



مقاله پژوهشی

رتبه‌بندی و تحلیل تعامل بین عوامل کنترلی موثر بر فوران در عملیات حفاری چاه‌های نفت با استفاده از مدل ترکیبی چند معیاره با رویکرد DANP

حسین میردريکوندا^۱، فاطمه رضویان^{۲*}، علی نخعی^۳، بهناز مرادی غیاث آبادی^۴، رضا غلام نیا^۵

۱- دانش آموخته مقطع دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار انستیتو مهندسی نفت، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ایران

۴- استادیار گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.

۵- دانشیار گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۹ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/jpg.2022.343211.1166

واژگان کلیدی	چکیده
<p>فوران، رویکرد DANP، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)</p>	<p>فوران جریان کنترل نشده‌ای از سیالات سازند به درون ستون چاه نفت است که به علت زنجیره‌ای از نقص و شکست لایه‌های حفاظتی چاه رخ می‌دهد و قابلیت تبدیل شدن به حوادث فاجعه‌بار مانند انفجار، تلفات شدید انسانی و آلودگی زیست‌محیطی را دارد. بهبود عملکرد لایه‌های حفاظتی چاه و پیشگیری از رویداد فوران، مستلزم بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد لایه‌های حفاظتی با در نظر گرفتن میزان وابستگی بین آنها است. در این راستا در ابتدا عوامل کنترلی موثر بر فوران در چهار گروه عملیاتی، فردی، تجهیزاتی و سیاستگذاری بر اساس مطالعات پیشین شناسایی و انتخاب شدند، سپس جهت تعیین استراتژی مناسب کاهش ریسک فوران میزان تعامل و ارتباط متقابل بین این عوامل و میزان وزن موثر آنها با استفاده ترکیب روش دیمتل (DEMATEL) بر پایه تحلیل شبکه‌ای (ANP) محاسبه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد عامل سیاستگذاری با میزان شاخص اثرگذاری (R + D) برابر با ۰٫۹۶۵ اهمیت و تعامل بیشتری نسبت به سایر عوامل در پیشگیری از رویداد فوران دارد. همچنین عامل تجهیزاتی با شاخص جهت تاثیر (R-D) برابر با ۰٫۲۶۸ "اثرگذارترین" و عامل عملیاتی با R-D برابر با ۰٫۴۲۴ - "اثرپذیرترین" عامل در بین سایر عوامل است. بیشترین وزن موثر در پیشگیری از رویداد فوران مربوط به عامل عملیاتی است. بطوریکه در این عامل معیار فشار هیدرواستاتیکی، یکپارچگی و استحکام چاه، پایش چاه به ترتیب در اولویت اول، دوم و سوم قرار گرفت. در همین راستا در عامل سیاستگذاری، معیار مدیریت اضطراری اولویت چهارم و ارزیابی ریسک اولویت پنجم را به خود اختصاص داد. با توجه به تعامل بیشتر عامل سیاستگذاری با سایر عوامل در صورت توجه و تمرکز ویژه تصمیم‌گیران به عامل تجهیزاتی بعنوان عامل "اثرگذار" و در نتیجه اثر هم‌افزایی آن بر عامل "اثرپذیر" عملیاتی می‌توان به موفقیت چشمگیری در بهبود عملکرد لایه‌های حفاظتی در پیشگیری از رویداد فوران دست یافت.</p>

۱. ریزش میلیون‌ها بشکه نفت به محیط‌زیست و میلیاردها دلار آسیب به دارایی‌ها شده‌اند [۱]. در حین عملیات حفاری اگر فشار سیال سازند از فشار هیدرواستاتیکی اعمال شده ناشی از سیال حفاری در درون ستون چاه بیشتر و بر آن غلبه کند

۱. پیش‌گفتار
فوران‌ها از خطرناک‌ترین حوادث در عملیات حفاری چاه-های نفت و گاز هستند، که در طی چند دهه گذشته باعث مرگ و میر و صدمات انسانی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و

* آدرس: تهران- خیابان سیمای ایران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب
شماره تماس: ۰۹۱۲۱۵۴۶۵۱۰ - ۰۲۱۸۸۳۸۵۷۸۳ ایمیل: razavian.env@gmail.com

با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با رویکرد تاپسیس فازی (*TOPSIS*)^۴، روش‌های توافق شده^۵ به عنوان بهترین روش برای کنترل چاه و پیشگیری از رویداد فوران انتخاب شده است [۱۱]. در مطالعه پیبین و همکاران (۲۰۱۲) از روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*)^۶ جهت ارزیابی ریسک کنترل چاه استفاده شده است، نتایج این تحقیق نشان داد عدم قطعیت زمین شناسی عامل اصلی پیشرو در ارزیابی ریسک کنترل چاه است و درجه ریسک کنترل چاه شامل «خطر بالاتر» است [۱۲]. در مطالعه یاسری (۲۱۰۷) با استفاده از روش *AHP* چارچوبی جهت شناسایی، اولویت بندی مدیریت ریسک‌های حفاری ارائه شده است [۱۳]. در مطالعه منگ و ان (۲۰۲۱) از قابلیت مدل تصمیم‌گیری چند معیاره با رویکرد ترکیبی *DEMATEL-AHP* جهت شناسایی ارتباطات تاثیرگذار بین شاخص‌های ارزیابی ریسک فوران در آب‌های عمیق و تعیین وزن موثر آنها استفاده شده است [۱۴]. همچنین در مطالعه زیهو و همکاران (۲۰۲۲) از تحلیل سلسله مراتبی فازی (*FAHP*) نیز جهت تجزیه و تحلیل ریسک پویا عملیات اضطراری برای فوران در آب‌های عمیق استفاده شده است [۱۵].

در روش‌های سنتی تصمیم‌گیری چند معیاره مانند *AHP* و *TOPSIS* ارتباطات بین ابعاد و معیارهای مسئله بر مبنی فرض استقلال است، در صورتیکه در برخی مواقع این ارتباطات بصورت کامل مستقل نیست [۱۶]. *DANP* یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت حل مسایل دارای معیارهای وابسته و بازخورد است [۱۷]. در این روش، در ابتدا روابط علی و معلولی و ارتباط متقابل بین معیارها و ابعاد مسئله توسط روش دیمتل (*DEMATEL*)^۷ تعیین میگردد سپس وزن تاثیری آنها با استفاده از تکنیک *ANP* محاسبه می‌شود [۱۸]. روش *DANP* ابزار مناسبی است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا استراتژی‌های موثر کاهش ریسک را با در نظر گرفتن میزان وابستگی ابعاد و معیارهای یک مسئله انتخاب کنند [۱۹].

در این حالت، سیال سازند به درون چاه جریان می‌یابد (سیلان) و در صورت عدم تشخیص به موقع و کنترل آن منجر به رویداد فوران می‌گردد [۲].

از مجموع ۳۱۵۷۴ چاه‌های حفاری شده از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۱ در خلیج مکزیک، ۷۷ فوران و ۳۲ رویداد عمده ناشی از آزاد شدن چاه کنترل نشده گزارش شده است [۳]. بعنوان مثال، فوران دیپواتر هاریزون در خلیج مکزیک علاوه بر ایجاد آلودگی زیست‌محیطی، منجر به ۱۱ مورد فوتی شد. هزینه حادثه مذکور در حدود ۴۰ میلیارد دلار برآورد شده است [۴]. براساس سوابق آمار فوران چاه‌های نفت و گاز در ایران از مجموع ۳۱ رویداد فوران از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۲، ۲۳ رویداد عمده ناشی از آزاد شدن چاه کنترل نشده در حین عملیات حفاری گزارش شده است [۵]. خطای انسانی، حمله تروریستی، رویداد طبیعی و هرزروی سیال در چاه توسعه‌ای و تعمیراتی از عمده مخاطرات در صنعت حفاری ایران است [۶]. درحادثه اخیر فوران چاه ۱۴۷- رگسفید شرکت مناطق نفتخیز جنوب در سال ۱۳۹۶، انفجار گاز سبب آتش‌سوزی دکل حفاری و کشته شدن ۲ نفر شد. این فوران پس از ۵۸ روز با استفاده از حفر چاه امدادی با روش کشتن چاه از عمق اطفای گردید [۷].

نتایج تجزیه و تحلیل فوران‌ها نشان داد وقوع این حوادث به علت زنجیره‌ای از نقص و شکست در عملکرد صحیح لایه‌های حفاظتی چاه از جمله فشار هیدرواستاتیکی، فورانگیر (*BOP*)^۱، تشخیص سیلان و لوله‌گذاری است [۸]. جهت بهبود عملکرد این لایه‌ها ضروری است عوامل بالقوه آسیب‌رسان به آنها شناسایی و استراتژی‌های موثر کاهش ریسک فوران انتخاب گردد [۹].

در مطالعه میرزایی علی آبادی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش تحلیل پاپیونی (*BTA*)^۲ و شبکه بیزین، ورود به لایه پرفشار در سازند حفاری و کاهش فشار ته چاهی (*BHP*)^۳ به‌عنوان مهم‌ترین علل ریشه‌ای در ایجاد سیلان شناخته شدند [۱۰]. همچنین تشخیص به موقع سیلان و عملکرد صحیح *BOP* مهمترین نقش را در پیشگیری از وقوع فوران ایفا می‌کنند. در مطالعه مختاری و همکاران (۲۰۱۴)

⁴ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

⁵ Concurrent method

⁶ Analytic Hierarchy Process (AHP)

¹ Blowout Preventers

² Bow Tie Analysis

³ Bottom Hole Pressure

در این تحقیق جهت دقت بیشتر اندازه نمونه (جامعه تحقیق) تعداد ۲۵ خبره انتخاب شده است. در صورتیکه اندازه نمونه برای تکنیک‌های DEMATEL بین ۳ تا ۹ توصیه شده است [۲۲]. در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند ANP یک قانون کلی جهت اندازه نمونه لازم وجود ندارد اما از نظر فنی معتبر است که این روش‌ها نیازی به نمونه بزرگ ندارد چرا که تکنیک‌های مانند ANP رویکردهای تصمیم‌گیری مبتنی بر آماری^۹ نیستند [۲۳]. پرسشنامه دیمتل چون مبتنی بر مقایسه زوجی است خود به خود از روایی برخوردار هستند. در این پرسشنامه‌ها احتمال اینکه یک معیار در نظر گرفته نشود تقریباً صفر است. حداکثر سوالات ممکن به نحوه مطلوب از خبره پرسیده می‌شود و چون تمام عوامل در این سنجش مورد توجه قرار گرفته است طراح قادر به جهت‌گیری خاصی در طراحی سوالات نمی‌باشد. پایایی پرسشنامه‌ها نیز از طریق نرخ آزمون ناسازگاری محاسبه و پایایی آن مورد تایید قرار گرفت.

۱.۲. گام‌های روش DANP

مرحله ۱) محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (Z_{ij}) : در این مرحله، جهت ایجاد ماتریس Z_{ij} (رابطه ۱) از خبرگان تحقیق خواسته شد تا میزان تأثیرگذاری معیار i بر معیار j ($i=1,2 \dots 13$ و $j=1,2 \dots 13$) را با استفاده عبارات کلامی جدول شماره ۱ نشان دهند. در این رابطه C_{ij} میانگین حسابی معیارها از نظر خبرگان است.

$$Z_{ij} = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{1j} & \dots & C_{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

جدول ۱. طیف پنج درجه‌ای تکنیک دیمتل و معادل قطعی

برای عبارات کلامی		
ردیف	گزینه‌های زبانی	اعداد برتری
۱	تأثیر خیلی زیاد	۴
۲	تأثیر زیاد	۳
۳	تأثیر کم	۲
۴	تأثیر بسیار کم	۱
۵	بدون تأثیر	۰

در مطالعه میردریکوند و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل جهت ارزیابی فوران در عملیات حفاری چاه‌های نفت براساس ریسک لایه‌های حفاظتی چاه طراحی شده است. در مطالعه مذکور با استفاده از روش آنالیز پاپیونی (BTA)، عوامل کنترلی موثر بر فوران در چهار گروه عملیاتی، فردی، تجهیزاتی و سیاستگذاری استخراج و طبقه‌بندی شده‌اند. [۲۰]. در تحقیق حاضر به منظور تعیین استراتژی مناسب کاهش ریسک فوران با استفاده از روش ترکیبی DANP در ابتدا با بکارگیری روش DEMATEL نحوه تعامل و روابط فی‌مابین عوامل کنترلی موثر بر فوران بر اساس شدت و جهت اثر گذاری و اثر پذیری آنها از یکدیگر بصورت کمی مشخص گردید سپس جهت تعیین اولویت بندی و درجه اهمیت این عوامل، وزن موثر آنها با استفاده از روش ANP تعیین گردید. دامنه این تحقیق محدود به عوامل کنترلی موثر بر فوران برای روش حفاری فوق تعادلی (COBD)^۸ است. در این روش در حین عملیات حفاری فشار هیدرواستاتیک ناشی از سیال حفاری از فشار ته چاهی (BHP) بیشتر نگه داشته می‌شود [۲۱].

۲. روش کار

این تحقیق بر حسب هدف کاربردی و روش بررسی آن بر حسب گردآوری داده‌ها توصیفی-تحلیلی است. روش حل مسایل از نوع مدل سازی ریاضی و تصمیم‌گیری چند معیاره از نوع DANP است. در این تحقیق با توجه به نوع هدف، عوامل کنترلی موثر بر فوران بعنوان ابعاد (D) و معیارهای (C) تحقیق از طریق پرسشنامه دیمتل در اختیار جامعه تحقیق قرار داده شد تا میزان تعامل، ارتباط متقابل و وزن موثر آنها با استفاده از گام‌های ترکیبی روش DANP و با انجام محاسبات بوسیله نرم افزار متلب مشخص گردد. جامعه تحقیق به تعداد ۲۵ خبره شامل مهندس حفاری، ناظر کارفرما، حفار، رییس دستگاه حفاری، زمین‌شناس، کارشناس HSE و اساتید دانشگاهی انتخاب شد. ویژگی‌های خبرگان دارا بودن مدارک تحصیلی مرتبط با صنعت حفاری و نفت، حداقل ۱۲ سال سابقه کار عملیاتی و مدیریتی در صنعت حفاری و در دسترس بودن و تمایل به مشارکت در تحقیق بود.

⁹ Statistically-based

⁸ Conventional Overbalanced Drilling (COBD)

شاخص شدت اثرگذاری و جهت تأثیر به ترتیب برای معیارها براساس رابطه (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$R_i + D_i \quad (8)$$

$$R_i - D_i \quad (9)$$

$$ri + dj \quad (10)$$

$$ri - dj \quad (11)$$

در روابطه فوق میزان شاخص r_i (مجموع سطر i ام از ماتریس TC) و d_j (مجموع ستون j ام از ماتریس TC) را با توجه به معیار مربوطه محاسبه می‌شود. بطور مشابه میزان شاخص R_i (مجموع سطر i ام از ماتریس TD) و D_j (مجموع ستون j ام از ماتریس TD) نیز محاسبه می‌گردد. در این راستا اگر $R_i - D_i > 0$ باشد بعد مربوطه اثرگذار و اگر $R_i - D_i < 0$ باشد بعد مربوطه اثرپذیر است. بصورت مشابه اگر $ri - dj > 0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $ri - dj < 0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است.

مرحله ۶) ترسیم نقشه روابط شبکه (NRM): جهت تعیین روابط شبکه ابعاد و معیارها، ابتدا میانگین مقادیر، برای هر T_C^{ij} در ماتریس TC و همچنین ماتریس TD تحت عنوان شدت آستانه محاسبه می‌شود. مقادیری که کوچکتر از آستانه باشد صفر شده و رابطه علی آن، در نظر گرفته نمی‌شود. سپس روابط ابعاد و معیارها با مختصات $R_i \pm D_j$ و $ri \pm dj$ در دستگاه دکارتی ترسیم می‌شود.

مرحله ۷) نرمال سازی ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D^∞): در این مرحله با توجه به رابطه (۱۲) و (۱۳) ماتریس TD نرمال سازی می‌شود، در این راستا مجموع هر سطر از ماتریس TD را با توجه به بعد مربوطه محاسبه، سپس عنصر هر سطر را بر مجموع عناصر همان سطر تقسیم نموده و در پایان جای سطر و ستون را عوض می‌کنیم.

مرحله ۸) نرمال سازی ماتریس ارتباط کامل معیارها (T_C^∞) و تشکیل سوپرماتریس ناموزون (W): در این مرحله ماتریس TC را با استفاده از رابطه (۱۴) نرمال می‌کنیم؛ به این طریق که در این گام مجموع هر سطر T_C^{ij}

مرحله ۲) محاسبه نرخ ناسازگاری (g): در این مرحله به منظور عدم تناقض در تخصیص اعداد برتری در مقایسات زوجی ماتریس Z_{ij} با استفاده از رابطه (۲) و (۳) از آزمون نرخ ناسازگاری استفاده شد. در این راستا چنانچه مقدار نرخ ناسازگاری کمتر از ۰.۵٪ باشد و قابلیت اطمینان (r) بیشتر از ۰.۹۵٪ باشد پایایی داده‌ها و پرسشنامه مورد تایید قرار می‌گیرد. در این رابطه t_{ij} وزن موثر معیارها، n تعداد معیار و p تعداد خبرگان است.

$$g = \frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{|t_{ij}^p - t_{ij}^{p-1}|}{t_{ij}^p} \times 100 \quad (2)$$

$$r = 1 - g \quad (3)$$

مرحله ۲) نرمال سازی ماتریس ارتباط مستقیم (H_{ij}): در این مرحله مطلق بارابطه (۴) و (۵) ماتریس H_{ij} را نرمال می‌کنیم.

$$H_{ij} = \frac{Z_{ij}}{r} \quad (4)$$

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n Z_{ij} \right) \quad (5)$$

مرحله ۳) محاسبه ماتریس ارتباط کامل معیارها (TC): در این مرحله ماتریس TC با توجه به رابطه های (۶) تا (۷) به دست می‌آید. هر درایه این ماتریس عددی به صورت t_{ij} است. در این رابطه I ماتریس یکه و H ماتریس $n \times n$ می‌باشد.

$$T = \lim_{k \rightarrow +\infty} (H^1 \oplus H^2 \oplus \dots \oplus H^k) \quad (6)$$

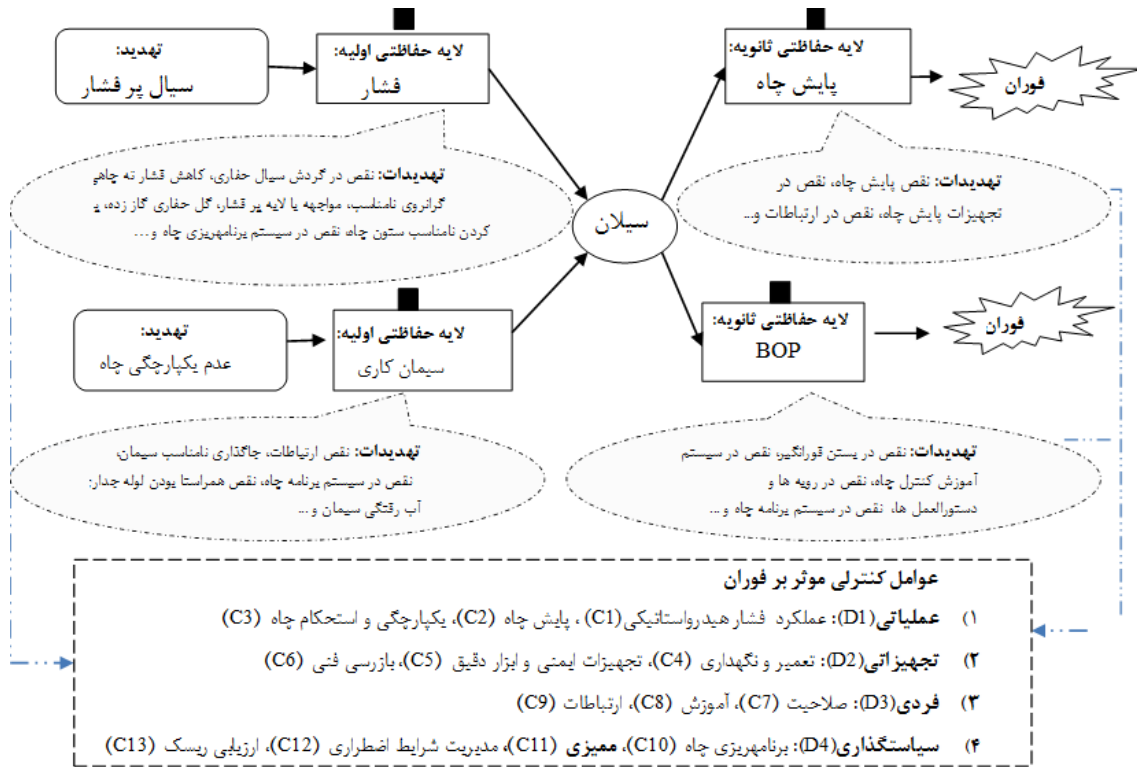
$$\lim_{k \rightarrow +\infty} (H^1 \oplus H^2 \oplus \dots \oplus H^k) \quad (7)$$

مرحله ۴) محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابعاد (TD): در این مرحله ماتریس TD از ماتریس TC استخراج می‌گردد. بدین منظور برای محاسبه ماتریس TD میانگین همه زیر ماتریس مربوطه به آن درایه در ماتریس TC محاسبه می‌گردد.

مرحله ۵) محاسبه شدت و جهت تأثیر ابعاد و معیارها: در این مرحله جهت تعیین روابط علی و معلولی و ارتباط متقابل بین ابعاد و معیارها دو شاخص شدت اثرگذاری و جهت تأثیر برای ابعاد به ترتیب براساس رابطه (۸) و (۹) دو

با ترانسپوز ماتریس T_C^α ، سوپر ماتریس ناموزون طبق رابطه (۱۵) به دست می‌آید.

را با توجه به بعد مربوطه محاسبه و سپس در هر T_C^{ij} هر عنصر بر مجموع عناصر سطر مربوط به خود تقسیم می‌گردد.



شکل ۱. دیاگرام تحلیل پاپیونی عوامل کنترلی موثر بر فوران (میردریکوند و همکاران، ۲۰۲۲)

$$T_D = \begin{bmatrix} t_{11}^{D_1} & \dots & t_{1j}^{D_1} & \dots & t_{1m}^{D_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{i1}^{D_i} & \dots & t_{ij}^{D_i} & \dots & t_{im}^{D_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{m1}^{D_m} & \dots & t_{mj}^{D_m} & \dots & t_{mm}^{D_m} \end{bmatrix} \begin{matrix} \longrightarrow d_1 = \sum_{j=1}^m t_{1j}^{D_1} \\ \longrightarrow d_i = \sum_{j=1}^m t_{ij}^{D_i}, d_i = \sum_{j=1}^m t_{ij}^{D_j}, i=1, \dots, m \\ \longrightarrow d_m = \sum_{j=1}^m t_{mj}^{D_m} \end{matrix} \quad (12)$$

$$T_D^\alpha = \begin{bmatrix} t_{11}^{D_1} / d_1 & \dots & t_{1j}^{D_1} / d_1 & \dots & t_{1m}^{D_1} / d_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{i1}^{D_i} / d_i & \dots & t_{ij}^{D_i} / d_i & \dots & t_{im}^{D_i} / d_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{m1}^{D_m} / d_m & \dots & t_{mj}^{D_m} / d_m & \dots & t_{mm}^{D_m} / d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} & \dots & t_D^{\alpha 1j} & \dots & t_D^{\alpha 1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_D^{\alpha i1} & \dots & t_D^{\alpha ij} & \dots & t_D^{\alpha in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_D^{\alpha n1} & \dots & t_D^{\alpha nj} & \dots & t_D^{\alpha nn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$T_C^\alpha = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 & & D_j & & D_n \\ c_{11} \dots c_{1m_1} & \dots & c_{j1} \dots c_{jm_j} & \dots & c_{n1} \dots c_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} T_c^{\alpha 11} & \dots & T_c^{\alpha 1j} & \dots & T_c^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha i1} & \dots & T_c^{\alpha ij} & \dots & T_c^{\alpha in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha n1} & \dots & T_c^{\alpha nj} & \dots & T_c^{\alpha nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (14)$$

$$W^\alpha = T_D^\alpha * W \quad (15)$$

معیارهای در چهار بعد D1، D2، D3 و D4 که برابر با میانگین اعداد در ماتریس TC (جدول شماره ۴) بترتیب برابر با ۰،۰۵۷، ۰،۱۰۸، ۰،۰۸۲ و ۰،۱۳۶ و ارزش آستانه‌ای ابعاد برابر با میانگین اعداد در ماتریس TD (جدول شماره ۶) برابر ۰،۰۹۷ محاسبه شده است. نهایتاً نقشه روابط شبکه ابعاد و معیارها در شکل شماره ۲ در دستگاه مختصات دکارتی نمایش داده شده است.

جهت سنجش وزن موثر معیارها طی مراحل ۶ الی ۱۰ روش DANP در ابتدا، ماتریس نرمال ارتباط کامل ابعاد (T_D^α) و معیارها (T_C^α) بر اساس رابطه‌های (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) محاسبه و نتایج آن در جدول شماره ۶ و ۷ ارائه شد. سپس سوپر ماتریس ناموزن بر اساس رابطه (۱۵) محاسبه و نتایج آن در جدول شماره ۸ ارائه گردیده است. در ادامه سوپر ماتریس موزن بر اساس رابطه (۱۶) محاسبه و نتایج آن در جدول شماره ۹ ارائه شده است و نهایتاً ماتریس وزین شده معیارها بر اساس رابطه (۱۷) در توان $\beta = 7$ همگرا می‌گردد (جدول شماره ۱۰). در این راستا میزان درصد وزنی معیارها در ماتریس وزین شده در شکل شماره ۳ ارائه شده است.

۴. بحث و بررسی

در این مطالعه به منظور تعیین استراتژی‌های موثر کاهش ریسک فوران در عملیات حفاری چاه‌های نفت، با استفاده از روش ترکیبی DANP به تحلیل کمی روابط و شدت اثرگذاری و اثرپذیری بین عوامل کنترلی موثر بر فوران و درجه اهمیت آنها پرداخته شده است. این عوامل بر اساس مطالعات پیشین در چهار گروه اصلی (ابعاد) سیاستگذاری، فردی، عملیاتی و تجهیزاتی و ۱۳ زیرگروه (معیارها) شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند.

مرحله ۹) تشکیل سوپرماتریس موزون (W^α) : در این مرحله جهت تشکیل W^α طبق رابطه (۱۶)، ماتریس T_D^α را در ماتریس W ضرب می‌کنیم. به این طریق که هر $T_D^{\alpha ij}$ را در W_{ij} نظیر ضرب می‌کنیم.

$$W^\alpha = T_D^\alpha * W \quad (16)$$

مرحله ۱۰) محدود کردن سوپرماتریس موزون (W^*) : در این مرحله جهت محاسبه وزن موثر هر کدام از زیر گروه‌های عوامل کنترلی موثر بر فوران (معیارها) مطابق با رابطه (۱۷)، W^α را آنقدر به توانی اعداد فرد (β) رسانیده تا تمامی اعداد هر سطر همگرا شوند.

$$W^* = \lim_{\beta \rightarrow \infty} (W^\alpha)^\beta \quad (17)$$

۳. یافته‌های تحقیق

جهت سنجش روابط علی و معلولی بین ابعاد و معیارهای تحقیق با استفاده از محاسبات مراحل ۱ الی ۶ روش DANP در ابتدا، ماتریس Z_{ij} براساس رابطه (۱) تشکیل شد و مقادیر آن در جدول شماره ۲ ارائه شده است. همچنین در این ماتریس به منظور عدم تناقض در تخصیص اعداد برتری در مقایسات زوجی معیارها توسط خبرگان، نرخ ناسازگاری براساس رابطه‌های (۲) و (۳) با مقدار ۰،۳٪ محاسبه شد، این مقدار حاکی از سطح اطمینان (۲) داده‌های جمع‌آوری شده توسط خبرگان با مقدار ۰،۹۷٪ است. در ادامه ماتریس Z_{ij} بر اساس رابطه‌های (۴) و (۵) نرمال شد که مقادیر آن در جدول شماره ۳ ارائه شده است. سپس شاخص‌های شدت و جهت اثرگذاری ابعاد و معیارها براساس رابطه‌های (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) محاسبه و مقادیر آنها در جدول شماره ۴ و ۵ نشان داده شده است. همچنین ارزش آستانه‌ای زیر

جدول ۲. ماتریس ارتباط مستقیم (Z_{ij})

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۳.۳۸۵	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
C2	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۳۸۵	۰.۰۰۰	۰.۵۳۸	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۲.۸۴۶
C3	۲.۶۹۲	۲.۶۱۵	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۷۶۹
C4	۲.۶۹۲	۰.۱۵۴	۲.۰۷۷	۰.۰۰۰	۲.۹۲۳	۱.۶۱۵	۱.۵۳۸	۱.۳۰۸	۱.۶۱۵	۳.۰۷۷	۲.۴۶۲	۳.۰۷۷	۲.۵۳۸
C5	۲.۰۰۰	۲.۵۳۸	۱.۶۹۲	۲.۹۲۳	۰.۰۰۰	۲.۸۴۶	۲.۷۶۹	۲.۰۰۰	۲.۳۰۸	۲.۳۸۵	۳.۰۰۰	۳.۰۰۰	۳.۰۰۰
C6	۱.۹۲۳	۳.۱۵۴	۱.۵۳۸	۱.۴۶۲	۱.۷۶۹	۰.۰۰۰	۱.۰۷۷	۱.۴۶۲	۰.۸۴۶	۱.۳۸۵	۲.۴۶۲	۳.۰۷۷	۲.۶۱۵
C7	۱.۶۹۲	۱.۶۹۲	۱.۸۴۶	۰.۰۰۰	۱.۲۳۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۳.۲۳۱	۰.۴۶۲	۰.۵۳۸	۱.۷۶۹	۱.۷۶۹	۲.۰۷۷
C8	۳.۱۵۴	۳.۱۵۴	۱.۹۲۳	۰.۲۳۱	۱.۸۴۶	۰.۲۳۱	۰.۶۱۵	۱.۸۴۶	۰.۰۷۷	۰.۳۸۵	۰.۲۳۱	۲.۳۰۸	۲.۳۰۸
C9	۰.۸۴۶	۱.۲۳۱	۱.۴۶۲	۰.۶۱۵	۱.۳۰۸	۲.۷۶۹	۳.۳۰۸	۰.۰۰۰	۰.۹۲۳	۰.۰۰۰	۱.۶۹۲	۱.۸۴۶	۱.۸۴۶
C10	۳.۷۶۹	۲.۸۴۶	۳.۳۸۵	۱.۷۶۹	۲.۲۳۱	۱.۸۴۶	۱.۰۷۷	۲.۶۹۲	۰.۷۶۹	۰.۰۰۰	۱.۲۳۱	۲.۶۹۲	۲.۵۳۸
C11	۰.۷۶۹	۱.۴۶۲	۱.۱۵۴	۲.۶۹۲	۲.۵۳۸	۲.۱۵۴	۱.۷۶۹	۲.۰۷۷	۱.۹۲۳	۲.۵۳۸	۰.۰۰۰	۲.۳۰۸	۱.۹۲۳
C12	۲.۱۵۴	۲.۹۲۳	۱.۹۲۳	۰.۳۸۵	۰.۳۰۸	۲.۵۳۸	۰.۷۶۹	۱.۵۳۸	۱.۱۵۴	۲.۷۶۹	۱.۱۵۴	۰.۰۰۰	۲.۹۲۳
C13	۲.۶۹۲	۲.۷۶۹	۲.۱۵۴	۲.۷۶۹	۳.۱۵۴	۲.۲۳۱	۲.۶۹۲	۲.۸۴۶	۲.۶۱۵	۳.۳۸۵	۲.۳۸۵	۲.۳۸۵	۰.۰۰۰

جدول ۳. ماتریس نرمال ارتباطات مستقیم (H_{ij})

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
C2	۰.۱۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۰	۰.۰۱۶	۰.۰۰۰	۰.۰۸۶	۰.۰۰۰
C3	۰.۰۸۱	۰.۰۷۹	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۵	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۲۳	۰.۰۵۳
C4	۰.۰۸۱	۰.۰۰۵	۰.۰۶۳	۰.۰۰۰	۰.۰۸۸	۰.۰۴۹	۰.۰۴۷	۰.۰۴۰	۰.۰۴۹	۰.۰۹۳	۰.۰۷۴	۰.۰۹۳	۰.۰۷۷
C5	۰.۰۶۰	۰.۰۷۷	۰.۰۵۱	۰.۰۸۸	۰.۰۰۰	۰.۰۸۶	۰.۰۸۴	۰.۰۶۰	۰.۰۷۰	۰.۰۷۲	۰.۰۹۱	۰.۱۰۲	۰.۰۹۱
C6	۰.۰۵۸	۰.۰۹۵	۰.۰۴۷	۰.۰۴۴	۰.۰۵۳	۰.۰۰۰	۰.۰۳۳	۰.۰۴۴	۰.۰۲۶	۰.۰۴۲	۰.۰۷۴	۰.۰۹۳	۰.۰۷۹
C7	۰.۰۵۱	۰.۰۵۱	۰.۰۵۶	۰.۰۰۰	۰.۰۳۷	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۹۳	۰.۰۹۸	۰.۰۱۴	۰.۰۱۶	۰.۰۵۳	۰.۰۶۳
C8	۰.۰۹۵	۰.۰۹۵	۰.۰۵۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۷	۰.۰۵۶	۰.۰۱۹	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۱۲	۰.۰۷۰	۰.۰۷۰
C9	۰.۰۲۶	۰.۰۳۷	۰.۰۴۴	۰.۰۱۹	۰.۰۴۹	۰.۰۴۰	۰.۰۸۴	۰.۱۰۰	۰.۰۸۴	۰.۰۲۸	۰.۰۵۱	۰.۰۵۶	۰.۰۵۶
C10	۰.۱۱۴	۰.۰۸۶	۰.۱۰۲	۰.۰۵۳	۰.۰۶۷	۰.۰۵۶	۰.۰۳۳	۰.۰۸۱	۰.۰۲۳	۰.۰۰۰	۰.۰۳۷	۰.۰۸۱	۰.۰۷۷
C11	۰.۰۲۳	۰.۰۴۴	۰.۰۳۵	۰.۰۸۱	۰.۰۷۷	۰.۰۶۵	۰.۰۵۳	۰.۰۶۳	۰.۰۵۸	۰.۰۷۷	۰.۰۰۰	۰.۰۷۰	۰.۰۵۸
C12	۰.۰۶۵	۰.۰۸۸	۰.۰۵۸	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹	۰.۰۷۷	۰.۰۲۳	۰.۰۴۷	۰.۰۳۵	۰.۰۸۴	۰.۰۳۵	۰.۰۰۰	۰.۰۸۸
C13	۰.۰۸۱	۰.۰۸۴	۰.۰۶۵	۰.۰۸۴	۰.۰۹۵	۰.۰۶۷	۰.۰۸۱	۰.۰۸۶	۰.۰۷۹	۰.۱۰۲	۰.۰۷۲	۰.۱۰۲	۰.۰۰۰

جدول ۴. ماتریس ارتباط کامل معیارها (T_C) و محاسبه میزان شاخص r و d

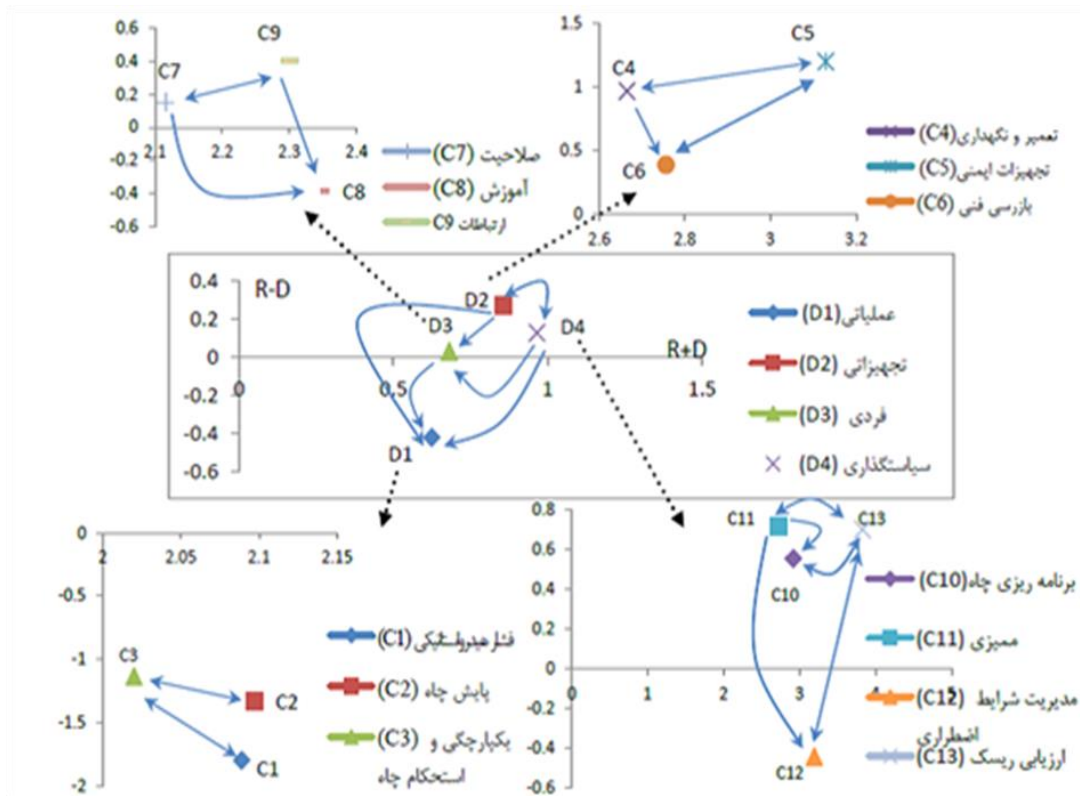
r-d	r+d	r	C13	C12	C11	C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	Criteria
۱.۷۹۳	۲.۰۸۹	۰.۱۴۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۵	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۱۰۵	۰.۰۱۰	۰.۰۱۱	C1
۱.۳۲۳	۲.۰۹۷	۰.۳۸۷	۰.۰۱۸	۰.۰۹۸	۰.۰۰۹	۰.۰۲۹	۰.۰۰۸	۰.۰۲۴	۰.۰۰۸	۰.۰۱۴	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۲۶	۰.۰۲۰	۰.۱۲۰	C2
۱.۱۳۴	۲.۰۰۲	۰.۴۴۳	۰.۰۶۶	۰.۰۴۷	۰.۰۱۱	۰.۰۱۶	۰.۰۱۰	۰.۰۱۹	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۱۰	۰.۰۲۴	۰.۰۹۷	۰.۱۰۸	C3
۰.۹۶۷	۲.۶۶۵	۱.۸۱۶	۰.۱۷۳	۰.۱۹۹	۰.۱۳۶	۰.۱۶۵	۰.۱۰۸	۰.۱۲۵	۰.۱۰۸	۰.۱۲۵	۰.۱۴۶	۰.۰۵۸	۰.۱۶۲	۰.۱۱۵	۰.۱۹۶	C4
۱.۲۰۱	۳.۱۲۹	۲.۱۶۵	۰.۲۰۲	۰.۲۳۲	۰.۱۶۱	۰.۱۶۰	۰.۱۳۹	۰.۱۶۱	۰.۱۵۳	۰.۱۷۱	۰.۰۷۵	۰.۱۴۷	۰.۱۶۵	۰.۱۹۹	۰.۲۰۰	C5
۰.۳۸۸	۲.۷۵۶	۱.۵۷۲	۰.۱۵۶	۰.۱۸۶	۰.۱۲۳	۰.۱۰۸	۰.۰۷۶	۰.۱۱۳	۰.۰۸۳	۰.۰۶۴	۰.۱۰۳	۰.۰۸۹	۰.۱۲۸	۰.۱۸۲	۰.۱۶۱	C6
۰.۱۵۲	۲.۱۱۶	۱.۱۳۴	۰.۱۱۷	۰.۱۱۸	۰.۰۵۰	۰.۰۵۴	۰.۱۲۵	۰.۱۴۰	۰.۰۳۶	۰.۰۷۹	۰.۰۳۳	۰.۰۲۸	۰.۱۱۳	۰.۱۱۷	۰.۱۲۴	C7
۰.۳۸۳	۲.۳۴۷	۰.۹۸۲	۰.۱۱۱	۰.۱۲۳	۰.۰۴۰	۰.۰۳۷	۰.۰۲۹	۰.۰۳۷	۰.۰۴۴	۰.۰۸۷	۰.۰۳۳	۰.۰۳۰	۰.۱۰۷	۰.۱۴۷	۰.۱۵۷	C8
۰.۳۹۹	۲.۳۰۱	۱.۳۵	۰.۱۲۷	۰.۱۳۳	۰.۰۹۳	۰.۰۸۰	۰.۰۴۶	۰.۱۵۹	۰.۱۲۵	۰.۰۹۴	۰.۰۸۸	۰.۰۵۷	۰.۱۱۴	۰.۱۱۹	۰.۱۱۵	C9
۰.۵۵۴	۲.۹۲	۱.۷۳۷	۰.۱۶۱	۰.۱۸۰	۰.۰۹۱	۰.۰۶۷	۰.۰۷۴	۰.۱۴۹	۰.۰۸۴	۰.۱۱۹	۰.۱۱۶	۰.۰۹۸	۰.۱۹۱	۰.۱۸۲	۰.۲۲۵	C10
۰.۷۱۶	۲.۷۲	۱.۷۱۸	۰.۱۵۲	۰.۱۷۷	۰.۰۶۴	۰.۱۴۶	۰.۱۱۴	۰.۱۴۳	۰.۱۱۲	۰.۱۳۶	۰.۱۳۳	۰.۱۳۰	۰.۱۲۷	۰.۱۴۵	۰.۱۳۹	C11
۰.۴۴۴	۳.۱۹۶	۱.۳۷۶	۰.۱۵۲	۰.۰۸۶	۰.۰۷۸	۰.۱۳۲	۰.۰۷۴	۰.۱۰۶	۰.۰۶۵	۰.۱۲۴	۰.۰۵۵	۰.۰۵۱	۰.۱۳۰	۰.۱۶۶	۰.۱۵۷	C12
۰.۷	۳.۸۳	۲.۲۶۵	۰.۱۲۳	۰.۲۳۶	۰.۱۴۵	۰.۱۸۷	۰.۱۴۷	۰.۱۸۷	۰.۱۵۲	۰.۱۵۷	۰.۱۶۳	۰.۱۴۴	۰.۱۸۵	۰.۲۱۱	۰.۲۲۸	C13
			۱.۵۶۵	۱.۸۲	۱.۰۰۲	۱.۱۸۳	۰.۹۵۱	۱.۳۶۵	۰.۹۸۲	۱.۱۸۴	۰.۹۶۴	۰.۸۴۹	۱.۵۷۷	۱.۷۱	۱.۹۴۱	d

جدول ۵. ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D) و محاسبه میزان شاخص R و D

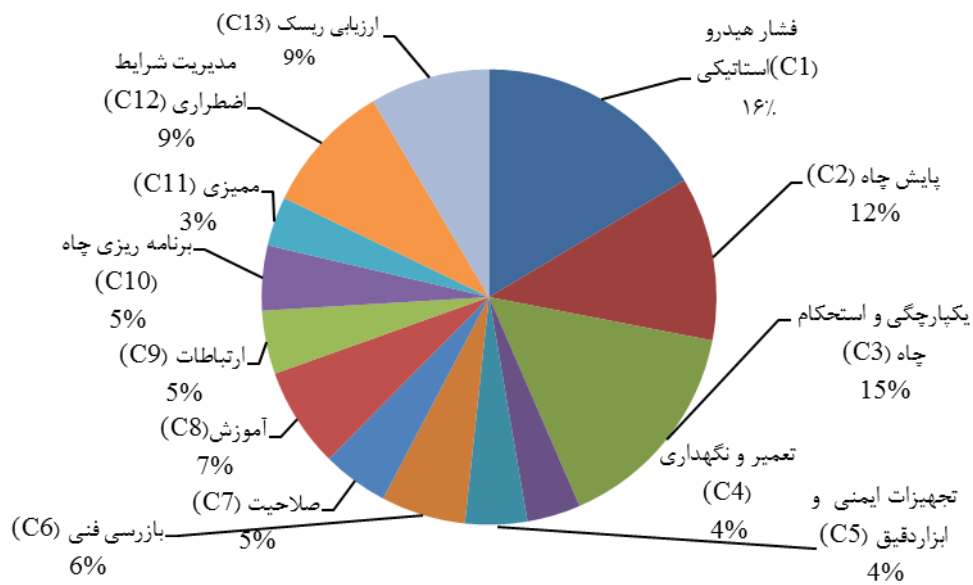
R-D	R+D	R	D4	D3	D2	D1	Dimension
-۰.۴۲۴	۰.۶۲۴	۰.۱	۰.۰۲۶	۰.۰۰۹	۰.۰۰۷	۰.۰۵۸	D1
۰.۲۶۸	۰.۸۵۶	۰.۵۶۲	۰.۱۶۷	۰.۱۱۸	۰.۱۰۹	۰.۱۶۸	D2
۰.۰۲۹	۰.۶۸۱	۰.۳۵۵	۰.۰۹۰	۰.۰۸۲	۰.۰۵۹	۰.۱۲۴	D3
۰.۱۲۷	۰.۹۶۵	۰.۵۴۶	۰.۱۳۶	۰.۱۱۷	۰.۱۱۹	۰.۱۷۴	D4
			۰.۴۱۹	۰.۳۲۶	۰.۲۹۴	۰.۵۲۴	D

جدول ۶. ماتریس نرمال ارتباط کامل ابعاد (T_D[∞])

D4	D3	D2	D1	Dimension
۰.۲۵۶	۰.۰۹۳	۰.۰۷۱	۰.۵۸۰	D1
۰.۲۹۷	۰.۲۱۱	۰.۱۹۴	۰.۲۹۹	D2
۰.۲۵۴	۰.۲۳۲	۰.۱۶۶	۰.۳۴۸	D3
۰.۲۴۹	۰.۲۱۵	۰.۲۱۸	۰.۳۱۸	D4



شکل ۲. نقشه روابط شبکه مربوط به عوامل کنترلی موثر بر فوران بر اساس DEMETEL



شکل ۳. وزن عوامل کنترلی موثر بر فوران بر اساس DANP

جدول ۷. نرمال سازی ماتریس ارتباط کامل معیارها (T_C^{α})

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	۰.۰۸۸	۰.۰۷۹	۰.۸۳۳	۰.۲۸۹	۰.۳۲۴	۰.۳۸۷	۰.۲۶۱	۰.۴۷۹	۰.۲۵۹	۰.۱۱۳	۰.۰۷۶	۰.۳۳۶	۰.۴۷۵
C2	۰.۰۷۹	۰.۱۲۰	۰.۱۵۷	۰.۲۳۶	۰.۲۶۰	۰.۵۰۴	۰.۱۹۳	۰.۶۰۴	۰.۲۰۳	۰.۱۹۰	۰.۰۵۷	۰.۶۳۸	۰.۱۱۵
C3	۰.۸۳۳	۰.۱۵۷	۰.۱۰۴	۰.۲۸۹	۰.۳۲۴	۰.۳۸۷	۰.۲۶۱	۰.۴۷۹	۰.۲۵۹	۰.۱۱۳	۰.۰۷۶	۰.۳۳۶	۰.۴۷۵
C4	۰.۲۸۹	۰.۲۳۶	۰.۱۷۶	۰.۴۴۵	۰.۳۷۹	۰.۳۱۷	۰.۳۱۷	۰.۳۶۷	۰.۳۱۷	۰.۲۴۶	۰.۲۰۱	۰.۲۹۶	۰.۲۵۷
C5	۰.۳۲۴	۰.۲۶۰	۰.۳۷۵	۰.۲۹۳	۰.۳۷۵	۰.۳۳۷	۰.۳۳۷	۰.۴۳۴	۰.۳۳۷	۰.۲۱۲	۰.۲۱۴	۰.۳۰۷	۰.۲۶۷
C6	۰.۳۸۷	۰.۵۰۴	۰.۳۸۷	۰.۳۴۸	۰.۴۰۰	۰.۲۵۱	۰.۳۰۵	۰.۴۱۷	۰.۲۷۸	۰.۱۸۸	۰.۲۱۵	۰.۳۲۴	۰.۲۷۳
C7	۰.۲۶۱	۰.۱۹۳	۰.۳۱۹	۰.۱۹۹	۰.۲۳۹	۰.۱۲۱	۰.۱۲۱	۰.۴۶۶	۰.۴۱۴	۰.۱۵۹	۰.۱۴۹	۰.۳۴۷	۰.۳۴۵
C8	۰.۴۷۹	۰.۶۰۴	۰.۳۸۷	۰.۳۴۸	۰.۴۰۰	۰.۲۵۱	۰.۳۰۵	۰.۴۱۷	۰.۲۷۸	۰.۱۸۸	۰.۲۱۵	۰.۳۲۴	۰.۲۷۳
C9	۰.۲۵۹	۰.۲۰۳	۰.۳۷۵	۰.۲۹۳	۰.۳۷۵	۰.۳۳۷	۰.۳۳۷	۰.۴۳۴	۰.۳۳۷	۰.۲۱۲	۰.۲۱۴	۰.۳۰۷	۰.۲۶۷
C10	۰.۱۱۳	۰.۰۷۶	۰.۱۵۷	۰.۲۳۶	۰.۲۶۰	۰.۵۰۴	۰.۱۹۳	۰.۶۰۴	۰.۲۰۳	۰.۱۹۰	۰.۰۵۷	۰.۶۳۸	۰.۱۱۵
C11	۰.۰۷۶	۰.۰۵۷	۰.۱۴۹	۰.۱۴۹	۰.۲۳۹	۰.۱۲۱	۰.۱۲۱	۰.۴۶۶	۰.۴۱۴	۰.۱۵۹	۰.۱۴۹	۰.۳۴۷	۰.۳۴۵
C12	۰.۳۳۶	۰.۶۳۸	۰.۳۳۶	۰.۳۴۸	۰.۴۰۰	۰.۲۵۱	۰.۳۰۵	۰.۴۱۷	۰.۲۷۸	۰.۱۸۸	۰.۲۱۵	۰.۳۲۴	۰.۲۷۳
C13	۰.۴۷۵	۰.۱۱۵	۰.۴۷۵	۰.۲۵۷	۰.۲۶۷	۰.۲۷۳	۰.۳۲۲	۰.۳۴۵	۰.۳۹۵	۰.۱۲۸	۰.۱۲۸	۰.۳۹۵	۰.۳۴۰

جدول ۸. سوپر ماتریس ناموزون (W)

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	۰.۰۵۱	۰.۴۱۹	۰.۲۷۴	۰.۱۲۴	۰.۱۰۶	۰.۱۰۲	۰.۱۲۲	۰.۱۳۳	۰.۱۱۵	۰.۱۲۰	۰.۱۰۸	۰.۱۱۰	۰.۱۱۶
C2	۰.۴۱۹	۰.۰۷۰	۰.۲۴۶	۰.۰۷۲	۰.۱۰۵	۰.۱۱۵	۰.۱۱۵	۰.۱۲۴	۰.۱۱۹	۰.۰۹۷	۰.۱۱۲	۰.۱۱۷	۰.۱۰۸
C3	۰.۲۷۴	۰.۲۴۶	۰.۰۶۱	۰.۱۰۲	۰.۰۸۷	۰.۰۸۱	۰.۱۱۱	۰.۰۹۱	۰.۱۱۴	۰.۱۰۲	۰.۰۹۹	۰.۰۹۱	۰.۰۹۴
C4	۰.۱۲۴	۰.۰۷۲	۰.۰۲۱	۰.۰۳۴	۰.۰۷۳	۰.۰۶۷	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C5	۰.۱۰۶	۰.۱۰۵	۰.۰۲۱	۰.۰۳۴	۰.۰۷۳	۰.۰۶۷	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C6	۰.۱۰۲	۰.۱۱۵	۰.۰۸۱	۰.۰۸۷	۰.۰۸۱	۰.۰۸۱	۰.۱۱۱	۰.۰۹۱	۰.۱۱۴	۰.۱۰۲	۰.۰۹۹	۰.۰۹۱	۰.۰۹۴
C7	۰.۱۲۲	۰.۱۱۵	۰.۱۱۱	۰.۰۳۳	۰.۰۳۳	۰.۰۳۳	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C8	۰.۱۳۳	۰.۱۲۴	۰.۰۹۱	۰.۰۳۴	۰.۰۳۴	۰.۰۳۴	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C9	۰.۱۱۵	۰.۱۱۹	۰.۱۱۴	۰.۰۳۹	۰.۰۳۹	۰.۰۳۹	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C10	۰.۱۲۰	۰.۰۹۷	۰.۱۱۴	۰.۰۶۴	۰.۰۶۴	۰.۰۶۴	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C11	۰.۱۰۸	۰.۱۱۲	۰.۰۹۹	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C12	۰.۱۱۰	۰.۱۱۷	۰.۰۹۱	۰.۰۴۸	۰.۰۴۸	۰.۰۴۸	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸
C13	۰.۱۱۶	۰.۱۰۸	۰.۰۹۴	۰.۰۶۸	۰.۰۶۸	۰.۰۶۸	۰.۰۳۳	۰.۰۳۴	۰.۰۳۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱	۰.۰۴۸	۰.۰۶۸

جدول ۹. سوپر ماتریس موزون (W^{α})

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	۰.۰۸۸	۰.۰۷۹	۰.۴۷۲	۰.۴۱۵	۰.۳۵۵	۰.۳۴۲	۰.۳۵۰	۰.۳۸۲	۰.۳۳۱	۰.۲۷۶	۰.۳۳۸	۰.۳۴۷	۰.۳۶۵
C2	۰.۰۷۹	۰.۱۲۰	۰.۴۲۴	۰.۲۴۲	۰.۳۵۲	۰.۳۸۷	۰.۳۳۱	۰.۳۵۷	۰.۳۴۲	۰.۳۰۵	۰.۳۵۳	۰.۳۶۶	۰.۳۳۹
C3	۰.۴۷۲	۰.۴۲۴	۰.۱۰۴	۰.۳۴۳	۰.۲۹۳	۰.۲۷۱	۰.۳۱۹	۰.۲۶۱	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۳۰۹	۰.۲۸۷	۰.۲۹۶
C4	۰.۴۱۵	۰.۲۴۲	۰.۱۷۶	۰.۲۸۹	۰.۳۷۵	۰.۳۴۸	۰.۳۱۹	۰.۲۶۱	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۳۰۹	۰.۲۸۷	۰.۲۹۶
C5	۰.۳۵۵	۰.۳۵۲	۰.۳۷۵	۰.۲۹۳	۰.۳۷۵	۰.۳۳۷	۰.۳۳۷	۰.۴۳۴	۰.۳۳۷	۰.۲۱۲	۰.۲۱۴	۰.۳۰۷	۰.۲۶۷
C6	۰.۳۴۲	۰.۳۸۷	۰.۳۴۸	۰.۳۴۸	۰.۴۰۰	۰.۲۵۱	۰.۳۰۵	۰.۴۱۷	۰.۲۷۸	۰.۱۸۸	۰.۲۱۵	۰.۳۲۴	۰.۲۷۳
C7	۰.۳۵۰	۰.۳۳۱	۰.۳۱۹	۰.۱۹۹	۰.۲۳۹	۰.۱۲۱	۰.۱۲۱	۰.۴۶۶	۰.۴۱۴	۰.۱۵۹	۰.۱۴۹	۰.۳۴۷	۰.۳۴۵
C8	۰.۳۸۲	۰.۴۰۰	۰.۳۸۷	۰.۳۴۸	۰.۴۰۰	۰.۲۵۱	۰.۳۰۵	۰.۴۱۷	۰.۲۷۸	۰.۱۸۸	۰.۲۱۵	۰.۳۲۴	۰.۲۷۳
C9	۰.۳۳۱	۰.۳۳۱	۰.۳۳۷	۰.۳۳۷	۰.۴۳۴	۰.۳۳۷	۰.۳۳۷	۰.۴۳۴	۰.۳۳۷	۰.۲۱۲	۰.۲۱۴	۰.۳۰۷	۰.۲۶۷
C10	۰.۲۷۶	۰.۳۰۵	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۳۱۹	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۲۴۶	۰.۲۰۱	۰.۲۹۶	۰.۲۵۷
C11	۰.۳۳۸	۰.۳۵۳	۰.۳۰۹	۰.۳۱۹	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۳۱۹	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۲۴۶	۰.۲۰۱	۰.۲۹۶	۰.۲۵۷
C12	۰.۳۴۷	۰.۳۶۶	۰.۳۰۹	۰.۳۱۹	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۳۱۹	۰.۳۲۸	۰.۳۱۹	۰.۲۴۶	۰.۲۰۱	۰.۲۹۶	۰.۲۵۷
C13	۰.۳۶۵	۰.۳۳۹	۰.۳۴۰	۰.۳۴۵	۰.۳۹۵	۰.۳۸۴	۰.۳۸۴	۰.۴۸۶	۰.۴۸۳	۰.۱۸۴	۰.۱۸۴	۰.۴۸۳	۰.۳۴۰

C9	۰.۲۵۹	۰.۲۰۳	۰.۲۵۹	۰.۳۱۷	۰.۳۰۷	۰.۲۷۸	۰.۴۱۴	۰.۲۶۳	۰.۱۳۹	۰.۲۴۰	۰.۳۰۸	۰.۳۰۱	۰.۳۰۳
C10	۰.۱۱۳	۰.۱۹۰	۰.۱۱۳	۰.۲۴۶	۰.۲۱۲	۰.۱۸۸	۰.۱۵۹	۰.۱۲۰	۰.۱۸۴	۰.۱۳۵	۰.۲۷۲	۰.۲۹۵	۰.۲۷۱
C11	۰.۰۷۶	۰.۰۵۷	۰.۰۷۶	۰.۲۰۱	۰.۲۱۴	۰.۲۱۵	۰.۱۴۹	۰.۱۲۸	۰.۲۱۶	۰.۱۸۲	۰.۱۱۸	۰.۱۷۴	۰.۲۱۰
C12	۰.۳۳۶	۰.۶۳۸	۰.۳۳۶	۰.۳۳۶	۰.۳۰۷	۰.۳۲۴	۰.۳۴۷	۰.۳۹۵	۰.۳۰۸	۰.۳۶۱	۰.۳۲۹	۰.۱۹۱	۰.۳۴۱
C13	۰.۴۷۵	۰.۱۱۵	۰.۴۷۵	۰.۲۶۷	۰.۲۵۷	۰.۲۷۳	۰.۳۴۵	۰.۳۵۷	۰.۲۹۲	۰.۳۲۲	۰.۲۸۱	۰.۳۴۰	۰.۱۷۷

جدول ۱۰. محدود کردن سوپر ماتریس موزون (W^*) که در توان ۷ همگرا شده است

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴	۰.۱۶۴
C2	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶	۰.۱۱۶
C3	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴	۰.۱۵۴
C4	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸
C5	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴	۰.۰۴۴
C6	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰	۰.۰۶۰
C7	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷
C8	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱
C9	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵
C10	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶	۰.۰۴۶
C11	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵
C12	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳	۰.۰۹۳
C13	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵	۰.۰۸۵

عملیاتی مساله اصلی و مورد توجه است که در صورت تقویت آن از طریق سایر عوامل اثرگذار نقش بسزایی در پیشگیری از رویداد فوران ایفا می‌کند. بطور مشابه در خصوص معیارها (زیرعوامل)، با توجه به نتایج ارائه شده در جدول شماره ۴ در منظر اول معیارهای ارزیابی ریسک ($C13$)، تعمیر و نگهداری ($C5$) و مدیریت شرایط اضطراری ($C12$) بترتیب با مقدار $d+r$ برابر با ۳٫۸ و ۳٫۲۵ و ۳٫۱۹ میزان تعامل بیشتری نسبت به سایر معیارها دارند. همچنین از منظر دوم، معیار تعمیر و نگهداری ($C5$) با مقدار $r-d$ برابر با ۱٫۲۰۲ تاثیرگذارترین و زیرگروه فشار هیدرواستاتیکی ($C1$) با مقدار $r-d$ برابر با منفی ۱٫۷۹۳ تاثیر پذیرترین و تحت تاثیر عوامل علی هستند.

دومین نتیجه کلیدی حاصل از روش دیمتل حاکی از ارتباط متقابل بین ابعاد و معیارهای تحقیق است. در این خصوص همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود عامل تجهیزاتی ($D2$) بر عامل عملیاتی ($D1$) و بر عامل فردی ($D3$) اثرگذار است و رابطه دوسویه ای بین آن و عامل

اولین نتیجه کلیدی حاصل از این مطالعه میزان تعامل و شدت اثرگذاری و اثرپذیری میان عوامل کنترلی موثر بر فوران است که از روش دیمتل بدست آمده است. با توجه به این میزان می‌توان این عوامل از دو منظر بررسی کرد: از منظر اول میزان تعامل یک عامل با سایر عوامل است؛ در این راستا با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول شماره ۵، عامل سیاستگذاری ($D4$) با مقدار $R+D$ برابر با ۰٫۹۶۵ اهمیت و تعامل بیشتری نسبت به سایر عوامل دارد. از منظر دوم میزان شدت اثرگذاری و اثرپذیری بین عوامل است؛ عوامل تجهیزاتی ($D2$)، با مقدار $R-D$ برابر با ۰٫۲۶۸ اثرگذارترین لایه‌های حفاظتی چاه در پیشگیری از رویداد فوران نسبت به سایر عوامل است. در این راستا عوامل سیاستگذاری ($D4$) و فردی ($D3$) با مقادیر $R-D$ به ترتیب ۰٫۱۲۷ و ۰٫۰۲۹ در رده دوم و سوم قرار دارند. از طرفی عامل عملیاتی ($D1$) با مقدار $R-D$ برابر با منفی ۰٫۴۲۴ اثر پذیرترین لایه حفاظتی نسبت به سه عامل سیاستگذاری، فردی و تجهیزاتی می‌باشد. به عبارتی عامل

یکپارچگی و استحکام چاه با مقدار ۱۵٪ در اولویت دوم و پایش چاه با مقدار ۱۲٪ در اولویت سوم قرار گرفت. در همین راستا در زیرمعیارهای عامل سیاستگذاری، معیار مدیریت اضطراری با مقدار ۹٪ اولویت چهارم و ارزیابی ریسک با مقدار ۹٪ اولویت پنجم را به خود اختصاص داد. در این تحقیق با توجه به میزان اثرپذیری ($R - D$) بالای عامل عملیاتی بر اساس روش دیمتل (با مقدار برابر با منفی ۰٫۴۲۴) و وزن موثر عامل عملیاتی نسبت به سایر عوامل کنترلی موثر بر فوران بر اساس تحلیل شبکه‌ای مبتنی بر دیمتل (با مقدار ۰٫۴۳) حاکی از لزوم توجه بیشتر تصمیم‌گیران به عامل عملیاتی در طراحی سیستم ایمنی چاه در عملیات حفاری است. به عبارتی مدیران تصمیم‌گیر با درک بهتر روابط میان عوامل، میتوانند جهت مقابله با موانع موجود، تصمیم‌گیری دقیق‌تری داشته باشند.

روش *ANP* که در ترکیب با روش دیمتل در این مطالعه استفاده شد، با توجه به اینکه این روش به ساختار سلسله‌مراتبی نیاز ندارد یکی از بهترین ابزار برای اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شبکه‌ای است که روابط پیچیده تر بین سطوح مختلف تصمیم‌را به صورت شبکه‌ای نشان می‌دهد و تعاملات و بازخوردهای میان ابعاد و معیارها یک مسئله را ارزیابی می‌کند و بر اساس آن میزان درجه اهمیت و وزن موثر ابعاد و معیارها تعیین می‌گردد. در نتیجه رویکرد *DANP* یکی از بهترین استراتژی‌های پاسخ به ریسک است و ابزار مناسبی است که به تصمیم‌گیرندگان در زمینه طراحی سیستم ایمنی چاه کمک می‌کند تا استراتژی‌های موثر کاهش ریسک فوران را انتخاب کنند.

در این مطالعه برخلاف مطالعاتی که در زمینه ارزیابی ریسک لایه‌های حفاظتی چاه براساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است [۱]. بعلاوه بر توجه به وزن موثر لایه‌های حفاظتی چاه به عنوان ابعاد و معیارها مسئله، به تحلیل کمی روابط و شدت اثرگذاری و اثرپذیری میان ابعاد و معیارها نیز پرداخته است. به عبارتی این رویکرد دقت بیشتری در تعیین جواب بهینه و اقدامات اصلاحی جهت بهبود لایه‌های حفاظتی چاه ایفا می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا باتوجه به مطالعه پیشین عوامل کنترلی موثر بر فوران شناسایی و انتخاب گردید و سپس با

سیاستگذاری (*D4*) وجود دارد. همچنین عامل سیاستگذاری بر عوامل فردی و تجهیزاتی اثرگذار و عامل فردی نیز بر عامل عملیاتی تاثیر دارد. در خصوص عامل عملیاتی (*D1*)، بین معیارهای یکپارچگی و استحکام چاه (*C3*)، فشار هیدرواستاتیکی (*C1*) و پایش چاه (*C2*) ارتباط دوسویه‌ای وجود دارد و بهبود عملکرد این عامل مستلزم تقویت هرکدام از معیارهای مذکور است. در ارتباط با عامل تجهیزاتی (*D2*)، معیار تجهیزات ایمنی (*C4*) و تعمیر و نگهداری (*C5*) بر معیار بازرسی فنی (*C6*) اثرگذارند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با انتخاب تجهیزات ایمنی و ابزار دقیق مناسب به همراه ایجاد سیستم تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مناسب می‌توان لایه‌های حفاظتی را تقویت نمود. همچنین معیار بازرسی فنی نیز معلول عوامل مذکور است، که با تقویت آن موجب بهبود عملکرد گروه اصلی در پیشگیری از رویداد فوران در این گروه می‌باشد. در معیارهای عامل فردی (*D3*)، معیار صلاحیت (*C9*) و ارتباطات (*C7*) علاوه بر اینکه رابطه دوسویه‌ای بین آنها وجود دارد و همچنین بر معیار آموزش (*C8*) اثرگذارند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت جهت بهبود عملکرد معیارهای مذکور در پیشگیری از رویداد فوران می‌بایست تمرکز آموزش‌ها بیشتر در راستای صلاحیت افراد و ارتباطات در عملیات حفاری باشد. در خصوص معیارهای عامل سیاستگذاری (*D4*)؛ معیار ممیزی (*C11*) علاوه بر ارتباط دوسویه با معیار ارزیابی ریسک (*C13*) بر معیار برنامه‌ریزی چاه (*C10*) و مدیریت شرایط اضطراری (*C12*) اثرگذار است. همچنین *C13* عامل تاثیرگذار بر *C12* و بین *C11* و *C10* و *C13* ارتباط دوسویه وجود دارد. معیار ممیزی اثرگذارترین و معیار مدیریت شرایط اضطراری اثرپذیرترین است. این نتیجه حاکی از آن است که مدیریت می‌تواند با تمرکز بر انجام فرآیند ممیزی و ارزیابی برنامه‌ها و برگزاری مانورهای شرایط اضطراری در پیشگیری از رویداد فوران موفق‌تر عمل نماید.

سومین نتیجه کلیدی بدست آمده از رویکرد ترکیبی *DANP* با توجه به نظرخواهی از خبرگان تحقیق، که در شکل شماره ۷ نشان داده است حاکی از آن است، بیشترین وزن موثر ابعاد و معیارها در پیشگیری از رویداد فوران مربوطه به عامل عملیاتی است، بنحوی که در این عامل معیار فشار هیدرواستاتیکی با مقدار ۱۶٪ در اولویت اول،

[3] Suprihono, S. (2017). Unlocking Common Approach of Well Control Equipment for Mechanical Well Service. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition,

[4] Skoloff, B., & Wardell, J. (2010). BP oil spill cost hits \$40 billion, company returns to profit. *Huffington Post*.

[۵] قربانی، ف. (۱۳۹۵). اطفاء حریق چاه های نفت و گاز. انتشارات ترآوا.

[6] Ataallahi, E., & Shadizadeh, S. R. (2015). Fuzzy consequence modeling of blowouts in Iranian drilling operations; HSE consideration. *Safety Science*, 77, 152-159.

[7] LI, Z., HOVAKIMYAN, N. & KAASA, G. O. 2017. Bottom hole pressure estimation and adaptive control in managed pressure drilling system. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 31, 545-561.

[8] Abimbola, M., Khan, F., Khakzad, N., & Butt, S. (2015). Safety and risk analysis of managed pressure drilling operation using Bayesian network. *Safety Science*, 76, 133-144.

[9] Tamim, N., Laboureur, D. M., Hasan, A. R., & Mannan, M. S. (2019). Developing leading indicators-based decision support algorithms and probabilistic models using Bayesian network to predict kicks while drilling. *Process Safety and Environmental Protection*, 121, 239-246.

[۱۰] میرزایی علی آبادی، م.، محمدفام، ا.، احمدی گهر، ا. (۱۳۹۶). آنالیز ریسک فوران (Blow out) چاه‌های اکتشافی نفت و گاز در فاز عملیات حفاری با استفاده از تکنیک تحلیل پاپیونی (BTA) و شبکه بیزین.

[11] Mokhtari, S. M., Alinejad-Rokny, H., & Jalalifar, H. (2014). Selection of the best well control system by using fuzzy multiple-attribute decision-making methods. *Journal of Applied Statistics*, 41(5), 1105-1121.

[12] Peibin, G., Baojiang, S., Gang, L., & Yong, W. (2012). Fuzzy comprehensive evaluation in well control risk assessment based on AHP: A case study. *Advances in petroleum exploration and development*, 4(1), 13-18.

[13] Yasserli, S. (2017). Drilling Risk Identification, Filtering, Ranking and Management [Research]. *International Journal of Coastal and Offshore Engineering*, 1(1), 17-26.

[14] Meng, H., & An, X. (2021). Dynamic risk analysis of emergency operations in deepwater blowout accidents. *Ocean Engineering*, 240, 109928.

استفاده از مدل ترکیبی چند معیاره با رویکرد DANP به رتبه بندی و تحلیل تعامل بین عوامل شناسایی شده پرداخته شد. نتایج نشان داد که عامل عملیاتی "اثرپذیرترین" عامل نسبت به سایر عوامل و بیشترین وزن موثر را در پیشگیری از رویداد فوران دارد. به عبارتی میزان موفقیت و یا عدم موفقیت در پیشگیری از رویداد فوران تا حدود زیادی تحت تاثیر این عامل است. همچنین عامل تجهیزاتی "اثرگذارترین" لایه حفاظتی است و رابطه دوسویه‌ای بین این عامل و عامل سیاستگذاری وجود دارد. از طرفی عامل سیاستگذاری دارای اهمیت و تعامل بیشتری با سایر عوامل را دارد. در این راستا مهمترین راهبرد توسط مدیران و تصمیم گیران مربوطه در امر طراحی بهتر سیستم ایمنی چاه و بهبود عملکرد لایه‌های حفاظتی آن، از طریق توجه و تمرکز بیشتر بر عامل تجهیزاتی (اثرگذار) و در نتیجه اثر هم افزایی آن بر عامل اثرپذیر عملیاتی است. در این مطالعه ۴ عامل اصلی به همراه ۱۳ زیر عامل تحت عنوان عوامل کنترلی موثر بر فوران شناسایی شده است و ممکن است عوامل کنترلی موثر دیگری نیز موجود باشند که در این مطالعه به آنها اشاره نشده باشد؛ همچنین نتایج این مطالعه وابستگی بالایی به نظر خبرگان تحقیق دارد و ممکن است با تغییر در اندازه نمونه خبرگان تحقیق، تغییرات نسبتاً جزئی در نتایج بدست آمده به وجود آید. جهت بررسی دقیق تر درجه اهمیت نسبی و تاثیر روابط درونی بین عوامل کنترلی موثر بر فوران در مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد از روش های DANP فازی استفاده گردد.

۶. سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت علمی و مالی مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران که امکان این تحقیق را فراهم آورده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

۷. مراجع

[1] Holand, P. (2017). Loss of Well Control Occurrence and Size Estimators, Phase I and II. Report prepared for Bureau of Safety and Environmental Enforcement. Report# ES201471/2, Washington, DC.

[2] Grace, R. D. (2017). *Blowout and well control handbook*. Gulf Professional Publishing.

- [15] Zhu, J., Chen, G., Yin, Z., Khan, F., & Meng, X. (2022). An integrated methodology for dynamic risk evaluation of deepwater blowouts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 74, 104647.
- [16] Zoie, R. C., Alexandru, B., Mihaela, R. D., & Mihail, D. (2016, 13-15 Oct. 2016). A decision making framework for weighting and ranking criteria for Cloud provider selection. 2016 20th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC),
- [17] Wu, W.-W., & Lee, Y.-T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*, 32(2), 499-507.
- [18] Jeng, D. J.-F., & Tzeng, G.-H. (2012). Social influence on the use of Clinical Decision Support Systems: Revisiting the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology by the fuzzy DEMATEL technique. *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 819-828.
- [19] Dehdasht, G., Mohamad Zin, R., Ferwati, M. S., Mohammed Abdullahi, M. a., Keyvanfar, A., & McCaffer, R. (2017). DEMATEL-ANP Risk Assessment in Oil and Gas Construction Projects. *Sustainability*, 9(8), 1420.
- [20] Mirderikvand, H., Razavian, F., Nakhaee, A., Moradi Ghiasabadi, B., & Gholamnia, R. (2022). A barrier risk-based evaluation model for drilling blowouts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 74, 104624.
- [21] Bourgoyne, A. (1986). Millheim KK Chenevert ME Young Jr. *Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series*, 2.
- [22] Hu, H.-Y., Lee, Y.-C., Yen, T.-M., & Tsai, C.-H. (2009). Using BPNN and DEMATEL to modify importance–performance analysis model – A study of the computer industry. *Expert Systems with Applications*, 36(6), 9969-9979.
- [23] Lam, K., & Zhao, X. (1998). An application of quality function deployment to improve the quality of teaching. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 15(4), 389-413.