

## Investigating the spatial variations of water consumption and fertilizer resource efficiencies in potato in Iran

Mostafa Torkaman<sup>1</sup>, Soroor Khorramdel<sup>2\*</sup>, Parviz Rezvani Moghaddam<sup>3</sup>, and Mahdi Nassiri Mahallati<sup>3</sup>

- 1- PhD student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
- 2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
- 3- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

\*Corresponding author: [khorrampdel@um.ac.ir](mailto:khorrampdel@um.ac.ir)

(Received: 15 January 2023

Revise: 21 January 2023

Accepted: 27 January 2023)

- 1. Introduction:** With the increasing world population, the need for food production has increased. The limited water resources and environmental pollution caused by excessive consumption of chemical fertilizer consumption have made it challenging to produce more food. One of the ways to increase the sustainable production of agricultural products is to focus on water use efficiency (WUE) and different sources use efficiency. Potato (*Solanum tuberosum* L.) needs large quantities of nitrogen (N), potassium (K), and phosphorus (P) fertilizers and water to achieve high yields. Availability of the inputs needs to be adjusted to the temporally dynamic needs of the plant, but the inputs also need to be available in the space where the crop root system can absorb them, and conditions are conducive for root activity and nutrient uptake. These interactions are complex, are affected by biological, physical, and chemical characteristics of soil, demonstrate a strong impact of climatic conditions, and have a high degree of uncertainty. Enhancing the efficiency of the consumption of the inputs is challenging. The objectives were to study the spatial variations of important inputs such as nitrogen, phosphorus, and potassium, and water consumption efficiencies in the potato crop in Iran.
- 2. Materials and Methods:** To investigate the spatial variations of water, nitrogen, phosphorus, and potassium consumption efficiencies of potato during 2011-2020, the research was carried out in different regions of Iran. For this purpose, the provinces that produced more than 80 percent of the country's potatoes were determined, then in each province, the cities that produced more than 80 percent of the potatoes were selected. The required data were collected using recorded statistics and information, and face-to-face interviews, and the efficiency indicators of N, P, K, and water consumption in these areas and correlation coefficients (Pearson coefficient) between climatic parameters (such as temperature and precipitation), tuber yield, and inputs were calculated. Data analyzed using Sigma Plot Software.
- 3. Results and Discussion:** The results showed that the highest nitrogen and water consumption efficiency were observed in Bahar city of Hamadan province (with 242.71 kg tubers per kg nitrogen) and Meshkin city of Ardabil province (with 8.96 kg tubers per m<sup>3</sup> water), respectively. The average consumption efficiency for the inputs showed that the highest consumption efficiency of nitrogen, phosphorus, and water were computed with 159.01 kg tubers per kg nitrogen, 177.30 kg tubers per kg phosphorus,

and 7.15 kg tubers per m<sup>3</sup> of water in Ardabil province, respectively. The highest efficiency of potassium use, equal to 628.27 kg tubers per kg potassium, was observed in Kerman province. The lowest nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiencies were 20.54 kg tubers per kg nitrogen, 35.89 kg tubers per kg phosphorus, and 21.72 kg tubers per kg potassium in Golestan province, respectively. The lowest water consumption efficiency was equal to 593.0 kg tuber per m<sup>3</sup> of water, was calculated for Kerman province. The results of the research also revealed that among different parameters, nitrogen and water consumption efficiency had the most positive and significant correlation with each other. Meanwhile, potassium consumption efficiency was not significantly correlated with the efficiency of other resources. The regression analysis between potato yield in the studied areas with climatic and agricultural parameters also showed that the increase of nitrogen and phosphorus, respectively, had the greatest effect on the increase of potato yield, while temperature showed the least effect. Increasing potassium also showed a negative effect on potato yield.

- 4. Conclusion:** Strong interactions between water and different nutrient use efficiencies are common in many farming systems. Management operations that aim to improve WUE, NUE (nitrogen use efficiency), PUE (phosphorus use efficiency), and KUE (potassium use efficiency) simultaneously are more successful than those that seek to optimize these inputs separately. The complexity of enhancing NUE, PUE, KUE, and WUE needs integration of agronomy, breeding, and crop physiology to better understand the interactions of the indicators and their related traits with various environmental conditions. Sustainable intensification of agriculture should rely, therefore, on defining management approaches towards enhancing water and nutrient use efficiency, especially N. Considering the significant correlation of resource use efficiencies with each other and their direct impact on potato yield, it seems that the investigation and management of climatic factors on the improvement of resource consumption efficiency in each region can have a significant impact on increasing the tuber yield and consequently reducing the loss of consumption of various inputs in agricultural ecosystems.

**Keywords:** Climatic parameters, Precipitation, Temperature, Water use efficiency.

**Citation:** Torkaman, M., Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M. (2025). Investigating the spatial variations of water consumption and fertilizer resource efficiencies in potato in Iran. *Journal of Vegetables Sciences*, 18(2), 203-225. doi: 10.22034/iuvs.2023.1987555.1266

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## بررسی تنوع مکانی بهره‌وری مصرف آب و منابع کودی در سیب‌زمینی در ایران

مصطفی ترکمان<sup>۱</sup>، سرور خرم‌دل<sup>۲\*</sup>، پرویز رضوانی مقدم<sup>۳</sup> و مهدی نصیری محلاتی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: [khorramdel@um.ac.ir](mailto:khorramdel@um.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

## چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تنوع مکانی کارایی مصرف آب، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه سیب‌زمینی در مناطق مختلف ایران اجرا شد. برای این منظور، استان‌ها و شهرستان‌های با بیش از هشتاد درصد تولید سیب‌زمینی در کشور طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۰ تعیین و در هر استان نیز شهرستان‌های دارای بیش از ۸۰ درصد تولید، انتخاب و شاخص‌های بوم‌شناختی مختلف شامل کارایی مصرف نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آب محاسبه و ضرایب همبستگی بین آنها تعیین شد. رابطه بین عملکرد غده، پارامترهای اقلیمی (شامل دما و بارندگی) با میزان مصرف آب، نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز تعیین شد. نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و آب به ترتیب با ۱۵۹/۰۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن، ۱۷۷/۳۰ کیلوگرم غده بر کیلوگرم فسفر و ۷/۱۵ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب در استان اردبیل و بیشترین کارایی مصرف پتاسیم معادل ۶۲۸/۲۷ کیلوگرم غده بر کیلوگرم پتاسیم در استان کرمان مشاهده شد. شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و آب بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با یکدیگر داشتند. بررسی رگرسیون بین عملکرد با متغیرهای اقلیمی و زراعی نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن و فسفر به ترتیب بیشترین تأثیر را بر بهبود عملکرد غده داشتند، در حالی که دما کمترین تأثیر را نشان داد. افزایش پتاسیم نیز تأثیر منفی بر عملکرد غده نشان داد. با توجه به همبستگی معنی‌دار بین کارایی مصرف منابع و تأثیرگذاری مستقیم آن بر عملکرد غده، به نظر می‌رسد که بهبود مدیریت کارایی مصرف منابع در سیستم‌های زراعی می‌تواند تأثیر زیادی بر افزایش عملکرد و به تبع آن کاهش تلفات منابع داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، دما، عوامل اقلیمی، کارایی مصرف آب.

استناد: ترکمان، م.، سرور خرم‌دل، س.، رضوانی مقدم، پ.، نصیری محلاتی، م. (۱۴۰۴). بررسی تنوع مکانی بهره‌وری مصرف آب و منابع کودی در سیب‌زمینی در ایران. علوم سبزی‌ها، ۱۸(۲)، ۲۰۳-۲۲۵.

## حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترسی است.

مقدمه

برخی نتایج نشان داده است که در شرایط تنش شوری به دلیل بالا رفتن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه و در نتیجه رقابت بین یون‌های کلر و نیترات برای جذب، افزایش فراهمی نیتروژن نقش مهمی در گیاه داشته و باعث کاهش اثرات نامطلوب شوری می‌شود (Sikder *et al.*, 2020).

مصرف پایین کود نیتروژن به معنای کاهش عملکرد، تولید کمتر محصول و تغذیه ضعیف انسان است، اما کاربرد بیش از حد نیتروژن، منجر به بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی و افت بهره‌وری کشاورزی، تهدید امنیت غذایی، سلامت اکوسیستم و انسان و کاهش رفاه اقتصادی می‌شود (Zhang *et al.*, 2015). بر این اساس، برخی محققان بر این باورند که بهترین و قابل دسترس‌ترین راه‌کار زیست‌محیطی و بوم‌شناختی برای رفع این مشکلات، بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد. کارایی مصرف نیتروژن، نشان‌دهنده بازدهی گیاه در تبدیل نیتروژن قابل دسترس در خاک به عملکرد اقتصادی (چون غده سیب‌زمینی) و یا بیولوژیک می‌باشد (The *et al.*, 2021).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) که به عنوان مهمترین محصول غذایی بعد از غلات در جهان محسوب می‌شود و نقش مهمی در امنیت و سلامت غذایی جهانی ایفا می‌نماید (Lutaladio & Castaldi, 2020; Andrea *et al.*, 2009)، گیاهی با ریشه کم-عمق و بسیار حساس به تنش آبی است (Liao *et al.*, 2016). بررسی‌ها نشان داده است که کشاورزان به دلیل ارزش اقتصادی بالای این محصول، عمدتاً بر استفاده بی‌رویه از آب و عناصر غذایی به عنوان نوعی «بیمه» برای به حداقل رسانیدن خطرات تولید تأکید دارند (Trippensee *et al.*, 1995; Liao *et al.*, 2016). یکی از مهمترین ویژگی‌های این گیاه دامنه سازگاری بالا در طیف وسیعی از اقلیم‌ها و کاربردهای متنوع زراعی و صنعتی آن می‌باشد (Liao *et al.*, 2016). بالاترین عملکرد این گیاه در مناطق معتدل با میانگین دمای روزانه حدود ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد و شب‌های خنک

آب پس از زمین، به عنوان دومین عامل محدودکننده برای افزایش تولید مواد غذایی در جهان نظر گرفته می‌شود. کمبود آب خاک از طریق تأثیر نامطلوب بر جذب عناصر غذایی، فتوسنتز خالص و متعاقباً بر تجمع و تولید ماده خشک، به طور قابل توجهی عملکرد و کارایی گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Ullah *et al.*, 2019). در مقیاس جهانی تقریباً همه محصولات به ویژه در مناطق خشم و نیمه‌خشک کمبود آب را حداقل در بخشی از فصل رشد تجربه می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های آینده به دلیل تشدید تغییرات اقلیمی، این مشکل رو به افزایش باشد (Hatfield & Dold, 2019). نتایج برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که در آینده‌ای نزدیک، کمبود آب علاوه بر عدم تامین نیاز آبی گیاهان، پیامدهای مختلفی مانند تأثیر منفی بر کارایی سایر منابع نیز به همراه دارد. بنابراین، برای مدیریت پایدار آب در بلندمدت، باید اقدامات فوری جهت بهبود کارایی مصرف آب انجام شود (Benabderrazik *et al.*, 2021).

بهبود کارایی مصرف آب یکی از بهترین گزینه‌های بوم‌شناختی پیش‌رو برای بهبود امنیت غذایی جهانی به شمار می‌رود (Stomph *et al.*, 2020). در گیاه سیب-زمینی شیوه‌های آبیاری (El-Abedin *et al.*, 2017)، تناوب زراعی، مدیریت کوددهی (Gitari *et al.*, 2018; Barghi & Gholipoori, 2020) و همچنین تاریخ کاشت (Biswas *et al.*, 2021) از جمله عوامل زراعی هستند که عملکرد غده و کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر آب، برای تولید اقتصادی محصولات مختلف و تأمین نیازهای کمی و کیفی غذایی جامعه، مدیریت عناصر غذایی و به ویژه نیتروژن نیز از اولویت ویژه‌ای برخوردار است (Trifonov *et al.*, 2018; Barghi & Gholipoori, 2020).

فراهمی نیتروژن حتی در شرایط وقوع تنش نیز می‌تواند منجر به کاهش اثر تنش در گیاه شود (Afsharmanesh *et al.*, 2022). به عنوان مثال،

بهبود عملکرد و شاخص‌های کارایی در سیستم‌های تولید سیب‌زمینی معرفی شود.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، استان‌های با بیش از هشتاد درصد تولید سیب‌زمینی در کشور تعیین و در هر استان نیز شهرستان‌های دارای بیش از ۸۰ درصد تولید، طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۰ انتخاب شدند. در شهرستان‌های مورد مطالعه، متغیرهای مهم آب و هوایی (شامل دما و بارندگی)، میزان عملکرد غده، متوسط مصرف کودهای پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در هکتار و میزان مصرف آب در هر هکتار از طریق پرسشنامه، روش‌های میدانی و اسنادی-کتابخانه‌ای گردآوری شدند. بر این اساس، اطلاعات و مستندات شامل آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی، آمار و اسناد آرشو سازمان‌های ذی‌ربط، اطلاعات سرشماری کشاورزی، نقشه‌های مربوط به سازمان‌های ذی‌ربط کشاورزی، مصاحبه شفاهی با کارشناسان و مسئولین سازمان‌های مرتبط، مصاحبه با کشاورزان منطقه و بازدیدهای میدانی بودند. میزان کارایی مصرف منابع مختلف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم با استفاده از معادله (۱) محاسبه و تعیین شد (Vaezi et al., 2002).

معادله (۱) = کارایی مصرف کودی

وزن تر غده

میزان نهاده مصرفی

از آنجا که همیشه مقداری از عناصر در خاک وجود دارد، جهت تعیین کارایی مصرف منابع، بین عملکرد و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم مصرفی، رگرسیون گرفته شد. عرض از مبدا خط رگرسیون نشان‌دهنده عملکرد در کود صفر می‌باشد که از عملکرد ثبت‌شده کسر شد تا عملکرد خالص حاصل از کود تعیین شود و بر اساس این عملکرد، شاخص‌های کارایی محاسبه شد. برای محاسبه کارایی مصرف آب از معادله (۲) استفاده شد (Tripler et al., 2007):

(۱۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد) و در شرایط فراهمی منابع کافی به ویژه آب و عناصر غذایی پرمصرف گزارش شده است (Liao et al., 2016; Minhas & Kumar, 2005).

نتایج برخی تحقیقات در رابطه با گیاه سیب‌زمینی نشان داده است اگرچه مصرف نیتروژن سبب افزایش عملکرد غده می‌گردد (Zelalem et al., 2009)، اما با وجود ریشه‌های نسبتاً سطحی در این گیاه، کارایی مصرف نیتروژن آن معمولاً پایین است (Cambouris et al., 2016). از کل کود نیتروژن مصرفی در طول فصل رشد این گیاه، به طور میانگین ۴۰-۵۰ درصد مصرف و مابقی به آب‌های زیرزمینی منتقل شده، یا در خاک باقی‌مانده و به مصرف گیاه بعدی می‌رسد (Trehan et al., 2013). با توجه به اثرات نامطلوب و زیان‌آور نیتروژن به عنوان عنصری متحرک بر محیط زیست و هزینه‌های مالی، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در سیب‌زمینی امری اجتناب‌ناپذیر است (Fageria et al., 2008).

اگرچه مطالعات نسبتاً متعددی در خصوص کارایی مصرف منابع مهم مانند آب و عناصر غذایی مختلف پرمصرف و کم‌مصرف چون نیتروژن در کشور انجام شده است، اما اغلب این مطالعات کارایی مصرف منابع را در کرت‌های آزمایشی بررسی کرده‌اند و ارزیابی این کارایی‌ها در مقیاس ملی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن، با وجود اینکه شرایط اقلیمی و مکانی نیز در میزان مصرف نهاده‌ها تأثیرگذار بوده و همین امر منجر به ایجاد تفاوت در کارایی مصرف منابع در مناطق مختلف می‌گردد، اما در مطالعات داخلی تغییرات مکانی کارایی مصرف منابع و نیز رابطه بین آنها کمتر مورد توجه بوده است. با عنایت به مطالب فوق، هدف از این پژوهش تعیین کارایی مصرف منابع مهم شامل آب، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سیب‌زمینی در مناطق مختلف کشور است، به نحوی که تغییرات و نوسانات کارایی منابع در مناطق مختلف بررسی و همبستگی بین آنها با عوامل اقلیمی (شامل دما و بارندگی)، مورد ارزیابی قرار گیرد تا راهکارهای مدیریتی و اکولوژیکی موثر بر

معادله (۲) = کارایی مصرف آب ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

وزن تر غده  
آبیاری + بارندگی

در مورد کارایی مصرف آب، مجموع بارش و آبیاری به عنوان کل آب مصرفی در نظر گرفته شد. همچنین، جهت تعیین میزان بارندگی، طول فصل رشد (شروع) در هر سال زراعی مشخص شد و میزان بارندگی برای دوره رشد گیاه در هر سال استخراج و ثبت گردید. از طرف دیگر، از آنجا که معمولاً تمام بارندگی برای گیاه قابل استفاده نیست، ۷۰ درصد بارندگی بعنوان باران موثر در نظر گرفته شد.

جهت تعیین رابطه بین عملکرد غده با متغیرهای اقلیمی و مقادیر کود مصرفی از رگرسیون چندگانه استفاده شد. برای این منظور، میانگین دو ساله مجموع بارندگی و میانگین دما برای طول دوره رشد استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این روش، از متغیرهای اقلیمی و کودی به عنوان متغیر مستقل ( $X$ ) و عملکرد غده به عنوان متغیر وابسته ( $Y$ ) در نظر گرفته شد و تغییرات آن‌ها تحت تأثیر توأمان متغیرهای مستقل با استفاده از رگرسیون چند متغیره بر مبنای معادله (۳) بررسی شد (Ramazanipour, 2019):

معادله (۳)

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

در این معادله، مقادیر  $a_0$  تا  $a_n$  به عنوان ضرایب رگرسیون و  $n$  تعداد پارامترها می‌باشد. با توجه به اینکه بزرگی و کوچکی ضرایب رگرسیون بازتابی از واحدهای اندازه‌گیری متغیرهای مستقل  $X$  می‌باشد، مقایسه ضرایب رگرسیون دشوار بوده و بنابراین، از ضرایب رگرسیون استاندارد شده (ضرایب بدون واحد) استفاده گردید. برای این منظور، داده‌های عملکردی هر منطقه متناظر با داده‌های اقلیمی و خاکی آن مدنظر قرار گرفت و برای کل کشور نوعی مدل رگرسیونی تعیین شد.

در نهایت، جهت بررسی رابطه بین عملکرد غده با متغیرهای اقلیمی و کودی از رگرسیون چندگانه و همچنین برای تعیین رابطه شاخص‌های مختلف کارایی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

جهت تعیین روابط رگرسیونی و محاسبه ضرایب همبستگی از نرم‌افزار Sigma plot استفاده شد. ترسیم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Sigma plot انجام شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد غده

میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی در مناطق اصلی تولید این محصول در کشور  $38541/6$  کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱). در بین مناطق اصلی تولید کننده این گیاه، استان‌های اردبیل و همدان به ترتیب با  $43030/9$  و  $42523/9$  کیلوگرم در هکتار بالاترین میانگین عملکرد غده را به خود اختصاص دادند (شکل ۱).

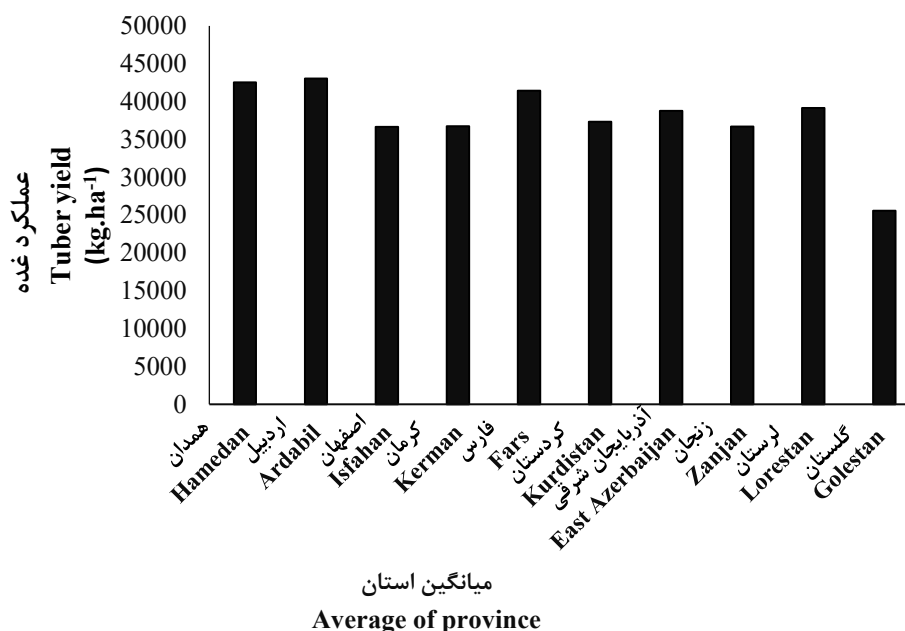
میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی در کل کشور بر اساس آخرین آمار در سال ۱۴۰۰ برابر با  $35868$  کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Ministry of Agriculture-Jihad, 2022). سیب‌زمینی پس از گندم و برنج به عنوان سومین محصول مهم غذایی در آسیا مطرح است (Forbes et al., 2020) و نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی در مناطق مختلف جهان دارد (Oerke & Dehne, 2004). در کشورهای در حال توسعه، اهمیت سیب‌زمینی به مراتب بیشتر است (SadreGhayen et al., 2019) و در ایران از نظر تولید، دومین محصول غذایی، بعد از گندم به شمار می‌رود (Bagheri & Javadi, 2015). به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش عملکرد سیب‌زمینی در استان‌هایی مانند اردبیل و همدان، پایین بودن میانگین دمای منطقه در طی فصل رشد است. برخی از پژوهشگران معتقدند که دمای مطلوب برای فتوسنتز برگ به عنوان عامل اصلی برای افزایش عملکرد غده حدود ۲۴ درجه سانتی‌گراد بوده و افزایش بیشتر دما بدلیل تنفس بالا، افت شدید عملکرد را به دنبال دارد (Kazemi, 2017; Timlin et al., 2006). Nikouyei و Jalali (۲۰۲۰) دمای بهینه برای تعادل سرعت فتوسنتز و تنفس در سیب‌زمینی را ۱۶-۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند.

وزن غده و به عبارت دیگر، عملکرد غده را کاهش می‌دهد (Rykaczewska, 2017).

### کارایی مصرف نیتروژن

میانگین کارایی مصرف نیتروژن سیب‌زمینی در کشور برابر با ۹۴/۹ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن محاسبه گردید، به طوری که حداکثر و حداقل کارایی مصرف نیتروژن به شهرستان بهار در استان همدان و شهرستان گرگان در استان گلستان ترتیب با ۲۴۲/۷ و ۱۹/۴ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن اختصاص داشت (جدول ۱).

این پژوهشگران همچنین بیان داشتند که به‌ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای بهینه، سرعت تنفس تاریکی در سیب‌زمینی دو برابر می‌شود و به همان نسبت عملکرد غده نیز کاهش می‌یابد. مراحل گل‌دهی تا رسیدن غده حساس‌ترین مراحل رشد سیب‌زمینی در پاسخ به افزایش دما هستند (Zhang *et al.*, 2020). افزایش دما به‌ویژه در مرحله گل‌دهی باعث تحریک رشد اندام‌های هوایی و افزایش ارتفاع گیاه شده و در مرحله نمو غده منجر به افزایش تعداد غده‌های ثانویه شده و



شکل ۱- میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی در سیستم‌های زراعی اصلی کشت این گیاه در ایران  
Figure 1- Mean tuber yield of potato in the main production agroecosystems in Iran

جدول ۱- کارایی مصرف منابع مختلف در سیب‌زمینی در مناطق اصلی تولید آن در کشور

Table 1- Different sources use efficiencies for potato in the main production areas of Iran

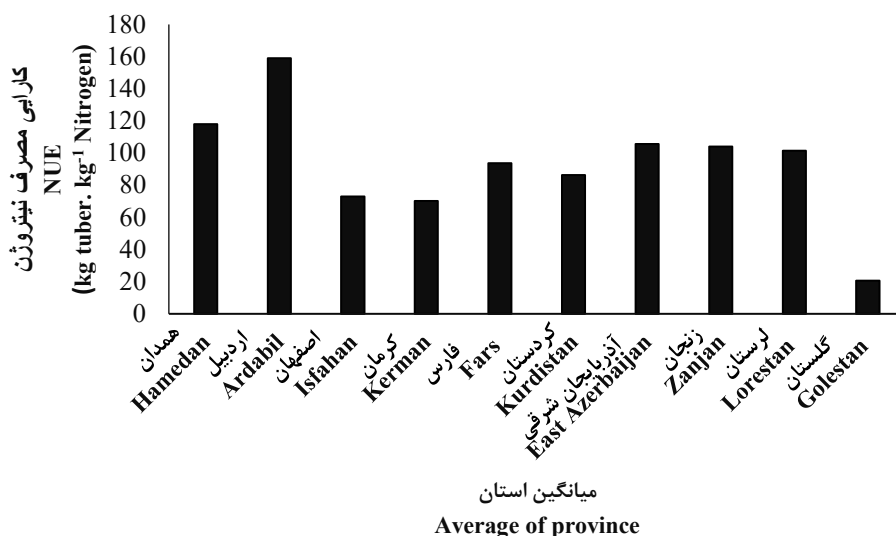
استان‌ها Provinces	شهرستان‌ها Cities	کارایی مصرف نیتروژن NUE (kg tuber yield.kg <sup>-1</sup> N fertilizer)	کارایی مصرف فسفر PUE (kg tuber yield.kg <sup>-1</sup> P fertilizer)	کارایی مصرف پتاسیم KUE (kg tuber yield.kg <sup>-1</sup> K fertilizer)	کارایی مصرف آب WUE (kg tuber yield.m <sup>-3</sup> water)
همدان Hamedan	بهار Bahar	242.71	83.30	249.68	6.69
	همدان Hamedan	145.54	114.12	1920.77	4.81
	رزن Razan	73.93	144.29	130.18	4.75
	اسدآباد Asadabad	81.99	106.81	183.84	4.87
	کبودرآهنگ Kabudarahang	81.61	112.87	335.80	5.23
	درگزین Darjazin	81.58	94.45	152.87	5.37
	اردبیل Ardabil	سرعین Sareyn	221.79	175.83	231.59
مشکین‌شهر Meshgin Shahr		159.52	212.24	965.22	8.96
اردبیل Ardabil		95.72	143.85	93.36	6.07
اصفهان Isfahan	فریدون‌شهر Fereydunshahr	46.33	348.92	60.71	3.93
	فریدن Fereidan	25.62	44.98	153.55	2.99
	سمیرم Semrom	51.60	123.42	312.41	3.48
	فالavarجان Falavarjan	82.72	134.48	154.97	5.99
	چادگان Chadegan	70.36	71.84	257.75	3.78
	بویین Buin	77.01	79.80	315.57	3.96
	اصفهان Isfahan	157.33	191.35	435.55	5.50
کرمان Kerman	بردسیر Bardsir	53.10	79.11	196.13	3.59
	جیرفت Jiroft	51.65	94.92	84.76	3.77
	کهنوج Kahnooj	84.49	104.96	2545.70	3.46
	عنبرآباد Anbarabad	47.66	87.63	57.90	3.62
	منوجان Manujan	113.62	227.89	256.89	3.54
فارس Fars	اقلید Eqlid	149.71	103.84	85.11	6.06
	آباده Abadeh	101.54	138.60	184.92	4.41
	بوانات Bavanat	72.47	121.95	220.93	4.93

ادامه جدول ۱

	شیراز Shiraz	94.15	126.27	166.43	3.61
	خرم‌بید Khorrambid	67.52	89.65	201.14	5.33
	داراب Darab	76.68	86.92	237.78	5.89
کردستان Kurdistan	دهگلان Dehgolan	90.65	171.82	154.88	4.99
	قروه Qorveh	96.52	219.02	192.59	3.99
	سقز Saqez	71.81	80.22	68.73	5.71
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	سراب Sarab	55.12	81.03	58.50	5.60
	عجب‌شیر Ajabshir	107.78	152.44	587.53	6.90
	بستان‌آباد Bostan Abad	198.66	109.95	440.66	5.04
	هشترود Hashtrud	71.86	104.45	849.51	7.73
	بناب Bonab	113.67	113.43	203.88	4.50
	آذرشهر Azarshahr	86.19	63.21	103.44	4.41
زنجان Zanjan	خدابنده Khodabandeh	102.57	122.60	202.73	4.70
	طارم Tarom	108.86	118.87	79.75	5.79
	سلطانیه Soltaniyeh	85.96	112.63	72.98	5.59
	ابهر Abhar	118.49	114.61	112.02	4.32
لرستان Lorestan	دلفان Delfan	51.63	138.76	208.30	4.92
	سلسله Selseleh	113.96	168.35	468.66	4.85
	خرم‌آباد Khorramabad	106.56	92.86	288.35	5.09
	الیگودرز Aligudarz	106.84	175.37	624.88	4.11
	ازنا Azna	128.20	233.82	468.65	4.32
گلستان Golestan	گرگان Gorgan	19.40	30.18	23.72	6.36
	علی‌آباد Aliabad	21.68	41.61	19.72	5.06

غده بر کیلوگرم کود نیتروژن را به خود اختصاص دادند (شکل ۲).

در بین استان‌های مختلف در کشور، استان‌های اردبیل و گلستان بیشترین و کمترین کارایی زراعی مصرف نیتروژن را به ترتیب با ۱۵۹ و ۲۰/۵ کیلوگرم



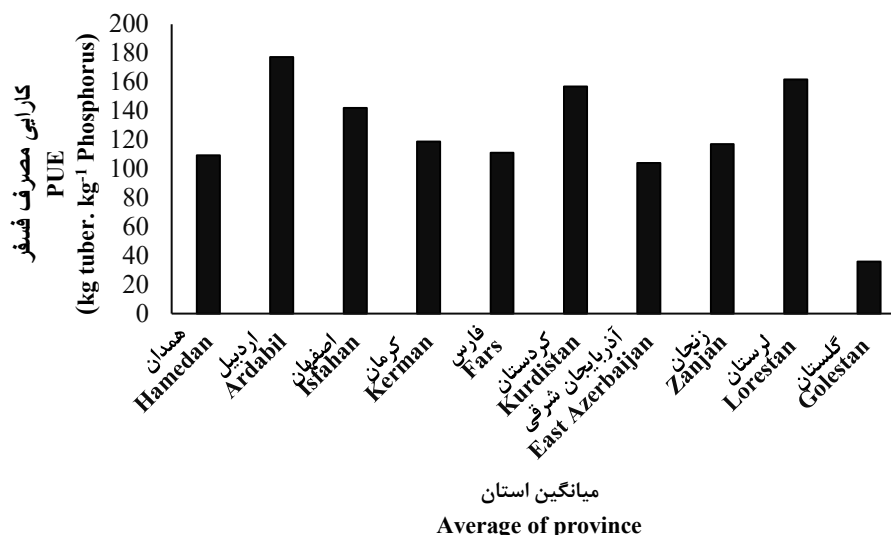
شکل ۲- میانگین کارایی مصرف نیتروژن در سیب‌زمینی در مناطق اصلی تولید آن در کشور  
Figure 2-Mean nitrogen use efficiency for potato in the main production areas in Iran

مصرف نیتروژن در بین ارقام مختلف سیب‌زمینی، عمدتاً مربوط به تفاوت در سیستم ریشه‌ای ارقام مختلف بوده که کارایی جذب نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته به نظر می‌رسد عدم در نظر گرفتن میزان نیتروژن اولیه خاک می‌تواند عاملی برای بالاتر بودن مقادیر این شاخص باشد.

#### کارایی مصرف فسفر

حداکثر و حداقل کارایی مصرف فسفر برای شهرستان فریدون شهر در استان اصفهان و شهرستان گرگان در استان گلستان به ترتیب با ۳۴۸/۹۲ و ۳۰/۱۸ کیلوگرم غده بر کیلوگرم فسفر محاسبه شد (جدول ۱). همچنین بیشترین و کمترین کارایی مصرف فسفر در بین استان‌های مورد مطالعه مشابه با کارایی مصرف نیتروژن بود (شکل ۲). به طوری که استان اردبیل با ۱۷۷/۳۰ کیلوگرم غده بر کیلوگرم فسفر بیشترین و استان گلستان با ۳۵/۸۹ کیلوگرم غده بر کیلوگرم فسفر کمترین کارایی مصرف فسفر را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که کارایی مصرف نیتروژن به عواملی از قبیل زمان، مقدار، نوع و روش مصرف کود، رقم، خصوصیات خاک، میزان بارندگی، دما و سایر متغیرهای مربوط به اقلیم بستگی دارد (Salim & Raza, 2020). سیستم ریشه‌ای محدود و رشد کند گیاه سیب‌زمینی به ویژه در مراحل اولیه رشد منجر به افزایش تلفات نیتروژن و کاهش کارایی مصرف این عنصر می‌گردد (Rathke *et al.*, 2006). علاوه بر عوامل مدیریتی، در برخی مناطق چون گلستان وقوع بارندگی‌های غیرقابل پیش‌بینی در طی فصل رشد سیب‌زمینی، از طریق افزایش آبشویی، منجر به تشدید تلفات نیترات و کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌گردد (Zvomuya *et al.*, 2003). در این راستا، Wang و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که علاوه بر بهبود عملیات مدیریتی، استفاده از ارقام کارآمد سیب‌زمینی در جذب نیتروژن روش مناسبی برای به حداقل رساندن تلفات نیتروژن و بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد. Jami Moeini و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش دادند که تفاوت معنی‌دار در خصوص کارایی



شکل ۳- میانگین کارایی مصرف فسفر در سیب‌زمینی در مناطق اصلی تولید این گیاه در کشور  
Figure 3- Average phosphorus use efficiency for potato in the main production areas in Iran

مطالعات همچنین نشان می‌دهد که در خاک‌هایی با نیتروژن کم، کاربرد کود فسفر و جذب آن توسط گیاه، رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه را افزایش داده و به بهبود جذب نیتروژن نیز کمک می‌کند (Gastal *et al.*, 2015). لذا به نظر می‌رسد افزایش کارایی مصرف فسفر به واسطه افزایش جذب نیتروژن، می‌تواند شاخص کارایی مصرف نیتروژن را نیز افزایش دهد و از این طریق موجب بروز مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی برای این دو عنصر پرمصرف در سیستم‌های زراعی گردد.

### کارایی مصرف پتاسیم

حداکثر و حداقل کارایی مصرف پتاسیم به ترتیب متعلق به شهرستان کهنوج در استان کرمان با ۲۵۴۵/۷ کیلوگرم غده بر کیلوگرم پتاسیم و شهرستان علی‌آباد در استان گلستان با ۱۹/۷۲ کیلوگرم غده بر کیلوگرم پتاسیم بود (جدول ۱). بررسی‌ها نشان داده است که وجود پتاسیم کافی در گیاه سیب‌زمینی از طریق افزایش نسبت غده به اندام‌های هوایی، افزایش غده‌هایی با اندازه متوسط و درشت و بهبود انتقال کربوهیدرات‌ها به غده‌ها، باعث افزایش عملکرد غده می‌شود. از سوی دیگر، وجود پتاسیم کافی در برگ‌ها تضمین‌کننده فرایندهای فیزیولوژیک و تنظیم بهینه فعالیت روزنه‌ها بوده که در

فسفر یکی دیگر از مهمترین عناصر غذایی پرمصرف و مورد نیاز گیاه سیب‌زمینی بوده که کاربرد صحیح آن بعد از نیتروژن ضروری است (Jasim *et al.*, 2020). هرگونه تغییر در میزان فسفر می‌تواند تأثیر مستقیمی بر فعالیت‌های حیاتی سلولی در گیاه سیب‌زمینی داشته باشد (Soratto *et al.*, 2019). Mirbagheri و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که خاک‌های زراعی در کشور در اثر مصرف کودهای فسفوره طی ۳۰ سال گذشته دارای مقادیر بالایی از فسفر می‌باشند که علاوه بر تجمع بیش از حد این عنصر، منجر به ایجاد رقابت با جذب عناصر ریزمغذی به ویژه روی، ایجاد سمیت، کاهش جمعیت میکوریزا و تجمع آلاینده‌هایی نظیر کادمیوم در برخی محصولات کشاورزی شده است. لذا به نظر می‌رسد بهترین راهکار زراعی و بوم‌شناختی برای رفع مشکل کمبود فسفر در اکوسیستم‌های کشاورزی، افزایش کارایی مصرف این عنصر به جای مصرف بی‌رویه آن می‌باشد. از طرف دیگر، نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که اثر متقابل نیتروژن و فسفر اغلب به صورت هم‌افزایی است (Aulakh & Malhi, 2005). به صورتی که محتوی فسفر خاک از طریق تسریع در معدنی شدن ماده آلی و همچنین به واسطه تحریک رشد ریشه، باعث افزایش جذب نیتروژن می‌شود. نتایج برخی

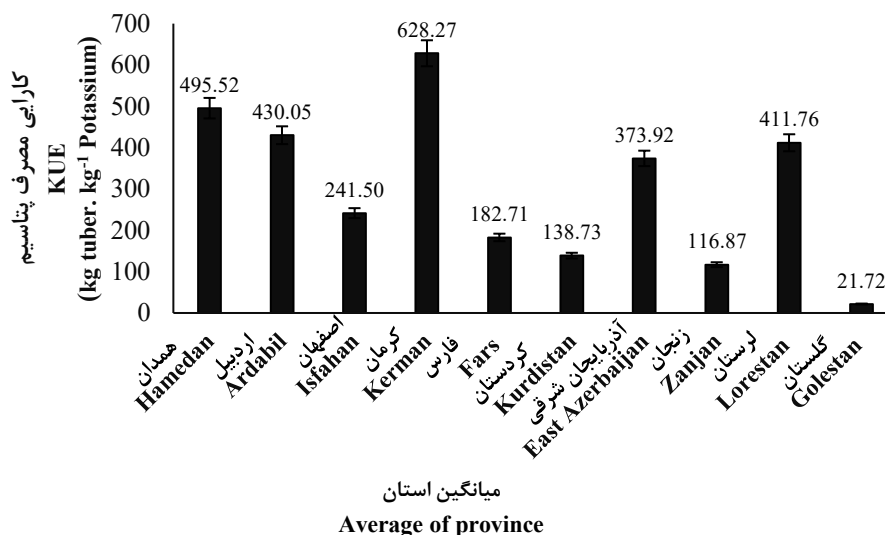
مخرج معادله مربوط کارایی مصرف پتاسیم در نهایت، تأثیر بسزایی بر این شاخص داشته است.

در بین استان‌های مختلف، بیشترین میانگین کارایی مصرف پتاسیم مربوط به استان کرمان با ۶۲۸/۲۷ کیلوگرم غده بر کیلوگرم پتاسیم و کمترین میانگین مربوط به استان گلستان با ۲۱/۷۲ کیلوگرم غده بر کیلوگرم پتاسیم بود (شکل ۴).

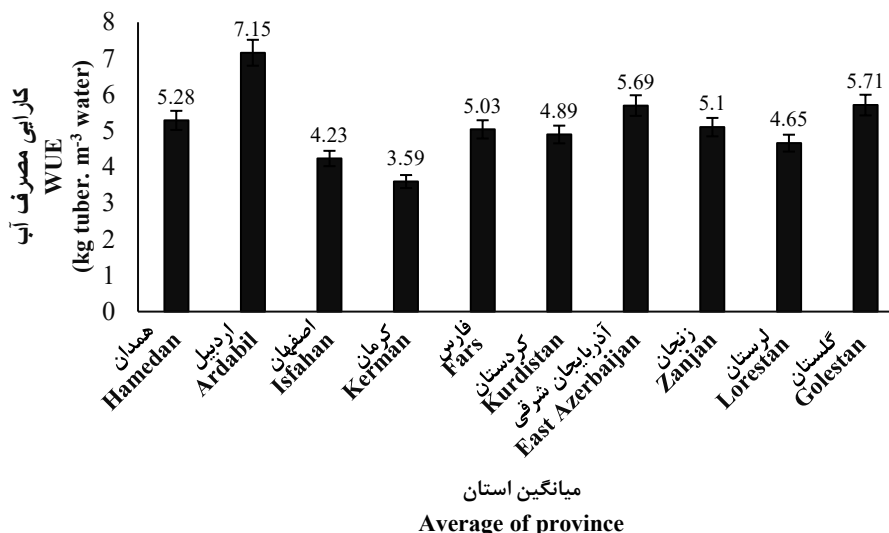
### کارایی مصرف آب

میانگین کارایی مصرف آب برای سیب‌زمینی در بین شهرهای مورد مطالعه برابر با ۵ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب محاسبه شد (جدول ۱). حداکثر و حداقل کارایی مصرف آب متعلق به شهرستان مشکین شهر در استان اردبیل و شهرستان فریدن در استان اصفهان به ترتیب با ۸/۹۶ و ۲/۹۹ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب بود (جدول ۱). بر اساس نتایج، بیشترین میانگین کارایی مصرف آب برای استان اردبیل با ۷/۱۵ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب و کمترین میانگین برای استان کرمان با ۳/۵۹ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب محاسبه گردید (شکل ۵).

نهایت، افزایش فتوسنتز را به دنبال دارد (Jalali, 2014). همانطور که پیشتر نیز بیان شد، بالاتر بودن برخی از مقادیر این شاخص‌ها برای مناطق مختلف، می‌تواند مربوط به عدم لحاظ مقادیر این عناصر در خاک باشد. همچنین با توجه به نتایج و صحبت‌های میدانی با کشاورزان سیب‌زمینی‌کار در مناطق مختلف کشور به نظر می‌رسد که در برخی مناطق از کودهای پتاسه کمتر استفاده شده است که این امر عمدتاً مربوط به کشاورزان بومی به ویژه در استان‌های کرمان و گلستان می‌باشد. بنا بر صحبت‌های این افراد و نتایج پرسشنامه‌ای، مشخص شد که آن‌ها به دلایل تجربی عمدتاً در زراعت این گیاه کود پتاسیم مصرف نمی‌کنند. علاوه بر این، در برخی مناطق چون جنوب کرمان نیز در طی سال دو تا سه کشت سیب‌زمینی به صورت متوالی انجام می‌شود که دلیل عدم مصرف کود پتاسه مربوط به باقی‌مانده این کود در زراعت قبلی مطرح شده است. در نهایت، این سه مورد یعنی عدم در نظر گرفتن میزان پتاسیم اولیه خاک، عدم مصرف مستقیم کود پتاسیم و البته وجود باقی‌مانده این عنصر در خاک تحت تأثیر زراعت‌های قبلی، علاوه بر تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد غده به دلیل کاهش



شکل ۴- میانگین کارایی مصرف پتاسیم در سیب‌زمینی در مناطق اصلی تولید این گیاه در کشور  
Figure 4- Average potassium use efficiency for potato in the main production areas in Iran



شکل ۵- میانگین کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی در مناطق اصلی تولید این گیاه در ایران  
Figure 5- Average water use efficiency for potato in the main production areas in Iran

مصرف پتاسیم با کارایی مصرف سایر منابع همبستگی معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است که نیتروژن و فسفر به صورت هم‌افزایی جذب یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Aulakh & Mallhi, 2005; Xu *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2012). بر اساس نتایج، مشخص شد که کارایی مصرف فسفر و آب در گیاه سیب‌زمینی به ترتیب با احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد با کارایی مصرف نیتروژن همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند (جدول ۲). نتایج این مطالعه برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که فراهمی آب، دسترسی به عناصر غذایی برای رشد گیاهان را افزایش می‌دهد (Engelbrecht *et al.*, 2007). در این راستا، Emam و Ziaei (۲۰۱۰) در پژوهشی بر روی گیاه ذرت بیان داشتند که ارتباط بین کارایی مصرف آب و نیتروژن مثبت می‌باشد. Zhu و Meinzer (۱۹۹۸) نیز در پژوهشی بر روی نیشکر گزارش دادند که ارتباط بین کارایی مصرف آب و نیتروژن مثبت و معنی‌دار بود. این پژوهشگران همچنین بیان داشتند که ارتباط بین این دو شاخص به چگونگی تعیین کارایی مصرف منابع و شرایط محیطی بستگی داشت و در هر شرایط اقلیمی، احتمالاً می‌تواند به صورت متفاوت نمود کند. در این

Eskandari و همکاران (۲۰۱۱) نیز میانگین کارایی مصرف آب در ارقام مختلف سیب‌زمینی در شرایط آب و هوایی مشهد را ۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. Keshavarzi (۲۰۱۹) نیز طی پژوهشی بیان داشت که بروز تغییر اقلیم به واسطه افزایش دما تأثیر نامطلوبی بر کارایی مصرف آب در کشاورزی داشته است. لذا به نظر می‌رسد که در این پژوهش، دمای بالاتر در برخی استان‌ها (نظیر کرمان) تأثیر نامطلوبی بر کارایی مصرف آب داشته است؛ در حالی که استان‌های با دمای پایین‌تر (مانند اردبیل و آذربایجان شرقی) کارایی مصرف آب بالاتری داشتند. بر این اساس، مشخص است که پایین بودن دما طی فصل رشد از طریق کاهش تبخیر و تعرق و به تبع آن کاهش میزان مصرف آب، افزایش شاخص کارایی مصرف آب را به دنبال داشته است.

#### ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کارایی مصرف منابع

بررسی همبستگی بین شاخص‌های مختلف کارایی مصرف منابع در سیب‌زمینی نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن و آب بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $r=0/377^{**}$ ) را با یکدیگر داشتند. در حالی که کارایی

تعیین ارتباط و همبستگی بین کارایی مصرف منابع عمومیت ندارد و بسته به شرایط آب و هوایی هر منطقه معمولاً متفاوت است.

### رابطه بین عملکرد با پارامترهای اقلیمی و مدیریتی

بررسی رگرسیون ارتباط بین عملکرد غده‌سیب‌زمینی با برخی از پارامترهای اقلیمی و زراعی نشان داد که در بین متغیرهای مورد بررسی افزایش میزان مصرف پتاسیم با عملکرد غده ارتباط منفی داشت (جدول ۳). این درحالی است که افزایش بارندگی و دما و همچنین افزایش فسفر، نیتروژن و آب با عملکرد غده ارتباط مستقیم دارد. بر اساس این نتایج، افزایش نیتروژن، فسفر و آب به ترتیب بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی داشته و دما کمترین تأثیر را بر افزایش عملکرد آن نشان داده است (جدول ۳).

راستا، در برخی از پژوهش‌ها گزارش شده است که رابطه منفی بین کارایی مصرف آب و نیتروژن مشاهده شده است. Gong و همکاران (۲۰۰۱) معتقدند افزایش فراهمی آب، اگرچه کارایی مصرف نیتروژن را افزایش می‌دهد، اما منجر به کاهش کارایی مصرف آب می‌گردد که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد. لذا به نظر می‌رسد که ارتباط بین کارایی مصرف منابع مختلف، با توجه به شرایط اقلیمی و محیطی و همچنین تا حدودی مدیریت زراعی (همچون نوع کود مصرفی) در هر منطقه متفاوت است که بر این اساس، پیشنهاد می‌شود راهکارهای مدیریتی به منظور بهبود کارایی مصرف منابع در هر منطقه مدنظر قرار گیرد. در این راستا، Sadras و Rodriguez (۲۰۰۸) نیز بیان داشتند که برخی فاکتورهای محیطی چون تشعشع، دما و کمبود فشار بخار آب به صورت محلی و منطقه‌ای بر روی رشد محصول و تبخیر و تعرق گیاه تأثیر داشته و به این ترتیب، کارایی مصرف آب و نیتروژن را به طور معنی‌داری در اقلیم‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهند. لذا

جدول ۲- همبستگی (ضرایب پیرسون) بین شاخص‌های کارایی مصرف منابع در گیاه سیب‌زمینی  
Table 2- Correlation coefficient (Pearson coefficients) for sources use efficiency indicators for potato crop

	کارایی مصرف نیتروژن NUE	کارایی مصرف فسفر PUE	کارایی مصرف پتاسیم KUE	کارایی مصرف آب WUE
کارایی مصرف نیتروژن NUE	1.00			
کارایی مصرف فسفر PUE	0.273*	1.00		
کارایی مصرف پتاسیم KUE	0.218 <sup>ns</sup>	0.077 <sup>ns</sup>	1.00	
کارایی مصرف آب WUE	0.377**	0.002 <sup>ns</sup>	0.030 <sup>ns</sup>	1.00

ns, \* و \*\*: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

تعداد متغیرها= ۴۷

Ns, \* and \*\*: non-significant, and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.  
Number of variables: 47

## جدول ۳- رابطه بین عملکرد غده سیب‌زمینی با برخی پارامترهای اقلیمی و زراعی

Table 3- The relationship between potato tuber yield and some climatic and agronomic parameters

متغیر Variables	ضریب واقعی Actual coefficient	ضریب t t coefficient	ضریب استاندارد Standard coefficient
عرض از مبدأ Intercept	34102	5.20**	-
بارندگی Precipitation	13.54	0.62ns	0.109
دما Temperature	15.45	0.06ns	0.011
فسفر P	14.08	1.77*	0.271
نیتروژن N	45.00	2.98**	0.443
پتاسیم K	-12.88	-0.95*	-0.143
آب Water	0.39	0.60*	0.208

R<sup>2</sup>=0.62

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

\* and \*\*: significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

فسفره بر رشد سیب‌زمینی، در سال‌های اخیر مصرف بی‌رویه کودهای مختلف فسفره علاوه بر تجمع فسفر در خاک، منجر به افزایش رقابت برای جذب عناصر ریزمغذی و کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید خاکری شده است (Mirbagheri *et al.*, 2012) و همین امر، لزوم توجه به افزایش کارایی مصرف فسفر را در اکوسیستم‌های زراعی بیش از پیش مطرح می‌نماید. علاوه بر عناصر غذایی، سیب‌زمینی نسبت به کمبود آب و محتوی رطوبتی خاک نیز حساس است که این مورد به سیستم ریشه‌ای محدود و کم‌عمق این گیاه مربوط می‌باشد (Monte *et al.*, 2013). کمبود آب در سیب‌زمینی به ویژه در مرحله غده‌بندی که نیاز آبی آن نیز زیاد است، می‌تواند روی میزان و سرعت تولید آسیمیلات‌ها نیز اثر گذاشته و نه تنها عملکرد، بلکه کیفیت آن را نیز کاهش دهد (Keihani & Saneinejad, 2015). کمبود آب، میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد که یکی از علل اصلی افت عملکرد محصول محسوب می‌شود. علاوه بر آن، کاهش مصرف آب با

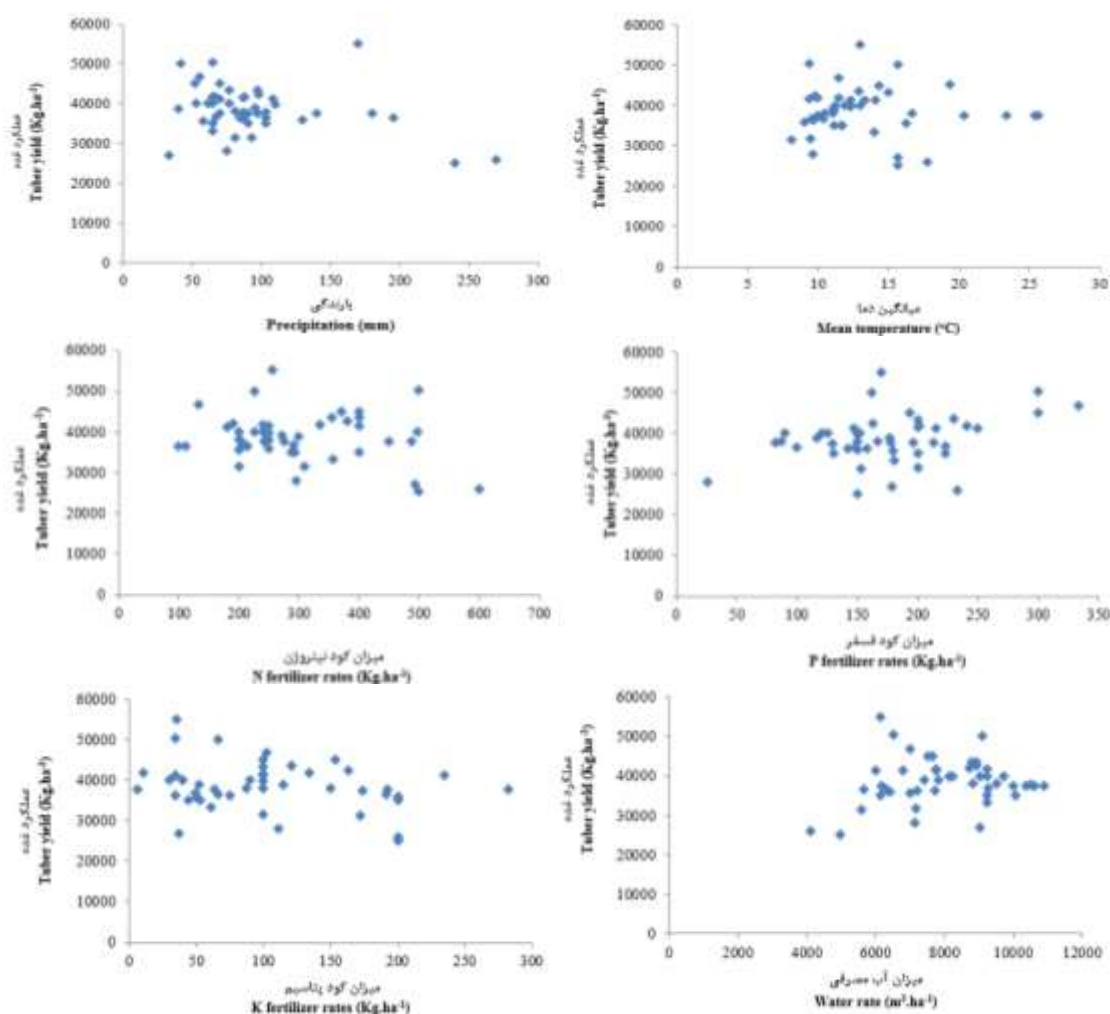
همانطور که پیشتر نیز ذکر گردید، نیتروژن از جمله مهمترین عناصر تأثیرگذار بر عملکرد غده و بازار پسندی سیب‌زمینی می‌باشد (Najm *et al.*, 2010). به طوری - که نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که کمبود نیتروژن در اوایل فصل رشد با تأثیر سوء بر غده‌بندی، عملکرد این محصول را کاهش می‌دهد (Wang *et al.*, 2020). برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کمبود نیتروژن در تولید دوره رشد سیب‌زمینی بیشترین محدودیت را در عملکرد به وجود آورده و نیاز این گیاه به نیتروژن سبب شده از لحاظ مقدار و دفعات کاربرد بیش از سایر عناصر غذایی مصرف شود (Sparrow & Chapman, 2003). مصرف کافی کود نیتروژن در اوایل فصل رشد، باعث گسترش و نمو سطح برگ، افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده می‌گردد (Vos, 2009).

فسفر از دیگر عناصر پر مصرف در گیاه سیب‌زمینی بوده که در اکثر فعل و انفعالات شیمیایی گیاهان دخالت داشته و موجب رشد مناسب بوته و غده می‌شود (Soratto *et al.*, 2019). با وجود تأثیر مثبت کودهای

عملکرد غده ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی شد (Hamzhepour *et al.*, 2025).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان بارندگی در طول دوره رشد سیب‌زمینی در بیشتر مناطق کشور بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۰ متغیر بود. میانگین دمای مناطق دارای بیشترین عملکرد غده در کشور (شکل ۲) نیز بین ۱۰ تا ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (شکل ۶).

افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها و کاهش میزان فتوسنتز، زیست‌توده اندام‌های هوایی، رشد غده و در کاهش می‌دهد (Rahmani & Aboutalebian, 2021). نتایج سایر بررسی‌ها نیز مؤید آن است که تنش آبی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید سیب‌زمینی بوده و کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار وزن و



شکل ۶- پراکندگی عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تأثیر فاکتورهای زراعی و اقلیمی (شامل بارندگی، دما، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آب)

Figure 6- Tuber yield dispersions of potato crop affected as agronomic and climatic factors (such as precipitation, temperature, N, P, K and water)

ازای افزایش هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد از دمای بهینه، سرعت تنفس تاریکی در سیب‌زمینی دو برابر می‌شود. افزایش دما و وقوع تنش‌های گرمایی به ویژه در مرحله

سیب‌زمینی را کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. این پژوهشگران همچنین نتیجه گرفتند که به

بیشترین میزان در مناطق اصلی مورد کشت و کار این محصول، برابر با ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار تعیین شد (شکل ۶). در پژوهشی Sobhani و Hamidi (۲۰۱۳) با بررسی اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد سیب‌زمینی بیان داشتند که افزایش مصرف پتاسیم تا ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد شاخص‌های رشدی می‌شود. Abdul-Hannan و همکاران (۲۰۱۱) نیز با مطالعه اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی در پاکستان بیان داشتند که با مصرف ۱۳۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار، بالاترین عملکرد غده به دست آمد. Ghanbari و همکاران (۲۰۰۷) نیز مصرف ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار را برای کشت سیب‌زمینی توصیه نمودند.

دامنه مقدار مصرف آب در زراعت سیب‌زمینی در بیشترین مناطق ایران بین ۲۲۰۰ تا ۹۹۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه گردید. بیشترین میزان آب مصرفی نیز بین ۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ متر مکعب آب در هکتار تعیین شد (شکل ۶). در این راستا، Darwish و همکاران (۲۰۰۲) نیز میزان بهینه مصرف آب برای سیب‌زمینی را ۸۵۹۰ مترمکعب آب در هکتار گزارش دادند که با ۵۰۰۰ مترمکعب اختلاف معنی‌داری نداشت. Honarparvar و Tamiz (۲۰۰۶) نیز با مطالعه اثر دورآبیاری و میزان آب در زراعت سیب‌زمینی در منطقه اردبیل گزارش دادند که اعمال ۴۵۶۰ مترمکعب آب در نه نوبت بالاترین عملکرد را تولید نمود.

### نتیجه‌گیری کلی

میزان کارایی مصرف منابع مختلف (شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آب) در سیب‌زمینی در مکان‌های مختلف کشت این گیاه در کشور با یکدیگر متفاوت بود؛ به طوری که استان اردبیل به عنوان یکی از تولیدکننده‌های اصلی این محصول در ایران است که بالاترین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و آب (به ترتیب با ۱۵۹/۰۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن، ۱۷۷/۳۰ کیلوگرم غده بر کیلوگرم فسفر و ۷/۱۵ کیلوگرم غده بر

گل‌دهی باعث تحریک شدید رشد اندام‌های هوایی و افزایش ارتفاع گیاه شده و در نتیجه از عملکرد غده کاسته می‌شود (Rykaczewska, 2017). از دیگر اثرات مضر افزایش دما بیش از دمای بهینه در سیب‌زمینی، احتمال بروز ناهنجاری فیزیولوژیک لکه قهوه‌ای در غده بوده که گاهی با نام زنگ داخلی غده نیز یاد می‌شود. همچنین افزایش دما و بروز تنش گرمایی منجر به رشد ثانویه، جوانه‌زنی و کاهش درصد ماده خشک در غده می‌گردد (Sterrett et al., 2003). علاوه بر این، دما عامل مهمی است که بر اساس نظر برخی محققان بر اساس آن زمان انجام مدیریت زراعی نیز تعیین و انتخاب می‌شود (Ahmadi et al., 2025).

دامنه مصرف کود نیتروژن در مناطق مختلف کشور برای سیب‌زمینی بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود که بیشترین میزان مصرف آن بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعیین شد (شکل ۶). در این راستا، Arshadi و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای در زمینه بررسی تأثیر کود سرک نیتروژن بر عملکرد سیب‌زمینی گزارش دادند که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن به صورت سرک بالاترین عملکرد غده را تولید نمود. Sajedi و همکاران (۲۰۰۹) نیز با بررسی اثر تاریخ کاشت و مقادیر مختلف نیتروژن بیان داشتند که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن منجر به افزایش عملکرد و کیفیت غده سیب‌زمینی شد.

دامنه مصرف کود فسفر نیز در مناطق تحت بررسی حدود ۲۵ تا ۳۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار تعیین شد که بیشترین میزان مصرف آن حدود ۱۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بود (شکل ۶). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد ۶۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، تعداد و عملکرد غده‌های سیب‌زمینی با بازارپسندی بالا را افزایش می‌دهد (Zelalam et al., 2009; Jamshidi et al., 2014).

در مناطق مورد بررسی میزان پتاسیم مصرفی بین حدود ۶ تا ۲۸۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار متغیر بود که

عملکرد غده، به نظر می‌رسد که تحلیل شاخص‌های کارایی مصرف منابع و بررسی تأثیر عوامل اقلیمی و مدیریتی در سیستم‌های زراعی بر افزایش کارایی مصرف منابع مختلف در هر منطقه می‌تواند علاوه بر افزایش عملکرد، به کاهش تلفات مصرف منابع و کاهش هزینه‌های تولید نیز کمک نماید که این امر می‌تواند در راستای بهبود پایداری و افزایش وضعیت تولید غده سیب‌زمینی مدنظر قرار داده شود.

متر مکعب آب) را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج این پژوهش، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و آب مشاهده شد. از طرفی، رابطه مستقیم و معنی‌داری بین کارایی مصرف این منابع با عملکرد غده حاصل گردید.

در نهایت، با توجه به همبستگی معنی‌دار بین شاخص‌های کارایی مصرف منابع با یکدیگر و با متغیرهای اقلیمی و همچنین تأثیرگذاری مستقیم این معیارها بر

## References

- Abdul Hannan, A., Arif, M., Ranjha, A. M., Abid, A., Fan, X. H. & Li, Y. C. (2011). Using soil potassium adsorption and yield response models to determine potassium fertilizer rates for potato crop on a calcareous soil in Pakistan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(6), 645-655. [doi.org/10.1080/00103624.2011.550378](https://doi.org/10.1080/00103624.2011.550378)
- Afsharmanesh, R., Rahimi, A., Sakhafi, S. R. & Salehi, M. (2022). Physiological response of quinoa to nitrogen application under salinity conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(4), 129-143. (In Persian)
- Ahmadi, M., Mohammaddoost Chamanabad, H.R., Tobeh, A., Fakhari, R. & Farzaneh, S. (2025). Evaluation of phenological stages of three potato cultivars based on growth degree-day, light and thermal indices, and their effect on yield. *Journal of Vegetable Sciences*, 17(1), 155-168. [doi.org/10.22034/iuvs.2024.2021861.1350](https://doi.org/10.22034/iuvs.2024.2021861.1350) (In Persian)
- Andrea, Á., Muriel, Q., Stanley, L., Juan Pablo, M. & Carolina, L. (2020). Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Research*, 251, 107786. [doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786)
- Arshadi, M. J., Khazaei, H. R. & Kafi, M. (2013). Evaluation of effect of nitrogen topdress fertilizer application by using chlorophyll meter on yield, yield components and growth indices of potato. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4), 573-582. (In Persian)
- Aulakh, M. S. & Malhi, S. S. (2005). Interactions of nitrogen with other nutrients and water: effect on crop yield and quality, nutrient use efficiency, carbon sequestration, and environmental pollution. *Advances in Agronomy*, 86, 342-409. [doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86007-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86007-9)
- Bagheri, A. & Javadi, F. (2015). Factors influencing adoption of seed potato mini-tuber in Ardabil County. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 11(2), 149-164. (In Persian)
- Barghi, A., & Gholipoori, A. (2020). Variations of potato tuber yield and quality in response to vermicompost application and complete nano-fertilizer. *Journal of Vegetables Sciences*, 4(7), 41-56. [doi.org/10.22034/iuvs.2020.125590.1093](https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.125590.1093) (In Persian)
- Benabderrazik, K., Kopainsky, B., Tazi, L., Joerin, J. & Six, J. (2021). Agricultural intensification can no longer ignore water conservation—A systemic modelling approach to the case of tomato producers in Morocco. *Agricultural Water Management*, 256, 107082.
- Biswas, A., Chatterjee, S., Viswanath, M., Roy, A. & Roy, S. (2021). Consumptive water footprints and water use efficiency of two potato cultivars under different planting dates with different irrigation frequencies. *The Pharma Innovation Journal*, 10(6), 862-862.

- Cambouris, A. N., St. Luce, M., Zebarth, B. J., Ziadi, N., Grant, C. A. & Perron, I. (2016). Potato response to nitrogen sources and rates in an irrigated sandy soil. *Agronomy Journal*, 108(1), 391-401. [doi.org/10.2134/agronj2015.0351](https://doi.org/10.2134/agronj2015.0351)
- Darwish, T., Atallah, T., Elkhatb, M. & Hajasan, S. (2002). Impact of irrigation and fertigation on NO<sub>3</sub> leaching and soil-ground water contamination in Lebanon. 17<sup>th</sup>WCSS, 14<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> August, Thailand.
- El-Abedin, T. K. Z., Mattar, M. A., Alazba, A. A. & Al-Ghobari, H. M. (2017). Comparative effects of two water-saving irrigation techniques on soil water status, yield, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*, 225, 525-53. [doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.044](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.044)
- Emam, Y. & Ziaei, A. (2010). Evaluation of water and photosynthetic nitrogen use efficiency in two maize hybrids. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(3), 27-39. (In Persian)
- Engelbrecht, B. M. J., Comita, L. S., Condit, R., Kursar, T. A., Tyree, M. T., Turner, L. & Hubbell, S. P. (2007). Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature*, 447, 80-82. [doi.org/10.1038/nature05747](https://doi.org/10.1038/nature05747)
- Eskandari, A., Khazaie, H., Nezami, A., Kafī, M. & Majdabadi, A. (2011). Study the effects of irrigation regimes on physiological traits, yield and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Mashhad weather condition. *Journal of Horticultural Science*, 25(2), 201-210. (In Persian)
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. & Li, Y. C. (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*, 31(6), 1121-1157. [doi.org/10.1080/01904160802116068](https://doi.org/10.1080/01904160802116068)
- Forbes, G. A., Charkowski, A., Andrade-Piedra, J., Parker, M. L., and Schulte-Geldermann, E. (2020). Potato seed systems. *The Potato Crop*. Pp. 431-447. Springer, Cham.
- Gastal, F., Lemaire, G., Durand, J. L. & Louarn, G. (2015). Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. In: *Crop physiology*. pp. 161-206. Academic Press.
- Ghanbari, A., Farboudi, M., Alimohammadi, R., Faramarzi, A., Jamshidi, S. & Shamspour, S. (2007). Effects of potassium sulfate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) on quantity and quality of Agria and Satina potato cultivars in Miyaneh region, Iran. *Journal of New Agricultural Science*, 3(6), 69-79. (In Persian)
- Gitari, H. I., Karanja, N. N., Gachene, C. K., Kamau, S., Sharma, K. & Schulte-Geldermann, E. (2018). Nitrogen and phosphorous uptake by potato (*Solanum tuberosum* L.) and their use efficiency under potato-legume intercropping systems. *Field Crops Research*, 222, 78-84. [doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.019](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.019)
- Gong, X. Y., Chen, Q., Lin, S., Brueck, H., Dittert, K., Taube, F. & Schnyder, H. (2011). Tradeoffs between nitrogen and water-use efficiency in dominant species of the semiarid steppe of Inner Mongolia. *Plant and Soil*, 340, 227-238. [doi.org/10.1007/s11104-010-0525-9](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0525-9)
- Hamzehpour, G., Tobeh, A., Hassanpanah, D. & Farzaneh, S. (2025). Evaluation of tolerance of promising potato genotypes to drought stress in Ardabil region. *Journal of Vegetables Sciences*, 16(2), 29-50. [doi.org/10.22034/iuvs.2022.562871.1237](https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.562871.1237) (In Persian)
- Hatfield, J. L. and Dold, C. (2019). Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-103. [doi.org/10.3389/fpls.2019.00103](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103)
- Honarparvar, A. & Tamiz, S. H. (2006). Appropriate irrigation interval and water consumption of Potato in Ardabil. *Agricultural Knowledge*, 16(1), 235-244. (In Persian)
- Jalali, A. 2014. Potassium application management for potato farming in soil

- and water salinity condition. *Land Management Journal*, 2(1), 1-16. (In Persian)
- Jalali, A. H. & Nikouyei, A. R. (2020). Using meteorological statistics to deal with heat stress in potato. *Promotional Journal of Applied Potato Sciences*, 3(1), 9-16. (In Persian)
- Jami Moeini, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Keshavarz, P., Sorooshzadeh, A. & Ganjeali, A. (2010). Relationship between root morphological characteristics and nitrogen use efficiency in six potato cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), 444-454. (In Persian)
- Jamshidi, A. M., Ahmadi, A. & Darvishi, B. (2014). Yield and quality of potato seed and edible tubers in response to different phosphorus levels and nitrogen application times. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(4), 489-498. (In Persian)
- Jasim, A., Sharma, L. K., Zaeen, A., Bali, S. K., Buzza, A. & Alyokhin, A. (2020). Potato phosphorus response in soils with high value of phosphorus. *Agriculture*, 10(7), 264-278.  
[doi.org/10.3390/agriculture10070264](https://doi.org/10.3390/agriculture10070264)
- Kazemi, M. (2017). Quantitative analysis of potato production in northeastern of Iran. PhD Thesis in Agroecology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian)
- Keihani, A. & Saneinejad, A. (2015). Growth and yield response of potato plants to different nitrogen levels. *Journal of Crops Improvement*, 17(3), 583-593. (In Persian)
- Keshavarzi, M. (2019). Addressing compatibility of the farm management strategies with climate change: The case of Fars province. *Iranian Journal of Agricultural Extension and Education Journal*, 14(2), 10-123. (In Persian)
- Li, M., Zhang, H., Yang, X., Ge, M., Ma, Q., Wei, H., Dai, Q., Huo, Z., Xu, K. & Luo, D. (2014). Accumulation and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium of irrigated rice cultivars with high productivities and high N use efficiencies. *Field Crops Research*, 161, 55-63.  
[doi.org/10.1016/j.fcr.2014.02.007](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.02.007)
- Liao, X., Liu, G., Zotarelli, L., Cui, Y. & Snodgrass, C. (2016). Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. *Agricultural Water Management*, 165, 230-236.  
[doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.023](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.023)
- Lutaladio, N.B. & Castaldi, L. (2009). Potato: The hidden treasure. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 491-493.  
[doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.002)
- Meinzer, F.C. & Zhu, J. (1998). Nitrogen stress reduces the efficiency of the C<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> concentrating system and therefore quantum yield in *Saccharum* species. *Journal of Experimental Botany*, 49, 1227-234.  
[doi.org/10.1093/jexbot/49.324.1227](https://doi.org/10.1093/jexbot/49.324.1227)
- Minhas, J. & Kumar, D. (2005). Tuberization in heat tolerant hybrid Ht/92-621 under controlled temperature conditions. *Potato Journal*, 32, 83765147.
- Ministry of Agriculture-Jihad. (2022) Agricultural Statistics, (Vol. II). Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jihad, Press, Iran. (In Persian)
- Mirbagheri, E., Abbaspour, A., Rohani, A. & Ghorbani, H. (2012). Evaluation of Phosphorus Status in Some Potato Fields of Mojen Region in Semnan Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 26(3), 235-243. (In Persian)
- Monte, J. A., Carvalho, D. F., Medici, L. O., da Silva, L. D. B. & Pimentel, C. (2013). Growth analysis and yield of tomato crop under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(9), 926-931.  
[doi.org/10.1590/S1415-43662013000900003](https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900003)
- Oerke, E. C. & Dehne, H. W. (2004). Safeguarding production-losses in major

- crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, 23(4), 275-285.  
[doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001)
- Rahmani, M. & Aboutalebian M. A. (2021). Response of tuber yield and some physiological growth indices of potato to phosphate and mycorrhizae under moisture stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), 35-49. (In Persian)
- Ramazanipour, M. (2019). Predict the impact of climatic change on the agro-climatic indexes and rice yield case study: North of Iran. *Journal of Zonal Planning*, 8(32), 69-80. (In Persian)
- Rathke, G.W, Behrens, T. & Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117, 80-108.  
[doi.org/10.1016/j.agee.2006.04.006](https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.04.006)
- Rykaczewska, K. (2017). Impact of heat and drought stresses on size and quality of the potato yield. *Plant, Soil and Environment*, 63, 40-46.  
[doi.org/10.17221/691/2016-PSE](https://doi.org/10.17221/691/2016-PSE)
- Sadras, V.O. & Rodriguez, D. (2010). Modelling the nitrogen-driven trade-off between nitrogen utilization efficiency and water use efficiency of wheat in eastern Australia. *Field Crops Research*, 118, 297-305.  
[doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.010](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.010)
- SadreGhayen, S.H., Nakhjavani Moghaddam, M.M. & Baghani, J. (2019). Effects of planting patterns and different water levels on yield of potato affected as drip irrigation (tape) under Firuzkuh region. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4(10), 99-108. (In Persian)
- Sajedi, N. A., Sheikhalivand, S., Madani, H. & Safari Kamalabadi, H. 2009. Effects of planting date and nitrogen rates on agronomical traits of potato var. Markiz. *New Finding in Agriculture*, 3(3), 287-301. (In Persian)
- Salim, N. & Raza, A. 2020. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), 297-315.  
[doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907](https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907)
- Sikder, R. K., Wang, X., Zhang, H., Gui, H., Dong, Q., Jin, D. & Song, M. (2020). Nitrogen enhances salt tolerance by modulating the antioxidant defense system and osmoregulation substance content in *Gossypium hirsutum*. *Plants*, 9(4), 450-461.  
[doi.org/10.3390/plants9040450](https://doi.org/10.3390/plants9040450)
- Sobhani, A. & Hamidi, H. (2013). Effect of different potassium levels on yield and growth indices of potato in Mashhad climate condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 27(3), 341-356. (In Persian)
- Soratto, R. P., Fernandes, A. M., Pilon, C. & Souza, M. R. (2019). Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants. *Journal of Plant Nutrition*, 42(3), 218-233.  
[doi.org/10.1080/01904167.2018.1554072](https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1554072)
- Sparrow, I. A. & Chapman, S. R. (2003). Effects of nitrogen fertilizer on potato (*Solanum tuberosum* L.) in Tasmania. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43, 631-641.
- Sterrett, S. B., Henninger, M. R., Yench, G. C., Lu, W., Vinyard, B. T. & Haynes, K. G. (2003). Stability of internal heat necrosis and specific gravity in tetraploid x diploid potatoes. *Crop Science*, 43, 790-796.  
[doi.org/10.2135/cropsci2003.7900](https://doi.org/10.2135/cropsci2003.7900)
- Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J. & van der Werf, W. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: are there principles? *Advances in*

- Agronomy*, 160(1), 1-50.  
[doi.org/10.1016/bs.agron.2019.10.002](https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.10.002)
- The, S. V., Snyder, R. & Tegeder, M. (2021). Targeting nitrogen metabolism and transport processes to improve plant nitrogen use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 11, 628366.  
[doi.org/10.3389/fpls.2020.628366](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.628366)
- Timlin, D., Rahman, S. M. L., Baker, J., Reddy, V. R., Flesher, D. & Quebedeaux, B. (2006). Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. *Agronomy Journal*, 98, 1195-1203.  
[doi.org/10.2134/agronj2005.0260](https://doi.org/10.2134/agronj2005.0260)
- Trehan, S.P. & Singh, B.P. (2013). Nutrient efficiency of different crop species and potato varieties-in retrospect and prospect. *Potato Journal*, 40(1), 1-21.
- Trifonov, P., Lazarovitch, N. & Arye, G. (2018). Water and nitrogen productivity of potato growth in desert areas under low-discharge drip irrigation. *Water*, 10(8), 97-115.  
[doi.org/10.3390/w10080970](https://doi.org/10.3390/w10080970)
- Tripler, E., Ben-Gal, A. & Shani, U. (2007). Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). *Plant and Soil*, 297, 147-155.  
[doi.org/10.1007/s11104-007-9328-z](https://doi.org/10.1007/s11104-007-9328-z)
- Trippensee, A., Byrne, P., Boggess, W. & Smajstrla, A. (1996). Management Effect on Irrigation Water Use for Potato Farms of North Florida; Food and Resource Economics Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: Gainesville, FL, USA.
- Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A. & Datta, A. (2019). Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in Agronomy*, 156, 109-157.  
[doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.002](https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.002)
- Vaezi, A. R., Homae, N. & Malakoti, M. J. (2002). Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. *Iranian Journal of Soil and water Research*, 16(2), 152-159. (In Persian)
- Vos, J. (2009). Nitrogen responses and nitrogen management in potato. *Potato Research*, 52(4), 305-317.  
[doi.org/10.1007/s11540-009-9145-2](https://doi.org/10.1007/s11540-009-9145-2)
- Wang, C., Zang, H., Liu, J., Shi, X., Li, S., Chen, F. & Chu, Q. (2020). Optimum nitrogen rate to maintain sustainable potato production and improve nitrogen use efficiency at a regional scale in China: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5), 1-14.  
[doi.org/10.1007/s13593-020-00640-5](https://doi.org/10.1007/s13593-020-00640-5)
- Wang, Y., Mi, G., Chen, F., Zhang, J. & Zhang, F. (2004). Response of root morphology to nitrate supply and its contribution to nitrogen accumulation in maize. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 2189-2202.  
[doi.org/10.1081/PLN-200034683](https://doi.org/10.1081/PLN-200034683)
- Xu, F., Xiong, H., Zhang, L., Guo, X., Zhu, Y., Zhou, X. & Liu, M. (2011). Characteristics of nutrient uptake and utilization of mid-season hybrid rice under different nitrogen application rates in different locations of south west China. *Acta Agronomica Sinica*, 37, 882-894.  
[doi.org/10.12357/cjea.20230691](https://doi.org/10.12357/cjea.20230691)
- Yang, X., Ma, Q., Zhang, H., Wei, H., Li, G., Li, M., Dai, Q., Huo, Z., Xu, K., Zhang, Q., Guo, B. & Ge, M. (2012). Characteristics and correlation analysis of N and P uptake and utilization of early maturing late *Japonica* under different N fertilizer levels. *Acta Agronomica Sinica*, 38, 174-180 (in Chinese)
- Zelalem, A., Tekalign, T. & Nigusie, D. (2009). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 3, 016-024.

- Zhang, G., Tang, R., Niu, S., Si, H., Yang, Q., Bizimungu, B., Regan, S. & Li, X. Q. (2020). Effects of earliness on heat stress tolerance in fifty potato cultivars. *American Journal of Potato Research*, 97, 23-32. [doi.org/10.1007/s12230-019-09740-9](https://doi.org/10.1007/s12230-019-09740-9)
- Zhang, X., Davidson, E., Mauzerall, D., Searchinger, T. D., Dumas, P. & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528, 51–59. [doi.org/10.1038/nature15743](https://doi.org/10.1038/nature15743)
- Zvomuya, F., Rosen, C. J., Russelle, M. P. & Gupta, S. C. (2003). Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea of potato. *Journal of Environmental Quality*, 32, 480-489. [doi.org/10.2134/jeq2003.4800](https://doi.org/10.2134/jeq2003.4800)