ارزیابی خطر مواجهه با مواد شیمیایی به روش نیمه‌کمی خطر (مطالعه موردی: کارخانه لاستیک‌سازی خودرو)

داود کاه‌فروشان[1*]، پیمان مشکوری[2]، میلاد محمدی[3]

۱- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی سهند

پیام‌نگار: kahforoushan@sut.ac.ir

چکیده

در این مقاله، خطر مواد شیمیایی موجود در یکی از صنایع تولید تایر خودرو با استفاده از روش ارزیابی نیمه‌کمی خطر، بررسی شده است. این پژوهش بر اساس الگوی ارائه‌شده به وسیله دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور برای ارزیابی خطر ناشی از مواد شیمیایی در کارخانه، انجام شده است. نتایج نشان داد که کارکنان بررسی‌شده در این مطالعه، با ۲۸ ماده شیمیایی مختلف در تماس هستند که سه ماده شیمیایی بنزن، وینیل کلراید و حلال ۴۱۰ خطر بسیار بالا دارند. ماده وینیل کلراید در واحدهای بنبوری، اکسترودر و سمنت‌زنی، ماده بنزن در واحد اکسترودر و ماده حلال ۴۱۰ در واحدهای اکسترودر، پخت و بازرسی استفاده شده که با توجه به بالا بودن سطح خطر این مواد شیمیایی، باید هرچه سریع‌تر اقدامات اصلاحی در کارخانه هدف انجام شود تا سلامت کارکنان در خطر نباشد.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۲

شماره صفحات: ۴۱ تا ۵۲

کلیدواژه‌ها: ارزیابی خطر، کارخانه لاستیک‌سازی خودرو، مواد شیمیایی، سمیت.

۱. مقدمه

آلاینده‌های شیمیایی محیط کار شامل گازها، بخارها و ذرات معلق جامد و مایع، هر یک خطرهای خاصی دارد و زیان حاصل از آن‌ها بسته به نوع ماده‌ی شیمیایی، راه ورود، طول مدت تماس و تراکم آن‌ها متفاوت است. مواجهه‌ی بیش از حد مجاز با این مواد در محیط کار می‌تواند سبب مسمومیت‌ها و بیماری‌های مختلفی شود[۵-۱]. در پنجاه سال گذشته تغییرات قابل توجهی در مواد شیمیایی، فرایندها و نوع فعالیت‌ها در صنایع شیمیایی انجام شده است. تعداد کارخانجات تولیدکننده‌ی مواد شیمیایی در بازار بسیار افزایش یافته که هر سال محصولات جدیدی تولید و وارد بازار می‌کنند[۶]؛ این موضوع سبب افزایش تعداد شاغلین در معرض مخاطرات مواجهه با این مواد شده است. برخی از این مواد، ترکیبات جدید و مخلوط‌هایی است که ویژگی‌های سم‌شناسی آن‌ها قبلاً مطالعه نشده است و ممکن است برای انسان‌ها خطرناک باشند. در سال ۱۹۴۲ تعداد مواد شیمیایی حدود ۶۰۰۰۰۰ و در سال ۱۹۴۷ حدود ۴ میلیون و در حال حاضر ۱۸ میلیون شناسایی شده است[۷،۸]. سالیانه ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ماده‌ی شیمیایی جدید نیز به

* تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی، گروه مهندسی محیط‌زیست

این تعداد اضافه می‌شود و این در حالی است که هر ساله ۱۰۰۰۰۰ ماده شیمیایی متفاوت، تولید یا استفاده می‌شود که تنها برای ۱۰۰۰۰ نوع ماده‌ی شیمیایی، اطلاعات سم‌شناسی تهیه و در دست است و از کل مواد شناسایی‌شده شیمیایی فقط ۱٪ آن مصرف عمومی دارد. بعضی از آمارهای سازمان جهانی بهداشت گویای این واقعیت است که ۴ میلیون نفر در سطح جهان در صنایع شیمیایی مشغول به‌کار هستند، به‌طوری که یک میلیون انسان سالانه به خاطر تماس غیرایمن با مواد شیمیایی دچار مرگ شده و یا ازکارافتاده می‌شوند[۸،۹].

در حال حاضر، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در برنامه‌های ایمنی، حفاظت و پیش‌گیری از ایجاد آثار مواجهه با مواد شیمیایی در محیط کار است. طیف مخاطرات مواد شیمیایی بسیار گسترده است و از خاصیت سرطان‌زایی گرفته تا خطرات فیزیکی مانند اشتعال، خطرات زیست‌محیطی مانند آلودگی‌های گسترده و سمیت برای آبزیان، متفاوت است. بسیاری از آتش‌سوزی‌ها، انفجارها و فجایع دیگر به علت کنترل ناکافی مخاطرات فیزیکی مواد شیمیایی رخ می‌دهد؛ بنابراین کنترل انتشار این مواد شیمیایی در محیط کار و نیز کنترل مواجهه با شاغلین و محدود کردن میزان انتشار آن‌ها در محیط‌زیست بسیار ضروری است[۱۰،۱۱].

طی سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشم‌گیری در تدوین قوانین، مقررات و مدیریت مواد شیمیایی ایجاد شده و دولت‌ها، کارفرمایان و کارگران سعی می‌کنند آثار منفی استفاده از مواد مخاطره‌آمیز را هم در سطح ملی و هم در سطح بین‌المللی کاهش دهند. مطابق کنوانسیون سازمان بین‌المللی کار[1] با عنوان «ایمنی در استفاده از مواد شیمیایی در محیط کار» ۱۹۹۰ (شماره ۱۷۰)، اصطلاح "مواد شیمیایی" به صورت «عناصر، ترکیبات و مخلوط آن‌ها، اعم از طبیعی و یا مصنوعی، مانند آنچه به وسیله فرایندهای تولیدی به‌دست آمده» تعریف شده‌است. مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز با توجه به نوع و درجه مخاطرات بهداشتی و فیزیکی ذاتی خود طبقه‌بندی می‌شوند. مخاطرات مخلوط مواد شیمیایی، که متشکل از دو یا چند ماده شیمیایی است، بر اساس ارزیابی مخاطرات ذاتی مواد شیمیایی تشکیل‌دهنده مخلوط، تعیین می‌شود[۱۲،۱۳].

مقادیر مجاز مواجهه شغلی[2] از استانداردهای دیگری است که به عنوان راهنما در مراحل کنترل مخاطرات بهداشتی استفاده می‌شود؛ متخصصین بهداشت حرفه‌ای برای تصمیم‌گیری و اجرای اقدامات کنترلی در مورد سطح ایمنی مواجهه با مواد شیمیایی مختلف و عوامل فیزیکی که در محیط کار دیده می‌شوند، آن‌ها را به کار می‌برند[۱۴]. استخراج و اجرای حد مجاز مواجهه شغلی برای تک‌تک مواد شیمیایی، یک رویکرد اولیه بوده است. مقادیر حدود مجاز مواجهه، مقادیر توصیه‌شده یا یک الزام با حد مجاز رقمی برای مواجهه در محل‌های کار است. این حدود مجاز معمولاً به صورت میانگین وزنی زمانی[3]، میزان مجاز مواجهه را بیان می‌کند و انتظار می‌رود تا با اعمال این حدود در محیط کار، بتوان از وارد شدن بسیاری از زیان‌ها بر سلامت کارکنانی که تمام‌وقت در مواجهه با مواد شیمیایی هستند، پیش‌گیری کرد. همچنین ممکن است این حدودِ مجاز معمولاً برای مواجهه کوتاه‌مدت و یا میزان سقف، تنظیم شود که در هیچ شرایطی نباید مقدار این آلاینده‌ها از مقادیر گفته‌شده بیشتر شود. در کشورها و سازمان‌ها برای تبیین حد مجاز مواجهه، از واژه‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از پرکاربردترین واژه‌ها، حد آستانه مجاز است[۱۰]. حد آستانه مجاز مواجهه شغلی[4]، مقادیر پیشنهادی است که هیچ الزام قانونی ندارد و به وسیله انجمن متخصصین بهداشت حرفه‌ای آمریکا[5] تهیه شده است. با این که این حدود، اجباری نیست ولی برخی کشورها آن‌ها را در سامانه‌های خود الزامی کرده‌اند. بنابراین در سراسر دنیا با توجه به مواجهه‌های مختلف در محیط‌های کاری با عوامل زیان‌آور مربوط به حد آستانه مجاز مواجهه شغلی، طیف وسیعی از این موارد در دسترس است[۱۰]. اصطلاحات دیگری که به وسیله کشورها و سازمان‌ها استفاده می‌شود، شامل حد مجاز مواجهه، حد توصیه‌شده مواجهه و بیشینه غلظت مجاز است. استانداردهای جاری در دنیا بیشتر برای رفع مشکلات یک ماده شیمیایی منفرد، تبیین شده است؛ با این حال واقعیت این است که کارگران در مواجهه با مواد شیمیایی متعددی هستند و این رویکرد ماده به ماده هرگز قادر به حفاظت کافی از آن‌ها نخواهد بود. اما از آن جا که دولت‌ها و یا سازمان‌ها فهرستی از حدود مجاز مواجهه شغلی توصیه‌شده برای صدها ماده شیمیایی تهیه کرده‌اند، واضح است که منابعی که این فهرست را به‌روز نگه می‌دارند، اهمیت بسزایی دارند[۱۲]. استراتژی کلی برای رسیدن به مدیریت

1. International Labour Organization
2. Occupational Exposure Limit
3. Time-Weighted Average
4. Threshold Limit Value
5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists

درست مواد شیمیایی در محیط کار و حفاظت محیط زیست عمومی را می‌توان به سادگی به صورت اقدامات زیر توصیف کرد:

قدم اول این است که مواد شیمیایی که در محیط کار است شناسایی شده و بر اساس مخاطرات بهداشتی، فیزیکی و زیست‌محیطی طبقه‌بندی شود و برچسب‌ها و برگه‌های اطلاعات ایمنی برای انتقال اطلاعات مرتبط با مخاطرات آن‌ها تهیه و اقدامات حفاظتی برای آن انجام شود. بدون چنین اطلاعاتی در مورد مواد شیمیایی موجود در محیط کار یا انتشار آن‌ها در محیط زیست، امکان ارزشیابی پیامدها و تعیین اقدامات پیشگیرانه و کنترلی مؤثر وجود ندارد.

قدم دوم، ارزشیابی مواد شیمیایی شناخته‌شده و طبقه‌بندی‌شده‌ای است که در محیط کار استفاده شده و سپس تعیین نوع مواجهاتی که می‌تواند در پی کاربرد این مواد حاصل شود. این موارد با پایش مواجهه‌ها و یا با استفاده از عواملی که امکان تخمین میزان مواجهه‌ها (مانند عواملی چون مقدار مواد مصرف‌شده در خط تولید، احتمال انتشار آن‌ها در شرایط محیط کار و یا تأسیسات معین و ویژگی‌های فیزیکی مواد شیمیایی) را فراهم می‌کند، ممکن می‌شود.

مرحله سوم و آخرین مرحله، استفاده از این اطلاعات برای طراحی برنامه‌های پیشگیری و حفاظتی مناسب در محیط کار است. این برنامه شامل انواع اقدامات پیشگیرانه و کنترلی، مانند نصب و پیاده سازی و اقدامات مرتبط با کنترل‌های مهندسی، جایگزینی مواد شیمیایی کم‌خطرتر و در صورت نیاز، استفاده از ماسک‌های تنفسی و دیگر تجهیزات حفاظت فردی است. سایر مواردی که در این برنامه پیش‌بینی می‌شود شامل حمایت و تقویت این کنترل‌ها با پایش مواجهه، اطلاع‌رسانی و آموزش کارگران در مواجهه، ثبت اطلاعات، مراقبت‌های پزشکی، برنامه‌های آمادگی در شرایط اضطراری و روش های دفع است[۱۳].

روش‌های مختلفی برای ارزیابی خطر مواد شیمیایی به وسیله سازمان‌های مرتبط با مسائل ایمنی و بهداشت صنعتی ارائه شده است. در این پژوهش به عنوان یک مطالعه موردی، رتبه‌بندی مواد شیمیایی مورد استفاده در کارخانه آرتاویل به روش نیمه‌کمی بررسی شده است. با توجه به این که این روش تا کنون در کارخانجات لاستیک‌سازی انجام نشده، یک پژوهش جدید به حساب می‌آید و از نتایج و روش ارائه‌شده در این کار می‌توان برای کارخانه‌های مشابه استفاده کرد.

۲. روش انجام پژوهش

شرکت صنعتی آرتاویل تایر به عنوان بزرگ‌ترین کارخانه لاستیک‌سازی شمال غرب کشور در شش کیلومتری شهر اردبیل ساخته شده است. این مجموعه از سال ۱۳۷۶ فعالیت خود را آغاز کرده و با حدود ۱۲۰۰ نفر شاغل با استفاده از انواع مختلف مواد شیمیایی در تولید لاستیک، بخشی از نیاز صنعت خودروی کشور را تأمین می‌کند. در این کارخانه، خطر با روش ارزیابی نیمه‌کمی و به صورت میدانی از نوع توصیفی–تحلیلی و بر اساس الگوی ارائه‌شده به وسیله دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور برای ارزیابی خطر ناشی از مواد شیمیایی، ارزیابی شده است.

در الگوی ارائه‌شده، ابتدا خطرات ناشی از مواد شیمیایی مشخص شد؛ سپس با در نظر گرفتن میزان یا احتمال مواجهه، میزان خطر محاسبه و در مرحله بعد، اقدامات کنترلی لازم برای کاهش خطرهای مرتبط، معرفی و اولویت‌بندی شد. لازم به ذکر است که در این روش ارزیابی، تنها به خطر بیماری‌های ناشی از مواد شیمیایی توجه شده و مخاطرات مربوط به قابلیت اشتعال و انفجار این مواد با استفاده از روش‌های جداگانه و خاص ارزیابی می‌شود[۱۵].

طبق دستورالعمل ارائه‌شده به وسیله دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور، روش ارزیابی نیمه‌کمی خطر در یازده مرحله انجام می‌شود که به شرح زیر است:

۱. تشکیل یک گروه کاری
۲. تجزیه فرایند به وظایف کوچک‌تر
۳. شناسایی مواد شیمیایی
۴. تعیین ضریب مخاطره[1]
۵. بازرسی و مصاحبه با مسئولان و پرسنل
۶. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به طول مدت مواجهه و تکرار آن
۷. تعیین ضریب مواجهه[2]
۸. تعیین ضریب خطر[3]
۹. اجرای عملیات اصلاحی
۱۰. مستندسازی ارزیابی
۱۱. بازنگری ارزیابی

بر اساس مراحل بالا ابتدا یک گروه کاری که شامل مسئول واحد

1. Hazard Rating
2. Exposure Rating
3. Risk Rating

ایمنی و بهداشت کارخانه، کارشناسان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای کارخانه، سرپرست واحدهای مختلف و یکی از محققین است، تشکیل می‌شود. در مرحله دوم، تقسیم‌بندی کارخانه به واحدهای کوچک‌تر، تقسیم‌بندی واحد به فرایندهای کوچک‌تر و تقسیم‌بندی فرایند به وظایف کوچک‌تر و در نهایت، گروه‌بندی کارگران با توجه به موقعیت مکانی و وظایف کاری انجام شد و اطمینان حاصل شد که همه کارکنانی که با مواد شیمیایی مواجهه دارند، اعم از کارکنان تولید، تعمیر و نگه‌داری، تحقیق و توسعه، پیمانکاران و مأموران نظافت، در نظر قرار بگیرند.

در مرحله سوم، همه مواد شیمیایی که به عنوان مواد اولیه، بینابینی، محصولات اصلی و فراورده‌های جانبی استفاده می‌شوند، شناسایی شد. شایان ذکر است که شناسایی مواد شیمیایی با روش‌های زیر انجام شده است:

- با توجه به لیست مواد موجود در انبار، صورت موجودی، دفتر ثبت، شناسنامه ایمنی مواد شیمیایی[1] و برچسب ظروف.
- بازدید همه محل‌هایی که مواد شیمیایی، انبار یا مصرف می‌شوند.

در مرحله چهارم، ضریب مخاطره هر مواد مشخص شد. مخاطرات ناشی از یک ماده شیمیایی به میزان سمیت و چگونگی مواجهه بستگی دارد. ضریب مخاطره مواد شیمیایی شناسایی‌شده با توجه به تأثیرات سمی مواد شیمیایی در جدول (۱) نمایش داده شده و یا بر اساس تعیین ضریب مخاطره به وسیله دوز کشنده[2] و غلظت کشنده مواد شیمیایی[3] که در جدول (۲) نمایش داده شده، تعیین شد.

گفتنی است که ضریب مخاطره مربوط به مواد شیمیایی شناسایی‌شده، به وسیله دفترچه حدود مجاز تماس شغلی ایران، جداول طبقه‌بندی میزان کارسینوژن‌زایی آمریکا[4] و دفترچه حدود مجاز تماس شغلی آمریکا[5]، تعیین و اطلاعات ایمنی مواد شیمیایی در فرم‌هایی مانند جدول (۳) ارائه و ثبت شد.

جدول ۱. دسته‌بندی ضرایب مخاطره بر اساس خطر و تأثیر آن‌ها[۱۵].

ضریب مخاطره	توضیح دسته‌بندی خطر/تأثیر
۱	بدون تأثیرات نامطلوب بر سلامتی - سرطان‌زایی A5 (ACGIH) - جزء مواد سمّی و مضر نیست - تأثیرات نامطلوب بر مخاط و پوست (بدون شدت زیاد)
۲	سرطان‌زایی A4 (ACGIH) - ایجاد حساسیت و تحریک برای پوست - امکان سرطان‌زایی و جهش‌زایی در انسان یا حیوان*
۳	سرطان‌زایی A3 (ACGIH) - گروه B2 (IARC) - ماده خورنده (۵> PH یا ۳PH >۱۱ >۹) - تحریک تنفسی، جزء طبقه‌بندی مواد مضر - احتمال سرطان‌زایی، جهش‌زایی و اختلالات ژنتیکی**
۴	سرطان‌زایی A2 (ACGIH) - گروه A2 (IARC) - گروه B (NTP) - ماده خیلی خورنده (۲> PH > ۰ یا ۱۴> PH > ۱۱/۵) - ماده سمی - سرطان‌زا، جهش‌زا و باعث ایجاد اختلالات ژنتیکی در نوزادان
۵	سرطان‌زایی A1 (ACGIH) - گروه A1 (IARC) - گروه A (NTP) - ماده خیلی سمی

* هنوز اطلاعات کافی در این زمینه ارائه نشده است.

** بر اساس مطالعات انجام‌شده روی موجودات آزمایشگاهی

1. Material Safety Data Sheet
2. Lethal Dose 50% = LD50
3. Lethal Concentration 50% = LC 50
4. International Agency for Research on Cancer
5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists

جدول ۲. ضریب مخاطره بر حسب سمیت حاد[۱۵].

ضریب مخاطره	LD50جذب‌شده از راه خوراکی در موش صحرایی (وزن بدن mg/kg)	LD50جذب‌شده از پوست در موش صحرایی یا خرگوش (وزن بدن mg/kg)	LC50 جذب‌شده از راه تنفسی در موش صحرایی (mg/L) در ۴ ساعت برای گاز و بخار	LC50جذب‌شده از راه تنفسی در موش صحرایی (mg/L) در ۴ ساعت برای آئروسل[1]
۲	>۲۰۰۰	>۲۰۰۰	>۲۰	>۵
۳	>۲۰۰ تا≤ ۲۰۰۰	>۴۰۰ تا≤ ۲۰۰۰	>۰/۵ تا≤ ۲۰	>۱ تا≤ 5
۴	>۲۵ تا≤ ۴۰۰	>۵۰ تا≤ ۴۰۰	>۰/۵ تا≤ ۲	>۰/۲۵ تا≤ ۱
۵	≤۲۵	≤۵۰	≤۰/۵	≤۰/۲۵

جدول ۳. فرم تجزیه فرایند کاری و تعیین ضریب مخاطره در کارخانه.

تجزیه فرآیند کاری					
فرم ۱					
اعضای تیم ارزیابی:			کارخانه:		
تاریخ ارزیابی:			واحد:		
فرآیند	وظیفه	توصیف وظیفه	تعداد کارمند	مواد شیمیایی	ضریب مخاطره HR

در مرحله پنجم، بازرسی و مصاحبه از کل واحدها انجام شد. هدف از مصاحبه، پیدا کردن همه وظایف لیست‌شده در جدول (۳) بود و این که آیا همه کارکنان در نظر قرار گرفته‌اند، بنابراین یک بازرسی دقیق بر طبق وظایف کاری لیست‌شده در جدول (۳) انجام شد و هنگام بازرسی و مصاحبه با کارکنان، اطلاعات در جدول اضافه شد.

در مرحله ششم، اطلاعات مدت مواجهه و تکرار آن جمع‌آوری شد. میزان مواجهه با توجه به مقدار، تکرار، شدت و مدت مواجهه تعیین می‌شود.

در مرحله هفتم، ضریب مواجهه با مواد شیمیایی تعیین شد. بدین صورت که بر اساس نتایج نمونه‌برداری و پایش هوا (اطلاعات پایش هوا برای برخی مواد شیمیایی در کارخانه موجود بود)، متوسط وزنی- زمانی هفتگی مواجهه با استفاده از معادله (۱) تخمین زده شد.

$$E = \frac{F \times D \times M}{W} \qquad (۱)$$

1. Aerosol

E، میزان مواجهه هفتگی (ppm یا میلی‌گرم بر متر مکعب)، F تکرار مواجهه در هفته (تعداد در هفته)، M شدت مواجهه (ppm یا میلی‌گرم بر متر مکعب)، W متوسط ساعت کار در هفته (۴۰ ساعت)، D متوسط مدت هر مواجهه (ساعت) است؛ بنابراین ضریب مواجهه (ER) از مقدار مواجهه (E) که از رابطه بالا به دست آمده با مقادیر مواجهه مجاز بلندمدت[1] مقایسه شده و سپس ضریب مواجهه (ER) به وسیله جدول (۴) تعیین می‌شود. در نهایت همه اطلاعات به‌دست‌آمده از این مرحله در فرم جداگانه‌ای با عنوان فرم ۲ (جدول (۵)) درج می‌شود. شایان ذکر است که مقادیر مواجهه مجاز بلندمدت، در واقع همان غلظت مجاز از ماده‌ای است که برای تماس بلندمدت انسان با مواد سمی کاربرد دارد. این پارامتر از روی حد آستانه مشخص می‌شود.

مقدار حد آستانه، بیشینه غلظت مجاز از ماده‌ای است که اگر انسان ۸ ساعت روز، ۵ روز در هفته و چندین سال با آن در تماس باشد، برای سلامتی مشکلی پیش نیاید.

جدول ۴. مقادیر لازم برای تعیین ضریب مواجهه[۱۵].

ضریب مواجهه (ER)	E/PEL
۱	<۰/۱
۲	۰/۱ – ۰/۵
۳	۰/۵ – ۱
۴	۱ – ۲
۵	۲ <

در مرحله هشتم، ضریب خطر تعیین می‌شود؛ بدین صورت که پس از تعیین ضریب مخاطره (مرحله چهارم) و ضریب مواجهه (مرحله هفتم)، ضریب خطر از معادله (۲) به دست می‌آید:

$$RR=\sqrt{HR\times ER} \qquad (۲)$$

جدول ۵. فرم طراحی‌شده برای درج اطلاعات تعیین ضریب مواجهه با مواد شیمیایی در کارخانه.

تعیین ضریب مواجهه			
فرم ۲			
فرایند:			
وظیفه:			
مواد/پارامتر	**مواد شیمیایی اول**	**مواد شیمیایی دوم**	**مواد شیمیایی سوم**
مدت مواجهه (D)			
تکرار مواجهه (F)			
شدت مواجهه (نتایج نمونه‌برداری از هوا) (M)			
ماده شیمیایی با تأثیرات مشابه (Y/N)			
میزان مواجهه (E)			
ضریب مواجهه (ER)			

1. Permissible Exosure Limit

RR ضریب خطر و HR جذر ضریب مخاطره در ضریب مواجهه ER است. علت جذر گرفتن از مقدار RR، به دست آوردن یک عدد در محدوده ۱ تا ۵ است. خطر هر وظیفه و رتبه‌بندی آن با توجه به جدول (۶) تعیین شده است.

خطر و رتبه‌بندی به‌دست‌آمده، برای هر وظیفه، با استفاده از جدول بالا در فرم ۳ (جدول ۷) ثبت شد. این رتبه‌بندی در اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی برای کاهش خطر در کارخانه به کار گرفته شد.

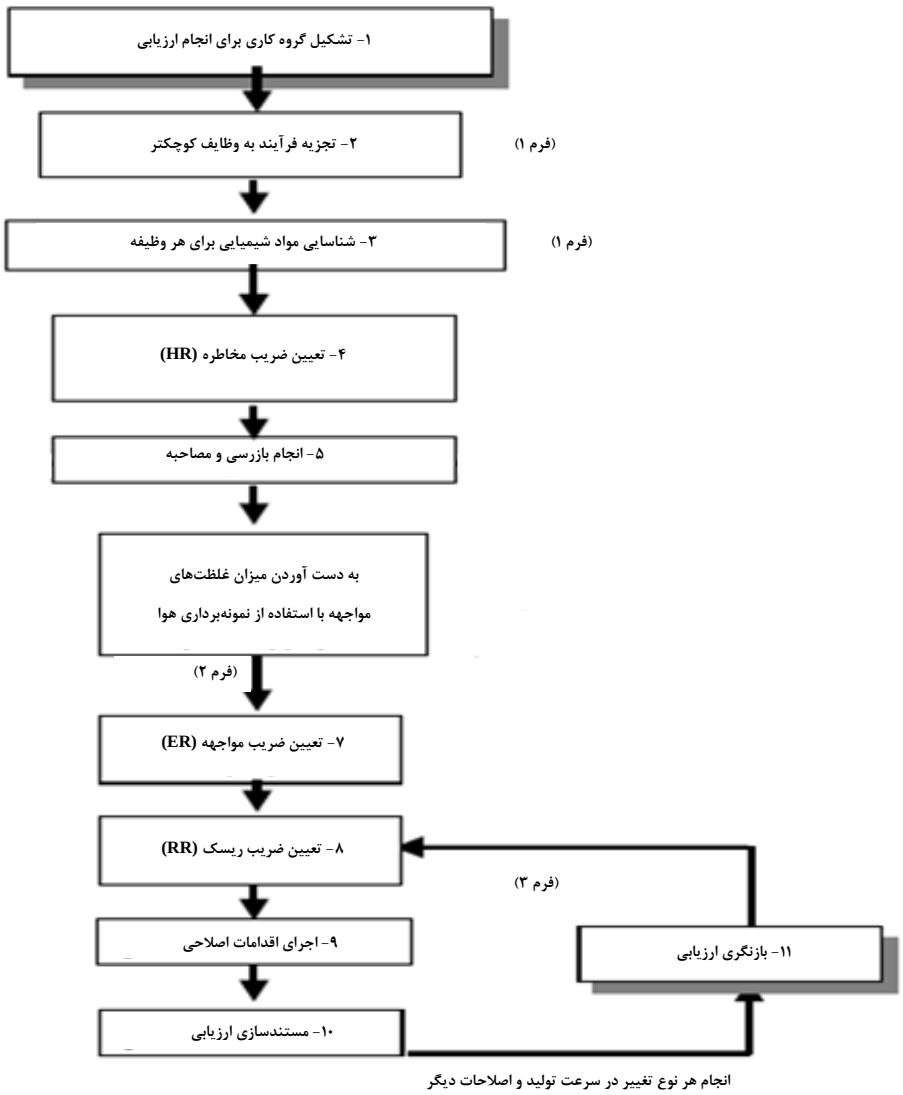
جدول ۶. رتبه‌بندی خطر[۱۵].

رتبه	ضریب خطر
ناچیز	۰ – ۱/۷
کم	۱/۷- ۲/۸
متوسط	۲/۸ - ۳/۵
زیاد	۳/۵ – ۴/۵
خیلی زیاد	۴/۵ – ۵

جدول ۷. فرم طراحی‌شده برای درج اطلاعات رتبه‌بندی خطر مواد شیمیایی در کارخانه.

گزارش نتایج ارزیابی خطر							
فرم ۳							
فرایند	وظیفه	مواد شیمیایی	ضریب مخاطره (HR)	ضریب مواجهه (ER)	میزان خطر (RR)	رتبه	رتبه کل

در مرحله نهم، اجرای اقدامات اصلاحی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از یکسری پیشنهادها به وسیله محققین برای انجام اقدامات کنترلی ارائه شده است. مراحل ۱۰ و ۱۱ این پژوهش که مربوط به فعالیت‌های مستندسازی و ارزیابی دوباره است، بستگی به اجرای روش‌های کنترلی و بررسی نتایج حاصل از آن دارد که در این مقاله به آن پرداخته شده است. در شکل (۱)، همه مراحل تحقیق به شکل نمودار آمده است.



شکل ۱. مراحل ارزیابی خطر مواد شیمیایی در این پژوهش.

۳. نتایج و بحث

پس از انجام مراحل گفته‌شده، همه اطلاعات در فرم‌های مربوطه جمع‌آوری شد. نتایج مراحل اولیه نشان داد که ۶ فرایند مجزا در کارخانه قابل شناسایی است که در این فرایندها حدود ۲۸ نوع ماده شیمیایی مختلف (شامل کربن بلک، کائوچوی مصنوعی و طبیعی، وینیل کلراید، متیل اکریلیت، دی وینیل بنزن، متیل ایزوبوتیل کتون، هگزا متیلین تترا آمین، رزوسینول، پارازایلن، متازایلن، استایرن، وینیل اکریلیت[1]، پودر تالک، تولوئن، TDI، قطران، بنزن، زایلن، اتیل بنزن هیدروژن سولفاید، متیل استایرن، استون، دی متیل امین، کربن دی سولفاید، دی اتیل امین، حلال ۴۱۰ (عمدتاً ترکیب بنزن، تولوئن و چند ماده دیگر) و سیکلو هگزان) استفاده می‌شود. به طور کلی ۲۱۴ نفر در همه بخش‌های این واحد صنعتی در تماس با مواد شیمیایی مختلف قرار دارند. پس از شناسایی مواد شیمیایی و تعیین ضریب مخاطره، میزان مواجهه با توجه به مقدار، تکرار، شدت و مدت مواجهه برای کارگران هر وظیفه تعیین و در نهایت پس از تعیین ضریب مخاطره و ضریب مواجهه، ضریب خطر محاسبه شد. پس از تعیین ضریب خطر هر وظیفه، مواد شیمیایی برای هر وظیفه، رتبه‌بندی شد. نتایج رتبه‌بندی خطر مواد شیمیایی در جدول (۸) آمده است.

1. Silicon Dioxide

جدول ۸. نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی خطر مواد شیمیایی برای فرایندهای کارخانه.

فرایند	وظیفه	تعداد کارکنان	مواد شیمیایی	ضریب مخاطره HR	ضریب مواجهه ER	میزان خطر RR	رتبه
بنبوری	اپراتور تخلیه دوده	۴	کربن بلک	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
	کارگر توزیع مواد شیمیایی	۱۲	وینیل کلراید	۵	۵	۵	خیلی زیاد
	اپراتور پایکل	۲۴	متیل اکریلیت	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
	میل‌من	۲۴	دی وینیل بنزن	۲	۱	۱/۴۱	ناچیز
	بج اف کار	۱۲	متیل ایزوبوتیل کتون	۳	۳	۳	متوسط
کلندر سه رول	لت اف من	۸	استایرن	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
	میل‌من	۸	وینیل کلراید	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
	اپراتور کنترل	۴	متیل ایزو بوتیل کتون	۲	۴	۳/۴۶	متوسط
	وانیداپ کار	۴	دی وینیل بنزن	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
کلندر چهار رول	لت اف من	۴	استایرن	۲	۲	۲	کم
	میل‌من	۶	وینیل اکریلیت	-	۲	-	-
	اپراتور کنترل	۲	متیل ایزو بوتیل کتون	۳	۲	۲/۴۴	کم
	وانیداپ کار	۴	دی وینیل بنزن	۲	۲	۲	کم
اکسترودر	اپراتور تغذیه	۴	تولوئن	۳	۵	۳/۸۷	زیاد
			پودر تالک	۲	۲	۲	کم
			بنزن	۵	۵	۵	خیلی زیاد
			زایلن	۳	۵	۳/۸	زیاد
			اتیل بنزن	۳	۵	۳/۸	زیاد
	اپراتور هد	۲	دی وینیل بنزن	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
			وینیل کلراید	۵	۴	۴/۴۷	خیلی زیاد
	اپراتور کوشن	۲	TDI	۳	۳	۳	متوسط
	اپراتور اسکایور	۲	استایرن	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
	بوکینگ	۶	متیل اکریلیت	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
			حلال ۴۱۰	۵	۵	۵	خیلی زیاد
سمنت‌زنی	اپراتور	۱۶	اتیل بنزن	۳	۴	۳/۴۶	متوسط
			وینیل کلراید	۵	۵	۵	خیلی زیاد
	ونت‌زن	۴	زایلن	۳	۵	۳/۱۶	متوسط
			بنزن	۵	۲	۳/۱۶	متوسط
			تولوئن	۳	۵	۳/۸۷	زیاد
پخت و بازرسی	اپراتور	۴۰	هیدروژن سولفاید	۳	۵	۳/۸۷	زیاد
			متیل ایزوبوتیل کتون	۳	۲	۲/۴۴	کم
			متیل استایرن	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
	حمل دایشه	۱۲	استون	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
			دی متیل امین	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
			کربن دی سولفاید	۲	۳	۲/۴۴	کم
	تعویض بلادر	۶	TDI	۳	۴	۳/۴۶	زیاد
			دی اتیل امین	۲	۵	۳/۱۶	متوسط
	قالب‌شویی	۴	سیکلو هگزان	۱	۵	۲/۲۳	کم
	بازرسی		حلال ۴۱۰	۵	۵	۵	خیلی زیاد

با توجه به نتایج جدول (۸)، ۸۴/۲۱٪ از مواد شیمیایی شناسایی‌شده در کارخانه، در سطح اول تا چهارم خطر و ۱۵/۷۸٪ از این مواد شیمیایی در سطح پنجم خطر قرار گرفت. همچنین در مرحله ارزیابی خطر نیمه‌کمی مواد شیمیایی در کارخانه، آرتاویل تایر، وینیل کلراید، بنزن و حلال ۴۱۰، با کسب ضریب خطر ۵ و به علت گروه‌بندی در گروه A1 انجمن متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا، به عنوان مخاطره‌آمیزترین ماده شیمیایی در این مطالعه شناسایی شد.

ماده وینیل کلراید در واحدهای بنبوری، اکسترودر و سمنت‌زنی، ماده بنزن در واحد اکسترودر و ماده حلال ۴۱۰ (ترکیبات بنزن و تولوئن) در واحدهای اکسترودر، پخت و بازرسی، استفاده می‌شوند.

بنزن جزء موادی است که به وسیله سازمان‌های بین‌المللی به عنوان یک ماده سرطان‌زا شناخته شده و در مطالعه‌ای که به وسیله گلبابایی و همکارانش انجام شد، بالاترین میزان ضریب خطر مربوط به ماده مخاطره‌آمیز بنزن در واحدهای یک شرکت پتروشیمی است. بر اساس این پژوهش، بررسی پرونده پزشکی شاغلین نشان داد که ۱۲/۵٪ شاغلین دچار کم‌خونی اند که می‌تواند ناشی از مواجهه با بنزن باشد[۱۶]. در پژوهش دیگری که به وسیله رینسکی و کاس کرومپ[1] انجام شده، ارتباط معنی‌داری میان مواجهه با بنزن و بروز سرطان خون مشاهده شده است[۱۷،۱۸].

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که حتی در غلظت‌های پایین مواجهه با بنزن نیز خطر ابتلا به لوسمی وجود دارد و با بالا رفتن مواجهه تجمعی، میزان ابتلا به لوسمی افزایش پیدا می‌کند. طبق بررسی پرونده پزشکی شاغلین این کارخانه، حدود ۵٪ از کل شاغلین دچار کم‌خونی شدید-خفیف یا فقر آهن شدید-خفیف هستند که می‌تواند ناشی از مواجهه با بنزن باشد؛ نتیجه مشابهی به وسیله رینسکی و همکاران گرفته شده است[۱۸]. در واحد اکسترودر در بخش اپراتور تغذیه، ۴ نفر در تماس با ماده شیمیایی و خطرناک بنزن قرار دارند. در این بخش به دلیل بالا بودن هر دو ضریب مخاطره و مواجهه، میزان خطر RR= ۵ و رتبه خطر "خیلی زیاد" گزارش شده است. در واحد سمنت‌زنی، ۴ نفر در بخش ونت‌زنی مشغول کار هستند. در این بخش، ماده شیمیایی بنزن وجود دارد و رتبه خطر آن "متوسط" اعلام شده است. عدد میزان خطر این بخش ۳/۱۶ است که در مقایسه با واحد اکسترودر کمتر است. علت پایین بودن میزان خطر برای ماده شیمیایی بنزن در واحد سمنت‌زنی در مقایسه با واحد اکسترودر این است که در واحد سمنت‌زنی، ضریب مخاطره بنزن بالا است اما با توجه به میزان مواجهه پایین که ناشی از مدت مواجهه کوتاه و مقدار مصرف کم در هفته است، میزان خطر پایین آمده است.

وینیل کلرید یکی دیگر از مواد مخاطره‌آمیز شناسایی‌شده در این واحد صنعتی است؛ این ماده خطرناک شیمیایی در واحد بنبوری در بخش کارگران توزیع مواد شیمیایی (۱۲ نفر)، در واحد اکسترودر در بخش اپراتور هد (۲ نفر) و در واحد سمنت‌زنی در بخش اپراتور (۱۶ نفر) در تماس با پرسنل این بخش‌ها قرار دارد. در همه بخش‌های گفته‌شده، میزان خطر بالا و رتبه خطر، "خیلی زیاد" گزارش شده است. از طرفی در واحد کلندر سه رول در بخش کارگران میل‌من، میزان خطر این ماده پایین‌تر از سایر بخش‌های گفته‌شده است؛ علت این است که در این بخش، مواجهه کارگران با این ماده شیمیایی کمتر از بخش‌های دیگر بوده است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در پرونده پزشکی شاغلین، ۱۱٪ شاغلین این واحدها، مشکلات کبدی دارند که می‌تواند ناشی از مواجهه با وینیل کلراید باشد. البته در افرادی که بیماری سیستمیک (مثل بیماری تیروئیدی و دیابت) و یا بیماری فعال کبدی دارند و یا دارویی خاص مصرف می‌کنند، می‌تواند روی سطوح آنزیم‌های کبدی تأثیرگذار باشد که این موارد باید مدنظر قرار گیرد. مطالعه انجام‌شده به وسیله میرسعید عطارچی و همکاران نشان داد که مواجهه با مقادیر کم وینیل کلراید می‌تواند موجب آسیب خفیف کبدی از نوع کلستاز شود[۱۹]؛ بنابراین انجام تست‌های ارزیابی‌کننده کلستاز کبدی[2]، در بررسی‌های دوره‌ای عملکردی کبدی در واحدهای تولید وینیل کلراید باید مورد توجه قرار گیرد.

حلال ۴۱۰ یکی از سه ماده مخاطره‌آمیز شناسایی‌شده است که ضریب خطر ۵ را در واحدهای اکسترودر در بخش بوکینگ و در واحد پخت و بازرسی در بخش بازرسی دارد. با توجه به این که این ماده حاصل ترکیب بنزن، تولوئن و موادی دیگر است و پایه ساخت آن مواد خطرناک با درجه سرطان‌زایی ۱ است، احتمال بروز سرطان خون در مواجهه با این ماده برای کارکنان این بخش‌ها وجود دارد. همچنین مشخص شد که ماده دی وینیل بنزن در واحد بنبوری با کسب ضریب خطر ۱/۴۱ و همچنین در مقایسه با سایر مواد، خطر بهداشتی پایین دارد.

1. KS Crump

2. Gamma Glutamyl Transpeptidase and Alkaline Phosphatase

۴. نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی خطر مواجهه با مواد شیمیایی استفاده‌شده در کارخانه آرتاویل تایر انجام شده است. علت پرداختن به این موضوع این بود که در این واحد صنعتی، کارگران با مواد شیمیایی متنوعی مواجهه دارند که برای تصمیم‌گیری درباره اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان برابر عوارض ناشی از مواد شیمیایی، لازم است خطر بهداشتی ناشی از این مواد به‌طور اختصاصی ارزیابی شود تا سلامت پرسنل این واحد صنعتی به خطر نیفتد. البته این گونه مطالعات برای حفاظت از سلامت کارگران همه واحدهای صنعتی کشور می‌تواند بسیار مفید باشد. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. ۸۴/۲۱٪ از مواد شیمیایی شناسایی‌شده در کارخانه در سطح اول تا چهارم خطر و ۱۵/۷۸٪ از این مواد شیمیایی در سطح پنجم قرار گرفتند.

۲. مشخص شد که در این کارخانه سه ماده شیمیایی بنزن، وینیل کلراید و حلال ۴۱۰ رتبه خطر "خیلی زیاد" دارند. با توجه به بالا بودن سطح خطر این مواد شیمیایی باید هرچه سریع‌تر اقدامات اصلاحی در کارخانه انجام شود.

۳. مواجهه با بنزن حتی در غلظت‌های پایین نیز با خطر ابتلا به لوسمی همراه است. طبق بررسی پرونده پزشکی شاغلین در این کارخانه، حدود ۵٪ کل شاغلین دچار کم‌خونی شدید- خفیف یا فقر آهن شدید-خفیف هستند که می‌تواند ناشی از مواجهه با بنزن باشد.

۴. در واحد اکسترودر در بخش اپراتور تغذیه، ۴ نفر در تماس با ماده شیمیایی بنزن قرار دارند. در این بخش به دلیل بالا بودن هر دو ضریب مخاطره و مواجهه، میزان خطر، بیشینه شده و رتبه خطر "خیلی زیاد" گزارش شده است.

۵. ماده وینیل کلراید در واحد بنبوری، اکسترودر و سمنت‌زنی در تماس با پرسنل این بخش‌ها قرار دارد. در همه بخش‌های گفته‌شده، میزان خطر بالا و رتبه خطر "خیلی زیاد" گزارش شده است.

۶. حلال ۴۱۰، ضریب خطر ۵ را در واحدهای اکسترودر و پخت و بازرسی به خود اختصاص داده است.

۷. مشخص شد که ماده دی وینیل بنزن در واحد بنبوری با کسب ضریب خطر ۱/۴۱، خطر ناچیز در مقایسه با سایر مواد و نیز خطر بهداشتی پایین دارد.

۸. با توجه به این که حذف این مواد در منبع تولید، امکان‌پذیر نیست، پیشنهاد می‌شود از روش‌های کنترلی- مدیریتی مانند کاهش ساعات مواجهه با این مواد، با افزایش تعداد کارگران به عنوان یک راه‌کار کنترلی مدیریتی مؤثر استفاده شود. از اقدامات کنترلی دیگر می‌توان به جلوگیری از نشت‌ها و در کنار آن پایش احتمال نشت با استفاده از دستگاه‌های پایش و اندازه‌گیری اشاره کرد.

مراجع

[1] Henry, J. M., McDermott, H. J., "Air monitoring for toxic exposure", 2th Ed, John Wiley & Sons, Inc; p. 37, (2004).

[2] Phillip, L. W., Robert, C. J., Stephen, M. R., "Principles Of Toxicology: Environmental and Industrial Applications", 2th Ed ,Wiley-Interscience Publication, p. 26, (2000).

[3] Ryan, R., "Toxicology Desk Reference: The Toxic Exposure & Medical Monitoring Index", Routledge, (2019).

[4] Edelstein, M., "Contaminated communities: Coping with residential toxic exposure", Routledge, (2018).

[5] Gupta, P., "General Principles of Toxicology", in Concepts and Applications in Veterinary Toxicology: Springer, pp. 1-26, (2019).

[۶] الهیاری، ت.، "تجزیه و تحلیل ریسک و ارزیابی آن در فرایندهای شیمیایی"، فناوران، (۱۳۸۵).

[۷] فلکی، ف.، فرشاد، ا.، "کتاب درسی بهداشت عمومی: ایمنی مواد شیمیایی"، چاپ سوم، ارجمند، (۱۳۸۶).

[۸] حق‌شناس، م.، "ایمنی و بهداشت کار در استفاده از مواد شیمیایی"، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی معاونت بهداشت، مرکز سلامت محیط و کار، اردیبهشت (۱۳۹۳).

[9] WHO, "Environmental Burden of Disease Series 1", Geneva: World Health Organization, (2000).

[۱۰] جهانگیری، م.، جلالی، م.، سعیدی، چ.، محمدپور، ح.، مردی، ح.، مهرعلی‌پور، ج.، "ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با مواد شیمیایی به منظور ارائه راه‌کارهای کنترلی (مطالعه موردی در یک صنعت فوم پلی اورتان)"، فصلنامه علمی تخصصی طب کار، دوره پنجم، شماره چهارم، صفحه ۳۳-۴۱، زمستان (۱۳۹۲).

[11] Neely, W. B., "Environmental Exposure From Chemicals: Volume I", CRC Press, (2018).

[۱۲] حیدری، م.، امیدواری، م.، محمد فام، ا.، "ارائه مدل ارزیابی خطر بهداشتی تماس با مواد شیمیایی در صنایع نفت و گاز (مطالعه موردی: منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس)"، فصلنامه بهداشت و ایمنی کار، جلد ۳، شماره ۴، زمستان (۱۳۹۲).

[۱۳] سازمان بین‌المللی کار، "راهنمای روز جهانی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای"، سال (۲۰۱۴).

[۱۴] میرزائی، خ.، "پژوهش، پژوهشگری و پژوهشنامه‌نویسی"، تهران، جامعه‌شناسان، سال (۱۳۸۸).

[15] Occupational Health Department, "Guidelines for risk Assessment of occupational exposure to harmful chemicals", Ministry of Man Power and Occupational Health Department of Singapore, (2005).

[۱۶] گلبابایی، ف.، اسکندری، د.، رضازاده آذر، م.، جهانگیری، م.، رحیمی، ع.، شاه‌طاهری، ج.، "ارزیابی خطر بهداشتی مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی با تأکید بر خطر ابتلا به سرطان خون در یک صنعت پتروشیمی"، فصلنامه سلامت کار ایران، دوره ۹، شماره ۳، پاییز (۱۳۹۱).

[17] Crump, K. S., "Risk of benzene-induced leukemia predicted from the Pliofilm cohort", Environ Health Perspect, Vol 104, Supplement 6, (1996).

[18] Rinsky, R., "Benzene and Leukemia: An Epidemiologic Risk Assessment", Environmental Health Perspective, Vol. 82, pp. 189-191, (1989).

[۱۹] عطارچی، م.، امینیان، ا.، دولتی، م.، "بررسی سطح آنزیم‌های کبدی در کارگران مواجهه‌یافته با بخارات وینیل کلراید در مجتمع‌های پتروشیمی"، فصلنامه علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی، دوره ۱۶، شماره ۱، صفحه ۲۷-۲۳، بهار (۱۳۸۵).