

مدل سازی اثر تراکم گیاهی بر تولید و پیر شدن برگ دو رقم گندم در شرایط قطع آبیاری آخر فصل

سید علیرضا رضوی^{۱*}، حسن حمیدی^۲، غلامرضا عزیزی^۳ و رضا اصغری^۴

- ۱- ***تویسنده مسئول:** استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران (a.razavi@areo.ir)
- ۲- محقق بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
- ۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
- ۴- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳

چکیده

برای مدل سازی تولید و پیر شدن برگ گندم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه ای واقع در صالح آباد استان خراسان رضوی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل تراکم های کاشت (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ بوته در متر مربع) و ارقام (گاسکوژن و پیشتاز) بودند. در این آزمایش ساقب و دانه آب انجام نشد. فیلوکرون در گندم حدود ۱۰۲ درجه روز رشد بود و برگ های ساقه اصلی بعد از دریافت حدود ۹۰۰ درجه روز رشد به اتمام رسیدند. تراکم بوته بر ظهور برگ و فیلوکرون تأثیری نداشت. پیری برگ در ساقه اصلی وقتی شروع شد که ساقه اصلی حدود ۵ برگ داشت و به ازای هر واحد افزایش درجه روز رشد کسر برگ های پیر شده در ساقه اصلی ۰/۷ درصد افزایش یافت. تولید برگ در بوته در مقابل تعداد برگ روی ساقه اصلی در دو مرحله اتفاق افتاد. در مرحله اول تعداد برگ در بوته به آهستگی و مستقل از تراکم افزایش یافت و در مرحله دو تولید برگ با سرعت بیشتری رخ داد و به تراکم بوته وابسته بود. رابطه نزدیکی بین کسر برگ های پیر در بوته و کسر برگ های پیر در ساقه اصلی مشاهده شد. طول عمر متوسط هر برگ در بوته با افزایش تراکم کاهش یافت. گاسکوژن توانسته بود تعداد برگ و طول عمر برگ بالاتری را به خود اختصاص دهد. نتایج نشان داد که تولید و پیری برگ گیاه گندم را در تراکم های مختلف تحت شرایط آبیاری آخر فصل می توان در قالب معادلات مختلف به صورت کمی توصیف کرد.

کلید واژه ها: پیشتاز، طول عمر برگ، ظهور برگ، فیلوکرون، گاسکوژن

مقدمه

آن ۶/۴ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آبی آن ۲۶۷۵ کیلوگرم در هکتار بوده است (Anonymous, 2014). کم آبیاری یکی از روش های مدیریتی آبیاری می باشد و عبارت است از یک تکنیک فنی و مهندسی جهت تأمین آب مورد نیاز گیاهان فاریاب، به طوری که حداکثر استفاده از واحد حجم آب (در شرایط کمبود منابع آب) و یا از

گندم بیشترین سطح زیر کشت در جهان معادل تقریباً یک ششم از کل زمین های زراعی را دارا است (Bokan and Malesevic, 2004). طبق آمارنامه سال ۹۲-۱۳۹۱ سطح گندم در ایران ۷۱/۹۹ درصد از سطح برداشت غلات می باشد و میزان تولید گندم ۹/۳ میلیون تن، سطح زیر کشت

مرحله گرده‌افشانی مربوط به ظهور برگ‌های ساقه اصلی می‌باشد (Miglietta, 1989). Royo *et al.* (2004) اثر عوامل محیطی در گندم دوروم را بیش از اثر عوامل ژنتیکی عنوان کردند. مهم‌ترین عامل محیطی اثرگذار بر نمو برگ دما می‌باشد (Kirby, 1995). سرعت ظهور برگ و اندازه نهایی آن به وسیله دما و با اثر برگسترش سلولی انجام می‌شود (Van Delden *et al.*, 2001). McMaster and Wilhelm (1995) در گندم وجود رابطه ساده خطی را بین GDD و تعداد برگ در ساقه اصلی نشان دادند که تحت رابطه $Y = 0.057 + 0.075X$ بود و با همبستگی ۰/۹۹ میانگین و فیلوکرونی معادل GDD ۱۳۳ داشت.

Streck *et al.* (2003) نیز با مطالعه دو گیاه گراس Alexander grass و morning glory دو رابطه ساده خطی $y = 0.023 TT + 0.262$ و $y = 0.0508 TT - 8.55$ و با همبستگی ۰/۹۹ تولید برگ در ساقه اصلی را توجیه کرد. در این روابط y تعداد برگ در ساقه اصلی و TT زمان حرارتی (GDD) بود. روابطی مشابه در گندم بهاره به اثبات رسید (Ishag *et al.*, 1998).

تولید برگ در بوته با تولید برگ در ساقه اصلی ارتباط دارد (Robertson, 1994). تعداد نهایی برگ به همراه سرعت ظهور آن طول دوره رشد محصول را تعیین می‌کند (Abeledo *et al.*, 2004). طبق نظر Maddah Yazdi (2006) در گندم تولید برگ بوته در برابر تعداد برگ در ساقه اصلی از مدل شکسته دو تکه‌ای تبعیت می‌کند که تولید برگ در بوته را به دو فاز کاملاً مجزا تقسیم می‌کند؛ در فاز اول تعداد برگ در بوته با شیب کمتری افزایش می‌یابد و در فاز دوم این سرعت زیاد می‌شود.

پیر شدن برگ اصطلاحی است برای پیری گیاه که تحت تأثیر عواملی از قبیل ژنوتیپ، تراکم گیاهی، مواد غذایی، خسارت آفات، ذخیره کربن و محیط رشد گیاه قرار می‌گیرد (Birch *et al.*, 1998). با پیر شدن برگ‌ها فعالیت فتوسنتزی آن‌ها متوقف و به موازات آن

واحد اراضی (در شرایط محدودیت زمین) به دست آید و در نهایت حداکثر سود حاصل شود (Sepaskhah *et al.*, 2006).

در بین عوامل زراعی تراکم گیاهی به علت مؤثر بودن بر رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی مهم به شمار می‌رود. تراکم گیاهی مناسب با تغییر عواملی نظیر محل، تاریخ کاشت، شرایط اقلیمی (به‌ویژه توزیع بارش)، نوع خاک و رقم تغییر می‌کند (Elhani *et al.*, 2007).

Hiltbrunner *et al.* (2007) تراکم‌های کاشت مطلوب در گندم را کلیدی برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌دانند. میزان بذر مصرفی و فاصله ردیف بشدت استفاده از منابع محیطی به وسیله گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که این به وسیله ایجاد رقابت درون و برون گیاهی بر سر نور، آب و مواد غذایی در طول نمو محصول است (Arduini *et al.*, 2006).

مدل یک گیاه زراعی نمایش ساده‌ای از آن گیاه است که برای تخمین واکنش رشد آن به محیط استفاده می‌شود (Soltani *et al.*, 2006). استفاده از مدل‌های گیاهان زراعی در بررسی اثر عوامل زراعی و غیرزراعی بر مسائل به‌نژادی، تعیین پتانسیل عملکرد منطقه، کمک به مدیریت آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم نیز مفید است (Maddonni and Otegui, 2006).

فیلوکرون واژه‌ای است برای بیان فاصله بین ظهور دو برگ متوالی که عکس سرعت ظهور برگ قلمداد می‌شود و شاخص مناسبی برای پیش‌بینی نمو گیاه پذیرفته شده است. Hun (1973) برگ‌های تولید شده در ساقه اصلی را شمارش کرد که بر اساس آن فیلوکرون و سرعت ظهور برگ در مقابل زمان پس از ظهور، GDD و یا روز بیولوژیک (بسته به هدف) به دست می‌آید (Streck *et al.*, 2003). توانایی پیش‌بینی زمان ظهور برگ‌های پایایی در ساقه اصلی، تخمین و ارزیابی مراحل مختلف نمو و نیز نمو سطح برگ را به شکلی دقیق‌تر ممکن می‌سازد (Brooking and Jamieson, 2002). بیشتر وقایع نمو در گندم تا آغاز

آزمایش با ۱۲ تیمار شامل دو فاکتور تراکم در شش سطح (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ بوته در مترمربع) و رقم در دو سطح (گاسکوژن و پیشتاز) انجام شد. این آزمایش در کرت‌هایی با طول ۵ و عرض ۲ متر و با کاشت ۸ خط و در ۴ تکرار اجرا شد. فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ارقام مورد مطالعه (پشتاز و گاسکوژن) از مرکز تحقیقات کشاورزی استان خراسان رضوی تهیه شدند. کشت در ۱۷ آذر و به صورت دستی انجام گرفت.

آبیاری در مراحل سبز شدن، پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و گرده‌افشانی (دو بار) انجام شد و ساقاب و دانه‌آب جهت اعمال کم‌آبیاری حذف شدند. برای اندازه‌گیری تعداد برگ از روش Hun استفاده شد (Hun, 1973). تمام اندازه‌گیری‌ها بر روی ۱۰ بوته انتخاب شده به صورت تصادفی از سه خط میانی صورت گرفت.

برای بررسی تغییرات صفات مختلف و کمی‌سازی آن‌ها از معادلات رگرسیونی خطی و غیرخطی (لجستیک، نمایی و تکه‌ای) استفاده شد. تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه روز رشد تجمعی با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی دو تکه‌ای (مدل ۱) توصیف شد. این مدل غیرخطی دارای دو خط متقاطع است که شیب خط در قسمت اول نشان‌دهنده افزایش در تعداد برگ و خط افقی نشان‌دهنده حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی است. در این معادله X درجه روز رشد تجمعی پس از کاشت، y تعداد برگ در ساقه اصلی، a عرض از مبدا (محل قطع محور y)، b سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی و X_0 درجه روز رشد تجمعی پس از کاشت است که در آن تولید برگ در ساقه اصلی خاتمه می‌یابد. هم‌چنین با قرار دادن $y = 0$ در معادله $y = a + bx$ مقدار درجه روز رشد پس از کاشت که در آن تولید برگ در ساقه اصلی شروع شده (به صورت $-a/b$)، محاسبه شد.

$$y = a + b \quad \text{اگر} \quad x \leq X_0 \quad [1]$$

$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر} \quad x > X_0$$

کاهش کلروفیل، پروتئین محلول و مواد غذایی دیده می‌شود (Lu et al., 2003). (Ishag et al., 1998) ارقامی از گندم را مورد بررسی قرار دادند و در بین ارقام مختلف زمان‌های مختلف شروع پیری برگ را مشاهده کردند. رقم wadi elneil پیر شدن خود را از برگ ۶/۲ آغاز کرد در حالی که این عدد برای رقم Dcbeira چهار برگی بود.

Zafari et al. (2014) با بررسی اثر تراکم بوته بر تولید و پیر شدن برگ در ساقه اصلی دو رقم گندم کوه‌دشت و مروارید نشان دادند که با افزایش تراکم بر سرعت ظهور برگ افزوده می‌شود زیرا در تراکم بالا به علت رقابت برای نور، گیاه سعی می‌کند تا سریع‌تر به حداکثر ارتفاع برسد و بوته بتواند استفاده بیشتر از نور داشته باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که تولید برگ از ۱۰۲۹ واحد دمایی به بعد متوقف شد و پیر شدن برگ در ساقه اصلی بعد از ۱۱۱۹/۵ واحد دمایی اتفاق افتاد. سرعت ظهور برگ ۰/۰۰۸ بر درجه روز رشد و از این رو مقدار فیلوکرون ۱۱۴ درجه روز رشد بود.

Ghandi and Jalali (2013) با بررسی تأثیر تنش خشکی ملایم آخر فصل رشد بر ویژگی‌های زراعی ارقام مختلف گندم نشان دادند که لاین امیدبخش SW-82-9 در شرایط تنش خشکی آخر فصل رشد می‌تواند عملکرد مشابه رقم پیشتاز داشته و پتانسیل کشت در دو منطقه اصفهان و اردستان را دارا می‌باشد.

هدف از این تحقیق کمی‌سازی اثر تراکم گیاهی بر تولید و پیر شدن برگ دو رقم گندم گاسکوژن و پیشتاز در شرایط قطع آبیاری آخر فصل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی در صالح آباد تربت جام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول ۵۵ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۲ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) بافت خاک مزرعه لوم رسی سیلتی بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Results of soil physical and chemical analysis in the site of experiment

| پتاسیم K | فسفر P | نیترژن N | رس Clay | سیلت Silty | شن Sand | کربن آلی O.C | هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) | اسیدیته کل اشباع |
|-----------------------|-----------|-------------|------------|---------------|------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------|
| قسمت در میلیون ppm | درصد | | | | | EC×10 ³ ds/m | pH | |
| 121 | 2 | 0.02 | 52 | 23 | 25 | 0.20 | 3.4 | 7.9 |

برگ‌های پیر شده در بوته در مرحله دوم می‌باشند.

$$y = bx \quad \text{اگر} \quad x \leq x_0 \quad [4]$$

$$y = bx_0 + b_2(x-x_0) \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

برای به دست آوردن طول عمر برگ از مدل [۵] که مدلی لجستیک بود استفاده شد. به وسیله این مدل رابطه بین تعداد کل برگ‌های بوته (مدل اول) در برابر درجه روز رشد و نیز تعداد برگ‌های پیر بوته (مدل دوم) در برابر درجه روز رشد بررسی می‌شود. در این مدل x درجه روز رشد تجمعی پس از کاشت، y تعداد کل برگ‌های بوته یا تعداد برگ‌های پیر بوته، $\max \ln$ حداکثر تعداد برگ‌های بوته، a شیب خط، b درجه روز رشد تجمعی که در آن تعداد کل برگ‌های تولید شده یا پیر شده در بوته به نصف حداکثر خود می‌رسند. هم چنین با کسر ضریب b مدل دوم از مدل اول، می‌توان طول عمر برگ را نیز محاسبه کرد.

$$y = \max \ln \{ 1 + \exp[-a(x-b)] \} \quad [5]$$

برازش معادله با استفاده از نرم افزار SAS و تخمین پارامترهای هر معادله با روش مطلوب سازی تکراری (Iterative optimization) با کمک رویه PROC NLIN انجام شد (Soltani, 2001). از نرم افزار Excel نیز برای ترسیم شکل‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

تولید برگ در ساقه اصلی

ضرایب معادله به دست آمده جدول (۲) نشان داد که ارقام پیشتاز و گاسکوژن به ترتیب پس از ۱۰۶ و ۱۱۱ درجه روز رشد تولید برگ در ساقه اصلی خود را آغاز می‌کنند. ارقام و تراکم‌های مختلف از نظر زمان شروع تولید برگ، سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی و نقطه

معادله [۲] برای برازش و به دست آوردن ضرایب مربوطه استفاده می‌گردد. در این معادله، x درجه روز رشد تجمعی پس از کاشت، y کسر برگ پیر در ساقه اصلی، b سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی، x_0 زمان شروع زوال در ساقه اصلی بر حسب درجه روز رشد می‌باشند.

$$y = 0 \quad \text{اگر} \quad x \leq x_0 \quad [2]$$

$$y = b(x-x_0) \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

معادله [۳] برای کمی سازی افزایش تعداد برگ در بوته در برابر تعداد برگ در ساقه اصلی استفاده شد. در این معادله x تعداد برگ در ساقه اصلی، y تعداد کل برگ‌های بوته، b سرعت افزایش تعداد برگ در مرحله اول، x_0 نقطه چرخش منحنی (تغییر زمان بین دو مرحله) و b_2 سرعت افزایش تعداد برگ در مرحله دوم می‌باشند.

$$y = bx \quad \text{اگر} \quad x \leq x_0 \quad [3]$$

$$y = bx_0 + b_2(x-x_0) \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

کسر برگ‌های پیر شده در بوته در برابر کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی نیز از معادله [۴] که معادله‌ای دوتکه‌ای است تبعیت می‌کند. برگ پیر برگی است که بیش از ۵۰ درصد آن زرد شده باشد (Hun, 1973). این مدل دارای دو مرحله است که در مرحله اول کسر برگ پیر در بوته به ازای هر واحد تغییر در کسر برگ پیر ساقه اصلی، با سرعت کندتر و در مرحله دوم با سرعت بیشتری پیگیری می‌شود. در این معادله x کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی، y کسر برگ‌های پیر شده در بوته، b سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در بوته در مرحله اول، x_0 نقطه چرخش منحنی یا محل تغییر زمان بین دو مرحله و b_2 سرعت افزایش کسر

اصلی و زمان شروع زوال در ساقه اصلی اختلاف معنی داری وجود دارد. زمان شروع زوال (X_0) در ساقه اصلی همانند تولید برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد، با افزایش تراکم گیاهی کاهش می‌یابد. این امر به سایه‌اندازی و رقابت درون گیاهی بیشتر در تراکم‌های بالاتر مربوط می‌شود. سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی (b) نیز با افزایش تراکم کاهش می‌یابد. در بالاترین و پایین‌ترین تراکم به ترتیب ۵۹۰ و ۵۰۱ درجه روز رشد را نشان دادند (جدول ۳).

در ارقام مورد بررسی سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده و زمان شروع زوال در ساقه اصلی اختلاف معنی داری را نشان ندادند. سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی و زمان شروع زوال در ساقه اصلی برای رقم گاسکوژن به ترتیب ۰/۰۰۷ و ۵۵۴ و برای رقم پیشتاز ۰/۰۰۷ و ۵۵۲ بودند. کسر برگ پیر در ساقه اصلی از ۵۴۸ درجه روز رشد آغاز شد و با روند ۰/۰۷ درصد به ازای هر درجه روز رشد افزایش پیدا کرد. Soltani *et al.* (2006) نیز مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای را برای کسر برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد و روز بیولوژیک در نخود ارائه دادند.

اتمام تولید برگ در ساقه اصلی، با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند. ارقام پیشتاز و گاسکوژن به ترتیب در ۷۴۵ و ۷۶۸ درجه روز رشد، تولید برگ در ساقه اصلی خود را به اتمام رساندند (جدول ۲).

Maddah Yazdi (2006) سرعت ظهور برگ

در رقم پیشتاز و گاسکوژن را حدود ۰/۰۱ بر درجه روز رشد گزارش کرد که مشابه سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد در این آزمایش می‌باشد. در آزمایش حاضر تعداد نهایی برگ در ساقه اصلی تحت اثر تراکم و رقم واقع نشد (جدول ۲). McMaster and Wilhelm (1995) سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد را برای گندم ۰/۰۷۵ عنوان کردند و فیلوکرون برای هر برگ در ساقه اصلی ۱۳۳ درجه روز رشد بود که این عدد برای تحقیق حاضر ۹۴ درجه روز رشد است که این تفاوت می‌تواند ناشی از اثر رقم و تاریخ کاشت باشد (Ishag *et al.*, 1998).

کسر برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد
ضرایب رگرسیونی حاصل از این مدل دوتکه‌ای (جدول ۳) نشان دادند که بین تراکم‌های مختلف کاشت از نظر سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه

جدول ۲- تخمین پارامترها برای مدل دوتکه‌ای غیر خطی، توصیف کننده تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی و درجه روز رشد (مدل ۱)

Table 2. The estimation of parameters for nonlinear segmented model, describing changes of the leaf number on main stem and growing degree days (model 1)

| CV (%) | RMSE | R ² | n | Ymax | فیلوکرون Phyllochron | X ₀ ±se | b±se | a±se | تیمار Treatment |
|--------|------|----------------|----|------|-------------------------|--------------------|--------------|----------|---------------------|
| 18.4 | 0.3 | 98 | 11 | 8.5 | 98 | 16.2±768 | 0.0003±0.009 | 0.3±-1.2 | گاسکوژن Gaskojen |
| 18.4 | 0.3 | 97 | 11 | 8.1 | 101 | 15.9±745 | 0.0003±0.009 | 0.3±-1.2 | پیشتاز Pishtaz |
| 24.4 | 0.3 | 97 | 11 | 9.1 | 99 | 12.2±789 | 0.0003±0.009 | 0.2±-1.1 | 50 |
| 19.4 | 0.3 | 98 | 11 | 8.5 | 98 | 11.2±773 | 0.002±0.009 | 0.2±-1.2 | 100 |
| 21 | 0.4 | 97 | 11 | 8.3 | 98 | 19.7±752 | 0.0003±0.009 | 0.3±-1.2 | 200 |
| 22.8 | 0.6 | 96 | 11 | 8.2 | 101 | 18.3±736 | 0.0004±0.009 | 0.2±-1.1 | 300 |
| 17.2 | 0.3 | 97 | 11 | 7.9 | 100 | 15.2±726 | 0.0003±0.009 | 0.2±-1.2 | 400 |
| 17 | 0.3 | 97 | 11 | 7.1 | 97 | 17.4±711 | 0.0002±0.009 | 0.3±-1.6 | 500 |

a: عرض از مبدا، b: سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی، -a/b: زمان شروع تولید برگ در ساقه اصلی، X₀: زمان اتمام تولید برگ در ساقه اصلی، ymax (a+b X₀): حداکثر تعداد گره در ساقه اصلی، n تعداد مشاهدات، R²: ضریب تبیین، RMSE: جذر میانگین مربعات خطا و CV: ضریب تغییرات هستند.

a: y-intercept., b: Leaf appearance rate on the main stem., -a/b: Time of the start of leaf production on the main stem., X₀: Time of the termination of leaf production on the main stem., n: Number of views., R²: Coefficient of determination., RMSE: Root Mean Square Error., CV: Coefficient of Variation.

جدول ۳- ضرایب حاصل از برازش معادله [۲] برای رابطه کسر برگ در ساقه اصلی و درجه روز رشد برای تیمارهای مختلف
 Table 3. Coefficients from the fitted equation [2] for relationship the fraction aging leaves on the main stem and growing degree days for different treatments

| CV (%) | RMSE | R ² | n | X ₀ ±se | b±se | تیمار Treatment |
|--------|------|----------------|----|--------------------|---------------|--------------------------------------|
| 26.6 | 0.06 | 96 | 11 | 16.6±554 | 0.0001±0.0007 | گاسکوژن Gaskojen |
| 17.9 | 0.06 | 97 | 11 | 12.2±552 | 0.0001±0.0007 | رقم Cultivar پیشناز Pishtaz |
| 21.1 | 0.09 | 98 | 11 | 19.2±590 | 0.0002±0.0009 | 50 |
| 24.7 | 0.05 | 97 | 11 | 15.9±581 | 0.0002±0.0007 | 100 |
| 22.3 | 0.09 | 96 | 11 | 18.3±553 | 0.0001±0.0007 | 200 |
| 24.9 | 0.03 | 94 | 11 | 16.5±550 | 0.0001±0.0007 | 300 |
| 29.3 | 0.09 | 91 | 11 | 24.7±532 | 0.0001±0.0006 | 400 |
| 30.1 | 0.06 | 88 | 11 | 26.4±501 | 0.0002±0.0005 | 500 |

b: سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی، X₀: زمان شروع پیر شدن برگ در ساقه اصلی، n: تعداد مشاهدات، R²: ضریب تبیین، RMSE: جذر میانگین مربعات خطا و CV: ضریب تغییرات هستند.

b: The rate of increased the fraction aging leaves on the main stem., X₀: Time of the start of aging leaves on the main stem., n: Number of views., R²: Coefficient of determination., RMSE: Root Mean Square Error., CV: Coefficient of Variation.

تعداد برگ در بوته در برابر تعداد برگ در ساقه اصلی

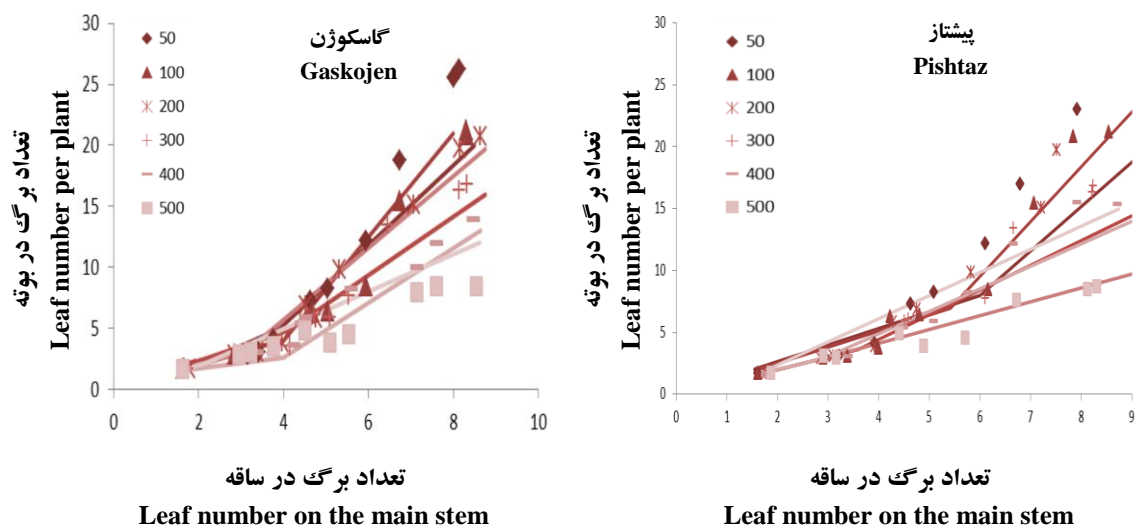
نتایج نشان داد افزایش تعداد برگ در بوته در برابر تعداد برگ در ساقه اصلی دارای دو مرحله است که در مرحله اول با سرعت کندتر و در مرحله دوم با سرعت بیشتری (به علت پنجه‌زنی) افزایش می‌یابد (شکل ۱).

نتایج نشان داد که ارقام مورد بررسی از نظر کلیه پارامترها اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. در بین تراکم‌های مختلف کاشت از نظر سرعت افزایش تعداد برگ در مرحله اول اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، که در واقع این مرحله‌ای است که تعداد برگ در گیاه تقریباً معادل تعداد برگ در ساقه اصلی است؛ هر چند که با افزایش تراکم گیاهی، سرعت افزایش تعداد برگ در مرحله اول کم می‌شود. در تراکم‌های بالا، شیب دو قسمت مدل بسیار مشابه هستند (شکل ۱). کم شدن سرعت افزایش تعداد برگ در مرحله دوم در اثر افزایش تراکم گیاهی قابل اثبات است (شکل ۱). در قسمت اول مدل در تمامی ارقام و تراکم‌های کاشت به ازای افزایش یک برگ در ساقه اصلی ۱/۵ برگ به برگ‌های کل بوته افزوده می‌شود. برای رقم پیشناز در قسمت دوم

مدل، بیشترین تراکم کمترین سرعت (۱/۸ برگ در بوته به ازای افزایش هر برگ در ساقه اصلی) و کمترین تراکم بیشترین سرعت (۵/۴ برگ در بوته به ازای افزایش هر برگ در ساقه اصلی) را نشان دادند. این اعداد برای رقم گاسکوژن به ترتیب ۱/۹ و ۵/۲ برگ در بوته به ازای افزایش هر برگ در ساقه اصلی بودند.

تعداد برگ در بوته در برابر تعداد برگ در ساقه اصلی برای رقم پیشناز و گاسکوژن به ترتیب ۱/۱۴ و ۱/۱۶ بود و X₀ به ترتیب برای رقم پیشناز و گاسکوژن ۴/۲۸ و ۴/۰۹ به دست آمد، که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. X₀ محلی است که در آن پنجه‌ها تولید شده و برگ‌های آن به برگ‌های کل بوته اضافه می‌شوند و تولید پنجه در گندم در اواخر تولید برگ سوم آغاز و کمی زمان لازم است تا پنجه‌ها تولید برگ نمایند.

در باقلا، لپه هندی و نخود با استفاده از مدل دوتکه‌ای، بر کاهش سرعت تولید برگ در بوته به ازای تولید هر برگ در ساقه اصلی در اثر افزایش تراکم اشاره کردند (Ranganathan et al., 2001؛ Turpin et al., 2002؛ Soltani et al., 2006).



شکل ۱- برآزش معادله دوتکه‌ای (مدل ۳) بین تعداد برگ در کل بوته و تعداد برگ در ساقه اصلی

Figure 1. The fitted of segmented equation (model 3) between leaf number per plant and leaf number on the main stem

برگ‌های پیر روی ساقه اصلی ۰/۵۷ درصد افزایش یافت تا زمانی که این نسبت کمتر از ۰/۶۷ یا مساوی آن بود و بعد از آن هر یک درصد افزایش در کسر برگ‌های پیر روی ساقه اصلی باعث ۱/۸ درصد افزایش در میزان برگ‌های پیر در بوته شد. Soltani *et al.* (2006) نیز برای توصیف این دو صفت از این مدل بهره بردند. هرچه پیر شدن برگ‌ها دیرتر اتفاق افتد فتوسنتز طولانی‌تر شده و لذا مدل‌سازی مسایل مربوط به پیری برگ اهمیت دارد (Hammer *et al.*, 1987).

طول عمر برگ

ضرایب حاصل از برآزش مدل اول (جدول ۵) که برای تولید برگ است، نشان می‌دهد که ارقام پیشتاز و گاسکوژن از نظر تولید حداکثر تعداد برگ‌های بوته با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. شیب مدل لجستیک برای پیشتاز و گاسکوژن ۰/۶ درصد است. این اعداد میانگین سرعت تولید برگ برای دو رقم را به ازای افزایش هر واحد درجه روز رشد نشان می‌دهند. ارقام پیشتاز و گاسکوژن به ترتیب وقتی ۷۰۵ و ۷۲۳ درجه روز رشد دریافت کردند تعداد برگ‌های تولید شده خود را در بوته به ۵۰ درصد تعداد نهایی رساندند (جدول ۵). اما تعداد برگ تولیدی در بوته پیشتاز در نهایت ۱۷/۲ و در

مدل‌سازی تعداد نهایی برگ در بوته به همراه سرعت ظهور آن می‌تواند طول دوره حیات محصول را تعیین کند و در واقع تفاوت‌هایی که غلات زمستانه از نظر زمان گل‌دهی دارند نیز به تفاوت ژنتیکی آن‌ها در مورد تعداد برگ در بوته مربوط می‌شود (Abeledo *et al.*, 2004).

کسر برگ‌های پیر در بوته در برابر ساقه اصلی

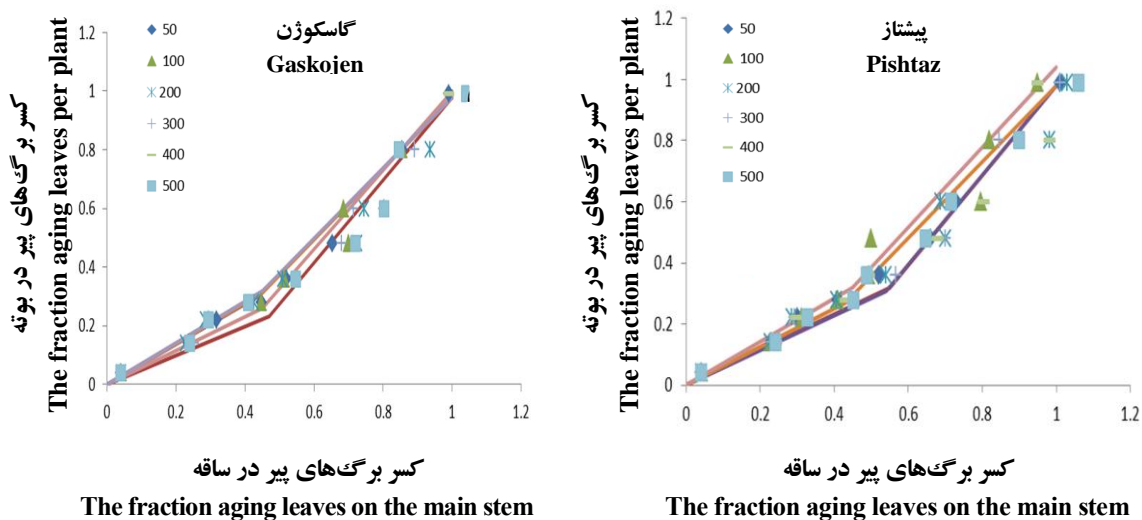
شکل (۲) تغییرات کسر برگ‌های پیر در بوته در برابر کسر برگ‌های پیر را در ساقه اصلی نشان می‌دهد. ضرایب به دست آمده نشان داد که در این مورد نیز ارقام پیشتاز و گاسکوژن بسیار مشابه هستند و از نظر کلیه پارامترها اختلاف معنی‌داری ندارند؛ اما تراکم‌های مختلف به جز b_2 در تمامی پارامترهای مدل دوتکه‌ای، با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). کم شدن سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در بوته در مرحله دوم در اثر افزایش تراکم به صورت کاهشی بود (جدول ۴). در آزمایش Jafari Moghaddam (2008) مدل تراکم‌های بالا یک قسمتی شد که ناشی از پنجه‌زنی ناچیز بود. Ranganathan *et al.* (2001) نیز در لپه هندی

نشان دادند که کسر برگ‌های پیر در بوته در مقابل کسر روی ساقه اصلی از معادله دوتکه‌ای تبعیت می‌کند. کسر برگ‌های پیر در بوته نیز به ازای هر واحد افزایش در کسر

به ترتیب در ۷۹۹ و ۸۲۰ درجه روز رشد به ۵۰ درصد حداکثر خود رسیدند. با افزایش تراکم گیاهی در هر دو رقم، زمان رسیدن به ۵۰ درصد تعداد نهایی برگ در بوته کاهش یافت. این زمان برای بالاترین تراکم کمترین مقدار و برای رقم پیشتاز و گاسکوژن در این تراکم به ترتیب ۶۰۹ و ۶۰۲ درجه روز رشد بود (جدول ۵).

گاسکوژن ۱۸/۳ بود که از این نظر اختلاف معنی داری بین ارقام دیده نمی‌شود.

مطابق ضرایب مدل اول برای تولید برگ، تراکم‌های گیاهی از نظر تأثیر بر شیب مدل با هم تفاوت معنی داری ندارند. ولی با افزایش تراکم، این شیب کم شد. تعداد برگ کل بوته در تراکم ۵۰ رقم پیشتاز و گاسکوژن،



شکل ۲- برازش معادله دو تکه ای (مدل ۴) بین کسر برگ‌های پیر شده در بوته و کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی
Figure 2. The fitted of segmented equation (model 4) between the fraction aging leaves per plant and the fraction aging leaves on the main stem

جدول ۴- ضرایب حاصل از برازش معادله [۴] برای رابطه کسر برگ‌های پیر در بوته در برابر کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی
Table 4. Coefficients from the fitted equation [4] for relationship the fraction aging leaves per plant against the fraction aging leaves on the main stem

| CV (%) | RMSE | R ² | n | X ₀ ±se | b ₂ ±se | b±se | تیمار Treatment |
|--------|------|----------------|----|--------------------|--------------------|----------|---------------------|
| 19.3 | 0.1 | 99 | 20 | 0.1±0.5 | 0.05±1.41 | 0.1±0.4 | گاسکوژن Gaskojen |
| 10.2 | 0.1 | 98 | 20 | 0.1±0.5 | 0.05±1.35 | 0.2±0.4 | پشتاز Pishtaz |
| 23.6 | 0.1 | 99 | 20 | 0.11±0.5 | 0.06±1.94 | 0.1±0.4 | 50 |
| 13.2 | 0.09 | 96 | 20 | 0.12±0.49 | 0.09±1.2 | 0.2±0.28 | 100 |
| 18.8 | 0.08 | 96 | 20 | 0.1±0.42 | 0.1±1.3 | 0.1±0.33 | 200 |
| 11.4 | 0.2 | 99 | 20 | 0.1±0.4 | 0.05±1.01 | 0.2±0.3 | 300 |
| 22.4 | 0.2 | 97 | 20 | 0.05±0.37 | 0.3±0.7 | 0.1±0.29 | 400 |
| 15.3 | 0.03 | 98 | 20 | 0.06±0.4 | 0.1±0.6 | 0.2±0.42 | 500 |

b: سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در بوته در مرحله اول، X₀: نقطه چرخش منحنی، b₂: سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در بوته در مرحله دوم، n: تعداد مشاهدات، R²: ضریب تبیین، RMSE: جذر میانگین مربعات خطا و CV: ضریب تغییرات هستند.

b: The rate of increased the fraction aging leaves per plant in first stage., x₀: Curve rotation point., b₂: The rate of increased the fraction aging leaves per plant in second stage., n: Number of views., R²: Coefficient of determination., RMSE: Root Mean Square Error., CV: Coefficient of Variation.

جدول ۵- ضرایب حاصل از برازش معادله [۵] برای رابطه تعداد کل برگ‌های بوته و پیر شده در بوته در برابر درجه روز رشد
 Table 5. Coefficients from the fitted equation [5] for relationship the total number of plant and aging leaves per plant against growing degree days

| تعداد کل برگ‌های پیر شده در بوته Total number of aging leaves per plant | | تعداد کل برگ‌های بوته Total number of plant leaves | | | تراکم بوته Plant density | رقم Cultivar |
|--|---------------|---|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $b_2 \pm se$ | $a_2 \pm se$ | $maxln \pm se$ | $b_1 \pm se$ | $a_1 \pm se$ | | |
| 29.3±1256 | 0.007±0.006 | 1.5±21.3 | 25.9±820 | 0.002±0.005 | 50 | گاسکوژن Gaskojen |
| 39.7±1070 | 0.006±0.0065 | 1.5±20.5 | 22.2±800 | 0.002±0.003 | 100 | |
| 36.9±1000 | 0.007±0.0065 | 1.4±17.3 | 26.5±771 | 0.003±0.005 | 200 | |
| 36.2±1008 | 0.004±0.004 | 1.2±15.3 | 28.2±730 | 0.002±0.004 | 300 | |
| 31.4±976 | 0.007±0.006 | 1.1±12.7 | 28.8±678 | 0.004±0.006 | 400 | |
| 30.2±950 | 0.002±0.003 | 1.6±10.3 | 32.4±602 | 0.002±0.005 | 500 | |
| 29.2±1279 | 0.005±0.008 | 1.2±21.9 | 19.3±799 | 0.004±0.005 | 50 | پیش‌تاز Pishtaz |
| 31.2±1123 | 0.006±0.005 | 1.3±19.9 | 21.5±802 | 0.002±0.006 | 100 | |
| 28.7±1010 | 0.004±0.0065 | 1.7±18.2 | 29.8±756 | 0.002±0.005 | 200 | |
| 26.8±1100 | 0.004±0.005 | 1.1±14.5 | 28.4±676 | 0.003±0.006 | 300 | |
| 26.3±992 | 0.004±0.009 | 1.1±11.8 | 27.6±621 | 0.002±0.005 | 400 | |
| 32.9±923 | 0.003±0.003 | 1.2±10.4 | 32.7±609 | 0.003±0.003 | 500 | |
| 24.2±1120 | 0.0002±0.005 | 0.3±18.3 | 23.4±723 | 0.002±0.006 | گاسکوژن Gaskojen | رقم Cultivar |
| 26.9±1118 | 0.0002±0.0054 | 0.3±17.2 | 29.4±705 | 0.002±0.006 | پیش‌تاز Pishtaz | |
| 26.2±1301 | 0.009±0.005 | 1.9±21.2 | 25.3±786 | 0.002±0.002 | 50 | تراکم بوته Plant density |
| 29.5±1052 | 0.006±0.007 | 1.3±19.2 | 39.8±749 | 0.002±0.005 | 100 | |
| 26.8±1002 | 0.005±0.005 | 1.3±18.9 | 23.4±740 | 0.0003±0.003 | 200 | |
| 35.3±998 | 0.004±0.005 | 1.5±14.3 | 34.4±683 | 0.002±0.005 | 300 | |
| 37.6±983 | 0.002±0.006 | 1.3±11.3 | 29.5±619 | 0.001±0.004 | 400 | |
| 32.2±948 | 0.0035±0.0043 | 1.1±10.1 | 34.1±606 | 0.002±0.005 | 500 | |

$maxln$: تعداد کل برگ در بوته، a_1 : شیب خط، b_1 : درجه روز رشد تجمعی که در آن تعداد کل برگ‌های بوته به نصف حداکثر خود می‌رسند، a_2 : شیب خط، b_2 : درجه روز رشد تجمعی که در آن تعداد کل برگ‌های پیر شده در بوته به نصف حداکثر خود می‌رسند.

$maxln$: Total number of leaves per plant., a_1 : Line slope., b_1 : Growing degree day accumulation where the total number of plant leaves reach in half of their maximum., a_2 : Line slope., b_2 : Growing degree day accumulation where the total number of aging leaves per plant reach in half of their maximum.

Soltani (2006) و Hammer *et al.* (1987) عنوان کردند که تولید برگ بوته برای نخود و سورگوم در مقابل درجه روز رشد از مدل غیرخطی لجستیک تبعیت می‌کند. Soltani *et al.* (2006) نیز در آزمایشی همانند این تحقیق نشان دادند که تراکم گیاهی بر شیب مدل لجستیک بی‌اثر بود، اما زمان رسیدن به ۵۰ درصد تعداد نهایی برگ در بوته و تعداد حداکثر برگ تولیدی در بوته توسط تراکم گیاهی تحت تأثیر قرار گرفت و تراکم‌های مختلف با هم اختلاف معنی‌داری نشان دادند. در آزمایش آن‌ها نیز هر سه پارامتر مدل با افزایش تراکم کاهش یافتند. Ranganathan *et al.* (2001) معتقدند

تعداد نهایی و حداکثر برگ تولیدی در بوته توسط تراکم گیاهی تحت تأثیر قرار گرفت و تراکم‌های مختلف با هم اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۵). این پارامتر نیز با افزایش تراکم کاهش می‌یابد و تغییراتش در برابر تراکم گیاهی همانند دو پارامتر قبلی با یک مدل ساده خطی در هر دو رقم پیش‌تاز و گاسکوژن قابل مشاهده است. رقم پیش‌تاز در تراکم ۵۰ و ۵۰۰ به ترتیب ۲۱/۹ و ۱۰/۴ و رقم گاسکوژن ۲۱/۳ و ۱۰/۳ برگ تولید می‌کنند. این اختلاف در تعداد نهایی تراکم‌های حداکثر و حداقل به پنجه‌زنی بیشتر گندم در تراکم‌های پایین‌تر مربوط می‌شود (جدول ۵).

شیب مدل اثر معنی‌داری ندارد (جدول ۵). هر چند که با افزایش تراکم، این شیب کم می‌شود. تعداد برگ پیر شده در بوته در تراکم ۵۰ رقم پیشتاز و گاسکوژن به ترتیب در ۱۲۷۹ و ۱۲۵۶ درجه روز رشد به ۵۰ درصد حداکثر خود رسیدند. با افزایش تراکم گیاهی در هر دو رقم، زمان رسیدن به ۵۰ درصد تعداد نهایی برگ پیر در بوته با کاهش مواجه شد. این زمان برای بالاترین تراکم (۵۰۰ بوته در متر مربع) کمترین مقدار را داشت، که برای رقم پیشتاز و گاسکوژن در این تراکم به ترتیب ۹۲۳ و ۹۵۰ درجه روز رشد بود (جدول ۵).

بین ارقام از نظر طول عمر تک برگ اختلافی مشاهده نشد، اما تراکم بر این صفت مؤثر بوده و باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار گردید (جدول ۶). با افزایش تراکم، طول عمر تک برگ در ارقام کاهش یافت. علت این امر رقابت بیشتر بوته‌های گیاهان برای تأمین مواد فتوسنتزی و کاهش زمان رسیدن به ۵۰ درصد تعداد نهایی برگ در تراکم‌های بالای کاشت می‌باشد (Soltani *et al.*, 2006). رقم پیشتاز در تراکم ۵۰ بیشترین طول عمر برگ (۵۰۱ درجه روز رشد) را نشان داد. کمترین طول عمر برگ در رقم پیشتاز و گاسکوژن در تراکم ۵۰۰ مشاهده شد، که به ترتیب برابر ۳۷۲ و ۳۸۱ درجه روز رشد بود (جدول ۶). طول عمر بیشتر برگ، فتوسنتز بیشتری را در طول حیات گیاه رقم می‌زند و موجب افزایش تولید می‌شود (Abeledo *et al.*, 2004).

سرعت ظهور برگ‌ها تابعی از تراکم کاشت بوده و گیاهان با تراکم بوته بیشتر برگ‌های کمتری دارند. در تراکم‌های بالاتر رقابت درون گیاهی برای به تأمین مواد فتوسنتزی جهت رشد برگ زیاد است. علت این امر این است که شاخه‌های اولیه (در گندم پنجه) نمی‌توانند به اندازه کامل خود برسند و شاخه‌های ثانویه و ثالثیه نیز در تراکم‌های کاشت بالا به ندرت تشکیل می‌شوند (Soltani *et al.*, 2006).

برای برآزش مدل دوم که برای پیر شدن برگ در بوته در برابر درجه روز رشد است، ضریب $\max \ln$ برابر با همین ضریب در مدل اول قرار گرفت. ضرایب حاصل از این مدل نشان می‌دهد که ارقام پیشتاز و گاسکوژن از نظر شیب مدل و زمان رسیدن به پیر شدن ۵۰ درصد برگ‌ها اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول ۵). شیب مدل لجستیک برای پیشتاز ۰/۵ درصد و برای گاسکوژن ۰/۵۴ درصد است. این اعداد میانگین سرعت پیر شدن برگ برای دو رقم را به ازای افزایش هر واحد درجه روز رشد نشان می‌دهند. این سرعت تا رسیدن به حالت ثبات در مدل ادامه دارد. با مقایسه این ضریب در این مدل و مدل اول، مشاهده می‌شود که سرعت تولید برگ در این قسمت و تا رسیدن به حداکثر تعداد برگ، در مدل اول بیشتر است. ارقام پیشتاز و گاسکوژن با دریافت ۱۱۲۰ درجه روز رشد تعداد برگ‌های پیر شده خود را در بوته به ۵۰ درصد تعداد نهایی رساندند (جدول ۵).

مطابق ضرایب مدل اول برای تولید برگ، تراکم بر

جدول ۶- طول عمر متوسط برگ در بوته بر حسب درجه روز رشد (GDD) بر اساس اختلاف بین ضرایب b جدول ۵
Table 6. The average lifetime of leaf per plant based on growing degree days (GDD) according to the difference between the b coefficients in table 5

| طول عمر متوسط برگ در بوته بر حسب درجه روز رشد | | تراکم بوته Plant density |
|---|---------------------|-----------------------------|
| The average lifetime of leaf per plant based on growing degree days | | |
| پیشتاز Pishtaz | گاسکوژن Gaskojen | |
| 501 | 489 | 50 |
| 462 | 473 | 100 |
| 453 | 452 | 200 |
| 401 | 412 | 300 |
| 392 | 398 | 400 |
| 372 | 381 | 500 |

نتیجه گیری

آغاز و با سرعت کمتری ادامه یافت. پیرشدن برگ در بوته نیز ارتباط نزدیکی با پیر شدن برگ در ساقه اصلی داشت و دارای دو مرحله بود. در مرحله اول به ازای پیرشدن هر یک از برگ‌ها در ساقه اصلی، ۰/۵۲ از برگ‌های بوته زوال یافتند. در مرحله بعدی این عدد افزایش یافت و از ۱/۲ تا ۰/۸ برگ متغیر بود. طول عمر هر برگ در بوته با افزایش تراکم کاهش یافت و برای کمترین و بیشترین تراکم به ترتیب ۵۰۵ و ۳۸۲ درجه روز رشد بود. به طور کلی نتایج این مطالعه حاکی از آن است که تولید و پیری برگ گیاه گندم را در تراکم‌های مختلف تحت شرایط قطع آبیاری آخر فصل می‌توان در قالب معادلات مختلف به صورت کمی توصیف کرد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تولید برگ در ساقه اصلی با دریافت ۱۰۹ درجه روز رشد آغاز شد و به صورت خطی و با سرعت ۰/۰۰۹ برگ بر درجه روز رشد افزایش یافت و بعد از دریافت ۷۵۰ درجه روز رشد خاتمه یافت. پیر شدن برگ در ساقه اصلی پس از گذشت ۵۰۱ تا ۵۹۰ درجه روز رشد شروع شد و با سرعت ۰/۰۰۷۱ برگ بر درجه روز رشد تا پیر شدن کلیه برگ‌ها در ساقه اصلی ادامه یافت. تولید برگ در بوته دارای دو مرحله بود و ارتباط نزدیکی با تولید و پیری برگ در ساقه اصلی داشت. در مرحله اول با افزایش هر برگ در ساقه اصلی، ۱/۴ برگ به برگ‌های بوته افزوده شد. مرحله بعدی برای تراکم‌های بالاتر زودتر

References

- Abeledo, L. G., Calderini, D. F. and Slafer, G. A. (2004). Leaf appearance, tillering and their coordination in old and modern barleys from Argentina. *Field Crops Research*, 86(1), 23-32.
- Anonymous. (2014). Statistics of crops 2012-2013. Tehran: Publications of Department of Planning and Economic Data Center, Ministry of Jihad-e-Agriculture. [In Farsi]
- Arduini, I. A., Masoni, L. and Mariotti, E. M. (2006). Grain yield, dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 309-318.
- Birch, C. J., Hammer, G. L. and Rickert, K. G. (1998). Improved methods for predicting individual leaf area and leaf senescence in maize (*Zea mays*). *Australian Journal Agricultural Research*, 49, 249-462.
- Bokan, N. and Malesevic, M. (2004). The planting density effect on wheat yield structure. *Acta Agriculture, Serbica*, 4(18), 65-79.
- Brooking, I. R. and Jamieson, P. D. (2002). Temperature and photoperiod response of vernalization in near-isogenic lines of wheat. *Field Crops Research*, 79(1), 21-38.
- Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C. and Garcia del moral, L. F. (2007). Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum aestivum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research*, 103, 25-35.
- Ghandi, A. and Jalali, A. H. (2013). Effects of moderate terminal drought stress on wheat agronomic characteristics. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(2), 117-134. [In Farsi]
- Hammer, G. L., Hill, K. and Schrodter, G. N. (1987). Leaf area production and senescence of diverse grain sorghum hybrids. *Field Crops Research*, 17(3-4), 305-317.

- Hiltbrunner, J., Streit, B. and Liedgens, M. (2007). Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover?. *Field Crops Research*, 102(3), 163-171.
- Hun, J. R. (1973). Visual qualification of wheat development. *Agronomy Journal*, 65, 116-119.
- Ishag, H. M., Mohamed, B. A. and Ishag, K. H. M. (1998). Leaf development of spring wheat cultivars in an irrigated heat-stressed environment. *Field Crops Research*, 58(3), 167-175.
- Jafari Moghaddam, M. (2008). Modeling the effect of plant density on the production and aging of wheat leaves. M.Sc Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. [In Farsi]
- Kirby, E. J. M. (1995). Factors affecting rate of leaf emergence in barely and wheat. *Crop Science*, 35(1), 11-19.
- Lu, Q., Wen, X., Lu, C., Qide, Z. and Tingyun, K. (2003). Photoinhibition and photoprotection in senescent leaves of field-grown wheat plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41(8), 749-754.
- Maddah Yazdi, W. (2006). Comparative physiology of growth, development and yield of wheat and peas. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. [In Farsi]
- Maddonni, G. A. and Otegui, M. E. (1996). Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Research*, 48(1), 81-87.
- Mcmaster, G. S. and Wilhelm, W. W. (1995). Accuracy of equations predicting the phyllochron of wheat. *Crop Science*, 35, 30-36.
- Miglietta, F. (1989). Effect of photoperiod and temperature on leaf initiation rates in wheat (*Triticum spp.*). *Field Crops Research*, 21(2), 121-130.
- Ranganathan, R., Chauhan, Y. S., Flower, D. J., Robertson, M. J., Sanetra, C. and Silim, S. N. (2001). Predicting growth and development of pigeonpea: leaf area development. *Field Crops Research*, 69(2), 163-172.
- Robertson, M. J. (1994). Relationships between internode elongation, plant height and leaf appearance in maize. *Field Crops Research*, 38(3), 135-145.
- Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R. and Villagas, D. (2004). Leaf and green development of durum wheat genotypes grown under mediteranian conditions. *Europe Journal Agronomy*, 20(4), 419-430.
- Sepaskhah, A., Tavakoli, A. R. and Mousavi, S. F. (2006). Principles and application of deficit irrigation. Tehran: Publications of National Committee on Irrigation and Drainage. [In Farsi]
- SOLTANI, A. (2001). Application of SAS in statistical analysis (3 ed). Mashhad: Jihad-e-Daneshgahi Press. [In Farsi]

- Soltani, A. (2006). Modeling leaf production and senescence in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Final Report of the Research Project. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. pp. 48. [In Farsi]
- Soltani, A., Robertson, M. J. and Manschadi, A. M. (2006). Modeling chickpea growth and development: Nitrogen accumulation and use. *Field Crops Research*, 99(1), 24-34.
- Streck, N. A., Weiss, A., Xue, Q. and Baenziger, P. S. (2003). Incorporating a chronology response into the predicting of leaf appearance rate in winter wheat. *Annual Botany*, 92(2), 181-190.
- Turpin, J. E., Robertson, M. J., Hillcoat, N. S. and Herridge, D. F. (2002). Fababean (*Vicia faba*) in Australia's northern grains belt: Canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. *Australian Journal Agricultural Research*, 53, 227-237.
- Van Delden, S. A., Kroff, M. J. and Haverkort, A. J. (2001). Modeling temperature-and radiation-driven leaf area expansion in the contrasting crops potato and wheat. *Field Crops Research*, 72(2), 119-142.
- Zafari, B., Soltani, A., Zeinali, A., Kamkar, B. and Nehbandani, A.R. (2014). Effect of plant density on the production and aging of wheat leaves. 1st International and 13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. [In Farsi]

Modeling the Effect of Plant Density on Leaf Production and Senescence of Wheat in Terminal Stage Water Holding Conditions

S.A. Razavi^{1*}, H. Hamidi², Gh. Azizi³ and R. Asghari⁴

- 1- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. (a.razavi@areo.ir)
- 2- Researcher, Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
- 3- M.Sc. Graduate of Agronomy, Faculty of Agriculture, Neyshabour Branch, Islamic Azad University, Neyshabour, Iran
- 4- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

Received: 3 May, 2015

Accepted: 29 June, 2016

Abstract

Background and Objectives

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the world's major cereal crops. Approximately, one sixth of the total arable land is cultivated with wheat. Plant density is an important management factor on crop yield. A major component in a crop growth model is leaf area development which has a major influence on photosynthesis and transpiration. Leaves senesce because of the natural biological process of ageing, but the effect of water deficit can markedly reduce leaf longevity. The aim of this research was to model the effect of plant density on the production and aging leaves of two wheat cultivars (Gascojen and Pishtaz) under irrigation cut off conditions at the end of growth period.

Materials and Methods

In order to model of leaf production and senescence in wheat, the experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with four replications. The experiment was carried out at research farm of Saleh abad, Torbatjam, Iran in 2011. Treatments of this experiment were plant densities (50, 100, 200, 300, 400 and 500 plant in m²) and cultivars (Gaskojen and Pishtaz). In this experiment, irrigation was removed in stem elongation and seed development stages.

Results

Phyllochron in wheat approximately was 102 GDD and showed ending after receiving 900 GDD. Plant density had no effect on leaf appearance and phyllochron. Leaf senescence in the main stem started when the main stem had about 5 leaves and proceeded at a rate of 0.7 per unit increase in GDD. Leaf production per plant versus main stem leaf number occurred in two phases; phase 1. Production increased when plant leaf number occurred with a slower and density-independent rate: phase 2. Production increased with a higher and density-dependent rate of leaf. A close relationship was found between the fraction of senesced leaves per plant and the same fraction on the main stem. Leaf lifetime average decreased with increasing density. Gaskojen was paramount to pishtaz variety in number and lifetime of leaf.

Discussion

The results showed that leaf production and senescence of wheat in different plant densities on terminal stage water holding conditions could be quantified using different equations.

Keywords: *Gascojen, Leaf appearance, Lifetime of leaf, Phyllochron, Pishtaz*