

## Estimation of the Fertilizer Use Gap of Nitrogen, Phosphorus and Potassium for Plant Production in Golestan Province

Toktam Khosravian<sup>1</sup>, Ebrahim Zeinali<sup>2\*</sup>, Afshin Soltani<sup>3</sup>, Farhad Moshiri<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: T.khosravian@yahoo.com

<sup>2\*</sup>Corresponding author, Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: ebrahimzeinali@gmail.com

<sup>3</sup>Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: Afshin.soltani@gmail.com

<sup>4</sup>Assistant Professor, Department of Chemistry, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. Email: Fa.moshiri@yahoo.com

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
2022-12-17  
2025-7-29

### Keywords:

Nutrient balance  
Fertilizer use gap  
Nutrient requirement estimation  
Sustainable soil fertility

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Optimizing mineral nutrition is vital for achieving optimal crop yield, enhancing soil fertility, and ensuring the sustainability of plant production. In this context, accurately estimating fertilizer requirements for different crops and supplying them at appropriate and balanced rates is crucial for food security, economic viability, and environmental sustainability. Therefore, this study aimed to estimate the required amounts of three primary macronutrients—nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K)—fertilizers needed to achieve current crop yields, and to quantify the fertilizer use gap (i.e., the difference between actual fertilizer application rates and the amounts needed to maintain soil fertility under current yields) for field crops, fruit trees, and vegetables in Golestan Province, Iran

**Materials and methods:** In the first step, the required data to calculate the total amount of primary macronutrients absorbed for plant production in Golestan Province—including critical concentrations of N, P, and K in plant dry matter, crop yields, harvest indices, and cultivated areas—were collected. Using these data and N, P, and K depletion data, fertilizer requirements for plant production under both irrigated and rainfed conditions in Golestan Province during 2011-2020 were estimated using the Fertilcalc software. N fertilizer requirements were calculated assuming a 70% recovery efficiency; P fertilizer needs were estimated using a soil accumulation approach; and K fertilizer requirements were assessed based on a maintenance strategy to keep soil K at its critical threshold. Finally, the fertilizer use gap was calculated from the difference between the amount of fertilizers required to produce current yields and the actual amount of fertilizers consumed in the province.

**Results:** The results showed that, to sustain the current crop yields in Golestan province, approximately 60,000 tons of fertilizer N, 9,000 tons of fertilizer P, and 36,000 tons of fertilizer K are required annually. However, based on available statistics, the average annual use of these fertilizers during 2011- 2020 was 41,000, 4300, and 3500 tons,

---

---

respectively. These findings indicate that the use of N, P, and K fertilizers was, respectively, 30%, 62%, and 90% lower than the amounts required to maintain current production levels. It is worth noting that this fertilizer use gap was not uniform across all crops and regions: in some cases, fertilizer use met the required rates; in others—particularly for cash crops—it exceeded the required levels; and in many cases, it was below the needed amounts. Therefore, in addition to the overall fertilizer use gap, the spatial and crop-specific variability in this gap makes optimization efforts even more challenging.

**Conclusion:** This study highlights a substantial fertilizer use gap for three primary macronutrients in Golestan Province. Continued insufficient application of fertilizers threatens the long-term sustainability of soil fertility by depleting both organic and mineral nutrient reserves. The fertilizer requirements estimated here are based on sustaining current yield levels. Therefore, achieving attainable yields and ensuring long-term soil fertility will demand even greater nutrient inputs than those calculated for current yields.

---

**Cite this article:** Khosravian, T., Zeinali, E., Soltani, A., Moshiri, F. 2026. Estimation of the Fertilizer Use Gap of Nitrogen, Phosphorus and Potassium for Plant Production in Golestan Province. *Crop Production Journal*, 18 (4), 1-22.

---



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2026.20883.2554](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.20883.2554)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹۸  
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



### برآورد خلأ مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید محصولات گیاهی در استان گلستان

تکتم خسرویان<sup>۱</sup>، ابراهیم زینلی<sup>۲\*</sup>، افشین سلطانی<sup>۳</sup>، فرهاد مشیری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

رایانامه: [T.khosravian@yahoo.com](mailto:T.khosravian@yahoo.com)

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

رایانامه: [ebraahimzeinali@gmail.com](mailto:ebraahimzeinali@gmail.com)

<sup>۳</sup> استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [Afshin.soltani@gmail.com](mailto:Afshin.soltani@gmail.com)

<sup>۴</sup> استادیار، گروه شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران. رایانامه: [Fa.moshiri@yahoo.com](mailto:Fa.moshiri@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۸</p> <p>واژه‌های کلیدی: بیلان عناصر غذایی خلأ مصرف کود مقدار کود بهینه</p>	<p><b>سابقه و هدف:</b> بهینه‌سازی تغذیه معدنی به منظور اطمینان از دستیابی به عملکردهای مطلوب، بهبود حاصلخیزی خاک‌ها و همچنین پایداری تولید محصولات گیاهی ضروری است. در این راستا، برآورد دقیق مقدار کود موردنیاز برای تولید گیاهان مختلف و فراهمی آن‌ها در حد بهینه و متعادل به لحاظ امنیت غذایی، اقتصادی و محیط زیستی حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور، مطالعه حاضر با هدف تعیین مقدار عناصر غذایی اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) موردنیاز برای تولید محصولات گیاهی مهم با عملکردهای فعلی و برآورد خلأ مصرف کودهای این عناصر (یعنی اختلاف بین مقدار واقعی مصرف کودهای این عناصر با مقدار کودی که برای دستیابی به عملکردهای فعلی بدون کاهش حاصلخیزی خاک موردنیاز است) در تولید محصولات زراعی، باغی و سبزیجات استان گلستان انجام شد.</p> <p><b>مواد و روش‌ها:</b> نخست، اطلاعات موردنیاز برای محاسبه مقدار کل عناصر اصلی جذب‌شده برای تولید محصولات گیاهی در استان گلستان شامل غلظت بحرانی در ماده خشک گیاهی، عملکرد، شاخص برداشت، و سطح زیر کشت، و همچنین مقدار عناصر اصلی خارج‌شده از مزارع زیر کشت تمامی محصولات زراعی، باغی و سبزیجات استان گلستان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ جمع‌آوری، و سپس مقدار کود موردنیاز برای تولید این محصولات در شرایط کشت آبی و دیم برآورد شد. در این مطالعه به‌منظور انجام محاسبات مربوط به مقدار کود موردنیاز از روشی مبتنی بر نرم‌افزار Ferticalc استفاده شد. مقدار کود نیتروژن مورد نیاز بر اساس کارآیی بازیافت ۷۰ درصد، کود فسفر بر اساس رهیافت انباشت تدریجی عنصر در خاک و کود پتاسیم بر اساس رهیافت نگهداشت عنصر در خاک در سطح بحرانی برآورد گردید. سپس، با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده و داده‌های مربوط به مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در استان گلستان، مقدار خلأ مصرف این کودها برای دستیابی به عملکردهای فعلی محصولات گیاهی محاسبه شد.</p>

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که برای پایداری عملکردهای فعلی محصولات گیاهی در استان گلستان، سالانه حدود ۶۰ هزار تن نیتروژن خالص ۹ هزار تن فسفر خالص و ۳۶ هزار تن پتاسیم خالص مورد نیاز است، در حالی که بر اساس آمار موجود در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ به‌طور میانگین ۴۱ هزار تن کود نیتروژن (بر اساس نیتروژن خالص)، ۳/۴ هزار تن کود فسفر (بر اساس فسفر خالص) و ۳/۵ هزار تن کود پتاسیم (بر اساس پتاسیم خالص) مصرف شده است. این نتایج حاکی از آن است که در این مدت، مقدار مصرف کود نیتروژن ۳۰ درصد، فسفر ۶۲ درصد و پتاسیم ۹۰ درصد کمتر از مقدار مورد نیاز برای پایداری تولید در سطح عملکردهای فعلی بوده است. البته این خلأ کودی برای همه گیاهان یکسان نبوده و مقدار کود مصرف‌شده برای برخی گیاهان و مناطق در حد نیاز، برای برخی بیش از حد نیاز (گیاهان پرسود) و برای بقیه کمتر از حد نیاز بود. بنابراین، علاوه بر خلأ مصرف کود، نایک‌نواختی خلأ، بهینه‌سازی را دشوارتر می‌سازد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه حاکی از وجود خلأ قابل توجه در مصرف کودهای سه عنصر پرمصرف نیتروژن (۳۰ درصد)، فسفر (۶۲ درصد) و پتاسیم (۹۰ درصد) در استان گلستان می‌باشد. با توجه به اینکه خلأ مصرف کود با گذشت زمان موجب کاهش ذخایر آلی و معدنی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در خاک می‌شود، انجام اقدام‌های لازم برای برطرف نمودن این خلأ ضروری می‌باشد. تأکید می‌گردد که مقادیر کود لازم به‌دست آمده در این مطالعه بر اساس تولید عملکردهای واقعی فعلی محصولات گیاهی به‌علاوه حفظ حاصلخیزی خاک می‌باشد و بدون تردید برای دستیابی به عملکردهای قابل حصول و حفظ حاصلخیزی خاک‌ها، مقادیری بیشتر از مقادیر به‌دست آمده مورد نیاز است.

**استناد:** خسروی‌ان، تکتیم؛ زینلی، ابراهیم؛ سلطانی، افشین؛ مشیری، فرهاد. (۱۴۰۴). برآورد خلأ مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید محصولات گیاهی در استان گلستان. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۴)، ۲۲-۱.



[10.22069/ejcp.2026.20883.2554](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.20883.2554)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



## مقدمه

پایداری بوم نظام‌های کشاورزی به معنی توانایی آن‌ها برای حفظ میانگین تولید در طول زمان می‌باشد. در صورتی که استفاده از منابع موجود بیش از توانایی طبیعت برای جبران و جایگزینی منابع ازدست‌رفته باشد، پایداری بوم نظام بهم خورده و اثرات مخرب فراوانی را برای محیط‌زیست به همراه خواهد داشت (۱). از جمله مهمترین مشکلات محیط‌زیستی به وجود آمده می‌توان به تخلیه منابع آب، شور شدن و فرسایش خاک‌ها، کاهش ماده آلی، تخلیه عناصر غذایی، بیابانی شدن و آلودگی خاک‌ها اشاره کرد که موجب کاهش قابل توجه ظرفیت تولید محصولات کشاورزی می‌شوند (۱ و ۲).

حفظ امنیت غذایی جامعه در حال رشد بشری، نیازمند افزایش تولید محصولات گیاهی متناسب با افزایش جمعیت می‌باشد (۳). برای پایداری تولید و بهبود امنیت غذایی می‌بایست فشرده‌سازی اکولوژیک (افزایش عملکرد در واحد سطح به ازای هر واحد از منابع یا نهاده‌های مورداستفاده) صورت پذیرد (۱). حاصلخیزی خاک‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پایداری نظام‌های زراعی می‌باشد؛ به طوری که در بیانیه جهانی غذا از آن به عنوان کلید تحقق امنیت جهانی غذا یاد شده است (۴). حاصلخیزی به ماهیت ذاتی خاک و همچنین به عملیات انجام شده به منظور اصلاح و بهبود آن بستگی دارد. به همراه رشد تولید محصولات در دهه‌های اخیر بخش وسیعی از خاک‌های کشاورزی کشور با کمبود مواد آلی و تخلیه عناصر غذایی مواجه شده‌اند (۵).

مهمترین عوامل محدودکننده حاصلخیزی خاک‌ها در ایران، کم بودن مقدار ماده آلی و کمبود یک یا چند عنصر غذایی می‌باشد. تحلیل حدود ۲۳۷۰۰ داده تجزیه خاک حاصل از طرح‌های تحقیقاتی کلان کشور نشان می‌دهد که کربن آلی حدود ۶۱ درصد از اراضی

کشور کمتر از یک درصد می‌باشد (۶ و ۷). مقدار مناسب ماده آلی در خاک‌های کشاورزی ۱ تا ۲ درصد (۸) و حتی بالاتر تا ۳ الی ۶ درصد نیز گزارش شده است (۱). مقدار فسفر قابل استفاده حدود ۷۰ درصد زمین‌های کشاورزی ایران کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (با روش اولسن) می‌باشد و در اکثر استان‌ها، به جز گیلان و مازندران بیش از ۵۰ درصد خاک‌ها با کمبود فسفر مواجه هستند. مقدار پتاسیم قابل استفاده حدود ۳۰ درصد از اراضی کشور نیز کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (با عصاره‌گیر استات-آمونیم) می‌باشد و در اکثر مناطق کشور روند کاهشی در مقدار پتاسیم خاک‌ها مشاهده می‌شود (۶ و ۹).

از جمله عوامل مؤثر بر کاهش ماده آلی خاک‌ها می‌توان به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، جوان بودن و حاصلخیزی کم خاک‌ها، عوامل کیفی نامناسب مانند شوری و اسیدیته زیاد خاک‌ها و عوامل مدیریتی مانند تغییر کاربری اراضی، مدیریت نامناسب خاک‌ورزی و حذف کامل بقایای گیاهی پس از برداشت محصول اشاره کرد (۷). با خروج تمام یا بخشی از ماده خشک گیاهی، عناصر غذایی تجمع یافته در آن نیز از مزرعه خارج می‌شوند. بدین ترتیب، با تداوم زراعت و تولید مستمر محصولات، مقدار عناصر غذایی (خصوصاً عناصر با مقدار جذب زیاد مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) به تدریج در خاک کاهش می‌یابد (۲).

یکی از اصول ابتدایی تولید پایدار، ارتقای کیفیت و حاصلخیزی خاک و بازگرداندن مجدد عناصر غذایی جذب شده از خاک می‌باشد (۱۰) که متأسفانه در کشور ما نادیده گرفته شده است (۱۱). متأسفانه برداشت مستمر عناصر غذایی از خاک و عدم جبران آن موجب کاهش حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی کشور و در نتیجه کاهش توانایی خاک برای حمایت از رشد و تولید محصولات و افزایش مقدار

سوی دیگر، مقایسه مقدار مصرف کودهای شیمیایی با در نظر گرفتن مقدار تولید محصولات کشاورزی ایران در بیش از ۵۰ سال گذشته (۱۳۴۰-۱۳۹۴) حاکی از تخلیه عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم از خاک‌ها و در نتیجه عدم پایداری حاصلخیزی می‌باشد. مشیری و زاهدی‌فرد (۲۰۱۹) با مقایسه روند میزان عناصر غذایی برداشت‌شده توسط کل محصولات زراعی و باغی با روند عناصر غذایی جبران شده از طریق کوددهی، کاهش بینه غذایی خاک‌ها را گزارش داده‌اند. در مطالعه آن‌ها بیش‌ترین بیلان منفی متعلق به عنصر پتاسیم (۵۵۷ هزار تن) و سپس نیتروژن (۱۴۷ هزار تن) بوده و مقدار تخلیه فسفر (۴۰ هزار تن) از عناصر دیگر کمتر برآورد شده است. ایشان برای بهبود بیلان منفی عناصر توصیه‌های کودی بر مبنای راهبردهای انباشت و نگهداشت را در کنار راهبرد سطح کفایت پیشنهاد داده‌اند (۲۰).

مبنای توصیه کودی در ایران بیشتر براساس بررسی منحنی‌های پاسخ گیاهان به مصرف کود (مدل‌های گیاه محور) می‌باشد (۱۲). علی‌رغم اهمیت زیاد، توجه به رهیافت‌های انباشت تدریجی و نگهداشت عناصر غذایی در خاک به‌منظور پایداری حاصلخیزی خاک‌ها، در توصیه‌های کودی توجه زیادی به آن‌ها نشده است. همچنین، برداشت مستمر عناصر غذایی از خاک‌ها با تولید گیاهان و عدم جایگزینی آن‌ها روز به روز خاک‌های کشور را فقیرتر می‌کند. از طرف دیگر در سال‌های اخیر ابراز نگرانی‌های زیادی مبنی بر مصرف بی‌رویه کودها در کشور شده است؛ بنابراین، بررسی این موضوع که مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مزارع در مقایسه با مقدار واقعی موردنیاز برای تولید گیاهان در چه وضعیتی قرار دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور مطالعه حاضر با هدف محاسبه مقدار کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم موردنیاز برای

مصرف کود موردنیاز برای رشد و نمو گیاهان شده است (۱۲ و ۱۳). نتایج مطالعات FAO و جمع‌بندی نتایج ۴۰ هزار آزمایش نشان‌دهنده آن است که مصرف کودهای شیمیایی موجب بیش از ۵۵ درصد افزایش تولید محصولات کشاورزی در چند دهه گذشته شده است (۱۴ و ۱۵). در ایالات متحده آمریکا و انگلیس در قرن بیستم مصرف کودها در افزایش عملکرد محصولات، سهمی حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد و در نواحی گرمسیری سهمی بیشتر از این داشته‌اند. نتایج مطالعه استوارت و همکاران (۲۰۰۵) در ۳۶۲ فصل زراعی حاکی از وابستگی حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از عملکرد مزارع و باغات به مصرف کودهای شیمیایی بود (۱۶). باین حال، مقدار افزایش عملکرد گیاهان زراعی به عوامل مختلفی مانند پتانسیل عملکرد رقم، شرایط اقلیمی و خاکی و عرضه عناصر غذایی توسط خاک در طول فصل رشد وابسته می‌باشد (۱۷). در مطالعه امجدیان و همکاران (۲۰۲۱)، مصرف کود دامی به همراه کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گندم (۳۴۴۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۸۸ درصد نسبت به شاهد) شد (۱۸). مقایسه ایران با سایر کشورها در مصرف کود، ضرورت افزایش مصرف کودها را نشان می‌دهد. درحالی‌که میانگین مصرف کودهای پسر مصرف در جهان تقریباً برابر ۲۶۵ کیلوگرم در هکتار است، در سال ۱۳۹۵ مقدار کود مصرفی در ایران ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار (۴۸ درصد کمتر) بوده است (۱۱). متشروع‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) با مقایسه روند کوددهی در ایران (در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲) با کشورهای آلمان، فرانسه، ژاپن، ترکیه و آمریکا بیان کردند که به‌طور میانگین بیش‌ترین مقدار مصرف کود (بر اساس عنصر خالص) مربوط به ژاپن (۳۵۳ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ایران (۶۶ کیلوگرم در هکتار) بوده است (۱۹). از

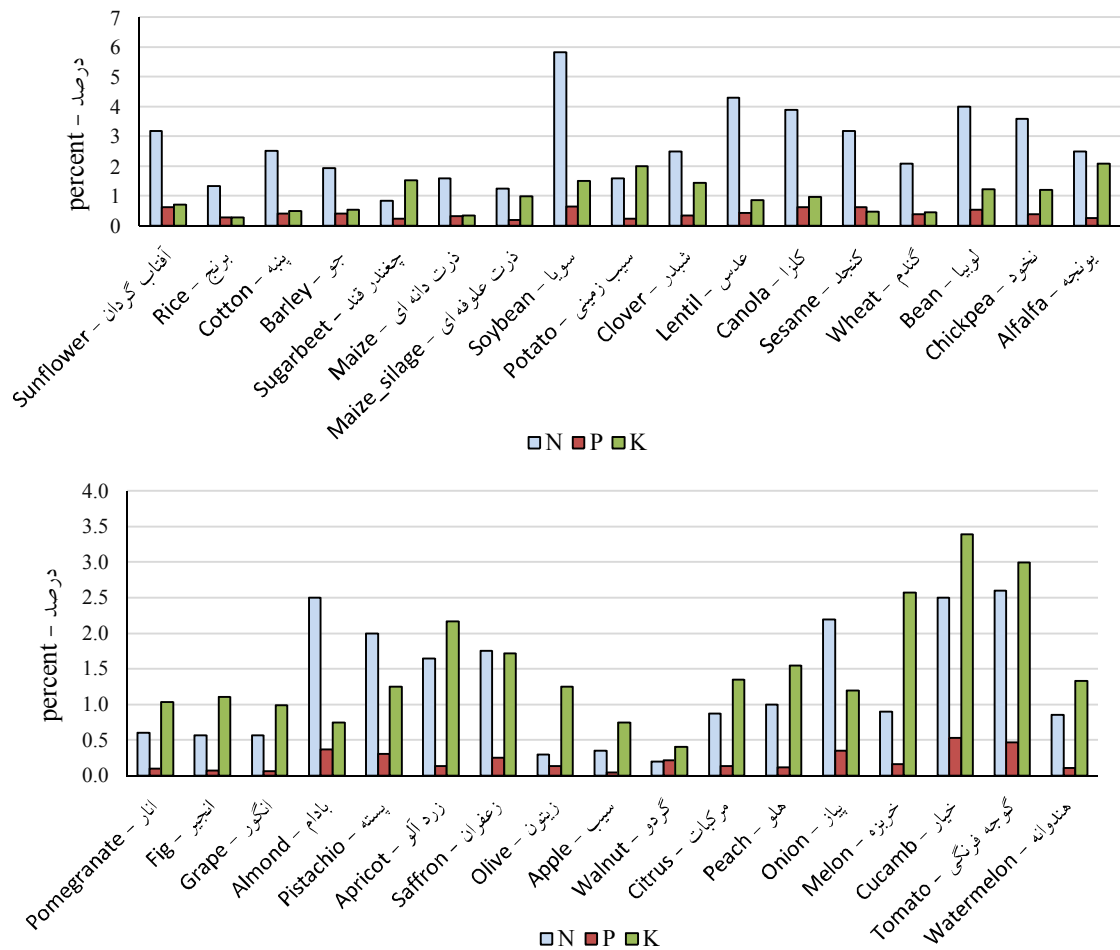
همچنین، به‌طور کلی بافت خاک باغات و مزارع آبی این استان از نوع رسی و بافت مزارع دیم آن از نوع لومی می‌باشد (۲۴). در این مطالعه برخی نتایج بر اساس گروه‌بندی نیز آورده شده است که در آن منظور از حبوبات: نخود، لوبیا و عدس و منظور از گیاهان و دانه‌های روغنی: آفتاب‌گردان، سویا، کلزا، کنجد، پنبه و زیتون می‌باشد.

**محاسبه مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده توسط گیاهان:** برای محاسبه مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده برای تولید هر یک از محصولات گیاهی اطلاعات سطح زیر کشت و عملکرد هر گیاه در دو شرایط آبی و دیم از آمارنامه‌های وزارت کشاورزی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ استخراج شد (۲۵ و ۲۶). در مطالعه حاضر، شاخص برداشت برای گیاهان باغی ۰/۶ (۲۷) در نظر گرفته شد و برای سایر گیاهان از مدل شبیه‌سازی گیاهان (۲۸ و ۲۹) به‌دست آمد. مقدار بقایای گیاهی نیز با استفاده از مقادیر عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت محاسبه شد. به‌منظور محاسبه مقدار عناصر جذب شده توسط هر گیاه، عملکرد اقتصادی و عملکرد بقایای گیاهی (هر دو بر اساس وزن خشک) در غلظت عنصر موردنظر ضرب شدند. غلظت عناصر موجود در گیاهان مختلف از منبع ویلاوبوس و فررز (۲۰۱۶) اخذ و در شکل ۱ آورده شده است (۲۷). برای اطمینان بیشتر از صحت داده‌ها، پس از بررسی سایر منابع معتبر، در مواردی که اختلاف قابل توجهی وجود داشت، غلظت‌ها اصلاح شدند (۳۰ تا ۳۹). در نهایت، مجموع مقدار عنصر تجمع یافته در بخش اقتصادی و بقایای گیاهی آن محصول برابر با مقدار کل عنصر جذب شده در یک هکتار زمین برای عملکردهای فعلی می‌باشد.

تولید محصولات گیاهی در استان گلستان و مقایسه آن با مقدار واقعی مصرف شده در این استان انجام شد.

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به‌منظور محاسبه مقدار خلأ مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید تمامی گیاهان کشت شده در استان گلستان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ انجام شد. گیاهان مورد مطالعه شامل گیاهان زراعی (آفتاب‌گردان، برنج، پنبه، جو، چغندر قند، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، سویا، سیب زمینی، شبدر، عدس، کلزا، کنجد، گندم، لوبیا، نخود و یونجه) گیاهان باغی (انار، انجیر، انگور، بادام، پسته، زردآلو، زیتون، سیب، گردو، مرکبات و هلو)، سبزیجات (پیاز، خربزه، خیار، گوجه‌فرنگی و هندوانه) و همچنین گوجه‌فرنگی و خیار گلخانه‌ای بودند. لازم به ذکر است مابقی محصولات کشت شده در این استان در دو گروه سایر گیاهان زراعی و سبزیجات و سایر گیاهان باغی قرار داده شدند. در این مطالعه به‌منظور محاسبه مقدار کود موردنیاز از مازول تهیه شده توسط سلطانی و همکاران (۲۰۱۹) که مبتنی بر نرم‌افزار Ferticalc (۲۲) می‌باشد، استفاده شد (۲۱). روش این مازول برای برآورد مقدار کود نیتروژن موردنیاز (بر اساس عنصر خالص) مبتنی بر آن است که مقدار مازاد نیاز گیاه به عناصر غذایی نسبت به توانایی عرضه توسط خاک باید از طریق کوددهی به خاک اضافه شود. همچنین مقدار کود فسفر موردنیاز بر اساس رهیافت انباشت تدریجی عنصر در خاک و مقدار کود پتاسیم موردنیاز بر اساس رهیافت نگهداشت عنصر در خاک در سطح بحرانی، برآورد گردید. به‌طور متوسط خاک‌های استان گلستان دارای ۹ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر (به روش اولسن) و ۱۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم تبدلی (به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم) می‌باشند (۲۳).



شکل ۱- غلظت نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) در ماده خشک اندام دارای ارزش اقتصادی گیاهان مورد مطالعه (منابع: ۳۰ تا ۳۹)  
 Figure 1- The concentration of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in economically valuable organs of the studied plants(ref: 30 to 39)

ولی در صفر درصد یعنی بقایا در مزرعه باقی مانده و تنها عناصری که از خاک تخلیه می شوند، مقادیر تجمع یافته در بخش اقتصادی محصول هستند. مقادیر مربوط به تخلیه عناصر در گیاهان مختلف از طریق روشی مشابه با مقدار عنصر جذب شده، برای استان گلستان محاسبه شد. برای محاسبه نیتروژن مورد نیاز لگومها (در مطالعه حاضر شامل یونجه، شبدر، نخود، لوبیا، سویا و عدس) فرض شد که ۸۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز این گیاهان از طریق رابطه همزیستی با باکتری های تثبیت کننده نیتروژن مولکولی اتمسفر تأمین می شود (۲۷).

محاسبه مقدار عناصر غذایی تخلیه شده از خاک: مقدار عنصر تخلیه شده از خاک مزرعه برابر با مقدار کل عنصر موجود در محصول اقتصادی به علاوه مقدار عنصر موجود در بقایای خارج شده از مزرعه (خارج کردن بقایا از مزرعه یا حذف به طرق دیگر مانند آتش زدن) می باشد. در این مطالعه مقدار خروج بقایا از زمین برای گیاهان علوفه ای ۱۰۰ درصد، گندم و جو ۸۰ درصد، برنج و سویا ۷۰ درصد، چغندر قند ۵۰ درصد، سیب زمینی ۳۵ درصد و سایر گیاهان صفر درصد در نظر گرفته شد. خروج ۱۰۰ درصد بقایا بدان معنی است که کل بقایای گیاهی تولید شده و در نتیجه عناصر تجمع یافته در آن از مزرعه خارج می شوند

$N_{res}$  و  $N_{yield}$  در زراعت آبی به ترتیب برابر ۶۴ و ۲۱ کیلوگرم در هکتار و در زراعت دیم برابر ۴۴ و ۲۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشند.  $N_{other}$  مقدار نیتروژن اندکی است که از سایر راه‌ها مثل انباشت اتمسفری و یا آب آبیاری ممکن است وارد خاک شده و در دسترس گیاهان قرار گیرد (در این مطالعه برابر با ۱۰ کیلوگرم در هکتار).  $Ef$  کارایی بازیافت نیتروژن است و ۷۰ درصد در نظر گرفته شد (۲۷).

درختان بالغ در انتقال نیتروژن از برگ‌ها به مخازن (میوه‌ها) قبل از ریزش برگ‌ها بسیار کارآمد هستند و در نتیجه این عنصر مجدداً در اختیار گیاه قرار می‌گیرد؛ بنابراین در مورد محصولات باغی برای محاسبه مقدار نیتروژن مورد نیاز، فقط مقدار نیتروژن برداشت‌شده توسط محصول و همچنین نیتروژن موجود در بخش‌های هرس شده و برگ‌های ریزش یافته در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه فرض شد که برگ‌های ریزش یافته از باغ خارج نمی‌شوند و در نتیجه بعد از معدنی شدن بقایا، نیتروژن موجود در آن‌ها مجدداً مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. برای محاسبه مقدار نیتروژن مورد نیاز درختان از رابطه زیر استفاده خواهد شد:

معادله ۲:

$$N_{fert} = (Y/Ef) (N_{fruit} + 0.5 Bpl * (1-HI) / HI) * N_{pl}$$

در این رابطه  $N_{fert}$  مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز برای گیاه در طی فصل رشد،  $Y$  عملکرد میوه (بر اساس وزن خشک) و  $HI$  شاخص برداشت محصول می‌باشد. با توجه به مطالعات مختلف، شاخص برداشت میوه‌ها معمولاً بیش‌تر از ۰/۵ است و زمانی که در مورد گونه‌های مختلف اطلاعاتی در دسترس نباشد مقدار آن را ۰/۶ در نظر می‌گیرند.  $Ef$  کارایی بازیافت نیتروژن و برابر ۷۰ درصد می‌باشد.  $N_{fruit}$  غلظت نیتروژن در میوه و  $N_{pl}$  غلظت نیتروژن در برگ‌های پیر و همچنین در بخش‌های هرس شده (۱ درصد)

### محاسبه مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز گیاهان

برای محاسبه مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز گیاهان زراعی و سبزیجات از رابطه زیر استفاده شد:  
معادله ۱:

$$N_{fert} = (N_{end} + (1 + fNR) (N_{yield} + N_{res}) - K_{im} * F_{res} * N_{res} - fNR * (N_{yield} + N_{res}) - N_{other}) / (Ef)$$

در این معادله  $N_{fert}$  مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز گیاه در طی فصل رشد،  $N_{end}$  مقدار نیتروژن معدنی باقی‌مانده در خاک در پایان فصل رشد است که توسط گیاه قابل استفاده نیست (برای بقولات ۲۰ و برای سایر گیاهان ۱۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد). منظور از  $fNR$  نسبت نیتروژن ریشه به بخش هوایی گیاه (۰/۲) می‌باشد.  $N_{res}$  و  $N_{yield}$  به ترتیب مقدار نیتروژن تجمع یافته در بخش اقتصادی و بقایای گیاه می‌باشند. نیتروژن معدنی شده در طی فصل رشد گیاه نتیجه تجزیه مواد آلی پایدار و مواد آلی ناپایدار شامل بقایای محصول قبلی و بقایای علف‌های هرز می‌باشد. برای محاسبه این بخش از نیتروژن از ضریب  $K_{im}$  استفاده می‌شود. بیشترین مقدار این ضریب ۱ بوده و برای شرایطی است که بقایای آلی گیاه قبلی به طور کامل به خاک برگردانده شده و طی فصل رشد گیاه بدون تلفات معدنی شوند. در مواقعی که خاک‌ورزی صورت نگیرد و بقایا در سطح خاک حفظ شوند و یا در بقایای گیاهانی که غلظت نیتروژن پایین تری دارند، این ضریب کوچک‌تر از یک خواهد بود. همچنین،  $F_{res}$  کسر باقی‌مانده از بقایای محصول قبلی،  $N_{yield}$  مقدار نیتروژن موجود در بخش اقتصادی و  $N_{res}$  مقدار نیتروژن موجود در بقایای محصول قبلی می‌باشد. در مطالعه حاضر فرض مبتنی بر واقعیت این است که گیاه قبلی گندم بوده و بعد از آنکه ۸۰ درصد بقایا از زمین خارج شوند، عملیات خاک‌ورزی صورت پذیرد. بدین ترتیب ضریب  $K_{im}$  برابر ۰/۷،  $F_{res}$  برابر ۰/۸،

کیلوگرم و با بافت لومی ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم) و حد واقعی فسفر قابل استفاده در خاک با روش اولسن هستند.

**محاسبه مقدار پتاسیم کودی مورد نیاز گیاهان:** برای محاسبه مقدار پتاسیم مورد نیاز گیاهان نیز از استراتژی نگهداشت عناصر غذایی در خاک استفاده شد. در این استراتژی هدف حفظ عناصر موجود در خاک در سطح بحرانی و جلوگیری از کاهش آن می باشد. در نتیجه، مقدار کود پتاسیم مورد نیاز گیاهان بر اساس این استراتژی برابر با مقدار پتاسیم تخلیه شده از مزرعه توسط گیاه خواهد بود.

معادله ۴:  $K_{fert} = K_{Exported}$

در این معادله،  $K_{fert}$  مقدار پتاسیم کودی مورد نیاز گیاهان و  $K_{Exported}$  مقدار پتاسیم خارج شده از خاک به همراه برداشت محصولات (یعنی مقدار پتاسیم تخلیه شده از خاک) می باشد.

**محاسبه مقدار خلأ مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم:** مقدار خلأ مصرف کود عبارت است از تفاضل مقدار کود مورد نیاز گیاه با مقداری که در واقعیت مصرف شده است. بدین منظور، آمار مربوط به توزیع کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم از آمارنامه های جهاد کشاورزی (۴۰) از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ استخراج شدند. همچنین با در نظر داشتن سطح زیر کشت و تولید گیاهان مختلف در استان گلستان مقدار کودهای مورد نیاز برای تولید تمامی محصولات در این استان محاسبه شد. با فرض آن که تمام کود توزیع شده در استان توسط کشاورزان برای تولید تمامی گیاهان در همان سال مصرف شده باشد، خلأ مصرف کودهای پرمصرف اولیه محاسبه شد.

است. Bpl کسری از کل زیست توده درختان است که در ساختارهای دائمی گیاه وجود دارد (۸۵ درصد). **محاسبه مقدار فسفر کودی مورد نیاز گیاهان:** مقدار فسفر مورد نیاز برای تولید گیاهان مختلف با استفاده از رهیافت انباشت تدریجی عناصر غذایی در خاک محاسبه شد. در این استراتژی، کودها به مقداری مصرف خواهند شد که نه تنها مقدار عنصر خارج شده از مزرعه مجدداً به خاک بازگردانده شود بلکه چنانچه مقدار عنصر قابل جذب خاک از حد آستانه (حداقل مقدار عنصر لازم برای رشد و نمو مطلوب گیاه) کمتر باشد، طی یک دوره زمانی معین به حد آستانه افزایش پیدا کند. لازم به ذکر است هرچند استفاده از کودهای فسفوره و پتاسه در خاک هایی که مقدار فسفر و پتاسیم آن ها بالاتر از حد آستانه است، موجب افزایش معنی دار عملکرد گیاه نخواهد شد ولی عدم استفاده از کودها در طی زمان و جایگزین نکردن مقادیر برداشت شده پایداری خاک را به خطر انداخته و موجب کاهش حاصلخیزی خاک خواهد شد.

مقدار فسفر کودی مورد نیاز گیاهان از معادله زیر به دست آمد:

معادله ۳:

$P_{fert} = P_{Exported} + ((10Bd Z) / N_{year}) (STLt - STL)$   
در این معادله،  $P_{fert}$  مقدار فسفر کودی مورد نیاز گیاهان و  $P_{Exported}$  مقدار فسفر خارج شده از خاک همراه با برداشت گیاهان (مقدار فسفر تخلیه شده) می باشد. Bd وزن مخصوص ظاهری خاک است که برای بافت رسی برابر ۱/۲ و برای بافت لومی برابر ۱/۴ در نظر گرفته شد. Z عمق خاک و  $N_{year}$  بازه زمانی در نظر گرفته شده برای افزایش مقدار عنصر خاک به حد آستانه (در این مطالعه برابر با ۱۰ سال) می باشد. همچنین  $STL$  و  $STLt$  به ترتیب حد آستانه فسفر در خاک (در خاک هایی با بافت رسی ۸ میلی گرم در

## نتایج و بحث

مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم کودی مورد نیاز برای تولید محصولات گیاهی استان گلستان: با در نظر گرفتن سطح زیر کشت محصولات مختلف و عملکردهای فعلی آن‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه، مقدار کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم (بر اساس عنصر خالص) مورد نیاز استان گلستان به ترتیب برابر ۳۹/۶، ۶/۰۱ و ۲۴/۱ هزار تن در زراعت آبی و به ترتیب برابر ۲۰/۲، ۲/۹ و ۱۱/۹ هزار تن در زراعت دیم و در مجموع به ترتیب برابر ۶۰، ۸/۹ و ۳۶ هزار تن می‌باشد. با توجه به دسته‌بندی محصولات در وزارت جهاد کشاورزی، مقدار کل کودهای مورد نیاز برای تولید گیاهان مورد مطالعه در استان گلستان، در گروه‌های مختلف گندم، جو، برنج، حبوبات، سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی، گیاهان قندی، میوه‌ها، سبزیجات، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و لگوم‌های علوفه‌ای قرار گرفته است و نتایج آن‌ها در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

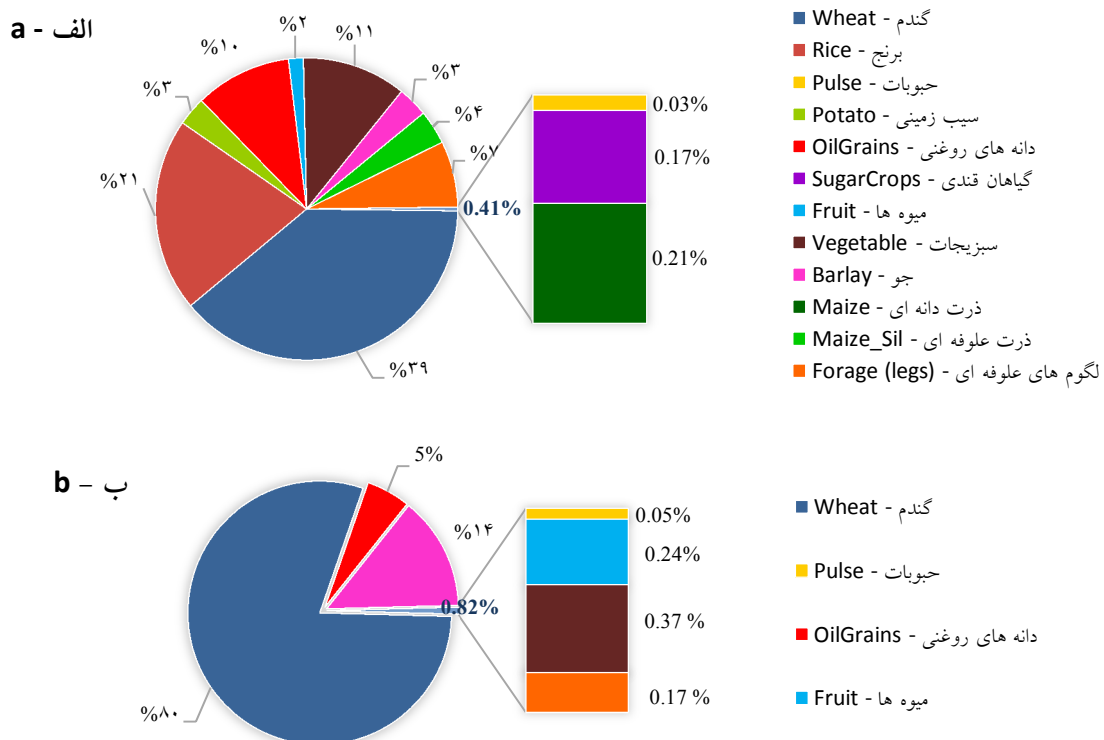
**نیتروژن:** نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در هر دو شرایط آبی و دیم کمترین مقدار کود نیتروژن مورد نیاز گروه‌های مختلف در استان گلستان مربوط به تولید حبوبات (به ترتیب ۱۱/۱ و ۹/۳ تن در استان معادل ۰/۰۳ و ۰/۰۵ درصد) و بیشترین آن مربوط به تولید گندم (به ترتیب ۱۵۴۲۲ و ۱۶۱۲۱ تن در استان معادل ۳۹ و ۸۰ درصد) می‌باشد (شکل ۲). دلایل اصلی ناچیز بودن سهم حبوبات برای نیتروژن مورد نیاز، رابطه همزیستی آن‌ها (نخود، لوبیا و عدس) با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی اتمسفر و در نتیجه تأمین بخش قابل توجهی از نیاز نیتروژنی آن‌ها از این طریق (۲۷ و ۴۱)، به علاوه کم بودن عملکردهای واقعی این گروه از گیاهان (۱۳۴۵ کیلوگرم در هکتار در زراعت آبی و ۸۴۵ کیلوگرم در هکتار در زراعت دیم) نسبت به سایر گیاهان می‌باشد.

در استان گلستان بیشترین سطح زیر کشت در زراعت آبی مربوط به گندم (۱۴۹/۶ هزار هکتار معادل ۳۹ درصد) و بعد از آن مربوط به برنج (۶۳/۶ هزار هکتار معادل ۱۷ درصد) می‌باشد و همان‌طور که انتظار می‌رود بیشترین سهم از نیاز نیتروژنی (به ترتیب ۱۵/۴ و ۸/۲ هزار تن معادل ۳۹ و ۲۱ درصد) مربوط به این دو گیاه است. در زراعت دیم این استان نیز عمده سطح زیر کشت مربوط به گندم (۲۰۷/۵ هزار هکتار معادل ۶۷ درصد) و بعد از آن مربوط به جو (۵۳/۹ هزار هکتار معادل ۱۷ درصد) بود و در نتیجه سهم اصلی نیاز نیتروژنی را این دو گیاه (به ترتیب ۱۶/۱ و ۲/۸ هزار تن معادل ۸۰ و ۱۴ درصد) داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده، باینکه غلظت نیتروژن دانه‌های روغنی نسبت به غلات بیشتر می‌باشد (۴۲ و ۴۳)، نیاز به کود نیتروژنی آن‌ها کمتر است. در این زمینه، بایستی به این نکته توجه نمود که بخش عمده دانه‌های روغنی تولید شده در استان گلستان مربوط به سویا (از خانواده بقولات) می‌باشد و همان‌طور که اشاره شد بر اساس پیش فرض مبتنی بر واقعیت این مطالعه، ۸۰ درصد از نیاز نیتروژنی سویا از طریق تثبیت بیولوژیک نیتروژن تأمین می‌شود (۲۷). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود مقدار نیتروژن مورد نیاز سبزیجات در زراعت آبی (۴۴۴۰ تن در استان معادل ۱۱ درصد) بسیار بیشتر از زراعت دیم (۷۴ تن در استان معادل ۰/۳۷ درصد) می‌باشد. دلیل این اتفاق قرار گرفتن گوجه‌فرنگی و خیار گلخانه‌ای در زراعت آبی در این گروه می‌باشد که با عملکرد بالا و امکان چند نوبت برداشت در سال موجب افزایش سهم گروه سبزیجات در شرایط آبی شده‌اند. به طور کلی کمتر بودن مقدار کود نیتروژن مورد نیاز برای گروه سبزیجات و میوه‌ها را می‌توان به غلظت کم نیتروژن در میوه این گیاهان، درصد رطوبت بالا و همچنین انتقال مجدد کارآمد نیتروژن از برگ‌های

خالص نیتروژن توصیه شده برای تولید ۲/۲ تن کلزا در آق قلا برابر ۹۰ کیلوگرم در هکتار (به صورت خالص) گزارش شده است (۴۶). مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان مقدار کود اوره مورد نیاز برای زراعت جو را بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش داده اند، در صورتی که در مطالعه حاضر، مقدار کود مورد نیاز معادل ۱۹۰ کیلوگرم اوره می باشد (۴۷). همچنین در مورد باغاتی با ماده آلی بین ۱ تا ۲ درصد، برای حصول عملکرد معادل ۲۰ تن مرکبات مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار توصیه شده است ولی در مطالعه حاضر برای تولید حدود ۱۶ تن مرکبات، مصرف ۴۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار برآورد شده است (۴۸). از جمله دلایل اصلی این اختلافات تفاوت در روش محاسبه مقدار کود مورد نیاز می باشد.

آن ها قبل از ریزش نسبت داد. یادآور می شود که در این گیاهان نیتروژن توصیه شده برای درختان بالغ و به منظور تأمین نیتروژن مورد نیاز برای میوه و شاخه های هرس شده می باشد.

مقادیر کود مورد نیاز به دست آمده در این مطالعه به مقدار کود نیتروژن توصیه شده در برخی از گزارش ها توصیه کودی (که اغلب زیر نظر جهاد کشاورزی صورت پذیرفته) نزدیک می باشد و در برخی موارد نیز تفاوت هایی دیده می شود. همانند نتایج به دست آمده، در گزارش های استان گلستان برای مواقعی که نتایج آزمون خاک در دسترس نباشد برای گندم مصرف ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره (معادل ۹۲ تا ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و برای حصول ۵ تا ۶ تن شلتوک برنج ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم اوره (معادل ۱۱۵ تا ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص) توصیه شده است (۴۴ و ۴۵). همچنین مقدار کود



شکل ۲- توزیع نیتروژن کودی مورد نیاز (درصد) بین گروه های گیاهی مختلف استان گلستان در شرایط آبی (الف) و دیم (ب)

Figure 2- Distribution of required fertilizer nitrogen (%) among different plant groups in Golestan province under irrigated (a) and rainfed (b) conditions

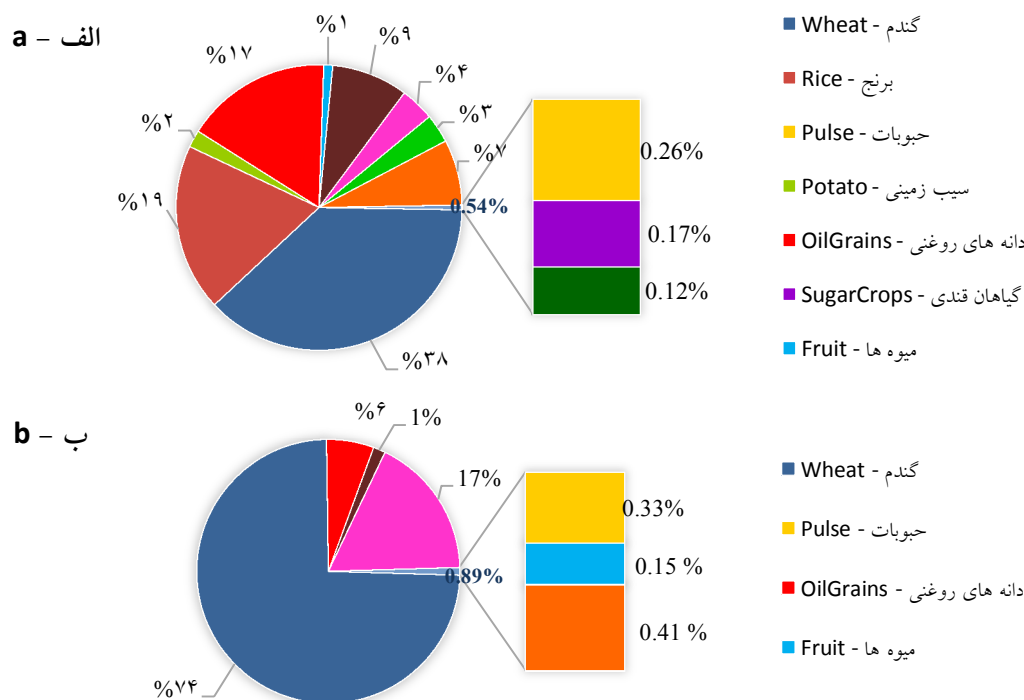
۹۲ درصد نیاز فسفوری (به ترتیب برابر ۲۱۵۴ و ۵۰۶ تن) استان گلستان را به خود اختصاص داده‌اند. مشابه نتایج به دست آمده در این مطالعه، مقدار کود فسفر توصیه شده برای زراعت جو در استان گلستان بین ۷۵ تا ۱۲۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل معادل ۱۵ تا ۲۵ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) گزارش شده است (۴۷). در مواردی که نتایج آزمون خاک در دسترس نباشد، برای زراعت گندم در این استان مصرف ۷۵ تا ۱۵۰ کیلوگرم کود فسفر (معادل ۱۵ تا ۲۹ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) توصیه شده است، در حالی که مقدار فسفوری که با استفاده از مازول مورد مطالعه برآورد شده است برابر با ۱۵ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار می‌باشد. در زراعت برنج نیز در شرایط عدم داشتن نتایج آزمون خاک، مقدار کود فسفر توصیه شده برای حصول ۵ تا ۶ تن شلتوک معادل ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم گزارش شده است (۴۵).

پتاسیم: نتایج این مطالعه حاکی از آن است که در بین گروه‌های مختلف گیاهی دامنه تغییرات مقدار پتاسیم مورد نیاز در زراعت دیم بین ۷ تن در استان معادل ۰/۰۳ درصد (ذرت دانه‌ای) و ۶۸۰۲ تن در استان معادل ۲۸ درصد (گندم) و در زراعت دیم بین ۴۳ تن در استان معادل ۰/۳۶ درصد (حبوبات) و ۸۶۶۸ تن در استان معادل ۷۳ درصد (گندم) قرار دارد (شکل ۴). در مجموع گندم و برنج در زراعت آبی با ۵۶ درصد سهم زیر کشت، ۵۱ درصد نیاز پتاسیمی و در زراعت دیم گندم و جو با ۸۴ درصد سهم زیر کشت، ۹۳ درصد نیاز پتاسیمی این استان را به خود اختصاص داده‌اند. همانند آنچه در نیاز کودی نیتروژن و فسفر گفته شد، بالا بودن درصد رطوبت گیاهان موجب می‌شود علی‌رغم آنکه مقدار تولید گیاه در استان بالا باشد، مقدار کود پتاسیم مورد نیاز آن‌ها کمتر از گروه‌هایی با تولید و رطوبت کمتر باشد. یکی دیگر

فسفر: بر اساس نتایج به دست آمده در بین گروه‌های گیاهی کمترین مقدار فسفر مورد نیاز در زراعت آبی مربوط به ذرت دانه‌ای (۷ تن در استان معادل ۰/۱۲ درصد) و بیشترین آن مربوط به گندم (۲۲۸۰ تن در استان معادل ۳۸ درصد) بود (شکل ۳). دلیل کم بودن مقدار فسفر مورد نیاز ذرت دانه‌ای، سهم اندک تولید آن در بین گروه‌های مختلف (۲۰۰۰ تن معادل ۰/۱ درصد تولیدات استان) و همچنین غلظت کم فسفر در دانه‌های این گیاه (۰/۳۲ درصد) می‌باشد. همچنین با توجه به آن که بخش اعظم مزارع آبی این استان زیر کشت گندم می‌باشند، این گیاه از نیاز فسفوری بالایی برخوردار شده است. باید در نظر داشت در برآورد مقدار کود مورد نیاز، تولید ماده خشک مهم می‌باشد و در نتیجه تولید هر تن از گیاهانی چون چغندر قند، سیب زمینی، گیاهان علوفه‌ای، سبزیجات و میوه‌ها به دلیل بالا بودن درصد رطوبتشان به مقدار فسفر کمتری نیاز خواهند داشت. زیاد بودن غلظت فسفر دانه‌های روغنی (۰/۵۹ درصد به جز زیتون ۰/۲۵ درصد) موجب نیاز فسفوری بالا در این گروه از گیاهان شده است به طوری که با تولید ۱۴۶ هزار تن محصول (معادل ۵ درصد از کل تولیدات استان) رتبه سوم را در نیاز به کود فسفر (۹۹۵/۵ تن در استان گلستان معادل ۱۶/۶ درصد) در بین گروه‌های گیاهی مختلف را دارند. در زراعت دیم نیز روند تغییرات مقدار فسفر مورد نیاز تقریباً همانند زراعت آبی است. کمترین مقدار کود فسفر مورد نیاز مربوط به گروه میوه‌ها (۴/۵ تن در استان معادل ۰/۱۵ درصد) و بیشترین آن مربوط به گندم (۲۱۵۴ تن در استان معادل ۷۴ درصد) بود. در زراعت آبی گندم و برنج در مجموع با ۵۶ درصد سهم زیر کشت، ۵۷ درصد نیاز فسفوری (به ترتیب برابر ۲۲۸۰ و ۱۱۴۴ تن) و در زراعت دیم گندم و جو با ۸۴ درصد سهم زیر کشت،

لازم به ذکر است در مزارعی که آب ورودی به آنها از پتاسیم بالایی برخوردار باشد، مقدار پتاسیم مورد نیاز برای تولید گیاه کمتر خواهد شد.

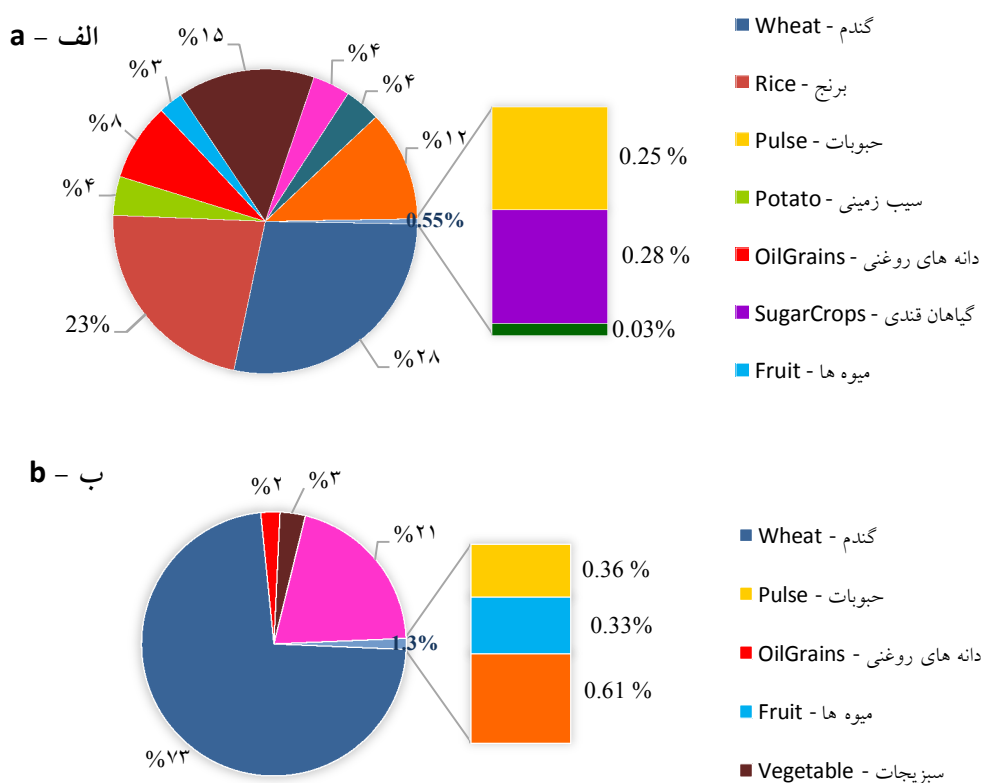
از ورودی‌های پتاسیم به خاک مزارع کشاورزی، مقدار پتاسیم موجود در آب‌های سطحی می‌باشد. در مطالعه حاضر به دلیل نبود اطلاعات کافی در این زمینه از لحاظ نمودن آن در محاسبات خودداری شده است.



شکل ۳- توزیع فسفر کودی مورد نیاز (درصد) بین گروه‌های گیاهی مختلف استان گلستان در شرایط آبی (الف) و دیم (ب)  
Figure 3- Distribution of required fertilizer phosphorus (%) among different plant groups in Golestan province under irrigated (a) and rainfed (b) conditions

کاشت گندم مقدار کود پتاس مورد نیاز معادل ۴۲ تا ۸۴ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار (مشابه مقدار برآورد شده در این مطالعه) توصیه شده است (۴۴). همچنین تولید ۲۰ تن مرکبات در شرایطی که نتیجه آزمون تجزیه برگی پتاسیم در حد کفایت و مقدار پتاسیم خاک متوسط باشد، نیاز به مصرف ۴۲ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار دارد که به مقدار برآورد شده در این مطالعه (۳۲ کیلوگرم در هکتار) نزدیک می‌باشد (۴۸).

سازمان جهاد کشاورزی بر مبنای عملکرد و مقدار پتاسیم موجود در خاک مقدار کود پتاس را برآورد کرد و در بروشورها و گزارش‌های مختلف انتشار داده است. در گزارشی که برای محصولات آق‌قلا (از شهرستان‌های استان گلستان) تهیه شده است برای تولید گندم، جو، کلزا، سویا و پنبه (با عملکرد ۲ تن وش) مصرف کود پتاس توصیه نشده و برای تولید ۵ تن برنج در خاکی با پتاسیم کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مصرف ۱۰۸ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار را لازم دانسته است (۴۶). در دستورالعمل فنی



شکل ۴- توزیع پتاسیم کودی موردنیاز (درصد) بین گروه‌های گیاهی مختلف استان گلستان در شرایط آبی (الف) و دیم (ب)  
Figure 4- Distribution of required fertilizer potassium (%) among different plant groups in Golestan province under irrigated (a) and rainfed (b) conditions

مقدار خلأ مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در استان گلستان: در شکل زیر مقدار کل کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم توزیع شده (بر اساس عنصر خالص) در استان گلستان در مقایسه با مقدار کودهای موردنیاز برآورد شده (با توجه به عملکرد و سطح زیر کشت اعلام شده در جلد اول و سوم آمارنامه جهاد کشاورزی) برای تولید تمامی محصولات کشت شده در این استان از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ آورده شده است (شکل ۵ الف، ب و ج). بر اساس اطلاعات انتشار داده شده در جلد دوم آمارنامه جهاد کشاورزی، به طور میانگین در این سال‌ها ۴۱/۰۲ هزار تن نیتروژن خالص، ۳/۳۸ هزار تن فسفر خالص و ۳/۵۴ هزار تن پتاسیم خالص در استان گلستان توزیع شده است،

در گزارش فنی وزارت جهاد کشاورزی (۲۳)، مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم موردنیاز برای استان گلستان در سال ۱۳۹۹ به ترتیب ۶۳، ۱۴ و ۱۷ هزار تن برآورد شده است در صورتی که در مطالعه حاضر مقدار کودهای موردنیاز در این سال به ترتیب برابر ۶۰، ۹ و ۳۶ هزار تن برآورد گردید. در گزارش یادشده علاوه بر آن که روش محاسبه مقدار کود موردنیاز (با استفاده از مدل گیاه محور) با روش مورد استفاده در مطالعه حاضر متفاوت است، سطح زیر کشت و عملکرد محصولات اعدادی پیش‌بینی شده هستند که تفاوت‌هایی با مقادیر واقعی عملکرد دارند. پس طبیعی است که مقدار کود موردنیاز نیز متفاوت برآورد شده باشد.

شکل ۵ نشان داده شده است. به طور کلی در طی این سالها میانگین خلأ مصرف کود ازت ۱۸/۸ هزار تن (معادل ۳۱/۴ درصد)، کود فسفر ۵/۵ هزار تن (معادل ۶۲/۱ درصد) و کود پتاس ۳۲/۴ هزار تن (معادل ۹۰/۲ درصد) بوده است. در میان سه کود مورد مطالعه شرایط برای نیتروژن کمی بهتر بوده و دامنه تغییرات خلأ مصرف آن در طی این سالها بین ۱۱ تا ۴۴ درصد قرار داشته است. علی‌رغم افزایش مصرف کودهای ازت (با متوسط نرخ رشد ۸ درصد) در این بازه زمانی، به دلیل بیشتر بودن متوسط نرخ رشد کود مورد نیاز در این سالها (۱۱ درصد) با گذشت زمان خلأ مصرف این کود افزایش یافته است. به عبارت دیگر میزان افزایش در توزیع و مصرف کودها متناسب با افزایش مقدار نیتروژن مورد نیاز برای تولید محصولات نبوده است. مصرف کودهای فسفر در سالهای ۱۳۹۲ با افزایش قیمت کودها در نتیجهی رشد ۴۵ درصدی قیمت ارز، ۷۰ درصد کاهش یافت و خلأ مصرف کود فسفر را افزایش داد. پس از افزایش مصرف کود فسفره تا سال ۱۳۹۵ با متوسط نرخ رشد ۹۳ درصد (که باز هم ۴۴ درصد کمتر از مقدار مورد نیاز بوده است) مصرف کودهای فسفره با نرخ ۴۶ درصد کاهش یافت به طوری که در سال ۱۳۹۹ خلأ مصرف کود فسفره به ۹۵ درصد رسید. بخش عمده کودهای فسفره وارداتی هستند و با افزایش تحریمها ورود این کودها محدود و قیمت آنها افزایش یافته که موجب کاهش مصرف آنها توسط کشاورزان شده است. در طی این دوره ده ساله بیشترین خلأ مصرف مربوط به کودهای پتاسه بوده است، به طوری که همواره مصرف این کودها بیش از ۸۳ درصد کمتر از نیاز واقعی پتاسیم مورد نیاز برای کشت محصولات گیاهی مختلف در استان گلستان بوده است. از جمله دلایل اصلی این خلأ مصرف می‌توان به قیمت بالای این کودها، محدودیت ورود آنها از خارج کشور و

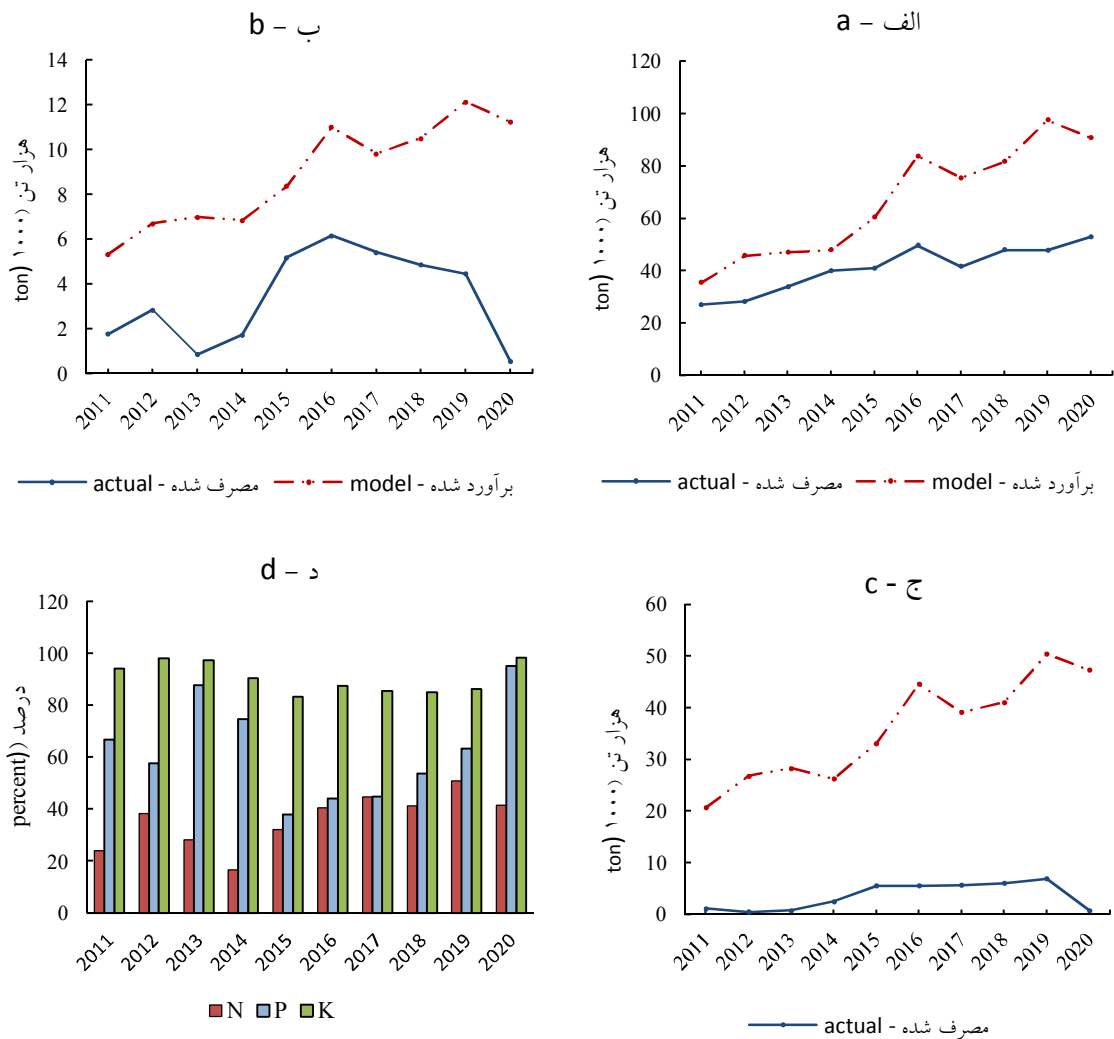
در حالی که میانگین مقدار مورد نیاز این کودها بر اساس عملکردهای واقعی در طی این سالها برابر با ۵۹/۸ هزار تن نیتروژن خالص، ۸/۹ هزار تن فسفر خالص و ۳۵/۹۷ هزار تن پتاسیم خالص برآورد گردید. همان‌طور که در این شکلها مشاهده می‌شود مقدار کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز در طی سالهای مورد مطالعه به ترتیب با متوسط نرخ رشد ۱۱، ۹ و ۱۰ درصد افزایش یافته است. دلیل این افزایش کود مورد نیاز، افزایش تولیدات (با نرخ ۷ درصد) می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، بخش قابل توجهی از زراعت آبی این استان زیر کشت گندم (۳۹ درصد اراضی آبی) و برنج (۱۷ درصد اراضی آبی) می‌باشد. در طی این سالها سطح زیر کشت گندم آبی تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته است در حالی که عملکرد گندم آبی از حدود ۲/۳ تن در هکتار در سال ۱۳۹۳ به ۵ تن در هکتار در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است و موجب افزایش تولید این محصول با نرخ ۲۳ درصد در طی این سالها شده است. همچنین، افزایش عملکرد و سطح زیر کشت برنج آبی به ترتیب با نرخ رشد ۷ و ۹ درصد، تولید این محصول را در این بازه زمانی ده ساله با نرخ ۱۷ درصد افزایش داده است. در زراعت دیم نیز بیشترین سطح زیر کشت مربوط به گیاهان گندم و جو (به ترتیب ۶۷ و ۱۷ درصد) می‌باشد. افزایش عملکرد گندم دیم از ۸۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۰ به ۳۷۵۴ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۹ موجب افزایش تولید با نرخ رشد ۱۷ درصد شد. همچنین، افزایش عملکرد و سطح زیر کشت جو دیم به ترتیب با متوسط نرخ رشد ۱۰ و ۴ درصد تولید جو را با نرخ ۱۴ درصد افزایش داده است.

در قسمت‌های الف، ب و ج شکل ۵، فاصله میان دو خط نشان‌دهندهی مقدار خلأ مصرف کود (بر اساس ۱۰۰۰ تن) می‌باشد و درصد خلأ آنها در

برآوردهای ایشان بیش‌ترین بیلان منفی مربوط به پتاسیم (۵۵۷ هزار تن) و سپس نیتروژن (۱۴۷ هزار تن) بوده و فسفر (۴۰ هزار تن) کمتر از عناصر دیگر تخلیه شده است. به گزارش بلالی و همکاران (۲۰۱۴) نتایج بررسی بیش از ۷۰ مقاله و ۳۱ گزارش در دهه ۷۰ و ۸۰ خورشیدی، حاکی از روند کاهش پتاسیم قابل جذب خاک در اغلب مناطق کشور بوده است (۶). خلأ مصرف‌های ذکرشده در تمام مناطق استان گلستان و برای تمامی گیاهان یکسان نیست و ممکن است برای برخی گیاهان و مناطق مصرف کودها در حد نیاز، برای برخی بیش از حد نیاز (گیاهان پرسود) و برای بقیه کمتر از حد نیاز باشد. به‌عنوان نمونه، در گزارش مؤسسه تحقیقات کشاورزی (در سال ۱۳۹۳) حدود ۴۵ تا ۵۰ درصد از کودهای مصرف‌شده در کشور به تولید گندم اختصاص داده شده است. دقت شود که تقریباً همین میزان از زمین‌ها زیر کشت گندم می‌باشند؛ بنابراین علاوه بر کمبود کاربرد کود، این غیریکنواختی در مصرف کودها وضعیت را بدتر می‌سازد. با توجه به آن‌که خلأ مصرف کود با گذشت زمان می‌تواند موجب تشدید کاهش حاصلخیزی خاک‌ها و کاهش ذخایر آلی و معدنی عناصر غذایی موردنیاز گیاهان شود، بایستی در راستای برطرف نمودن این خلأ در یک دوره زمانی مناسب برنامه‌ریزی دقیقی صورت گیرد. تأکید می‌گردد که مقادیر توصیه‌شده در این مطالعه بر اساس عملکردهای واقعی فعلی محصولات گیاهی در استان گلستان می‌باشد و بدون تردید در راستای حذف خلأ عملکرد ناشی از عناصر غذایی و دستیابی به عملکردهای قابل حصول، مصرف مقادیر بیشتر کودها (متناسب با افزایش عملکرد نسبت به عملکردهای واقعی فعلی) الزامی می‌باشد.

همچنین عدم توصیه مصرف کود پتاسیم در بسیاری از زراعت‌های استان اشاره کرد. همان‌طور که در قسمت قبل ذکر شد، در این مطالعه از واردکردن مقدار پتاسیم موجود در آب آبیاری اجتناب شده است. بدیهی است در مناطقی که مقدار پتاسیم موجود در آب آبیاری آن‌ها زیاد باشد، بخشی از این خلأ مصرف کود پتاسیم کسر خواهد شد.

با توجه به آنچه گفته شد برخلاف تصور عموم مبنی بر مصرف بی‌رویه کودها، در بسیاری از موارد کودها به مقدار بسیار کمتر از نیاز واقعی گیاهان مصرف‌شده‌اند که در صورت تداوم نتایج زیان‌باری را به‌همراه خواهد داشت. بر اساس آمار سال ۱۳۹۷، میانگین مصرف کودهای نیتروژن (۵۸ کیلوگرم در هکتار)، فسفر (۲/۶ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم (۱/۷ کیلوگرم در هکتار) در ایران کمتر از میانگین جهانی آن‌ها (۷۲ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، ۱۴ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار و ۲۱ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار) بوده است (۴۹). تان و همکاران (۲۰۰۵) با در نظر گرفتن مقدار مصرف کودهای شیمیایی و آلی به‌عنوان ورودی عناصر به خاک و عناصر موجود در ماده خشک خارج‌شده از مزارع گندم، برنج، ذرت و جو به عنوان خروجی، وضعیت بیلان نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در کشورهای توسعه‌یافته، در حال توسعه و کمتر توسعه‌یافته منفی گزارش نموده و اظهار داشتند که کشورهای در حال توسعه سهم بسیار بیش‌تری (۷۵ درصد) در تخلیه عناصر غذایی از خاک دارند (۵۰). مشیری و زاهدی‌فرد (۲۰۱۹) نیز با مطالعه روند مقدار عناصر غذایی برداشت‌شده توسط گیاهان در مقایسه با مقادیر جبران شده از طریق کوددهی، کاهش بنیه غذایی خاک‌های ایران را گزارش داده‌اند (۲۰). بر اساس



شکل ۵- مقایسه روند مقدار کودهای (هزار تن) نیتروژن (الف)، فسفر (ب) و پتاسیم (ج) مورد نیاز برای تولید محصولات گیاهی استان گلستان با مقادیر واقعی مصرف شده در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ و درصد خلأ مصرف این کودها (د).

Figure 5- Comparison of the amount of of nitrogen (a), phosphorus (b) and potassium (c) fertilizers (1000 tons) required for the production of all plants in Golestan province with the actual amounts used during 2010 - 2019 and the gap percentage of these fertilizers (d).

برای تولید تمامی گیاهان (با عملکردهای فعلی) سالانه نیاز به مصرف ۶۰ هزار تن نیتروژن خالص، ۸/۹ هزار تن فسفر خالص و ۳۶ هزار تن پتاسیم خالص می باشد در صورتی که اطلاعات موجود در آمارنامه های وزارت جهاد کشاورزی حاکی از آن است که سالانه حدود ۴۱ هزار تن نیتروژن خالص، ۳/۴ هزار تن فسفر خالص و ۳/۵ هزار تن پتاسیم خالص در استان گلستان توزیع شده است؛ بنابراین در

### نتیجه گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه، همراه با برداشت محصولات مختلف به طور میانگین سالانه ۲۹/۷ هزار تن نیتروژن، ۵/۵ هزار تن فسفر و ۲۴/۱ هزار تن پتاسیم از مزارع و باغات آبی (با مساحت ۳۷۲/۸ هزار هکتار) و ۱۶/۴ هزار تن نیتروژن، ۲/۸ هزار تن فسفر و ۱۱/۹ هزار تن پتاسیم از مزارع و باغات دیم (با مساحت ۳۱۳/۵ هزار هکتار) استان گلستان تخلیه شده است. بر این اساس

بنابراین علاوه بر کمبود کاربرد کود، این غیریکنواختی موجب بدتر شدن شرایط ذکرشده می‌شود. خلأ مصرف کودها با گذشت زمان می‌تواند کاهش حاصلخیزی خاک‌ها را تشدید نموده و ذخایر آلی و معدنی عناصر غذایی موردنیاز گیاهان را کاهش دهد. تأکید می‌گردد که مقادیر توصیه‌شده در این مطالعه بر اساس عملکردهای واقعی فعلی محصولات گیاهی می‌باشند و بدون تردید در راستای حذف خلأ عملکرد ناشی از کمبود عناصر غذایی و دستیابی به عملکردهای قابل حصول نیازمند مصرف مقادیر بیشتر کودها (متناسب با افزایش عملکرد نسبت به عملکردهای واقعی فعلی) می‌باشد.

بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹، مقدار مصرف کود نیتروژن ۳۱/۴ درصد (۱۸/۸ هزار تن)، فسفر ۶۲ درصد (۵/۵ هزار تن) و پتاسیم ۹۰ درصد (۳۲/۴ هزار تن) کمتر از مقدار واقعی موردنیاز گیاهان بوده است. همچنین مشاهده روند خلأ مصرف کودها نشان می‌دهد که در بازه مورد مطالعه به‌طور متوسط خلأ مصرف کودهای نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب با نرخ ۱۸ و ۱۰ درصد و خلأ مصرف کود فسفر از سال ۹۵ به بعد با نرخ ۲۷ درصد افزایش یافته است. باید توجه داشت که مقادیر خلأ کودی ذکرشده برای همه گیاهان به یک اندازه نمی‌باشد و ممکن است برای برخی گیاهان و مناطق مصرف کودها در حد نیاز، برای برخی بیش از حد نیاز (گیاهان پرسود) و برای بقیه کمتر از حد نیاز باشد؛

#### References

1. Soltani, A., & Mirzaei, A. (2021). Sustainable Agriculture. *Sirang Press*, 404. [In Persian].
2. Mirzashahi, K., & Bazargan, K. (2015). Soil organic matter management. *Soil and Water Research Institute*, 535. [In Persian].
3. Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.
4. Balali, M.R., Moameni, A., Malakouti, M.J., & Afkhami, M. (2003). Balanced soil fertilization towards sustainable agriculture and food security in Iran. In *Congress on Global Food Security and the Role of Sustainable Fertilization FAO, March, Rome, Italy*, 1-16.
5. Keshavarz, P., Moshiri, F., Tehrani, M.M., & Balali, M.R. (2015). The necessity of integrated soil fertility management for wheat production in Iran. *Journal of Land Management*, 3(1), 61- 72. [In Persian].
6. Balali, M.R., Rezaei, H., & Moshiri, F. (2014). Fertility status of the country's soils and the need to improve its capacity to provide services to agricultural products. In *Khavazi, K., Balali, M. R., Bazargan, K., Tehrani, M. M., Rezaei, H., Asadi Rahmani, H., Gheibi, M. N., Davoodi, M. H., Saadat, S., Moshiri, F., & Davangar, N. Comprehensive Program of Soil Fertility and Plant Nutrition 2014- 2026. Soil and Water Research Institute. First volume.* 17- 47. [In Persian].
7. Moshiri, F., Samavat, S., & Balali, M.R. (2017). Soil organic carbon: a key factor of sustainable agriculture in Iran. In *Global symposium on soil organic carbon. FAO, March Rome, Italy*, 492-496.
8. Moshiri, F., Saffari, H., Keshavarz, P., & Zahedi fard, N. (2021). Soil organic matter and its role in agriculture in Iran Examining the status, analyzing problems and challenges, providing solutions. *Technical Publications of Soil and Water Research Institute*, 608. [In Persian].
9. Khademi, Z., Masih Abadi, M.H., Rezaei, H., Tehrani, M.M., Bazargan, K., Balali, M.R., Sepehr, A., Feyzollahzade, M., Ardebili, F., Asadi, J., Ziaei, A., Faraj Nia, A., Amari, P., Asadi, A., Saheb Jam, A.A., Bani Name, J., Toshih, V., Sayadian, K., Sadeqi, S., Sepahvand, M., Hasan Shahi, H., Khodshenas, A., & Asadian, M.S. (2005). Identification and targeted

- selection of study sites in wheat cultivated soils. *Technical Publications of Soil and Water Research Institute*, 1244. [In Persian].
10. Bay bordi, M. (2006). Sustainable soil management in agriculture and environment. In *Conference on Soil, Environment and Sustainable Development, 7-9. Faculty of Water and Soil Engineering, Univ. Tehran. Agric. Nat. Res. Campus, Karaj, Iran.* [In Persian].
  11. Malakouti, M.J., Keshavarz, P., & Karimian, N. (2008). A Comprehensive Approach towards Identification of Nutrient Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. *Tarbiat Modares University Publications*, 804. [In Persian].
  12. Tehrani, M.M., Balali, M.R., Moshiri, F., & Daryashenas, A.M. (2012). Fertilizer recommendation and forecast in Iran: challenges and strategies. *Iranian Journal of Soil Research*, 26(2), 123- 144. [In Persian].
  13. Roshani, Gh. A., & Ggaranjiki, A.R. (2016). Fertilizer recommendation guide for agricultural crops, Ag Qola Agricultural Jihad Center. *Management of agricultural promotion coordination. Iranian Cotton Research Institute.* [In Persian].
  14. Hamdallah, G. (2000). Soil fertility management: the need for new concepts in the region. In *Proceedings of the FAO Regional Workshop on Soil Fertility Management Through Farmer Field Schools in the Near East, Amman, 2-5.*
  15. Baligar, V.C., Fageria, N.K., & He, Z.L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8), 921-950.
  16. Stewart, W.M., Dobb, D.W., Johnston, A.E., & Smyth, T.J. (2005). The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*, 97(1), 1-6.
  17. Tran, T.S., & Tremblay, G. (2000). Recovery of 15N-labeled fertilizer by spring bread wheat at different N rates and application times. *Canadian Journal of Soil Science*, 80(4), 533-539.
  18. Amjadian, E., Zeinodini, A., & Doğan, H. (2021). Effect of fertilizer management systems on growth and balance of nutrients in wheat cultivation. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(2), 56-69.
  19. Moteszarezaideh, B., Etesami, H., Bagheri, S., & Amirmokri, H.H. (2017). Fertilizer consumption trend in developing countries vs. developed countries. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(3), 1-9.
  20. Moshiri, F., & Zahedfard, N. (2019). Nutrient balance in agricultural soils of Iran. *The 16th Iran Soil Science Congress, 27-29 August, Zanjan, Iran.* [In Persian].
  21. Soltani, A., Zand, E., Alimaqam, S.M., Nehbandani, A.R., Barani, H., Soltani, E., Torabi, B., Zeinali, E., Mirkarimi, Sh, & Jolaei, R. (2019). Analysis of food security in 2050 by modeling the correlation of water, food and environment: perspective and necessary policies. *Research project report. Agricultural Research, Education and Extension Organization.* [In Persian].
  22. Villalobos, F.J., Delgado, A., López-Bernal, Á., & Quemada, M. (2020). FertilCalc: A Decision Support System for Fertilizer Management. *International Journal of Plant Production*, 14(2), 299-308.
  23. Moshiri, F., Safar Pur Haghghi, Sh., Tehrani, M.M., Basirat, M., Rejali, F., Asadi, R., & Samei, M. S. (2021). Estimating the fertilizer requirements of agronomic and horticultural crops in 2019-2020. *Agricultural Research, Education and Extension Organization, Technical Publications of Soil and Water Research Institute.*
  24. Han, E., Ines, A.V., & Koo, J. (2019). Development of a 10-km resolution global soil profile dataset for crop modeling applications. *Environmental Modelling and Software*. 119, 70-83.
  25. Ministry of Agricultural Jihad, agricultural statistics for crop years 2011 to 2020. *Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Inform. Commun. Technol. Cent. The first volume: Crops.* [In Persian].

26. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Statistics for the years 2011-2020. *Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Inform. Communications Technology. The third volume: Horticultural products*. [In Persian].
27. Villalobos, F.J., & Fereres, E. (2016). *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer.
28. Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., & Hosseini, R.S. (2020). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*, 182, 102855.
29. Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Ghassemi, S., Vadez, V., Sinclair, T.R., & van Ittersum, M.K. (2020). Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*, 183, 102859.
30. Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (1966). Soil fertility and fertilizers. *Soil Science*, 101(4), 346.
31. Warneke, D.D., Dahl, J., Jacobs, L., & Laboski, C. (2009). *Nutrient Recommendations for Field Crops in Michigan. Michigan State University Extension*
32. Parnes, R. (2013). *Soil Fertility. A Guide to Organic and Inorganic Soil Amendments*. 188.
33. IPNI. <http://www.ipni.net/> (International Plant Nutrition Institute).
34. Tasdighi, M. (1987). *Vegetable Farming: from Garden to Home. Pishgam Publication*, 464. [In Persian]
35. Khosrovshahi, J. (1990). *Scientific Basics of Growing Fruit Trees. Technology publication*. 996. [In Persian]
36. Abrishami, M.H. (1994). *Iranian Pistachio, Historical Knowledge. Tehran University Press*, 708. [In Persian].
37. Eizadi, H., Masumi far, M., & Ghasemi, A.A. (2010). *Almond Cultivation (Planting, Keeping and Harvesting). Agricultural education*, 352. [In Persian].
38. Hashemi majd, K. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers. Ayizh Publication*. 392. [In Persian].
39. Banj shafiei, Sh., & Rezaei, H. (2018). *Nutrition of Oil Plants. Univ. Jihad Appl. Sci. Skill. Higher Educat. Inst*, 378. [In Persian].
40. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Statistics for the years 2011-2020. *Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. The second volume*. [In Persian].
41. Khalaj, M.A., Moshiri, F., & Asadi Rahmani, H. (2013). Evaluation of the n<sub>2</sub>-fixing ability of rhizobia strains in common bean cultivated region of Qazvin. *Journal of Water and Soil*, 27(1), 54- 60. [In Persian].
42. Khajepour, M.R. (2013). *Cereal. Isfahan University's Academic Jihad*, 764.
43. Khajepour, M.R. (2012). *Industrial Plants. Isfahan University's Academic Jihad*, 582.
44. Soughi, H.A. (2017). *Technical instructions for wheat planting stage in Golestan province. Ministry of Agricultural Jihad. Agricultural Research, Education and Extension Organization*.
45. Kiani, A.R., YunesAbadi, M., Faraji, A., Hoseini Chaleshtari, M., Yazdani, M.R., FeyzBakhsh, M. T., Mobasheri, M.T., AlahGholiPur, M., Shamel, S., Sharifi, M., PahlavanRad, M.R., Abdollahi, K., SalahiFarahi, M., Arzanesh, M.H., Ebadi, A.A., & SukhteSarayi, M. (2020). *Guidelines for rice production by direct cultivation method in dry bed (Golestan province). Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Research, Education and Extension Organization*.
46. Roshani, Gh. A., & Gharanjiki, A.R. (2016). *Fertilizer recommendation guide for agricultural crops, Ag Qola Agricultural Jihad Center. Golestan Province Agricultural Jihad Organization*. [In Persian].

47. Agricultural and natural resources research center of golestan province. (2010). Technical guidelines for the planting stage of barley cultivation in Golestan province. *Golestan Province Agricultural Jihad Organization*. [In Persian].
48. Asadi kangar shahi, A., Basirat, M., Akhlaghi amiri, N., Haghghat nia, H., Sheykh ashkuri, A.R., Salim Pur, S., Sayah, A., Shahabian, M., Saleh, J., Ghasemi, O., & Rejali, F. (2017). Integrated management of soil fertility and plant nutrition in citrus trees in the north and south of the country. *Ministry of Jihad Agriculture. Agricultural Research, Education and Promotion Organization. Soil and Water Research Institute*. [In Persian].
49. <https://www.fertilizer.org>
50. Tan, Z.X., Lal, R., & Wiebe, K.D. (2005). Global soil nutrient depletion and yield reduction. *Journal of Sustainable Agriculture*, 26(1), 123-146.