Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Evaluation the effects of different sources of nitrogen on agro-meteorological indices and sources use efficiency in potato

Abdulsattar Darabi[*1], Mohammad Reza Rafie[2], Shahram Omidvari[3]

1. Corresponding Author, Associate Prof., Seed and Plant Research Improvement Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran. E-mail: darabi6872@yahoo.com
2. Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Khouzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center AREEO, Ahwaz, Iran. E-mail: rafie1670@yahoo.com
3. Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran. E-mail: shomid1350@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.12.2024
Revised: 03.15.2024
Accepted: 04.15.2024

Keywords:
Growing degree days,
Helio thermal,
Nitrogen,
Tuber bulking,
Vermicompost

ABSTRACT

Background and Objectives: Growing degree days (GDD) and helio thermal units (HTU) are the temperature based agro-meteorological indices that play important role in predicting crop growth and yield. The efficiency of conversion of heat and radiation energy to dry matter depends on genetics factors, planting date and crop. Heat summation units (HSU), that mainly called growing degree days, and its derivations such as helio thermal units, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency are the most necessary to determine phenological stages and the suitable planting dates for cultivars of different crops. This experiment was undertaken to define the effects of different sources of nitrogen on agro-meteorological indices in phonological stages and sources use efficiency in two potato cultivars (Sante and Savalan).

Materials and Methods: This study was conducted in a factorial arrangement as two factors in a randomized complete block design with three replications at Behbahan Agriculture Research Stations. Factor (A) was nitrogen sources: nitrogen fertilizer lack, plots that received 50% nitrogen from mineral fertilizer Plus 50% nitrogen from vermicompost (50% M+50%V), plots that received 75% nitrogen from mineral fertilizer Plus 25% nitrogen from vermicompost (75% M+25%V), and plots that obtained 100% nitrogen from mineral fertilizer (100% M). Factor (B) was potato cultivars (Sante and Savalan). Sprouted seed tubers were planted at early January. One week before harvesting haulms were defoliated and tubers harvested at mid -May. Growing degree days, helio thermal untis were calculated in all phonological stages, and after harvesting thermal use efficiency and helio thermal unit use efficiency determined. Data were statistically analyzed by SPSS software. Significant differences among treatments means were determined at $P \leq 0.05$ by Duncan's multiple test range.

Results: The duration, growing degree days and helio thermal units of sprout development stage were significantly lower in Savalan than Sante cultivar. The effects of different sources of nitrogen on duration, growing degree days and helio thermal units in sprout development stage were not significant. The duration of vegetative stage was 15 days in all studied treatmrnts. Early exposure of plants to favorable climatic conditions for

tuber initiation, short day and cool night temperature, caused the duration of vegetative growth, growing degree days and helio thermal units were low in this phonological stage. Due to high temperature at late April and early May growing degree days and helio thermal units in tuber bulking stage were considerable higher than previous stages. Maturation was not observed in this research. Yield, thermal use efficiency, helio thermal units use efficiency and nitrogen use efficiency were significant higher in Savalan cultivar as compared with Sante. Application of vermicompost in 50% M+%50V and 75% M+25%V lead to increase yield, thermal use efficiency, helio thermal units use efficiency and nitrogen use efficiency in these treatments in comparison with application of only mineral fertilizer (100% M).

Conclusion: 75% M+25%V treatment is recommended for cultivation of Savalan and Sante cultivars.

Cite this article: Darabi, Abdulsattar, Rafie, Mohammad Reza, Omidvari, Shahram. 2025. Evaluation the effects of different sources of nitrogen on agro-meteorological indices and sources use efficiency in potato. *Journal of Plant Production Research*, 31 (4), 159-176.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2024.22186.3120
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی اثرات منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های زراعی– اقلیمی، عملکرد و کارایی مصرف منابع در سیب‌زمینی

عبدالستار دارابی*[۱]، محمدرضا رفیع[۲]، شهرام امیدواری[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: darabi6872@yahoo.com

۲. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: rafie1670@yahoo.com

۳. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: shomid1350@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

واژه‌های کلیدی:
حجیم شدن غده،
درجه روز رشد،
نیتروژن،
ورمی‌کمپوست،
هلیوترمال

چکیده

سابقه و هدف: شاخص‌های اقلیمی که پایه حرارتی دارند همانند درجه روز رشد و واحد هلیوترمال ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات می‌باشند. کارایی تبدیل گرما و نور به ماده خشک به فاکتورهای ژنتیکی، تاریخ کاشت و نوع محصول بستگی دارد. بنابراین دانش محاسبه واحد تجمع حرارتی که در بیش‌تر منابع از آن به عنوان درجه روز رشد یاد شده است و هم‌چنین سایر مشتقات ریاضی آن مانند واحد هلیو ترمال و کارایی مصرف دما و نور، پیش‌نیاز درک مراحل فنولوژی و تاریخ کاشت مناسب برای ارقام مختلف محصولات زراعی می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی اثر منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های زراعی – اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی و کارایی مصرف منابع در دو رقم سیب‌زمینی سانته و ساوالان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از منابع مختلف کود نیتروژن در چهار سطح: ۱- عدم مصرف نیتروژن ۲- تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد از طریق کود شیمیایی اوره ۳- تامین ۲۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد از طریق کود شیمیایی اوره ٤- تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق کود شیمیایی اوره و رقم در دو سطح: سانته و ساوالان. کاشت غده‌های بذری جوانه‌دار دراواسط دی‌ماه

صورت گرفت. یک هفته قبل از برداشت اندام‌های هوایی قطع و غده‌ها در اواخر اردیبهشت‌ماه برداشت شدند. شاخص‌های زراعی – اقلیمی، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در چهار مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای، غده‌زایی وحجیم شدن غده‌ها محاسبه شدند. صفات اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل گردید و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

یافته‌ها: مدت زمان مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در رقم ساوالان در مقایسه با رقم سانته به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود. منابع مختلف نیتروژن اثر معنی‌داری بر فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها و در نتیجه مقدار درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در این مرحله فنولوزیکی نداشت. مدت زمان رشد سبزینه‌ای در همه تیمارهای مطالعه شده ۱۵ روز بود. قرار گرفتن زودهنگام گیاهان در شرایط مناسب برای غده‌زایی، روزهای کوتاه و شب‌های خنک، سبب گردید که مدت زمان و درحه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در این مرحله پایین باشد. به‌علت افزایش دما در اردیبهشت‌ماه مقدار درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله حجیم شدن غده به‌طور قابل‌توجهی نسبت به مراحل قبل بیش‌تر بود. در این پژوهش مرحله بلوغ مشاهده نشد. عملکرد، کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال و کارایی مصرف نیتروژن در رقم ساوالان به‌طور معنی‌داری از رقم سانته بیش‌تر بود. استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان منبع تامین‌کننده بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه در هر دو تیمار حاوی این ماده آلی، سبب افزایش عملکرد، کارایی مصرف دما و کارایی مصرف واحد هلیوترمال و کارایی مصرف نیتروژن در این دو تیمار در مقایسه با تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره گردید.

نتیجه‌گیری: برای هر دو رقم سانته و ساوالان تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست توصیه می‌شود.

استناد: دارابی، عبدالستار، رفیع، محمدرضا، امیدواری، شهرام (۱۴۰۳). بررسی اثرات منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های زراعی- اقلیمی، عملکرد و کارایی مصرف منابع در سیب‌زمینی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۱ (۴)، ۱۷۶-۱۵۹.
DOI: 10.22069/JOPP.2024.22186.3120

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

شاخص‌های اقلیمی که پایه حرارتی دارند همانند درجه روز رشد[1] و واحد هلیوترمال[2] ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات می‌باشند (۱). اساس درجه روز رشد بر این مبنا استوار است که زمان واقعی هر مرحله فنولوژیکی به‌طور خطی با محدوده درجه حرارت بین درجه حرارت پایه و درجه حرارت بهینه مرتبط می‌باشد. در همین راستا در چندین پژوهش تأثیر دما بر فنولوژی و عملکرد محصولات زراعی مانند ذرت، گندم، برنج، پیاز و سیب‌زمینی از طریق شاخص‌های حرارتی گزارش شده است (۲، ۳، ٤، ٥، ٦). کارایی مصرف دما و نور در تجمع ماده خشک و عملکرد کاربرد عملی دارند. کارایی تبدیل گرما و نور به ماده خشک به عوامل ژنتیکی، تاریخ کاشت و نوع محصول بستگی دارد (۷). بنابراین آگاهی ازشاخص‌های حرارتی همانند واحد تجمع حرارتی[3] که در بیش‌تر منابع از آن به‌عنوان درجه روز رشد یاد شده است و هم‌چنین سایر مشتقات ریاضی آن مانند واحد هلیوترمال و کارایی تأثیر دما و نور می‌توانند اصول پایه‌ای برای تعیین مراحل فنولوژی و تاریخ کاشت مناسب فراهم آورد. همه مراحل نموی را می‌توان بر اساس درجه روز رشد دقیق‌تر از تقویم زمانی پیش‌بینی نمود (۸). کارایی تأثیر دما[4] نشان‌دهنده تولید مقدار محصول به‌ازای هر واحد درجه روز رشد می‌باشد و مقدار آن بستگی به نوع محصول، ژنتیک گیاه، شرایط اقلیمی و تغذیه دارد (٤ و ۹).

مراحل رشد و نمو سیب‌زمینی را می‌توان به پنج مرحله تقسیم نمود. ۱- رشد و توسعه جوانه‌ها: این مرحله از زمان شروع رشد جوانه در چشم‌های غده شروع و به ظهور آن در سطح خاک ختم می‌شود. ۲- رشد سبزینه‌ای: این مرحله که در آن کلیه اندام‌های رویشی گیاه (برگ‌ها، انشعابات ساقه، ریشه‌ها و استولون) تشکیل می‌شود از زمان سبز شدن گیاه شروع شده و به شروع غده‌زایی ختم می‌شود. ۳- غده‌زایی: غده‌های اولیه در انتهای استولون‌ها تشکیل شده ولی هنوز شروع به حجیم شدن ننموده‌اند. این مرحله حدود دو هفته طول می‌کشد. ٤- حجیم شدن غده‌ها: در این مرحله سلول‌های تشکیل‌دهنده غده با تجمع آب، مواد غذایی و کربوهیدرات‌ها متورم می‌شوند. ٥- بلوغ یا رسیدن گیاه: شاخ و برگ گیاه شروع به زرد شدن نموده و برگ‌ها شروع به ریزش می‌کنند، به همین دلیل میزان فتوسنتز کاهش یافته و رشد غده‌ها کم می‌شود و نهایتاً اندام‌های هوایی می‌میرند (٦).

حاصلخیزی خاک و مصرف کودهای شیمیایی نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی از جمله سیب‌زمینی دارد (۱۰). مصرف بی‌رویه نیتروژن در سیب‌زمینی، با توجه به نیاز بالای این محصول به این عنصر، موجب تجمع نیترات در سیب‌زمینی شده که در اثر فعل و انفعالات شیمیایی به ترکیباتی به نام نیتروز آمین، که سرطان‌زا هستند، تبدیل می‌شوند. بنابراین مدیریت مصرف نیتروژن اهمیت زیادی در تولید این محصول دارد (۱۱). یکی از روش‌های کاهش تجمع نیترات در غده سیب‌زمینی مصرف کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست می‌باشد (۱۲) که علاوه بر کاهش نیترات غده از طریق بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش داده و نیز باعث فراهم نمودن مواد غذایی مورد نیاز گیاه شده و در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (۱۳).

سیب‌زمینی تولیدشده در مناطق معتدله کشور در پاییز و اوایل زمستان به مصرف رسیده و بعد از آن

1- Growing degree days
2- Helio thermal units
3- Heat summation
4- Heat use efficiency

خلأ این محصول در بازار وجود دارد. با کشت زمستانه سیب‌زمینی در مناطق نیمه‌گرمسیری می‌توان به پر نمودن این خلأ اقدام نمود. یکی از مناطق نیمه‌گرمسیری مناسب برای کشت سیب‌زمینی استان خوزستان می‌باشد. با عنایت به لزوم مطالعات همه‌جانبه در مورد این محصول و با توجه به این‌که تاکنون گزارش‌های محدودی در ارتباط با اثرات مدیریت منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های زراعی – اقلیمی و کارایی مصرف منابع سیب‌زمینی در مناطق نیمه‌گرمسیری منتشر شده است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات مدیریت منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های زراعی – اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی و کارایی مصرف منابع در دو رقم سیب‌زمینی سانته و ساوالان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل ۸ تیمار با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با ´۳٦ :°۳۰ عرض شمالی و ´۱٤ :°۵۰ طول شرقی اجرا گردید. محل آزمایش دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک با ارتفاع ۳۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از منابع مختلف کود نیتروژن در چهار سطح: ۱- عدم مصرف نیتروژن ۲- تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد از طریق کود شیمیایی اوره ۳- تامین ۲۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد از طریق کود شیمیایی اوره ٤- تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق کود شیمیایی اوره و رقم در دو سطح: سانته و ساوالان. میزان مصرف کود براساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت و مقادیر آن عبارت بود از ٤٦ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم در هکتار که در هنگام تهیه زمین به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شدند. کود نیتروژنه لازم نیز به‌میزان ۱٦۱ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره، نصف آن قبل از کاشت و بقیه در هنگام خاکدهی پای بوته در اختیار گیاهان قرار گرفت (۱٤). میزان نیتروژن خالص مصرف شده در تیمارهای مورد مطالعه براساس میزان نیتروژن موجود در کود اوره (٤٦ درصد) و میزان نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست (جدول ۲) محاسبه شد. در تیمار تأمین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست، یک دوم کل نیتروژن مورد نیاز معادل ۸۰/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع ورمی‌کمپوست تامین گردید. مقدار ورمی‌کمپوست مصرف شده در این تیمار براساس درصد نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب ٤۰۲۵ و ۵۳٦٦/٦۷ کیلوگرم در هکتار بود. بقیه نیتروژن مورد نیاز (۸۰/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص درهکتار) با مصرف ۱۷۵ کیلوگرم کود شیمیایی اوره در هکتار تامین شد. در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست، یک چهارم کل نیتروژن مورد نیاز معادل ٤۰/۲۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع ورمی‌کمپوست تامین گردید. مقدار ورمی‌کمپوست مصرف‌شده در این تیمار براساس درصد نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب۲۰۱۲/۵۰ و ۲٦۸۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. بقیه نیتروژن مورد نیاز (معادل ۱۲۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) با مصرف ۲٦۲/۵۰

کود شیمیایی اوره در هکتار تامین شد. در این دو تیمار در هنگام تهیه زمین، کلیه ورمی‌کمپوست مورد نیاز با خاک مخلوط گردید. کاشت غده‌های بذری جوانه‌دار در اواسط دی‌ماه صورت گرفت. در زمان کاشت، غده‌ها از نظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی چندجوانه‌ای، دارای ۵-۳ جوانه سبز رنگ ۱/۵-۱ سانتی‌متری بودند. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۲۵ سانتی‌متر منظور شد. هنگامی‌که قطر قسمت متورم انتهای استولون دو برابر قطر استولون گردید به‌عنوان زمان تشکیل غده تلقی شد (٦).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of soil in two years of experiment.

سال Year	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC ($ds\ m^{-1}$)	واکنش خاک pH	فسفر قابل‌دسترس Available P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌دسترس Available K ($mg\ kg^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)
2019	Silty clay loam	2.3	7.8	8.9	279	0.70
2020	Silty clay loam	2.2	7.7	7.9	269	0.80

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست در دو سال آزمایش.

Table 2. Some chemical properties of vermicompost in two years of experiment.

سال Year	هدایت الکتریکی EC ($ds\ m^{-1}$)	واکنش ورمی‌کمپوست pH	فسفر کل Total P (%)	پتاسیم کل Total K (%)	ازت کل Total N (%)	مواد آلی Organic matter (%)
2019	3.2	6.7	3.5	1	2	30
2020	2.1	7.4	3	1	1.5	26

شاخص‌های زراعی اقلیمی و کارایی مصرف منابع با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$GDD = \Sigma n\ [(T_{max} + T_{min})/2] - T_b \qquad (۱)$$

که در آن، GDD درجه روز رشد، n تعداد روزهای رشد، T_{max} و T_{min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و T_b دمای پایه (هفت درجه سانتی‌گراد).

دمای کم‌تر از هفت درجه سانتی‌گراد و بیش‌تر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب هفت و ۳۰ درجه سانتی‌گراد محسوب شدند (٦).

$$HTU = GDD \times \text{Duration of sun shine hours} \qquad (۲)$$

که در آن، HTU واحد هلیو ترمال برحسب ساعات آفتابی در درجه روز رشد، GDD درجه روز رشد و Duration of sun shine hours طول مدت ساعات آفتابی (٦).

$$HTUE = Yield / HTU \qquad (۳)$$

که در آن، HTUE کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال[1] (تولید محصول به ازای هر واحد هلیو ترمال) برحسب کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد و Yield عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار (۵).

1- Hellio thermal units use efficiency

$$TUE=Yield/GDD \quad (٤)$$

که در آن، TUE کارایی تأثیر دما (تولید محصول به‌ازای هر واحد درجه روز رشد) بر حسب کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد (۵).

$$NUE= Yield/N \quad (۵)$$

که در آن، NUE کارآیی مصرف نیتروژن[1] (تولید محصول به‌ازای هر واحد نیتروژن) بر حسب کیلوگرم غده در کیلوگرم نیتروژن و N میزان نیتروژن مصرفی بر حسب کیلوگرم در هکتار (۱۵).

یک هفته قبل از برداشت اندام‌های هوایی قطع و غده‌ها در اواخر اردیبهشت‌ماه برداشت شدند. در پایان هر سال به کمک نرم‌افزار SPSS بر روی همه داده‌ها تجزیه واریانس ساده صورت گرفت. در پایان سال دوم تجزیه واریانس مرکب انجام و میانگین‌ها به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های حرارتی در مراحل فنولوژی

رشد و توسعه جوانه‌ها: نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر رقم بر درجه روز رشد، واحد هلیوترمال و مدت‌زمان این مرحله در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر منبع کود و اثر متقابل رقم و منبع کود بر صفات مزبور معنی دار نشد. مدت زمان مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها دررقم ساوالان در مقایسه با رقم سانته به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود به همین دلیل درجه روز رشد و واحد هلیو ترمال در یافت شده توسط این رقم نسبت به رقم سانته کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). در این پژوهش مصرف ورمی‌کمپوست اثر معنی‌داری بر فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها و در نتیجه مقدار درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده نداشت (جدول ٤). سرعت سبز شدن سیب‌زمینی عمدتاً بستگی به دما و رطوبت خاک دارد و کودهای آلی با حفظ رطوبت خاک، محیط را از طریق افزایش دما برای سبز شدن غده در فصل سرد مساعد می‌کنند (۱٦). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود در این پژوهش تأثیر ورمی‌کمپوست در افزایش دما به اندازه‌ای نبوده است که سبب افزایش سرعت سبز شدن غده‌ها شود. در این مرحله کم‌ترین و بیش‌ترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در تیمارهای مورد مطالعه به‌ترتیب از ۲۷٤/۹۷ تا ۳٦۰/۰۱ واحد و ۹۹ /۲۰۵۸ تا ۲۱۸۰/٦۳ ساعت افتابی در درجه روز رشد متغیر بود (جدول ٤). دارابی (۱۷) گزارش نمود میانگین درجه روز رشد دریافت شده در پنج رقم سیب‌زمینی در کشت پاییزه این محصول در خوزستان ۲۱۳/۷۵ درجه روز رشد بود که از مقدار این شاخص در همه تیمارهای موردمطالعه در این پژوهش کم‌تر بود، ولی به‌دلیل بیش‌تر بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در کشت پاییزه میانگین واحد هلیوترمال دریافت شده در پنج رقم موردمطالعه (۲۸۳۵/۷۵ ساعت آفتابی در درجه روز رشد) در مقایسه مقدار با مقدار این شاخص در همه تیمارهای این پژوهش افزایش نشان داد (جدول ٤).

1- Nitrogen use efficiency

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل رشد و توسعه جوانه‌ها و رشد سبزینه‌ای در دو رقم مورد مطالعه.

Table 3. Means comparison of duration (days), growing degree days (°C day) and helio thermal unit (°C day hr^{-1}) at sprout development and vegetative growth stages in studied cultivars.

رقم Cultivar	رشد و توسعه جوانه‌ها Sprout development			رشد سبزینه‌ای Vegetative growth		
	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal unit	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal units
سانته Sante	50.04[a]	355.32[a]	2335.75[a]	15[a]	136.12[b]	1238.64[a]
ساوالان Savalan	42.79[b]	285.33[b]	1890.17[b]	15[a]	145.02[a]	1087.01[b]

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل غده‌زایی و رشد سبزینه‌ای در منابع مختلف نیتروژن.

Table 4. Means comparison of duration (days), growing degree days (°C day) and helio thermal unit (°C day hr^{-1}) at sprout development and vegetative growth stages in different sources of nitrogen.

منابع مختلف نیتروژن Different sources of nitrogen	رشد و توسعه جوانه‌ها Sprout development			رشد سبزینه‌ای Vegetative growth		
	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal unit	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal units
عدم مصرف نیتروژن Control	46.17[a]	360.01[a]	2058.99[a]	15[a]	142.83[a]	1179.51[a]
۵۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد اوره 50% V+50%U	47.25[a]	295.69[b]	2135.14[a]	15[a]	140.10[a]	1197.04[a]
۲۵ درصد ورمی‌کمپوست + ۷۵ درصد اوره 25% V+75%U	46.25[a]	350.63[a]	2180.63[a]	15[a]	141.07[a]	1095.97[a]
۱۰۰ درصد اوره 100%U	47.00[a]	274.97[a]	2077.06[a]	15[a]	138.26[a]	1178.78[a]

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

ماجی و همکاران (۱۸) درجه روز رشد موردنیاز در مرحله رشد جوانه‌ها در پنج تاریخ کاشت از ۲۵ آبان تا ۲۳ آذر را از ۹۵/۲ تا ۱٤۹/۱ واحد گزارش نمودند. بنابراین در این پژوهش درجه روز رشد دریافت شده در این مرحله فنولوژیکی از گزارش‌های پژوهش‌گران مزبور بیش‌تر می‌باشد. باید توجه نمود

که در این بررسی، فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها (جدول‌های ۳ و ٤) در مقایسه با کشت بهاره این محصول در مناطق معتدل کشور و زراعت پاییزه در مناطق نیمه گرمسیری طولانی‌تر می‌باشد (۱۷، ۱۹) که علت این موضوع را می‌توان به پایین بودن دما در نیمه دوم دی‌ماه و اوایل بهمن‌ماه نسبت داد، به‌طوری که در اکثر روزهای این مرحله نه تنها میانگین دمای روزانه با صفر فیزیولوژی سیب‌زمینی، هفت درجه سانتی‌گراد (٦)، اختلاف چندانی نداشت، بلکه در بعضی از روزها از صفر فیزیولوژی نیز کم‌تر بود، بنابراین در این پژوهش پایین بودن دما در اوایل رشد و نمو محصول سبب طولانی شدت مدت‌زمان این مرحله و بالا بودن درجه روز رشد و واحد هلیو ترمال دریافتی توسط گیاه شده است.

رشد سبزینه‌ای: اثر رقم بر درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده توسط گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر منبع کود و اثر متقابل رقم و منبع کود برمقدار این دو شاخص معنی‌دار نشد. در سیب‌زمینی مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای نقش بسیار مهمی در عملکرد این محصول دارد. هرچه مدت‌زمان این مرحله کوتاه‌تر باشد مرحله حجیم شدن غده طولانی‌تر شده و از طرف دیگر اندام‌های هوایی به‌عنوان یک منبع رقابت‌کننده برای جذب مواد غذایی با غده، بیش از اندازه رشد نخواهد کرد (۲۱). مدت زمان رشد سبزینه‌ای در این پژوهش ۱۵ روز بود (جدول‌های ۳ و ٤). مشابه با این نتایج دارابی (۱۷) نیز گزارش نمود که مدت‌زمان این مرحله در کشت پاییزه سیب‌زمینی در خوزستان ۱۵ روز می‌باشد. پرویزی و همکاران (۱۹) گزارش نمودند که در کشت بهاره سیب‌زمینی در همدان مرحله رشد سبزینه‌ای حدود ٤۰ روز است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود مرحله رشد سبزینه‌ای در کشت سیب‌زمینی در خوزستان در مقایسه با زراعت بهاره این محصول در همدان حدود ۲۵ روز کوتاه‌تر می‌باشد. با عنایت به مساوی بودن مدت‌زمان این مرحله در همه تیمارهای آزمایشی، اختلاف بین شاخص‌های حرارتی مشاهده شده در دو رقم سانته و ساوالان ناشی از اختلاف زمانی در شروع و خاتمه مرحله رشد سبزینه‌ای و در نتیجه اختلاف شرایط اقلیمی مانند دما، تعداد ساعات آفتابی و طول روز در این دو دوره ۱۵ روزه می‌باشد. اگر چه مقدار درجه روز رشد در رقم سانته نسبت به رقم ساوالان کاهش معنی‌داری را نشان داد. ولی برخلاف، درجه روز رشد، واحد هلیوترمال در رقم سانته در مقایسه با رقم ساوالان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۵). که علت این موضوع رامی‌توان به بالا بودن تعداد ساعات آفتابی در فاصله زمانی این مرحله در رقم سانته در مقایسه با رقم ساوالان نسبت داد. ماجی و همکاران (۱۸) گزارش نمودند مدت‌زمان رشد سبزینه‌ای از ۲٤ تا ۲۸ روز، درجه روز رشد از ۳۲۷/۹ تا ۳۹۷ واحد و واحد هلیو ترمال از ۳٤۹٦/۱ تا ٤۱۸۰/۹ ساعت آفتابی در درجه روز رشد متغیر بوده است. قرار گرفتن زود هنگام گیاهان در شرایط مناسب برای غده‌زایی، روزهای کوتاه و شب خنک (۲۰) سبب گردید که در این پژوهش مدت‌زمان رشد سبزینه‌ای و شاخص‌های درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به مقدار قابل‌توجهی در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (۱۸) کم‌تر باشد.

غده‌زایی: غده‌زایی در سیب‌زمینی مکانیسمی پیچیده بوده و سطوح هورمون‌های درون‌زاد و تعادل تنظیم‌کننده‌های رشد نقش اساسی در آن ایفا می‌کنند. سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد داخلی به نوبه خود تحت‌تأثیر شرایط آب و هوا، طول روز، دمای محیط و نیز شرایط رشد قرار دارند (٦). مدت زمان غده‌زایی بستگی به شرایط اقلیمی دارد، در شرایطی که رشد گیاه سریع می باشد در مقایسه با شرایطی، که رشد گیاه کند است دروه غده‌زایی کوتاه‌تر خواهد شد ولی معمولاً مدت زمان غده‌رایی در سیب‌زمینی بین ۲ تا ٦

هفته در نظر گرفته می‌شود، علی‌رغم این موضوع، با توجه به این‌که قسمت اعظم غده‌ها طی یک دوره ۱۵ روز تشکیل می‌شوند معمولاً طول دوره غده‌زایی در سیب‌زمینی حدود ۱۵ روز در نظر گرفته می‌شود (۲۱). در این مرحله فنولوژیکی مقدار درجه روز رشد دریافت شده توسط رقم ساوالان در مقایسه با رقم سانته کاهش معنی‌داری را نشان داد ولی اختلاف واحد هلیوترمال بین دو رقم معنی‌دار نشد (جدول ۵). اثر منبع کود و اثر متقابل منبع کود و رقم بر این شاخص معنی‌دار نبود (جدول ٦). اگرچه مدت زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در این پژوهش ۱۵ روز و برابر بود. اختلاف بین این دو شاخص در تیمارهای مورد مطالعه در این دو مرحله فنولوژیکی را می‌توان به اختلاف دما و تعداد ساعات آفتابی در این دو مرحله نسبت داد. در این پژوهش مقدار درجه روز رشد در تیمارهای مورد بررسی از ۱٤٤/۹۸ تا ۱٦٤/٦۹ واحد و واحد هلیوترمال از ۱۰٤٤/٦۷ تا ۱۱۰۹/٤۸ ساعت آفتابی در درجه روز رشد متغیر بود (جدول ٦). مشابه با این نتایج دارابی (۱۷) گزارش نمود مقدار درجه روز رشد در مرحله غده‌زایی در ارقام سیب‌زمینی در کشت زمستانه از۱۳٤/۲۵ تا ۱۹۵/۳۰ واحد متغیر بوده است.

حجیم شدن غده: سرعت و مدت حجیم شدن غده تعیین‌کننده عملکرد سیب‌زمینی می‌باشد ولی مدت حجیم شدن در مقایسه با سرعت حجیم شدن نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد این محصول ایفا می‌کند. شرایط اقلیمی بهینه برای حجیم شدن غده‌ها طول روزکوتاه، شدت نور بالا و میانگین دمای روزانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (٦). مدت‌زمان مرحله حجیم شدن غده در رقم ساوالان بر رقم سانته به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. ولی اختلاف معنی‌داری بین منابع مختلف کود از لحاظ این صفت مشاهده نشد (جدول‌های ۵ و ٦). در این پژوهش مدت زمان مرحله حجیم شدن غده از ۵۵/٤٦ تا ٦۰/۷۱ روز متغیر بود. مدت‌زمان این مرحله فنولوژیکی در این پژوهش در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (۱۸)، از ٤۲ تا ۵۲ روز، طولانی‌تر ولی در مقایسه با گزارش لویلا ردریگیوز و همکاران (۲۲)، ٦۳ روز و دارابی (۲۳)، ۸۸/٦۷ روز، کوتاه‌تر می‌باشد. درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در این مرحله فنولوژیکی در رقم ساوالان در مقایسه با رقم سانته افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۵) ولی اختلاف بین منابع کود مورد مطالعه از نظر دریافت این دو شاخص حرارتی معنی‌دار نبود (جدول ٦). مقایسه شاخص‌های حرارتی در این مرحله نسبت به مراحل قبل مشخص نمود که حداکثر این شاخص‌ها به دوره حجیم شدن غده تعلق داشته است و مقدار این شاخص‌ها در این مرحله فنولوژیکی به‌طور قابل‌توجهی نسبت به مراحل قبل افزایش یافته اشت، به‌طوری‌که علی‌رغم این‌که مدت‌زمان دوره حجیم شدن غده در مقایسه با کل دوره رشد و نمو گیاه بسته به تیمار بین ۳۸ تا ٤٤ درصد متغیر بود ولی میزان درجه روز رشد دریافت شده در این مرحله نسبت به کل دوره رشد و نمو بین ٦۱/۵۲ تا ٦٦/۲۷ درصد بود (جدول‌های ۵ و ٦). مقایسه مقدار دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله فنولوژیکی در همه تیمارهای مورد مطالعه در مقایسه با گزارش سایر پژوهش‌گران (۱۸، ۲۲) مشخص نمود که مقدار این دو شاخص حرارتی در این مطالعه به علت افزایش شدید دما در اردیبهشت‌ماه به‌طور قابل‌توجهی از گزارش این دو پژوهش‌گر بیش‌تر بوده است. هم‌چنین علی‌رغم این‌که مدت‌زمان این مرحله در مقایسه با دوره حجیم شدن غده‌ها در کشت پاییزه سیب‌زمینی کم‌تر بود (۲۳) ولی این دو شاخص در همه تیمارهای موردمطالعه به علت بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله حجیم شدن غده‌ها در مقایسه با کشت پاییزه افزایش نشان داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل غده‌زایی و حجیم شدن غده در دو رقم مورد مطالعه.

Table 5. Means comparison of duration (days), growing degree days (°C day) and helio thermal unit (°C day hr^{-1}) at tuber initiation and tuber bulking stages in studied cultivars.

رقم Cultivar	غده‌زایی Tuber initiation			حجیم شدن Tuber bulking		
	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal unit	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal unit
سانته Sante	15^{a}	164.69^{a}	1044.67^{a}	55.46^{b}	1029.11^{b}	8491.78^{b}
ساوالان Savalan	15^{a}	144.98^{b}	1109.48^{a}	60.71^{a}	1117.65^{a}	8882.15^{a}

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل غده‌زایی و حجیم شدن غده در منابع مختلف نیتروژن.

Table 6. Means comparison of duration (days), growing degree days (°C day) and helio thermal unit (°C day hr^{-1}) at) at tuber initiation and tuber bulking and vegetative growth stages in different nitrogen sources.

منابع مختلف نیتروژن Different sources of nitrogen	غده‌زایی Tuber initiation			حجیم شدن Tuber bulking		
	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal unit	مدت Duration	درجه روز رشد Growing degree days	واحد هلیوترمال Helio thermal units
عدم مصرف نیتروژن Control	15^{a}	156.90^{a}	1095.50^{a}	58.58^{a}	1076.67^{a}	8666.24^{a}
۵۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد اوره 50% V+50%U	15^{a}	159.26^{b}	1071.58^{a}	57.00^{a}	1064.13^{a}	8588.07^{a}
۲۵ درصد ورمی‌کمپوست + ۷۵ درصد اوره 25% V+75%U	15^{a}	152.78^{a}	1077.42^{a}	58.50^{a}	1057.57^{a}	8337.82^{a}
۱۰۰ درصد اوره 100%U	15^{a}	150.39^{a}	1063.73^{a}	58.25^{a}	1077.15^{a}	8755.71^{a}

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

بلوغ: به‌دلیل بالا رفتن دما از اواسط اردیبهشت، برداشت سیب‌زمینی در خوزستان قبل از مرحله بلوغ و یا رسیدن گیاه انجام می شود، زیرا در صورت تأخیر در برداشت، به علت افزایش دما که منجر به افزایش گندیدگی غده‌ها و بروز عارضه رشد ثانویه خواهد شد، از عملکرد قابل‌فروش کاسته خواهد شد (۲۳). بنابراین مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی در خوزستان فقط شامل چهار مرحله رشد جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای، غده‌زایی و حجیم شدن غده می‌باشد.

عملکرد: عملکرد غده در واحد سطح به‌عنوان شاخص مهم اقتصادی و در واقع هدف اصلی تولید سیب‌زمینی می‌باشد. در این بررسی عملکرد رقم ساوالان نسبت به رقم سانته ۱۱ درصد و در سطح معنی‌دار ۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). علت افزایش عملکرد رقم ساوالان را می‌توان به طولانی‌تر بودن دوره حجیم شدن غده در این رقم در مقایسه با سانته نسبت داد. هم‌چنین در این آزمایش استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان منبع تامین‌کننده بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه در هر دو تیمار حاوی این ماده آلی (تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست و تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست)، سبب افزایش عملکرد محصول در مقایسه با تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع اوره گردید (جدول ۸). مشابه با این نتایج شوب‌هام پندی و همکاران (۲٤) نیز گزارش نمودند تامین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق مواد آلی در مقایسه با تامین همه نیتروژن مورد نیاز از طریق کودهای شیمیایی سبب افزایش عملکرد محصول شده است. علت افزایش عملکرد در ترکیب ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی مزایای فراوان این ماده آلی از جمله بهبود خصوصیات فیزیکی (ظرفیت نگهداری آب، تخلخل و تهویه)، شیمیایی (pH،EC و فراهمی عناصر غدایی)، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و تولید هورمون‌های رشد می‌باشد (۱۳). در این بررسی عملکرد تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست، نسبت به تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۸). دلیل این افزایش را می‌توان چنین توجیه نمود که نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست به فرم آلی بوده و برای قابل‌جذب شدن باید به فرم معدنی (نیترات یا آمونیوم) تبدیل شود که این عمل به تدریج و به کندی، به‌خصوص با توجه به پایین بودن دما در اوایل دوره رشد و نمو گیاه در این آزمایش، صورت گرفته و به گذشت زمان نیاز دارد (۲۵). در حالی‌که نیتروژن موجود در اوره بلافاصله بعد از کاربرد، به‌راحتی برای گیاه قابل‌جذب می‌باشد. بیش‌تر بودن نسبت نیتروژن قابل‌جذب در تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست دلیل افزایش عملکرد این تیمار بود.

ارزیابی اثر متقابل رقم و منابع کود نیتروژن از نظر عملکرد کل مشخص نمود که روند تغییرات عملکرد کل دو رقم نسبت در منابع کودی مورد مطالعه یکسان نمی‌باشد (جدول ۹)، در رقم سانته برتری عملکرد تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست بر هر دو تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست و تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود ولی اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست و تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره مشاهده نگردید. بنابراین برای رقم سانته تامین تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست توصیه می شود. در حالی‌که در رقم ساوالان اختلاف عملکرد دو تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست و تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست معنی‌دار نبود ولی هر دو این تیمارها بر تیمار تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره برتری معنی‌داری داشتند (جدول ۹) که این موضوع بیانگر

این مطلب است که علی‌رغم پایین‌تر بودن نسبت نیتروژن معدنی در تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست اختلاف عملکرد رقم ساوالان در این دو تیمار در معنی‌دار نبوده است، علت این مسأله کارایی بالای رقم ساوالان در جذب نیتروژن می‌باشد. اگرچه اختلاف عملکرد این دو تیمار معنی‌دارنبود ولی با توجه به پایین‌تر بودن هزینه تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار تامین ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۵۰ درصد از منبع ورمی‌کمپوست، برای رقم ساوالان نیز تیمار تامین ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست توصیه می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تأثیر دما، کارایی تأثیر واحد هلیوترمال، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی مصرف نیتروژن در دو رقم مورد مطالعه.

Table 7. Means comparison of yield, Heat use efficiency, Helio thermal units use efficiency, nitrogen use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency in studied cultivars.

کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg tuber N kg^{-1})	کارایی تأثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units (kg ha^{-1} °C day hr^{-1})	کارایی تأثیر دما Heat use efficiency (kg ha^{-1} °C day^{-1})	عملکرد Yield (t ha^{-1})	رقم Cultivar
130.81[b]	1.53[b]	11.42[b]	19.33[b]	سانته Sante
152.91[a]	1.70[a]	12.89[a]	21.78[a]	ساوالان Savalan

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تأثیر دما، کارایی تأثیر واحد هلیوترمال، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی در منابع مختلف نیتروژن.

Table 8. Means comparison of yield, Heat use efficiency, Helio thermal units use efficiency, nitrogen use efficiency and agro nomic nitrogen use efficiency in different nitrogen sources.

کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg tuber N kg^{-1})	کارایی تأثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units (kg ha^{-1} °C day hr^{-1})	کارایی تأثیر دما Heat use efficiency (kg ha^{-1} °C day^{-1})	عملکرد Yield (t ha^{-1})	منابع مختلف نیتروژن Different sources of nitrogen
-	1.11[d]	8.48[d]	14.33[d]	عدم مصرف نیتروژن Control
140.64[b]	1.79[b]	13.44[b]	22.80[b]	۵۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد اوره 50% V+50%U
151.35[a]	1.93[a]	14.45[a]	24.40[a]	۲۵ درصد ورمی‌کمپوست + ۷۵ درصد اوره 25% V+75%U
132.40[b]	1.61[c]	12.24[c]	20.68[c]	۱۰۰ درصد اوره 100%U

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تأثیر دما، کارایی تأثیر واحد هلیوترمال، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی در اثر متقابل رقم منابع مختلف نیتروژن.

Table 9. Means comparison of yield, Heat use efficiency, Helio thermal units use efficiency , nitrogen use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency in different nitrogen sources.

رقم Cultivar	منابع مختلف نیتروژن Different sources of nitrogen	عملکرد Yield ($t\ ha^{-1}$)	کارایی تأثیر دما Heat use efficiency ($kg\ ha^{-1}\ °C\ day^{-1}$)	کارایی تأثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency ($kg\ ha^{-1}\ °C\ day\ hr^{-1}$)	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency ($kg\ tuber\ N\ kg^{-1}$)
سانته Sante	عدم مصرف نیتروژن Control	14.14^{d}	8.37^{e}	1.10^{e}	-
	۵۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد اوره 50% V+50%U	20.44^{cd}	12.08^{cd}	1.62^{cd}	128.04^{b}
	۲۵ درصد ورمی‌کمپوست + ۷۵ درصد اوره 25% V+75%U	23.56^{ab}	13.97^{ab}	1.89^{ab}	140.31^{a}
	۱۰۰ درصد اوره 100%U	18.99^{d}	11.25^{d}	1.49^{d}	118.07^{b}
ساوالان Savalan	عدم مصرف نیتروژن Control	15.52^{e}	8.59^{e}	1.13^{e}	-
	۵۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد اوره 50% V+50%U	24.99^{a}	14.79^{a}	1.96^{a}	155.24^{a}
	۲۵ درصد ورمی‌کمپوست + ۷۵ درصد اوره 25% V+75%U	25.24^{a}	14.94^{a}	1.98^{a}	156.78^{a}
	۱۰۰ درصد اوره 100%U	22.36^{b}	13.23^{bc}	1.73^{bc}	146.72^{a}

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level using Duncan's Multiple Range

کارآیی مصرف منابع

کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیو ترمال:

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر رقم و منبع کود بر کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار و اثر متقابل منبع کود و رقم بر کارایی تأثیر دما در سطح احتمال ۵ درصد و کارایی تأثیر واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. برتری رقم ساوالان از نظر این دو شاخص بر رقم سانته معنی‌دار بود (جدول ۷). هم‌چنین در بین منابع مختلف نیتروژن از لحاظ این دو شاخص، تیمار تامین ۲۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد از اوره بر سایر منابع کودی برتری معنی‌داری داشت (جدول ۸). ارزیابی اثر متقابل رقم و منبع کودی مشخص نمود رقم ساوالان با تامین ۲۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد از منبع اوره حداکثر کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیو ترمال را به خود اختصاص داد (جدول ۹). در

این پژوهش به‌طورکلی محدوده کارایی تأثیر واحد دما و کارایی تأثیر واحد هلی ترمال در مقایسه با کشت پاییزه سیب‌زمینی در منطقه کم‌تر بود (۱۷). علت این موضوع بالا بودن دما در دوره حجیم‌شدن غده (و به‌خصوص از اواسط اردیبهشت‌ماه به بعد) که منجر به دریافت واحد حرارتی اضافی و غیرمؤثری گردید نسبت داد. پایین‌بودن کارایی تأثیر دما به‌دلیل بالا بودن دما در مرحله حجیم‌شدن غده‌ها توسط ماجی و همکاران (۱۸) گزارش شده است.

کارایی مصرف نیتروژن: کارایی مصرف نیتروژن بیانگر تولید محصول به ازای هر واحد نیتروژن می‌باشد. بهبود مصرف نیتروژن یکی ار ارکان مهم کشاورزی پایدار می‌باشد. خارج شدن نیترات از منطقه گسترش ریشه سبب آلودگی‌های آب‌های زیر زمینی می‌شود. یکی از راهکارهای حل این مشکل ممکن است معرفی ارقامی که کارایی بیش‌تری در استفاده از نیتروژن دارند، می‌باشد (١٦). نتایج آزمایش‌های گت‌هام و همکاران (٢٦) بیانگر اختلاف معنی‌دار بین ارقام مورد مطالعه از نظر کارایی مصرف نیتروژن بود. هماهنگ با این نتایج در این پژوهش نیز اختلاف قابل‌توجهی بین دو رقم مورد بررسی از نظر این شاخص مشاهده گردید و کارایی مصرف نیتروژن در همه منابع کود نیتروژن در رقم ساوالان از رقم سانته بیش‌تر بود (جدول ۹). تامین بخشی از نیتروژن از منبع ورمی‌کمپوست سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه با تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن موردنیاز از منبع اوره گردید و حداکثر این صفت در تیمار تامین ۲۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد از منبع اوره مشاهده گردید (جدول ۸). شوب‌هام پندی و همکاران (٢٦) نیز گزارش نمودند کاربرد توأم مواد آلی و کود شیمیایی سبب بهبود کارایی مصرف نیتروژن در سیب‌زمینی شده است. برز و همکاران (۲۷) گزارش نمودند بهبود کارایی مصرف نیتروژن در اثر کاربرد مواد آلی در سیب‌زمینی نتیجه تأثیر مثبت این ماده در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه کاهش آبشویی نیترات می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش مشخص نمود اثر رقم بر مدت زمان مراحل فنولوزیکی، درجه روز رشد و واحد هلیو ترمال معنی‌دار بود ولی اثرمنبع کود بر این صفات معنی‌دار نشد. در این پژوهش مدت زمان مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها به علت پایین بودن دما طولانی بود ولی مرحله رشد سبزینه‌ای کوتاه بود. مدت زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در همه تیمارهای مورد مطالعه ۱۵ روز بود. به علت افزایش دما در اردیبهشت‌ماه مقدار درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله حجیم شدن غده به‌طور قابل‌توجهی نسبت به مراحل قبل بیش‌تر بود. در این پژوهش مرحله بلوغ مشاهده نشد. عملکرد و کارایی استفاده از منابع در رقم ساوالان به‌طور معنی‌داری از رقم سانته بیش‌تر بود. استفاده از ورمی‌کمپوست به‌عنوان منبع تامین‌کننده بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه در هر دو تیمار حاوی این ماده آلی، سبب افزایش عملکرد، کارایی مصرف دما و کارایی مصرف واحد هلیو ترمال و کارایی مصرف نیتروژن در این دو تیمار در مقایسه با تامین ۱۰۰ درصد نیتروژن موردنیاز گیاه از منبع اوره گردید. حداکثر عملکرد و بیش‌ترین کارایی استفاده از منابع برای هر دو رقم سانته و ساولان با تامین ۲۵ درصد نیتروژن موردنیاز از منبع ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد از منبع اوره به‌دست آمد. بالا بودن دما درمرحله حجیم شدن غده‌ها دلیل پایین بودن کارایی تأثیر دما و کارایی تأثیر واحد هلیو ترمال در این آزمایش بود.

منابع

1. Charalampopoulos, I. (2021). Agrometeorological Conditions and agroclimatic trends for the maize and wheat crops in the Balkan region. *Atmosphere*. 12 (671), 1-24.
2. Vatca, S. D., Stoian, V.A., Man, T. S., Horvath, C., Vidican, R., Gadea, T., Vatca, A., Rotaru, A., Varban, R., Cristina, M., & Stoian, V. (2021). Agrometeorological requirements of maize crop phenology for sustainable cropping-A historical review for Romania. *Sustainability*, 13, 7719, 1-14.
3. Gupta, V., Gupta, M., Kour, S., & Sandhu, S. S. (2020). Agromet indices and response of varieties of wheat (*Triticum aestvium*) to sowing environments and nitrogen levels under irrigated lower hills of North-West plains of Shiwaliks. *Indian Journal of Agronomy*, 66 (1), 25-32.
4. Samantaray, S., Mahanty, M., Priyadarshini, A., Mohapatra, A. K. B., Rath, B. S., & Nanda, A. (2022). Agro-meteorological indices and heat units of rice varieties under different dates of planting in east and southeastern coastal plain zone of Odisha. *The Pharma Innovation Journal*, 11 (10), 527-531.
5. Darabi, A. (2023). Comparison of agro-meteorological indices and yield of onion cultivars in Behbahan, southwest Iran. *Journal of Crop Production and Processing,* 13 (3), 1-15. [In Persian]
6. Darabi, A., & Omidvari, S. H. (2020). Effect of planting date on agro-meteorological indices at different phonological Stages of potato cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 18, 323-339.
7. Kumar, M., Naushad Khan, N., Ravindra Sachan, R., Shravan Kumar Maurya, S. K., & Durgesh Kumar Maurya, D. K. (2023). Effect of thermal unit and heat use efficiency at various phenophases of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Biological Forum – An International Journal*, 15 (3), 583-588.
8. Sreeniavas, G., Devender Redady, M., & Raji Redady, D. (2010). Agro-meteorological indices in relation to phenology of aerobic rice. *Journal of Agrometeorological,* 12 (2), 241-244.
9. Devi, S., Singh, M., & Aggarwal, R. K. (2019). Thermal requirements and heat use efficiency of pea cultivars under varying environments. *Current World Environment*, 14 (3), 376-382.
10. Souri, M. K., Rashidi, M., & Kianmehr, M. H. (2018). Effects of manure-based urea pellets on growth, yield, and nitrate content in coriander, garden cress, and parsley plants. *Journal of Plant Nutrition,* 41 (11), 1405-1413.
11. Jalali, A. H. (2022). The effect of nitrogen fertilizer and nitrogen splitting on yield and nitrate content of potato tubers. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20 (2), 137-146. [In Persian]
12. Pobereżny, J., Wszelaczyńska, E., Wichrowska, D., & Jaskulski, D. (2015). Content of nitrates in potato tubers depending on the organic matter, soil fertilizer, cultivation simplifications applied and storage. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75 (1), 42-49.
13. Rehman, S. U., Federica, F. D., Alessio Aprile, A., Michele Benedetti, M., & Francesco Paolo Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy,* 13 (1134), 1-25.
14. Malakouti, M. J., & Tehrani, M. M. (1999). The Role of micronutrients in increasing yield and quality of agricultural crops. Tarbiat Modarres University Publication. Tehran. [In Persian]
15. Tolessa, E. S. (2019). A review on water and nitrogen use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in relation to its yield and yield components. *Archives of Agriculture and Environmental Science,* 4 (2), 119-132.
16. Keisham, A., Heisnam, P., Moirangthem, A., Das, T., Singh, N. I., & Singh, L. N. (2015). Effect on growth

and yield of potato (*Solanum tubersum* L.) var. Kufri Jyoti by nitrogen integration with different organic sources and itsafter effect on soil. *The Bioscan*, 10 (13), 1335-1338.

17. Darabi, A. (2017). Study on the agro-meteorological indices at different phenological stages and growth analysis of new potato genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 18 (3), 271-286. [In Persian]
18. Maji, S., Bhowmick, M., Chakraborty, P., Jena, S., Dutta, S. K., Nath, R., Bandyopahyay, P., & Chakraborty, P. K. (2014). Impact of agro-meteorological on growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Eastern India. *Journal of Crop and Weed*, 10 (2), 193-189.
19. Parvizi, K., Souri, J., & Mahmoodi, R. (2011). Evaluation of cultivation date on yield and amount of tuber disorders of potato cultivars in Hamadan province. *Journal of Horticultural Science,* 25 (1), 82-93. [In Persian]
20. Mihovilovich, E., Carli, C., de Mendiburu, F., Hualla, V., & Bonierbale, M. (2009). Protocol tuber bulking maturity assessment of elite and advanced potato clones. International Potato Center. 18 p.
21. Kazemi, M., Hassanabadi, H., & Tavakoli, H. (2011). Potato production management. Nashr-e-Amozesh and Tarvij Keshavarzi, Tehran. [In Persian]
22. Loyla Rodríguez, P., Danny Sanjuanelo, C., Carlos Eduardo Ñústez, L., & Patricia Moreno-Fonseca, L. (2016). Growth and phenology of three Andean potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under water stress. *Agronomía Colombiana*, 34 (2), 141-154.
23. Darabi, A. (2019). The investigation of planting season effect on yield and phenology of potato (*Solanum tuberosum* L.) culivars using thermal indices. *Journal of Crop Production and Processing*, 9 (1), 65-77. [In Persian]
24. Shubham Pandey, S., Dwivedi D. K., Vikram Bharati, V., Kumar, A., Harendra Singh, H., & Anshuman Dwivedi, A. (2022). Effect of different levels and sources of nitrogen on growth and yield of Potato (*Solanum-tuberosum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11 (7), 3719-3722.
25. Hoseini, S. S., Majidian, M., & Esfahani, M. (2022). Effect of nitrogen fertilizer vermicompost application onagronomic characteristics, seed yield and quality of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Applied Research in Field Crops*, 34 (4), 74-97. [In Persian]
26. Getahun, B. B., Kassie, M. M., Visser, R. G. F., & Linden, C. G. V. D. (2020). Genetic diversity of potato cultivars for nitrogenuse efficiency under contrasting nitrogen regimes. *Potato Research*, 63, 267-290.
27. Broz, A. P., Verma, P. O., & Appel, C. (2016). Nitrogen dynamics of vermicompost use in sustainable agriculture. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 7 (11), 173-183.