نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۴، بهار ۱۴۰۱

برآورد دمای پایه در مراحل مختلف رشد گندم دیم

(مطالعه موردی: ایستگاه سرارود کرمانشاه)

دریافت مقاله: ۹۷/۶/۲۵ **پذیرش نهایی:** ۹۸/۲/۲۰

صفحات: ۳۰-۱۷

یوسف پارسامهر: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران
Email: yousofkakoolvand@yahoo.com
حسین محمدی: استاد گروه اقلیم شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران[1]
Email: hmmohammadi@ut.ac.ir
فرامرز خوش اخلاق: دانشیار گروه اقلیم شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران.
Email: fkhosh@ut.ac.ir
سعید بازگیر: استادیار گروه اقلیم شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران.
Email: sbazgeer@ut.ac.ir

چکیده

در این پژوهش به منظور بررسی دمای پایه(حداقل دما برای رشد گیاه) در درجه روزهای رشد (GDD) که یکی از پارامتر های مهم در محاسبه درجه روز رشد است، ابتدا داده‌های مورد نیاز دوره آماری ۲۰۰۹-۲۰۱۷ محصول گندم در ایستگاه سرارود، از ایستگاه مربوطه اخذ شد. سپس بعد از مرتب کردن و جدا کردن مراحل مختلف رشد، با استفاده از ۴ روش محاسبه دمای پایه (۱- حداقل انحراف استاندارد در در جه روز SD_{gdd}، ۲- حداقل انحراف استاندارد در روزها SD_{day}، ۳- ضریب رگرسیون در روزها CR_{day}، ۴- ضریب تغییرات CV) مناسب‌ترین روش برای محاسبه دمای پایه رشد، در مراحل مختلف کاشت تا برداشت محصول گندم به دست آمد. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین روش، حداقل انحراف استاندارد در GDD است که دمای پایه به ترتیب برای مراحل مختلف رشد از جوانه زنی تا رسیدن کامل ۵/۸، ۰/۳۸، ۱، ۲/۸-، ۰/۵۶، ۲/۳، ۷/۳، ۷/۹، ۶/۸، ۱۱ درجه سلسیوس به دست آمد. با مقایسه روش های مختلف محاسبه GDD، مناسب‌ترین روش، روش عمومی محاسبه درجه روز رشد به دلیل بیشترین مطابقت با داده‌های ایستگاهی شناخته شد. مقدار درجه روز رشد در مراحل مختلف بر اساس دمای پایه به دست آمده آن‌ها، محاسبه و نتایج نشان دادند که محاسبه دمای پایه در هر مرحله از رشد گندم پاییزه برای محاسبه GDD بسیار دقیق بوده و یک برآورد دقیق از GDD، حاصل شد.

کلید واژگان: دمای پایه، گندم پاییزه، درجه روزهای رشد، مراحل مختلف رشد، سرارود کرمانشاه.

---

۱ .**نویسنده مسئول:** تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه اقلیم شناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

مقدمه

تأثیر عناصر آب و هوایی بر کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به طوری که تغییرات در شرایط اقلیم موجب تغییرات عمده در میزان بازده محصول می‌شود. بنابرین آگاهی و شناخت از تناسب و انطباق فعالیت‌های کشاورزی هر منطقه با شرایط اقلیمی برای کلیه‌ی فعالیت‌های کشاورزی امری لازم و ضروری می‌باشد. همچنین از این رو بررسی ویژگی‌های اقلیمی در میزان عملکرد محصول حائز اهمیت می‌باشد(یاراحمدی، ۱۳۹۲). از بین عناصر آب و هوایی، دما یک عامل کلیدی برای فرایندهای بیولوژیکی و رشد و توسعه گیاه است. درجه روز رشد یا واحد حرارتی گیاه یک واکنش دمایی رشد است که بین شب و روز متفاوت است (Parthasarathi et al., 2013) دما به عنوان یک عامل اکولوژیک به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم اثر خود را بر روی گیاهان نشان می‌دهد (Azimi et al., 2010). داده‌هایی که از نتایج آزمایشات مختلف گندم کانزاس در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲ ، برای تحلیل تأثیر آب و هوا بر عملکرد گندم با استفاده از تحلیل رگرسیون مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که تاثیر دما در طول فصل رشد در ماه‌های سپتامبر و می متفاوت است. بزرگترین عامل کاهش عملکرد، دمای هوای سرد در پاییز و گرمای شدید در بهار است. همچنین اثر کلی گرم شدن بر عملکرد منفی است، تجزیه و تحلیل ها نشان داد که بین میانگین(متوسط) عملکرد و توانایی مقاومت در برابر گرمای شدید در سراسر رشد رابطه مستقیم وجود دارد. بیشتر انواع رقم های کشت شده اخیر کمتر قادر به مقاومت در برابر حرارت نسبت به خطوط قدیمی هستند. نتایج تحقیق نشان داد تغییرات آب و هوایی باعث افزایش دما در آینده می شود، که به طور بالقوه باعث کاهش تولید محصول در بسیاری از مناطق تولید کلیدی می شود. رابطه پیچیده بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد گندم به سرعت در حال رشد است. مجموعه داده های منحصر به فردی که نتایج آزمایشات گوناگون گندم کانزاس را در سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ ترکیب می‌کند با داده های هواشناسی خاص برای تحلیل تاثیر آب و هوا بر عملکرد گندم با استفاده از تحلیل رگرسیون بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که تاثیر دما در طول فصل رو به رشد در ماه سپتامبر می‌باشد. بزرگترین عوامل کاهش عملکرد، دمای هوای سرد در پاییز و گرمای شدید در بهار است. همچنین دیده شد که تاثیر کلی گرمایی بر عملکرد، منفی است. تجزیه و تحلیل نشان داد که بین میانگین (متوسط) عملکرد و توانایی مقاومت در برابر گرمای شدید در رقم‌های مختلف متفاوت است. گونه های تازه منتشر شده کمتر قادر به مقاومت در برابر حرارت نسبت به خطوط قدیمی هستند. اثرات گرمایش به واسطه افزایش بارندگی در بهار تقریبا جبران می‌شود(tack et al, 2015). در جنوب غربی اکلاهما برای ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی در درجه روزهای رشد (GDD) موجود برای تولید گندم زمستانه، از بایگانی CMIP5، دو مدل موثر آب و هوایی جهانی (GCM) برای منطقه (MIROC5 و CCSM4) در نظر گرفته شد. دو روش نقشه برداری کوانتومی برای هر دو GCMs برای به دست آوردن طرح های مقیاس محلی بکار رفت. دوره تاریخی (سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۴) و دوره آینده (۲۰۰۶-۲۰۹۸) از نظر میانگین تفاوت ها اعمال شد. نتایج نشان می دهد که در پایان فصل رشد ۲۰۹۸ انتظار می رود افزایش GDD بین ۴۴۰ تا ۱۳۰۰ درجه سلسیوس باشد چرا که تمام ترکیبات پس از پردازش GCM / آماری نشان دهنده روند کاهش آن زمانبندی در قرن ۲۱ بود (Ruiz Castillo et al, 2016).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

دمای هوا یکی از عوامل حاکم بر رشد و نمو محصول است. برای پیش بینی رشد و نمو محصول با دمای هوا، درجه روز رشد (Growing Degree Day, GDD) یا یک سیستم خطی واحد مشابه بطور زیادی استفاده می شود (Arnold, 1965; Madariaga and Knott, 1951; Hoover, 1955; Gilmor and Rogers, 1958). اثر دما بر فنولوژی و رشد محصولات در شرایط مزرعه در تعیین واحد های دمایی نشان داد که هر گیاه دمای خاص خودش را قبل از مراحل فنولوژی اش نیازمند است (Skider, 2009). با توجه به اهمیت دما در رشد گیاهان برای محاسبه درجه روز رشد از دما استفاده می کنند که در محاسبه آن به تعیین دمای پایه نیاز است.

دمای پایه هم به طور فیزیولوژیکی و هم آماری تعریف می‌شود که به طور فیزیولوژیکی، زیر یک سطح دمایی مشخص که رشد محصول و توسعه آن توقف می‌یابد را دمای پایه فرض می‌گیرند (Yang et al., 1995). دمای پایه گاهی اوقات به دمای حداقل اطلاق می‌شود، که یک پارامتر اساسی برای تعیین شروع و خاتمه فصل رشد است. بنابراین روی مدل فنولوژی و در نتیجه افزایش توده زیستی (Bio mass) سالانه اثر می‌گذارد (Sitte et al., 1999). بعضی مولفان اختلاف بیشتر قسمت‌های گیاه از قبیل شاخه یا برگ‌ها (Porter et al., 1999) به جنبه‌های منطقه‌ای دمای پایه یا سازگاری خاص گیاه را به عنوان داده‌هایی برای دمای پایه به دلیل محدود بودن، انتخاب می‌کنند(Keller et al., 1997 ; Aufammer 1998). کارهای تحقیقاتی زیادی برای تعیین دمای پایه صورت گرفته که به پاره‌ای از آن‌ها می‌توان اشاره کرد.

خلیلی اقدم و همکاران (Khaliliaqdam et al., 2014)، در آزمایشی روی گیاه ماشک دمای پایه مورد نیاز آن را در مرحله جوانه زنی زیر صفر محاسبه نمودند. تقوایی و همکاران (Taghvaei et al., 2015)، دمای پایه را برای یک نوع جلبک در دو منطقه به دست آوردند که در آن دمای پایه لازم برای جوانه زنی جلبک را به ترتیب ۱۹/۱ و ۲۰ درجه سلسیوس برای فارس و زاهدان محاسبه شد. در بررسی ارتباط دمای پایه با توسعه گندم بهاره در ۵ رقم مختلف در سانتیاگو شیلی، نتایج نشان دادند که جوانه زنی، ظهور، پنجه زنی و طول برگ یک دمای پایه حدود ۲ درجه سلسیوس دارد اما طول ساقه و مرحله رویشی (بلوغ پنجه زنی) دمای پایه حدود ۶ درجه نیاز دارد (Del Pozo et al., 1986). بر اساس دمای پایه ۰,۵ و ۱۰ درجه سلسیوس در درجه روزهای رشد (GDD) یک شاخص برای ارزیابی توسعه محصول فصلی در اتلانتیک کانادا معرفی شد که ۱۸۰۰ GDD در چندین منطقه ماریتیم تا کمتر از ۸۰۰ برای شاخ شمالی نیوفاندلند انتخاب شد. با استفاده از رگرسیون خطی با سطوح احتمالاتی ۵، ۱۰ و ۲۵ درصد، میانگین درجه روزهای رشد کمتر از ۵ درجه سلسیوس برای تخمین GDD در یک دامنه احتمالاتی بکار گرفته شد (Gordon et al., 1993). برای محاسبه دمای پایه بر اساس چهار روش عمومی ۱- حداقل انحراف استاندارد در درجه روز رشد ۲- حداقل انحراف استاندارد در روزها ۳- ضریب رگرسیون ۴- ضریب تغییرات پرداخته اند، که مناسب ترین روش برای انتخاب دمای پایه در مراحل مختلف رشد بر اساس سه محصول لوبیای چشم بلبلی و استپی و ذرت شیرین محاسبه شد که در آن به جز روش اول بقیه روش ها در تعیین دمای پایه مناسب بودند(Yang et al., 1995). در بررسی ارتباط دمای پایه بر توسعه محصول گندم، به تعیین دمای پایه در مراحل فنولوژی ۸ رقم گندم زمستانی پرداخت و یک مدل فنولوژی دمای پایه را برای پیش بینی مدت زمان از نظر دمایی برای مراحل مختلف فنولوژی تعیین کرد که نتایج نشان داد دمای پایه هم به مراحل رشد و نمو و هم به نوع رقم وابسته است. در نهایت دمای پایه مناسب در درجه روزهای رشد برای محصول گندم را به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

دست آورد (Gutierrez et al., 2003). در بررسی مراحل برداشت ازگیل الجزایر با استفاده از ۵ روش محاسبه دمای پایه زانگ و همکاران (Zang et al., 1995) نشان دادند که روش دو سینوسی روش مناسب برای محاسبه تجمع گرمای روزانه و روش حداقل انحراف استاندارد در درجه روز رشد (GDD) و در روزها مناسب تر از بقیه روش‌ها می‌باشد. و در نهایت نتایج، پیش بینی دقیقی از تاریخ برداشت ۱۵۹ روزه را بعد از شکوفه زدن نشان می‌دهد(Hueso et al., 2007). دمای پایه در مراحل مختلف رشد فنولوژی ارقام گندم زمستانی برای سه دوره در جورجیا به مدت ۱۱ سال برای هر رقم محاسبه انجام شد. نتایج نشان داد دمای پایه و درجه روز رشد برای هر مرحله و هر رقم متفاوت است و برآورد دقیق برای محاسبه GDD به دست آوردند (Salazar et al., 2013). در بررسی تعیین دمای پایه چمن‌های حاره(ارزن) و تاثیرات آن در مدل‌های پایه درجه روزها در برزیل از ۵ رقم ارزن در ۴ بلوک تصادفی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ و اندازه گیری دوره نوری از سه تابستان و یک چرخه رشد زمستانی برای تعیین زمان حرارتی تا رسیدن به ۹۵ درصد جذب نوری استفاده شد که دمای پایه نیز بر اساس روش های : تکرار، ضریب b، ضریب حداقل تغییرات تجمعی درجه روزها، روش حداقل انحراف استاندارد در درجه روزها و در روزها در نظر گرفته شد. نتایج مناسب ترین روش را به ترتیب روش تکرار، ضریب حداقل تغییرات تجمعی درجه روزها و روش ضریب b نشان می‌دهند. و روش حداقل انحراف استاندارد در درجه روزها و در روزها در دماهای بالا مناسب اند (Moreno et al., 2014). با تعیین درجه روز رشد بر اساس داده‌های به دست آمده از سه رقم با ۸ تاریخ کشت در مزرعه آزمایشی و درنظر گرفتن دمای پایه صفر و نیز پهنه بندی منطقه در GIS در استان اصفهان، نتایج نشان داده که استفاده از تاریخ کاشت مناسب، درجه روز رشد لازم برای مراحل مختلف نمو در تمامی نقاط استان تامین می شود (Yasari et al., 2013). دمای پایه در بین سال ها و فصول مختلف سال متفاوت است که در این میان روش‌های آماری با حداقل انحراف معیار در درجه روزها و در روزها مناسب‌ترین روش برای محاسبه دمای پایه است(Arnold et al., 1995). از طرفی درجه روز رشد نیز دارای روش های محاسبه متفاوت است که در ادامه به آن‌ها اشاره می شود.

روش‌های محاسبه درجه روز را می توان به: سینوسی منفرد، سینوسی مضاعف، روش Hober، روش Cutoff و روش‌های دستی نام برد(Mirmohamadi et al., 2004). بین عملکرد دانه با درجه روز رشد تجمعی همبستگی وجود ندارد در حالی که عملکرد دانه با کارایی دمایی همبستگی معنی دار و مثبت دارد(نادری، ۱۳۹۲ :۱۱۵). رشد تابعی از مجموع دماهای روز رشد و بارندگی تجمعی در طول فصل رویش است. و اختلاف ارتفاع گیاه در تاریخ‌های مختلف و در سال‌های متفاوت از لحاظ آماری معنی دار است(Azimi et al., 2014). یک آزمایش در مرکز تحقیقات کشاورزی (ARC)، استان کالوبیا، مصر در فصل زمستان سال‌های ۲۰۱۱/۲۰۱۰ و ۲۰۱۲/۲۰۱۱ به منظور بررسی تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت، ارقام و درجه روزهای رشد (GDD) بر روی رشد رویشی، عملکرد و اجزای محصول سیر انجام گرفت. تاریخ کاشت در چهار زمان مختلف (۲۵ سپتامبر، ۱۰ اکتبر، ۲۵ اکتبر و ۱۰ نوامبر) و بر روی سه رقم (Balady، Sids وWhite super) انجام شد. رقم Balady حداقل میزان انباشت GDD را پس از ۱۸/۶۷روز پس از کاشت ایجاد کرد. رقم White super با تاریخ کاشت ۲۵ سپتامبر دارای ارتفاع GDD در حدود ۱۹۲۹ و ۱۳۴۵ واحد در دو فصل است. عملکرد و اجزای آن در کاشت اولیه افزایش یافته و در شرایط دیر هنگام کاشت، عملکرد و اجزای آن به طور معنی داری کاهش یافت. تاریخ کاشت در ۲۵ سپتامبر بالاترین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

عملکرد و GDD در مقایسه با سایر تاریخ کاشت‌ها در فصل‌های ۲۰۱۰-۱۱ و ۲۰۱۱-۱۲ به دست آمد. پایین‌ترین عملکرد و GDD با کاشت در ماه نوامبر در فصل اول و دوم مشاهده شد. رقم White super با افزایش GDD همراه بوده و سپس رقم SIDS بالاترین عملکرد را به دست آورد. در حالی که رقم Balady پایین‌ترین عملکرد و GDD کمتر در فصل اول و دوم حاصل گردید (El-Zohiri et al., 2014). بین درجه روز رشد تجمعی و عملکرد دانه ژنوتیپ گندم رابطه منفی وجود دارد (Ahmed et al., 2010). برای محاسبه درجه روز رشد می توان از دو روش ۱- اگر دمای متوسط روزانه کمتر از دمای پایه باشد، دمای میانگین را دمای پایه در نظر می‌گیریم، ۲- اگر دمای حداکثر و حداقل روزانه کمتر از دمای پایه باشد آن‌ها را برابر دمای پایه در نظر می‌گیریم. نتایج نشان داد هر دو روش برای محاسبه درجه روز می‌بایست در نظر گرفته شوند (McMaster et al., 1997). دو فرضیه ۱- رقم‌ها دماهای پایه متفاوت برای رشد و توسعه دارند و ۲- واکنش رشد متفاوت به دما در میان رقم‌ها وجود دارد از (Montieth,(1984 و (Porter and Gawith, 1999) استفاده شد که GDD و TT تجمعی برای به دست آوردن درجه روزهای فنولوژی از رقمی به رقم دیگر متفاوت است (Trudgill et al., 2005). با استفاده از ۶ روش تخمین درجه روزهای رشد برای محصول بادمجان در فصل تابستان در سه تاریخ کشت متفاوت بر اساس دمای حداقل و حداکثر روزانه پرداختند که نتایج نشان داد معادلات ۳ و ۵ (اگر دمای کمینه روزانه کمتر از دمای پایه باشد، دمای مورد نظر را دمای پایه انتخاب می‌کنیم و اگر دمای بیشینه بیشتر از ۳۰درجه سلسیوس باشد، دمای بیشینه را ۳۰ می‌گیریم) بالاترین همبستگی را در تعیین درجه روزهای رشد برای بادمجان دارند (Sadek et al., 2013). بنابراین با توجه به اهمیت دمای پایه در درجه روز رشد و در رشد گیاهان همچنان که یانگ[1] و همکاران (1995)، سیت[2] و همکاران (1999) و... به آن تاکید داشته‌اند، لزوم تعیین هرچه دقیقتر درجه روز رشد (GDD) بر کسی پوشیده نیست. هدف مطالعه حاضر، محاسبه دقیق درجه روز رشد با توجه به دمای پایه مخصوص به آن در هر مرحله رشد گندم پاییزه است که در آن برای هر مرحله رشد یک دمای پایه و یک درجه روز رشد آن مرحله به صورت جداگانه محاسبه خواهد شد. اهمیت تعیین دقیق درجه روز رشد به دلیل نیاز دمایی مخصوص هر محصول در مراحل مختلف رشد است که بین گونه‌ها و رقم‌های مختلف گیاهی متفاوت است. بررسی هرچه دقیق‌تر آن منجر به انتخاب گونه‌ها و رقم‌های مناسب با هر محل و به ویژه تاریخ مناسب کشت خواهد شد.

روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

ایستگاه سرارود در کیلومتر ۲۰ جاده کرمانشاه – همدان با ۱۶۷ هکتار مساحت قرار دارد که جزء مناطق نیمه خشک کشور محسوب می شود. موقعیت جغرافیایی آن در ۱۹ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۲۰ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین سالانه دما ۱۳٫۳ سانتی گراد است. میانگین میزان بارش سالانه ۴۳۷ میلی متر است. در سال ۱۳۶۵ این ایستگاه به منظور تحقیق و بررسی محصولات کشت شده منطقه تاسیس شد.

1 Yang
2 Sitte

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

داده و روش کار

از آن‌جا که قسمت اعظم تحقیقات و مطالعات موسسه تحقیقات غلات دیم سرارود مربوط به محصولات دیم می‌باشد لذا بررسی‌های این ایستگاه نیز بر این روال بوده و بر روی بعضی از محصولات ازدیادی کشت شده که توسط موسسه تحقیقات دیم کشت می‌گردد انجام می‌گیرد. دید بانی‌های جوی نیز هر روز از ساعت ۶/۵ صبح تا ۱۸/۵ عصر به تعداد ۵ مرتبه تهیه و در ساعت‌های مقرر به مرکز استان گزارش می‌شود. از سال ۱۳۶۷ مطالعه بر روی گندم دیم سفید آغاز و بعد از آن گندم دیم سرداری تا سال ۱۳۷۴ ادامه داشته، از سال ۱۳۷۵ به بعد با جمع آوری مجدد داده‌ها فعالیت مستمر و دقیق‌تری بر روی محصولات کشت شده که به صورت دیم و ازدیادی بوده انجام که نتایج حاصله به صورت گزارش های سه روزه، هفتگی، ده روزه، ماهیانه و فصلی انجام می‌شود.

در این پژوهش به منظور محاسبه درجه روزهای رشد (GDD) محصول گندم دیم، رقم آذر۲ در ایستگاه سرارود، ابتدا به محاسبه دمای پایه پرداخته شده که بر این اساس داده‌های عملکرد مربوط به دوره آماری ۲۰۰۹-۲۰۱۷ از ایستگاه مربوطه و همینطور داده‌های مربوط به متغیرهای کمینه، بیشینه و متوسط دما و تعداد روزهای مراحل مختلف رشد به صورت جداگانه مرتب شده است. در وهله اول، بعد از آزمون همگنی داده‌ها، با استفاده از ۴ روش عمومی محاسبه دمای پایه یانگ و همکاران (Yang et al., 1995)، معادلات آنها به صورت رابطه ۱ تا ۴ که در ادامه نشان داده شده است، هم در محیط Excel و هم در نرم افزار Matlab محاسبه شده و نتایج آن‌ها در جدول(۱) ارائه گردید. تاکنون روش دقیق تری برای محاسبه دمای پایه ارائه نگردیده است، و روش های فوق دقیق ترین روش های محاسبه دمای پایه شناخته شده اند. روابط :

۱- روش اول: حداقل انحراف استاندارد در درجه روزها (Standard Deviation of Growing Degree Days or SD_{gdd})،

رابطه(۱)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i d_i \sum_{i=1}^{n} d_i - n \sum_{i=1}^{n} d_i^2 T_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} d_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^{n} d_i^2}$$

که در آن T_i میانگین کلی دمای(مجموع میانگین دمای حداقل) کاشت مورد نظر، d_i تعداد روزهای کاشت مورد نظر تا رسیدن به مرحله رسیدن و n تعداد کاشت هاست.

۲- روش دوم حداقل انحراف استاندارد در روزها (Standard Deviation of Day or SD_{day})،

رابطه(۲)

$$x = T - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} t_i d_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^{n} t_i^2 d_i^2}{n \sum_{i=1}^{n} d_i^2 t_i - n \sum_{i=1}^{n} t_i d_i \sum_{i=1}^{n} d_i}$$

که در آن T میانگین کلی دمای همه کاشت ها، t_i از تفاضل میانگین کلی دما در همه کاشت ها بر دمای متوسط کاشت مورد نظر، d_i تعداد روزهای مورد نظر برای رسیدن به مرحله کاشت مورد نظر و n تعداد همه کاشت هاست.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

۳- روش سوم ضریب رگرسیون در روزها (CR_{day} The Regression Coefficient in Days or)،

رابطه(۳)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i \sum_{i=1}^{n} d_i T_i - n \sum_{i=1}^{n} d_i T_i^2}{\sum_{i=1}^{n} d_i \sum_{i=1}^{n} T_i - n \sum_{i=1}^{n} d_i T_i}$$

که در آن T_i میانگین کلی دمای کاشت مورد نظر، d_i تعداد روزهای کاشت مورد نظر تا رسیدن به مرحله رسیدن است.

۴- روش چهارم ضریب تغییرات (Coefficient of Variation or CV)،

رابطه(۴)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i d_i^2 \sum_{i=1}^{n} T_i d_i - \sum_{i=1}^{n} d_i \sum_{i=1}^{n} T_i^2 d_i^2}{\sum_{i=1}^{n} d_i^2 \sum_{i=1}^{n} T_i d_i - \sum_{i=1}^{n} d_i \sum_{i=1}^{n} T_i d_i^2}$$

که در آن T_i میانگین کلی دمای کاشت مورد نظر، d_i تعداد روزهای کاشت مورد نظر تا رسیدن به مرحله رسیدن و n تعداد همه کاشت هاست.

در ادامه درجه روز رشد (GDD) برای مراحل مختلف رشد با استفاده از نتایج محاسبه دمای پایه پرداخته شد. پس از به دست آوردن مقدار دمای پایه برای هریک از مراحل رشد گندم دیم، با استفاده از روش‌های مختلف محاسبه درجه روزهای رشد(سینوسی ساده، دو سینوسی، مثلث ساده، دو مثلثی) در سه حالت عمودی، افقی و متوسط که به آن‌ها روش‌های آستانه‌ای نیز می‌گویند و همچنین روش عمومی محاسبه درجه روز رشد ($GDD= [T_{max} + T_{min}/2]-T_{base}$)، که در آن T_{max} بیشینه دما و T_{min} کمینه دما و T_{base} دمایه پایه است) درجه روزهای رشد با شروط، اگر دمای کمینه روزانه کمتر از دمای پایه باشد، دمای مورد نظر را دمای پایه انتخاب می‌کنیم ($T_{min} < T_{base} \rightarrow T_{min} = T_{base}$) و اگر دمای بیشینه بیشتر از ۳۰درجه سلسیوس باشد، دمای بیشینه را ۳۰ می‌گیریم و باز اگر دمای بیشینه بیشتر از ۳۲ درجه باشد، دمای بیشینه را از فرمول $32-(2*(T_{max}-32)$ محاسبه می‌کنیم (Sadek et al., 2013). در اکثر مطالعات برای محاسبه درجه روز رشد محاسبه دقیقی انجام نمی‌شود و یا تنها با محاسبات ساده و کلی برای کل دوره رشد، دست به محاسبه درجه روز رشد می‌زنند، ما نه تنها روش‌های مختلف درجه روز رشد را محاسبه و مقایسه می‌کنیم بلکه این محاسبات را در مراحل مختلف رشد انجام می‌دهیم تا به یک نتیجه دقیق برسیم.

نتایج

تاکنون روش‌های زیادی برای ارزیابی اثر دما بر میزان نمو گیاهان به کار رفته است. از میان این روش‌ها روش مجموع دمای موثر یا زمان حرارتی (Thermal Time) یا درجه روز رشد (Growing Degree Day, GDD) از همه معروف‌تر است (Robertson, 1983). از آن‌جا که دمای پایه یکی از اجزای مورد نیاز محاسبه درجه روز رشد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

است، برای به دست آوردن درجه روز رشد، اکثر محققان ایرانی کمترین اهمیت را به آن داده و یا یک رقم کلی برای آن در نظر می‌گیرند و آن را به کل دوره رشد تعمیم می‌دهند اما ما با استفاده از چهار فرمول محاسباتی دمای پایه، حداقل انحراف استاندارد در SD_{gdd}، حداقل انحراف استاندارد در روزها SD_{day}، ضریب رگرسیون در روزها CR_{day} و ضریب تغییرات CV در مراحل مختلف گندم پاییزی(۱۰ مرحله مختلف رشد) بررسی شد زانگ و همکاران (Zang et al. 1995) که با این فرمول های ریاضی یک دمای پایه دقیق به راحتی و بدون محاسبات پیچیده به دست میاید، این فرمول ها برای هر محصول و هر مرحله رشد محصول می‌تواند استفاده شود.

جدول(۱) نتایج محاسبه دمای پایه را برای ۱۰ مرحله رشد محصول گندم پاییزی به شکل ستونی شامل: ۱- جوانه زنی ۲- سبز کردن ۳- سه برگی ۴- پنجه زنی ۵- ساقه رفتن ۶- خوشه رفتن ۷- گل دادن ۸- شیری شدن ۹ – مومی شدن ۱۰- رسیدن کامل می باشد. همان‌طور که در جدول(۱) نشان داده شده مقادیر متفاوتی از دمای پایه به ویژه در هر مرحله رشد حاصل شده که نشان دهنده متغیر بودن دمای پایه است، برخلاف نظر بیشتر محققان که دمای پایه را برای کل طول دوره رشد یک عدد ثابت درنظر می‌گیرند(Gordon et al., 1993; Zeinali and Soltani, 2010) و گاهاً زیرصفر،(Khaliliaqdam et al., 2014) در نظر می‌گیرند و بر اساس آن به محاسبه درجه روز رشد می‌پردازند. با توجه به متفاوت بودن دمای پایه در مراحل مختلف (Del Pozo et al., 1986)، نتایج مطالعات آنان زیر سوال رفته و صحت نتایج کارشان کاهش می‌یابد. از طرفی علت نوسانات دمای پایه علاوه بر متغیر بودن در مراحل مختلف رشد در مناطق مختلف (Arnold et al., 1995) نیز متفاوت است چرا که در این ایستگاه که جزء مناطق نیمه خشک ایران محسوب می‌شود دمای پایه متغیر است که ممکن است در مناطق دیگر به ویژه مناطق گرمسیر با مقادیر دمای پایه بالاتری مواجه شویم. به طور مثال در تحقیق تقوایی و همکاران (Taghvaei et al., 2015)، دمای پایه را برای ماشک در منطقه فارس حدود ۲۰ درجه به دست آوردند. بنابراین می بایست برای هر منطقه به طور جداگانه محاسبات دمای پایه انجام شود. در ایستگاه سرارود دمای پایه در هر مرحله با مقادیر متفاوت محاسبه شده که مناسب ترین روش برای محاسبه دمای پایه گندم پاییزی داراب، بر اساس روش‌های یانگ (Zang et al. 1995)، و نتایجی که از مطالعات Arnold et al (1995) , Hoeso et al (2007) به دست آمده است، روش حداقل انحراف استاندارد در درجه روزها SD_{gdd} و حداقل انحراف استاندارد در روزها SD_{gdd} مناسب ترین روش و روش سوم و چهارم به دلیل مقادیر نامتعارف حاصل شده به ویژه مقادیر منفی زیاد (برای مثال: ۲۲- در مرحله سه برگی در روش سوم و ۷- در مرحله گل دهی در روش چهارم) نشان دهنده عدم کارایی روش فوق بوده است. زیرا چنین دماهایی در مراحل رشد اتفاق نیافتاده و نتایج می‌بایست با دمای واقعی هر مرحله مطابقت داشته باشند. بنابراین این روش‌ها از کارایی لازم برای منطقه سرارود برخوردار نیستند. همچنین از آن‌جا که دمای پایه را حداقل دمای رشد تعریف می‌کنند (Yang et al., 1995) یعنی دمایی که رشد از آن آغاز می‌شود، نتایج روش‌های اول و دوم صحیح می‌باشند. زیرا نتایج حاصل از آن‌ها با دماهای واقعی در هر مرحله بیشترین مطابقت را دارد و از آن‌جا که کمترین دما در زمستان اتفاق می‌افتد، کمترین دمای پایه نیز در این زمان حاصل شده است (برای مثال کمترین دمای پایه در روش اول و دوم در مرحله پنجه زنی به ترتیب ۲/۸- و ۲/۲- حاصل شده است) و با افزایش دما در طول بهار و تابستان مقادیر دمای پایه نیز افزایش می‌یابد (که بالاترین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

دمای پایه در مرحله رسیدن کامل در روش اول و دوم به ترتیب ۱۱ و ۱۱/۴ به دست آمده است). بنابراین برای صحیح بودن نتایج می‌بایست دمای پایه با دمای واقعی محل مطابقت داشته باشد که روش اول بیشترین مطابقت را دارا است. علت نوسانات در دمای پایه طبق فرمول محاسبه آن، به نظر می‌رسد به تعداد روزهای رشد و کمینه دما بر می‌گردد. زیرا ارکان اصلی محاسبه دمای پایه را تشکیل می‌دهند. به طور مثال در دوره جوانه زنی کمینه دما ۴/۶ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده در حالی که در مرحله سبز شدن دما به ۲,۵درجه، اما در طول ۱۱ روز ثبت شده که باعث شده که مقدار دمای پایه از ۵/۸ درجه در مرحله جوانه زنی به ۰/۳۸ درجه در مرحله سبز شدن برسد. همچنین نوسان شدید در مرحله پنجه دهی که با دمای متوسط ۴/۶ درجه در طول ۸۲ روز اتفاق افتاده است، چنین به نظر می رسد که تعداد روزهای رشد بیشترین تاثیر را در محاسبه دمای پایه دارند. اما از طرفی دامنه نوسانات دمای کمینه در طول سال‌ها نیز می تواند از دلایل نوسانات دمای پایه در مراحل مختلف به ویژه در طول یک فصل باشد که ممکن است نتایج محاسبه را دستخوش تغییراتی کنند.

در ادامه درجه روز رشد (GDD) برای مراحل مختلف رشد با استفاده از نتایج محاسبه دمای پایه (روش اول) حاصل شد. پس از به دست آوردن مقدار دمای پایه برای هریک از مراحل رشد گندم دیم، با استفاده از روش های مختلف محاسبه درجه روزهای رشد(سینوسی ساده، دو سینوسی، مثلث ساده، دو مثلثی) در سه حالت عمودی، افقی و متوسط که به آنها روش های آستانه ای نیز می گویند درجه روزهای رشد محاسبه شد. بر این اساس برای هر مرحله از روز رشد محصول گندم دیم در ایستگاه سرارود درجه روز رشد محاسبه شد که روش های سینوسی ساده و مثلث ساده در سه حالت افقی، عمودی و متوسط و روش های دو سینوسی و مثلث دوگانه نیز در سه حالت افقی، عمودی و متوسط نتایج یکسانی حاصل شد جدول(۳). سپس با استفاده از روش عمومی محاسبه درجه روز رشدرابطه(۵):

رابطه(۵)

$$GDD= [T_{max} + T_{min}/2]-T_{base}$$

که در آن T max بیشینه دما و T min کمینه دما و T base دمای پایه است، به دست آمد. همچنین درجه روزهای رشد با شروط:

۱- اگر دمای کمینه روزانه کمتر از دمای پایه باشد، دمای مورد نظر را دمای پایه انتخاب می کنیم (T min <T base → T min= T base)

۲- و اگر دمای بیشینه بیشتر از ۳۰ درجه سلسیوس باشد، دمای بیشینه را ۳۰ می گیریم

۳- و باز اگر دمای بیشینه بیشتر از ۳۲ درجه باشد، دمای بیشینه را از فرمول : ۳۲-(۲*(T max -۳۲) درجه روز رشد محاسبه شد (Sadek et al.,۲۰۱۳).

در بسیاری از مطالعات شروط معادله را به عنوان روش های جداگانه مورد مطالعه قرار می‌دهند درحالی که در این مطالعه تمام شروط را در معادله لحاظ کرده‌ایم تا به جواب دقیق‌تر برسیم. درجه روز رشد (GDD) برای مراحل مختلف رشد با استفاده از نتایج محاسبه دمای پایه (روش۱) محاسبه شد که از بین روش‌های مختلف محاسبه GDD روش سادک و همکاران (Sadek et al., 2013) به دلیل عمومیت و کامل‌تر بودن معادله مورد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

استفاده قرار گرفت که نتایج آن در جدول(۲) نشان داده شده است. کمترین GDD در مرحله جوانه زنی (۵۷/۹ در روش اول و ۶۴/۲ در روش دوم) و بالاترین آن در مرحله پنجه زنی (۶۹۳/۴ در روش اول و ۵۰۱/۵ در روش دوم) مشاهده می شود. با توجه به نحوه محاسبات GDD نتایج روش اول (حداقل انحراف استاندارد در درجه روزها SD_{gdd}) در محاسبه دمای پایه، به دلیل استفاده کمتر از شروط معادله که باعث می شد دماهای واقعی دستخوش شرط ها شده و حالت غیر واقعی به خود بگیرند و از طرفی چون دمای پایه را حداقل دمایی که رشد از آن آغاز می شود تعریف می کنند (Yang et al., 1995)، روش اول مناسب تر و دقیق تر از روش دوم می باشد. در نهایت درجه روز رشد تجمعی گندم زمستانی منطقه سرارود کرمانشاه با روش اول، برابر ۲۱۵۱,۷ حاصل شد. داده های به دست آمده را با داده های ایستگاه مقایسه نموده ایم که بیشترین تطابق بین روش عمومی محاسبه GDD و داده های ایستگاه وجود دارد.

از نظر نحوه محاسبات دمای پایه و به ویژه تایید روش حداقل انحراف استاندارد در درجه روزها SD_{gdd} بعنوان مناسب ترین روش با یافته هایی یانگ، هسو[1] (۲۰۰۷)، مرنو[2] (۲۰۰۴)و آرنلد[3] (۱۹۹۵) بیشترین مطابقت و در محاسبه عمومی درجه روز رشد با مطالعات سادک[4](۲۰۱۳)، هسو، سالرز[5](۲۰۱۳) و مستر[6] (۱۹۹۷) بیشترین مطابقت را دارد با این تفاوت که آنها دمای پایه ثابتی را برای کل دوره فصل رشد یا برای فصل خاصی همانطور که ذکر شد، در نظر گرفته اند اما در مطالعه حاضر دمای پایه و درجه روز رشد هر مرحله رشد جداگانه محاسبه و نتایج آن‌ها در جداول(۱، ۲ و ۳) نشان داده شده‌اند. محاسبه دقیق GDD به ویژه در هر مرحله رشد به ویژه در مراحل مختلف رشد از مهمترین مزیت‌های این مطالعه بوده که می‌تواند به عنوان مطالعه پایه برای تحقیقات دیگر مورد استفاده قرار گیرد. همچنین به مقایسه روش‌های مختلف محاسبه GDD پرداختیم که مناسب‌ترین روش، روش عمومی محاسبه درجه روز رشد به دلیل تایید اکثر محققین و بیشترین مطابقت با داده‌های ایستگاهی شناخته شد. تاکنون در کشور ما چنین کاری صورت نگرفته است. زیرا در اکثر مطالعات پژوهشی داخلی اغلب کمترین اهمیت را به مقادیر دمای پایه داده یا مقدار ثابتی را برای آن در نظر می‌گیرند که گاها نتایج کار آن‌ها را با ابهاماتی همراه ساخته است. بنابراین محاسبه دقیق دمای پایه به نتایج قابل قبول و دقیقتر درجه روز رشد می انجامد که صحت نتایج مطالعات را بالا می‌برد.

نتیجه گیری

در بیشتر تحقیقات کشاورزی مقدار GDD که خود تابعی از دماست یکی از پارامترهای مهم محسوب می‌شود که دقیق بودن آن کمک زیادی در صحت نتایج دارد (Arnold et al, 1995,Yang et al, 1995). از آن‌جا که GDD عامل مهمی در رشد محصول است، محاسبه دقیق GDD باعث مدیریت درست محصولات از جمله انتخاب رقم مناسب، زمان مناسب کشت و... در هر منطقه و در مراحل مختلف رشد خواهد شد. از این رو محققان می‌بایست

[1] Hueso
[2] Moreno
[3] Arnold
[4] Sadek
[5] Salazar
[6] McMaster

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

توجه ویژه‌ای به مقادیر دقیق محاسبات دمای پایه و درنتیجه محاسبه GDD داشته باشند. هدف اصلی این مطالعه محاسبه دقیق درجه روز رشد در محصول گندم دیم بود که برای محاسبه هرچه دقیق-تر آن ابتدا از فرمول کلی محاسبه درجه روز رشد استفاده شد که مهمترین پارامتر آن دمای پایه است، ما در این مطالعه ابتدا دمای پایه را نه تنها در سال‌های مختلف بلکه در طول دوره‌های رشد در مراحل مختلف به دست آوردیم و به یک برآورد دقیق از دمای پایه دست یافتیم. برخلاف نظر بیشتر محققان که دمای پایه را برای کل طول دوره رشد یک عدد ثابت درنظر می‌گیرند (Gordon et al., 1993; Yasari et al., 2013). در اکثر مطالعات به ویژه برای گندم مقدار دمای پایه را کمتر از ۶ (Zeinali and Soltani, 2010) و گاها زیرصفر، (Khaliliaqdam et al., 2014) برای کل دوره‌های رشد در نظر می‌گیرند و بر اساس آن به محاسبه درجه روز رشد می‌پردازند که صحت نتایج شان کاهش می‌یابد. سپس با استفاده از روش‌های مختلف محاسبه درجه روزهای رشد(سینوسی ساده، دو سینوسی، مثلث ساده، دو مثلثی) در سه حالت عمودی، افقی و متوسط که به آن‌ها روش‌های آستانه‌ای نیز می‌گویند درجه روزهای رشد محاسبه شد. با مقایسه روش‌های مختلف محاسبه GDD، مناسب‌ترین روش، روش عمومی محاسبه درجه روز رشد به دلیل بیشترین مطابقت با داده‌های ایستگاهی شناخته شد. بر اساس فرمول عمومی محاسبه درجه روز رشد و ادغام روش های مختلف آن در غالب یک روش محاسبه(با عنوان شروط معادله)، درجه روز رشد برای تک تک مراحل مختلف رشد (۱۰ مرحله رشد گندم) محاسبه شد که نتیجه آن برآورد دقیق درجه روز رشد بود. این در حالی است که در کشور ما تا کنون چنین کاری صورت نگرفته و اغلب کمترین اهمیت را به محاسبه دقیق درجه روز رشد می‌دهند. مهمترین نوآوری این تحقیق محاسبه درجه روز رشد به ویژه در مراحل مختلف رشد بر اساس دمای پایه محاسبه شده دقیق است که نتایج آن در جداول(۱، ۲ و ۳) نشان داده شده است.

جدول (۱). نتایج محاسبه دمای پایه در مراحل مختلف رشد محصول گندم

مراحل رشد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
روش۱ SD_{gdd}	۵،۸	۰،۳۸	۱	-۲،۸	۰،۵۶	۲،۳	۷،۳	۷،۹	۶،۸	۱۱
روش۲ SD_{day}	۵	۲،۹	۰،۳	-۰،۵	۵،۵	۷،۷	۹،۳	۹،۸	۱۱	۱۳،۶
روش۳ CR_{day}	-۲۶	۰،۲۹	-۲۲	-۱،۶	۴،۶	-۲،۵	۷،۴	۹،۸	۱۲،۴	۱۸
روش۴ CV	-۰	-۰	۰	-۰	-۲،۳	-۵،۵	-۷،۲	۸	۱،۸	۳،۲

جدول (۲). نتایج محاسبه GDD در مراحل مختلف رشد محصول گندم پاییزی

مراحل رشد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	جمع کل
روش۱ SD_{gdd}	۵۷،۹	۱۱۴،۴	۱۳۰،۵	۶۹۳،۴	۴۴۴،۴	۱۳۱،۴	۹۶،۲	۱۳۱	۱۴۳،۷	۲۰۸،۷	۲۱۵۱
روش۲ SD_{day}	۶۴،۲	۷۶،۲	۱۴۳،۸	۵۰۱،۵	۲۷۷	۸۳،۸	۸۰	۱۱۱،۲	۱۰۱،۵	۲۰۰،۸	۱۵۴۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

جدول(۳). نتایج محاسبه GDD رقم آذر۲ ایستگاه سرارود

ایستگاه	روش عمومی	مثلث دوگانه	مثلث ساده	دو سینوسی	سینوسی ساده	مراحل فنولوژی
۱۰۰	۵۷/۹	۹۱	۸۹/۶	۹۱	۸۹/۶	جوانه زنی
۶۰	۱۱۴/۴	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵	سبز شدن
۱۶۸	۱۳۰/۵	۲۷۱	۲۷۶/۷	۲۷۱	۲۷۶/۷	سه برگی
۵۰۰	۶۷۱/۵	۶۰۳/۸	۶۴۷	۶۰۳/۸	۶۴۷	پنجه زنی
۴۴۱	۴۴۴/۴	۳۹۷/۷	۳۸۹/۸	۳۹۷/۷	۳۸۹/۸	ساقه دهی
۱۱۹	۱۳۱/۴	۱۱۰/۵	۱۰۹/۸	۱۱۰/۵	۱۰۹/۸	خوشه دهی
۱۱۰	۹۶/۲	۱۲۷	۱۲۵/۱	۱۲۷	۱۲۵/۱	گل دهی
۱۳۰	۱۳۱	۱۲۹/۴	۱۲۹/۵	۱۲۹/۴	۱۲۹/۵	شیری شدن
۱۴۳	۱۴۳/۷	۱۲۶/۳	۱۲۳/۷	۱۲۶/۳	۱۲۳/۷	مومی شدن
۳۹۸	۲۰۸/۷	۲۴۷	۴۴۴/۴	۲۴۷	۴۴۴/۴	رسیدن کامل
۲۱۶۹	**۲۱۵۱/۴**	**۲۲۳۰/۷**	**۲۲۶۱**	**۲۲۳۰/۷**	**۲۲۶۱**	مجموع

منابع

نادری، احمد؛ (۱۳۹۲). **کارایی واحدهای دمایی و درجه –روز رشد تجمعی مراحل مختلف فنولوژیکی و روابط آن‌ها با عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم**. فصل نامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد واحد اهواز، ۵ (۷)، ۱۱۵-۱۲۷.

یاراحمدی، م؛ (۱۳۹۰). **پهنه بندی کشت زیتون در استان لرستان با درمان‌های آماری**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد.

Ahmed, M., Hassan, F., Asim, M., Aqeel Aslam, M. and Nasib, M**. 2010. Correlatin of photothermal quotient with spring wheat yield. Afic.** Journal of Biotech **9(49)**: 7869-7852.

Arnold, C.Y. 1959. **The development and significance of the base temperature in a linear heat unit system**. Proc Am Soc. Hortic. Sci. 74, 430-445.

Aufammer, W. 1998. **Getreide- und andere Körnerfruchtarten: Bedeutung, Nutzung und Anbau.** Eugen Ulmer, Stuttgart, 560 pp. (in German)

Azimi, M., Akbarzadeh, M., Farahpour, M., Sanadgol, A.A., Ghasriani, F., and Jafari, F. 2010**. Research project final report, Predicting phenological stage and species plant growth with growth degree date (GDD) and soil moisture in Tehran, Qum and markazi provinces.** Research Institute of Forests and Lange lands. 78p. (In Persian).

Azimi, M., zarekia, S., bakhshandeh, M. and mirhaji, S. 2014. **The effect of growing degree days and soil moisture on phenology of the species(Salsola laricina (Pall)) In arid areas.** Journal of Range Management. **1(1):** 63-76. (in persian)**.**

Del Pozo, A.H., Garcia-Huidobro, J., Novoa, R. and Villaseca, S. **1987. Relationship of base temperature to development of spring wheat**. 23, 21–30. Retrieved on: 18 December 2015. http://www.researchgate.net/publication/231878294.

El-Zohiri, S.S.M. and Farag, A.A. 2014**. Relation Planting Date, Cultivars and Growing Degree-Days on Growth, Yield and Quality of Garlic.** Middle East Journal of Agriculture Research **3(4):** 1169-1183.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

Foundation Housing fars. 2016. **Public Relations Foundation Housing,** from http://fars.bonyadmaskan.ir/Pages/darab.aspx.

Gordon, R. and Bootsma, A. 1993**. Analyses of growing degree-days for agriculture in Atlantic Canada**. Climate research 3:169-176.

Gutierrez Salazar, M.R., Johnson, j., Chaves-Cordoba, B. and Hoogenboom G. 2003. **Relationship of base temperature to development of winter wheat.** International Journal of Plant Production **7(4):** 741-762.

Hueso, J., Pérez, M., Alonso, F. and Cuevas, J. 2007. **Harvest prediction in 'Algerie' loquat.** Int J Biometeorology 51:449–455.

Khaliliaqdam, n. and Jalilian, J. 2015. **Estimation of germination cardinal temperature in cold and tropical Vetch. Estimation of germination**. Iranian Journal of Seed Science and Research **2(1):** 37-43. (in parsian).

McMaster, G.S. and Wilhelm, w.w. 1997. **Growing degree-days: one equation, two interpretations.** Agricultural and Forest Meteorology 87: 291-300. Received 24 January 1997. http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/83

Mirmohamadi, M., syedali, M. and torkeshasfahani, S. 2004**. management and cold and freezing Stresses of Farming and gardening plants.** Press (SID), Isfahan industrial units. (in persian).

Montieth, J.L. 1984**. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science.** Exp. Agric. 20: 117-125.

Moreno, S.B., Pedreira, C.G., Boote, K.J. and Alves, R. 2014**. Base temperature determination of tropical Panicum spp. grasses and its effects on degree day based models.** Agricultural and Forest Meteorology 186: 26– 33. Retrieved on: 18 December 2015, http://www.elsevier.com/authorsrights.

Parthasarathi, T., Velu, G. and Jeyakumar, P. 2013. **Impact of Crop Heat Units on Growth and Developmental Physiology of Future Crop Production: A Review.** A Journal of Crop Science and Technology Volume 2, Issue 1, ISSN: 2319–3395. Retrieved on: 12 April 2016. https://www.researchgate.net/publication/254862120.

Porter, J.R. and Gawith, M, 1999.**Temperatures and the growth and development of wheat: review.** Eur. J. Agron. **10 (1):** 23-36.

Robertson, G. W. 1983. **Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crop**. Technical Note No. 180.

Ruiz, N., Castillo and Carlos F. 2016**. Projecting Future Change in Growing Degree Days for Winter Wheat.** Agriculture, 6, 47

Sadek, I.I., Mostafa D.M. and Yousry, M.M. 2013. **Appropriate Six Equations to Estimate Reliable Growing Degree-Days for Eggplant.** American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci **13(9)**: 1187-1194.

Salazar, R., Johnson, J., Chaves, B. and Hoogenboom, G. 2013**. Relationship of base temperature to development of winter wheat**. International Journal of Plant Production 7(4): 741-762.

Sikder, S. 2009**.Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition**. J. Agric. Rural. Dev. 7 (1&2), 57-64.

Sitte, P., Ziegler, H., Ehrendorfer, F. and Bresinsky, A. 1999. **Lehrbuch der Botanik, 34. Aufl**. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1007 pp. (in German)

Tack, J., Barkleyb, A. and Lanier L. 2016**. Effect of warming temperatures on US wheat yields.** University of Maryland, College Park, MD, 112(22): 6931–6936.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]

Taghvaei, M., Sadeghi, H. and KHaef, N. 2015. **Cardinal temperatures for germination of the medicinal and desert plant, Calotropis procera**. Planta Daninha, Viçosa-MG, 33(4): 671-678.

Yang, S., Logan, J. and Coffey, D. L. 1994. **Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days.** Agric. For. Meteorol 74: 61-74.

Yasari, T. and shahsavari, M. 2013. **GDD values Zoning of spring safflowers developmental stages in Isfahan province.** Journal of Production and Processing of products of Farming and gardening**. 3(8) :** 61-70. (in persian).

Zeinati, E. and Soltani, A. 2001. **Determination cardinal temperature in wheat.** Electronic Journal of Crop Production **3(3)** 23-42.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.17]