

تعیین اولویت وزنی اسپول‌ها در فرآیند لوله‌کشی صنعتی به کمک روش مجموع وزنی ساده

سروش صفرزاده^۱، شهرام شادروخ سیکاری^{*۲}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

^۲ عضو هیئت علمی مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

دریافت: 94/10/16 پذیرش: 96/9/22

چکیده

با توجه به محدودیت دسترسی به لوله‌کشی واحدهای صنعتی در محل و همچنین با هدف تسریع در نصب لوله‌ها، عملیات اسپول‌سازی در قالب فرآیند پیش‌ساخت صورت می‌پذیرد. در یک تعریف ساده، اسپول به مجموعه اتصالات و قطعات متصل به آن‌ها گفته می‌شود. اولویت‌بندی ساخت اسپول‌ها در فرآیند پیش‌ساخت یکی از مهم‌ترین مراحل پروژه است. از سوی دیگر، استفاده از مدل‌های پیچیده تعیین توالی عملیات که اکثراً حجیم و زمان‌بر هستند نیز حل مسئله را دشوار می‌نماید. بنابراین، ارائه یک رویکرد تصمیم‌گیری جهت اولویت‌بندی ساخت، به جهت افزایش دقت و جامعیت ضروری است. در این مقاله، ضمن بررسی اولویت‌های مطرح حوزه اسپول‌سازی، از روش‌های مجموع وزنی ساده و ارزیابی نسبی پیچیده (COPRAS) به عنوان روش‌های تصمیم‌گیری ساده، قابل فهم و سریع در قالب حل مثال عددی صنعتی، استفاده شده است. نتایج حاصل و مقایسه آن‌ها با مقادیر شهودی تصمیم‌گیرنده نشان‌دهنده منطقی و کاربردی بودن آن‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: لوله‌کشی صنعتی، اولویت‌بندی، فرآیند اسپول‌سازی، مجموع وزنی ساده

1- مقدمه

در یک تعریف کلی، به کلیه واحدهای صنعتی که درصد زیادی از تجهیزات موجود در آن را تجهیزات ثابت یا دوار و خطوط لوله‌کشی و کانال تشکیل می‌دهد، تأسیسات صنعتی^۱ اطلاق می‌شود. از جمله مهم‌ترین تأسیسات صنعتی می‌توان به پالایشگاه‌های نفت و گاز، مجتمع‌های پتروشیمی، نیروگاه‌های تولید انرژی

*shadrokh@sharif.edu

^۱Plant

(مانند نیروگاه‌های گازی، آبی، اتمی، سیکل ترکیبی و...) و واحدهای تصفیه‌ای اشاره نمود. با توجه به نیاز روز افزون واحدهای صنعتی به اجرای پروژه‌های ساخت و توسعه واحدها جدید، از دیرباز، نیاز به اجرای لوله‌کشی صنعتی به عنوان بخشی از برنامه توسعه واحدهای صنعتی موجود، امری ضروری می‌نماید. در پروژه‌های اجرایی صنعتی، گروه‌های مختلفی مشارکت می‌کنند تا در نهایت، محصول تعریف شده در ابتدای پروژه با کیفیت و کمیت تعیین شده حاصل گردد. از جمله مهم‌ترین این گروه‌ها می‌توان به گروه عمران، نصب تجهیزات، اسکلت فلزی، لوله‌کشی صنعتی^۱، برق، ابزار دقیق، فرآیند و بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه و عایق‌کاری، رنگ و سندبلاست^۲ اشاره نمود. در این بین، گروه لوله‌کشی صنعتی یا پایپینگ، به عنوان یکی از مهم‌ترین گروه‌های حاضر در پروژه، نقش مهمی را در موفقیت پروژه برعهده دارد. همچنین این اهمیت، زمانی دو چندان می‌شود که بنا بر تجربیات گذشته، لوله‌کشی صنعتی از مهم‌ترین بخش‌های پروژه صنعتی بوده و پیشرفت یا تأخیر در اجرای این بخش، عامل پیشرفت و یا تأخیر در کل پروژه صنعتی است [۱، ۲].

«لوله‌کشی صنعتی» در یک تعریف ساده عبارت است از مجموعه فعالیت‌هایی که جهت ساخت، نصب خطوط لوله و همچنین راه‌اندازی یک واحد صنعتی صورت می‌پذیرد، به طوری که نصب شیرآلات و ملحقات مرتبط با لوله‌کشی صنعتی نیز، بخشی از فرآیند محسوب شده و در برنامه زمان‌بندی کلی دیده می‌شود [۳]. این فرآیند، به طور کلی به دو قسمت ساخت/پیش‌ساخت قطعات مورد نیاز و نصب تجهیزات تهیه و یا خریداری شده بر روی خطوط موجود در واحد صنعتی تقسیم‌بندی می‌شود که در این بین، بخش اعظم کار در قسمت ساخت بوده و نیازمند برنامه‌ریزی و نظارت دقیق‌تری است [۲].

همچنین در بحث ساخت لوله‌های صنعتی، زمان‌بر بودن فرآیند ساخت و عدم امکان ساخت برخی از قطعات در محل نصب، به ناچار بهترین گزینه جهت تولید لوله‌ها، ایجاد یک کارگاه مجهز در محل سایت پروژه، به منظور اجرای عملیات پیش‌ساخت لوله‌های اصلی و در مرحله بعد، انتقال این قطعات پیش‌ساخته به محل نصب و جایگذاری آن‌ها در محل خود است.

از سوی دیگر، با توجه به این موضوع که بخش اعظمی از لوله‌کشی واحدهای صنعتی موجود از مکان‌هایی عبور می‌کند که امکان دسترسی به آن‌ها مشکل است و همچنین با هدف تسریع در ساخت لوله‌ها، عملیاتی تحت عنوان «اسپول‌سازی» صورت می‌پذیرد. در یک تعریف ساده «اسپول^۳»، به مجموعه اتصالات و قطعات متصل به آن‌ها که در محل کارگاه پیش‌ساخت، ساخته شوند، گفته می‌شود [۴]. همچنین، مشخص نمودن محدوده یک اسپول بر روی نقشه، «اسپول‌بندی» نامیده می‌شود. در شکل ۱، نمونه‌ای از اسپول‌های ساخته شده در کارگاه پیش‌ساخت نمایش داده شده است.

¹Piping

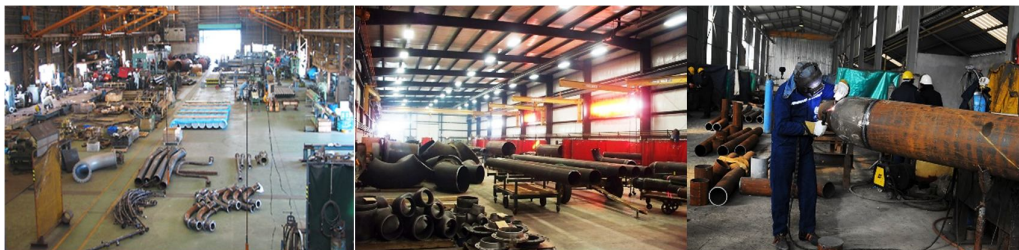
²Insulation & Painting

³Spool



شکل ۱. اسپول‌های پیش‌ساخته شده در کارگاه صنعتی

همچنین، نمونه‌ای از محوطه کارگاه‌های پیش‌ساخت در شکل ۲ به نمایش در آمده است.



شکل ۲. نمونه کارگاه‌های پیش‌ساخت اسپول

با توجه به تعدد اسپول‌ها و لزوم کنترل ساخت و نصب هر یک از آن‌ها، نشانه‌گذاری هر یک از آن‌ها بر روی نقشه صورت می‌گیرد. در این جا، ذکر این نکته ضروری است که اسپول‌بندی کردن فقط منحصر به اتصالات جوشی بوده و اتصالات رزوه‌ای و کوپلینگی دارای پیش‌ساخت نمی‌باشند.

2- مرور ادبیات موضوع

به‌طور کلی می‌توان گفت که کارهای انجام شده در زمینه بهینه‌سازی فرآیند اسپول‌سازی، تاکنون فقط به کمک تکنیک شبیه‌سازی انجام گرفته است. در یکی از اولین بهینه‌سازی‌های صورت گرفته، توملین^۱ به شبیه‌سازی سیستم زنجیره تأمین فرآیند اسپول‌سازی، از زمان شروع طراحی نقشه‌ها تا زمان نصب اسپول در محل مورد نظر پرداخته و با ارائه نمودن سناریوهای مختلف حالت قطعی، احتمالی و استفاده از فن تولید ناب، نتایج را مورد بررسی و مقایسه قرار داده است [۵]. همچنین، لو و همکاران^۲، با در نظر گرفتن فرآیند ساخت اسپول، به ارائه یک مدل شبکه عصبی باز انتشار^۳ جهت بررسی حساسیت بهره‌وری نسبت به ورودی‌های فرآیند (به عنوان متغیر خروجی) پرداخته و با بیان برتری‌های مدل شبکه‌عصبی نسبت به روش رگرسیون جهت تخمین بهترین سطح ورودی‌ها، اقدام به حل این مسئله نموده‌اند [۶]. در یک کار پژوهشی دیگر، با بررسی استانداردهای به کار گرفته شده جهت ساخت اسپول و به‌کارگیری فن

¹Tommelier I. D.

²Lu M. et al.

³Back-Propagation Neural Network (BPNN)

شبیه‌سازی گسسته-پیشامد، به این سؤال پاسخ داده شده است که چگونه افزایش تعداد استانداردها (برای هر جزء از اسپول) موجب اثرگذاری بر عملکرد سیستم تولید و زمان اتمام پروژه خواهد شد. به‌منظور تحقق پاسخ این سؤال، نویسنده با تعریف مسئله‌ای تحت عنوان مسئله تطبیق و بررسی حالات مختلف آن به کمک شبیه‌سازی، به این نتیجه رسیده است که افزایش تعداد استانداردها برای هر قسمت از اسپول، موجب افزایش پیامدهای نامناسب خواهد شد [۷].

وانگ و همکاران^۱، با طرح مسئله تولید ناب در فرآیند اسپول‌سازی با جریان مواد فرآیندی، اقدام به ارائه مدل‌های شبیه‌سازی با در نظر گرفتن سیستم‌های تولید جدید و قدیم نموده و اثرات به کار بردن اصول تولید ناب در این سیستم‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اصول تولید ناب، ابزار قدرتمندتری از نقشه جریان ارزش^۲، در راستای بالا بردن میزان بهره‌وری کارگاه ساخت اسپول به حساب می‌آیند [۴]. در پایان این بخش جدول ۱، مرور ادبیات انجام شده در حوزه کارهای انجام شده جهت بهینه‌سازی فرآیند اسپول‌سازی با استفاده از ابزارهای ریاضی را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد:

جدول ۱. خلاصه تحقیقات حوزه بهینه‌سازی ریاضی فرآیند اسپول‌سازی

منبع	نویسنده	سال	روش حل	نتایج
[4]	Wang, P., et al.	2009	شبیه‌سازی با نرم‌افزار VSM	بهبود مقدار بهره‌وری با به‌کارگیری اصول تولید ناب
[5]	Tommelein, I. D.	1998	شبیه‌سازی گسسته-پیشامد	بهبود بهره‌وری فرآیند با استفاده از فن کششی در تولید ناب
[6]	Ming, Lu., et al.	2001	شبکه‌های عصبی باز انتشار	تخمین بهره‌وری فرآیند پیش‌ساخت اسپول در یک مطالعه موردی
[7]	Tommelein, I. D.	2006	شبیه‌سازی گسسته-پیشامد ارائه مدل انتخاب استاندارد محصولات در فرآیند اسپول‌سازی	

3- اولویت‌بندی فرآیند پیش‌ساخت در لوله‌کشی صنعتی

به‌منظور اجرای فعالیت‌های هر پروژه‌ای، نیاز به اولویت‌بندی عملیات موجود در فرآیند لوله‌کشی صنعتی به عنوان یک عنصر تأثیرگذار در برنامه زمان‌بندی پروژه محسوب می‌شود، به‌طوری که عقب‌افتادگی یا پیشرفت این بخش، تأثیر مستقیم در مدت زمان کل پروژه خواهد داشت. از این رو، در نظر گرفتن یک اولویت‌بندی مناسب برای پیش‌ساخت و نصب اسپول‌ها به بهینه‌سازی کل پروژه منجر خواهد شد. در این مقاله، با در نظر گرفتن شرایط متعارف پیش‌ساخت که در ذیل بدان پرداخته شده است، اولویت‌بندی صورت خواهد گرفت [۱]:

- کلیه نقشه‌های لوله‌کشی موجود بوده و نهایی شده‌اند.

¹Wang P. et al.

²Value stream map



- کلیه مواد اولیه مورد نیاز یک واحد آماده و در انبار موجود است.
- سایت جهت انجام عملیات پیش ساخت آماده می‌باشد.
- پیش‌نیازهای اجرایی مورد نیاز برای مراحل بعدی لوله‌کشی مطابق زمان‌بندی پیش‌رفته و مشکلی برای پیش‌ساخت و نصب اسپول‌ها پیش نخواهد آمد.
- جهت اولویت‌بندی فعالیت‌های پیش‌ساخت ذکر چند نکته ضروری به نظر می‌رسد که براساس این موارد، اولویت‌بندی صورت خواهد گرفت [۱]:
- برنامه زمان‌بندی سطح یک توسط کارفرما با هدف اعلام محدوده زمانی پروژه به پیمانکار تحویل داده می‌شود. این برنامه زمان‌بندی صرفاً شامل کلیات زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه لوله‌کشی صنعتی بوده و جزئیات آن توسط خود پیمانکار تعیین خواهد شد. در مرحله بعد، با معلوم شدن مشخصه‌ها مکانی و زمانی واحدهای صنعتی پروژه، اولویت‌بندی خاصی به هر کدام از واحدها جهت اجرای فعالیت‌های مربوطه تخصیص می‌یابد.
- دسته‌بندی اولویت براساس خطوط زیرزمینی و روزمینی جزو اولویت‌بندی‌های مهم در این فرآیند محسوب می‌شود که از اهمیت بالایی در ساخت برخوردار است. واضح است که ساخت و نصب خطوط زیرزمینی در پروژه اولویت بالاتری نسبت به خطوط روزمینی خواهد داشت و فعالیت‌های مربوط به آن بایست زودتر اجرایی شوند که البته در این مقاله، فقط پیش‌ساخت خطوط روزمینی در دستور کار قرار خواهد گرفت.
- دسته‌بندی براساس تجهیزات موجود در واحدهای دارای اولویت از دیگر موارد حائز اهمیت است. در این مورد، پس از تعیین مناطق دارای اولویت در محدوده طرح پروژه، لیست تجهیزات موجود در آن محدوده استخراج شده و برای ساخت در اولویت قرار می‌گیرد.
- جنس خطوط لوله از دیگر ملاک‌های اولویت‌بندی در فرآیند لوله‌کشی صنعتی است. همان‌گونه که مشخص است، لوله‌های به‌کاررفته در یک پروژه لوله‌کشی (بسته به محل به‌کارگیری، سیال عبور کننده از آن حجم لوله‌کشی مورد نیاز و ...) از جنس‌های متفاوتی ساخته می‌شوند و بر این اساس تفکیک شده و در اولویت‌بندی در نظر گرفته می‌شوند.
- سایز خطوط و ابعاد فیزیکی آن‌ها یکی دیگر از معیارهای اولویت‌بندی به شمار می‌رود.
- در واحدهای صنعتی مانند نیروگاه‌ها و واحدهای نفتی سیال‌های متنوعی از داخل خطوط می‌گذرند که در حالت کلی به چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند: خطوط سرویس جانبی^۱، خطوط فرآیندی^۲، خطوط اطفاء حریق و خطوط فاضلاب. ترتیب اولویت‌بندی این خطوط در مرحله ساخت، به همین ترتیب آورده شده است.
- اولویت‌بندی براساس جبهه‌های کاری که پس از اجرای خطوط اولیه فعال شده و می‌توان کار این

¹Utility lines

²Process lines

خطوط را آغاز نمود مانند رنگ‌آمیزی، عایق‌کاری، تنش‌زدایی، نصب ادوات ابزار دقیق و مواردی از این دست.

4- روش تحقیق

به‌منظور تعیین اولویت وزنی کارها در مسئله زمان‌بندی کارکارگاهی نیازمند استفاده از روش‌های «تصمیم‌گیری چند شاخصه» هستیم. در این روش‌ها به حل مسائلی می‌پردازند که هدف از آنها، رسیدن به بهترین گزینه از میان چند گزینه موجود، با در نظر گرفتن تعدادی معیار از سوی تصمیم‌گیرنده و ارزیابی گزینه‌ها براساس آن معیارهاست [۸]. در این قسمت، به‌منظور آشنایی بیشتر با ورودی‌های این دسته از روش‌ها، ذکر چند مفهوم کلیدی ضروری است که در ادامه بدان پرداخته شده است:

ماتریس تصمیم‌گیری: ماتریسی است که در آن امتیاز مربوط به هر گزینه در برابر معیارهای تعریف شده اعم از معیارهای کیفی و کمی به عنوان ورودی جهت تصمیم‌گیری آورده می‌شود.

طیف لیکرت: به‌منظور تبدیل معیارهای کیفی به مقادیر کمی جهت انجام محاسبات ریاضی نیازمند یک مقیاس هستیم که یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین این مقیاس‌ها، «طیف لیکرات» نام دارد که در جدول ۲ این طیف برای معیارهای با جهات مثبت و منفی آورده شده است.

جدول ۲. طیف لیکرات جهت کیفی‌سازی معیارها

معیار	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	منبع
جهت مثبت	1	3	5	7	9	[9]
جهت منفی	9	7	5	3	1	[9]

نرمال‌سازی خطی: در این روش نرمال کردن، اگر i شاخص گزینه z_j شاخص معیار باشد، به‌طوری که x_{ij} نمایشگر امتیاز گزینه i ام در معیار z_j ام و r_{ij} مقدار نرمال شده امتیاز گزینه مربوطه باشد مطابق روابط (۱) و (۲) برای محاسبه r_{ij} خواهیم داشت [۸]:

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} \quad (\text{معیار منفی}) \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (\text{معیار مثبت}) \quad (2)$$

لازم به ذکر است نرمال‌سازی مجموع نیز به‌مانند همین حالت است، با این تفاوت که در مخرج کسر، مجموع تمامی درایه‌ها به ازای هر معیار قرار می‌گیرد.

5- روش مجموع وزنی ساده¹ (SAW)

در این روش تصمیم‌گیری چند شاخصه که اجازه مبادله میان معیارها در آن مجاز است و به عبارت دیگر،

¹Simple Additive Weighting

ضعف در یک شاخص می‌تواند با قوت در سایر شاخص‌های یک گزینه جبران شود و به این گونه روش‌ها «روش‌های جبرانی^۱» گفته می‌شود، امتیاز گزینه‌ها را با یکدیگر ترکیب کرده و سپس با توجه به امتیاز عددی نهایی هر گزینه، تصمیم‌گیری می‌کنیم [۱۰]. در این روش که نیازمند اطلاعات عددی در مورد معیارهاست گام‌های زیر بایست طی گردد:

- در اولین گام، پس از دریافت ماتریس تصمیم‌گیری لازم است تا معیارهای کیفی موجود به کمک روش طیف لیکرت کمی‌سازی شوند تا بتوان از آنها در مراحل بعدی نیز استفاده نمود.
 - در این مرحله، ابتدا وزن معیارهای موجود به صورت عددی بین 1 تا 9 برای هر معیار (عدد بزرگتر نشان‌دهنده ارجحیت بیشتر است). توسط تصمیم‌گیرنده تعیین شده و سپس با استفاده از روش نرم مجموع، نرمال‌سازی شده‌اند.
 - نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری به روش نرمال‌سازی خطی (یا نرم بی‌نهایت)
 - ضرب ارزش نرمال‌سازی شده معیارها در وزن آنها برای هر گزینه و جمع مقادیر با یکدیگر
 - تخصیص امتیاز به دست آمده به عنوان وزن هر یک از گزینه‌ها
- نمایش مختصر و بصری مراحل فوق در قالب فلوجارت شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. نمایش مراحل اولویت‌بندی گزینه‌ها به کمک روش مجموع وزنی ساده

6- نتایج و بحث

در این قسمت، با توجه به مطالب گفته شده در باب روش‌های تصمیم‌گیری چند-شاخصه، با ارائه یک نمونه از موارد صنعتی که توسط شرکت مینا در پروژه پارس جنوبی ۱۴ پیاده‌سازی شده است، از روش مجموع وزنی ساده جهت محاسبه اولویت وزنی اسپول‌ها استفاده خواهد شد. همچنین، نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از روش COPRAS^۲ که یکی دیگر از روش‌های طرفدار تصمیم‌گیری چند-شاخصه با ویژگی‌های متفاوت نسبت به روش SAW می‌باشد، مقایسه خواهد شد. گفتنی است این محاسبات برای اسپول‌هایی که دارای فوریت (مثلاً نزدیکی تاریخ تحویل) و یا اجبار درونی (از سوی خود پیمانکار) و یا بیرونی (از سوی

¹ Compensatory Methods

² Complex Proportional Assessment

کارفرما) در ساخت نمی‌باشند، به صورت گام به گام انجام خواهد گرفت. گام اول) با توجه به مطالب گفته شده در قسمت معیارهای اولویت‌بندی خطوط، که در نهایت به ساخت اسپول‌ها منجر خواهد شد، و نظرات خبرگان حوزه اسپول‌سازی، لیست این معیارها به صورت آورده شده در جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳. لیست معیارهای اولویت‌بندی اسپول‌ها

شماره	تعریف اولویت	نوع اولویت جهت معیار
1	برنامه زمان‌بندی سطح یک کارفرما	کیفی مثبت
2	محل نصب خط لوله	کیفی مثبت
3	جنس خط	کیفی مثبت
4	سایز و ابعاد فیزیکی اسپول	کمی مثبت
5	ماهیت خط (سرویس‌های جانبی یا فرآیندی)	کیفی مثبت
6	جبهه‌های کاری فعال شده پس از اجرای خط	کیفی مثبت

گام دوم) حال برای مسئله‌ای با تعداد ۱۰ اسپول که دارای مشخصات فنی و موارد کاربرد متفاوت با یکدیگر هستند، ماتریس تصمیم‌گیری گرفته شده از تصمیم‌گیرنده به صورت جدول ۴ خواهد بود.

جدول 4. ماتریس تصمیم‌گیری کارها در مثال عددی

شماره اسپول	اولویت					
	6	5	4	3	2	1
1	7	1	5	1	5	9
2	5	3	7	3	5	9
3	3	1	3	1	3	3
4	5	1	3	5	1	5
5	1	3	9	5	7	3
6	5	1	9	7	7	1
7	3	3	7	1	9	9
8	7	3	5	3	5	7
9	5	1	3	5	3	5
10	7	3	1	7	1	5

*علی‌رغم کمی بودن این معیار به دلیل کثرت سطوح، در این اولویت نیز از طیف لیکرات استفاده شده است.

گام سوم) در این گام به انجام محاسبات مربوط به اولین مرحله از روش مجموع وزنی ساده یعنی تعیین وزن عددی معیارها براساس نظر تصمیم‌گیرنده که قبلاً تشریح گردید، می‌پردازیم که نتایج حاصل از آن در جدول ۵ ارائه شده است.



جدول ۵. وزن عددی معیارها در مثال عددی

شماره اولویت	1	2	3	4	5	6
وزن اولویت	9	7	1	1	5	7
وزن نرمال شده اولویت	0/300	0/233	0/033	0/033	0/167	0/234

گام چهارم) در این گام با اعمال روابط (۱) و (۲) برای ماتریس تصمیم‌گیری ارائه شده، ماتریس نرمال شده ماکزیمم و مجموع، به ترتیب برای روش‌های SAW و COPRAS به صورت آورده شده در جدول ۶ و جدول ۷ خواهد بود [۱۱، ۱۲].

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده به روش نرم خطی

شماره اسپول	اولویت					
	1	2	3	4	5	6
1	1/000	556/0	0/143	0/556	0/333	1/000
2	1/000	0/556	0/429	0/778	1/000	0/714
3	0/333	0/333	0/143	0/333	0/333	0/429
4	0/556	0/111	0/714	0/333	0/333	0/714
5	0/333	0/778	0/714	1/000	1/000	0/143
6	0/111	0/778	1/000	1/000	0/333	0/714
7	1/000	1/000	0/143	0/778	1/000	0/429
8	0/778	0/556	0/429	0/556	1/000	1/000
9	0/556	0/333	0/714	0/333	0/333	0/714
10	0/556	0/111	1/000	0/111	1/000	1/000

*علی‌رغم کمی بودن این معیار به دلیل کثرت سطوح، در این اولویت نیز از طیف لیکرات استفاده شده است.

جدول ۷. ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده به روش مجموع

شماره اسپول	اولویت					
	1	2	3	4	5	6
1	0/161	0/109	0/026	0/096	0/050	0/146
2	0/161	0/109	0/079	0/135	0/150	0/104
3	0/054	0/065	0/026	0/058	0/050	0/063
4	0/089	0/022	0/132	0/058	0/050	0/104
5	0/054	0/152	0/132	0/173	0/150	0/021
6	0/018	0/152	0/184	0/173	0/050	0/104
7	0/161	0/196	0/026	0/135	0/150	0/063
8	0/125	0/109	0/079	0/096	0/150	0/146
9	0/089	0/065	0/132	0/058	0/050	0/104
10	0/089	0/022	0/184	0/019	0/150	0/146

*علی‌رغم کمی بودن این معیار به دلیل کثرت سطوح، در این اولویت نیز از طیف لیکرات استفاده شده است.

گام پنجم) در این مرحله، مجموع امتیازات برای هر گزینه محاسبه شده و در گام بعد، با ضرب مجموع امتیازات در عدد ۱۰، اولویت وزنی هر اسپول حاصل شده است و نتایج در جدول ۸ به نمایش در آمده است. همچنین به منظور محاسبه ضمننا در روش COPRAS، معیارهای ۱ تا ۴ به عنوان معیارهای سودمند و معیارهای ۵ و ۶ به عنوان معیارهای غیر سودمند از طرف تصمیم‌گیرنده شناخته شده‌اند.

جدول ۸. نمایش امتیازات نهایی اسپول‌ها

شماره	مجموع	روش SAW			روش COPRAS			ترتیب	
		اولویت وزنی	نظر تصمیم‌گیرنده	اختلاف* ترتیب	S+	S-	Q		U
1	0/116	11/6	12	3/7	4	0/078	0/112	82/40	2
2	0/129	12/9	13	0/5	2	0/081	0/111	81/04	4
3	0/057	5/7	7	19/2	10	0/034	0/098	72/04	5
4	0/076	7/6	7	-7/9	9	0/038	0/083	61/02	9
5	0/086	8/6	8	-7/5	6	0/062	0/111	81/37	3
6	0/082	8/2	8	-2/2	7	0/053	0/098	71/73	6
7	0/126	12/6	13	3/1	3	0/099	0/136	100/0	1
8	0/134	13/4	13	-2/8	1	0/069	0/094	68/64	7
9	0/081	8/1	8	-1/8	8	0/048	0/093	68/46	8
10	0/114	11/4	10	-14/2	5	0/039	0/064	46/60	10

* بر حسب درصد

همان‌طور که در جدول ۸ هم مشاهده می‌شود، به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از روش مجموع وزنی ساده، وزن‌های محاسبه شده با نظرات شهودی تصمیم‌گیرنده و خروجی روش COPRAS مقایسه گردیده است که نشان دهنده دقت جواب‌های به دست آمده و مشابهت آن‌ها با یکدیگر است.

7- تحلیل حساسیت

در این قسمت، به تحلیل حساسیت نتایج خروجی از روش‌های مورد استفاده یعنی SAW و COPRAS با ایجاد تغییرات در مقادیر اوزان معیارها پرداخته شده است. بر این اساس، وزن هر معیار، به صورت مجزا، در بازه ± 2 (در صورت امکان نسبت به مقدار اولیه مثال موردی) مورد مقادری قرار گرفته و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در **Error! Reference source not found.** آورده شده است. هر خانه در جدول مذکور دارای دو مقدار می‌باشد که اولی رتبه به دست آمده از روش SAW و دومی رتبه نهایی به دست آمده از روش COPRAS می‌باشد.



جدول ۹. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت

شماره گزینه										وزن جدید	معیار
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
5و10	8و8	1و7	3و1	7و6	6و3	9و9	10و5	2و4	4و2	-	-
5و10	8و7	1و8	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و4	4و3	8	
5و10	8و7	1و8	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و4	4و3	7	1
6		مجموع		6		COPRAS		0		SAW	
4و10	8و8	1و7	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و4	5و3	9	
4و10	8و8	1و7	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و4	5و3	8	
5و10	8و7	1و8	3و1	7و6	6و4	9و9	10و5	2و3	4و2	6	2
5و10	7و6	1و8	3و1	6و7	8و4	9و9	10و5	2و3	4و2	5	
24		مجموع		17		COPRAS		7		SAW	
5و10	8و7	1و8	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و4	4و3	3	
5و10	8و6	1و8	3و1	7و5	6و2	9و9	10و7	2و3	4و4	2	3
13		مجموع		13		COPRAS		0		SAW	
4و10	8و8	1و7	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و4	5و3	3	
4و10	8و8	1و7	3و1	7و5	6و2	9و9	10و6	2و3	5و4	2	4
13		مجموع		9		COPRAS		4		SAW	
5و10	8و7	1و8	2و1	7و6	6و4	9و9	10و5	3و3	4و2	7	
5و10	8و7	1و8	3و1	7و6	6و4	9و9	10و5	2و3	4و2	6	
4و10	8و7	1و7	3و1	8و5	6و2	9و9	10و6	2و3	5و4	4	5
4و10	6و8	1و5	3و1	9و6	7و2	8و9	10و7	2و3	5و4	3	
29		مجموع		19		COPRAS		10		SAW	
5و10	7و7	1و8	3و1	8و6	6و2	9و9	10و5	2و3	4و4	9	
5و10	7و7	1و8	3و1	8و6	6و2	9و9	10و5	2و4	4و3	8	
4و10	8و8	1و7	3و1	7و5	6و4	9و9	10و6	2و3	5و2	6	6
4و10	8و8	1و6	3و1	7و5	6و4	9و9	10و7	2و3	5و2	5	
26		مجموع		18		COPRAS		8		SAW	
8	15	12	1	17	20	1	12	12	20	مجموع تغییرات هر گزینه	

*علی‌رغم کمی بودن این معیار به دلیل کثرت سطوح، در این اولویت نیز از طیف لیکرات استفاده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۹ نیز مشاهده می‌شود، نکات گوناگونی از نتایج تحلیل حساسیت می‌توان برداشت نمود که عبارتند از:

- بیشترین تغییرات به واسطه تغییر در اوزان معیارها در روش COPRAS نسبت به SAW دیده می‌شود که در حقیقت یک ضعف برای این روش محسوب می‌گردد.

- بیشترین حساسیت در مجموع به ترتیب برای معیارهای ۵، ۶ و ۲ رخ داده است که نشان‌دهنده دقت بالای مورد نیاز در تعیین وزن این معیارها توسط تصمیم‌گیرنده است. علت حساس بودن این معیارها را نیز می‌توان در مقداردهی اولیه وزن هر معیار جستجو نمود؛ به طوری که معیارهای تعیین کننده در حقیقت همین موارد هستند (چون وزن معیار اول بیشینه و معیارهای ۳ و ۴ نیز کمینه می‌باشد).
- حساس‌ترین گزینه‌ها به تغییرات عبارتند از گزینه‌های ۱ و ۵ با ۲۰ مرتبه تغییر در اولویت. همچنین پایدارترین گزینه‌ها نیز موارد ۴ و ۷ می‌باشند که تنها در یک مورد تغییر مرتبه داده‌اند.

8- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر این بود تا ضمن معرفی فرآیند اسپول‌سازی به عنوان بخش تعیین کننده و حیاتی در جریان انجام کار لوله‌کشی صنعتی در یک پروژه صنعتی، اهمیت اولویت‌بندی خطوط انتقال طراحی شده و به تبع آن اسپول‌های موجود در این خطوط که در بیشتر پروژه‌های عملی به صورت ذهنی توسط افراد خبره در پروژه پایپینگ برنامه‌ریزی و تعیین تکلیف می‌شود، بیش از پیش به نمایش گذارده شود. همچنین، در ادامه کار با ارائه یک رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه و استفاده از روش‌های مجموع وزنی ساده و ارزیابی نسبی پیچیده به عنوان مناسب‌ترین روش‌ها برای اولویت‌بندی و انتخاب گزینه برتر جهت ساخت، روند تحقیق به گونه‌ای پیش رفت که با ارائه مثال موردی در صنعت و بررسی نتایج حاصل از به‌کارگیری مفاهیم تشریح شده، امکان مشاهده حصول نتیجه مطلوب و مد نظر مشخص گردد. به طوری که استفاده از این روش به جای به‌کارگیری مدل‌های پیچیده تعیین توالی عملیات، که در اکثر موارد بسیار حجیم و زمان‌بر بوده و گاهی پویایی لازم را نیز ندارند، به عنوان یک راه‌حل ساده و در دسترس پیشنهاد شده است. از این رو، نتایج به‌دست آمده حاکی از قابلیت و امکان به‌کارگیری این روش در پروژه‌های دنیای واقعی است.

همچنین در تحلیل حساسیت انجام شده بر روی اوزان ورودی معیارها مشخص گردید که روش مجموع وزنی ساده دارای پایداری بیشتری نسبت به روش ارزیابی نسبی پیچیده در مقابل تغییرات می‌باشد که این خود یک مزیت عمده بشمار می‌رود. به عنوان مطالعات آتی در زمینه مورد بررسی پیشنهاد می‌شود که ضمن مقایسه خروجی سایر روش‌های موجود در ادبیات تصمیم‌گیری چند شاخصه مانند روش‌های سلسله مراتبی با روش ارائه شده، میزان نزدیکی نتایج حاصله با داده‌های پروژه‌های صنعتی در دنیای واقعی مورد بحث و تحلیل قرار گیرد. همچنین، اعمال روش پیشنهادی برای سایر حوزه‌های کاری صنعت نفت که به نوعی با اولویت‌بندی محصولات با معیارهای کمی و کیفی سر و کار دارند نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.



منابع

1. ف. صنعتی, اجرای لوله‌کشی صنعتی در پروژه‌های تاسیسات صنعتی. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی, 1385, صفحه 240.
2. ل. گ. لامیت, تئوری‌ها و اصول کاربردی پایپینگ. تهران: انتشارات بیشه, 1388.
3. ع. قندچی, اصول طراحی پایپینگ در واحدهای فرآیندی. تهران: ناقوس, 1382.
4. Wang P., Mohamed Y., Abourizk S. M., and Rawa A. T., "Flow production of pipe spool fabrication: Simulation to support implementation of lean technique," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 135, no. 10, pp. 1027-1038, 2009.
5. Tommelein I. D., "Pull-driven scheduling for pipe-spool installation: simulation of lean construction technique," *Journal of construction engineering and management*, vol. 124, no. 4, pp. 279-288, 1998.
6. Lu M., AbouRizk S., and Hermann U., "Sensitivity analysis of neural networks in spool fabrication productivity studies," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 299-308, 2001.
7. Tommelein I. D., "Process benefits from use of standard products–simulation experiments using the pipe spool model," presented at the Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2006 .
8. م. بشیری, ط. ح. حجازی, و ح. محتجب. مبحث نوین در تصمیم‌گیری چند معیاره. تهران: انتشارات دانشگاه شاهد, 1390.
9. Wuensch K. L., *What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'* East Carolina University, 2005.
10. م. ج. اصغرپور, تصمیم‌گیری‌های چند معیاره (چاپ چهارم). انتشارات دانشگاه تهران, 1385.
11. Razavi Hajiagha S. H., Hashemi S. S., and Zavadskas E. K., "A complex proportional assessment method for group decision making in an interval-valued intuitionistic fuzzy environment," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 19, no. 1, pp. 22-37, 2013.
12. Gadakh V. S., "Application of complex proportional assessment method for vendor selection," *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 17, no. 1, pp. 23-34, 2014.