تعیین مکان‌های کارا برای تخلیه پساب صنعتی کارخانه تغلیظ معدن مس سونگون با رویکردی چندهدفه بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای

جعفر عبدالهی شریف[1]، امیر جعفرپور*[2]، ساموئل یوسفی[3]

1- دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه

3- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه

(دریافت: آبان 1394، پذیرش: اسفند 1394)

چکیده

امروزه جهت پاکسازی نقاط آلوده به انواع آلاینده‌ها، روش‌هایی نظیر فرآیندهای گیاه‌پالایی کاربرد فراوانی یافته‌انـد. در همین راستا در این پژوهش، انتخاب مناسب‌ترین مکان و مقاوم‌ترین گونه کشت برای ایجاد مزارع کشاورزی با آبیاری از طریق پساب کارخانه تغلیظ مجتمع مس سونگون، مورد بررسی قرار گرفته است. علت مکان یابی مزارع در پیرامون معدن مـذکور، علاوه بر استفاده بهینه از منابع آبی و پساب خروجی کارخانه، کاهش عوارض مخرب زیست‌محیطی پساب کارخانه است که به عنوان تهدیدی برای جنگل‌های ارسباران مجاور معدن، محسوب می‌شود. در این پژوهش، از رویکردی چندهدفه برای مد نظر قرار دادن اهداف مهم مدیریتی نظیر کمینه‌سازی هزینه و آب مصرفی و بیشینه‌سازی درآمد و کارایی نقاط منتخب اسـتفاده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که برای ارزیابی کارایی مکان‌های کاندیدا در مدل چندهدفه، از روش تحلیل پوششی توسعه‌یافته بر مبنای روش تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها با ماهیت داده‌های بازه‌ای بهره گرفته شده است. حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه ارائه‌شده، با یکپارچه سازی اهداف چهارگانه با استفاده از روش معیار جامع وزن‌دار انجام شده اسـت، در نهایـت بـا بررسـی مطالعه‌ی موردی، نحوه استفاده و تجزیه و تحلیل مدل ارائه‌شده تشریح و اعتبارسنجی مدل برای معدن مس سونگون مـورد تحلیل قرار گرفته است.

واژگان کلیدی

برنامه‌ریزی چندهدفه، تحلیل پوششی داده‌ها، داده‌های بازه‌ای، مکان‌یابی مزارع کشت، معدن مس سونگون

ارجاع به این مقاله:

عبدالهی شریف، ج.، جعفرپور، الف.، یوسفی، س.، (1394)، تعیین مکان‌های کارا برای تخلیه پساب صنعتی کارخانه تغلـیظ معـدن مـس سـونگون بـا رویکردی چندهدفه بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، 5(10)، 93-109.

* عهده دار مکاتبات: amir.jafarpour@mie.uut.ac.ir

1- مقدمه

امروزه حفظ محیط زیست از مسائل بسیار مهم در کشورهای صنعتی محسوب می‌شود. صنعت معدنکاری، مواد لازم برای حیات و پیشرفت بشر را فراهم می‌کند اما از طرف دیگر با افزایش آلودگی‌ها، امکان حیات و استفاده از محیط‌زیست سالم را از بشر سلب می‌کند. با استخراج هر چه بیشتر از معادن و وسیع‌تر شدن فضای عملیاتی آنها، وسعت زمین‌های تحت تأثیر فعالیت‌های معدنکاری روز به روز افزایش می‌یابد. با این اوصاف، استخراج، فراوری مواد معدنی و عملیات وابسته به آنها در دسته ی فعالیت‌هایی با قابلیت آسیب‌رسانی به طبیعت محسوب می‌شوند؛ بنابراین تصمیماتی که در رابطه با معدن و فعالیت‌های مربوط به آن اتخاذ می‌شود، بسیار حائز اهمیت است. آلودگی آب به مواد سمّی و شیمیایی در فرایند تصفیه، تغلیظ و ذوب، از معضلات زیست‌محیطی به شمار می‌آید. فرآیندهای هیدرومتالورژی به‌طور حتم منجر به ایجاد مایعات دور ریز و مواد جامد ناخواسته می‌شود. قبل از هر اقدامی، این مواد باید تحت عملیات بیشتری قرار گیرند؛ چرا که رهاسازی ناخواسته‌ی این مواد می‌تواند یک فاجعه زیست‌محیطی را رقم بزند.

پساب کارخانه تغلیظ معدن مس سونگون نیز همانند سایر پساب‌های صنعتی، عوارض مخربی را به همراه دارد. تأثیرات منفی زیست‌محیطی معدن و به‌ویژه کارخانه تغلیظ این مجتمع بر جنگل‌های ارسباران- که در مجاورت معدن قرار گرفته و به عنوان زیست‌کره زنده در فهرست‌های جهانی ثبت شده است- واضح و مبرهن است. خنثی‌سازی و تصفیه این پساب، نه‌تنها موجب کاهش تأثیرات منفی و مخرب آن می‌شود، بلکه علاوه بر بازیابی آب موجود در پساب و بازگشت مجدد آن به چرخه کارخانه، می‌توان از رطوبت همراه پالپ ته‌ریز تیکنر، جهت آبیاری گونه‌های گیاهی بیش‌انباشتگر خاصی بهره برد. در این پژوهش، به بررسی فرآیندهای مختلف کارخانه تغلیظ مس سونگون اشاره می‌شود و خواص پساب خروجی کارخانه (ته‌ریز تیکنر) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. سپس با توجه به سازگاری روش‌های گیاه‌پالایی با محیط معدن و با انتخاب گونه گیاهی مناسب، به مکان‌یابی مزارع کشت گونه انتخاب‌شده جهت آبیاری با پساب کارخانه تغلیظ پرداخته می‌شود.

مکان‌یابی مزارع کشت، به‌ویژه در محیط اطراف معادن، از جمله مهم‌ترین مسائلی است که با توجه به مسائل فنی و اقتصادی مختلف، باید به بهترین نحو ممکن انجام گیرد. تأثیر پارامترهای گوناگون در تصمیم‌گیری بهینه جهت انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های پیشنهادی، با توجه به تعدد معیارها و تأثیر مجزا و بعضاً وابسته آنها، دشواری کار را دوچندان می‌کند. در راستای انتخاب بهترین مکان برای استقرار مزارع کشت گیاهان مزروعی جهت آبیاری با پساب معدن مس سونگون، باید همه‌ی ابعاد مسئله از لحاظ اهداف و معیارهای ارزیابی مدیریت، مورد بررسی قرار گیرد. بدین جهت در این تحقیق از رویکردی چندهدفه برای مدنظر قرار دادن اهداف مهم مدیریتی نظیر کمینه‌سازی انواع هزینه و بیشینه‌سازی درآمد و کارایی نقاط منتخب استفاده می‌شود. همچنین، با توجه به اهمیت مفهوم کارایی و هدف حداکثرسازی آن، از روش تحلیل پوششی داده ها برای تجمیع اهمیت شاخص‌های ارزیابی هر مکان کاندیدا بهره گرفته می‌شود. دلیل انتخاب این است که روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند با در نظر گرفتن تعدادی از نسبت ها به عنوان ورودی و تعدادی به عنوان خروجی، همه نسبت‌ها را به یک معیار به نام کارایی تبدیل کند که می توان مقایسه و ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیری (در اینجا مکان کاندیدا) را بهتر انجام داد. همچنین، به دلیل وجود عدم قطعیت در میزان شاخص های ارزیابی هر مکان کاندیدا، رویکرد تحلیل پوششی داده‌های مذکور به صورت روشی غیردقیق با ماهیت داده های بازه‌ای توسعه داده شده است و در محاسبه کارایی هر مکان کاندیدا به کار گرفته می‌شود.

2- مرور ادبیات

در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت موضوع مکان‌یابی و تأثیرات فنی و اقتصادی آن، روش‌های مختلفی با ابزارهای تصمیم‌گیری متنوع ارائه شده و توسعه یافته‌اند. در مسائل تصمیم‌گیری از جمله مسئله مکان‌یابی، در نظر گرفتن ابعاد مختلف گزینه‌های مورد بررسی یعنی مکان‌های کاندیدا امری ضروری است؛ زیرا این موضوع می‌تواند منجر به

انتخاب گزینه مناسب از لحاظ معیارهای مختلف شود. در این میان، بررسی گزینه‌ها از منظر معیارهای مختلف به سادگی امکان‌پذیر نیست. به همین جهت تحقیقات و مطالعات کاربردی مختلفی در این راستا انجام گرفته است که در ادامه بررسی می‌شوند.

کلیمبرگ و راتیک[1][1]، در پژوهشی به تجزیه و تحلیل مکان‌یابی با استفاده از مدلسازی پوششی داده‌ها (*DEA*[2]) پرداخته‌اند. آنها به توسعه و فرموله کردن مدلسازی مکان‌یابی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در راستای یافتن الگوهای مکان‌یابی تسهیلات بهینه و کارا پرداخته و در تحقیق خود اشاره نموده‌اند که روش آنها برای اندازه‌گیری بهره‌وری، به طور همزمان با سایر اهداف مدلسازی مکان‌یابی، با رویکردی چندهدفه، حل مسائل مکان‌یابی را بهبود می‌دهد. آزاده و همکاران[2]، بهینه‌سازی محل نیروگاه‌های خورشیدی را با به‌کارگیری *DEA PCA*[3] مطالعه کرده‌اند. آنها رویکرد *DEA* سلسله مراتبی یکپارچه ترکیبی را برای جانمایی تأسیسات مذکور ارائه کرده‌اند. این اولین پژوهشی بوده است که در آن رویکرد یکپارچه‌ی *DEA* سلسله مراتبی برای بهینه‌سازی موقعیت جغرافیایی تأسیسات خورشیدی به کار گرفته شده است. افشاری و همکاران[3]، رویکردی چندهدفه برای حل مسئله مکان‌یابی پیشنهاد داده‌اند. در پژوهش آنها، یک فرمول چندهدفه‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط(*MIP*[4]) برای حل مسائل مکان یابی درون شبکه‌ای ارائه شده است. آزاده و همکاران[4]، در پژوهشی دیگر، بهینه‌سازی محل نیروگاه‌های بادی در ایران را با روش سلسله مراتبی تحلیل پوششی داده‌ها انجام داده‌اند. مطالعه آنها یک رویکرد یکپارچه با تحلیل پوششی سلسله مراتبی داده‌ها ارائه کرده است. همچنین آنها از دو روش چندمتغیره یعنی آنالیز اجزای اصلی(*PCA*) و تاکسونومی عددی(*NT*[5]) برای اعتبارسنجی نتایج مدل *DEA* استفاده کرده‌اند. خدیوی و فاطمی قمی[5] محل انباشت زباله‌های جامد را با استفاده از فرآیند شبکه تحلیلی و روش تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کرده‌اند. این محققان تکنیکی ارائه نموده‌اند که به طور مؤثر می‌تواند اولویت‌های مدیریتی و داده‌های انتزاعی را همراه با پارامترهای کمّی تلفیق کند. ابزار مطرح‌شده، متکی بر استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای(*ANP*[6]) است که برای کمک به تلفیق ارزیابی مدیریتی به یک ابزار تصمیم‌گیری کمّی، در تحلیل پوششی داده‌ها اعمال شده است. همچنین بررسی مکان‌یابی برای تثبیت مؤثر خدمات در بخش سلامت با استفاده از روش *DEA* ترکیبی توسط میتروپولوس[7] و همکاران[6]، انجام گرفته است. روش آنها که برای تعیین مکان ارائه‌دهندگان خدمات سلامت و تخصیص خدمات است، با رویکردی در راستای روش تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی عدد صحیح (*IP*[8]) است که برای مدل‌های تخصیص مکان بوده و می‌تواند به عنوان ابزار ارزیابی فوری برنامه‌ریزی بلندمدت مورد استفاده قرار گیرد. کرباسیان و همکاران[7]، مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی تسهیلات حساس را ارائه نموده‌اند. در پژوهش آنها، حداکثر پراکندگی مکان‌های تسهیلات بر اساس اصول پدافند غیرعامل (افزایش کارآیی نقاط کاندیدا و کاهش ضریب خطا) مدّ نظر قرار گرفته و پیشنهاد کرده‌اند که برای این امر از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شود. در تحقیقی دیگر، طراحی مدل‌های چندهدفه مکان‌یابی، بر اساس پراکندگی تسهیلات چندنوعه و تحلیل پوششی داده‌ها با روش حل برنامه‌ریزی آرمانی فازی توسط کرباسیان و دشتی[8] ارائه شده است. آنها به منظور انتخاب نقاطی با بیشینه پراکندگی و بیشینه کارایی از مدل تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها و جهت رسیدن به تصمیم خوب با توجه به شرایط مسئله از برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای یکپارچه‌سازی اهداف استفاده کرده‌اند؛ زیرا در مرحله ایجاد مدل‌های ترکیبی نمی‌توان از مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمود. آزاده و همکاران[9]، در مطالعه‌ای دیگر بهسازی محل سکونت نیروگاه‌های بادی تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از *DEA* فازی سلسله مراتبی پرداخته‌اند. آنها رویکردی یکپارچه از ترکیب شاخص‌های مربوطه را برای مکان‌یابی فوق ارائه کرده‌اند و از *PCA* و *NT* به عنوان دو روش چندمتغیره برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل *DEA* بهره گرفته‌اند. در نهایت، بهینه‌سازی محل کشت گونه گیاهی جاتروفا کارکس[9] توسط بابازاده و همکاران[10] انجام گرفته است. در مطالعه مذکور، با هدف بررسی مناطق مناسب جهت کشت این گونه گیاهی، مدل تحلیل پوششی داده‌های غیرشعاعی ارائه شده است.

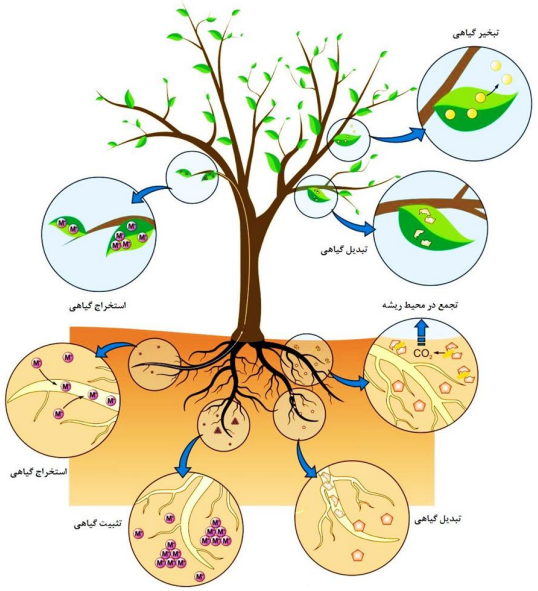
3- خنثی‌سازی، تصفیه طبیعی و استفاده مجدد از پساب معادن

در سال‌های اخیر، با توجه به مباحث زیست‌محیطی، روش‌های گوناگونی جهت خنثی‌سازی و تصفیه پساب‌های صنعتی- معدنی و حتی زهاب‌های اسیدی معادن ارائه و به کار گرفته شده‌اند. روش‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی برای پالایش آب و خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به کار برده شده‌اند که اغلب آنها، علاوه بر هزینه زیاد، سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک می‌شوند. بنابراین بهتر است تا حد ممکن از روش‌های بیولوژیکی مناسب، طبیعی و مقرون به صرفه و برجا استفاده شود[11]. فرآیندهای پیشرفته‌تر که با نام «روش‌های فعال» نیز شناخته می‌شوند، شامل: الکترودیالیز (دور کردن انتخابی یون‌ها توسط غشاها)، اسمز و اسمز معکوس (دور کردن باطله از عوامل تولید اسید توسط غشاها)، تبدیل یونی (دور کردن یون‌ها با استفاده از رزین‌ها)، الکترولیز (بازیافت فلز با الکترودها) و استخراج با حلّال (دور کردن یون‌های خاصی به کمک حلّال) می‌شوند. تمامی روش‌های مکانیکی- شیمیایی مذکور، علاوه بر نیاز به دانش فنی پیچیده، نیاز به تجهیزات مهندسی خاصی دارند که هزینه‌های عملیاتی کلانی را در پی دارند[13،12].

از این‌رو گیاه‌پالایی، بهترین روش در مناطقی با آلودگی‌های سطحی از مواد آلی، مواد مغذی، فلزات سنگین و آلاینده‌های فلزی است. این فناوری شامل حذف، غیرسمّی کردن یا تثبیت آلاینده‌های زیستی در محیط رشد (مجموعه خاک، آب یا رسوبات) به‌وسیله فعالیت‌ها یا فرآیندهای طبیعی، بیولوژیکی، شیمیایی یا فیزیکی گیاهان است. سامانه‌های طبیعی تصفیه پساب و فاضلاب به سه دسته اصلی آبی، زمینی و وتلند[1] (نیزارهای طبیعی و مصنوعی) طبقه‌بندی می‌شوند. تمامی این روش‌ها بر پایه مکانیسم‌های طبیعی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام می‌شوند[15،14]. در این فرآیند با شناسایی قابلیت گونه‌های مختلف در جذب یون‌های آلاینده محیط، نوعی از پوشش گیاهی که قابلیت جذب مقادیر بالاتری از یون‌های مورد نظر را دارد، شناسایی شده و پس از کاشت بوته و گیاه مورد نظر در منطقه، حذف یون‌های آلاینده از خاک یا آب از طریق جذب در برگ‌ها یا ساقه گیاهان انجام می‌شود.

در مواردی، ممکن است یون‌های فلزی متمرکزشده در خاکستر برجامانده از سوزاندن ساقه و برگ این گیاهان، به عنوان منبعی برای بازیابی آن قابل استفاده باشد. نمونه‌های متعددی از مطالعات میدانی گیاه‌پالایی در رفع آلودگی‌های یون‌های فلزات سنگین ناشی از معادن و صنایع معدنی در کشورهای مختلف انجام شده است و هم‌اکنون در حال اجراست.

تاکنون گیاهان بیش‌انباشتگر زیادی به منظور پالایش و تصفیه مناطق صنعتی و آلوده شناسایی و معرفی شده‌اند. به طوری که امروزه بیش از 163 گونه گیاهی متعلق به 45 خانوده با توانایی رشد بر روی غلظت‌های بالای فلزات شناسایی شده‌اند که اکثر این گونه‌های گیاهی متعلق به گروه گیاهان خوراکی، مزروعی، مرتعی و زینتی هستند[16]. توزیع و گسترش این گیاهان بی‌مانند، به خاک‌های غنی از فلزات سنگین که در اثر فرآیندهای معدنی طبیعی و یا در نتیجه استخراج و یا ذوب منابع فلزی به وجود می آیند، محدود است. به طور کلی، گیاهان در تصفیه محیط زیست، چندین فرآیند اصلی را به کار می‌برند که شامل استخراج گیاهی[11]، تثبیت گیاهی[12]، تغییر شکل گیاهی، تجمع در محیط ریزوسفری گیاه توسط فعالیت میکروب‌های خاک، تبخیر گیاهی[13] و پالایش ریشه‌ای[14] که فیلتر کردن آب از توده‌ی ریشه‌ها توسط گیاه است (شکل1)[17].



شکل1: فرآیندهای مختلف گیاه‌پالایی

4- تحلیل پوششی داده‌های غیردقیق

در دنیای امروزی، تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یکی از روش‌های مهم برای سنجش کارایی فرایندها مطرح شده است. کارایی در مفهوم عام به معنای درجه و کیفیت رسیدن به مجموعه اهداف مطلوب است[18]. این روش توسط فارل[15][19] در سال 1957 با اندازه‌گیری عملکرد یک واحد تولیدی ارائه شده است. مدل مورد بررسی وی، تنها یک ورودی و یک خروجی را در نظر می‌گرفت و نتوانست مدل خود را در حالت چند ورودی و چند خروجی توسعه دهد. در ادامه، محققان دیگر نظیر لی و همکاران[16][20]، مدل فارل را توسعه دادند و مدلی را پیشنهاد دادند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و خروجی را داشت و این مدل، تحلیل پوششی داده‌ها نام گرفت. به طور کلی، دلیل مقبولیت روش تحلیل پوششی داده‌ها، امکان بررسی روابط پیچیده و اغلب نامعلوم بین چندین ورودی و خروجی است که منجر به استفاده این روش در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی شده است. از جمله این موارد می‌توان به کاربردهای آن در بررسی شبکه بهداشتی درمانی[21]، صنعت خودرو[22]، زنجیره تأمین[23]، انرژی‌های تجدیدپذیر[24]، سیستم‌های حمل و نقل شهری[25] و بانک‌ها[26] اشاره نمود. از طرف دیگر در روش تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از مدل‌های ریاضی، کارایی یک واحد نسبت به واحدهای دیگر بیشینه می‌شود، یعنی کارایی نسبی هر واحد تصمیم‌گیری (DMU[17]) بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌های آن مورد سنجش قرار می‌گیرد؛ اما باید توجه نمود که واحدهای مورد ارزیابی باید کاملاً هم‌ارز (یعنی دارای ورودی‌ها و خروجی‌های کاملاً مشابه) باشند.

از سوی دیگر، گسترش عدم اطمینان در زندگی روزمره موجب شد تا تحلیل پوششی داده‌های غیردقیق اهمیت بیشتری پیدا کند. در این مدل‌ها این فرض وجود دارد که مقدار عددی دقیقی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها مشخص نبوده و مقیاس سنجش آنها نسبی است[28،27]. مدل معمولی DEA نمی تواند داده‌های مبهم را پشتیبانی کند، اما تحلیل پوششی داده‌های غیر دقیق می‌تواند داده های ترتیبی و اصلی را در نظر بگیرد[29]. برای اولین بار کوپر و همکاران[18][28]، در تحقیق های خود، اصطلاح «تحلیل پوششی داده‌های غیردقیق» را معرفی کردند. در همین راستا، دسپوتیس و اسمیرلیس[19][29]، مدل CCR را توسعه دادند و مدلی ارائه کردند که واحدها را با در نظر گرفتن داده‌های بازه‌ای ارزیابی می‌کند. این محققان در پژوهش خود، مدل ابتدایی را توسعه داده و مدلی ارائه کردند که واحدها را با در نظر گرفتن داده‌های بازه‌ای و رتبه‌ای ارزیابی می‌کند. ژو[20][27] نیز محدودیت‌هایی برای داده‌های غیردقیق به مدل CCR وارد کرده و مدل غیرخطی حاصل را با تغییر متغیر خطی نمود. کائو[21][30] در راستای در نظر گرفتن داده‌های بازه‌ای در تحلیل پوششی داده‌ها، یک جفت مدل برنامه‌ریزی ریاضی درجه دو ارائه نمود که مقدار مرز یا حدود پایینی و بالایی نمرات بهره‌وری را نشان می‌دهد. وی بر اساس مفهوم کارایی تولید و با استفاده از یک تکنیک تعویض متغیر، این جفت مدل غیرخطی درجه دو را به یک جفت از مدل خطی درجه یک عادی تبدیل کرد. جهانشاهلو و عباسیان[31] نیز یک روش جایگزین برای برخورد با داده‌های اصلی مبهم در تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاد کرده و برای تبدیل یک مدل غیر خطی DEA به معادل برنامه‌ریزی خطی، از تبدیلات متغیر استفاده نمودند.

5- مدل پیشنهادی

در این بخش با توجه به بیان مسئله صورت‌گرفته، مدلی چندهدفه برای مکان‌یابی مزارع کشت گیاهان مزروعی در پیرامون مجتمع مس سونگون جهت آبیاری با پساب کارخانه تغلیظ بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای ارائه خواهد شد. برای ارزیابی کارایی گزینه‌های تصمیم‌گیری در مدل پیشنهادی، از روش تحلیل پوششی توسعه‌یافته بر مبنای روش تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها[22][1] با ماهیت داده‌های بازه‌ای استفاده می‌شود. دلیل این موضوع این است که در برخی موارد به علت ازدیاد تعداد واحدهای تصمیم‌گیری، باید تعداد زیادی مدل برنامه‌ریزی خطی نوشته شود و زمان حل مسئله افزایش چشمگیر می‌یابد. برای حل این مشکل، کلیمبرگ و راتیک[23][1] در سال 2008، در تحقیق خود در زمینه مدل‌های ترکیبی مکان‌یابی- تحلیل پوششی داده‌ها، مدل زیر را با عنوان تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها حاصل از توسعه مدل تحلیل پوششی داده‌های کسری

خطی چارنز و همکاران[32] ارائه نمودند کـه در آن متغیـر جدیدی به نام d_k (سطح ناکارایی k امین واحد تصمیم‌گیر) را تعریف کرده بود:

$$Max\ Z_1 = \sum_{k=1}^{K}(1-d_k)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{m=1}^{M} V_{km} I_{mk} = 1\ ,\ \forall k$$

$$\sum_{n=1}^{N} U_{kn} O_{nk} + d_k = 1\ ,\ \forall k$$

$$\sum_{n=1}^{N} U_{kn} O_{nk} - \sum_{m=1}^{M} V_{km} I_{mk} \le 0\ ,\ \forall k$$

$$U_{kn}, V_{km}\ ,\ \forall m, n, k$$

در مدل بالا، O_{nk} نشان‌دهنده n امین خروجی واحد k و I_{mk} نشان‌دهنده m امین ورودی واحـد k اسـت. متغیرهـای d_k، U_{kn} و V_{km} به ترتیب نشان‌دهنده عدم کـارایی k امـین واحد تصمیم‌گیـری، وزن خروجـی n ام و وزن ورودی m ام واحد k هستند. به دلیل استفاده از حالت توسعه‌یافته مـدل مذکور در این تحقیـق، محـدودیت‌هـای مربوطـه در ادامـه بررسی می‌شود.

با توجـه بـه توضـیحات ارائـه‌شـده، در گـام اول، مـدل پیشنهادی بر اساس روش تجمیع همزمان تحلیل پوششـی داده‌های دقیق و بر اساس فرضیات، شاخص‌ها، پارامترهـا و متغیرهای تصمیم‌گیری ارائه‌شده در جدول 1 فرموله‌بنـدی می‌شود. در گام دوم نیز، مـدل پیشـنهادی بـالا بـه‌صـورت مدلی بـر مبنـای روش تجمیـع همزمـان تحلیـل پوششـی داده‌های غیردقیق (بازه‌ای) توسعه یافته و ارائه خواهد شد.

جدول1: فرضیات، شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مدل پیشنهادی

فرضیات	
در فرآیند ارزیابی، ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیری به‌صورت غیردقیق و بازه‌ای در نظر گرفته می‌شوند.	
اندیس‌ها	
k : مجموعه نقاط کاندیدا برای ایجاد مزارع (k=1,2,…,K)	
m : مجموعه ورودی هر واحد تصمیم‌گیری (m=1,2,…,M)	n : مجموعه خروجی هر واحد تصمیم‌گیری (n=1,2,…,N)
پارامترها	
N : حداکثر تعداد انتخاب	B (بودجه در دسترس): منظور میزان بودجه‌ای است کـه بـرآورد مـی‌شـود مـدیران مجتمع مس سونگون جهت ایجاد مزارع مذکور در اختیار کارگروه اجرای طـرح قـرار دهند.
W (میزان آب مصرفی به ازای هر تن): میزان آب مورد نیـاز برای تولید هر تن محصول	P (قیمت تضمینی فروش محصول به ازای هر تن): منظور قیمت مصوب سازمان‌های دولتی مرتبط با امر کشاورزی و تجارت آن است که هر ساله نرخ خرید هر محصول از کشاورزان از سوی وزارت مربوطه و ارگان‌ها و نهادهای وابسته اعلام می‌شود.
C_k (هزینـه ثابـت انتخـاب مکـان کاندیـدای k ام): شـامل هزینـه‌هـای راه‌انـدازی و آمـاده‌سـازی مـزارع، ایجـاد جـاده دسترسی، تسطیح، پاک‌سازی محدوده مزرعـه از سـنگ‌هـای درشت، ساخت ایستگاه پمپاژ، ساخت مخازن آب و غیره.	CV_k (هزینه متغیر انتخاب مکان کاندیدای k ام): هزینه‌هایی که به ازای تولید هر تن محصول صرف می‌شود؛ شامل هزینه بذر، شخم و هزینه‌های مرتبط با مراحل کاشت، داشت و برداشت محصول، کود مصرفی و غیره.
A_k (مساحت مزرعه): مساحت محدوده پیشنهادی کـه بـرای تبدیل شدن به مزرعه دارای شرایط خاصـی بـوده و مسـتعد انجام عملیات کشاورزی مرتبط با گونه گیاهی زراعی مورد نظر باشد.	α_k (میزان برداشت محصول): منظور برآورد میزان محصول تولیـدی از هـر هکتـار مزرعه بر حسب تن است که بر اساس نظر کارشناسان مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و نیز با بررسی پارامترهایی نظیر نوع خاک و شرایط آب و هوایی و همچنین میـزان تولید مزارع روستاهایی که در پیرامون مجتمع مس سـونگون قـرار دارنـد، بـرآوردی نسبی و تقریبا نزدیک به واقعیت محاسبه شده است.
I_{mk}: *مقدار m امین ورودی مکان کاندیدای k ام*	O_{nk} : مقدار n امین خروجی مکان کاندیدای k ام
I^U_{mk}: حد بالای مقدار m امین ورودی مکان کاندیدای k ام	I^L_{mk}: حد پایین مقدار m امین ورودی مکان کاندیدای k ام
O^U_{nk}: حد بالای مقدار n امین خروجی مکان کاندیدای k ام	O^L_{nk}: حد پایین مقدار n امین خروجی مکان کاندیدای k ام
M : عدد بسیار بزرگ	ε: عدد بسیار کوچک

ادامه‌ی جدول1: فرضیات، شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مدل پیشنهادی

متغیرهای تصمیم‌گیری	
y_k : متغیر دوتایی برای مکان کاندیدای k ام	e_k : میزان عدم مکان کاندیدای k ام
V_{km} : وزن m امین ورودی مکان کاندیدای k ام	U_{kn}: وزن n امین خروجی مکان کاندیدای k ام
v_{km} : وزن m امین ورودی مکان کاندیدای k ام (تغییر متغیر)	u_{kn}: وزن n امین خروجی مکان کاندیدای k ام (تغییر متغیر)

مدل چندهدفه پیشنهادی برای مسئله مکان‌یابی و بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های دقیق به شرح زیر است:

$$Max\ Z_1 = \sum_{k=1}^{K}(1-e_k) \quad (1)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{k=1}^{K} C_k y_k + \sum_{k=1}^{K} CV_k A_k \alpha_k y_k \quad (2)$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{k=1}^{K} PA_k \alpha_k y_k \quad (3)$$

$$Min\ Z_4 = \sum_{k=1}^{K} WA_k \alpha_k y_k \quad (4)$$

تابع هدف اول یعنی Z_1 به دنبال بیشینه‌سازی مجموع کارایی انتخاب مکان‌های کاندیدا برای استقرار مزارع است. تابع هدف دوم یعنی Z_2 به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های ثابت و متغیر در صورت استقرار مزارع در مکان‌های کاندیدای منتخب است. تابع هدف سوم یعنی Z_3 به دنبال بیشینه‌سازی درآمد حاصل از فروش محصولات برداشت‌شده از مزارع مستقرشده در مکان‌های کاندیدای منتخب است. تابع هدف چهارم یعنی Z_4 به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های ناشی از مصرف آب مورد نیاز در صورت استقرار مزارع در مکان‌های کاندیدای منتخب است. لازم به توضیح است که تابع هدف چهارم در این تحقیق به گونه‌ای در نظر گرفته شده است تا اثرگذاری استفاده از پساب صنعتی کارخانه تغلیظ معدن در مدل ارائه شده به خوبی نشان داده شود. همانطور که بیان شد در این تحقیق برای مدلسازی مسئله مکان‌یابی، برنامه‌ریزی چندهدفه به کار گرفته شده است و در ادامه نیز برای حل مدل مذکور از روش معیار جامع وزن‌دار استفاده می‌شود تا عملکرد توابع دوم و چهارم به صورت جداگانه در مجموعه‌های وزنی متفاوت (بر اساس نظر تصمیم گیرنده) برای حل مسئله مکان‌یابی مورد بررسی قرار گیرد. محدودیت‌های مرتبط با اهداف مذکور نیز در ادامه ارائه شده است.

رابطه (5) تضمین می‌کند که مجموع موزون ورودی‌های هر واحد تصمیم‌گیر (مکان‌های کاندیدا) برابر با متغیر صفر و یک باشد. رابطه (6) میزان عدم کارایی را به ازای مجموع موزون خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیر (مکان‌های کاندیدا) نشان می‌دهد. رابطه (7) نشان می‌دهد که مجموع موزون خروجی‌ها باید کم‌تر از مجموع موزون ورودی‌های متناظر خودش باشد. رابطه (8) تضمین می‌کند که حداکثر N مکان کاندیدا انتخاب شوند. رابطه (9) تضمین می‌کند که مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر، حداکثر برابر بودجه در دسترس مدیریت باشد. روابط (10) و (11) تضمین می‌کنند که وزن ورودی‌ها و خرووجی‌ها غیرمنفی باشند. رابطه (12) نیز تضمین می‌کند که خروجی موزون برای هر مکان کاندیدا و هر نوع خروجی، کم‌تر یا مساوی با یک باشد. روابط (13) و (14) برای تعریف نوع متغیرها استفاده می‌شود و محدودیت‌های علامتی هستند.

$$\sum_{m=1}^{M} V_{km} I_{mk} = y_k \ , \ \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^{N} U_{kn} O_{nk} + e_k = y_k \ , \ \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^{N} U_{kn} O_{nz} - \sum_{m=1}^{M} V_{km} I_{mz} \le 0 \ , \forall k, \forall z (k \ne z) \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_k \le N \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^{K} C_k y_k + \sum_{k=1}^{K} CV_k A_k \alpha_k y_k \le B \quad (9)$$

$$U_{kn} \ge \varepsilon y_k \ , \ \forall k, n \quad (10)$$

$$V_{km} \ge \varepsilon y_k \ , \ \forall k, m \quad (11)$$

$$U_{kn} O_{nk} \le y_k \ , \ \forall k, n \quad (12)$$

$$y_k = 0,1 \ , \ \forall k \quad (13)$$

$$e_k \ge 0 \ , \ \forall k \quad (14)$$

در این مرحله، برای ایجاد قابلیت استفاده از این مدل در زمان غیردقیق، میزان ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیری به‌صورت بازه‌ای و مطابق روابط زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$I_{mk} = I_{mk}^{L} + s_{mk}(I_{mk}^{U} - I_{mk}^{L}), 0 \le s_{mk} \le 1 \quad (15)$$

$$O_{nk} = O_{nk}^{L} + t_{nk}(O_{nk}^{U} - O_{nk}^{L}), 0 \le t_{nk} \le 1 \quad (16)$$

حال، تغییرات لازم برای محاسبه کارایی هر مکان کاندیدا در زمان مواجهه با داده‌های غیردقیق، در محدودیت‌های (5) الی (7) اعمال می‌شود. در نتیجه محدودیت‌های زیر به دست خواهد آمد:

$$\sum_{m=1}^{M}(V_{km}I_{mk}^{L} + V_{km}s_{mk}I_{mk}^{U} - V_{km}s_{mk}I_{mk}^{L}) = y_k \ , \ \forall k \quad (17)$$

$$\sum_{n=1}^{N}(U_{kn}O_{nk}^{L} + U_{kn}t_{nk}O_{nk}^{U} - U_{kn}t_{nk}O_{nk}^{L}) + e_k = y_k \ , \ \forall k \quad (18)$$

$$\sum_{n=1}^{N}(U_{kn}O_{nz}^{L} + U_{kn}t_{nz}O_{nz}^{U} - U_{kn}t_{nz}O_{nz}^{L}) - (\sum_{m=1}^{M}V_{km}I_{mz}^{L} + V_{km}s_{mz}I_{mz}^{U} - V_{km}s_{mz}I_{mz}^{L}) \le 0 \ , \ \forall k, \forall z(k \ne z) \quad (19)$$

با توجه به محدودیت‌های (17) الی (19) مشخص می‌شود که مدل پیشنهادی دارای حالت غیرخطی است. بنابراین، برای خطی‌سازی مدل مذکور از تغییر متغیرهای زیر بهره گرفته می‌شود:

$$V_{km}s_{mk} = v_{km} \ , \ \forall k, m \quad (20)$$

$$U_{kn}t_{nk} = u_{kn} \ , \ \forall k, n \quad (21)$$

در نهایت، مدل اولیه به مدل چندهدفه پیشنهادی بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های دقیق به شرح زیر که حالت خطی دارد، تبدیل می‌شود:

$$Max\ Z_1 = \sum_{k=1}^{K}(1 - e_k) \quad (22)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{k=1}^{K}C_k y_k + \sum_{k=1}^{K}CV_k A_k \alpha_k y_k \quad (23)$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{k=1}^{K}PA_k \alpha_k y_k \quad (24)$$

$$Min\ Z_4 = \sum_{k=1}^{K}WA_k \alpha_k y_k \quad (25)$$

S.t:

$$\sum_{m=1}^{M}(V_{km}I_{mk}^{L} + v_{km}I_{mk}^{U} - v_{km}I_{mk}^{L}) = y_k \ , \ \forall k \quad (26)$$

$$\sum_{n=1}^{N}(U_{kn}O_{nk}^{L} + u_{kn}O_{nk}^{U} - u_{kn}O_{nk}^{L}) + e_k = y_k \ , \ \forall k \quad (27)$$

$$\sum_{n=1}^{N}(U_{kn}O_{nz}^{L} + u_{kn}O_{nz}^{U} - u_{kn}O_{nz}^{L}) - \sum_{m=1}^{M}(V_{km}I_{mz}^{L} + v_{km}I_{mz}^{U} - v_{km}I_{mz}^{L}) \le 0 \ , \ \forall k, \forall z(k \ne z) \quad (28)$$

$$\sum_{k=1}^{K}y_k \le N \quad (29)$$

$$\sum_{k=1}^{K}C_k y_k + \sum_{k=1}^{K}CV_k A_k \alpha_k y_k \le B \quad (30)$$

$$U_{kn} \ge \varepsilon y_k \ , \ \forall k, n \quad (31)$$

$$V_{km} \ge \varepsilon y_k \ , \ \forall k, m \quad (32)$$

$$U_{kn}O_{nk} \le y_k \ , \ \forall k, n \quad (33)$$

$$v_{km} - V_{km} \le 0 \ , \ \forall k, m \quad (34)$$

$$u_{kn} - U_{kn} \le 0 \ , \ \forall k, n \quad (35)$$

$$v_{km} \ge 0 \ , \ \forall k, m \quad (36)$$

$$u_{kn} \ge 0 \ , \ \forall k, n \quad (37)$$

$$y_k = 0,1 \ , \ \forall k \quad (38)$$

$$e_k \ge 0 \ , \ \forall k \quad (39)$$

روابط (22) تا (25) دارای تعاریف مشابه روابط (1) تا (4) هستند. رابطه (26) تضمین می‌کند که مجموع موزون

ورودی‌های غیردقیق هر واحد تصمیم‌گیر (مکان‌های کاندیدا) برابر با متغیر صفر و یک باشد. رابطه (27) میزان عدم کارایی را به ازای مجموع موزون خروجی‌های غیردقیق هر واحد تصمیم‌گیر (مکان‌های کاندیدا) نشان می‌دهد. رابطه (28) نشان می‌دهد که، مجموع موزون خروجی‌های غیردقیق باید کم‌تر از مجموع موزون ورودی‌های غیردقیق متناظر خودش باشد. رابطه (29) تضمین می‌کند که حداکثر N مکان کاندیدا انتخاب شوند. رابطه (30) متضمن این است که مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر، حداکثر برابر بودجه‌ی در دسترس مدیریت باشد. روابط (31) و (32) تضمین می‌کنند که وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها غیرمنفی باشند. رابطه (33) نیز تضمین می‌کند که خروجی موزون برای هر مکان کاندیدا و هر نوع خروجی، کم‌تر یا مساوی با یک باشد. روابط (34) تا (37) برای استفاده از تغییر متغیر صورت‌گرفته برای خطی‌سازی مدل به کار گرفته می‌شوند.

روابط (38) و (39) برای تعریف نوع متغیرها استفاده می‌شود و محدودیت‌های علامتی هستند.

6- رویکرد حل

همان‌طور که مشخص است، توابع هدف بیشینه‌سازی Z_1 و Z_3 در تضاد با توابع هدف کمینه‌سازی Z_2 و Z_4 عمل می‌کنند و بهینه‌سازی با توجه به یکی از این توابع هدف در یک زمان، منجر به انحراف از جواب بهینه در توابع هدف دیگر می‌شود. در نتیجه، برای بهینه‌سازی همزمان چهار تابع هدف، از روش معیار جامع در جهت پیدا کردن یک سازش در بین همه‌ی اهداف استفاده می‌شود، به‌صورتی که مجموع انحراف نسبی تمام اهداف از ارزش‌های مطلوب(Z_i^*) خود را کمینه سازد. در نتیجه، روش معیار جامع وزن‌دار در رابطه (40) برای بهینه‌سازی همزمان توابع هدف بیان می‌شود:

$$Max\,Z = w_1 \times \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 \times \frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^*} + w_3 \times \frac{Z_3 - Z_3^*}{Z_3^*} + w_4 \times \frac{Z_4^* - Z_4}{Z_4^*} \qquad (40)$$

در این روش، برای در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیرنده[24]، وزن‌های متفاوت w_i (با فرض مجموع یک) به توابع هدف اختصاص داده شده است. با این رویکرد، اگر مدیریت وزن بالاتری به یک تابع هدف بدهد، جواب به دست‌آمده در حالت بهینه‌سازی همزمان، به جواب بهینه‌ی تابع مورد نظر نزدیک‌تر است. در رابطه (40)، ابتدا مقادیر بهینه هر یک از توابع هدف(Z_i^*) مستقل از دیگری و با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌های مسئله، محاسبه شده و تابع هدف جدیدی طبق آنچه در رابطه مذکور نشان داده شده است، ایجاد می‌شود. با حل مجدد مدل، شامل تابع هدف جدید و محدودیت‌های مدل (روابط 26 الی 39)، مقادیر بهینه نسبی هر یک از توابع هدف نیز به دست می‌آید. در نهایت، مدل ترکیبی پیشنهادی بر اساس روش تجمیع تحلیل پوششی داده‌های غیردقیق (بازه‌ای) به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Max\,Z = w_1 \times \frac{\left[\sum_{k=1}^{K}(1-e_k)\right] - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 \times \frac{Z_2^* - \left[\sum_{k=1}^{K} C_k y_k + \sum_{k=1}^{K} CV_k A_k \alpha_k y_k\right]}{Z_2^*} +$$
$$w_3 \times \frac{\left[\sum_{k=1}^{K} PA_k \alpha_k y_k\right] - Z_3^*}{Z_3^*} + w_4 \times \frac{Z_4^* - \left[\sum_{k=1}^{K} WA_k \alpha_k y_k\right]}{Z_4^*}$$

S.t:

$$\sum_{n=1}^{N}(U_{kn}O_{nz}^{L} + u_{kn}O_{nz}^{U} - u_{kn}O_{nz}^{L}) - \sum_{m=1}^{M}(V_{km}I_{mz}^{L} + v_{km}I_{mz}^{U} - v_{km}I_{mz}^{L}) \le 0 \;\; , \;\; \forall k, \forall z(k \ne z)$$

$$\sum_{k=1}^{K} C_k y_k + \sum_{k=1}^{K} CV_k A_k \alpha_k y_k \le B$$

$$U_{kn} \ge \varepsilon y_k \;\; , \;\; \forall k, n$$

$$V_{km} \ge \varepsilon y_k \;\; , \;\; \forall k, m$$

$$U_{kn}O_{nk} \le y_k \;\; , \;\; \forall k, n$$

$$\sum_{m=1}^{M}(V_{km}I_{mk}^{L} + v_{km}I_{mk}^{U} - v_{km}I_{mk}^{L}) = y_k, \forall k$$

$$\sum_{n=1}^{N}(U_{kn}O_{nk}^{L} + u_{kn}O_{nk}^{U} - u_{kn}O_{nk}^{L}) + e_k = y_k, \forall k$$

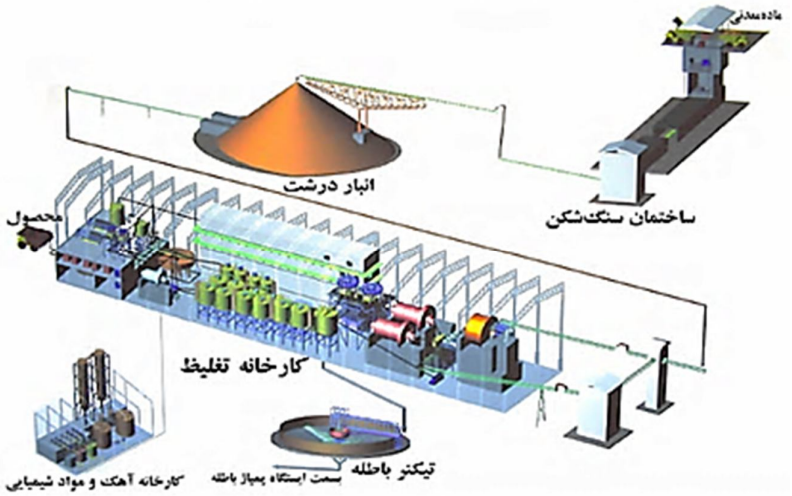
$$\sum_{k=1}^{K} y_k \le N$$

$$v_{km} - V_{km} \le 0 \ , \ \forall k,m$$
$$u_{kn} - U_{kn} \le 0 \ , \ \forall k,n$$
$$v_{km} \ge 0 \ , \ \forall k,m$$
$$u_{kn} \ge 0 \ , \ \forall k,n$$
$$y_k = 0,1 \ , \ \forall k$$
$$e_k \ge 0 \ , \ \forall k$$

7- مطالعه موردی: معدن مس سونگون

مجتمع مس سونگون در استان آذربایجان‌شرقی، در 120کیلومتری شمال‌شرقی تبریز واقع شده است. کانسار مس سونگون از نوع پورفیری است که به روش روباز استخراج می‌شود. بر اساس آخرین مطالعات، کل ذخیره قطعی معدن 806 میلیون تن و ذخیره قابل استخراج آن 388 میلیون تن برآورد شده است. فاز اول کارخانه تغلیظ مس سونگون با ظرفیت 7 میلیون تن خوراک در سال، باید 150 هزار تن کنسانتره مس با عیار 30 درصد در سال تولید نماید. در فرآیند پرعیارسازی طراحی‌شده برای کارخانه، کانسنگ مس استخراج‌شده پس از خردایش اولیه به کمک سنگ‌شکن ژیراتوری، توسط نوار نقاله وارد انبار مواد درشت‌دانه می‌شود. سپس مواد خردشده، به کمک آسیای نیمه‌خودشکن و گلوله‌ای آسیا شده و در ادامه تحت فرآیند فلوتاسیون قرار می‌گیرد. عملیات فلوتاسیون در سه مرحله رافر، کلینر و رمق‌گیری انجام می‌شود[33]. شمای کلی عملیات انجام‌شده در کارخانه تغلیظ مس سونگون در شکل 2 نشان داده شده است.

طی فرآیند تغلیظ، باطله سلول‌های رافر و رمق‌گیر به داخل تیکنر باطله انتقال می‌یابد. سرریز این تیکنر به سمت مخازن آب بازیافتی ارسال می‌گردد و ته‌ریز آن به سمت سد باطله پمپ می‌شود. در عملیات فلوتاسیون از مواد شیمیایی مختلفی نظیر کلکتورها، کف‌سازها، بازدارنده‌ها، فعال‌کننده‌ها و تنظیم‌کننده‌های pH استفاده می‌شود [33]. منابع تأمین‌کننده آب مصرفی کارخانه فرآوری سونگون در جدول 2 نشان داده شده‌اند. حجم قابل توجه آب مورد نیاز کارخانه تغلیظ، لزوم استفاده بهینه از آن را گوشزد می‌کند.



شکل2: شمای کلی عملیات کارخانه تغلیظ مس سونگون[27]

جدول2: منابع تأمین و مقدار آب مورد نیاز کارخانه مس سونگون [34]

ظرفیت	آب برگشتی (m^3/h)			آب تازه (m^3/h)		مجموع آب مصرفی
	تیکنر مس و باطله	سدّ باطله	مجموع	مصرف فرآیند	مصارف متفرقه	فرآیند (m^3/h)
اسمی	1281	746	2027	82	128	2109

پس از عملیات فلوتاسیون، پساب کارخانه فرآوری که تقریباً معادل خوراک ورودی است، به نوعی مسئله‌ساز شده و نیاز به مدیریت مناسب دارد. برای تعیین ویژگی‌های عمومی پساب سونگون که در این پژوهش به عنوان آب مصرفی در مصارف کشاورزی کاربرد یافته‌اند، نمونه‌ای از آب و پالپ جمع‌آوری‌شده (سرریز و ته‌ریز تیکنر) به آزمایشگاه ارسال و نتایج آن به شرح جدول 3 تعیین شد.

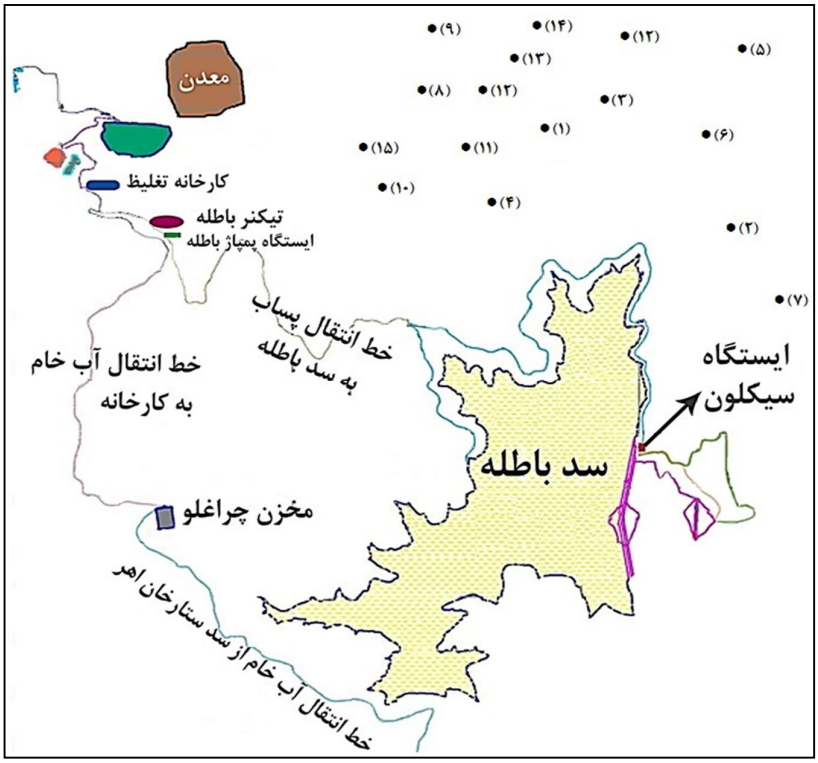
جدول3: میزان عناصر و ترکیبات موجود در خروجی تیکنر مجتمع مس سونگون [34]

عنصر / ترکیب	*Cu*	*Fe*	*Mo*	*CuO*	Al_2O_3	*S*	SiO_2
مقدار (درصد)	0/087	2/65	0/007	0/033	15/00	2/72	66/27

لازم به توضیح است که پالپ خروجی تیکنرهای کارخانه حاوی 50 تا 55 درصد بار جامد است. با بررسی پساب کارخانه‌ی تغلیظ مس سونگون و نیز با آنالیز ته‌ریز تیکنر، امکان بازیابی بیش‌تر آب از آن وجود داشته و با روش‌هایی نظیر استفاده از تیکنر مخروطی عمیق و استفاده از فلوکولانت‌های مناسب و بررسی دقیق عوامل مؤثر در سرعت و مقدار ته‌نشینی ذرات جامد ته‌ریز تیکنر می‌توان مقدار قابل توجهی آب از خروجی آن بازیابی نمود[34]. کاشت گونه‌های گیاهی بیش‌انباشتگر در زمین‌های پیرامون معدن مس سونگون، نه‌تنها باعث کاهش ایجاد زهاب اسیدی ناشی از واکنش آب‌های سطحی با باطله‌ها می‌شود، بلکه می‌توان با روش‌های مختلفی فلزات جذب‌شده و تجمع‌یافته در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گونه‌های گیاهی را نیز بازیابی نمود. با توجه به اقلیم منطقه و همچنین نظر به سازگاری گونه‌های گیاهی مرتعی و با بررسی گونه‌های گیاهی مزروعی روستاهای پیرامون معدن، چندین گونه گیاهی مزروعی (گندم، لوبیا، جو، ذرت، نخود) جهت فرآیندهای گیاه‌پالایی مناسب تشخیص داده شدند. این آزمایش‌ها برای بررسی میزان جذب عناصر و ترکیبات مضر و مخرب محیط زیست از پساب معدن توسط گونه‌های گیاهی شناسایی‌شده طراحی شده و انجام گرفت. در نتیجه‌ی آزمایش‌ها، گونه گیاهی گندم به عنوان گیاه بادوام برای معدن مس سونگون مناسب تشخیص داده شد[34]. از سوی دیگر، با هدایت پساب خروجی تیکنر به محدوده‌ی کاشت گیاهان بیش‌انباشتگر که باید آن را در محیط پیرامون معدن (مجاورت تیکنر یا سدّ باطله) ایجاد نمود، می‌توان از نشت آلودگی‌های شیمیایی این پساب به آب‌های زیرزمینی و در نتیجه اثرات مخرب آن بر جنگل‌های ارسباران جلوگیری نمود. در این مطالعه، جهت ایجاد مزارع کشت در محدوده معدن یا در پیرامون آن، مناطق مختلفی مدّ نظر قرار گرفت.

بنابراین در این تحقیق، انتخاب گزینه‌های مناسب برای ایجاد مزارع از بین نقاط کاندیدا، با توجه به اهداف مختلفی نظیر بیشینه‌سازی کارایی و درآمد فروش و همچنین حداقل‌سازی هزینه‌ها و آب مصرفی صورت می‌گیرد. این انتخاب با بهره‌گیری از مدل پیشنهادی چندهدفه بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های غیردقیق انجام می‌شود. به گونه‌ای که فرض بر این است که 15 نقطه‌ی کاندیدا برای ایجاد مزارع وجود دارد و مدیریت بر اساس اهداف موجود، درصدد انتخاب 5 مکان برای ایجاد مزارع است. کروکی معدن و نمایش گرافیکی نقاط کاندیدا در شکل 3 ارائه شده است.

مکان‌های منتخب مربوطه باید به گونه‌ای مشخص شود که علاوه بر بهینه‌سازی هزینه و درآمد، باید کاراترین نقاط با توجه به بودجه در دسترس انتخاب شوند. با توجه به این که در حالت متعارف مقدار قابل توجهی از بودجه معدن صرف جنبه‌های زیست‌محیطی و مسائل مرتبط با سازمان محیط‌زیست و نیز سایر نهادهای وابسته می‌شود، مقدار بودجه در دسترس 30 میلیارد ریال در نظر گرفته شده است. همچنین در این تحقیق، برای هر مکان کاندیدا دو ورودی (عوامل نامطلوبی که باید کاهش یابد) و دو خروجی (عوامل مطلوبی که باید افزایش یابد) به منظور سنجش کارایی در نظر گرفته شده است. مسافت بین سد باطله و مزارع (کیلومتر) و شیب زمین (درجه) هر مکان به عنوان ورودی و شرایط توپوگرافی و ضخامت خاک سطحی و پوشش خاک منطقه (متر) هر مکان به عنوان دو خروجی تعریف شده است. در ادامه، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول‌های 4 تا 6 نمایش داده شده است.



شکل3: کروکی معدن و نقاط کاندیدا برای ایجاد مزارع

جدول4: مقادیر پارامترهای تفکیک‌شده به ازای هر مکان کاندیدا

مکان کاندیدا (k)	مساحت مزرعه (هکتار)	هزینه ثابت (میلیون تومان)	هزینه متغیر (میلیون تومان)	میزان برداشت محصول (تن/هکتار)
1	6/5	350	0/22	5
2	5/8	435	0/26	5/1
3	5/4	290	0/27	4/5
4	4/9	400	0/30	4/7
5	4/8	475	0/26	4/6
6	6/7	510	0/27	5
7	5/5	315	0/31	4/9
8	8/2	425	0/25	5/1
9	7/7	385	0/26	5
10	8/1	580	0/28	4/7
11	7/5	465	0/27	4/8
12	6/4	330	0/31	5/1
13	7/3	410	0/28	5
14	5/9	370	0/29	4/7
15	7/8	430	0/27	5

جدول5: مقادیر پارامترهای کلی

پارامتر	میزان
حداکثر تعداد انتخاب	5
بودجه در دسترس (میلیون تومان)	30000
قیمت تضمینی فروش محصول (میلیون تومان/تن)	1/155
میزان آب مصرفی (10000لیتر/تن)	30

جدول 6: ورودی‌ها و خروجی‌های هر مکان کاندیدا

مکان کاندیدا (k)	ورودی‌ها				خروجی‌ها			
	مسافت بین سد باطله و مزارع (کیلومتر)		شیب زمین (درجه)		شرایط توپوگرافی		ضخامت خاک سطحی و پوشش خاک منطقه (متر)	
	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا
1	3/9	6/8	21	29	4	6	1/2	2/1
2	3/4	5/6	9	18	5	8	2/8	3/2
3	4/2	7/8	14	26	2	5	1/2	2/5
4	3/4	5/3	23	29	6	8	2/6	3/8
5	7/8	10/1	14	31	5	8	1/4	2/9
6	6/4	7/7	38	51	3	7	1/7	2/7
7	4/5	8/9	43	58	3	6	1/8	2/6
8	5/6	11/3	17	26	2	4	1/4	2/1
9	5/2	9/7	32	41	6	8	1/1	1/8
10	4/8	8/1	20	34	3	8	1/6	2/3
11	3/7	8/2	26	40	5	7	2/7	3/9
12	4/4	7/6	19	28	4	6	2/2	2/8
13	5/1	10/5	27	39	3	5	1/4	2/5
14	4/7	7/8	36	48	2	5	1/5	2/8
15	6/4	10/3	9	19	4	5	1/6	2/7

8- تحلیل نتایج

در این بخش برای مشاهده عملکرد مدل ارائه‌شده، نتایج حاصل از بررسی داده‌های مطالعه موردی با استفاده از نرم‌افزار لینگو 14/0 ارائه می‌شود. نتایج حاصل از بهینه‌سازی چهار تابع هدف و نقاط منتخب توسط بهینه‌سازی همزمان این توابع (توسط تابع Z) در جدول 7 ارائه شده است. با توجه به جدول 7 می‌توان گفت که مدل ترکیبی پیشنهادی به دنبال ایجاد یک توازن بین توابع کارایی، هزینه، درآمد حاصل از فروش و میزان آب مصرفی است. با توجه به استفاده از روش معیار جامع وزن‌دار، این نتایج به ازای هر وزن‌دهی مورد نظر مدیریت به توابع هدف (ترکیب وزنی) مورد محاسبه قرار گرفته است. این عمل موجب شده است که مجموعه نقاط منتخب متفاوتی برای بهینه‌سازی مدل پیشنهادی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر، برای بررسی عملکرد مدل، مجموعه وزن‌های مختلفی به توابع هدف تخصیص داده شده است تا نحوه انتخاب نقاط برای ایجاد مزارع بر اساس نظرات مختلف مدیریت مشاهده گردد. لازم به توضیح است که چهار سطر ابتدایی جدول 7 مربوط به بهینه‌سازی مستقل توابع چهارگانه است. برای مثال، مقدار محاسبه‌شده برای تابع هدف اول (Z_1) در حالت (۱،۰،۰،۰) بیانگر این است که میزان این

تابع بدون در نظر گرفتن سایر توابع (اختصاص وزن صفر به این توابع) و به‌صورت مستقل محاسبه شده است.

جدول 7: مقادیر توابع هدف چهارگانه و نقاط منتخب ناشی از بهینه‌سازی همزمان توابع

ترکیب وزنی w_1, w_2, w_3, w_4	تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	تابع هدف Z_3	تابع هدف Z_4	نقاط منتخب (Z)
(۱،۰،۰،۰)	14/50	2354/24	186/47	4843/50	2، 4، 10، 11، 15
(۰،۱،۰،۰)	10/00	1695/23	166/46	4323/60	1، 3، 7، 12، 14
(۰،۰،۱،۰)	10/40	2281/87	223/94	5816/70	8، 9، 10، 13، 15
(۰،۰،۰،۱)	10/00	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰.۷۵،۰.۲۵،۰،۰)	13/82	1808/36	152/78	3968/10	2، 3، 4، 7، 12
(۰.۷۵،۰،۰.۲۵،۰)	14/18	2343/61	209/23	5434/50	2، 9، 10، 11، 15
(۰.۷۵،۰،۰،۰.۲۵)	14/21	2100/35	151/03	3922/80	2، 3، 4، 5، 11
(۰.۲۵،۰.۷۵،۰،۰)	13/00	1695/23	166/46	4323/60	1، 3، 7، 12، 14
(۰،۰.۷۵،۰.۲۵،۰)	10/00	1712/19	178/90	4646/70	1، 3، 7، 9، 12
(۰،۰.۷۵،۰،۰.۲۵)	10.00	1743/72	150/64	3912/60	3، 4، 7، 12، 14
(۰.۲۵،۰،۰.۷۵،۰)	13/63	2336/37	223/37	5801/70	8، 9، 10، 11، 15
(۰،۰.۲۵،۰.۷۵،۰)	10/00	2031/33	217/67	5653/80	8، 9، 12، 13، 15
(۰،۰،۰.۷۵،۰.۲۵)	10/40	2281/87	223/94	5816/70	8، 9، 10، 13، 15
(۰.۲۵،۰،۰،۰.۷۵)	13/36	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰،۰.۲۵،۰،۰.۷۵)	10/00	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰،۰،۰.۲۵،۰.۷۵)	10/00	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰.۵،۰.۵،۰،۰)	13/47	1722/82	156/14	4055/70	1، 3، 4، 7، 12
(۰.۵،۰،۰.۵،۰)	13/63	2336/37	223/37	5801/70	8، 9، 10، 11، 15
(۰.۵،۰،۰،۰.۵)	13/82	1948/99	140/58	3651/30	2، 3، 4، 5، 7
(۰،۰.۵،۰.۵،۰)	10/00	1824/29	196/07	5092/80	1، 3، 8، 9، 12
(۰،۰.۵،۰،۰.۵)	10/00	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰،۰،۰.۵،۰.۵)	10/00	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰.۵،۰.۲۵،۰.۲۵،۰)	13/76	2007/53	206/33	5359/20	1، 9، 11، 12، 15
(۰.۵،۰.۲۵،۰،۰.۲۵)	13/82	1948/99	140/58	3651/30	2، 3، 4، 5، 7
(۰.۵،۰،۰.۲۵،۰.۲۵)	14/21	2100/35	151/03	3922/80	2، 3، 4، 5، 11
(۰.۲۵،۰.۵،۰.۲۵،۰)	13/15	1712/19	178/90	4646/70	1، 3، 7، 9، 12
(۰.۲۵،۰.۵،۰،۰.۲۵)	13/35	1743/72	150/64	3912/60	3، 4، 7، 12، 14
(۰،۰.۵،۰.۲۵،۰.۲۵)	10/00	1695/23	166/46	4323/60	1، 3، 7، 12، 14
(۰.۲۵،۰.۲۵،۰.۵،۰)	13/26	1968/26	213/05	5533/80	1، 8، 9، 12، 15
(۰.۲۵،۰،۰.۵،۰.۲۵)	14/18	2343/61	209/23	5434/50	2، 9، 10، 11، 15
(۰،۰.۲۵،۰.۵،۰.۲۵)	10/00	1712/19	178/90	4646/70	1، 3، 7، 9، 12
(۰.۲۵،۰.۲۵،۰،۰.۵)	13/36	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(۰.۲۵،۰،۰.۲۵،۰.۵)	13/82	1948/99	140/58	3651/30	2، 3، 4، 5، 7
(۰.۲۵،۰،۰.۲۵،۰.۵)	10/00	1884/34	138/44	3595/80	3، 4، 5، 7، 14
(0/25، 0/25، 0/25، 0/25)	13/47	1722/82	156/14	4055/70	1، 3، 4، 7، 12

در مورد سایر ترکیب‌های وزنی، مشخص است با افزایش وزن یکی از توابع هدف توسط تصمیم‌گیرنده، مدل ترکیبی سعی می‌کند نظر تصمیم‌گیرنده را اعمال نماید و جواب‌های حاصل را به جواب بهینه مستقل آن تابع نزدیک گرداند. به طور کلی، انتخاب نقاط با توجه به این شرایط صورت می‌گیرد:

- کارایی مزارع ایجادشده در مکان‌های منتخب حداکثر شود؛
- هزینه‌های سیستم برای ایجاد مزارع در مکان‌های منتخب حداقل شود؛
- درآمد حاصل از فروش محصولات برداشتی از مزارع ایجادشده در مکان‌های منتخب حداکثر شود؛
- میزان آب مصرفی مزارع ایجادشده در مکان‌های منتخب حداقل شود؛
- نظرات مدیریت برآورده شود (مجموعه اوزان توابع هدف)؛
- تجاوز از بودجه‌ی در دسترس صورت نگیرد و
- مانع از انتخاب مکان‌های اضافی و اعمال هزینه‌ی اضافی شود.

برای مثال، در حالت (0/25، 0/25، 0/25، 0/25) که تصمیم‌گیرنده برای تمامی اهداف وزن یکسانی در نظر گرفته است، نقاطی مورد انتخاب قرار گرفته‌اند که توازن بین مقادیر توابع هدف ایجاد شود. به‌گونه‌ای که تابع هدف دوم منجر به انتخاب نقطه کاندیدای 1، توابع دوم و چهارم منجر به انتخاب نقطه کاندیدای 3، توابع اول و چهارم منجر به انتخاب نقطه کاندیدای 4، توابع دوم و چهارم منجر به انتخاب نقطه کاندیدای 7 و تابع هدف دوم منجر به انتخاب نقطه کاندیدای 12 در حالت تخصیص وزن برابر به توابع هدف شده‌اند. انتخاب مجموع نقاط مذکور یا به بیان دیگر بهینه‌سازی توابع هدف در این حالت وزنی، باعث انحراف 7/11٪ میزان تابع هدف اول از مقدار مستقل آن (Z_1^*)، انحراف 1/62٪ تابع هدف دوم از مقدار مستقل آن (Z_3^*)، انحراف 30/27٪ تابع هدف سوم از مقدار مستقل آن (Z_3^*)، انحراف 12/78٪ تابع هدف چهارم از مقدار مستقل آن (Z_4^*) شده است. لازم به ذکر است، این انحراف در مقابل در نظر گرفتن همزمان تمامی اهداف از نظر مدیریت، امری غیرقابل انکار است.

9- نتیجه‌گیری

پساب کارخانه تغلیظ معدن مس سونگون عوارض مخربی را به همراه دارد. تأثیرات منفی زیست‌محیطی آن بر جنگل‌های ارسباران واضح و مبرهن است. با هدایت پساب خروجی تیکنر به مزارع کاشت گیاه گندم که باید آنها را در محیط پیرامون معدن ایجاد نمود، می‌توان از نشت آلودگی‌های شیمیایی این پساب به آب‌های زیرزمینی و اثرات مخرب آن بر جنگل‌های مذکور جلوگیری نمود. در این پژوهش، مدلی چند هدفه برای مکان‌یابی مزارع کشت گیاهان مزروعی در پیرامون مجتمع مس سونگون جهت آبیاری با پساب کارخانه‌ی تغلیظ بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای ارائه شد، به‌گونه‌ای که برای ارزیابی کارایی گزینه‌های تصمیم‌گیری در مدل پیشنهادی، از روش تحلیل پوششی توسعه‌یافته بر مبنای روش تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها با ماهیت داده‌های بازه‌ای استفاده شده است. در گام نخست، مدل پیشنهادی بر اساس روش تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌های دقیق فرموله‌بندی شده و سپس مدل پیشنهادی به‌صورت مدلی بر مبنای روش تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌های غیردقیق (بازه‌ای) توسعه داده شد. مدل چندهدفه پیشنهادی برای مسئله‌ی مکان‌یابی، دارای چهار تابع هدف مجزاست که برای بهینه‌سازی همزمان چهار تابع هدف، از روش معیار جامع وزن دار برای دستیابی به یک سازش در بین تمامی اهداف استفاده می‌شود، به‌صورتی که مجموع انحراف نسبی تمام اهداف از ارزش‌های مطلوب خود را کمینه سازد. نظر به نتایج حاصل از حل مدل با توجه به ترکیبات وزنی مختلف، می‌توان گفت که مدل پیشنهادی به دنبال ایجاد یک توازن بین توابع مختلف است. این عمل موجب شد که مجموعه نقاط منتخب متفاوتی برای بهینه‌سازی مدل پیشنهادی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار گیرد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود جهت انتخاب بهینه مکان مزارع کشت از سایر روش‌های تصمیم‌گیری نظیر روش‌های چندمعیاره استفاده شود. همچنین می‌توان از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی بهره برد. به‌کارگیری منطق خاکستری و تلفیق آن با روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز می‌تواند از پیشنهادات توسعه این تحقیق باشد.

مراجع

[1] Klimberg, R. K., & Ratick, S. J. (2008). Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions. Computers & Operations Research, 35(2), 457-474.

[2] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Maghsoudi, A. (2008). Location optimization of solar plants by an

Edition. Shahroud: Shahroud University of Technology publication. Iran (In Persian).

[14] Vymazal, J., & Kröpfelová, L. (2008). Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow (Vol. 14). Springer Science & Business Media.

[15] Tashayyoee, H.R., Mahdavi, M., Karkani, F., Ghelmani, S.V. & Ataeefar, H. (2011). Subsurface flow artificial wetland systems for wastewater treatment application with other countries and Iran. The health system. 7(6), 672-683 (In Persian).

[16] Moradi, H., Zarrabi, M.M & Hesari, P. (2013). The role of phytoremediation in reducing pollution of industrial sites with the approach of post-industrial landscape. 2nd National Conference on Environmental Protection Planning. Hamedan. Iran (In Persian).

[17] Heidari, F., Hosseini, S.M. & Bahramifar, N. (2013). The introduction of phytoremediation technology. National Conference on Environmental Research. College of Shahid Mofatteh. Hahedan. Iran (In Persian).

[18] Färe, R., S. G., & Lovell, C. K. (1985). The Measurements of Efficiency of Production. Boston: Kluwer Nijhoff.

[19] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 253-290.

[20] Lee, E. K., Ha, S., & Kim, S. K. (2001). Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management. Engineering Management, IEEE Transactions on, 48(3), 307-318.

[21] Rezaee, M. J., Moini, A., & Asgari, F. H. A. (2012). Unified performance evaluation of health centers with integrated model of data envelopment analysis and bargaining game. Journal of medical systems, 36(6), 3805-3815.

[22] Hwang, S. N., Chen, C., Chen, Y., Lee, H. S., & Shen, P. D. (2013). Sustainable design performance evaluation with applications in the automobile industry: Focusing on inefficiency by undesirable factors. Omega, 41(3), 553-558.

[23] Shafiee, M., Lotfi, F. H., & Saleh, H. (2014). Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. Applied Mathematical Modelling, 38(21), 5092-5112.

[24] Kim, K. T., Lee, D. J., Park, S. J., Zhang, Y., & Sultanov, A. (2015). Measuring the efficiency of the investment for renewable energy in Korea using data envelopment analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47, 694-702.

integrated hierarchical DEA PCA approach. Energy Policy, 36(10), 3993-4004.

[3] Afshari, H., Amin-Nayeri, M., & Jaafari, A. A. (2010). A multi-objective approach for multi-commodity location within distribution network design problem. In Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong.

[4] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Nasrollahi, M. R. (2011). Location optimization of wind plants in Iran by an integrated hierarchical Data Envelopment Analysis. Renewable Energy, 36(5), 1621-1631.

[5] Khadivi, M. R., & Ghomi, S. F. (2012). Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. Waste management, 32(6), 1258-1265.

[6] Mitropoulos, P., Mitropoulos, I., & Giannikos, I. (2013). Combining DEA with location analysis for the effective consolidation of services in the health sector.Computers & Operations Research, 40(9), 2241-2250.

[7] Karbasian, M., Dashti, M. & Asadollahi, A. (2012). The DEA combined model and location with respect to the distribution of sensitive facilities. Science and technology of the passive defense, 2(3), 161-167 (In Persian).

[8] Karbasian, M. & Dashti, M., (2012). Design of multi-objective location model, based on the multi-type distribution facilities and DEA with fuzzy goal programming solution. Production and operations management, 3(2), 98-110 (In Persian).

[9] Azadeh, A., Rahimi-Golkhandan, A., & Moghaddam, M. (2014). Location optimization of wind power generation–transmission systems under uncertainty using hierarchical fuzzy DEA: A case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 877-885.

[10] Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvaee, M. S., & Rabbani, M. (2015). A non-radial DEA model for location optimization of Jatropha curcas L. cultivation. Industrial Crops and Products, 69, 197-203.

[11] Akbari, Sh. (2013). The importance of phytoremediation on sustainable development, healthy environment and analysis of the leading solutions. 2nd National Conference on Healthy Environment for Sustainable Agricultural Development. Hamedan. Iran. (In Persian).

[12] Masoumi, B. & Mohammadi, R. (2012). The principles of water treatment. First Edition. Tabriz: Forouzesh Publication. Iran (In Persian).

[13] Habashi, Fathi. (2006). Hydrometallurgy. Vol. 2. Translated by: Abdollahi, M & Ahafaee, S.Z., 2nd

[25] Rezaee, M. J., Izadbakhsh, H., & Yousefi, S. (2015). An improvement approach based on DEA-game theory for comparison of operational and spatial efficiencies in urban transportation systems. KSCE Journal of Civil Engineering, DOI: 10.1007/s12205-015-0345-9.

[26] Wanke, P., Barros, C. P., & Emrouznejad, A. (2016). Assessing productive efficiency of banks using integrated Fuzzy-DEA and bootstrapping: A case of Mozambican banks. European Journal of Operational Research, 249(1), 378-389.

[27] Zhu, J. (2003). Imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and improvement with an application. European Journal of Operational Research, 144(3), 513-529.

[28] Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA. Management Science, 45(4), 597-607.

[29] Despotis, D. K., & Smirlis, Y. G. (2002). Data envelopment analysis with imprecise data. European Journal of Operational Research, 140(1), 24-36.

[30] Kao, C. (2006). Interval efficiency measures in data envelopment analysis with imprecise data. European Journal of Operational Research, 174(2), 1087-1099.

[31] Jahanshahloo, G. R., & Abbasian-Naghneh, S. (2011). Data envelopment analysis with imprecise data. Applied Mathematical Sciences, 5(61-64), 3089-3106.

[32] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.

[33] Bagherian, A. (2006). The concentration process of copper in the Sungun Copper Mine concentrator plant. Report of National Iranian Copper Industries (In Persian).

[34] Jafarpour, A., Abdollahi Sharif, J., Eivazi, A. & Aghajari, Gh. (2015). New biocompatible approaches to resolving the problem of effluent of Sungun Copper Mine. Third International Conference on Iran Open Pit Mines. Shahid Bahonar University. Kerman. Iran (In Persian).

1- Klimberg & Ratick
2- Data Envelopment Analysis
3- Principal Component Analysis
4- Mixed Integer Programming
5- Numerical Taxonomy
6- Analytical Network Process
7- Mitropoulos
8- Integer Programming
9- Jatropha curcas L. cultivation
10- Wetland
11- Phytoextraction
12- Phytostabilization
13- Phytovolatilization
14- Rhizofiltration
15- Farrel
16- Lee, Ha & Kim
17- Decision Making Unit
18- Cooper, Park & Yu
19- Despotis & Smirlis
20- Zhu
21- Kao
22- Simultaneous Data Envelopment Analysis (SDEA)
23- Klimberg & Ratick
24- Decision Maker (DM)

Determination of the Efficient Locations to Discharge Industrial Wastewater of The Sungun Copper Mine Concentration Plant Using Multi-Objective Approach Based on Interval Data Envelopment Analysis

J. Abdollahi Sharif[1], A. Jafarpour[2*], S. Yousefi[3]

1- Associate Professor, Dept. of Mining, Urmia University, Iran

2- MSc. Student in Mining, Dept. of Mining, Urmia University of Technology, Iran

3- MSc. of Industrial Engineering, Dept. of Industrial Engineering, Urmia University of Technology, Iran

* Corresponding Author: amir.jafarpour@mie.uut.ac.ir

(Received: November 2015, Accepted: March 2016)

Keywords

Multi-objective programming
Data Envelopment Analysis
Interval data
Location farms
Sungun Copper Mine

English Extended Abstract

Summary

Currently, the environmental protection has found an important role in most countries. The effluents of the Sungun Copper Mine Concentration Plant (SCMCP) have the destructive effects. The location of farms, especially around the mine, should be performed based on technical and economical topics. In the present study, in order to the consideration of the main aims of the Mine management, a multi-objective approach is used. The effluents of SCMCP have some destructive effects on the Arasbaran forests. Thus, determination of the proper locations to discharge the wastewaters of the SCMCP is one of the important issues which should be considered. The Data Envelopment Analysis (DEA) method is an appropriate method for measuring the efficiency. The development of uncertainty in the world, indicates the importance of DEA method and its applications.

Introduction

Recently, various methods have been used to purify industrial and urban effluents also acidic mine drainages considering the importance of the environmental issues. In general, plants use several basic processes to do purification in the nature. In order to choose the best location of farm plants that are irrigated with wastewaters of the SCMCP, the management main goals should be considered.

Methodology and Approaches

In the present study, the efficient locations have been determined in order to discharge the industrial wastewaters of the SCMCP using multi-objective approach based on developed DEA method that is the Simultaneous Data Envelopment Analysis (SDEA) which uses the interval data. The integration of quartet goals with the weighted global criterion method is used to solve the proposed multi-objective model.

Results and Conclusions

How to use the model, the analysis process of the results, the description and the validation of the model for the Sungun Copper Mine have been studied as the case study. Due to the obtained results from solving the model and considering the different weight combinations, it can be said that the proposed model tries to provide a balance among different functions.

Cite This Paper:

Abdollahi Sharif, J., Jafarpour, A., Yousefi, S., (2015). "Determination of the Efficient Locations to Discharge Industrial Wastewater of The Sungun Copper Mine Concentration Plant Using Multi-Objective Approach Based on Interval Data Envelopment Analysis" Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering **5**(10): 93-109.