



Investigation of nitrate status in agricultural products of Iran and criticism of published studies – a review study

Meysam Cheraghi¹ | Karim Shahbazi^{2✉} | Arzhang Fathi-Gerdelidani³ | Kambiz Bazargan⁴ | Mostafa Marzi⁵ | Kobra Sadat Hasheminasab Zavareh⁶ | Mehdi Beheshti⁷

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: my.cheraghi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. E-mail: shahbazikarim@yahoo.com
3. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: arzhangfathi@ut.ac.ir
4. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. E-mail: bazargan_k@yahoo.com
5. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. E-mail: mostafamarzi69@gmail.com
6. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. E-mail: k.hasheminasab@gmail.com
7. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mehdibeheshti8@gmail.com

Article Info

Article type: Review Article

Article history:

Received: July. 31, 2023

Revised: Sep. 8, 2023

Accepted: Sep. 25, 2023

Published online: Jan. 21, 2024

Keywords:

Agricultural Products,
Nitrate Content,
Nitrate Accumulation,
Standard Methods,
Quality Control.

ABSTRACT

In the process of conducting this research, 110 studies on monitoring nitrate content in agricultural products produced in Iran were gathered. These studies were published until March 20, 2023. The collected studies underwent evaluation for methodology, quality control, and quality assurance of results and were then assessed based on standard research criteria. The evaluation of the study's methodology revealed that only 27.3% of the studies adhered to standard methods for sampling, storage, and sample transfer. In 15.5% of the studies, the method of preparation and extraction followed standard procedures. Additionally, in 30% of the studies, the nitrate measurement method was conducted according to established standard procedures. The evaluation of quality control in the studies showed that only 20.9% reported some indicators of quality control and assurance. The assessment of nitrate concentration in agricultural products revealed the weighted mean concentrations of nitrate (mg kg^{-1} fresh weight) as follows: potato 98.7, cucumber 120.9, tomato 40.7, onion 39.6, watermelon 19.9, melon 62.9, carrot 151.1, eggplant 235.2, peppers 329, other root and tuber vegetables 542.4, lettuce 907.7, spinach 995.4, celery 1093.4, fresh edible legumes 37.7, parsley 596.5, cabbages 414.7, other leafy vegetables 635.6, apple 32.4, and orange 37.2. The findings of the present research reveal that the mean nitrate concentrations in Iran's agricultural products fall below the maximum permissible levels outlined by both the Iranian national standard and international standards. As a result, it can be generally concluded that there is no significant cause for concern regarding residual nitrate concentration in Iran's agricultural products.

Cite this article: Cheraghi, M., Shahbazi, K., Fathi-Gerdelidani, A., Bazargan, K., Marzi, M., Hasheminasab Zavareh, K., & Beheshti, M. (2024). Investigation of nitrate status in agricultural products of Iran and criticism of the quality of published studies – a review study, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (11), 1779-1820. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362834.669545>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362834.669545>

بررسی وضعیت نیتрат در محصولات کشاورزی ایران و نقدی بر مطالعات گزارش شده-مطالعه مروریمیشم چراغی^۱ | کریم شهبازی^۲ | ارژنگ فتحی گردیدانی^۳ | کامبیز بازرگان^۴ | مصطفی مارزی^۵ | کبری سادات هاشمی نسب زواره^۶ | مهدی بهشتی^۷

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: my.cheraghi@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران، رایانامه: shahbazikarim@yahoo.com
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: arzhangfathi@ut.ac.ir
۴. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران، رایانامه: bazargan_k@yahoo.com
۵. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران، رایانامه: mostafamarzi69@gmail.com
۶. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران، رایانامه: k.hasheminasab@gmail.com
۷. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: mehdibeheshti8@gmail.com

اطلاعات مقاله**چکیده**

نوع مقاله: مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱

واژه‌های کلیدی:

تجمع نیترات،
روش‌های استاندارد،
کنترل کیفیت،
محصولات کشاورزی،
غلظت نیترات.

برای انجام این پژوهش ۱۱۰ مطالعه منتشر شده در زمینه پایش غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در ایران که تا پایان سال ۱۴۰۱ منتشر شده بودند، جمع‌آوری گردید. این مطالعات ابتدا از نظر متدولوژی و کنترل کیفیت و تضمین کیفیت نتایج ارزیابی و با شاخص‌های یک مطالعه استاندارد مقایسه شدند. نتایج ارزیابی متدولوژی مطالعات نشان داد که تنها در ۲۷/۳ درصد از مطالعات روش نمونه‌برداری، نگهداری و انتقال نمونه‌ها، در ۱۵/۵ درصد از مطالعات روش آماده‌سازی و عصاره‌گیری و در ۳۰ درصد از مطالعات روش اندازه‌گیری منطبق بر روش‌های استاندارد انجام شده است. ارزیابی کنترل کیفی مطالعات نشان داد که تنها در ۲۰/۹ درصد از مطالعات برخی از شاخص‌های کنترل و تضمین کیفیت نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارزیابی غلظت نیترات در محصولات نشان داد که میانگین وزنی غلظت نیترات در سیب‌زمینی ۹۸/۷، خیار ۱۲۰/۹، گوجه‌فرنگی ۴۰/۷، پیاز ۳۹/۶، هندوانه ۱۹/۹، خربزه ۶۲/۹، هویج ۱۵۱/۱، بادمجان ۲۳۵/۲، انواع فلفل ۳۲۹، سایر سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای ۵۴۲/۴، کاهو ۹۰۷/۷، اسفناج ۹۹۵/۴، کرفس ۱۰۹۳/۴، حبوبات تازه خوری ۳۷/۷، جعفری ۵۹۶/۵، انواع کلم ۴۱۴/۷، سایر سبزیجات برگی ۶۳۵/۶، سیب درختی ۳۲/۴ و پرتقال ۳۷/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه بود. تحقیق حاضر نشان داد که میانگین غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در ایران کمتر از حداکثر سطوح مجاز توصیه شده در استاندارد ملی ایران و سایر استانداردهای جهانی است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی نگرانی جدی از نظر وجود غلظت بیش از حد نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در فضای باز کشور وجود ندارد.

استناد: چراغی، میشم؛ شهبازی، کریم؛ فتحی گردیدانی، ارژنگ؛ بازرگان، کامبیز؛ مارزی، مصطفی؛ هاشمی نسب زواره، کبری سادات؛ بهشتی، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی ایران و نقدی بر کیفیت مطالعات گزارش شده-مطالعه مروری، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱۱)، ۱۱۷۹-۱۸۲۰.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362834.669545>

© نویسندگان.

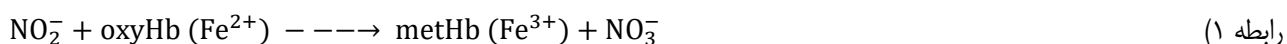
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362834.669545>

مقدمه

بدون شک یکی از مهمترین چالش‌هایی که امروزه متخصصان کشاورزی با آن رو به رو هستند، اطمینان از تولید محصول سالم و با حداقل خطر برای سلامت انسان و محیط است (Novair et al., 2023). علاوه بر فلزات سنگین، مواد رادیو اکتیو، نانو پلاستیک‌ها، آفت‌کش‌ها، آلودگی‌های نفتی و غیره، نیترات (NO_3^-) نیز به علت قابلیت تجمع در گیاهان و نیز قابلیت آبشویی سریع یکی از عوامل آلاینده جدی برای محصولات کشاورزی و محیط زیست است (Bian et al., 2020; Cheraghi et al., 2023a). نیترات مهمترین شکل نیتروژن است که برای دستیابی به حداکثر توان تولید، به آسانی و در مقادیر زیاد توسط اکثر محصولات کشاورزی جذب می‌شود (Anjana and Iqbal, 2007). زمانی که جذب نیترات بسیار بیشتر از سوخت و ساز گیاه باشد، ممکن است که نیترات در سطوح خطرناک در بافت‌های گیاهی تجمع پیدا کند (Anjana and Iqbal, 2007). قرار گرفتن انسان در معرض نیترات عمدتاً ناشی از عوامل برون‌زاد است. سهم هر یک از مواد خوراکی در جذب نیترات توسط انسان برای سبزیجات تازه/خام ۸۰٪، برای آب آشامیدنی ۱۵٪ و برای محصولات حیوانی (گوشت، شیر و پنیر) و غلات ۵٪ برآورد شده است (Alexander et al., 2008; Rathod et al., 2016).

نیترات به خودی خود نسبتاً بی‌ضرر است، زیرا دوز کشنده نیترات برای بزرگسالان بالاتر از ۷ تا ۳۵ گرم در نظر گرفته می‌شود که چندین برابر بیشتر از میزان مجاز دریافت روزانه نیترات تعیین شده توسط اتحادیه اروپا (۳/۷ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز)، معادل ۲۲۲ میلی‌گرم نیترات در روز برای یک فرد ۶۰ کیلوگرمی است (EU, 1995; Petersen and Stoltze, 1999). با این حال وجود مقادیر بیش از حد نیترات در محصولات کشاورزی، آب و سایر غذاها یک تهدید جدی برای سلامت انسان است، زیرا حدود ۵ درصد از کل نیترات دریافت شده، توسط بزاق و دستگاه گوارش به نیتريت تبدیل می‌شود که به مراتب سمی‌تر می‌باشد، بنابراین باید در دریافت حد مجاز روزانه نیترات احتیاط کرد (Pannala et al., 2003; Spiegelhalder et al., 1976). ترکیبات نیتريت و N-نیتروز^۱، که هنگام اتصال نیتريت به مواد دیگر (به‌عنوان مثال، آمین‌های مشتق شده از پروتئین) تشکیل می‌شوند، سمی بوده و می‌توانند منجر به آسیب‌های شدید در انسان شوند (Speijers and Van den Brandt, 2003). بنابراین، در ارزیابی خطر نیترات برای سلامت انسان باید سمیت هر دو ترکیب نیتريت و N-نیتروز در نظر گرفته شود (Speijers and Van den Brandt, 2003). شاید معروف‌ترین اثر نیتريت توانایی آن در واکنش با هموگلوبین (oxyHb) برای تشکیل مت‌هموگلوبین (metHb) و نیترات باشد (رابطه ۱). در اثر تشکیل مت‌هموگلوبین اکسیژن رسانی به بافت‌ها مختل می‌شود (Knobeloch et al., 2000; Mensinga et al., 2003).



نگرانی‌های موجود در رابطه با حضور نیتريت در بدن انسان از نقش آن در ارتباط با سرطان‌های معده و مثانه و همچنین اثر آن در سندرم مت‌هموگلوبینما که به‌عنوان "سندرم بچه آبی"^۲ نامیده می‌شود، نشأت می‌گیرد (Abdel Mohsen et al., 1999; Mensinga et al., 2003; Parks et al., 2008). واضح است که برخی از گروه‌های جمعیت مانند گیاهخواران، نوزادان و افراد مسن، زمانی که در معرض دریافت بیش از حد نیترات در رژیم غذایی قرار می‌گیرند، ممکن است در معرض خطر بیشتری برای ابتلا به سرطان باشند (Cavaiuolo and Ferrante, 2014). از این رو، کشورهای مختلف، به‌عنوان یک اقدام احتیاطی، استانداردهایی را برای بیشینه حد مجاز نیترات در محصولات مختلف کشاورزی وضع کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به استانداردهای اتحادیه اوپا به شماره ۲۰۰۶-۱۱۸۱ و ۲۰۱۱-۱۲۵۸ و یا استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۵۹۶-۱۳۹۲ اشاره کرد. به علت شرایط مختلف محیطی، سیستم‌های کشت مختلف و عادات‌های غذایی کشورها و مناطق مختلف، مقادیر آستانه نیترات در برخی از محصولات کشاورزی ممکن است بین گونه‌ها و یا فصول مختلف (از لحاظ دوره و شدت نور) متفاوت باشد. بنابراین، برای ارزیابی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی، ضروری است که غلظت نیترات موجود در هر محصول با حدود مجاز استاندارد تعیین شده برای آن منطقه/کشور خاص و همچنین با استانداردهای بین‌المللی (با توجه به واحد گزارش شده در استانداردها که میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم وزن تازه محصول است) مورد مقایسه قرار بگیرد.

مدیریت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، جهت کنترل میزان دریافت روزانه نیترات و کاهش ریسک خطر آن برای سلامت انسان تا حد زیادی به آگاهی ما از وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی بستگی دارد. بنابراین تجزیه دقیق محصولات کشاورزی و تولید داده‌های معتبر و قابل اعتماد، نقش مهمی در مدیریت مقدار نیترات در محصولات کشاورزی ایفا می‌کند (ASTDR, 2017; Honsa and McIntyre, 2003; Shahbazi et al., 2022a,b). اهمیت تولید داده‌های دقیق مخصوصاً وقتی اهمیت پیدا می‌کند که داده‌های تولید شده،



به‌طور مستقیم با سلامت انسان و محیط‌زیست در ارتباط باشند. تعیین مقدار دقیق باقیمانده غلظت نیترات در محصولات کشاورزی مستلزم انجام صحیح هر یک از مراحل نمونه‌برداری، نگهداری و انتقال نمونه‌ها، آماده‌سازی نمونه‌ها، عصاره‌گیری، اندازه‌گیری، کنترل کیفی و تفسیر نتایج است (Barradas and Sampaio, 2017; Honsa and McIntyre, 2003). آگاهی از فیزیولوژی گیاهان در ارتباط با قابلیت آن‌ها در تجمع یا عدم تجمع نیترات نیز به تفسیر نتایج و کنترل هزینه‌ها کمک قابل توجهی خواهد کرد. تحقیقات نشان داده است که برخی از محصولات کشاورزی به سبب فیزیولوژی خاص خود قابلیت تجمع نیترات را ندارند (Blom-zandstar, 1989; Colla et al., 2018). بنابراین، جای دادن آن‌ها در پایش وضعیت نیترات صرفاً صرف هزینه و یا به‌عبارتی هدر دادن انرژی و هزینه و وسواس بی‌مورد است. متأسفانه بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در کشور نواقص فاحشی را در مراحل مختلف تجزیه و تفسیر داده‌ها نشان می‌دهند. بنابراین آگاهی از مبانی و الزامات آزمایشگاهی جهت اعتبار سنجی و تولید داده‌های قابل اعتماد امری ضروری است.

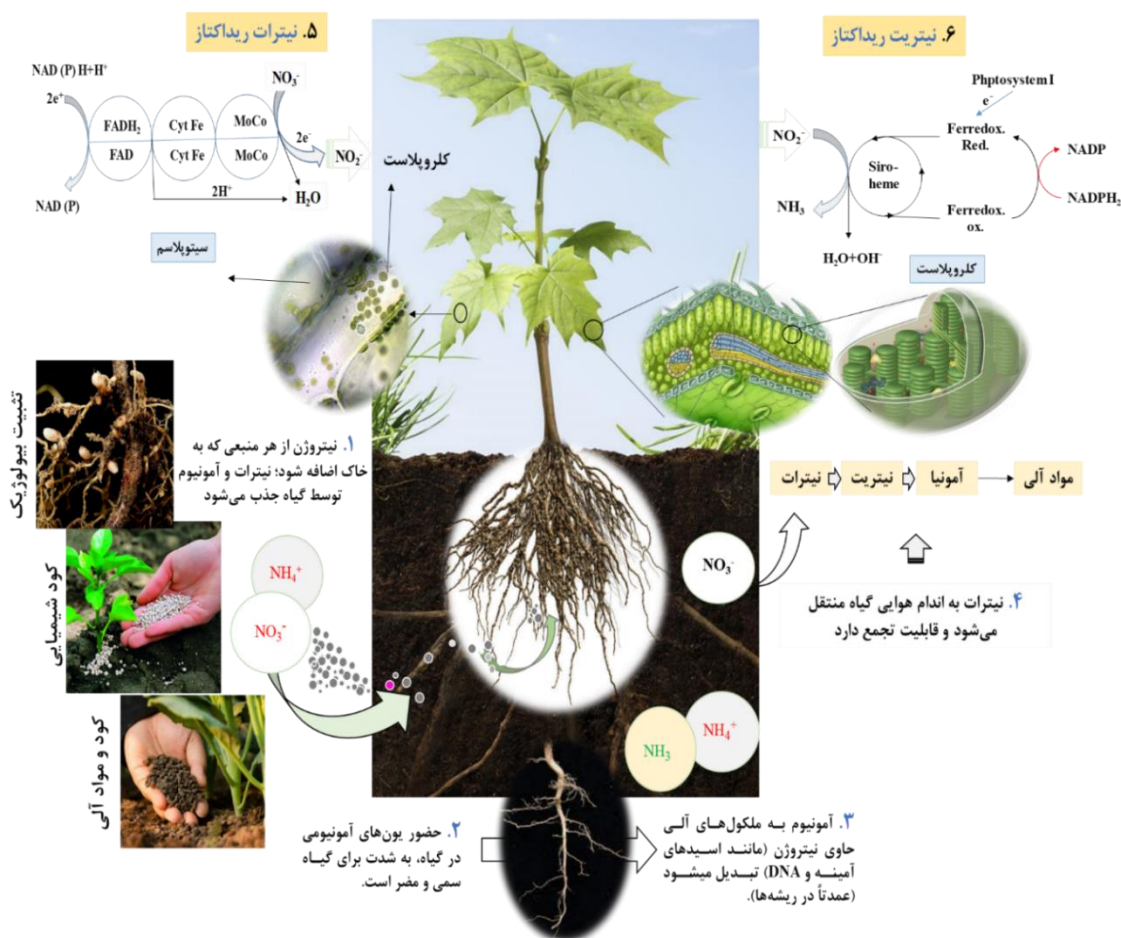
تجمع نیترات در محصولات کشاورزی به بسیاری از عوامل قبل از برداشت مانند گونه/ژنوتیپ گیاهی، عوامل زراعی و مدیریتی، شرایط محیطی غالب در طول رشد گیاه، مرحله برداشت، زمان برداشت در طول روز و مدیریت پس از برداشت بستگی دارد (Colla et al., 2010; Najafi and Parsazadeh, 2018; al., 2018). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که زمینه‌های ژنتیکی، مدیریت عرضه نیترات و شرایط نوری سه عامل اصلی مؤثر بر سطح غلظت نیترات در گیاهان هستند (Elia et al., 1998; Riens and Heldt, 1992; Santamaria et al., 2001). علیرغم اهمیت نیترات در سلامت انسان و محیط‌زیست و گستردگی مطالعات انجام شده در این زمینه، هنوز مشخص نیست که آیا تحقیقات انجام شده در رابطه با پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی، مراحل صحیح یک تجزیه دقیق را طی نموده‌اند یا خیر؟ چند درصد از داده‌های منتشر شده قابل اعتماد هستند؟ آیا می‌توان داده‌های منتشر شده را مبنایی برای وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی و نیز تصمیمات و اقدامات کلان مدیریتی قرار داد؟ آیا تحقیقات انجام شده الزامات لازم جهت کنترل کیفی داده‌ها و ارزیابی صحت آن‌ها را انجام داده‌اند؟ آیا روش‌های مورد استفاده جهت تجزیه نیترات در محصولات، استاندارد بوده است؟ در مطالعه حاضر تلاش شده است تا با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر تجمع نیترات، روش‌های تجزیه استاندارد و الزامات کنترل کیفیت و تضمین کیفیت نتایج، کلیه مطالعات گزارش شده قابل دسترس جهت ارائه تصویری اجمالی در رابطه با وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی نقد و بررسی شوند.

سازوکار تجمع نیترات در محصولات کشاورزی

نیترات و آمونیوم منابع عمده نیتروژن غیر آلی هستند که به وسیله ریشه گیاهان عالی جذب می‌شوند. بخش زیادی از آمونیوم، در ریشه‌ها به ترکیبات آلی تبدیل می‌شود؛ درحالی‌که نیترات پس از جذب به سایر اندام‌های گیاه مخصوصاً برگ‌ها انتقال می‌یابد و می‌تواند در درون واکوئل‌های ریشه، ساقه و اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد (Marschner, 1995). عوامل مختلفی از جمله توانایی فیزیولوژیکی گیاه در تجمع نیترات (ژنتیک)، میزان جذب نیترات، فعالیت نیترات ریداکتاز و سرعت رشد بر مقدار تجمع نیترات در محصولات نقش دارند که ارتباط نزدیکی با متابولیسم کربن دارند (Hmelak et al., 2013). نیترات قبل از ورود به متابولیسم گیاه باید به آمونیوم (NH_4^+) یا آمونیاک (NH_3) احیا شود. احیای نیترات شامل دو مکانیسم کاتالیزوری-آنزیمی است که بسته به گونه گیاهان، در ریشه یا برگ اتفاق می‌افتد (شکل ۱). در مرحله اول در سیتوپلاسم؛ نیترات توسط آنزیم نیترات ریداکتاز به نیتريت تبدیل می‌شود و در مرحله دوم در کلروپلاست نیتريت توسط نیتريت ریداکتاز به آمونیاک تبدیل می‌شود (شکل ۱). هر دو این واکنش‌ها به دنبال هم صورت می‌گیرند تا نیتريت سمی در گیاهان تجمع نیابد. آمونیاک تولید شده به اسیدهای آمینه تبدیل شده و بعداً به اسیدهای نوکلئیک و پروتئین تبدیل می‌شود (Marschner, 1995; Wiedenhoef, 2006).

بنابراین، فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز اثر کلیدی در میزان تجمع نیترات در گیاهان دارد. اگر چه نیترات بدون داشتن اثر مخرب برای گیاه می‌تواند در واکوئل‌ها ذخیره شود، اما آمونیوم و به ویژه ماده تعادلی آن یعنی آمونیاک در غلظت‌های اندک برای گیاهان سمی هستند. تشکیل اسیدهای آمینه، آمیدها و ترکیباتی از این گونه، مکانیسم‌های اصلی گیاهان برای از بین بردن اثر سمی یون‌های آمونیومی (که به وسیله ریشه جذب شده‌اند و یا از احیای نیترات و تثبیت گاز نیتروژن به وجود آمده‌اند) هستند (Liu et al., 2022; Cheraghi et al., 2020; Xu et al., 2012). بنابراین، مراحل عمده مصرف یون‌های آمونیومی، جذب به درون سلول‌های ریشه و تبدیل آن به اسیدهای آمینه و آمیدها و رها شدن همزمان پروتون‌ها برای جبران بار الکتریکی است. بنابراین، با توجه به سرنوشت بیان شده برای نیتروژن جذب شده توسط گیاهان (نیترات و آمونیوم)، بخش مهمی از علل تجمع نیترات در گیاهان، اختلال در مراحل احیای نیترات می‌باشد (Liu et

(al., 2022; Marschner, 1995).



شکل ۱- جذب و تغییر و تبدیل نیترات در گیاهان

عوامل مؤثر بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی

عوامل بسیار زیادی وجود دارد که می‌توانند به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی تأثیر گذار باشند. در یک تقسیم‌بندی ساده می‌توان این عوامل را به سه دسته؛ ۱) عوامل ژنتیکی مانند گونه و ژنوتیپ گیاهی (Burns et al., 2011; Luo et al., 2006), ۲) عوامل محیطی مانند شدت و مدت نور (Cavaiuolo and Ferrante, 2014; Santamaria, 2006), کیفیت نور (Lin et al., 2013), دمای هوا (Parks et al., 2008) و غلظت دی اکسید کربن (Dong et al., 2017; Proietti et al., 2013) و ۳) عوامل مدیریتی مانند زمان برداشت (فصل برداشت و زمان برداشت در طول روز) (Chang et al., 2013; Kalantari et al., 2022; Blom-Zandstra and Lampe, 1985; Donner and Santamaria et al., 1999), نوع و مقدار کود نیتروژنی استفاده شده (Santamaria et al., 1999; Borlotti et al., 2012; Cheraghi et al., 2023b; Ye et al., 2011), مدیریت تغذیه گیاه (Kucharik, 2003; Herencia et al., 2011), استفاده از اصلاح کننده‌ها و کودهای آلی و زیستی (Colla et al., 2017; Colla and Rouphael, 2015) و مدیریت پس از برداشت (مدت زمان و شرایط نگهداری تا مصرف) (Alexander et al., 2008; Ekart et al., 2013; Konstantopoulou et al., 2010; Kyriacou and Rouphael, 2018) تقسیم بندی کرد.

نویسندگان تحقیق حاضر از بررسی مطالعات مربوط به نقش تغذیه گیاه بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی دریافتند که مدیریت بهینه تغذیه گیاه می‌تواند نقش بسیار مهمی در تنظیم سطوح نیترات در محصولات کشاورزی داشته باشد. بررسی اثر سطوح مختلف عناصر غذایی کلیدی مانند مولیبدن، گوگرد، فسفر و کلر (از نظر تأثیر بر تجمع نیترات)، در مراحل مختلف رشد گیاه و اثر مصرف همزمان آن‌ها با کودهای نیتروژنی، مباحثی هستند که به بررسی دقیق نیاز دارند. بدون شک کسب اطلاعات کافی و دقیق در رابطه با اثر مدیریت تغذیه گیاه بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی در آینده نزدیک به تحقیقات مرتبط با تولید محصولات کشاورزی سالم از نظر نیترات کمک

قابل توجهی خواهد کرد. طیف گسترده‌ای از سایر عوامل نیز وجود دارد که می‌توانند بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی مؤثر باشند که به نحوی در زیر مجموعه این سه عامل اصلی قرار می‌گیرند. به دلیل گستردگی مکانیسم‌ها و نحوه اثر هر کدام از این عوامل بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی، در این بخش فقط به معرفی آن‌ها پرداخته شده است. محققان برای کسب اطلاعات دقیق از سازوکار اثر هر کدام از عوامل ذکر شده می‌توانند به مقالات ارجاع شده برای هر عامل و نیز تحقیق انجام شده توسط Colla و همکاران (۲۰۱۸) مراجعه نمایند. شکل ۲ نیز چکیده‌ای از عوامل مؤثر بر تجمع نیترات در محصولات کشاورزی و نحوه اثر هر کدام از آن‌ها را نشان می‌دهد که بر گرفته مقالات ارجاع شده در این بخش است.



شکل ۲- اثر برخی از عوامل مؤثر در جذب و تجمع نیترات در کشاورزی. فلش قرمز معادل اثر افزایشی بر تجمع نیترات و فلش آبی معادل اثر کاهش بر تجمع نیترات در محصولات است.

دسته‌بندی محصولات کشاورزی از نظر توانایی تجمع نیترات

از نظر غلظت نیترات، محصولات کشاورزی را می‌توان به این صورت فهرست کرد: گیاهان علفی^۱ < سبزیجات برگی < سبزیجات ساقه‌ای < سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای < سبزیجات میوه‌ای < سبزیجات دانه‌ای (بدون احتساب لوبیا قرمز و لوبیا سبز/لوبیا فرانسوی) < گل آذین و جوانه‌ها < پیازها < میوه‌ها < قارچ‌ها (Colla et al., 2018). Santamaria و همکاران (۱۹۹۹) اندام‌های گیاهی را براساس کاهش غلظت نیترات به ترتیب دمبرگ < برگ < ساقه < ریشه < گل آذین^۲ < غده < پیاز < میوه < دانه فهرست کردند. در جدول ۱ بسیاری از محصولات کشاورزی بر اساس دامنه غلظت نیترات موجود در آن‌ها طبقه‌بندی شده‌اند. این دسته‌بندی‌ها نشان می‌دهد که برخی از محصولات کشاورزی مانند محصولات دانه‌ای، میوه‌ها و غیره به‌طور ذاتی مقادیر بسیار کمی از نیترات را در خود تجمع می‌دهند و به

اصطلاح پتانسیل کمتری برای تجمع نیترات دارند. لذا با آگاهی از این موضوع، بررسی تجمع نیترات در برخی از محصولات کشاورزی، در واقع اتلاف هزینه و زمان می‌باشد است و به همین دلیل است که در استانداردهای معتبر بین المللی حد بیشینه‌ای برای آن‌ها تعیین نگردیده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی محصولات کشاورزی بر اساس غلظت نیترات موجود در قسمت خوراکی آن‌ها (Colla et al., 2018)

محصول	غلظت نیترات (mg/kg FW)	قابلیت تجمع نیترات
مرزه، کلم گنجه‌ای، دکمه‌ای، فندقی یا بروکسل، کلم ساوی یا کلم پیچ، کاسنی، مارچوبه، کنگر فرنگی، سیاه سالسیف ^۱ ، ریشه نیلوفر آبی، شقاق ^۲ (هویج وحشی)، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی شیرین، لوبیا سبز، باقلا، نخود، جوانه سویا، خیار خاردار ^۳ ، خربزه، فلفل قرمز، فلفل سبز، کدو حلواپی، بلوط، توت فرنگی، سیب‌زمینی، هندوانه، سیر، پیاز، سیب، موز، انگور، کیوی، شلیل، هلو، گلابی، نارنج، قارچ	کمتر از ۲۰۰	خیلی پایین
کلم بروکلی، گل کلم، کلم قرمز، برگ رازیانه، پیاز سبز (پیازچه)، تره فرنگی، چغندر قرمز، هویج، شلغم سوئدی (Rutabaga)، لوبیا، خیار، بادمجان، کدو تنبل، کدو سبز (تابستانی)	۲۰۰ تا ۵۰۰	پایین
شوید، کلم بروکلی (Broccoli raab)، کلم، کلم پیچ، گل قاصدک ^۴ ، اندیو ^۵ ، کاهو (Iceberg)، ربواس، کرفس ریشه-ای (Celeriac)، لوبیا فرانسوی، لوبیا قرمز	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	متوسط
گل گاوزبان، گشنیز، جعفری، کلم بوک چوی ^۶ ، کلم چینی، کلم قمری، سبزی خردل، چغندر سوئیسی، تاج خروس، چغندر لبویی، برگ کاسنی، کاهو (Butterhead)، شاه‌باغی، کاهو (Romaine)، اسفناج، کرفس، ساقه رازیانه، تربچه قرمز، سفید و سیاه، شلغم	۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰	بالا
ریحان، موسیر، آویشن، چغندر سوئیسی، شاه‌باغی، چغندر قرمز، کاهو، اسفناج، کرفس، تربچه	۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰	خیلی بالا
منداب راکتی ^۷	بیشتر از ۵۰۰۰	بیش از حد بالا

* بعضی از محصولات به دلیل پویایی دامنه نیترات مشاهده شده در آن‌ها در منابع مختلف، در دسته‌بندی‌های متفاوتی قرار گرفته‌اند.

تعیین غلظت نیترات در محصولات کشاورزی

انجام یک تجزیه استاندارد و صحیح نیترات نیازمند صرف دقت بسیار بالا در تک تک مراحل انجام تجزیه است. از آنجایی که نیترات در محصولات تازه اندازه‌گیری می‌شود و همچنین به دلیل پویایی نیترات در محصولات تازه برداشت شده، تمامی مراحل نمونه‌برداری، نگهداری، انتقال، آماده‌سازی، عصاره‌گیری و اندازه‌گیری باید با دقت و سرعت نسبتاً بالایی صورت گیرد (Merino et al., 2017). با توجه به تأثیر قابل توجه مدیریت تولید تا قبل از برداشت، مانند نوع سیستم کشت (گلخانه، مزرعه)، مدیریت مصرف کود و ... بر غلظت نیترات در محصول، ضروری است تمام اطلاعات مرتبط مانند منبع تهیه نمونه‌ها، زمان برداشت نمونه‌ها، رقم گیاه، نوع و مقدار کود مصرف شده و سایر اطلاعات ذکر شده در این تحقیق در هنگام تهیه نمونه مستندسازی شود. ثبت تمام این اطلاعات و نیز مشاهدات نمونه‌برداری و تجزیه کننده در طول آزمایش می‌تواند در تفسیر نتایج بسیار مفید باشد. در ادامه مهمترین نکاتی که در ارزیابی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی بایستی به آن‌ها توجه داشت، به‌طور خلاصه توضیح داده شده‌اند. در استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۷۲۱ (ترجمه شده از EN 12014-1: 1997) برخی از ملاحظات کلی برای اندازه‌گیری نیترات در مواد غذایی بیان شده است (EN 12014-1, 1997; ISIRI^۸ EN^۹ 12014-1, 2013).

نمونه‌برداری، مدیریت و آماده‌سازی نمونه‌ها

روش نمونه‌برداری بایستی کاملاً منطبق بر اصول علمی و استاندارد باشد تا نمونه، نماینده‌ای واقعی از جامعه مورد مطالعه باشد و نتایج تجزیه قابلیت تعمیم به جامعه را داشته باشد. رعایت دقیق روش‌های استاندارد در تمام مراحل (نمونه‌برداری، مدیریت، انتقال، آماده‌سازی و

1. Black salsify
2. Parsnip
3. Gherkin
4. Dandelion
5. Endive
6. Bok choy
7. Arugula (rocket)
8. European Committee for Standardization
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran



تجزیه) امکان تجمیع، به اشتراک گذاری و تفسیر صحیح نتایج را فراهم می‌کند. راهنمای نمونه‌برداری از غلات، سبزیجات برگی مانند کاهو، اسفناج و غذای کودک بر پایه غلات (استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۵۳۲ و یا استاندارد اتحادیه اروپا به شماره ۱۸۸۲) منبعی مناسب جهت نمونه‌برداری می‌باشد (EN 1882, 2006; ISIRI 13532, 2010). در این بخش از بیان برخی موارد که در استاندارد ملی ایران به آن‌ها اشاره شده است پرهیز شده است و تنها برای تأکید مجدد، نکات مهم نمونه‌برداری، مدیریت و آماده‌سازی به‌طور خلاصه ذکر شده است.

نوع نمونه (مزرعه‌ای، گلخانه‌ای، انباری و یا تهیه شده از فروشگاه): بسته به هدف اندازه‌گیری غلظت نیترات، نمونه‌برداری می‌تواند از مزرعه (فضای باز، گلخانه)، انبار، میدان میوه و تره بار و یا فروشگاه‌ها انجام گیرد. مزیت نمونه‌برداری از مزرعه این است که پس از اندازه‌گیری غلظت نیترات، شناسایی عوامل مزرعه‌ای مؤثر بر افزایش یا کاهش غلظت نیترات امکان‌پذیر خواهد بود. در هنگام نمونه‌برداری از هر یک از این منابع لازم است که کارت مشخصات نمونه که در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۵۳۲-۱۳۸۹ و یا استاندارد اتحادیه اروپا به شماره ۱۸۸۲-۲۰۰۶ ذکر شده است، برای تک تک نمونه‌ها تکمیل گردد. در هنگام گزارش نتایج، تمام اطلاعات نمونه که ممکن است بر نتایج تأثیر داشته باشند، بایستی ذکر گردند.

زمان نمونه‌برداری (در طول روز، ماه و سال): زمان برداشت محصولات در طول روز (صبح، ظهر و یا عصر) اثر قابل توجهی بر غلظت نیترات (مخصوصاً در سبزیجات برگی) دارد. غلظت نیترات در محصولات برگی در عصر (ساعت ۱۵ تا ۱۸) حداقل و در صبح (ساعت ۶ تا ۹) حداکثر می‌باشد. بنابراین، از نظر غلظت نیترات، عصر بهترین زمان برای برداشت محصولات برگی جهت عرضه به بازار است (Chang et al., 2013). با توجه به تغییرات غلظت نیترات در طول روز بخصوص در سبزیجات برگی، بسته به هدف مطالعه، این مورد مهم را مد نظر قرار داده و در هنگام گزارش نتایج حتماً زمان برداشت در طول روز ذکر گردد. از طرف دیگر شدت نور نیز بر تجمع نیترات در محصولات تأثیر قابل توجهی دارد. با توجه به اینکه شدت نور در طول روز و همچنین در فصول مختلف سال تغییر می‌کند، بنابراین غلظت نیترات تحت تأثیر آن خواهد بود (Shahlaei et al., 2007). اثر فصل در مناطقی که کشت در فضای آزاد دارند، قابل کنترل نیست زیرا فصل کشت و برداشت برای هر محصول مشخص است. به همین خاطر بعضی کشورها استانداردهای جداگانه‌ای برای محصولات تولید شده در فصول مختلف تعیین نموده‌اند.

مقدار و اندازه نمونه: مقدار نمونه برداشته شده بایستی طوری باشد که از نظر آماری نماینده واقعی جامعه‌ای باشد که نمونه از آن برداشته شده است. در سبزیجات برگی مانند کاهو و اسفناج، مقدار محصول مورد نیاز برای نماینده بودن یک نمونه باید حداقل شامل ۱۰ گیاه باشد و حداقل یک کیلوگرم وزن داشته باشد (EN 1882, 2006; ISIRI 13532, 2010). لذا به‌نظر می‌رسد که مقدار ۱-۲ کیلوگرم نمونه برای بیشتر محصولات بشرطی که حداقل حاوی ۱۰ واحد نمونه باشند، کفایت می‌نماید. غلظت نیترات در نمونه‌های با اندازه‌های/سایزهای مختلف نیز متفاوت می‌باشد (به‌طور مثال غلظت نیترات در سیب‌زمینی و خیارهای با اندازه درشت نسبت به اندازه ریز متفاوت است). بنابراین نمونه برداشته شده نیز بایستی نماینده‌ای از این توزیع باشد (به‌طور مثال نباید نمونه برداشته شده تنها شامل واحدهای نمونه با اندازه بزرگ باشد). الگو و نحوه برداشت نمونه بایستی مطابق با استاندارد باشد (EN 1882, 2006; ISIRI 13532, 2010).

کارت مشخصات نمونه: در هنگام نمونه‌برداری کارت مشخصات نمونه بایستی به‌طور کامل تکمیل گردد. نمونه‌ای از مشخصات این کارت در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۵۳۲-۱۳۸۹ آورده شده است (ISIRI 13532, 2010). البته با توجه به هدف مطالعه و تشخیص کارشناس مسئول، این کارت می‌تواند شامل اطلاعات تکمیلی دیگری نیز باشد.

نگهداری و انتقال نمونه‌ها: برای انتقال نمونه‌ها، به‌منظور جلوگیری از کاهش رطوبت و حفاظت از هر گونه آلودگی و صدمه، لازم است که نمونه‌ها در ظروف مناسب، مقاوم، بی‌اثر و تمیز نگهداری شوند. نمونه باید حداکثر پس از ۲۴ ساعت از نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل و در طول مدت نگهداری و انتقال در مکانی خنک نگهداری شود. در صورت امکان پذیر نبودن این امر، نمونه باید ظرف ۲۴ ساعت به سرعت منجمد شود. نمونه منجمد شده می‌تواند حداکثر تا ۶ هفته به صورت یخ زده نگهداری شود. تمام احتیاط‌های لازم برای اجتناب از هر گونه تغییر در ترکیبات نمونه‌ها که ممکن است در طی حمل و نقل و یا انبارداری ایجاد شود، باید مورد توجه قرار بگیرد (EN 1882, 2006; EN 12014-1, 1997; ISIRI 13532, 2010).

آماده‌سازی نمونه‌ها: در صورت نمونه‌برداری از محصولاتی که مورد مصرف تازه خوری هستند، آماده‌سازی نمونه‌ها باید در صورت امکان تا ۲۴ ساعت پس از نمونه‌برداری انجام شود (EN 1882, 2006; ISIRI 13532, 2010). برخی از الزامات آماده‌سازی برای محصولات کشاورزی در جدول ۲ آورده شده است. خاک، قسمت صدمه دیده و قسمت‌های غیر خوراکی و به شدت آلوده به خاک باید از

نمونه جدا شوند. برای آماده‌سازی نمونه‌ها برای عصاره‌گیری و تجزیه، نیاز به شستن نمونه‌ها نیست. تجزیه‌گر می‌تواند با استفاده از دستمال تمیز و عاری از نیترات سطح محصول را تا حد امکان تمیز کند ولی مجاز به شستن نمونه‌ها نیست چرا که شستن نمونه‌ها منجر به کاهش مقدار نیترات در نمونه می‌شود. سپس با استفاده از یک دستگاه مخلوط کن، نمونه به صورت خمیری همگن در آورده می‌شود. در این مرحله باید دقت شود که نمونه خوب همگن و خمیری شده باشد در غیر این صورت احتمال خطا در استخراج نیترات وجود خواهد داشت (EN 1882, 2006; ISIRI 13532, 2010). با توجه به اینکه غلظت نیترات پس از نمونه‌برداری می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف مانند خشک کردن تغییر نماید، لذا در مطالعات ارزیابی غلظت نیترات، عصاره‌گیری از نمونه‌های خشک شده در آن توصیه نمی‌گردد.

جدول ۲- برخی از الزامات آماده‌سازی محصولات کشاورزی، مورد تأکید برای اندازه‌گیری غلظت نیترات (اصلاح شده 1882, 2006 EN و ISIRI 13532, 2010)

نوع محصول	اندام مورد تجزیه ^۱	وضعیت پوست	وضعیت دانه یا هسته	نحوه تمیز کردن
خیار	میوه (کامل)	تجزیه میوه با پوست	ندارد	دستمال تمیز و مناسب ^۲
گوجه‌فرنگی	میوه (کامل)	تجزیه میوه با پوست	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
پیاز	بخش خوراکی	پوست رویی جدا شود	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
سیب‌زمینی	بخش خوراکی	پوست رویی جدا شود	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
هویج	میوه	تجزیه میوه با پوست	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
لفل دلمه‌ای و کشیده	میوه	تجزیه میوه با پوست	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
هندوانه	بخش خوراکی	پوست رویی جدا شود	تجزیه با دانه	دستمال تمیز و مناسب
خرزبه و طالبی	بخش خوراکی	پوست رویی جدا شود	دانه‌ها جدا شود	دستمال تمیز و مناسب
بادمجان و کدو	بخش خوراکی	پوست رویی جدا شود	تجزیه با دانه	دستمال تمیز و مناسب
سیب درختی و گلابی	میوه (کامل)	تجزیه میوه با پوست	تجزیه با دانه	دستمال تمیز و مناسب
پرتقال و سایر مرکبات	بخش خوراکی	پوست رویی جدا شود	تجزیه با دانه	دستمال تمیز و مناسب
اسفناج و کاهو	بخش خوراکی	برگ‌های غیر خوراکی رویی جدا شود	ندارد	ترجیحاً شسته نشود مگر اینکه بیش از حد آلوده باشد
سایر سبزیجات برگی (شاهی، جعفری، تره، ریحان، ترخون، شوید، نعنای و غیره)	بخش خوراکی	ندارد	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
سایر محصولات جالیزی میوه‌ای (شلغم، تربچه، چغندر و غیره)	بخش خوراکی	پوسته سخت غیر خوراکی جدا شود	ندارد	دستمال تمیز و مناسب
سایر میوه‌ها (موز، هلو، کیوی، انجیر و غیره)	کل میوه	پوست غیر خوراکی جدا شود	هسته سخت جدا شود	دستمال تمیز و مناسب

۱. در همه محصولات بخش‌های آسیب دیده، کپک زده، خراب شده، بخش‌های دارای علائم کمبود عناصر غذایی و یا علائم بیماری و بخش‌های نرسیده حذف شوند.

۲. دستمال عاری از نیترات یا سایر مواد تأثیر گذار بر اندازه‌گیری نیترات باشد. جنس دستمال نرم باشد تا تمیز کردن منجر به ایجاد خراش و صدمه به محصولات نشود.

روش‌های استخراج و اندازه‌گیری نیترات در محصولات کشاورزی

در این بخش، به معرفی روش‌های استاندارد و سایر روش‌های منتشر شده در منابع علمی جهت اندازه‌گیری مقدار نیترات در محصولات کشاورزی پرداخته شده است. با توجه به اعتبارسنجی روش‌های استاندارد (در زمان توسعه روش‌های آزمون استاندارد)، توصیه و تأکید نویسندگان پیاده‌سازی و استفاده از روش‌های استاندارد جهت ارزیابی غلظت نیترات در محصولات کشاورزی می‌باشد.

استخراج نیترات

پس از خمیری و همگن کردن نمونه تازه در یک دستگاه مخلوط کن که در روش‌های استاندارد ارائه شده است (ISIRI 4106, 1998; ISO 3365, 1984)؛ بسته به دامنه غلظت نیترات در نمونه و همچنین دامنه کاربرد روش، مقدار مشخصی از نمونه به درون بشر ۵۰ میلی‌لیتری توزین و بر اساس روش ذکر شده در استاندارد ایزو ۶۶۳۵ و یا استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۰۶ نیترات موجود در نمونه



استخراج می‌گردد. در این روش از آب داغ جهت عصاره‌گیری استفاده می‌شود. در عصاره‌گیری با این روش از پتاسیم هگزاسیانوفرات دو ظرفیتی و استات روی جهت ته نشین کردن پروتئین‌ها استفاده می‌شود تا در نهایت عصاره صاف جهت اندازه‌گیری نیترات حاصل شود (ISIRI 4106, 1998; ISO 3365, 1984). پس از عصاره‌گیری با روش استاندارد آب داغ، میزان نیترات را می‌توان با یکی روش‌های استاندارد ذکر شده در پایین اندازه‌گیری نمود.

چندیدن روش و عصاره‌گیر برای استخراج نیترات از محصولات کشاورزی خشک شده در آون نیز ارائه شده است. بسته به روش تجزیه، روش عصاره‌گیری و دامنه نیترات در نمونه‌ها، مقدار مشخصی از نمونه خشک آسیاب شده برداشته و با استفاده از آب مقطر، اسید استیک (Cataldo et al., 1975; Singh, 1988) و یا سولفات آلومینیوم (Jones, 2001) عصاره‌گیری می‌گردد. به‌علت عدم تأیید این روش‌ها به‌عنوان روش استاندارد، در این تحقیق فقط مورد اشاره قرار گرفته‌اند و استفاده از نمونه‌های خشک شده توصیه نمی‌شود.

روش‌های استاندارد اندازه‌گیری نیترات در محصولات کشاورزی

روش ISO 6635: 1984 (استاندارد ملی ایران ۴۱۰۶)

این روش (روش میله روی) برای اندازه‌گیری نیترات و نیتريت در میوه و سبزی‌ها و فرآورده‌های آن‌ها به روش اسپکتروفوتومتری ارائه شده است. اصول این روش عبارت است از: ۱- استخراج نمونه با آب داغ و ته نشین کردن پروتئین‌ها با افزودن محلول پتاسیم هگزاسیانوفرات دو ظرفیتی و استات روی؛ ۲- صاف کردن محلول بدست آمده و احیای نیترات این محلول به نیتريت به وسیله کادمیم فلزی؛ ۳- افزودن کلرور سولفانیل آمید و ان- (۱ نفتیل) اتیلن دی آمید دی هیدرو کلرید به محلول صاف شده و ۴- اندازه‌گیری کمپلکس صورتی رنگ ایجاد شده توسط نیتريت در طول موج ۵۳۸ نانومتر به روش اسپکتروفوتومتری. استانداردهای ملی ایران به شماره ۶۹۶۳ (ISIRI 6963, 2013) و ۷۱۳۲ (ISIRI 7132, 2013) به ترتیب اصلاحیه‌های مربوط به سیب‌زمینی و پیاز هستند که در رابطه با این روش استاندارد ارائه شده‌اند (ISO 3365, 1984). با این روش نیترات و نیتريت موجود در نمونه به‌طور همزمان استخراج و اندازه‌گیری می‌شود. در این استاندارد، روش اندازه‌گیری نیتريت نیز دقیقاً مشابه با روش نیترات است با این تفاوت که در استخراج و اندازه‌گیری نیتريت، مرحله احیای نیترات به نیتريت توسط کادمیم فلزی (مرحله ۲) حذف می‌شود و در نهایت در محاسبه غلظت نیترات اعمال می‌گردد.

روش EN 12014-7: 1998 (استاندارد ملی ایران ۱۶۷۲۱-۷)

در این روش (روش ستون کادمیم) مقدار نیترات به روش جریان پیوسته بعد از احیاء با کادمیم (ستون کادمیم) اندازه‌گیری می‌گردد (EN 12014-7, 1998; ISIRI 16721-7, 2015). هدف از تدوین این استاندارد، اندازه‌گیری نیترات در سبزی و فرآورده‌های آن که مقدار نیترات آن‌ها از ۹۰۰ تا ۵۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است، می‌باشد. این روش برای تعیین نیترات در محصولاتی که مقدار نیترات آن‌ها بیشتر از ۵۰ میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم وزن تازه باشد، نیز کاربرد دارد. این استاندارد برای انواع سبزی و صیفی و فرآورده‌های آن کاربرد دارد. در این روش از آب داغ برای عصاره‌گیری نیترات از نمونه‌ها استفاده می‌شود. عصاره حاوی نیترات پس از عبور از ستون کادمیم مسی شده به نیتريت احیاء می‌شود و نیتريت نیز به روش اصلاح شده گریس-ایلسوی^۱ اندازه‌گیری می‌گردد. احیاء کمی نیترات به نیتريت در اثر واکنش با کادمیم مسی شده در زمینه کلرید آمونیم (NH₄Cl) در pH بین ۵-۱۰ انجام می‌شود. بعد از تیمار محلول عبور کرده از ستون با محلول دی‌آزو کننده^۲ و جفت کننده^۳ در محلول اسیدی برای تشکیل ترکیبات آزو، نیتريت به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری می‌شود. شدت رنگ ارغوانی متمایل به قرمز متناسب با غلظت نیترات و نیتريت موجود در عصاره است. جذب این رنگ به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود (EN 12014-7, 1998; ISIRI 16721-7, 2015). حساسیت عالی این روش این امکان را فراهم می‌نماید که اندازه‌گیری نیترات در غلظت‌های پایین نیز انجام شود و این اجازه را می‌دهد که عصاره تهیه شده به‌منظور به حداقل رساندن مزاحمت‌ها رقیق شود.

روش EN 12014-2: 2017 (استاندارد ملی ایران ۱۶۷۲۱-۲)

این روش (روش HPLC/IC) برای اندازه‌گیری نیترات در سبزیجات و فرآورده‌های آن‌ها با استفاده از HPLC و یا IC ارائه شده است. این روش بر مبنای استخراج نیترات با استفاده از آب داغ است. عصاره تهیه شده با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا فاز معکوس همراه با آشکارساز فرابنفش یا با کروماتوگرافی یونی به همراه آشکارساز فرابنفش یا هدایتی اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای نمونه‌هایی

1. Griess-Ilosvay
2. Sulfanilamide (C₆H₈N₂O₂S)
3. N-(1-naphthyl)-ethylenediamine

با مقادیر نیترات ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم یا بیشتر کاربرد دارد (EN 12014-2, 2017; ISIRI 16721-7, 2015). یکی از مزایای این روش این است که در این روش نیاز نیست نیترات موجود در نمونه به نیتريت احیاء شود، لذا علاوه بر کم شدن یکی از مراحل آزمایش، خطایی که ممکن است در اثر احیای ناقص نیترات به نیتريت بر تجزیه وارد شود، حذف می شود. در جدول ۳ برخی مزایا و معایب سه روش فوق الذکر ارائه شده است.

جدول ۳- برخی از مزایا و معایب سه روش استاندارد اندازه گیری نیترات در محصولات کشاورزی

روش	سختی کار در آزمایشگاه	خطر برای سلامت انسان (استفاده از مواد خطرناک)	خطرات زیست محیطی (دفع زباله)	سطح تکنولوژی مورد نیاز	میانگین مدت زمان آزمایش	متوسط قیمت جهانی (برای مشتریان)
EN 12014-2	کم	کم	کم	زیاد	۱۰-۱۲ نمونه در	۳/۵ یورو
ISO 6635	زیاد	زیاد	زیاد	کم	یک روز کاری	۳ یورو
EN 12014-7	متوسط	زیاد	زیاد	کم		۳ یورو

روش 1997: EN 12014-5 (استاندارد ملی ایران ۵-۱۶۷۲۱)

این روش بر پایه تعیین آنزیمی عصاره آبی نمونه به وسیله اندازه گیری مقدار نیکوتین آمید آدنین دی نکلئوتید فسفات (فرم احیاء شده) (NADPH⁺) مصرف شده در واکنش $\text{NO}_3^- + \text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{NADP}^+ + \text{H}_2\text{O}$ استوار است. این روش برای اندازه گیری نیترات و نیتريت در سبزی و فرآورده های آن (مورد استفاده در غذای نوزادان و کودکان) به روش آنزیمی ارائه شده است و برای اندازه گیری نیترات در دامنه ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم کاربرد دارد. قرائت نمونه ها با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۴۰ نانومتر که عرض عبوری باند طیفی آن از ± 5 نانومتر بیشتر نباشد، انجام می شود (EN 12014-5, 1997; ISIRI 16721-5, 2015).

سایر روش های اندازه گیری نیترات در محصولات کشاورزی

علاوه بر روش های استاندارد اشاره شده، روش های متعدد دیگری نیز توسط محققان برای تعیین نیترات در محصولات کشاورزی ارائه و استفاده گردیده است که در ذیل به برخی از آن ها اشاره شده است. توصیه نویسندگان استفاده از روش های استاندارد ذکر شده در بالا می باشد.

روش کالیمتری دی آزو (Singh, 1988)؛

روش سالیسیلیک اسید (Cataldo et al., 1975)؛

روش الکتروود یون انتخابی (Kalra, 1997)؛

روش الکتروفورز موینیگی با آشکارساز مستقیم^۲ (Öztekin et al., 2002)؛

روش الکتروفورز موینیگی با آشکارساز غیر مستقیم^۳ (Jimidar et al., 1995)؛

اندازه گیری نیترات به روش تقطیر بعد از احیاء (سمی میکرو و اتوکجلیتک) (Cottenie, 1980)؛

اندازه گیری نیترات به روش کالیمتری بعد از تقطیر (روش ارتوزیلنول) (Wallinga et al., 1989)؛

اندازه گیری نیترات به روش کالیمتری فنول دی سولفونیک (Chapman and Pratt, 1961; Ulrich, 1959)؛

رقت ایزوتوپی با دقت بالا GC-MS^۴ (Pagliano et al., 2019).

ارزیابی و گزارش نتایج

کنترل کیفیت و تضمین کیفیت نتایج (QA/QC)

اساساً تجزیه های شیمیایی بدون بررسی کنترل کیفی فاقد اعتبار لازم برای استنتاج و ارائه توصیه های مدیریتی و تصمیم گیری های کلان هستند (Dux, 2013; Konieczka and Namiesnik, 2016). بنابراین لازم است اطمینان حاصل شود که داده های حاصل از تجزیه های

1. Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (reduced form)
 2. Capillary electrophoresis with direct detection
 3. Capillary electrophoresis with indirect detection
 4. Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)



آزمایشگاهی از دقت و صحت لازم برخوردار باشند. کنترل کیفی نتایج وقتی اهمیت ویژه پیدا می‌کند که قرار باشد تجزیه عناصر و یا آلاینده‌های زیست محیطی مرتبط با تهدید سلامت انسان مورد بررسی قرار گیرند (Funk et al., 2007). فاکتورهای بسیاری وجود دارد که نیاز است در آزمایشگاه بررسی شوند تا از دقت دستگاه‌ها، روش تجزیه، مواد مورد استفاده و دقت عمل کارشناسان اطمینان حاصل شود. تنها در این صورت می‌توان بر اساس داده‌های تجزیه‌ای تصمیمات قابل اطمینانی اتخاذ و اعتماد عمومی و سیاسی را برای کنترل سطح آلاینده‌ها در محصولات کشاورزی حفظ کرد (Konieczka and Namiesnik, 2016).

تضمین کیفیت^۱ سیستمی است که شامل الزامات، روش‌ها و ارزیابی‌ها برای اطمینان از دستیابی به هدف برنامه و اندازه‌گیری سطح دستیابی به آن هدف است. هدف اصلی تضمین کیفیت ارائه داده‌های معتبر و قابل دفاع است. اهداف خاصی که از فعالیت‌های تضمین کیفیت انتظار می‌رود، باید مستند شوند (Klesta et al., 1996). ویژگی‌های مهم یک برنامه تضمین کیفیت تجزیه عبارتند از: (۱) استفاده از روش‌های معتبر؛ (۲) استفاده از تجهیزاتی که به طور صحیح نگهداری و کالیبره شده‌اند؛ (۳) استفاده از مواد مرجع برای کالیبراسیون روش‌ها؛ (۴) کنترل کیفیت داخلی مؤثر (نمودارهای کنترل و غیره)؛ (۵) مشارکت در آزمون‌های بین آزمایشگاهی؛ (۶) ممیزی‌های مستقل روش‌های کنترل کیفیت؛ (۷) ارزیابی خارجی از طریق اعتبارسنجی یا سایر طرح‌های انطباق و (۸) بکارگیری کارکنان به درستی آموزش دیده (Mesley et al., 1991). کنترل کیفیت^۲ (QC) سیستمی از روش‌ها و تمرین‌ها است که منجر به افزایش دقت و کاهش سوگیری (خطای بایاس^۳) می‌شود. استفاده از تجزیه دو تکراری، نمونه‌های غنی شده، مواد مرجع استاندارد یا گواهی شده و نمونه‌های چک QC همه سازوکارهایی هستند که برای نشان دادن کنترل کیفیت استفاده می‌شوند (Klesta et al., 1996).

با توجه به تبعات حقوقی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی داده‌های مرتبط با غلظت نیترات در محصولات کشاورزی و همچنین اهمیت این داده‌ها در اتخاذ تصمیمات، برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها برای کنترل سطح آن در محصولات کشاورزی، ضروری است تمام فعالیت‌های تضمین و کنترل کیفیت نتایج مستند و در مواقع لزوم ارائه گردد. از جمله این موارد شامل: صحت و دقت نتایج، خطی بودن، حد تشخیص^۴ (LOD) و حد کمی‌سازی^۵ (LOQ)، حساسیت^۶، انتخاب‌گری^۷، استحکام^۸، بازیابی^۹، تکرارپذیری^{۱۰}، تکثیرپذیری^{۱۱}، استفاده از مواد مرجع استاندارد یا گواهی شده^{۱۲} (SRM یا CRM) و استفاده از نمودارهای کنترل می‌باشند. به علت گسترده بودن بحث کنترل کیفی داده‌های آزمایشگاهی، در این بخش تنها به بیان عناوین برخی از مفاهیم و الزامات کنترل کیفی در ارتباط با تجزیه و انتشار متون علمی مربوط به نیترات پرداخته شد. بنابراین الزامی است که کارشناسان مسئول و محققان دانشگاهی و غیر دانشگاهی برای تجزیه و انتشار داده‌های مربوط به غلظت نیترات در محصولات کشاورزی به این الزامات کاملاً آشنایی داشته و در انتشار گزارش‌های تحلیلی، مقالات تحقیقاتی، گزارش‌های نهایی طرح‌ها، پایان‌نامه‌ها و سایر گزارش‌های علمی، خلاصه نتایج کنترل کیفی را ارائه دهند.

تحلیل نتایج با استفاده از استانداردهای معتبر

حد مجاز بیشینه غلظت نیترات در محصولات غذایی در واقع بیشترین مقداری از نیترات موجود در غذای انسان است که مصرف آن در کوتاه مدت یا دراز مدت سبب ایجاد عارضه سوء برای سلامت انسان نمی‌شود. این مقدار بر اساس میزان سرانه مصرف مواد غذایی که مستعد به آلودگی نیترات می‌باشند و نیز میزان دریافت قابل قبول روزانه^{۱۳} (ADI) محاسبه می‌شود. با توجه به فقدان اطلاعات در زمینه اثرات احتمالی بافت‌های گیاهی بر قابلیت دسترسی زیستی نیترات و همچنین اثرات سودمند مصرف سبزیجات بر سلامت انسان، کمیته تخصصی مشورتی کشاورزی و غذای سازمان ملل متحد- سازمان بهداشت جهانی در زمینه افزودنی‌های خوراکی^{۱۴} (JECFA)، مفهوم "میزان

1. Quality assurance
2. Quality control
3. Bias error
4. Limit of detection
5. Limit of quantification
6. Sensitivity or Sensibility
7. Selectivity
8. Robustness
9. Recovery
10. Repeatability
11. Reproducibility
12. Certified Reference Materials or Standard Reference Materials
13. Acceptable Daily Intake of nitrate
14. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)

دریافت قابل قبول روزانه نیترات" را به جای سنجش مستقیم نیترات موجود در سبزیجات جایگزین کرد. بر این اساس، کمیته مشورتی JECFA و کمیته علمی غذا در کمیسیون اروپا (SCF^۱)، میزان ADI برای نیترات را صفر تا ۳/۷ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن و برای نیتريت صفر تا ۰/۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن تعیین کرده است (ISIRI 16596, 2021). مرز بیشینه غلظت نیترات در محصولات مختلف کشاورزی، پیشنهاد شده توسط سازمان ملی استاندارد ایران در جدول ۴ گزارش شده است (ISIRI 16596, 2021). اتحادیه اروپا، وزارت بهداشت روسیه و کشور اوکراین نیز استانداردهایی را برای مرز بیشینه غلظت نیترات در محصولات کشاورزی وضع کرده‌اند (EU 1258, 2011; MHRF^۴, 2001; UP2020-0012, 2020). حدود گزارش شده در این استانداردها برای مرز بیشینه نیترات در محصولات کشاورزی خام (زرعی و گلخانه‌ای) کاربرد دارند و برای محصولات فرآوری شده از آن‌ها کاربردی ندارد (ISIRI 16596, 2021).

در مورد بیشینه غلظت مجاز نیترات در هر یک از محصولات فرآوری شده باید به استاندارد ملی مربوط به آن محصول مراجعه کرد. در سایر محصولات کشاورزی خام که احتمال وقوع آلودگی نیترات در آن‌ها وجود ندارد و یا احتمال بسیار کم و قابل چشم پوشی است (محصولاتی که در جدول ۴ به آن‌ها اشاره نشده است) و تا کنون برای آن‌ها در مراجع بین‌المللی از جمله استانداردهای کدکس و اتحادیه اروپا مرز بیشینه تعیین نشده است، نیاز به تعیین غلظت نیترات نمی‌باشد. در نظر گرفتن این نکته حائز اهمیت است که در استاندارد ملی ایران برای مرز بیشینه غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، به شماره ۱۴۰۰-۱۶۵۹۶، ذکر شده است که استفاده از استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۰۶، برای اندازه‌گیری نیترات و نیتريت در میوه و سبزی و فرآورده آنها، برای استفاده از این مرجع استاندارد (استاندارد ۱۶۵۹۶) الزامی است (ISIRI 16596, 2021). نویسندگان نیز بر مبنای سهولت اجرا، هزینه نسبتاً پایین و دقت بسیار بالای روش اندازه‌گیری نیترات بر مبنای استاندارد ۴۱۰۶، استفاده از این روش را توصیه می‌کنند.

جدول ۴- حدود بیشینه مجاز غلظت نیترات در محصولات کشاورزی بر اساس حد مجاز استاندارد ملی ایران

حد مجاز (mg/kg FW)	نام محصول (گروه‌بندی)
۲۰۰	حبوبات خشک (نخود، انواع لوبیا، عدس، ماش، لپه)
۲۰۰۰	سبزی‌های برگ‌ریز (تره تیزک (شاهی)، جعفری، تره ایرانی، شنبلیله، نعناع، شوید، ترخون، کاسنی، چغندر برگ‌ریز، آندیبو، خردل)
۲۰۰۰	سبزی‌های ساقه‌ای (کرفس، ربواس، کنگر، تره فرنگی، کلم قمری، مارچوبه)
۹۰۰	سبزی‌های خانواده کلم (کلم پیچ، کلم گل، کلم بروکلی، کلم تکمه‌ای (کلم بروکسل یا فندقی)، کلم قمری، کلم چینی)
۱۰۰۰	سبزی‌های غده‌ای و ریشه‌ای (ترب، تربچه، چغندر قند، چغندر لبویی، پیازچه، سیر، موسیر (شلوت)، موسیر ایرانی، شلغم، سیب‌زمینی ترشی، سیب‌زمینی شیرین، کرفس دمبرگی، جعفری ریشه‌ای)
۲۰۰۰	اسفناج
۲۵۰۰	کاهو
۳۰۰	خیار
۱۵۰	گوجه‌فرنگی
۲۵۰	سیب‌زمینی و هویج
۹۰	پیاز و خربزه
۶۰	هندوانه

منبع: سازمان ملی استاندارد ایران (INSO)، استاندارد شماره ۱۶۵۹۶ (۱۴۰۰). محصولات کشاورزی-مرز بیشینه مانده نیترات و روش آزمون. ICS: 65.040.01; 65.080. تجدید نظر اول.

نحوه ارائه نتایج

در ارائه نتایج، محققان باید ضمن استفاده از یکی از روش‌های استاندارد برای تجزیه نیترات، به آن ارجاع دهند. نحوه جمع‌آوری نمونه‌ها، نحوه آماده‌سازی، تعداد نمونه‌های مورد بررسی، نام و وسعت منطقه مورد بررسی همه از مواردی هستند که باید مطابق با روشی استاندارد انجام شده و در گزارش نتایج مشخص شوند. علاوه بر این، محققان باید تمام مواردی را که حین انجام آزمایش مشاهده کرده‌اند و ممکن است در نتیجه آزمایش تأثیر داشته باشند، مانند پژمردگی محصول، علائم کمبود عناصر یا آفات، فاصله بین نمونه‌برداری تا قرائت و غیره را به طور واضح بیان کنند. محققان باید خلاصه نتایج کنترل کیفی انجام شده جهت حصول اطمینان از داده‌های بدست آمده را ارائه کنند.

1. Scientific Committee on Food

4. Ministry of Health of the Russian Federation (MHRF)



مقدار نیترات در محصولات مورد تجزیه باید بر حسب میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم وزن تازه محصول گزارش شود. بیشینه حد مجاز نیترات در استانداردهای ملی و بین‌المللی بر اساس وزن تازه محصولات می‌باشد ولی متأسفانه در بعضی از گزارش‌های منتشر شده میزان نیترات بر مبنای وزن خشک محصولات کشاورزی را با بیشینه حد مجاز استانداردها مقایسه نموده‌اند که باعث نتیجه‌گیری و تحلیل کاملاً اشتباه شده است. مقدار نیترات در نمونه تجزیه شده باید با حدود استاندارد ارائه شده در استاندارد ملی یا بین‌المللی مقایسه شود.

روش کار

این مطالعه به منظور بررسی انتقادی و جامع مطالعات انجام شده در زمینه پایش غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در ایران، جمع‌بندی نتایج مطالعاتی که حداقل کیفیت لازم را برای اینگونه مطالعات داشته‌اند، ایجاد بستری قابل دسترس و جامع جهت آشنایی محققان و کارشناسان با الزامات و نحوه تجزیه صحیح نیترات در محصولات کشاورزی و نیز اعتبارسنجی مطالعات انجام شده در زمینه پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی انجام گرفت.

به‌منظور انجام این مطالعه، تمامی مطالعات انجام شده در زمینه پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در ایران شامل: مقالات انگلیسی و فارسی، گزارش‌های نهایی طرح‌های تحقیقاتی و پایان‌نامه‌های مرتبط منتشر شده تا پایان سال ۱۴۰۱ جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل گردید. مقالات انگلیسی با جستجوی کلمات کلیدی *Nitrate contamination*، *Contaminated vegetables*، *Risk assessment*، *Fruits*، *Fresh vegetables*، *Monitoring* و *ScienceDirect* و *Google Scholar* در *Iran* و *ScienceDirect* جمع‌آوری شدند. مقالات فارسی و پایان‌نامه‌ها نیز با جستجوی کلمات کلیدی غلظت نیترات، سبزیجات، نام سبزیجات و میوه‌ها، آلودگی نیترات و ایران در سیوبلیکا، گوگل و پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج)-ایرانداک جمع‌آوری شدند. در نهایت تعداد ۱۱۰ مطالعه مرتبط با وضعیت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در کشور ایران مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات شامل ۱۰۲ مقاله تحقیقاتی (۴۲ انگلیسی و ۵۸ فارسی)، ۸ طرح پژوهشی و ۲ پایان‌نامه بود.

پس از جمع‌آوری مطالعات، ابتدا تمام اطلاعات موجود در آن‌ها بویژه اطلاعات مربوط به بخش مواد و روش‌ها با دقت بررسی و استخراج شد. برخی از اطلاعات استخراج شده شامل: نحوه نمونه‌برداری، مکان نمونه‌برداری (مزرعه، گلخانه، انبار، فروشگاه)، زمان نمونه‌برداری (در طول روز، در ماه)، نحوه انتقال و نگهداری نمونه‌ها، تعداد نمونه‌ها، منطقه نمونه‌برداری (استان/شهر)، نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها، نحوه عصاره‌گیری (روش عصاره‌گیری)، فاکتورهای کنترل کیفی، روش تجزیه، استاندارد مورد مقایسه، نحوه گزارش نتایج، دستگاه مورد استفاده و سایر اطلاعاتی که ممکن است بر اندازه‌گیری غلظت نیترات و تفسیر نتایج نهایی تأثیر داشته باشند، استخراج شد. همچنین تمام اطلاعات مربوط به غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، شامل: کمینه، بیشینه، میانه و میانگین غلظت نیترات در محصولات کشاورزی به تفکیک نوع محصول، استخراج شد. در نهایت اطلاعات استخراج شده از این مطالعات طی چند مرحله مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت.

برای بررسی کیفیت مطالعات گزارش شده، مراحل انجام این مطالعات با الزامات مربوط به یک مطالعه استاندارد (مطابق با بخش "تعیین غلظت نیترات در محصولات کشاورزی") مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برخی از الزامات مورد بررسی شامل: نحوه صحیح نمونه‌برداری، انتقال، نگهداری، آماده‌سازی، عصاره‌گیری، اندازه‌گیری، کنترل کیفی و گزارش درست نتایج بودند. پس از این مرحله، مطالعاتی که دارای حداقل کیفیت لازم برای این گونه مطالعات بودند، جهت جمع‌بندی و بررسی جامع غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در ایران مورد استفاده قرار گرفتند. از آنجایی که تعداد مطالعاتی که تمامی الزامات یک مطالعه استاندارد را رعایت نموده بودند بسیار محدود بودند و این تعداد مطالعه از نظر آماری برای جمع‌بندی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در کشور کافی نبودند؛ بنابراین مطالعاتی که از نظر کنترل کیفی از حداقل الزامات ذکر شده برای یک مطالعه استاندارد برخوردار بودند برای تجزیه و تحلیل نهایی انتخاب گردیدند.

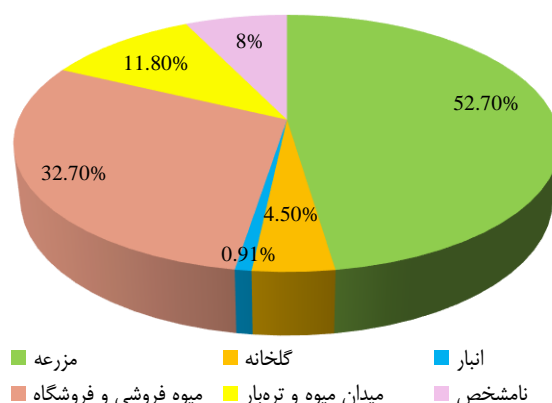
برای به‌دست آوردن میانگین نهایی غلظت نیترات در هر محصول (در مطالعات منتشر شده) و مقایسه آن با حدود مجاز استاندارد از میانگین وزنی استفاده شد. تفاوت میانگین وزنی با میانگین حسابی در این است که در محاسبه میانگین حسابی که در واقع ساده‌ترین نوع میانگین است، میانگین گزارش شده در همه مطالعات دارای وزن/اثر یکسانی در برآورد میانگین نهایی غلظت نیترات در یک محصول است و تعداد نمونه‌ها در یک مطالعه تأثیری در محاسبه میانگین نهایی ندارد. اما در میانگین وزنی این نقص قابل توجه وجود ندارد و مطالعات براساس تعداد نمونه‌هایی که مورد تجزیه قرار داده‌اند، اثر متفاوتی در برآورد غلظت نهایی نیترات در یک محصول خواهند داشت.

نتایج و بحث

بررسی کیفیت مطالعات انجام شده

نوع نمونه

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که از مجموع ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، در ۹۲ درصد از مطالعات وضعیت منبع تهیه نمونه‌ها (مزرعه، گلخانه، انبار، میدان تره‌بار یا فروشگاه) گزارش شده است و تنها در ۸ درصد از مطالعات منبع تهیه نمونه‌ها نامشخص است (شکل ۳). طبق نتایج، در ۵۲/۷ درصد از مطالعات نمونه‌ها به‌طور مستقیم از مزرعه، در ۳۲/۷ درصد از مطالعات نمونه‌ها از فروشگاه‌ها و یا میوه فروشی‌های سطح شهر، در ۱۱/۸ درصد از مطالعات نمونه‌ها از میدان میوه و تره‌بار، در ۴/۵ درصد از مطالعات نمونه‌ها از گلخانه، در ۰/۹ درصد از مطالعات نمونه‌ها از انبار میوه و تره‌بار تهیه شده بود و در ۸ درصد از مطالعات همچنان که اشاره شد وضعیت منبع تهیه نمونه‌ها نامشخص بود (شکل ۳). به‌علت اینکه در برخی از مطالعات نمونه‌ها از دو یا سه منبع مختلف (مانند مزرعه و گلخانه یا مزرعه، گلخانه و فروشگاه) تهیه شده بود، لذا به‌دلیل قرار گرفتن این مطالعات در چند دسته، جمع درصد مطالعات به ۱۱۰/۶ درصد رسید. نتایج همچنین نشان داد که در ۱۴/۵ درصد از مطالعات، مشخصات و اطلاعات مربوط به نمونه‌ها (در قالب پرسشنامه) ثبت شده است. در ۹/۱ درصد از مطالعات پرسشنامه تهیه نشده، در ۷۱/۴ درصد از مطالعات وضعیت ثبت اطلاعات پرسشنامه‌ای نامشخص بود و در ۵ درصد از مطالعات نیز با توجه به ماهیت مطالعه نیازی به تهیه پرسشنامه نبود. خوشبختانه در بیش از ۹۰ درصد از مطالعات وضعیت منبع جمع‌آوری نمونه‌ها (مزرعه، گلخانه، انبار، میدان تره‌بار) مشخص بود. مشخص بودن نوع نمونه در مطالعات ضروری است. این مشخصه به متخصصان و محققان کمک می‌کند تا بتوانند تفسیر درستی از نتایج حاصل از غلظت نیترات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مختلف داشته باشند. همچنین محققان را قادر می‌سازد تا تأثیر هر کدام از منابع فراهمی یا نگهداری محصولات در مقدار تجمع نیترات در آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنند، تا بتوانند در مواقع لزوم توصیه‌های کاربردی جهت مدیریت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی ارائه دهند.

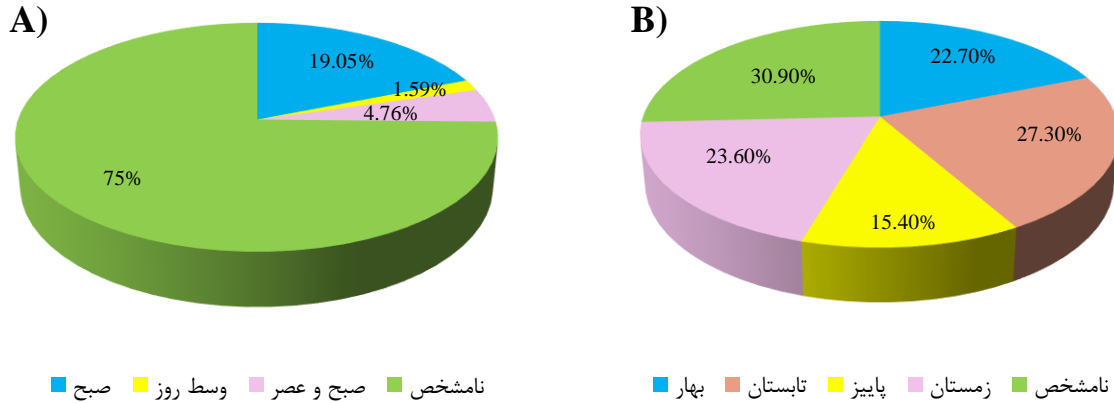


شکل ۳- وضعیت مطالعات انجام شده در ایران از نظر منبع تهیه نمونه‌ها برای پایش وضعیت نیترات (تعداد مطالعه = ۱۱۰). به‌علت اینکه در برخی از مطالعات نمونه‌ها از بیش از یک منبع تهیه شده بود، درصد کل از ۱۰۰ بیشتر است.

زمان نمونه‌برداری (طول روز، فصل سال)

از ۶۳ مطالعه‌ای که در آن‌ها نمونه‌برداری مستقیماً از مزرعه و گلخانه انجام شد، تنها ۲۵/۴ درصد از مطالعات (۱۶ مطالعه) گزارش کرده‌اند که در چه زمانی از طول روز (صبح، ظهر یا عصر) نمونه‌برداری انجام شده است (شکل ۴A). در ۱۲ مطالعه هنگام صبح (قبل از ساعت ۱۰)، در ۳ مطالعه هم در صبح و هم در عصر و در یک مطالعه در اواسط روز نمونه‌برداری انجام شده است. ماهیت نمونه‌های تهیه شده از میدان میوه و تره‌بار، فروشگاه‌ها و انبار به‌گونه‌ای است که لازم به ذکر زمان نمونه‌برداری در طول روز نیست. اما در مطالعاتی که نمونه‌برداری از مزرعه یا گلخانه‌ها انجام می‌شود، نیاز است که در عین توجه به این فاکتور در تحلیل داده‌ها، در گزارش نتایج نیز ارائه گردد. نتایج همچنین نشان داد که در ۶۹/۱ درصد از کل مطالعات مورد بررسی، فصل نمونه‌برداری مورد توجه قرار گرفته است و در ۳۰/۹ درصد از مطالعات اشاره‌ای به فصل نمونه‌برداری نشده است (شکل ۴B). طبق نتایج، در ۳۰ مطالعه در فصل تابستان، در ۲۶ مطالعه در فصل زمستان، در ۲۵ مطالعه در فصل بهار، در ۱۷ مطالعه در فصل پاییز و در ۱۱ مطالعه در هر چهار فصل سال اقدام به نمونه‌برداری شده است.

لازم به ذکر است که در ۳۳ مطالعه، نمونه‌برداری در دو یا سه فصل مختلف صورت گرفته است. همین موضوع دلیل عدم تطابق تعداد مطالعه در فصول مختلف با تعداد کل مطالعاتی است که فصل نمونه‌برداری را مورد توجه قرار داده‌اند.

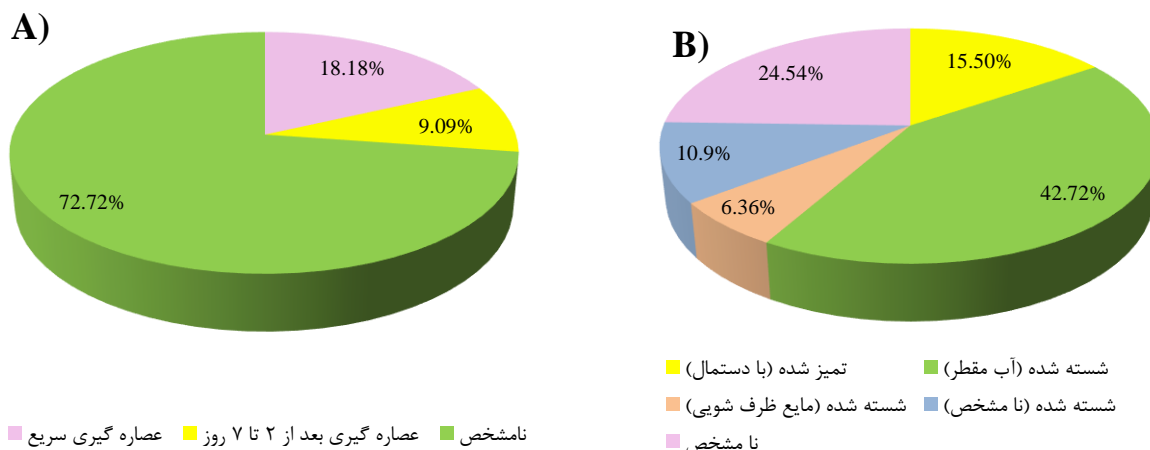


شکل ۴- وضعیت زمان نمونه‌برداری از گلخانه و مزرعه در طول روز (تعداد مطالعه=۶۳: A) و زمان نمونه‌برداری در فصل سال (تعداد مطالعه=۱۱۰: B). به دلیل اینکه در ۳۳ مطالعه زمان نمونه‌برداری در بیش از یک فصل صورت گرفته است، درصد کل فصل‌ها بیشتر از ۱۰۰ است.

با توجه به اطلاعات ارائه شده در این بخش به‌سادگی می‌توان متوجه شد که یکی از علل ناهمگنی در مطالعات مرتبط با غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، عدم اشاره به فصل برداشت و زمان نمونه‌برداری در طول روز است. ارائه این اطلاعات به‌خصوص در رابطه با محصولاتی که غلظت نیترات در آن‌ها بسیار نزدیک به حد مجاز استاندارد مقدار نیترات در محصول می‌باشد، به ما کمک می‌کند که با تصمیم درست در رابطه با زمان نمونه‌برداری و فصل کشت، به مدیریت و تنظیم مقدار مجاز نیترات در محصولات آن منطقه بپردازیم. در این صورت اگر مقدار نیترات در محصولات کمی بالاتر از حد مجاز باشد، با تغییر فصل و زمان نمونه‌برداری در طول روز ممکن است سطح نیترات در آن محصول به پایین‌تر از حد مجاز استاندارد کاهش یابد. لذا ضروری است که محققان در ارائه نتایج خود علاوه بر منبع تهیه نمونه، زمان نمونه‌برداری و فصل برداشت را نیز به‌طور واضح مشخص کنند.

نگهداری و انتقال نمونه‌ها

از ۱۱۰ مطالعه بررسی شده، تنها در ۲۷/۳ درصد از مطالعات وضعیت نگهداری و انتقال نمونه‌ها (اطلاعاتی مانند بسته‌بندی مناسب، نگهداری در دمای پایین، انتقال سریع به آزمایشگاه و غیره) گزارش شد. در ۷۲/۷ درصد از مطالعات نیز نحوه نگهداری و انتقال نمونه‌ها نامشخص بود. این نقص منجر به عدم اعتماد به داده‌های منتشر شده در این مطالعات می‌شود. یکی دیگر از فاکتورهایی که می‌تواند در مقدار اندازه‌گیری شده نیترات تأثیر داشته باشد، فاصله بین زمان نمونه‌برداری و تجزیه است. طبق نتایج، تنها در ۱۸/۲ درصد از مطالعات، علاوه بر بسته‌بندی مناسب، بلافاصله پس از برداشت، اقدام به عصاره‌گیری از نمونه‌ها شده است. در ۹/۱ درصد از مطالعات یک فاصله ۲ تا ۷ روزه بین نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها وجود داشت و در بیش از ۷۰ درصد از مطالعات این وضعیت نامشخص بود (شکل ۵A). بنابراین، یکی دیگر از عواملی که منجر به ناهمگنی در نتایج حاصل از تجزیه نیترات در مطالعات مختلف می‌شود، نگهداری، انتقال و مدت زمان بین برداشت محصول و تجزیه است؛ زیرا تأثیر مستقیمی بر اندازه‌گیری غلظت نیترات در محصولات کشاورزی دارند (Konstantopoulou et al., 2010; Lin and Yen, 1980). لذا ضروری است که نویسندگان این موارد را به‌وضوح بیان کنند تا اشتراک‌گذاری، جمع‌بندی و تحلیل گزارش‌ها جهت تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری امکان‌پذیر گردد.



شکل ۵- وضعیت مدیریت نگهداری و انتقال نمونه‌ها بعد از نمونه برداری (تعداد مطالعه = ۱۱۰: A) و وضعیت آماده‌سازی/نحوه رفع آلودگی از سطح نمونه‌ها قبل از عصاره‌گیری (تعداد مطالعه = ۱۱۰: B)

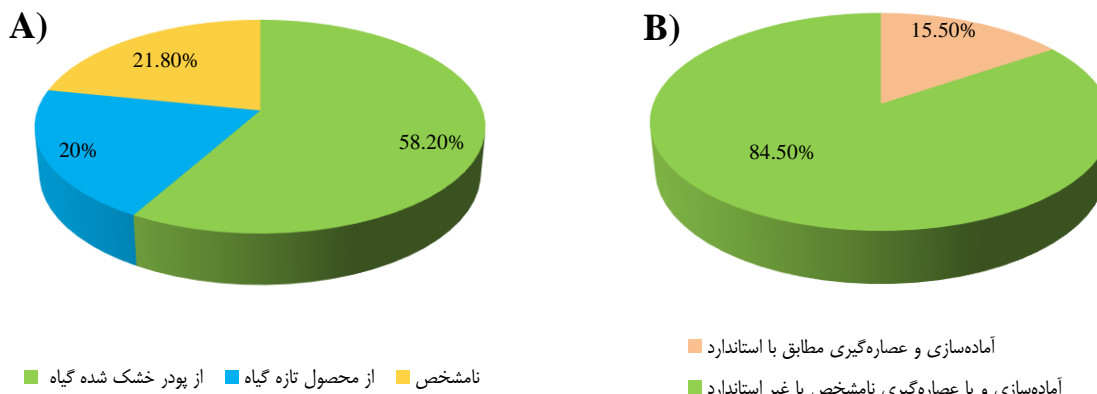
روش آماده‌سازی و عصاره‌گیری نمونه‌ها

آماده‌سازی نمونه بایستی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۵۳۲، استاندارد اتحادیه اروپا به شماره ۱۸۸۲ و یا استاندارد ایزو ۶۶۳۵ انجام گیرد تا امکان تحلیل درست نتایج میسر گردد (EN 1882, 2006; ISIRI 4106, 1998; ISIRI 13532, 2010; ISO 3365, 1984). تحقیق حاضر نشان داد که از ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، تنها در ۱۵/۵ درصد از مطالعات به یکی از این استانداردها ارجاع داده شده بود. در ۶۰ درصد از مطالعات آماده‌سازی مطابق با یک روش استاندارد انجام نشده و در ۲۴/۵ درصد از مطالعات نیز نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها نامشخص بود. یکی از عوامل عدم تطابق در آماده‌سازی، شستن نمونه‌هاست. باتوجه به اینکه استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۰۶ و یا ایزو ۶۶۳۵ براساس تمیز کردن نمونه‌ها با دستمال تمیز ارائه شده‌اند (Ebrahimi et al., 2020; ISO 3365, 1984); لذا ضروری است که محققان و کارشناسان در انجام تجزیه‌های خود نمونه‌ها را با استفاده از یک دستمال مناسب تمیز نموده و نحوه تمیز کردن نمونه‌ها را نیز در گزارش نتایج یا انتشار مقالات خود مطرح کنند. در صورتی که غیر از این عمل شود، داده‌های آن‌ها با داده‌های حاصل از روش‌های استاندارد قابل مقایسه نبوده و ارزش تفسیری و توصیه‌ای آنها کاهش می‌یابد. طبق بررسی انجام شده، از ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی تنها در ۱۵/۵ درصد آنها، برای تمیز کردن نمونه‌ها از دستمال تمیز (بدون شستن) استفاده شد (شکل ۵B). در ۶۶ مطالعه، قبل از عصاره‌گیری، نمونه‌ها شسته شده‌اند. از این ۶۶ مطالعه، در ۴۷ مطالعه از آب مقطر و در ۷ مطالعه از مایع ظرف شویی برای شستن نمونه‌ها استفاده شد. در ۱۲ مطالعه نیز علیرغم اشاره به شستن نمونه‌ها، نوع ماده شوینده نامشخص بود و در ۲۷ مطالعه اشاره‌ای به نحوه تمیز کردن نمونه‌ها نشده بود (وضعیت شستشو نامشخص بود) (شکل ۵B).

نتایج همچنین نشان داد که در ۵۳/۶ درصد از مطالعات اندام گیاهی مورد تجزیه مشخص شده است. البته باید ذکر شود که به دلیل ماهیت بسیاری از مطالعات مانند مطالعاتی که غلظت نیترات را در سبزیجات برگی مورد پایش قرار داده‌اند، اندام مورد تجزیه کاملاً مشخص است. اما در برخی از تحقیقات مانند تحقیقاتی که در آنها سبزیجات میوه‌ای و نیز میوه‌های درختی مورد تجزیه هستند، بیان این موارد که آیا پوست و دانه محصولات جدا شده است یا خیر به تفسیر نتایج کمک خواهد کرد. چراکه میزان غلظت نیترات در پوست برخی از محصولات مانند خیار و سیب‌زمینی به چند برابر قسمت گوشتی داخل آن می‌رسد و جداسازی یا عدم جداسازی آن تأثیر مستقیم در غلظت نیترات اندازه‌گیری شده دارد (Ebrahimi et al., 2020; Saeedifar et al., 2014). باید توجه داشت که در سبزیجات برگی نیز مشخص شده است که در برگ‌های پیرتر بیرونی (مثلاً در کلم و کاهو) و نیز دم‌برگ گیاهانی مانند اسفناج، غلظت نیترات نسبت به برگ‌های جوان‌تر و پهنک برگ به مراتب بیشتر است (Amr and Hadidi, 2001; Elia et al., 2000).

بررسی روش شناسی نشان داد که در ۲۰ درصد از مطالعات از نمونه تازه و در ۵۸/۲ درصد از مطالعات از پودر خشک شده نمونه‌ها جهت عصاره‌گیری استفاده شد. در ۲۱/۸ درصد از مطالعات نوع روش عصاره‌گیری (از نمونه تازه یا خشک) نامشخص بود (شکل ۶A). نتایج همچنین نشان داد که از ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، در ۴۳/۶ درصد از مطالعات (۴۸ مطالعه) به منبع مشخصی برای عصاره‌گیری ارجاع داده شد؛ اگرچه ۷۸/۷ درصد از این روش‌های عصاره‌گیری مطابق با روش‌های استاندارد نبود (صرفاً به روش‌های ارائه شده در منابع

علمی ارجاع شده بود). بررسی نوع عصاره‌گیر استفاده شده در مطالعات نشان داد که در ۷۱ درصد از مطالعات نوع عصاره‌گیر مشخص شده بود و در ۲۹ درصد از مطالعات نوع عصاره‌گیر نامشخص بود. در مطالعات مورد بررسی بسته به روش عصاره‌گیری و اندازه‌گیری از طیف وسیعی از عصاره‌گیرهای مختلف مانند آب داغ، سالیسیلیک اسید، سولفات آلومینیوم و غیره جهت استخراج نیترات از نمونه‌های تازه و خشک استفاده شده است.



شکل ۶- وضعیت عصاره‌گیری از نمونه‌ها از لحاظ خشک یا تازه بودن نمونه‌ها (تعداد مطالعه = ۱۱۰A) و وضعیت آماده‌سازی و عصاره‌گیری از نمونه‌ها از نظر استاندارد بودن روش کار (تعداد مطالعه = ۱۱۰B)

به‌طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که تنها در ۱۵/۵ درصد از مطالعات روش آماده‌سازی و عصاره‌گیری هر دو گزارش شده و هر دو مطابق با استاندارد بود. در ۸۴/۵ درصد از مطالعات بررسی شده، روش آماده‌سازی یا روش عصاره‌گیری بیان نشده و یا مطابق با روش‌های استاندارد نبود (شکل ۶B). توصیه می‌شود که همه محققان و کارشناسان آزمایشگاه از روش‌های استاندارد برای آماده‌سازی و عصاره‌گیری نیترات از نمونه‌ها استفاده کنند تا نتایج آن‌ها قابل مقایسه در سطح ملی و بین‌المللی باشد. همانطور که قبلاً نیز بیان گردید روش استاندارد عصاره‌گیری با آب داغ از نمونه‌های تازه روش ساده و در عین حال با دقت بالایی است و به تجهیزات و مواد خاص و پرهزینه نیاز ندارد (ISIRI 4106, 1998; ISO 3365, 1984).

روش اندازه‌گیری نیترات

تحقیق حاضر نشان داد که از مجموع ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، در ۳۳ مطالعه از روش‌های استاندارد و در ۶۴ مطالعه از سایر روش‌ها برای اندازه‌گیری غلظت نیترات در عصاره‌های استخراج شده از نمونه‌ها استفاده شد. در ۱۳ مطالعه نیز به روش اندازه‌گیری یا مرجعی که بر اساس آن اندازه‌گیری انجام شده باشد، هیچ اشاره‌ای نشد. نتایج نشان داد که در ۳۰ درصد از مطالعات مورد بررسی از دو روش سالیسیلیک اسید و دی‌آزو جهت اندازه‌گیری مقدار نیترات در محصولات کشاورزی استفاده شده است (Cataldo et al., 1975; Singh, 1988). اگر چه این روش‌ها، روش‌های استاندارد نمی‌باشند ولی همانطور که مشاهده می‌شود به‌طور گسترده در مطالعات استفاده شده‌اند. در روش دی‌آزو یون‌های نیترات در مجاورت پودر روی به فرم نیتريت احیاء می‌شوند و یون‌های نیتريت با نمک سولفانیل آمید تولید ترکیب دیازوم می‌کنند که در مجاورت ان (۱-نفتیل) اتیلن دی‌آمین کمپلکس آمینو آزو ایجاد می‌کند و در نهایت شدت رنگ کمپلکس رنگی در طول موج ۵۴۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری می‌شود (Singh, 1988). مبانی روش سالیسیلیک اسید بر اساس تشکیل یک مشتق نیترو از اسید سالیسیلیک با نیترات است. غلظت‌های بالای نیتريت نیز می‌توانند یک مشتق نیترو با اسید سالیسیلیک تشکیل دهند. بنابراین یک محلول اشباع شده از اسید سولفامیک به نمونه اضافه می‌شود تا از تداخل نیتريت جلوگیری شود. اسید سولفامیک نیتريت را به گاز نیتروژن تبدیل می‌کند. سپس اسید سالیسیلیک تحت شرایط اسیدی با نیترات واکنش می‌دهد و اسید نیتروسالیسیلیک تشکیل می‌دهد. کمپلکسی که از نیتراسیون اسید سالیسیلیک در شرایط بسیار اسیدی تشکیل می‌شود، حداکثر در طول موج ۴۱۰ نانومتر در محلول‌های بازی ($\text{pH} > 12$) جذب می‌شود (Cataldo et al., 1975). در جدول ۵، نوع روش‌های استفاده شده در مطالعات مورد بررسی و درصد مطالعاتی که از این روش‌ها استفاده کرده‌اند ارائه شده است.

جدول ۵- روش‌های اندازه‌گیری نیترات مورد استفاده در مطالعات بررسی شده

گروه‌بندی‌ها	نام روش تجزیه	تعداد مطالعه	درصد از کل مطالعات	درصد هر گروه
روش‌های استاندارد اندازه-گیری نیترات	میله روی	۱۶	۱۴/۵	۳۰
	کروماتوگرافی مایع (HPLC)	۹	۸/۲	
	ستون کادمیم	۴	۳/۶	
	یون کروماتوگرافی (IC)	۴	۳/۶	
سایر روش‌های اندازه‌گیری نیترات	روش سالیسیلیک اسید	۱۶	۱۴/۵	۵۸
	روش دی‌آزو	۱۷	۱۵/۴	
	سمی میکرو کج‌دال	۵	۴/۵	
	الکتروود یون انتخابی	۳	۲/۷	
نامشخص	سایر روش‌ها	۲۳	۲۰/۹	۱۲
	روش ذکر نشده است	۱۳	۱۲	

شاخص‌ها/استانداردهای مورد استفاده برای تحلیل نتایج

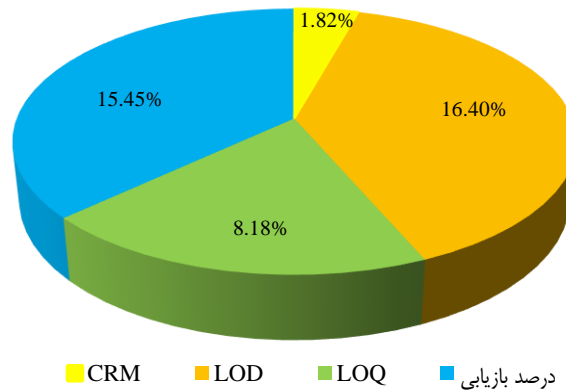
تحقیق حاضر نشان داد که از مجموع ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، ۲۵ مطالعه (۲۲/۷ درصد)، غلظت نیترات را با حدود مجاز استاندارد ملی ایران، ۷۵ مطالعه (۶۸/۲ درصد) با حدود مجاز استانداردهای خارجی (سازمان بهداشت جهانی و اتحادیه اروپا) و ۵ مطالعه، هم با استاندارد ملی ایران و هم با استانداردهای خارجی مقایسه کرده‌اند. در ۵ مطالعه نیز به دلیل ماهیت و هدف تحقیق نیازی به مقایسه با حدود مجاز استاندارد نبود. عوامل متعددی در تعیین بیشینه حد مجاز آلاینده‌ها (نیترات، فلزات سنگین و ...) مؤثر می‌باشد که یکی از مهمترین آن‌ها وضعیت غلظت این آلاینده‌ها در محصولات مصرفی می‌باشد. بنابراین داشتن اطلاعات دقیق و صحیح در مورد وضعیت آلاینده‌ها در محصولات کشاورزی می‌تواند به تعیین دقیق‌تر استانداردهای این آلاینده‌ها در سطح ملی کمک کند.

شاخص‌های کنترل کیفیت مطالعات

بررسی وضعیت کنترل کیفی ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی نشان داد که تنها در ۲۰/۹ درصد از مطالعات برخی از پارامترهای کنترل کیفی مورد بررسی قرار گرفته است. در سایر مطالعات (۷۹ درصد از مطالعات) هیچ اشاره‌ای به کنترل کیفی نتایج نشده است و لذا فرض بر این است که در این مطالعات کنترل کیفی داده‌ها صورت نگرفته است (شکل ۷). نتایج همچنین نشان داد که از کل تحقیقات مورد بررسی، تنها در ۱/۸ درصد از مطالعات از CRM استفاده شده و نتیجه CRM گزارش شده است. لازم به ذکر است که در ۱۵/۵ درصد از مطالعات مورد بررسی اقدام به محاسبه درصد بازیابی شده است. بهترین روش محاسبه درصد بازیابی استفاده از مواد مرجع تأیید شده (CRM) و یا در صورت عدم وجود آن، استفاده از SRM می‌باشد، ولی با توجه به هزینه بالای تهیه آن‌ها، کمتر در دسترس می‌باشند. در واقع در صورتی که حداکثر دقت و صحت مد نظر باشد، بایستی برای هر محصول CRM یا SRM خاص آن محصول تهیه شود. البته به دلیل هزینه بسیار بالا و زمان بر بودن فراهمی آن، تحقق این امر بسیار دشوار است. یک ماده استاندارد گواهی شده نیترات در واقع حالت خمیر شده محصولی تازه و یا پودر محصول خشک است که در آن غلظت نیترات توسط چندین آزمایشگاه با استفاده از چندین روش استاندارد تجزیه، با قطعیت بالا تعیین شده است (Pagliano et al., 2019). بنابراین برای هر محصول باید اختصاصی باشد، چراکه زمینه‌ها و مزاحمت‌های موجود در هر محصول متفاوت است. از آنجایی که CRM‌ها علاوه بر هزینه بالا، برای طیف محدودی از محصولات در دسترس هستند، لذا برخی از آزمایشگاه‌ها مواد مرجع داخلی خود یعنی RM را تهیه می‌کنند که در صورت دقت در فرایند تهیه کردن، مرجع خوبی برای کنترل کیفی نتایج هستند. محاسبه درصد بازیابی همچنین می‌تواند از طریق غنی کردن نمونه با غلظت مشخصی از نیترات صورت گیرد. در این روش باید دقت کرد که از استاندارد با غلظت بسیار دقیق برای غنی کردن استفاده شود و غلظتی از استاندارد که جهت غنی کردن استفاده می‌شود کمتر از غلظت نیترات موجود در عصاره باشد (حدود نصف غلظت نیترات موجود در عصاره باشد) و همچنین حجمی که جهت غنی کردن نمونه استفاده می‌شود بایستی با دقت بسیار بالایی برداشته شود.

در تحقیق حاضر همچنین مشخص شد که از مجموع کل مطالعات مورد بررسی، در ۵۸/۲ درصد از مطالعات از ۲ یا ۳ تکرار برای تجزیه نمونه‌ها استفاده شده است. در سایر مطالعات به اعمال تکرار در هنگام تجزیه نیترات در نمونه‌ها اشاره‌ای نشده است. انجام مقایسات

بین آزمایشگاهی یکی از بهترین نوع کنترل تجدیدپذیری تجزیه نیترات است. از جمله ارقام شایستگی، حد تشخیص می‌باشد که بایستی در گزارش‌ها، برای هر روش بیان گردد. در تحقیق حاضر مشخص شد که از ۱۱۰ مطالعات مورد بررسی تنها در ۱۸ مطالعه حد تشخیص گزارش شده است (شکل ۷). در سایر مطالعات اشاره‌ای به حد تشخیص نشده است. همچنین از ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی تنها در ۹ مطالعه حد کمی‌سازی گزارش شده است و در سایر مطالعات اشاره‌ای به حد کمی‌سازی نشده است.



شکل ۷- وضعیت بررسی برخی از شاخص‌های کنترل کیفیت نتایج در مطالعات (تعداد مطالعه = ۱۱۰)

وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در کشور

جدول ۶ تعداد مطالعات و نمونه‌های تجزیه شده که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود تعداد ۲۳۲۶۰ نمونه از محصولات کشاورزی مختلف، در قالب ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش جهت جمع‌بندی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی کشور ابتدا مطالعات جمع‌آوری شده از نظر کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که در بخش "بررسی کیفیت مطالعات گزارش شده" مشاهده گردید، تعداد مطالعاتی که تمامی اصول و مبانی مربوط به یک فرآیند استاندارد مطالعه نیترات از نمونه‌برداری تا تجزیه و تحلیل نهایی را رعایت کرده باشند بسیار محدود و کمتر از ۱۰ درصد از مطالعات مورد بررسی بود. به همین دلیل جهت جمع‌بندی نهایی سعی گردید از مطالعاتی که حداقل الزامات یک مطالعه استاندارد را رعایت کرده‌اند نیز استفاده گردد. در این پژوهش وضعیت نیترات در برخی از محصولات مانند حبوبات خشک، غلات خشک، میوه‌های درختی (به جز سیب و پرتقال) و غیره مورد بررسی قرار نگرفت زیرا تعداد مطالعاتی که به بررسی غلظت نیترات در این محصولات پرداخته بوند بسیار کم بوده و اکثر مطالعات انجام شده از کیفیت قابل قبول برخوردار نبودند. همچنین برخی از محصولات/گیاهان به‌دلایل فیزیولوژیک قادر به تجمع مقادیر بالای نیترات نبوده و تعیین نیترات در آن‌ها بیشتر از آنکه پاسخ به یک نگرانی باشد، وسواس و هزینه بی‌مورد است.

سبزیجات میوه‌ای، غده‌ای و ریشه‌ای

آماره‌های توصیفی شامل کمینه، بیشینه، میانه، انحراف استاندارد، میانگین وزنی غلظت و تعداد نمونه‌های مورد تجزیه برای ارائه خلاصه‌ای از وضعیت نیترات در سبزیجات میوه‌ای، غده‌ای و ریشه‌ای تولید شده در ایران در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با وجود اینکه بیشینه غلظت نیترات در برخی از این محصولات بالاتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران است، اما میانگین وزنی غلظت نیترات در همه این محصولات از حد مجاز استاندارد ملی ایران پایین‌تر است. با توجه به یافته‌های این تحقیق نگرانی جدی در مورد آلودگی سبزیجات میوه‌ای، غده‌ای و ریشه‌ای تولید شده در فضای باز کشور به سطوح بیش از حد مجاز نیترات وجود ندارد. در شکل ۸، نمودار جعبه‌ای برای نشان دادن صدک‌های ۲۵، ۵۰ (میانه) و ۷۵، حداقل و توزیع کلی غلظت نیترات در سبزیجات میوه‌ای، غده‌ای و ریشه‌ای تولید شده در ایران ارائه شده است. طبق نتایج ارائه شده در شکل ۸، در تمام این محصولات صدک ۷۵ پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ملی ایران قرار دارد که نشان‌دهنده توزیع حداکثری غلظت نیترات در پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ملی ایران است.

جدول ۶- تعداد مطالعات بررسی شده و تأیید شده جهت جمع‌بندی نهایی غلظت نیترات در محصولات کشاورزی

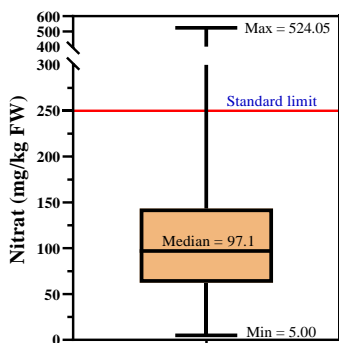
نام محصول	تعداد کل مطالعات بررسی شده ^۱	تعداد کل نمونه‌های تجزیه شده	تعداد مطالعات غربال شده جهت جمع‌بندی نهایی	تعداد نمونه‌های غربال شده جهت جمع‌بندی نهایی
سیب‌زمینی	۵۳	۳۴۴۷	۳۴	۱۸۵۸
خیار	۳۹	۲۵۶۱	۳۲	۱۸۲۱
گوجه‌فرنگی	۵۲	۱۸۹۷	۴۳	۱۶۳۹
پیاز	۳۶	۲۵۶۸	۱۴	۳۵۷
هندوانه	۱۶	۴۵۵	۸	۱۷۵
خریزه	۱۳	۳۳۳	۹	۱۶۲
هویج	۲۶	۴۵۵	۱۸	۴۵۵
بادمجان	۱۷	۱۰۶۲	۱۱	۶۲۰
انواع فلفل	۱۱	۳۳۴	۱۰	۳۲۸
سایر سبزیجات ریشه‌ای و غده-ای	۲۶	۹۱۶	۲۰	۸۹۹
کاهو	۴۴	۱۵۸۰	۴۰	۱۲۷۹
اسفناج	۳۳	۸۵۴	۳۰	۷۷۱
کرفس	۱۵	۲۴۰	۱۳	۲۳۷
حبوبات تازه خوری	۶	۱۴۶	۵	۱۱۹
جعفری	۲۷	۴۴۳	۱۹	۲۷۸
کلم‌ها	۲۹	۱۰۸۰	۲۵	۷۴۲
سایر سبزیجات برگ‌ی و ساقه‌ای	۴۷	۴۲۸۱	۴۳	۳۳۶۷
سیب درختی	۸	۲۵۰	۵	۷۱
پرتقال	۵	۳۵۸	۳	۲۵
سایر محصولات ^۲	مطالعات مختلف	۳۶۳۲	بررسی نشد	بررسی نشد
مجموع	۱۱۰	۲۳۲۶۰	۸۲	۱۵۲۰۳

۱. به دلیل ماهیت مطالعات، در بسیاری از مطالعات چند محصول مورد بررسی قرار گرفته است (در مجموع ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است).
 ۲. در ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، تعداد ۳۶۳۲ نمونه از دیگر محصولات کشاورزی مورد تجزیه قرار گرفته است که به دلیل آمار پایین، الزامی نبودن تجزیه نیترات در آن محصولات و نیز پراکندگی بیش از حد دامنه داده‌ها مورد بررسی و گزارش قرار نگرفتند.

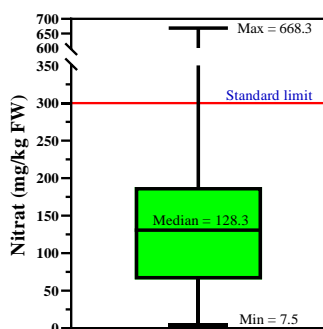
جدول ۷- آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در سبزیجات میوه‌ای، غده‌ای و ریشه‌ای تولیدی

نام محصول ^۱	تعداد نمونه	غلظت نیترات (mg/kg FW)			انحراف استاندارد	میانگین ^۲ (mg/kg FW)
		کمینه	بیشینه	میانه		
سیب‌زمینی	۱۸۵۸	۵	۵۲۴/۱	۹۷/۱	۴۸/۸	۹۸/۷
خیار	۱۸۲۱	۷/۵	۶۶۸/۳	۱۲۸/۳	۷۶/۲	۱۲۰/۹
گوجه‌فرنگی	۱۶۳۹	۰/۲۵	۲۶۴	۴۸/۴	۴۵/۲	۴۰/۷
پیاز	۳۵۷	۰/۳۵	۱۳۸	۳۷	۱۶/۴	۳۹/۶
هندوانه	۱۷۵	۰/۴۵	۱۳۲	۹/۸	۱۳/۶	۱۹/۹
خریزه ^۳	۱۰۲	۳	۲۷۷/۹	۶۶/۷	۱۷/۵	۶۲/۹
هویج	۴۵۵	۱/۲۹	۱۶۳۰	۱۵۸/۵	۱۰۳/۹	۱۵۱/۱
بادمجان ^۴	۶۲۰	۵/۳	۳۸۸/۳	۱۶۲/۷	۱۰۲/۲	۲۳۵/۲
انواع فلفل	۳۲۸	۱/۸۳	۲۲۱/۲	۴۶/۴	۴۷/۱۱	۳۲۸/۹
سبزیجات غده‌ای و ریشه-ای ^۵	۸۹۹	۱۴/۱۰	۲۰۰۰/۸	۳۱۹/۳	۳۳۴/۲	۵۴۲/۴

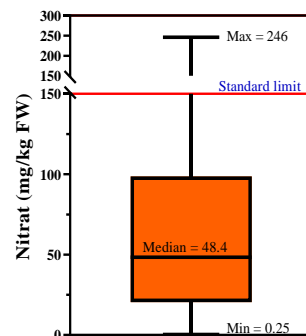
۱. محصولات در فضای باز/مزرعه برداشت شده‌اند؛ مگر اینکه در بخش تحلیل آن محصول به گلخانه‌ای بودن درصدی از نمونه‌ها اشاره شده باشد.
 ۲. میانگین وزنی با در نظر گرفتن تعداد نمونه در هر مطالعه به دست آمده است.
 ۳. نتایج خربزه و طالبی باهم ارائه شده است (تعداد نمونه‌های طالبی بسیار کم بود).
 ۴. در استاندارد ملی ایران و نیز استاندارد اتحادیه اروپا، حد مجاز استاندارد برای بیشینه غلظت نیترات در بادمجان تعیین نشده است.
 ۵. شامل: ترب، تربچه، چغندر قند، چغندر لبویی، پیازچه، موسیر، شلغم، سیر، سیب‌زمینی شیرین و جعفری ریشه‌ای (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۵۹۶، سال ۱۴۰۰).



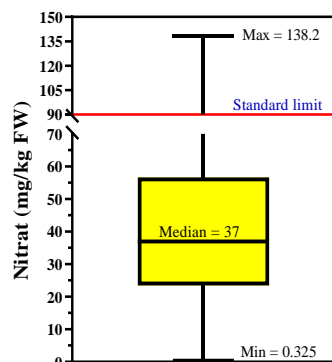
سیبزمینی



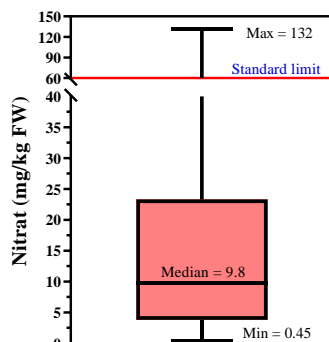
خیار



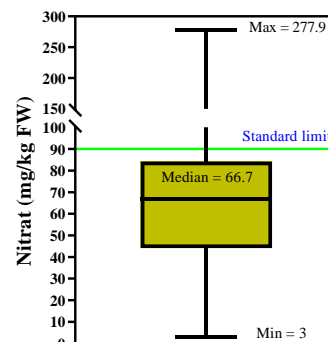
گوجه فرنگی



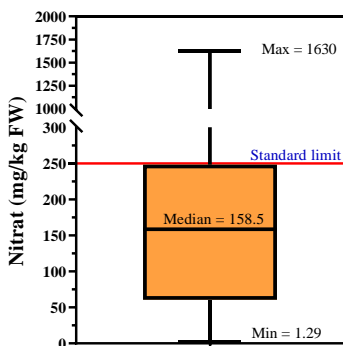
پیاز



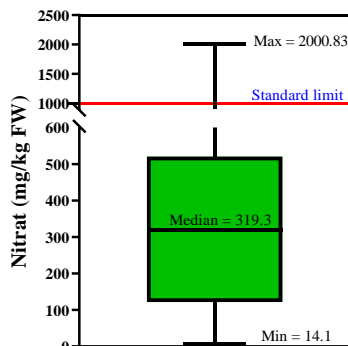
هندوانه



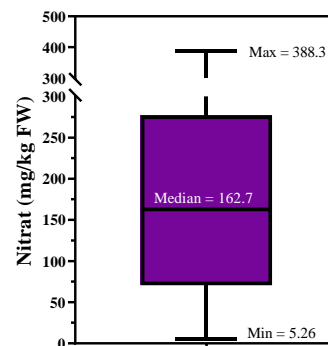
خریزه



هویج



سایر سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای



بادمجان

شکل ۸- توزیع غلظت نیترات در سبزیجات میوه‌ای، غده‌ای و ریشه‌ای تولید شده در کشور. حدود بالا و پایین بیانگر حداقل و حداکثر، جعبه مستطیلی کوچک نشان دهنده ۲۵ درصد یا چارک اول (پایینی)، ۵۰ درصد یا چارک دوم (میانه) و ۷۵ درصد یا چارک سوم (بالایی) است.

سیبزمینی

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در سیبزمینی تولید شده در نقاط مختلف کشور در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۸ ارائه شده است. در مجموع در ۵۳ مطالعه (تجزیه ۳۴۴۷ نمونه)، وضعیت باقیمانده نیترات در محصول سیبزمینی تولید شده در کشور مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی متدولوژی و کنترل کیفیت داده‌ها نشان داد که از بین این مطالعات؛ ۳۴ مطالعه (۱۸۵۸ نمونه) از حداقل‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی این تحقیق برخوردار بودند. در مقابل ۱۹ مطالعه فاقد حداقل‌های لازم بودند و از روند تحلیل حذف شدند. در این ۳۴ مطالعه، وضعیت باقیمانده غلظت نیترات در سیبزمینی تولید شده در ۱۹ استان کشور گزارش شده است که میانگین غلظت نیترات در همه این مطالعات از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) پایین‌تر بود. در تحقیقی جامع در سال ۲۰۰۶، سازمان

ایمنی مواد غذایی اروپا (EFSA^۱) به منظور کسب اطلاعات دقیق در مورد غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، فراخوانی برای کشورهای عضو اتحادیه اروپا صادر کرد. این سازمان از ۲۰ کشور عضو اتحادیه اروپا و نروژ در مجموع ۴۱۹۶۹ تجزیه نیترات در محصولات کشاورزی مختلف دریافت کرد. در این تحلیل که اطلاعات سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ را پوشش می‌دهد، میانگین غلظت نیترات در محصول سیب‌زمینی ۱۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه (از تجزیه ۲۷۹۵ نمونه سیب‌زمینی) گزارش شد (Alexander et al., 2008). بررسی منابع نشان داد که میانگین وزنی غلظت نیترات در سیب‌زمینی تولید شده در ایران، با میانگین غلظت آن در کشورهای استرالیا و ایتالیا برابر و از میانگین غلظت نیترات در سیب‌زمینی تولید شده در کشور استونی و مصر بالاتر است (جدول ۸). در مقابل میانگین غلظت نیترات در سیب‌زمینی تولید شده در کشور ایران از میانگین آن در کشورهای آمریکا، دانمارک، روسیه، چین، کره و سایر کشورهای بررسی شده در جدول ۸ کمتر است. بررسی منابع مختلف همچنین نشان داد که میانگین غلظت نیترات در سیب‌زمینی تولید شده در کشورهایی مانند نیوزلند، فنلاند، آلمان، بلژیک و انگلستان نیز به ترتیب ۱۰۷، ۸۲، ۹۳، ۱۵۴ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شده است (Belitz and Grosch, 1999; Dejonckheere et al., 1994; Petersen and Stoltze, 1999; Thomson, 2004).

جدول ۸- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در محصول سیب‌زمینی تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۹۸/۷	۵۲۴	۵	۱۸۵۸	* ایران
(Alexander et al., 2008)	۱۶۸	۳۴۰	۱۰	۲۷۹۵	اتحادیه اروپا
(Zealand, 2011)	۹۸/۷	۱۹۱/۸	۶۳	۱۰	استرالیا
(Tamme et al., 2006)	۹۴	۳۶۰	<۳۰	۴۴۹	استونی
(CFS, 2010)	۱۸۰	۲۷۰	۱۰۰	۱۰	هنگ کنگ
(Ierna, 2009)	۹۸/۴	۱۸۵/۱	۴۰/۶	۱۲۰	ایتالیا
(Heisler et al., 1973)	۱۲۰	۳۶۲	۷	۹۹	آمریکا
(Quijano et al., 2017)	۱۷۳/۵	۲۴۴	<LOQ	۱۰	اسپانیا (والنسیا)
(Petersen and Stoltze, 1999)	۱۴۴	۵۷۲	۷	۱۲۷	دانمارک
(Sušin et al., 2006)	۱۵۸	۷۰۷	۲	۲۰۲	اسلونی
(Uddin et al., 2021)	۳۰۷/۲	۳۵۴	-	-	بنگلادش
(Sebaei and Refai, 2021)	۶۵/۵	۱۲۶/۱	۴/۹	۱۱	مصر
(Smyatskay et al., 2020)	۱۳۷/۵	۲۲۸	۷۰	-	مغولستان
(Smyatskay et al., 2020)	۱۴۵/۷	۲۰۴	۱۰۰	-	روسیه
(Luo et al., 2022)	۱۵۶/۳	۴۳۶	۴۰/۳	۱۶	چین
(Suh et al., 2013)	۲۰۶/۵	۳۹۶/۱	۲۶/۶	۳۵	کره

LOQ: حد کمی‌سازی.

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

خيار

وضعیت میانگین غلظت نیترات در خيار تولید شده در مناطق مختلف کشور در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۹ ارائه شده است. در مجموع ۳۹ مطالعه وضعیت نیترات در خيار تولید شده در کشور را مورد بررسی قرار داده‌اند که در این ۳۹ مطالعه ۲۵۶۸ نمونه خيار تجزیه شده است. از این مطالعات، تعداد ۳۲ مطالعه (۱۸۲۱ نمونه) دارای حداقل‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی مطالعه حاضر بودند. در این مطالعات وضعیت نیترات در ۲۲ استان کشور مورد بررسی قرار گرفته است که میانگین غلظت نیترات در تمام مطالعات انجام شده در این استان‌ها از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) کمتر است. از مجموع مطالعات پذیرفته شده در این تحقیق، ۸۴ درصد از مطالعات خيار فضای باز/ مزرعه و ۱۶ درصد از مطالعات خيار گلخانه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. مقایسه غلظت نیترات در خيار تولید شده در کشور ایران با غلظت آن در سایر کشورها نشان داد که غلظت نیترات در خيار تولید

شده در ایران از مقدار آن در کشورهایمانند استرالیا، کره، بنگلادش، یونان، روسیه، استونی و اتحادیه اروپا کمتر است (جدول ۹). در مقابل غلظت نیترات در خیارهای تولید شده در ایران از کشورهایمانند چین و اسلونی بیشتر اما با غلظت نیترات در خیارهای تولید شده در هنگ کنگ تقریباً برابر است. بررسی منابع همچنین نشان داد که میانگین غلظت نیترات در خیار تولیدی در کشورهای بلژیک، فنلاند، بریتانیا، ژاپن، ایالات متحده، انگلستان و آلمان نیز به ترتیب ۳۴۴، ۲۴۰، ۱۵۱، ۳۴۸، ۱۴۲، ۱۵۱ و ۲۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شده است (Chung et al., 2003; Colla et al., 2018; Dejonckheere et al., 1994; Penttila, 1998).

جدول ۹- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در خیار تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	پیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۱۲۰/۹	۶۸۸/۳	۷/۵	۱۸۲۱	*ایران
(Alexander et al., 2008)	۱۸۵	۴۰۹	۲۲	۸۹۸	اتحادیه اروپا
(CFS, 2010)	۱۱۰	۲۶۰	۲۸	۱۰	هنگ کنگ
(Tamme et al., 2006)	۱۶۰	۱۲۳۶	<۳۰	۱۳۰	استونی
(Smyatskay et al., 2020)	۲۱۶	۲۹۹	۱۴۱	-	روسیه
(Luo et al., 2022)	۱۰۴/۷	۱۹۰/۷	۱۵/۳	۸	چین
(Zealand, 2011)	۲۴۷/۵	۴۷۹/۵	۸۶/۳	۱۳	استرالیا
(Sušin et al., 2006)	۹۳	۲۴۵	۴	۳۰	اسلونی
(Suh et al., 2013)	۱۵۷/۲	۶۶۱/۶	۳/۲	۳۷	کره
(Uddin et al., 2021)	۲۱۴/۶	-	-	-	بنگلادش
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۱۵۷	۵۷۶	۱۹/۵	۱۰	یونان

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

گوجه‌فرنگی

آماره‌های توصیفی وضعیت نیترات باقیمانده در محصول گوجه‌فرنگی تولید شده در مناطق مختلف کشور در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۰ ارائه شده است. در مجموع ۵۲ مطالعه (۱۸۹۷ نمونه) وضعیت باقیمانده نیترات در محصول گوجه‌فرنگی تولید شده در ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس معیارهای کنترل کیفیت از این ۵۲ مطالعه، ۴۳ مطالعه (۱۶۳۹ نمونه) حداقل‌های لازم برای استفاده در این تحقیق را رعایت کرده بودند. در ۴۳ مطالعه مورد تأیید، وضعیت نیترات در ۲۴ استان کشور ارائه شده است که در همه مطالعات میانگین غلظت نیترات کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. میانگین غلظت نیترات در گوجه‌فرنگی تولید شده در کشور (۴۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) با مقدار آن در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، استونی و بنگلادش دارای اختلاف ناچیز است (جدول ۱۰). در مقابل، میانگین غلظت نیترات در گوجه‌فرنگی تولید شده در کشورهای اسلونی، عراق، یونان و استرالیا از مقدار آن در گوجه‌فرنگی تولید شده در کشور ایران کمتر است. با این حال، غلظت نیترات موجود در گوجه‌فرنگی تولید شده در کشورهای روسیه، مغولستان و چین بالاتر از غلظت آن در گوجه‌فرنگی تولید شده در ایران است (جدول ۱۰). بررسی منابع همچنین نشان داد که میانگین غلظت نیترات در گوجه‌فرنگی تولید شده در کشورهای بلژیک و آلمان (به ترتیب ۳۵ و ۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) کمتر (Belitz and Grosch, 1999; Dejonckheere et al., 1994)؛ و در کشورهای فنلاند و لهستان (به ترتیب ۱۷۰ و ۱۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) بالاتر از مقدار آن در ایران است (Gruszecka-Kosowska and Baran, 2017; Penttila, 1998).

جدول ۱۰- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در گوجه‌فرنگی تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	پیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۴۰/۷	۲۶۴	۰/۲۵	۱۶۳۹	*ایران
(Zealand, 2011)	۱۶/۴	۴۱/۶	کمتر از ۶/۹	۱۴	استرالیا
(Alexander et al., 2008)	۴۳	۱۴۴	۱	۸۵۶	اتحادیه اروپا
(Tamme et al., 2006)	۴۱	۱۰۰	<۳۰	۲۵	استونی
(CFS, 2010)	۵۷	۱۸۰	ND	۱۰	هنگ کنگ

(Uddin et al., 2021)	۴۳/۲	۷۴	-	-	بنگلادش
(Smyatskay et al., 2020)	۱۷۹	۲۳۳	-	-	روسیه
(Smyatskay et al., 2020)	۲۰۳	۲۶۴	-	-	مغولستان
(Luo et al., 2022)	۱۰۵/۵	۲۸۷/۲	۱۵/۳۵	۱۰	چین
(Ali et al., 2021)	۱۴/۸	۱۶/۹۸	۵/۹۳	۲۴	عراق
(Sušin et al., 2006)	۴/۳	۱۲	۲	۳۰	اسلونی
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۳۴/۲	۵۴/۶	۸/۲	۹	یونان

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

ND: غلظت نیترات با دستگاه یا روش استفاده شده قابل تشخیص نبود.

پیاز

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در پیاز تولید شده در کشور ایران در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۱ گزارش شده است. در تحقیق حاضر تعداد ۳۶ مطالعه (۲۵۶۸ نمونه) که وضعیت غلظت نیترات در پیاز تولید شده در استان‌های مختلف کشور را گزارش کرده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس معیارهای کنترل کیفی از بین این مطالعات تنها ۱۴ مطالعه (۳۵۷ نمونه) حداقل‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی مطالعه حاضر را رعایت کرده بودند. در این ۱۴ مطالعه وضعیت باقیمانده غلظت نیترات در پیاز تولید شده در ۱۶ استان کشور گزارش شده است. طبق نتایج تحقیق حاضر میانگین غلظت نیترات گزارش شده در همه این ۱۴ مطالعه پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. بررسی منابع مختلف نشان داد که میانگین غلظت نیترات در پیاز تولید شده در اتحادیه اروپا، یونان و استونی بیشتر از مقدار آن در پیاز تولید شده در ایران (۳۹/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) است (جدول ۱۱). میانگین غلظت نیترات در پیاز تولید شده در ایران (۳۹/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) با غلظت آن در پیاز تولید شده در کشورهای عراق و کره جنوبی تقریباً برابر اما بیشتر از غلظت نیترات موجود در پیاز تولید شده در کشورهای استرالیا، ایتالیا، هنگ کنگ و سایر کشورهای ذکر شده در جدول ۱۱ است. بررسی منابع همچنین نشان داد که میانگین غلظت نیترات در پیاز تولید شده در کشورهای ژاپن، انگلستان، بلژیک و سنگاپور به ترتیب ۱۴۵، ۲۳۵، ۵۹ و ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شده است که به جز سنگاپور، در سایر این کشورها میانگین باقیمانده غلظت نیترات در پیاز بیشتر از مقدار آن در کشور ایران است (Chung et al., 2003; Tamme et al., 2006).

جدول ۱۱- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در پیاز تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۳۹/۶	۱۳۸/۲	۰/۳۵	۳۵۷	*ایران
(Alexander et al., 2008)	۱۶۴	۶۳۸	۱	۲۳۰	اتحادیه اروپا
(CFS, 2010)	۱۳	۳۶	۵	۱۰	هنگ کنگ
(Chung et al., 2003)	۳۶-۲۳	۱۳۶-۹۸	۳۰-۳	۸۱	کره
(Ali et al., 2021)	۳۹/۷	۱۶۹	۰/۳۵	۳۹۰	عراق
(Zealand, 2011)	۹/۹	۱۵/۱	۶/۸	۱۰	استرالیا
(Tamme et al., 2006)	۵۵	۹۲	<۳۰	۲۱	استونی
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۱۲۷	۲۴۰	۱۹/۸	۹	یونان
(Santamaria et al., 1999)	۳۲	۱۱۵	۱۵	۴	ایتالیا

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

ND: غلظت نیترات با دستگاه یا روش استفاده شده قابل تشخیص نبود.

هندوانه

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در هندوانه تولید شده در نقاط مختلف کشور در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۲ ارائه شده است. به‌طور کلی در ۱۶ مطالعه (۴۵۵ نمونه) وضعیت غلظت نیترات در هندوانه مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس ارزیابی متدولوژی و کنترل کیفیت داده‌ها، تعداد ۸ مطالعه (۱۷۵ نمونه) حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی این مطالعه را داشته و ۸ مطالعه (۲۸۰ نمونه) نیز فاقد حداقل‌های لازم برای استفاده بودند و لذا از روند تحلیل حذف شدند. در ۸ مطالعه

مورد تأیید؛ وضعیت غلظت نیترات در هندوانه تولید شده در ۶ استان کشور گزارش شده است که طبق نتایج میانگین غلظت نیترات در هیچ کدام از این مطالعات از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بالاتر نبود. مقایسه میانگین غلظت نیترات در هندوانه تولید شده در ایران (۱۹/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) با سایر کشورها نشان داد که غلظت نیترات در هندوانه تولید شده در ایران از مقدار آن در کشور استونی کمتر بود (جدول ۱۲). در مقابل، غلظت نیترات در هندوانه تولید شده در ایران بیشتر از مقدار آن در کشورهای چین، ایتالیا، مصر و استرالیا بود (جدول ۱۲). به‌طور کلی، بررسی منابع مختلف نشان داد که در مقایسه با سایر محصولات مورد بررسی، پایش غلظت نیترات در محصول هندوانه، نه تنها در ایران بلکه در سایر کشورهای دنیا نیز به ندرت صورت گرفته است. بنابراین، همانطور که نتایج حاصل از میانگین غلظت نیترات در هندوانه تولید شده در ایران و سایر کشورها نیز نشان می‌دهد، به‌نظر می‌رسد که نگرانی جدی در مورد سطوح بیش از حد غلظت نیترات در محصول هندوانه در سطح دنیا وجود ندارد.

جدول ۱۲- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در هندوانه تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	پیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۱۹/۹	۱۳۲	۰/۴۵	۱۷۵	*ایران
(Zealand, 2011)	۱۱/۴	۲۴/۷	۶/۸	۱۰	استرالیا
(Tamme et al., 2006)	۹۵	۹۵	-	-	استونی
(Proietti et al., 2008)	۱۰	-	-	۱۶	ایتالیا
(Zhou et al., 2000)	۱۲	۱۸	۷	۱۰	چین
(Luo et al., 2022)	۲۴۸/۵	۴۰۱	۱۵۷	۶	چین (شانگهای)
(Sebaei and Refai, 2021)	۱/۱	۲/۴	ND	۱۲	مصر

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

ND: غلظت نیترات با دستگاه یا روش استفاده شده قابل تشخیص نبود.

خربزه

وضعیت غلظت نیترات در محصول خربزه تولید شده در کشور در جدول ۷ و شکل ۸ گزارش شده است. نتایج نشان داد که در مجموع ۱۳ مطالعه (۳۳۳ نمونه) وضعیت نیترات باقیمانده در محصول خربزه تولید شده در کشور را بررسی و گزارش کرده‌اند. بررسی کنترل کیفیت و متدولوژی مطالعات نشان داد که تنها در ۶ مطالعه حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی تحقیق حاضر رعایت شده است. با توجه به تعداد کم مطالعات موجود در رابطه با وضعیت غلظت نیترات در خربزه تولیدی کشور، تصمیم دادن نتایج این مطالعات به همه مناطق خربزه کاری کشور ممکن است گمراه کننده باشد. به‌طور کلی در این ۶ مطالعه، میانگین غلظت نیترات در خربزه (۶۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. در تحقیقی مشابه، Colla و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ۲۴ نمونه خربزه تولید شده در ایتالیا، میانگین غلظت نیترات این محصول را ۴۸ (دامنه ۴۱-۵۶) میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش کردند که کمتر از غلظت نیترات در خربزه تولید شده در ایران (۶۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) است. در تحقیقی دیگر در کشور بلژیک میانگین غلظت نیترات در خربزه ۲۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد (Temme et al., 2011). بررسی تحقیقات پیشین نشان داد که نه تنها در ایران بلکه در سایر کشورها نیز مطالعات محدودی وجود دارد که در آن‌ها غلظت نیترات در محصول خربزه مورد بررسی قرار گرفته باشد. به‌نظر می‌رسد که آلودگی این محصول به نیترات موضوع نگران کننده‌ای در سطح جهان نبوده و احتمالاً به همین دلیل تا کنون سطح نیترات در این محصول چندان مورد بررسی قرار نگرفته است.

هویج

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در محصول هویج تولید شده در کشور ایران در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۳ گزارش شده است. نتایج نشان داد که در مجموع وضعیت غلظت نیترات در هویج تولید شده در کشور، در ۲۶ مطالعه (۷۶۰ نمونه) مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس معیارهای کنترل کیفی تنها در ۱۸ مطالعه (۴۵۵ نمونه) حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی تحقیق حاضر رعایت شده است. در این ۱۸ مطالعه وضعیت نیترات باقیمانده در هویج در ۱۵ استان مختلف کشور

گزارش شده است. میانگین غلظت نیترات در ۹۸/۲ درصد از این مطالعات (۳۷۲ نمونه) کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. میانگین غلظت نیترات در هویج کشت شده در ایران (۱۵۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) به مراتب کمتر از کشورهای عضو اتحادیه اروپا، اسلونی، چین و کره است (جدول ۱۳). با این حال، میانگین غلظت نیترات در هویج تولید شده در بنگلادش و استونی از غلظت آن در هویج تولید شده در ایران کمتر است (جدول ۱۳). تحقیقات مشابه در دیگر کشورها نشان داد که غلظت نیترات در هویج تولیدی در یونان، اسپانیا/وانسیا و نیوزلند به ترتیب با میانگین ۸۷، ۵۷ و ۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم کمتر از غلظت نیترات در هویج تولید شده در ایران است (Quijano et al., 2017; Siomos and Dogras, 2000; Thomson, 2004). در کشورهای مانند بلژیک، آلمان، ژاپن، فنلاند، بریتانیا و انگلستان نیز میانگین غلظت نیترات به ترتیب ۲۷۸، ۲۳۲، ۱۹۳، ۲۶۴، ۲۷۴ و ۲۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شده است که بیشتر از غلظت آن در هویج تولید شده در ایران است (Belitz and Grosch, 1999; Chung et al., 2003; Dejonckheere et al., 1994; Penttila, 1998; Tamme et al., 2010).

جدول ۱۳ - مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در هویج تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۱۵۱/۱	۱۶۳۰	۱/۲۹	۴۵۵	*ایران
(Alexander et al., 2008)	۲۹۶	۱۵۷۴	۲۱	۲۳۸۳	اتحادیه اروپا
(Sušin et al., 2006)	۲۶۴	۱۰۴۲	۷	۶۵	اسلونی
(CFS, 2010)	۲۲۰	۴۹۰	۴۳	۱۰	هنگ کنگ
(Uddin et al., 2021)	۳۶/۸۰	-	-	-	بنگلادش
(Sebaei and Refai, 2021)	۴۱/۳	-	-	۶	مصر
(Smyatskay et al., 2020)	۱۶۷/۵	۲۳۰	۱۱۱	-	روسیه
(Smyatskay et al., 2020)	۱۶۶/۵	۲۳۳	۱۰۸	-	مغولستان
(Luo et al., 2022)	۲۳۶/۲	۵۱۶/۶	۱۰۱/۸	۸	چین
(Suh et al., 2013)	۲۶۱/۹	۱۰۰۵	ND	۳۶	کره
(Tamme et al., 2006)	۱۴۸	۵۲۵	<۳۰	۲۰۲	استونی
(Santamaria et al., 1999)	۱۹۵	۳۹۴	۲۸	۹	ایتالیا

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

ND: غلظت نیترات با دستگاه یا روش استفاده شده قابل تشخیص نبود.

سایر سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای

وضعیت باقیمانده غلظت نیترات در برخی از سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای (شامل؛ ترب، تربچه، چغندر قند، چغندر لبویی، پیازچه، موسیر، سلجم، سیر و جعفری ریشه‌ای) تولید شده در کشور ایران در جدول ۷ و شکل ۸ و مقایسه آن با دیگر کشورها در جدول ۱۴ ارائه شده است. طبق بررسی انجام شده، وضعیت غلظت نیترات در این سبزی‌ها در ۲۶ مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و در مجموع ۹۱۶ نمونه تجزیه شده است. بررسی متدولوژی و کنترل کیفی مطالعات نشان داد که در ۲۰ مطالعه (۸۹۹ نمونه) حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی این تحقیق رعایت شده بود. در این ۲۰ مطالعه وضعیت غلظت نیترات در ۱۴ استان کشور گزارش شده است. نتایج نشان داد که میانگین غلظت نیترات در ۹۴/۵ درصد از مطالعات کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. بررسی منابع مختلف نشان داد که میانگین غلظت نیترات در سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای تولید شده در ایران (۵۴۲/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) با مقدار آن در کشورهای بلژیک (۵۱۲/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) و اتحادیه اروپا (۵۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) دارای اختلاف ناچیز است (جدول ۱۴). در مقابل، میانگین غلظت نیترات در این دسته از سبزیجات در ایران از مقدار آن در کشورهای استونی، ایتالیا، دانمارک و هنگ کنگ کمتر و از مقدار آن در کشورهای کره جنوبی و عراق بیشتر است (جدول ۱۴). Luo و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی مشابه در شانگهای چین میانگین غلظت نیترات در این دسته از سبزیجات را ۵۰۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم (دامنه ۳۴/۵ تا ۲۱۷۵) گزارش کردند که با غلظت آن در سبزیجات تولید شده در ایران اختلاف ناچیزی داشت.

جدول ۱۴ - مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۵۴۲/۴	۲۰۰۰	۱۴/۱	۸۹۹	ایران
(Alexander et al., 2008)	۵۰۶	۳۶۷۰	۱۵	۲۴۰۱	اتحادیه اروپا
(Tamme et al., 2006)	۷۳۱	۳۵۵۶	<۳۰	۲۰۴	استونی
(Pietro Santamaria et al., 1999)	۹۷۰/۵	۲۹۹۳	۵	۱۹	ایتالیا
(Suh et al., 2013)	۴۶۰/۸	۳۴۸۶	۲/۳	۱۷۷	کره جنوبی
(Ali et al., 2021)	۳۸۲/۴	۴۸۶/۵	۲۸/۳	۲۴	عراق
(CFS, 2010)	۷۲۰	۴۱۰۰	۹	۱۲۵	هنگ کنگ
(Petersen and Stoltze, 1999)	۱۴۹۳	۴۰۷۰	۱۱۶	۱۰۳	دانمارک
(Temme et al., 2011)	۵۱۲/۳	۲۱۳۶	۱۰	۵۴	بلژیک

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

سبزیجات برگ‌ی و ساقه‌ای

آماره‌های توصیفی شامل کمینه، بیشینه، میانگین، میانه، انحراف استاندارد، میانگین وزنی و تعداد نمونه‌های مورد تجزیه برای ارائه خلاصه‌ای از وضعیت نیترات در سبزیجات برگ‌ی و ساقه‌ای تولید شده در ایران در جدول ۱۵ نشان داده شده است. در ادامه غلظت نیترات در هر محصول به‌طور جداگانه مورد بحث و مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که میانگین وزنی غلظت نیترات در این گروه از محصولات از حد مجاز استاندارد ملی ایران پایین‌تر است. در شکل ۹ نیز نمودار جعبه‌ای برای نشان دادن صدک‌های ۲۵، ۵۰ (میانه) و ۷۵، حداقل، حداکثر و توزیع کلی غلظت نیترات در سبزیجات برگ‌ی و ساقه‌ای تولید شده در ایران ارائه شده است. نتایج نشان داد که در تمام این محصولات صدک ۷۵ پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ملی ایران قرار دارد که نشان می‌دهند غالب داده‌های توزیع غلظت نیترات پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ملی ایران است.

جدول ۱۵ - آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در سبزیجات برگ‌ی و ساقه‌ای تولید شده در کشور

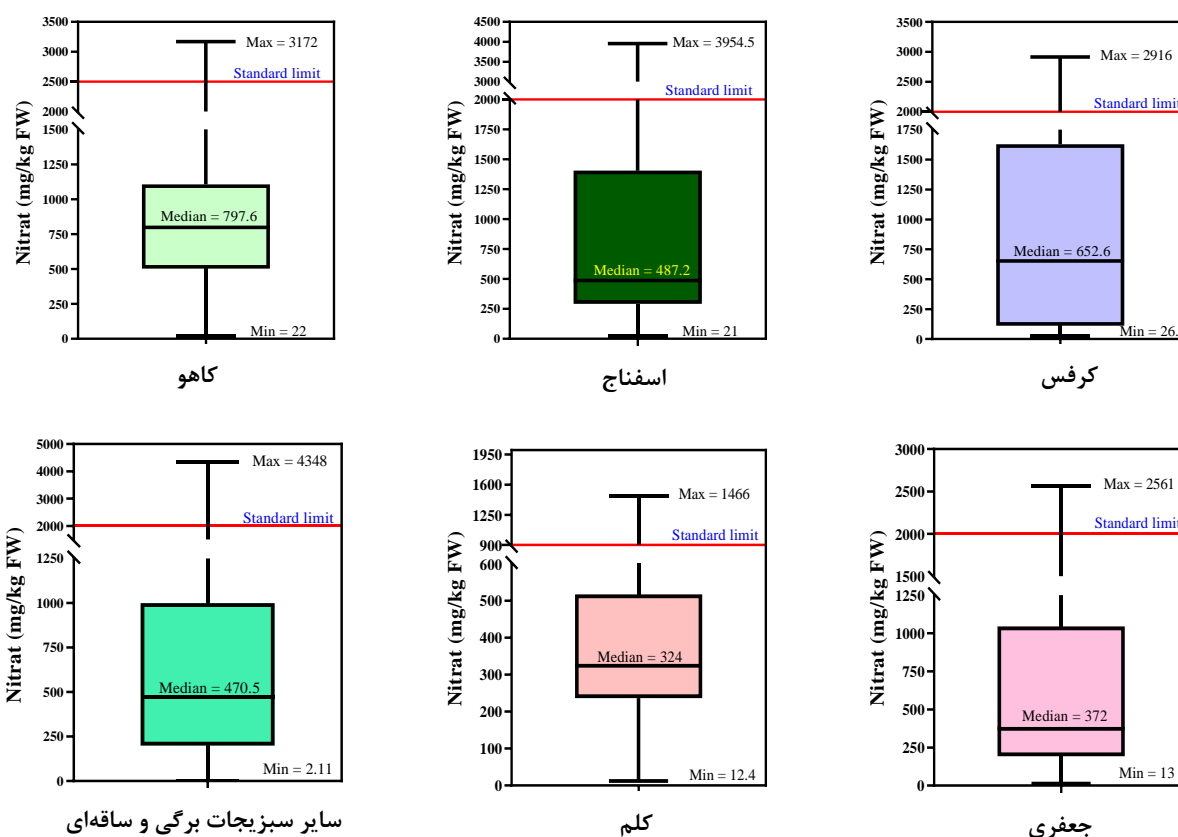
نام محصول ^۱	تعداد نمونه	غلظت نیترات (mg/kg FW)			انحراف استاندارد	میانگین (mg/kg FW)
		کمینه	بیشینه	میانه		
کاهو	۱۲۷۹	۲۲	۳۱۷۲	۷۹۷/۶	۹۰۷/۷	
اسفناج	۷۷۱	۲۱	۳۹۵۴/۵	۴۸۷/۲	۹۹۵/۴	
کرفس	۲۳۷	۲۶/۲	۲۹۱۶	۶۵۲/۶	۱۰۹۳/۴	
حبوبات تازه خوری ^۲	۱۱۹	۰/۵	۱۵۰	۴۲/۲	۳۷/۷	
جعفری	۲۷۸	۱۳	۲۵۶۱	۳۷۲	۵۹۶/۵	
سبزیجات برگ‌ی و ساقه‌ای ^۳	۳۳۶۷	۲/۱۱	۴۳۴۸	۴۷۰/۵	۶۳۵/۶	
سبزیجات خانواده کلم ^۴	۷۴۲	۱۲/۴	۱۴۶۶	۳۳۴	۴۱۴/۷	

۱. محصولات در فضای باز/مزرعه برداشت شده‌اند مگر اینکه در بخش تحلیل آن محصول به گلخانه‌ای بودن درصدی از نمونه‌ها اشاره شده باشد.

۲. شامل نخود فرنگی، لوبیا سبز و باقلا سبز (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۵۹۶، سال ۱۳۹۲).

۳. شامل؛ شاه‌پیچ، تره ایرانی، ریحان، مرزه، گشنیز، نعنای، شوید، ترخون، ربواس، تره فرنگی و کنگر (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۵۹۶، سال ۱۴۰۰).

۴. شامل؛ کلم پیچ، گل کلم، کلم بروکلی، کلم فندقی و کلم بروکسل (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۵۹۶، سال ۱۴۰۰).



شکل ۹- توزیع غلظت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ایران. حدود بالا و پایین بیانگر حداقل و حداکثر، جعبه مستطیلی کوچک نشان دهنده ۲۵ درصد یا چارک اول (پایینی)، ۵۰ درصد یا چارک دوم (میانه) و ۷۵ درصد یا چارک سوم (بالایی) است.

کاهو

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در محصول کاهو تولید شده در نقاط مختلف کشور در جدول ۱۵ و شکل ۹ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در مجموع در ۴۴ مطالعه (۱۵۸۰ نمونه)، وضعیت باقیمانده نیترات در محصول کاهو تولید شده در کشور مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی متدولوژی و معیارهای کنترل کیفی نشان داد که در ۴۰ مطالعه (۱۲۷۹ نمونه) حداقل شاخص‌های مورد نیاز برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی این مطالعه رعایت شده است که آماره‌های آن‌ها در جدول ۱۶ ارائه گردید. در این ۴۰ مطالعه، وضعیت غلظت نیترات باقیمانده در کاهو تولید شده در ۱۶ استان کشور گزارش شده است که میانگین غلظت نیترات در همه این مطالعات از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۲۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) کمتر بود.

مقایسه غلظت نیترات در کاهوی تولید شده در ایران با سایر کشورها نشان داد که میانگین غلظت نیترات در کاهوی تولید شده در ایران (۹۰۷/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) کمتر از مقدار آن در کاهوی تولید شده در کشورهای انگلستان، لهستان، اتحادیه اروپا، استرالیا، هنگ‌کنگ، استونی، مصر، ایتالیا و کره جنوبی است (جدول ۱۶). در مقابل، میانگین غلظت نیترات در کاهوی تولید شده در ایران بیشتر از غلظت آن در کشورهای یونان، چین، عراق، دانمارک، اسپانیا، مصر و آمریکا است (جدول ۱۶). تحقیقات پیشین میانگین غلظت نیترات در کاهوی تولید شده در کشورهای نیوزلند، فنلاند، بلژیک، آمریکا، آلمان و بریتانیا را به ترتیب ۱۳۳۳، ۱۸۳۵، ۲۷۸۲، ۱۴۸۹، ۱۴۸۹ و ۲۳۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش کرده‌اند که نسبت به مقدار آن در کاهوی تولید شده در ایران بیشتر است (Belitz and Grosch, 2006; Tamme et al., 2006; Dejonckheere et al., 1994; Penttila, 1998; Santamaria et al., 1999). در گزارشی مشابه، Parks و همکاران (۲۰۰۸)، با تجزیه ۶۲ نمونه کاهو، میانگین غلظت آن را ۳۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (دامنه ۷۳-۹۹۵) گزارش کردند که کمتر از غلظت آن در کاهوی تولید شده در ایران است.

جدول ۱۶- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در کاهو تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۹۰۷/۷	۳۱۷۲	۲۲	۱۲۷۹	*ایران
(Nuñez de González et al., 2015)	۸۵۱	۲۱۷۱	۷۹	۱۹۴	آمریکا
(Ysart et al., 1999)	۲۷۵۳	۵۳۱۰	۲۶۹	۱۸۲	انگلستان (گلخانه)
(Ysart et al., 1999)	۱۰۵۸	۳۲۰۹	۵۰	۱۳۱	انگلستان (فضای باز)
(Petersen and Stoltze, 1999)	۸۷۶/۶۶	۴۶۸۰	۱۰	۱۴۱	دانمارک
(Quijano et al., 2017)	۷۹۴	۲۰۹۶	<LOQ	۲۷۹	اسپانیا (فضای آزاد)
(Ali et al., 2021)	۱۳۱/۸۲	-	-	۲۴	عراق
(Luo et al., 2022)	۲۵۵/۹	۴۹۷	۱۰۵/۷	۸	چین
(Zealand, 2011)	۱۱۴۳/۶	۲۸۹۸/۶	۵۲۰	۲۲	استرالیا
(Suh et al., 2013)	۱۳۸۶/۵	۳۹۴۴	۳۳/۴	۳۸	کره جنوبی
(Tamme et al., 2006)	۲۱۶۷	۳۲۳۰	۳۹۷	۱۴	استونی
(CFS, 2010)	۱۱۸۳	۱۹۰۰	۵۱۰	۳۰	هنگ کنگ
(Alexander et al., 2008)	۱۴۳۴	۳۸۳۳	۵۶	۱۰۴	اتحادیه اروپا
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۲۸۲	۸۰۸	۸	۱۲	یونان
(Santamaria et al., 1999)	۱۷۲۰	۱۷۶۶	۴۲۷	۱۶	ایتالیا
(Gruszecka-Kosowska and Baran, 2017)	۴۷۸۰	-	-	-	لهستان
(Sebaei and Refai, 2021)	۷۰۴	-	-	۲۲	مصر

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

LOQ: حد کمی‌سازی.

اسفناج

وضعیت غلظت نیترات در اسفناج تولید شده در نقاط مختلف کشور در جدول ۱۵ و شکل ۹ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۷ ارائه شده است. در مجموع در ایران وضعیت غلظت نیترات باقیمانده در اسفناج در ۳۳ مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و ۸۵۴ نمونه تجزیه شده است. ارزیابی متدولوژی و معیارهای کنترل کیفی، تعداد ۳۰ مطالعه (۷۷۱ نمونه) حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی تحقیق حاضر رعایت شده بود. در این مطالعات وضعیت غلظت نیترات در ۱۵ استان کشور گزارش شده است. غلظت نیترات در ۹۱ درصد از این نمونه‌ها (۷۰۱ نمونه) کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. بررسی منابع نشان داد که میانگین غلظت نیترات در اسفناج تولید شده در ایران (۱۰۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) با مقدار آن در کشورهای عضو اتحادیه اروپا دارای اختلاف ناچیز است (جدول ۱۷). غلظت نیترات در اسفناج تولید شده در ایران کمتر از مقدار آن در کشورهای هنگ کنگ، ایتالیا، انگلستان، دانمارک، اسپانیا، مصر، چین، کره جنوبی، استونی و یونان است (جدول ۱۷). در مقابل، غلظت نیترات در اسفناج تولید شده در کشورهای استرالیا، لهستان و عراق کمتر از مقدار آن در اسفناج تولید شده در ایران است (جدول ۱۷). غلظت نیترات باقیمانده در اسفناج تولید شده در کشورهای آمریکا، آلمان، ژاپن، دانمارک، بلژیک، بریتانیا و فنلاند به ترتیب ۲۷۹۷، ۹۶۵، ۳۵۶۰، ۱۷۸۳، ۲۲۹۷ و ۲۴۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شده است که به جز آلمان، میانگین غلظت نیترات در اسفناج تولید شده در سایر کشورها بیشتر از غلظت نیترات در اسفناج تولید شده در ایران است (Nuñez de et al., 1994; Dejonckheere et al., 1994; Belitz and Grosch, 1999; González et al., 2015; Penttila, 1998; Tamme et al., 2010).

جدول ۱۷- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در اسفناج تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۱۰۱۱	۳۹۵۴/۵	۲۱	۷۵۹	ایران
(Alexander et al., 2008)	۱۰۶۶	۳۰۴۸	۶۴	۶۶۵۷	اتحادیه اروپا
(CFS, 2010)	۲۵۵۰	۴۷۰۰	۹۴	۱۵	هنگ کنگ
(Ysart et al., 1999)	۲۳۶۷	۴۶۵۰	۵۰	۳۴	انگلستان
(Petersen and Stoltze, 1999)	۱۷۸۳	۵۶۳۰	۴۸	۳۶	دانمارک
(Quijano et al., 2017)	۱۲۶۶/۵	۴۷۶۲	<LOQ	۹۴	اسپانیا/ والنسیا

(Ali et al., 2021)	۳۳۹/۵	۴۷۷/۶۳	۲۰۷/۴۴	۲۴	عراق
(Parks et al., 2008)	۳۱۰	۷۲۷	۱۴	۲۳	استرالیا
(Zealand, 2011)	۲۷۴۱/۴	۳۶۶۳	۶۷۱	۲۲	استرالیا
(Luo et al., 2022)	۱۶۴۷	۴۷۶۹	۱۳۹/۵	۲۲	چین (شانگهای)
(Suh et al., 2013)	۲۱۲۳/۸	۶۷۱۹	۱۷/۶	۳۷	کره جنوبی
(Tamme et al., 2006)	۲۵۰۸	۲۵۰۸	۲۵۰۸	۱	استونی
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۱۲۵۰	۳۷۶۰	۵۴۵	۱۰	یونان
(Santamaria et al., 1999)	۱۸۴۵	۳۳۵۰	۵۴۷	۱۳	ایتالیا
(Gruszecka-Kosowska and Baran, 2017)	۷۵۰	-	-	۵۲	لهستان
(Sebaei and Refai, 2021)	۱۶۸۰	-	-	۱۰	مصر

* میانگین وزنی مقایسه شده است.
LOQ: حد کمی سازی.

کرفس

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در کرفس تولید شده در کشور در جدول ۱۵ و شکل ۹ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۱۸ ارائه شده است. در مجموع تعداد ۱۵ مطالعه وضعیت غلظت نیترات در کرفس تولید شده در استان‌های مختلف کشور را مورد بررسی قرار دادند و در آن‌ها ۲۴۰ نمونه تجزیه شده است. ارزیابی متدولوژی و کنترل کیفی نشان داد که از بین این مطالعات، تعداد ۱۳ مطالعه (۲۳۷ نمونه) حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی مطالعه حاضر را رعایت کرده بودند. در این مطالعات وضعیت غلظت نیترات باقیمانده در کرفس در ۱۰ استان کشور گزارش شده بود که میانگین غلظت نیترات گزارش شده در ۹۳ درصد از این مطالعات پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. بررسی منابع نشان داد که میانگین غلظت نیترات در کرفس تولید شده در ایران (۱۰۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) از میانگین آن در کشورهای استونی، یونان و عراق بیشتر است (جدول ۱۸). با این حال، غلظت نیترات در کرفس تولید شده در ایران از مقدار آن در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، چین، آمریکا، استرالیا و سایر کشورهای گزارش شده در جدول ۱۸ کمتر است. Tamme و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقی مشابه، میانگین غلظت نیترات در کرفس تولید شده در بلژیک را ۲۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش کردند که به مراتب بیشتر از میانگین آن در کرفس تولید شده در ایران است. میانگین غلظت نیترات در کرفس تولید شده در لهستان (Gruszecka-Kosowska and Baran, 2017) و مصر (Sebaei and Refai, 2021) به ترتیب ۴۱۲ و ۵۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شد که هر دو کمتر از مقدار آن در کرفس تولید شده در ایران است.

جدول ۱۸- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در کرفس تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۱۰۹۳	۲۹۱۶	۲۶/۲۴	۲۳۷	*ایران
(Ali et al., 2021)	۲۳۳/۶	۴۴۷/۶	۲۷/۷۵	۲۴	عراق
(Luo et al., 2022)	۱۲۹۱/۴	۳۷۶۹/۵	۵۳/۷	۲۶	چین
(Zealand, 2011)	۱۵۲۷	۳۰۱۳	۲۴۷	۲۲	استرالیا
(Suh et al., 2013)	۲۴۲۲/۴	۶۳۰۲	۱۰۱/۲	۳۴	کره
(Tamme et al., 2006)	۵۶۵	۸۳۰	۲۵۶	۴	استونی
(Alexander et al., 2008)	۱۱۰۳	۳۳۱۹	۱۸	۳۸۷	اتحادیه اروپا
(CFS, 2010)	۱۷۰۰	۳۲۰۰	۳۹۰	۱۰	هنگ کنگ
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۲۵۰	۶۹۲	۴۳	۷	یونان
(Santamaria et al., 1999)	۱۶۷۸	۲۱۶۳	۱۰۰۹	۶	ایتالیا
(Nuñez de González et al., 2015)	۱۴۴۴	۴۹۶۲	۲۰	۱۹۴	آمریکا

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

سبزیجات خانواده کلم

آماره‌هایی توصیفی وضعیت غلظت نیترات در محصول کلم (شامل؛ کلم پیچ، گل کلم، کلم بروکلی، کلم فندقی، کلم بروکسل) تولید شده در مناطق مختلف کشور در جدول ۱۵ و شکل ۹ و مقایسه آن با دیگر کشورها در جدول ۱۹ ارائه شده است. در مجموع در ۲۹ مطالعه

وضعیت نیترات در انواع کلم تولید شده در مناطق مختلف کشور مورد بررسی قرار گرفته و در آن‌ها ۱۰۸۰ نمونه تجزیه شده است. بر اساس ارزیابی متدولوژی و کنترل کیفی، از مجموع این مطالعات در ۲۵ مطالعه (۷۴۲ نمونه) حداقل‌های لازم برای استفاده در تحلیل نهایی این مطالعه رعایت شده بود. در این ۲۵ مطالعه وضعیت نیترات در کلم تولیدی در ۱۳ استان کشور مورد بررسی قرار گرفته بود. نتایج همچنین نشان داد که در ۹۴ درصد از مطالعات میانگین غلظت نیترات در محصول کلم کمتر از استاندارد ملی ایران (۹۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. مقایسه میانگین غلظت نیترات در کلم تولید شده در ایران با کلم تولید شده در اتحادیه اروپا و آمریکا دارای اختلاف ناچیز است (جدول ۱۹). با این حال، غلظت نیترات در کلم تولید شده در ایران بیشتر از کشورهای دانمارک، بنگلادش و یونان است و کمتر از کشورهای چین، کره جنوبی، استونی، اسلونی و هنگ کنگ است (جدول ۱۹). تحقیقات پیشین میانگین غلظت نیترات در کلم تولید شده در کشورهای سنگاپور، انگلستان، ایتالیا، آلمان بریتانیا و فنلاند را به ترتیب ۹۳۰، ۷۱۲، ۹۰، ۴۵۱، ۷۱۲ و ۶۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند؛ که غلظت نیترات در کلم تولید شده در این کشورها (به جز ایتالیا) بیشتر از غلظت آن در ایران است (Belitz and Grosch, 1999; Penttila, 1998; Sušin et al., 2006; Tamme et al., 2006).

جدول ۱۹- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در کلم تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۴۱۴/۷	۱۴۶۶	۱۲/۴	۷۴۲	*ایران
(Petersen and Stoltze, 1999)	۳۴۲/۳	۱۲۴۰	۹	۱۲۰	دانمارک
(Nuñez de González et al., 2015)	۴۸۲/۴	۲۱۱۴	۲	۱۹۰	آمریکا
(Gruszecka-Kosowska and Baran, 2017)	۸۲۰	-	-	-	لهستان
(Uddin et al., 2021)	۲۵۹/۵	-	-	-	بنگلادش
(Luo et al., 2022)	۱۳۶۵	۲۵۷۹/۸	۲۷۵/۳	۱۵	چین
(Tamme et al., 2006)	۱۲۴۳	۲۲۳۶	۳۳۲	۳۶	استونی
(Alexander et al., 2008)	۴۱۸/۳	۱۹۲۸	۷	۲۱۵۲	اتحادیه اروپا
(Sušin et al., 2006)	۸۸۱	۱۸۶۴	۱۱۲	۵۲	اسلونی
(CFS, 2010)	۶۲۰	۲۸۰۰	۱۶	۳۰	هنگ کنگ
(Chung et al., 2003)	۷۲۵	۱۷۸۸	۱	۴۰	کره
(Fytianos and Zarogiannis, 1999)	۲۰۹	۴۱۴	۱۹/۶	۱۰	یونان

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

سایر سبزیجات برگی و ساقه‌ای

نتایج مربوط به وضعیت غلظت نیترات در سایر سبزیجات برگی و ساقه‌ای (شامل؛ شاهی، تره ایرانی، ریحان، مرزه، گشنیز، نعناع، شوید، ترخون، ریواس، تره فرنگی، کنگر) تولید شده در استان‌های مختلف کشور در جدول ۱۵ و شکل ۹ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۲۰ ارائه شده است. بررسی حاضر نشان داد که در مجموع ۴۷ مطالعه در رابطه با پایش وضعیت غلظت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای (به غیر از کاهو، اسفناج و کرفس) انجام شده که در این مطالعات ۴۲۸۱ نمونه تجزیه شده است. از بین این مطالعات، در ۳۹ مطالعه (۳۳۶۷ نمونه) حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی تحقیق حاضر رعایت شده است. در ۳۹ مطالعه مورد بررسی، وضعیت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ۱۸ استان کشور گزارش شده است. تحقیق حاضر نشان داد که غلظت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای در ۹۵ درصد از مطالعات کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) بود. مقایسه غلظت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ایران با سایر کشورها نشان داد که غلظت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ایران (۶۳۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) از غلظت آن در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، چین، کره جنوبی، استونی و هنگ‌کنگ کمتر و با مقدار آن در استرالیا دارای اختلاف ناچیز است (جدول ۲۰). نتایج همچنین نشان داد که میانگین غلظت نیترات در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ایتالیا و عراق کمتر از غلظت آن در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ایران است (جدول ۲۰). در بین مطالعات مورد بررسی میانگین غلظت نیترات در سبزیجات تولید شده در کشورهای کره جنوبی و چین به ترتیب بیشترین مقدار را داشت. کمترین غلظت نیترات نیز در سبزیجات تولید شده در ایران و اتحادیه اروپا مشاهده شده است. در تحقیقات نسبتاً مشابه،

میانگین غلظت نیترات این دسته از سبزیجات در کشورهای لهستان (Gruszecka-Kosowska and Baran, 2017) و مصر (Sebaei and Refai, 2021) به ترتیب ۵۶۰/۷ و ۱۱۷۵ میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه گزارش شد که در لهستان کمتر ولی در مصر بیشتر از میانگین غلظت آن در ایران است.

جدول ۲۰- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در سبزیجات برگی و ساقه‌ای تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۶۳۵/۶	۴۳۴۸	۲/۱	۳۳۶۷	ایران*
(Alexander et al., 2008)	۹۴۶/۶	۳۶۸۵	۳	۱۸۵۷	اتحادیه اروپا
(CFS, 2010)	۱۴۶۵	۵۰۰۰	۸	۱۶۰	هنگ کنگ
(Santamaria et al., 1999)	۵۷۹	۱۸۵۱	۵۱	۲۴	ایتالیا
(Ali et al., 2021)	۲۴۰/۳	۵۲۹/۵	۶/۲۴	۲۴	عراق
(Parks et al., 2008)	۶۴۲/۵	۱۴۰۰	۱۲	۸۰	استرالیا
(Luo et al., 2022)	۱۸۸۱/۵	۵۵۱۱	۵۳/۷	۸۷	چین
(Suh et al., 2013)	۱۷۹۸	۶۱۸۶/۳	۶/۱	۱۵۶	کره
(Tamme et al., 2006)	۱۴۵۹/۶	۳۲۶۷	۱۶۰	۲۴	استونی

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

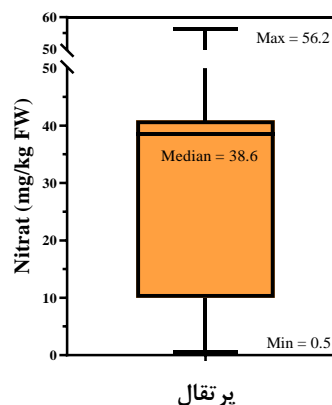
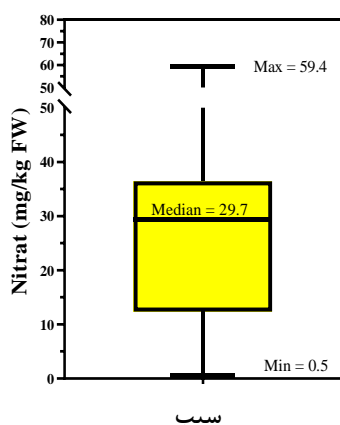
میوه‌های درختی

آماره‌های توصیفی شامل کمینه، بیشینه، میانگین، میانه، انحراف استاندارد، میانگین وزنی و تعداد نمونه‌های مورد تجزیه برای ارائه خلاصه‌ای از وضعیت نیترات در سیب و پرتقال تولید شده در ایران در جدول ۲۱ ارائه شده است. در شکل ۱۰ نیز نمودار جعبه‌ای برای نشان دادن صدک‌های ۲۵، ۵۰ (میانه) و ۷۵، حداکثر و توزیع کلی غلظت نیترات در میوه‌های درختی تولید شده در ایران ارائه شده است.

جدول ۲۱- آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در میوه‌های درختی تولید شده در ایران

نام محصول	تعداد نمونه	غلظت نیترات (mg/kg FW)			انحراف استاندارد	میانگین وزنی (mg/kg FW)
		کمینه	بیشینه	میانه		
سیب	۷۱	<LOQ	۵۹/۳۸	۲۹/۷۰	۱۴/۴۴	۳۲/۴۴
پرتقال	۲۵	<LOQ	۵۶/۲۴	۳۸/۶۸	۱۶/۵۸	۳۷/۲۱

LOQ: حد کمی‌سازی.



شکل ۱۰. توزیع غلظت نیترات در سیب و پرتقال تولید شده در ایران. حدود بالا و پایین بیانگر حداکثر و حداقل، جعبه مستطیلی کوچک نشان دهنده ۲۵ درصد یا چارک اول (پایینی)، ۵۰ درصد یا چارک دوم (میانه) و ۷۵ درصد یا چارک سوم (بالایی) است.

سیب درختی و پرتقال

آماره‌های توصیفی وضعیت غلظت نیترات در سیب درختی و پرتقال تولید شده در برخی از نقاط کشور ایران در جدول ۲۱ و شکل ۱۰ و مقایسه آن با سایر کشورها در جدول ۲۲ ارائه شده است. در مجموع، تاکنون ۸ مطالعه در زمینه غلظت نیترات در سیب درختی و ۵ مطالعه

در زمینه پایش غلظت نیترات در پرتقال در ایران انجام گرفته است. بررسی متدولوژی و معیارهای کنترل کیفی نشان داد که از این مطالعات، ۵ مطالعه در زمینه پایش نیترات سیب (۷۱ نمونه) و ۳ مطالعه در زمینه پایش نیترات پرتقال (۲۵ نمونه) وجود دارد که در آن‌ها حداقل شاخص‌های لازم برای قرار گرفتن در تحلیل نهایی تحقیق حاضر رعایت شده است. در استاندارد ملی ایران و استاندارد اروپا حد استاندارد برای حداکثر غلظت مجاز نیترات در سیب و پرتقال تعیین نشده است. عدم تعیین حد مجاز استاندارد برای این گونه محصولات نشان دهنده این امر است که غلظت نیترات در آن‌ها از نظر ارزیابی خطر باقیمانده نیترات موضوعیت نداشته و پایش آن ضروری نمی‌باشد. تعداد کم مطالعات و نمونه‌های تجزیه شده نمی‌توانند نماینده خوبی برای نشان دادن وضعیت غلظت نیترات در سیب و پرتقال تولید شده در کشور باشد. نتایج این تحقیق و نیز بررسی منابع مختلف نشان داد که نه تنها در ایران بلکه در سایر کشورها نیز غلظت نیترات در سیب و پرتقال به‌ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه به اینکه سیب و پرتقال به‌طور ذاتی قابلیت تجمع مقادیر بالای نیترات را ندارند، نگرانی جدی در مورد تجمع نیترات در این محصولات و در نهایت خطر سلامت ناشی از آن وجود ندارد.

جدول ۲۲- مقایسه غلظت نیترات باقیمانده در سیب و پرتقال تولید شده در ایران با دیگر کشورها

منبع	غلظت نیترات (mg/kg FW)			تعداد نمونه	نام کشور (محصول)
	میانگین	بیشینه	کمینه		
مطالعه حاضر	۳۲/۴	۵۹/۴	LOQ<	۷۱	*ایران (سیب)
مطالعه حاضر	۳۷/۲	۵۶/۲	LOQ<	۲۵	*ایران (پرتقال)
(Zealand, 2011)	۲۰/۵	۵۶/۲	<۶/۸	۹	استرالیا (سیب)
(Dogan et al., 2008)	۱۰/۸	۲۰/۶	<۶/۸	۱۰	استرالیا (پرتقال)
(Sushin et al., 2006)	۱۲/۳	۲۴/۴	۳/۰۱	۱۸	ترکیه (سیب)
(Smyatskay et al., 2020)	۴/۳	۱۵	۰/۲	۱۲۴	اسلونی (سیب)
(Uddin et al., 2021)	۸۴	-	-	-	روسیه (سیب)
(Temme et al., 2011)	۱۷/۹	-	-	-	بنگلادش (سیب)
(Sebaei and Refai, 2021)	۱۷/۹	-	-	-	بنگلادش (پرتقال)
	۱۱	-	-	-	بلژیک (سیب)
	۱۳	-	-	-	بلژیک (پرتقال)
	۰/۳	-	-	۵	مصر (سیب)

LOQ: حد کمی‌سازی.

* میانگین وزنی مقایسه شده است.

نتیجه‌گیری

الزامات فرآیند پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی مانند حلقه‌های یک زنجیر به‌هم متصل است. جهت انجام یک مطالعه علمی و قابل اعتماد در زمینه بررسی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی نیاز است که تمام مراحل آزمایش به‌طور کامل مطابق با روش‌های استاندارد و با رعایت تمامی اصول کنترل و تضمین کیفیت نتایج انجام گردد تا امکان یک تحلیل درست فراهم شود. بررسی و تحلیل مطالعات گزارش شده در زمینه پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی نشان داد که در بسیاری از این مطالعات، اشکالات اساسی در هر کدام از مراحل اندازه‌گیری وجود دارد که باعث می‌شود نتایج و تحلیل‌های ارائه شده دارای عدم قطعیت و تناقضات زیادی باشد. به همین دلیل باوجود صرف زمان و هزینه زیاد برای این نوع مطالعات، متأسفانه عدم رعایت موارد فوق ذکر باعث گردیده تا ارائه یک تصویر روشن از وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی بسیار مشکل گردد. برای رفع این مشکل و دستیابی به داده‌های یکپارچه و قابل اعتماد لازم است که کارشناسان، محققان، داوران و سردبیران نکات مهمی که در طول این تحقیق بارها بر آن‌ها تأکید شد را به دقت رعایت نمایند.

کارشناسانی که مسئولیت نمونه‌برداری، مدیریت و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه را بر عهده دارند بایستی کاملاً با اهمیت موضوع و دستورالعمل‌های استاندارد مربوطه آشنا باشند. این مرحله یکی از مهمترین مراحل در زمینه بررسی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی است که شاید بتوان گفت که ضعیف‌ترین حلقه این زنجیره می‌باشد. هر گونه خطا در این مرحله می‌تواند باعث ضایع شدن تمام تلاش‌های صورت گرفته در مراحل بعد گردد. سعی و تلاش کارشناسان در مراحل بعد نمی‌تواند خطای صورت گرفته در این مرحله را جبران نماید. یکی از مواردی که مطالعه در زمینه نیترات را پیچیده می‌کند، پویایی غلظت آن می‌باشد. مقدار نیترات در محصولات تازه می‌تواند حتی بعد از برداشت تحت تأثیر عوامل مختلف تغییر نماید. لذا مدیریت، انتقال و نگهداری نمونه‌ها تا زمان تجزیه بسیار حائز اهمیت است و بایستی

کاملاً منطبق با دستورالعمل‌های استاندارد انجام شود. آماده‌سازی، استخراج و تعیین نیترات بایستی کاملاً منطبق بر روش‌های استاندارد باشد و هرگونه تغییر در آن‌ها بایستی اعتبارسنجی و گزارش گردد. ضروری است که کارشناسان و محققان تمامی نکات ذکر شده برای کنترل کیفی نتایج را رعایت نموده و همراه با انتشار نتایج، گزارش نمایند. با توجه تبعات اجتماعی، اقتصادی و سلامت جامعه؛ بعد از بدست آوردن نتایج دقیق، صحیح و نماینده، تحلیل آن‌ها بایستی با دقت و حساسیت زیادی صورت گیرد تا علاوه بر تأمین امنیت روانی و سلامت جامعه، آدرس‌دهی دقیقی از مشکل احتمالی داشته باشد. با توجه به حساسیت و اهمیت این موضوع، داوری و انتشار مطالعات مرتبط با پایش غلظت نیترات در محصولات کشاورزی بایستی با حساسیت زیادی صورت گیرد. بنابراین به داوران و سردبیران توصیه می‌شود که جهت ارزیابی و داوری داده‌های مربوط به غلظت نیترات در محصولات خوراکی، راهنمای ذکر شده در مقاله تحقیقاتی شهبازی و همکاران (۱۴۰۱) برای داوران و سردبیران را برای داده‌های مرتبط با غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تطابق دهند.

در تحقیق حاضر تلاش شد با یک بررسی تحلیلی تقریباً تمام مطالعاتی که وضعیت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تولید شده در کشور ایران را مورد پایش قرار داده‌اند، مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند تا در نهایت یک بررسی اجمالی از وضعیت کیفیت تحقیقات منتشر شده و همچنین وضعیت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی صورت گیرد. در تحقیق حاضر ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی مطالعات فوق نشان داد که محققان از روش‌های متنوعی برای اندازه‌گیری غلظت نیترات در محصولات استفاده کرده‌اند. در بسیاری از مطالعات از روش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری غلظت نیترات در محصولات کشاورزی استفاده نشده است. استفاده از طیف وسیعی از روش‌های تجزیه نیترات در کنار عدم توجه به الزامات هر روش در بخش نمونه‌برداری، انتقال و مدیریت، عصاره‌گیری، اندازه‌گیری نیترات و کنترل کیفی از مشکلات اساسی مطالعات انجام شده در این زمینه می‌باشد. لذا با وجود بیش از ۲۶ هزار داده منتشر شده در رابطه با پایش غلظت نیترات، تحلیل وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی دارای عدم قطعیت زیادی می‌باشد. در این پژوهش مطالعات منتشر شده در زمینه پایش وضعیت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی تا پایان سال ۱۴۰۱، از نظر کیفیت متدولوژی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج ارزیابی معیارهای مختلف کنترل کیفیت مطالعات گزارش شده در مقایسه با شاخص‌های یک روش استاندارد نشان داد که در اغلب مطالعات انجام شده در زمینه پایش غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، معیارهای الزامی برای یک مطالعه استاندارد رعایت نشده است. نتایج نشان داد که از ۱۱۰ مطالعه مورد بررسی، تنها در ۲۷/۳ درصد از مطالعات روش نمونه‌برداری، انتقال و نگهداری نمونه‌ها، در ۱۵/۵ درصد از مطالعات روش آماده‌سازی و عصاره‌گیری و در ۳۰ درصد از مطالعات روش اندازه‌گیری نیترات مطابق با روش‌های استاندارد انجام شده بود. از نظر کنترل کیفی نیز تنها در ۲۰/۹ درصد از مطالعات برخی از شاخص‌های کنترل کیفی مانند درصد بازیابی (۱۵/۵ درصد)، استفاده از CRM (۱/۸ درصد)، LOD (۱۶/۴ درصد) و LOQ (۱۸/۲ درصد) گزارش شده است. با توجه به بررسی کیفیت مطالعات انجام شده، از ۱۱۰ مطالعه بررسی شده (۲۳۲۶۰ نمونه)، تعداد ۸۲ مطالعه (۱۵۲۰۳ نمونه) برای جمع‌بندی اجمالی وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی کشور استفاده گردید. نتایج نشان داد که میانگین وزنی غلظت نیترات در تمام محصولات مورد بررسی در این پژوهش، از حد مجاز استاندارد ملی ایران پایین‌تر بود. بر اساس نتایج، میانگین وزنی غلظت نیترات در سیب‌زمینی ۹۸/۷، خیار ۱۲۰/۹، گوجه‌فرنگی ۴۰/۷، پیاز ۳۹/۶، هندوانه ۱۹/۹، خربزه ۶۲/۹، هویج ۱۵۱/۱، بادمجان ۲۳۵/۲، انواع فلفل ۳۲۹، سایر سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای ۵۴۲/۴، کاهو ۹۰۷/۷، اسفناج ۹۹۵/۴، کرفس ۱۰۹۳/۴، حبوبات تازه خوراکی ۳۷/۷، جعفری ۵۹۶/۵، انواع کلم ۴۱۴/۷، سایر سبزیجات برگی ۶۳۵/۶، سیب درختی ۳۲/۴ و پرتقال ۳۷/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه بود. تحقیق حاضر نشان داد که به‌طور کلی نگرانی جدی از نظر غلظت بیش از حد نیترات در محصولات کشاورزی کشور وجود ندارد. اما باید توجه داشت که این بدین معنی نیست که تمامی محصولات سیب‌زمینی، خیار، گوجه، سبزیجات برگی و ... تولیدی کشور بصورت تک تک از نظر غلظت باقیمانده نیترات در محدوده امن قرار دارند. همانطور که ملاحظه گردید تحلیل انجام گرفته بیشتر بر میانگین داده‌های گزارشات متمرکز بوده و به دلیل عدم دسترسی به داده‌های خام، تحلیل پراکنش داده‌ها در بالا و پائین میانگین و ارائه درصد نمونه‌های بالاتر از حد مجاز استاندارد در هر یک از محصولات امکان‌پذیر نبود. به‌نظر می‌رسد که غلظت‌های بالای مشاهده شده مختص مکان‌های خاص باشند که می‌تواند به‌دلیل عوامل مختلفی از جمله عوامل مدیریتی، اقلیمی، فیزیولوژیک و یا سایر عوامل مؤثر در تجمع نیترات باشد که نیازمند شناسایی دقیق و رفع خواهد بود. توصیه می‌گردد مطالعات بررسی وضعیت باقیمانده نیترات در محصولات کشاورزی، به ویژه در محصولاتی که احتمال تجمع نیترات در آنها بالاتر است در قالب یک برنامه منسجم، در فواصل زمانی منظم، توسط یک دستگاه متولی پژوهش‌های کاربردی در مقیاس ملی و در صورت لزوم محلی و کاملاً بر مبنای روش‌های استاندارد انجام پذیرد تا داده‌ها بطور مداوم قابلیت تجمیع و ارزیابی روندی داشته و در مقیاس ملی و بین‌المللی قابل مقایسه با سایر نتایج مراجع معتبر باشند.



سپاسگزاری

این پژوهش در بخش آزمایشگاه‌های موسسه تحقیقات خاک و آب کرج انجام شده است. نویسندگان از حمایت موسسه تحقیقات خاک و آب (پروژه پایش وضعیت نیترات در محصولات کشاورزی تولیدی کشور با کد مصوب: ۹۸۱۲۷۶-۹۹۰۵۱-۹۹۰۴۱-۱۰-۱۰-۱۴) قدردانی می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

چراغی، میثم؛ متشرع زاده، بابک؛ علیخانی، حسینعلی. (۱۳۹۹). تأثیر تیمارهای زیستی و عناصر غذایی بر پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و جذب عناصر در گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱ (۱۰)، ۲۵۷۴-۲۵۵۹.

شهبازی، کریم؛ چراغی، میثم؛ مارزی، مصطفی؛ هاشمی نسب زواره، کبریا سادات. (۱۴۰۱). تأثیر نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر بر استخراج میزان پتاسیم قابل جذب خاک. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۷)، ۱۴۸۱-۱۴۹۷.

شهبازی، کریم؛ فتحی گردلیدانی، ارژنگ؛ مارزی، مصطفی. (۱۴۰۱). بررسی وضعیت عناصر سنگین در خاک‌های ایران: مروری جامع و انتقادی بر مطالعات گزارش شده. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۵)، ۱۱۶۳-۱۲۱۲.

REFERENCES

- Abdel Mohsen, M. A., Hassan, A. A., El-Sewedy, S. M., Aboul-Azm, T., Magagnotti, C., Fanelli, R., & Airoidi, L. (1999). Biomonitoring of N-nitroso compounds, nitrite, and nitrate in the urine of Egyptian bladder cancer patients with or without *Schistosoma haematobium* infection. *International Journal of Cancer*, 82(6), 789-794.
- Alexander, J., Benford, D., Cockburn, A., Cravedi, J.-P., Dogliotti, E., Domenico, A. D., . . . Galli, C. (2008). Nitrate in vegetables Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *European Food Safety Authority*, 689, 1-79.
- Ali, R. A., Muhammad, K. A., & Qadir, O. K. (2021, November). A survey of Nitrate and Nitrite Contents in Vegetables to Assess The Potential Health Risks in Kurdistan, Iraq. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 910, No. 1, p. 012065). IOP Publishing.
- Amr, A., & Hadidi, N. (2001). Effect of cultivar and harvest date on nitrate (NO₃) and nitrite (NO₂) content of selected vegetables grown under open field and greenhouse conditions in Jordan. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14 (1), 59-67.
- Anjana, S. U., & Iqbal, M. (2007). Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1), 45-57.
- ASTDR. (2017). ATSDR Case Studies in Environmental Medicine Nitrate/Nitrite Toxicity. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*.
- Barradas, J., & Sampaio, P. (2017). ISO 9001 and ISO/IEC 17025: Which is the best option for a laboratory of metrology? The Portuguese experience. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(3), 406-417.
- Belitz, H.-D., & Grosch, W. (1999). Food Chemistry. Berlin. *Springer-Verlag*. 992 p.
- Bian, Z., Wang, Y., Zhang, X., Li, T., Grundy, S., Yang, Q & Cheng, R. (2020). A review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments. *Foods*, 9(6), 732.
- Blom-Zandstra, M., & Lampe, J. E. (1985). The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown at different light intensities. *Journal of Experimental Botany*, 36(7), 1043-1052.
- Blob-zandstra, M. (1989). Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology*, 115(3), 553-561.
- Borlotti, A., Vigani, G., & Zocchi, G. (2012). Iron deficiency affects nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus*L.) plants. *BMC Plant Biology*, 12(1), 1-15.
- Burns, I. G., Zhang, K., Turner, M. K., Lynn, J., McClement, S., Hand, P., & Pink, D. (2011). Genotype and environment effects on nitrate accumulation in a diversity set of lettuce accessions at commercial maturity: the influence of nitrate uptake and assimilation, osmotic interactions and shoot weight and development. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(12), 2217-2233.
- Cataldo, D., Maroon, M., Schrader, L. E., & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6(1), 71-

80.

- Cavaiuolo, M., & Ferrante, A. (2014). Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads. *Nutrients*, 6(4), 1519-1538.
- CFS, Centre for Food Safety Food and Environmental Hygiene Department. (2010). Nitrate and Nitrite in Vegetables Available in Hong Kong. *Risk Assessment Studies*, Report No. 40.
- Chang, A. C., Yang, T. Y., & Riskowski, G. L. (2013). Ascorbic acid, nitrate, and nitrite concentration relationship to the 24 hour light/dark cycle for spinach grown in different conditions. *Food Chemistry*, 138(1), 382-388.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). Methods of analysis for soils, plants and waters. Division of Agricultural Sciences. *University of California, Berkeley*, 169-176.
- Cheraghi, M., Motesharezadeh, B., & Alikhani, H. A. (2020). Nutritional and morpho-physiological responses of tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill) affected by biological and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2559-2574. (In Persian).
- Cheraghi, M., Motesharezadeh, B., Alikhani, H. A., & Mousavi, S. M. (2023a). Optimal management of plant nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) by using biologic, organic and inorganic fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 46(8), 1560-1579.
- Cheraghi, M., Motesharezadeh, B., Mousavi, S. M., Ma, Q., & Ahmadabadi, Z. (2023b). Silicon (Si): a regulator nutrient for optimum growth of wheat under salinity and drought stresses-a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-25.
- Chung, S., Kim, J., Kim, M., Hong, M., Lee, J., Kim, C., & Song, I. (2003). Survey of nitrate and nitrite contents of vegetables grown in Korea. *Food Additives & Contaminants*, 20(7), 621-628.
- Colla, G., Cardarelli, M., Bonini, P., & Roupael, Y. (2017). Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. *HortScience*, 52(9), 1214-1220.
- Colla, G., Kim, H.-J., Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Nitrate in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 237, 221-238.
- Colla, G., & Roupael, Y. (2015). Biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 1-134.
- Colla, G., Suarez, C. M. C., Cardarelli, M., & Roupael, Y. (2010). Improving nitrogen use efficiency in melon by grafting. *HortScience*, 45(4), 559-565.
- Corré, W. J., & Breimer, T. (1979). *Nitrate and nitrite in vegetables*: Pudoc.
- Cottenie, A. (1980). Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations (No. 38/2).
- Dejonckheere, W., Steurbaut, W., Drieghe, S., Verstraeten, R., & Braeckman, H. (1994). Nitrate in food commodities of vegetable origin and the total diet in Belgium (1992-1993). *MAN Microbiologie, Aliments, Nutrition*, 12(4), 359-370.
- Dogan, A., Kazankaya, A., & Balta, M. F. (2008). Nitrate and nitrite levels of some fruit species grown in Van, Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 20(2), 1191.
- Dong, J., Li, X., Chu, W., & Duan, Z. (2017). High nitrate supply promotes nitrate assimilation and alleviates photosynthetic acclimation of cucumber plants under elevated CO₂. *Scientia Horticulturae*, 218, 275-283.
- Donner, S. D., & Kucharik, C. J. (2003). Evaluating the impacts of land management and climate variability on crop production and nitrate export across the Upper Mississippi Basin. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(3).
- Du, S.-T., Zhang, Y.-S., & Lin, X.-Y. (2007). Accumulation of nitrate in vegetables and its possible implications to human health. *Agricultural Sciences in China*, 6(10), 1246-1255.
- Dux, J. (2013). Handbook of quality assurance for the analytical chemistry laboratory. Springer Science & Business Media.
- Ebrahimi, R., Ahmadian, A., Ferdousi, A., Zandi, S., Shahmoradi, B., Ghanbari, R., ... & Yetilmezsoy, K. (2020). Effect of washing and cooking on nitrate content of potatoes (cv. Diamant) and implications for mitigating human health risk in Iran. *Potato Research*, 63, 449-462.
- Ekart, K., Hmelak Gorenjal, A., Madorran, E., Lapajne, S & Langerholc, T. (2013). Study on the influence of food processing on nitrate levels in vegetables. *EFSA Supporting Publications*, 10(12), 514E .
- Elia, A., Conversa, G., & Gonnella, M. (2000). Dosi di azoto, produzione e accumulo di nitrati in lattuga allevata in idrocoltura. In *Atti V Giornate Scientifiche SOI* (pp. 229-230). Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana (SOI).
- Elia, A., Santamaria, P., & Serio, F. (1998). Nitrogen nutrition, yield and quality of spinach. *Journal of the*



- Science of Food and Agriculture*, 76(3), 341-346.
- EN 1882, European Commission. (2006). Commission Regulation (EC) No 1882/2006 of 19 December 2006 laying down methods of sampling and analysis for the official control of the levels of nitrates in certain foodstuffs. *Off J Eur Union*, 364, 32-43.
- EN 12014-1, E. C. f. S. (1997). Foodstuffs - Determination of Nitrate and/or Nitrite Content - Part 1: General Considerations. *European Committee for Standardization (CEN)*(ICS Code (Food products in general): 67.040), 9.
- EN 12014-2, E. C. f. S. (2017). Foodstuffs - Determination of nitrate and/or nitrite content - Part 2: HPLC/IC method for the determination of nitrate content of vegetables and vegetable products. *European Committee for Standardization. ICS Code (Vegetables and derived products): 67.080.20*, 22 pages, 22.
- EN 12014-5, E. C. f. S. (1997). Vegetables and vegetable products - (Used in food for babies and infants) – Determination of nitrate and/or nitrite content Part 5: Enzymatic determination of nitrate content. *European Committee for Standardization. ICS Code (Prepackaged and prepared foods): 67.230*, 12 pages, 12.
- EN 12014-7, E. C. f. S. (1998). Foodstuffs - Determination of Nitrate and/or Nitrite Content - Part 7: Continuous Flow Method for the Determination of Nitrate Content of Vegetables and Vegetable Products After Cadmium Reduction. *European Committee for Standardization (CEN). ICS Code (Fruits. Vegetables): 67.080*, 13.
- EU 1258. (2011). COMMISSION REGULATION (EU) No 1258/2011 of 2 December 2011, amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*.
- EU Scientific Committee for Food. (1995). Opinion on nitrate and nitrite (expressed on 22 September 1995), Annex 4 to document III/56/95, CS/CNTM/NO3/20-FINAL.
- Feng, J.-F., Shi, Z., Wu, Y., Wu, H., & Zhao, Y. (2006). Assessment of nitrate exposure in Beijing residents via consumption of vegetables. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 18(6), 514-516.
- Funk, W., Dammann, V., & Donnevert, G. (2007). Quality assurance in analytical chemistry: applications in environmental, food and materials analysis, biotechnology, and medical engineering: John Wiley & Sons. DOI:10.1002/9783527609444.
- Fytianos, K., & Zarogiannis, P. (1999). Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 187-192.
- Gruszecka-Kosowska, A., & Baran, A. (2017). Concentration and health risk assessment of nitrates in vegetables from conventional and organic farming. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(4), 727-740.
- Heisler, E. G., Siciliano, J., Krulick, S., Porter, W. L., & White Jr, J. W. (1973). Nitrate and nitrite content of market potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 21(6), 970-973.
- Herencia, J. F., García-Galavís, P. A., Dorado, J. A. R., & Maqueda, C. (2011). Comparison of nutritional quality of the crops grown in an organic and conventional fertilized soil. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 882-888.
- Hmelak Gorenjak, A., & Cencič, A. (2013). Nitrate in vegetables and their impact on human health. A review. *Acta Alimentaria*, 422(2), 172-158.
- Honsa, J. D., & McIntyre, D. A. (2003). ISO 17025: Practical benefits of implementing a quality system. *Journal of AOAC International*, 86(5), 1038-1044.
- Ierna, A. (2009). Influence of harvest date on nitrate contents of three potato varieties for off-season production. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 551-555.
- ISIRI 4106. (1998). Institute of Standards and Industrial Research, test and measurement of nitrite and nitrate in fruit and vegetable products by their measured molecular spectrum (1998). Standard No. 4106. *Iran National Standards Organization. ICS:67.080.01*.
- ISIRI 6963. (2013). Fruits and vegetables- Potato- Measurins of nitrate and nitrite- Spectrometric method- Test method, Amendment No. 1. *Iranian National Standardization Organization-ICS:67.080*. (Amendment No.1).
- ISIRI 7132. (2013). Fruits and vegetables- Onion- Measurins of nitrate and nitrite- Spectrophotometric method, Amendment No. 1. *Iranian National Standardization Organization. ICS: 67.080*. (Amendment No.1).
- ISIRI 13532. (2010). Foodstuffs –Cereals, vegetables and infants food- Methods of sampling for the nitrates

- analysis- Code of practice. *Institute of Standards and Industrial Research of Iran*. ICS:67.020
- ISIRI 16596. (2021). Agricultural products -Maximum level for nitrate and test method. *Iranian National Standardization Organization*. ICS: 65.040.01;65.080, 14 pages, 14.
- ISIRI 16721-1. (2013). Foodstuffs-Determination of nitrate and/or nitrite content-Part 1: General considerations. *Iranian National Standardization Organization*. ICS: 67.050, 14.
- ISIRI 16721-5. (2015). Vegetables and vegetable products -(Used in food for babies and infants) – Determination of nitrate and/or nitrite content Part 5: Enzymatic determination of nitrate content *Iranian National Standardization Organization*. ICS: 67.080.20, 9 pages, 9.
- ISIRI 16721-7. (2015). Vegetables and vegetable products -Determination of nitrate and/or nitrite content Part7-Continuous flow method for the determination of nitrate content after cadmium reduction. *Iranian National Standardization Organization*. ICS: 67.080.20., 15.
- ISO 3365. (1984). vegetables and derived products-Determination of nitrite and nitrate content-Molecular absorption spectrometric method. *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 4.
- Jimidar, M., Hartmann, C., Cousement, N., & Massart, D. (1995). Determination of nitrate and nitrite in vegetables by capillary electrophoresis with indirect detection. *Journal of Chromatography A*, 706(1-2), 479-492.
- Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis: CRC press.
- Kalantari, A., Aliasgharzad, N., & Najafi, N. (2022). Nitrate reductase activity, iron and nitrate concentrations in spinach inoculated with two species of *Pseudomonas* under different nitrogen levels. *Water and Soil Science*, 32(2), 25-41.
- Kalra, Y. (Ed.). (1997). Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press.
- Klesta, E. J., Bartz, J. K., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., & Loeppert, R. (1996). Quality assurance and quality control. *Methods of Soil Analysis. Part, 3*, 19-48 .
- Knobeloch, L., Salna, B., Hogan, A., Postle, J., & Anderson, H. (2000). Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environmental Health Perspectives*, 108(7), 675-678.
- Konieczka, P., & Namiesnik, J. (2016). Quality assurance and quality control in the analytical chemical laboratory: a practical approach: CRC Press.
- Konstantopoulou, E., Kapotis, G., Salachas, G., Petropoulos, S. A., Karapanos, I. C., & Passam, H. C. (2010). Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to N application and cultivation season. *Scientia Horticulturae*, 125(2), 93-e1.
- Kyriacou, M. C., & Roupheal, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463-469.
- Lin, J.-K., & Yen, J.-Y. (1980). Changes in the nitrate and nitrite contents of fresh vegetables during cultivation and post-harvest storage. *Food and Cosmetics Toxicology*, 18(6), 597-603.
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., & Yang, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
- Liu, X., Hu, B., & Chu, C. (2022). Nitrogen assimilation in plants: current status and future prospects. *Journal of Genetics and Genomics*, 49(5), 394-404.
- Luo, F., Yan, X.-J., Hu, X.-F., Yan, L.-J., Cao, M.-Y., & Zhang, W.-J. (2022). Nitrate Quantification in Fresh Vegetables in Shanghai: Its Dietary Risks and Preventive Measures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14487.
- Luo, J., Sun, S., Jia, L., Chen, W & „Shen, Q. (2006). The mechanism of nitrate accumulation in pakchoi [*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* (L.)]. *Plant and Soil*, 282(1), 291-300.
- Marschner, H. (1995). Functions of mineral nutrients: Micronutrients, Mineral Nutrition of higher plants , Marschner, H., Ed.
- Mensinga, T. T., Speijers, G. J., & Meulenbelt, J. (2003). Health implications of exposure to environmental nitrogenous compounds. *Toxicological Reviews*, 22(1), 41-51.
- Merino, L., Örnemark, U., & Toldrá, F. (2017). Analysis of nitrite and nitrate in foods: Overview of chemical, regulatory and analytical aspects. *Advances in Food and Nutrition Research*, 81, 65-107.
- Mesley, R. J., Pocklington, W. D., & Walker, R. F. (1991). Analytical quality assurance: a review. *Analyst (London. 1877. Print)*, 116(10), 975-990.



- MHRF. (2001). Hygienic requirements for safety and nutrition value of food products ministry of health of the Russian federation. *Registered with the Ministry of Justice of the RF, March 22, 2002 No. 3326, 492 pages, 492.*
- Najafi, N., & Parsazadeh, M. (2010). Effect of nitrogen form and pH of nutrient solution on the shoot concentration of phosphorus, nitrate, and nitrogen of spinach in hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 1(1), 41-56.*
- Novair, S. B., Cheraghi, M., Faramarzi, F., Lajayer, B. A., Senapathi, V., Astatkie, T., & Price, G. W. (2023). Reviewing the role of biochar in paddy soils: An agricultural and environmental perspective. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 263, 115228.*
- Nuñez de González, M. T., Osburn, W. N., Hardin, M. D., Longnecker, M., Garg, H. K., Bryan, N. S., & Keeton, J. T. (2015). A survey of nitrate and nitrite concentrations in conventional and organic-labeled raw vegetables at retail. *Journal of Food Science, 80(5), C942-C949.*
- Öztekin, N., Nutku, M. S., & Erim, F. B. (2002). Simultaneous determination of nitrite and nitrate in meat products and vegetables by capillary electrophoresis. *Food chemistry, 76(1), 103-106.*
- Pagliano, E., Meija, J., Campanella, B., Onor, M., Iammarino, M., D'Amore, T., . . . Mihai, O. (2019). Certification of nitrate in spinach powder reference material SPIN-1 by high-precision isotope dilution GC-MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 411, 3435-3445.*
- Pannala, A. S., Mani, A. R., Spencer, J. P., Skinner, V., Bruckdorfer, K. R., Moore, K. P., & Rice-Evans, C. A. (2003). The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans. *Free Radical Biology and Medicine, 34(5), 576-584.*
- Parks, S., Huett, D., Campbell, L., & Spohr, L. (2008). Nitrate and nitrite in Australian leafy vegetables. *Australian Journal of Agricultural Research, 59(7), 632-638 .*
- Penttila, P. (1998). Estimation of food additive and pesticide intakes by means of a stepwise method.
- Petersen, A & Stoltze, S. (1999). Nitrate and nitrite in vegetables on the Danish market: content and intake. *Food Additives & Contaminants, 16(7), 291-299.*
- Proietti, S., Moscatello, S., Giacomelli, G. A., & Battistelli, A. (2013). Influence of the interaction between light intensity and CO₂ concentration on productivity and quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown in fully controlled environment. *Advances in Space Research, 52(6), 1193-1200.*
- Proietti, S., Roupheal, Y., Colla, G., Cardarelli, M., De Agazio, M., Zacchini, M., . . . Battistelli, A. (2008). Fruit quality of mini-watermelon as affected by grafting and irrigation regimes. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(6), 1107-1114.*
- Quijano, L., Yusà, V., Font, G., McAllister, C., Torres, C., & Pardo, O. (2017). Risk assessment and monitoring programme of nitrates through vegetables in the Region of Valencia (Spain). *Food and Chemical Toxicology, 100, 42-49.*
- Rathod, K. S., Velmurugan, S., & Ahluwalia, A. (2016). A 'green' diet-based approach to cardiovascular health? Is inorganic nitrate the answer? *Molecular Nutrition & Food Research, 60(1), 185-202.*
- Riens, B., & Heldt, H. W. (1992). Decrease of nitrate reductase activity in spinach leaves during a light-dark transition. *Plant Physiology, 98(2), 573-577.*
- Saeedifar, F., Ziarati, P., & Ramezan, Y. (2014). Nitrate and Heavy Metal Contents in Eggplant (*Solanum melongena*) cultivated in the farmlands in the south of Tehran-Iran. *International Journal of Farming and Allied Sciences, 3(1), 60-65.*
- Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(1), 10-17.*
- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., & Todaro, E. (1999). A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(13), 1882-1888.*
- Santamaria, P., Gonnella, M., Elia, A., Parente, A., & Serio, F. (2001). Ways of reducing rocket salad nitrate content. *Acta Horticulturae, 529-536.*
- Sebaei, A. S., & Refai, H. M. (2021). Hazard index: probabilistic risk exposure of nitrate and nitrite in Egyptian fruits and vegetables. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 101(10), 1477-1484.*
- Shahbazi, K., Cheraghi, M., Marzi, M., & Hasheminasab Zavareh, K. S. (2022a). The effect of extractant type and soil/extractant ratio on the extraction of soil available potassium. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 53(7), 1481-1497. (In Persian).*
- Shahbazi, K., Fathi-Gerdelidani, A., & Marzi, M. (2022b). Investigation of the status of heavy metals in soils of Iran: A comprehensive and critical review of reported studies. *Iranian Journal of Soil and Water*

- Research*, 53(5), 1163-1212. (In persian).
- Shahlaei, A., Ansari, N. A., & Dehkordie, F. S. (2007). Evaluation of nitrate and nitrite content of Iran Southern (Ahwaz) vegetables during winter and spring of 2006. *Asian J. Plant Sci*, 6(1), 97-12.
- Singh, J. (1988). A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extracts. *Plant and Soil*, 110(1), 137-139.
- Siomos, A. S., & Dogras, C. C. (2000). Nitrates in vegetables produced in Greece. *Journal of vegetable crop production*, 5(2), 3-13.
- Smyatskay, Y., Pankina, I., Kulikova, L., & Sobgaida, D. (2020). Nitrate content in vegetables and fruits in Russia and Mongolia. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 161, p. 01066). EDP Sciences.
- Speijers, G., & Van den Brandt, P. (2003). Nitrite and potential endogenous formation of N-nitroso compounds; safety evaluation of certain food additives, JECFA. *WHO Food Additives Series*, 50, 49-74.
- Spiegelhalter, B., Eisenbrand, G., & Preussmann, R. (1976). Influence of dietary nitrate on nitrite content of human saliva: possible relevance to in vivo formation of N-nitroso compounds. *Food and Cosmetics Toxicology*, 14(6), 545-548.
- Suh, J., Paek, O. J., Kang, Y., Ahn, J. E., Jung, J. S., An, Y. S., . . . Lee, K.-H. (2013). Risk assessment on nitrate and nitrite in vegetables available in Korean diet. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 56(4), 205-211.
- Sušin, J., Kmecl, V., & Gregorčič, A. (2006). A survey of nitrate and nitrite content of fruit and vegetables grown in Slovenia during 1996–2002. *Food Additives and Contaminants*, 23(4), 385-390.
- Tamme, T., Reinik, M., Püssa, T., Roasto, M., Meremäe, K., & Kiis, A. (2010). Dynamics of nitrate and nitrite content during storage of home-made and small-scale industrially produced raw vegetable juices and their dietary intake. *Food Additives and Contaminants*, 27(4), 487-495.
- Tamme, T., Reinik, M., Roasto, M., Juhkam, K., Tenno, T., & Kiis, A. (2006). Nitrates and nitrites in vegetables and vegetable-based products and their intakes by the Estonian population. *Food Additives and Contaminants*, 23(4), 355-361.
- Temme, E. H., Vandevijvere, S., Vinkx, C., Huybrechts, I., Goeyens, L., & Van Oyen, H. (2011). Average daily nitrate and nitrite intake in the Belgian population older than 15 years. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(9), 1193-1204.
- Thomson, B. (2004). Nitrates and nitrites dietary exposure and risk assessment: prepared as part of a New Zealand Food Safety Authority contract for scientific services: Institute of Environmental Science & Research Limited.
- Uddin, R., Thakur, M. U., Uddin, M. Z., & Islam, G. (2021). Study of nitrate levels in fruits and vegetables to assess the potential health risks in Bangladesh. *Scientific Reports*, 11(1), 1-9.
- Ulrich, A. (1959). Plant analysis: A guide for sugar beet fertilization (Vol. 766). California Agricultural Experiment Station.
- UP2020-0012, U. s. (2020). Ukraine's Maximum Residue Levels (MRLs) for Certain Contaminants. *Report Number: UP2020-0012*, 25.
- Wallinga, I., Van Vark, W., Houba, V., & Van der Lee, J. (1989). Soil and plant analysis, series of syllabi part 7, Plant analysis procedure. *Wageningen Agriculture University, Wageningen*.
- Wiedenhoeft, A. C. (2006). *Plant nutrition*: Infobase Publishing.
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*, 63, 153-182.
- Ye, X., Chen, X. F., Deng, C. L., Yang, L. T., Lai, N. W., Guo, J. X., & Chen, L. S. (2019). Magnesium-deficiency effects on pigments, photosynthesis and photosynthetic electron transport of leaves, and nutrients of leaf blades and veins in *Citrus sinensis* seedlings. *Plants*, 8(10), 389.
- Ysart, G., Clifford, R., & Harrison, N. (1999). Monitoring for nitrate in UK-grown lettuce and spinach. *Food Additives & Contaminants*, 16(7), 301-306.
- Zealand, F. S. A. N. (2011). Survey of nitrates and nitrites in food and beverages in Australia. In: *Food Standards Australia New Zealand Canberra (Australia)*.
- Zhou, Z. Y., Wang, M. J., & Wang, J. S. (2000). Nitrate and nitrite contamination in vegetables in China. *Food Reviews International*, 16(1), 61-76.



Investigation of nitrate status in agricultural products of Iran and criticism of published studies - a review study

EXTENDED ABSTRACT

Aims

The impact of residual nitrate in agricultural products on human health is a concerning issue that intermittently captures the attention of the media and public opinion. Elevated nitrate concentrations exceeding the permissible levels in food products may heighten the risk of gastrointestinal cancer and methemoglobinemia in infants. On a macroeconomic scale and for the nation's economy, the presence of excessive nitrate in agricultural products can result in non-acceptance by other countries, occasionally leading to the return of these products. Given the significance of this matter and recognizing that nearly 80% of the nitrate in the human diet originates from the consumption of agricultural products, particularly vegetables, accurate and precise measurement of nitrate concentration in these products becomes paramount.

Methodology

In this study, we aimed to present a comprehensive overview of the nitrate concentration in agricultural products across Iran at a national scale. This was achieved through a quantitative and qualitative analysis of published studies in the field. To conduct this research, we gathered 110 studies, including papers, theses, and final reports of research projects, focusing on monitoring nitrate content in agricultural products grown in Iran, and covering publications until March 20, 2023. Initially, these studies underwent evaluation concerning methodology, quality control, and quality assurance, following which they were assessed based on standard research criteria. The evaluation specifically focused on the methodology and quality of the studies used to determine the nitrate status of Iranian agricultural products. Only studies meeting the minimum quality criteria were included in the final analysis of this research.

Results

The evaluation of the study's methodology revealed that, in only 27.3% of the studies, the method of sampling, storage, and sample transfer; in 15.5% of the studies, the method of preparation and extraction; and in 30% of the studies, the method of nitrate measurement (including 14.5% zinc rod, 3.6% cadmium column, 8.2% high-performance liquid chromatography, and 3.6% ion chromatography) adhered to standard methods. The assessment of quality control in the studies demonstrated that only 20.9% reported some criteria of quality control and assurance. These criteria included calculating recovery percentage (15.5%), using certified reference materials or CRM (1.8%), and determining the limit of detection (16.4%) and the limit of quantification (18.2%). Based on the evaluation of methodology and quality control, nitrate concentrations published in 74.5% of the studies, which accounted for 15,203 samples (65.4% of all samples analyzed in the studies), met the minimum quality required for inclusion in the final analysis of this research. These data were utilized in the assessment of nitrate status in agricultural products in Iran. However, 34.6% of the studies (including the analysis results of 8057 samples) did not meet the minimally acceptable quality and were consequently excluded. The evaluation of nitrate concentration in agricultural products unveiled the weighted mean concentrations of nitrate (mg kg⁻¹ fresh weight) as follows: potato 98.7, cucumber 120.9, tomato 40.7, onion 39.6, watermelon 19.9, melon 62.9, carrot 151.1, eggplant 235.2, peppers 329, other root and tuber vegetables 542.4, lettuce 907.7, spinach 995.4, celery 1093.4, fresh edible legumes 37.7, parsley 596.5, cabbages 414.7, other leafy vegetables 635.6, apple 32.4, and orange 37.2.

Conclusions

Current research reveals that mean nitrate concentrations in Iran's agricultural products are lower than the maximum permissible levels recommended by both the Iranian national standard and international standards. Consequently, it can be generally concluded that there is no serious concern about residual nitrate concentration in Iran's agricultural products. Nitrate levels in agricultural products are crucial for food security, community health, and the associated social and economic effects. Therefore, studies in this area must strictly adhere to the steps and guidelines for measuring, controlling, and ensuring the quality of analyses, following both national and international standards. They should be ready to present this adherence if required.

Keywords: Agricultural Products, Nitrate Content, Nitrate Accumulation, Standard Methods, Quality Control.