Journal of Marine Medicine
Winter 2026, Volume 7, Issue 4 (Special Issue: Policy Brief)
Pages: 17-21
10.30491/7.4.17

The Necessity of Developing and Implementing a National Program for Self-Sufficiency in the Production and Advancement of Next-Generation Antidotes Against Organophosphate Chemical Agents

Mohammad Hadi Baghersad [1*]

[1]*Applied Biotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 26 November 2025 **Accepted:** 27 January 2026

Abstract

Organophosphate (OP) poisoning, as a triple-threat issue with agricultural, medical, and security dimensions, represents one of the most complex challenges facing Iran's healthcare system. By irreversibly inhibiting acetylcholinesterase, these agents can lead within minutes to respiratory failure, seizures, and death. National statistics indicate that thousands of poisoning cases are recorded annually in Iran, primarily due to occupational exposure to pesticides or suicide attempts, a substantial proportion of which result in death or long-term neurological complications. Concurrently, security threats arising from the potential illicit use of these agents necessitate a high level of national preparedness for rapid and effective response.

The current standard of care relies on a combination of atropine (a muscarinic antagonist), oximes such as pralidoxime (acetylcholinesterase reactivators), and a benzodiazepine -most commonly diazepam- for seizure control. Despite being life-saving, this therapeutic regimen suffers from significant limitations, including short drug half-lives, the need for repeated dosing and intensive monitoring, cardiovascular adverse effects, intrinsic toxicity of oximes, and -most critically- the lack of efficacy in preventing or treating organophosphate-induced delayed neuropathy (OPIDN). The substantial gap between clinical needs and available therapeutic options becomes even more critical when considering the country's near-total dependence on imported supplies of these essential medicines -a vulnerability that may seriously jeopardize national health security under conditions of sanctions or international crises.

Drawing on a systematic review of global evidence and analysis of domestic data, this policy brief argues that long-term, targeted investment in basic research, translational studies, and technology development aimed at achieving a new generation of antidotes is not merely a medical necessity, but a strategic action toward national security and pharmaceutical self-sufficiency. The proposed strategies are structured around four core pillars: 1) establishing and strengthening multidisciplinary research infrastructures within leading academic institutions; 2) designing financial and incentive mechanisms to attract knowledge-based companies to this field; 3) revising and reinforcing supply chains and strategic stockpiles of existing antidotes; and 4) expanding international collaborations for technology transfer and participation in clinical trials. Implementation of this agenda requires sustained intersectoral commitment and dedicated funding, but its outcome would be the achievement of a unique national capability to protect public health and enhance national resilience.

Keywords: Organophosphate nerve agents, Antidote, Bioscavenger, Health security, Pharmaceutical self-sufficiency.

[*]**Corresponding author:** Mohammad Hadi Baghersad, **Email**: Hadibaghersad@bmsu.ac.ir
Address: Applied Biotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ (ویژه نامه خلاصه سیاستی)
صفحات: ۲۱-۱۷
10.30491/7.4.17

ضرورت تدوین و اجرای برنامه ملی برای خودکفایی در تولید و توسعه آنتی‌دوت‌های نسل جدید در برابر عوامل شیمیایی ارگانوفسفره

محمدهادی باقرصاد [۱*]

[۱] مرکز تحقیقات زیست فناوری کاربردی، پژوهشکده فناوریهای نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۴/۱۱/۰۷

چکیده

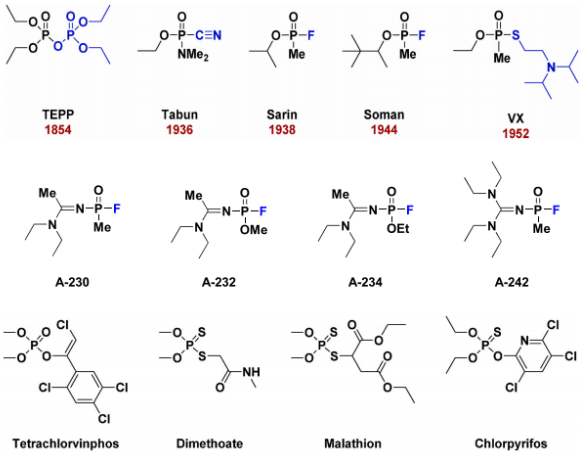
مسمومیت با ترکیبات ارگانوفسفره (OP) به عنوان یک تهدید سه‌گانه، با ریشه‌های کشاورزی، پزشکی و امنیتی، یکی از چالش‌های پیچیده نظام سلامت ایران محسوب می‌شود. این عوامل با مهار غیرقابل بازگشت آنزیم استیل‌کولین‌استراز، در عرض چند دقیقه می‌توانند منجر به بحران تنفسی، تشنج و مرگ شوند. آمارهای ملی نشان می‌دهد سالانه هزاران مورد مسمومیت، عمدتاً ناشی از مواجهه شغلی با آفت‌کش‌ها یا اقدام به خودکشی، در کشور ثبت می‌شود که بخش قابل توجهی از آنها به مرگ یا عوارض عصبی ماندگار منجر می‌گردد. در عین حال، تهدیدات امنیتی ناشی از امکان استفاده غیرقانونی از این عوامل، آمادگی ملی را برای پاسخ سریع و مؤثر طلب می‌کند. درمان استاندارد کنونی، مبتنی بر ترکیب آتروپین (یک آنتاگونیست موسکارینی)، اکسیم‌هایی مانند پرالیدوکسیم (بازفعال‌کننده آنزیم استیل کولین استراز) و یک بنزودیازپین (اغلب دیازپام، برای کنترل تشنج) است. با وجود نجات‌بخش بودن، این رژیم درمانی با محدودیت‌های جدی از جمله نیمه‌عمر کوتاه داروها، نیاز به تجویز مکرر و پایش دقیق، عوارض قلبی و سمیت خود اکسیم‌ها، و مهم‌تر از همه، عدم اثربخشی در پیشگیری یا درمان نوروپاتی تأخیری ناشی از ارگانوفسفره (OPIDN) مواجه است. شکاف عظیم بین نیاز بالینی و امکانات درمانی موجود، زمانی بحرانی‌تر می‌شود که وابستگی تقریباً کامل کشور به واردات این داروهای حیاتی را در نظر بگیریم؛ وابستگی که در شرایط تحریم یا بحران‌های بین‌المللی می‌تواند امنیت سلامت ملی را به مخاطره بیندازد. این خلاصه سیاستی، با اتکا به مرور نظام‌مند شواهد جهانی و تحلیل داده‌های بومی، استدلال می‌کند که سرمایه‌گذاری بلندمدت و هدفمند در تحقیقات بنیادی، کاربردی و توسعه فناوری برای دستیابی به نسل جدیدی از آنتی‌دوت‌ها نه تنها یک ضرورت پزشکی، بلکه یک اقدام راهبردی در راستای تحقق امنیت ملی و خودکفایی دارویی است. راهکارهای پیشنهادی در چهار محور اصلی تدوین شده‌اند: اول، ایجاد و تقویت زیرساخت‌های تحقیقاتی چندرشته‌ای در مراکز علمی برتر کشور. دوم، طراحی سازوکارهای مالی و انگیزشی برای جذب شرکت‌های دانش‌بنیان به این حوزه. سوم، بازنگری و تقویت زنجیره تأمین و ذخایر استراتژیک داروهای فعلی. و چهارم، توسعه همکاری‌های بین‌المللی برای انتقال فناوری و مشارکت در کارآزمایی‌های بالینی. اجرای این برنامه، مستلزم اراده‌ای فرابخشی و تعهد بودجه‌ای مستمر است، اما پیامد آن، دستیابی به توانمندی بی‌بدیل در حفاظت از سلامت مردم و ارتقای اقتدار ملی خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: عوامل عصبی ارگانوفسفره، آنتی‌دوت، بیواسکاونجر، امنیت سلامت، خودکفایی دارویی.

*نویسنده مسئول: **محمدهادی باقرصاد**. پست الکترونیک: Hadibaghersad@bmsu.ac.ir
آدرس: مرکز تحقیقات زیست فناوری کاربردی، پژوهشکده فناوریهای نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

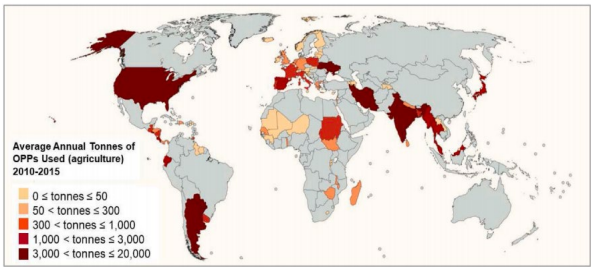
مقدمه

عوامل ارگانوفسفره دسته‌ای از ترکیبات شیمیایی هستند که ابتدا به عنوان حشره‌کش توسعه یافتند و متعاقباً فرمولاسیون‌هایی از آنها به عنوان عوامل جنگی عصبی شناخته شدند [۵-۱]. عوامل عصبی از زمان معرفی آنها در قرن بیستم، به دو دسته اصلی تقسیم می شوند. گروه G که در آلمان توسعه یافتند و از این رو پیشوند G در نشانه گذاری آنها به کار رفت و شامل تابون، سارین، سومان وسیکلوسارین هستند. دسته دوم، گروه V نیز از یک فسفر پنج ظرفیتی تشکیل شده اند و شامل انواع VX، VX روسی و VX چینی می باشند. دسته سومی که در کانون توجه جهان قرار گرفت، عوامل گروه A یا نوویکوک هستند که با استفاده از آنها سرگئی اسکریپال و دخترش در سالزبری بریتانیا در سال ۲۰۱۸ [۶] و الکسی ناوالنی که در طی پرواز از تومسک به مسکو روسیه در سفر بود، در سال ۲۰۲۰ مسموم شدند [۷].



شکل-۱. عوامل ارگانوفسفره شامل عوامل عصبی قدیمی به همراه سال میلادی کشف آنها (ردیف اول)، عوامل عصبی روسی (ردیف دوم) و تعدادی از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره (ردیف سوم) [۸].

مکانیسم عمل عوامل ارگانوفسفره، مهار آنزیم استیل‌کولین‌استراز (AChE) در سیناپس‌های عصبی است که منجر به تجمع انتقال‌دهنده عصبی استیل‌کولین، بیش‌تحریکی پایانه‌های عصبی و در نهایت فلج دستگاه تنفسی و مرگ می‌شود [۹]. در بستر سلامت عمومی ایران، این ترکیبات از دو مسیر اصلی وارد می‌شوند: نخست، استفاده گسترده و گاه غیراصولی از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در بخش کشاورزی که جمعیت زیادی از کشاورزان و کارگران را در معرض خطر مسمومیت حاد و مزمن قرار می‌دهد (حدود ۴۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۶، شکل ۲، [۱۰]). دوم، در دسترس بودن نسبی برخی از این ترکیبات که آنها را به وسیله‌ای متداول برای اقدام به خودکشی تبدیل کرده است. آمارهای مرکز مدیریت سموم وزارت بهداشت به طور مداوم حاکی از سهم بالای موارد مراجعه به مراکز مسمومیت است [۱].



شکل-۲. میانگین استفاده سالانه از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره بر حسب تن در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۵ (در مناطق با رنگ خاکستری، داده‌های مربوطه در دسترس نیست) [۸].

ابعاد مسئله تنها به تلفات انسانی ختم نمی‌شود. هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم درمان این مسمومیت‌ها شامل بستری طولانی‌مدت در بخش‌های مراقبت‌های ویژه، نیاز به دستگاه تنفس مصنوعی و داروهای پرهزینه، بار سنگینی بر نظام سلامت تحمیل می‌کند [۱۱]. از سوی دیگر، عوارض دیررس عصبی مانند نوروپاتی تأخیری (OPIDN) و اختلالات شناختی، می‌توانند توانایی فرد برای بازگشت به زندگی مولد را به شدت کاهش دهند و به یک معلولیت بلندمدت تبدیل شوند، که این خود هزینه‌های اجتماعی و اقتصادی مضاعفی را ایجاد می‌کند [۱۲].

در بعد امنیت ملی، اگرچه ایران متعهد به کنوانسیون منع تسلیحات شیمیایی است، اما خطر بالقوه استفاده تروریستی از چنین موادی را نمی‌توان نادیده گرفت. تجربیات جهانی نشان داده است که آمادگی برای مقابله با چنین تهدیداتی، مستلزم در اختیار داشتن درمان‌های مؤثر و قابل اتکا است. در اینجا نقطه آسیب‌پذیر اصلی کشور آشکار می‌شود: وابستگی حیاتی به واردات آنتی‌دوت‌های اختصاصی. کمبودهای ادواری، نوسانات قیمت و مهم‌تر از همه، محدودیت‌های دسترسی در شرایط تحریم، نظام سلامت را در مواجهه با یک همه‌گیری ناشی از مسمومیت یا یک حادثه با تلفات جمعی، در موقعیت شکننده‌ای قرار می‌دهد [۱۳-۱۵].

بنابراین، مسئله کلیدی این است: نظام سلامت و امنیت ملی ایران با وجود مواجهه مداوم و بالقوه با تهدید ارگانوفسفره‌ها، از درمان‌های ناکامل و وابسته به خارج بهره می‌برد و فاقد یک برنامه جامع و پیش‌دستانه برای توسعه و تولید داخلی نسل جدیدی از درمان‌های مؤثرتر و پایدارتر است. این خلأ، هم بیماران فردی را در معرض خطر قرار می‌دهد و هم تاب‌آوری ملی در برابر بحران‌ها را تضعیف می‌کند.

روش‌ها

این خلاصه سیاستی بر اساس یک مرور دامنه‌دار (scoping review) و تحلیل اسناد سیاستی تهیه شده است. برای شناسایی شواهد مرتبط، جست‌وجویی نظام‌مند در پایگاه‌های اطلاعاتی بین‌المللی شامل PubMed، Scopus و Web of Science با استفاده از کلیدواژه‌های ترکیبی نظیر " organophosphate

"poisoning"، "antidote development"، "bioscavenger"، "oxime limitations"، و "national stockpile" انجام شد. محدوده زمانی جست‌وجو مقالات منتشر شده در دهه اخیر (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵) را در بر می‌گرفت. به موازات آن، پایگاه‌های اطلاعاتی علمی داخلی همچون SID، Magiran و IranDoc با کلیدواژه‌های فارسی معادل مورد بررسی قرار گرفتند تا تصویری از وضعیت پژوهش‌های داخلی به دست آید. معیار ورود مطالعات، تمرکز بر درمان مسمومیت حاد ارگانوفسفره، ارزیابی فناوری‌های نوین آنتی‌دوت یا تحلیل سیاست‌های دارویی و امنیت سلامت بود. داده‌های استخراج‌شده در چارچوب تحلیل SWOT (قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها، تهدیدها) و با توجه به معیارهای سیاستی اثربخشی، کارایی، عدالت و امکان‌پذیری مورد تحلیل قرار گرفتند. محدودیت اصلی این گزارش، عدم دسترسی به برخی داده‌های دقیق هزینه‌فرآوری تولید داخلی و نیز محرمانه بودن جزئیات کامل ذخایر استراتژیک دارویی کشور است.

نتایج

ناکافی بودن سبد درمانی کنونی

رژیم درمانی مرسوم بر سه پایه است: کاهش جذب سم (مثلاً با شستشوی پوست)، تجویز آتروپین برای بلوک اثرات موسکارینی و تجویز یک اکسیم (مانند پرالیدوکسیم، اوبیدوکسیم) برای احیای آنزیم مهارشده. با این حال، شواهد قوی نشان می‌دهد این پروتکل به دلایل متعدد ناکامل است [۴]. نخست، نیمه‌عمر کوتاه اکسیم‌ها (کمتر از دو ساعت) در مقایسه با ماندگاری طولانی سم در بدن، نیاز به تجویز مکرر وریدی دارد که در شرایط بحران با تلفات بالا عملاً غیرقابل مدیریت است. دوم، اثربخشی متغیر اکسیم‌ها است؛ کارایی آنها شدیداً به ساختار شیمیایی سم ارگانوفسفره خاص بستگی دارد و برای بسیاری از عوامل جدید یا اصلاح‌شده، اکسیم‌های کنونی بی‌اثر هستند [۲, ۱۶]. سوم، سمیت ذاتی برخی اکسیم‌ها مانند پرالیدوکسیم می‌تواند منجر به عوارضی مانند هایپرتانسیون، آریتمی و آسیب کبدی شود [۱۷]. چهارم و مهم‌تر، این درمان‌ها هیچ نقشی در جلوگیری از نوروپاتی تأخیری (OPIDN) ندارند، عارضه‌ای تخریب‌کننده عصبی که هفته‌ها پس از مواجهه ظاهر می‌شود و فاقد درمان قطعی است [۱۸].

شکاف تحقیقاتی و فناورانه در کشور

اگرچه توان علمی محققان ایرانی در حوزه سم‌شناسی و شیمی دارویی قابل توجه است، اما پژوهش‌ها در زمینه طراحی و تولید آنتی‌دوت‌های نوین پراکنده، محدود به مرحله آزمایشگاهی و فاقد مسیر مشخصی برای تبدیل به محصول است. در حالی که مراکز تحقیقاتی پیشرفته در جهان بر روی پروتئین‌های بازدارنده (بیواسکاونجرهای) نوترکیب مانند بوتیریل‌کولین‌استرازهای انسانی یا پاراکسونازهای مهندسی‌شده کار می‌کنند که می‌توانند مانند "اسفنج مولکولی" (Molecular Sponge) عمل کرده و سم را قبل از رسیدن به هدف خنثی کنند، این حوزه در ایران هنوز در مراحل ابتدایی است [۱۹]. همچنین، فناوری‌های نانوحامل‌های دارویی برای رهاسازی آهسته و هدفمند آنتی‌دوت‌ها، یا فرمولاسیون‌های تزریقی با اثر طولانی‌مدت، عرصه‌های دیگری هستند که پژوهش داخلی در آنها نیاز به شتاب جدی دارد [۲۰]. فقدان یک مرکز ملی هماهنگ‌کننده تحقیقات آنتی‌دوت که بتواند زیست‌شناسان، شیمی‌دانان، داروسازان، سم‌شناسان بالینی و مهندسان زیستی را گرد هم آورد، یکی از موانع ساختاری اصلی است.

آسیب‌پذیری زنجیره تأمین و وابستگی خارجی

تأمین آنتی‌دوت‌های حیاتی کنونی کشور عمدتاً از طریق واردات از تعداد محدودی تولیدکننده خارجی انجام می‌پذیرد. این وابستگی، کشور را در برابر نوسانات بازار جهانی، اختلال در زنجیره حمل‌ونقل (همانند آنچه در پاندمی کووید-۱۹ مشاهده شد) و تحریم‌ها آسیب‌پذیر می‌سازد. ایجاد و نگهداری ذخایر استراتژیک ملی برای چنین داروهایی اگرچه ضروری است، اما خود هزینه‌بر بوده و مسئله انقضای داروها را به چالش دائمی تبدیل می‌کند. راه‌حل پایدار، حرکت به سمت تولید داخلی است که نه تنها امنیت تأمین را تضمین می‌کند، بلکه می‌تواند با کاهش هزینه‌ها در بلندمدت، صرفه‌جویی ارزی و حتی امکان صادرات را فراهم آورد.

بحث

تهدید ناشی از عوامل عصبی ارگانوفسفره یک چالش پیچیده، مستمر و بالقوه فاجعه‌بار برای ایران است. رویکرد کنونی متکی بر درمان‌های ناکامل و وارداتی، نه پایدار است و نه تاب‌آور. این خلاصه سیاستی استدلال کرد که سرمایه‌گذاری بلندمدت در تحقیق و توسعه برای دستیابی به نسل جدیدی از آنتی‌دوت‌ها، یک انتخاب نیست، بلکه یک ضرورت راهبردی برای حفاظت از جان شهروندان و تقویت امنیت ملی است. این مسیر اگرچه پرچالش و پرهزینه به نظر می‌رسد، اما با برنامه‌ریزی دقیق، حکمرانی خوب و تعهد ملی، نه تنها قابل دستیابی است، بلکه می‌تواند ایران را به یک قطب منطقه‌ای در این فناوری پیشرفته تبدیل کند.

اولویت‌بندی زمانی اقدامات پیشنهادی

- کوتاه‌مدت (۱۲-۰ ماه): تشکیل کمیته راهبردی عالیرتبه، انجام مطالعه دقیق امکان‌سنجی فنی-اقتصادی تولید داخلی آنتی‌دوت‌های فعلی، و آغاز بازنگری پروتکل‌های ملی درمان.
- میان‌مدت (۴۸-۱۲ ماه): راه‌اندازی رسمی کنسرسیوم ملی و انتشار اولین فراخوان رقابتی پروژه‌های تحقیقاتی، انعقاد تفاهم‌نامه‌های انتقال فناوری برای تولید داخلی یک یا دو آنتی‌دوت موجود، و طراحی بسته مشوق‌های شرکت‌های دانش‌بنیان.
- بلندمدت (۱۲۰-۴۸ ماه): پیشرفت پروژه‌های تحقیقاتی شاخص به مرحله مطالعات پیش‌بالینی، آغاز تولید آزمایشی

آنتی‌دوت‌های بومی‌سازی‌شده، و استقرار سیستم به‌روز شده مدیریت ذخایر استراتژیک.

تشکر و قدردانی: از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Razzaghi A, Khanjani N, Daneshi S. Contamination with organophosphate toxins in humans in Iran: a systematic review. Health Dev J. 2016;5(1):90-7.
2. Thiermann H, Worek F, Horn G. Approaches to the treatment of nerve agent poisoning with oximes - from experimental studies to the intensive care unit. Clin Toxicol. 2025;63(6): 375-92.
3. Jokanović M, Prostran M. Pyridinium oximes as cholinesterase reactivators: structure-activity relationship and efficacy in the treatment of poisoning with organophosphorus compounds. Curr Med Chem. 2009;16(17):2177-88.
4. Eddleston M, Buckley NA, Eyer P, Dawson AH. Management of acute organophosphorus pesticide poisoning. Lancet. 2008;371(9612): 597-607.
5. Balali-Mood M, Abdollahi M, editors. Basic and clinical toxicology of organophosphorus compounds. London: Springer; 2014.
6. Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. Summary of the report on activities carried out in support of a request for technical assistance by the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (Technical Assistance Visit TAV/02/18). The Hague: OPCW; 2018.
7. Steindl D, Boehmerle W, Körner R, Praeger D, Haug M, Nee J, et al. Novichok nerve agent poisoning. Lancet. 2021;397(10270):249-52.
8. Voros C, Dias J, Cordeiro C, Mendes VM. The risk associated with organophosphorus nerve agents: from their discovery to their unavoidable threat, current medical countermeasures and perspectives. Chem Biol Interact. 2024;395: 110973.
9. Colović MB, Krstić DZ, Lazarević-Pašti TD, Bondžić AM, Vasić VM. Acetylcholinesterase inhibitors: pharmacology and toxicology. Curr Neuropharmacol. 2013;11(3):315-35.
10. Hertz-Picciotto I, Sass JB, Engel S, Bennett DH, Bradman A, Eskenazi B, et al. Organophosphate exposures during pregnancy and child neurodevelopment: recommendations for essential policy reforms. PLoS Med. 2018;15 (10): e1002671.
11. Choi Y, Kim Y, Ko Y, Cha ES, Kim J, Lee WJ. Economic burden of acute pesticide poisoning in South Korea. Trop Med Int Health. 2012;17(12): 1534-43.
12. Shakeri E, Ebrahimnejad S, Mehrpour O, Ahmadi A. Clinical and epidemiological indicators of patients poisoned with agricultural pesticides during a five-year period. J Babol Univ Med Sci. 2024;26:e50.
13. Danzig R, Sageman M, Leighton T, Hough L, Yuki H, Kotani R, et al. Aum Shinrikyo: insights into how terrorists develop biological and chemical weapons. Washington (DC): Center for a New American Security; 2012.
14. World Health Organization. Shortages of specific chemical antidotes: impact on public health [Internet]. Geneva: WHO; 2021 Oct 26 [cited 2026 Feb 12]. Available from: https://www.who.int/news/item/26-10-2021-shortages-of-specific-chemical-antidotes-impact-on-public-health
15. Mohammadshahi M, Olyaeemanesh A, Sajadi HS, Majdzadeh R. The impact of economic sanctions on health and strategies for mitigation: a glance at the case of Iran. Int J Prev Med. 2025; 16:51.
16. Worek F, Thiermann H, Wille T. Oximes in organophosphate poisoning: 60 years of hope and despair. Chem Biol Interact. 2016;259(Pt B):93-8.
17. Pralidoxime side effects [Internet]. Drugs.com; 2024 Dec 13 [cited 2025 Jan 24]. Available from: https://www.drugs.com/sfx/pralidoxime-side-effects.html
18. Jokanovic M, Prostran M. Pyridinium oximes as cholinesterase reactivators: structure-activity relationship and efficacy in the treatment of poisoning with organophosphorus compounds. Curr Med Chem. 2009;16:2177-88.
19. Masson P, Nachon F. Cholinesterase reactivators and bioscavengers for pre- and post-exposure treatments of organophosphorus poisoning. J Neurochem. 2017;142(Suppl 2):26-40.
20. Feng K, Wang H, Liu Y, Zhang J, Li X, Chen W, et al. Recent development of nanoparticle platforms for organophosphate nerve agent detoxification. Langmuir. 2025;41(4):2124-40.