نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی این جمعیت در حال رشد داشته است که ممکن است در آینده ادامه نداشته باشد. این عملکرد بالاتر مرهون افزایش پتانسیل ژنتیکی از طریق اصلاح نباتات و شاخص برداشت بالاتر ارقام جدید بوده است (هال و ریچاردز، ۲۰۱۳).



شکل ۱-۱- رشد جمعیت در مقابل تغییرات زمین‌های کشاورزی در سطح دنیا به همراه میزان افزایش عملکرد محصول گندم (گزارش ۲۰۱۴؛ اقتباس از حجارپور، ۱۳۹۵). عنوان محور عمودی سمت راست، عملکرد دانه (تن در هکتار) می‌باشد.

به نظر می‌رسد در آینده افزایش عملکرد از طریق راه حل‌های ژنتیکی بخصوص افزایش شاخص برداشت به این دلیل که گیاهان به حد نهایی ظرفیت تولید خود رسیده‌اند مشکل خواهد بود (فیشر و ادمیدز، ۲۰۱۰). شواهد حاکی از آن است که افزایش عملکرد برخی از محصولات ممکن است کاهش و یا در برخی از مناطق متوقف شده باشد (الکساندراتوس و برونسما، ۲۰۱۲). با توجه به نیاز روز افزون بشر به مواد غذایی، واژه‌ای به نام فشرده‌سازی پایدار، یا فشرده‌سازی اکولوژیکی مطرح می‌شود که به معنی افزایش عملکرد همراه با کاهش اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های کشاورزی است (مولر و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از راهکارهای فشرده‌سازی با کمترین اثر بر محیط‌زیست، افزایش عملکرد در واحد سطح از طریق کاهش خلاء عملکرد است.

بر این اساس، محققین زیادی در دنیا و کشورمان در پی کشف راه حلی برای مشکل غذا در آینده می‌باشند. اگرچه در ابتدای قرن حاضر، به علت بهبود بهره‌وری گیاهان زراعی، نگرانی‌های کمی

در مورد تقاضای تغذیه‌ای رو به افزایش در جهان وجود داشت و با خوش بینی فکر می‌کردند که روند تولید غذا ادامه دارد و قیمت غذا کم خواهد شد، اما امروزه این آگاهی به وجود آمده است که ادامه شیوه‌های کشت و کار معمول نمی‌تواند پاسخ‌گوی این نیاز باشد؛ در این صورت باید منتظر اتفاقاتی از قبیل افزایش چشمگیر در قیمت مواد غذایی، فقر و گرسنگی باشیم (گادفری و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به رشد روزافزون جمعیت و وابسته بودن غذای اکثریت انسان‌ها به این محصول و راهبردی بودن آن، اهمیت دستیابی به خودکفایی در مورد این محصول راهبردی، روز به روز افزایش می‌یابد که در این راستا افزایش تولید می‌تواند نقش اصلی را ایفا کند (نصیری‌محلاتی و کوچکی، ۲۰۰۹).

بنابر آمار وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت، عملکرد در واحد سطح و تولید کل گندم کشور در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به ترتیب ۶ میلیون هکتار، ۱۳۷۰ کیلوگرم درهکتار برای دیم و ۴۲۰۰ کیلوگرم درهکتار برای فاریاب و ۱۴ میلیون تن تولید برآورد می‌شود. در همین حال، در سال‌های اخیر به طور میانگین ۳۸۰ هزار هکتار زمین در استان گلستان زیر کشت گندم بوده است. میانگین عملکرد نیز ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده و به طور متوسط سالانه یک میلیون تن گندم در استان تولید می‌شود که حدود ۱۰ درصد تولید کل کشور محسوب می‌گردد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

طبق گزارشات ارایه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان، شهرستان‌های گنبد کاووس، آق قلا و کلالة به ترتیب با ۳۰٪، ۱۱٪ و ۱۰٪ سطح زیر کشت گندم استان، رتبه اول تا سوم از نظر سطح زیر کشت گندم را به خود اختصاص داده اند؛ مابقی شهرستان‌ها مساحت کشت کمتری دارند. شکل‌های ۱-۲ و ۱-۳ روند تغییرات سطح زیر کشت و عملکرد گندم در استان گلستان و ایران را نشان می‌دهند؛ بر اساس آنالیز انجام شده در خصوص داده‌های این شکل‌ها، تغییرات درازمدت (سال‌های مندرج در شکل) در عملکرد و سطح زیر کشت از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (نتایج ارایه نشده).





شکل ۲-۱- روند تغییرات سطح زیر کشت و عملکرد گندم در استان گلستان (اقتباس از جهاد کشاورزی استان گلستان، ۱۳۹۶).

بر اساس آمارهای سازمان جهاد کشاورزی، در پنج سال (۹۵-۹۱) به طور متوسط ۵۵۷۰۰۰ و ۵۴۳۰۰۰ (مجموع ۱۱۲۱۰۰۰) تن گندم دیم و فاریاب در استان تولید شده است که سطح زیر کشت فاریاب و دیم به ترتیب در این مدت، سالانه حدود ۱۶۸۰۰۰ و ۲۱۱۰۰۰ (مجموع حدود ۳۷۰۰۰۰) هکتار بوده است (جدول ۱-۱). این در حالی است که میانگین عملکرد فاریاب و دیم در این پنج سال به ترتیب برابر با ۳۴۲۰ و ۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. کمترین عملکرد گندم در شرایط دیم در مقیاس کشور، برابر با ۶۸۶/۷۲ کیلوگرم در هکتار بوده است در سال ۱۳۹۱ حاصل شده است (جدول ۲-۱)

جدول ۱-۱- سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم در استان گلستان

| سال  | سطح زیر کشت (هکتار) |        | تولید (تن) |        | عملکرد (کیلوگرم در هکتار) |         |
|------|---------------------|--------|------------|--------|---------------------------|---------|
|      | فاریاب              | دیم    | جمع        | فاریاب | دیم                       | جمع     |
| ۱۳۹۱ | ۱۲۶۵۰۹              | ۱۵۷۲۵۹ | ۲۸۳۷۷۰     | ۲۸۵۴۷۵ | ۲۷۶۸۴۶                    | ۵۶۲۳۲۲  |
| ۱۳۹۲ | ۱۴۶۵۱۷              | ۱۸۵۱۳۵ | ۳۳۱۶۵۲     | ۳۲۶۶۹۴ | ۲۷۶۷۷۲                    | ۶۰۳۴۶۶  |
| ۱۳۹۳ | ۱۶۸۳۱۵              | ۲۰۱۹۶۵ | ۳۷۰۲۸۲     | ۴۰۲۴۳۸ | ۳۳۲۳۴۴                    | ۷۳۴۷۸۳  |
| ۱۳۹۴ | ۱۷۲۱۸۷              | ۲۲۶۹۷۸ | ۳۹۹۱۶۶     | ۵۲۷۹۵۲ | ۵۱۶۷۶۰                    | ۱۰۴۴۷۱۲ |
| ۱۳۹۵ | ۱۵۹۶۸۸              | ۲۲۰۳۱۱ | ۳۷۹۹۹۹     | ۷۱۴۶۹۰ | ۷۹۵۶۰۷                    | ۱۵۱۰۲۹۷ |

جدول ۲-۱- سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم در کل کشور

| سال  | سطح زیر کشت (هکتار) |         | تولید (تن) |         | عملکرد (کیلوگرم در هکتار) |          |
|------|---------------------|---------|------------|---------|---------------------------|----------|
|      | فاریاب              | دیم     | جمع        | فاریاب  | دیم                       | جمع      |
| ۱۳۹۱ | ۲۵۴۹۰۰۲             | ۳۹۹۰۰۰۴ | ۶۵۳۹۰۰۶    | ۶۰۷۶۰۰۰ | ۲۷۴۰۰۰۱                   | ۸۸۱۶۰۰۱  |
| ۱۳۹۲ | ۲۳۹۹۹۸۶             | ۴۰۰۰۰۰۴ | ۶۳۹۹۹۹۱    | ۶۴۲۰۲۴۳ | ۲۸۸۴۰۰۲                   | ۹۳۰۴۲۴۶  |
| ۱۳۹۳ | ۲۲۵۵۷۰۶             | ۳۸۰۵۵۴۲ | ۶۰۶۱۲۴۸    | ۷۰۷۷۷۷۵ | ۳۵۰۰۹۲۳                   | ۱۰۵۷۸۶۹۸ |
| ۱۳۹۴ | ۲۲۳۷۹۳۱             | ۳۴۷۷۶۸۵ | ۵۷۱۵۶۱۶    | ۷۸۹۲۵۷۷ | ۳۶۲۹۷۴۱                   | ۱۱۵۲۲۶۱۸ |
| ۱۳۹۵ | ۲۱۲۷۸۵۰             | ۳۸۰۰۶۵۸ | ۵۹۲۸۵۰۸    | ۸۸۴۳۲۵۵ | ۵۷۴۸۷۵۴                   | ۱۴۵۹۲۰۰۹ |

## ۲-۱- امنیت غذایی

مهمترین چالش هر کشور، تامین مایحتاج سالم و کافی غذایی مردم آن کشور است. با توجه به پیشرفت‌های علوم مختلف و علم کشاورزی، غذا به مقدار کافی در دسترس مردم دنیا می‌باشد ولی نکته مهم این است که این دسترسی بر مبنای عدالت نیست. جایی دچار فقر و کم غذایی و جایی دیگر در حال ذخیره سازی می‌باشند و همین باعث شده که کشورهای پیشرفته که تولید غذایی فراوان دارند، محصولات را بصورت انحصاری در اختیار داشته و قیمت و ارزش محصولات مهم و استراتژیک را در انحصار خود درآورند. از طرف دیگر، نوع مصرف مواد غذایی و اسراف بی رویه آن نیز

در برخی جوامع و کشورها در مقدار محصولات در دسترس بی تاثیر نیست. بدیهی است رسیدن به عملکرد پتانسیل و یا حتی به درصدی از آن، مستلزم صرف هزینه های مالی و مدیریتی و حتی ذهنی است که تمام کشاورزان نمی توانند از عهده آن بیاورند.

طبق تحقیقات میدانی از کشاورزان، رسیدن به ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل، بعنوان عملکرد متصور و قابل حصول و سطح خوب اقتصادی تولید در زراعت شایان توجه است. رسیدن به این سطح از رضایت مندی از تولید، مستلزم استفاده از نهاده ها و هزینه های جانبی است که کشاورزان پیشرو و متمول از عهده آن برمی آیند. البته عوامل محیطی و منطقه ای مانند عوامل اقلیمی، خاک و علف های هرز، آفات و بیماریها نیز در حصول عملکرد پتانسیل بسیار موثر می باشند.

### ۱-۳- خلاء عملکرد

خلاء عملکرد به صورت اختلاف بین عملکردهای واقعی در مقابل عملکرد به دست آمده تحت شرایط مطلوب مدیریتی تعریف می شود (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹). به بیان دیگر، در یک منطقه مشخص خلاء عملکرد عبارت از اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی بدست آمده در مزارع کشاورزان آن منطقه می باشد (ترابی، ۱۳۹۰).

در دهه ی گذشته اصطلاح خلاء عملکرد و همچنین آنالیز خلاء عملکرد به صورت گسترده در مقالات علمی در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته و در کشور ما نیز در حال حاضر به اصطلاحی آشنا برای محققین تبدیل شده است. آنالیز خلاء عملکرد یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه مشخص را فراهم می آورد که یک جزء مهم در طراحی استراتژی های تأمین غذا در مقایسه منطقه ای، ملی و در سطح جهانی است (مقدادی، ۱۳۹۳). نتایج بررسی انجام شده در مورد روند ۵۰ ساله وضعیت تولید غلات در ایران نشان داده است که سطح زیر کشت گندم کشور بویژه در طی ۱۰ سال گذشته رشد اندکی داشته و افزایش تولید این محصول

عمدتا ناشی از افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد (حجارپور، ۱۳۹۵).

با در نظر گرفتن موارد بیان شده فوق، افزایش تولید از طریق گسترش سطح زیر کشت راه حل مناسبی نمی‌باشد چون این امر مستلزم استفاده از اراضی می‌باشد که در درازمدت ممکن است تولید در آنها از ثبات کمتری برخوردار باشد؛ افزون بر آن، با این کار از سطح کشت محصولات دیگر نیز کاسته خواهد شد و نوعی بی‌نظمی در کشت و محصول و قیمت را خواهیم داشت. موفقیت در این امر مستلزم آگاهی از عملکرد بالقوه و شناخت عوامل محدود کننده عملکرد در مناطق مختلف تولید می‌باشد. تولید یا عملکرد واقعی در هر محیط معین برابر با مقدار کمتر تولید تشعشع محدود، آب محدود یا عنصر محدود است که ممکن است که تحت تاثیر عواملی مثل وقوع آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و آلاینده‌های محیطی بیشتر کاهش یافته باشد. عملکرد در این شرایط به عملکرد بالقوه یا پتانسیل موسوم است (سلطانی، ۱۳۹۵). دستیابی به این سطح از عملکرد (عملکرد پتانسیل) در شرایط مزرعه امکان پذیر نخواهد بود زیرا مجموعه‌ای از عوامل محدود کننده شامل آب و مواد غذایی و عوامل کاهش دهنده شامل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز رشد را تحت تاثیر قرار داده و عملکرد واقعی به سطحی به مراتب پایین‌تر از مقدار پتانسیل آن تقلیل می‌یابد. بنابراین اختلاف بین عملکرد پتانسیل و واقعی که اصطلاحاً خلاء عملکرد نامیده می‌شود در برگیرنده مجموعه عواملی است که هدف از مدیریت و پژوهش‌های زراعی کنترل آنها می‌باشد (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۴).

در برخی از کشورها عملکرد گیاهان زراعی به حد نهایی و یا نزدیک به ۷۵ تا ۹۰ درصد عملکرد پتانسیل سقف خود رسیده است (کسمن و همکاران، ۲۰۰۳؛ گرازینی و همکاران، ۲۰۱۱). در این مناطق عملکرد بدست آمده کشاورزان و آن چیزی که به صورت تئوری تحت مدیریت‌های بهینه قابل دستیابی است به یکدیگر نزدیک شده است و افزایش بیشتر عملکرد کشاورزان به لحاظ نظری و مدیریتی مشکل و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد (ون‌ایترسام و کسمن، ۲۰۱۳). ولی در مورد غلات و محصولات مهم زراعی، میزان عملکرد در مقیاس جهانی هنوز امکان افزایش داشته و در

ارتباط با کشورمان ایران که اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل زیاد است، بررسی و پیگیری علل خلاء عملکرد و نتایج آن می‌تواند کمک شایانی به رفع آن داشته باشد.

با توجه به موارد گفته شده و پیش بینی افزایش جمعیت در سالهای آینده و نگرانی تامین غذا و در راس آنها محصولات استراتژیک نظیر گندم، مبحث خلاء عملکرد و بررسی موارد رفع و یا بهبود آن بعنوان یکی از نیازهای تحقیقاتی و چالش‌های مهم زراعی می‌باشد. در حال حاضر اغلب کشورهای توسعه یافته دارای مازاد تولید و اغلب کشورهای در حال توسعه دارای کمبود تولید هستند. بنابراین اندرسون و همکاران (۲۰۱۶) پیشنهاد می‌کنند که مطالعات خلاء عملکرد باید در بخش‌هایی از جهان متمرکز بشود که مشکل امنیت غذایی وجود دارد به این علت که در آنجا مصرف‌کننده توان پرداخت برای محصولات وارداتی را ندارد. به عنوان مثال نواحی و ایالات اصلی تولید کننده محصولات دانه‌ای در استرالیا بیش از ۸۰ درصد گندم تولیدی خود را به کشورهای نظیر اندونزی، عراق، ایران، کره و ویتنام صادر می‌کنند. بنابراین در صورتی که عمده مطالعات خلاء در خود این کشورها انجام شود از وارد شدن هزینه‌های اضافی به مصرف‌کننده جلوگیری می‌شود (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۵).

هم اکنون بخش عمده‌ای از غذای جهان از ۲۰ گونه زراعی بدست می‌آید. اما در این میان غلات به تنهایی ۸۰ درصد غذای مردم جهان و گندم، برنج و ذرت ۶۰ درصد آن را تأمین می‌کنند (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۲). در ایران نیز غلات با متوسط سالانه تولید ۱۴/۷ میلیون تن رتبه اول را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که پتانسیل بسیار بالاتری برای تولید در ایران وجود دارد. به عنوان مثال متوسط تولید گندم در کشور در طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ در بخش دیم کمتر از یک تن و در بخش فاریاب کمتر از ۳ تن بوده است، در حالی که عملکرد همین محصول در کشور نیوزلند که تقریباً در یک عرض جغرافیایی با ایران و در نیمکره‌ی جنوبی واقع شده است، در حدود ۸ تن می‌باشد.

این مطلب در مورد سایر محصولات نیز صادق می‌باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که

پتانسیل‌های زیادی برای افزایش تولید در ایران وجود دارد. در تحقیقی که در شهرستان گرگان در طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ و در ۹۵ مزرعه گندم انجام گرفت نشان داد در حالی که متوسط عملکرد کشاورزان ۴۷۰۰ کیلوگرم است، آن‌ها می‌توانند با بهبود مدیریت زراعی به عملکرد ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یابند (حجاریپور و همکاران، ۱۳۹۴).

در مجموع عملکرد گیاهان زراعی و امنیت غذایی جهان در آینده، تا حدود زیادی به توانایی کشاورزان در سراسر جهان جهت کم کردن فاصله بین پتانسیل عملکرد و عملکردهای واقعی فعلی بستگی دارد؛ به خصوص اینکه روند افزایش عملکرد پتانسیل نیز در دهه‌های اخیر بسیار کند شده است. بنابراین، در مکان‌هایی که عملکردشان به عملکرد پتانسیل منطقه نزدیک‌تر است در آینده از جهت تامین غذا نگرانی بیشتری وجود دارد (ترابی و همکاران، ۱۳۹۰).

#### ۱-۴- تشعشع خورشید، عاملی مهم در تعیین عملکرد پتانسیل

نسبت میان تشعشعات خورشیدی که به یک جسم غیر درخشان برخورد می‌کند با میزان انعکاس آن در هوا را آلبدو می‌گویند. مقدار آلبدوی متوسط زمین ۴۰ درصد تشعشعات خورشیدی است این اتلاف انرژی به نسبت نوع پوشش مناطق مختلف زمین فرق می‌کند و میزان آن در سطوح پوشیده از گیاه ۱۰ تا ۱۵ درصد؛ در نواحی پوشیده از برف ۸۰ درصد؛ در سنگهای عریان و بیابانها بیش از ۲۵ درصد و در روی دریاها (هنگامی که زاویه تشعشع اشعه نسبت به افق ۳۰ درجه باشد) حدود ۱۴ درصد است. بر حسب انواع ابر نیز مقدار انعکاس تفاوت می‌کند. برای ابرهای آل‌تواستراتوس کمتر و در ابرهای استراتوکومولوس مقدار آن بیشتر است.

ایران دارای ویژگیهای مختلف جغرافیایی و آب و هوا و اقلیم های گوناگون می‌باشد و پتانسیل بالایی از لحاظ ساعات آفتابی به عنوان مهمترین فاکتور تعیین کننده تشعشع خورشید دارد. مطالعات

زیادی و در مناطق زیادی جهت محاسبه تشعشع خورشیدی در ایران صورت گرفته است و در هر منطقه عوامل تاثیرگذار بسته به نوع اقلیم و آب و هوا متفاوت است. در سواحل شمالی و جنوبی مقادیر تشعشع خورشید با استفاده از مدل های متفاوت تشعشع خورشیدی و با استفاده از آمار ساعات آفتابی، پوشش ابری، رطوبت نسبی، میانگین دمای حداکثر و آلودگی زمینی تخمین و نتایج حاصله با یک فرمول عمومی برآورد تشعشع خورشید مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که فرمول یادشده با آمار پیرانومتری بیشتر مطابقت دارد و برای تخمین تشعشع خورشید در دیگر مناطق ساحلی بدون آمار مناسب می باشد (سبزی پرور، ۲۰۰۷). برای برآورد تشعشع خورشیدی کل روزانه در ایستگاههای کرج و شیراز از شبکه های عصبی مصنوعی و مدل های رگرسیونی با مبنا قرار دادن فاکتورهای ساعات آفتابی حداکثر، تشعشع فرازمینی و دماهای حداقل و حداکثر بهره برداری شد (بیات و میرلطیفی، ۱۳۸۸).

آلن (۱۹۹۸) با استفاده از پارامتر ساعت آفتابی رابطه زیر را ارائه داد که ضرایب تجربی  $a$  و  $b$  به ترتیب برابر  $۲۱/۴$  و  $۱۴/۴$  در نظر گرفته می شود:

$$\frac{R_s}{R_a} = a + b \times \left(\frac{n}{N}\right)$$

که در آن،  $n$  ساعت آفتابی روزانه اندازه گیری شده در ایستگاه مورد نظر و  $N$  بیشینه ساعات آفتابی روزانه محاسبه شده در همان ایستگاه می باشد.  $R_s$  و  $R_a$  به ترتیب تشعشع رسیده به زمین و تشعشع برون زمینی (تشعشع خارج از جو) بر حسب مگاژول بر مترمربع بر روز است (تشعشع خارج از جو مقداری از انرژی خورشیدی است که به بالای اتمسفر زمین می رسد و با توجه به عرض جغرافیایی و عرض جغرافیایی و روز سال میلادی متفاوت است). تشعشع برون زمینی و بیشینه ساعات آفتابی تابعی از عرض جغرافیایی محل و روزشمار سال هستند.

هارگریوز و سامانی (۱۹۸۲) با استفاده از دمای کمینه ( $T_{min}$ ) و دمای بیشینه ( $T_{max}$ ) و تشعشع برون زمینی ( $R_a$ ) تشعشع کل خورشیدی را توسط رابطه ذیل برآورد کردند. ضریب

تجربی  $kr$  در این رابطه برای مناطق ساحلی ۰/۱۹ و برای مناطق غیرساحلی ۰/۱۶ پیشنهاد شده است.

$$\frac{R_s}{R_a} = Kr \times (T_{max} - T_{min}) \times 0.5$$

عبدالله (۱۹۹۴) رابطه زیر را برای پیش بینی تشعشع خورشیدی ارائه کرد:

$$\frac{R_s}{R_a} = a + b \left( \frac{n}{N} \right) + c \times RH + T_{mean}$$

که در آن  $T_{mean}$  دمای متوسط روزانه و  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $d$  ضرایب رابطه می‌باشند که برای هر منطقه باید واسنجی شوند (سیدیان و همکاران، ۱۳۹۶).

از دیگر روابط برای محاسبه تشعشع خورشید می‌توان به معادلات ذیل اشاره کرد:

$$R_s = a + b \left( \frac{n}{N} \right) R_a$$

که در آن  $R_s$  تشعشع دریافتی در سطح افقی،  $R_a$  مقدار ثابت تشعشع در خارج از جو،  $a$  و  $b$  ضرایب اقلیمی،  $n$  تعداد ساعات آفتابی اندازه گیری شده و  $N$  تعداد ساعات آفتابی بالقوه نجومی در روز مورد مطالعه است. در این مدل بسیاری از پارامترهای جوی مانند میزان رطوبت، آلودگی جوی، آلودگی زمین، پخش و جذب ذرات جوی، اثر گازها و آب موجود در جو، ازن و غیره در نظر گرفته نشده است. چنین پارامترهایی نقش اساسی در میزان تشعشع دریافتی دارند. این مدل بعدها توسط دیویس و همکاران (۱۹۸۸) اصلاح گردید. لیکن نقص اساسی مدل، عدم استفاده از ساعات آفتابی و ابری در میزان تشعشع دریافتی در سطح زمین بود.

برد و هول استورم (۱۹۸۱) با توجه به اثر پارامترهای جوی، رابطه زیر را برای تخمین تشعشع خورشیدی ارائه کردند:

$$H = \frac{(H_B \cos \theta + H_{DF})}{(1 - r_{grs})}$$



که در آن  $H$  تشعشع کل روزانه دریافتی سطح زمین که از پارامترهای مختلفی تشکیل شده است.  $HB$  تشعشع مستقیم روزانه دریافتی سطح زمین،  $\theta$  زاویه سطح الراس خورشید،  $HDF$  تشعشع پراکنده روزانه دریافتی سطح زمین و  $rg$  و  $rs$  به ترتیب آلودگی زمین و آلودگی جو هستند. میزان آلودگی تأثیر زیادی بر مقدار تشعشع دریافتی دارد. مقدار  $HB$  (تشعشع مستقیم روزانه دریافتی سطح زمین) از طریق رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$HB = IB \frac{n}{N}$$

که در آن  $IB$  تشعشع مستقیم برای آسمان صاف است که خود با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$IB = 0.9662 \times I_o \times (TM - a_w) \times TA$$

که در آن  $I_o$  ثابت خورشیدی به مقدار ۱۳۶۶ وات بر متر مربع،  $TM$  قابلیت انتقال گازهای اتمسفری به جز بخار آب،  $TA$  قابلیت انتقال بعثت جذب و پخش توسط ذرات،  $A_w$  ضریب جذب بخار آب است که با رابطه زیر محاسبه می‌شود (سفری پور و مهربان، ۲۰۱۱):

$$A_w = 2.4959 \times m \times U_w \times [(1.0 + 79.03 \times m \times U_w) \times 0.6824 + 6.385 \times m \times U_w] - 1$$

که در آن  $U_w$  آب قابل بارش در یک ستون عمودی و  $m$  جرم توده هواست که با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$m = [\cos \theta + 0.15 \times (93.885 - \theta) - 1.25] - 1$$

که در آن  $\theta$  زاویه سمت الراس خورشید بر حسب درجه است. تشعشع خورشیدی با سمت الراس های متفاوت، مسیرهای مختلفی را برای گذر از اتمسفر و رسیدن به سطح زمین طی می‌کند.

مقدار  $HDF$  در روابط بالا (تشعشع پراکنده روزانه دریافتی سطح زمین) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$HDF = IDF \frac{n}{N} + K \times (1 - \frac{n}{N}) (IB + IDF)$$

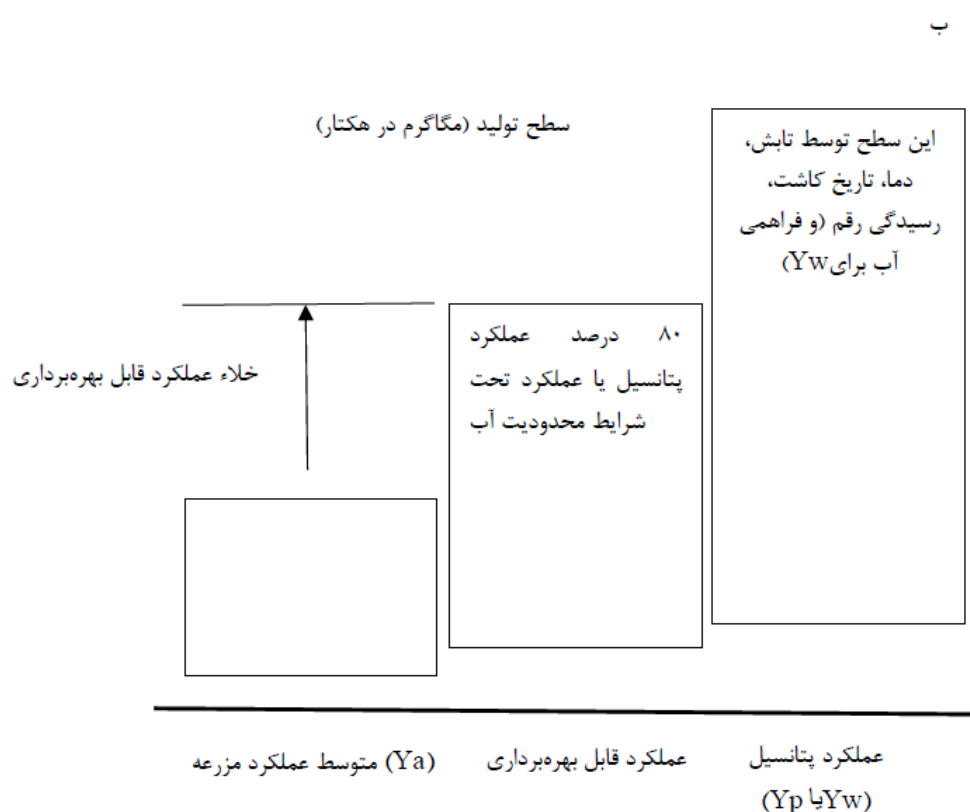
که در آن  $n$  تعداد ساعات آفتابی اندازه گیری شده در طی روز،  $N$  تعداد ساعات آفتابی بالقوه ی نجومی در روز مورد مطالعه که بر اساس فصل سال و زاویه خورشید متغیر است،  $K^*$  ضریب ثابت  $0.32$  و  $IDF$  تشعشع پراکنده برای آسمان صاف است که با رابطه زیر محاسبه می گردد (بیرد و هولستروم، ۱۹۸۱):

$$IDF = I_o \times (\cos\theta) \times (0.79) \times T_0 T_W T_{UM} T_{AA} [0.5(1 - TR) + \frac{Ba(1 - TAS)}{[1 - m + (m)1.02]}]$$

که در آن  $T_0$  قابلیت انتقال بوسیله ازن،  $T_W$  قابلیت انتقال بوسیله بخار آب،  $T_{UM}$  قابلیت انتقال بوسیله اکسیژن و دی اکسید کربن،  $T_A$  قابلیت انتقال بوسیله جذب و پخش توسط ذرات،  $T_{AA}$  قابلیت انتقال به علت جذب توسط ذرات،  $TR$  قابلیت انتقال به علت پخش ریلی، و  $TAS$  نسبت  $T_A$  به  $T_{AA}$  می باشد. در انتها با استفاده از اندازه گیری تشعشع مستقیم  $HB$  و پراکنده  $HDF$  روزانه دریافت شده سطح زمین که از روابط ذکر شده بالا بدست می آید، مقدار تشعشع کل دریافت شده روزانه ی سطح زمین ( $H$ ) با استفاده از رابطه های بالا محاسبه می گردد (مجرد و فتح نیا، ۱۳۹۴).

## ۱-۵- محاسبه عملکرد پتانسیل

عملکرد پتانسیل را می توان به سه طریق محاسبه کرد؛ اولین روش از طریق شبیه سازی عملکرد به وسیله مدل های گیاهان زراعی است. روش دیگر اندازه گیری مستقیم عملکرد حاصل شده در مزارع آزمایشی کنترل شده و بدون عوامل محدود کننده تحت نظارت متخصصین زراعت است و در نهایت بیشترین عملکرد ثبت شده توسط کشاورزان هم می تواند به نحوی نشان دهنده ی عملکرد پتانسیل منطقه باشد (مقدادی، ۱۳۹۳). شکل ۱-۳ شمایی از خلاء عملکرد را نشان می دهد.



شکل ۱-۳- مدل مفهومی خلاء عملکرد (ون ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳)

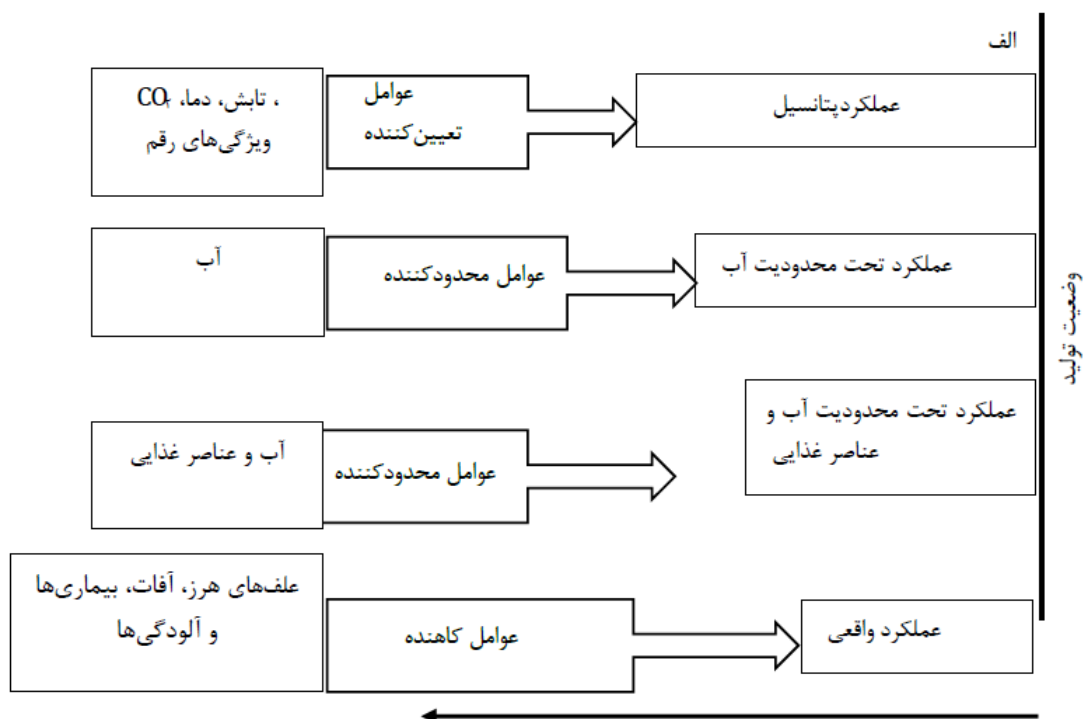
هر یک از سه روش فوق‌الذکر در خصوص تخمین و اندازه‌گیری عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد، نقاط قوت و ضعف خاص خود را دارند. مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی برای تخمین عملکرد پتانسیل محصول از مقیاس مزرعه‌ای تا مقیاس منطقه‌ای یا ملی استفاده می‌شوند (آگاروال و کالرا، ۱۹۹۴؛ لوبل و همکاران، ۲۰۰۵). اگرچه بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی می‌توانند عملکرد پتانسیل را در شرایط فاریاب و دیم شبیه‌سازی کنند، اما فقط تعداد کمی از آنها می‌توانند با دقت زیاد اثر سایر تنش‌ها مثل کمبود نیتروژن و سایر عناصر غذایی و خسارت ناشی از آفات، حشرات، بیماری‌ها و علف‌های هرز قوی را شبیه‌سازی کنند. علی‌رغم این اختلافات، تعدادی از مدل‌های قوی وجود دارند که عملکرد مزارع را به‌طور منطقی تخمین می‌زنند (ترابی و همکاران، ۱۳۹۰). برای درک سیستم تولید توسط مدل‌های شبیه‌سازی، سه سطح تولید به منظور بررسی قابلیت تولید گیاهان زراعی پیشنهاد شده است که به شرح زیر می‌باشد:

- در سطح تولید یک، رشد در طول زندگی گیاه با قابلیت دسترسی فراوان به آب و مواد غذایی اتفاق می‌افتد. در چنین شرایطی، عملکرد پتانسیل رقم به عوامل تعیین کننده عملکرد مثل تشعشع خورشیدی، دما، دی اکسید کربن و خصوصیات ژنوتیپی بستگی دارد. به عملکردهای بدست آمده در این سطح تولید، عملکردهای پتانسیل آب نامحدود (بدون محدود کننده گی آب) اطلاق می‌شود.

- در سطح تولید دو، حداقل در یک قسمت از زندگی گیاه رشد به وسیله قابلیت دسترسی به آب محدود می‌شود (محصولات دیم). عملکردهای بدست آمده در این سطح، عملکرد پتانسیل آب محدود نام دارد.

- در سطح تولید سه، در قسمت‌های مختلف از چرخه زندگی گیاه کمبود مواد غذایی و آب وجود دارد. حداکثر عملکرد بدست آمده در این سطح به میزان دسترسی به مواد غذایی و آب بستگی دارد (ترابی، ۱۳۹۰).

شکل ۱-۴ خلاء عملکرد ایجاد شده و عوامل موثر بر آن با استفاده از روش شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. اعتبار مدل‌های شبیه‌سازی به ارزیابی آن‌ها تحت شرایط مزرعه وابسته است. این مدل‌های شبیه‌سازی بر اساس روابط ریاضی استوار هستند که با استفاده از درک فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه حداکثر عملکرد بیولوژیک را تعیین می‌کنند و قسمتی از این عملکرد را به دانه اختصاص می‌دهند. این شبیه‌سازی‌ها در مقابل مطالعات مزرعه که سعی می‌شود تحت شرایط مطلوب و کامل مدیریت انجام شده ارزیابی گردند (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹).



سطح تولید (تن در هکتار)

شکل ۱-۴- خلاء عملکرد ایجاد شده و عوامل موثر بر آن با استفاده از روش شبیه‌سازی

عملکردهای آزمایشات مزرعه‌ای: اندازه‌گیری‌های مستقیم عملکرد پتانسیل می‌تواند در آزمایشات مزرعه‌ای که عملیات مدیریتی برای حذف همه عوامل کاهنده عملکرد مثل کمبود مواد غذایی، سموم، خسارت آفات، حشرات، بیماری‌ها و رقابت با علف‌های هرز طراحی شده، استفاده شود (ترابی و همکاران، ۱۳۹۰). انجام آزمایشات مزرعه‌ای برای اندازه‌گیری‌های مستقیم پتانسیل عملکرد باید با توجه به ایجاد شرایط مطلوب مدیریتی صورت گیرد. بهترین عملیات مدیریتی توصیه شده برای دستیابی به عملکرد پتانسیل، به علت عدم اجرای کامل مدیریت قابل دسترس نیست. به همین دلیل برای دستیابی به تخمین‌های قوی عملکرد پتانسیل برای یک مکان معین اجرای آزمایشات در طول چندین سال نیاز است که میانگین تخمین دامنه‌ای از تغییرات اقلیم را منعکس کند (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹). تراکم مطلوب بوته یا میزان مطلوب نیتروژن در محیط دیم عمدتاً به میزان بارندگی بستگی دارد. بنابراین در چنین مواردی لازم است از طریق مدل‌های شبیه‌سازی بهترین ترکیب عملیات

مدیریتی که احتمالاً بیشترین عملکرد ممکن را خواهد داشت، مشخص شود (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹).

حداکثر عملکرد کشاورزان: یک شیوه جایگزین اما تقریباً غیر معمول برای تخمین عملکرد پتانسیل، مشاهده حداکثر عملکرد بدست آمده توسط کشاورزان است (لوبل و همکاران، ۲۰۰۵؛ سدرارز و همکاران، ۲۰۰۲). استفاده از حداکثر عملکرد کشاورزان به عنوان عملکرد پتانسیل تنها در سیستم‌هایی مناسب است، که در آن کشاورز سطوح کود، آفات و بیماری‌ها را برای نزدیک شدن به عملکرد پتانسیل کنترل می‌کند. اگرچه رسیدن عملکرد کشاورز به عملکرد پتانسیل، حتی با نهاده‌های بالا، تقریباً بعید است، اما احتمال دارد که در بین کشاورزان مختلف حداقل یک کشاورز به عملکرد پتانسیل نزدیک شود (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹).

با افزایش جمعیت در کره زمین نیاز به ایجاد تحول در روشهای کاشت، داشت و برداشت برای رسیدن به محصول بیشتر احساس شد و این تحولات علمی و مدیریتی تحت عنوان انقلاب سبز منجر به افزایش عملکرد گندم در واحد سطح گردید. پس از انقلاب سبز، این افزایش دیگر ادامه نیافت و حتی کاهشی نیز شد. ظرفیت نهایی تولید غذا در جهان بر اثر محدودیت مساحت زمین‌های مناسب و منابع آب در دسترس و همچنین محدودیت‌های بیوفیزیکی مربوط به رشد گیاهان زراعی، محدود می‌شود. کمی‌سازی ظرفیت تولید در واحد سطح برای مزارع فعلی، توسعه و سرمایه‌گذاری جهت کمک به کشاورزان منطقه در اتخاذ تصمیم‌های مناسب زراعی ضروری است (ون ایت‌راسام، ۲۰۱۳).

بررسی، محاسبه و تحلیل خلاء عملکرد یک تخمین مقداری از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک منطقه مشخص را فراهم می‌آورد که یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تامین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی است (وان وارت، ۲۰۱۳). عدم انجام به‌زراعی و کنترل عوامل محدود کننده و استفاده نابجا از ظرفیت‌های تولید در بسیاری از مناطق کشور و شهرستان، دستیابی به پتانسیل عملکرد را دشوار نموده است.

یکی از مشکلات اساسی در تولید گیاهان زراعی در کشور ما نیز اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و پتانسیل عملکرد (خلاء عملکرد) می‌باشد. شناخت محدودیت های عملکرد می‌تواند محققان را در تلاش برای کاهش خلاء عملکرد یاری دهد (سلطانی، ۲۰۰۹). در خصوص خلاء عملکرد از نخستین پژوهش‌های انجام شده می‌توان به تحقیق انجام شده توسط سلطانی و همکاران (سلطانی، ۲۰۰۰) اشاره کرد که در آن به تجزیه و تحلیل محدودیت های تولید گندم در استان گلستان پرداخته شده است. آنان با استفاده از آمار بیست ساله هواشناسی ۱۰ ایستگاه در یک مطالعه شبیه سازی، توان تولید دیم در سه نوع خاک سنگین، متوسط و سبک و همچنین توان تولید در شرایط فاریاب را تخمین زده و به بررسی عوامل محدود کننده تولید در این شرایط پرداختند. مشکلات موجود در بحث تامین غذای کافی و دغدغه های ایجاد شده در امنیت غذایی، محققان را بر آن داشته است تا در زمینه خلاء عملکرد تحقیقات زیادی در سطح جهان (ون ایترسام و لوبل، ۲۰۱۳؛ وانگ، ۲۰۱۵) و ایران (سلطانی، ۲۰۰۹؛ سلطانی، ۲۰۱۶؛ حجارپور، ۲۰۱۶) انجام دهند. در شهرستان گنبدکاووس نیز با توجه به شرایط و امکانات در بخش های مختلف زراعت، زمین و هوا و اقلیم و سابقه کشت گندم، عملکرد واقعی بسیار کمتر از پتانسیل عملکرد می‌باشد و نیاز به تحقیق در این زمینه بیشتر از هر زمانی احساس می‌شود.





# فصل دوم

## بررسی منابع

## ۲-۱- مطالعات و پژوهشهای خلاء عملکرد

افزایش جمعیت و به تبع آن نیاز به رفع مشکلات غذایی در آینده مهمترین دلیل برای افزایش تولید و شناخت موانع موجود در تولید محصولات استراتژیک و در راس آنها گندم می‌باشد. میزان تولید در واحد سطح کشت شده دارای پتانسیلی می‌باشد که به دلایلی این پتانسیل کاهش می‌یابد و نیاز به تحقیقات و بررسی‌هایی برای یافتن موانع و مشکلات نرسیدن به عملکرد مطلوب احساس می‌شود تا با شناسایی این موانع سعی در افزایش تولید داشت. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی مدیریت‌های زراعی رو به گسترش بوده و پژوهشگران زیادی از این مدل‌ها استفاده کرده‌اند.

آنالیز خلاء عملکرد یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه مشخص را فراهم می‌آورد که یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقایسه منطقه‌ای، ملی و در سطح جهانی است (ون‌وارت و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی خلاء عملکرد گیاهان زراعی به صورت گسترده‌ای در جهان و در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفته که از نظر وسعت می‌توان آنها را در چهار سطح جهانی (نومان و همکاران، ۲۰۱۰؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۲)، قاره‌ای (بوگارد و همکاران، ۲۰۱۳؛ ون‌وارت و همکاران، ۲۰۱۳)، ملی (باتیا و همکاران، ۲۰۰۶؛ منگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ هاچمن و همکاران، ۲۰۱۳) و منطقه‌ای (لو و فان، ۲۰۱۳؛ قنبری و تایی‌سمیری، ۲۰۱۲؛ ترابی و همکاران، ۲۰۱۱؛ قرینه و همکاران، ۱۳۹۱؛ نصیری و کوچکی، ۱۳۸۸) قرار داد که بیشتر این مطالعات بر روی غلات به ویژه سه غله اصلی یعنی گندم، ذرت و برنج که تأمین‌کننده بخش زیادی از غذای بشر هستند متمرکز بوده است.

با توجه به اهمیت آنالیز خلاء عملکرد در کشورهای در حال توسعه، نشریه معتبر Field Crop Research در سال ۲۰۱۳ شماره ۱۴۳ خود را به طور ویژه به این موضوع و تحقیقات انجام شده بر روی آن اختصاص داده است. در این شماره محققانی از سرتاسر جهان در مورد روش‌های مختلف و

نحوه‌ی کاربرد آنها جهت برآورد خلاء عملکرد در سطح محلی تا جهانی صحبت کرده‌اند (ون ایترسام و کاسمن، ۲۰۱۳). این کار در راستای اهداف پروژه‌ی اطلس جهانی خلاء عملکرد صورت گرفته است.

در سال‌های اخیر، آنالیز خلاء عملکرد و پهنه‌بندی اگرواکولوژیک گیاهان زراعی به صورت گسترده‌ای در جهان و در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفته که بیش‌تر این پژوهش‌ها روی غلات به ویژه سه غله اصلی یعنی گندم، ذرت و برنج که تأمین کننده بخش زیادی از غذای بشر هستند متمرکز بوده است (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۴).

گوبت و همکاران (۲۰۱۶) در آزمایشی بر اساس پروتکلی معین، میزان خلاء عملکرد گندم دیم را در استرالیا برآورد نمودند. بر این اساس مطالعه‌ی بوسیله مدل زراعی APSIM برای گندم دیم طی سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۱۰ انجام شد. نتایج نشان داد که میزان خلاء عملکرد برای گندم دیم در استرالیا ۲ تن در هکتار می‌باشد. استفاده از ارقام مناسب و بهبود روش‌های مدیریتی در مزارع بعنوان گزینه‌های برطرف نمودن خلاء عملکرد مطرح نمودند.

لی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل APSIM-wheat و عملکردهای گندم در سطح مزرعه طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ برای تحلیل توزیع زمانی- فضایی خلاء عملکرد گندم زمستانه در ناحیه دشت شمالی چین استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که خلاء عملکرد برآورد شده در سرتاسر این ناحیه طی این سال‌ها بین ۱۱۴۰ تا ۶۸۱۰ کیلوگرم در هکتار با متوسط وزنی ۳۶۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. وقتی این خلاء به صورت عملکرد نسبی بیان شد (درصد خلاء عملکرد نسبت به پتانسیل عملکرد)، دارای دامنه‌ای از ۱۵ تا ۸۰ درصد با میانگین وزنی ۴۵ درصد بود. در این نواحی با وجود اثرات منفی افزایش دما و کاهش تشعشع خورشیدی، عملکردهای پتانسیل به دلیل بهبود ارقام به‌طور قابل توجهی (۴۵ کیلوگرم در هر سال) طی این سال‌ها افزایش یافته بود.

ژی جوان لی و همکاران (۲۰۱۶) خلاء عملکرد محصول ذرت ناشی از کنترل زراعی نامناسب و عوامل اقتصادی و اجتماعی شمال‌شرقی چین را با استفاده از مدل APSIM-Maize مورد مطالعه قرار

دادند. این مطالعه در سطح پنج هزار هکتار از اراضی و با استفاده از اطلاعات بلند مدت ۵۵ ایستگاه هواشناسی انجام شد و شبیه‌سازی را از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ انجام دادند. آنها عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل دسترس را ۱۲/۳ و ۱۱/۵ تن در هکتار برآورد کردند در حالی که عملکرد ثبت شده و واقعی کشاورزان به ترتیب ۶/۴ و ۴/۵ تن در هکتار بود. ایشان میانگین خلاء عملکرد کل را ۶۴ درصد عملکرد پتانسیل بدست آوردند. نتایج آنها نشان داد که ۸، ۴۰ و ۱۶ درصد کاهش در عملکرد نسبت به پتانسیل آن به ترتیب مربوط به عوامل غیر قابل کنترل، عوامل زراعی و عوامل اقتصادی اجتماعی می‌شود و به این نتیجه رسیدند که کنترل آنها کمک زیادی به کاهش خلاء عملکرد در آن مناطق خواهد کرد.

مرلوس و همکاران (۲۰۱۵) در آرژانتین بر روی ۳ گیاه ذرت، گندم و سویا برای تعیین میزان خلاء عملکرد مطالعه نمودند. نتایج ابتدا برای هر نقطه مورد بررسی قرار گرفت، سپس به وسیله راهکار پایین به بالا یا جزء به کل<sup>۱</sup> در سطح ملی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که میزان خلاء عملکرد در ذرت و گندم تحت کشت دیم ۴۱ در صد و برای سویا ۳۲ در صد عملکرد پتانسیل بدست آمده است. نتایج این مطالعه پدیده ENSO<sup>۲</sup> (النینو- نوسانات جنوبی) را عامل اصلی این خلاء عملکرد در آرژانتین طی سال‌های گذشته می‌داند.

بایندر و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای را بوسیله مدل CERES-Maize در شمال دشت چین برای بررسی میزان خلاء عملکرد ذرت بهاره و تابستانه انجام دادند. نتایج نشان داده است که میزان عملکرد شبیه‌سازی شده برای ذرت تابستانه و بهاره به ترتیب ۴/۸ و ۵/۷ تن در هکتار بوده است. درارتباط با ذرت تابستانه، طول دوره رشدی باعث کاهش عملکرد آن بوده است. تأخیر ۳ روزه در تاریخ کاشت (مواجهه با فصول بارانی) و عدم مواجه شدن با شرایط کمبود آب (در مراحل حساس رشدی) دو پیشنهادی که باعث افزایش حدود ۱۳ درصدی عملکرد ذرت بهاره می‌شود.

---

<sup>۱</sup> - bottom-up

<sup>۲</sup> El-nino Southern Oscillation

کاسیا و همکاران (۲۰۱۴) از رویکرد شبیه‌سازی چند مدلی رشد گیاه زراعی با بکارگیری دو مدل گیاه زراعی (DSSAT و WOFOST) برای توصیف تغییر پذیری ناشی از اقلیم و خلاء عملکرد ذرت استفاده کردند. شبیه‌سازی آنها نشان داد که عملکرد پتانسیل ذرت (متوسط سه مکان و بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹) بر مبنای میانگین اختلاف بین دو مدل برای ارقام زودرس و دیررس به ترتیب بین ۶/۸-۷/۱ و ۸/۲-۹/۲ تن در هکتار بود. همچنین، عملکرد شبیه‌سازی شده ذرت در شرایط محدودیت آب در این سال‌ها و سه مکان در ارقام زودرس بین ۶/۱-۶/۷ تن در هکتار و در ارقام دیررس بین ۷/۲-۷/۹ تن در هکتار بود.

خلاء عملکرد بین میانگین عملکرد کشاورزان و عملکرد شبیه‌سازی شده تحت شرایط محدودیت آب در محدوده‌ای بین ۴/۷ تا ۶ تن در هکتار برآورد شد. بر این اساس، نتایج آنها نشان داد که عملکرد کشاورزان در این نواحی تنها ۲۸ تا ۳۰ درصد از عملکرد شبیه‌سازی شده تحت شرایط محدودیت آب بود.

پاسوکوین و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی خلاء عملکرد ذرت در جنوب شرقی آسیا در ارتباط با مدیریت مکانی استفاده عناصر غذایی را بررسی کردند. آنها مطالعه خود را در حداقل ۵۲ مکان از ۱۲ منطقه اصلی تولید ذرت در کشورهای اندونزی، ویتنام و فیلیپین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که متوسط فاصله بین عملکرد قابل حصول و عملکرد فعلی کشاورزان در این مناطق حدود ۰/۹ تن در هکتار بود.

مینگ و همکاران (۲۰۱۳) میزان عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد ذرت را در ۵۰ نقطه از کشور چین محاسبه و تجزیه و تحلیل نمودند. ایشان مهمترین علت خلاء عملکرد را ناکارآمد بودن روش‌های مدیریت زراعی معرفی کردند که باعث محدود شدن عملکرد در مزارع کشاورزان می‌شود. همچنین ایشان بیان کردند که برای کم کردن این خلاء عملکرد یک درک و همکاری متقابل بین رشته‌ای از علوم گیاهی، زراعت، علوم خاک، اکولوژی کشاورزی و مدیریت تلفیقی سیستم‌های خاک و گیاه مورد

نیاز است.

اولیور و روبرتسون (۲۰۱۳) خلاء عملکرد را در مزارع در شرایط آب و هوایی مدیترانه ای با بارندگی کم بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که خلاء عملکرد بین تولید در شرایط آب محدود و عملکرد واقعی در مورد گندم معمولاً مقداری بین ۰/۵ تا ۲/۵ تن در هکتار می باشد و این در حالی بود که میزان خلاء عملکرد در سال های خشک ۰/۶ تن در هکتار و در سال های مرطوب ۱/۵ تن در هکتار است.

مولر و همکاران (۲۰۱۲) با برآورد خلاء عملکرد در مقیاس جهانی برای سه محصول ذرت، گندم و برنج، به افزایش عملکرد قابل توجهی از طریق بهبود مصرف آب و مدیریت کود نیتروژن اشاره کردند. ایشان میزان افزایش عملکرد از طریق بهبود مدیریت زراعی را بسیار به منطقه مورد مطالعه و همچنین نوع کشت و کار مرسوم منطقه مرتبط دانستند. باتیا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل CROPGRO پتانسیل و خلاء عملکرد سویای دیم را برای ۲۱ منطقه در کشور هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که بطور متوسط پتانسیل عملکرد این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰٪ می باشد به عبارت دیگر تنها ۳۰٪ از عملکرد پتانسیل در مزارع برداشت می شود.

سنگایز و همکاران (۲۰۰۹) مطالعه ای را به منظور ارزیابی تناسب کاربری اراضی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در دومرک ترکیه انجام دادند. هدف از مطالعه اولویت بندی سه نوع کاربری کشاورزی، جنگل و مرتع- چمنزار برای منطقه مورد بررسی بود. براساس وزن های اختصاص یافته از طریق فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ترتیب کاربری اراضی عبارت بودند از: کشاورزی در بخش غربی، جنگل در قسمت شرقی و مرتع در بخش های شمالی و جنوبی دشت.

آلام و همکاران (۲۰۱۳) به منظور یافتن علل کاهش خلاء عملکرد موجود در برنج به بررسی بهترین مدیریت های زراعی در بنگلادش پرداختند. آنها عنوان کردند که متوسط عملکرد منطقه (۷ تن در

هکتار) بسیار پایینتر از عملکرد پتانسیل (۱۴ تن در هکتار) است. علت اصلی وجود چنین خلاء عملکردی استفاده کشاورزان از روش سنتی در مدیریت مزارع برنج است. انجام بهترین مدیریت زراعی منجر به افزایش ۰/۷۳ تن در هکتار عملکرد دانه نسبت به مدیریت معمول کشاورزان گردید. اندرسون (۲۰۱۰) در یک تحقیق به بررسی تاثیر مدیریت زراعی، رقم کاشت و محیط در کاهش خلاء عملکرد گندم دیم پرداخت و عملکرد واقعی و پتانسیل را مورد بررسی قرار داد. وی با بررسی عملکرد گندم طی شصت سال در استرالیا اعلام کرد که علاوه بر تاثیر عوامل اقلیمی دما و بارندگی، عوامل به-زراعی نقش پررنگی در عملکرد کشاورزان دارند.

بوباده و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی کاربری اراضی منطقه سونی، مادهایا پرداش هندوستان بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند و دریافتند که ۵۷ درصد از اراضی قابل کشت بودند که ۲۴ درصد مناسب سورگوم - سویا و ۱۵ درصد مناسب سورگوم - پنبه گزارش شدند. ۱۸ درصد باقی مانده برای برنج، مرکبات، ذرت، آفتابگردان و سبزیجات توصیه شدند. هدف این پژوهش استعدادسنجی مناطق مساعد حوزه قره‌سو استان گلستان جهت کشت سویا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بود.

اما در ایران آنالیز خلاء عملکرد به صورت پراکنده و برای گیاهان زراعی محدودی صورت گرفته است. از اولین کارهای صورت گرفته در ایران در مباحث خلاء عملکرد می‌توان به تحقیق انجام شده توسط سلطانی و همکاران (۱۳۷۹) اشاره کرد که به تجزیه و تحلیل محدودیت‌های موجود در تولید گندم در استان گلستان پرداختند. پهنه‌بندی اگرواکولوژی نیز در ایران مورد مطالعه قرار گرفته است.

در مطالعه ای دشتی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش فائو پهنه بندی میزان قدرت اقلیمی استان همدان در تولید چهار گیاه گندم، جو، سیب زمینی و یونجه را بررسی کردند. بر این اساس ایشان نتیجه گرفتند بر اساس شاخص توان تولیدی، الگوی کشت گندم، جو و سیب‌زمینی مناسب‌تری با توان اقلیمی منطقه دارد. رسولی و قائمی (۱۳۸۹) به منظور شناسایی پتانسیل

اکولوژیکی مناطق کشت کلزا از نظر دمایی مطالعه‌ای در استان‌های خراسان انجام دادند. با تشکیل لایه‌های دمایی با استفاده از GIS و معادلات رگرسیونی، مناطق کشت به چهار ناحیه مشخص با ارزش‌های بسیار مطلوب (قوچان، بجنورد، تربت حیدریه و گل‌مکان)، مطلوب، نسبتاً مطلوب و نامطلوب پهنه بندی شد.

مقدادی و همکاران (۱۳۹۳)، با پهنه‌بندی زراعی- اکولوژی استان زنجان جهت ارزیابی پتانسیل و خلاء عملکرد نخود دیم، ابتدا متوسط عملکرد پتانسیل در شرایط دیم استان را با استفاده از یک مدل ساده شبیه‌سازی گیاه نخود بدست آوردند و با توجه به میانگین عملکرد واقعی کشاورزان (میانگین ۳ سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ تا ۹۰-۱۳۸۹)، خلاء عملکرد مناطق مختلف استان را به طور میانگین ۴۳ درصد تخمین زدند که این میزان خلاء عملکرد برابر ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج ارزیابی خلاء عملکرد استان نشان داد که با پوشش ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل، امکان افزایش عملکرد از ۵-۹۵ درصد (۴۸ درصد به صورت میانگین) نسبت به عملکردهای فعلی وجود دارد. سپس نتیجه گرفتند، بهبود مدیریت کاشت، داشت و برداشت نخود، اصلی‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راه برای پر کردن خلاء عملکرد در استان زنجان می‌باشد.

سلطانی و همکاران (۲۰۱۶) در یک مطالعه شبیه‌سازی با استفاده از یک مدل گیاهی، دریافتند که امکان افزایش عملکرد نخود بین ۳۸ تا ۶۴ درصد در ایران وجود دارد و به این نتیجه رسیدند که اصول به زراعی می‌تواند اثر بیشتری نسبت به اصلاح نباتات در جهت افزایش عملکرد کشاورزان داشته باشد. نه‌بندانی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در منطقه گرگان و علی آباد کتول به بررسی خلاء عملکرد سویا با استفاده از آنالیز خط مرزی پرداختند. خلاء عملکرد با استفاده از روش آنالیز خط مرزی محاسبه شد. نتایج آنها نشان داد که میانگین عملکرد در مزارع مورد بررسی ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بوده و با بهبود مدیریت زراعی می‌توان به ۵۳۵۵ کیلوگرم در هکتار ارتقا یابد. براساس تجزیه و تحلیل اطلاعات مزارع مورد بررسی، اقدامات لازم برای دستیابی به این عملکرد عبارتند از:



(۱) مصرف حداقل ۴۸ کیلوگرم نیتروژن کودی در هکتار

(۲) مصرف حداقل ۴۳ کیلوگرم کود فسفر به صورت  $P_2O_5$  در هنگام کاشت،

(۳) مصرف ۵۳ تا ۶۷ کیلوگرم بذر در هکتار،

(۴) کشت سویا پیش از ۱۳ تیر،

(۵) کشت سویا با فاصله بین ردیف ۴۰ و روی ردیف ۵ تا ۷ سانتی متر،

(۶) حداقل ۴ نوبت آبیاری بسته به میزان بارندگی و خشکی،

(۷) برداشت سویا در محدوده زمانی اواسط مهر تا اواخر آبان.

قنبری و تایی سمیرمی (۲۰۱۲) به بررسی خلاء عملکرد با استفاده از ترکیب مدل‌های گیاهی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در جلگه بروجن استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. نصیری و کوچکی (۲۰۰۹) به منظور پهنه‌بندی استان خراسان از نظر پتانسیل عملکرد گندم مطالعه‌ای را انجام دادند و نتایج ایشان نشان داد که خلاء عملکرد در مناطقی که دارای پتانسیل عملکرد بالاتری هستند، بیش‌تر است. ترابی و همکاران (۲۰۱۲) براساس روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) به تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد گندم در شرایط گرگان پرداختند. در این روش توابع تولید عملکرد ابتدا کمی شده و سپس سهم هر یک از عوامل محدودکننده عملکرد مشخص می‌شود.

حجاریپور و همکاران (۱۳۹۴) به منظور تحلیل داده‌های حاصل از یک کار میدانی در ۹۵ مزرعه گندم در گرگان که تحت نظارت کارشناسان جهاد کشاورزی بودند از آنالیز خط مرزی استفاده کردند. عوامل مدیریتی مورد بررسی شامل میزان کود نیتروژن (N) مصرفی (به صورت پایه و سرک)، مقدار کود فسفر، مقدار کود پتاس، تعداد دفعات آبیاری، تراکم بوته و تاریخ کاشت بودند. نتیجه حاصله این بود که درحالی که متوسط عملکرد کشاورزان ۴۷۰۰ کیلوگرم است، آن‌ها می‌توانند با بهبود مدیریت زراعی به عملکرد ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یابند و برای این منظور اقدامات زیر را توصیه کردند:

(۱) مصرف حداقل ۹۶ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار که ۷۳ کیلوگرم آن باید به صورت سرک

مصرف شود.

(۲) مصرف حداقل ۳۱ کیلوگرم کود فسفر به صورت  $P_2O_5$  و ۴۰ کیلوگرم کود پتاس به صورت

$K_2O$  در هنگام کاشت،

(۳) حداقل دو نوبت آبیاری،

(۴) تراکم بوته بین ۱۸۲ تا ۴۴۷ در مترمربع

(۵) کشت در اوایل آذر ماه و یا قبل از آن.

نکاحی و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ای به بررسی خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در گندم (مطالعه‌ی موردی: استان گلستان- بندرگز)، پرداختند. نتایج نشان داد بین متوسط عملکرد واقعی (۲۲۳۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد قابل حصول (۵۶۹۸ کیلوگرم در هکتار)، ۳۴۶۲ کیلوگرم در هکتار خلاء وجود دارد. سهم تراکم بوته پایین گندم از خلاء عملکرد ۱۵ درصد، عدم استقبال کشاورزان از یافته‌های جدید ۱۰ درصد، تاریخ کاشت دیر هنگام ۳۶ درصد، رقم نامناسب ۲۱ درصد و عدم استفاده از علف‌کش تاپیک و گرانستار ۱۸ درصد بود و نتیجه گرفتند با بهینه‌سازی موارد ذکر شده می‌توان خلاء عملکرد را کاهش داد و عملکرد را به بالاتر از ۵ تن در هکتار افزایش داد.

ترابی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای با عنوان اولویت‌بندی عوامل ایجادکننده‌ی خلاء عملکرد گندم در منطقه‌ی گرگان با روش AHP (فرایند سلسله مراتب تحلیلی) و پرسشنامه‌های کشاورزان با روش آنتروپی پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل دیدگاه‌های کارشناسان مختلف با استفاده از روش AHP نشان داد که مدیریت نادرست آبیاری، نامناسب بودن ارقام مورد کشت از نظر ژنتیکی و استفاده نامناسب از کودهای پایه، سرک و کم مصرف به ترتیب بیشترین اهمیت را در ایجاد خلاء عملکرد گندم در آن منطقه را دارند.

نتایج تجزیه و تحلیل دیدگاه‌های کشاورزان با روش آنتروپی نشان داد که میزان نامناسب بذر در زمان کاشت، استفاده نامناسب از کود کم مصرف، عمق نامناسب کاشت، نامناسب بودن رقم مورد

کشت از نظر ژنتیکی و ریزش بذر در هنگام برداشت به ترتیب بیشترین اهمیت را در ایجاد خلاء عملکرد گندم دارند و با توجه به تناقض در دیدگاه این دو طیف، توصیه کردند رابطه بین کارشناسان کشاورزی و کشاورزان برای انتقال نظرات کارشناسی برای نزدیک شدن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل و کاهش میزان خلاء عملکرد، تقویت گردد.

کامکار و همکاران (۱۳۸۶) به ارزیابی خلاء عملکرد زیره سبز در منطقه خراسان پرداختند. ایشان از یک مدل ساده فرآیندگرا برای تعیین پتانسیل عملکرد زیره سبز استفاده کردند. ۹ منطقه از استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و مرکزی جهت انجام این کار تعیین شدند. با بررسی و ارزیابی مقادیر واقعی عملکرد و برآوردهای انجام شده توسط مدل از طریق ارزیابی حساسیت، مشخص گردید که عدم انتخاب تاریخ کاشت مطلوب یکی از مهم‌ترین دلایل ایجاد خلاء عملکرد این محصول در مناطق مختلف می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد در صورتی که بتوان گزینه‌های مدیریتی درستی را در نظام‌های تولید این محصول به کار گرفت، می‌توان عملکرد این محصول را در برخی مناطق دو تا سه برابر افزایش داد.

ترابی و همکاران (۱۳۹۰)، با تحلیل عوامل محدود کننده‌ی عملکرد گندم در شرایط گرگان در دو سال زراعی به صورت پیمایشی و بر اساس روش CPA، به این نتیجه رسیدند که میزان مصرف پتاسیم، مدیریت تغذیه نیتروژن و تاریخ کاشت به ترتیب با ۲۰، ۶۱ و ۱۹ درصد مهم‌ترین عوامل موثر در خلاء عملکرد هستند و با بهینه‌سازی آن‌ها می‌توان عملکرد گندم در گرگان را به میزان ۲۳۴۸ کیلوگرم افزایش داد.

قنبری و طایبی سمیرمی (۲۰۱۲) به بررسی خلاء عملکرد با استفاده از ترکیب مدل‌های گیاهی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در جلگه‌ی بروجن استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. ایشان بارندگی و دما را از عوامل ایجاد خلاء عملکرد در این منطقه دانستند. باید در نظر داشت که برای تعیین پتانسیل عملکرد یک منطقه عوامل اقلیمی از جمله دما و بارندگی در آن لحاظ می‌شوند و

نسبت دادن خلاء عملکرد به این گونه عوامل و اینگونه نتیجه‌گیری می‌تواند نقطه ضعف این کار باشد. کاظمی و همکاران (۲۰۱۳) به پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی اراضی کشاورزی استان گلستان جهت کشت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد ۲۱/۳۴ و ۳۵/۰۴ درصد زمین‌های زراعی استان برای تولید کلزا به ترتیب بسیار مستعد و نیمه‌مستعد هستند.

فرج‌زاده و همکاران (۲۰۰۷) با ارزیابی منابع اقلیمی و محیطی سبزوار با استفاده از GIS و روش‌های آماری، تناسب اراضی این منطقه را برای کشت کلزا مشخص کردند. در راستای کشاورزی پایدار و برای استفاده بهینه از عوامل اقلیمی و محیطی، تولید پتانسیل و استعداد اراضی، حوضه آبریز استور در ایالت کنت انگلستان با استفاده از GIS و روش محدودیت ساده توسط غفاری و همکاران (۲۰۰۲) ارزیابی گردید. نتیجه این ارزیابی نشان داد که تنها ۳ درصد از اراضی این حوضه برای کشت گندم زمستانه کاملاً مناسب است.

بای و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهشی پتانسیل اراضی کشت دیم گندم در استان گلستان را مورد مطالعه قرار داد. در این مطالعه در بررسی داده‌های عملکرد گندم دیم به دلیل نقص آماری موجود از روش همبستگی من-کندال و رگرسیون تک متغیره استفاده شده و برای بازسازی عناصر اقلیمی نیز از روش‌های میان یابی و روش حداقل متوسط خطاها و نیز برای انجام واکاوی دمایی از روش درجه روز رشد استفاده گردید. در نتیجه گیری این مطالعه مشخص شد که ۵۸/۲ درصد از اراضی استان در پهنه مناسب قرار دارد و تنها ۲۰/۴ درصد در پهنه نامناسب قرار دارد که آن هم به دلیل نامناسب بودن خاک و شوری و سنگلاخی بودن اراضی شهرهای مراوه‌تپه، گمیشان، علی‌آباد و گرگان می‌باشد. علی-آباد، آزادشهر و مینودشت و رامیان که در مجموع شرایط فاریاب و دیم در این تحقیق، دارای پتانسیل عملکرد بالا بودند، در تحقیق بای و همکاران (۱۳۹۱) نیز این شهرستان‌ها در استعداد سنجی، جزء پهنه با استعداد اراضی خیلی مناسب و مناسب قرار داشتند و با تحقیق انجام شده مطابقت دارد.

قرینه و همکاران (۱۳۹۱) به مطالعه منطقه بندی اقلیمی خوزستان بر مبنای برآورد پتانسیل عملکرد گندم با استفاده از مدل WOFOST پرداختند. بطور کلی، نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین پتانسیل عملکرد دانه به ترتیب مربوط به شهرستان‌های ایذه (۹۲۴۷ کیلوگرم در هکتار) و شوشتر (۷۵۳۸ کیلوگرم در هکتار) بود. در صورتیکه بیشترین خلاء عملکرد مربوط به شهرستان ماهشهر (۶۵/۸ درصد) و کمترین آن مربوط به دزفول (۴۱/۶ درصد) بود. در نهایت استان خوزستان را با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و بر مبنای پتانسیل عملکردهای برآورد شده مربوط به مناطق مختلف به صورت زیر تقسیم بندی نمودند:

#### ۱- ایذه

#### ۲- بستان، مسجد سلیمان، دزفول و بهبهان

#### ۳- امیدیه، آبادان، اهواز، رامهرمز، ماهشهر و شوشتر

کاظمی و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه پهنه‌بندی زراعی- اکولوژی اراضی کشاورزی کنونی استان گلستان برای کشت سویا، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند سلسله مراتب تحلیلی (AHP) پرداختند. نتایج نشان داد که به ترتیب ۲۷/۵۹ و ۲۷/۳۵ درصد زمین‌های زراعی استان گلستان جهت تولید سویا در پهنه‌های بسیار مستعد و مستعد قرار دارند. طبقات نیمه مستعد و غیر مستعد جهت کشت سویا، به قسمت‌های شمالی و شرقی اراضی استان اختصاص یافت. در این مناطق میزان بارش و پتانسیل منابع آبی پایین، شوری و کمبود برخی عناصر غذایی از عوامل محدود کننده کشت این گیاه شناخته شدند. در این مطالعه، پهنه غیرمستعد کمترین مساحت را در اراضی کشاورزی استان گلستان دارا بود (۱۷/۳۴ درصد).

مدل های شبیه سازی محصول نمایندگی های ریاضی از فرایندهای رشد گیاه هستند که تحت تأثیر برهم کنش های محیط ژنوتیپ و مدیریت محصول قرار گرفته اند. استفاده از مدل های شبیه سازی محصول می تواند مکمل کارآمدی برای تحقیقات تجربی باشد. مدل ها برای درک واکنش

محصولات به تغییرات احتمالی در مورد صفات محصول استفاده می‌شوند. با این حال، دو نکته قابل تأمل در خصوص آنها وجود دارد:

- بسیاری از مدل‌ها به اندازه کافی شفاف نیستند. شفافیت یعنی پارامترهای مدل، شکل جریان و کد را نمی‌توان به راحتی درک کرد.
- در برخی موارد، مدل‌ها آنقدر پیچیده هستند که جنبه‌هایی از ساختار و عملکرد آنها حتی برای اعضای تیم مدلینگ نیز روشن نیست (مونتیو، ۱۹۹۶). افزودن پیچیدگی در یک مدل نزدیک به واقعیت لزوماً باعث تغییر مدل نمی‌شود در واقع، به احتمال زیاد شامل فرضیه‌های بدون توجیه تجربی گسترده می‌تواند به راحتی نقص مدل را افزایش دهد (سینکلر و سلیگمن، ۱۹۹۶). کاربران باید از این مدل‌ها به عنوان "جعبه‌های سیاه" استفاده کنند بدون درک روشنی از ساختارهای مدل و محدودیت‌ها. مدل‌های پیچیده به داده‌های ورودی قابل توجهی نیاز دارند که ممکن است سهل الوصول نباشد.
- در مورد بسیاری از مدل‌های محصول شناخته شده، کدها در دسترس نیستند، یا اگر وجود داشته باشد، آنها مانند اسناد مدل نیستند.
- گاهی اوقات نرم افزار مدل شفاف، ساده و انعطاف پذیر نیست.
- بسیاری از مدل‌ها شامل یک یا چند پارامتر مبهم هستند. همه پارامترهای مدل (محصول و رقم) باید معنای روشنی داشته باشند و باید به طور مستقیم قابل اندازه گیری باشد.

## ۲-۲- اهداف تحقیق:

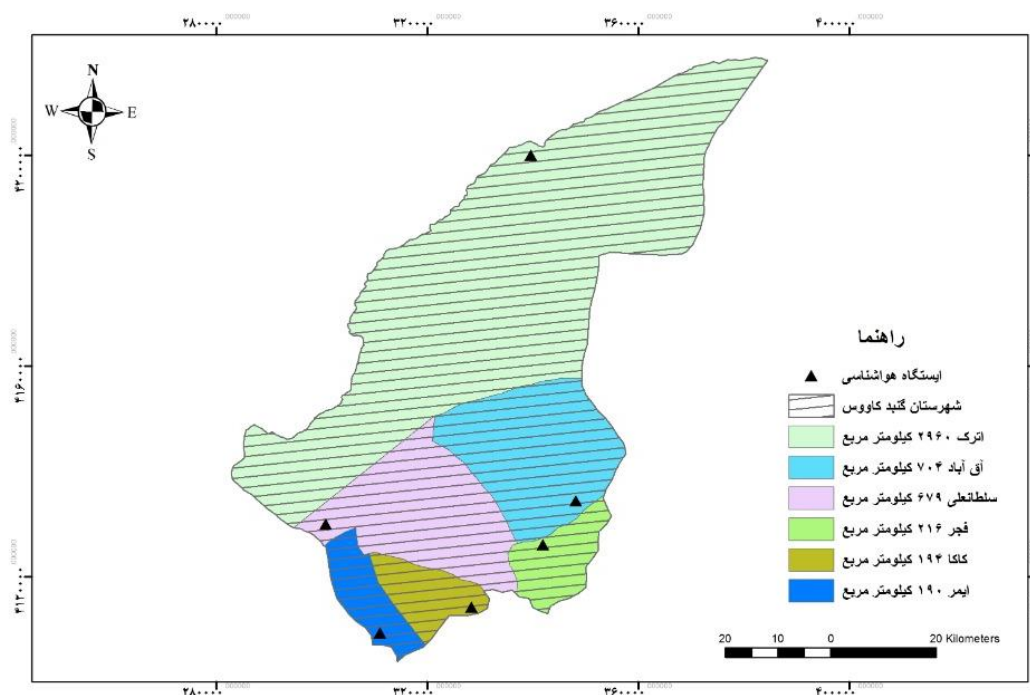
- تعیین عملکرد پتانسیل در نقاط مختلف شهرستان با استفاده از مدل شبیه سازی رشد و نمو
- جمع آوری اطلاعات و داده ها و تعیین عملکرد واقعی کشاورزان در نقاط مختلف شهرستان
- ارزیابی عوامل ایجاد کننده خلاء عملکرد

# فصل سوم

## مواد و روش ها

### ۳-۱- مناطق مورد بررسی و شماتیک فرآیندهای محاسبه خلاء عملکرد

مناطق مورد بررسی شامل اترک، آق آباد، سلطانعلی، فجر، کاکا و ایمر بود که موقعیت مکانی آنها در نقشه مندرج در شکل ۳-۱ ارایه شده است. این مناطق در شهرستان گنبد کاووس قرار دارند. شهرستان مذکور در شرق استان گلستان و در مجاورت جمهوری ترکمنستان با دارا بودن دو بخش و شش دهستان و ۱۶۰ روستا و وسعتی معادل ۵۲۰۰ کیلومتر مربع و بیش از ۱۶۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی با جمعیتی بالغ بر ۴۰۰ هزار نفر از جمله شهرهای بزرگ استان به شمار می‌آید (جهاد کشاورزی شهرستان گنبد کاووس، ۱۳۹۸).



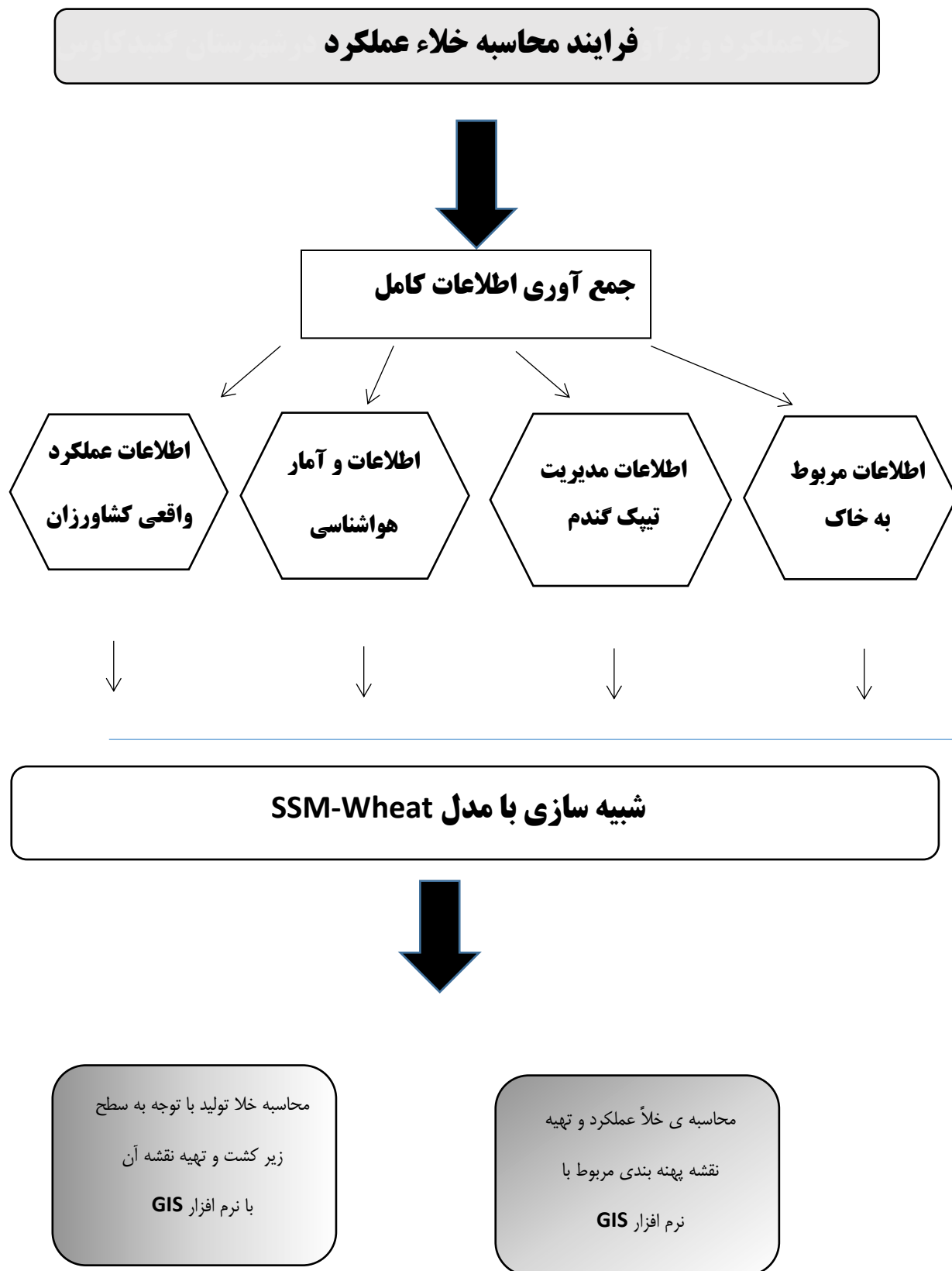
شکل ۳-۱ - نقشه موقعیت و مساحت مناطق مورد مطالعه



موقعیت توپوگرافی و طبیعی شهرستان گنبدکاووس به گونه‌ای است که بر پدیده‌های اقلیمی خصوصاً بارندگی تأثیر فراوان می‌گذارد. عمدتاً به دلیل کاهش ارتفاعات رشته کوه‌های البرز شرقی در این منطقه و دور شدن از دریا، بارندگی کمتر از غرب استان بوده و حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر در سال می‌باشد. شایان ذکر است که هرچه به طرف شمال و نوار مرز (بخش داشلی برون) پیش رویم به دلیل نزدیکی به صحرای ترکمنستان از آب و هوای نیمه بیابانی برخوردار بوده و از میزان بارندگی کاسته می‌شود (۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر در سال).

از نظر آب هوایی، این منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشد بطوری که قسمت اعظم نزولات آسمانی در فصل سرد به وقوع می‌پیوندد و فصل تابستان نسبتاً گرم و خشک است. بر اساس آمار و منحنی تغییرات دما و بارندگی، و وجود ۱۵۰ الی ۲۰۰ روز خشک در منطقه، اقلیم آن جزو اقلیم مدیترانه‌ای گرم و خشک قرار می‌گیرد. بخش محروم داشلی برون در شمال شهرستان در نوار مرزی، با دارا بودن ۱۲۶۸۹ هکتار اراضی مزروعی که تنها ۱۷۰۶ هکتار آن آبی و مابقی یعنی ۱۰۹۸۳ دیم و کم بازده می‌باشد. عوامل مهم جغرافیایی تأثیر گذار بر اقلیم در این حوزه را وجود دریای خزر در غرب، مناطق بیابانی ترکمنستان در شرق خزر و شمال غرب و ارتفاعات جنوبی و شمالی تشکیل می‌دهد (جهاد کشاورزی شهرستان گنبدکاووس، ۱۳۹۸).

در این بررسی، برای محاسبه خلاء عملکرد گندم، ۴ مرحله فرآیندی مدنظر قرار گرفت. این مراحل در شکل ۳-۲ آورده شده است که در اصل، نمودار جریانی شبیه سازی تولید و خلاء عملکرد گندم می‌باشد:



شکل ۳-۲- شکل جریانی شبیه سازی تولید و خلاء عملکرد گندم در شهرستان گنبد کاووس

### ۳-۲- جمع آوری داده‌ها

برای این مطالعه، ابتدا آمار بلند مدت روزانه مناطق ۶ گانه از سازمان هواشناسی استان جمع‌آوری شد که شامل دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی و ساعت آفتابی به صورت روزانه می‌باشد. سپس نقشه اراضی مراکز نیز از سامانه سیاک وزارت جهاد کشاورزی تهیه شد. شایان ذکر است که ثبت کننده های پارامترهای هواشناسی جهاد کشاورزی در نقاط مشخص و به منظور ثبت آمار و اطلاعات دقیق هواشناسی، برنامه ریزی بهترین زمان مبارزه شیمیایی آفات، علف های هرز و بیماری های گیاهی و آبیاری و سایر موارد تعبیه شده است.

### ۳-۳- محاسبه تشعشع خورشید

تشعشع خورشیدی با استفاده از ساعت آفتابی محاسبه شد. برای محاسبه تشعشع خورشیدی از نسخه اصلاح شده برنامه Srad-calc (سلطانی و سینکدر، ۲۰۱۲) استفاده شد. این متغیر اقلیمی یکی از ورودی‌های مدل شبیه سازی رشد و نمو گندم یعنی SSM-Wheat می‌باشد.

### ۳-۴- مدل شبیه‌سازی مورد استفاده

برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد از مدل شبیه‌سازی SSM-Wheat استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳). مدل SSM-Wheat، یک مدل ساده برای گندم می‌باشد که با کمک آن می‌توان تولید این گیاه و محدودیت‌های ژنتیکی، محیطی و مدیریتی در تولید آن را تجزیه و تحلیل کرد. از این مدل می‌توان در موارد متعددی استفاده نمود که شامل کاربردهای تحقیقاتی، مدیریت زراعی و آموزشی می‌باشد (سلطانی، ۱۳۹۰). این مدل با استفاده از داده های مستقل مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل، نشان دهنده کارایی خوب آن برای فرآیندهای مهم زراعی در مقایسه با آزمایشات انجام شده می‌باشد.

با اعمال تغییرات ساده، می توان دامنه استفاده از این مدل را به سایر گیاهان زراعی دانه دار افزایش داد (سلطانی و سینکدر، ۲۰۱۲). مدل SSM-Wheat مراحل فنولوژیک را به عنوان تابعی از دما، طول روز و تنش کمبود آب پیش‌بینی می‌کند. می توان از آن در تجزیه و تحلیل عملکرد گیاه در شرایط دیم و فاریاب و بررسی محدودیت‌های اقلیمی، خاک، مدیریت زراعی و رقم در تولید گیاهان زراعی بهره برد (سلطانی، ۱۳۹۰؛ سلطانی و سینکدر، ۲۰۱۲).

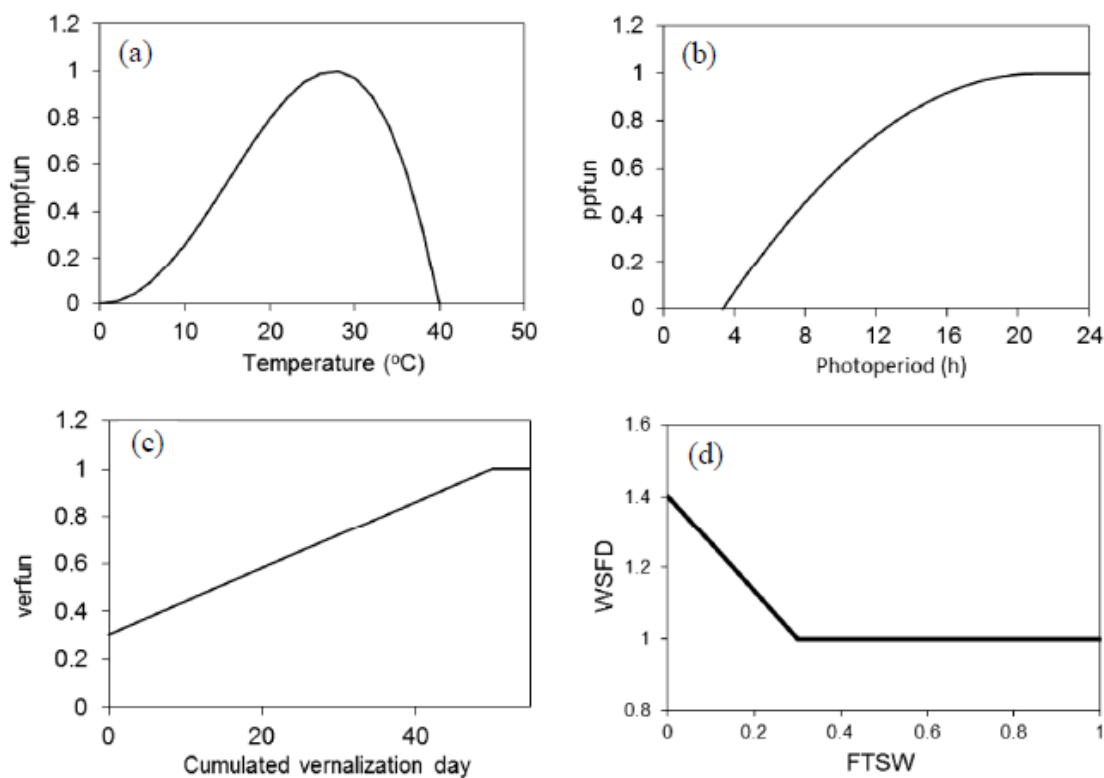
برای شبیه‌سازی عملکرد گندم به وسیله‌ی مدل به ورودی‌هایی از قبیل: آمار روزانه حداکثر و حداقل دما، تشعشع خورشیدی، میزان بارندگی، تاریخ کاشت، میزان مصرف کودهای پایه و سرک، آبیاری، اطلاعات خاک از قبیل بافت خاک، عمق خاک، درصد نیتروژن، نسبت شن، رس و سیلت و نیز اطلاعات کاشت از قبیل تراکم و بذر رقم مورد استفاده ضروری است. در ادامه، برخی از ویژگی‌های این مدل به اختصار توضیح داده می‌شود.

### ۳-۴-۱- فنولوژی

مراحل ظهور اولین پنجه، اولین گره، لیگول قابل مشاهده برگ پرچم، گرده افشانی، بلوغ فیزیولوژیکی و رسیدگی توسط مدل پیش‌بینی می‌شود. محاسبه نمو فنولوژیکی در مدل بر اساس مفهوم روز بیولوژیکی است. روز بیولوژیکی یک روز با درجه حرارت، دوره نوری و شرایط رطوبت مطلوب برای رشد گیاه است. به بیان دیگر، یک روز بیولوژیکی یک روز مطلوب است. دما، دوره نوری و شرایط رطوبت برای رشد گیاه هر روز از کاشت تا رسیدگی محاسبه می‌شود که با حاصل ضرب عواملی مثل درجه حرارت (tempfun)، دوره نوری (ppfun)، بهاره سازی (verfun) و کمبود عوامل تنش آبی (wsfd) بدست می‌آید.

$$DBt = tempfun \times ppfun \times verfun \times wsfd$$

روزیولوژیکی نهایی از ادغام روزهای بیولوژیکی روزانه بدست می‌آید. اگر روزهای تجمعی بیولوژیکی به حد مطلوب برسد یا از روزهای بیولوژیکی مورد نیاز برای دستیابی به بهترین عملکرد فراتر رود، مرحله فنولوژیکی رخ می‌دهد. میانگین دمای روزانه برای یافتن پارامتر دما استفاده می‌شود که تأثیر دما را بر میزان رشد نشان می‌دهد. برای ایجاد و آزمون مدل، داده‌های گسترده‌ای از تاریخ کاشت و سالهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین توابع متعددی نیز برای توصیف تغییرات فنولوژیکی گیاه مورد آزمون قرار گرفته است که تصویر شماتیک چهار مورد از آنها در شکل ۳-۳ آورده شده است.



شکل ۳-۳- نمایش شماتیک تابع بتا برای محاسبه ضریب دما (a; tempfun)، تابع درجه دوم برای محاسبه عملکرد دوره نوری (b; ppfun) و تابع تکه‌ای<sup>۱</sup> برای محاسبه بهاره سازی (c; verfun)؛ و توابع تابع تکه‌ای برای کمی سازی تأثیر کمبود آب (d; WSFD).

$$FTSW = ATSW / TTSW$$

FTSW= fraction transpirable soil water (mm mm<sup>-1</sup>)

<sup>1</sup> - Segmented

ATSW= actual transpirable soil water (mm)

TTSW= total transpirable soil water (mm)

از تابع بتا برای کمی سازی تأثیر دما، و از تابع درجه دوم برای کمی سازی تأثیر دوره نوری بر

فنولوژی استفاده شده است. تابع بتا به شرح زیر می باشد:

$$\text{tempfun} = \left\{ \left[ \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_o} \right]^{[(T_c - T_o)/(T_o - T_b)]} \right\}^a \quad \text{if } T_b < T < T_c$$
$$\text{tempfun} = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

که در آن، T دما، T<sub>b</sub> دمای پایه، T<sub>o</sub> دمای مطلوب و T<sub>c</sub> حداکثر دما می باشد. سلطانی و مداح (۲۰۱۳) دمای صفر درجه سانتی گراد را برای T<sub>b</sub>، ۲۱ درجه سانتی گراد برای T<sub>o</sub> و ۴۰ درجه سانتی گراد برای T<sub>c</sub> بدست آورده اند. تابع درجه دوم مورد استفاده برای توصیف واکنش نوری گندم به شرح زیر می باشد:

$$\text{ppfun} = 1 \quad \text{if } PP \geq P_c$$
$$\text{ppfun} = 1 - \text{ppsen} (\text{CPP} - PP)^2 \quad \text{if } PP < P_c$$

که در آن PP دوره نوری است (ساعت در روز)، CPP دوره نوری بحرانی می باشد که در کمتر از آن، میزان رشد به دلیل دوره نوری کوتاه تحت الشعاع قرار می گیرد، و ppsen ضریب حساسیت نوری در نظر گرفته می شود. در مدل مقدار CPP برای ارقام مختلف ثابت است، اما کمیت ppsen بسته به واریته، بین ۰/۰۰۷۸۵ تا ۰/۰۰۹ متغیر است.

### ۳-۴-۲- بهاره سازی

عامل بهاره سازی (۰ تا ۱) از شروع روزهای بهاره سازی تا روز  $\ln$  (vsen) به صورت تجمعی (CUMVER) بدست می‌آید. ضریب حساسیت (VDSAT) عبارتست از روزهای سرما برای رسیدن به ورنالیزاسیون اشباع (سلطانی و سینکлер، ۲۰۱۲ و ریچی، ۱۹۹۱).

$$\text{verfun} = 1 - \text{vsen} (\text{VDSAT} - \text{CUMVER}_i) \quad \text{if} \quad \text{CUMVER}_i < \text{VDSAT}$$

$$\text{verfun} = 1 \quad \text{if} \quad \text{CUMVER}_i \geq \text{VDSAT}$$

در مدل، یک مقدار ۵۰ روزه ثابت برای vdsat در نظر گرفته می‌شود (سلطانی و مداح، ۲۰۱۳؛ ریچی، ۱۹۹۱). از کاشت تا اولین گره، با محاسبه و افزودن تعداد روزهای آزمایش هر روز عملکرد CUMVER محاسبه می‌شود.

$$\text{CUMVER}_i = \text{CUMVER}_{i-1} + \text{VERDAY}$$

VERDAY روزی است که گیاه در معرض درجه حرارت بهینه برای بهاره سازی قرار می‌گیرد. دمای مطلوب برای بهاره سازی درگندم بین صفر تا هشت درجه سانتیگراد می‌باشد (ریچی، ۱۹۹۱). دمای کمتر از ۱ درجه سانتیگراد یا بالاتر از ۱۲ درجه سانتیگراد به بهاره سازی کمک نمی‌کند و مقدار VERDAY در دمای بین ۰ تا ۱ درجه سانتیگراد، برابر با صفر است. برای دمای بین ۰ و ۱ درجه سانتیگراد و ۸ تا ۱۰ درجه سانتیگراد، اثربخشی در بهاره سازی بصورت خطی کاهش می‌یابد و VERDAY بین ۰ و ۱ می‌باشد. گزارش شده است که گندم نسبت به دوره نوری و بهاره سازی از ظهور تا سنبلچه پایانی واکنش نشان می‌دهد (ریچی، ۱۹۹۱). فاکتور تنش کمبود آب، یک عامل مقیاس بندی شده است که باعث تسریع رشد در شرایط خشکسالی می‌شود (سلطانی و سینکлер، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۲).

### ۳-۴-۳- گسترش سطح برگ

برای شبیه سازی گسترش سطح برگ اولین گام این است که هر روز افزایش تعداد برگ در ساقه اصلی با استفاده از مفهوم فیلوکرون (واحد دما بین ظهور برگهای پی در پی) تعیین شود. مقادیر فیلوکرون بین ۹۰ تا ۱۱۲ درجه سانتی گراد برای ارقام در این مطالعه بدست آمده است (سلطانی و مداح، ۲۰۱۳). سپس سطح برگ گیاه به عنوان تابعی از تعداد برگ ساقه اصلی و میزان آب و نیتروژن محاسبه می گردد (سلطانی، ۲۰۰۶؛ سلطانی و مداح، ۲۰۱۱؛ سلطانی و سینکлер، ۲۰۱۲).

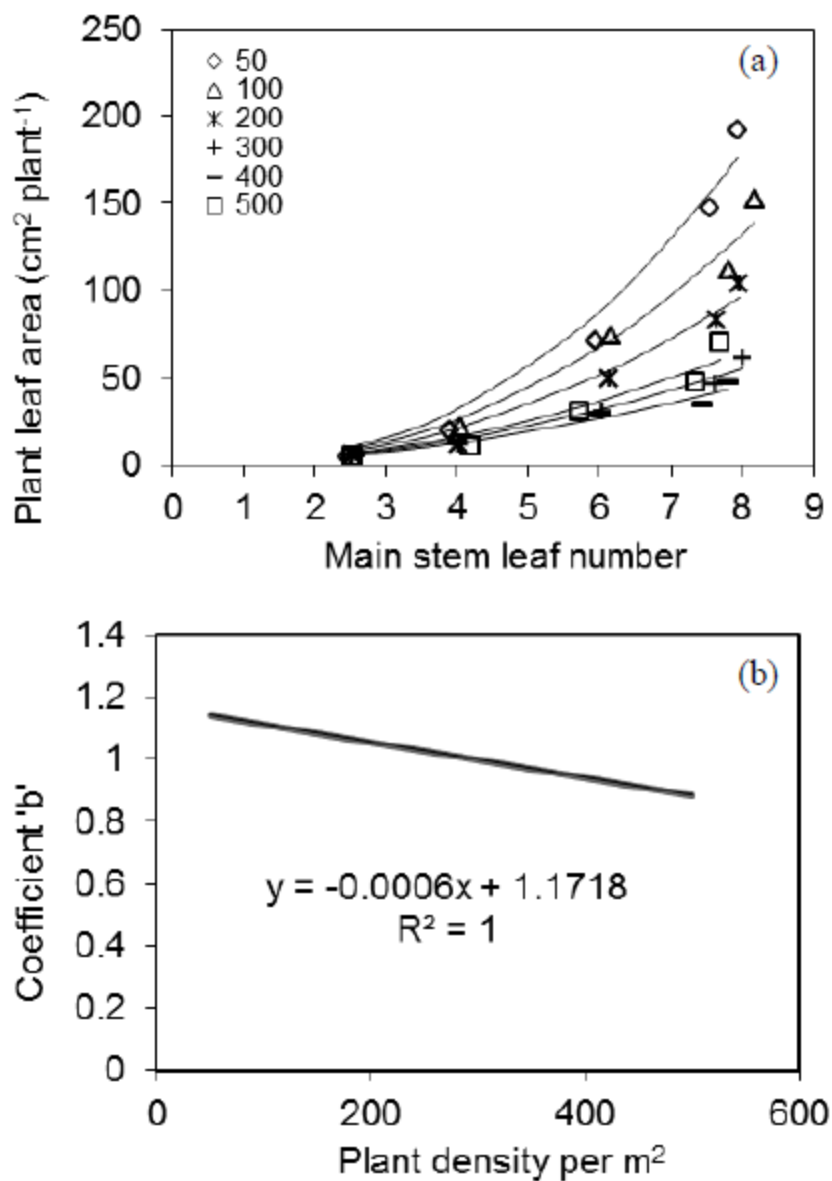
تولید برگ در ساقه اصلی با ظاهر شدن لیگول برگ پرچم به پایان می رسد. بنابراین دوره نوری، دما، بهاره سازی و در دسترس بودن آب، زمان ممکن برای تولید برگ را تعیین می کند. از آغاز تا ظهور لیگول برگ پرچم، حداکثر سطح برگ گیاه در هر روز ( $Y$ ) بر اساس حاصلضرب تعداد برگ و مساحت هریک در آن روز ( $X$ ) با استفاده از یک تابع ساده پیش بینی می شود (سلطانی و سینکлер، ۲۰۱۲):

$$Y = X \times b$$

ضریب تابع ( $b$ ) برای تراکم گیاه تنظیم می شود. سپس افزایش LAI از افزایش سطح برگ گیاه از دیروز تا امروز و تراکم گیاه محاسبه می شود. این افزایش، بیشتر بر اساس در دسترس بودن نیتروژن محدود می شود. از ظهور لیگول برگ پرچم تا شروع رشد دانه، توسعه سطح برگ (به دلیل گسترش برگ بر روی پنجه ها) از ماده خشک اختصاص داده شده به رشد برگ (درصدی از ماده خشک تولید شده روزانه) و با عنایت به شاخص سطح ویژه برگ<sup>۱</sup> (SLA) محاسبه می گردد. فرض بر این است که توسعه سطح برگ گیاه در ابتدای رشد دانه متوقف می شود. در شکل ۳-۴، ارتباط سطح برگ گیاه با تعداد برگ ساقه اصلی در تراکم های مختلف گیاه، و همچنین وابستگی ضریب استاندارد شده ( $b$ ) به تراکم گیاه آورده شده است.

<sup>1</sup> - Specific Leaf Area





شکل ۳-۴- سطح برگ گیاه به عنوان تابعی از تعداد برگ ساقه اصلی در تراکم‌های مختلف گیاه (a) ، و وابستگی ضریب استاندارد شده به تراکم گیاه (b).

برای جمع آوری داده‌های مربوط به خاک و مدیریت زراعی، به هر یک از مراکز جهاد کشاورزی شهرستان و آزمون خاک های گرفته شده توسط کشاورزان هر منطقه مراجعه شد و اطلاعاتی از قبیل بافت خاک، عمق خاک، درصد نیتروژن خاک، درصد رس و سیلت و شن، مقدار pH، شوری خاک و تراکم بوته و همچنین اطلاعاتی مانند رقم، مقدار بذر مصرفی، عمق کاشت، میزان و تعداد دفعات

کوددهی و آبیاری در سال زراعی مورد مطالعه از کشاورزان مورد نظر دریافت گردید. با توجه به اقلیم منطقه و تنوع زیاد ارقام مورد کشت گندم، در این مطالعه فقط از دو رقم متداول و نمونه ارقام منطقه شامل رقم احسان یا N-87-20 (فاریاب) و کوهدشت (دیم) استفاده شد.

اطلاعات هواشناسی یک سال (آبان ماه ۱۳۹۸ تا تیرماه ۱۳۹۹) از سازمان جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی استان گلستان و شهرستان گنبدکاووس تهیه و مرتب گردید. این اطلاعات مبتنی بر داده‌های ثبت کننده های پارامترهای هواشناسی موجود در مراکز جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی می‌باشند. شایان ذکر است که این اطلاعات جهت تعیین بهترین زمان آبیاری، کودپاشی، مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و سایر موارد استفاده می‌شود. نحوه انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی به گونه‌ای بود که:

- یک پوشش سراسری با توزیع مناسب ایجاد شود.
- در محدوده‌ی اراضی فاریاب و دیم قرار بگیرند.
- کمترین خطا و بیشترین دقت در محاسبات فراهم شود.

سپس اقدام به برآورد عملکرد بالقوه توسط مدل SSM-Wheat، و با استفاده از اطلاعات (ورودی‌های مدل) ایستگاه‌های هواشناسی، مشخصات خاک و مدیریت‌های زراعی مانند مقدار و دفعات کوددهی، میزان و دفعات آبیاری و تراکم بوته شد. لازم به ذکر است که در این تحقیق برای بدست آوردن عملکرد پتانسیل فاریاب و دیم، مدل برای کود و آبیاری در حالت پتانسیل (وضعیت تولید تشعشع محدود) اجرا شد. در این حالت تولید، فرض می‌شود که گیاه زراعی از نظر آب و عناصر غذایی محدودیت ندارد و این عوامل تولید را محدود نمی‌نمایند. در این شرایط توان تولید تحت تاثیر تشعشع و دی‌اکسیدکربن به عنوان منبع محیطی است و دما نقش تعدیل کننده دارد. چنین حالت تولید مشابه زراعت تحت شرایط فاریاب مطلوب است.

اطلاعات پروفیل خاک مورد نیاز مدل از نقشه جهانی خاک<sup>۱</sup> ISRIC-WISE تهیه گردید و نقشه خاک شهرستان از آن برش داده شد و پارامترهای آن استخراج گردید. سپس با توجه به شوری خاک هر مرکز و رابطه زیر، عملکرد پتانسیل محاسبه شده اصلاح گردید:

$$Y_r = 1 - (EC - a) \times b$$

که در آن  $Y_r$  عملکرد نسبی،  $a$  آستانه شوری بر حسب  $dS/m$ ،  $b$  شیب خط رگرسیون بر حسب درصد بر  $dS/m$  و  $EC_e$  میانگین هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در اطراف ریشه می‌باشند. مقدار ضریب  $a$  و  $b$  برای گندم به ترتیب  $dS/m$  ۶ و ۷/۱ درصد بر  $dS/m$  در نظر گرفته شد.

پس از اصلاح عملکرد پتانسیل برای شوری خاک، تولید پتانسیل عملکرد محاسبه گردید. تولید پتانسیل عملکرد با ۴ روش Kriging، Co-Kriging، IDW<sup>۲</sup> و LPI<sup>۳</sup> تست شد (کاظمی، ۱۳۹۵). هدف از تست این روش‌ها، یافتن روش واجد کمترین RMSE و بیشترین دقت بود. نتایج نشان داد که برای عملکرد پتانسیل فاریاب روش IDW و برای عملکرد پتانسیل دیم روش Co-Kriging دارای کمترین خطا بودند.

برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عملکرد واقعی کشاورزان در هر مرکز، ۷۳ نمونه دیم و ۷۱ نمونه فاریاب از کشاورزان عالی و متوسط در تمام مراکز تحت نظر قرار گرفته و اقدامات انجام شده در زمین آنها از مرحله کاشت تا انتهای مرحله داشت (رقم، تاریخ کاشت، ایجاد بستر مناسب کاشت، رعایت تناوب زراعی، تغذیه گیاهی، مبارزه با آفات-بیماریها - علفهای هرز و آبیاری در کشت آبی) یادداشت برداری شد. برای تعیین خلاء عملکرد هر مرکز، میانگین عملکرد پتانسیل برآورد شده توسط مدل ثبت گردید؛ سپس اختلاف عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی کشاورزان به عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته شد. این خلاء عملکرد برای هر دو حالت شرایط دیم و فاریاب بدست آورده شد و نقشه‌های خلاء عملکرد برای هر شهرستان در محیط ArcGIS رسم گردید. جهت پهنه‌بندی و

<sup>۱</sup> International Soil Reference and Information Center- World Inventory of Soil property Estimates

<sup>۲</sup> Inverse Distance Weighting

<sup>۳</sup> Local Polynomial Interpolation

ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۲ استفاده شد.

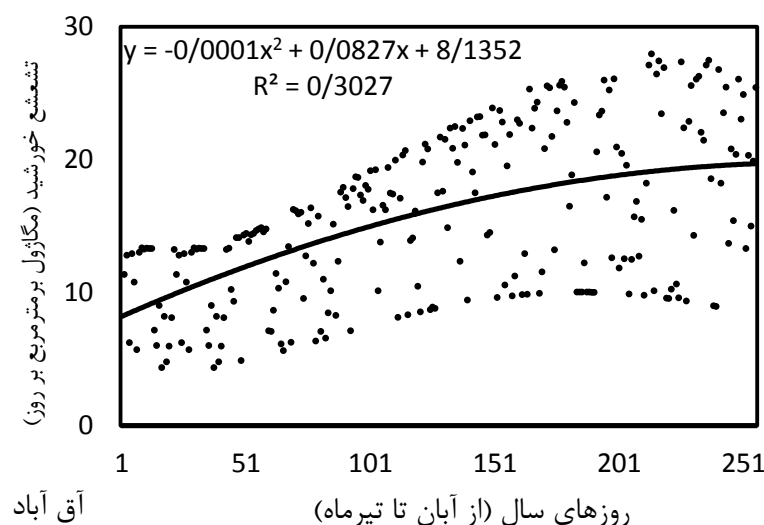
از اختلاف بین مقدار تولید پتانسیل هر مرکز و میانگین تولید واقعی محصول آن مرکز (از اداره جهاد کشاورزی شهرستان گرفته شده)، خلاء تولید بدست می‌آید. برای بدست آوردن خلاء تولید هر مرکز، میانگین سطح زیر کشت هر مرکز بر حسب هکتار در میانگین پتانسیل عملکرد آن مرکز ضرب شده و میزان تولید پتانسیل برای هر مرکز بر حسب تن بدست آمد. سپس از اختلاف تولید پتانسیل هر مرکز و میانگین تولید واقعی شهرستان در همان سال ( بدست آمده از جهاد کشاورزی)، خلاء تولید برای شرایط دیم و فاریاب بدست آمد و نقشه‌های مربوط برای مراکز شهرستان ترسیم گردید.

# فصل چہارم

## نتائج و بحث

#### ۴-۱- مقایسه مناطق مورد بررسی از لحاظ میزان تشعشع

روند تغییرات تشعشع خورشید در روزهای مختلف سال مربوط به منطقه آق آباد در شکل ۴-۱ ارایه شده است. عرض از مبدأ تشعشع خورشید (کمیت برآورد شده در اولین روز که می‌تواند تقریبی از میانگین یا میانه (عددی مابین حداقل و حداکثر) باشد) معادل ۸/۱۳۵۲ مگاژول بر متر مربع بر روز شد. میزان افزایش تشعشع خورشید (ضریب  $X$ ) برابر با ۰/۰۸۲۷ مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بود. میزان کاهش (نسبت به روز قبل) تشعشع خورشید (ضریب  $X^2$ ) که در اواخر دوره (سمت راست شکل) رخ داد برابر با ۰/۰۰۰۱ مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بدست آمد. میانگین، حداقل، حداکثر تشعشع خورشید در منطقه آق آباد به ترتیب برابر با ۱۵/۶، ۴/۴، و ۲۸ مگاژول بر متر مربع بر روز بدست آمد. میزان تشعشع حداکثر نسبت به حداقل ۶۴۱٪ بود.

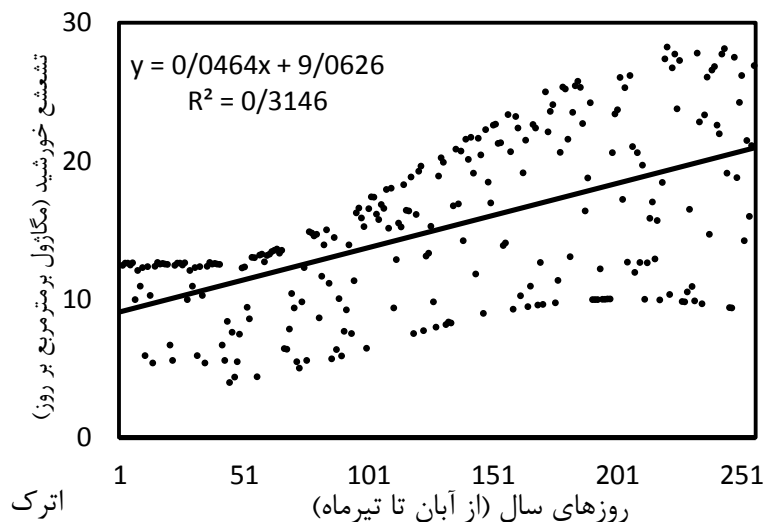


شکل ۴-۱- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه آق آباد

برخلاف مناطق دیگر، در منطقه اترک، میزان تشعشع خورشید رسیده به زمین در روزهای سال با یک رابطه خطی توصیف گردید (شکل ۴-۲). بالاترین میزان تشعشع حداکثر نسبت به حداقل (۷۰٪) در این منطقه بدست آمد. میانگین، حداقل، حداکثر تشعشع خورشید در منطقه اترک به ترتیب برابر با ۱۵/۰، ۴/۰، و ۲۸/۲ مگاژول بر متر مربع بر روز بدست آمد. عرض از مبدأ معادله مربوط

به تشعشع خورشید معادل ۹/۰۶۲۶ مگاژول بر متر مربع بر روز شد (شکل ۴-۲). میزان افزایش

تشعشع خورشید (ضریب X) برابر با ۰/۰۴۶۴ مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بود.



شکل ۴-۲- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه اترک.

مقادیر میانگین، حداقل، و حداکثر تشعشع خورشید در منطقه ایمر به ترتیب برابر با ۱۵/۱،

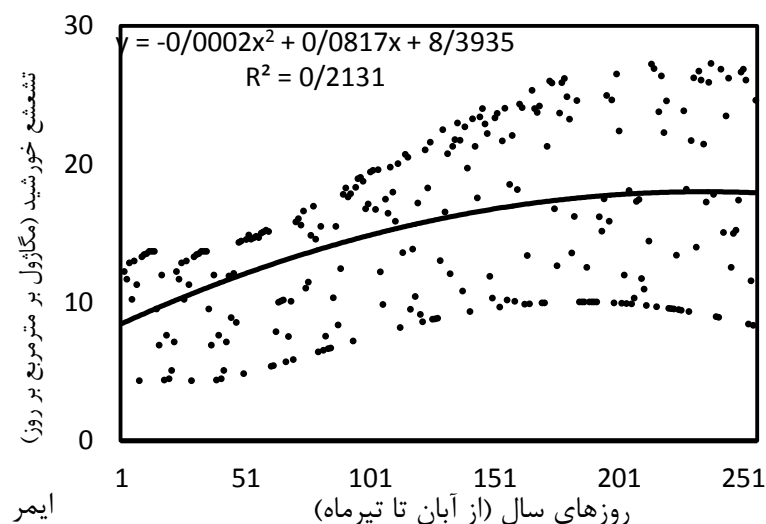
۴/۳، و ۲۷ مگاژول بر متر مربع بر روز بدست آمد. میزان تشعشع حداکثر نسبت به حداقل ۶۲۹٪ بود.

عرض از مبدأ تشعشع خورشید معادل ۸/۳۹۳۵ مگاژول بر متر مربع بر روز شد (شکل ۴-۳). میزان

افزایش تشعشع خورشید (ضریب X) برابر با ۰/۰۸۱۷ مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بود. میزان

کاهش (نسبت به روز قبل) تشعشع خورشید (ضریب  $X^2$ ) که در اواخر دوره رخ داد برابر با ۰/۰۰۰۲

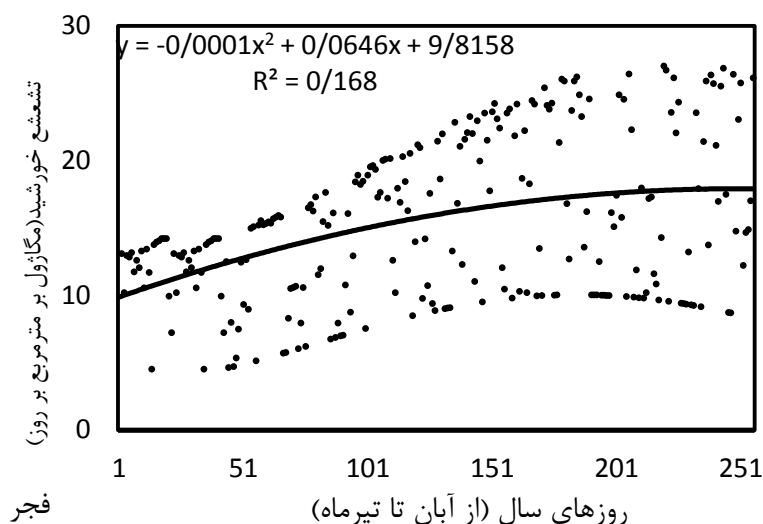
مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بدست آمد.



شکل ۴-۳- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه ایمر

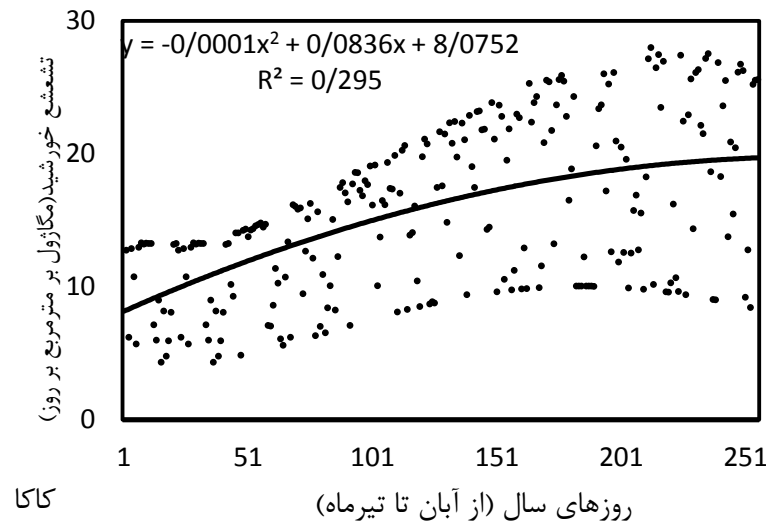
در مقایسه با مناطق دیگر مورد ارزیابی، بالاترین عرض از مبدأ تغییرات تشعشع خورشید (۹/۸۱۵۸ مگاژول بر متر مربع بر روز) در منطقه فجر بدست آمد (شکل ۴-۴). این درحالی است که کمترین نسبت تشعشع حداکثر به حداقل (۵۹۷٪) به این منطقه تعلق داشت. میانگین، حداقل، حداکثر تشعشع خورشید در منطقه فجر به ترتیب برابر با ۱۵/۳، ۴/۵، و ۲۷ مگاژول بر متر مربع بر روز بدست آمد. میزان افزایش تشعشع خورشید (ضریب  $X$ ) برابر با ۰/۰۶۴۶ مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بود. میزان کاهش (نسبت به روز قبل) تشعشع خورشید (ضریب  $X^2$ ) برابر با ۰/۰۰۰۱ مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بدست آمد.





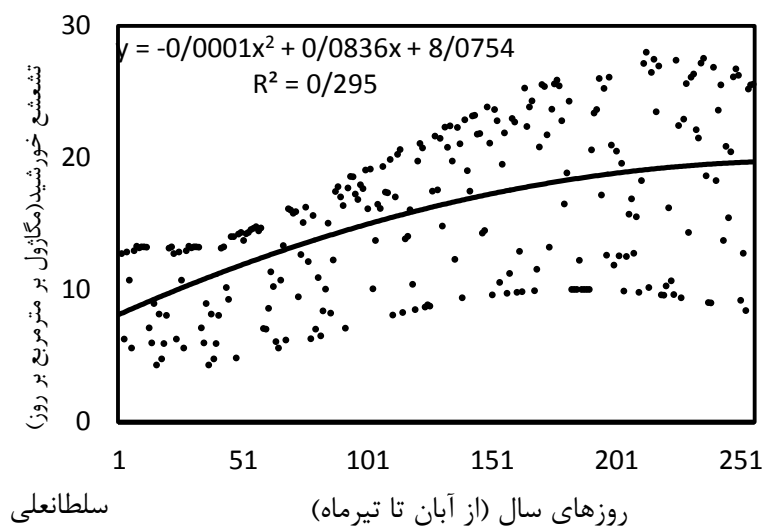
شکل ۴-۴- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه فجر

روند تغییرات تشعشع خورشید در روزهای سال در منطقه کاکا در شکل ۴-۵ آورده شده است. میزان افزایش تشعشع خورشید (ضریب  $X$ ) برابر با  $0/0836$  مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بود. میزان کاهش (نسبت به روز قبل) تشعشع خورشید (ضریب  $X^2$ ) برابر با  $0/0001$  مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بدست آمد. میانگین، حداقل، حداکثر تشعشع خورشید در منطقه کاکا به ترتیب برابر با  $15/6$ ،  $4/3$ ، و  $28$  مگاژول بر متر مربع بر روز شد. میزان تشعشع حداکثر نسبت به حداقل  $647\%$  بود. عرض از مبدأ تشعشع خورشید در معادله مربوط به روند تغییرات این صفت که در شکل ۴-۵ آورده شده است معادل  $8/0752$  مگاژول بر متر مربع بر روز شد.

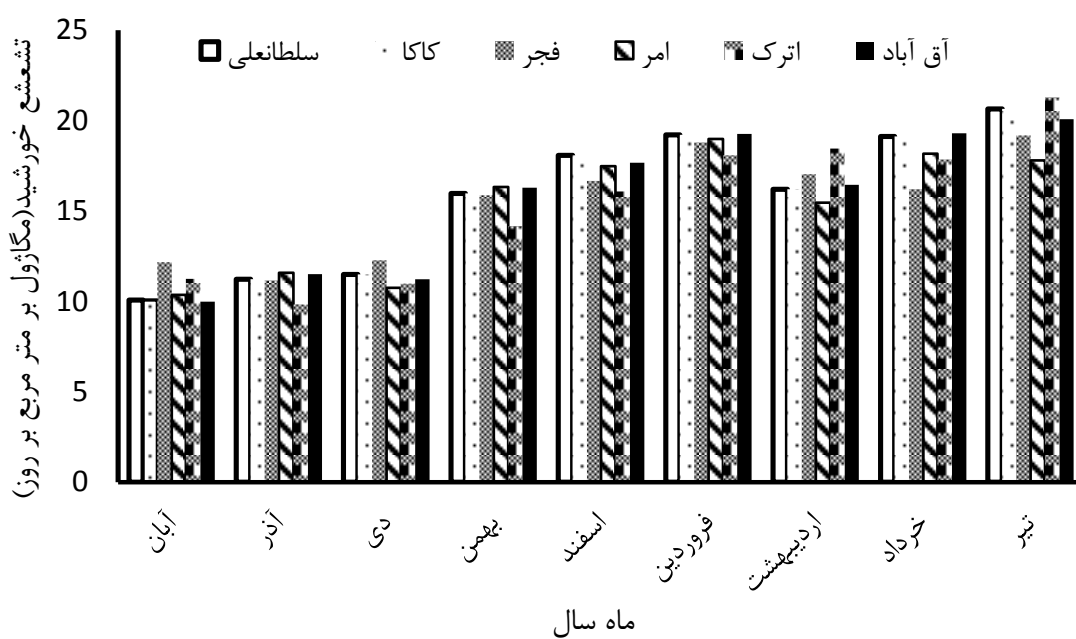


شکل ۴-۵- نوسانات تشعشع خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه کاکا

به طوریکه در معادله (تابع) مندرج در شکل ۴-۶ (شکل مربوط به منطقه سلطانعلی) قابل رؤیت است، میزان افزایش تشعشع خورشید (ضریب  $X$ ) برابر با  $0/0836$  مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بود. میزان کاهش (نسبت به روز قبل) تشعشع خورشید (ضریب  $X^2$ ) برابر با  $0/0001$  مگاژول بر متر مربع به ازای هر روز بدست آمد. میانگین، حداقل، حداکثر تشعشع خورشید در منطقه سلطانعلی به ترتیب برابر با  $15/6$ ،  $4/3$ ، و  $28$  مگاژول بر متر مربع بر روز بدست آمد. میزان تشعشع حداکثر نسبت به حداقل  $647\%$  بود. عرض از مبدأ تابع ریاضی مندرج در شکل مذکور معادل  $8/0754$  مگاژول بر متر مربع بر روز شد. شایان ذکر است که میزان تشعشع در منطقه سلطانعلی بسیار مشابه منطقه کاکا می باشد (شکل ۴-۷) و تنها، برخی از پارامترهای آماری مربوط به تشعشع خورشید در حد اعشار با هم متفاوت است (میانگین تشعشع در منطقه سلطانعلی و کاکا به ترتیب  $15/56841733$  و  $15/56842588$  مگاژول بر متر مربع بر روز بدست آمد که تفاوت آنها قابل اغماض است).



شکل ۴-۶- نوسانات تشدید خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) و مقدار میانگین تقریبی آن (خط رگرسیون) در منطقه سلطانهلی



شکل ۴-۷- مقایسه میانگین تشدید خورشید (مگاژول بر متر مربع بر روز) به تفکیک ماه های مورد مطالعه در مراکز شش گانه.

تشعشع خورشید یکی از پدیده های هواشناسی است که بر بسیاری از چرخه های زیستی و اکولوژیکی از جمله چرخه آب تاثیر بسزائی دارد. علیرغم اهمیت این پدیده، محاسبه مستقیم آن بصورت محدود انجام می شود (سلطانی و مرید، ۱۳۸۴). برآورد صحیح میزان تشعشع خورشید از اصول اولیه و حیاتی می باشد که برای برنامه ریزی، مدیریت آبیاری، منابع آب و شبکه های آبرسانی، مباحث هیدرولوژی، مدل های بیلان آبی و مدل های شبیه سازی رشد گیاه کاربرد دارد (آلموروکس و هونتوریا، ۲۰۰۴).

رشد و نمو گیاهان به طور مستقیم و غیر مستقیم تحت تاثیر تشعشع خورشیدی قرار دارد و تولید ماده خشک اغلب با تشعشع دریافت شده توسط گیاه همبستگی مثبت دارد. نور رسیده به بالای کانوپی توسط برگ ها و دیگر اندام های سبز گیاهان جذب شده و سپس در فرآیند فتوسنتز به کار رفته و منجر به تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت تجمع ماده خشک می شود. بنابراین تجزیه و تحلیل این فرآیند در شرایط محیطی مختلف برای ارزیابی میزان رشد و تولید گیاهان زراعی بسیار مهم است (تسابو و همکاران، ۲۰۰۵).

کارایی مصرف تشعشع عبارت است از مقدار بیوماس تولید شده (برای مثال گرم بر متر مربع) به ازای هر واحد تشعشع جذب شده (برای مثال مگاژول بر متر مربع) توسط گیاه که بر حسب گرم بر مگاژول بیان می شود (پیورسل و همکاران، ۲۰۰۲). مقادیر کارایی مصرف تشعشع با توجه به گونه گیاهی، شرایط آب و هوایی، مدیریت زراعی، مرحله رشدی گیاه، نحوه اندازه گیری و ترکیبات گیاهی تغییر می کند (اوکونل و همکاران، ۲۰۰۴؛ کریمیان و همکاران، ۱۳۸۸).

در محاسبه تشعشع خورشید، تمام موارد مؤثر در معادلات را نمی توان تأثیر داد؛ از این رو برای برآورد میزان تشعشع خورشید تنها تعداد کمی از عوامل اقلیمی به کار گرفته می شوند. مهمترین عامل که در بیشتر معادلات محاسبه تشعشع خورشید استفاده می شود، ساعات آفتابی می باشد. گرچه بسیاری از کارشناسان در مدل های خود علاوه بر ساعات آفتابی، از فاکتورهایی مثل دما، رطوبت

نسبی، ارتفاع و عرض جغرافیایی استفاده می‌کنند، ولی بر اساس تحقیقات، مهمترین عامل تخمین تشعشع خورشید همان ساعات آفتابی می‌باشد (مجرد و فتح نیا، ۱۳۹۴).

بعضی از دانشمندان برای افزایش دقت مدل تخمین تشعشع، فاکتورهای تشعشع مستقیم و پراکنده خورشید را جداگانه بدست آورده اند. در یکی از این تحقیقات با استفاده از یک مدل ساده، مقادیر تشعشع روزانه مستقیم و پراکنده با استفاده از نسبت  $(n/N)$  که در آن  $n$ : ساعت آفتابی و  $N$ : بیشینه ساعت آفتابی) ضریب ابر و زاویه سمت الراس خورشید ( $\theta$ ) محاسبه گردید (پالتریج و پروکتور، ۱۹۷۶).

روش معمول ثبت داده‌های مربوط به تشعشع خورشید، استفاده از دستگاه پیرانومتر در مکان‌های مورد نیاز می‌باشد. استفاده از این دستگاه به دلیل هزینه زیاد نصب و نگهداری در همه مناطق امکانپذیر نمی‌باشد. به همین علت این وسیله اندازه‌گیری فقط در مکان‌های محدودی نصب گردیده، لذا با توجه به گستردگی کشوری مانند ایران جمع آوری و ذخیره اطلاعات داده های تشعشع خورشیدی بسیار مهم و حیاتی می‌باشد.

بنابراین یکی از محدودیت‌های مهم برای محققان و پروژه‌های نیازمند به این مولفه، برآورد مقدار تشعشع خورشیدی می‌باشد. تحقیقات زیادی به منظور تخمین تشعشع خورشیدی با استفاده از پارامترهای هواشناسی انجام شده و روش‌های زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. بیشتر این روش‌ها با استفاده از یک رابطه تجربی به کمک پارامترهای هواشناسی مانند ساعت آفتابی (آنگستروم، ۱۹۲۴؛ پریسکات، ۱۹۴۰) و دمای هوا (هارگریوز، ۱۹۸۵؛ بریستاو و کمپبل، ۱۹۸۴) تشعشع را برآورد می‌کنند.

این پارامترها به راحتی قابل اندازه گیری هستند و داده های آنها در مکان‌های زیادی در حال اندازه‌گیری و ثبت می‌باشند. اولین تحقیقات در مورد برآورد تشعشع با استفاده از ساعت آفتابی مربوط به آنگستروم (۱۹۲۴) می‌باشد. پریسکات (۱۹۴۰) با جایگزین کردن تشعشع برون زمینی به جای

مقدار تشعشع در یک روز صاف رابطه آنگستروم را اصلاح نمود. بعد از ارائه این رابطه محققین زیادی به اصلاح این رابطه در مناطق مختلف جهان اقدام نمودند (سیدیان وهمکاران، ۱۳۹۶).

مطالعه وسیع و کاربردی درباره انرژی خورشید از دهه ۱۹۷۰ در اکثر نقاط جهان صورت گرفت و با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی مناطق مختلف، مدل‌های مختلفی پیشنهاد شده است (صفایی، ۲۰۰۵). در ایران نیز مطالعات زیادی به منظور ارائه و یا اصلاح روابط تخمین تشعشع خورشیدی صورت گرفته است. مجنونی و هریس (۲۰۰۸) با ترکیب پارامترهای کمینه، میانگین و بیشینه دما، کمبود اشباع بخار آب، رطوبت و ساعت آفتابی، پانزده مدل مختلف را توسعه داده و بررسی کردند. آنها نشان دادند معادلاتی که دارای عوامل دما هستند دارای دقت بیشتری در تخمین تشعشع می‌باشند.

معینی (۲۰۱۰) ایران را به پنج منطقه تقسیم کرده و برای هر منطقه ضرایب معادله آنگستروم را تعیین نمود. عرفانیان و بابائی حصار (۲۰۱۳) روش هیبرید را با مدل‌های اصلاح شده در چند شهر ایران مقایسه کردند؛ نتایج آنها نشان داد که مدل هیبرید کارایی بیشتری در تخمین تشعشع خورشیدی نسبت به مدل‌های غیر هیبرید دارد. در مدل هیبرید از پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، فشار و ساعات آفتابی استفاده می‌شود.

#### ۴-۲- رابطه بین عملکرد دانه و تشعشع خورشید

ارزیابی مدل SSM-Wheat برای ارقام گندم مورد کشت در شهرستان گنبدکاووس با دو رقم گندم کوه‌دشت، و احسان انجام گرفت. نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE^1$ ) برای عملکرد این مدل برابر  $37/73$  گرم در مترمربع بوده که معادل  $8/4$  درصد میانگین عملکرد مشاهده شده بود.

---

<sup>8</sup> Root-Mean-Square Error

بین عملکرد گندم و تشعشع خورشید رابطه معنی‌دار بدست نیامد؛ این امر در خصوص عملکرد دیم و فاریاب مشاهده شده در مزارع و همچنین عملکرد دیم و فاریاب پتانسیل (پیش بینی شده توسط مدل) صادق است (شکل‌های ۴-۸، ۴-۹، ۴-۱۰ و ۴-۱۱). عدم تأثیرگذاری افزایش تشعشع بر عملکرد دانه گندم می‌تواند بر اشباع نوری این گیاه به عنوان گیاه سه کربنه در این دامنه تشعشع خورشیدی دلالت داشته باشد. میزان اشباع نوری گیاهان چهار کربنه حدود ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه گزارش شده است؛ برای گیاهان سه کربنه، این مقدار برابر با ۸۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه می‌باشد (کاباسک و همکاران، ۲۰۱۳).

مقدار ثابت خورشیدی در حدود ۱۳۶۷ ژول بر متر مربع در ثانیه است. این کمیت به صورت میزان تشعشع خورشیدی تعریف می‌شود که در خارج از اتمسفر زمین که به سطحی عمود بر جهت تشعشع می‌رسد. در حدود ۵۰ درصد از کل تشعشع خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد در محدوده ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر قرار دارد که به آن تشعشع فعال فتوسنتزی گویند. از مجموع ۱۰۰ درصد انرژی نورانی دریافت شده توسط برگ تنها ۵ درصد به قندها برای تولید زیست توده تبدیل می‌گردد؛ مابقی انرژی به صورت طول موج‌های غیرقابل جذب (حدود ۶۰ درصد)، انعکاس و عبور (حدود ۸ درصد)، اتلاف گرما (حدود ۸ درصد) و متابولیسم (حدود ۱۹ درصد) هدر می‌رود (کامپیلو و همکاران، ۲۰۱۲).

مقدار تشعشع جذب شده توسط گیاه به عوامل متعددی از قبیل سطح برگ، شکل و نحوه قرارگیری برگ در کانوپی، زاویه برگ، ضخامت برگ (که عبور نور را تحت تأثیر قرار می‌دهد)، میزان کلروفیل برگ، ارتفاع خورشید و توزیع تشعشع مستقیم و پراکنده خورشید بستگی دارد (کامپیلو و همکاران، ۲۰۱۲). برای استفاده بهینه گیاه از تشعشع خورشیدی، بخش اعظمی از تشعشع باید توسط اندام فتوسنتز کننده جذب شود. برگ واحد اصلی و فعال فتوسنتزی به شمار می‌آید؛ از این رو، کارایی آن در جذب و استفاده از انرژی خورشیدی تعیین کننده تولید و عملکرد

گیاه است. جذب نور در کانوپی علاوه بر شاخص سطح برگ به آرایش برگ ها در کانوپی نیز بستگی دارد.

متداول ترین روش برای توصیف آرایش برگ ها در کانوپی، زاویه برگها نسبت به ساقه است که توسط ضریب خاموشی نور توصیف می شود. ضریب خاموشی در واقع نسبت مساحت سایه یک برگ بر روی زمین به مساحت خود برگ است. چنانچه برگ کاملاً افقی بوده و جهت تشعشع کاملاً عمودی باشد، مساحت سایه با مساحت برگ برابر بوده و مقدار ضریب خاموشی برابر یک خواهد بود. با تغییر زاویه برگ نسبت به افق و یا تغییر زاویه تشعشع، مقدار ضریب خاموشی کمتر یا بیشتر از یک خواهد شد.

مینک و همکاران (۱۹۹۶) با تعیین ضریب خاموشی نور طی اوایل رشد در گندم بهاره نشان دادند که همزمان با افزایش LAI مقدار ضریب خاموشی تغییر می یابد، به طوریکه با افزایش LAI تا مقدار یک، مقدار ضریب خاموشی از ۲ به ۰/۴۵ تغییر یافت. با این حال افزایش شاخص سطح برگ به مقادیر بالاتر از یک کاهش چشمگیری در مقدار ضریب خاموشی نشان نداد. این محققین نشان دادند که چنانچه مقدار حداکثر شاخص سطح برگ بالا باشد مقادیر بالاتر ضریب خاموشی طی مراحل اولیه رشد گیاه از اهمیت زیادی برخوردار نیست، ولی چنانچه شاخص سطح برگ حداکثر پایین باشد، همانند آنچه در تولید گندم دیم غالباً به چشم می خورد، مقادیر بالای ضریب خاموشی طی مراحل اولیه رشد حائز اهمیت است.

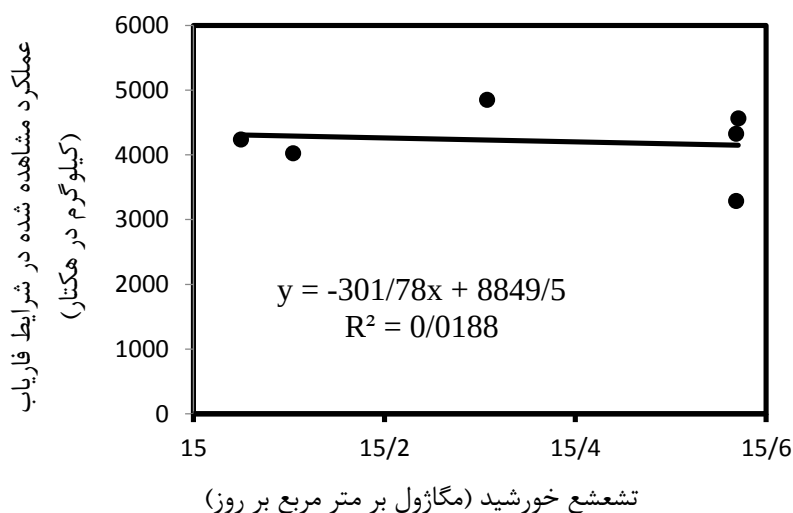
مینک و همکاران (۱۹۹۶) همچنین مطالعه ضریب خاموشی نور در آفتاب گردان نشان داد که با افزایش LAI تا مقدار ۳، مقدار ضریب خاموشی از ۴ به ۰/۸۳ کاهش یافت. با معلوم بودن شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور و میزان تشعشع روزانه می توان میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی (مگاژول در متر مربع) را براساس قانون لامبرت محاسبه نمود (سینکлер و موچو، ۱۹۹۹).

مفهوم کارایی مصرف نور در تجزیه و تحلیل رشد گیاه کاربرد وسیعی دارد. کارایی مصرف

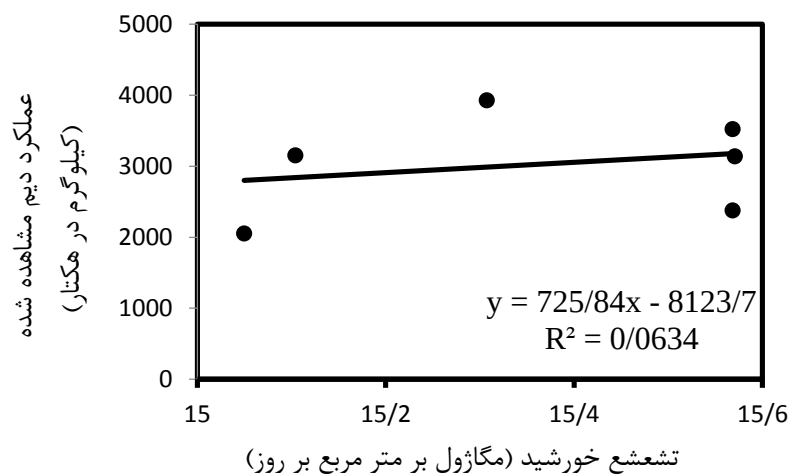


نور میزان ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع) به ازای هر واحد تشعشع جذب شده (مگاژول در مترمربع) توسط جامعه گیاهی است که برای مطالعات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و مدل‌های رشد و نمو گیاه اهمیت و کاربرد فراوانی دارد، بخصوص گیاهانی که رشدشان در اثر شرایط نامناسب اقلیمی، کمبود آب و مواد غذایی محدود نشده باشد.

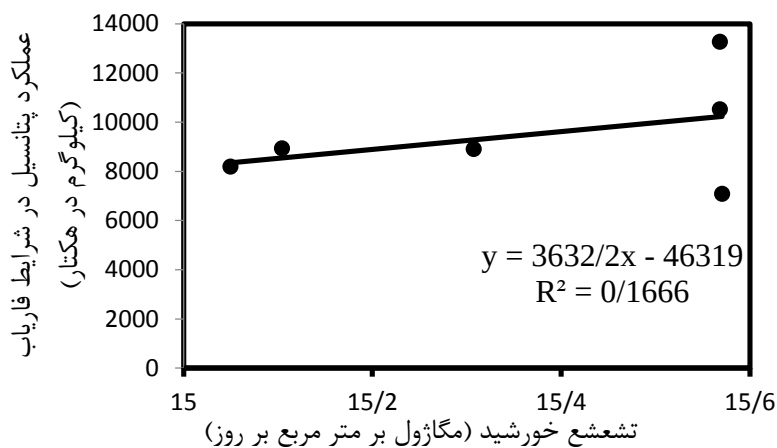
مصرف نور براساس کل تشعشع خورشیدی برای گیاهان سه کربنه در حدود ۱ تا ۱/۵ و برای گیاهان چهار کربنه در حدود ۱/۵ تا ۲ گرم بر مگاژول است. سینکلر و ماچو (۱۹۹۹) حداکثر راندمان مصرف نور را در گیاهان چهارکربنه برای نیشکر، ذرت و سورگوم به ترتیب ۲، ۱/۷۷ و ۱/۴۰ گرم بر مگاژول و برای گیاهان سه کربنه سیب زمینی، آفتابگردان و برنج به ترتیب ۱/۷، ۱/۵۶ و ۱/۴۶ گرم بر مگاژول گزارش کرده‌اند.



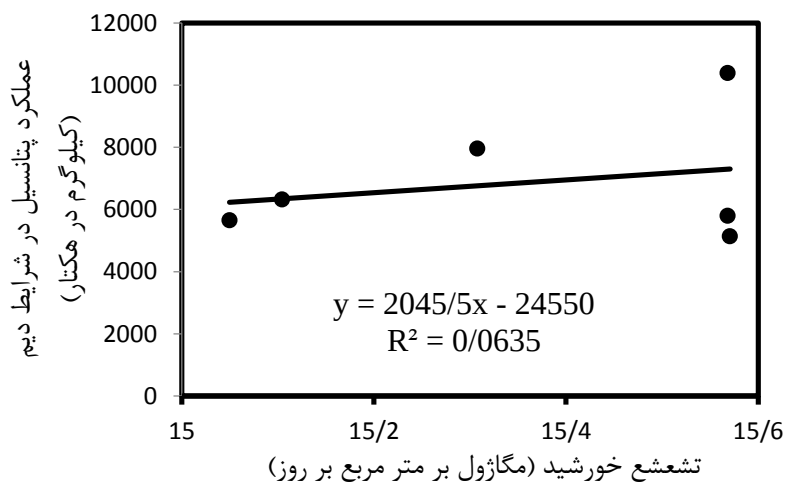
شکل ۴-۸- رابطه بین عملکرد مشاهده شده گندم در شرایط فاریاب با تشعشع خورشید.



شکل ۴-۹- رابطه بین عملکرد مشاهده شده گندم در شرایط دیم با تشدع خورشید.

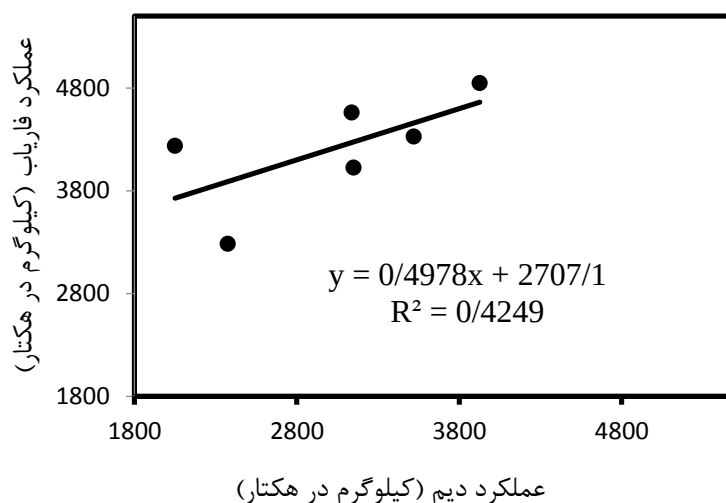


شکل ۴-۱۰- رابطه بین عملکرد پتانسیل گندم در شرایط فاریاب با تشدع خورشید.



شکل ۴-۱۱- رابطه بین عملکرد پتانسیل گندم در شرایط دیم با تشدع خورشید.

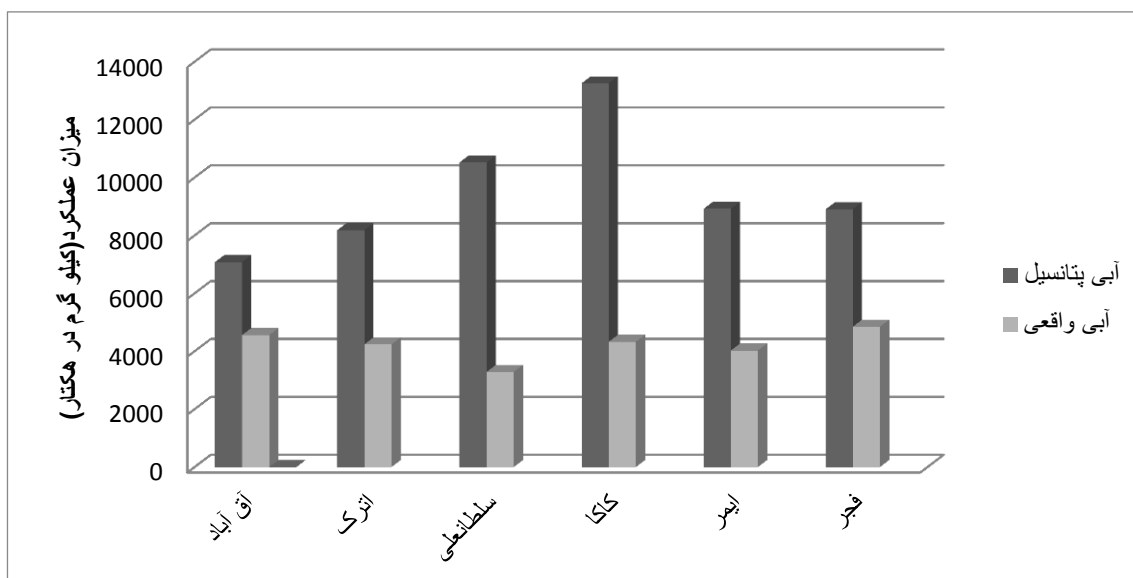
به طوری که در شکل ۴-۱۲ قابل رؤیت است رابطه خطی و معنی‌داری بین عملکرد گندم (بدست آمده در مزرعه) در شرایط دیم و فایاب وجود داشت که ضریب تبیین آن برابر با ۰/۴۲ بود. شیب خط مثبت و برابر با ۰/۴۹۷۸ کیلوگرم بر کیلو گرم شد. معنی دار شدن رابطه بین این دو کمیت بر این واقعیت حکایت دارد که علاوه بر آب، پتانسیل ادا فیزیکی و اقلیمی منطقه نقش تعیین کننده‌ای بر عملکرد گندم دارد.



شکل ۴-۱۲- رابطه بین عملکرد دیم و عملکرد فاریاب گندم.

#### ۴-۳- بررسی عملکرد واقعی گندم

کمیت عملکرد دانه در شرایط دیم و فاریاب مناطق ۶ گانه مورد بررسی در شکل ۴-۱۳ آورده شده است. بالاترین عملکرد در شرایط فاریاب و دیم مربوط به منطقه فجر بود؛ این در حالی است که پایین‌ترین عملکرد در شرایط فاریاب و دیم به ترتیب به سلطانعلی و اترک تعلق داشت. در منطقه اترک، تفاوت بین عملکرد فاریاب و دیم بالاترین مقدار شد.



شکل ۴-۱۳- مقایسه عملکرد واقعی و پتانسیل در شرایط فاریاب مناطق مورد مطالعه

شایان ذکر است که در اکثر زمین‌های شهرستان گنبدکاووس، آبیاری از سد و رودخانه و کانال- های آبرسان و بندرت چاه های کشاورزی انجام می‌گیرد. در این مطالعه، پرسشنامه هایی از نحوه عملیات به‌زراعی و مدیریت زراعی کشاورزان هر منطقه تهیه شد که طی آن بتوان عوامل مهم و تأثیر گذار بر حصول عملکرد دانه حداکثر را از کشاورزان کنکاش نمود. نتایج مستخرج از این پرسشنامه ها برای شرایط فاریاب در جدول ۴-۱ آورده شده است. بالاترین درصد پایبندی کشاورزان به اصول مربوط به کنترل آفات و علف‌های هرز در منطقه فجر حاصل گردید (این اصول در زیر نویس جدول ۴-۱ ارایه شده است). پایین ترین کمیت در این خصوص به منطقه اترک تعلق داشت. با افزایش درصد پایبندی کشاورزان به اصول مربوط به کنترل آفات و علفهای هرز، عملکرد گندم در شرایط فاریاب به طور خطی افزایش نشان داد (شکل ۴-۱۴). به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به این اصول، عملکرد دانه گندم به میزان ۱۹/۲۳۵ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- تأثیر مدیریت زراعی بر عملکرد واقعی گندم در شرایط فاریاب.

| منطقه مورد مطالعه | تناوب زراعی | # تغذیه گیاهی (%) | & کنترل آفات و علف‌های هرز (%) | Ø آبیاری (%) | بالاترین عملکرد (kg/h) | متوسط عملکرد (kg/h) |
|-------------------|-------------|-------------------|--------------------------------|--------------|------------------------|---------------------|
| اترک              | خیر         | 95                | 43.75                          | 71           | 4500                   | 4237                |
| آق آباد           | بله         | 100               | 75                             | 27           | 4800                   | 4560                |
| سلطانعلی          | خیر         | 72                | 60                             | 49.5         | 4250                   | 3285                |
| ایمر              | بله         | 84                | 52.5                           | 33           | 4900                   | 4025                |
| کاکا              | بله         | 80                | 65                             | 33           | 4900                   | 4327                |
| فجر               | بله         | 100               | 89.28                          | 40           | 5900                   | 4848                |

# بر اساس آزمایشات خاک و نظر کارشناسان، تغذیه گیاهی مطلوب از لحاظ زمان بندی عبارتست از

یک مرحله کوددهی در هنگام کاشت و حداقل دو مرحله در مرحله داشت. کمیت‌های ارایه شده در

این خصوص، نشانگر درصد پایدی کشاورزان به این الگوی زمانی کوددهی است.

&: بر اساس نظر کارشناسان، کنترل مطلوب علف‌های هرز حداقل یک مرحله می باشد. برای کنترل

بیماری‌ها حداقل دو مرحله مبارزه شیمیائی (ضد عفونی بذر و سمپاشی به هنگام رشد) باید در نظر

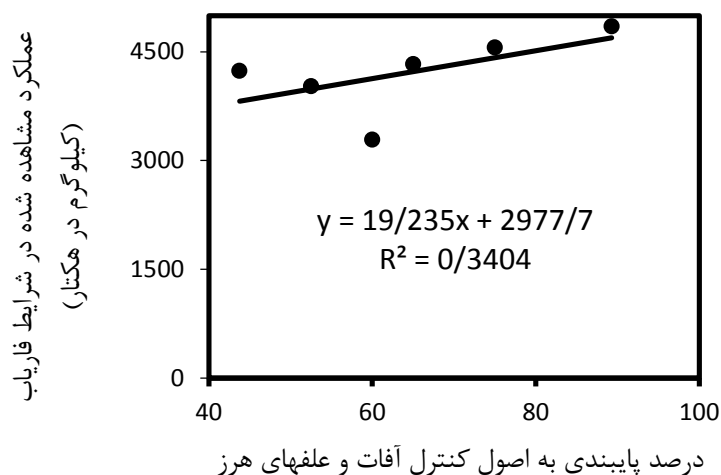
گرفته شود. کمیت‌های ارایه شده در این خصوص، نشانگر درصد پایدی کشاورزان به این الگو

می باشد.

Ø: با توجه به وضعیت اقلیم و بارش منطقه، حداقل آبیاری مطلوب برای حصول عملکرد بالا، عبارتست

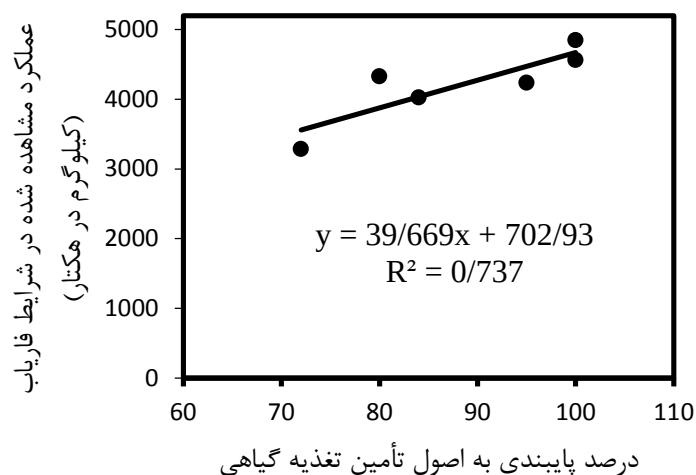
از یک مرحله آبیاری پیش از کاشت و دو مرحله در مرحله داشت گندم. اعداد مربوطه به این

ویژگی بر درصد پایدی کشاورزان به این الگو دلالت دارد.



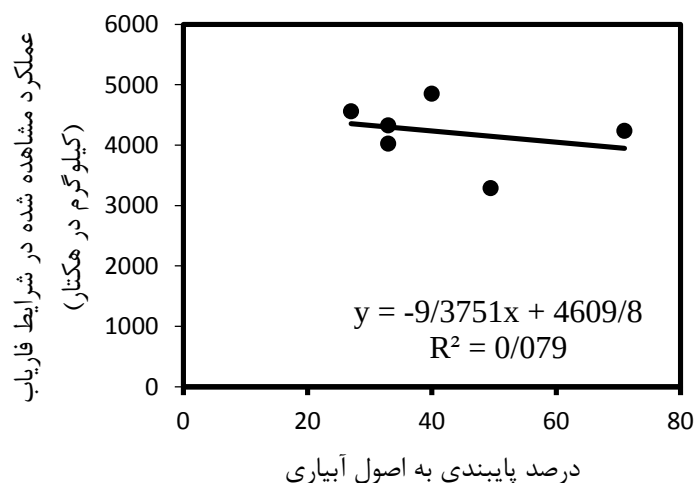
شکل ۴-۱۴- رابطه عملکرد دانه گندم مشاهده شده در مزرعه در شرایط فاریاب با رعایت اصول کنترل آفات و علف های هرز توسط کشاورزان.

نتایج نظر سنجی نشان داد که در مناطق آق آباد و فجر، کلیه کشاورزان (درصد پایبندی معادل ۱۰۰٪) اصول مربوط به کود دهی مطلوب در شرایط فاریاب را رعایت می کنند؛ این در حالی است که کمترین درصد پایبندی کشاورزان به اصول تأمین تغذیه گیاهی در منطقه سلطانعلی دیده شد (جدول ۴-۱). با افزایش درصد پایبندی کشاورزان به این اصول، عملکرد گندم در شرایط فاریاب به طور خطی افزایش نشان داد (شکل ۴-۱۵). به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول صحیح تأمین تغذیه گیاهی، عملکرد دانه گندم به میزان ۳۹/۶۶۹ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد.



شکل ۴-۱۵- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان.

منطقه ایمر و کاکا از لحاظ پایدندی کشاورزان به اصول مربوط به آبیاری مشابه بودند؛ کمیت این ویژگی ۳۳ درصد شد. پایین ترین میزان پایدندی در منطقه آق آباد بدست آمد (جدول ۴-۱). بیشترین پایدندی ۷۱ درصد بود که به منطقه اترک تعلق داشت. نتایج حاصل از رگرسیون بر عدم وجود رابطه معنی دار بین عملکرد دانه گندم و رعایت اصول آبیاری حکایت دارد (شکل ۴-۱۶) که می تواند بر انطباق نسبی بارش بر نیازهای فاریاب گندم در این مناطق دلالت داشته باشد.



شکل ۴-۱۶- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول آبیاری توسط کشاورزان.

بالاترین درصد پایبندی کشاورزان به اصول مربوط به کنترل آفات و علفهای هرز در شرایط دیم حدود ۸۲/۵ درصد بود که به منطقه آق آباد تعلق داشت. پایین ترین کمیت این پایبندی در منطقه اترک دیده شد (جدول ۴-۲). با افزایش درصد پایبندی کشاورزان به اصول مربوط به کنترل آفات و علفهای هرز در مزارع دیم، عملکرد گندم نیز به طور متناسب (خطی) افزایش نشان داد (شکل ۴-۱۷). به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به این اصول، عملکرد دانه گندم دیم به میزان ۲۲/۸۶۱ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان می‌دهد؛ این افزایش اندکی بیشتر از شرایط فاریاب (۱۹/۲۳۵ کیلوگرم در هکتار) بود.

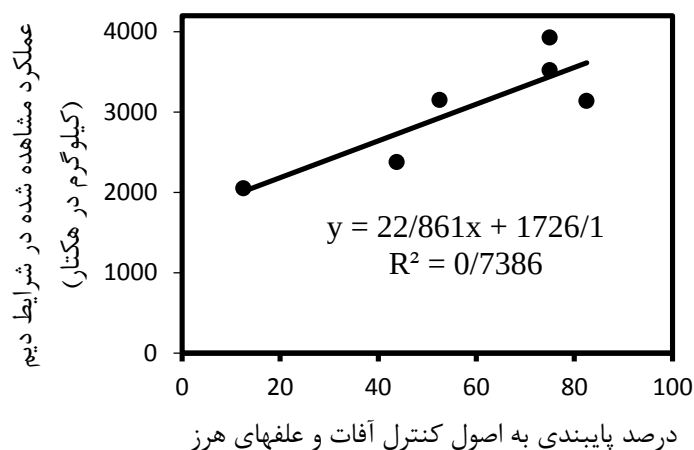
جدول ۴-۲- تأثیر مدیریت زراعی بر عملکرد واقعی گندم در شرایط دیم

| منطقه مورد مطالعه | تناوب زراعی | # تغذیه گیاهی<br>(%) | & کنترل آفات و علف-<br>های هرز (%) | بالاترین عملکرد<br>(kg/h) | متوسط عملکرد<br>(kg/h) |
|-------------------|-------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| اترک              | خیر         | 62.5                 | 12.5                               | 2500                      | 2050                   |
| آق آباد           | بله         | 92                   | 82.5                               | 4500                      | 3137                   |
| سلطانعلی          | خیر         | 68                   | 43.75                              | 3350                      | 2375                   |
| ایمر              | بله         | 96                   | 52.5                               | 4100                      | 3150                   |
| کاکا              | خیر         | 92                   | 75                                 | 4800                      | 3520                   |
| فجر               | بله         | 100                  | 75                                 | 4600                      | 3926                   |

#: بر اساس آزمایشات خاک و نظر کارشناسان، تغذیه گیاهی مطلوب از لحاظ زمان بندی عبارتست از یک مرحله کوددهی در هنگام کاشت و حداقل یک مرحله در مرحله داشت. کمیت‌های ارایه شده در این خصوص، نشانگر درصد پایبندی کشاورزان به این الگوی زمانی کوددهی است.

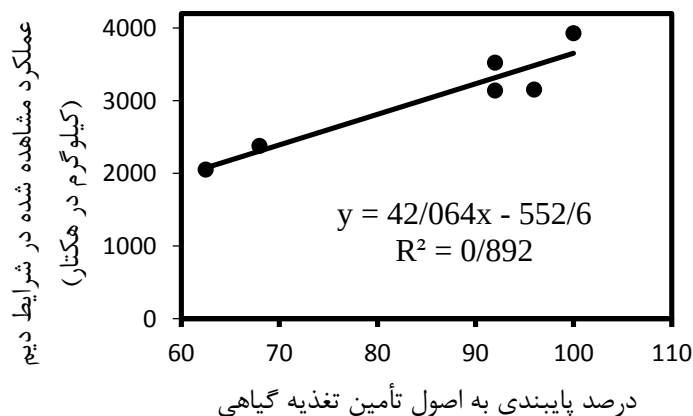
&: بر اساس نظر کارشناسان، کنترل مطلوب علف‌های هرز حداقل یک مرحله می‌باشد. برای کنترل بیماری‌ها حداقل دو مرحله مبارزه شیمیائی (ضد عفونی بذر و سمپاشی به هنگام رشد) باید در نظر گرفته شود. کمیت‌های ارایه شده در این خصوص، نشانگر درصد پایبندی کشاورزان به این الگو می‌باشد.





شکل ۴-۱۷- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول کنترل آفات و علف های هرز توسط کشاورزان.

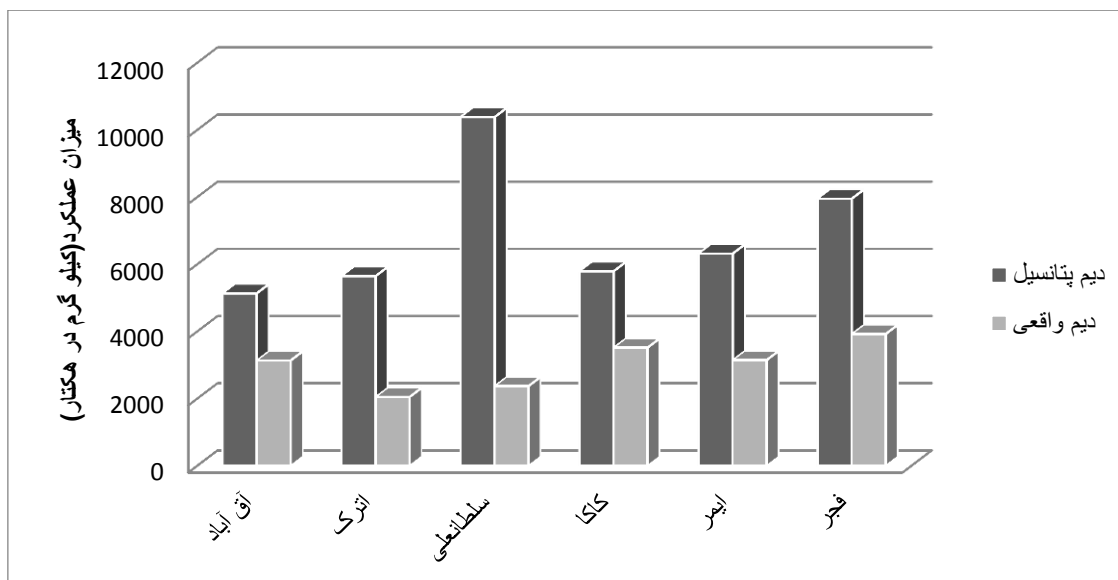
بیشترین و کمترین نسبت کشاورزان پایبند به اصول مربوط به کود دهی مطلوب در شرایط دیم به ترتیب در مناطق فجر و اترک دیده شد (جدول ۴-۲). با افزایش درصد پایبندی کشاورزان به این اصول، عملکرد گندم در شرایط دیم به طور خطی افزایش نشان داد (شکل ۴-۱۸). به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به تأمین مطلوب تغذیه گیاهی، عملکرد دانه گندم به میزان ۴۲/۰۶۴ کیلوگرم در هکتار (اندکی بیشتر از شرایط فاریاب یعنی ۳۹/۶۶۹ کیلوگرم در هکتار) افزایش نشان داد.



شکل ۴-۱۸- رابطه عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان.

#### ۴-۴- عملکرد پتانسیل

نتایج حاکی از آن است که در شرایط آبی، در مرکز سلطانه‌لی بیشترین عملکرد پتانسیل (۱۰۳۸۳ کیلوگرم در هکتار) وجود دارد (شکل ۴-۱۹). دلیل بالا بودن عملکرد بالقوه در این منطقه را می‌توان به وضعیت آب و بارش مناسب، EC مناسب‌تر خاک (حدوداً ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و تطابق رقم با منطقه نسبت داد. همچنین کمترین عملکرد پتانسیل در شرایط دیم به مرکز آق‌آباد (۵۱۳۴ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت که به دلیل EC بالا (حدود ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و بارندگی کم و خاک فقیر منطقه می‌باشد.



شکل ۴-۱۹- مقایسه عملکرد واقعی و پتانسیل در شرایط دیم در مناطق مورد مطالعه

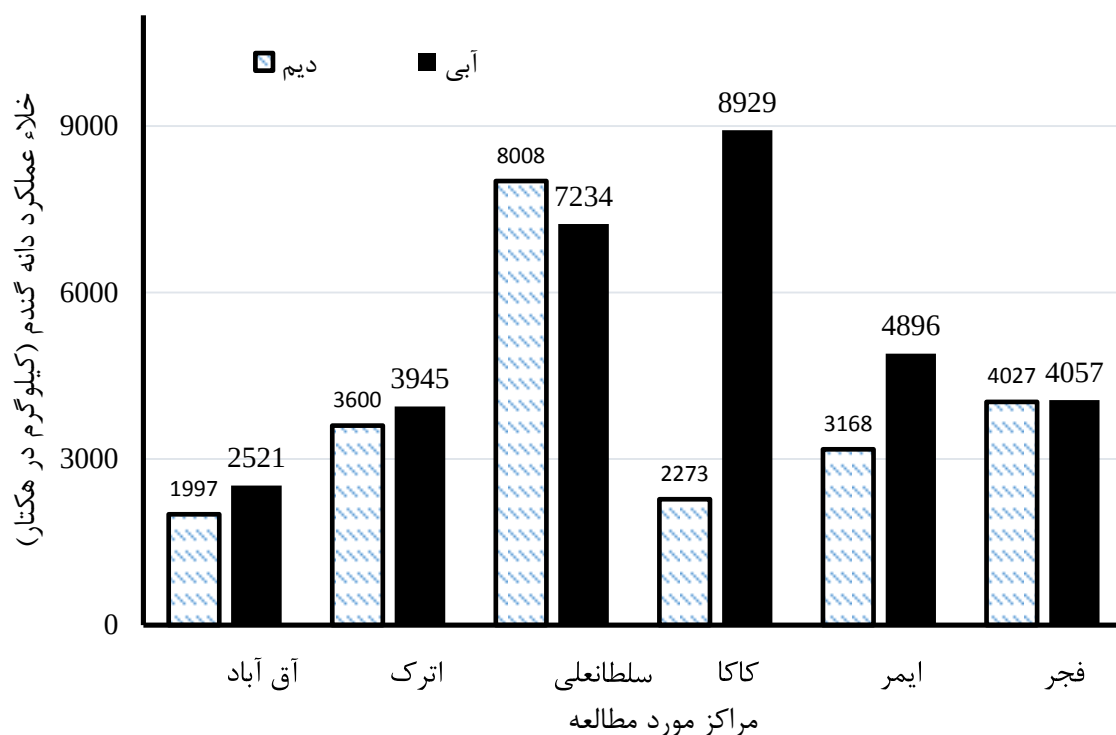
مقادیر بدست آمده در خصوص عملکرد پتانسیل در شرایط فاریاب حاکی از آن است که با توجه نوع خاک و شرایط اقلیمی شهرستان تقریباً کل اراضی مستعد کشت گندم می‌باشند؛ زیرا تولید پتانسیل حداقل ۷۰۸۱ و حداکثر ۱۳۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که از شمال به جنوب شهرستان روند افزایشی دارد. بطورکلی در سیستم‌های کشت فاریاب، عملکرد پتانسیل گیاه زمانی بدست می‌آید که آب و مواد غذایی مورد نیاز گیاه در دسترس باشد و محیط رشد گیاه فاقد آفات، بیماری‌ها و علف‌های

هرز باشد. در سیستم‌های کشت دیم نیز عملکرد پتانسیل تحت تاثیر میزان رطوبت در دسترس گیاه و نحوه توزیع آن در طی فصل رشد گیاه می‌باشد.

اقلیم مناسب، کیفیت مناسب خاک و رطوبت در دسترس گیاه از عوامل مهم هر منطقه برای رسیدن به عملکرد پتانسیل می‌باشند و از عوامل برتری مناطق بر یکدیگر به شمار می‌روند. با این وجود، برخی از مناطق علیرغم داشتن این عوامل برتری، باز هم متوسط عملکرد پتانسیل در آنها پایین است و دقیقاً خلاء عملکرد در چنین مناطقی وجود دارد. به بیان دیگر، مدیریت نامناسب زراعی در این مناطق باعث ایجاد شکاف (یا همان خلاء عملکرد) بین پتانسیل عملکرد با عملکرد واقعی کشاورزان می‌شود. شناخت عوامل ایجاد کننده این خلاء عملکرد، باعث افزایش تولید و کارایی همه ساختارهای کشاورزی می‌شود.

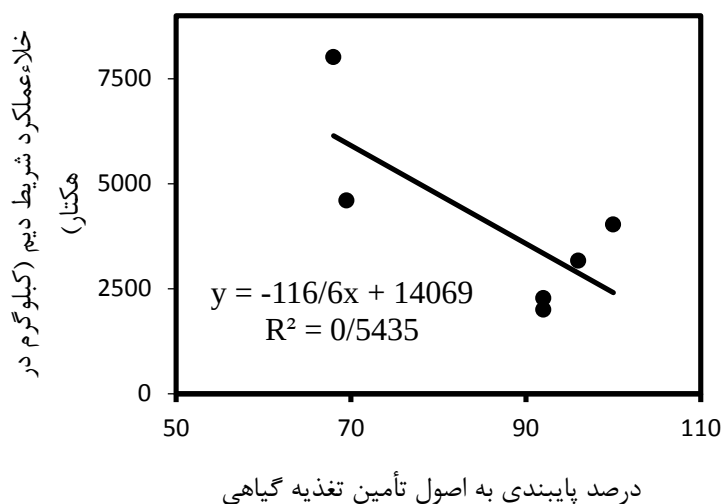
#### ۴-۵- خلاء عملکرد

میزان خلاء عملکرد در شرایط دیم و فاریاب در شکل ۴-۲۰ ارایه شده است. در شرایط دیم، ترتیب مناطق از لحاظ بیشترین خلاء عملکرد عبارتست از سلطانعلی، فجر، اترک، ایمر، کاکا و آق آباد. در شرایط فاریاب، ترتیب مناطق از لحاظ بیشترین خلاء عملکرد به صورت کاکا، سلطانعلی، ایمر، فجر، اترک و آق آباد بدست آمد.



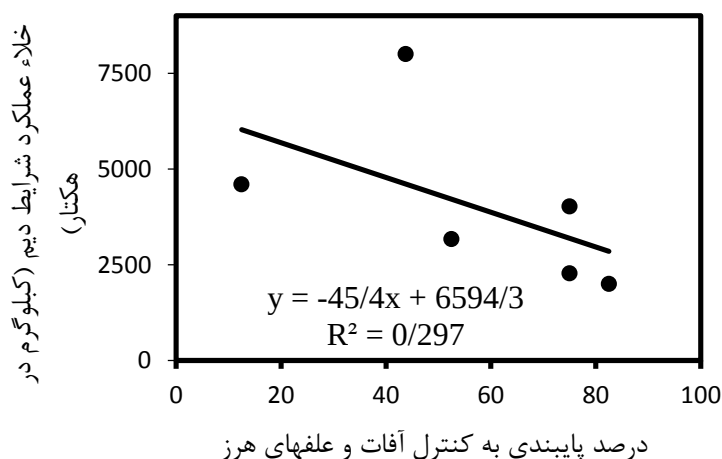
شکل ۴-۲۰- مقایسه خلاء عملکرد گندم دیم و فاریاب در مناطق مورد مطالعه

به طوریکه در شکل ۴-۲۱ دیده می‌شود، یک رابطه معکوس بین خلاء عملکرد گندم روییده در شرایط دیم و درصد پایبندی به اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان وجود دارد. ضریب تبیین ( $R^2$ ) معادله تبیین کننده رابطه مذکور برابر با ۵۴٪ شد؛ این کمیت شاخص آماری مذکور نشان‌گر آن است که ۵۴٪ از خلاء عملکرد گندم را می‌توان با بهبود رعایت اصول کوددهی برطرف نمود. عوامل مرتبط با ۴۶٪ باقیمانده نیز باید در پژوهش‌های بعدی مورد کنکاش قرار بگیرد. همانطور که در معادله مندرج در شکل ۴-۲۲ دیده می‌شود، به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول تغذیه گیاهی، خلاء عملکرد به میزان ۱۱۶/۶ کیلوگرم در هکتار تقلیل می‌یابد.



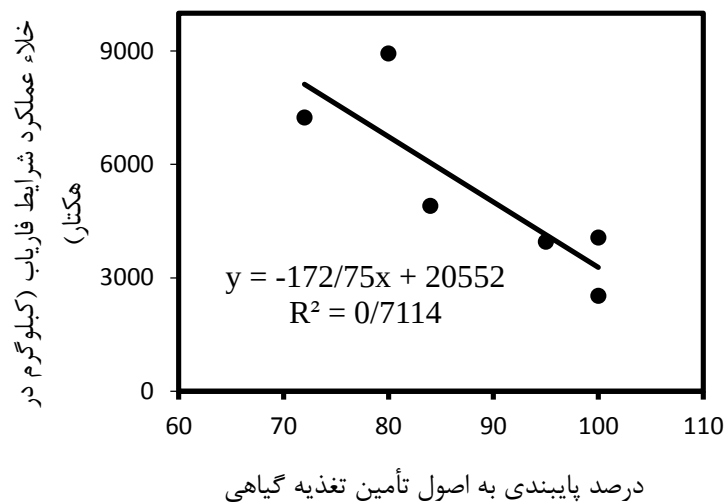
شکل ۴-۲۱- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان.

ضریب تبیین ( $R^2$ ) معادله تبیین کننده رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول کنترل علف‌های هرز و آفات برابر با ۰/۲۹۷ شد (شکل ۴-۲۲). شیب خط معادل ۴۵/۴- کیلوگرم به ازای یک درصد افزایش پابندی کشاورزان به اصول کنترل علف‌های هرز و آفات بود که از لحاظ آمار قابل اغماض بود. بر همین اساس می‌توان گفت که در بین عوامل مورد بررسی، تنها رعایت اصول تغذیه گیاهی می‌تواند خلاء عملکرد را در مناطق دیم مورد بررسی تقلیل دهد.



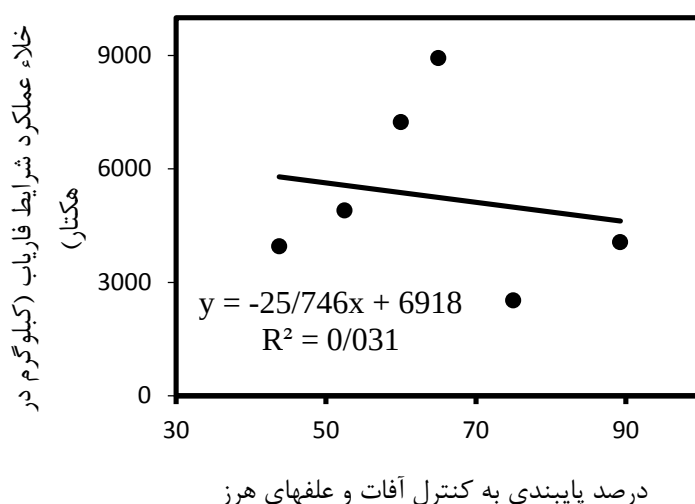
شکل ۴-۲۲- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با رعایت اصول کنترل علف‌های هرز و آفات توسط کشاورزان.

شکل ۴-۲۳ بر یک رابطه معکوس معنی‌دار بین خلاء عملکرد گندم روئیده در شرایط فاریاب و درصد پایبندی به اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان دلالت دارد. ضریب تبیین معادله تبیین کننده رابطه مذکور بیشتر از شرایط دیم بدست آمد (۷۱٪ در مقابل ۵۴٪). به بیان دیگر، ۷۱٪ از خلاء عملکرد گندم در شرایط فاریاب را می‌توان با بهبود رعایت اصول کوددهی برطرف نمود. به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول تغذیه گیاهی، خلاء عملکرد در شرایط فاریاب به میزان ۱۷۲/۷۵ کیلوگرم در هکتار تقلیل می‌یابد؛ این تقلیل خلاء عملکرد حدود ۴۸٪ بیشتر از شرایط دیم است.



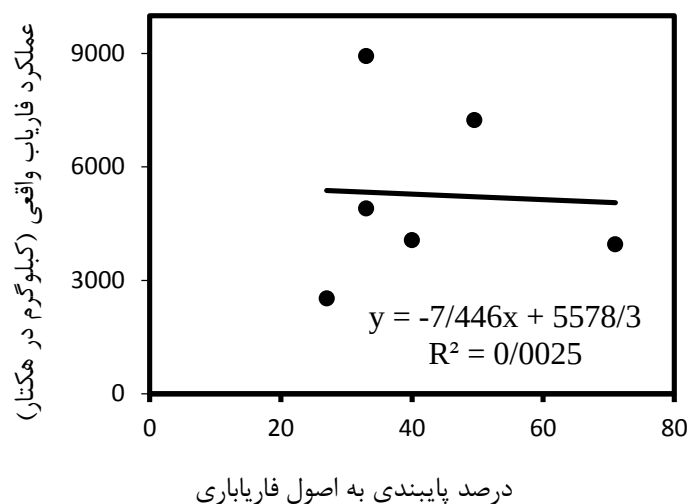
شکل ۴-۲۳- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول تأمین تغذیه گیاهی توسط کشاورزان.

نتایج مندرج در شکل ۴-۲۴ بر این یافته دلالت دارد که به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول کنترل علف‌های هرز و آفات در شرایط فاریاب، ۲۵/۷۴۶ کیلو گرم در هکتار خلاء عملکرد کاهش نشان می‌دهد که از لحاظ آمار معنی‌دار نیست. ضریب تبیین معادله مربوطه بسیار ناچیز (۰/۰۳۱) بدست آمد.



شکل ۴-۲۴- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول کنترل علفهای هرز و آفات توسط کشاورزان.

ضریب تبیین معادله تبیین کننده رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول آبیاری توسط کشاورزان برابر با ۰/۰۰۲۵ شد (شکل ۴-۲۵). شیب خط معادل ۷/۴۴۶- کیلوگرم به ازای یک درصد افزایش پایداری کشاورزان به اصول آبیاری بود که از لحاظ آماری معنی دار نیست. بر همین اساس می توان نتیجه گیری نمود که در بین سه عامل مورد بررسی یعنی رعایت اصول تغذیه گیاهی، آبیاری و کنترل علفهای هرز و آفات، تنها رعایت اصول تغذیه گیاهی می تواند خلاء عملکرد را در مناطق فاریاب مورد مطالعه تقلیل دهد. کاهش خلاء عملکرد نه تنها به افزایش عملکرد و تولید کمک می کند، بلکه کارایی استفاده از زمین و نیروی کار را بهبود می بخشد، هزینه تولید را کاهش و پایداری عملکرد را افزایش می دهد (کوادهااردی، ۲۰۰۰).



شکل ۴-۲۵- رابطه خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب با رعایت اصول آبیاری توسط کشاورزان.

سلطانی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای، توصیه‌های فنی و عملی برای افزایش عملکرد گندم در استان گلستان را ارایه نمودند. در این مطالعه، آنها استان را از لحاظ شرایط تولید گندم به سه بخش تقسیم کردند:

۱) مزارع فاریاب یا دیم که به دلیل بالا بودن بارندگی و یا سطح ایستابی نیاز به آبیاری ندارند. این مزارع در مناطقی همچون گرگان، علی‌آباد، نیمه جنوبی گنبد، کردکوی، رامیان، بندرگز، آزادشهر، مینودشت و گالیکش قرار دارند.

۲) مزارع دیم پرمحصول شمال شرق استان شامل کلاله و نیمه جنوبی مراوه‌تپه،

۳) مزارع دیم کم محصول در مناطق شمالی استان با اراضی شور و کم‌باران شامل بندر ترکمن، آق‌قلا، گمیشان، نیمه شمالی گنبد و نیمه شمالی مراوه‌تپه.

موارد پیشنهادی آنها در خصوص مزارع فاریاب گندم (میانگین عملکرد واقعی ۳۹۳۶ کیلوگرم در هکتار) استان گلستان عبارتست از کشت گندم در دامنه زمانی ۱۵ آبان تا ۲۰ آذر ماه (در نوار جنوبی استان)، مصرف ۱۶۵ تا ۲۱۵ کیلوگرم بذر در هکتار، استفاده از بذرهای گواهی شده ارقام



مناسب از جمله N8720، مصرف حداقل ۵۰ کیلوگرم کود فسفر (معادل  $P_2O_5$ ) در هنگام کشت، مصرف حداقل ۹۵ کیلوگرم کود نیتروژن خالص در هر هکتار، استفاده از زیرشکن هرچند سال یکبار، اهمیت دادن به مبارزه با آفات، مصرف حداقل ۳۳ کیلوگرم کود پتاس ( $K_2O$ ) در هنگام کاشت، ایجاد جوی و پشته حین و یا پس از کاشت گندم با استفاده از فاروئر و استفاده از حداقل دو نوبت آبیاری.

موارد پیشنهادی سلطانی و همکاران (۱۳۹۵) در خصوص افزایش عملکرد مزارع دیم پرمحصول (میانگین عملکرد واقعی ۳۹۸۵ کیلوگرم در هکتار) عبارتست از کشت گندم در دامنه زمانی ۲۰ آبان تا ۲۵ آذر ماه، استفاده از بذور گواهی شده ارقام مخصوص شرایط دیم (کریم و کوهدشت)، گنجاندن بقولات و کلزا در تناوب با گندم، مصرف حداقل ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن خالص در هر هکتار، مصرف حداقل ۲۰ کیلوگرم کود فسفر (معادل  $P_2O_5$ ) در هنگام کاشت، استفاده از زیرشکن هرچند سال یکبار، یکپارچه سازی مزارع کوچک، توجه به مبارزه با بیماری‌های قارچی شایع در منطقه، مصرف حداقل ۳۰ کیلوگرم کود پتاس ( $K_2O$ ) در هنگام کاشت و مصرف ۱۸۰ تا ۲۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار.

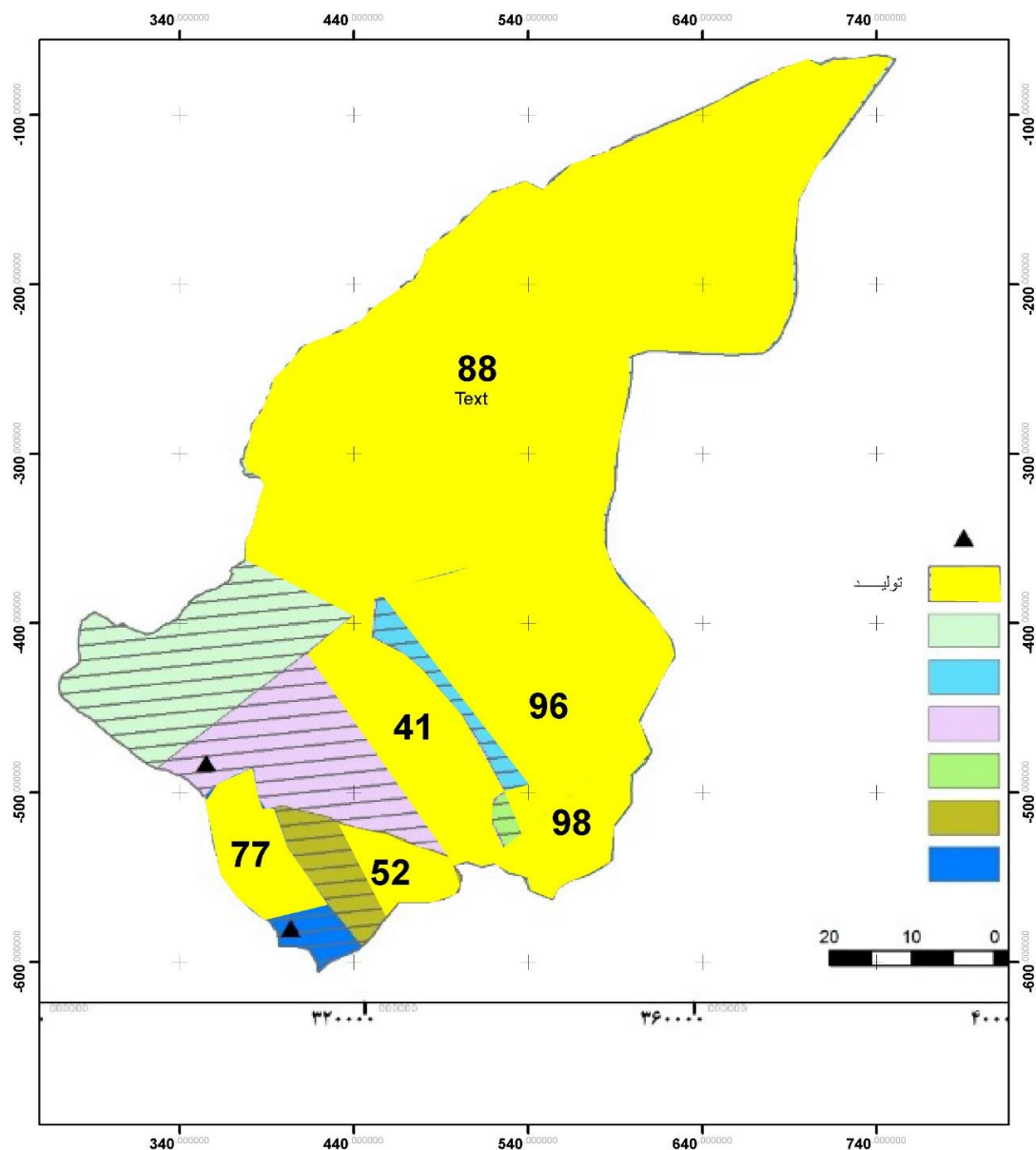
برای مزارع دیم کم محصول (میانگین عملکرد واقعی ۱۹۶۶ کیلوگرم در هکتار)، استفاده از دستگاه‌های کشت در بقایا، استفاده از روش بی‌خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی در کمترین حد ممکن، کشت گندم از ۲۰ آبان تا ۲۵ آذر ماه، مصرف ۱۸۰ تا ۲۱۵ کیلوگرم بذر در هکتار، استفاده از چپزل به جای ماشین آلات سنگین، محلول پاشی گندم بعد از ساقه روی (کودهای میکرو و نیتروژن مایع)، مصرف حداقل ۲۰ کیلوگرم کود فسفر (معادل  $P_2O_5$ ) در هنگام کاشت، مصرف کود پتاس در صورت تایید آزمایش کودی در هنگام کاشت و مصرف حداقل ۲۵ و حداکثر ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن خالص در هکتار را توصیه کردند.

برای اولویت‌بندی عوامل ایجادکننده‌ی خلاء عملکرد گندم در منطقه‌ی گرگان مطالعه‌ی ای با روش AHP (فرایند سلسله مراتب تحلیلی) انجام شد. تجزیه و تحلیل و نتایج کارشناسان مختلف با

روش AHP نشان داد که عواملی همچون عدم مدیریت آبیاری، نامناسب بودن ارقام مورد کشت از نظر ژنتیکی و عدم استفاده مناسب از کودهای پایه، سرک و کم مصرف به ترتیب بیشترین اهمیت را در ایجاد خلاء عملکرد گندم در آن منطقه را دارند. اما بر اساس نتایج تحقیقات بعمل آمده به روش تصادفی نشان داده شد که میزان نامناسب بذر در زمان کاشت، استفاده نامناسب از کود کم مصرف، عمق نامناسب کاشت، نامناسب بودن رقم مورد کشت از نظر ژنتیکی و ریزش بذر در هنگام برداشت به ترتیب بیشترین اهمیت را در ایجاد خلاء عملکرد گندم دارند و با توجه به تناقض در دیدگاه این دو طیف، توصیه کردند رابطه بین کارشناسان کشاورزی و کشاورزان برای انتقال نظرات کارشناسی برای نزدیک شدن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل و کاهش میزان خلاء عملکرد، تقویت گردد.

#### ۴-۶- خلاء تولید

میزان خلاء تولید عبارتست از حاصل تفریق تولید پتانسیل و تولید واقعی که بر اساس سطح کشت معین محاسبه می‌گردد. در شکل ۴-۲۶، نقشه مناطق مورد بررسی و خلاء تولید گندم در شرایط فاریاب (مناطق زرد رنگ) آورده شده است. با توجه به آمار سطح کشت، ترتیب خلاء تولید گندم روئیده در شرایط فاریاب از زیاد به کم به صورت مناطق فجر (حدود ۹۸۰۰۰ تن)، آق آباد (حدود ۹۶۰۰۰ تن)، اترک (حدود ۸۸۰۰۰ تن)، ایمر (حدود ۷۷۰۰۰ تن)، کاکا (حدود ۵۲۰۰۰ تن) و سلطانعلی (حدود ۴۱۰۰۰ تن) بدست آمد.



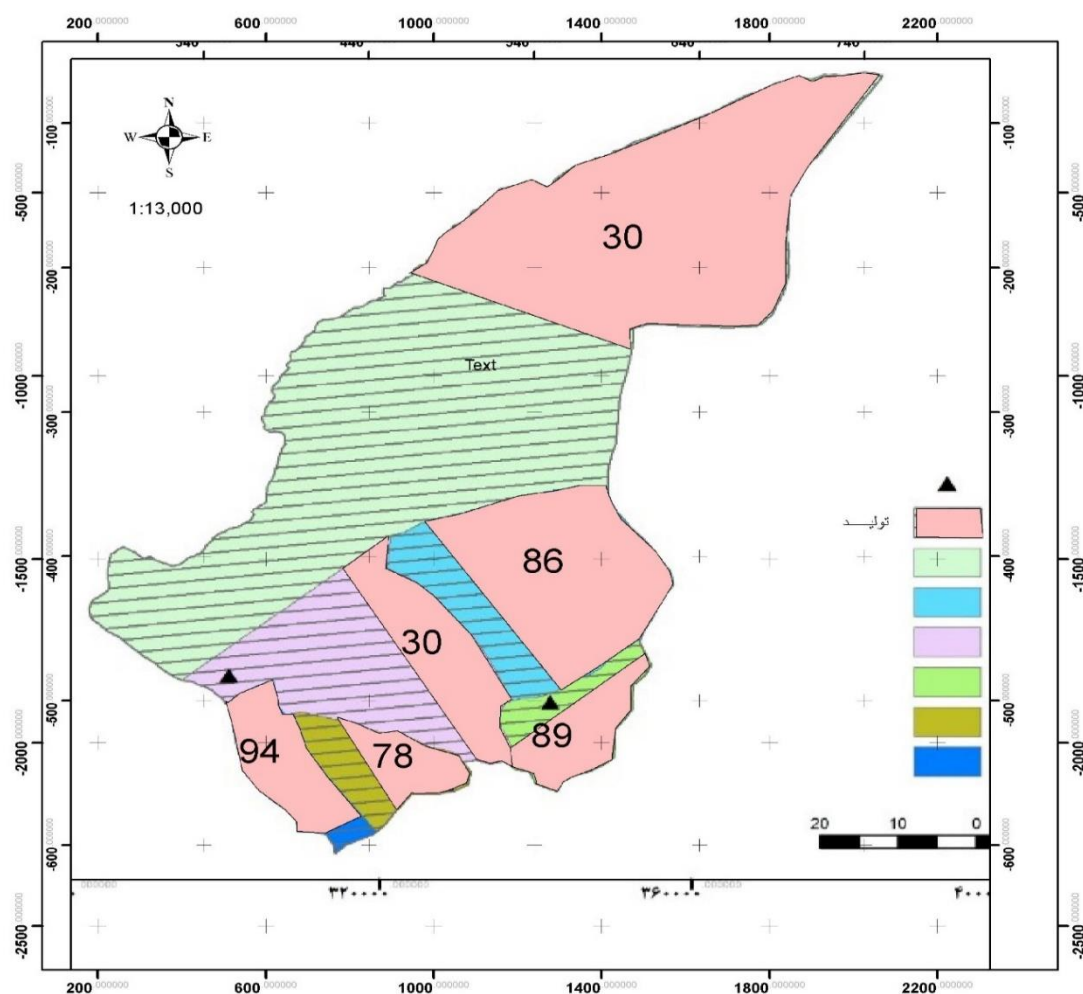
1:3,000

شکل ۴-۲۶- میزان (مقیاس هزار تن) خلاء تولید گندم در شرایط فاریاب (زرد رنگ) در مناطق مورد بررسی.

ترتیب خلاء تولید گندم روئیده در شرایط دیم از زیاد به کم به صورت مناطق سلطانعلی (۵۲۴۷۴)

تن)، اترک (۵۰۳۵۰ تن)، آق آباد (۷۹۱۱ تن)، کاکا (۴۰۹۳ تن)، فجر (۱۹۲۸ تن)، و ایمر (۱۰۵۸

تن) بود (شکل ۴-۲۷)



شکل ۴-۲۷- میزان (مقیاس هزار تن) خلاء تولید گندم در شرایط دیم (صورتی رنگ) در مناطق مورد بررسی.

برای اولویت‌بندی عوامل ایجادکننده‌ی خلاء عملکرد گندم در منطقه‌ی گرگان مطالعه‌ی ای با روش AHP (فرایند سلسله مراتب تحلیلی) توسط ترابی و همکاران (۱۳۹۲) انجام شد. نتایج آنها نشان داد که عواملی چون عدم مدیریت آبیاری، نامناسب بودن ارقام مورد کشت از نظر ژنتیکی و عدم استفاده مناسب از کودهای پایه، سرک و کم مصرف به ترتیب بیشترین اهمیت را در ایجاد خلاء عملکرد گندم

در آن منطقه دارند. تجزیه و تحلیل نظرات و روش‌های زراعی و مدیریتی کشاورزان (انتخاب شده به صورت تصادفی) نشان داد که میزان نامناسب بذر در زمان کاشت، استفاده نامناسب از عناصر غذایی (کود) کم مصرف، عمق نامناسب کاشت، نامناسب بودن رقم مورد کشت از نظر ژنتیکی و ریزش بذر در هنگام برداشت به ترتیب بیش‌ترین اهمیت را در ایجاد خلاء عملکرد گندم دارند (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲).

#### ۴-۷- نتیجه‌گیری

- بالاترین عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب و دیم مربوط به منطقه فجر بود؛ این درحالی است که پایین‌ترین عملکرد در شرایط فاریاب و دیم به ترتیب به سلطانعلی و اترک تعلق داشت.
- به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول مربوط به کنترل آفات و علف‌های هرز، عملکرد دانه گندم در شرایط فاریاب به میزان ۱۹/۲۳۵ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد.
- به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول صحیح تأمین تغذیه گیاهی، عملکرد دانه گندم به میزان ۳۹/۶۶۹ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد.
- در شرایط دیم، ترتیب مناطق از لحاظ بیشترین خلاء عملکرد عبارت بود از سلطانعلی، فجر، اترک، ایمر، کاکا و آق آباد. در شرایط فاریاب، ترتیب مناطق از لحاظ بیشترین خلاء عملکرد به صورت کاکا، سلطانعلی، ایمر، فجر، اترک و آق آباد بدست آمد.
- به ازای یک درصد افزایش پایبندی کشاورزان به اصول صحیح تغذیه گیاهی در شرایط دیم و فاریاب، خلاء عملکرد به ترتیب به میزان ۱۱۶/۶ و ۱۷۲/۷۵ کیلوگرم در هکتار تقلیل یافت.

#### ۴-۸- پیشنهادات

- کمی سازی اثرات فیزیکی خاک بر خلاء عملکرد
- کمی سازی اثرات شیمیایی خاک از جمله اسیدیته و غلظت عناصر خاک به تفکیک بر خلاء

عملکرد گندم

## منابع

- بای ن، منتظری م، گندمکار ا و عطایی ه. ۱۳۹۱، مطالعه پتانسیل اراضی کشت گندم دیم در استان گلستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان. ۲(۴): ۴۱-۱۹.
- بای، ن. منتظری، م. گندمکار، ا؛ و عطایی، ه. ۱۳۹۱، مطالعه پتانسیل اراضی کشت گندم دیم در استان گلستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان، سال دوم، شماره چهارم.
- بیات، کامیار و سید مجید میر لطیفی، ۱۳۸۸، تخمین تابش کل خورشیدی روزانه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، دو ماهنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۲۸۰-۲۷۰.
- بی‌نام، ۱۳۹۵. جهاد کشاورزی استان گلستان، مرکز آمار و اطلاعات.
- بی‌نام، ۱۳۹۵. سازمان مراتع و جنگلداری استان گلستان، مرکز آمار و اطلاعات.
- بی‌نام، ۱۳۹۶. جهاد کشاورزی استان گلستان، مرکز آمار و اطلاعات.
- ترابی، ب. سلطانی، ا. گالشی، س؛ و زینلی، ا. ۱۳۹۰. تحلیل عوامل محدود کننده عملکرد گندم در شرایط گرگان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی.
- ترابی، ب. سلطانی، ا. گالشی، س؛ و زینلی، ا. ۱۳۹۲. بررسی نقش رژیم آبیاری در ایجاد خلاء عملکرد گندم در گرگان. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۰: ۲۵-۲۰.
- حجارپور، ا. سلطانی ا و ترابی ب. ۱۳۹۴. استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلأ عملکرد: مطالعه موردی گندم در گرگان. تولید گیاهان زراعی. ۸(۴): ۲۰۱-۱۸۳.
- حجارپور، ا. ۱۳۹۵، تحلیل عوامل محدودکننده تولید گندم در گلستان. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- حجارپور، ا. سلطانی، ا؛ و ترابی، ب. ۱۳۹۴. استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلأ عملکرد: مطالعه موردی گندم در گرگان. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد هشتم، شماره چهارم. ۲۰۱-۱۸۳.
- سلطانی، ا. حجارپور، ا. نهبندانی، ع، آبروان، پ، شکرگزار، دارابی، م، زینلی، ا و کشیری، ح (۱۳۹۵) توصیه‌های فنی و عملی برای افزایش عملکرد گندم، کلزا، سویا و پنبه در استان گلستان. طرح پژوهشی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

- سلطانی، سعید و سعید مرید، ۱۳۸۴، مقایسه برآورد تابش خورشید با استفاده از روش هارگریوز-سامانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله دانش کشاورزی، سال ۱۵، شماره ۱ (پیاپی ۵۷)، ۱۴۷-۱۴۳.

- سیدیان، سید مرتضی و فراستی، روحانی و حشمت‌پور، بهار ۱۳۹۶، سال سیزدهم، شماره ۱، صص ۸۸-۱۰۰.

- فرج‌زاده، م؛ و میرزابیاتی، ر. ۱۳۸۶. امکان‌سنجی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت نیشابور با استفاده از GIS. مدرس علوم انسانی. ۱۱(۱): ۶۷-۹۱.

- فیروز مجرد، سعید و دکتر فتح نیا، امان الله و رجائی، سعید، بهار ۱۳۹۴، برآورد تابش خورشیدی دریافتی سطح زمین در استان کرمانشاه، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال پنجم، شماره نوزدهم، ۵۵-۶۹.

- کاظمی ح. ۱۳۹۵. کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در علوم زراعی. انتشارات دانشگاه ع

- کامکار، ب، کوچکی، ع، نصیری، م؛ و رضنوانی مقدم، پ. ۱۳۸۶. آنالیز خلأ عملکرد زیره سبز در ۹ منطقه از استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی با استفاده از رهیافت مدل‌سازی. پژوهش‌های زراعی ایران. ۵: ۳۴۱-۳۳۳.

- کریمیان، م. ع. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۸. تاثیر کود نیتروژن و تراکم گیاهی بر جذب و کارایی مصرف نور در دو رقم کلزای بهاره. مجله پژوهش‌های زراعی. جلد ۷، شماره ۱: ۱۷۲-۱۶۳.

- مقدادی ن، سلطانی ا، کامکار ب و حجارپور ا. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی استان زنجان جهت برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد نخود دیم. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۱(۳): ۴۹-۲۷.

- مقدادی، ن. سلطانی، ا. کامکار، ب؛ و حجارپور، ا. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی استان زنجان جهت برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد نخود دیم. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد ۲۱، شماره ۳.

- نصیری محلاتی م و کوچکی ع.ر. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد. پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۶۹۵-۷۰۹.

- نکاحی، م، ز. سلطانی، ا. سیاهمرگویی، آسیه. باقرانی، ن. ۱۳۹۳. خلأ عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در گندم (مطالعه موردی: استان گلستان- بندرگز). مجله تولید گیاهان زراعی، ۷(۲): ۱۵۶-۱۳۵.

م

- نهبندانی ع، سلطانی ا، زینلی ا، مهماندویی م، حسینی ف و شاه حسینی ع. ۱۳۹۶. خلأ عملکرد



سویا در منطقه گرگان و علی‌آباد کتول با استفاده از روش آنالیز خط مرزی. بوم‌شناسی کشاورزی. پذیرش برای چاپ.

- نه‌بندانی، ع. سلطانی، ا. زینلی، ا. مهماندویی، م. حسینی، ف؛ و شاه حسینی، ع. ۱۳۹۶. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. پذیرش برای چاپ.

- Aggarwal, P.K. Karla, N. Bandyopadhyay, S.K. and Selvarjan, S. 1995. A systems approach to analyze production options for wheat in India. In: J. Bouma et. al. (eds). Ecoregional Approaches for Sustainable land use and Food Production, 167-186. Kluwer Academic. Publishers, The Netherlands.
- Alam, M. M. Karim, M. R. and Ladha, J. 2013. Integrating best management practices for rice with farmers' crop management techniques: A potential option for minimizing rice yield gap. Field crops research. 144: 62-68.
- Almorox. J. and Hontoria, C. 2004, Global Solar Radiation Estimation Using Sunshine Duration in Spain, Energy Conversion and Management, Vol 45, No. 9-10, pp. 1529-1535.
- Anderson W.K. 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environments, Management and cultivar. Field crops Research. 116: 14-22.
- Angstrom, A. 1924, Solar and Terrestrial Radiation. Quart. J. Roy. Met. Soc. Vol. 50, pp. 121-125.
- Asana, R.D. & Kale, V.R. 1965. A study of salt tolerance of four varieties of wheat. *Ind. J. Plant Physiol.* 8: 5-22.
- Ball RA, Purcell LC, Carey SK (2004) Evaluation of solar radiation prediction models in North America. *Agronomy Journal* 96:391–397.
- Batjes NH (ed.) (2000) Global Soil Profile Data (ISRIC-WISE). [Global Soil Profile Data (International Soil Reference and Information Centre - World Inventory of Soil Emission Potentials)]. Data set. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from ORNL Distributed Active Archive Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.
- Bhatia, V.S. P. Singh, S.P. Wani, G.S. Chauhan, A.V.R. Rao, A.K. Mishra, and K. Srinivas. 2008. Analysis of potential yields and yield

gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148: 1252-1265.

- Bobade, S.V. Bhaskar, B.P. Gaikwad, M.S. Raja, P. Gaikwad, S.S. Anantwar, S.G. Patil, S.V. Singh, S.R. and Maji, A.K. 2010. A GIS-based Land use Suitability Assessment in Seoni District, Madhya Pradesh, India. *TE*. 51(1): 41-45.
- Cassman, K. G. Grassini, P. and van Wart, J. 2010. Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. *Handbook of climate change and agroecosystems*. Imperial College Press, London. Pp: 37-51.
- Cengiz, T. and Cengiz, E. 2009. Application of analytical hierarchy process and geographic information systems in land-use suitability evaluation: a case study of Dümrek village (Canakkale, Turkey). *I.J.S.D.W.E*. 16(4): 286-294.
- Chaudhary, R.C. 2000. Strategies for bridging the yield gap in rice: A regional perspective. In: Papademetriou, M.K.Dent, F.J. Herath, E.M. (Eds), *Bridging the rice yield gap in the Asia-Pacific region*. Food and agriculture organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, Thailand, PP: 201-214.
- Dadashi, N. and M.R. Khajehpour. 2004. Effect of sowing date and cultivar on growth, yield and yield of components safflower in Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 8 (3): 14-27. (in Persian).
- Davies, J. A. McKay, D. C. Luciani, G. and Abdel-Wahab, M. 1988, *Validation of Models for Estimating Solar Radiation on Horizontal Surfaces*, IEA Task IX, Final Report, Atmospheric Environment Service of Canada, Downsview, Ontario, Canada.
- Erfanian M, Babayi Hesar S (2013) Evaluation of hybrid models to estimate daily solar radiation on the number of stations measuring radiation Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)* 158(1):16-27 (In Persian)
- Ghanbari, A. and Taei-Semiromi, J. 2012. New approach for regional crop yield gap analysis in the Borujen Plain, Iran. *Afr. J. Biotech*. 11: 6368-6376.

- Gharineh, M.H. Bakhshandeh, A. Andarzian, B. and Fayazizadeh, N. 2012. Agroclimatic zoning of Khuzestan province for potential yield wheat using WOFOST model. J. Agroecol. 4: 255-64. (In Persian)
- Gobbett, D. Hochman, Z. Horan, H. Navarro Carcia, J. Grassini, P. and Cassman, K. 2016. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. The Journal of Agricultural Science. Pp: 1-18.
- <http://irangeomorphological.blogfa.com/post/602/%D8%A2%D9%84%D8%A8%D8%AF%D9%88-albedo>
- Liu, Zh. Yang, X. Lin, X. Hubbard, K.G. Lv, Sh. and Wang, J. 2016. Maize yield gaps caused by noncontrollable, agronomic, and socioeconomic factors in a changing climate of Northeast China. Science of the Total Environment. 541:756-764.
- Lobell, D. B. Cassman, K. G. and Field, C. B. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annu Rev Environ Resour. 34:179-204.
- Majnooni Heris A, Zand Parsa Sh, Sepaskhah A, Nazemosadat MJ (2008) Development and evaluation of global solar radiation models based on sunshine hours and meteorological information. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 12(46):491-499 (In Persian)
- Meng, Q. Hou, P. Wu, L. Chen, X. Cui, Z. and Zhang, F. 2013. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. Field Crops Research. 143: 91-97.
- Merlos, F. A. Monzon, J. P. Mercau, J. L. Taboada, M. Andrade, F. H. Hall, A. J. Jobbagy, E. Cassman, K. G. and Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. Field Crops Research. 184: 145-154.
- Merlos, F. A. Monzon, J. P. Mercau, J. L. Taboada, M. Andrade, F. H. Hall, A. J. Jobbagy, E. Cassman, K. G. and Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. Field Crops Research. 184:145-154.
- Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy Monograph, 31, 31-54.
- Moeini S, Javadi Sh, Kokabi M, Dehghan Menshadi M (2010) Iran's estimate of solar radiation using an optimal model. Iran Energy Journal 13(2):1-10 (In Persian)

- O'Connell, M. G. G. J. O'Leary, D. M. Whitfield and D. J. Connor. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field. Crops. Res.* 85: 120-123.
- Oliver, Y. and Robertson, M. 2013. Quantifying the spatial pattern of the yield gap within a farm in a low rainfall Mediterranean climate. *Field crops research.* 150:29-41.
- Paltridge, G. W. and Proctor, D. 1976, Monthly Mean Solar Radiation Statistics for Australia, *Solar Energy*, Vol. 18, pp. 235–243.
- Pasuquin, J.M. Pampolino, M.F. Witt, W. Dobermann, A. Oberthur, T. Fisher, M.J. and Inubushi, K. 2014. Closing yield gaps in maize production in Southeast Asia through site-specific nutrient management. *Field crops research.* 156: 219-230.
- Prescott, J. A. 1940, Evaporation from a Water Surface in Relation to Solar adiation, *Trans. R. Soc. South Aust.* Vol. 64, pp. 114–118.
- Purcell, L. C. R. A. Ball, J. D. Reaper and E. D. Vories. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop. Sci.* 42: 172-177.
- Radiation in Different Climates on the South and North Coasts of Iran, *International Journal of Photoenergy*, Online: <http://dx.doi.org/10.1155/2007/94786>, Doi: 10.1155/2007/94786.
- Rawson, H.M. 1993. Radiation effect on rate of development in wheat growth under different photoperiods and high and low temperature. *Aust. J. Plant physiol.* 20: 719-723.
- Ritchie, J.T. 1991. Wheat phasic development. In: Hanks, R.J. Ritchie, J.T. (Editors),
- Sabziparvar, A. A. 2007, General Formula for Estimation of Monthly Mean Global Solar
- Soltani A and Sinclair TR (2012a) Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI. 322p.
- Soltani A, Hajjarpoor A and Vadez V (2016) Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops. Res.* 185: 21-30.
- Soltani A, Maddah V and Sinclair TR (2013) SSM-Wheat: a

simulation model for wheat development, growth and yield. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 7: 711-740.

- Soltani, A. Hajjarpoor, A. and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops. Res.* 185: 21-30.
- Soltani, A. Hajjarpoor, A. and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops. Res.* 185: 21-30.
- Soltani, A. Robertson, M.J. Mohammad-Nejad, Y. Rahemi-Karizaki, A. 2006b. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Res.* 99, 14-23.
- Soltani, A. Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and
- Soltani, A. Sinclair, T.R. 2012a. Modeling Physiology of Crop Development, Growth and
- Soltani, A. Sinclair, T.R. 2012c. Identifying plant traits to increase chickpea yield in
- Soltani, A. Torabi, B. Galeshi, S. and Zeinali, E. 2011. Analyzing Wheat Yield Constraints in Gorgan with Comparative Performance Analysis (CPA) Method (Research Report). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 65p. (In Persian)
- Trans. ASAE. 32, 497-510.
- Tsubo, M. S. Walker and H. O. Ogindo. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. *Field. Crops. Res.* 93: 10-22
- Tsubo, M. S. walker and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of monointer – cropping system with different row orientations. *Field. Crops. Res.* 71: 17-29.
- Van Ittersum MK and Cassman KG (2013) Yield gap analysis—Rationale, methods and applications Introduction to the Special Issue. *Field Crops Research*. 143: 1-3.
- Van Wart J, van Bussel LG, Wolf J, Licker R, Grassini P, Nelson A, Boogaard H, Gerber J, Mueller ND, Claessens L, van Ittersum MK and Cassman KG (2013) Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*. 143: 44-55.

- water-limited environments. *Field Crops Research*. 133, 186-196.
- Williams, J.R. Jones, C.A. Kiniry, J.A. Spanel, D.A. 1989. The EPIC crop growth model.
- Yield. CABI publication. 322p.
- yield. *Field Crops Research*. 124, 252-260.

## **Abstract**

This study was aimed at estimating the wheat yield gap in six regions of Golestan province, using modeling by SMM-Wheat model. The regions were Atrak, Aghabad, Sultan Ali, Imer, Kaka, and Fajr. The required data included weather information, soil properties, amount of observing pest and weed control, irrigation, and fertilization principles by farmers. The results indicated that the irrigated-wheat yield grain increases by 19.235 kg/ha for a one percent increase in observing pest and weed control by farmers. Also, the wheat yield grain increases by 39.669 kg/ha for a one percent increase in observing appropriate fertilization principles by farmers. In terms of yield gap under rainfed conditions, the regions ranked from higher to lower as Sultan Ali, Fajr, Atrak, Imer, Kaka, and Aghabad. In terms of yield gap under irrigated conditions, the regions ranked from higher to lower as Kaka, Sultan Ali, Imer, Fajr, Atrak, and Aghabad. Under rainfed and irrigated conditions, the wheat yield gap decreased by 116.6 and 172.75 kg/ha, respectively for a one percent increase in observing appropriate fertilization principles by farmers.

**Keywords:** SSM-Wheat, yield potential, agronomic improvement-related management, yield gap.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Agriculture**

**MSc Thesis in Agrotechnology – Crop Ecology**

**Evaluation of wheat yield gap in gonbad-e-qabus,  
using SSM-Wheat simulation model**

**By: Abolfazl Vahedi**

**Supervisors:**

**Dr. Manoochehr Gholipoor**

**Advisors:**

**Dr. Hamid Abbasdokht**

**Dr. Hassan Makarian**

**December 2021**