



بررسی بقایای آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در سیب و انگور و ارزیابی ریسک سلامتی بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو

بهزاد محمدی خانقاهی^۱، ندا سهیلی ملکی^۱، لیلا عباس زاده^۱، غلامحسین صفری^{۲*}

۱- دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	بقایای آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در ۳۲ نمونه (۲۰ نمونه سیب و ۱۲ نمونه انگور) مراغه، در دو تیمار شسته نشده و شسته شده پس از استخراج با روش تجزیه‌ای راحت، سریع، مؤثر و ایمن (QuEChERS) توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی و طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) آنالیز شدند. همچنین، ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از آفت‌کش‌ها در محصولات سیب و انگور با استفاده از شاخص نسبت خطر (HQ) و براساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین باقی‌مانده آفت‌کش اتیون در نمونه‌های سیب و انگور پایین‌تر از حداکثر باقی‌مانده مجاز (MRL) ایران است، در حالی که میانگین باقی‌مانده آفت‌کش موینفوس در نمونه‌های سیب و انگور بالاتر از MRL ایران است. همچنین باقی‌مانده آفت‌کش‌های اتیون و موینفوس در ۱۰۰ درصد نمونه‌های سیب و انگور آنالیز شده بالاتر از MRL اتحادیه اروپا بود. میانگین باقی‌مانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون پس از شستشو در نمونه‌های سیب به ترتیب ۴۷ و ۴۵ درصد و در نمونه‌های انگور ۴۴ و ۴۲ درصد کاهش یافت. نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی براساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو نشان داد که مقدار HQ با اطمینان ۱۰۰ درصد در گروه‌های سنی کودکان و بزرگسالان کمتر از یک است. از این‌رو، مصرف سیب و انگور با این دو آفت‌کش هیچ‌گونه خطر قابل توجهی برای سلامتی مصرف‌کنندگان ندارند. با این حال، با توجه به استفاده از آفت‌کش‌های متعدد، نظارت مستمر و دقیق و مقررات سختگیرانه در رابطه با کیفیت و ایمنی میوه‌ها و سبزیجات توصیه می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷	
کلید واژه‌ها: باقی‌مانده آفت‌کش، انگور، ارزیابی ریسک، شبیه‌سازی مونت کارلو، مراغه	

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hsafari13@yahoo.com



Investigation of pesticide residues of Moinfos and Ethion in apple and grape and health risk assessment based on Monte Carlo Simulation

Behzad Mohammadi Khangahi¹, Neda Soheili Maleki¹, Lila Abbaszadeh¹, Gholam Hossein Safari^{2*}

¹- Faculty of Health, Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

²- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

Article Info

Abstract

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
05/12/2023

Accepted:
03/03/2024

Available online:
05/04/2024

Keywords:
Pesticide residues,
Grape,
Risk assessment,
Monte Carlo
Simulation,
Maragheh

The residues of Moinfos and Ethion pesticides in 20 samples of apples and 12 samples of grapes, in two treatments, unwashed and washed, after extraction with a convenient, fast, effective, and safe analytical method (QuEChERS) were analyzed using gas chromatography and mass spectrometry (GC/MS). Also, the health risk assessment of pesticide residues in apple and grape samples was done using the hazard quotient (HQ) and based on the Monte Carlo simulation for two age groups of adults and children. The results showed that the average residue of ethion in unwashed apple and grape samples was lower than the maximum residue levels of the MRLs of Iran. While, the average residue of Moinphos in unwashed apple and grape samples was higher than the MRLs of Iran. Also, the pesticide residues of Ethion and Moinfos in 100% of the apple and grape samples were higher than the MRL of the European Union. After washing, the average residue of Moinfos and Ethion pesticides decreased by 47 and 45% in apple samples and 44 and 42% in grape samples, respectively. The results of risk assessment based on Monte Carlo simulation showed that the HQ value is less than one with 100% certainty in the age groups of children and adults. Therefore, the consumption of apples and grapes with these two pesticides does not pose any significant risk to the health of consumers. However, due to the use of numerous pesticides, continuous and accurate monitoring and strict regulations regarding the quality and safety of fruits are recommended.

* Corresponding author E-mail address: hsafari13@yahoo.com

مقدمه

آفت‌کش‌ها به‌طور گسترده در کشاورزی مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند و یک روش مؤثر و اقتصادی برای افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی هستند. تقریباً ۴۵ درصد از تولید سالیانه محصولات غذایی به دلیل هجوم آفات از بین می‌روند. بنابراین، مدیریت مؤثر آفات با استفاده از طیف وسیعی از آفت‌کش‌ها برای مقابله با آفات و افزایش تولید محصول موردنیاز است و می‌تواند امنیت غذایی را برای جمعیت در حال رشد در سراسر جهان تضمین کند (Sharma et al., 2019; Hadian et al., 2018). اگرچه آفت‌کش‌ها از نظر تولید محصولات کشاورزی مفید هستند، اما استفاده گسترده از آفت‌کش‌ها به دلیل بزرگنمایی زیستی^۱ و طبیعت پایدار آن‌ها می‌تواند پیامدهای جدی داشته باشد. آفت‌کش‌های مختلف به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم هوا، آب، خاک و اکوسیستم کلی را آلوده می‌کنند که باعث ایجاد خطر جدی برای سلامتی موجودات زنده می‌شود (Sharma et al., 2019).

باقی‌مانده آفت‌کش‌ها بر روی محصولات غذایی می‌تواند باعث آسیب به محیط‌زیست و ایجاد مشکلات سلامتی مانند ایجاد سردرد، تهوع، خاصیت سرطان‌زایی، اختلالات کبدی، اختلال غدد درون‌ریز، اختلالات عصبی، اختلالات ژنتیکی و متابولیسمی در انسان شود (Bajwa and Sandhu, 2014, Liu et al., 2023, Radulović et al., 2023). از طرف دیگر به دلیل رشد روزافزون جمعیت جهانی و افزایش تقاضا برای مواد غذایی و محصولات کشاورزی، استفاده از آفت‌کش‌ها جهت افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی در واحد سطح اجتناب‌ناپذیر است. میوه‌ها و سبزیجات از جمله محصولات کشاورزی هستند که در برابر هجوم حشرات و سایر آفات آسیب‌پذیرتر هستند بنابراین در این محصولات برای کنترل حشرات و سایر آفات، افزایش ماندگاری و کنترل علف‌های هرز، استفاده از انواع مختلف آفت‌کش‌های شیمیایی رواج یافته است (Ganjeizadeh Rohani et al., 2014, Mahdavi et al., 2021).

بر اساس داده‌های FAO میزان آفت‌کش‌های مورد استفاده بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ حدود ۶۰ درصد افزایش یافته است. گرم شدن کره زمین باعث رشد و تکثیر آفات می‌شود. از این‌رو، احتمالاً در آینده از آفت‌کش‌های بیشتری نیز استفاده خواهد شد. متوسط مصرف جهانی آفت‌کش‌های کشاورزی از ۱/۲۲ کیلوگرم در هکتار زمین زراعی در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۲/۲۶ کیلوگرم در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است. همچنین مصرف جهانی آفت‌کش‌های کشاورزی از ۲/۷ میلیون تن در سال ۲۰۱۵ به ۳/۵۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ رسیده است (Statista 2022). طبق گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، کشورهای آسیایی بالاترین میزان استفاده از آفت‌کش‌ها را دارند که حدود ۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۱ بوده است (FAO, 2016). در سال ۲۰۱۴ حدود ۲۴۰۰۰ تن آفت‌کش در ایران مصرف شده است (Dehghani et al., 2018). زعیم و همکاران مصرف آفت‌کش‌های کشاورزی در ایران را طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۱۴ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طور متوسط سالانه حدود ۱۴۰۰۰ تن سموم دفع آفات کشاورزی (برحسب مواد مؤثره) در ایران استفاده می‌شود که بیشترین حجم مصرفی را علف‌کش‌ها (۴۳ درصد) و پس از آن حشره‌کش‌ها و کنه‌کش‌ها (۳۷ درصد) و قارچ‌کش‌ها (۱۹ درصد) تشکیل می‌دهند (Morteza et al., 2017). بنابراین، با توجه به ۱۹ میلیون هکتار زمین کشاورزی در ایران می‌توان گفت که میزان مصرف آفت‌کش‌ها در ایران در محدوده ۰/۷۴-۱/۲۶ کیلوگرم در هکتار زمین زراعی است.

با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان و تقاضای بیشتر برای غذاهای سالم و بهداشتی، پایش و نظارت بر آفت‌کش‌های باقی‌مانده بر

^۱Biomagnification^۲-Food and Agriculture Organization

روی محصولات کشاورزی در کشورهای مختلف گسترش یافته است و سازمان جهانی بهداشت^۱ (WHO) و سازمان خواربار و کشاورزی (فائو) استاندارد تحت عنوان حداکثر مجاز باقی مانده آفت کش ها بر روی محصولات غذایی^۲ (MRL) تدوین نموده است (Arabameri et al., 2022). همچنین آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا^۳ (EPA) شاخص مقدار خطر^۴ (HQ) را برای این منظور ارائه داده است که در این فرایند احتمال وقوع اثرات مضر بر سلامتی انسان در اثر مواجهه با آفت کش های باقی مانده بر روی مواد غذایی تخمین زده می شود (Bahrami et al., 2017, Mahdavi et al., 2022b). روش های مختلفی مانند روش استخراج مایع- مایع^۵ (LLE) (Kujawski et al., 2014)، استخراج فاز جامد^۶ (SPE) (Mohammadnejad et al., 2017)، استخراج فاز جامد پراکنده^۷ (MSPD) (dos Reis Souza et al., 2013)، استخراج فاز جامد میکرو^۸ (SPME) (Choi et al., 2020) جهت اندازه گیری باقی مانده آفت کش ها بر روی محصولات غذایی ابداع و توسعه داده شده اند. روش جدیدی است که برای اندازه گیری آفت کش های مختلف قطبی، نیمه قطبی و غیرقطبی، تجزیه و تحلیل طیف وسیع آنالیت ها در نمونه های بسیار متنوع مانند داروهای دامپزشکی و سایر داروها، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای^۹ (PAHs)، رنگ ها و ... کاربرد دارد (Lehotay et al., 2010, Salamzadeh et al., 2018, Rejczak and Tuzimski, 2015). استفاده از روش QuEChERS باعث کاهش مصرف حلال ها، کاهش تولید مواد زاید و کاهش هزینه ها می شود (Lehotay et al., 2005). همچنین این روش امکان اندازه گیری همزمان چندین آفت کش را فراهم می کند (Jesús et al., 2018). در سال های اخیر روش QuEChERS به دلیل مزیت های مختلف آن به طور گسترده توسط محققین برای اندازه گیری باقی مانده آفت کش ها بر روی محصولات غذایی استفاده شده است. به عنوان مثال در مطالعات یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2022)، مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2022a)، اسلامی و همکاران (Eslami et al., 2021) و سهیلی و همکاران (Maleki et al., 2023) از تکنیک QuEChERS استفاده شده است.

هیچ گونه شواهدی مبنی بر سرطان زایی آفت کش های موینفوس و اتیون برای انسان وجود ندارد. موینفوس و اتیون توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان^{۱۰} (IARC) یا آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا برای سرطان زایی طبقه بندی نشده است (US EPA, 2005). مشخصات فیزیکی و شیمیایی آفت کش های مورد مطالعه در این پژوهش بر اساس روش نفوذ، نوع اثر، دوره کارنس^{۱۱} (PHI)، سمیت^{۱۲} (LD₅₀)، فرمول ملکولی و حلالیت در جدول ۱ ارائه شده است. مطالعه حاضر با هدف تعیین باقی مانده آفت کش های موینفوس و اتیون در میوه های سیب و انگور شهرستان مراغه با استفاده از روش QuEChERS انجام شد. علاوه بر آن در این مطالعه، پتانسیل خطرات مرتبط با سلامتی انسان در اثر مواجهه با آفت کش های موینفوس و اتیون برای گروه های سنی کودکان و بزرگسالان ارزیابی شد و با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو تأثیر عدم

^۱-World Health Organization

^۲-Maximum Residues Limits

^۳-United States Environmental Protection Agency

^۴ Hazard quantity

^۵ Liquid-liquid extraction

^۶ Solid-phase extraction

^۷ Matrix solid-phase dispersion

^۸ Solid-phase micro extraction

^۹ Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe

^{۱۰} Polycyclic Aromatic Hydrocarbon

^{۱۱} International Agency for Research on Cancer

^{۱۲} Preharvest Interval

^{۱۳} Lethal Dose 50

قطعیت پارامترهای مختلف بر نتایج به حداقل رسید. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به مسئولان ذیربط در زمینه آگاهی از غلظت آفت‌کش‌های باقی‌مانده و خطرات مواجهه با آن‌ها کمک کننده باشد.

جدول (۱) مشخصات آفت‌کش‌های مورد مطالعه در این پژوهش

آفت‌کش	نوع	روش نفوذ	نوع اثر	PHI (روز)	سمیت (LD ₅₀) mg/kg	فرمول مولکولی	حلالیت (mg/l)
موبنفوس	حشره‌کش، مجاز	سیستمیک	تماسی	۳-۱	۷/۵	C ₇ H ₁₃ O ₆ P	miscible
اتیون	حشره‌کش، مجاز	غیرسیستمیک	تماسی	۱۰	۲۰۸	C ₉ H ₂₂ O ₄ P ₂ S ₄	۲ در ۲۵ °C

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در شهرستان مراغه واقع در استان آذربایجان شرقی انجام گردید. این شهرستان با وسعتی معادل ۲۱۸۵/۶۵ کیلومتر مربع ۴/۸ درصد از کل مساحت استان آذربایجان شرقی را به خود اختصاص داده است و از نظر مختصات جغرافیایی در عرض شمالی ۳۷ درجه و ۱ دقیقه الی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه و در طول شرقی ۴۶ درجه و ۹ دقیقه الی ۴۶ درجه و ۴۴ دقیقه قرار گرفته است. شهرستان مراغه از سمت شمال با شهرستان تبریز، از شرق با شهرستان هشترود، از جنوب با استان آذربایجان غربی و شهرستان ملکان، از جنوب شرق با شهرستان چاراویماق، از غرب با شهرستان بناب و از شمال غرب با شهرستان اسکو و عجب‌شیر هم‌جوار است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در طول دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۴۰۰ از میدان میوه‌و تره‌بار مرکزی شهرستان مراغه از توابع استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران انجام شد و به تعداد کل ۱۶ نمونه (۱۰ نمونه سیب و ۶ نمونه انگور) با فاصله زمانی دو هفته‌ای جهت آنالیز باقی‌مانده آفت‌کش‌ها نمونه‌برداری شد. روش تصادفی ساده طبق روش توصیه شده کدکس^۱ برای نمونه‌برداری استفاده شد و نمونه‌ها به صورت بسته‌بندی شده با کیسه‌های پلاستیکی مشکی و در دمای ۴ درجه سلسیوس (جهت جلوگیری از تجزیه آفت‌کش‌ها توسط نور خورشید) به آزمایشگاه منتقل شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

تعداد ۳۲ نمونه در آزمایشگاه در دو تیمار شسته شده (۱۰ نمونه سیب و ۶ نمونه انگور) و شسته نشده (۱۰ نمونه سیب و ۶ نمونه انگور) برای آنالیز آماده شدند. در حالت بدون شستشو نمونه‌های سیب و انگور بدون هیچ‌گونه شستشو و دست‌کاری وارد مرحله بعدی شدند اما در حالت شستشو نمونه‌ها بدون استفاده از مایع شوینده و به صورت غوطه‌وری در آب به مدت ۱ دقیقه شستشو شدند و سپس وارد مرحله بعدی شدند.

محاسبه ضریب فرآوری (PF)

ضریب فرآوری در حقیقت نسبت باقیمانده آفت‌کش در مواد غذایی فرآوری شده به باقیمانده آفت‌کش در مواد غذایی فرآوری

^۱-Codex

^۲-Process Factor

نشده است. ضریب فرآوری مطابق مطالعات قبلی انجام شده با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (Shakoori et al., 2018; Terfe et al., 2023):

(میانگین باقیمانده آفت کشها در نمونه‌های پس از تیمار) / (میانگین باقیمانده آفت کشها در نمونه‌ها قبل از تیمار) = PF
 پس از محاسبه ضریب فرآوری، درصد کاهش طبق فرمول زیر به دست آمد: $100 \times (1 - PF) =$ درصد کاهش

استخراج و آنالیز نمونه‌ها

استخراج نمونه‌ها با استفاده از روش QuEChERS اصلاح شده و مطابق مطالعه Lehotay و همکاران (Lehotay et al., 2010) انجام گردید که در شکل ۱ خلاصه شده است. نمونه‌ها پس از استخراج توسط دستگاه GC-MS ساخت کشور آمریکا در سال ۲۰۱۲ با مدل GC Agilent technology و دتکتور طیف‌سنجی جرمی MSEI-Triple quadrupole مورد آنالیز قرار گرفتند. در این مطالعه از ستون کپیلاری HP-5MS با طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر برای آنالیز نمونه‌ها استفاده شد. دمای انژکتور ۲۵۰ درجه سلسیوس بود و گاز هلیوم به با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه به‌عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت و باقی‌مانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور آنالیز شد.

اعتبارسنجی روش

اعتبارسنجی روش براساس دستورالعمل اتحادیه اروپا در آنالیز سموم انجام شد (SANTE 2021). در این راستا پارامترهای خطی بودن روش، مطالعات صحت و دقت، ضریب بازیابی، انحراف معیار نسبی، تعیین حد تشخیص (LOD) و حد تعیین مقدار (LOQ) مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مرتبط با اعتبارسنجی آنالیز باقیمانده آفت‌کشها با استفاده از GC-MC در جدول ۲ ارائه شده است.

^۱-Limit of Detection

^۲-Limit of quantification



شکل (۱) مراحل استخراج باقی مانده آفت‌کش‌ها بر روی میوه‌های سیب و انگور

جدول (۲) پارامترهای مرتبط با اعتبارسنجی باقیمانده آفت‌کش‌ها با استفاده از GC-MC

میوه	آفت‌کش	میانگین بازایی (%)	انحراف معیار نسبی (%)	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	R ²
سیب	موبنفوس	۸۹/۵	۲/۶۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲۰	۰/۹۹۵
	اتیون	۱۰۶	۹/۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۰/۹۹۷
انگور	موبنفوس	۹۱/۳	۸/۷۶	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۰/۹۹۳
	اتیون	۹۹/۷	۷/۵۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۹۹۱

ارزیابی ریسک بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو

در این مطالعه برای محاسبه اثرات مضر مواجهه با آفت‌کش‌های باقی مانده بر روی میوه‌های سیب و انگور از روش توصیه شده توسط EPA استفاده شد و میزان دریافت روزانه آفت‌کش‌ها به ازای هر کیلوگرم وزن بدن مصرف کننده و ارزیابی ریسک خطر غیر سرطان‌زای آفت‌کش‌ها در نمونه‌های سیب و انگور به ترتیب بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$(C \times DI)/BW = EDI \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$HQ = (EDI/ADI) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$C^1 = \text{میانگین غلظت آفت‌کش‌ها در نمونه‌های سیب و انگور (mg/kg)}$$

$$DI^2 = \text{مقدار مصرف روزانه سیب یا انگور (kg/person/d)}$$

$$W^3 = \text{میانگین وزن بدن مصرف کنندگان (kg)}$$

^۱-Concentration

^۲-Daily Intake

^۳-Weight

HQ^۱ = نسبت خطر باقی مانده یک آفت کش منفرد ناشی از مصرف سیب یا انگور (شسته نشده و شسته شده)

EDI^۲ = دریافت روزانه برآورد شده (mg/kg bw/d)

ADI^۳ = دریافت روزانه قابل قبول (mg/kg bw/d)

جمعیت مورد بررسی در این مطالعه به دو گروه سنی کودکان با میانگین وزن بدن ۱۵ کیلوگرم و بزرگسالان با میانگین وزن بدن ۷۰ کیلوگرم مطابق مطالعه مهدوی و همکاران (۲۰۲۲) تقسیم بندی شد مقدار ADI برای آفت کش های موینفوس و اتیون به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۰۲ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز در نظر گرفته شد (Maleki et al., 2023). همچنین میانگین مصرف سیب و انگور به ترتیب ۰/۱۰۹ و ۰/۰۴۱ کیلوگرم به ازای هر نفر در روز در نظر گرفته شد (Mahdavi et al., 2022a).

ارزیابی خطر سلامتی تجمعی ناشی از باقیمانده های آفت کش های دیازینون و کلرپیریفوس در نمونه های سیب و انگور بر اساس شاخص خطر (HI) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Yousefi et al., 2022, Maleki et al., 2023).

$$HI = \sum HQ \quad \text{رابطه (۳)}$$

HQ بزرگتر از ۱ نشان دهنده ی خطر بالقوه سلامتی برای انسان است و باید اقدامات کنترلی برای کاهش خطر اجرا شود در حالی که HQ کمتر از ۱ نشان دهنده ی عدم خطر است (Mohammadi et al., 2021, Safari et al., 2021). روش مونت کارلو یکی از ابزارهای قدرتمند در تجزیه و تحلیل ریسک است که به طور گسترده توسط محققین استفاده می شود. این تکنیک تأثیر عدم قطعیت پارامترهای مختلف در نتایج شبیه سازی را به حداقل می رساند و سناریوهای متعددی را از یک مدل با در نظر گرفتن ارزش آن ها در زمینه توزیع احتمال متغیر مورد بررسی به وجود می آورد (Khangahi et al., 2023). در این مطالعه، برای شبیه سازی مونت کارلو از نرم افزار Crystal Ball نسخه (۱۱،۱،۲،۳، Oracle, Inc, USA) استفاده شد و شبیه سازی مونت کارلو به تعداد ۱۰۰۰۰ تکرار انجام شد.

آنالیز آماری داده ها

توصیف آماری داده ها با استفاده از آمار توصیفی به صورت میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل و توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۷،۰،۱ صورت گرفت. ارزیابی ریسک نیز با استفاده از روش مونت کارلو و نرم افزار Crystal Ball نسخه (۱۱،۱،۲،۳، Oracle, Inc, USA) به تعداد ۱۰۰۰۰ تکرار انجام شد.

یافته های پژوهش

میزان باقیمانده آفت کش ها در نمونه های سیب و انگور در تیمارهای مختلف

۱۰۰ درصد نمونه های سیب و انگور در هر دو تیمار شسته شده و شسته نشده دارای آفت کش های موینفوس و اتیون بودند. حداکثر غلظت مشاهده شده مربوط به آفت کش موینفوس با غلظت ۰/۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم در نمونه های انگور شسته نشده و حداقل غلظت مشاهده شده مربوط به آفت کش اتیون با غلظت ۰/۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم در نمونه های انگور شسته شده

^۱-Hazard Quotient

^۲-Estimate Daily Intake

^۳-Acceptable Daily Intake

^۴-Hazard Index

بود. میانگین باقیمانده آفت‌کش موینفوس در نمونه‌های سیب شسته نشده و شسته شده به ترتیب ۰/۱۲۲ و ۰/۰۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های انگور شسته نشده و شسته شده به ترتیب ۰/۱۲۶ و ۰/۰۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین میانگین باقیمانده آفت‌کش اتیون در نمونه‌های سیب شسته نشده و شسته شده به ترتیب ۰/۰۷۷ و ۰/۰۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های انگور شسته نشده و شسته شده به ترتیب ۰/۰۹۰ و ۰/۰۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میزان باقیمانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور در تیمارهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. میزان باقیمانده آفت‌کش اتیون در ۱۰۰ درصد نمونه‌های سیب و انگور کمتر از MRL ایران بودند. در حالی که میزان باقیمانده آفت‌کش موینفوس در ۹۰ درصد نمونه‌های سیب (۱۸ نمونه) و در ۷۵ درصد نمونه‌های انگور (۹ نمونه) بالاتر از MRL توصیه شده توسط ایران بودند. همچنین میزان باقیمانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در ۱۰۰ درصد نمونه‌های سیب و انگور مساوی یا بالاتر از MRL توصیه شده توسط اتحادیه اروپا بودند. میزان وقوع آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور و MRL‌های توصیه شده توسط ایران و اتحادیه اروپا در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول (۳) میزان باقیمانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور در تیمارهای مختلف

نوع میوه	نوع آفت‌کش	نوع تیمار	حداقل (mg/kg)	حداکثر (mg/kg)	میانگین (mg/kg)	انحراف معیار
سیب	موینفوس	شسته نشده	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۲۲	۰/۰۱۳۱
		شسته شده	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۶۵	۰/۰۱۱۷
	اتیون	شسته نشده	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۷۷	۰/۰۱۱۵
		شسته شده	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۴۲	۰/۰۱۰۳
انگور	موینفوس	شسته نشده	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۱۲۶	۰/۰۷۰۹
		شسته شده	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۰۷۳	۰/۰۴۳۶
	اتیون	شسته نشده	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۵۰۳
		شسته شده	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۳۲۶

جدول (۴) توزیع آفت‌کش‌ها در نمونه‌های سیب و انگور و MRLهای مربوط به ایران و اتحادیه اروپا

MRL اروپا	MRL ایران	تعداد آفت‌کش‌های یافت شده در هر دامنه			نوع تیمار	آفت‌کش	میوه	
		>EU MRL	>IR MRL	≥ LOQ - ≤ IR MRL				≥ LOD - < LOQ
۰/۰۱	۰/۰۵	۱۰	۱۰	۰	۰	۰	شسته نشده	سیب
		۱۰	۸	۲	۰	۰	شسته شده	
۰/۰۱	۱	۱۰	۰	۱۰	۰	۰	شسته نشده	اتیون
		۱۰	۰	۱۰	۰	۰	شسته شده	
۰/۰۱	۰/۰۵	۶	۵	۱	۰	۰	شسته نشده	انگور
		۶	۴	۲	۰	۰	شسته شده	
۰/۰۱	۱	۶	۰	۶	۰	۰	شسته نشده	اتیون
		۵	۰	۶	۰	۰	شسته شده	

اثر فرایند شستشو

ضریب فرآوری برای شستشوی نمونه‌های سیب و انگور برای هر دو آفت‌کش مورد مطالعه کمتر از ۱ بود و میانگین باقی‌مانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون پس از شستشو در نمونه‌های سیب به ترتیب ۴۷ و ۴۵ درصد و در نمونه‌های انگور ۴۴ و ۴۲ درصد کاهش یافت. ضریب فرآوری و درصد کاهش آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون پس از فرایند شستشو در نمونه‌های سیب و انگور در جدول ۵ ارائه شده است.

ارزیابی ریسک و شبیه‌سازی مونت کارلو

نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که میزان HQ ناشی از باقی‌مانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در ۱۰۰ درصد نمونه‌های سیب و انگور بررسی شده برای گروه‌های سنی کودکان و بزرگسالان کمتر از ۱ است و مصرف سیب و انگور در کوتاه‌مدت خطرات سلامتی قابل‌توجهی برای مصرف‌کنندگان ندارد. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک ناشی از باقی‌مانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور در دو تیمار شسته نشده و شسته شده در جدول ۶ نشان داده شده است. همچنین نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که بالاترین مقدار HQ در میوه سیب و انگور مربوط به آفت‌کش موینفوس در گروه

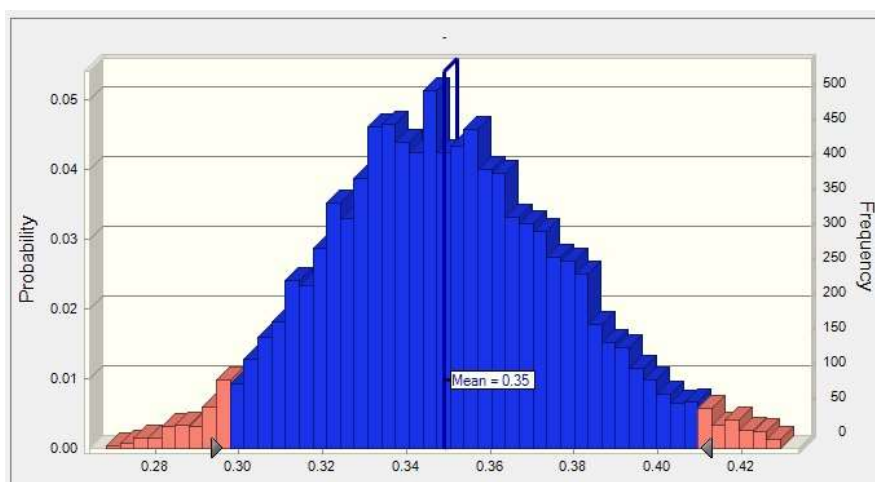
سنی کودکان است. توزیع احتمال HQ ناشی از آفت‌کش موینفوس برای گروه سنی کودکان در نمونه‌های سیب و انگور با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو نشان به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو با اطمینان ۹۵ درصد، بیشترین و کمترین محدوده HQ آفت‌کش موینفوس در نمونه‌های سیب برای گروه سنی کودکان به ترتیب برابر با ۰/۴۱ و ۰/۲۹ بود. احتمال این‌که مقدار HQ برای این گروه بالاتر از ۰/۴۱ باشد تنها ۲/۳۱ درصد است و در ۱۰۰ درصد مواقع مقدار HQ کمتر از ۱ است. همچنین ارزیابی خطر تجمعی ناشی از مواجهه با بقایای آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور نشان می‌دهد که هیچ‌گونه خطر سلامتی قابل توجهی برای گروه‌های سنی بزرگسالان و کودکان وجود ندارد و مقادیر شاخص خطر (HI) کمتر از ۱ است. مقادیر HI ناشی از ارزیابی خطر تجمعی آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور برای گروه‌های سنی کودکان و بزرگسالان در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول (۵) ضریب فرآوری و درصد کاهش آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور

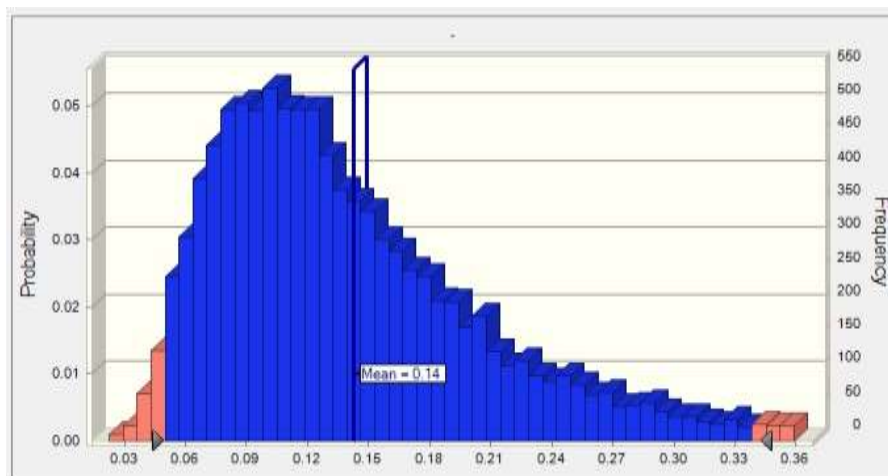
آفت‌کش	انگور		سیب	
	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده
میانگین	میانگین ضریب فرآوری کاهش	میانگین ضریب فرآوری کاهش	میانگین ضریب فرآوری کاهش	میانگین ضریب فرآوری کاهش
(mg/kg)	(PF)	(%)	(mg/kg)	(PF)
(%)	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(PF)
موینفوس	۰/۱۲۶	۰/۰۷۳	۰/۱۲۲	۰/۰۶۵
اتیون	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۷۷	۰/۰۴۲

جدول (۶) ارزیابی ریسک ناشی از باقی‌مانده آفت‌کش‌های موینفوس و اتیون در نمونه‌های سیب و انگور

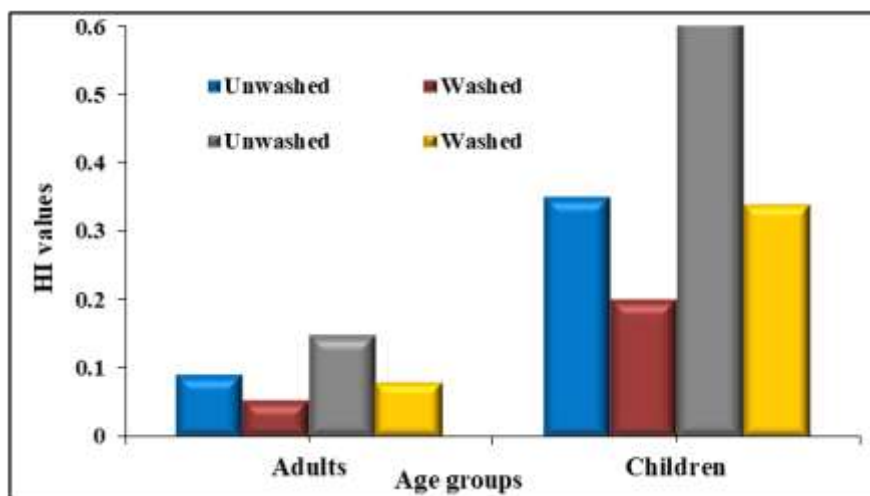
میوه	آفت‌کش نوع فرآوری	ADI (mg/kg bw/day)	EDI (mg/kg bw/day)		HQ		
			بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	
		میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر
سیب	موینفوس شسته نشده	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۳۵	۰/۴۱
		۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۱۹	۰/۲۶
اتیون	شسته نشده	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۲۸	۰/۳۳
		۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۹۷	۰/۱۵	۰/۲۲
انگور	موینفوس شسته نشده	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۲۴	۰/۱۸	۰/۳۵
		۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۱۵	۰/۱۱	۰/۲۴
اتیون	شسته نشده	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۰۰۸۵	۰/۰۰۰۱۵	۰/۱۷	۰/۳۰
		۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۹۴	۰/۱۹



شکل (۲) توزیع احتمال HQ موینفوس برای گروه کودکان در سب



شکل (۳) توزیع احتمال HQ موینفوس برای گروه کودکان در انگور



شکل (۴) مقادیر HI ناشی از آفت کش های موینفوس و اتیون برای کودکان و بزرگسالان

بحث و نتیجه‌گیری

بر روی تصویر بزرگی تغییرات مناطقی که نشان دهنده تغییرات معنی‌داری نسبت به گذشته هستند با رنگ قرمز مشخص شده است؛ رنگ‌های این تصویر با کدبندی به دو طبقه تغییر یافته (رنگ قرمز) و بدون تغییر (رنگ سفید) گروه‌بندی شده است. بر روی تصویر نهایی تغییرات نیز می‌توان انواع مختلف تغییرات کاربری قابل پیش‌بینی را مشخص و درنهایت کدبندی کرد. روی این تصویر چهار گروه کد یا رنگ قابل پیش‌بینی است که نشان‌دهنده چهار پدیده مختلف هستند. در این نقشه چهار کد مناطق بدون تغییر، توسعه فعالیت‌های شهری، تخریب جنگل و توسعه فعالیت‌های کشاورزی نشان داده شده است. در کدبندی تغییرات، توسعه فعالیت‌های شهرسازی با یک کد نمایش داده شده است. مناطقی که کاربری آن تغییر نیافته‌اند و با رنگ کرم مشخص شده‌اند، در این طبقه ارزش‌های دو باند بین دو تاریخ تغییرات معنی‌داری را از خود نشان نمی‌دهند. رنگ قرمز که در آن ارزش باند قرمز از تاریخ اول به دوم افزایش و ارزش باند مادون قرمز کاهش نسبی دارد و نشان‌دهنده کاهش شدید تولیدات فتوسنتزی به دلیل تخریب پوشش جنگلی و نیز تغییر کاربری اراضی کشاورزی به غیر کشاورزی است. این مناطق که در آن تخریب جنگل صورت گرفته عمدتاً شامل شهرهای ساری، نکا و بهشهر یعنی مناطق شرق استان و نیز دربرگیرنده شهر تنکابن و سوادکوه نیز است و رنگ سبز تیره که در آن به ترتیب ارزش‌های باند قرمز و باند مادون قرمز از تاریخ اول به دوم کاهش و افزایش نسبی دارند و بیانگر افزایش شدید فعالیت‌های فتوسنتزی به دلیل تبدیل کاربری اراضی به کشاورزی است. این تبدیل در کل استان دیده می‌شود؛ اما عمدتاً شامل سوادکوه و غرب ساری است و همچنین شهرهای نور، گلوگاه و تنکابن را شامل می‌شود. رنگ آبی بیانگر کاهش و افزایش نسبی ارزش‌های هر دو باند بین دو تاریخ است، نشان‌دهنده توسعه انواع فعالیت‌های شهری هستند که شامل چالوس، نوشهر و بابلسر است یعنی عمدتاً شامل غرب استان است. این نتایج با نتایج پژوهش میرزایی و همکاران (۱۳۹۲) و رجایی و همکاران (۱۳۹۹) هم‌خوانی دارد که هر دو پژوهش تغییرات کاربری اراضی مازندران را ارزیابی کرده و کاهش پوشش جنگلی و افزایش توسعه شهری را اعلام کرده‌اند. لازم به ذکر است در مناطق مسکونی به دلیل این که بازتابش‌ها تحت تأثیر شرایط فیزیکی و زیستی (پوشش گیاهی، مواد ساختمانی و خاک) هستند، نمی‌توان رفتار طیفی مشخصی را برای مناطق ساختمانی در نظر گرفت و انواع مناطق مسکونی (کم تراکم، متراکم و تجاری در هر باند رفتار طیفی متفاوت دارند (کلافام^۱؛ ۲۰۰۵؛ ماخام^۲ و بارکر^۳؛ ۱۹۸۷). لذا دو منطقه جدید شهری با درصد ساختمان، پوشش گیاهی و خاک متفاوت در بررسی روند تغییرات، جهات مختلفی را نشان خواهند داد (کلافام، ۲۰۰۵).

روش آشکارسازی برداری تغییرات مزایا و محدودیت‌هایی دارد که به هنگام کاربرد بایستی به آن‌ها توجه کرد. از مزایای اصلی روش CVA نسبت به سایر روش‌ها این است که امکان استفاده از تمامی باندهای تصاویر ماهواره‌ای (یا باندهای انتخاب شده بر اساس ماهیت مطالعه برای آشکارسازی تغییرات وجود دارد (جنسن، ۲۰۰۵؛ مالیلا، ۱۹۸۰؛ میکالک^۴ و همکاران، ۱۹۹۳). بعضی از تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات نظیر تفریق یا تقسیم تصاویر فقط قادرند مناطق تغییر یافته و بدون تغییر را نشان دهند، در حالی که CVA در کنار بعد تغییرات مسیر و جهت تغییرات را نیز مشخص می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ مالیلا، ۱۹۸۰). از مزایای این روش می‌توان به این مهم اشاره کرد که به‌واسطه مقایسه ارزش‌های رقومی پیکسل‌ها هم موقعیت دو تصویر با یکدیگر، خطاهای هم‌پوشانی ناشی از مقایسه پس از طبقه‌بندی طیفی تصاویر ماهواره‌ای در این روش وجود ندارد

^۱-Clapham

^۲-Makham

^۳-Barker

^۴-Michalek

(لیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ وارنر، ۲۰۰۶). همچنین این روش می‌تواند تمامی تغییرات ایجاد شده در منطقه را مشخص کند (کلافام، ۲۰۰۵؛ لامبین، ۱۹۹۶؛ مالیلا، ۱۹۸۰). محققانی نظیر سفیانیان (۱۳۸۸)، میرزایی و همکاران (۱۳۹۲)، مهدوی و همکاران (۱۳۹۳)، فرج‌زاده و کاوسی (۱۳۹۳)، ناطقی و همکاران (۱۳۹۵)، رجایی و همکاران (۱۳۹۹)، اوسمار و همکاران (۲۰۱۱)، دوی و همکاران (۲۰۱۷)، ساها و همکاران (۲۰۱۹)، سهامی و همکاران (۱۴۰۰)، باقری و همکاران (۱۴۰۱)، نرماشیری و همکاران (۱۴۰۱) و آرخی و همکاران (۱۴۰۱)، مزایای این روش را در مطالعات خود تأیید می‌کنند. روش CVA محدودیت‌هایی نیز دارد از جمله این‌که برای تهیه مؤلفه جهت تغییرات فقط می‌توان از دو باند استفاده کرد (وارنر، ۲۰۰۶؛ میکالک و همکاران، ۱۹۹۳) و در صورت افزایش تعداد باندها محاسبات بسیار پیچیده و نرم‌افزارهای پردازش تصویر موجود پتانسیل اجرای آن را ندارند (وارنر، ۲۰۰۶). در این تحقیق نیز با توجه به این محدودیت فقط از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک که برای آشکارسازی تغییرات در محیط‌های دارای پوشش گیاهی و مسکونی مناسب هستند (کلافام، ۲۰۰۵؛ جنسن، ۲۰۰۵) استفاده شد.

تحقیق حاضر نشان داد که آنالیز برداری تغییرات یک روش مناسب برای آشکارسازی و توصیف تغییرات رادیومتریک سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی است و به کمک آن و با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌توان تغییرات پوشش و کاربری اراضی یک منطقه را مشخص کرد (کلافام، ۲۰۰۵؛ ایستمن، ۲۰۰۳؛ جنسن و تول، ۱۹۸۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۴). این روش قابلیت آشکارسازی و طبقه‌بندی انواع تغییرات محیط‌زیست را دارد (مالیلا، ۱۹۸۰؛ میکالک و همکاران، ۱۹۹۳). از این تکنیک می‌توان برای آشکارسازی تغییرات بسیاری از پدیده‌ها مانند تغییرات جنگل (جنسن و تول، ۱۹۸۲)، تغییرات اجزای منظر (جنسن، ۲۰۰۵) و تغییرات کیفیت آب (میکالک و همکاران، ۱۹۹۳) استفاده کرد. در پایان لازم به ذکر است که روش تحلیل بردار تغییر، قابلیت آشکارسازی و طبقه‌بندی انواع تغییرات بزرگی و جهت در سیمای سرزمین را به‌صورت رضایت‌بخش دارد.

منابع

۱. آرخی، صالح؛ شاهکویی، اسمعیل؛ عطا، بهنام (۱۴۰۱). ارزیابی تکنیک‌های تغییرات پوشش گیاهی/ کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS (مطالعه موردی: حوضه گرگان رود). برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۲ (۲۶)، ۴۱-۶۰.
۲. باقری، سمانه؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ حیدری علمدارلو، اسماعیل (۱۴۰۱). ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در کاربری‌های مختلف حوضه گاوخونی با استفاده از روش تحلیل بردار تغییر. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۱۰ (۳۳)، ۳۹-۵۲.
۳. رجایی، فاطمه؛ اسماعیلی ساری، عباس؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ دلاور، مجید؛ مساح بوانی، علی‌رضا (۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آب‌خیز رودخانه تجن با تکیه بر سنج‌های سیمای سرزمین. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲ (۱)، ۳۶۶-۳۵۱.
۴. سفیانیان، علیرضا (۱۳۸۸). بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۳ (۴۹)، ۱۶۴-۱۵۳.
۵. سهامی، گوران؛ نصرالهی، پرویز (۱۴۰۰). آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی با روش آنالیز بردار تغییرات: الرقه، سوریه.

^۱- Warner

^۲- Lambin

^۳- Toll

- دومین کنفرانس بین‌المللی علم اطلاعات جغرافیایی بنیادها و کاربردهای بین‌رشته‌ای، مشهد.
۶. فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ کاووسی، موسی (۱۳۹۳). ارزیابی و تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و تحلیل بردار تغییر (CAV) مطالعه موردی: کانون طوفان‌های گردوغبار غرب تهران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۵(۵۶)، ۸۲-۶۹.
۷. مرکز ملی آمار ایران (۱۳۹۵). آمارنامه استان مازندران.
۸. مهدوی، علی؛ فتحی‌زاد، حسن؛ شتایی، شعبان (۱۳۹۳). ارزیابی و تحلیل انواع روش‌های آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی / پوشش گیاهی (مطالعه موردی: جنگل‌های حفاظت شده مانشت استان ایلام). پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگ، ۲۱(۴)، ۲۱۰-۱۸۷.
۹. میرزایی، محسن، ریاحی بختیاری، علیرضا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۲). بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۳. بوم‌شناسی کاربردی، ۲(۴)، ۵۵-۳۷.
۱۰. ناطقی، سعیده؛ نوحه‌گر، احمد؛ احسانی، امیرهوشنگ؛ بذرافشان، ام‌البنین (۱۳۹۵). پایش تغییرات کاربری اراضی بیابان‌های ساحلی با استفاده از تکنیک تحلیل بردار تغییرات طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ (مطالعه موردی: جزیره قشم). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۳ (۲)، ۴۱۶-۴۰۴.
۱۱. نرماشیری، فاطمه؛ قربانی، مهدی؛ زهتابیان، غلامرضا؛ آذرینوند، حسین؛ علم بیگی، امیر؛ شولز، رولند ورنر (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل بیابان‌زایی با استفاده از روش تحلیل بردار تغییر (منطقه مورد مطالعه: شهرستان قلعه‌گنج). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۹ (۱)، ۶۵-۵۳.
۱۲. Clapham, W.B. (2005). Quantitative classification as a tool to show change in an urbanizing watershed. *Intl. J. Remote Sensing*, 26 (22), 4923-4939.
۱۳. Dewi, R.S., Bijker, W., & Stein, A. (2017). Change Vector Analysis to Monitor the Changes in Fuzzy Shorelines. *Remote Sensing*, 9(2), 147.
۱۴. Eastman, J.R. (2003). *IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing*. Clark Univ., Worcester, MA.
۱۵. Eastman, J.; Ronald. (2011). *Remote Sensing and Applied Geographic Information Systems with Idrisi Software* (Salman Mahini, A. and Kamyab, H. R. Translators) Published by Mehr Mahdis (Published in the original language in 2003).
۱۶. Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Upper Saddle River. USA: Prentice & Hall Pub.
۱۷. Jensen, J. R., & Toll, D.L. (1982). Detecting residential land use development at the urban frigate. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48: 629-6۴۳.
۱۸. Lambin, E. F. (1996). Change detection at multiple temporal scales: seasonal and annual variation in landscape variables. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62: 931-9۳۸.
۱۹. Lu, D. P., Mausel, E., Brondizio & Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *Intl. J. Remote Sensing*, ۲۵(۱۲)، ۲۳۶۵-۲۴۰۷.
۲۰. Makhm, B. L., Barker, J. L. (1987). Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *Intl. J. Remote Sensing*, 8(3): 517-523.
۲۱. Malila, W. A. (1980). Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat. In *Proceedings of the 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. PP: 326-۳۳۵. Purdue Univ., West Lafayette, USA.
۲۲. Michalek, J. L., Wagner, T. W., Luczkovich J. J., & Stoffle, R. W. (1993). Multispectral change vector

- analysis for monitoring coastal marine environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59, ۳۸۱-۳۸۴.
۲۳. Osmar, A., Carvalho, J., Renato, F., Alan R., Gillespie, Nilton, C., Silva, A., Roberto, T. (2011). A New Approach to Change Vector Analysis Using Distance and Similarity Measures. *Remote Sensing*, 3, 2473-۲۴۹۳.
۲۴. Saha, S., Bovolo, F., Bruzzone, L. (2019). Unsupervised Deep Change Vector Analysis for Multiple-Change Detection in VHR Images. *Geoscience and Remote Sensing*, 57 (6), 1-10.
۲۵. Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *Intl. J. Remote Sensing*, ۱۰(۶), ۹۸۹-۱۰۰۳.
۲۶. Warner, T. (2006). Hyperspherical direction cosine change vector analysis. *Intl. J. Remote Sensing*, 26(6), ۱۲۰۱-۱۲۱۵.