

# انتخاب سنگ شکن مناسب برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

رضا کاکائی<sup>i</sup>؛ سید ضیاءالدین شفاei تنکابنی<sup>ii</sup>؛ فرامرز دولتی<sup>iii</sup>؛ محمد کارآموزیان<sup>iv</sup>

## چکیده

انتخاب سنگ شکن اولیه به عنوان اولین دستگاه مورد استفاده در مدار فرآوری اهمیت زیادی دارد و بر کل عملیات فرآوری تاثیرگذار است. به همین دلیل تعیین گزینه‌های مختلف سنگ شکنی و مدل کردن ارتباط بین پارامترهای مؤثر و گزینه‌های مختلف برای انتخاب مطلوب، بویژه در مرحله طراحی ضروری می‌نماید. در این مقاله با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نیز دخالت دادن گزینه‌های مختلف در تصمیم‌گیری، انتخاب سنگ شکن اولیه مناسب برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی بررسی شده است. برای این منظور، معیارهای مختلف کمی و کیفی و همچنین پارامترهای فنی و اقتصادی لحاظ و یک برنامه رایانه‌ای نیز برای محاسبات لازم در این روش تهیه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که این روش در انتخاب تجهیزات فرآوری در مراحل طراحی دقت کافی داشته و می‌تواند در طراحی مدارهای کانه‌آرایی مورد استفاده قرار گیرد.

## کلمات کلیدی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کانه‌آرایی، انتخاب سنگ شکن، فسفات اسفوردی.

## *Selection of an appropriate crusher for Esfordi phosphate complex processing plant by analytical hierarchy process*

R. Kakaie; S. Z. Shafaei Tonkaboni; F. Doulati; M. Karamozian

### ABSTRACT

Selection of a primary crusher as a starting point at mineral processing plants has strategic implications that contribute to the overall operation. Therefore, in design stage, it is necessary to identify and model the links between crusher alternatives and effective factors involved in appropriate selection. In this paper, with regard to the crusher alternatives, analytical hierarchy process has been used to determine a suitable primary crusher for Esfordi phosphate processing plant. To achieve this goal, qualitative, quantitative, technical and economical criteria have been taken into consideration in the crusher selection process. Furthermore, a computer program was developed to perform necessary calculations. The results show that the proposed method can be used as a key tool in design stage of mineral processing plants. In addition, this can provide valuable information in the selection of appropriate equipment.

### KEYWORDS

Analytical hierarchy process, Mineral processing, Crusher selection, Esfordi phosphate.

<sup>i</sup> استادیار دانشکاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، گروه استخراج معدن: R\_kakaie@yahoo.com

<sup>ii</sup> دانشیار دانشکاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، گروه استخراج معدن.

<sup>iii</sup> دانشیار دانشکاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، گروه اکتشاف معدن.

<sup>iv</sup> دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشکاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، گروه استخراج معدن.

سنگ‌شکن اولیه مناسب برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی انتخاب شود.

## ۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، با ساختن سلسله مراتبی شروع و پس از محاسبه ضریب اهمیت معیارها و محاسبه نرخ ناسازگاری سیستم، مناسب‌ترین گزینه انتخاب می‌شود. روش ساختن سلسله مراتبی به صورت ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسأله است که به صورت مختلفی ساخته شده و در آن معمولاً به ترتیب هدف، معیارها (در صورت وجود، زیرمعیارها) و گزینه‌ها نشان داده می‌شود. دریک سلسله مراتبی محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. زیرمعیارهای هر معیار ممکن است بصورت فاصله‌های عددی و یا پارامترهای کیفی مانند زیاد، متوسط و کم باشد [۱۰]. پس از ساخت سلسله مراتبی مسأله مورد نظر، قدم بعدی وزن‌دهی یا محاسبه ضریب اهمیت معیارها است که در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو صورت زیر محاسبه می‌شود:

- محاسبه وزن با اولویت نسبی<sup>۲</sup>
- محاسبه وزن با اولویت نهایی<sup>۳</sup>

برای محاسبه وزن نسبی در تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی<sup>۴</sup> تشکیل می‌شود. تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه یا دو شاخص براساس جدول (۱) صورت می‌گیرد [۲].

یک ماتریس مقایسه زوجی  $A$  به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

تجهیزات سنگ‌شکنی و آسیا از اقلام پر هزینه در طراحی و اجرای کارخانجات کانه‌آرایی است و ضروری است که در ابتدا به درستی انتخاب شوند. یکی از این تجهیزات سنگ‌شکن اولیه است که به عنوان اولین دستگاه مورد استفاده در مدار فرآوری اهمیت زیادی دارد و باید بر اساس عوامل مختلف کمی و کیفی و همچنین با در نظر گرفتن پارامترهای فنی و اقتصادی سنگ‌شکن مناسب را انتخاب کرد. به علت تعدد معیارهای موثر در انتخاب نوع سنگ‌شکن، حل چنین مسأله پیچیده‌ای به راحتی امکان‌پذیر نیست. بویژه آنکه اغلب معیارها با یکدیگر تضاد دارند و افزایش مطلوبیت یک معیار، می‌تواند باعث کاهش مطلوبیت معیارهای دیگر شود. انتخاب سنگ‌شکن مناسب را می‌توان به صورت یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره در نظر گرفت که برای حل آن روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این زمینه یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> است که از یک مبنای قوی نظری برخوردار و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است [۹]. در مدت چند دهه گذشته از این روش برای حل بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است [۳]، [۵ - ۸] و [۱۱]. روش تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۸۰ توسط محقق به نام توماس- ال- ساعتی<sup>۲</sup> ارائه شد. در این روش مسأله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها و زیر معیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده به راحتی بتواند در کوچکترین تصمیم‌گیری دقت نماید. مهمترین قابلیت روش مذکور، توانایی تبدیل ساختار سلسله مراتبی یک مسأله پیچیده چند شاخصه به ساختار بسط داده شده برای درک بهتر تصمیم‌گیرنده از مسأله تصمیم‌گیری است. مهمترین مزیت بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده از مقایسه زوجی برای مشخص کردن اهمیت نسبی گزینه‌ها در ارتباط با هر معیار می‌باشد [۲].

در این مقاله سعی شده است با استفاده از این روش

جدول (۱): طبقه بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها [۲]

امتیاز عددی	مقایسه نسبی شاخص ها ( قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely Preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	Very strongly Preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly Preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately Preferred	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	Equal	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲		ترجیحات بین فواصل فوق

### ۳- مجتمع فسفات اسفوردی

مجتمع معدنی فسفات اسفوردی در استان یزد و در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بافق واقع شده است. مختصات جغرافیایی آن در طول ۵۵°۳۸' شرقی و در عرض ۲۷°۳۱' شمالی واقع است. معدن بوسیله جاده آسفالت به شهرستان بافق متصل می‌گردد و راه آهن چگارت - اصفهان این جاده را در ۱۴ کیلومتری شهرستان بافق قطع می‌کند. میزان ذخیره این معدن در حدود ۱۷ میلیون تن  $P_2O_5$  با عیار متوسط ۱۳/۹٪ برآورد شده که با توجه به مطالعات اکتشافی در دست اجرا پیش‌بینی می‌شود به ۲۲ میلیون تن بالغ گردد. این معدن که دارای ۱/۲٪ عناصر نادر بوده به طریق روباز استخراج می‌گردد و میزان استخراج سالیانه آن ۳۶۰۰۰۰ تن است. کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی، به‌عنوان تنها تولید کننده فسفات در ایران، سالانه ۱۰۳۰۰۰ تن کنسانتره با عیار ۴۸٪  $P_2O_5$  تولید می‌کند [۱].

### ۴- انتخاب سنگ‌شکن مناسب

مراحل انتخاب سنگ‌شکن مناسب برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی با جمع‌آوری و ارزشیابی اطلاعات لازم شروع می‌شود. در جدول (۲) انتخاب‌های ممکن برای سنگ‌شکن اولیه (چهار مورد سنگ‌شکن فکی) برای کارخانه مذکور نشان داده شده است. یادآور می‌شود که در دیگر تأسیسات مشابه فرآوری، سنگ‌شکن ژیراتوری می‌تواند یکی از گزینه‌های مد نظر باشد، اما با توجه به ظرفیت تولید در کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی و نیز با توجه به مقایسه هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و جاری، سنگ‌شکن فکی ترجیح داده شد. بنابراین در جدول مذکور سنگ‌شکن‌های ژیراتوری جزء گزینه‌های ممکن در نظر گرفته نشد. همچنین در این راستا، برای انتخاب سنگ‌شکن اولیه مناسب از میان موارد یاد شده برای این کارخانه، ۱۶ معیار موثر مطابق جدول (۳) در نظر گرفته شده است. در جدول (۴) گزینه‌های مختلف سنگ‌شکنی برای هر یک از ۱۶ معیار موثر با همدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول (۲): گزینه‌های ممکن سنگ‌شکن اولیه برای کارخانه فرآوری

مجتمع فسفات اسفوردی	
گزینه	نوع سنگ‌شکن
A	فکی با بازوی مضاعف <sup>۱</sup>
B	فکی با بازوی ساده <sup>۲</sup>
C	تل‌اسمیت <sup>۳</sup>
D	دوچ <sup>۴</sup>

که در آن  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$ ام نسبت به عنصر  $j$ ام است. در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر، رابطه‌های زیر برقرار است:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \text{و} \quad a_{ii} = 1 \quad (1)$$

در عمل با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی براساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد که روش‌های حداقل مربعات، حداقل مربعات لگاریتمی، بردارهای ویژه و برخی روشهای تقریبی مهمترین آنها به‌شمار می‌روند. از بین این روشها، روش بردار ویژه دقیق‌تر است. در این روش  $W_i$  (وزن عنصر  $i$ ام) به گونه‌ای تعیین می‌شود که رابطه (۲) برقرار باشد:

$$A.W = \lambda.W \quad (2)$$

در این رابطه  $\lambda$  و  $W$  به ترتیب مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی  $A$  است. در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگتر باشد، محاسبه این مقادیر بسیار وقت‌گیر است. از این‌رو برای محاسبه  $\lambda$  مقدار دترمینان ماتریس  $A - \lambda.I$  مساوی با صفر قرار داده می‌شود و با قرار دادن بزرگترین مقدار  $\lambda$  در (۳) مقادیر  $W_i$  محاسبه می‌شود [۱۰].

$$(A - \lambda_{\max}.I) * W = 0 \quad (3)$$

پس از محاسبه وزن نسبی، وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی، از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در امتیاز گزینه مورد نظر بدست می‌آید. مجموع امتیازات بدست آمده برای هر گزینه از رابطه (۴) حاصل می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}.W_j \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

که در آن  $S_i$  وزن نهایی گزینه  $i$ ام،  $a_{ij}$  بیانگر میزان اهمیت نسبی گزینه  $i$ ام به‌ازای شاخص یا معیار  $j$ ام،  $W_j$  نشانگر وزن نسبی معیار  $j$ ام و  $m$  و  $n$  به ترتیب تعداد گزینه‌ها و معیارها است.

همچنین لازم است که مقادیر گزینه‌ها و وزن شاخص‌ها نرمالیزه شود [۱۰].

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} = 1 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

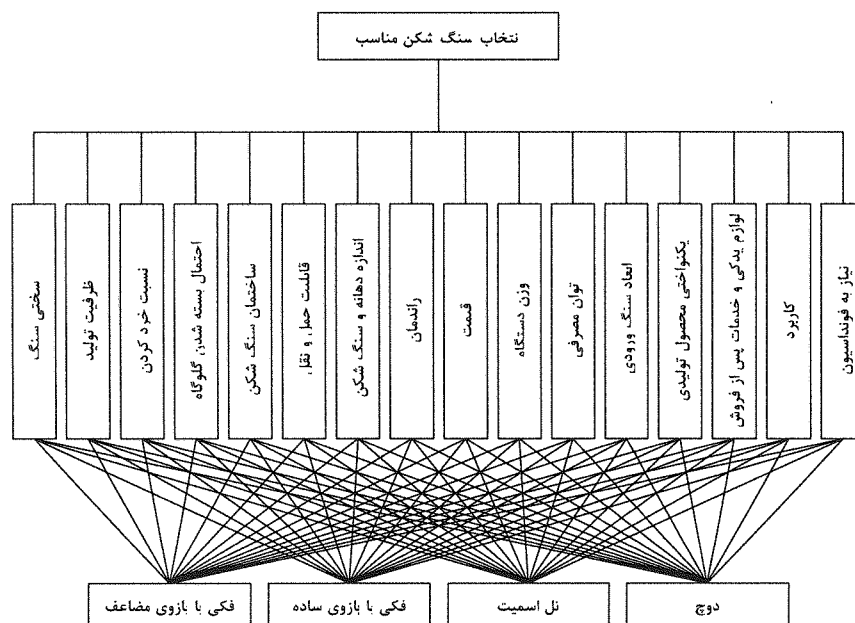
$$\sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad (6)$$

جدول (۳): معیارهای موثر در انتخاب سنگ شکن اولیه

نماد	معیار	نماد	معیار
C <sub>9</sub>	قیمت	C <sub>1</sub>	سختی سنگ
C <sub>10</sub>	وزن دستگاه	C <sub>2</sub>	ظرفیت تولید
C <sub>11</sub>	توان مصرفی	C <sub>3</sub>	نسبت خرد کردن
C <sub>12</sub>	ابعاد سنگ ورودی	C <sub>4</sub>	احتمال بسته شدن گلوگاه
C <sub>13</sub>	یکنواختی محصول تولیدی	C <sub>5</sub>	ساختمان سنگ شکن
C <sub>14</sub>	لوازم یدکی و خدمات پس از فروش	C <sub>6</sub>	قابلیت حمل و نقل
C <sub>15</sub>	کاربرد	C <sub>7</sub>	اندازه دهانه و سایز سنگ شکن
C <sub>16</sub>	نیاز به فونداسیون	C <sub>8</sub>	راندمان

جدول (۴): مقایسه گزینه‌ها برای هر کدام از معیارها

گزینه‌ها				نماد	معیار
D	C	B	A		
کم	کم	متوسط	زیاد	C <sub>1</sub>	سختی سنگ
کم	متوسط	متوسط	زیاد	C <sub>2</sub>	ظرفیت تولید
کم	کم	زیاد	متوسط	C <sub>3</sub>	نسبت خرد کردن
کم	متوسط	زیاد	زیاد	C <sub>4</sub>	احتمال بسته شدن گلوگاه
ضعیف	متوسط	قوی	قوی	C <sub>5</sub>	ساختمان سنگ شکن
متوسط	متوسط	زیاد	کم	C <sub>6</sub>	قابلیت حمل و نقل
کوچک	کوچک	متوسط	بزرگ	C <sub>7</sub>	اندازه دهانه و سایز سنگ شکن
کم	متوسط	زیاد	زیاد	C <sub>8</sub>	راندمان
متوسط	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد	C <sub>9</sub>	قیمت
کم	کم	زیاد	بسیار زیاد	C <sub>10</sub>	وزن دستگاه
کم	متوسط	زیاد	متوسط	C <sub>11</sub>	توان مصرفی
کوچک	کوچک	متوسط	بزرگ	C <sub>12</sub>	ابعاد سنگ ورودی
یکنواخت	غیر یکنواخت	متوسط	غیر یکنواخت	C <sub>13</sub>	یکنواختی محصول تولیدی
کم	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد	C <sub>14</sub>	لوازم یدکی و خدمات پس از فروش
بسیار کم	کم	زیاد	بسیار زیاد	C <sub>15</sub>	کاربرد
بسیار محکم	متوسط	محکم	بسیار محکم	C <sub>16</sub>	نیاز به فونداسیون



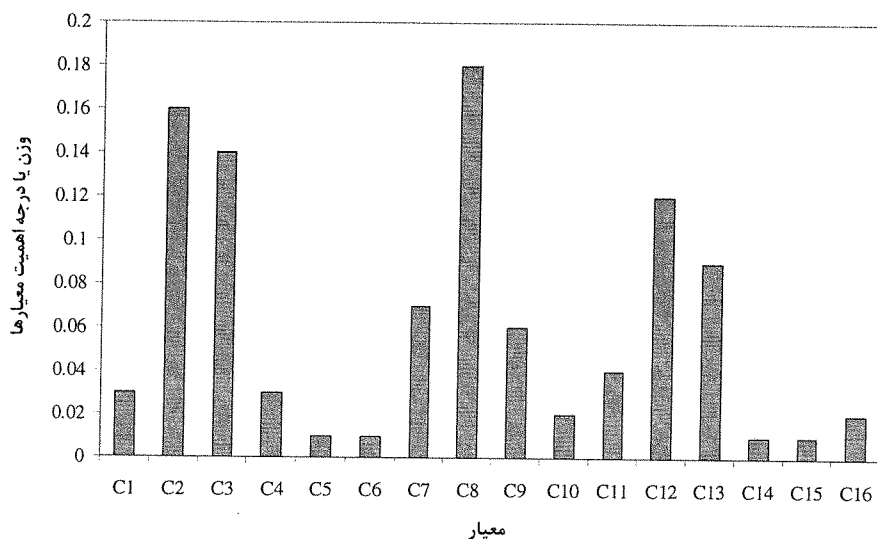
شکل (۱): سلسله مراتب انتخاب مناسب‌ترین سنگ شکن برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی

در شکل (۱) سلسله مراتبی انتخاب مناسب‌ترین سنگ‌شکن برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی نشان داده شده است. با توجه به قضاوت صاحب نظران ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای مختلف براساس جداول (۱) و (۴) برای کارخانه مذکور انجام شده و نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به اینکه نرم‌افزار تجاری موجود به نام Expert Choise [۴]، برای انجام محاسبات روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی قادر به محاسبه ماتریس‌های به ابعاد بیش از ۸×۸ نیست، با تهیه یک برنامه رایانه‌ای بر اساس روش بردار ویژه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ++C، وزن هر کدام از معیارها محاسبه شده است. یادآور می‌شود که در نسخه‌های جدید این نرم‌افزار، محدودیت مذکور بر طرف گردیده است. شکل (۲) وزن یا درجه اهمیت معیارهای مختلف برای انتخاب سنگ‌شکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مهمترین معیارها به ترتیب پارامترهای راندمان، ظرفیت تولید و نسبت خرد کردن هستند.

در شکل (۱) سلسله مراتبی انتخاب مناسب‌ترین سنگ‌شکن برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی نشان داده شده است. با توجه به قضاوت صاحب نظران ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای مختلف براساس جداول (۱) و (۴) برای کارخانه مذکور انجام شده و نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به اینکه نرم‌افزار تجاری موجود به نام Expert Choise [۴]، برای انجام محاسبات روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی قادر به محاسبه ماتریس‌های به ابعاد بیش از ۸×۸ نیست، با تهیه یک برنامه رایانه‌ای بر اساس روش بردار ویژه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ++C، وزن هر کدام از معیارها محاسبه شده است. یادآور می‌شود که در نسخه‌های جدید این نرم‌افزار، محدودیت مذکور بر طرف گردیده است. شکل (۲) وزن یا درجه اهمیت معیارهای مختلف برای انتخاب سنگ‌شکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مهمترین معیارها به ترتیب پارامترهای راندمان، ظرفیت تولید و نسبت خرد کردن هستند.

جدول (۵): مقایسه زوجی بین پارامترها

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$	وزن
$C_1$	1	1/8	1/7	2	5	4	1/3	1/6	¼	3	½	1/6	1/6	7	8	2	0.03
$C_2$	8	1	2	6	8	7	5	½	5	7	6	4	8	9	9	7	0.16
$C_3$	7	½	1	8	9	9	5	1/3	4	7	5	2	7	8	9	6	0.14
$C_4$	½	1/6	1/8	1	5	4	¼	1/6	1/5	3	1/5	1/7	1/7	6	7	2	0.03
$C_5$	1/5	1/8	1/9	1/5	1	½	1/7	1/7	1/8	1/3	1/7	1/8	1/8	2	3	1/5	0.01
$C_6$	¼	1/7	1/9	¼	2	1	1/7	1/7	1/7	½	1/6	1/8	1/7	3	4	¼	0.01
$C_7$	3	1/5	1/5	4	7	7	1	1/5	2	6	4	1/3	½	7	8	6	0.07
$C_8$	6	2	3	6	7	7	5	1	6	8	7	9	5	9	9	7	0.18
$C_9$	4	1/5	¼	5	8	7	½	1/6	1	5	2	¼	1/3	7	8	5	0.06
$C_{10}$	1/3	1/7	1/7	1/3	3	2	1/6	1/8	1/5	1	1/3	1/6	1/6	5	4	½	0.02
$C_{11}$	2	1/6	1/5	5	7	6	¼	1/7	½	3	1	1/5	¼	7	8	3	0.04
$C_{12}$	6	¼	½	7	8	8	3	1/9	4	6	5	1	2	8	9	6	0.12
$C_{13}$	6	1/8	1/7	7	8	7	2	1/5	3	6	4	½	1	8	8	6	0.09
$C_{14}$	1/7	1/9	1/8	1/6	½	1/3	1/7	1/9	1/7	1/5	1/7	1/8	1/8	1	1	1/6	0.01
$C_{15}$	1/8	1/9	1/9	1/7	1/3	¼	1/8	1/9	1/8	¼	1/8	1/9	1/8	1	1	1/7	0.01
$C_{16}$	½	1/7	1/6	½	5	4	1/6	1/7	1/5	2	1/3	1/6	1/6	6	7	1	0.02



شکل (۲): درجه اهمیت معیارهای مختلف در انتخاب سنگ‌شکن

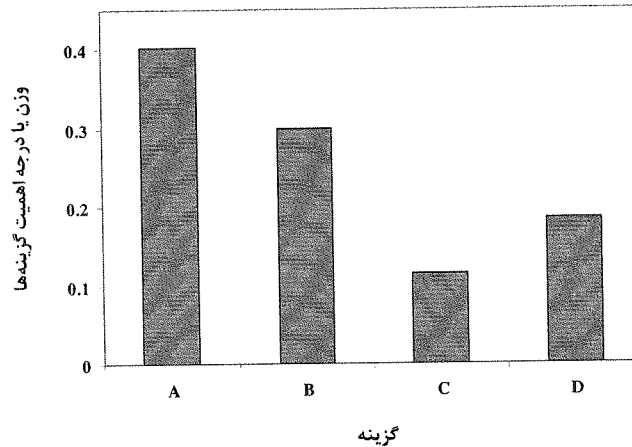
درج شده است. شکل (۳) نیز میزان مناسبت هر گزینه را نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول و شکل مذکور مشاهده می‌شود مناسب‌ترین سنگ‌شکن برای کارخانه مذکور گزینه A یعنی سنگ‌شکن فکی با بازوی مضاعف است.

مقایسه زوجی گزینه‌ها براساس معیارهای مختلف مطابق جدول ۶ صورت گرفته است. براساس این وزندهی و با استفاده از برنامه تهیه شده خصوصیات گزینه‌ها براساس هر معیار نشان داده شده است.

برای گزینه‌های مورد نظر برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی، وزن نهایی هر گزینه محاسبه و در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۷): محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها

	وزن	A	B	C	D
$C_1$	0.03	0.7040	0.1918	0.0521	0.0521
$C_2$	0.16	0.6915	0.1341	0.1341	0.0403
$C_3$	0.14	0.1918	0.7040	0.0521	0.0521
$C_4$	0.03	0.0484	0.0484	0.2494	0.6538
$C_5$	0.01	0.4275	0.4090	0.1243	0.0392
$C_6$	0.01	0.0561	0.6504	0.1468	0.1468
$C_7$	0.07	0.6741	0.1839	0.0710	0.0710
$C_8$	0.18	0.4400	0.4400	0.0797	0.0402
$C_9$	0.06	0.0472	0.1136	0.4196	0.4196
$C_{10}$	0.02	0.0376	0.0870	0.4377	0.4377
$C_{11}$	0.04	0.1459	0.0416	0.1459	0.6667
$C_{12}$	0.12	0.6416	0.2257	0.0663	0.0663
$C_{13}$	0.09	0.0626	0.2351	0.0626	0.6396
$C_{14}$	0.01	0.5602	0.2990	0.0987	0.0421
$C_{15}$	0.01	0.6154	0.2539	0.0928	0.0378
$C_{16}$	0.02	0.3792	0.1848	0.0568	0.3792
وزن نهایی		0.4015	0.3002	0.1142	0.1842



شکل (۳): سنگ‌شکن مناسب برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی با روش تحلیل سلسله مراتبی

دارد، اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه نرخ یا میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر شود [۹]. شاخص ناسازگاری<sup>۱۰</sup>، شاخص ناسازگاری تصادفی<sup>۱۱</sup> و نرخ ناسازگاری<sup>۱۲</sup> سلسله مراتبی با توجه به روابط زیر محاسبه

## ۵- محاسبه نرخ ناسازگاری

محاسبه نرخ ناسازگاری نیز از اهمیت بالایی در روش AHP برخوردار است. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک سیستم بستگی به تصمیم گیرنده

می‌شود.

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (7)$$

$$R.I.I. = 1.98 \frac{n-2}{n} \quad (8)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I.} \quad (9)$$

آمده است. ملاحظه می‌شود که شاخص ناسازگاری و نرخ ناسازگاری برای همه ماتریس‌ها کمتر از ۰/۱ است که این دلالت بر قضاوت منطقی ارائه شده در خصوص مقایسه زوجی پارامترها و گزینه‌ها دارد.

### ۶- نتیجه‌گیری

انتخاب سنگ‌شکن اولیه به دلیل اینکه اولین مرحله مدار فرآوری محسوب شده و بر کل عملیات فرآوری تاثیرگذار است، از جهات اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل در مرحله طراحی ضروری است که معیارهای مختلف کمی و کیفی و همچنین پارامترهای فنی و اقتصادی در انتخاب سنگ‌شکن مناسب از بین گزینه‌های مختلف در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حل مسأله‌های تصمیم‌گیری چند منظوره با موفقیت بکار برده شده است، در این مقاله با بهره‌گیری از این روش و با در نظر گرفتن ۱۶ معیار مختلف کمی و کیفی و نیز دخالت دادن چهار نوع سنگ‌شکن مختلف به عنوان گزینه‌های ممکن در تصمیم‌گیری، به فرموله کردن مسأله انتخاب سنگ‌شکن مناسب برای کارخانه فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی به صورت سلسله مراتبی پرداخته شد. مطالعات فنی انجام شده نشان می‌دهد که سنگ‌شکن فکی با بازوی مضاعف مناسب‌ترین سنگ‌شکن اولیه برای کارخانه مذکور است. همچنین براساس وزن دهی‌های انجام شده، پارامترهای راندمان، ظرفیت تولید و نسبت خرد کردن دارای بالاترین درجه اهمیت هستند. در آخرین مرحله با محاسبه نرخ ناسازگاری مشخص شد که قضاوت ارائه شده در خصوص مقایسه زوجی پارامترها و گزینه‌ها منطقی است.

که در این روابط  $I.I.$  شاخص ناسازگاری،  $R.I.I.$  شاخص ناسازگاری تصادفی،  $I.R.$  نرخ ناسازگاری،  $\lambda_{\max}$  بزرگترین مقدار ویژه ماتریس و  $n$  اندازه ماتریس است.

جدول (۸): مقادیر  $\lambda_{\max}$ ، شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های مختلف

	Weights	$\lambda_{\max}$	$I.I.$	$R.I.I.$
Objective	1	18.1103	0.1407	1.4500
C <sub>1</sub>	0.03	4.2389	0.0796	0.9000
C <sub>2</sub>	0.16	4.2389	0.0796	0.9000
C <sub>3</sub>	0.14	4.2389	0.0796	0.9000
C <sub>4</sub>	0.03	4.2389	0.0796	0.9000
C <sub>5</sub>	0.01	4.2351	0.0784	0.9000
C <sub>6</sub>	0.01	4.0328	0.0109	0.9000
C <sub>7</sub>	0.07	4.0498	0.0106	0.9000
C <sub>8</sub>	0.18	4.0910	0.0303	0.9000
C <sub>9</sub>	0.06	4.1408	0.0469	0.9000
C <sub>10</sub>	0.02	4.1651	0.0550	0.9000
C <sub>11</sub>	0.04	4.1864	0.0621	0.9000
C <sub>12</sub>	0.12	4.0606	0.0202	0.9000
C <sub>13</sub>	0.09	4.2090	0.0697	0.9000
C <sub>14</sub>	0.01	4.2602	0.0869	0.9000
C <sub>15</sub>	0.01	4.2602	0.0867	0.9000
C <sub>16</sub>	0.02	4.2117	0.0706	0.9000

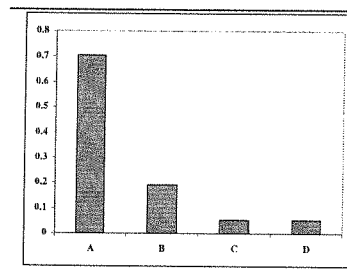
$$I.R. = Ave\left(\frac{I.I.}{R.I.I.}\right) = 0.0829$$

در جدول (۸) مقادیر  $\lambda_{\max}$ ، شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مورد نظر

### ۷- ضمائم

جدول (۶): مقایسه زوجی برای سختی سنگ

	A	B	C	D	وزن
A	1	7	9	9	0.7040
B	1/7	1	5	5	0.1918
C	1/9	1/5	1	1	0.0521
D	1/9	1/5	1	1	0.0521



## ۸- مراجع

- [۱] شرکت معدن زمین؛ طرح استخراج معدن فسفات اسفندی، ۱۳۷۶.
- [۲] قدسی‌پور، حسن؛ ، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ویرایش اول، ۱۳۷۹.
- [۳] Bottero, M.; Peila, D.; "The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between microtunnelling and trench excavation", *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20 (6), 501-513, 2005.
- [۴] Expert Choice; "Advanced decision support software", [www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com), 2000.
- [۵] Han, D.; Han, I.; "Prioritization and selection of intellectual capital measurement indicators using analytic hierarchy process for the mobile telecommunications industry", *Expert Systems with Applications*, 26, 519-527, 2004.
- [۶] Kablan, M., M.; "Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach", *Energy Policy*, 32, 1151-1158, 2004.
- [۷] Kazakidis, V., N.; Mayer, Z.; Scoble, M., J.; "Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering", *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section A*, Vol. 113, pp. A30-A42, 2004.
- [۸] Partovi, F., Y.; Burton, J.; Banerjee, A.; "Application of analytic hierarchy process in operations management", *International Journal of Operations and Production Management*, 10(3), 230-41, 1990.
- [۹] Saaty, T., L.; "The Analytic Hierarchy Process", New York: McGraw-Hill, 1980.
- [۱۰] Saaty, T., L.; "Decision-making for Leaders", RWS Publication, USA, 315P., 1990.
- [۱۱] Samanta, B.; Sarkar, B.; Murherjee, S., K.; "Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process", *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section A*, Vol. 111, pp. A136-A142, 2002.

## ۹- زیرنویس ها

- <sup>۱</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP)
- <sup>۲</sup> Thomas L. Saaty
- <sup>۳</sup> Local Priority
- <sup>۴</sup> Overall Priority
- <sup>۵</sup> Pairwise comparison matrix
- <sup>۶</sup> Double armed jaw crusher
- <sup>۷</sup> Single armed jaw crusher
- <sup>۸</sup> Telesmith
- <sup>۹</sup> Dodge
- <sup>۱۰</sup> Inconsistency Index
- <sup>۱۱</sup> Random Inconsistency Index
- <sup>۱۲</sup> Inconsistency Ratio