

# مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی برای جلوگیری از نشت گاز طبیعی در زمان جوشکاری

محمد سیروس آذر\*<sup>+</sup>

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی ارومیه، صندوق پستی ۴۱۹-۵۷۱۵۵، ارومیه، ایران

منوچهر قاسمی

شرکت گاز استان آذربایجان غربی، صندوق پستی ۳۳۴-۵۷۱۵۵، ارومیه، ایران

**چکیده:** در این پژوهش، نسل جدیدی از مسدودکننده‌های خطوط لوله گازدار توزیع و انتقال گاز طبیعی برای جلوگیری از نشت گاز در حین انجام عملیات جوشکاری بر پایه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده است. مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی بر پایه هیدروژل پلی وینیل الکل به عنوان فاز زمینه و نانو خاک رس مونت موریلونیت به عنوان فاز تقویت کننده تهیه شدند. برخی ویژگی‌های ساختاری، فیزیکی و مکانیکی مسدودکننده‌ها بر پایه آزمون‌های تجربی بررسی شد. همچنین سینتیک خشک شدن و عملکرد مسدودکنندگی آن‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که مسدودکننده‌ها دارای شکل شناسی احتمالی از هم گسیخته بوده و حضور مونت موریلونیت در ساختار آن‌ها موجب افزایش میزان اتصال‌های عرضی و بهبود ویژگی‌های مکانیکی (افزایش ۲۸۰ درصدی در مدول الاستیک و کاهش ۴۳ درصدی در ازدیاد طول تا پارگی) می‌شود. نتیجه‌های آزمون خشک شدن نشان داد که مسدودکننده‌ها در مدت زمان یک ساعت به حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد وزن اولیه خود کاهش وزن می‌یابند. نتیجه‌های آزمون بررسی عملکرد مسدودکنندگی نشان داد که مسدودکننده‌ها قابلیت تحمل فشار گاز تا ۹ psi را دارا هستند. نتیجه‌ها نشان داد که قابلیت مسدودکنندگی و بیشینه فشار قابل تحمل مسدودکننده‌ها با افزایش قطر و طول مسدودکننده افزایش می‌یابد. آزمون‌های انجام شده به منظور بررسی قابلیت مسدودکنندگی مسدودکننده‌ها اثبات کننده‌ی عملکرد یگانه آن‌ها در انسداد و درزبندی کامل خطوط لوله گاز به منظور جلوگیری از نشتی گاز طبیعی بود. در مجموع، می‌توان عنوان نمود که هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده گزینه‌ای مناسب برای استفاده به عنوان مسدودکننده‌های نوین در انجام عملیات جوشکاری خطوط لوله گاز طبیعی به شمار می‌آیند.

**کلمات کلیدی:** هیدروژل نانوکامپوزیتی؛ مسدودکننده؛ گاز طبیعی؛ خط لوله؛ جوشکاری.

**KEYWORDS:** Nanocomposite hydrogel; Stopper; Natural gas; Pipeline; Welding.

+E-mail: m.sirousazar@unt.ac.ir

\*عهده دار مکاتبات

## مقدمه

در انجام تعمیر یا اتصال لوله‌های فولادی توزیع و انتقال گازدار به غیر گازدار با عنوان عملیات اتصال گرم شناخته می‌شود، پس از تخلیه گاز و گاززدایی، در اغلب موارد نشتی گاز از اتصالات یا شیرها و رسیدن گاز به موضع جوشکاری اتفاق می‌افتد. از جمله دلایل وجود نشتی می‌توان به معیوب بودن شیرهای موجود در پیش از محل جوشکاری به دلایلی مانند نبود گریس کاری متناوب و مناسب شیرها، خشک شدن و از بین رفتن واشرهای موجود در اتصالات بین راهی و وجود مواد زائد در مسیر گاز و گیر کردن آن‌ها در شیرآلات و در نتیجه بسته نشدن کامل مسیر عبور گاز اشاره نمود. هر چند میزان نشتی در این موردها ناچیز است اما با توجه به این که وجود گاز بیش از ۰.۲۵ درصد حجمی در محل جوشکاری موجب بروز انفجار می‌شود، در نتیجه در صورت نشت گاز و با اولین جرقه انبر جوشکاری، اشتعال یا انفجار ایجاد خواهد شد. از این رو اتخاذ تدبیرهای ویژه برای مسدودسازی کامل لوله گازدار (ناحیه پس از آخرین شیر و نزدیک محل جوشکاری) ضروری است [۱، ۲].

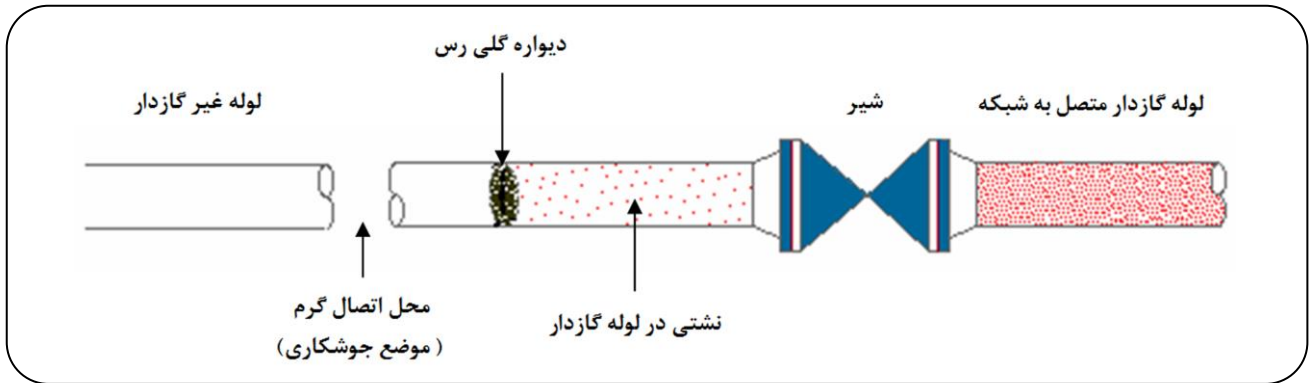
امروزه و به صورت سنتی برای رفع نشتی و بستن مسیر عبور جریان گاز در برخی پروژه‌های گازرسانی از دیواره گلی رس استفاده می‌شود، (شکل ۱). راهکار دیواره گلی رس راه حلی مناسب نبوده و در پاره‌ای از موارد به دلیل سست بودن دیواره و ضعف ویژگی‌های مکانیکی آن، دیواره شکسته شده و خطر انفجار در زمان جوشکاری ایجاد می‌شود. افزون بر این، ایجاد ترک در دیواره گلی در حین خشک شدن با توجه به مواد سازنده آن، نجسیدن مناسب گل به جداره لوله و ایجاد شکاف برای عبور گاز و اطمینان کامل نداشتن از انسداد مسیر عبور جریان گاز، ایمنی عملیات جوشکاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

غیر از مشکل‌های اشاره شده که مربوط به پیش و زمان عملیات جوشکاری است، استفاده از دیواره‌های گلی رس پس از اتمام عملیات جوشکاری نیز مشکل ساز است. پس از اتمام جوشکاری و باز نمودن شیر پیش از محل جوشکاری، دیواره گلی در فشار بالای گاز از هم پاشیده شده و مواد جامد سازنده آن (که بخش عمده گل رس را تشکیل می‌دهند) در خط لوله به همراه گاز جریان پیدا می‌نمایند. این موضوع در پیش‌تر موارد مشکلاتی را در تأسیسات ایستگاه‌های گاز، به ویژه ابزار دقیق، به بار می‌آورد [۳]. با توجه به معضله‌های ناشی از استفاده از دیواره‌های گلی رس در بستن خصوصاً لوله گاز طبیعی،

در این پژوهش، برای اولین بار، ایده استفاده از هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی به عنوان مسدود کننده‌های نوین و جایگزینی برای دیواره‌های گلی برای استفاده در عملیات اتصال گرم لوله‌های گاز طبیعی مطرح شده است.

در اصطلاح، به زنجیره‌های پلیمری دارای اتصالات عرضی که دارای آب یا مایع‌های آبی بوده، قابلیت تورم و تراکم در محیط‌های آبی را داشته باشند، هیدروژل اطلاق می‌شود. آن‌ها سامانه‌های جامد - مایع متخلخلی هستند که با شبکه‌ای کردن هموپلیمرها، کوپلیمرها یا ماکرومرها تبدیل به شبکه‌های پلیمری سه بعدی آبدوست می‌شوند [۴، ۵]. هیدروژل‌ها در شرایط عادی دارای مقادیر زیادی آب یا محلول‌های آبی (تا بیش از ۹۰٪ وزنی) هستند [۶]. با توجه به این که بخش عمده مواد تشکیل دهنده هیدروژل‌های پلیمری آب یا محلول‌های آبی است، در نتیجه آن‌ها به میزان چشمگیری در مقایسه با سایر مواد پلیمری، زیست سازگارند. خاصیت مهم زیست سازگاری هیدروژل‌های پلیمری موجب شده است تا استفاده اساسی از آن‌ها در عمل به مصرف‌های زیست پزشکی مانند: سامانه‌های دارورسانی، اندام‌های مصنوعی، داربست‌های پزشکی، کشت سلول‌های بنیادی، لنزهای تماسی، زخم بندها و غیره معطوف شود [۷-۹].

با وجود قابلیت‌های ویژه هیدروژل‌های پلیمری، استفاده از آن‌ها در برخی کاربردهای عملی با محدودیت روبه رو است. این محدودیت اغلب به دلیل ضعف ویژگی‌ها و استحکام مکانیکی آن‌ها، به‌ویژه در حالت متورم است. بر این اساس، دستیابی به هیدروژل‌های پلیمری با ویژگی‌های بهبود یافته، از اولویت‌های پژوهشی و نیازهای صنعتی در این عرصه به‌شمار می‌آید [۱۰-۱۲]. در سال ۲۰۰۲ میلادی، برای نخستین بار نسل جدیدی از هیدروژل‌های پلیمری با عنوان هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی با بهره‌گیری از فناوری نانو تهیه شد [۱۳]. در حالت کلی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی به گروهی از نانوکامپوزیت‌های پلیمری گفته می‌شود که فاز زمینه‌ی آن‌ها را هیدروژل‌های پلیمری و فاز تقویت کننده آن‌ها را ذره‌های نانومتری تشکیل می‌دهند [۱۴]. آن‌ها همانند سایر هیدروژل‌های پلیمری، دارای ساختار شبکه‌ای سه بعدی بوده و قابلیت تورم دارند. از انواع گوناگون ذره‌های نانومتری که در تهیه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی استفاده می‌شود می‌توان به نانوذره‌های طلا، نقره، اکسیدهای فلزی، نانولوله‌های کربنی و همچنین انواع گوناگون خاک رس مانند لاپونیت، مونت



شکل ۱- شکل نمایشی انسداد نشستی گاز توسط دیواره گلی رس در عملیات اتصال گرم.

جرم مولکولی  $540/46$  و چگالی  $2/86 \text{ g/cm}^3$  تولید شرکت Southern Clay Products Inc. کشور آمریکا است. برای تهیه تمام محلول‌ها از آب مقطر دوبار تقطیر شده استفاده شده است.

#### دستگاه‌ها

در این پژوهش از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) ساخت شرکت Philips کشور هلند برای بررسی ریخت شناسی و تعیین ویژگی‌های ساختاری خاک رس و مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی استفاده شد. برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی مسدودکننده‌ها دستگاه کشش مدل GT-TCS-2000 ساخت شرکت Gotech Testing Machines Inc. کشور تایوان به کار گرفته شده است. برای بررسی عملکرد مسدودکنندگی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده در خطوط لوله انتقال گاز طبیعی در عملیات اتصال گرم در موضع جوشکاری، دستگاه آزمایشی از خط لوله گاز طبیعی در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد. دستگاه ساخته شده شامل مخزن ذخیره گاز طبیعی فشرده (CNG) با گنجایش  $12 \text{ kg}$  و فشار در حدود  $2000 \text{ psi}$ ، لوله از جنس لوله‌های شبکه‌های گازرسانی به قطر  $1$  اینچ، دو عدد شیر قطع و وصل گاز و سه عدد فشارسنج است. شکل ۲، پس از ساخت دستگاه، نسبت به انجام آزمون هیدرواستاتیک اقدام شد و پس از اطمینان یافتن از نبود وجود نشستی در دستگاه، نسبت به پر کردن گاز مخزن CNG اقدام شد. دستگاه طراحی شده دارای سه بخش فشاری متفاوت است. بخش اول که فشار آن توسط فشارسنج شماره ۱ اندازه گیری می‌شود، دارای فشاری معادل فشار مخزن ذخیره گاز است. بخش دوم که فشار آن قابل تغییر توسط شیر شماره ۱ است را می‌توان در حد بیشینه فشار آزمون (بیشینه فشار طراحی شده

موریلونیت، کائولینیت و بنتونیت اشاره کرد [۱۹ - ۱۵]. از میان این نانو ذره‌ها، بیش‌ترین توجه به خاک رس، به دلیل دارا بودن ساختار لایه‌ای بی‌مانند، استحکام مکانیکی بالا، مقاومت شیمیایی و همچنین در دسترس و ارزان بودن، معطوف شده است [۲۰]. در مجموع، مطالعه‌ها و پژوهش‌های انجام شده بر روی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی بیانگر از بروز بهبود چشمگیر در ویژگی‌های ساختاری، فیزیکی، مکانیکی، گرمایی و نوری هیدروژل‌ها در حضور عامل‌های تقویت کننده نانومتری است.

هدف اساسی این پژوهش، تهیه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی بر پایه پلی وینیل الکل (PVA) به عنوان فاز زمینه و خاک رس نانوساختار سدیم مونت موریلونیت (Na-MMT) به عنوان عامل تقویت کننده و معرفی آن‌ها به عنوان مسدودکننده‌های نوین برای استفاده در فرایند جوشکاری خطوط لوله گاز طبیعی و اتصال لوله‌های گازدار به لوله‌های بدون گاز است. هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی با استفاده از روش چرخه‌ای سرمایش - گرمایش تهیه شدند و برخی ویژگی‌های ساختاری، فیزیکی و مکانیکی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. سینتیک خشک شدن نمونه‌های تهیه شده و همچنین عملکرد مسدودکنندگی آن‌ها در خطوط توزیع و انتقال گاز طبیعی در مقیاس آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

#### بخش تجربی

##### مواد اولیه

در این پژوهش از PVA تولید شرکت Nippon Gohsei کشور ژاپن با میزان صابونی شدن بزرگتر از  $98\%$ ، درجه پلیمره شدن  $1700$  و چگالی  $1/25 \text{ g/cm}^3$  استفاده شده است. خاک رس Na-MMT با ظرفیت کاتیون قابل تعویض  $92/6 \text{ meq/}100 \text{ g}$ ،

با نمودار XRD خاک رس استفاده شده، می‌توان ضمن اطمینان از تشکیل نانوکامپوزیت، نوع ساختار ایجاد شده (درمیان لایه‌ای یا از هم گسیخته) را تعیین نموده، در مورد نانوکامپوزیت‌های در میان لایه‌ای نیز، فاصله بین لایه‌ای خاک رس را اندازه‌گیری کرد. برای این منظور، خاک رس Na-MMT به همراه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده (نمونه‌های V5 و V10) مورد آزمون قرار گرفت. پیش از آزمون، نمونه‌ها در آون خلأ به طور کامل خشک شدند. آزمون در بازه‌ی ۲۵ بین ۲ تا ۱۴ درجه و با نرخ روبش ۲%/min انجام شد.

### آزمون میزان ژل شدگی

از این آزمون برای تعیین میزان شبکه‌ای شدن هیدروژل‌های پلیمری استفاده می‌شود. با استفاده از این آزمون می‌توان دریافت که چه میزان از زنجیره‌های پلیمری در حین فرایند شبکه‌ای کردن در شبکه سه بعدی هیدروژل قرار گرفته است. بر اساس این آزمون، تأثیر کمی خاک رس بر فرایند شبکه‌ای شدن هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی قابل بررسی است. این آزمون با استخراج زنجیره‌های پلیمری شبکه‌ای نشده از هیدروژل و مقایسه آن با هیدروژل استخراج نشده به روش وزن سنجی انجام پذیرفت. برای این منظور، تکه‌های به تقریب هم وزن از هر نمونه انتخاب و در خلأ خشک شد. در فاصله‌های زمانی معین، نمونه در حال خشک شدن توزین شد و تا زمانی که وزن نمونه خشک شده در مقداری ثابت ( $m_i$ ) تثبیت شود، عملیات خشک کردن ادامه یافت. سپس نمونه خشک شده در حجم وسیعی از آب مقطر غوطه‌ور شد تا این‌که اجزای شرکت نکرده در ساختار شبکه‌ای هیدروژل، به محیط آبی منتقل شود. این عمل تا مدت یک هفته ادامه یافت و هر چند وقت یک‌بار، آب مقطر تازه جایگزین آب مقطر پیشین شد. سرانجام، نمونه استخراج شده از آب مقطر خارج شد و در خلأ خشک شد. عملیات خشک کردن تا زمانی که وزن نمونه خشک شده در مقداری ثابت ( $m_f$ ) تثبیت شود، ادامه یافت. سرانجام با داشتن  $m_f$  و  $m_i$  که از وزن کردن نمونه به دست می‌آید، درصد ژل شدن یا کسر ژل هر نمونه بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{کسر ژل (\%)} = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

آزمون برای هر نمونه سه بار تکرار شد و میانگین نتیجه‌های به دست آمده گزارش شد.

برای اعمال به مسدود کننده) تنظیم نمود و فشار آن قابل اندازه‌گیری با فشارسنج ۲ است. بخش سوم که فشار آن قابل تنظیم توسط شیر شماره ۲ و قابل اندازه‌گیری توسط فشارسنج شماره ۳ است، شامل لوله آزمون شونده و در برگیرنده مسدود کننده است. در واقع فشار این بخش، همان فشار تحمل شده توسط مسدود کننده در زمان انجام آزمون است.

### روش‌ها

#### تهیه نمونه‌ها

برای تهیه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی، در ابتدا میزان مشخصی از Na-MMT براساس درصد وزنی مورد نظر توزین و سپس در آب مقطر دوبار تقطیر شده با انجام عملیات اختلاط توسط همزن مکانیکی با دور ۴۵۰ rpm به مدت ۴ ساعت توزیع شد. تعلیق به دست آمده در دمای ۹۰ °C قرار گرفت و PVA به صورت تدریجی در مدت زمانی در حدود ۴ ساعت به تعلیق افزوده شد و همزمان عمل هم‌زدن توسط مخلوط کن مکانیکی با دور ۵۰ rpm انجام پذیرفت. سپس محلول همگن به دست آمده در قالب‌های پلاستیکی از پیش تهیه شده ریخته شد و تحت عملیات سرمایش - گرمایش قرار گرفت. قالب دارای هر محلول، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۵- °C قرار داده شد. پس از عملیات سرمایش، نمونه در مرحله‌ی گرمایش به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ °C قرار داده شد. این فرایند به صورت متوالی و برای هر نمونه سه بار تکرار شد. نمونه‌های به دست آمده، تا پیش از انجام آزمون‌ها، در همان قالب‌های سربسته نگهداری شدند. در این پژوهش، هیدروژل‌های تهیه شده با نماد  $V_x$  نامگذاری شده‌اند که  $x$  بیانگر درصد وزنی Na-MMT در هیدروژل بر مبنای مجموع وزن PVA و Na-MMT (هیدروژل خشک) است. هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده دارای ۱۲ درصد وزنی از PVA (بر مبنای وزن هیدروژل تر در شرایط پس از تهیه و غیر متورم) و ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی از Na-MMT (بر مبنای وزن هیدروژل خشک) بودند.

#### آزمون پراش پرتو ایکس

از این آزمون برای بررسی ویژگی‌های ساختاری هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده، شکل شناسی و تعیین چگونگی آرایش یافتگی لایه‌های سیلیکاتی Na-MMT در آن‌ها استفاده شد. بر اساس نمودارهای XRD هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی و مقایسه آن‌ها

### آزمون کشش

و به صورت کاملاً تدریجی فشار اعمال شده به مسدودکننده افزایش یافت. بیشینه فشار تحمل شده توسط مسدودکننده (فشاری که در آن مسدودکننده از داخل لوله بیرون می‌جهد) به عنوان فشار قابل تحمل مسدودکننده (P) ثبت شد. برای اطمینان از نبود نشتی، انتهای باز لوله در تمام مدت انجام آزمون تا لحظه جهش مسدودکننده، توسط گازسنج مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون برای هر مسدودکننده با قطر و ارتفاع مشخص، سه بار تکرار شد و میانگین فشار تحمل شده گزارش شد.

با انجام آزمون کشش، ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها شامل مدول کششی و ازدیاد طول تا پارگی تعیین شد. برای انجام آزمون، از هر مسدودکننده سه نمونه دمبلی شکل با ضخامت ۳ mm، براساس استاندارد ASTM D-1822-99 تهیه شد. نمونه‌های آماده شده، قبل از شروع آزمایش مدتی در دمای اتاق نگهداری شدند. آزمون با سرعت کشش ۵۰ mm/min، در دمای اتاق انجام پذیرفت. میانگین سه نتیجه به دست آمده برای هر نمونه به‌عنوان نتیجه نهایی گزارش شد.

### نتیجه‌ها و بحث

#### ویژگی‌های ساختاری

مشخصه‌های ساختاری و شکل شناسی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده با استفاده از آزمون XRD معین شد. شکل ۳، نمودارهای XRD مربوط به خاک رس Na-MMT و هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی V5 و V10 را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، Na-MMT دارای پیکی در زاویه  $2\theta$  معادل  $7.26^\circ$  درجه، متناظر با فاصله بین لایه‌های (d<sub>11</sub>) معادل ۱۲۱۶ نانومتر است. این در حالی است که منحنی‌های XRD مربوط به هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی فاقد هرگونه پیک هستند. این بدان معنی است که هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی مورد نظر بدون توجه به میزان Na-MMT بارگذاری شده در آنها، دارای شکل شناسی احتمالی از هم گسیخته هستند. به عبارت دیگر، نتیجه‌های XRD نشان می‌دهد که فرایند تولید هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی با موفقیت به انجام رسیده است و در آنها زنجیره‌های پلیمری PVA به داخل لایه‌های سیلیکاتی Na-MMT نفوذ کرده و با برهم زدن آرایش منظم و موازی لایه‌های سیلیکاتی، شکل شناسی احتمالی از هم گسیخته را برای هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی ایجاد نموده‌اند.

#### میزان ژل شدگی

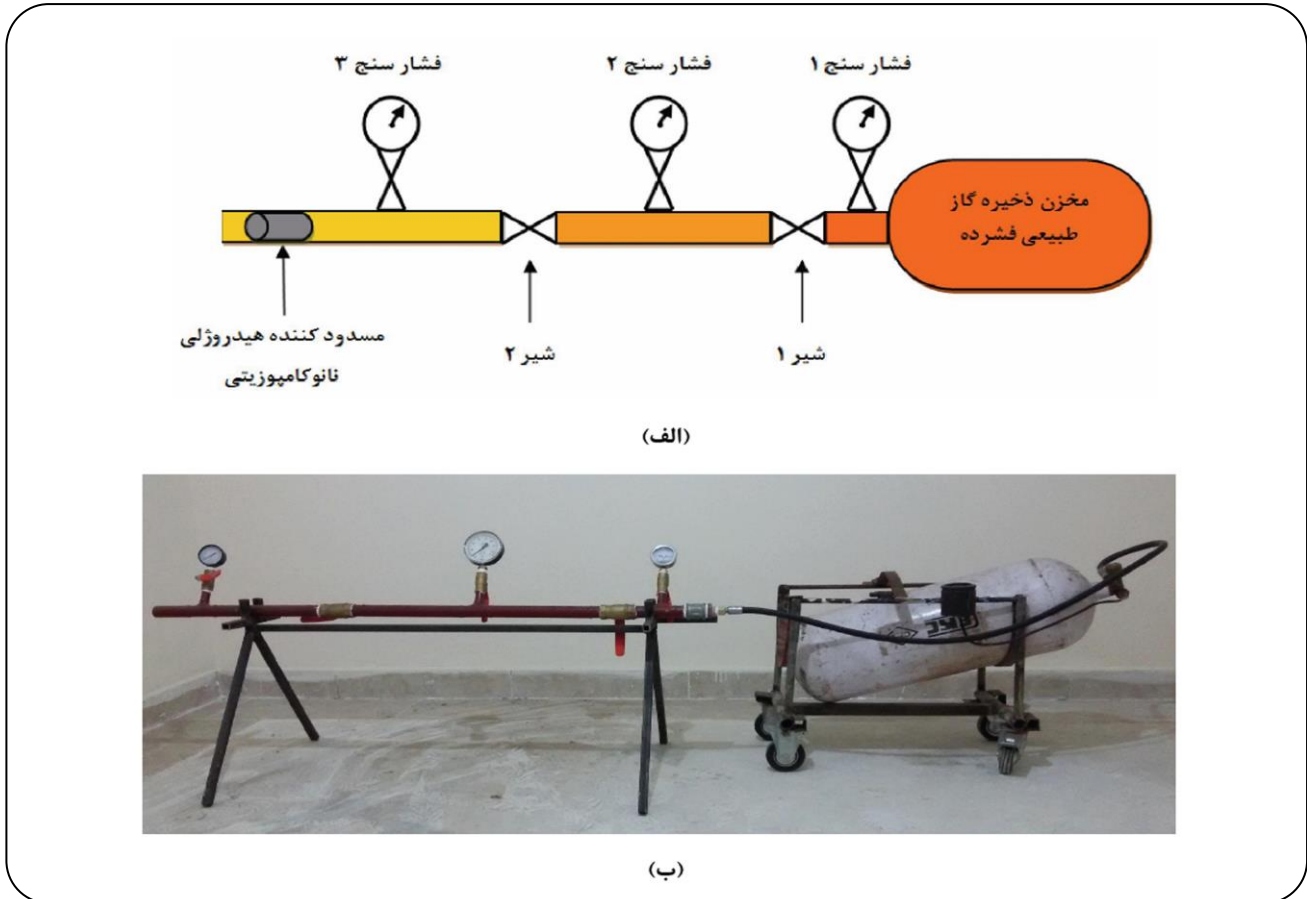
کسر ژل هیدروژل‌ها بر حسب درصد وزنی Na-MMT موجود در آنها در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، کسر ژل، که معیاری از درصد زنجیره‌های پلیمری شبکه‌ای شده در ساختار هیدروژل است، برای تمام نمونه‌ها مقداری بیش‌تر از ۸۰٪ داشته و با افزایش درصد Na-MMT بارگذاری شده، این میزان افزایش می‌یابد. این بدان معنی است که زنجیره‌های پلیمری PVA بیش‌تری در حضور صفحه‌های سیلیکاتی Na-MMT در هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی، شبکه‌ای شده‌اند.

#### آزمون خشک شدن

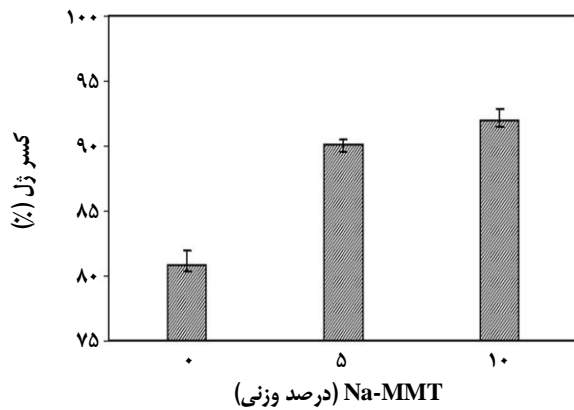
زمان خشک شدن یکی از مهمترین عامل‌هایی است که بسته به کاربرد هیدروژل‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت خشک شدن در بررسی کارکرد هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده در مصرف‌های عملی به عنوان مسدودکننده خطوط توزیع و انتقال گاز طبیعی در حین عملیات جوشکاری و اتصال گرم، این آزمون بر روی نمونه‌های تهیه شده به شرح زیر و بر پایه روش وزن سنجی به انجام رسید. برای این منظور، تکه‌های هم وزن لایه‌ای شکل از نمونه‌های متورم شده (در حالت تورم تعادلی با وزن  $m_0$ ) انتخاب شد و کاهش وزن آنها با زمان ( $m_t$ ) در دمای  $25^\circ\text{C}$  به عنوان معیاری از سینتیک خشک شدن آنها اندازه‌گیری شد.

#### آزمون بررسی عملکرد مسدودکنندگی

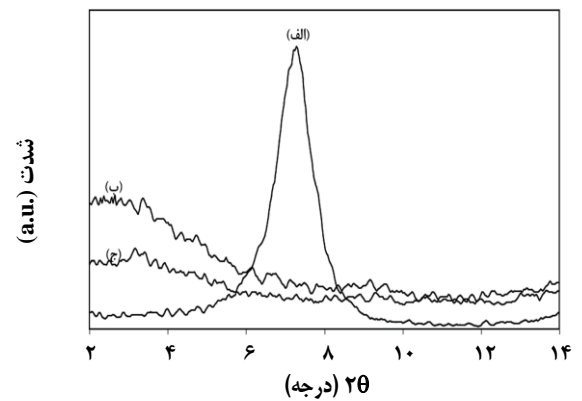
از این آزمون برای بررسی عملکرد مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی تهیه شده در بسته شدن لوله‌های گاز طبیعی در هنگام نشت گاز حین انجام عملیات جوشکاری استفاده شد. برای این منظور از دستگاه آزمایشی ساخته شده (شکل ۲) استفاده شد و بیشینه فشار قابل تحمل توسط مسدودکننده‌ها اندازه‌گیری شد. آزمون بر روی هر سه نمونه تهیه شده (V5، V0 و V10) استوانه‌ای شکل با سه قطر (D) گوناگون شامل ۳، ۳/۲ و ۳/۴ سانتی‌متر و سه طول (L) متفاوت شامل ۰/۶، ۲ و ۳ سانتی‌متر به انجام رسید. میزان بیشینه فشار آزمون (فشار قابل اندازه‌گیری در فشارسنج شماره ۲)، بر اساس آزمون‌های اولیه و با توجه به قطر لوله ۲۰ psi در نظر گرفته شد. سپس مسدودکننده مورد نظر با دست متراکم شده و در بخش انتهایی لوله دستگاه در موضع خود قرار داده شد. در ادامه شیر شماره ۳ به آهستگی باز شد



شکل ۲- (الف) طرح‌واره و (ب) تصویری از دستگاه آزمایشی ساخته شده برای بررسی عملکرد مسدود کننده‌ی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی.



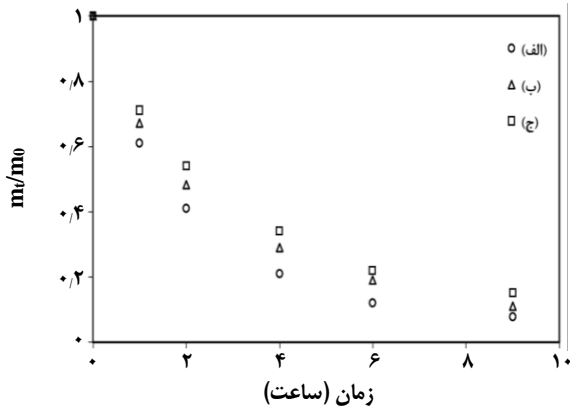
شکل ۴- مقدارهای کسر ژل هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی برحسب درصد وزنی Na-MMT.



شکل ۳- نمودارهای XRD (الف) خاک رس Na-MMT و هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی (ب) V5 و (ج) V10.

می‌توان عنوان نمود که لایه‌های سیلیکاتی Na-MMT به عنوان عامل‌های شبکه‌ای کننده در شبکه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی عمل می‌نمایند.

این امر به دلیل شکل‌گیری برهمکنش بین گروه‌های هیدروکسیل صفحه‌های سیلیکاتی Na-MMT و زنجیره‌های پلیمری PVA در هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی رخ می‌دهد [۲۱]. به عبارت دیگر



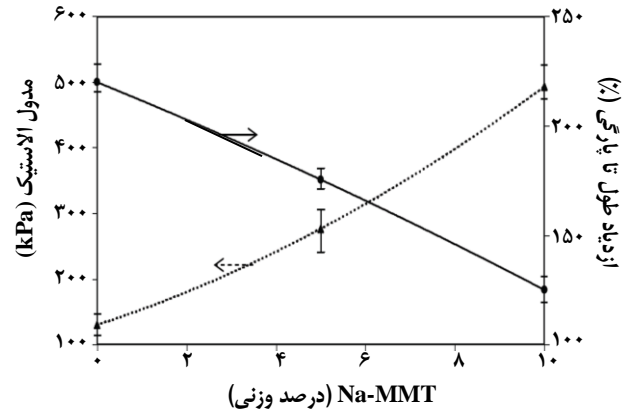
شکل ۶ - منحنی‌های سینتیک خشک شدن نمونه‌های (الف) V0، (ب) V5 و (ج) V10 در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ .

### سینتیک خشک شدن

منحنی‌های سینتیک خشک شدن مسدودکننده‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. نتیجه‌ها نشان دهنده آن است که وزن همه نمونه‌ها در طول یک ساعت اولیه خشک شدن به حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد وزن اولیه می‌رسد. میزان کاهش وزن نمونه‌ها با افزایش زمان افزایش یافته و پس از دو ساعت از شروع عملیات خشک شدن، وزن نمونه‌ها به حدود ۴۰ تا ۵۵ درصد وزن اولیه آن‌ها می‌رسد. این در حالی است که پس از گذشت ۹ ساعت از شروع خشک شدن، وزن نمونه‌ها کاهش چشمگیرتری یافته و به حدود ۷ تا ۱۵ درصد وزن اولیه آن‌ها نزول می‌نماید.

نتیجه‌های آزمون خشک شدن بیانگر قابلیت یگانه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده در مصرف‌های مسدودکنندگی است. نتیجه‌ها بیانگر آن است که در صورت استفاده از این مسدودکننده‌ها در مصرف‌های عملی و پس از اعمال آن‌ها در لوله‌های گاز در حال انجام عملیات اتصال گرم و پس از پایان عملیات جوشکاری، مسدودکننده‌ها به صورت طبیعی آب خود را از دست داده و با کاهش وزن و حجم چشمگیری، مسیر عبور گاز در درون لوله را باز نموده و پس از گذشت زمان مناسب، در درون خط لوله به حجم بسیار کوچکی تبدیل شده و مشکلی برای جریان گاز ایجاد نخواهند نمود.

نتیجه‌های به دست آمده همچنین نشان می‌دهد که با افزودن خاک رس Na-MMT به هیدروژل PVA و با افزایش میزان آن در نمونه‌ها، زمان رسیدن به سطح مشخصی از خشک شدن، افزایش می‌یابد. برای مثال، زمان لازم برای کاهش وزن نمونه بدون Na-MMT (نمونه V0) به ۲۰ درصد وزن اولیه خود در حدود

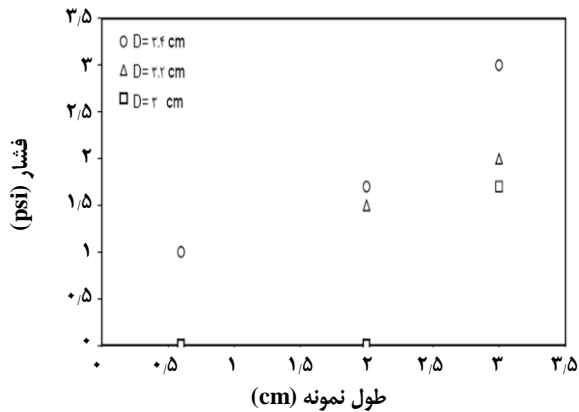


شکل ۵ - مدول الاستیک و ازدیاد طول تا پارگی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی بر حسب درصد وزنی Na-MMT.

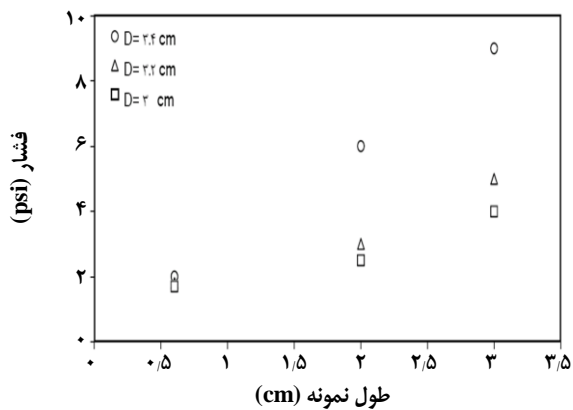
### ویژگی‌های مکانیکی

برای مقایسه ویژگی‌های مکانیکی مسدودکننده‌های هیدروژلی تهیه شده و همچنین بررسی میزان تأثیر Na-MMT بر آن‌ها، مقدارهای مدول الاستیک و ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها به عنوان توابعی از درصد وزنی Na-MMT در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل یاد شده قابلیت تقویت کنندگی خاک رس Na-MMT در زمینه هیدروژل PVA را به روشنی نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، افزودن Na-MMT به هیدروژل PVA موجب افزایش چشمگیر در مدول الاستیک آن شده است و با افزایش میزان Na-MMT، مدول الاستیک افزایش بیشتری می‌یابد. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که با افزودن ۵ و ۱۰ درصد وزنی Na-MMT به هیدروژل PVA، مدول الاستیک به ترتیب ۱۱۳ و ۲۸۰ درصد افزایش می‌یابد. شکل ۵ بیانگر کاهش ازدیاد طول تا پارگی هیدروژل PVA با افزودن Na-MMT به آن است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که با افزودن Na-MMT به هیدروژل، میزان ازدیاد طول تا پارگی آن تا بیش از ۴۳ درصد قابل کاهش است.

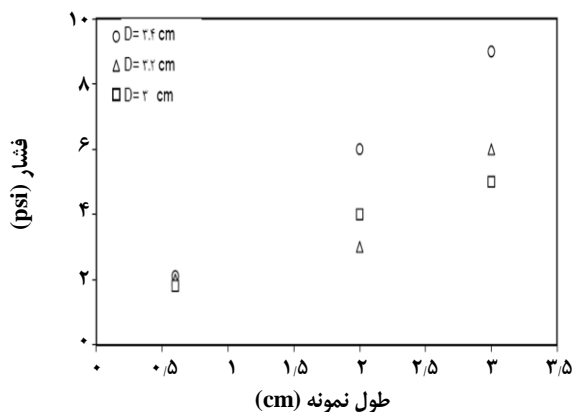
تطابق بین نتیجه‌های به دست آمده از بررسی ویژگی‌های مکانیکی و نتیجه‌های به دست آمده از آزمون کسر ژل بوده، بیانگر نقش خاک رس به عنوان عامل شبکه‌ای و تقویت کننده در ساختار هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی است. بهبود ویژگی‌های مکانیکی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی مزیتی اساسی برای آن‌ها به عنوان مسدودکننده به شمار آمده، موجب می‌شود تا در مصرف‌های عملی در مسدود کردن لوله‌های گاز در زمان جوشکاری، فشارهای بالاتری را بدون ایجاد نشتی در محل جوشکاری تحمل نمایند.



شکل ۷- منحنی‌های بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌های از نوع V0 برحسب قطر و طول نمونه.



شکل ۸- منحنی‌های بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌های از نوع V5 برحسب قطر و طول نمونه.



شکل ۹- منحنی‌های بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌های از نوع V10 برحسب قطر و طول نمونه.

۴ ساعت است. این در حالی است که این زمان برای نمونه V5 در حدود ۶ ساعت و برای نمونه V10 اندکی بیش از ۶ ساعت است. این موضوع در ارتباط با مقدارهای کسر ژل بالاتر هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی در مقایسه با هیدروژل فاقد خاک رس و همچنین عملکرد سدگونه لایه‌های خاک رس در برابر انتقال مولکول‌های آب از هیدروژل به محیط، در حین عملیات خشک شدن است [۲۲].

### عملکرد مسدود کنندگی

آزمون بررسی عملکرد مسدود کنندگی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده بر اساس روشی که در بخش تجربی به آن اشاره شد به انجام رسید و نتیجه‌های به دست آمده به صورت منحنی‌های فشار قابل تحمل مسدود کننده بر حسب قطر و طول نمونه برای مسدود کننده‌های V0، V5 و V10 به ترتیب در شکل‌های ۷ تا ۹ نشان داده شده است.

همه نمونه‌های تحت آزمون قرار گرفته، به غیر از نمونه‌های بر پایه مسدود کننده V0 با ویژگی‌های ابعادی (D=3 cm و L=0.6 cm)، (D=3.2 cm و L=0.6 cm) و (D=3 cm و L=2 cm)، توانستند با موفقیت در برابر فشار اعمالی در درون لوله تا رسیدن به بیشینه فشار قابل تحمل خود، بدون کوچک‌ترین نشتی در حین اعمال فشار، مقاومت نمایند. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که میزان فشار قابل تحمل مسدود کننده‌ها به میزان چشمگیری به اندازه‌های (قطر و طول) آن‌ها و همچنین به میزان خاک رس Na-MMT به عنوان عامل تقویت کننده موجود در نمونه‌ها بستگی دارد.

از دیدگاه تأثیر قطر مسدود کننده‌ها بر بیشینه فشار قابل تحمل دیده می‌شود که با افزایش قطر، بیشینه فشار قابل تحمل همه نمونه‌ها افزایش چشمگیر می‌یابد. برای نمونه بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌های از نوع V5 با طول یکسان 3 cm و قطرهای 3/4 cm و 3/2 cm و 3 cm به ترتیب 9، 5 و 4 psi است. افزایش بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌ها با افزایش قطر آن‌ها در ارتباط با افزایش فشار اعمالی از طرف مسدود کننده به جداره لوله در تماس با سطح جانبی آن‌هاست.

نتیجه‌ها همچنین نشان می‌دهد که با افزایش طول مسدود کننده‌ها، بیشینه فشار قابل تحمل آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. برای نمونه بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌های از نوع V5 با قطر یکسان 3/4 cm و طول‌های 3 cm و 2 cm و 0.6 cm به ترتیب 9 و 6 psi است. افزایش در میزان بیشینه فشار قابل تحمل مسدود کننده‌ها



و پس از اتمام عملیات جوشکاری، آن‌ها به صورت طبیعی آب خود را از دست داده و با کاهش وزن و حجم قابل ملاحظه، مسیر عبور گاز در درون لوله را باز نموده و پس از گذشت زمان کوتاه در داخل خط لوله به حجم بسیار کوچکی تبدیل شده و مشکلی برای جریان گاز ایجاد نخواهند نمود.

نتیجه‌های آزمون بررسی عملکرد مسدودکننده‌ها نشان داد که همه مسدودکننده‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده قابلیت تحمل فشار گاز در بازه‌ی ۹-۱ psi را بسته به اندازه‌های مسدودکننده میزان Na-MMT بارگذاری شده در آن دارا هستند. مسدودکننده بر پایه هیدروژل PVA خالی (فاقد Na-MMT) نیز در اندازه‌های بزرگ این قابلیت را داراست. نتیجه‌ها نشان داد که قابلیت مسدودکنندگی و بیشینه فشار قابل تحمل مسدودکننده‌ها با افزایش قطر و طول مسدودکننده افزایش می‌یابد. افزون بر این، مقایسه نتیجه‌های به دست آمده برای مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی با مسدودکننده هیدروژلی خالص، از قابلیت مسدودکنندگی دلخواه‌تر مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی، به دلیل استحکام مکانیکی بهتر آن‌ها، حکایت داشت. در مجموع می‌توان عنوان نمود که هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده بر پایه PVA و Na-MMT، گزینه‌ای مناسب برای استفاده به عنوان مسدودکننده‌های نوین در صنایع گاز بوده و با توجه به قابلیت مسدودکنندگی یگانه آن‌ها، می‌توان با بسته شدن لوله‌های گازدار و جلوگیری کامل از نشت گاز، منطقه‌ای ایمن برای انجام عملیات اتصال گرم و جوشکاری را در انجام انواع عملیات تعمیراتی و توسعه‌ای تأسیسات صنعت گاز ایجاد نمود.

### قدردانی

از شرکت گاز استان آذربایجان غربی به دلیل حمایت مالی از این پژوهش قدردانی می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۴

با افزایش طول آن‌ها به دلیل افزایش سطح تماس مسدودکننده با جداره داخلی لوله قابل تفسیر است.

از دیدگاه تاثیر میزان Na-MMT موجود در مسدودکننده‌ها، نتیجه‌ها نشان می‌دهد که مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی دارای Na-MMT در شرایط ابعادی یکسان، دارای بیشینه فشار قابل تحمل بالاتری نسبت به مسدودکننده هیدروژلی فاقد Na-MMT (نمونه V0) هستند و با افزایش میزان Na-MMT در مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی، بیشینه فشار قابل تحمل با افزایش میزان Na-MMT افزایش می‌یابد. برای نمونه، در حالی که مسدودکننده بر پایه نمونه V0 با قطر ۳/۲ cm و طول ۳ cm دارای بیشینه فشار قابل تحمل معادل ۲ psi است، این میزان برای مسدودکننده‌های همانند از لحاظ ابعادی بر پایه نمونه V5 برابر ۵ psi و برای مسدودکننده بر پایه نمونه V10 برابر ۶ psi است. این امر در ارتباط مستقیم با ویژگی‌های مکانیکی بهبود یافته هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی در مقایسه با هیدروژل بدون خاک رس، قابلیت ارتجاعی دلخواه‌تر آن‌ها و در نتیجه اعمال فشار بیش‌تر به جداره لوله و مقاومت بیش‌تر در برابر فشار گاز اعمالی در درون لوله است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش نسل جدیدی از مسدودکننده‌های لوله‌های توزیع و انتقال گاز طبیعی در حین انجام عملیات جوشکاری در لوله‌های گازدار بر پایه هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شد و عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده دارای ریخت‌شناسی احتمالی از هم گسیخته هستند و حضور خاک رس Na-MMT در ساختار آن‌ها موجب افزایش میزان اتصال‌های عرضی و کسر ژل می‌شود. نتیجه‌های آزمون بررسی ویژه مکانیکی نشان دهنده آن بود که با ترکیب Na-MMT با هیدروژل PVA و افزایش میزان بارگذاری آن، مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی با ویژگی‌های مکانیکی بهبود یافته (افزایش مدول الاستیک تا ۲۸۰ درصد و کاهش ازدیاد طول تا پارگی تا ۴۳ درصد) به دست می‌آید. بر اساس آزمون خشک شدن معلوم شد که مسدودکننده‌های تهیه شده در مدت زمان اندکی بخش عمده آب خود را از دست داده و کاهش وزن چشمگیری می‌یابند. نتیجه‌های به دست آمده بیانگر آن است که در صورت اعمال مسدودکننده‌های هیدروژلی نانوکامپوزیتی در لوله‌های گازدار در حال انجام عملیات اتصال گرم

## مراجع

- [1] Treloar R.D., "Gas Installation Technology", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., United Kingdom (2010).
- [2] Amend B., Bruce W.A., [Welding on In-service Pipelines: Dispelling Popular Myths and Misconceptions](#), *Can. Welding Assoc. J.*, Spring: 30-39 (2013).
- [۳] کیوان‌پور، علی؛ صرفه‌نیا، منوچهر؛ ایمنی گاز طبیعی در شبکه‌های گازرسانی و ایستگاه‌های تقلیل فشار، آموزش نیروی انسانی شرکت ملی گاز ایران (۱۳۸۲).
- [۴] نوبخت اصل، فاطمه؛ کردتبار، مهران، سنتز و شناسایی هیدروژل‌های ابر جاذب نانوکامپوزیت مغناطیسی آهن بر پایه صمغ زانتان اصلاح شده با استفاده از اکریلیک اسید، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۳۵: ۳۳ تا ۳۸ (۱۳۹۵).
- [5] Byrne M.E., Park K., Peppas N.A., [Molecular Imprinting Within Hydrogels](#), *Adv. Drug Delivery Rev.*, **54**: 149-161 (2002).
- [6] Ganji F., Vasheghani-Farahani S., Vasheghani-Farahani E., [Theoretical Description of Hydrogel Swelling: A Review](#), *Iran. Polym. J.*, **19**: 375-398 (2010).
- [7] Peppas N.A., Bures P., Leobandung W., Ichikawa H., [Hydrogels in Pharmaceutical Formulations](#), *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, **50**: 27-46 (2000).
- [8] Mohammad Beigi S., Babapoor A., Maghsoodi V., Mousavi S.M., Rajabi N., [Batch Equilibrium and Kinetics Studies of Cd \(II\) Ion Removal from Aqueous Solution Using Porous Chitosan Hydrogel Beads](#), *Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)*, **28**: 81-89 (2009).
- [9] Sirousazar M., Kokabi M., Hassan Z.M., [In Vivo and Cytotoxic Assays of a Poly\(vinyl alcohol\)/Clay Nanocomposite Hydrogel Wound Dressing](#), *J. Biomater. Sci., Polym. Ed.*, **22**: 1023-1033 (2011).
- [10] Tajeddin B., Ramedani N., [Preparation and Characterization \(Mechanical and Water Absorption Properties\) of CMC/PVA/Clay Nanocomposite Films](#), *Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)*, **35**: 9-15 (2016).
- [11] Abdurrahmanoglu S., Can V., Okay O., [Equilibrium Swelling Behavior and Elastic Properties of Polymer-Clay Nanocomposite Hydrogels](#), *J. Appl. Polym. Sci.*, **109**: 3714-3724 (2008).
- [12] Can V., Abdurrahmanoglu S., Okay O., [Unusual Swelling Behavior of Polymer-Clay Nanocomposite Hydrogels](#), *Polymer*, **48**: 5016-5023 (2007).
- [13] Haraguchi K. Takehisa T., [Nanocomposite Hydrogels: A Unique Organic-Inorganic Network Structure with Extraordinary Mechanical, Optical, and Swelling/De-swelling Properties](#), *Adv. Mater.*, **14**: 1120-1124 (2002).
- [۱۴] سیروس آذر، محمد؛ کوکبی، مهرداد؛ حسن، زهیر محمد، بررسی خواص مکانیکی هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی پلی وینیل الکل، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، ۱۷: ۲۷۳ تا ۲۸۰ (۱۳۸۳).

- [15] Sirousazar M., Kokabi M., Hassan Z.M., Bahramian A.R., [Mineral Kaolinite Clay for Preparation of Nanocomposite Hydrogels](#), *J. Appl. Polym. Sci.*, **125**: E122-E130 (2012).
- [۱۶] بشارتی سیدانی، عباس؛ غلامی، محمدرضا، [تخریب فوتوکاتالیستی یک نمونه رنگ آزو به کمک نانوکامپوزیت‌های بر پایه  \$TiO\_2\$  اصلاح شده با فلزهای Pt، Pd و Ni](#)، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، **۳۴**: ۳۹ تا ۴۹ (۱۳۹۴).
- [17] Sirousazar M., Kokabi M., Hassan Z.M., [Swelling Behaviour and Structural Characteristics of Polyvinyl Alcohol/Montmorillonite Nanocomposite Hydrogels](#), *J. Appl. Polym. Sci.*, **123**: 50-58 (2012).
- [18] Mansoori Y., Salemi H., [Nanocomposite Hydrogels Composed of Cloisite 30B-graft-Poly\(acrylic acid\)/Poly\(acrylic acid\): Synthesis and Characterization](#), *Polym. Sci. Ser. B*, **57**: 167-179 (2015).
- [19] Pooresmaeil M., Mansoori Y., Mirzaeinejad M., Khodayari A., [Efficient Removal of Methylene Blue by Novel Magnetic Hydrogel Nanocomposites of Poly\(acrylic Acid\)](#), *Adv. Polym. Tech.*, DOI:10.1002/adv.21665 (2016).
- [20] Li P., Siddaramaiah, Kim N.H., Yoo G.H., Lee J.H., [Poly\(acrylamide/laponite\) Nanocomposite Hydrogels: Swelling and Cationic Dye Adsorption Properties](#), *J. Appl. Polym. Sci.*, **111**: 1786-1798 (2009).
- [21] Sirousazar M., Kokabi M., Hassan Z.M., Bahramian A.R., [Polyvinyl Alcohol /Na-Montmorillonite Nanocomposite Hydrogels Prepared by Freezing-Thawing Method: Structural, Mechanical, Thermal and Swelling Properties](#), *J. Macromol. Sci. Part B Phys.*, **51**: 1335-1350 (2012).
- [22] Sirousazar M., Kokabi M., Hassan Z.M., Bahramian A.R., [Dehydration Kinetics of Polyvinyl Alcohol Nanocomposite Hydrogels Containing Na-Montmorillonite Nanoclay](#), *Sci. Iran. Trans. F: Nanotech.*, **18**: 780-784 (2011).