



تشخیص آلرژن های غذایی نظیر گلوتن با استفاده از روش واکنش زنجیره ای پلیمرز در زمان واقعی

تقویت شبکه آزمایشگاهی با تقویت روابط و همکاری آزمایشگاهها در استانها

بهره‌مندی مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی از اعتبار مالیاتی



مدیریت کارایی دارایی‌های آزمایشگاه



تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی



بررسی و شبیه‌سازی آنالیز تخریب زانویی ۹۰ درجه



معرفی دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی و کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی



تعیین مقدار کمی ترکیبات هیدروکربن مایع: مقایسه بین کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء و کروماتوگرافی گازی دو بعدی



سہ ماہی کا
۱۴۰۳



فصلنامه دانش آزمایشگاهی ایران

سال یازدهم ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۲ ■ شماره پیاپی ۴۴

ISSN 2538-3450

صاحب امتیاز: ستاد ویژه توسعه فناوری نانو معاونت علمی
و فناوری ریاست جمهوری

سر دبیر: علیرضا بدیعی

مدیر مسئول: مجتبی نسب

مدیریت اجرایی: شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

دبیر مقالات: داود قرایلو

همکاران این شماره: احمد ظهیر میردامادی، مجتبی نسب، حسین محمدی، بنیامین پیری، مازیار نادر اصلی، فرشاد جعفری آرش ربیعی، اکبر یوسفی معقول، علی خادمی، مریم بگتاش، عباس عابدفر، اهدا نوری زاده، آرزو باباییان

طراحی و صفحه آرایی: سیمین رفیع پور لنگرودی

ویراستار: زینب زرینچه

نشانی: تهران . صندوق پستی ۳۴۴-۱۴۵۶۵

تلفن: ۰۲۱ ۶۶۹۴۱۰۸۵

پایگاه اینترنتی: www.IJLK.ir

پست الکترونیکی: info@ijlk.ir



شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

فهرست مطالب

تقویت شبکه آزمایشگاهی با تقویت روابط و همکاری آزمایشگاه‌ها در استان‌ها

۲ <

بهره‌مندی مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی از اعتبار مالیاتی

۵ <

استاندارد ISO/IEC 17034

الزامات عمومی برای صلاحیت تولیدکنندگان مواد مرجع

۶ <



مدیریت کارایی دارایی‌های آزمایشگاه

۷ <



تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی
به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی

۱۰ <



بررسی و شبیه‌سازی آنالیز تخریب زانویی
۹۰ درجه

۱۹ <



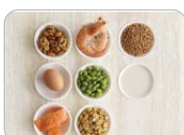
تعیین مقدار کمی ترکیبات هیدروکربن مایع:
مقایسه بین کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی
فرابنفش خلاء و کروماتوگرافی گازی دو بعدی

۲۹ <



معرفی دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی و
کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت
مواد غذایی

۳۷ <



تشخیص آلرژن‌های غذایی نظیر گلوتن با
استفاده از روش واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در
زمان واقعی

۴۴ <

اخبار

استاندارد

مقالات



تقویت شبکه آزمایشگاهی با تقویت روابط و همکاری آزمایشگاه‌ها در استان‌ها

ظرفیت‌های آزمایشگاهی و تحقیقاتی در سراسر کشور به ویژه در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، ظرفیتی ارزشمند برای توسعه فعالیت‌های فناورانه و تحقیقاتی هستند که هم‌افزایی و جمع‌آوری این ظرفیت‌ها، می‌تواند به ارتقای کار پژوهشگران، محققان و فعالان حوزه فناوری کمک شایانی کند. شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی در راستای جمع‌آوری و هم‌افزایی این ظرفیت‌ها، طی سفرهایی به استان‌های مختلف کشور و تعامل با مراکز تحقیقاتی و پژوهشی مستقر در آنها، زمینه را برای گسترده‌تر و اثربخش‌تر شدن زیست‌بوم آزمایشگاه‌های کشور فراهم می‌کند.

برگزاری نشست مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی در استان کرمان



دانشگاه پیام نور مرکز جیرفت، پژوهش‌سراهای استان کرمان، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی جیرفت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بم، موسسه تحقیقات علوم باغبانی پژوهشکده پسته، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان کرمان، دانشگاه پیام نور مرکز رفسنجان، دانشگاه پیام نور بم، دانشگاه پیام نور کرمان، دانشگاه اسلامی واحد کرمان، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی مرکز کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشگاه پیام نور مرکز سیرجان، شرکت‌های

۲۸ آذرماه ۱۴۰۲، استان کرمان و دانشگاه شهید باهنر شهر کرمان، میزبانی نشست مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی را عهده‌دار بود. در این برنامه که با حضور بیش از ۵۰ نفر از فعالین حوزه آزمایشگاهی برگزار شد، مجتبی نسب، دبیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی، محمدمهدی کرامتی، سرپرست دبیرخانه شورای راهبردی فناوری‌ها و تولیدات دانش‌بنیان معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری، علی دارابی و سید علی پارسائی، کارشناسان معاونت سیاست‌گذاری و توسعه معاونت علمی، سعید محمدی، مدیر برنامه حمایت از صنعت ماشین‌سازی، و جمعی از نمایندگان سازمان‌های نظارتی و همچنین نمایندگان مراکز واقع در استان کرمان از جمله



پس از اتمام برنامه، حاضرین از آزمایشگاه‌های مرکزی و آزمایشگاه پژوهشکده فناوری و تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان بازدید کردند. در ادامه دبیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی به همراه نمایندگان مراکز استان از مجموعه آزمایشگاه‌های مرکز خدمات آزمایشگاهی و تحقیقاتی و آزمایشگاه کنترل باقی‌مانده آلاینده‌ها در غذا دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان و مجموعه آزمایشگاه‌های دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان بازدید کردند.

خصوصی، کارخانه‌ها و مراکز تولیدی حضور داشتند. معرفی آزمایشگاه پژوهشی و تحقیقات کاربردی دانشگاه شهید باهنر کرمان، معرفی دستاوردهای فناورانه و توانمندی‌های حوزه کشاورزی، هدف از شکل‌گیری شبکه آزمایشگاهی و خدمات توانمندسازی ارائه شده به آزمایشگاه‌ها، از موارد پرداخته شده در این جلسه بود. همچنین حضار در جلسه پرسش و پاسخ، پرسش‌ها و دیدگاه‌های خود را با مجتبی نسب، دبیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی، مطرح کردند.



برگزاری نشست مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی در استان هرمزگان

دانشجویان و پژوهشگران به فضاها و امکانات پژوهشی و پرهیز از انحصاری شدن تجهیزات آزمایشگاهی دانشگاه، ذیل معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه، فعالیت خود را آغاز کرده است.

وی درباره امکانات، تجهیزات و توانمندی‌های آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان گفت: این مجموعه با بهره‌مندی از نیروی انسانی، صاحب تجربه و دارای تجهیزات پیشرفته‌ای همچون کروماتوگرافی و طیف‌سنج جرمی بوده و در زمینه آنالیز کیفی و کمی سموم باقی‌مانده محصولات کشاورزی و همچنین تعیین ترکیبات عصاره‌های استخراجی فعالیت دارد. این آزمایشگاه همچنین در زمینه اندازه‌گیری مایکوتوکسین‌ها، شناسایی و تعیین مقدار فلزات با غلظت پایین در نمونه‌های آب، فاضلاب، خاک، گیاه و بافت‌های جانوری، شناسایی و تعیین مقدار ویروس‌ها و بیماری‌های ویروسی مانند لکه سفید میگو، تعیین میزان فوتوسنتز گیاهان و غیره در پروژه‌های صنعتی و دانشجویی خدمت‌رسانی می‌کند.

مدیر آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان، آمادگی خود را در زمینه‌های تعیین ماهیت مواد شیمیایی و همکاری با صنایع، پژوهشگران، صاحبان شرکت‌های دانش‌بنیان، فناور و تامین‌کنندگان کالا اعلام کرد و خواستار شد از قابلیت‌های دانشگاه در زمینه تربیت نیروی انسانی متخصص و توانمند و نیز در زمینه آنالیزهای شیمیایی محصولات، حمایت صورت گیرد. در این نشست همچنین، مدیران آزمایشگاه‌های حاضر، ضمن آشنا شدن با ظرفیت‌ها و خدمات شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی، به مطرح کردن پرسش‌ها، بیان دیدگاه‌ها و هم‌اندیشی در خصوص ارتقای خدمات آزمایشگاهی پرداختند.



۲۶ دی ماه سال ۱۴۰۲، آزمایشگاه مرکزی استان هرمزگان، میزبان دبیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی، جمعی از مدیران آزمایشگاه‌ها و نمایندگان سازمان‌های نظارتی این استان بود.

مهندس مجتبی نسب، دبیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی، در این نشست با اشاره به اهمیت و ضرورت شبکه‌سازی و هم‌افزایی ظرفیت‌های آزمایشگاهی برای استفاده هرچه بهتر دانشگاهیان، محققان و فعالان حوزه فناوری افزود: شبکه آزمایشگاهی طی بیش از دو دهه فعالیت، قدم در مسیر شبکه‌سازی ظرفیت‌های کشور و ارتقای بهره‌وری از زیرساخت‌های آزمایشگاهی کشور برداشته است.

مهندس نسب با اشاره به حمایت‌های شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی از محققان، دانشجویان، استادان دانشگاه، مخترعان و صاحبان طرح‌های اولویت‌دار حوزه فناوری‌های راهبردی با اعطای حمایت دریافت خدمات آزمایشگاهی عنوان کرد: شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی اکنون به بستر مناسبی برای پژوهش‌های کارآمد، توسعه طرح‌های فناورانه و محصولات دانش‌بنیان تبدیل شده است و فرصتی مناسب برای به اشتراک‌گذاری توانمندی‌های حدود ۱۷۰۰ مجموعه آزمایشگاهی، بیش از ۳۲۰۰۰ تجهیز آزمایشگاهی و بیش از ۱۵۰،۰۰۰ آزمون قابل‌ارایه، ایجاد کرده است.

مهندس نسب، ارائه خدمات توانمندسازی به آزمایشگاه‌ها را یک دسته از خدمات شبکه آزمایشگاهی بیان کرد و گفت: علاوه بر این، شبکه از تعمیر و نگهداری تجهیزات آزمایشگاهی، آموزش کارشناسان، استقرار استانداردهای آزمایشگاهی و افزایش دامنه خدمات‌دهی آزمایشگاه‌ها، حمایت می‌کند.

در این نشست، دکتر فائزه ثمری، مدیر آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان، به معرفی آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان پرداخت و افزود: این آزمایشگاه در آبان‌ماه ۱۳۹۳ با هدف متمرکز کردن و سامان‌دهی تجهیزات پیشرفته مورد نیاز رشته‌های مختلف، بهره‌برداری بهینه از امکانات موجود، صرفه‌جویی در هزینه‌های پژوهشی پایان‌نامه‌های دانشجویی و دسترسی اعضای هیئت‌علمی،





بهره‌مندی مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی از اعتبار مالیاتی

رضا اسدی فرد مدیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی با اشاره به این که اعتبار مالیاتی یکی از تسهیلات کارآمد و ابزارهای تشویقی و حمایتی تمهید شده در قانون جهش تولید دانش‌بنیان است، عنوان کرد: تا پیش از این، شرکت‌های دانش‌بنیان، دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی، فناوران و شرکت‌های صنعتی که واجد شرایط لازم بودند، برای فعالیتهای تحقیق و توسعه‌ای خود از مزایای تسهیلات اعتبار مالیاتی بر اساس این بند مندرج در قانون بهره می‌بردند؛ اما به تازگی و با تمهیدات صورت گرفته و تصویب شیوه نامه مربوطه، مراکز آزمایشگاهی و تحقیقاتی عضو شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی ایران نیز می‌توانند از مزایای بند ب ماده ۱۱ قانون جهش تولید دانش‌بنیان بهره‌مند شوند. این دستورالعمل با پیگیری و حمایت معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری و با هدف تسهیل سرمایه‌گذاری در تجهیز آزمایشگاه‌های عضو شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی ایران تصویب و اجرایی شده است. بر همین اساس، استفاده از اعتبار مالیاتی در این زمینه با تایید شبکه آزمایشگاهی راهبردی برای مراکز عضو این شبکه در بخش خصوصی امکان‌پذیر شده است.

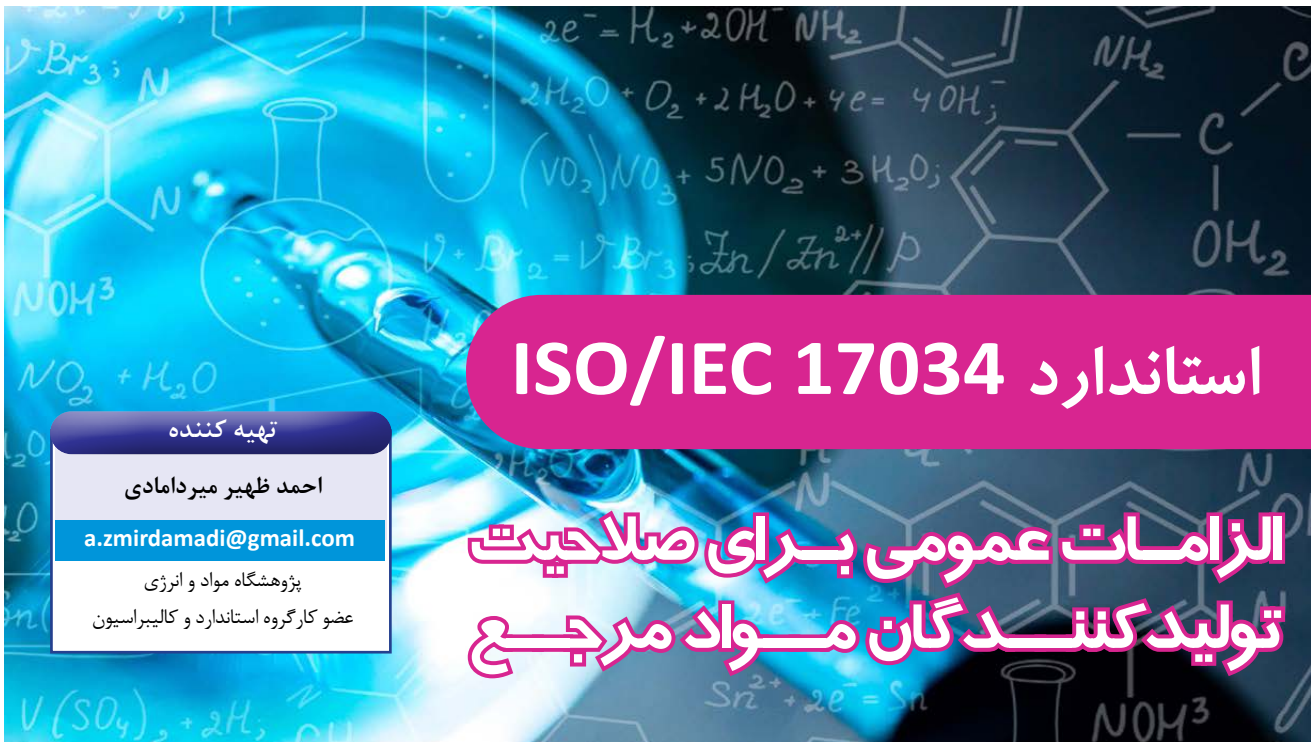
ارائه دهد و شبکه آزمایشگاهی بر چگونگی بهره‌برداری از تجهیز در آزمایشگاه نظارت می‌کند.

مدیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی با بیان این که استفاده از اعتبار مالیاتی صرفاً برای تجهیزات با فناوری متوسط به بالا امکان‌پذیر است، افزود: در صورت تایید شبکه در مورد درستی بهره‌برداری از تجهیز و ارائه خدمات، استهلاك سالانه دستگاه در قالب «استهلاك پروژه تحقیق و توسعه» معرفی می‌شود. اعتبار مالیاتی ویژه شبکه آزمایشگاهی به میزان ۲۰ درصد استهلاك سالیانه تجهیز خریداری شده است.

وی افزود: در صورتی که آزمایشگاه در ارزیابی عملکرد در شبکه آزمایشگاهی در سال خرید تجهیز مذکور، رتبه زیر ۱۰۰ را کسب کند، تا سقف ۲۰ درصد استهلاك سالیانه تجهیز خریداری شده برای سال دوم نیز اعتبار مالیاتی ویژه دریافت خواهد کرد.

دکتر اسدی فرد درباره چگونگی و شرایط بهره‌مندی از اعتبار مالیاتی برای سرمایه‌گذاری در آزمایشگاه مبتنی بر شیوه نامه اجرایی بیان کرد: آزمایشگاه عضو شبکه آزمایشگاهی می‌تواند از اعتبار مالیاتی آزمایشگاه (در صورتی که آزمایشگاه خصوصی باشد) یا اعتبار مالیاتی سایر شرکت‌های تولیدی برای خرید تجهیز جدید استفاده کند.

معاون توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری با تأکید بر این که تجهیز خریداری شده نمی‌تواند به عنوان پروژه تحقیق و توسعه پذیرفته شود، توضیح داد: تجهیزاتی که در ذیل این دستورالعمل قرار است مورد حمایت قرار بگیرد، باید مورد کاربرد برای ارائه خدمات تخصصی مرتبط با حوزه فعالیت آزمایشگاه و یا ناظر به محصولی باشد که سرمایه‌گذار در پروژه تحقیق و توسعه شرکت خود تولید خواهد کرد. تجهیز باید پس از نصب و راه‌اندازی در آزمایشگاه در شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی ایران نیز ثبت و خدمت



استاندارد ISO/IEC 17034

تهیه کننده

احمد ظهیر میردامادی

a.zmirdamadi@gmail.com

پژوهشگاه مواد و انرژی

عضو کارگروه استاندارد و کالیبراسیون

الزامات عمومی برای صلاحیت تولیدکنندگان مواد مرجع

ردیابی اندازه‌شناختی، در مورد آن تأمین کننده وجود داشته باشد.

درباره مواد مرجعی که تولیدکننده الزامات استاندارد ISO/IEC 17034 را برآورده کرده است، می‌توان گفت در این مواد در کنار سایر خصوصیات، یکنواختی و پایداری نیز مشخص شده است. در مواردی که تأمین کننده دارای گواهی تایید صلاحیت بر اساس استاندارد ISO/IEC 17034 نیست، توصیه می‌شود که شواهد مورد نیاز در خصوص صلاحیت آن تأمین کننده به‌ویژه در زمینه‌های زیر جمع‌آوری شود:

- ◀ ارزیابی یکنواختی و پایداری مواد مرجع؛
- ◀ محتویات گواهینامه ارائه شده از سوی تولیدکننده و برچسب ماده؛
- ◀ فرایند تعیین ویژگی ماده؛
- ◀ عدم قطعیت مقدار گواهی شده؛
- ◀ قابلیت ردیابی اندازه‌شناسی.

گواهی‌های استاندارد، آزمایشگاه را ملزم می‌سازد با توجه به پیروی از اصول یکپارچه و قابل ردیابی، اقداماتی را برای پرداختن به خطر و فرصت، طرح‌ریزی کرده و اجرا کند. مواد مرجع در تمامی مراحل اندازه‌گیری شامل صحنه‌گذاری روش، کنترل کیفیت و کالیبراسیون استفاده می‌شوند. همچنین این مواد در مقایسات بین آزمایشگاهی برای صحنه‌گذاری روش و ارزیابی مهارت آزمایشگاه کاربرد دارد.

در این میان کمک از پایگاه داده COMAR (پایگاه داده جامع برای مواد مرجع) نقش مهمی در تضمین کیفیت و ایجاد قابلیت اعتماد نسبت به مواد مرجع استفاده شده در آزمایشگاه‌ها دارد. معرفی این پایگاه داده نیز در شماره پاییز ۱۴۰۲ فصلنامه دانش آزمایشگاهی ایران ارائه شده است.

امروزه فناوری مدرن به مقدار زیادی مواد مرجع گواهی شده در زمینه‌های مختلف نیاز دارد. به‌طور خلاصه، ماده مرجع گواهی شده ماده‌ای است که برای توسعه روش آزمون و اعتبارسنجی روش‌ها و به‌ویژه برای بررسی تعیین‌گرایی روش و نیز برای کالیبراسیون تجهیزات کاربرد دارد. تعریف رسمی این مواد، عبارت است از ماده‌ای که یک گواهی ضمیمه آن است که یک یا چند مورد از ویژگی‌های مشخص آن بر مبنای روشی که مورد تایید قرار گرفته است و نیز عدم قطعیت مرتبط با آن و بیانیه قابلیت ردیابی اندازه‌شناسی را ارائه می‌کند.

در گواهی مواد مرجع، برای ویژگی مورد نظر، مقدار آن، میزان عدم قطعیت مرتبط با آن و قابلیت ردیابی اندازه‌شناسی به یک‌های بین‌المللی مشخص می‌شود. هنگامی که از مواد مرجع برای تخمین بایاس یک روش آزمون استفاده می‌شود، باید محدوده عدم قطعیت برای نتیجه به‌دست آمده در آزمایشگاه، با محدوده عدم قطعیت ارائه شده در گواهی مواد مرجع گواهی شده، هم‌پوشانی داشته باشد. اگر از مواد مرجع برای کالیبراسیون استفاده شود، می‌توان از این اطلاعات به‌طور مستقیم در اندازه‌گیری استفاده کرد.

الزامات استاندارد ISO/IEC 17034 اصلی‌ترین الزامات مورد نیاز، برای تولیدکنندگان مواد مرجع است. در واقع شامل الزامات کلی کیفیت برای تولید مواد مرجع است اما در این میان نباید از یک نکته مهم غافل شد که انجام آزمون در آزمایشگاه باید با الزامات ISO/IEC 17025 انطباق داشته باشد تا بتوان نتایج حاصل از آن اندازه‌گیری را معتبر دانست.

هنگام انتخاب تأمین‌کنندگان مواد مرجع باید به این موضوع توجه شود که آن‌ها براساس استاندارد ISO/IEC 17034 تایید صلاحیت شده باشند یا شواهدی مبنی بر برآورده‌سازی الزامات این استاندارد به‌ویژه در زمینه قابلیت

مترجم

مجتبی نسب

دبیر شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی ایران
(LabsNet)

mojtabanasab@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

واژه‌های کلیدی

مدیریت دارایی‌ها، ارزیابی انطباق، ابزارهای دیجیتال،
پایش بهره‌وری تجهیزات و خدمات آزمایشگاهی.مدیریت کارایی
دارایی‌های آزمایشگاه

چکیده

راهبردهای مدیریت کارایی دارایی‌ها، رویکردهای پیشرو و جامعی را برای بهره‌برداری بهینه از دارایی‌ها ارائه می‌دهد. مدیریت کارایی دارایی‌ها، با کاهش بار فعالیت‌های مدیریت آزمایشگاه، موجب افزایش دسترسی و استفاده از دارایی‌های آزمایشگاه و بهبود بهره‌وری می‌شود. این رویکرد با کاهش هزینه‌ها و افزایش پایداری آزمایشگاه، کنترل دارایی‌ها و دیدگاه بی‌سابقه‌ای را برای آزمایشگاه فراهم می‌کند [۱].

مقدمه

مدیریت کارایی دارایی‌ها که به مدیریت عملکرد تجهیزات^۱ نیز شهرت دارد، رویکرد راهبردی یکپارچه‌ای برای فعالیت‌های آزمایشگاه است که نقش حیاتی آن به‌ویژه در آزمایشگاه‌های آنالیز، به شکل قابل توجهی در حال افزایش است. رشد پیچیدگی عملیاتی در بسیاری از آزمایشگاه‌ها به آستانه بحرانی رسیده و با تقاضای مستمر و رو به افزایش برای بهره‌وری بالاتر، همراه شده‌است. بررسی اخیر انجام شده در رابطه با پایداری آزمایشگاه‌ها نشان داده است که تنها ۲۷ درصد آزمایشگاه‌ها برنامه‌ای برای بهبود بهره‌وری و بهینه‌سازی منابع دارند. مدیریت کارایی دارایی‌ها، با کاهش بار فعالیت‌های مدیریت آزمایشگاه، موجب افزایش دسترسی و استفاده از دارایی‌های آزمایشگاه و بهبود بهره‌وری می‌شود. این برنامه به آزمایشگاه‌ها کمک می‌کند که بر شایستگی محوری خود یعنی «تخصص علمی» تمرکز کنند و مدیریت، بر ویژگی محوری خود یعنی برنامه‌های بهبود کارایی آزمایشگاه تمرکز کند. این رویکرد با کاهش هزینه‌ها و افزایش پایداری آزمایشگاه، کنترل دارایی و دیدگاه بی‌سابقه‌ای را برای آزمایشگاه ایجاد می‌کند.

□ کارکرد مدیریت کارایی‌های

برنامه مدیریت کارایی‌های (APM) شامل برنامه‌های خدمات متنوعی است که براساس توانمندی‌های محوری، برنامه‌ریزی درست خدمات و یا ترکیبی از برنامه‌ها، رسیدن به اهداف کسب و کار را امکان‌پذیر می‌کند. این برنامه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند تا با چابک‌سازی فعالیت‌های آزمایشگاه و کاهش خطر نظارتی، آزمایشگاه را به تکامل برسانند. توانمندی‌های محوری که برنامه مدیریت کارایی‌های کارایی‌ها را شکل می‌دهد عبارتند از:

- کنترل کارایی‌ها؛
- خدمات الکترونیک؛
- تضمین انطباق^۱؛
- راهنمایی تخصصی.

کنترل کارایی‌ها، شامل ارزیابی مستمر و اساسی توانمندی‌های تجهیزاتی، راهبردهای ارائه خدمات و پایه دستیابی به کنترل کارایی‌های علمی است. با شناسایی آنچه آزمایشگاه دارد و چرایی داشتن آن، می‌توان مطمئن شد برنامه‌های نگهداری و ترکیب تجهیزات، موجب دستیابی به اهداف خواهند شد.

خدمات الکترونیکی، کنترل کارایی‌ها را از همه جوانب بهبود می‌دهند. این خدمات، بینشی براساس داده‌ها ایجاد می‌کنند که موجب تصمیم‌گیری بهتر و آگاهانه‌تر در کسب و کار می‌شود و هم‌زمان، فشار وظایف عملیاتی را کاهش می‌دهد تا کارکنان آزمایشگاه بتوانند بر حوزه علمی خود تمرکز کنند.

تضمین انطباق که موجب اطمینان از برآورده شدن الزامات قانونی در آزمایشگاه می‌شود، از عوامل حیاتی موفقیت آزمایشگاه است. این فرآیند، به متخصصان انطباق نیاز دارد؛ افرادی که با استقرار الزامات قانونی در آزمایشگاه، این اطمینان را ایجاد می‌کنند که خطر ممیزی کاهش پیدا کند.

راهنمایی‌های تخصصی از سوی یک مشاور دارای دانش گسترده صنعتی، می‌تواند تغییر دهنده بازی باشد و به راحتی، تغییرات مورد نیاز برای بهینه‌سازی چابکی فعالیت‌ها و رشد راهبردی را پیاده‌سازی کند. یک شرکت زیست‌فناور پیشرو که همه اجزای APM را پیاده‌سازی کرده است، اکنون به‌عنوان نمونه‌ای برای دیگر آزمایشگاه‌ها است که چگونه و چرا باید این کار را انجام دهند. آنها پیش از آن که بیماری کرونا همه‌گیر شود، APM را در بخش توسعه و تولید واکسن‌سازی شرکت استقرار داده بودند. بهینه‌سازی راهبردی ساختار آزمایشگاه‌ها، شتابدهی به هوشمندسازی داده‌ها و در دسترس بودن مشاورین متخصص، در مجموع، تغییر سریع فعالیت آنها را تسهیل کرد. هدف جدید آنها تحویل سریع واکسن در یک بازه زمانی ویژه بود. هم‌افزایی هوشمندی داده‌ها و راهنمایی تخصصی، عامل اصلی موفقیت بود که ارزش بالای استقرار APM را برجسته کرد. راهنمایی تخصصی

به‌صورت مستمر، فرآیندهای آزمایشگاه را بهبود می‌دهد تا به اهداف کسب و کار خود برسد و اطمینان ایجاد می‌کند که تغییر راهبردهای مدیریتی به‌صورت صحیح و کامل انجام می‌شود؛ به‌ویژه در زمان استقرار فناوری‌های دیجیتال.

□ مدیریت کارایی‌های در برابر مدیریت سنتی کارایی‌ها

هر دو رویکرد «مدیریت سنتی کارایی‌های آزمایشگاه» و «مدیریت کارایی‌های کارایی‌ها»، بهینه‌سازی استفاده از کارایی‌های آزمایشگاه را دنبال می‌کنند اما مسیر آنها برای رسیدن به هدف، متفاوت است. مدیریت سنتی کارایی‌ها بر مدیریت فیزیکی کارایی‌های آزمایشگاه تمرکز دارد؛ در حالی که APM رویکردی جامع و پیشرفته‌تر دارد. APM یک راهبرد فعالیت مرکزی (محوری) است که از توانمندی‌های دیجیتال و راهنمایی تخصصی برای نظارت و بهره‌برداری بهتر همه کارایی‌ها تا زمانی که کارایی‌های کارایی‌ها بهینه شود و به بازدهی عملیاتی مورد نظر دست یابد، استفاده می‌کند. توانمندی‌های دیجیتال نیز شامل مهارت‌های ضروری دیجیتال، فناوری‌ها و تجاری می‌شود که سازمان را قادر می‌سازد کارایی‌های کارایی‌های خود را به‌طور مؤثر مدیریت و بهینه کند. این توانمندی‌ها بیشتر شامل کارایی‌های مدیریت، پایش پیش‌بینی‌کننده و تحلیل داده می‌شود.

□ توانمندی‌های دیجیتالی ضروری

توانمندی‌های دیجیتالی ضروری شامل موارد ذیل است:

- مدیریت خدمات و اموال؛
- پایش کارایی‌ها؛
- تحلیل چرخه عمر کارایی‌ها.

مدیریت خدمات و اموال، نسبت به روش‌های سنتی (که به شدت به فرم‌های قدیمی مانند صفحات اکسل که داده‌ها را ردیف به ردیف ذخیره می‌کنند، تکیه دارد) برتری دارد؛ به این دلیل که دقت و سرعت داده‌ها افزایش یافته است. از آنجایی که فهرست‌های دیجیتال پیوسته به‌روز می‌شوند، مدیران آزمایشگاه‌ها می‌توانند دیدگاه جامع‌تر و عمیق‌تری از ترکیب و تعادل کارایی‌ها به‌دست آورند. قابلیت خدمات دیجیتال، داده‌های ذخیره شده را رصد می‌کند و نقطه رشد، پذیرش درخواست‌های جدید براساس سفارش دیجیتال است. لایه بعدی نظارت و کنترل، پایش کارایی‌ها و هشدارها با بهینه‌سازی و سلامت تجهیزات از طریق نظارت پیوسته است. به‌عنوان مثال، نقشه حرارتی^۲ استفاده از تجهیزات، نمای جامعی از استفاده هر یک از کارایی‌ها در یک بازه زمانی مشخص را نشان می‌دهد. همچنین داده‌های ارزشمندی را به‌منظور تعیین ترکیب و ایجاد تعادل در تجهیزات فراهم می‌کند. هشدارها نیز سلامتی هر تجهیز را زیر نظر دارند و

دارایی‌های یک سازمان باشد در حالی که خطر و هزینه فعالیت را کاهش دهد. APM راهبردی یکپارچه است که کمک می‌کند کارکنان، فرآیندها و تجارب و سامانه‌های دستگاهی آزمایشگاه، در راستای تعالی عملیاتی پایدار، با هم کار کنند.

از آنجایی که بهینه‌سازی و پایدارسازی آزمایشگاه همراه هم و در یک راستا هستند، یک آزمایشگاه دیجیتال، بدون شک، پایدارترین آزمایشگاه خواهد بود. به‌کارگیری فناوری‌های هوشمندی داده و دانش صنعتی، بهره‌وری عملیاتی آزمایشگاه را بهبود می‌دهد. تولید بیشتر با مصرف انرژی پایین‌تر، راهکار برنده - برنده بین علم و محیط‌زیست است.

در نهایت، استقرار APM از طریق توانمندسازی دیجیتال و تحلیل تخصصی، مزایای شفاف را در فضای رقابت آزمایشگاه‌ها فراهم می‌کند؛ اما عامل مهم‌تر این است که به سرعت تبدیل به یک پیش‌نیاز برای بقا و رشد در عصر آزمایشگاه‌های دیجیتال می‌شود.

اگر یک ماده مصرفی در حال کاهش باشد یا دستگاه از کار بیفتد، فوری پیام‌های اخطار را صادر می‌کنند.

تحلیل چرخه عمر دارایی‌ها، داده‌های دریافت شده از ابزارهای دیجیتالی که پیش از این شرح داده شد را ترکیب می‌کند تا بتواند با جست‌وجو کردن در داده‌ها و با استفاده از روش‌های مختلف و ارزشمند، بینش عمیقی از مجموعه دارایی‌ها ایجاد کند. به‌عنوان نمونه، نمودار استفاده از تجهیز براساس تعداد خدمت برای همه تجهیزات آزمایشگاه، امکان تصمیم‌گیری براساس داده‌ها را فراهم می‌کند؛ اینکه مکان کدام تجهیزات باید تغییر کند، کدام موارد باید جایگزین و کدام موارد باید بازنشسته و از چرخه خدمات دهی خارج شوند.

■ عملکرد و پایداری

در اصل، کارایی در APM شامل هر چیزی است که در رابطه با بهینه‌سازی بهره‌وری، قابلیت اطمینان و طول عمر

نتیجه‌گیری

مدیریت کارایی دارایی‌ها که به مدیریت عملکرد تجهیزات نیز شهرت دارد، رویکرد راهبردی یکپارچه‌ای برای فعالیت‌های آزمایشگاه است که نقش حیاتی آن به‌ویژه در آزمایشگاه‌های آنالیز، به شکل قابل توجهی در حال افزایش است. از آنجایی که بهینه‌سازی و پایدارسازی آزمایشگاه همراه هم و در یک راستا هستند، یک آزمایشگاه دیجیتال، بدون شک، پایدارترین آزمایشگاه خواهد بود. مدیریت خدمات و اموال، پایش دارایی‌ها و تحلیل چرخه عمر دارایی‌ها از ابزارهای ضروری دیجیتال شدن آزمایشگاه است. به‌کارگیری فناوری‌های هوشمندی داده و دانش صنعتی، بهره‌وری عملیاتی آزمایشگاه را بهبود می‌دهد. تولید بیشتر با مصرف انرژی پایین‌تر، راهکار برنده - برنده بین علم و محیط‌زیست است.

پی‌نوشت

1. Asset performance management (APM)
2. Compliance assurance

۳. یک نمایش گرافیکی از داده‌ها است که در آن مقادیر با رنگ نشان داده می‌شوند (Heat Map).

مرجع

[1] Philippe Desjardins; Nov 03, 2023; <https://www.labmanager.com/defining-performance-in-asset-performance-management-31236>.

نویسندگان

حسین محمدی^{۱*}آرزو باباییان^۲، مازیار نادر اصلی^۳

۱. کارشناس خوردگی شرکت آزمون فولاد
۲. کارشناس خوردگی آزمایشگاه شرکت آزمون فولاد
۳. مدیر بازرسی فنی شرکت آزمون فولاد

* Hosseinmohammadi528@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲

تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی



واژه‌های کلیدی

تخمین عمر، لوله‌های انتقال سیال، ضخامت‌سنجی، سرویس‌دهی، ضریب اطمینان.

چکیده

در این پژوهش، به بررسی و تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B پرداخته شده است. لوله‌های مورد بررسی به مدت ۷ سال در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کاری ۶۱ بار مورد استفاده قرار گرفته‌اند و سیال داخل آن بیشتر، متان بوده است. به‌منظور تخمین عمر، آزمون‌هایی از قبیل: ضخامت‌سنجی، آنالیز ترکیب شیمیایی، بررسی ریزساختار میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی - طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس، آزمون کشش در دمای محیط و دمای بالا و آزمون ماکروسختی صورت گرفت. براساس نتایج حاصل شده، تمامی موارد، دارای ریزساختار فریت-پرلیت بوده‌اند و کاهش قابل ملاحظه‌ای در ضخامت نمونه‌های مورد بررسی مشاهده نشده است. علاوه بر آن، با توجه به شرایط عملیاتی حاضر، برای استفاده به مدت ۷ سال دیگر با ضریب اطمینان ۹۹/۴، لوله‌ها از شرایط خوبی برای بهره‌برداری برخوردار هستند.

مقدمه

لوله‌ها به‌عنوان پرکاربردترین تجهیزات در انتقال مواد، انرژی و غیره شناخته می‌شوند. به دلیل نقش اساسی این لوله‌ها، تخریب آنها در صنایع گوناگون منجر به خسارات متعددی می‌شود. امروزه رفته‌رفته با افزایش قدمت صنایع پالایشگاهی پیش‌بینی عمر باقیمانده لوله‌های موجود، اهمیت پیدا کرده است. یکی از روش‌های کاهش خسارات ناشی از تخریب ناگهانی خطوط لوله گاز و نفت، تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی به کار گرفته شده در خط لوله است. به‌منظور جلوگیری از خسارات اقتصادی، زیست‌محیطی و جانی ناشی از تخریب و از کارافتادگی خط لوله، استفاده از روش‌هایی در راستای تخمین عمر مفید سرویس‌دهی خطوط لوله در مواجهه با پدیده‌هایی چون خوردگی، اکسیداسیون و سایش به‌منظور تعمیر و جایگزینی این خطوط از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طور معمول، لوله‌های مورد استفاده در صنایع به دلیل مواجهه با پدیده خوردگی، دچار کاهش ضخامت، کاهش استحکام مکانیکی، کاهش سختی و اکسیداسیون سطحی می‌شوند و این پدیده می‌تواند منجر به تخریب لوله‌ها شود. بنابراین، تخمین عمر باقیمانده لوله‌ها و بررسی اثرات ناشی از خوردگی پیش از پیش‌حائز اهمیت است. براساس مطالعات گوناگون، خوردگی منجر به تخریب در لوله‌ها می‌شود.

لوله‌ها با قرارگیری در معرض خوردگی، دچار کاهش استحکام می‌شوند. به همین دلیل، بررسی خواص کششی در این لوله‌ها نیز حائز اهمیت است؛ از طرف دیگر، به دلیل قرارگیری این لوله‌ها در دمای بالا، بررسی خواص مکانیکی در دمایی نزدیک به دمای کاری، می‌تواند اطلاعات بسیاری مفیدی به‌منظور پیش‌بینی عمر باقیمانده لوله‌ها ارائه دهد.

در پژوهشی، چین و همکاران [۱] به استفاده از روش‌های استاتیک برای محاسبه نرخ خوردگی در لوله‌های صنایع پتروشیمی پرداختند. در راستای بررسی ضخامت لوله‌ها، استفاده از گیج نقطه‌ای التراسونیک در دستور کار قرار گرفت. با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ضخامت، ضخامت باقیمانده لوله‌ها، نرخ خوردگی و عمر باقیمانده لوله‌ها محاسبه شد. در پژوهش دیگری، چین و چن [۲] به بکارگیری روش‌های استاتیک برای پایش شرایط لوله‌ها در فرآیندهای پتروشیمی پرداختند. در این پژوهش نیز از ضخامت‌سنجی نقطه‌ای التراسونیک در راستای بررسی شرایط کاهش ضخامت لوله‌ها استفاده شد. همچنین، بابی و همکاران [۳] به اندازه‌گیری نرخ خوردگی و عمر باقیمانده لوله‌های مورد استفاده در صنایع نفت و گاز، بر طبق استانداردهای API و ASME پرداختند. براساس ASME B31 ضخامت باقیمانده در لوله‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از ضخامت باقی‌مانده و ضخامت فعلی در ابتدا نرخ خوردگی و سپس عمر باقیمانده به دست آمد. در پژوهش دیگری، آنتونو و همکاران [۴] به بررسی آنالیز تخریب لوله‌های ASTM A106 به کار گرفته شده در صنایع نفتی پرداختند. براساس نتایج حاصل شده، در نزدیکی اتصالات، نشته‌هایی وجود دارد که از سطوح داخلی، جوانه‌زنی کرده‌اند. علاوه بر آن، پس از رسوب‌زدایی از سطح داخلی، کاهش ضخامت‌های موضعی در نمونه مشاهده شد. وجود مقادیری سولفور، سولفور آهن و کربنات آهن، نشان از وقوع پدیده خوردگی میکروبی بوده است. در پژوهش دیگری، نصر آزادانی و همکاران [۵] به آنالیز تخریب لوله‌های مجزاکننده API 5L grade B پرداختند. در این پژوهش، لوله‌های مورد بررسی در معرض دمای ۱۲۰ تا ۱۹۰ درجه فارنهایت قرار داشتند و غلظت سولفید هیدروژن بین ۳۵۰ ppm تا ۱۰۰۰ ppm گزارش شد. براساس مطالعات صورت گرفته، دلیل اصلی تخریب در این لوله‌ها، خوردگی حفره‌ای شدید به دلیل قرارگیری در معرض حمله کلریدی است. تاواوز و همکاران [۶] به برون‌یابی علل تخریب لوله‌های تولید آب از مجزاکننده‌های نفتی به دلیل خوردگی موضعی داخلی پرداختند. غلظت یون متغیر حاصل از تولید آب، به‌عنوان علت اصلی خوردگی موضعی در راستای طول جوش ایجاد شده در این لوله‌ها، گزارش شد. علاوه بر آن، وجود مقادیر بالای آخال‌ها در ریزساختار، منجر به تخریب زودرس در این لوله‌ها می‌شود؛ به همین دلیل، بررسی ریزساختار و حذف آخال‌ها در این لوله‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این پژوهش با استفاده از آزمون‌هایی از قبیل ضخامت‌سنجی، آنالیز ترکیب شیمیایی، بررسی ریزساختار میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی - طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس، آزمون کشش در دمای محیط و دمای بالا و آزمون ماکروسختی به تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B [۷] پرداخته شد.

□ مواد و روش تحقیق

در این پژوهش در راستای مطالعات تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی، ۴ نمونه لوله که دو نمونه P.1 و P.2 دارای fin (سطح اضافه) و نمونه‌های P.3 و P.4 بدون fin بوده‌اند، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. در شکل (۱) تصاویری از نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده‌است. براساس تصاویر موجود، در سطح لوله‌ها، پدیده‌های اکسیداسیون و کربورازسیون رخ داده است که با محصولات خوردگی حاصل از آن روی سطح مشاهده می‌شود. در جدول (۱)، چگونگی نمونه‌برداری از هر نمونه ارائه شده‌است.

جدول (۱): نمونه‌برداری از نمونه‌های مورد بررسی.



شکل (۱): تصاویری از نمونه‌های مورد بررسی. (الف): نمونه P.1. (ب): نمونه P.2. (ج): نمونه P.3. (د): نمونه P.4.

به‌منظور بررسی کاهش ضخامت موجود در نمونه‌ها، ضخامت‌سنجی با استفاده از دستگاه ضخامت‌سنج التراسونیک^۱ صورت گرفت. در راستای بررسی شیمیایی، ترکیب شیمیایی نمونه‌ها، براساس استاندارد ASTM E415 [۸] و با استفاده از دستگاه کوانتومتری طیف‌سنجی نشر جرقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. ریزساختار نمونه‌های ارسالی، پس از آماده‌سازی و اچ، براساس استاندارد ASTM E3 [۹] و ASTM

مناطق نمونه‌برداری شده

موقعیت	نمونه‌ها			
	P.1	P.2	P.3	P.4
ابتدای نمونه	P.11	P.21	P.31	P.41
میانه نمونه	P.12	P.22	P.32	P.42
انتهای نمونه	P.13	P.23	P.33	P.43

نتایج

□ ضخامت‌سنجی

به‌منظور بررسی ضخامت کاهش‌یافته در نمونه‌های مدنظر، آزمون ضخامت‌سنجی روی نمونه‌ها صورت گرفت. در جدول (۴) نتایج حاصل از آزمون ضخامت‌سنجی روی نمونه‌ها، نشان داده شده‌است. براساس نتایج حاصل شده، در نمونه‌های P.1 و P.2 به دلیل وجود fin، ضخامت میانگین بیشتری به‌دست آمده است. از طرف دیگر، براساس Sch:80, ASTM A106, Gr. B, Without Fin، ضخامت اولیه در حدود ۸/۵۶ میلی‌متر است؛ بنابراین، کاهش ضخامت قابل ملاحظه‌ای در نمونه‌ها مشاهده نشد و کمترین ضخامت اندازه‌گیری شده ۸/۱ میلی‌متر گزارش شده است.

جدول (۴): نتایج حاصل از آزمون ضخامت‌سنجی روی نمونه‌های مورد بررسی.

اندازه‌گیری ضخامت فلز											
میانگین	نقطه ۱۰	نقطه ۹	نقطه ۸	نقطه ۷	نقطه ۶	نقطه ۵	نقطه ۴	نقطه ۳	نقطه ۲	نقطه ۱	نمونه
۹/۴۷	۹/۷	۹/۵	۹/۵	۹/۴	۹/۳	۹/۳	۹/۴	۹/۳	۹/۳	۹/۴	P1
۹/۲۵	۹/۳	۹/۴	۹/۴	۹/۲	۹/۱	۹/۲	۹/۲	۹/۱	۹/۰	۹/۴	P2
۸/۴۳	۸/۶	۸/۳	۸/۵	۸/۴	۸/۱	۸/۵	۸/۷	۸/۴	۸/۲	۸/۶	P3
۸/۴۲	۸/۳	۸/۴	۸/۵	۸/۶	۸/۴	۸/۴	۸/۲	۸/۵	۸/۵	۸/۴	P4

□ آنالیز شیمیایی

به‌منظور بررسی ترکیب شیمیایی، آزمون کوانتومتری روی تمامی نمونه‌ها، انجام شد. نتایج حاصل از آزمون در جدول (۵) نشان داده شده‌است. براساس نتایج حاصل از آزمون کوانتومتری، هر چهار نمونه با الزامات استاندارد ASTM A106 grade B، مطابقت دارد.

E407 [۱۰]، با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین براساس استاندارد ASTM A370 [۱۱]، از هر کدام از لوله‌ها، (۳) نمونه از نواحی مختلف، برای آزمون کشش در دمای محیط و براساس استاندارد ASTM E8/E8M [۱۲] از هر کدام از لوله‌ها، یک نمونه در دمای کاری ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، در معرض آزمون کشش گرم قرار گرفتند. آزمون ماکروسختی نیز براساس استاندارد ASTM E10 [۱۳] روی نواحی مختلف لوله‌ها انجام شد.

□ پس‌زمینه

با توجه به اطلاعات موجود، جنس تمامی لوله‌ها از ASTM A106 grade B بوده و لوله‌ها به مدت ۷ سال در شرایط سرویس‌دهی و دمای کاری آنها، حدود ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد است. فشار داخلی آنها در شرایط کاری در حدود ۶۱ بار گزارش شد. در جدول (۲)، شرایط ترمودینامیکی سیال موجود در لوله‌ها ارائه شده‌است. در جدول (۳)، نتایج حاصل از بررسی ترکیب شیمیایی سیال موجود در لوله‌ها نشان داده شده‌است. بر همین اساس، بیشترین میزان فاز موجود در سیال، متان است.

جدول (۲): شرایط ترمودینامیکی سیال مورد بررسی.

شرایط ترمودینامیکی سیال					
کسر مولی بخار	آنتالپی	وزن ملکولی	فشار (بار)	سانتیگراد (درجه دما)	نرخ کل (کیلوگرم مول در ساعت)
۱۷/۱۴۹	۸/۲۵۳۶	۱۸/۵۴۴۸	۶۱	۲۸۰	۱۷/۹۷۸

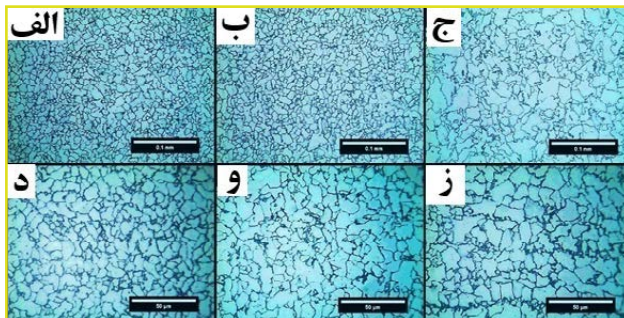
جدول (۳): بررسی ترکیب شیمیایی سیال موجود در لوله‌ها.

فازهای بخار						
C6 CUT	پوتان	پروپان	اتان	متان	پنتان	دی‌اکسید کربن
۲/۴۵۷۳	۱۷/۱۴۹	۳۶/۶۶۲	۹۹/۴۰۸	۱۵۵۵/۴۱۷	۶/۱۰۳	۱۴/۳۸۸۹
بخار خشک						
نیترژن						
۶۳/۵۱۵۸						
سیال						

جدول (۵): نتایج حاصل ترکیب شیمیایی نمونه‌ها از آزمون طیف‌سنجی نشر جرقه‌ای.

نمونه	ترکیب شیمیایی لوله ASTM A106 grade B										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	Fe
ASTM A106 grade B	>۰/۳۰	<۰/۱۰	۲۹/۰۶ ۰/۱	>۰/۰۳۵	>۰/۰۳۵	>۰/۴۰	>۰/۱۵	>۰/۴۰	>۰/۴۰	-	Rem
نمونه P.1	۰/۱۲۲	۰/۲۳۶	۰/۹۳۱	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۴	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۳۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴۸	Rem
نمونه P.2	۰/۱۱۵	۰/۲۲۶	۰/۹۶۳	۰/۰۱۵۶	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳۴	Rem
نمونه P.3	۰/۱۲۵	۰/۲۴۶	۰/۹۴۴	۰/۰۱۵۷	۰/۰۰۴	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳۶	Rem
نمونه P.4	۰/۱۶۷	۰/۲۱۸	۰/۹۷۲	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۰۵۱	۰/۰۳۷	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱۴	Rem

در شکل (۳)، تصاویر حاصل از میکروسکوپ نوری به‌منظور بررسی ریزساختار در سه ناحیه گفته شده نشان داده شده‌است. همان‌طور که مشخص است، ریزساختار در این نمونه نیز شامل فریت روشن رنگ و پرلیت تیره رنگ است با این تفاوت که فاز پرلیت موجود در آن، توزیع یکنواخت‌تری دارد و پدیده باندینگ رخ نداده است.

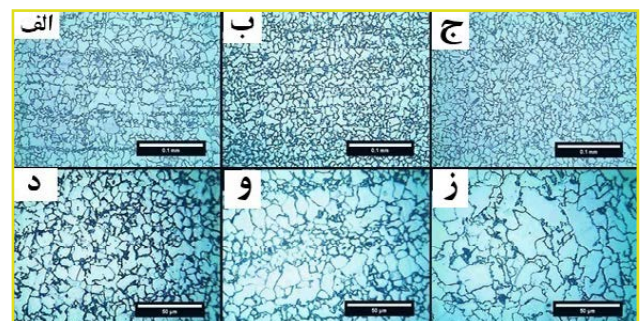


شکل (۳): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.2. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.

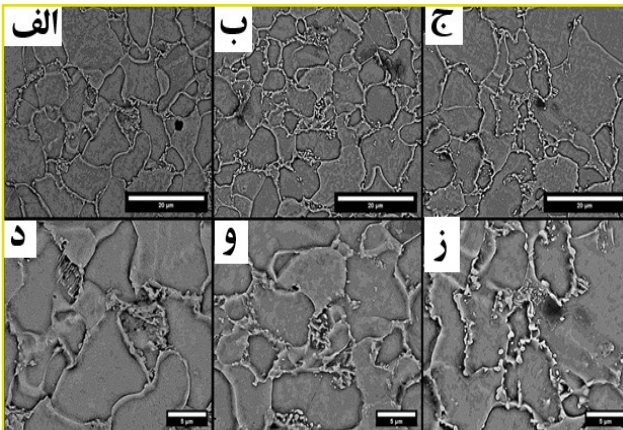
در شکل (۴)، تصاویر ریزساختار نمونه P.3 حاصل از میکروسکوپ نوری، نشان داده شده‌است. براساس تصاویر، ریزساختار شامل فاز روشن فریت و فاز تیره پرلیت است. با توجه به شکل (۴-ز)، پرلیت‌های موجود در این ریزساختار خشن‌تر هستند و لایه‌های سمنتیت موجود در پرلیت، قابل مشاهده‌اند. علاوه‌بر آن، لازم به ذکر است که کشیدگی در دانه‌ها و جهت‌گیری فاز پرلیت نیز در ساختار وجود دارد، این امر نشان‌دهنده پدیده باندینگ در لوله مورد بررسی است.

▣ بررسی به‌وسیله میکروسکوپ نوری

به‌منظور بررسی ریزساختار فولاد، از سه ناحیه ابتدا، اواسط و انتهای هر لوله، نمونه‌هایی تهیه شد. در شکل (۲) تصاویر حاصل از ریزساختار نمونه P.1 نشان داده شده‌است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار شامل فاز پیوسته فریت به همراه مقدار اندکی فاز پرلیت است. فاز فریت به‌صورت رنگ روشن و فاز پرلیت به‌صورت رنگ تیره در ریزساختار وجود دارد. همان‌طور که نشان داده شده‌است، در برخی از نواحی لوله، تجزیه پرلیت صورت گرفته است و درصد فاز پرلیت در ریزساختار کاهش یافته است. علاوه‌بر آن، در ساختار، کشیدگی‌هایی وجود دارد که این موارد مشخص‌کننده فرآیند تولید و یا انجام کار مکانیکی روی لوله‌ها است. این پدیده با عنوان باندینگ شناخته می‌شود.

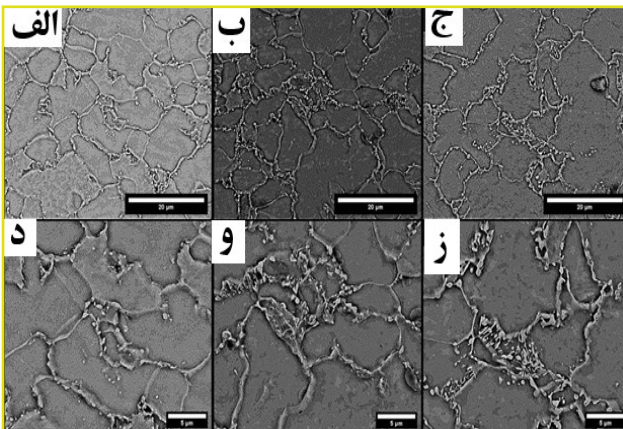


شکل (۲): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.1. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.



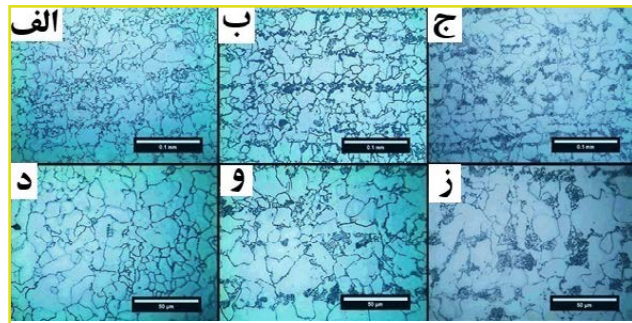
شکل (۶): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.1. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

در شکل (۷)، تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.2 نشان داده شده است. براساس تصاویر، ریزساختار شامل دو فاز فریت و پرلیت بوده که سمنتیت موجود در پرلیت در برخی نواحی، از حالت سوزنی شکل خارج شده و به صورت کروی شکل در آمده است.



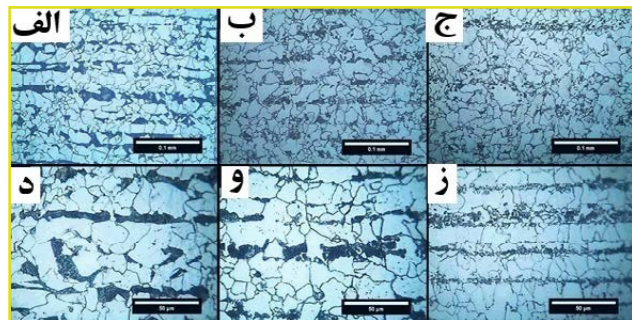
شکل (۷): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.2. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

در شکل (۸)، تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.3 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، تجزیه پرلیت به خوبی نشان داده شده است. در این نمونه، سمنتیت موجود در پرلیت دیگر به صورت سوزنی شکل نبوده و به صورت کروی شکل در آمده‌اند.



شکل (۴): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.3. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.

در شکل (۵)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی حاصل از ریزساختار نمونه P.4 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار شامل فاز فریت به عنوان فاز پیوسته و پرلیت به صورت کشیده است. کشیدگی در ساختار به خوبی قابل مشاهده است و می‌تواند به دلیل انجام کار مکانیکی باشد. علاوه بر آن، پرلیت موجود در ریزساختار به صورت کلونی‌های درشت دانه وجود دارند.



شکل (۵): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.4. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.

■ بررسی به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی

در راستای بررسی ریزساختار، نمونه‌هایی از نواحی ابتدا، وسط و انتهای هر لوله با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل (۶) تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.1 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار شامل فریت و پرلیت بوده و تجزیه پرلیت نیز به خوبی قابل مشاهده است.

کشش در دمای محیط برای نمونه P.1 در جدول (۶) نشان داده شده است. براساس استاندارد مربوط به خواص مکانیکی ASTM A106 grade B، خواص کششی نمونه‌ها با الزامات استاندارد مدنظر مطابقت دارد.

جدول (۶): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.1.

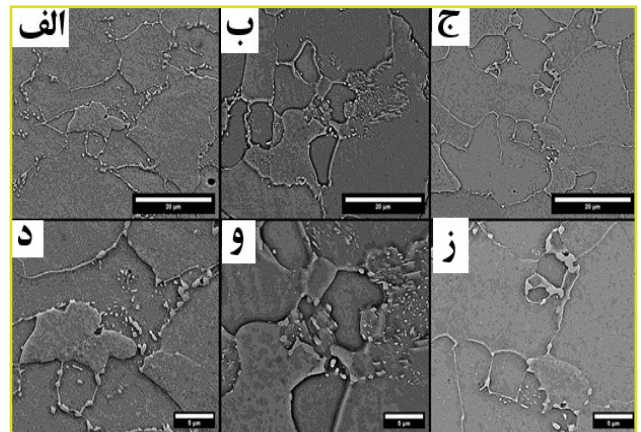
آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع (درصد)	ازدیاد طول (درصد)	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.11	۶/۲۳	۲۵/۰۱	۷۲/۵	۲۴/۷	۴۰۰	۵۱۹
P.12	۶/۲۴	۲۴/۸۳	۷۵/۶	۲۷/۹	۳۶۶	۵۲۷
P.13	۶/۲۴	۲۴/۸۳	۷۲/۹	۲۶/۷	۳۶۴	۵۰۹
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

در جدول (۷) نتایج حاصل برای آزمون کشش در دمای محیط برای سه نمونه لوله P.2 نشان داده شده است. به طور کلی می‌توان گفت در این لوله نسبت به لوله P.1 خواص مکانیکی کاهش پیدا کرده است، با این وجود در این لوله نیز خواص کششی، با الزامات استاندارد مدنظر مطابقت دارد.

جدول (۷): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.2.

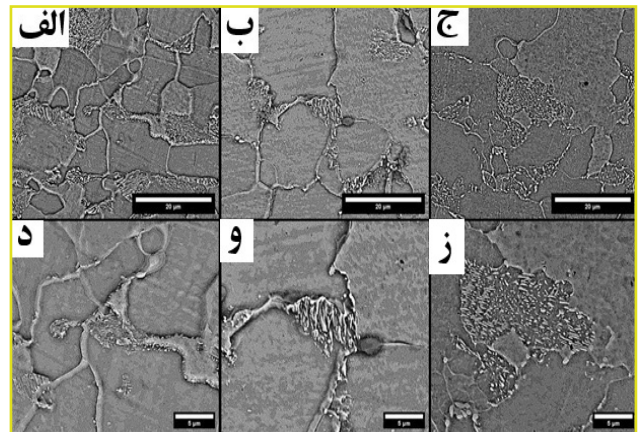
آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع	ازدیاد طول	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.21	۶/۲۸	۲۵/۰۲	۷۷/۶	۲۵/۸	۴۰۵	۴۹۵
P.22	۶/۲۷	۲۵/۰۱	۷۳/۲	۲۶/۴	۳۹۴	۵۱۴
P.33	۶/۲۷	۲۵/۱۰	۷۲/۳	۲۷/۳	۳۲۸	۵۱۰
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

در جدول (۸)، نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.3 نشان داده شده است. براساس نتایج در این نمونه، خواص کششی از دو لوله قبلی کمتر است. در این لوله نیز خواص کششی به دست آمده با الزامات استاندارد مدنظر مطابقت دارد.



شکل (۸): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی رویشی از نواحی مختلف نمونه P.3. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

در شکل (۹)، تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی رویشی از نواحی مختلف نمونه P.4 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار، فریت و پرلیت است که سمنتیت سوزنی در ریزساختار به صورت واضح قابل مشاهده است. علاوه بر آن در شکل (۹-و) برخی فازهای ثانویه نیز مشاهده می‌شوند که می‌توانند مربوط به آخال‌هایی باشند که در فرآیند ساخت و تولید در ریزساختار ایجاد شده‌اند.



شکل (۹): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی رویشی از نواحی مختلف نمونه P.4. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

■ کشش در دمای محیط

به منظور بررسی خواص مکانیکی لوله‌ها، از هر کدام از لوله‌ها، سه نمونه از ابتدا (۱)، وسط (۲) و انتها (۳) به منظور آزمون کشش در دمای محیط تهیه شد. نتایج حاصل از آزمون

جدول (۱۰): نتایج آزمون کشش برای نمونه‌ها در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد.

آزمون کشش در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد						
مشخصه نمونه	ابعاد نمونه (میلیمتر در میلیمتر)	طول گیج (میلیمتر)	S0 سطح مقطع (میلیمتر مربع)	افزایش طول (درصد)	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.1	۵/۵۹ × ۶/۲۴	۲۵	۳۴/۸۸	۴۱	۳۰۵	۴۲۲
P.2	۵/۵۷ × ۶/۲۸	۲۵	۳۴/۹۸	۳۷	۲۹۵	۴۱۸
P.3	۵/۶۰ × ۶/۱۸	۲۵	۳۴/۶۱	۳۶	۲۸۶	۴۰۴
P.4	۵۸/۵ × ۲۵/۶	۲۵	۳۴/۸۸	۳۳	۳۱۷	۴۲۴

جدول (۸): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.3.

آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع	ازدباده طول	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.31	۸/۳۸	۴۹/۸۰	۷۰/۱	۳۲/۲	۲۹۶	۴۳۴
P.32	۸/۷۴	۴۹/۸۰	۶۹/۳	۳۲/۴	۳۱۵	۴۴۵
P.33	۸/۸۲	۴۹/۸۰	۶۹/۴	۳۴/۱	۳۰۷	۴۵۲
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

در جدول (۹)، نتایج حاصل از آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.4 نشان داده شده است. خواص کششی به دست آمده در این نمونه از خواص مکانیکی حاصل از نمونه P.3 بیشتر است ولی نسبت به دو نمونه P.1 و P.2 کمتر است. با وجود کاهش شدید در خواص کششی این نمونه، مقادیر گزارش شده با الزامات استاندارد مورد نظر مطابقت دارد و از لحاظ خواص مکانیکی مورد تایید است.

جدول (۹): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.4.

آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع	ازدباده طول	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.41	۸/۸۴	۴۹/۸۰	۶۶/۰	۳۶/۴	۳۱۹	۴۶۱
P.42	۸/۶۸	۴۹/۷۳	۶۷/۴	۳۴/۴	۳۳۸	۴۷۰
P.43	۸/۵۷	۵۰/۳۰	۶۷/۸	۳۳/۸	۳۳۹	۴۶۷
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

□ ماکروسختی

در راستای بررسی سختی لوله‌های مورد مطالعه، آزمون ماکروسختی براساس استاندارد ASTM E10 روی سه ناحیه نمونه‌ها صورت گرفت و نتایج حاصل از آن در جدول (۱۱) ارائه شد. از هر لوله از سه ناحیه ابتدایی، وسط و انتهایی، نمونه‌هایی تهیه شد و روی سطح بیرونی، مرکز و سطح داخلی، آزمون ماکروسختی صورت گرفت. براساس نتایج حاصل شده، میانگین سختی نمونه‌ها بین ۱۳۶ تا ۱۴۹ برینل گزارش شد که کمترین مقدار سختی مربوط به سطح داخلی انتهایی لوله شماره چهار بوده است.

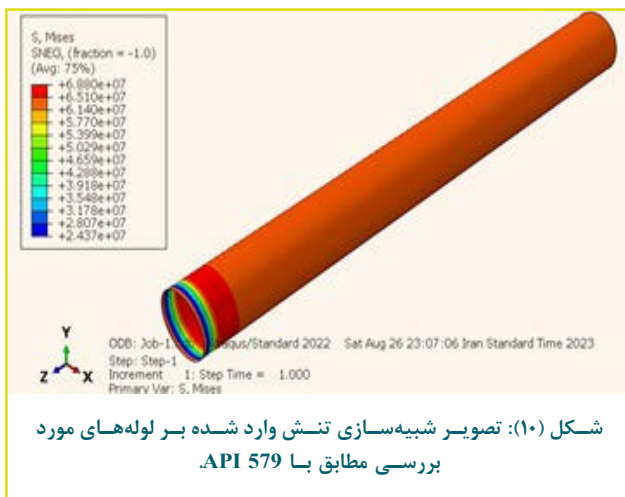
جدول (۱۱): نتایج حاصل از آزمون ماکروسختی روی نمونه‌ها در سه ناحیه ابتدایی (Zone 1)، وسط (Zone 2) و انتهایی (Zone 3).

سختی سنجی ماکروسکوپی نمونه‌ها												
موقعیت	AVG Hardness of P1			AVG Hardness of P2			AVG Hardness of P3			AVG Hardness of P4		
	P11	P12	P13	P21	P22	P23	P31	P32	P33	P41	P42	P43
سطح خارجی	۱۴۲	۱۴۱	۱۴۰	۱۴۲	۱۳۹	۱۳۹	۱۴۰	۱۴۲	۱۴۶	۱۴۹	۱۴۴	۱۴۶
مرکز	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۵	۱۴۷	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۳	۱۴۹	۱۴۹	۱۴۶	۱۴۶
سطح داخلی	۱۴۳	۱۴۰	۱۳۹	۱۴۱	۱۴۴	۱۴۶	۱۳۹	۱۴۱	۱۴۵	۱۴۸	۱۴۵	۱۳۶

□ کشش در دمای بالا

به منظور بررسی خواص مکانیکی در دمای بالا، آزمون کشش در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد که نزدیک به دمای سرویس‌دهی نمونه است، صورت گرفت. در جدول (۱۰) نتایج حاصل از این آزمون نشان داده شده است. بیشترین استحکام تسلیم و استحکام کششی مربوط به لوله P.4 بوده و کمترین مقادیر نیز مربوط به لوله P.3 است.

کشش در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، استحکام تسلیم تمامی لوله‌ها در حدود ۳۰۰ مگاپاسکال گزارش شده‌است. بنابراین، تنش وارد شده خیلی کمتر از تنش تسلیم است و لوله‌های مورد بررسی تا ۷ سال آینده با ضخامت ۷/۱۹ اثرات مخرب و ناگهانی نخواهند داشت و شرایط سرویس‌دهی در آن‌ها از ضریب اطمینان خوبی برخوردار است. در شکل (۱۰)، تنش محاسبه شده از طریق شبیه‌سازی مطابق با استاندارد API 579 [۱۸] نشان داده شده‌است. براساس نتایج، تنش محاسبه شده برابر با ۶۸ مگاپاسکال خواهد بود.



شکل (۱۰): تصویر شبیه‌سازی تنش وارد شده بر لوله‌های مورد بررسی مطابق با API 579.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی و تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B پرداخته شده‌است. نتایج حاصل از این بررسی عبارتند از:

- ضخامت لوله‌ها نسبت به شرایط استاندارد، ۸/۵۶ میلی‌متر، کاهش قابل ملاحظه‌ای نداشته و کمترین ضخامت اندازه‌گیری شده برابر ۸/۱ میلی‌متر است.
- ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی مطابق با ASTM A106 grade B است.

- ریزساختار نمونه‌های مورد بررسی به صورت فریت - پرلیت است.

- لوله‌های مورد بررسی از نظر خواص کششی با الزامات ASTM A106 مطابقت داشتند.

- استحکام تسلیم لوله‌های مذکور در دمای ۲۵۰ به‌طور تقریبی، ۳۰۰ مگاپاسکال بود که نسبت به شرایط عملیاتی حاضر برای ۷ سال آینده دارای ضریب اطمینان ۴/۹۹ است.

- سختی لوله‌های مورد بررسی بین ۱۳۶ تا ۱۴۹ برینل است.

با توجه به بررسی‌های آزمایشگاهی، محاسبات و شبیه‌سازی انجام شده، نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد بررسی برای ۷ سال آینده از شرایط خوبی برای بهره‌برداری برخوردار هستند و پیشنهاد می‌شود نمونه‌های مورد بررسی پس از ۷ سال مورد ارزیابی مجدد قرار گیرند.

بحث و بررسی

به‌منظور تخمین عمر باقیمانده در لوله‌های ASTM A106 grade B به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی، نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده، مورد مقایسه قرار گرفت. یکی از پدیده‌های مخربی که در صنایع گوناگون منجر به تخریب قطعات می‌شود، پدیده خوردگی است [۱۴]. بر همین اساس، با استفاده از نرخ خوردگی و شبیه‌سازی می‌توان به اطلاعات مناسبی به‌منظور تنش‌های وارد بر لوله دست پیدا کرد. با در نظر گرفتن مدت زمان سرویس‌دهی لوله‌ها که ۷ سال بوده است، در طول مدت ذکر شده، با وجود اینکه کاهش ضخامت آنچنانی در نمونه مشاهده نشده‌است، طبق استاندارد API 570 [۱۵] و API 510 [۱۶] نرخ خوردگی براساس رابطه (۱) قابل اندازه‌گیری است:

$$\text{Corrosion Rate Long Time} = \frac{t(\text{nom}) - t(\text{act})}{I} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن:

$t(\text{nom})$: ضخامت اولیه، $t(\text{act})$: ضخامت فعلی و I : مدت‌زمان مورد بازرسی است.

لازم به ذکر است، به‌منظور کاهش خطر، حداقل ضخامت اندازه‌گیری شده در رابطه (۱) قرار گرفت. براساس محاسبات انجام شده، نرخ خوردگی ۰/۰۶۵ میلی‌متر بر سال گزارش شد. با استفاده از رابطه (۲)، ضخامت حاصل برای ۷ سال آینده نیز محاسبه شد.

$$t(\text{proj}) = t(\text{act}) - 2\text{Crate} \times I \quad (2) \text{ رابطه}$$

براساس رابطه (۲)، ضخامت برای ۷ سال آینده در حدود ۷/۱۹ میلی‌متر است.

براساس API 530 [۱۷] میزان تنش وارد بر لوله‌ها از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$\sigma = \frac{P}{2[(D/t)-1]} \quad (3) \text{ رابطه}$$

که در آن:

σ : تنش وارد بر لوله‌ها برحسب مگاپاسکال، P : فشار کاری براساس مگاپاسکال، D : قطر خارجی و t : ضخامت براساس میلی‌متر است.

با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱/۵ برای طراحی و با توجه به ضخامت به‌دست آمده برای ۷ سال آینده، با استفاده از رابطه (۴)، ضریب اطمینان حاصل می‌شود:

$$\text{CF} = YS/\sigma_{\text{mod}} = 300/60.07 = 4.99 \quad (4) \text{ رابطه}$$

براساس رابطه‌های (۳) و (۴)، در ۷ سال آینده، ضخامت در حدود ۷/۱۹ میلی‌متر خواهد شد که تنش وارده بر آن حدود ۶۰/۰۷ مگاپاسکال است. براساس نتایج حاصل از آزمون

1. The Check-Line TI-25LT Ultrasonic Steel Thickness Gauge

- [1] C.-H. Chien and C.-H. Chen, "Using Statistic Method to Calculating and Monitoring the Corrosion Rate of Petroleum Process Piping," in ASME Pressure Vessels and Piping Conference, 2006, vol. 47578, pp. 261-269
- [2] C.-H. Chien and C.-H. Chen, "Applying statistical methodology to monitor the piping conditions in petroleum process," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 21, no. 4, pp. 450-460, 2008
- [3] N. V. Baby, B. Paricha, and S. J. Naik, "Determination of Corrosion rates and remaining life of piping using API and ASME standards in oil and gas industries," International Research Journal of Engineering and Technology, vol. 3, pp. 772-777, 2016
- [4] A. Antono, A. Irawan, and B. Munir, "The failure analysis of a leak-off oil pipe ASTM A106 on compact separator at an off-shore facility," in AIP Conference Proceedings, 2021, vol. 2338, no. 1: AIP Publishing
- [5] S. Nasrazadani, M. A. Akhtar, A. Patel, and C. Ezell, "Failure analysis of API 5L (grade B) oil field separator flowline pipe," Journal of Failure Analysis and Prevention, vol. 18, pp. 721-726, 2018
- [6] S. Tavares et al., "Investigation of the failure in a pipe of produced water from an oil separator due to internal localized corrosion," Engineering Failure Analysis, vol. 61, pp. 100-107, 2016.
- [7] C. N. Peroni et al., "ASTM A106/A53 Gr. B Carbon Steel Seamless Pipe," Clinics, vol. 67, no. 3, pp. 265-272, 2012
- [8] A. Standard, "E415-14: Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry," ASTM International, 2014.
- [9] ASTM Standard E3-11, Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens
- [10] ASTM E407-07, Standard Practice for Microetching Metals and Alloys
- [11] ASTM A370, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- [12] ASTM E8/E8M, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- [13] ASTM E10, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials
- [14] I. S. Cole, P. Corrigan, S. Sim, and N. Birbilis, "Corrosion of pipelines used for CO2 transport in CCS: Is it a real problem?," International Journal of Greenhouse Gas Control, vol. 5, no. 4, pp. 749-756, 2011.
- [15] API 570, Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems
- [16] API 510, Pressure Vessel Inspection Code
- [17] API 530, Calculation of Heater-tube Thickness in Petroleum Refineries
- [18] API 579-1/ASME FFS-1, Fitness-For-Service.

نویسندگان

حسین محمدی^{*۱}بنیامین پیری^۱، مازیار نادر اصلی^۲

۱. کارشناس خوردگی شرکت آزمون فولاد

۲. مدیر بازرسی فنی شرکت آزمون فولاد

* Hosseinmohammadi528@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

واژه‌های کلیدی

آنالیز تخریب، تنش‌های پسماند، فرآیند جوشکاری، اتصالات زانویی.

بررسی و شبیه‌سازی آنالیز تخریب زانویی ۹۰ درجه

چکیده

در این تحقیق، تخریب زانویی یک خط لوله گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار به زاویه ۹۰ درجه مورد مطالعه قرار گرفت. این قطعه، با وجود اینکه در شرایط عملیاتی قرار نگرفته اما پس از عملیات جوشکاری، ترک طولی در قطعه ایجاد شده‌است. به‌منظور شناسایی عوامل تخریب زانویی، آزمایش‌هایی از قبیل شکست‌نگاری و بررسی ساختار ماکروسکوپی ترک، تحلیل ترکیب شیمیایی با استفاده از آزمون کوانتومتری، میکروسکوپ نوری^۱، میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲، طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس^۳، آزمون ماکروسختی و همچنین آزمون کشش در دمای محیط انجام شد. براساس تحلیل نتایج و مدل‌سازی‌های انجام شده بر زانویی، عامل اساسی ایجاد ترک، مربوط به مشکلات مراحل ساخت و تنش‌های پسماند ناشی از عملیات جوشکاری است. افزایش میزان سختی در نزدیکی ترک، نشان‌دهنده تأثیر تنش‌های پسماند بر ریزساختار قطعه در طی عملیات جوشکاری است. همچنین این امر موجب کاهش استحکام مکانیکی به‌صورت موضعی شده‌است. بر همین اساس، آخال‌ها، نقاط ضعف ریزساختاری و ترک‌های میکروسکوپی در تصاویر حاصل از میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی روبشی مشاهده شد. در نتیجه می‌توان گفت، قطعه مورد بررسی، در اثر فرآیند جوشکاری حساس شده و در معرض تنش‌های پسماند قرار گرفته است.

جوشکاری، به‌عنوان یکی از روش‌های گسترده برای اتصال انواع مختلف مواد از اهمیت بالایی برخوردار است. اتصالات جوشکاری لوله و اتصالات لوله - پره در انواع مختلفی از کاربردهای فنی از قبیل نیروگاه‌های حرارتی، تأسیسات شیمیایی و صنایع نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱ تا ۳]. عملیات حرارتی پیش و پس از جوشکاری، ترکیب شیمیایی، توزیع اندازه دانه‌ها و عوامل گوناگون فرآیند جوشکاری، به‌عنوان عوامل کلیدی در جوشکاری شناخته می‌شوند که اثرات قابل توجهی بر کیفیت جوشکاری دارند [۴ و ۵]. مهم‌ترین روش‌های جوشکاری شامل جوشکاری قوسی با گاز محافظ^۴ یا جوشکاری با استفاده از گاز محافظ بی‌اثر^۵، جوشکاری قوسی فلز پوشش‌دار^۶، جوشکاری قوس تنگستن^۷ که به‌عنوان جوشکاری گاز تنگستن^۸ نیز شناخته می‌شود، جوشکاری قوس زیرپودری^۹، جوش سربار الکتریکی^{۱۰}، جوشکاری قوس الکتریکی با سیم توپودری مصرفی^{۱۱}، جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی^{۱۲} و جوشکاری اکسی - استیلن^{۱۳} هستند [۶ تا ۸]. در صنایع نفت و گاز، به‌منظور اتصال لوله‌های بلند، از قطعاتی چون زانویی‌ها یا فلنج‌ها بهره می‌برند [۹ و ۱۰]. بدین منظور، استفاده از فولادهای کربنی به دلیل هزینه کم، دسترسی و استحکام قابل قبول به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱ و ۱۲]. در دهه‌های اخیر، ترک‌های شکننده در اتصالات و فلنج‌ها، در صنایع قدیمی و تازه تأسیس گزارش شده‌است [۱۳]. در این راستا، مطالعات مختلفی به‌منظور بررسی علل اصلی تخریب اتصالات یک سیستم لوله‌کشی مانند اتصالات بین لوله‌ها و زانویی یا فلنج‌ها، صورت گرفته است. الحمید و همکاران

[۱۴] به بررسی علت شکست بین فولاد کربنی و زانویی فولاد زنگ‌نزن AISI 304 پرداختند. براساس نتایج حاصل شده، علت شکست، تشکیل یک ساختار مارتنزیتی موضعی با سختی بالا در ریزساختار است، در حالی که وجود یک لایه کربوره شده غنی از هیدروژن، تشکیل ترک و اشاعه آن را تسهیل می‌کند. جیانگ و همکاران [۱۵] علت نشستی ناحیه جوش بین زانویی و لوله‌های مستقیم اتصال ورودی پمپ خلأ با مخزن را مورد ارزیابی قرار دادند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، اندازه دانه در لوله مستقیم به‌طور قابل توجهی کمتر از اندازه دانه در سمت زانویی است. براساس پیشنهادهای ارائه شده، عدم تطابق اندازه دانه، منجر به تشکیل ترک و اشاعه آن و در نهایت، شکست در سمت زانویی می‌شود. تنش‌های پسماند و تشکیل آخال‌ها [۱۶ و ۱۷]، خوردگی حفره‌ای/اسایشی [۱۸ و ۱۹]، شکست هیدروژن [۲۰]، ترک خوردگی ناشی از خوردگی تنش‌سولفیدی [۲۱]، خوردگی موضعی [۲۲] و خستگی [۲۳ و ۲۴] از علل اصلی تخریب در اتصالات لوله و دیگر اتصالات است. اجزایی که در معرض فرآیند جوشکاری هستند، دارای تنش‌های باقیمانده بوده که ناشی از انقباض‌های غیریکنواختی است که به دلیل انجماد ناهمگن فلز جوش در دمای محیط ایجاد می‌شوند [۲۵ و ۲۶]. عواملی چون ویژگی ماده پرکننده و پایه شامل خواص مکانیکی و فیزیکی و عوامل جوشکاری شامل هندسه، ضخامت و نوع اتصال، بر تنش‌های باقیمانده تأثیر به‌سزایی دارند. علاوه بر این، عوامل مؤثر بر فرآیندهای جوشکاری مانند حرارت ورودی، سرعت حرکت قوس، جریان جوشکاری و ولتاژ، بر تنش‌های باقیمانده موجود تأثیرگذاری بالایی دارند [۲۷ تا ۲۹]. تنش‌های باقیمانده باید در بررسی سازه‌ها، برای اجزای مهمی چون اتصالات جوشکاری مدنظر قرار گیرند. به‌عبارت دیگر، ارزیابی و تخمین تنش‌های باقیمانده جوشکاری، امری بسیار حیاتی در سازه‌ها است [۳۰ و ۳۱]. با پیشرفت شبیه‌سازی کامپیوتری، روش‌های مدل‌سازی عددی بر مبنای روش عنصر محدود^{۱۴} برای پیش‌بینی تنش‌های باقیمانده جوشکاری از اهمیت بالایی برخوردار هستند [۳۲ تا ۳۴]. بسیاری از مطالعات، به دلیل پیشرفت‌های قابل توجه در محاسبات نرم‌افزارهای تجاری مانند ای‌بی‌ای کیواس^{۱۵}، آنسیس^{۱۶} و سیس‌ولد^{۱۷}، برای ارزیابی تنش‌های باقیمانده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۴ تا ۳۶].

در این مطالعه به بررسی علل ریشه‌ای شکست زودرس در اتصالات جوشکاری بین لوله ASTM A106 و زانویی ASTM A105 پرداخته شده‌است. به همین منظور، ریزساختار، خواص مکانیکی، مورفولوژی شکست و منطقه‌ای که ترک در آن شکل گرفته و گسترش پیدا کرده، مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. همچنین، توزیع تنش‌های باقیمانده در منطقه اتصال، با شبیه‌سازی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن این موضوع که تعمیر و تعویض اتصالات تخریب شده، زمان‌بر و پرهزینه است، شناخت دقیق علل این نوع تخریب در یک سیستم لوله‌کشی، امری حیاتی برشمرده می‌شود. همچنین درک علل تخریب، می‌تواند منجر به پیشگیری از وقوع شکست‌های مشابه در صنایع گوناگون شود.

مواد و روش‌ها

حاصل در جدول (۱)، با ترکیب شیمیایی استاندارد این نوع فولاد، مقایسه شده‌است. خواص مکانیکی زانویی، با توجه به استاندارد مربوط، در جدول (۲) ارائه شده‌است. در ابتدا از دو ناحیه مختلف زانویی تخریب شده، ناحیه تخریب شده و ناحیه مجاور، نمونه‌هایی به ابعاد ۱ cm × ۱ cm برش داده شد و سپس به‌منظور بررسی سطح مقطع، طبق استاندارد ASTM E3-11، عملیات سنباده‌زنی و پولیش انجام شد.

در این پژوهش به‌منظور بررسی سازوکار تخریب موجود در زانویی، از آزمون‌های متالورژیکی استفاده شد. زانویی مورد مطالعه از جنس فولاد ASTM A105 است که تعیین ترکیب شیمیایی با استفاده از آزمون کوانتومتری صورت گرفت و نتایج

جدول (۱): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.1.

عناصر	کربن	سیلیسیم	منگنز	فسفر	گوگرد	کروم	مولیبدن	نیکل
درصد وزنی %	۰/۱۵۷	۰/۲۸۵	۰/۷	۰/۰۲۲۸	۰/۰۱۶۰	۰/۰۸۵۲	۰/۰۰۹۹	۰/۰۶۲۵
عناصر	آلومینیوم	تنگستن	مس	نیوبیوم	تیتانیوم	وانادیوم	کبالت	آهن
درصد وزنی %	۰/۰۱۰۶	۰/۰۳۲۱	۰/۰۴۲۳	۰/۰۱۸۵	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۷۶	باقیمانده

جدول (۲): خواص مکانیکی مواد ASTM A105.

psi ۷۰۰۰۰	استحکام نهایی (psi) دقیقه
psi ۳۶۰۰۰	تنش تسلیم (psi) دقیقه
۲۲ درصد	(درصد) ازدیاد طول در ۲ دقیقه
۳۰ درصد	(درصد) کاهش سطح مقطع دقیقه
۱۸۷	سختی برینل (BHN)

بررسی‌های ریزساختاری

(p): چگالی (گرم بر میلی‌متر مکعب)، (cp): ظرفیت گرمایی خاص (ژول بر گرم بر کیلوگرم بر کلوین)، (λ): هدایت حرارتی (ژول بر میلی‌متر بر ثانیه بر کلوین)، (T): دما (کلوین)، (t): زمان (ثانیه)، (∇): عملکرد گرادیان و (qarc): چگالی انرژی منبع حرارتی (ژول بر میلی‌متر مکعب) است.

همچنین، انتقال حرارت مدل/محیط با استفاده از قوانین انتقال حرارت نیوتن (معادله (۲))، برای انتقال حرارت از طریق همراهی و قوانین اشعه‌ای استفان-بولتزمان (معادله (۳)) توصیف شده‌است.

$$q_c = a_c (T - T_0) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$q_r = eC_0 (T^4 - T_0^4) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آنها:

(ac): ضریب انتقال حرارت همراهی ($J \cdot mm^2 \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}$)، (e): امیسیون فولاد، (C_0): ثابت استفان-بولتزمان ($J \cdot mm^{-2} \cdot s^{-1} \cdot K^{-4}$) و (T_0): دمای محیط (K) هستند. تعداد دیگری عوامل و نمادها در متن آورده شده‌اند که می‌توان به ضریب تغییر مجموعه تنش هر نقطه مواد در فرآیند جوشکاری، اشاره کرد. تعدادی از نرخ‌های تغییر کلی تنش در هر نقطه مواد در فرآیند جوشکاری، در رابطه (۴) نشان داده شده‌است.

$$\varepsilon = \varepsilon_{cp} + \varepsilon_{th} + \varepsilon_e + \varepsilon_{tp} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن:

(ε_{cp}): نرخ تغییر پلاستیک کلاسیک، (ε_{th}): نرخ تغییر گرمایی، (ε_e): نرخ تغییر الاستیک و (ε_{tp}): نرخ تغییر پلاستیک ناشی از تبدیل است. علاوه بر این، قابل ذکر است، در نرم‌افزار سیس‌ولد، مقاومت تسلیم یک ریزساختار فاز مختلط، به‌عنوان مقدار متوسط فازها، در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱) مدل FE حاصل از جوش و مش در نزدیکی ناحیه جوش نشان داده شده‌است.

نتایج و بحث

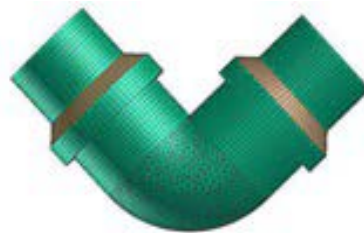
مشاهدات بصری

به‌منظور مشاهدات بصری، شکست‌نگاری^{۲۳} با استفاده از روش استریوگرافی از نمونه مورد مطالعه انجام شد که در شکل (۲) تصاویر حاصل، نشان داده شده‌است. براساس تصاویر گرفته شده، ترک به‌صورت طولی رشد نموده و شیار ایجاد شده در بین ترک، با محصولات خوردگی پوشانده شده‌است. سطح خارجی ترک، دارای ظاهری خشن است که یکی از مشخصه‌های اصلی ترک خوردگی تنش^{۲۴} است. با این وجود، به دلیل عدم بکارگیری قطعه در شرایط سرویس‌دهی و در نتیجه، عدم تماس با محیط خورنده، که یکی از الزامات ترک خوردگی تنش است، در نظر گرفتن این پدیده به‌عنوان سازوکار شکست در زانویی، غیرقابل قبول است. ابتدا و

در ابتدا نمونه‌های جوشکاری شده، برای بررسی‌های ریزساختاری و انجام آزمون سختی‌سنجی، با استفاده از وایرکات، به‌منظور جلوگیری از تغییر ریزساختار، در ابعاد $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ برش داده شدند. سپس نمونه‌ها در معرض فرآیند سنباده قرار گرفته و در ادامه، عملیات پولیش کاری روی آنها صورت گرفت. سپس از محلول نایتال دو درصد، به‌منظور عملیات اچ کردن نمونه زانویی ناحیه جوش، برای بررسی‌های ریزساختاری استفاده شد. در راستای مشاهده ریزساختار نمونه‌های اچ شده، از میکروسکوپ نوری مدل Nikon Epiphot300 و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips XL30 مجهز به EDS silicon Drift 2017 استفاده شد.

شبیه‌سازی عددی

توزیع تنش‌های باقیمانده در اتصال جوشکاری به‌صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار سیس‌ولد مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده‌است، یک مدل عنصر محدود سه‌بعدی، براساس ابعاد واقعی اتصال جوشکاری، توسعه داده شد. علاوه بر این، برای اتصال جوشکاری، سه مرتبه جوشکاری با شرایط واقعی در نظر گرفته شد. این مدل شامل $46,098$ عنصر مکعبی و $54,175$ گره ساختاری بود. این امر به این دلیل دارای اهمیت است که عناصر، در مناطق جوشکاری و مناطق نزدیک به آن، به دقت تنظیم شده‌اند تا تعادلی مناسب، بین دقت شبیه‌سازی و کارایی محاسباتی حاصل شود.



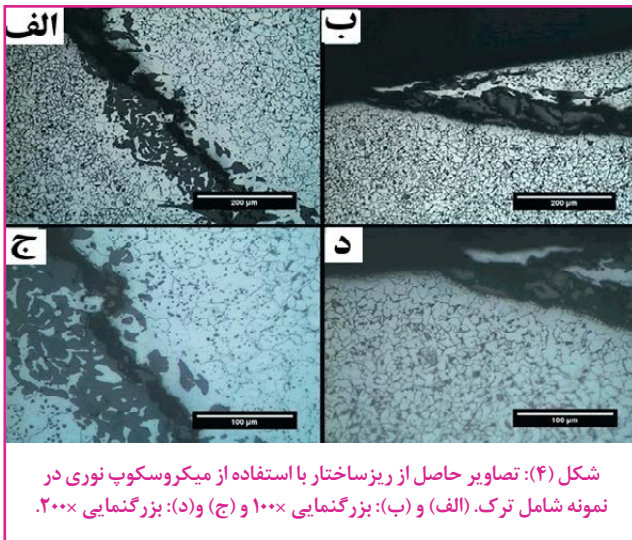
شکل (۱): مدل FE از جوش و مش در نزدیکی ناحیه جوش.

به‌منظور بررسی اثرات متالورژیک، معادلات کونیتاک^{۱۸} و اکادا^{۱۹} [۳۷]، لبلند-دیوکس^{۲۰} [۳۸] و کوپستینن-ماربرگر^{۲۱} [۳۹] به کار گرفته شدند. علاوه بر این، یک تابع توزیع چگالی توان دوگانه الیپسوییدی، ارائه شده توسط گلداک^{۲۲} و همکاران [۴۰]، برای شبیه‌سازی منبع حرارتی استفاده شد. معادله حاکم بر انتقال گرما در حالت گذرا در رابطه (۱) ارائه شده‌است.

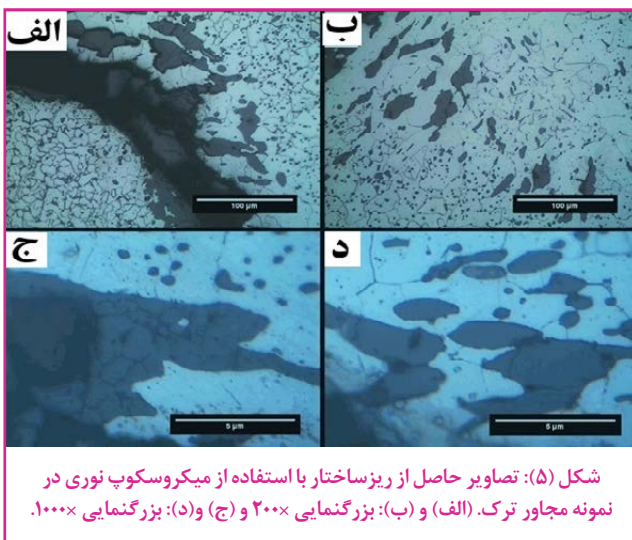
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + \frac{\partial q_{arc}}{\partial t} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:

براساس تصاویر نشان داده شده در شکل‌های (۴) و (۵) که به ریزساختار ترک و ناحیه مجاور آن اشاره می‌کند، ریزساختار شامل فاز فریت (روشن) و پرلیت (تیره) است. ناحیه سیاه رنگ، نشان‌دهنده انتشار ترک در سطح نمونه است که در نواحی اطراف ترک، ریزساختار دکربوره شده و میزان فریت با افزایش روبه‌رو است. نواحی خاکستری رنگ در اطراف ترک نشان‌دهنده رسوبات اکسیدی در نمونه است.



شکل (۴): تصاویر حاصل از ریزساختار با استفاده از میکروسکوپ نوری در نمونه شامل ترک. (الف) و (ب): بزرگنمایی ۱۰۰۰ و (ج) و (د): بزرگنمایی ۲۰۰۰.



شکل (۵): تصاویر حاصل از ریزساختار با استفاده از میکروسکوپ نوری در نمونه مجاور ترک. (الف) و (ب): بزرگنمایی ۲۰۰۰ و (ج) و (د): بزرگنمایی ۱۰۰۰۰.

براساس تصاویر موجود، میکرو ترک‌های متعددی در ریزساختار دیده می‌شود که به صورت بین‌دانه‌ای^{۲۷} در بین دانه‌های زمینه رشد کرده‌اند. همچنین انحلال آندی در نوک ترک مشاهده می‌شود؛ به طوری که محصولات خوردگی حاصل از این میکرو پیل گالوانیک تشکیل شده، باعث اشاعه و رشد میکرو ترک‌ها و همچنین منجر به اشاعه ماکرو ترک طولی و تخریب قطعه، شده است. رشد ترک SCC، به طور عمده با انحلال آندی انجام می‌شود. لازم به ذکر است، سطح شکست، دارای لایه‌های ضخیمی از محصولات خوردگی، حفرات و خوردگی انتخابی است. با این وجود، به دلیل عدم وجود محیط خورنده، در نظر گرفتن ترک خوردگی تنشی در نمونه مورد بررسی مناسب نیست.

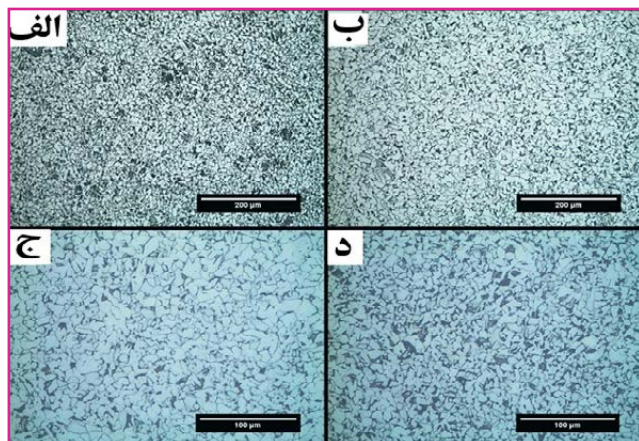
انتهای ترک ایجاد شده به دهانه‌های البو^{۲۵} اشاعه پیدا کرده است که به طور مشخص نواحی متأثر شده از جوشکاری قطعه بوده است. این موضوع نشان‌دهنده وجود تنش‌های اضافی در قطعه است. این تنش‌ها می‌توانند به صورت اعمالی، ناشی از عملیات جوشکاری و یا فرآیند تولید باشند و یا به صورت باقیمانده در قطعه وجود داشته باشند. بر این اساس می‌توان گفت، در حین عملیات جوشکاری باید دو فرآیند پیش گرم و عملیات حرارتی بعد از جوشکاری^{۲۶} به منظور جلوگیری از تنش‌های حرارتی و یا برطرف کردن آنها روی قطعه صورت گیرد. بدین منظور قبل از فرآیند جوشکاری، نمونه، گرم می‌شود تا افزایش دمای ناگهانی، در نمونه صورت نگیرد و تنش‌های حرارتی در آن ایجاد نشود. در فرآیند عملیات حرارتی بعد از جوشکاری، نمونه به منظور برطرف کردن تنش‌های ایجاد شده در حین فرآیند، عملیات حرارتی می‌شود.



شکل (۲): شکست‌نگاری استریوگرافیک از سطح ترک به وجود آمده در نمونه مورد بررسی از نماهای مختلف.

بررسی ریزساختار

به منظور بررسی ریزساختار، تصاویر حاصل از میکروسکوپ نوری در سه ناحیه سالم (شکل (۳))، ناحیه ترک (شکل (۴)) و ناحیه مجاور ترک (شکل (۵)) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳)، در ناحیه سالم و عاری از ترک، ریزساختار شامل فاز فریت (روشن) و پرلیت (تیره) است. در نمونه مورد نظر، است.



شکل (۳): تصاویر حاصل از ریزساختار با استفاده از میکروسکوپ نوری در نمونه عاری از ترک. (الف) و (ب): بزرگنمایی ۱۰۰۰ و (ج) و (د): بزرگنمایی ۲۰۰۰.

آزمون کشش در دمای محیط

مطابق با استاندارد ASTM A370 نمونه آزمون کشش در دمای محیط، تهیه شد که نتایج حاصل از آن و الزامات استاندارد مورد نیاز، در جدول (۴) ارائه شده است. براساس نتایج حاصل شده از آزمون کشش در دمای محیط، خواص کششی نمونه، مطابق با الزامات استاندارد ASTM A105 است.

جدول (۴): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه مورد بررسی.

شماره نمونه	قطر اولیه (mm)	طول اولیه (mm)	کاهش سطح مقطع ^{۲۹} (درصد)	(تغییر طول نسبی (درصد)	Y.P Mpa نقطه تسلیم	U.T.S. Mpa حد اکثر تنش کششی
No 3	۳/۹۵	۱۵/۸۲	۵۸	۲۲	۴۰۶	۵۸۷
حد استاندارد ASTM A105			حداقل ۳۰	حداقل ۲۲	حداقل ۲۵۰	حداقل ۴۸۵

بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

در راستای بررسی سطح شکست، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، سطوح شکست در نمونه مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۶) آنالیز SEM از سطح مقطع ابتدای ترک، نشان داده شده است. پیکان سفید رنگ در شکل (۶-الف)، نشان‌دهنده نواحی آغاز میکروترک‌ها در نمونه است که با هم پیوستن این ترک‌ها، ترک اصلی رشد کرده است. زمینه روشن مربوط به فلز پایه و نواحی خاکستری رنگ، نواحی فازهای ثانویه حاصل از محصولات خوردگی پخش شده در زمینه است (شکل ۶-ج). بررسی خط رشد میکرو ترک‌ها نشان‌دهنده این موضوع است که با افزایش محصولات خوردگی، رشد ترک تسریع پیدا کرده است و مسیر مناسبی برای اشاعه ترک، ایجاد شده است.

عدم وجود و کاهش مقدار پرلیت در اطراف ترک، از دیگر عوامل مؤثر در رشد ترک است. به نظر می‌رسد، فرآیند جوشکاری در قطعه، منجر به نفوذ کربن شده است. همان‌طور که مشخص است، اطراف ترک، دانه‌های فریت بدون وجود پرلیت، در ساختار توزیع شده‌اند. عدم وجود پرلیت، می‌تواند به دلیل تجمع کربن در ناحیه ترک و ایجاد مسیر مستعد برای رشد ترک باشد. وجود تنش‌های حرارتی ناشی از عملیات حرارتی و عدم در نظر گرفتن فرآیند عملیات حرارتی مناسب می‌تواند منجر به چنین تخریب‌هایی در نمونه‌های جوشکاری شده شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر چه به ناحیه مجاور ترک نزدیک می‌شویم، تراکم دانه‌های پرلیت کاهش چشمگیری داشته و به صورت مشخص این موضوع، بر خواص مکانیکی موضعی این ناحیه تأثیر به‌سزایی دارد. با توجه به عدم مشاهده این موضوع در ریزساختار ناحیه سالم (شکل (۳))، به نظر می‌رسد در اثر عملیات جوشکاری و کربن‌زدایی دانه‌های پرلیتی، فعل و انفعالات شیمیایی و ایجاد کاربید ناخواسته در ریزساختار صورت گرفته است.

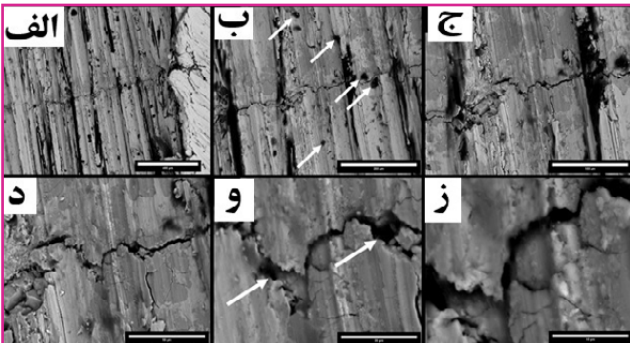
آزمون ماکروسختی

به‌منظور بررسی سختی، آزمون ماکروسختی از مقاطع مختلف نمونه مورد بررسی براساس استاندارد ASTM E10 انجام شد. نتایج حاصل از آزمون ماکروسختی و استاندارد ASTM A105 در جدول (۳) ارائه شده است. سختی‌سنجی به‌صورت سه پروفیل (۸) نقطه‌ای، در سه موقعیت مختلف از قطعه صورت گرفته است. وجود مقادیر بالاتر از حد استاندارد، در جدول (۳)، می‌تواند ناشی از تغییر موضعی خواص ماده در اثر جوشکاری باشد.

جدول (۳): نتایج ماکروسختی روی نمونه مورد بررسی.

سختی‌سنجی (HB 2.5/187.5)								
مشخصه نمونه ^{۲۸}	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴	نقطه ۵	نقطه ۶	نقطه ۷	نقطه ۸
ساعت ۹	۱۳۸	۱۳۹	۱۴۲	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۳	۱۴۲
ساعت ۳	۱۸۵	۱۳۸	۱۳۹	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۱	۱۴۲	۱۴۳
موازی ترک	۲۰۱	۱۷۶	۱۵۷	۱۴۳	۱۴۴	-	-	-
حد استاندارد (ASTM A105 (2021)							Max ۱۸۷	

در شکل (۸)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از اشاعه ترک در نمونه مورد بررسی، در بزرگنمایی‌های مختلف نشان داده شده‌است. طبق ناحیه نشان داده شده در شکل (۸-ب)، علاوه بر میکرو ترک‌ها، میکرو حفرات نیز به صورت پراکنده در سطح وجود دارند، به گونه‌ای که انتهای بعضی از میکرو ترک‌ها به یک میکرو حفره ختم می‌شود (شکل (۸-۹)). علاوه بر آن، آخال‌ها و ناخالصی‌های متعددی، در بین دانه‌های ریزساختار فاز زمینه و ناحیه مجاور ترک مشاهده می‌شود. وجود میکرو ترک‌های موازی و عمود بر ترک اصلی نیز در شکل مشخص شده‌اند.

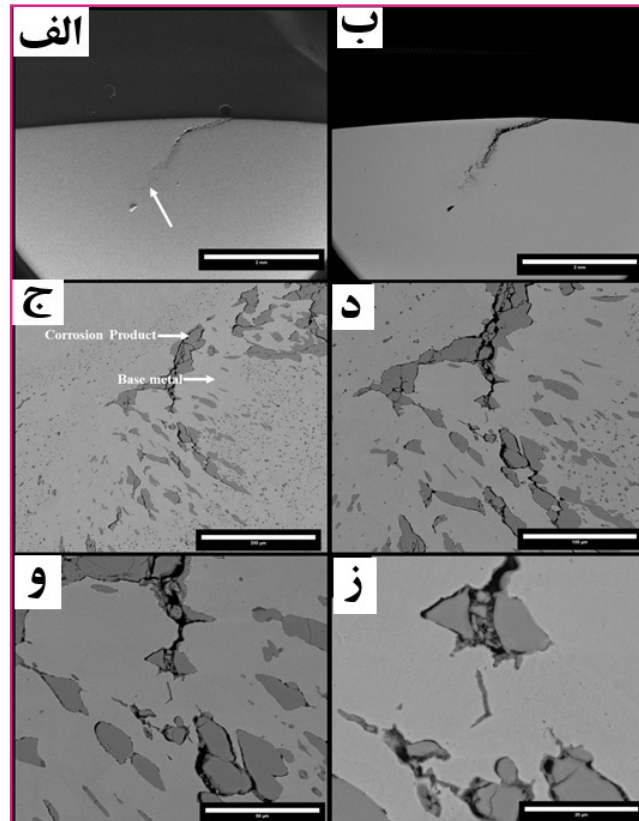


شکل (۸): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از اشاعه ترک در نمونه مورد بررسی.

طیف‌سنجی پراش انرژی اشعه ایکس (EDS)

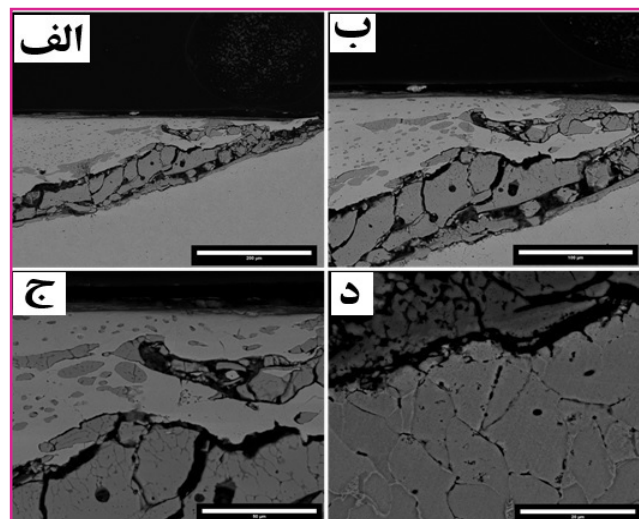
به منظور بررسی ترکیب شیمیایی ایجاد شده در دهانه حفره‌های ایجاد شده در نمونه مورد بررسی، با استفاده از روش EDS مشخصه‌یابی عنصری صورت گرفت. در شکل (۹-الف)، نتایج حاصل از آنالیز EDS نواحی مشخص شده تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، ناحیه شروع ترک نشان داده شده‌است. براساس نتایج نشان داده شده، مقادیر بالای اکسیژن در آنالیز ناحیه ترک و کاهش مقدار آهن نسبت به آنالیز زمینه، نشان‌دهنده تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای ناشی از پدیده خوردگی آهن، در بین ترک و میکرو ترک‌ها است. نکته حائز اهمیت در نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه شامل، ترک، وجود مقادیر بالای منگنز، سیلیسیم، کربن و سولفور است. این عناصر ممکن است در طی فرآیند ساخت و یا با ذوب موضعی ناشی فیلر الکتروکود جوشکاری، به ماده، وارد شده باشند. تشکیل ترکیباتی نظیر کاربید سیلیسیم (SiC) و سولفید منیزیم (MnS) منجر به تسهیل در جوانه‌زنی و رشد میکرو ترک‌ها می‌شود. با افزایش درصد کروم در برخی نواحی مورد بررسی، احتمال وجود ترکیب‌هایی نظیر کاربید کروم (Cr_3C_2) و یا اکسید کروم (Cr_2O_3) در این آخال‌ها وجود دارد.

در شکل (۹-ب)، نتایج حاصل از آنالیز EDS نواحی مشخص شده تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ناحیه میانی ترک، نشان داده شده‌است. مقدار بالای Si و وجود کربن کافی در این ناحیه، نشان‌دهنده تشکیل کاربید سیلیسیم (SiC)، در مجاورت ترک است. مقدار بالای کربن و اکسیژن نیز نشان‌دهنده وجود محصولات اکسید آهن و کاربیدهای تشکیل شده در دهانه ترک است.



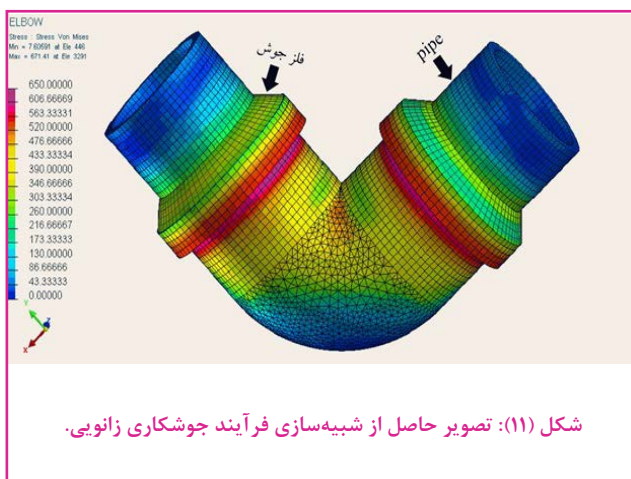
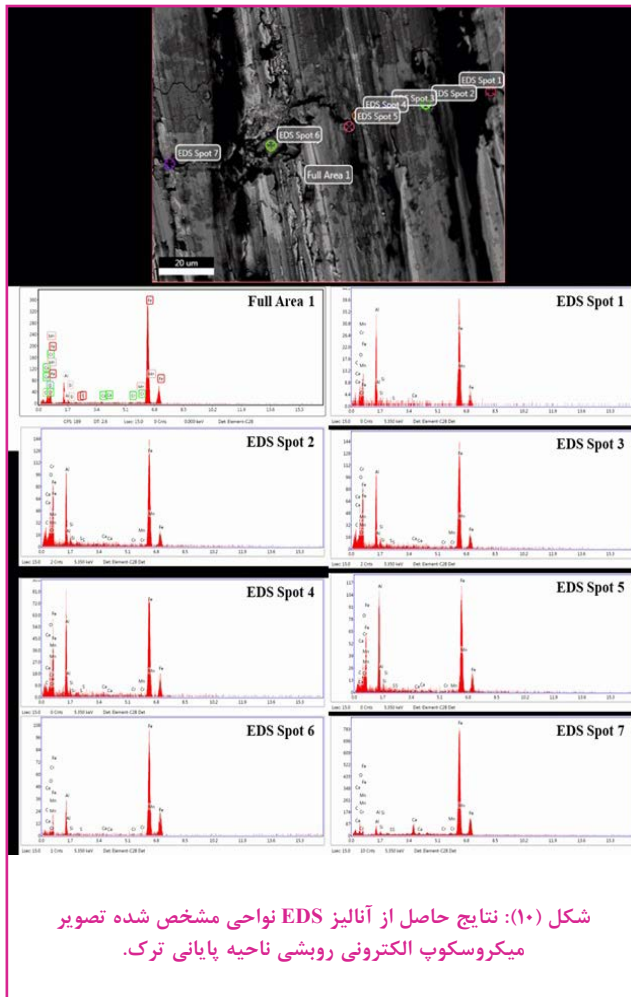
شکل (۶): تصاویر حاصل از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی آغاز ترک.

در شکل (۷) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع نواحی میانی ترک، ارائه شده‌است. براساس تصاویر موجود، در حد فاصل ترک و نواحی مجاور آن، محصولات خوردگی به صورت موضعی ایجاد شده‌است. این رسوبات به صورت غیریکنواخت توزیع شده‌اند و به دلیل سختی بالا، ترد هستند، به طوری که علاوه بر ترک اصلی، میکرو ترک‌هایی با جهت‌گیری‌های متفاوت، در بین رسوبات ایجاد شده‌است. علاوه بر آن، در مرزدانه‌ها، کاربیدهای ناخواسته مشاهده می‌شود.

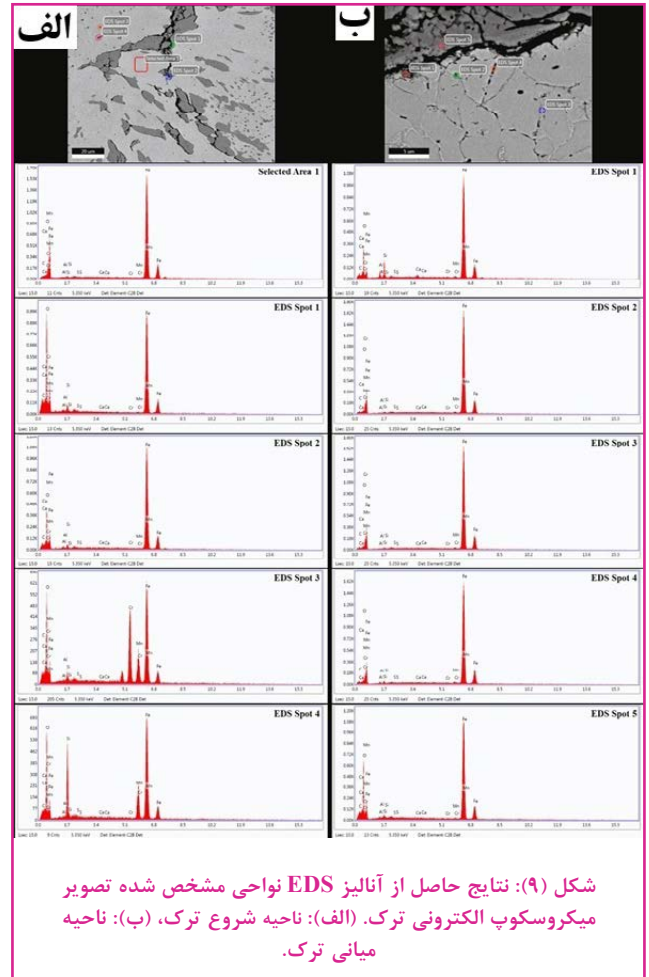


شکل (۷): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع نواحی میانی ترک.

نشده است تا هر چه دقیق تر نتایج برون یابی شود. همان طور که در شکل (۱۱) قابل مشاهده است، بیشترین تنش پسماند کششی که منجر به شکست قطعه می شود، در زیر ناحیه مورد جوشکاری قرار گرفته است. در این ناحیه، تنش پسماند کششی، پس از جوشکاری، از مقدار تنش تسلیم ماده فراتر رفته و منجر به شکست قطعه می شود. از جمله عواملی که از شکست زانویی جلوگیری می کند، پیش گرم زانویی قبل از جوشکاری است؛ این امر منجر به کاهش تنش پسماند می شود.



شکل (۱۱): تصویر حاصل از شبیه سازی فرآیند جوشکاری زانویی.



در شکل (۱۰)، نتایج حاصل از آنالیز EDS نواحی مشخص شده تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ناحیه پابانی ترک نشان داده شده است. براساس نتایج، مقدار بالای عناصر کربن، اکسیژن و منگنز در آنالیز کل سطح از نکات مهم این آنالیز است. با توجه به وجود مقادیر بالای آلومینیوم لازم به ذکر است که آلومینیوم باعث پایداری فاز فریت در ریزساختار می شود و همان طور که پیش از این گفته شد، احتمالاً یکی از علل ازدیاد دانه های فریتی و عاری شدن از دانه های پرلیتی در ناحیه مجاور ترک، همین موضوع است. در درصدهای حدود ۱ درصد فاز فریت به طور کامل پایدار می شود. از طرف دیگر، به دلیل ماهیت فیزیکی و شیمیایی این عنصر در ترکیب با اکسیژن، فیلم سطحی بسیار محکم اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در سطح تشکیل می دهد که منجر به افزایش مقاومت خوردگی سطحی می شود.

با توجه به سازوکار گفته شده در بخش های قبلی، سازوکار تخریب ناشی از تنش پسماند تخمین زده شده است. در راستای تأکید بر این موضوع، شبیه سازی زانویی، با استفاده از نرم افزارهای المان محدود و با استناد بر استاندارد WPS، انجام شد. در شکل (۱۱)، تنش پسماند در زانویی قابل مشاهده است. با توجه بر اینکه شبیه سازی تنش پسماند، یک فرآیند وابسته به زمان است، از ساده سازی نمونه و ساده سازی شرایط شبیه سازی استفاده

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ضمن مطالعه تخصصی اسناد فنی معتبر و مقالات پژوهشی منتشر شده و شبیه‌سازی اولیه از محل ترک در قطعه، آزمون‌های آزمایشگاهی گوناگونی از قبیل استریوگرافی، کوانتومتری، متالوگرافی، بررسی میکروسکوپی ریزساختار با میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آنالیز EDS، آزمون ماکروسختی و آزمون کشش بر نمونه مورد بررسی صورت گرفت. براساس نتایج حاصل، بالا بودن میزان سختی در نزدیکی ترک، نشان از متأثر شدن ریزساختار قطعه در طی عملیات جوشکاری است که با افت استحکام مکانیکی موضعی همراه است؛ به طوری که مشاهده آخال‌ها، نقص‌های ساختاری و ایجاد میکرو ترک‌های سطحی و عمقی موجود در تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی نیز گویای این موضوع است. بر همین اساس، قطعه در حین جوشکاری دچار حساسیت شده و حاوی مقادیری تنش‌های پسماند است. براساس تصاویر میکروسکوپ نوری، میکرو حفره‌های انقباضی پراکنده در ابتدای برخی از میکرو ترک‌ها مشاهده شدند که این حفرات به طور عمده در مجاورت آخال‌ها قرار گرفته‌اند. همچنین بررسی سطح شکست، شامل پله‌ها و وجوه شبیه به شکست کلیواژ (برشی) است که در مدت زمان کوتاهی پس از فرآیند جوشکاری ایجاد شده‌است. آنالیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان‌دهنده این موضوع است که با نزدیکی به ناحیه مجاور ترک، تراکم دانه‌های پرلیت کاهش چشمگیری پیدا می‌کند و این موضوع بر خواص مکانیکی موضعی در این ناحیه تأثیر به‌سزایی دارد. با توجه به اینکه ریزساختار در ناحیه سالم این‌گونه است، به نظر می‌رسد در اثر عملیات جوشکاری، کربن‌زدایی دانه‌های پرلیتی، فعل و انفعالات شیمیایی و کاربیدسازی ناخواسته صورت گرفته است. آنالیز EDS نشان‌دهنده مقادیر بالای عناصری نظیر کربن، اکسیژن، سولفور، منگنز، آلومینیوم، کروم و سیلیسیم است که این عناصر توانایی ایجاد ترکیبات آخالی متعددی در ریزساختار را دارند.

به‌طور کلی می‌توان گفت تخریب مورد نظر به علت وجود آخال‌ها و معایب ایجاد شده در زمان شکل‌دهی فلز و یا متأثر از فرآیند جوشکاری، تنش پسماند و تأثیرات ریزساختاری متأثر از جوشکاری، رخ داده است. در بین عوامل ذکر شده، مهم‌ترین عامل، تنش‌های پسماند است، چرا که این تنش‌های پسماند حتی به مقدار پایین می‌تواند منجر به ترک خوردگی در قطعات شود. تغییر در ترکیب شیمیایی براساس آنالیزهای موجود، وجود آخال‌های گوناگون چون سولفید منگنز و حساسیت در ریزساختار با رسوب کاربید در حین فرآیند تولید یا جوشکاری نیز تصدیقی بر علل اصلی تخریب است.

یکی از راهکارهای مناسب به‌منظور کاهش خسارات ناشی از این تخریب، استفاده از فرآیند عملیات حرارتی قبل و بعد از جوشکاری است.

پی‌نوشت

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Optical microscopy (OM) | 16. ANSYS |
| 2. Scanning Electrode Microscope (SEM) | 17. SYSWELD |
| 3. Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) | 18. Kunitake |
| 4. Gas metal arc welding (GMAW) | 19. Okada |
| 5. Metal Inert Gas (MIG) | 20. Leblond-Devaux |
| 6. Shielded metal arc welding (SMAW) | 21. Koistinen-Marburger |
| 7. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) | 22. Goldak |
| 8. Tungsten Inert Gas (TIG) | 23. Fractography |
| 9. Submerged arc welding (SAW) | 24. Stress Corrosion Cracking (SCC) |
| 10. Electroslag welding (ESW) | 25. Elbow |
| 11. Flux-Cored Arc Welding (FCAW) | 26. Post Weld Heat Treatment (PWHT) |
| 12. Friction stir welding (FSW) | 27. InterGranular (IG) |
| 13. Oxyacetylene Welding (OAW) | 28. Specimen ID |
| 14. The finite element method (FEM) | 29. Reduction of Area |
| 15. ABAQUS | |

- [1] Vollers, G. G., "Welding of Metals important to the Petroleum Industry", World Petroleum Congress, Vol. pp. WPC-4703, 1951.
- [2] Gooch, T. G., "Welding new stainless steels for the oil and gas industry", NACE CORROSION, Vol. pp. NACE-00138, 2000.
- [3] Sharma, S. K. and Maheshwari, S., "A review on welding of high strength oil and gas pipeline steels", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 38, No. pp. 203-217, 2017.
- [4] Gonzaga, A., Barbosa, C., Tavares, S., Zeemann, A., and Payão, J., "Influence of post welding heat treatments on sensitization of AISI 347 stainless steel welded joints", Journal of Materials Research and Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 908-921, 2020.
- [5] Zhou, C. and Zhang, G., "Effects of Post Weld Heat Treatment Residual Stress on the Creep of Elbow Welded Joint", ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Vol. 43703, pp. 3-8, 2009.
- [6] Mostafapour, A. Nejad Ebrahimi, A., "Investigation of the effect of welding residual stresses on the fatigue life of steel pipes," presented at the 9th Conference on Construction and Production Engineering, 2017.
- [7] Čičo, P., Kalincová, D., and Kotus, M., "Influence of welding method on microstructural creation of welded joints", Research in agricultural engineering, Vol. 57, No. Special Issue, pp. S50-S56, 2011.
- [8] Haagenzen, P. J. and Maddox, S. J., "IIW recommendations on methods for improving the fatigue strength of welded joints: IIW-2142-110", Vol. No. pp. 2013.
- [9] Qiao, Q., Cheng, G., Li, Y., Wu, W., Hu, H., and Huang, H., "Corrosion failure analyses of an elbow and an elbow-to-pipe weld in a natural gas gathering pipeline", Engineering Failure Analysis, Vol. 82, No. pp. 599-616, 2017.
- [10] Zhang, J., Kang, J., Fan, J., and Gao, J., "Study on erosion wear of fracturing pipeline under the action of multiphase flow in oil & gas industry", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 32, No. pp. 334-346, 2016.
- [11] Arora, P., Singh, P., Bhasin, V., Vaze, K., Pukazhendhi, D., Gandhi, P., and Raghava, G., "Fatigue crack growth behavior in pipes and elbows of carbon steel and stainless steel materials", Procedia Engineering, Vol. 55, No. pp. 703-709, 2013.
- [12] Khan, R., H. Ya, H., and Pao, W., "An experimental study on the erosion-corrosion performance of AISI 1018 carbon steel and AISI 304L stainless steel 90-degree elbow pipe", Metals, Vol. 9, No. 12, pp. 1260, 2019.
- [13] Servetti, G. and Zhang, X., "Predicting fatigue crack growth rate in a welded butt joint: The role of effective R ratio in accounting for residual stress effect", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 76, No. 11, pp. 1589-1602, 2009.
- [14] Ul-Hamid, A., Tawancy, H. M., and Abbas, N. M., "Failure of weld joints between carbon steel pipe and 304 stainless steel elbows", Engineering failure analysis, Vol. 12, No. 2, pp. 181-191, 2005.
- [15] Jiang, S., Zheng, Y., and Duan, D., "Failure analysis on weld joints between the elbow and straight pipes of a vacuum evaporator outlet", Engineering Failure Analysis, Vol. 27, No. pp. 203-212, 2013.
- [16] Lu, X., Influence of residual stress on fatigue failure of welded joints, North Carolina State University 2003.
- [17] Medjo, B., Rakin, M., Gubeljak, N., Matvienko, Y., Arsić, M., Šarkoćević, Ž., and Sedmak, A., "Failure resistance of drilling rig casing pipes with an axial crack", Engineering Failure Analysis, Vol. 58, No. pp. 429-440, 2015.
- [18] Ossai, C. I., Boswell, B., and Davies, I. J., "Pipeline failures in corrosive environments—A conceptual analysis of trends and effects", Engineering Failure Analysis, Vol. 53, No. pp. 36-58, 2015.
- [19] Qiao, Q., Cheng, G., Wu, W., Li, Y., Huang, H., and Wei, Z., "Failure analysis of corrosion at an inhomogeneous welded joint in a natural gas gathering pipeline considering the combined action of multiple factors", Engineering Failure Analysis, Vol. 64, No. pp. 126-143, 2016.
- [20] Olden, V., Alvaro, A., and Akselsen, O. M., "Hydrogen diffusion and hydrogen influenced critical stress intensity in an API X70 pipeline steel welded joint—Experiments and FE simulations", International journal of hydrogen energy, Vol. 37, No. 15, pp. 11474-11486, 2012.
- [21] Subramanian, C., "Sulfide Stress Cracking of column overhead pipe to flange fitting joints in a petroleum

- industry", *Materials Today Communications*, Vol. 37, No. pp. 106995, 2023.
- [22] Li, X.-y. and Lü, T., "Analysis of corrosion failure of petrochemical pipe elbow", *Journal of Central South University of Technology*, Vol. 12, No. pp. 119-123, 2005.
- [23] Smith, R., Watson, P., and Topper, T., "A stress-strain parameter for the fatigue of metals", *Journal of Materials*, Vol. 5, No. 4, pp. 767-778, 1970.
- [24] Kim, S.-W., Chang, S.-J., Park, D.-U., and Jeon, B.-G., "Failure criteria of a carbon steel pipe elbow for low-cycle fatigue using the damage index", *Thin-Walled Structures*, Vol. 153, No. pp. 106800, 2020.
- [25] Vora, P., Mumtaz, K., Todd, I., and Hopkinson, N., "AlSi12 in-situ alloy formation and residual stress reduction using anchorless selective laser melting", *Additive manufacturing*, Vol. 7, No. pp. 12-19, 2015.
- [26] Hofer, P., Kaschnitz, E., and Schumacher, P., "Distortion and residual stress in high-pressure die castings: simulation and measurements", *Jom*, Vol. 66, No. pp. 1638-1646, 2014.
- [27] Teng, T.-L. and Chang, P.-H., "Effect of residual stresses on fatigue crack initiation life for butt-welded joints", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 145, No. 3, pp. 325-335, 2004.
- [28] Withers, P., Turski, M., Edwards, L., Bouchard, P., and Buttle, D., "Recent advances in residual stress measurement", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 85, No. 3, pp. 118-127, 2008.
- [29] Nasir, N. S. M., Razab, M. K. A. A., Mamat, S., and Iqbal, M., "Review on welding residual stress", *stress*, Vol. 2, No. 5, pp. 8-10, 2006.
- [30] Bahadur, A., Kumar, B. R., Kumar, A. S., Sarkar, G., and Rao, J., "Development and comparison of residual stress measurement on welds by various methods", *Materials Science and Technology*, Vol. 20, No. 2, pp. 261-269, 2004.
- [31] Deng, D. and Murakawa, H., "Prediction of welding distortion and residual stress in a thin plate butt-welded joint", *Computational Materials Science*, Vol. 43, No. 2, pp. 353-365, 2008.
- [32] Deng, D., "FEM prediction of welding residual stress and distortion in carbon steel considering phase transformation effects", *Materials & Design*, Vol. 30, No. 2, pp. 359-366, 2009.
- [33] Dai, P., Wang, Y., Li, S., Lu, S., Feng, G., and Deng, D., "FEM analysis of residual stress induced by repair welding in SUS304 stainless steel pipe butt-welded joint", *Journal of Manufacturing processes*, Vol. 58, No. pp. 975-983, 2020.
- [34] Vemanaboina, H., Akella, S., and Buddu, R. K., "Welding process simulation model for temperature and residual stress analysis", *Procedia materials science*, Vol. 6, No. pp. 1539-1546, 2014.
- [35] Khoshroyan, A. and Darvazi, A. R., "Effects of welding parameters and welding sequence on residual stress and distortion in Al6061-T6 aluminum alloy for T-shaped welded joint", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 30, No. 1, pp. 76-89, 2020.
- [36] Lima, T. R., Tavares, S. M., and De Castro, P. M., "Residual stress field and distortions resulting from welding processes: numerical modelling using Sysweld", *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, Vol. 29, No. 1, pp. e56-e61, 2017.
- [37] KUNITAKE, T. and OKADA, Y., "The estimation of bainite transformation temperatures in steels by the empirical formulas", *Tetsu-to-Hagane*, Vol. 84, No. 2, pp. 137-141, 1998.
- [38] Leblond, J. and Devaux, J., "A new kinetic model for anisothermal metallurgical transformations in steels including effect of austenite grain size", *acta metallurgica*, Vol. 32, No. 1, pp. 137-146, 1984.
- [39] Koišinen, D. and Marbürger, R., "A general equation prescribing extent of austenite-martensite transformation in pure Fe-C alloy and plain carbon steels", *Acta Metall*, Vol. 7, No. 1, pp. 59-60, 1959.
- [40] Goldak, J., Chakravarti, A., and Bibby, M., "A new finite element model for welding heat sources", *Metalurgical transactions B*, Vol. 15, No. pp. 299-305, 1984.

مترجم

فرشاد جعفری^۱

۱. کارشناس آزمایشگاه شرکت فنی مهندسی و
آزمایشگاهی پارس لیان اروند شعبه تهران

farshadjafary1269@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

تعیین مقدار کمی ترکیبات هیدروکربن مایع:

مقایسه بین کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء و کروماتوگرافی گازی دو بعدی

واژه‌های کلیدی

GC-VUV, PIONA, تجزیه و تحلیل دقیق هیدروکربن،
GCxGC, جریان هیدروکربن مایع

چکیده

تجزیه و تحلیل هیدروکربن‌ها در صنعت نفت و گاز مهم است، زیرا ترکیبات آنها تأثیر زیادی بر عملکرد صنایع دارد. ترکیبات هیدروکربنی در یک نمونه متفاوت است و به همین دلیل، انتخاب روش‌های آنالیزی را چالش برانگیز می‌کند. روش‌های سنتی برای ارزیابی جریان‌های هیدروکربن مایع شامل تجزیه و تحلیل جزئیات هیدروکربن‌ها^۱ است. با این حال، روش‌های غیر سنتی، مانند کروماتوگرافی گازی جامع^۲، نیز در صنایع شیمیایی، از جمله صنایع دارویی و نفت و گاز استفاده می‌شود. این تحقیق به جزئیات مقایسه بین DHA و GCxGC در مقایسه با دستگاه کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء^۳ که اخیراً معرفی شده است، می‌پردازد. هیدروکربن‌های مایع متعددی با هم ترکیب شدند تا یک ماتریس مرکب و گسترده از نظر ترکیب ایجاد کنند. نتایج پارافین، ایزوپارافین، اولفین، نفتن و آروماتیک^۴ برای هر سه روش ارائه شده است. همه این روش‌ها انحراف استاندارد نسبی کمتر از ۱/۳ درصد را برای پنج تزریق در روز و به مدت سه روز به دست آورده‌اند. منحنی‌های استاندارد برای تعیین کمیت ترکیبات خاص در یک هیدروکربن مایع استفاده شد و این نتایج با روش‌های کمی‌سازی (تعیین خاصیت) کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء پی‌یونا و DHA مقایسه شد.

در صنعت نفت و گاز، جریان‌های هیدروکربنی با پالایش و تاسیسات کراکینگ بخار برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر به کار می‌روند. ترکیب این جریان‌ها از ورودی به خروجی سامانه به‌طور قابل توجهی متفاوت است. به‌عنوان مثال، جریان‌های هیدروکربنی در کارخانه اولفین‌ها می‌توانند به‌طور عمده، از جریان‌های پارافینی تا جریان‌های آروماتیک غنی شده با دی‌ان‌های مزدوج شده متفاوت باشند. مدل‌سازی فیزیکی و خواص شیمیایی این جریان‌ها و شبیه‌سازی فرآیند نیازمند اطلاعات دقیق برای ترکیبات جریان است.

روش‌های گذشته (قدیمی، سنتی) برای تجزیه و تحلیل جریان‌های هیدروکربن مایع، بر جداسازی‌های کروماتوگرافی گازی^۵ تمرکز دارند و شامل آنالیز PIONA (پارافین، ایزوپارافین، اولفین، نفتن و آروماتیک)، تجزیه و تحلیل هیدروکربن تفصیلی می‌شود که از هر دو، به‌عنوان روش‌های انجمن آزمایش و مواد آمریکا^۶ یاد شده‌است و مشخصه‌های دقیق را با نوع ترکیب (PIONA) و عدد کربن ارائه می‌دهند. تحلیل گر PIONA از یک رویکرد چند بعدی شامل یک سری درجه در ترکیب با چندین شیر و ستون استفاده می‌کند که تقسیم‌بندی را مطابق با دسته شیمیایی و به دنبال آن، جداسازی براساس تعداد کربن در یک تزریق واحد ارائه می‌دهد. تجزیه و تحلیل PIONA محدود به نمونه‌هایی است که از نظر تعداد کربن تا C₁₁ می‌رسند، و آنالیز را فقط به جریان‌های هیدروکربنی سبک محدود می‌کند.

تجزیه و تحلیل DHA از یک رویکرد یک بُعدی با استفاده از یک ستون طولانی برای به‌دست آوردن فاصله بین یون‌ها با وضوح بالا و با استفاده از تشخیص یونیزاسیون شعله^۷ استفاده می‌کند. FID یک آشکارساز حساس به جرم است که کمیت قابل اعتمادی را برای انواع مختلف گروه‌های هیدروکربنی فراهم می‌کند که با شناسایی براساس استانداردها، تجزیه و تحلیل می‌کند؛ زیرا هیچ اطلاعات کیفی را نمی‌توان از FID به‌دست آورد. سایر محدودیت‌های DHA شامل زمان آنالیز بیش از ۲ ساعت در هر تزریق و کمبود ظرفیت پیک در ترکیب با آشکارساز FID است که در آن، همپوشانی حاصل در کروماتوگرافی، از تعیین کمیت دقیق بالای C₉ برای جریان‌های هیدروکربنی سنگین‌تر و پیچیده‌تر جلوگیری می‌کند.

GC همراه با طیف‌سنجی جرمی^۸ نیز گزینه‌ای برای تجزیه و تحلیل جریان‌های هیدروکربن مایع است. MS یک آشکارساز حساس به جرم است که برای همه ترکیبات، مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما می‌تواند با نظارت بر یون انتخابی^۹ نیز کاربرد داشته باشد. اطلاعات کیفی با شناسایی براساس طیف‌های جرمی به‌دست آمده، حاصل می‌شوند در حالی که کمی‌سازی با استفاده از حالت سیم‌کارت (فقط یون مورد نظر را مشاهده می‌کند) یا از طریق نرم‌افزار دکانولوشن^{۱۰} امکان‌پذیر است.

محدودیت‌هایی برای کروماتوگرافی گازی همراه با طیف‌سنجی جرمی وجود دارد که شامل تجزیه و تحلیل ترکیبات ناپایدار و با وزن مولکولی کم و نیز مشکلاتی در تمایز بین بسیاری از ایزومرهای موجود در هیدروکربن‌های مایع است. افزایش ظرفیت پیک و قابلیت تفکیک GCxGC در مقایسه با جداسازی GC یک بُعدی، این روش را به روشی جذاب برای صنعت پتروشیمی تبدیل کرده است. GCxGC برای ارائه جداسازی نوع گروه در ترکیبات با تشخیص FID و MS برای کاربردهای مختلف در صنعت پتروشیمی، از جمله نفت‌های سنگین، دیزل، گازوئیل، نفت دریایی و بنزین استفاده شده‌است. با افزایش جداسازی ارائه شده توسط GCxGC، همچنان همان محدودیت‌های آشکارساز ذکر شده در بالا برای جداسازی‌های یک بُعدی با جداسازی‌های دو بُعدی وجود دارد (به‌عنوان مثال، FID اطلاعات کیفی ارائه نمی‌کند و MS در تمایز بین ایزومرها با مشکل مواجه است). علاوه بر این، هزینه بالا و ماهیت پیچیده ابزار دقیق GCxGC و تفسیر داده‌ها، اجرای چنین روشی را در یک محیط معمولی، دشوار تا غیرممکن می‌کند.

اخیراً یک آشکارساز جدید خلاء فرابنفش^{۱۱} برای GC معرفی شده‌است که این محدودیت‌ها را برطرف می‌کند. اسپکتروفتومتر رومیزی VUV یک آشکارساز حساس به غلظت است که جذب فاز گاز را بین ۱۲۵ تا ۲۴۰ نانومتر از گونه‌های عودت داده شده از ستون GC را اندازه‌گیری می‌کند.

در این محدوده طول موج، به‌طور تقریبی، تمام ترکیبات شیمیایی طیف‌های منحصر به فردی را جذب می‌کنند و به دلیل انتقال الکترونیکی انرژی بالا سیگما → سیگما*، سیگما → سیگما* و π → π* امکان‌پذیر است.

بررسی اخیر توسط سانتوس و شوگ یک نمای کلی عالی از تمام آشکارسازهای مختلف قابل جفت شدن با GC ارائه می‌دهد که شامل آشکارسازهای VUV، FID و MS است که در اینجا مورد بحث قرار گرفته است. GC یک و دو بُعدی همراه با تشخیص (VUV) GC-VUV برای طیف گسترده‌ای از کاربردها، از جمله گازهای دائمی، تجزیه و تحلیل نفس انسان، آفت‌کش‌ها، اسیدهای چرب و متیل استرها، اسید چرب در روغن‌های غذایی و بیودیزل، ترپن‌ها^{۱۲}، بی‌فنیل‌های پلی‌کلره^{۱۳} و هیدروکربن‌ها در نمونه‌های سوخت قابل استفاده است.

یکی دیگر از جنبه‌های امیدوار کننده GC-VUV برای تجزیه و تحلیل جریان‌های هیدروکربن مایع، که VUV اطلاعات کمی و کیفی را ارائه می‌دهد شامل شناسایی از طریق طیف جذب منحصر به فرد در ترکیب با کتابخانه طیفی و کمی‌سازی (تعیین خاصیت) شبه مطلق و همچنین دکانولوشن بازه زمانی، که داده‌های PIONA و DHA مانند را ارائه می‌دهد.

این گزارش مقایسه بین GC-VUV با DHA و GCxGC-FID را برای تجزیه و تحلیل جریان‌های هیدروکربن مایع توصیف می‌کند. دقت و صحت سه روش تحلیلی، مورد ارزیابی قرار گرفت و بررسی نتایج و مشکلات احتمالی شرح داده خواهد شد.

● مواد و روش‌ها

● مواد

چندین هیدروکربن مایع از یک کارخانه کراکینگ بخار برای این کار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، یک نمونه تقطیر سبک (جریان (۱))، یک جریان هیدروکربنی مایع سنگین تر (جریان (۲)) و مخلوطی از چند نمونه (جریان (۳)). یک مطالعه توسط اسپایکینگ^{۱۴} با استفاده از استانداردهای تحلیلی خریداری شده از هلند انجام شد؛ استانداردها شامل بنزن و تولوئن بود.

● مواد و روش‌ها

● کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء

یک دستگاه کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء مجهز به نمونه‌بردار خودکار، به آشکارساز VUV متصل شد. کنترل ابزار و پردازش داده‌ها با استفاده از OpenLab VUV Vision (V 2.9.4) و بسته نرم‌افزاری PIONA+ (V 1.1.1) انجام شد. ستون مورد استفاده HP-5 (50m x 0/200 mm x 0/50µm) بود. حجم تزریق ۰/۵ میکرولیتر با انژکتور Split/Splitless در دمای ۲۷۵ درجه سانتیگراد و نسبت تقسیم ۱:۱۰۰ بود. از هلیوم به‌عنوان گاز حامل در جریان ثابت ۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. دمای خط انتقال و سلول انتقال جریان روی ۲۷۵ درجه سانتیگراد تنظیم شد و گاز سازنده نیتروژن با فشار ثابت ۲۵ psi بود. برنامه آون، ۳۰ درجه سانتیگراد (۴ دقیقه)، افزایش دما با نرخ ۶ درجه سانتیگراد در دقیقه و ماندن در ۱۸۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۶ دقیقه بود که در مجموع در مدت زمان ۳۵ دقیقه انجام می‌شود.

● DHA

ابزار مورد استفاده برای آزمایش‌های DHA براساس ASTM D6729 تنظیم شد. یک دستگاه GC مجهز به نمونه‌بردار خودکار برای اهداف تشخیصی به یک FID متصل شد. کنترل ابزار و پردازش داده‌ها با استفاده از Atlas 8.3 (V.9.00.0.10711) انجام شد. تنظیمات ابزار به شرح زیر بود: از ستون ۱-J&W DB (۱-۲۵۰ mm x ۰/۵ µm) استفاده شد. تزریق ۰/۵ میکرولیتر نمونه با استفاده از ورودی Split/Splitless و با تقسیم ۱:۲۰۰ در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد به دستگاه انجام شد. هلیوم به‌عنوان گاز حامل در حالت فشار ثابت در ۴۲۰ psi استفاده شد. برنامه آون، از ۱۵ دقیقه ماندن در دمای صفر درجه سانتیگراد شروع می‌شود؛ سپس با نرخ ۱ درجه سانتیگراد بر دقیقه به ۵۰ درجه سانتیگراد می‌رسد؛ سپس با نرخ ۲ درجه سانتیگراد بر

دقیقه به ۱۳۰ درجه سانتیگراد و بعد از آن، با نرخ ۴ درجه سانتیگراد بر دقیقه به دمای ۲۷۰ درجه سانتیگراد می‌رسد که در مجموع در مدت زمان ۱۴۰ دقیقه اجرا می‌شود.

● GCxGC (GC دو بعدی)

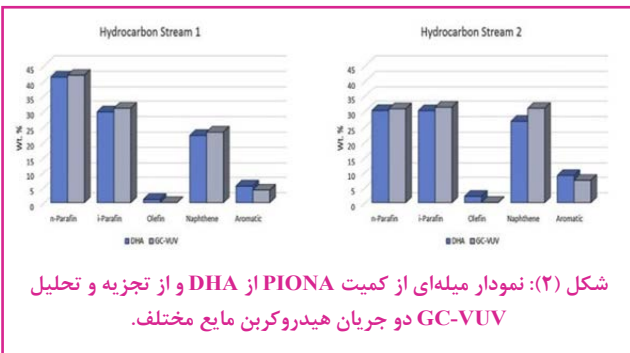
یک دستگاه GC مجهز به نمونه‌بردار خودکار و FID به یک^{۱۵} TOF-MS متصل شد. مدولاسیون پرودتی با استفاده از یک مدولاتور LN2 انجام شد. ستون بعد اول شامل اتصال سریال (۴ m x ۰/۱۸۰ mm x ۰/۱۰ µm) CPSil 13 با (۲۰ m x ۰/۱۸۰ mm x ۰/۳۰ µm) DB-17 یک اتصال از جنس فولاد زنگ‌نزن است. سرعت جریان بعد اول ۰/۷ میلی‌لیتر بر دقیقه، هلیوم در شرایط جریان ثابت و زمان مدولاسیون ۶ ثانیه با یک پالس‌جت داغ ۱ ثانیه‌ای بود. ستون بعد دوم یک (۵۵ DB-17) (۲۰ m x ۰/۱۸۰ mm x ۰/۴۰ µm) بود و در شرایط جریان مشابه ستون بعد اول کار می‌کرد. برنامه آون، ماندن ۱ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد، افزایش دما با نرخ ۳ درجه سانتیگراد در دقیقه تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد بود که در مجموع مدت زمان کل، ۸۴ دقیقه می‌شود. ستون بعد دوم در معرض همان برنامه گرم‌کن اما با افسست ۱۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. ستون بعد دوم به یک تقسیم کننده ۳ طرفه و شکاف ۳ طرفه به HRTOF-MS و FID متصل شدند که امکان جمع‌آوری هم‌زمان داده‌ها از HRTOF-MS و FID را فراهم می‌کنند. کنترل ابزار و جمع‌آوری داده‌های HRTOF-MS با استفاده از بسته نرم‌افزاری کروماتوگرافی تی‌آف^{۱۶}، (V 1.90.62.0.49093) جمع‌آوری داده‌های FID با استفاده از نرم‌افزار کم‌استیشن^{۱۷} (B.04.03-SP1) و پردازش داده‌های FID با استفاده از نرم‌افزار جی‌سی ایمیج^{۱۸} نسخه ۲/۷ انجام شد. توجه داشته باشید که فقط داده‌های FID در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرند، زیرا روش DHA نیز فقط داده‌های FID را ارائه می‌دهد.

● بحث و نتایج آزمایش‌ها

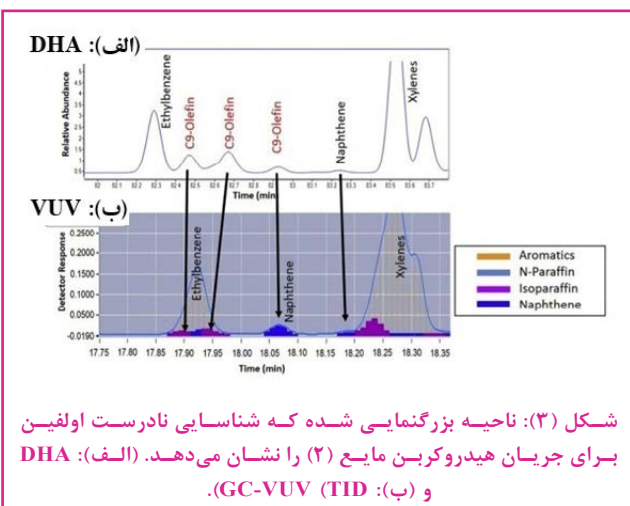
● مقایسه DHA و GC-VUV

نمونه هیدروکربن مایع (۳)، با هر دو روش DHA و GC-VUV آنالیز شد و همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، پروفایل‌های جداسازی مشابهی بین دو روش به‌دست آمد. با این حال، برخی از تفاوت‌های ظریف در پاسخ‌های پیک نسبی بین کروماتوگرام‌های DHA و GC-VUV مشاهده شد. گونه‌های آروماتیک در کروماتوگرام GC-VUV به‌طور کلی پاسخ نسبی بالاتری نسبت به سایر کلاس‌های ترکیبی در مقایسه با نتایج DHA نشان دادند. این مبحث با استفاده از الکترون‌های π توضیح داده می‌شود که الکترون‌ها با احتمال بیشتری به لایه‌های بالایی

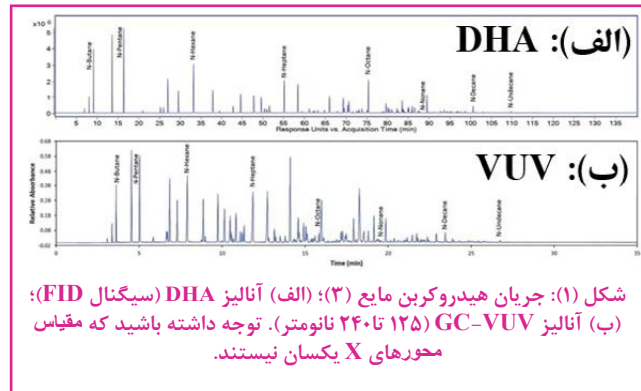
می‌شود، هنگامی که نتایج DHA و GC-VUV برای جریان (۱) (سبک‌تر) مقایسه می‌شوند، نتایج بسیار مشابهی به‌دست آمد. برعکس، برای جریان (۲) (سنگین‌تر)، تفاوت‌های واضحی بین نتایج DHA و GC-VUV به‌دست آمد. در نتایج PIONA برای جریان (۲)، DHA، ۲/۰ درصد وزنی اولفین را شناسایی کرد؛ در حالی که، براساس نتایج تیتراسیون برم (داده‌ها نشان داده نشده‌است)، مشخص شد که هیچ اولفینی در این نمونه وجود ندارد. علاوه‌بر این، DHA ۲/۳ درصد وزنی ماده مجهول را گزارش کرد که در مجموع درصد مجهولات برای جریان (۲) ۴/۳ درصد وزنی بوده که اشتباه شناسایی شده‌است. به منظور درک بهتر این نتایج و توضیح اینکه چرا چنین انحرافات بین دو روش مشاهده شده‌است، مطالعات اسپیکینگ به‌صورت محدود و با استفاده از نمونه هیدروکربن مایع (۲) انجام شد.



نمونه‌ای از شناسایی اشتباه اولفین را می‌توان در ناحیه بزرگنمایی شده جداسازی هیدروکربن مایع جریان (۲) در شکل (۳) مشاهده کرد که شامل فضای جداسازی در داده‌های DHA و داده‌های GC-VUV است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای ترکیبات شسته شده بین اتیل بنزن و زایلن‌ها، سه C9-اولفین توسط DHA شناسایی شدند. با این حال، براساس طیف جذب UV، این ترکیبات در واقع ترکیبی از ایزوپارافین‌ها و نفتین‌ها بودند.



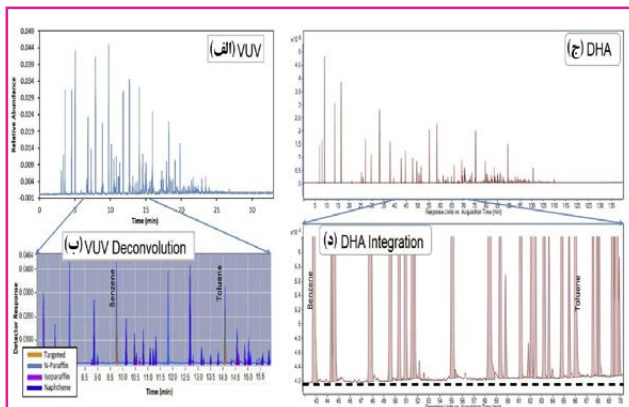
منتقل شوند و گونه‌های آروماتیک را به حساس‌ترین نوع آشکارساز VUV تبدیل کنند. در حالی که وضوح بهتری با پیک‌های جدا شده از DHA به‌دست می‌آید اما باید توجه داشت که زمان اجرا بسیار متفاوت است. زمان تجزیه و تحلیل DHA، ۱۴۰ دقیقه است، در حالی که در GC-VUV تنها ۳۵ دقیقه است. کروماتوگرام‌ها می‌توانند بینش مفیدی در مورد کیفیت جداسازی‌های به‌دست آمده با DHA و GC-VUV ارائه دهند، رسم نتایج PIONA امکان مقایسه کنار هم را فراهم می‌کند.



شکل (۲)، نمودارهای میله‌ای از کمی‌سازی PIONA است که از DHA و GC-VUV برای جریان (۱) و جریان (۲) براساس یک تجزیه و تحلیل مجزا به‌دست آمده است. برای داده‌های PIONA، DHA، کمیت درصد وزنی (% wt) مطابق با ASTM D6729 تعیین شد که سطح اطمینان ۹۵ درصد را گزارش می‌کند. به‌طور خلاصه، با ادغام کروماتوگرام FID، شناسایی در نرم‌افزار اطلس^{۱۹} به‌صورت خودکار انجام می‌شود (ارزیابی دوره‌ای استانداردهای تجاری موجود PIONA برای کالیبراسیون زمان بازداری) و کمی‌سازی براساس درصد مساحت به‌دست آمده برای هر پیک در ترکیب با پاسخ FID مربوطه (همچنین در اطلس خودکار) به‌دست آمد. DHA نه تنها درصد وزنی PIONA را بلکه درصد وزنی بقیه مولفه‌ها در داخل ترکیبات را به‌صورت مجزا ارائه می‌کند. برای داده‌های GC-VUV، درصد وزنی کمی‌سازی PIONA استفاده از روش TID^{۲۰} بازه زمانی که قبلاً توسط والش، گاربالنا و شوگ توضیح داده شده بود، تعیین شد. به‌طور خلاصه، نرم‌افزار PIONA، روش TID به‌صورت خودکار را بر طیف کامل کروماتوگرام (۱۲۵-۲۴۰ نانومتر) انجام داد و سپس با استفاده از کتابخانه طیف VUV که شامل فاکتورهای پاسخ VUV مربوطه نیز می‌شود، پیک‌های TID شده (ساده‌سازی شده، صاف شده) را شناسایی و تعیین کرد.

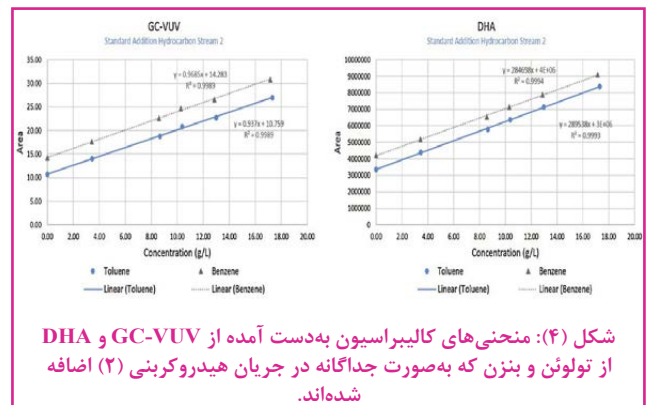
نرم‌افزار PIONA نه تنها درصد وزنی کمی‌شده PIONA بلکه مقدار درصد وزنی اجزاء را با سطح اطمینان < ۹۵ درصد گزارش می‌کند. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده

برای توضیح انحراف بزرگی که با نتایج DHA در مقایسه با نتایج GC-VUV مشاهده شد، یک مقایسه جانبی در شکل (۵) ارائه شده است. کروماتوگرام GC-VUV برای جریان هیدروکربن مایع (۲) در شکل (۵-الف) نشان داده شده است. با بزرگنمایی ناحیه TID به دست آمده در شکل (۵-ب)، هر دو قله‌های بنزن و تولوئن با رنگ نارنجی مشخص شده‌اند. همان اطلاعات برای نتایج DHA برای جریان هیدروکربن مایع (۲) در شکل (۵-ج) با ناحیه بزرگنمایی شده از نتایج یکپارچه که در آن بنزن و تولوئن هر دو در شکل (۵-د) برجسته‌گذاری شده‌اند، ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ناحیه بزرگنمایی شده ۳۰+ دقیقه در شکل (۵-د)، افزایش خط پایه از آشکارساز FID در داده‌های DHA مشاهده می‌شود؛ در حالی که در کروماتوگرام، مقیاس کامل در شکل (۵-ج) قابل تشخیص نیست؛ افزایش خط پایه در کل زمان اجرا وجود دارد و اعتقاد بر این است که این به دلیل تعداد اجزای جزئی با افزایش تعداد کربن است و ادغام، حداقل به کمترین میزان داده‌های DHA-FID باعث می‌شود که مقادیر کمی از ناحیه زیر خط پایه نادیده گرفته شوند که باعث گزارش‌دهی ناکافی مشاهده شده می‌شود؛ بنابراین، انحرافات زیادی برای بنزن و تولوئن به دست می‌آید که براساس سطح کل در درصد انجام شده است. لازم به ذکر است که فاکتورهای پاسخ FID برای تمام ترکیبات شناسایی شده در نتایج DHA در روش کمی‌سازی گنجانده شده است. از آنجایی که نتایج GC-VUV دستخوش TID می‌شوند، هرگونه سیگنال یا تداخل پس زمینه در ادغام یا کمی‌سازی پیک‌ها لحاظ نمی‌شود که با انحرافات کوچک گزارش شده در بالا تأیید می‌شود.



شکل (۵): جریان هیدروکربن مایع (۲). (الف): کروماتوگرام GC-VUV در مقیاس کامل (۲۴۰-۱۲۵ نانومتر)، (ب): ناحیه متمرکز شده از GC-VUV در اثر TID با استفاده از نرم‌افزار PIONA، (ج): کروماتوگرام DHA FID در مقیاس کامل و (د): ناحیه متمرکز شده از کروماتوگرام DHA یکپارچه.

شکل (۴) منحنی‌های کالیبراسیون را زمانی که تولوئن و بنزن به جریان هیدروکربنی (۲) اضافه می‌شوند، نشان می‌دهد. منحنی‌های کالیبراسیون خطی برای تولوئن برابر با مقادیر ۰/۹۹۸۹ و ۰/۹۹۹۳ برای R^2 به ترتیب از داده‌های GC-VUV و DHA به دست می‌آید. علاوه بر تولوئن، منحنی‌های استاندارد برای بنزن اضافه شده به جریان هیدروکربنی (۲) نیز به دست می‌آید و همان‌طور که با تولوئن مشاهده شد، منحنی‌های کالیبراسیون خطی با مقادیر ۰/۹۹۹۴ و ۰/۹۹۸۹ برای R^2 به ترتیب از DHA و GC-VUV به دست آمد (شکل (۴)). از منحنی‌های استاندارد افزوده شده، مقدار تولوئن و بنزن افزوده شده به جریان هیدروکربنی (۲) به‌طور دقیق اندازه‌گیری شد و این اطلاعات برای مقایسه با مقادیر به دست آمده از نرم‌افزار (TID) PIONA و گزارش DHA (درصد سطحی) استفاده شد.



شکل (۴): منحنی‌های کالیبراسیون به دست آمده از GC-VUV و DHA از تولوئن و بنزن که به‌صورت جداگانه در جریان هیدروکربنی (۲) اضافه شده‌اند.

در جدول (۱)، مقدار تولوئن و بنزن محاسبه شده با استفاده از داده‌های استاندارد اضافه شده و با مقادیر محاسبه شده از GC-VUV و DHA مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار GC-VUV حاصل از TID با استفاده از نرم‌افزار PIONA مقدار هر جزء را به ترتیب با انحراف ۰/۶ درصد و ۰/۵ درصد برای تولوئن و بنزن محاسبه می‌کند. نتایج به دست آمده از ادغام و محاسبه درصد مساحت زیر نمودار از داده‌های DHA، انحراف بیش از ۵/۰ درصد را برای تولوئن و بنزن نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که فاکتورهای پاسخ FID در محاسبات درصد مساحت از داده‌های DHA و به‌طور مشابه، فاکتورهای پاسخ VUV در محاسبات PIONA گنجانده شدند.

جدول (۱): مقایسه نتایج بین کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی فرابنفش با DHA.

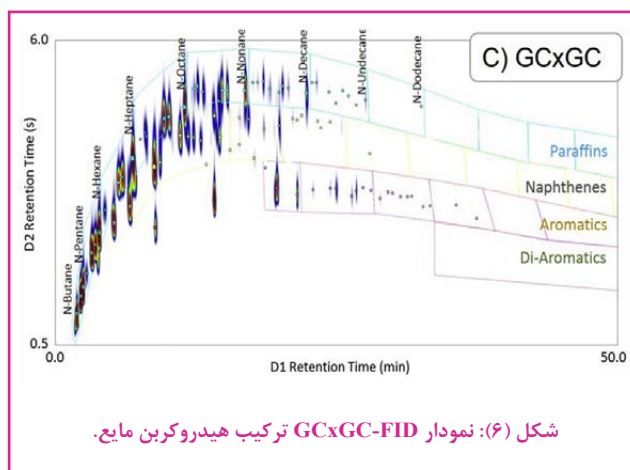
Component	Actual Conc. (g/L) ^a	GC-VUV		DHA	
		Conc. (g/L)	% Deviation	Conc. (g/L)	% Deviation
Benzene	2.05	2.04	0.5 %	1.94	5.4 %
Toluene	1.61	1.60	0.6 %	1.53	5.0 %

^a Determined from spiking studies.

داده‌های GC-VUV مطابقت داشتند که مزیت جداسازی نوع گروهی را نشان می‌دهد؛ تمام نتایج پارافین برای هر سه روش چه از طریق فضای جداسازی افزایش یافته با GCxGC یا از طریق طیف که تفاوت‌های به‌دست آمده از GC-VUV هنگام مقایسه نتایج GCxGC-FID و GC-VUV با داده‌های DHA، با یکدیگر مطابقت دارند. با این حال، انحرافات کوچک ناشی از داده‌های DHA برای انواع گروه اولفینیک (O)، نفتنیک (N) و آروماتیک (A) برای (C7 (N)، C7 (O, N, A) مشاهده می‌شود. نتایج DHA نسبت به سایر روش‌ها از C7 شروع به انحراف می‌کند، جایی که تعداد ایزومرهای احتمالی در هر گروه از یک نوع بزرگ می‌شود، با ۹ ایزومر ممکن برای C_7H_{16} ، به‌علاوه ایزومرهای نفتن‌ها و آروماتیک‌ها، که بسیار نزدیک به یکدیگر قرار می‌گیرند. فقدان جداسازی و تشخیص نوع گروه در ترکیبات و عدم وجود استانداردهای تحلیلی برای کمک به تنظیم دقیق شناسایی پیک‌های DHA و به دلیل وجود پیک‌های متعدد موجود در جداسازی 1D DHA در این نقطه از کروماتوگرام، به شناسایی نادرست نوع گروه کمک کرد (تقریباً از دقیقه ۷۰ به بعد در کروماتوگرام DHA در شکل (۱)).

• مقایسه GC-VUV و GCxGC، DHA

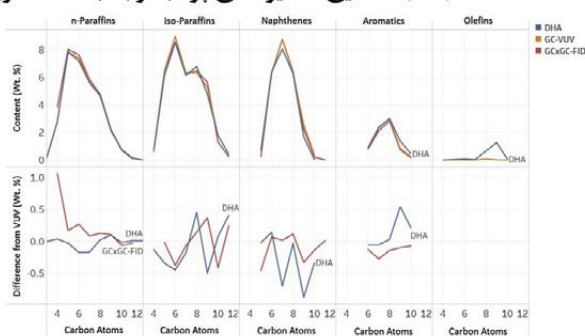
تجزیه و تحلیل GCxGC جریان‌های هیدروکربن مایع، دارای مزیت قابل توجهی نسبت به DHA است؛ زیرا GCxGC در شرایط گفته شده، امکان جداسازی گروهی را براساس تعداد کربن فراهم می‌کند (شکل (۶)). با این حال، عیب این روش، نیاز به سخت‌افزار و نرم‌افزار اضافی برای انجام جداسازی GCxGC است.



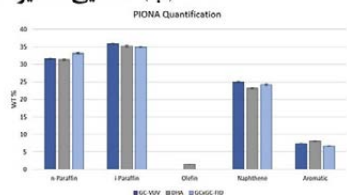
شکل (۶): نمودار GCxGC-FID ترکیب هیدروکربن مایع.

برای مقاصد مقایسه، جریان هیدروکربن مایع پنج بار در روز و به مدت سه روز متوالی با استفاده از GC-VUV و DHA و GCxGC-FID تجزیه و تحلیل شد. لازم به ذکر است که فاکتورهای پاسخ FID در نرم‌افزار جی‌سی‌ایمیج وارد و در کمیت درصد مساحت گنجانده شده‌است که امکان مقایسه واقعی داده‌های به‌دست آمده با استفاده از سه روش را فراهم می‌کند؛ سپس داده‌های PIONA گردآوری و به‌صورت نمودارهای خطی براساس نوع گروه به ازای هر عدد کربن برای هر روش ترسیم می‌شود (شکل (۷-الف)). همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر سه روش، نتایج کمی مشابهی ارائه می‌دهند. با این حال، برای نشان دادن بهتر واریانس‌ها، تفاوت نتایج به‌دست آمده از GC-VUV برای هر دو دسته نتایج به‌دست آمده از DHA و GCxGC-FID رسم شد. یک انحراف برای پارافین‌های ۴C در نتایج GCxGC-FID مشاهده شد؛ این به دلیل عدم جداسازی C_4 -n و ایزو-پارافین‌ها در تجزیه و تحلیل GCxGC است که منجر به تخمین بیش از حد n-پارافین و کم محاسبه کردن گرفتن ایزو-پارافین‌ها می‌شود. شکل (۷) همچنین شامل نمودارهای میله‌ای از کمیت PIONA است، از جمله میزان خطا، که پنج تزریق در روز را به مدت سه روز نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، انحرافات استاندارد برای هر روش، مشابه یکدیگر بود. مقادیر انحراف استاندارد نسبی^{۲۱} برای هر روش کمتر از ۱/۳ درصد بود. به‌طور کلی، این سه روش نتایج مشابهی را ارائه کردند، به ویژه، داده‌های GCxGC-FID به خوبی با

الف) شناسایی مقادیر کمی پونا با توجه به تعداد کربن



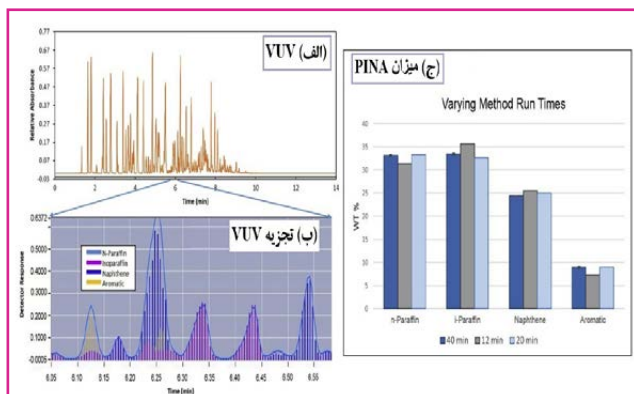
ب) شناسایی مقادیر کمی با گروه‌ها



شکل (۷): کمی‌سازی PIONA جریان هیدروکربن مایع (۳) که ۵ بار در روز به مدت سه روز تزریق می‌شود. (الف): نمودارهای خطی نشان‌دهنده درصد وزنی براساس عدد کربن برای n-پارافین، ایزوپارافین، نفتنیک، آروماتیک و اولفینیک به وسیله GC-VUV (زرد)، DHA (آبی) و GCxGC-FID (قرمز) برای مخلوط هیدروکربن مایع، و همچنین تفاوت درصد وزنی براساس نتایج GC-VUV در نرم‌افزار Tableau (نسخه ۹) رسم شده‌است. (ب): نمودارهای ستونی درصد وزنی با استفاده از نتایج PIONA همراه با میزان خطا برای نتایج GC-VUV (آبی تیره)، DHA (خاکستری) و GCxGC-FID (آبی روشن).

• GC-VUV حاصل از TID

آوردن جداسازی در ۲۰ دقیقه استفاده شد که نتایج مشابه PINA با روش ۴۰ دقیقه‌ای اصلی به‌دست آمد (شکل ۸-ج). در مطالعه مشابهی که توسط کوایو^{۲۲} و همکارانش انجام گرفت، مشخص شد که درجه خاصی از جداسازی کروماتوگرافی برای به‌دست آوردن تفکیک دقیق و در نتیجه کمی‌سازی دقیق نمونه مورد تجزیه و تحلیل، لازم است که این موضوع با یافته‌های ما نیز مطابقت دارد.



شکل (۸): نمونه‌های هیدروکربن، (الف): آنالیز سریع GC-VUV (۱۲۵ تا ۲۳۰ نانومتر)؛ (ب): بزرگنمایی ناحیه‌ای از GC-VUV شفاف‌سازی شده به‌وسیله نرم‌افزار PIONA؛ (ج): کمی‌سازی PIONA حاصل از روش ۴۰ دقیقه‌ای GC-VUV (ستون HP-PONA)، روش ۱۲ دقیقه‌ای در ستون DB-1 (مرتبط با شکل ۸-الف))، و روش ۲۰ دقیقه‌ای GC-VUV در ستون HP-PONA (کروماتوگرام نشان داده نشده‌است). نمایش خط فقط برای روش ۴۰ دقیقه‌ای (تزریق ۵ بار در روز به مدت سه روز) موجود است.

در بخش بالا نشان داده شد که نرم‌افزار TID برای VUV PIONA قادر به ارائه اطلاعات دقیق PIONA است. به‌منظور ارزیابی محدودیت‌های نرم‌افزار TID، روش ۴۰ دقیقه‌ای GC-VUV که در بالا توضیح داده شد، با تغییر به یک ستون ۲۰ متری ۱-DB و اعمال شیب دمایی سریع و افزایش سرعت جریان، به ۱۲ دقیقه کاهش داده می‌شود. شکل (۸) کروماتوگرام GC-VUV را برای نمونه هیدروکربن مایع و همچنین یک ناحیه بزرگنمایی شده بین ۶/۶ - ۶/۰ دقیقه از خروجی TID نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۸)، چندین دسته ترکیب با هم مشاهده می‌شود که از طریق ساده‌سازی طیف‌ها از یکدیگر قابل تشخیص هستند. برای این نتایج، تنها نتایج PIONA مورد بحث قرار می‌گیرند، زیرا اولفین‌ها در داده‌های GC-VUV نه شناسایی شده و نه مقدار آنها اندازه‌گیری شده‌است. در هنگام مقایسه کمیت PIONA، در روش ۱۲ دقیقه در ستون ۱-DB نسبت به روش ۴۰ دقیقه در ستون HP-PONA، انحرافات مشاهده شد (شکل ۸-ج)). این انحرافات به دلیل بارگذاری بیش از حد سیگنال‌ها در اجرای ۱۲ دقیقه GC-VUV است که بر تفکیک و ساده‌سازی PIONA تأثیر می‌گذارد. لازم به ذکر است که با تنظیم میزان تزریق، نسبت تقسیم و حتی متغیرهای ساده‌سازی، باید بر موضوع پیک‌های بار اضافه، غلبه کرد. به جای این روش، از ستون HP-PONA با یک شیب دمایی سریعتر و افزایش سرعت جریان برای به‌دست

نتیجه‌گیری

این مقاله، GC-VUV را با روش‌های تحلیلی مرسوم، مانند تجزیه و تحلیل تفصیلی هیدروکربن (DHA) و GCxGC، مقایسه می‌کند تا جریان‌های هیدروکربن مایع را ارزیابی کند. شباهت‌های خوبی بین این سه روش و همه روش‌های کمی‌سازی PIONA که تجزیه و تحلیل هیدروکربن‌ها را انجام می‌دهند وجود دارد و مقادیر RSD کمتر از ۱/۳ درصد (برای ۵ تزریق در روز به مدت ۳ روز) به‌دست آمد. در هنگام مقایسه بین مطالعات اسپایک و روش کمی‌سازی درصد مساحت سطح زیر نمودار، زمان استفاده از روش DHA، بیشترین انحرافات مشاهده شد؛ به‌ویژه برای نمونه حاوی الفین‌ها که مقدار را بیشتر یا کمتر از مقدار مجاز برای نمونه گزارش می‌کرد. با این حال، این موارد به‌وسیله پیچیدگی نمونه در کنار محدودیت‌های روش کروماتوگرافی گازی یک بُعدی با وضوح بالا دارای شناساگر FID و استانداردهای تحلیلی محدود، توضیح داده می‌شوند.

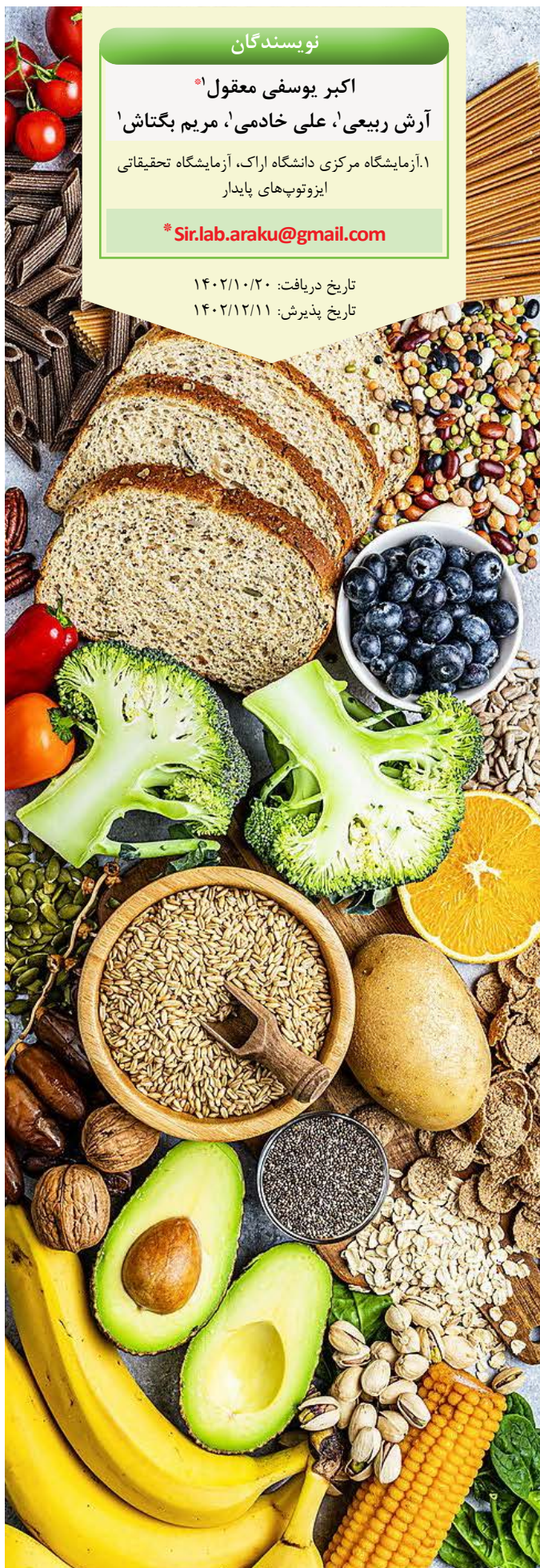
نرم‌افزار VUV PIONA شفاف‌سازی قدرتمندی از طیف‌های VUV جمع‌آوری شده را ارائه و مقدار صحیح را گزارش می‌کند. از طریق افزودن منحنی‌های استاندارد، غلظت بنزن و تولوئن به‌طور دقیق در یک جریان هیدروکربن مایع تعیین و با شفاف‌سازی و کمی‌سازی انجام شده با استفاده از نرم‌افزار PIONA مقایسه شد. بر این اساس مشخص شد که نتایج GC-VUV در حدود ۰/۶ درصد از سطح واقعی در نمونه کمتر است. همچنین تسریع در جداسازی نیز بین روش ۴۰ و ۲۰ دقیقه‌ای و مقایسه موارد مشابه امکان‌پذیر بود.

پی نوشت

1. Detailed Hydrocarbon Analysis (DHA)
2. Comprehensive two-dimensional gas chromatography (GCxGC)
3. Gas chromatography–vacuum ultraviolet spectroscopy (GC-VUV)
4. paraffin, isoparaffin, olefin, naphthene, and aromatic (PIONA)
5. Gas Chromatography (GC)
6. American Society for Testing and Materials (ASTM)
7. Flame ionization detection (FID)
8. Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS)
9. Selected ion monitoring (SIM)
10. Deconvolution
11. vacuum ultraviolet (VUV)
12. Terpène
13. Polychlorinated biphenyls (PCBs)
14. Spiking
15. time-of-flight mass spectrometer (TOF-MS)
16. ChromaTOF
17. ChemStation
18. GC Image
19. Atlas
20. Time Interval Deconvolution (TID) method
21. The relative standard deviation (RSD)
22. Qiu

مرجع

[1] M.N. Dunkle, et al., Quantification of the composition of liquid hydrocarbon streams: Comparing the GC-VUV to DHA and GCxGC, J. Chromatogr. A (2018), <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.12.026>



نویسندگان

اکبر یوسفی معقول^{۱*}آرش ربیعی^۱، علی خادمی^۱، مریم بگتاش^۱۱. آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اراک، آزمایشگاه تحقیقاتی
ایزوتوپ‌های پایدار

*Sir.lab.araku@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱

معرفی دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی و کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی

چکیده

در بیشتر مواقع فرض می‌شود که نسبت فراوانی ایزوتوپ‌های طبیعی ثابت است، ولی وقتی که این نسبت بسیار دقیق اندازه‌گیری شود، تغییرات قابل توجه و معنی‌داری را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی^۱، قادر است نسبت ایزوتوپ‌های پایدار را بسیار دقیق و صحیح تعیین کند، به طوری که با بررسی نسبت ایزوتوپی مربوط به عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد با استفاده از طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی، امکان انگشت‌نگاری مواد غذایی ساخت تولید کنندگان مختلف و در نتیجه ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی و به‌خصوص تشخیص تقلب در فرآورده‌های غذایی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی

طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی، انگشت‌نگاری ایزوتوپی، اصالت‌سنجی مواد غذایی.

بیشتر عناصر، دارای حداقل دو ایزوتوپ پایدار با فراوانی‌های متفاوت هستند که به‌طور معمول یک ایزوتوپ از نظر فراوانی غالب است. به‌عنوان مثال، میانگین فراوانی ^{12}C ، ۹۸/۸۹ درصد بوده، در حالی که میانگین فراوانی ^{13}C ، ۱/۱۱ درصد است. جدول (۱) میانگین فراوانی برخی از ایزوتوپ‌های پایدار را نشان می‌دهد.

جدول (۱): فراوانی طبیعی متداول‌ترین ایزوتوپ‌های پایدار (۱ تا ۳).

سولفور	اکسیژن	نیترोजن	کربن	هیدروژن
^{32}S : ۹۵/۰۲ درصد	^{16}O : ۹۹/۷۶۳ درصد	^{14}N : ۹۹/۶۴ درصد	^{12}C : ۹۸/۸۹ درصد	^1H : ۹۹/۹۸۴ درصد
^{34}S : ۴/۲۱ درصد	^{18}O : ۰/۱۹۹۵ درصد	^{15}N : ۰/۳۶ درصد	^{13}C : ۱/۱۱ درصد	^2H : ۰/۰۱۵۶ درصد

متداول‌ترین ایزوتوپ‌های پایدار، مربوط به عناصر هیدروژن (H)، کربن (C)، نیترोजن (N)، اکسیژن (O) و سولفور (S) است. نسبت ایزوتوپی یک نمونه (R) به‌صورت نسبت تعداد اتم‌های ایزوتوپ (سنگین‌تر) به تعداد اتم‌های ایزوتوپ دیگر (سبک‌تر) همان عنصر شیمیایی (مانند $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) تعریف می‌شود. نسبت این ایزوتوپ‌ها از زمان پیدایش زمین تاکنون تغییر نکرده است ولی تغییرات محلی به دلیل بسیاری از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی ایجاد می‌شود. به‌عنوان مثال، شکل‌های ایزوتوپی مختلف کربن (^{12}C و ^{13}C) توسط گیاهان، حیوانات و مواد معدنی، جذب شده و به بخشی از امضای ایزوتوپی کربن تبدیل می‌شوند. این نسبت ایزوتوپ‌های پایدار (مانند $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) به‌طور عمده در کنترل سوخت و ساز گیاه و یا رژیم غذایی حیوان بوده و بیشتر برای تفسیر این موارد استفاده می‌شود [۱ تا ۳].

برای ثبت یک اثر انگشت ایزوتوپی، نیاز به اندازه‌گیری بسیار دقیق نسبت ایزوتوپی در نمونه مورد نظر است. نسبت‌های ایزوتوپ‌های پایدار (R) ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) به‌طور دقیق و صحیح، با استفاده از روش‌های اختصاصی مانند طیفسنجی جرمی نسبت ایزوتوپی قابل اندازه‌گیری هستند. شکل پذیرفته شده برای گزارش ترکیب ایزوتوپی یک نمونه، نماد دلتا (δ) است. در واقع، تفاوت در نسبت‌های ایزوتوپی، بیشتر با نماد دلتا نشان داده شده و نسبت به یک استاندارد بین‌المللی محاسبه می‌شود. برای مثال، مقدار دلتا (δ) برای ترکیب ایزوتوپی کربن در یک نمونه به‌صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود [۱ تا ۳]:

$$\delta^{13}\text{C} (\%) = \left(\frac{R_{\text{نمونه}} - R_{\text{استاندارد}}}{R_{\text{استاندارد}}} \right) \times 1000 \quad \text{رابطه (۱)}$$

تغییرات فراوانی ایزوتوپ‌ها یا به عبارتی، تغییرات نسبت‌های ایزوتوپی، برای بیشتر عناصر مورد مطالعه، به‌طور معمول کوچک هستند و مقادیر به‌صورت قسمت درصد (%،)، قسمت در هزار (‰) یا قسمت در میلیون (ppm) گزارش می‌شوند. استانداردهای بین‌المللی برای محاسبه مقدار دلتا (δ) برای عناصر مورد نظر در جدول (۲) آورده شده‌است:

جدول (۲): استانداردهای بین‌المللی برای محاسبه مقدار دلتا (δ) برای عناصر هیدروژن، کربن، نیترोजن، اکسیژن و سولفور [۱ تا ۳].

عناصر	مقدار δ	نسبت	استانداردهای بین‌المللی	مقدار نسبت
هیدروژن	D δ	$^1\text{H}/^2\text{H}$	Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)	۰/۰۰۰۱۵۵۷۵
"	"	$^1\text{H}/^2\text{H}$	Standard Light Antarctic precipitation (SLAP)	۰/۰۰۰۰۸۹۰۸۹
کربن	C δ	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Vienna peedee belemnite (VPDB)	۰/۰۱۱۲۳۷۲
نیترोजن	N δ	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	Air	۰/۰۰۳۶۷۶
اکسیژن	O δ	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)	۰/۰۰۲۰۰۵۲
"	"	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Vienna peedee belemnite (VPDB)	۰/۰۰۲۰۶۷۲
"	"	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Standard Light Antarctic precipitation (SLAP)	۰/۰۰۱۸۹۳۹
گوگرد	S δ	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	Canyon diablo troilite (CDT)	۰/۰۴۵۰۰۵

به‌منظور اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپی مورد نظر، عناصر نیترोजن، گوگرد، کربن، اکسیژن و هیدروژن موجود در نمونه، از طریق سیستم‌های آماده‌سازی به شکل گازهای نیترोजن (N_2)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، مونوکسید کربن (CO) و یا هیدروژن (H_2) وارد دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی می‌شوند



شکل (۳): تصویری از آهنربای الکتریکی [۴].

• آشکارساز جرمی:

شامل سه فنجان فارادی^۲ بوده که عرض شکاف هر کدام متفاوت است (شکل (۴)).

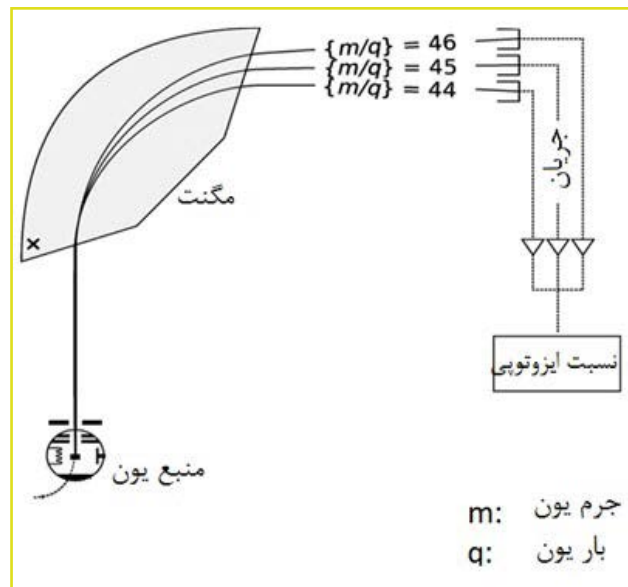


شکل (۴): تصویری از شناساگر جرمی (فنجان فارادی) [۴].

این سیستم، تغییرات در جداسازی پرتوهای یونی گازهای مختلف، مانند CO_2 و N_2 را بدون نیاز به آشکارساز جرمی قابل جایجایی در اختیار می‌گذارد؛ با این حال، در مورد هیدروژن، یک آشکارساز جرمی اضافی به آن افزوده می‌شود. باریک‌ترین شکاف، پرتو یون را از ایزوتوپ فرعی (۱) (پرتو (۲)) می‌پذیرد. این شکاف بیشترین قدرت تفکیک سیستم را فراهم می‌کند. شکاف، از عرض پرتو یونی، عریض‌تر است؛ به همین دلیل، بالای پیک اسکن شده، صاف است که این امر، خطاهای ناشی از دریافت‌های کوچک در موقعیت پرتو یونی را در اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپی محدود می‌کند. آشکارساز جرمی‌های بزرگ‌تر بیرونی، دارای شکاف‌هایی هستند که به‌طور تقریبی، سه برابر عریض‌تر از عرض شکاف آشکارساز جرمی محوری هستند. این شکاف‌های عریض‌تر، پرتوهای یونی را از ایزوتوپ‌های اصلی و فرعی (۲)^۵ می‌پذیرند (به ترتیب پرتوهای (۱) و (۳)) (شکل (۶)).

دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی

ساختار کلی دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی در شکل (۱) نشان داده شده‌است:

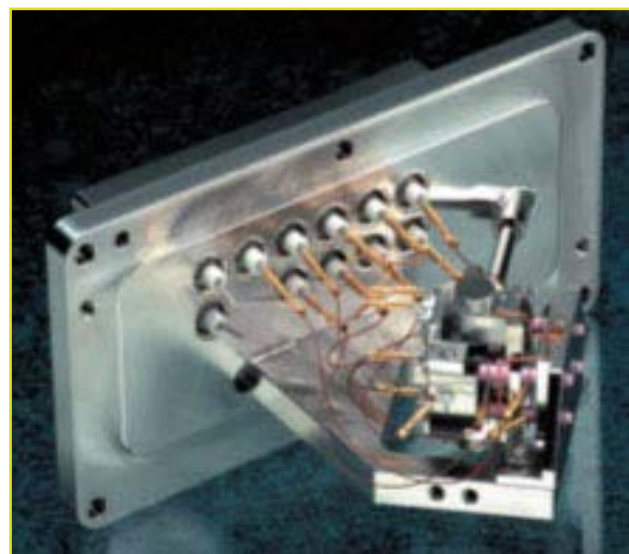


شکل (۱): ساختار کلی دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی [۴].

اجزای دستگاه طیفسنج جرمی نسبت ایزوتوپی عبارتند از:

• منبع یون^۶:

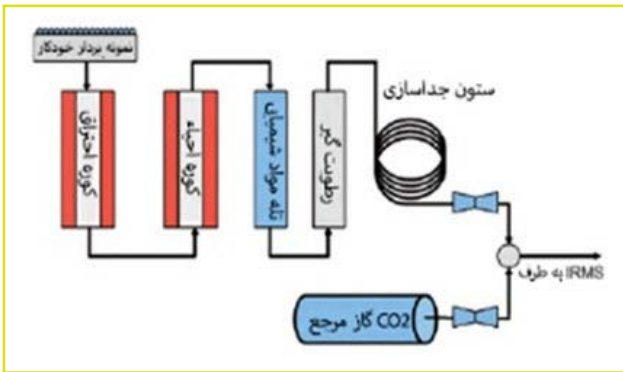
شامل یک محفظه کوچک است که در آن، مولکول‌های گاز با برخورد با الکترون‌ها یونیزه می‌شوند (شکل (۲)).



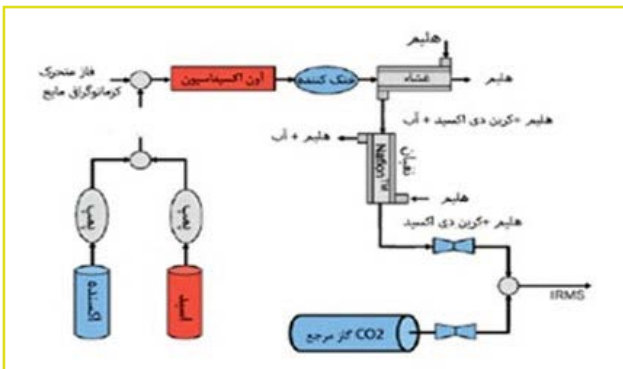
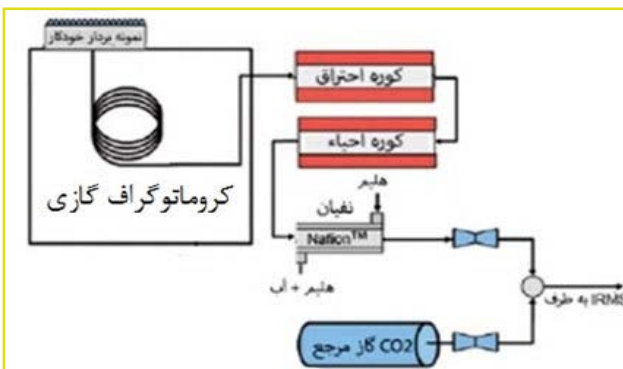
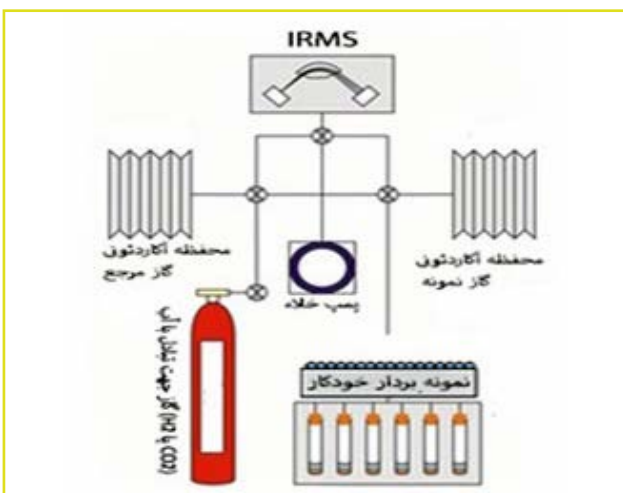
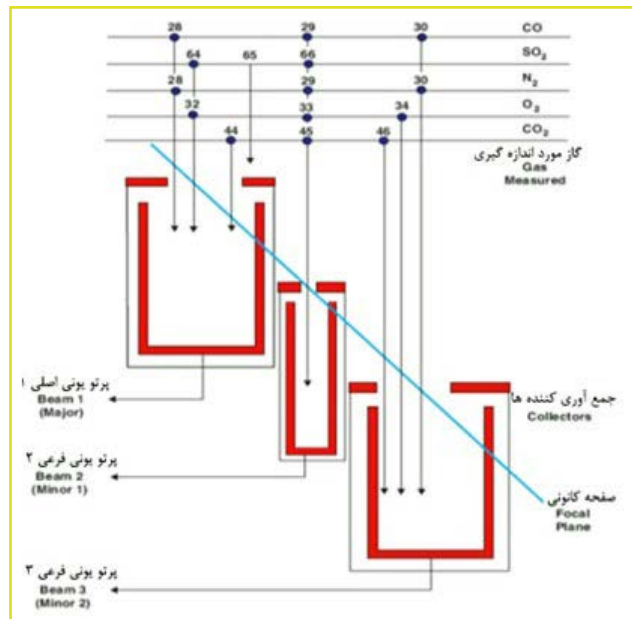
شکل (۲): تصویری از منبع یون ساز [۴].

• آهنربای الکتریکی:

شامل یک الکترومغناطیس است که با شدت جریان بین (۱) تا (۵) A کار می‌کند (شکل (۳)).



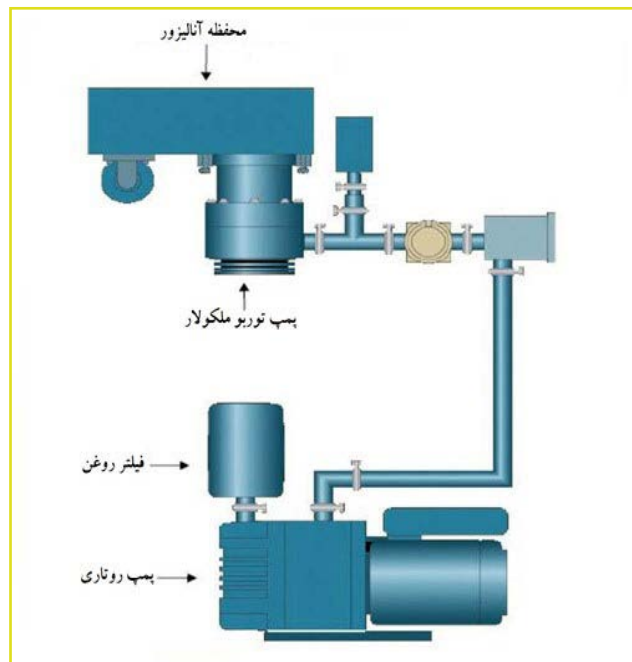
شکل (۷): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل آنالیز عنصری (IRMS) [۴].

شکل (۸): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل کروماتوگرافی مایع^{۱۲} (IRMS) [۴].شکل (۹): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل کروماتوگرافی گازی^{۱۳} (IRMS) [۴].شکل (۱۰): نمایی از سیستم آماده‌سازی نمونه شامل ورودی دوگانه^{۱۴} [۴].

شکل (۵): نمایی از عملکرد شناساگر جرمی [۴].

• سیستم خلاء:

سیستم خلاء، شامل یک پمپ چرخشی^۶ است که پمپ توربو مولکولی را پشتیبانی می‌کند (شکل (۶)).



شکل (۶): تصویری از سیستم خلاء [۴].

سیستم‌های آماده‌سازی نمونه

سیستم‌های آماده‌سازی نمونه شامل کروماتوگرافی مایع^۷، کروماتوگرافی گازی^۸، آنالیز عنصری^۹ و ورودی دوگانه^{۱۰} هستند. نمایی از سیستم‌های آماده‌سازی ذکر شده در شکل‌های (۷) تا (۱۰) نشان داده شده‌اند.

کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی

با توجه به اینکه مواد غذایی همواره مورد نیاز انسان و سایر جانداران بوده و تهیه آن نیز از نیازهای اصلی بازار است، افراد سودجو و متقلب تمایل بسیاری به استفاده از این بازار همیشگی و پر رونق دارند. در سال‌های اخیر، قلب و برچسب‌های غیرواقعی بر کالاها، از عضلات جدی در زمینه عرضه مواد غذایی هستند که نه تنها موجب تضییع حق مصرف‌کنندگان و کاهش اعتبار تولیدکنندگان متعهد می‌شود، بلکه سلامت جامعه را نیز تهدید می‌کند [۵]. تاکنون به‌منظور تشخیص تقلب در مواد غذایی از فناوری‌هایی مانند طیفسنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه^{۱۵}، رزونانس مغناطیس هسته^{۱۶}، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا استفاده شده‌است. متأسفانه کلاهبرداران خیره و ماهر می‌توانند با تقلید از ترکیب فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی، محصول مورد نظر را به‌صورت مصنوعی به‌گونه‌ای تولید کنند که قابل تشخیص از محصول طبیعی اصلی نباشد. یک فناوری جدید و موثر در تشخیص تقلبات مواد غذایی، آنالیز ایزوتوپ پایدار است. در واقع، از داده‌های حاصل از آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار (نسبت‌های ایزوتوپی) می‌توان به‌عنوان یک «امضا» و یا «اثر انگشت» نامرئی در اصالت‌سنجی انواع مواد غذایی بهره گرفت. دستیابی به این امضای ایزوتوپی به دلیل پیچیدگی آن بدون استفاده از دستگاه‌های تجزیه‌ای بسیار پیشرفته غیرممکن است، به طوری که کپی‌برداری و جعل این امضا بدون داشتن دانش کافی درباره فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی متعددی که می‌توانند فراوانی ایزوتوپ‌ها را در مواد غذایی تحت تأثیر قرار دهند، بسیار مشکل است [۲]. در این مطالعه، توانایی طیفسنجی جرمی نسبت ایزوتوپ‌های پایدار، به‌عنوان روشی موثر در تعیین اصالت و منشأ مواد غذایی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که عوامل مختلفی شامل ترکیب ایزوتوپی مواد استفاده شده توسط گیاه، فرآیند جذب مواد بوسیله گیاه، آب و هوای محیط رشد و نمو گیاه و روش زراعت و کوددهی می‌توانند بر ترکیب ایزوتوپی مواد گیاهی تأثیرگذار باشند. همچنین مسیرهای فتوسنتز مختلف گیاهان باعث تفاوت در فرآیند تثبیت کربن می‌شود که در نهایت، بر نسبت ایزوتوپی $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ اثر می‌گذارد. علاوه بر این، ترکیب ایزوتوپی نیتروژن ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) نیز به تغذیه خاک وابسته است. بنابراین، بررسی ترکیب ایزوتوپی فرآورده‌های گیاهی با استفاده از IRMS به‌عنوان روشی مفید برای تعیین اصالت مواد غذایی و تشخیص مواد غذایی اصل از تقلبی قابل استفاده است.

به‌عنوان مثال، نتایج گزارش‌ها نشان می‌دهد که از روش‌های نسبت ایزوتوپی نه تنها می‌توان برای بررسی منشأ

جغرافیایی برنج استفاده کرد [۶]، بلکه تقلب ناشی از اضافه کردن برنج نامرغوب به برنج مرغوب را نیز می‌توان تشخیص داد؛ به طوری که در ژاپن، طبق قانون استانداردهای کشاورزی، هنگام بسته‌بندی برنج، برچسب‌هایی برای مشخص کردن گونه گیاهی، منطقه زراعی و سال کشت محصول نیاز است. آنالیز ۳۵ نمونه گندم کاشته شده در مناطق مختلف استرالیا، آمریکا، کانادا و چین با استفاده از طیفسنجی نسبت ایزوتوپی آنالیز عنصری^{۱۷} نشان داد که با تعیین مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{15}\text{N}$ در نمونه، می‌توان خاستگاه جغرافیایی نمونه‌های گندم کشت شده در مناطق مختلف را تشخیص داد. بنابراین، اندازه‌گیری مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{15}\text{N}$ به‌طور بالقوه، به‌عنوان روشی مفید برای تعیین منشأ جغرافیایی گندم و حتی غلات دیگر مانند جو و برنج پیشنهاد می‌شود [۵].

مطالعات مشابهی با استفاده از روش‌های ایزوتوپی برای تعیین خاستگاه جغرافیایی و بررسی شرایط کشت سایر محصولات کشاورزی انجام شده‌است. آنالیز ایزوتوپی (H, O, N, C) انواع توت‌فرنگی و کشمش در ۱۹۰ نمونه از میوه‌های تولید شده در مناطق ایتالیا، رومانی و لهستان انجام شد، نتایج حاصل، تمایز بین محصولات کاشته شده در مناطق مختلف را نشان داد [۷].

از داده‌های ایزوتوپ کربن و اکسیژن برای تمایز منابع روغن زیتون تولید شده در مکان‌های مختلف منطقه مدیترانه استفاده شده‌است [۸]. به‌طور مشابه، به کمک اندازه‌گیری ^{13}C مربوط به اسیدهای چرب به ویژه پالمیتیک اسید و اولئیک اسید می‌توان درجه کیفیت و منشأ جغرافیایی روغن پالم را تشخیص داد [۹].

علاوه بر این، آنالیز ایزوتوپی کربن و هیدروژن ($\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^2\text{H}$) باعث شده‌است که بتوان منابع مختلف اسید سیتریک طبیعی حاصل از آب میوه (در مقایسه با منابع تجاری استخراج شده از نیشکر یا شربت ذرت) را به‌منظور ردیابی تقلب در آبمیوه‌های مختلف، مشخص کرد [۱۰]. همچنین مطالعات ارزشمندی به‌منظور تشخیص عسل اصل از عسل تقلبی با استفاده از طیفسنجی نسبت ایزوتوپی کروماتوگرافی مایع^{۱۸} انجام شده‌است [۱۱]. بررسی ترکیب ایزوتوپی ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{15}\text{N}$) در زعفران، روش مناسبی برای تشخیص اصالت و منشأ جغرافیایی این محصول ارزشمند است [۱۲].

لازم به ذکر است که آنالیز ایزوتوپی به‌منظور تشخیص تقلب در فرآورده‌های دامی و محصولات جانبی آنها نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، با استفاده از نسبت ایزوتوپی کربن و نیتروژن می‌توان تمایز گوشت گاو تولید شده در کشورهای مختلف را تشخیص داد. علاوه بر این، روش تغذیه (رایج در مقابل ارگانیک) دام را گاهی می‌توان با آنالیز ایزوتوپ‌های کربن، نیتروژن و گوگرد شناسایی نمود. بدین منظور، نسبت‌های ایزوتوپی $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ و $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ، در گوشت گوسفند آفریقایی که در مزارع

نتیجه‌گیری

بکارگیری روش‌های آنالیز نسبت‌های ایزوتوپی و بررسی امضاهای ایزوتوپی طبیعی، راه حل بسیاری از مسائل، در زمینه ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی است. از آنجایی که مساله ایمنی و سلامت مواد غذایی، مساله‌ای رو به رشد است، اخیراً برای بررسی اصالت و منشأ مواد غذایی شامل فرآورده‌های لبنی مانند شیر و پنیر، محصولات آبرزی مانند ماهی، غلات مختلف مانند گندم و برنج، عسل، انواع آبمیوه‌ها، فرآورده‌های گوشتی مانند گوشت گاو و گوسفند، روغن زیتون، زعفران و عصاره‌های وانیلی از آنالیز نسبت ایزوتوپی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که آگاهی از نوع تغذیه گیاهان و حیوانات و فرآیندهای سوخت و ساز آنها، به درک و تفسیر بهتر مسیرهای جذب ایزوتوپ‌های پایدار توسط گیاهان و حیواناتی که از این گیاهان تغذیه می‌کنند، کمک می‌کند. آگاهی از این مبانی، تفسیر امضاهای ایزوتوپی را به‌منظور تشخیص روش‌های کشت گیاهان و منشأ آنها و نیز خاستگاه و نوع رژیم غذایی حیوانات را ممکن می‌سازد.

مختلف (۷ مزرعه) با گیاهان مختلف تغذیه شده بودند، برای ارزیابی منشأ و رژیم غذایی گوسفند، با استفاده از IRMS اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ تحت تاثیر محل پرورش و در واقع رژیم غذایی مصرفی قرار گرفته است [۱۳].

با توجه به اینکه ردیابی اصالت فرآورده‌های لبنی از اهمیت بسیاری برخوردار است، آنالیز ایزوتوپی بسیار کمک کننده است. بدین منظور، مطالعات ایزوتوپی پنیرهای ایتالیا، اسپانیا و فرانسه با اندازه‌گیری مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ ، $\delta^{15}\text{N}$ و $\delta^{34}\text{S}$ در کازیین و $\delta^{18}\text{O}$ در گلیسرول با استفاده از IRMS انجام شد و اثر عوامل موثر مانند رژیم غذایی حیوان، منشأ جغرافیایی، شرایط اقلیمی و فصلی بر ترکیب ایزوتوپی پنیرهای مورد مطالعه، بررسی شدند. نتایج نشان داد که مقدار $\delta^{13}\text{C}$ کازیین و گلیسرول تحت تاثیر مقدار ذرت در رژیم غذایی حیوان است و مقادیر $\delta^{15}\text{N}$ و $\delta^{34}\text{S}$ کازیین تاثیرپذیر از شرایط آب و هوایی خاستگاه، مانند خشکی، فاصله و ارتفاع از سطح دریا است [۱۴]. مطالعات مشابهی نشان داد که ترکیب ایزوتوپی پنیر ($\delta^{13}\text{C}$ ، $\delta^{15}\text{N}$ ، $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{34}\text{S}$) می‌تواند ارتباطی قوی با مقدار ذرت مصرفی در رژیم غذایی حیوان داشته باشد [۱۵]. بنابراین، آنالیز ترکیب ایزوتوپی مواد غذایی از قبیل فرآورده‌های کشاورزی و دامی به‌طور وسیعی به‌منظور بررسی اصالت مواد غذایی استفاده می‌شود.

پی‌نوشت

1. Isotope ratio mass spectrometry (IRMS)
2. Ion source
3. Faraday cup
4. Minor 1 isotope
5. Major and minor 2 isotopes
6. Rotary pump
7. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
8. Gas chromatography (GC)
9. Elemental analysis (EA)
10. dual input (DI)
11. Elemental analysis (EA)
12. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
13. Gas chromatography (GC)
14. Dual input (DI)
15. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)
16. Nuclear magnetic resonance (NMR)
17. Elemental analyzer-isotopic ratio mass spectrometer (EA-IRMS)
18. Liquid chromatography- Isotope ratio mass spectrometry (LC-IRMS)

- [1] Zh[1] PT Korenaga, Y Suzuki, Y Chikaraishi, 7- Biochemical Stable Isotope Analysis in Food Authenticity, Engineering Tools in the Beverage Industry, 3 (2019) 209-227.
- [2] LA Chesson, BJ Tipple, and JD Howa, GJ Bowen, JE Barnette, TE Cerling, JR Ehleringer, Stable Isotopes in Forensics Applications, Elsevier, 2014.
- [3] J Francis Carter, L Ann Chesson, Food forensics: stable isotopes as a guide to authenticity and origin, 2017.
- [4] Isoprime user manual.
- [5] D Luo, H Dong, H Luo, Y Xian, J Wan, X Guo, Y Wu, The application of stable isotope ratio analysis to determine the geographical origin of wheat, Food Chemistry, 174 (2015) 197–201.
- [6] L Zhi, W Yuan, H Yudi, L Wei, L Bin, M Guiyuan, Multi-stable isotope and multi-element origin traceability of rice from the main producing regions in Asia: A long-term investigation during 2017–2020, Food Chemistry, 412, (2023) 135417.
- [7] M. Perini, L. Giongo, M. Grisenti, L. Bontempo, F. Camin, Stable isotope ratio analysis of different European raspberries, blackberries, blueberries, currants and strawberries, Food Chemistry, 239 (2018) 48-55.
- [8] E G. Nasr, E N. Epova, M Sebilo, D Larivière, M Hammami, R Souissi, H Abderrazak, O F. X. Donard, Olive Oil Traceability Studies Using Inorganic and Isotopic Signatures: A Review, Molecules, 27(6) (2022) 2014; <https://doi.org/10.3390/molecules27062014>
- [9] Spangenberg, J. E., Macko, S. A., & Hunziker, J. Characterization of olive oil by carbon isotope analysis of individual fatty acids: implications for authentication. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46 (1998) 4179–4184.
- [10] E. Jamin, F. Martin, R. Santamaria-Fernandez, and M. Lees, Detection of Exogenous Citric Acid in Fruit Juices by Stable Isotope Ratio Analysis, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (2005) 5130-5133.
- [11] A.I. Cabañero, J.L. Recio, M. Ruperez, Liquid chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry: a new perspective on honey adulteration detection, J. Agric. Food Chem. 54 (2006) 9719–9727.
- [12] J Nie, J Yang, C Liu, C Li, S Shao, C Yao, B Chen, Y Tao, F Wang, Y Zhang, K M. Rogers, P Wang, Y Yuan, Stable isotope and elemental profiles determine geographical origin of saffron from China and Iran, Food Chemistry, 405 (2023) 134733
- [13] M O Varrà , E Zanardi, M Serra, M Conter, A Ianieri, S Ghidini, Isotope Fingerprinting as a Backup for Modern Safety and Traceability Systems in the Animal-Derived Food Chain, Review, molecules, 28(11) (2023), 4300; <https://doi.org/10.3390/molecules28114300>
- [14] F Camin, K Wietzerbin, A B Cortes, G Haberhauer, M Lees, G Versini, Application of Multielement Stable Isotope Ratio Analysis to the Characterization of French, Italian, and Spanish Cheeses, J. Agric. Food Chem. 52 (2004) (21) 6592–6601.
- [15] S Zhao, H Liu, M Qie, Jiukai Zhang, L Tan, Y Zhao, Stable Isotope Analysis for Authenticity and Traceability in Food of Animal Origin, Review, Food Reviews International, 39(5) (2023).

نویسندگان

عباس عابدفر^{۱*}اهدا نوری زاده^۲

۱. دکتری صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه گیلان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه گیلان

*a.abedfar@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

تشخیص آلرژن‌های غذایی نظیر گلوتن با استفاده از روش واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در زمان واقعی

چکیده

کاربری فناوری‌های مولکولی در نمونه غذایی به‌منظور تشخیص حساسیت‌های غذایی (آلرژی‌ها نظیر گلوتن غلات و لاکتوز شیر) و تشخیص تقلبات در صنایع غذایی امری ضروری به نظر می‌رسد. بی‌شک، به کارگیری روش‌های مرسوم (وابسته به کشت) برای شناسایی آلرژن‌های غذایی، آنتی‌بیوتیک‌ها و میکروارگانیسم‌های پاتوژن‌ها در صنعت فرآوری مواد غذایی امری پرهزینه و بسیار وقت‌گیر خواهد بود، از این رو، بکارگیری روش‌های نوین مولکولی مستقل از کشت نظیر واکنش زنجیره‌ای پلیمرز^۱ با کمترین زمان و دقت بسیار بالا به‌منظور ارزیابی کیفیت و ایمنی مواد غذایی معرفی شد. در کشورهای اروپایی، آمریکای شمالی و ژاپنی، ترکیبات نوظهور بر پایه پروتئین به‌عنوان الویت‌های اساسی به‌طور فهرست‌وار طبقه‌بندی شدند. روش‌های گسترده مطالعات روی محتوای توالی نوکلئوتیدی DNA در شرایطی که اطلاعات کافی در خصوص توالی اسیدهای آمینه سازنده پروتئین‌ها نباشد، استفاده می‌شود. به‌منظور ارزیابی شاخص‌های آلرژی‌زا در توالی سازنده پروتئین‌ها از روش‌هایی نظیر PCR، واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در زمان واقعی^۲ استفاده می‌شود. روش‌های مذکور به دلیل دقت بالاتر، دسترسی آسانتر و مقرون به صرفه بودن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس، از این روش برای تشخیص حساسیت ساختاری تخم مرغ، شیر و نمونه‌های حاوی مهارکننده‌ها (مانند پلی‌فنول‌ها در شکلات) و همچنین در برخی از کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئینی در صنعت استفاده می‌شود. در این مقاله، به بررسی و تشخیص غذاهای حاوی پروتئین‌های آلرژی‌زا، مشکلات و قابلیت‌های چندگانه در سیستم پرداخته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

روش Real-time PCR، تشخیص آلرژن‌های غذایی، تشخیص تقلبات، تشخیص آنتی‌بیوتیک‌ها و میکروارگانیسم‌های پاتوژن.

براساس مطالعات انجام شده در طی چند دهه گذشته، آلرژی غذایی شیوع پیدا کرده و در حال حاضر حدود ۶ تا ۸ درصد از کودکان و ۳ تا ۴ درصد از سلامت عموم مردم را تحت تاثیر قرار داده است [۱]. آلرژی‌های غذایی علائم بسیار متغیری داشته و ممکن است پوست، گردش خون، سیستم تنفس و سیستم گوارش افراد را تحت تاثیر قرار دهد. به‌طور کلی، شدت این بیماری خفیف بوده و در گاهی موارد، منجر به مرگ برخی از افراد می‌شود. آلرژی غذایی پاسخ سیستم ایمنی بدن افراد نسبت به پروتئین‌های تغذیه‌ای بوده و تولید آلرژن‌ها توسط بدن افراد، نشان‌دهنده اختلالات ایجاد شده است. ایمونوگلوبولین‌ها، گروهی از آلرژن‌ها هستند که به‌عنوان نشانگر در تشخیص آلرژی‌های غذایی استفاده می‌شوند. آلرژی غذایی علیرغم داشتن محرک مشابه با بیماری سلیاک (گلوتن حاصل از گندم، چاودار و جو) موجب بروز علائم متفاوتی در بدن می‌شود. بیماری سلیاک یک اختلال ایمنی التهابی است که مخاط روده کوچک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. حدود ۱ درصد از جمعیت کشورهای توسعه یافته به بیماری سلیاک مبتلا هستند [۲]. آلرژی‌های غذایی و بیماری سلیاک درمان نداشته و تنها گزینه برای درمان مبتلایان، پرهیز از عوامل تحریک کننده است. بر همین اساس، افراد مبتلا به بیماری باید رژیم غذایی مناسبی داشته باشند.

ساختار برچسب‌گذاری محصولات

بررسی مواد آلرژی‌زا در صنایع غذایی

امکان دستیابی به تولید محصولات با کیفیت و اطمینان بخشی از صحت برچسب‌گذاری‌های انجام شده با کنترل روش‌های تولید مناسب فراهم شده است. صنعتگران فعال در حوزه غذا، برای دستیابی به این هدف، به‌طور دقیق مواد آلرژن و گلوتن را مورد بازرسی قرار داده و با اجرای سیستم تحلیل زیان و کنترل نقاط بحرانی^۳ در صنعت، احتمال حضور آلرژن‌ها و گلوتن را در محصولات غذایی کاهش داده‌اند. برای جلوگیری از وجود مواد حساسیت‌زا یا باقیمانده گلوتن در محصول نهایی، برخی اقدامات و خطاهای احتمالی در فرآیند تولید پیش‌بینی شده است. با کنترل ورود مواد غذایی آلوده به خط تولید، فرمولاسیون مناسب، طراحی صحیح خط تولید، برنامه‌های تولید مناسب و بهداشت دستگاه‌ها نیز می‌توان مقادیر آلرژن‌ها و گلوتن را به‌طور چشم‌گیری کاهش داد.

در صنعت، برای جداسازی مواد حساسیت‌زا و گلوتن از روش تحلیلی^۴ استفاده می‌شود. روش مذکور، پس از تجزیه و تحلیل مواد اولیه، بررسی محصولات نهایی، بررسی سطوح و محلول‌های شستشو و مراحل تمیز کردن مورد استفاده قرار می‌گرفت. در میان روش‌های مختلف تشخیص آلرژن‌ها، روش مبتنی بر آنتی‌بادی‌ها یا آزمون ایمونوسوربت مرتبط با آنزیم^۵ و دستگاه‌های جریان جانبی^۶ برای تشخیص آلرژن‌های غذایی و گلوتن با استفاده از پروتئین‌ها، روش‌های متداولی هستند. طیف‌سنجی جرمی نیز یکی دیگر از رویکردهای تحلیلی مبتنی بر پروتئین‌ها برای تشخیص و غربالگری است. تشخیص آلرژن‌های غذایی و گلوتن براساس فناوری DNA یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده است. در این روش، DNA به جای پروتئین‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. امروزه

امکان تشخیص عوامل حساسیت‌زا برای مصرف‌کنندگان با برچسب‌گذاری محصولات فراهم شده است. پایگاه‌های نظارتی به‌منظور بررسی مقررات توسط کشورهای گوناگون وضع شده است تا هنگام استفاده از آلرژن‌ها یا مشتقات آنها در محصولات غذایی، برچسب‌گذاری انجام شده توسط این مراکز مورد بررسی قرار گیرد. ساختار برچسب‌ها روی محصولات، براساس قوانین هر کشور متفاوت است. به‌طور معمول، از مواد تشکیل‌دهنده این لیست می‌توان تخم مرغ، شیر، سویا، ماهی، بادام زمینی و آجیل‌ها را نام برد. تعیین میزان مواد نام برده شده در محصولات نیز الزامی است. مقدار مجاز مواد غذایی آلرژن‌زا براساس قوانین هر کشوری متفاوت است. قوانین جهانی به‌منظور حدود مجاز استفاده از این دسته مواد غذایی مقرر نشده است اما در کشور ژاپن، مقادیر کمتر از ۱۰ ppm به‌عنوان آلرژن‌زا در نظر گرفته شده و در برچسب‌گذاری آلرژن‌ها معرفی نمی‌شوند.

همچنین عنوان «فاقد گلوتن» به‌منظور آگاهی بخشی مبتلایان بیماری سلیاک در برچسب‌گذاری محصولات غذایی درج می‌شود. برچسب‌گذاری این دسته از محصولات شامل مقررات متفاوتی است. براساس استاندارد کدکس در اروپا، مواد غذایی حاوی گلوتن دارای دو تعریف متفاوت هستند:

(الف): هنگامی که محتویات گلوتن برابر یا کمتر از ppm ۲۰ باشد، محصولات به‌صورت «فاقد گلوتن» برچسب‌گذاری می‌شوند.

(ب): در محصولاتی که میزان گلوتن بیشتر از ppm ۱۰۰ نباشد، به‌صورت «گلوتن اندک» برچسب‌گذاری می‌شوند.

بالایی دارند. هدف از به کارگیری این روش، تشخیص آلرژن در مواد خام و محصولات غذایی فرآوری شده، است.

■ واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR)

سنجش‌های PCR برای تشخیص آلرژن در محصولات کشاورزی، مواد خام و محصولات فرآوری شده استفاده می‌شوند. می‌توان با انتخاب پرایمر مناسب، شرایط و دقت تشخیص آزمون‌های تاییدی را افزایش داد. هنگامی که محصول تقویت شده با آنزیم در نقاط نوکلئوتیدی خاص هضم می‌شود یا به اصطلاح چندریختی طول قطعه بریده شده^۸ صورت گیرد، یک الگوی خاص به‌عنوان نقطه هدف آنزیم مشخص می‌شود. اشکال این روش، زمان‌بر بودن آن است. با این حال، در تعیین گونه‌های با تشخیص وجود پلی مورفیسم‌ها به‌خصوص تغییرات تک نوکلئوتیدی در ژنوم به وسیله آنزیم‌های محدودگر یا به اصطلاح (PCR-RFLP)^۹ موجود در گروه‌های غذایی مانند: آجیل، ماهی و سخت‌پوستان نقش مهمی را ایفا می‌کند [۴]. بررسی این مواد غذایی با روش الایزا به اندازه کافی اختصاصی نیست. آنزیم محدود کننده بی فال^{۱۰} برای شناسایی سخت‌پوستان (میگو - خرچنگ)، rRNA را مورد هدف قرار می‌دهد [۵]. همچنین از این روش برای تشخیص سویا در غذاهای فرآوری شده با PCR پرایمر جدید استفاده می‌شود. با این حال، این روش برای مقادیر (۰/۵ درصد سویا) برای تشخیص منبع آلرژن‌ها در محصولات غذایی حساس کاربرد ندارد.

استفاده از پروب‌های برچسب‌دار روش دیگری برای تایید PCR و ویژگی محصولاتی است که با یک غشاء احاطه شده‌اند. با استفاده از این روش، توالی نوکلئوتیدی برای سیستم PCR تعیین می‌شود [۶]. در طی مراحل تجزیه و تحلیل غربالگری، توالی‌های تعیین شده برای PCR با اسید نوکلئیک پیتید همراه شده و به دنبال آن از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا^{۱۱} برای تبادل آنیون با تشخیص فلورسانس استفاده می‌شود. این روش ابتدا برای تجزیه و تحلیل GMOs توسعه داده شد. با این حال، تجزیه و تحلیل HPLC با یک پروب خاص برای تشخیص فندق نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، این روش برای آزمون‌های تاییدی مفید بوده اما به نسبت سایر روش‌ها، پیچیده و وقت‌گیر است [۷].

■ Real-time PCR

این روش کمی مزایای متعددی نسبت به روش PCR معمولی دارد. این روش، امکان کمی کردن نتایج PCR را فراهم می‌سازد. همچنین احتمال خطای تداخل آغازگرها با محصولات غیر اختصاصی را کاهش می‌دهد. نمونه‌های بررسی شده در این روش، کمتر در معرض آلودگی قرار می‌گیرند. در جدول (۲) مبنای کاربرد روش کمی و معمولی PCR در برخی از محصولات غذایی که برای تشخیص آلرژن‌های غذایی در مواد خام و غذاهای فرآوری شده استفاده می‌شود، نشان داده شده‌است [۸].

از روش‌های دیگر به بررسی پروتئین‌ها و محتوای ژنی موجود در غذاها می‌پردازند. با اجرای مقررات جدید برچسب‌گذاری، مشکلات تحلیلی روش‌هایی مانند الایزا و روش‌های تاییدی براساس تکثیر DNA برطرف شده‌است. با کمک چنین روش پیشرفته‌ای تعدادی از کشورهای توسعه یافته نظیر کشورهای ژاپن، استرالیا و نیوزلند، کانادا، آمریکا و برخی از کشورهای اروپایی در بررسی برخی از محصولات کشاورزی پیشرو هستند. مهمترین دسته از محصولات کشاورزی در جدول (۱) نشان داده شده‌است.

جدول (۱): گروهی از آلرژن‌های غذایی [۳].

اروپا	امریکا	کانادا	استرالیا/ نیوزلند	ژاپن
بادام زمینی	بادام زمینی	بادام زمینی	بادام زمینی	بادام زمینی
آجیل	آجیل	آجیل	آجیل	تخم مرغ
سویا	سویا	سویا	سویا	شیر
تخم مرغ	شیر	تخم مرغ	تخم مرغ	گندم
شیر	گندم	شیر	شیر	میگو
ماهی	تخم مرغ	ماهی	ماهی	
کرفس	ماهی	خردل	دانه کنجد	
خردل		دانه کنجد	غلات حاوی گلوتن	
دانه کنجد		گندم		
غلات حاوی گلوتن				

■ روش‌های مبتنی بر DNA

به‌منظور تشخیص آلرژن‌ها در مواد غذایی از روش‌های مبتنی بر DNA استفاده می‌شود. فناوری مبتنی بر DNA به‌طور گسترده برای تشخیص ماهیت مواد غذایی به ویژه برای تشخیص نوع میکروارگانیسم اصلاح شده ژنتیکی^{۱۲} استفاده می‌شود. امروزه برای بررسی موارد ذکر شده روی برچسب‌های مواد غذایی و مقررات تعیین شده به‌منظور تشخیص آلرژن‌ها، از روش مبتنی بر DNA استفاده می‌شود. بسیاری از آزمایشگاه‌ها کنترل‌گر اصلاح شده ژنتیکی (GMO) هستند که از پی سی آر برای تشخیص آلرژن‌های غذایی استفاده می‌کنند. انجام این گروه از آزمایش‌ها، حساسیت

جدول (۲): کاربرد روش‌های PCR معمولی یا کمی برای تشخیص آلرژن‌های غذایی [۳].

روش مورد استفاده	آلرژن
PCR	بادام زمینی
Real-time PCR	بادام زمینی
PCR	سویا
PCR/Real-time	فندق
PCR	گردو
PCR	بادام هندی
Real-time PCR	پسته
PCR	ماهی
PCR	گندم
PCR	غلات حاوی گلوتن
PCR	کرفس
Real-time PCR	خردل
Real-time PCR	کنجد
Multiplex PCR	سایر آلرژن‌ها

روش تشخیص هم‌زمان چندین توالی هدف با چند جفت پرایمر متفاوت^{۱۲}

روش‌های نوین، امکان تجزیه و تحلیل مواد غذایی به صورت تشخیص هم‌زمان چند آنالیت را فراهم کرده‌اند. برای تشخیص هم‌زمان چندین آلرژن می‌توان از این روش‌ها استفاده کرد؛ به عنوان مثال، با استفاده از روش‌های PCR، امکان تشخیص هم‌زمان فندق و کنجد در مواد غذایی فراهم شده‌است. براساس مطالعات انجام شده، می‌توان محصولاتی که دارای جزء آلرژن هستند و DNA آنها در سیستم PCR تکثیر شده‌است را با پیتید نوکلئیک اسید^{۱۳} شناسایی نمود [۹]. از این روش برای شناسایی هم‌زمان آلرژن‌های فندق و بادام زمینی استفاده می‌شود. با دریافت ژن‌های متفاوت مربوط به دو ساختار از آلرژن‌های فندق و بادام زمینی، توالی DNA نمونه به عنوان هدف برای پرایمرهای سیستم در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. در طی چند دهه اخیر این روش برای شناسایی هم‌زمان بادام زمینی، گردو، پسته، فندق، دانه کنجد و آجیل در مواد غذایی به کار گرفته شده‌است [۱۱]. نمونه‌های آلرژن شناسایی شده مرتبط با هر نوع محصول غذایی و برای گروه‌های سنین متفاوت توزیع می‌شود. در طی چند دهه اخیر این روش برای شناسایی هم‌زمان بادام زمینی، گردو، پسته، فندق، دانه کنجد و آجیل در مواد غذایی به کار گرفته شده‌است [۱۲].

فناوری PCR برای آلرژن‌های غذایی و گلوتن

عوامل حساسیت‌زا بر پایه پروتئین‌های غذایی هستند. هدف اصلی از روش‌های یاد شده، تشخیص این گروه از مواد

غذایی است که با DNA ساختاری خود شناسایی می‌شوند. به دلیل ساختار پیچیده پروتئین‌ها و ژن‌های یک محصول، امکان خطا در سنجش‌های مبتنی بر DNA وجود دارد؛ زیرا بیان ژن می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی نیز باشد. استفاده از این روش‌ها برای برخی از مواد غذایی نیز دارای محدودیت‌هایی است. مواد غذایی آلرژن‌زا مانند: شیر و تخم مرغ به منظور آنالیز، حاوی مقادیر قابل توجهی DNA نیستند [۱۳]. همچنین پردازش‌های انجام شده می‌تواند بر ساختار پروتئین و DNA در ساختارهای مختلف تأثیرگذار باشد. پروتئین‌های مورد استفاده برای فرمولاسیون‌های مواد غذایی نیز ممکن است فاقد DNA قابل دسترس باشند. به منظور کارآمدی سیستم‌های طراحی شده، از سیستم ای‌ی‌ا و PCR به‌طور مشترک برای تشخیص یک آلرژن استفاده می‌شود [۱۴].

براساس مطالعات انجام شده، سیستم PCR حساسیت کمتری نسبت به آلرژن‌های (پروتئین) شیر و تخم مرغ داشته و همچنین این فناوری، دارای قابلیت تشخیص تمایز ساختاری بین اجزای حساسیت‌زا در گوشت مرغ، گوشت گاو و غیره نیست. با این حال، سنجش‌های مبتنی بر DNA مزایای عمده‌ای نسبت به روش‌های دیگر دارند [۱۵]. برخی از سنجش‌های انجام شده با روش ای‌ی‌ا، براساس تشخیص چندین پروتئین با استفاده از آنتی‌بادی انجام می‌شوند مانند کیت‌های تجاری که برای تشخیص بادام زمینی استفاده می‌شوند. سنجش‌های مبتنی بر DNA قابل توسعه هستند و در مقایسه با روش‌های تولید آنتی‌بادی سریع‌تر انجام می‌شوند [۱۶]؛ زیرا می‌توان توالی نوکلئوتیدی هدف را در آنها نشان‌گذاری نمود. علاوه بر این، روش‌های مبتنی بر DNA، قابلیت تشخیص گروه‌های غذایی خاص مانند ماهی را دارند. در برخی از آزمایشگاه‌ها، از سنجش‌های مبتنی بر DNA برای تشخیص آلرژن‌های غذایی استفاده می‌شود. از نشانگرهای DNA علاوه بر تشخیص آلرژن‌های غذایی، برای بررسی تجهیزات صنعتی نیز استفاده می‌شود [۱۷].

اهداف تشخیص آلرژن‌های غذایی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، از نشانگرهای DNA برای تشخیص آلرژن‌ها استفاده می‌شود اما ممکن است غلظت آلرژن‌ها در نمونه غذایی قابل تشخیص نباشد. با صرف نظر از مجموعه توالی DNA هدف، سنجش باید از ویژگی و حساسیت کافی برای تشخیص هدف در نمونه‌های غذایی برخوردار باشد [۱۸]. از جمله روش‌های مختلفی که برای تشخیص عوامل آلرژن‌زا براساس نوع ژن هدف استفاده می‌شود می‌توان شرایط ژن‌های علامت‌گذاری شده/نشده آلرژن را نام برد.

با انتخاب آغازگر مناسب، توالی مدنظر تعیین شده و همچنین پتانسیل واکنش به حداقل می‌رسد. به‌عنوان مثال، با وجود تشابه ساختاری بین پروتئین‌های هویج و کرفس، آغازگرهای استفاده شده در PCR برای شناسایی آلرژن کرفس

در سنجش داشته باشند [۲۵]. برخی از پلی ساکاریدها و پلی فنول‌های موجود در منابع گیاهی مانند کاکائو، تأثیر بازدارندگی بر فرآیند سیستم دارند. چربی‌ها و اجزای چرب موجود در ساختار بسیاری از مواد غذایی نیز به‌عنوان مهارکننده‌های DNA پلیمرز شناخته شده‌اند [۲۶]. برای تشخیص ترکیبات بازدارنده، نمونه‌های عاری و خالص، تجزیه و تحلیل می‌شوند تا در شناسایی این دسته از مواد اختلال ایجاد نشود. بازیابی DNA در حضور عوامل بازدارنده امکان‌پذیر نبوده و حذف مهارکننده‌ها نیازمند سنجش بالقوه است [۲۷].

بازیابی DNA در مواد غذایی

علاوه‌بر انتخاب روش تحلیل، روش DNA از نمونه، حذف بازدارنده‌ها، کیفیت و خلوص نمونه نیز تأثیرگذار هستند. عدم دستیابی به DNA خالص مورد نظر از نمونه استخراج شده در روش‌های تحلیلی، مشکل ایجاد می‌کند. بازیابی DNA به محتوی چربی و ماده خشک نیز بستگی دارد [۲۸]. محتوی چربی بالا موجب کاهش کارایی استخراج آلرژن‌ها از نمونه‌های غذایی می‌شود. برای تصفیه نمونه‌ها از سدیم دودسل سولفات، فنل-کلروفوم و اتانول استفاده می‌شود ولی در برخی موارد از پروتکل‌های خطرناک برای حذف بازدارنده‌ها استفاده می‌شود [۲۹].

کیت‌های تجاری برای استخراج این موارد وجود دارد اما کاربرد آنها در غذاهای فرآوری شده نیازمند ارزیابی خواص مرتبط با DNA است. بیشتر کیت‌های تجاری خالص‌سازی شده DNA، برای استخراج و جداسازی از مواد خام مانند گیاهان یا بافت طراحی شده‌اند. روش‌های تجاری مختلف برای خالص‌سازی DNA وجود دارند که مبتنی بر استفاده از سیلیس با میل ترکیبی بالا در فاز جامد و متحرک مغناطیسی بوده و از نظر بازده استخراج، خلوص DNA و درجه حساسیت در انواع مواد غذایی متفاوت هستند [۳۰]. این روش مبتنی بر خالص‌سازی براساس مغناطیس است و به علت توانایی حذف مهارکننده‌هایی همچون پلی ساکاریدها و پلی فنل‌ها کاربرد بیشتری در جداسازی DNA از منابع گیاهی دارند. روش دیگری که برای استخراج از کیت‌ها استفاده می‌شود، در قالب ستونی اصلاح شده بود که منجر به استخراج کارآمدتر DNA از نمونه‌های غذایی پیچیده مانند اسنک‌های شکلاتی، سبزیجات و مربای گیلاس می‌شود [۳۱]. علاوه‌بر موارد نام برده شده، مواد دیگری مانند مغزها، بافت DNA گوشت، ماهی و دانه‌های خشک با استفاده از کیت‌های تجاری استخراج DNA مورد سنجش قرار می‌گیرند. کیت‌های استخراج تجاری مختلفی برای استخراج DNA فندق با کیفیت بالا در رابطه با استخراج سنتی فنل/کلروفوم مورد بررسی قرار گرفته و براساس اطلاعات دریافتی، کیت تصفیه DNA مبتنی بر جذب پارامغناطیس روش کارآمدتری است. در طی این روش می‌توان DNA فندق را از شکلات و کرم فندق به‌دست آورد. این روش برای خالص‌سازی غذاهای چرب نیز طراحی شده‌است. با این حال این روش

به‌طور اختصاصی عمل کرده و در واکنش با هویج نشانه‌ای در پی نداشته است [۱۹]. ژن‌های آلرژن خردل نیز درجه تشابه بالایی با ژن‌های کلم بروکلی، کلم و تربچه دارند که با استفاده از آغازگرهای متفاوت قابل تشخیص هستند. با توجه به اینکه توالی DNA مختص هر ارگانسمی است، در نتیجه، تشخیص ژن‌های تخم مرغ از سایر قسمت‌های مرغ و همچنین تشخیص ژن‌های شیر در مقایسه با سایر فرآورده‌های گاو از جمله گوشت و احشاء، به‌عنوان مواد تشکیل دهنده غیرممکن است. بر همین اساس، سنجش‌های دیگری برای تجزیه و تحلیل تخم مرغ و شیر مبتنی بر DNA نیز در نظر گرفته می‌شود [۲۰].

کارایی سنجش PCR

عوامل متعددی وجود دارند که بر عملکرد سنجش‌های مبتنی بر DNA تأثیرگذار هستند. ارزیابی این سیستم‌ها باید با دقت بالایی انجام شود. یکپارچگی، کیفیت و کمیت شاخص‌های بازیابی شده از DNA در حضور بازدارنده‌ها تأثیر بسزایی در کارایی سنجش دارند [۲۱]. علاوه‌بر موارد فوق، چگونگی فرآوری مواد غذایی نیز بر DNA مواد غذایی تأثیرگذار است. اگرچه DNA یک مولکول بسیار پایدار است، اما فرآیندهای فرآوری ممکن است روی توالی ژن‌های آن نیز تأثیرگذار باشد. بسته به نوع و شرایط فرآوری ماده غذایی، درجات تخریب مولکول متفاوت است. درجه تخریب DNA با دستگاه الکتروفورز قابل تشخیص است. از این فناوری در طی فرآوری نان نیز برای تشخیص بازه دمایی پخت خمیر نان استفاده می‌شود [۲۲].

اهمیت شناخت و درک ساختار DNA در مواد غذایی برای اجرای سنجش‌های مبتنی بر DNA بسیار مهم است. فرآیندهای فرآوری مواد غذایی مانند حرارت‌دهی، اکستروژن در دمای بالا، اسیدی شدن و تخمیر از جمله فعالیت‌های صنعتی هستند که تخریب DNA در آنها قابل بازیافت است. براساس بررسی میزان DNA در فرآیند چربی‌زدایی در آرد سویا، ایزوله‌های پروتئین و کنسانتره، در اثر تخریب DNA تجزیه شده‌اند و در نتیجه سویا در محصولات غذایی قابل شناسایی نبود [۲۳]. با بکارگیری روش PCR با تکثیر نواحی از DNA، به تشخیص آلرژن‌ها و حساسیت‌زا بودن آنها پرداخته می‌شود. از دیگر کاربردهای این روش می‌توان به تشخیص منابع بادام زمینی و بادام بوداده در غلات صبحانه نیز اشاره کرد. طبق تحقیقات انجام شده عملیات حرارتی با PCR و الیزا تأثیرات مضر بر ساختار ژن بادام زمینی در محصولات غذایی دارد [۲۴].

مهارکننده‌های سیستم PCR

ترکیبات خاص استخراج شده همراه با نمونه‌های غذا می‌توانند تا حدی بر DNA تأثیر گذاشته و در تحلیل‌های PCR و Real-time PCR اختلال ایجاد کنند. از هر دو منبع گیاهی و حیوانی، تعداد کمی از ترکیبات می‌توانند اثر بازدارندگی

و بسیاری از سنجش‌ها برای آلرژن‌های غذایی که شامل یک جفت آغازگر یوکاریوتی است، استفاده می‌شود. جفت آغازگر مخصوص گیاه که برای تقویت ناحیه غیرکد کننده کلروپلاست هستند نیز در این شرایط استفاده می‌شوند [۳۷].

غلظت DNA هدف

حداقل غلظت DNA مورد نیاز برای تقویت دستیابی و برقراری حساسیت مطلوب مورد نیاز متفاوت است. نتایج PCR مثبت برای آلرژن‌های غذایی در نمونه‌های حاوی یک نمونه ژن (کپی شده) در فندق گزارش شده است [۳۸]. از آنجایی که غلظت DNA در تخم مرغ، شیر، روغن‌های گیاهی و چربی‌های گیاهی کم است، استفاده از PCR برای تشخیص این غذاهای آلرژن‌زا محدود است [۳۹].

کمی‌سازی داده‌ها

روش Real-time PCR در اصل، ماهیت کمی دارد. این روش به چگونگی پردازش مواد غذایی نیز وابسته است. در این روش برای کمی‌سازی داده‌های سنجش، یک منحنی خاص برای هر نوع محصول غذایی ترسیم می‌شود. در چند دهه اخیر، آلبرت اوگستر یک مدل ریاضی برای تعیین کمیت آلرژن‌های خاص با استفاده از PCR توصیف کرده است. این تجزیه تحلیل برای آرد هم انجام شده است، از آنجایی که این پردازش موجب تخریب شدید ساختارها نمی‌شود، برای کنسانتره‌های پروتئینی نیز قابل استفاده است [۴۰].

کمی‌سازی دقیق به عواملی مانند اثر پردازش مواد غذایی بر یکپارچگی اندازه ذرات نمونه، ترکیب و خواص، ساختار DNA غذا، روش استخراج، روش کمی‌سازی، میزان بازبایی و مواد مرجع نیز بستگی دارند. در حال حاضر، هیچ محدودیتی برای تعیین آلرژن‌ها با استفاده از این روش دیده نشده است اما اعمال شرایط خاص به منظور استخراج و ایجاد محدودیت‌ها در انتخاب روش تأثیرگذار است [۴۱].

حداقل خطا در سنجش

عدم آماده‌سازی مناسب نمونه‌ها، معرف‌ها، ظروف و لوله‌های حاوی محصولات PCR می‌تواند منجر به خطاهایی در حساسیت، کمیت و نتایج حاصل شده شود:

- استفاده از معرف‌های تاریخ مصرف گذشته یا عدم آماده‌سازی صحیح معرف‌ها.
- واکنش‌های PCR با استفاده از حجم معرف کم (محدوده میکرولیتر) انجام می‌شود. خطاهای تأثیرگذار بر شرایط PCR، موجب ایجاد خطا در جنبه‌های کمی سنجش نیز می‌شود.
- گاهی ممکن است که تمامی معرف‌ها به درستی مخلوط شده باشند اما تغییرات اعمال شده در نمونه به علت

استخراج DNA به مقدار زیادی از نمونه و حلال آلی احتیاج دارد. نتایج مشابهی از DNA استخراج شده با کیت‌های شناسایی کننده حساسیت‌های غذایی^{۱۴} هنگام اعمال بر نمونه‌های غذایی از جمله شکلات، بیسکویت، لسیتین و سایر موارد برای تعیین فندق با استفاده از PCR مشاهده شده است [۳۲].

از جمله سنجش‌های تجاری اصلاح شده با استفاده از روش‌های ترکیبی، بررسی عملکرد DNA و تصفیه آن از بادام زمینی خام و بوداده است. در بین روش‌های مختلف انجام شده، خلوص DNA استخراج شده با روش PCR بیشتر بود [۳۳]. آزمایش‌های منتشر شده برای آلرژن‌های غذایی با این روش نشان می‌دهد که هر چه میزان خلوص بیشتر باشد، کیفیت DNA نیز بالاتر است. سنجش PCR برای تشخیص فندق در غذا و مقادیر خلوص (A260/A290) در فندق، شکلات، شیر سویا و مکمل‌های لسیتین سویا برای استخراج DNA گزارش شده است. هر چه نسبت (A280/A260) کمتر باشد، تعیین خلوص DNA بهتر است. استفاده از روش مبتنی بر نسبت جذب، موجب قطعه قطعه شدن و نوکلئولیز شدن DNA نمی‌شوند. روش جذب UV روش مناسبی برای تعیین میزان خلوص و کیفیت DNA در تعیین آلرژن‌ها و همچنین روش‌های فلورومتری مناسب نیستند؛ زیرا موجب تخریب DNA شده و اطلاعات دقیقی از حضور مهارکننده‌های PCR ارائه نمی‌دهند [۳۴]. بهترین روش برای ارزیابی کیفیت DNA و غلظت DNA قابل تکثیر جدا شده از نمونه‌های غذایی، ارزیابی توزیع اندازه DNA روی ژل آگارز با رقت مناسب است؛ زیرا موجب تقویت سیستم PCR می‌شود.

میزان حساسیت سنجش

میزان غلظت اولیه DNA نمونه، حساسیت سنجش را محدود می‌کند. حساسیت سنجش را می‌توان با بهینه‌سازی ترکیبی از عوامل مختلف تقویت نمود؛ به‌عنوان مثال:

- انتخاب مجموعه مناسبی از آغازگرها و پروب‌ها؛
- DNA نمونه؛
- غلظت معرف؛
- کیفیت و غلظت DNA استخراج شده؛
- شرایط PCR مانند دما، زمان و تعداد سیکل‌ها.

در طول سنجش‌های توسعه یافته مبتنی بر DNA، این روش‌ها می‌توانند مقادیر ماده حساسیت‌زا از چند میکروگرم در گرم نمونه غذایی (سطح ppm پایین) را با استفاده از الایزا اندازه‌گیری کنند [۳۵]. این روش، قابلیت سنجش با حساسیت بالا در مواد غذایی مانند: گندم سیاه، کرفس، فندق، شکلات و مقادیر ppm ۵-۱۰ در سوسیس‌های چرب نوع امولسیون‌ی را دارد [۳۶].

چگونگی کنترل شرایط تقویت شده

برای اطمینان از خلوص DNA استخراج شده از غذاهای فرآوری شده، بیشتر، وجود یا عدم وجود مهارکننده‌های PCR

استانداردهای سنجش مبتنی بر DNA

ساختار اعتبارسنجی استاندارد شده‌ای برای تشخیص آلرژن‌های غذایی سنجش شده با روش‌های مبتنی بر DNA وجود ندارد. برای تشخیص آلرژن‌ها از دستورالعمل‌های مورد استفاده برای محصولات مشتق شده در زیست فناوری کشاورزی استفاده می‌شود. با این حال، از موانع عمده‌ای که در معتبر بودن سنجش‌های مبتنی بر DNA آلرژن‌های موجود در محصولات مهندسی شده زیستی وجود دارد، عدم وجود منابع علمی اثبات شده به‌منظور تشخیص و کاربرد آنها است [۴۷]. طی مطالعات انجام شده در آنالیز PCR برای کرفس، خردل و کنجد، دستورالعمل‌ها نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی در چگونگی آنالیز یک هدف در سه نمونه ماده غذایی وجود دارد:

(الف): فاز استفاده شده: شامل مواردی همچون جنبه‌های کاربردی، امکان انجام آزمون، دقت، کارایی، انحراف استاندارد تکرارپذیری، حد کمی‌سازی و میزان استحکام آن است.
(ب): ارزیابی نتایج اعتبارسنجی: شامل الزامات روش عملکردی سیستم از نظر دینامیکی و صحت میانگین بازاریابی و تکرارپذیری است. در سنجش کیفی PCR انجام شده برای تشخیص بادام زمینی در غذاها، نشان داده شده‌است که در خمیرهای اتوکلاو شده، برشته، آب‌پز و غیرفراوری شده از سطوح مختلفی از آرد بادام زمینی بدون چربی (۱/۰ درصد، ۰/۱ درصد، ۰/۰۱ درصد و ۰ درصد) استفاده شده‌است. نتایج PCR از نمونه‌های خمیر (فراوری شده و فراوری نشده) را بررسی کرده و با نتایج حاصل از الیزا مطابقت دادند. آزمایش‌ها نشان داد که این روش برای تشخیص بادام زمینی در انواع غذاهای فراوری شده قابل تکرار، قابل اعتماد و قابل استفاده است [۴۸].

سنجش‌های تجاری

طیف گسترده‌ای از کیت‌های تجاری الیزا با برندهای انواع شرکت‌ها موجود است. با این حال، تعداد شرکت‌هایی که کیت‌های PCR برای تشخیص آلرژن ارائه می‌دهند، بسیار محدود است. این امر نشان‌دهنده عدم پذیرش و استفاده از این روش برای تشخیص آلرژن‌های غذایی است. در بین روش‌های تجاری مبتنی بر DNA، روش PCR به‌عنوان آزمایش‌های کیفی استفاده می‌شود. همه کیت‌ها دارای محدودیت میزان غلظت در تشخیص مواد غذایی حساسیت‌زا هستند [۴۹].

کیت‌های تجاری Real-time PCR برای بادام زمینی، سویا، بادام، فندق، گردو، سخت پوستان، نرم تنان، کنجد، کرفس، خردل و غلات حاوی گلوتن (گندم-چاودار-جو و کاموت) قابل استفاده هستند. کیت‌های مورد استفاده برای گروهی از آلرژن‌ها، نتایج مثبتی را در میان گونه‌های مختلف ارائه می‌دهند؛ به‌عنوان مثال، کیت‌های متعلق به ماهی قابلیت

لوله‌گذاری نامناسب و تغییرات ایجاد شده در معرف‌ها به درستی انجام نشوند.

■ انتقال آلودگی به نمونه نیز موجب ایجاد خطا در استخراج DNA و یا محصولات حاصل از PCR می‌شود. اقدامات پیشگیرانه می‌تواند به سادگی از بروز خطرات احتمالی جلوگیری کند مانند: استفاده از ظروف یکبار مصرف یا ایجاد زیرساخت‌هایی برای محدود کردن فعالیت در محیط انجام آزمایش [۴۲]؛ به‌عنوان مثال، آماده‌سازی نمونه باید در محل متفاوتی از محل انجام آزمایش انجام شود. اقدامی دیگر برای جلوگیری از انتقال آلودگی در محصول، استفاده از دینامیک روابط بین ساختار مولکولی یا (d UTP) به جای لانگو^{۱۵} در PCR است. استفاده از بازدارنده‌های استخراج شده همراه با DNA نمونه غذا، موجب کنترل شرایط آزمون‌ها و حذف آلاینده‌های موجود در معرف‌ها و ظروف در حین آماده‌سازی نمونه می‌شود [۴۳].

موارد دیگری در رابطه با تنوع روش‌های نمونه‌گیری و طراحی شرایط سنجش وجود دارد که می‌توان آنها را نیز به حالت مطلوب رساند:

■ اندازه نمونه؛ اندازه ذرات و همگنی نمونه از مهم‌ترین عوامل ایجاد تغییر در تجزیه و تحلیل مواد غذایی هستند. ایجاد طرح نمونه‌گیری مناسب پیچیده بوده و ممکن است با توجه به ویژگی‌های نمونه، نوع محصول غذایی و فعالیت‌های فراوری محدود شود. آلرژن‌های غذایی می‌توانند به دلیل آلودگی در نقاط مختلف تولید و همچنین به علت طراحی شرایط واکنش نامناسب، در محصولات غذایی به‌طور ناهمگن توزیع شوند. چنین محصولاتی حاوی لایه‌های مختلفی از مواد تشکیل دهنده هستند مانند: کوکی‌های شکلاتی. اگر نمونه مورد نظر به‌طور همگن توزیع نشود ممکن است در پردازش انجام شده نیز خطا ایجاد کند. بسته به محل قرارگیری نمونه (در سطوح داخلی محصول) و درجه پردازش، نتایج حاصل از آنالیز نیز متفاوت است. به‌عنوان مثال، نمونه‌های جمع‌آوری شده از بخش‌های مختلف نان حاوی ترکیبات سویا، نتایج متفاوتی در PCR نشان می‌دهند. بنابراین، برای به حداقل رساندن خطاهای ناشی از ناهمگونی نمونه، باید چگونگی نمونه‌گیری و آماده‌سازی آن مناسب باشد [۴۴].

■ روش‌های دیگری نیز می‌توانند در به حداقل رساندن خطاهای تحلیل تأثیرگذار باشند. یک آنالیز PCR برای تشخیص گندم سیاه انجام شده‌است که در آن از یک کنترل کننده استاندارد شده برای جبران تنوع ناشی از بازده استخراج نمونه‌ها استفاده می‌شود [۴۵].

■ بسته به نوع ماده غذایی و ویژگی‌های منحصر به فرد آن، نوع آنالیز، هدف نهایی و کارایی آنها نیز متفاوت است. این موضوع را می‌توان در تعیین و تشخیص آلرژن‌های فندق در شکلات تلخ، شیر سویا، مکمل‌های لسیتین مشاهده کرد. به همین دلیل، سنجش‌ها باید به درستی توسعه داده شوند تا دقت ارزیابی حفظ شود و اختلاف نتایج حاصل شده کاهش یابد [۴۶].

متفاوت تری را به منظور جلوگیری از آلودگی در حین حمل و نقل برای استفاده توصیه می کنند. به منظور آماده سازی و چگونگی واکنش دهی و تکثیر این گروه از کیت ها، ابزارهای جداگانه ای استفاده می شود. این کیت ها در سیستم PCR موجب اختلال در استخراج DNA در خارج از سیستم اختصاصی می شوند. همچنین این کیت ها دارای UPT d به جای روابط بین ساختاری TP به منظور جلوگیری از آلودگی حامل محصولات PCR هستند که موجب به حداقل رسانی خطاها در سنجش می شود. بسیاری از مراکز تخصصی تشخیص دهنده آلرژن های غذایی براساس موارد گفته شده آنالیزهای لازم را انجام می دهند.

تشخیص تعداد زیادی از گونه های ماهی تجاری را دارند؛ در حالی که کیت های متعلق به نرم تنان، فقط امکان تشخیص حلزون و صدف را فراهم می سازند. شرکت های تولید کننده کیت های سخت پوستان گزارش داده اند که کیت ها در مقابل سوسک ها واکنش متقابلی نسبت به سایر سخت پوستان دارند. این مشکل به دلیل همولوژی ترپومیوزین در بین گونه های سخت پوستان است. احتمال آلودگی این حشرات در محصولات در طول دوره رشد، برداشت، حمل و نقل و ذخیره سازی وجود دارد که باید برنامه ریزی های دقیقی برای به حداقل رساندن آلودگی ها در کارخانه های تولیدی و آزمایشگاه ها اعمال شود. شرکت ها، کیت های

نتیجه گیری

تشخیص آلرژن ها در مواد غذایی و محصولات فرآوری شده می تواند به علت تنوع ویژگی های مواد غذایی و تنوع روش های تولید، عاملی بسیار چالش برانگیز باشد. روش های معرفی شده مبتنی بر DNA مزایا و محدودیت های خاص خود را دارند. سنجش های مبتنی بر DNA با هدف قرار دادن پروتئین ها به عنوان نشانگری برای تشخیص عوامل حساسیت زا ثابت کرده اند که روش های مفیدی هستند؛ به خصوص با توجه به قوانین اعمال شده، آلرژن ها و مواد غذایی مانند سویا، بادام زمینی، گردو برچسب گذاری شده روی محصولات با استفاده از این روش ها سنجش می شوند. سنجش های مبتنی بر DNA نه تنها می توانند برای تایید نتایج الیزا مورد استفاده قرار گیرند، بلکه می توانند برای تشخیص آلرژن های غذایی که هیچ روش ایمنی برای دسترسی به آنها وجود ندارد، استفاده شوند. همچنین PCR و Real-time PCR می تواند در تشخیص و شناسایی گونه های مختلفی از آلرژن ها در مواد غذایی مانند ماهی ها که در آنها، دسترسی به روش های الیزا پیچیده است، مفید باشند. در آینده نزدیک، امکان دارد که سنجش های مبتنی بر DNA، بیشتر مورد استفاده قرار گیرند، زیرا توسعه این روش ها ساده است و قابلیت غربالگری نیز دارند. بنابراین، روش های مبتنی بر DNA نیز برای تجزیه و تحلیل با توان بالا و به علت قابلیت های غربالگری اجزای آلرژنی مناسب هستند.

پی نوشت

1. The polymerase chain reaction (PCR)
2. A real-time polymerase chain reaction (Real time PCR)
3. HACCP
4. Analytical methods to detect food allergen and gluten
5. enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)
6. Lateral flow devices (LFDs)
7. Genetically modified organisms (GMOs)
8. Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)
9. Polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism
10. The Bfal restriction enzyme
11. High Performance Liquid chromatography (HPLC)
12. Multiplexing
13. Peptide nucleic acid (PNA)
14. Sure Food PREP Allergen
15. Longo

- [1] Sicherer SH, Sampson HA. 9. Food allergy. *J Allergy Clin Immunol*. 2006;117(2 SUPPL. 2):470–5.
- [2] Catassi C, Fasano A. Celiac disease. *Curr Opin Gastroenterol*. 2008;24(6):687–91.
- [3] Amigo MC, Pöpping B. Real-time PCR analysis of food allergens and gluten. In *Real-time PCR in food science: Current technology and applications 2013* (pp. 239-252). Caister Academic Press.
- [4] Brzezinski A, Modiano E. Dynamic reconfiguration and routing algorithms for IP-over-WDM networks with stochastic traffic. *J Light Technol*. 2005;23(10):3188–205.
- [5] Kubota N, Yano W, Kubota T, Yamauchi T, Itoh S, Kumagai H, et al. Adiponectin Stimulates AMP-Activated Protein Kinase in the Hypothalamus and Increases Food Intake. *Cell Metab*. 2007;6(1):55–68.
- [6] Organizational Commitment. *Work Orientations*. 2019. p. 124–46.
- [7] Germini A, Rossi S, Zanetti A, Corradini R, Fogher C, Marchelli R. Development of a peptide nucleic acid array platform for the detection of genetically modified organisms in food. *J Agric Food Chem*. 2005;53(10):3958–62.
- [8] Marian B. Military logistics versus civil logistics – similarities and differences. 2019;(5):0–2.
- [9] Houhoula D, Koussissis S, Lougovois V, Tsaknis J, Kassavita D, Papatheodorou S, et al. Detection of Peanut Allergen Traces with a Real Time PCR Assay - The Challenge to Protect Food-Allergic Consumers. *J Food Res*. 2017;7(1):32.
- [10] Caffaz S, Bettazzi E, Scaglione D, Lubello C. An integrated approach in a municipal WWTP: Anaerobic codigestion of sludge with organic waste and nutrient removal from supernatant. *Water Sci Technol*. 2008;58(3):669–76.
- [11] Rossi F, van Beek P, Walsh T. *Handbook of Constraint Programming Introduction*. Handb Constraint Program. 2006;1–955.
- [12] Ditzen B, Schaer M, Gabriel B, Bodenmann G, Ehlert U, Heinrichs M. Intranasal Oxytocin Increases Positive Communication and Reduces Cortisol Levels During Couple Conflict. *Biol Psychiatry*. 2009;65(9):728–31.
- [13] Bell, Thorsten; Urhahne, Detlef; Schanze; Sascha & Ploetzner R. technology To cite this version : r P Fo r R w On ly. 2011;27(02):146–68.
- [14] Holck AL, Diaz-amigo C, Kerbach S, Popping B. 9 . Detection of allergens in food. Vol. 661. 2011. 173–210 p.
- [15] Ogiwara I, Miyamoto H, Morita N, Atapour N, Mazaki E, Inoue I, et al. Nav1.1 localizes to axons of parvalbumin-positive inhibitory interneurons: A circuit basis for epileptic seizures in mice carrying an Scn1a gene mutation. *J Neurosci*. 2007;27(22):5903–14.
- [16] Felder CC, Joyce KE, Briley EM, Glass M, Mackie KP, Fahey KJ, et al. LY320135, a novel cannabinoid CB1 receptor antagonist, unmasks coupling of the CB1 receptor to stimulation of cAMP accumulation. *J Pharmacol Exp Ther*. 1998;284(1):291–7.
- [17] Brzezinski A, Vangel MG, Wurtman RJ, Norrie G, Zhdanova I, Ben-Shushan A, et al. Effects of exogenous melatonin on sleep: A meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2005;9(1):41–50.
- [18] Penny WD, Stephan KE, Mechelli A, Friston KJ. Modelling functional integration: A comparison of structural equation and dynamic causal models. *Neuroimage*. 2004;23(SUPPL. 1).
- [19] Mustorp S, Engdahl-Axelsson C, Svensson U, Holck A. Detection of celery (*Apium graveolens*), mustard (*Sinapis alba*, *Brassica juncea*, *Brassica nigra*) and sesame (*Sesamum indicum*) in food by real-time PCR. *Eur Food Res Technol*. 2008;226(4):771–8.

- [20] Gryson N, Messens K, Dewettinck K. PCR detection of soy ingredients in bread. *Eur Food Res Technol*. 2008;227(2):345–51.
- [21] Murray EA, O’Doherty JP, Schoenbaum G. What we know and do not know about the functions of the orbitofrontal cortex after 20 years of cross-species studies. *J Neurosci*. 2007;27(31):8166–9.
- [22] Bergerová E, Godálová Z, Sikel P. Combined effects of temperature, pressure and low pH on the amplification of DNA of plant derived foods. *Czech J Food Sci*. 2011;29(4):337–45.
- [23] Watanabe K, Ueno M, Kamiya D, Nishiyama A, Matsumura M, Wataya T, et al. A ROCK inhibitor permits survival of dissociated human embryonic stem cells. 2007;25(6):681–6.
- [24] Lubber F, Demmel A, Pankofer K, Busch U, Engel KH. Simultaneous quantification of the food allergens soy bean, celery, white mustard and brown mustard via combination of tetraplex real-time PCR and standard addition. *Food Control*. 2015;47:246–53.
- [25] Di Pinto A, Forte V, Guastadisegni MC, Martino C, Schena FP, Tantillo G. A comparison of DNA extraction methods for food analysis. *Food control*. 2007; 18 (1):76-80.
- [26] Tengler C, Schübler P, Setzke E, Balles J, Sprenger-Haußels M. PCR-based detection of genetically modified soybean and maize in raw and highly processed foodstuffs. *Biotechniques*. 2001;31(2):426–9.
- [27] Synthesis A. 3, 3, 0 -Diaryl-BINOL Phosphoric Acids as Enantioselective Extractants of Benzylic Primary Amines. 2011;43(March 2010):34–43.
- [28] Bordoni R, Germini A, Mezzelani A, Marchelli R, De Bellis G. A microarray platform for parallel detection of five transgenic events in foods: A combined polymerase chain reaction-ligation detection reaction-universal array method. *J Agric Food Chem*. 2005;53(4):912–8.
- [29] Chisholm J, Conyers C, Booth C, Lawley W, Hird H. The detection of horse and donkey using real-time PCR. *Meat Sci*. 2005;70(4):727–32.
- [30] Scaravelli E, Brohée M, Marchelli R, Van Hengel AJ. Development of three real-time PCR assays to detect peanut allergen residue in processed food products. *Eur Food Res Technol*. 2008;227(3):857–69.
- [31] D’Andrea M, Coisson JD, Locatelli M, Garino C, Cereti E, Arlorio M. Validating allergen coding genes (Cor a 1, Cor a 8, Cor a 14) as target sequences for hazelnut detection via Real-Time PCR. *Food Chem*. 2011;124(3):1164–71.
- [32] Piron M, Fisa R, Casamitjana N, López-Chejade P, Puig L, Vergés M, et al. Development of a real-time PCR assay for *Trypanosoma cruzi* detection in blood samples. *Acta Trop*. 2007;103(3):195–200.
- [33] Goy G, Croxatto A, Posfay-Barbe KM, Gervais A, Greub G. Development of a real-time PCR for the specific detection of *Waddlia chondrophila* in clinical samples. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2009;28(12):1483–6.
- [34] Kryvinska N, Olexova R, Dohmen P, Strauss C. The S-D logic phenomenon-conceptualization and systematization by reviewing the literature of a decade(2004–2013). *J Serv Sci Res*. 2013;5(1):35–94.
- [35] Kamiya M, Sekino H, Tsuneda T, Hirao K. Nonlinear optical property calculations by the long-range-corrected coupled-perturbed Kohn-Sham method. *J Chem Phys*. 2005;122(23):1–10.
- [36] Weickert CS, Hyde TM, Lipska BK, Herman MM, Weinberger DR, Kleinman JE. Reduced brain-derived neurotrophic factor in prefrontal cortex of patients with schizophrenia. *Mol Psychiatry*. 2003;8(6):592–610.
- [37] Ma JF, Yamaji N, Mitani N, Tamai K, Konishi S, Fujiwara T, et al. An efflux transporter of silicon in rice. *Nature*. 2007;448(7150):209–12.

- [38] Frew PM, Bernhardt JM. From the Schools of Public Health. Public Health Rep. 2005;120(5):576–8.
- [39] Teutenberg T, Tuerk J, Holzhauser M, Kiffmeyer TK. Evaluation of column bleed by using an ultraviolet and a charged aerosol detector coupled to a high-temperature liquid chromatographic system. J Chromatogr A. 2006;1119(1–2):197–201.
- [40] Brezna B, Kweon O, Stingley RL, Freeman JP, Khan AA, Polek B, et al. Molecular characterization of cytochrome P450 genes in the polycyclic aromatic hydrocarbon degrading *Mycobacterium vanbaalenii* PYR-1. Appl Microbiol Biotechnol. 2006;71(4):522–32.
- [41] Jung M, Reichstein M, Ciais P, Seneviratne SI, Sheffield J, Goulden ML, et al. Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. Nature. 2010;467(7318):951–4.
- [42] Wilson IG. Inhibition and facilitation of nucleic acid amplification. Appl Environ Microbiol. 1997;63(10):3741–51.
- [43] Savoca PE, Longo WE, Zucker KA, McMillen MM, Modlin IM. The increasing prevalence of acalculous cholecystitis in outpatients: Results of a 7-year study. Ann Surg. 1990;211(4):433–7.
- [44] Godálová Z, Bergerová E, Siekel P. Effect of high temperature and pressure on quantification of MON 810 maize. Czech J Food Sci. 2013;31(4):376–81.
- [45] Ito K, Hirao A, Arai F, Takubo K, Matsuoka S, Miyamoto K, et al. Reactive oxygen species act through p38 MAPK to limit the lifespan of hematopoietic stem cells. Nat Med. 2006;12(4):446–51.
- [46] Chiba M, Tsuneda T, Hirao K. Excited state geometry optimizations by analytical energy gradient of long-range corrected time-dependent density functional theory. J Chem Phys. 2006;124(14):1–11.
- [47] Yassin AF, Young CC, Lai W, Hupfer H, Arun AB, Shen F, et al. *Williamsia serinedens* sp. nov., isolated from an oil-contaminated soil. 2007;558–61.
- [48] Lau MP, Sander M, Gelbrecht J, Hupfer M. Solid phases as important electron acceptors in freshwater organic sediments. Biogeochemistry. 2015; 123:49-61.
- [49] Watanabe S, Minegishi Y, Yoshinaga T, Aoyama J, Tsukamoto K. A Quick Method for Species Identification of Japanese Eel (*Anguilla japonica*) Using Real-Time PCR: An Onboard Application for Use During Sampling Surveys. 2005;566–74.

Authors

Abbas Abedfar^{1*}
Ehda Nourizadeh²

*a.abedfar@guilan.ac.ir

1. Department of Food Science and Technology, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Master of student, University of Guilan, Rasht, Iran

Real-time PCR Analysis of Food Allergens and Gluten

Abstract

Food allergens, responsible for IgE-mediated allergic responses and listed in European, North American and Japanese regulation, are exclusively proteins and are ideally detected by analytical methods targeting either peptides or proteins.

However, in some cases where no suitable methods for proteins exist or as an alternative method to substantiate results from protein-based methods, DNA-targeting methods can be used as indicators of the presence of potentially allergenic proteins. The advantage of DNA-targeting methods like PCR, real-time PCR is presently the lower cost and availability of free literature on several detection systems, including a certain degree of multiplexing. Clear disadvantages include the poor sensitivity for egg, milk and samples containing inhibitors (like polyphenols in chocolate) as well as its limited applicability in some industrial protein concentrates. In addition, if quantitative results need to be obtained, the DNA-based system needs to be calibrated for each matrix tested, as protein-to-DNA composition is typically matrix specific. However, PCR based methods are well established in many laboratories and still regularly used. This chapter discusses suitable systems for detection of DNA of ingredients and foods containing allergenic proteins, potential pitfalls and multiplex capabilities of such systems.

Keywords

Real-time PCR technique, Detection of food allergens, Fraud detection, Antibiotic diagnosis, Pathogenic microorganisms.

Introducing the isotope ratio mass spectrometer and the application of stable isotopes in tracing and controlling the authenticity of food

Abstract

Most of the time, it is assumed that the abundance ratio of natural isotopes is constant, but when this ratio is measured very precisely, it shows significant changes. It should be noted that the isotope ratio mass spectrometer is able to determine the ratio of stable isotopes very accurately and precisely, so that by checking the isotope ratio of the elements carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulfur using an isotope ratio mass spectrometer, it is possible to fingerprint food made by different manufacturers and as a result to track and control the authenticity of food and especially detect fraud in food products.

Keywords

isotope ratio mass spectrometer, isotope fingerprinting, food authenticity



Authors

Akbar Yousefi Maghool^{1*}
Arash Rabiei¹, Ali Khademi¹
Maryam Bagtash¹

*Sir.lab.araku@gmail.com

1. Arak University Central Laboratory,
Stable Isotopes Research Laboratory,
Arak, Iran

Author

Farshad Jafary

*Farshadjafary1269@gmail.com

Pars Lian Arvand Co. Lab, Tehran, Iran



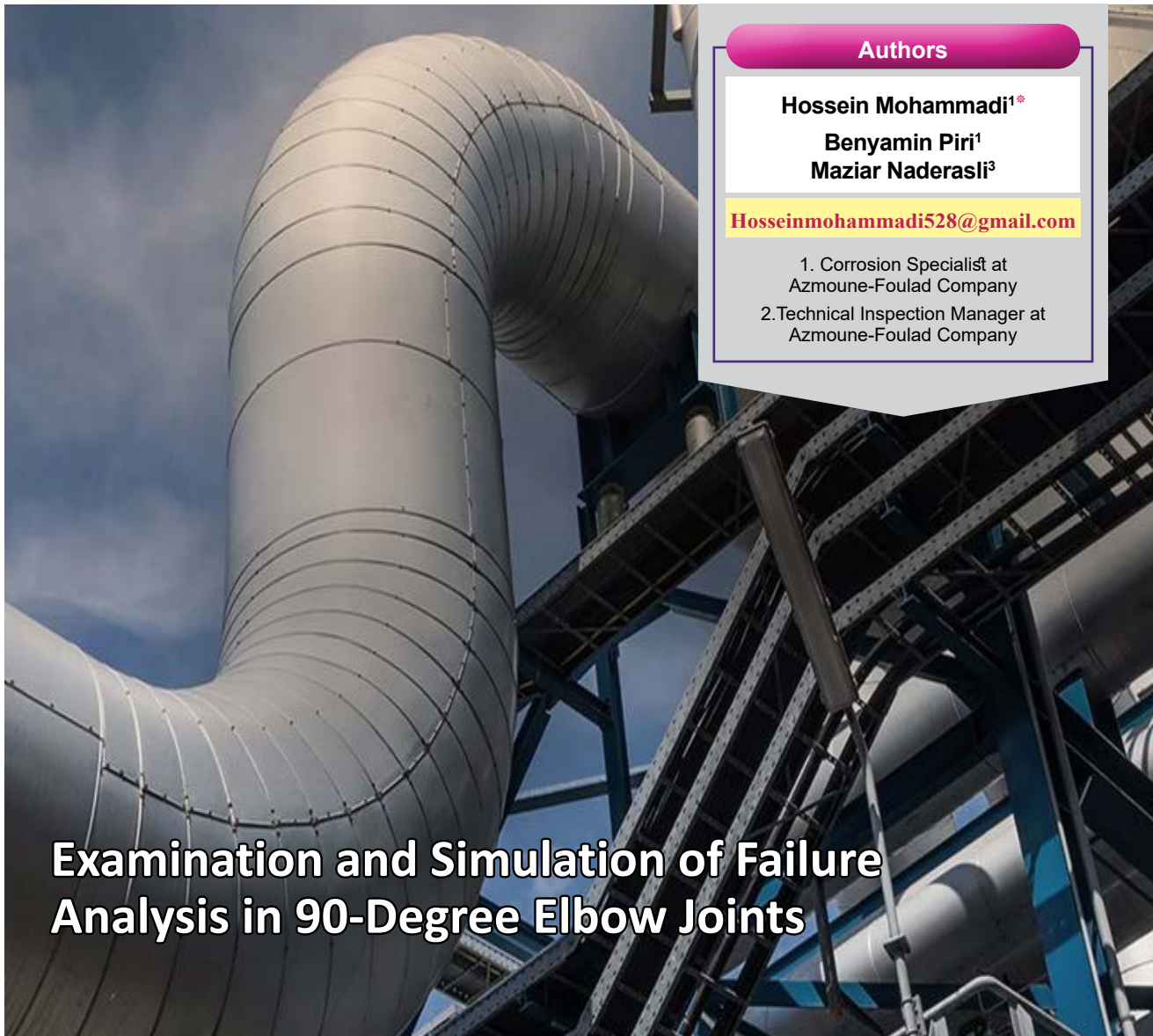
Quantification of the composition of liquid hydrocarbon streams: Comparing the GC-VUV to DHA and GCxGC

Abstract

Hydrocarbons analysis is important in the oil and gas industry, as stream composition has a strong impact on plant operations. The composition of hydrocarbon streams vary across a plant, which makes the selection of analytical methods challenging. Traditional methods for the evaluation of liquid hydrocarbon streams include the Detailed Hydrocarbon Analysis (DHA); however, non-traditional methods, such as comprehensive gas chromatography (GCxGC), are also utilized in the chemical industry. This work details a comparison of analytical techniques available for such analyses, specifically, DHA and GCxGC compared to the recently introduced GC-Vacuum Ultra Violet (GC-VUV) system. Numerous liquid hydrocarbon streams were blended together to generate a composite and extensive matrix in terms of composition. Paraffin, iso-paraffin, olefin, naphthene, and aromatic (PIONA) results are presented for the three techniques. All of those methods obtained relative standard deviations lower than 1.3% for five injections a day for three days. Standard addition curves were utilized to accurately quantify specific compounds in a liquid hydrocarbon stream, and these results were compared to the GC-VUV PIONA+ and DHA quantification procedures.

Keywords

GC-VUV, PIONA, Detailed hydrocarbon analysis, GCxGC, Liquid hydrocarbon streams



Examination and Simulation of Failure Analysis in 90-Degree Elbow Joints

Authors

Hossein Mohammadi^{1*}

Benyamin Piri¹

Maziar Naderasli³

Hosseinmohammadi528@gmail.com

1. Corrosion Specialist at Azmoune-Foulad Company
2. Technical Inspection Manager at Azmoune-Foulad Company

Abstract

In this study, the elbow joint of a natural gas pipeline at a 90-degree angle was investigated at the pressure reduction station. Despite not being in operational conditions, a longitudinal crack appeared in the joint after welding operations. To identify the factors leading to joint degradation, tests such as fracture testing, examination of the macroscopic crack structure, chemical composition analysis using quantum testing, optical microscopy, scanning electron microscopy, X-ray energy dispersive spectroscopy, macrohardness testing, and tensile testing at ambient temperature were conducted.

Based on the analysis of the results and modeling performed on the joint, the primary factor contributing to crack formation is attributed to issues in the construction stages and residual stresses resulting from welding operations. The increase in hardness near the crack indicates the influence of residual stresses on the microstructure of the joint during welding operations. This also results in localized reduction in mechanical strength. Consequently, flaws, weaknesses in the microstructure, and microscopic cracks were observed in the images obtained from optical and electron microscopy.

Therefore, it can be concluded that the examined joint has become sensitive due to the welding process and is subjected to residual stresses.

Keywords

Failure analysis, residual stresses, welding process, elbow joints.

Authors

Hossein Mohammadi^{1*}**Arzoo Babaeian²****Maziar Naderasli³****Hosseinmohammadi528@gmail.com**

1. Corrosion Specialist at Azmoune-Foulad Company
2. Corrosion Specialist at the Laboratory of Azmoune-Foulad Company
3. Technical Inspection Manager at Azmoune-Foulad Company



Estimation of Remaining Life of ASTM A106 Grade B Steel Pipes Used in Refinery Industries

Abstract

This research focuses on the investigation and estimation of the remaining life of ASTM A106 Grade B steel pipes. The examined pipes have been in service for 7 years at a temperature of 280 degrees Celsius and a working pressure of 61 bar, conveying mostly methane as the fluid. Various tests including thickness measurement, chemical composition analysis, examination of microstructure using optical microscopy and scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy, tensile testing at ambient and elevated temperatures, and macrohardness testing were conducted to estimate the remaining life.

According to the obtained results, all samples exhibited a ferrite-pearlite microstructure, and no significant reduction in the thickness of the examined specimens was observed. Moreover, considering the current operational conditions, it is concluded that the pipes are in good condition for service for an additional 7 years with a confidence level of 4.99%.

Keywords

Fitness for service, Fluid Transmission Pipes, Thickness Measurement, Servicing, Reliability Coefficient.

Authors

Mojtaba Nasab^{1*}

*mojtabanasab@gmail.com

1.Iran High-Tech Laboratory Network,
Tehran, Iran

Defining 'Performance' in Asset Performance Management

Abstract

An APM strategy can offer a more advanced, holistic approach to efficient asset usage. APM uncouples the pressure, leading to increased availability and utilization of lab assets and improved efficiency. This approach affords unprecedented visibility and asset control while reducing costs and increasing sustainability.

Keywords

Asset Management, Compliance, Digital tools, Instrument Monitoring.



Iranian Journal of Laboratory Knowledge

Volume 11 ■ Issue 4 ■ Winter 2024 ■ No.44

ISSN 2538-3450

Concessionaire:

Iran Nanotechnology Innovation Council

Managing Editor: Alireza Badiei

Editor in Chief: Mojtaba Nasab

Executive Management: Iran Nanotechnology
Laboratory Network (INLN)

Article Editor: Davoud Gharailou

Authors:

Mojtaba Nasab, Hossein Mohammadi,
Arzoo Babaeian, Maziar Naderasli, Arash Rabiei
Akbar Yousefi Maghool, Ali Khademi,
Maryam Bagtash, Farshad Jafari, Abbas Abedfar
Ehda Nourizadeh, Benyamin Piri, Seyed ahmad
Zahirmirdamadi

Designer : Simin Rafipour Langroudi

Editor: Zeinab Zarincheh

Iran, Tehran, Po.Box: 14565-344

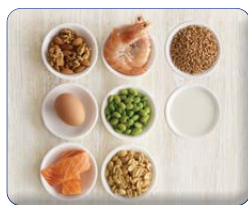
www.IJLK.ir

Email : info@ijlk.ir



Iran Nanotechnology
Laboratory Network

Contents



Real-time PCR Analysis of Food Allergens and Gluten

>55



Introducing the isotope ratio mass spectrometer and the application of stable isotopes in tracing and controlling the authenticity of food

>56



Quantification of the composition of liquid hydrocarbon streams: Comparing the GC-VUV to DHA and GCxGC

>57



Examination and Simulation of Failure Analysis in 90-Degree Elbow Joints

>58



Estimation of Remaining Life of ASTM A106 Grade B Steel Pipes Used in Refinery Industries

>59



Defining 'Performance' in Asset Performance Management

>60



Real-time PCR Analysis of Food Allergens and Gluten



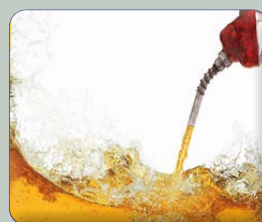
Defining 'Performance' in Asset
Performance Management



Estimation of Remaining
Life of ASTM A106 Grade B
Steel Pipes Used in Refinery
Industries



Examination and Simulation of
Failure Analysis in 90-Degree
Elbow Joints



Quantification of the composi-
tion of liquid hydrocarbon
streams: Comparing the GC-VUV
to DHA and GCxGC



Introducing the isotope ratio
mass spectrometer and the
application of stable isotopes
in tracing and controlling the
authenticity of food