محیط شناسی، سال سی و هشتم، شمارهٔ ۶۲، تابستان ۹۱، صفحهٔ ۱-۱۲

# توسعهٔ مدل تصمیم‌گیری چندهدفهٔ مکانی با تأکید بر آمایش صنایع انرژی بر

گیتی خوش‌آموز[۱]، محمد طالعی[۲*]، علی منصوریان[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی gkhoshamooz@sina.kntu.ac.ir

۲- استادیار دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی mansourian@kntu.ac.ir

تاریخ دریافت : ۸۹/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۷

## چکیده

با توجه به نقش صنایع در توسعهٔ اقتصادی، اشتغال و محیط زیست، در این مقاله آمایش صنایع و بخصوص صنایع انرژی‌بر به عنوان مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندهدفه، با لحاظ کردن مسائل زیست محیطی و اجتماعی مدنظر است. در این مقاله ابتدا ملاحظات زیست‌محیطی به صورت قید در نظر گرفته شده و از فضای جست‌وجوی مسئله خارج شده است. سپس نزدیکی به مراکز پرجمعیت به منظور حداکثر کردن اشتغال و مجموع حداکثر فاصله از جنگل‌ها، دریاچه‌ها و مناطق حفاظت شده به عنوان هدف زیست‌محیطی در نظر گرفته شد. برای حل این مسئله، الگوریتم NSGA-II به منظور جست‌وجوی فضای تصمیم و پیشنهاد گزینه‌های بهینه، اجرا و مورد استفاده قرار گرفت. پس از کشف بده بستان بین دو هدف مورد اشاره و محدود کردن فضای جست‌وجوی مکان‌های مناسب، به منظور لحاظ کردن هدف اقتصادی، مکان‌های مناسب حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II، بر اساس عوامل حداقل فاصله از معادن، حداکثر دسترسی به راهها، حداقل فاصله از خطوط انتقال نیرو و گاز، ارزیابی شد. با توجه به اهمیت متفاوت هر یک از معیارهای فوق در تخصیص مکان به صنایع مختلف، در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت هر یک از راه‌حل‌ها به تفکیک برای استقرار صنایع آهن و فولاد، آلومینیوم و سیمان، مشخص شد. از جمله ویژگی‌های مدل، مکانی بودن آن در تمامی مراحل طراحی قیود، اهداف، اولویت دهی به راه حل‌ها است. همچنین مزیت این روش آن است که به جای تلفیق اهداف متضاد، با کشف بده بستان بین آنها، مانع از حذف راه حل‌های مناسب می‌شود و به تصمیم‌گیری بهتر، کمک می‌کند.

## کلید واژه

آمایش سرزمین، تصمیم گیری چندهدفه، مکان یابی، صنایع انرژی بر، NSGA-II

## سرآغاز

آمایش سرزمین، تنظیم رابطهٔ بین انسان، سرزمین و فعالیت به منظور بهره‌برداری درخور و پایدار از جمیع امکانات است. در واقع آمایش سرزمین، برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن منابع مالی، نیروی انسانی و توان اکولوژیکی است که اساس توسعهٔ پایدار را تشکیل می‌دهد. توسعهٔ پایدار، دستیابی توأم به اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را مد نظر قرار دارد، و بنابراین آمایش مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندهدفه است. بررسی روشهای چندهدفه نشان می‌دهد که در گذشته بیشتر از برنامه‌ریزی خطی برای حل مسائل آمایش سرزمین استفاده می‌شده، اما با افزایش پیچیدگی مسائل، انتقال از روشهای بهینه سازی کلاسیک به روشهای تکاملی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به نقش صنایع در توسعهٔ اقتصادی، اشتغال و محیط زیست، در این مقاله آمایش صنایع و بخصوص صنایع انرژی‌بر مورد توجه قرار گرفته است. منظور از آمایش صنعت، ایجاد تعادل و توازن در توسعهٔ صنعتی با بهره‌گیری از امکانات و توانایی‌های منطقه و توجه به منابع انسانی و طبیعی و زیرساختی آن است (اژدری و فارسیان، ۱۳۸۷). مسئلهٔ مکان یابی و نحوهٔ استقرار صنایع انرژی بر، بخش عمده‌ای از برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و آمایش سرزمین را تشکیل می‌دهد. صنایع انرژی بر به آن گروهی از صنایع اطلاق می‌شود که سهم انرژی مصرفی آنها در هزینه‌های تمام شده محصول نهایی، نسبت به دیگر عوامل تولید از قبیل مواد اولیه، نیروی کار و غیره، در مقایسه با صنایع دیگر، بالا بوده و نقش تعیین کننده‌ای در قیمت نهایی محصول آنها دارد. مجموعهٔ آرای کارشناسی در انتخاب صنایع انرژی بر که با استفاده از روشهای

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۳۳۴۲۶۹۳ taleai@kntu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مختلف تحقیق صورت گرفته است، گروههای صنعتی زیر را به عنوان صنایع انرژی بر معرفی کرده است (طرح مکان یابی مناطق ویژه استقرار صنایع انرژی‌بر وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۵):

-گروه صنایع آهن و فولاد؛

-گروه صنایع فلزات غیرآهنی (محصولات آلومینیومی) ؛

-گروه صنایع کانی‌های غیر فلزی، مانند سیمان؛

-گروه صنایع پتروشیمی.

در این مقاله مکان یابی سه گروه اوّل از صنایع انرژی بر، در نظر گرفته شده است.

## کتاب شناسی تحقیق

در مکان‌یابی فعالیت‌های صنعتی، نیاز به در نظر گرفتن شاخص‌ها و عوامل بسیاری است؛ بنابراین برای حل آن از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره[1] استفاده می‌شود. این روشها به روشهای چند شاخصه[2] و چندهدفه[3] تقسیم می‌شوند. در بررسی کارهای انجام شده به بررسی معیارهای مؤثر در مکان یابی صنایع، توسعه مدل‌های مکانی چند معیاره و معرفی الگوریتم NSGA-II[4] پرداخته شده است. از آنجایی که در آمایش توجه به اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مد نظر است، بنابراین در این تحقیق توجه بیشتری به مدل‌های چندهدفه شده است.

## معیارهای مؤثر در مکان یابی صنایع

معیارهای مکان یابی صنایع در سطح ملی، استانی و محلی متفاوت هستند. از مهم‌ترین عوامل مهم تأثیرگذار در مکان‌یابی استانی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. دسترسی به نیروی کار، نزدیکی به مواد اولیه و بازار مصرف، مقررات زیست محیطی استان و شهر، هزینه‌های زمین، یا مسکن، تأسیسات زیربنایی (طرح مکان‌یابی مناطق ویژه استقرار صنایع انرژی بر وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۵).

## ارتباط صنایع انرژی بر با زیرساخت‌ها

وجود زیرساخت‌ها در ایجاد صنایع انرژی بر بسیار ضروری است. چرا که صنایع انرژی‌بر به علت نیازمندی به مواد اولیهٔ گسترده و حجم عظیمی از ستانده‌های تولیدی، به راههای ارتباطی نیاز دارند.

## آثار زیست محیطی صنایع انرژی‌بر

صنایع انرژی بر نیروی بالایی برای آلاینده زایی دارند. این صنایع به صورت مایع و به صورت جامد و گاز، آلودگی ایجاد می‌کنند. بخش اعظمی از آلاینده زایی این صنایع به علت مصرف بالای انرژی این صنایع است. این صنایع باید در مکان‌هایی مستقر شوند که کمترین آلودگی را نسبت به محیط ایجاد کنند. استقرار این صنایع در کنار نواحی حساس جمعیتی مثل شهرهای بزرگ و پرجمعیت و زیستگاههای بومی و مناطق حفاظت شده طبیعی، کنار رودخانه‌ها و آبهای شیرین و حساس، به هیچ وجه توصیه نمی‌شود. عامل توجه به مسائل محیط زیستی، امروزه مهم‌ترین بحث در مورد صنایع انرژی‌بر است و باید به آن توجه ویژه‌ای کرد (جدید،۱۳۸۴).

## عامل تأمین انرژی

مهم‌ترین ویژگی و مشخصه‌ای که صنایع انرژی‌بر را از سایر صنایع موجود در بخش صنعت مجزا می‌سازد، استفاده بالای انرژی در فعالیت‌های تولیدی است.

## دسترسی به نهاده‌های تولید (مواد اولیه)

در هر فعالیت تولیدی، نهاده‌های تولیدی به ۳ دسته کلی تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از نیروی کار، سرمایه و نهاده‌های اولیهٔ تولید. در مکان‌یابی صنایع انرژی‌بر، نقش سرمایه در استقرار صنایع انرژی بر مستقل از مکان حرکت می‌کنند. بنابراین دو عامل نیروی کار و نهاده‌های اولیهٔ تولید، نقش محوری در مکان یابی صنایع انرژی بر، خواهند داشت (جدید،۱۳۸۴).

## توسعهٔ مدل‌های چند معیاره در حل مسائل مکانی

بررسی کتاب‌شناسی تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین روش چند شاخصه استفاده شده در مسائل مکانی، روش تحلیل سلسله مراتبی[5] است که از آن جمله می‌توان به کار Eldranadly و همکارانش در سال ۲۰۰۳ اشاره کرد که سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی برای مکان‌یابی صنایع ارائه کردند و بدین منظور ۱۴ لایه شامل لایه‌های خاک، شیب، مناطق سیل خیز، تسهیلات، راه، کاربری و ...) تلفیق شدند و ۴ منطقه شناسایی شدند. سپس روش سلسله مراتبی را برای معیارهای (دسترسی به نیروی انسانی، هزینهٔ کارگر، هزینه‌های تسهیلات، مالیات، آموزش و مسکن) اجرا نمودند (Eldranadly, et al.,2003).

در کتاب‌شناسی تحقیق، مدل‌های چندهدفهٔ مکانی در دو گروه از مسائل مکانی شامل مسائل آمایش سرزمین و مکان‌یابی تسهیلات[6] استفاده شده‌اند.

## مدل‌های چندهدفه در حل مسائل آمایش سرزمین

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در گذشته بیشتر از روش برنامه ریزی خطی برای حل مسائل آمایش سرزمین استفاده می‌شده است اما به دلیل محدودیت‌های این روش و لزوم خطی بودن

Archive of SID

www.SID.ir

اهداف و قیود، محبوبیت این روش کاهش یافته است. جعفری و کریمی در سال ۱۳۸۴، به منظور ارزیابی توان اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی، مکان یابی استقرار صنایع در استان قم، از برنامه ریزی خطی استفاده کردند (جعفری و همکارش،۱۳۸۴). Xiaoli و همکارانش در سال ۲۰۰۹، به تشریح سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای بهینه سازی ساختار و تخصیص کاربری زمین پرداختند. بدین منظور برنامه‌ریزی خطی و دیگر الگوریتم‌های بهینه سازی ساختار کاربری زمین اجرا شدند. این سیستم در منطقه‌ای از پکن به کار رفته و شامل دو مرحلهٔ اصلی ۱) بهینه سازی مناطق کاربری‌های مختلف و ۲) تخصیص مکانی کاربری‌ها است (Xiaoli, et al.,2009).

روش دیگری که در حل مسائل آمایش سرزمین کاربرد بسیاری داشته روش برنامه ریزی آرمانی است. Biswas و همکارش در سال ۲۰۰۴، کارایی برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای مدل‌سازی و حل مسائل آمایشی محصول دهی بهینه در سیستم‌های کشاورزی، نشان دادند (Biswas, et al., 2004).

الگوریتم‌های ژنتیک و تلفیق آنها با روشهای دیگر، از جمله روشهای کارا در حل مسائل آمایشی بوده‌اند. Zhou در سال ۲۰۰۳، برای حل مدل‌های تخصیص مکانی، از تلفیق الگوریتم سیمپلکس شبکه، شبیه سازی اتفاقی و الگوریتم ژنتیک برای تولید الگوریتم هوشمند هیبرید استفاده کرد (Zhou, et al.,2003). Eldrandly در سال ۲۰۰۹، از تلفیق برنامه ریزی بیان ژنی[۷] (GEP) و GIS برای حل مسائل تخصیص کاربری چند مکانی استفاده کرد. این تحقیق بر حداقل هزینه‌های توسعه و حداکثر فشردگی کاربری تخصیص یافته، تأکید دارد (Eldrandly, et al.,2009).

الگوریتم NSGA-II از دیگر الگوریتم‌های تکاملی است که به دلیل کشف بده بستان[۸] بین اهداف متضاد در حل مسائل آمایشی مفید واقع شده است.

Datta و همکارش در سال ۲۰۰۷، از الگوریتم[۹] NSGA-II-LUM، الگوریتم تکاملی چندهدفهٔ GIS مبنا مکانی برای سه هدف حداکثر بازگشت اقتصادی، حداکثر توقیف تولید کربن، حداقل فرسایش خاک استفاده کردند. موفقیت این الگوریتم در منطقه‌ای از پرتغال نمایش داده شده است (Datta, et al., 2007a) Datta, و همکارانش در سال ۲۰۰۷، از دو الگوریتم تکاملی[۱۰] NSGA-II-UCTO و NSGA-II-LUM برای حل دو نمونه از مسائل تخصیص منابع استفاده کردند (Datta, et al., 2007b).

## مدل‌های چندهدفه در حل مسائل مکان‌یابی تسهیلات

در حل مسائل مکان‌یابی تسهیلات نیز الگوریتم‌های ژنتیک موفقیت بیشتری نسبت به دیگر روشها داشته‌اند. Alp و همکارش در سال ۲۰۰۳، از الگوریتم ژنتیک برای مسئله مکان‌یابی تسهیلات، با هدف انتخاب p تسهیل برای خدمت دهی به n نقطه متقاضی، به منظور حداقل کردن فاصله سفر بین تسهیلات و نقاط متقاضی استفاده کردند (Alp, et al., 2003). Saadatseresht و همکاران در سال ۲۰۰۹، از الگوریتم تکاملی چندهدفه و GIS برای برنامه ریزی تخلیه در مدیریت بحران استفاده کردند. در این مدل از روش سه مرحله‌ای استفاده شده است. در آخرین مرحله به منظور انتقال افراد به مناطق امن یک مسئله بهینه سازی چندهدفه مکانی تعریف می‌شود و از الگوریتم NSGA-II برای حل این مسئله استفاده شده است (Saadatseresht, et al., 2009).

در تحقیق پیش رو، هدف ارائهٔ مدل مکانی چندهدفه است که هر سه هدف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را تأمین سازد؛ بنابراین از تلفیق مدل‌های مکانی و روشهای چندهدفه برای توسعه این مدل استفاده شده است.

بررسی کتاب‌شناسی تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم NSGA-II به دلیل کشف بده بستان بین اهداف متضاد، پیچیدگی محاسبات کمتر و استفاده از عملگر ازدحام در مرتب سازی نامغلوب، رضامندی بیشتری نسبت به دیگر روشهای چندهدفه دارد، در مسئلهٔ پیش‌رو نیز که با اهداف متضاد مواجه است، استفاده از عملگر NSGA-II پیشنهاد می‌شود.

### الگوریتم NSGA-II

در این الگوریتم به منظور مرتب سازی جمعیتی با اندازهٔ N ، هر راه حل باید با راه حل دیگر مقایسه شود، بنابراین نیاز به O(MN) مقایسه برای هر راه حل دارد، M تعداد اهداف و N اندازه جمعیت است. ابتدا برای هر راه حل دو مقدار محاسبه می‌شود ۱) $n_i$ تعداد راه حل‌هایی است که به راه حل i غلبه می‌کند و ۲) $s_i$ مجموعه راه حل‌هایی که راه حل i بر آنها غلبه می‌کند. محاسبه این دو مقدار نیازمند $o(MN^2)$ مقایسه است.

نقاطی که $n_i = o$ دارند شناسایی شده و در فهرست F1 قرار داده می‌شوند، F1 ، منحنی تبادل اهداف[۱۱] فعلی نامیده می‌شود. برای هر راه حل در منحنی تبادل اهداف فعلی هر عضو j در مجموعه $s_i$ بررسی می‌شود و شماره $n_j$ آن یکی کم می‌شود. اگر برای هر عضو j شماره صفر شود در لیست H قرار داده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

وقتی تمام اعضای منحنی تبادل، اهداف فعلی بررسی شدند اعضای فهرست F1 به عنوان اعضای اولین منحنی تبادل اهداف در نظر گرفته می‌شوند. سپس این فرایند تکرار می‌شود تا تمام منحنی‌های تبادل اهداف شناسایی شوند. این فرایند تا جایی که همه منحنی‌های تبادل اهداف شناسایی شوند، ادامه می‌یابد. به منظور تخمین تراکم راه حل‌های حول نقطه‌ای خاص در جمعیت، از فاصله میانگین دو نقطه در دو طرف این نقطه در امتداد اهداف استفاده می‌شود.

مقدار فاصله i برآوردی از اندازه بزرگترین مستطیل دربرگیرنده نقطه i است که نقطه دیگری از جمعیت را در بر نمی‌گیرد و آن فاصله ازدحام نامیده می‌شود.

در لوپ اصلی، ابتدا جمعیت p والد ایجاد می‌شود. جمعیت بر مبنای جواب‌های نامغلوب[۱۲] مرتب می‌شود. به هر راه حل مقداری برابر با تراز جواب‌های نامغلوب اختصاص داده می‌شود (۱ برای بهترین تراز). از تکنیک‌های ترکیب مجدد و جهش برای ایجاد جمعیت Q از N استفاده می‌شود.

از نسل اول به بعد، فرایند متفاوت است و ابتدا جمعیت $R_t = P_t \cup Q_t$ شکل می‌یابد. جمعیت $R_t$ برابر با 2N است. سپس جمعیت $R_t$ بر طبق جواب‌های نامغلوب آن مرتب می‌شود. جمعیت والد جدید $P_{t+1}$ با اضافه کردن راه حل‌های اولین منحنی تبادل اهداف تا جایی که اندازه آن بیشتر از N شود، شکل می‌یابد. از این جمعیت با اندازهٔ N به منظور ایجاد نسل جدید $Q_{t+1}$ با عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش استفاده می‌شود. تنوع بین جواب‌های نامغلوب با فرایند مقایسهٔ ازدحام، معرفی می‌شود. از آنجایی که راه حل‌ها با فاصلهٔ ازدحامشان رقابت می‌کنند، نیاز به مشخصه دیگری مانند تسهیم ندارد (Datta, et al., 2007).

## مواد و روش تحقیق

### منطقهٔ مطالعاتی

استان اصفهان در این مقاله به عنوان منطقهٔ مطالعاتی در نظر گرفته شده است. استان اصفهان از حدود ۲۰۰ سال قبل به منزلهٔ قطب مؤثر و فعال صنعت در کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است. این استان به لحاظ موقعیت جغرافیایی و امکانات زیربنایی و وجود بازارهای متمرکز، قطب صنعتی ممتاز کشور بوده است و بیشترین سرمایه‌گذاری‌های اساسی و زیر بنایی کشور در این استان انجام پذیرفته و هم اکنون قسمت عمده‌ای از صنایع زیربنایی در زمینهٔ فولاد و نساجی و شیمیایی در استان اصفهان استقرار یافته است. استان اصفهان با تولید سالانه بیش از ده میلیون تن مواد معدنی که حدود ده درصد کل تولید و استخراج مواد معدنی کشور را تشکیل می‌دهد در بخش معدن، جایگاه دوم را در کشور داراست. استان اصفهان از کانون‌های مهم صنعت ایران بشمار می‌آید. وجود مجتمع‌های صنعتی فولاد مبارکه، ذوب آهن، صنایع ریسندگی، پالایشگاه اصفهان، صنایع نظامی، صنایع خوراکی و ... اهمیت صنعتی این استان را به خوبی نشان می‌دهد (سازمان صنایع و معادن استان اصفهان، ۱۳۸۹).

اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۵،۹۳۷ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این استان در مرکز ایران واقع شده است و از شمال به استان‌های مرکزی، قم و سمنان؛ از جنوب به استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد؛ از غرب به استان‌های لرستان، خوزستان و چهارمحال و بختیاری و از شرق به استان یزد محدود است.

### داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق با توجه به عوامل تأثیر گذار در مکان یابی صنایع، جمع آوری شدند که این داده‌ها شامل لایه‌های راههای اصلی، خطوط ریلی، معادن، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال گاز، رودخانه‌ها، گسل‌ها، دریاچه‌ها، مناطق شهری، شهرستان‌ها، بخش‌ها، مناطق حفاظت شده و حساس زیست محیطی هستند.

همچنین لایه‌های مرتبط با یکدیگر تلفیق شدند و در یک لایه قرار گرفتند. برای نمونه لایه‌های راههای اصلی، بزرگراهها و آزاد راهها تبدیل به لایه راه شدند.

### حذف مناطق غیرمجاز برای استقرار صنایع

در این تحقیق ابتدا به حذف مناطق غیر مجاز از نظر قانون‌های زیست محیطی، پرداخته شد، بدین منظور بر اساس قانون‌ها و استانداردهای زیست محیطی، حریم‌های ممنوع در استقرار صنایع استخراج شدند که در جدول شمارهٔ (۱) مشاهده می‌شود (مجموعه قانون‌ها و مقررات حفاظت محیط زیست ایران،۱۳۸۳).

همچنین ممنوعیت استقرار صنایع از شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهرها و حریم ۲ کیلومتری از گسل‌ها به منظور کاهش آثار زمین‌لرزه‌های احتمالی لحاظ شد.

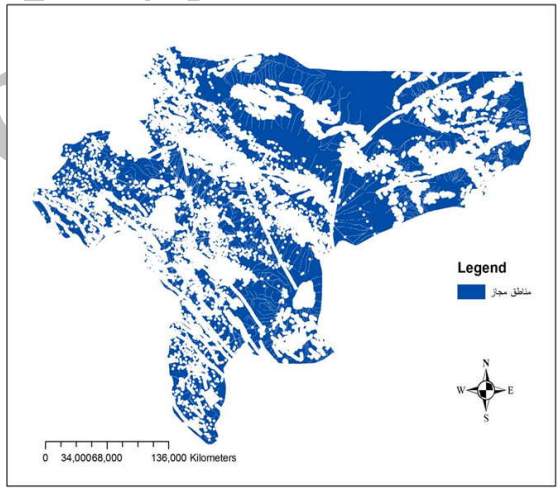
Archive of SID

www.SID.ir

**جدول شمارهٔ (۱): حداقل فواصل برای استقرار صنایع**

| عوارض | حداقل فاصله از مراکز (متر) |
|---|---|
| سکونتگاهها | ۱۵۰۰ |
| بزرگراه و جاده ترانزیت | ۲۵۰ |
| جادهٔ اصلی | ۱۵۰ |
| پارک ملی-تالاب-دریاچه اثر طبیعی ملی | ۲۰۰ |
| پناهگاه حیات وحش- منطقه حفاظت شده | ۱۰۰ |
| رودخانهٔ دایمی، قنات دایر،چاههای عمیق و نیمه عمیق | ۱۰۰ |

با استفاده از عملگر بافر در محیط GIS، مناطق حایل ایجاد شده و از منطقه مطالعاتی حذف شدند. شکل شمارهٔ (۱) مناطق مجاز برای استقرار صنایع را نشان می‌دهد.




**شکل شمارهٔ (۱): مناطق مجاز برای استقرار صنایع**

سپس نقشه ایجاد شده به فرمت باینری تبدیل شد و به پیکسل‌های مجاز برای استقرار صنایع، عدد ۱ و به باقی مناطق، عدد ۰ اطلاق شد. به منظور استخراج مختصات پیکسل‌های با کد ۱، از کد نویسی در محیط ArcGIS 9.3 استفاده شد و به این طریق مختصات آنها در فایل اکسل ذخیره شد.

## گزینه‌های تصمیم گیری

بعد از استخراج مختصات پیکسل‌های مجاز برای استقرار صنایع به هر یک از آنها مقداری به عنوان ایندکس اختصاص یافت که این مقادیر در بازه ۱ تا ۱۸۱۸۲ هستند و جمعیت اولیه از این بازه انتخاب می‌شود. در واقع ۱۸۱۸۲ تعداد پیکسل‌های مجاز (گزینه‌های تصمیم‌گیری) برای استقرار صنایع است. مختصات پیکسل‌ها از نرم افزار ArcGIS استخراج شد. بدین منظور از کد نویسی در محیط ArcObject استفاده شده است. سپس ایندکس و مختصات پیکسل‌ها وارد نرم افزار Matlab شد. پس از اجرای برنامه بهینه سازی، در مرحلهٔ بعدی به منظور بصری سازی گزینه‌های منتخب، جواب‌های حاصل از نرم افزار Matlab مجدداً" به محیط ArcGIS منتقل شدند.

## توابع هدف

در این مرحله با توجه به معیارهای مؤثر در مکان‌یابی صنایع بویژه صنایع انرژی بر، به تعریف اهداف پرداخته شد. حداقل فاصله از شهرستان‌های با تراکم جمعیت بیشتر به عنوان هدف اجتماعی و مجموع حداکثر فاصله از مناطق حفاظت شده، دریاچه‌ها، شهرها و جنگل‌ها به عنوان هدف زیست محیطی در نظر گرفته شدند. مجموع حداقل فاصله از معادن، راهها، خطوط انتقال نیرو و خطوط انتقال گاز به عنوان هدف اقتصادی در نظر گرفته شدند. از آنجایی که تأثیر عوامل مؤثر در تأمین هدف اقتصادی برای صنایع مختلف متفاوت است، هدف اقتصادی در اجرای الگوریتم NSGA-II لحاظ نشد و پس از کشف بده بستان بین اهداف اجتماعی و زیست محیطی، به منظور اولویت دهی به استقرار صنایع، هدف اقتصادی اعمال شد (شکل شمارهٔ ۲).

**شکل شمارهٔ (۲): ساختار کلی حل مسئله مکان‌یابی استقرار صنایع انرژی بر**

برای محاسبهٔ فاصله از لایه‌های پلی گونی، فاصله از مراکز پلی گون در نظر گرفته شده است. به منظور محاسبهٔ فاصله از معادن، مناطق شهری و مراکز پلی گون، از رابطهٔ ۱ استفاده می‌شود:

www.SID.ir

$$\sqrt{(X_pixel - X_center)^2 + (Y_pixel - Y_center)^2} \quad (۱)$$

برای هدف اجتماعی، تراکم جمعیت هر شهرستان به عنوان وزن در نظر گرفته شده است. در پایان اهداف اجتماعی و زیست محیطی به صورت زیر تعریف شدند (روابط ۲و۳):

$$\text{Socialobjective} \approx Min((\frac{1}{population_density}) \times d_c) \quad (۲)$$

$$\text{Environmental objective} \approx \frac{1}{\min(\sum(d_f + d_p + dw))} \quad (۳)$$

در روابط فوق منظور از $d$، فاصله اقلیدسی است.

$d_c$: فاصله نمونه انتخابی (پیکسل) از شهر و مناطق جمعیتی است.

$d_f$ ،$dp$ و $d_w$ : فاصله نمونه انتخابی (پیکسل) به ترتیب از جنگل، مناطق حساس زیست محیطی و منابع آب است.

## اجرای الگوریتم NSGA-II

در این تحقیق متغیر تصمیم گیری به صورت مشخصه واقعی در نظر گرفته شده و از عملگرهای تقاطع باینری شبیه سازی شده[۱۳] و اپراتور جهش چند جمله‌ای، استفاده شده است.

**• تقاطع شبیه سازی دودویی**

عملگر تقاطع شبیه سازی شده دودویی با دو جواب والد به ایجاد دو فرزند می‌پردازد. همان طور که از اسم این عملگر بر می‌آید، عملگر SBX به شبیه سازی اصول کارکرد تقاطع تک نقطه‌ای بر رشته‌های دودویی می‌پردازد.

**• جهش چند جمله‌ای**

توزیع احتمال، می‌تواند بجای یک توزیع نرمال، یک تابع چند جمله‌ای، باشد (رابطه ۴).

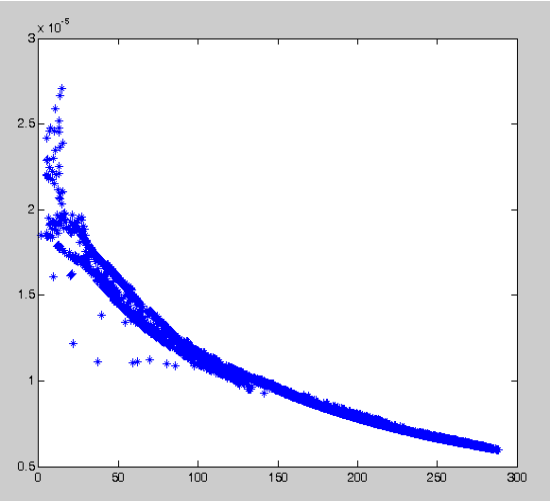
$$y_i^{(t+1)} = x_i^{(t+1)} + (x_i^{(U)} - x_i^{(L)})\delta_i \quad (۴)$$

که در آن مشخصه $\delta_i$ از توزیع احتمال چند جمله‌ای $P(\delta) = 0.5(\eta_m + 1)(1 - |\delta|)^{\eta_m}$ محاسبه می‌شود (رابطه ۵) (رضایی و همکاران،۱۳۸۷)

$$\delta_i = \begin{cases} (2r_i)^{1/(\eta_m+1)} - 1, if: r_i \prec 0.5 \\ 1 - (2(1-r_i))^{1/(\eta_m+1)}, if: r_i \geq 0.5 \end{cases} \quad (۵)$$

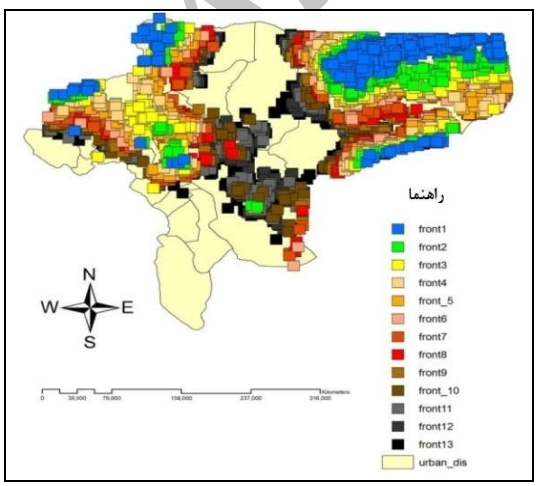
**• اعمال الگوریتم**

ابتدا برای آنکه دریافتی از پهنه‌های مناسب برای استقرار صنایع داشته باشیم، الگوریتم برای ۵۰۰۰ جمعیت اولیه در یک نسل اجرا شد که حاصل نمودار تبادل اهداف آن در شکل شمارهٔ (۳)دیده می‌شود.




**شکل شمارهٔ (۳): نمودار تبادل اهداف بین اهداف اجتماعی و زیست محیطی با ۵۰۰۰ جمعیت اولیه و در نسل اول**

جواب‌های به‌دست آمده در ۱۳ منحنی تبادل اهداف قرار می‌گیرند که منحنی‌های تبادل اهداف با شمارهٔ کمتر، جواب‌های مطلوب‌تر هستند (شکل شمارهٔ ۴).



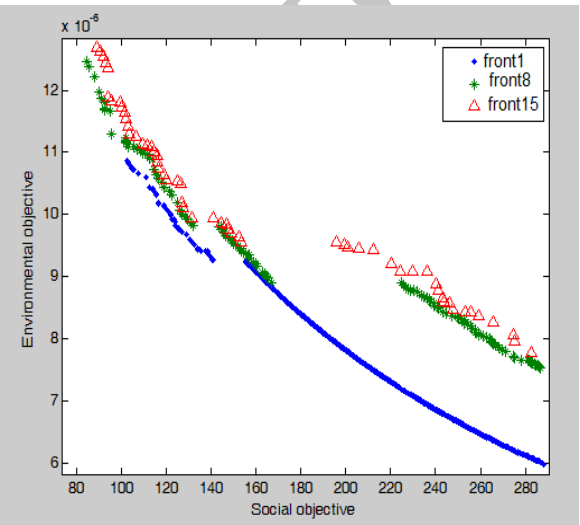

**شکل شمارهٔ (۴) : منحنی‌های تبادل اهداف حاصل از اجرای الگوریتم برای ۵۰۰۰ جمعیت اولیه**

Archive of SID

www.SID.ir

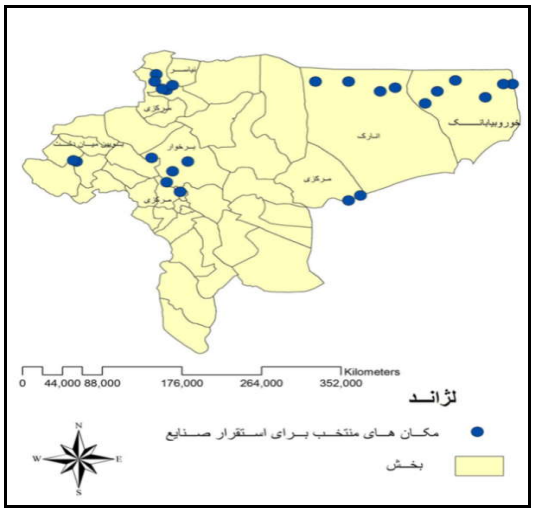
در این شکل مناطقی که با رنگ آبی نمایش داده شده‌اند، جواب‌های مناسب‌تر را بیان می‌کنند. بیشترین تراکم این نقاط در بخش‌های خور و بیابانک و انارک دیده می‌شود و بعد از آن بالاترین تراکم مربوط به بخش نیاسر است.

شکل شمارهٔ (۵) مقایسهٔ بین منحنی‌های تبادل اهداف اوّل، هشتم و پانزدهم را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود منحنی تبادل اهداف اول از همگرایی و توزیع بهتری نسبت به سایر منحنی‌های تبادل اهداف برخوردار است.




**شکل شمارهٔ (۵): مقایسه منحنی‌های تبادل اهداف ۱،۸ و ۱۵**

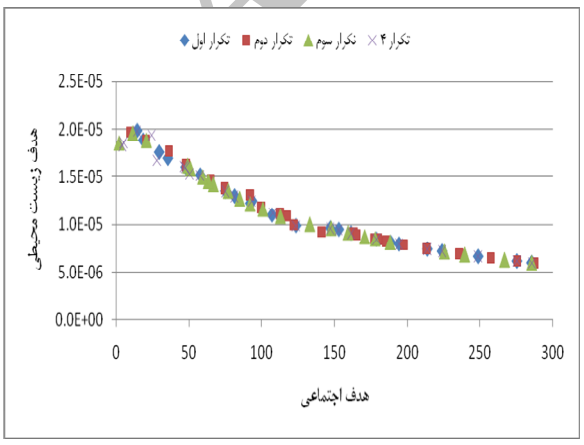
بر اساس مطالعات انجام گرفته، تعداد جمعیت اولیه برابر با ۲۵ که معادل با تعداد مکان‌های مورد نیاز برای ایجاد صنایع در منطقه مطالعاتی است، در نظر گرفته شد؛ بنابراین الگوریتم با ۲۵ راه حل اولیه برای تعداد نسل‌های ۱،۱۰،۵۰، و ۱۰۰۰ اجرا شد. در تمامی نسل‌ها، هر ۲۵ راه حل در منحنی تبادل اهداف اول قرار می‌گیرند. نامناسب‌ترین راه حل‌ها در نسل اول وجود دارند و با افزایش نسل، راه حل‌ها بهبود می‌یابند. راه حل بهینه در نسل هزارم حاصل می‌شود. از نسل ۱ تا هزارم، با گذشت نسل، جواب‌ها در سطح ناحیه منحنی تبادل اهداف گسترده می‌شوند و بهبود می‌یابند. قابل ذکر است که به منظور اطمینان از توزیع مکانی مناسب جمعیت اولیه در سطح منطقهٔ مورد مطالعه، منطقه مورد مطالعه به ۵ قسمت تقسیم و در هر قسمت تعداد ۵ نمونه جهت جمعیت اولیه انتخاب شد. نمایش مکان‌های حاصل از نسل هزارم در شکل شمارهٔ (۶) مشاهده می‌شود. همان طور که در شکل دیده می‌شود، نقاط پیشنهاد شده در بخش‌های خور و بیابانک، انارک، نیاسر، برخوار و بویین میاندشت، قرار دارند.




**شکل شمارهٔ (۶): مناطق پیشنهاد شده برای استقرار صنایع با جمعیت ۲۵ در نسل هزارم**

## تست الگوریتم

- **تست تکرار پذیری الگوریتم:** تکرار الگوریتم‌های تکاملی به دلیل ساختار تصادفی آنها تا حدودی منجر به نتایج متفاوت می‌شود. به منظور تایید ثبات الگوریتم، این الگوریتم با ۲۵ جمعیت اولیه و ۵۰ نسل، ۴ بار تکرار شد که حاصل آن در شکل شمارهٔ (۷) مشاهده می‌شود. همان طور که مشاهده می‌شود، تفاوت معنی داری بین نمودارهای حاصل از تکرارهای متوالی دیده نمی‌شود. نتایج دارای توانایی تکرار پذیری بوده و مدل از استحکام مناسب برخوردار است.

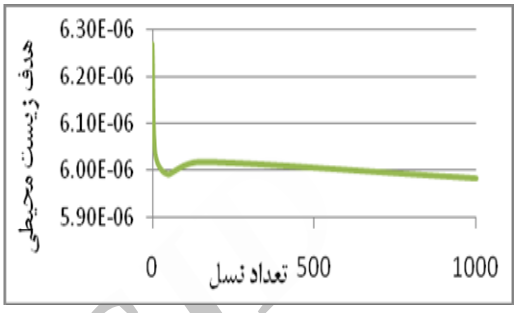



**شکل شمارهٔ (۷): نمودارهای حاصل از ۴ بار تکرار الگوریتم با ۲۵ جمعیت اولیه در ۵۰ نسل**

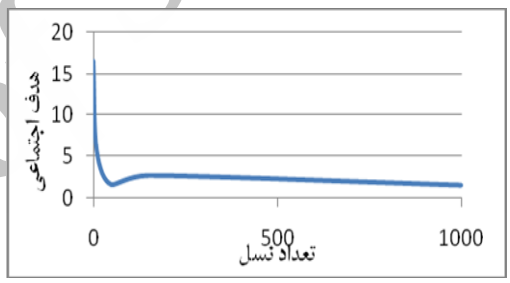
Archive
www.SID.ir

• **تست تغییر مشخصه‌های الگوریتم**

**۱-تغییر نسل:** با افزایش تعداد نسل، حداقل مقدار اهداف اجتماعی و اقتصادی کاهش می‌یابد. میزان بهبود اهداف با افزایش نسل، در شکل‌های شمارهٔ (۸ و ۹) نشان داده شده است.

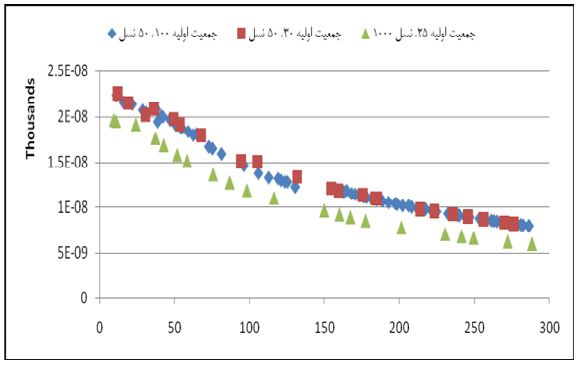



**شکل شمارهٔ (۸): بهبود هدف زیست محیطی با افزایش نسل**




**شکل شمارهٔ (۹): بهبود هدف اجتماعی با افزایش نسل**

**۲-تعداد جمعیت اولیه:** الگوریتم برای جمعیت‌های اولیه ۲۵، ۳۰، ۱۰۰ و با تعداد ۵۰ نسل اجرا شد، با افزایش تعداد جمعیت اولیه، راه حل‌ها بهبود می‌یابند، اما زمان اجرای الگوریتم با افزایش جمعیت اولیه، بشدت افزایش می‌یابد. در شکل شمارهٔ (۱۰)، مقایسهٔ منحنی‌های تبادل اهداف حاصل از اجرای الگوریتم با ۳۰ جمعیت اولیه با تعداد ۵۰ نسل، ۱۰۰ جمعیت اولیه و ۵۰ نسل و ۲۵ جمعیت اولیه در ۱۰۰۰ نسل دیده می‌شود.




**شکل شمارهٔ (۱۰) : مقایسه نمودارهای حاصل از اجرای الگوریتم با جمعیت‌ها و نسل‌های مختلف**

جدول شمارهٔ (۲) بهبود الگوریتم را با افزایش نسل و افزایش جمعیت اولیه نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود حداقل اهداف حاصل از تعداد ۱۰۰۰ نسل با ۲۵ جمعیت اولیه و تعداد نسل ۴۰۰ با ۱۰۰ جمعیت اولیه یکسان هستند، اما به دلیل این‌که در این تحقیق هدف انتخاب ۲۵ مکان برای استقرار صنایع است، از جواب‌های حاصل از تعداد نسل ۱۰۰۰ با ۲۵ جمعیت اولیه استفاده شده است

**جدول شمارهٔ (۲): بهبود الگوریتم با افزایش جمعیت اولیه و افزایش نسل**

| تعداد نسل | جمعیت اولیه | هدف اجتماعی | هدف اقتصادی |
|---|---|---|---|
| ۵۰ | ۲۵ | ۶.۴۳ | ۸.۴۰e-۰۶ |
| ۵۰ | ۳۰ | ۱.۷۳ | ۸.۲۱e-۰۶ |
| ۵۰ | ۱۰۰ | ۱.۵۱ | ۷.۹۷e-۰۶ |
| ۱۰۰۰ | ۲۵ | ۱.۵۱ | ۵.۹۸e-۰۶ |
| ۴۰۰ | ۱۰۰ | ۱.۵۱ | ۵.۹۸e-۰۶ |

## تعیین اولویت بخش‌های مختلف استان برای استقرار صنایع انرژی بر به تفکیک صنایع

بعد از دسترسی به جواب‌های نامغلوب حاصل از اعمال اهداف زیست محیطی و اجتماعی در الگوریتم NSGA-II، به منظور اولویت دهی به استقرار صنایع فولاد، سیمان و آلومینیوم، معیارهای مؤثر در تأمین هدف اقتصادی با توجه به وزن‌های مرتبط با هر صنعت اعمال شد. وزن‌های مرتبط با هر صنعت از طرح استقرار صنایع انرژی بر وزارت صنایع استخراج شده است (طرح مکان یابی مناطق ویژه استقرار صنایع انرژی بر، ۱۳۸۵).

با توجه به مطالعات طرح استقرار صنایع انرژی‌بر وزارت صنایع، شاخص‌های انتخاب مکان مناسب برای استقرار این صنایع همراه با اهمیت نسبی هر معیار در مقایسه با سایرین، با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین شده است (جدول شمارهٔ ۳).

در این مرحله، به منظور اولویت دهی به ۲۵ مکان انتخاب شده در مرحلهٔ قبل بر اساس روش NSGA-II، به کمک وزن های مندرج در جدول شمارهٔ (۳) اولویت هر مکان برای تخصیص به صنایع مختلف، به تفکیک تعیین می‌شود. ابتدا برای هر یک از نقاط منتخب، حداقل فاصله آن راه حل از راههای اصلی، خطوط راه آهن، معادن، خطوط انتقال نیرو و گاز محاسبه می‌شود و با توجه به اهمیت هر یک از شاخص‌ها در صنعت مربوط و به کمک روش

Archive of SID
www.SID.ir

همپوشانی شاخص، نتیجه حاصل از تلفیق معیارها محاسبه و اولویت ۲۵ مکان مورد نظر تعیین می‌شود.

**جدول شمارهٔ (۳): معیارها و وزن آنها در تعیین اولویت اختصاص مکان به صنایع انرژی بر**

| عنوان معیار | وزن معیار | | |
|---|---|---|---|
| | صنعت فولاد | صنعت سیمان | صنعت آلومینیوم |
| فاصله از نزدیکترین شبکه راه دسترسی | ۰/۲۵۹ | ۰/۱۸۸ | ۰/۱۷۸ |
| فاصله از نزدیکترین معدن | ۰/۲۱۲ | ۰/۱۷۴ | ۰/۱۶۷ |
| فاصله از نزدیکترین خط انتقال نیرو | ۰/۴۰۹ | ۰/۲۱۱ | ۰/۲۸۴ |
| فاصله از نزدیکترین خط انتقال گاز | ۰/۱۲۰ | ۰/۴۲۶ | ۰/۳۷۱ |

بنابراین هدف اقتصادی برای این سه نوع صنعت به صورت روابط ۶ تا ۸ است:

**رابطهٔ ۶- هدف اقتصادی برای صنعت فولاد**

$$\text{Economic objective} = 0.259*d_r + 0.212*d_m + 0.409*d_e + 0.112*d_g$$

**رابطهٔ ۷-هدف اقتصادی برای صنعت سیمان**

$$\text{Economic objective} = 0.188*d_r + 0.174*d_m + 0.211)*d_e + 0.426*d_g)$$

**رابطه ۸-هدف اقتصادی برای صنعت آلومینیوم**

$$\text{Economic objective} = 0.178*d_r + 0.167*d_m + 0.284*d_e + 0.371*d_g)$$

در روابط فوق منظور از $d$، فاصله اقلیدسی است.

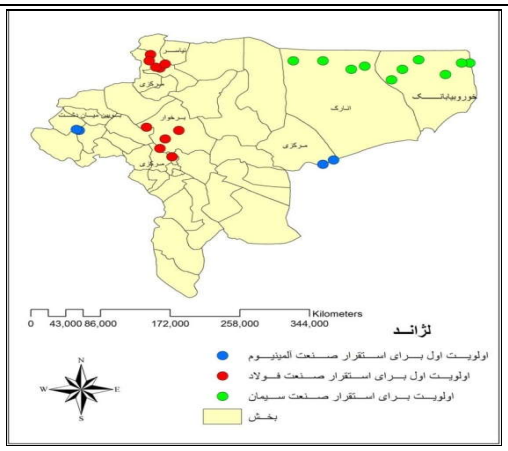
$d_m$: فاصله نمونه انتخابی (پیکسل) از نزدیکترین معدن است.

$d_r$: فاصله نمونه انتخابی (پیکسل) از نزدیکترین شبکه راه دسترسی است.

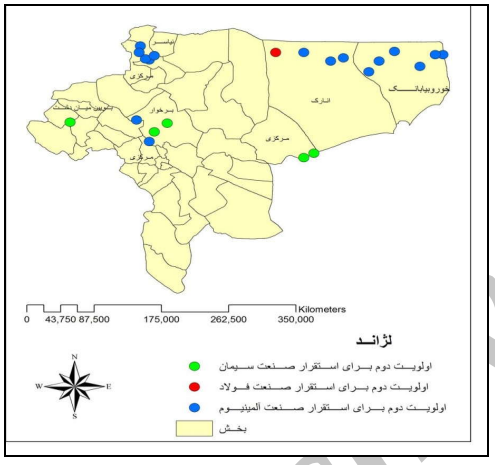
$d_e$: فاصله نمونه انتخابی (پیکسل) از نزدیکترین خط انتقال نیرو است.

$d_g$: فاصله نمونه انتخابی (پیکسل) از نزدیکترین خط انتقال گاز است.

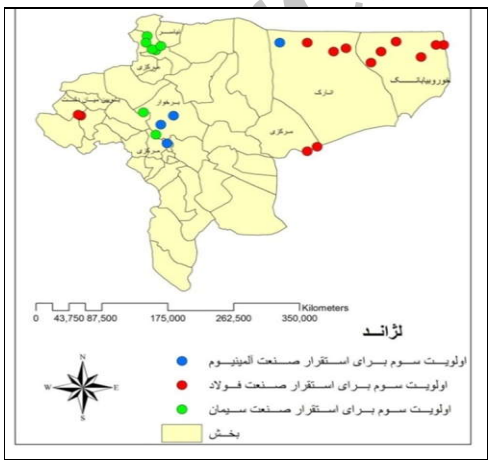
اولویت‌های اول تا سوم برای استقرار صنایع در شکل‌های شمارهٔ (۱۱ تا ۱۳)، دیده می‌شود. صنعت فولاد به رنگ قرمز، صنعت سیمان به رنگ سبز و صنعت آلومینیوم به رنگ آبی نمایش داده شده است. شکل شمارهٔ (۱۴)، پیشنهادها برای استقرار صنایع را به تفکیک بخش نشان می‌دهد.




**شکل شمارهٔ (۱۱): اولویت‌های اول برای استقرار صنایع مختلف**




**شکل شمارهٔ (۱۲): اولویت‌های دوم برای استقرار صنایع مختلف**



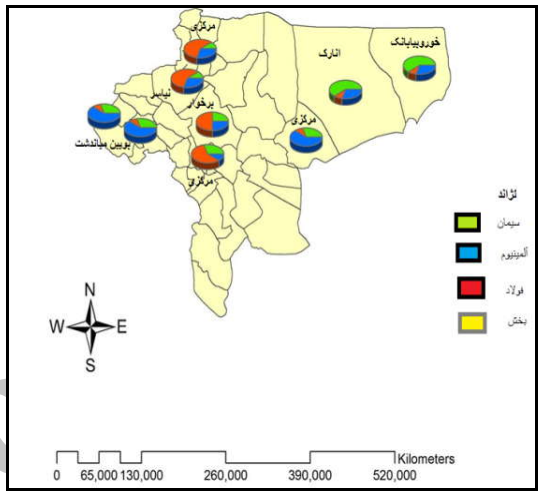

**شکل شمارهٔ (۱۳): اولویت‌های سوم برای استقرار صنایع مختلف**

به منظور اعتبار سنجی نتایج حاصل از الگوریتم NSGA-II، مقدار اهداف برای کلیهٔ ۱۸۱۸۲ پیکسل اجرا شد و پس از مرتب سازی با روش مرتب سازی نامغلوب، نمودار منحنی تبادل اهداف حاصل شد. سپس نمودار اولین منحنی تبادل اهداف، به عنوان مرجع

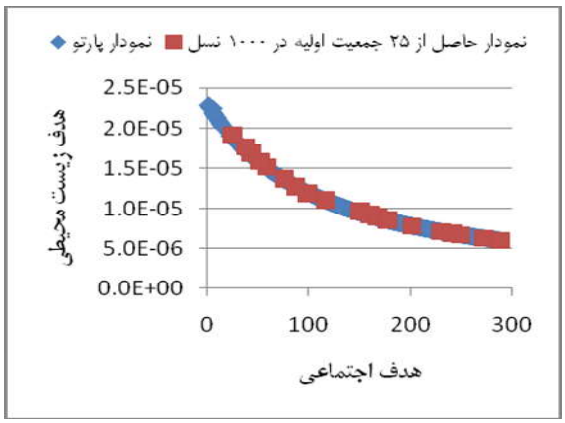
Archive of SID

www.SID.ir

قرار گرفت و با نمودار حاصل از ۲۵ جمعیت اولیه در ۱۰۰۰ نسل مقایسه شد که حاصل مقایسه آن در شکل شمارهٔ (۱۵) دیده می‌شود. همان‌طور که در شکل نشان داده می‌شود، جواب‌های حاصل از اجرای الگوریتم در نسل هزارم بر روی نمودار منحنی تبادل اهداف حاصل از کلیه پیکسل‌ها، قرار می‌گیرند.

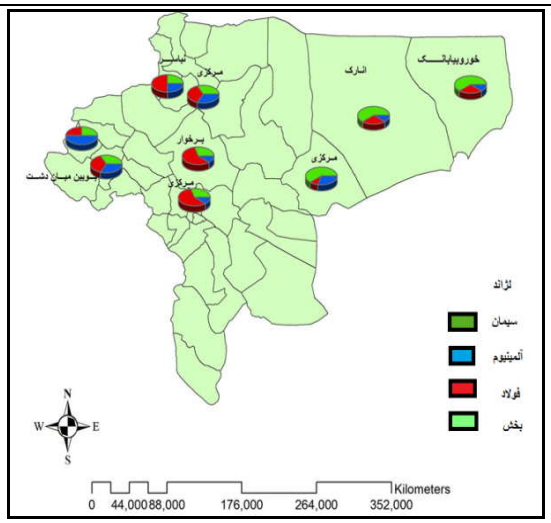



**شکل شمارهٔ (۱۴): اولویت استقرار صنایع به تفکیک بخش**




**شکل شمارهٔ (۱۵): مقایسه نمودار پارتو با نمودار حاصل از اجرای الگوریتم با ۲۵ جمعیت اولیه در ۱۰۰۰ نسل**

به منظور اعتبار سنجی به نتایج اولویت دهی صنایع از روش وزن‌دهی همپوشانی شاخص در محیط GIS استفاده شد و حاصل آن در شکل شمارهٔ (۱۶) نمایش داده شده است. مقایسهٔ نتایج نشان می‌دهد که در اولویت اول، ۶۶ درصد تشابه و در اولویت دوم ۳۳ درصد تشابه وجود دارد.




**شکل شمارهٔ (۱۶): نتایج حاصل از روش همپوشانی شاخص، به منظور اولویت دهی به استقرار صنایع**

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آمایش سرزمین، برنامه ریزی با در نظر گرفتن منابع مالی، نیروی انسانی و توان اکولوژیکی سرزمین است که اساس توسعه پایدار را تشکیل می‌دهد. توسعهٔ پایدار با اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در ارتباط است بنابراین با مسئله چندهدفه روبه‌رو هستیم.

بررسی روشهای چندهدفه نشان می‌دهد که امروزه الگوریتم‌های تکاملی برای حل این مسائل مفید واقع شده‌اند. به دلیل نقش صنایع و بویژه صنایع انرژی‌بر در توسعه، اشتغال و همچنین تأثیر آنها بر روی محیط زیست، در این تحقیق آمایش این نوع صنایع مد نظر قرار گرفته است و هدف از این تحقیق ارائه یک مدل مکانی چندهدفه برای حل مسئلهٔ آمایش صنایع انرژی بر است که به عنوان نمونه برای سه صنعت فولاد، آلومینیوم و سیمان اجرا شده است.

در مرحلهٔ اوّل این مدل، ملاحظات زیست محیطی و قیود استقرار صنایع از فضای جست‌وجوی مسئله خارج شدند، سپس در مرحله بعد با فرض اینکه هر سه صنعت آثار یکسانی در تأمین اهداف اجتماعی و محیط زیست دارند الگوریتم NSGA-II به منظور کشف بده بستان بین این دو هدف، اجرا شد. تغییر مشخصه‌های الگوریتم نشان می‌دهد که با افزایش تعداد نسل و جمعیت اولیه، جواب‌های بهتری حاصل می‌شود، اما زمان اجرای الگوریتم افزایش می‌یابد.

Archive of SID
www.SID.ir

در این تحقیق از جواب‌های حاصل از نسل هزارم استفاده شده است که زمان اجرای آن حدود ۷۲ ساعت به طول انجامید. در مرحله بعد و به منظور اولویت بندی برای استقرار صنایع به تفکیک نوع صنعت، هدف اقتصادی که در برگیرنده حداکثر دسترسی به مواد اولیه و انرژی و حداقل کردن هزینهٔ حمل و نقل است بر روی جواب‌های حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II اعمال شد که منجر به اولویت بندی مکان‌های یافت شده برای استقرار صنایع شد. سپس با توجه به اولویت و تراکم نقاط پیشنهاد شده جهت استقرار هر صنعت انرژی بر در محدوده هر بخش از استان اصفهان، به ارائه اولویت استقرار صنایع فولاد، سیمان و آلومینیوم در واحد بخش پرداخته شد.

نتایج، حاکی از آن است که با اجرای الگوریتم چندهدفهٔ مبتنی بر NSGA-II امکان محدود کردن فضای جست‌وجو بر اساس نتایج حاصل از الگوریتم فوق ممکن شده و تعداد گزینه‌های ممکن از تمام پیکسل‌های واقع در محدودهٔ استان به تعداد ۲۵ مکان کاهش می‌یابد. با محدود شدن تعداد گزینه‌های تصمیم گیری در مرحله آخر و با اعمال معیارهای مربوط به تأمین هدف اقتصادی، امکان ارزیابی دقیق‌تر مکان‌های پیشنهادی برای استقرار صنایع مختلف، فراهم شد.

از ویژگی‌های مدل استفاده شده در این تحقیق، کاربرد توأم روش چندهدفه NSGA-II و تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور انتخاب و اولویت بندی مناطق مناسب برای استقرار انواع صنایع انرژی‌بر است. مدل توسعه داده شده، در تمامی مراحل طراحی قیود، اهداف و اولویت دهی به راه حل‌ها، مبتنی بر تحلیل‌های مکانی است.

برای کارهای آتی پیشنهاد می‌شود که شاخص‌ها و عوامل مهم دیگری چون جهت وزش باد، فاصله از صنایع و کارخانه‌های موجود، هزینه استقرار و ... در مدل سازی مورد توجه قرار گیرد. همچنین کاربرد دیگر روشهای تکاملی و مقایسه نتایج حاصل از آنها به عنوان کار آینده نگارندگان مقاله، مطرح است.

## یادداشت‌ها

1- Multi criteria decision making (MCDM)
2- Multi attribute decision making (MADM)
3- Multi objective decision making (MODM)
4- Non-dominated sorting genetic algorithms-II (NSGA-II)
5- Analytical hierarchy process (AHP)
6- Facility location
7- Gene Expression Programming (GEP)
8- Trade off
9- Non-dominated sorting genetic algorithm-II-Land use management (NSGA-II-LUM)
10- Non-dominated sorting genetic algorithm-II - university class timetable optimizer (NSGA-II-UCTO)
11- Pareto Front
12- Non-dominated
13- Simulated binary crossover operator (SBX)

## منابع مورد استفاده


اژدری، ع و فارسیان، م. ۱۳۸۷. ارزیابی و تحلیل طرح آمایش صنعتی و معدنی (۱۳۹۰-۱۳۸۷) وزارت صنایع و معادن.

جدید، ش .۱۳۸۴. پروژه مکان یابی صنایع انرژی بر: گزارش مرحلهٔ اوّل-تحلیل صنایع انرژی بر. پژوهشکدهٔ سبز-دانشگاه علم و صنعت ایران.

جعفری، ح. و کریمی، س .۱۳۸۴. ، مکان یابی عرصه‌های مناسب احداث صنعت در استان قم با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، مجله محیط شناسی، شمارهٔ ۵۲، ۳۷ تا ۴۵.

رضایی، ج. و داوودی منفرد، م.(مترجم) .۱۳۸۷. الگوریتم‌های ژنتیک با رویکرد بهینه یابی چندهدفه. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. انتشارات پلک.

سازمان صنایع و معادن استان اصفهان، پرتال http://isfahanim.org.ir/user/Index.jsp، مهر ۱۳۸۹.

طرح مکان‌یابی مناطق ویژه استقرار صنایع انرژی بر وزارت صنایع و معادن .۱۳۸۵. گروه مهندسان مشاور معمار، شهرساز، عمران آب و انرژی ره شهر.

مجموعه قانون‌ها و مقررات حفاظت محیط زیست ایران .۱۳۸۳.جلد اوّل، سازمان حفاظت محیط زیست.


Archive of SID
www.SID.ir

Alp,O., E.,Erkut .2003. An Efficient Genetic Algorithm for the *p*-Median Problem. Annals of Operations Research, 122: 21-42.

Biswas,A., B.,Pal .2004. Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system.omega , 33:391-398.

Datta,D., et al .2007a. Multi objective evolutionary algorithm for land use management problem. International Journal of computational Intelligence Research,3,371- 384.

Datta,D., K.,Deb, C.,Fonseca .2007b. Multi-objective evolutionary algorithms for resource allocation problems.Lecture notes in computer science, 4403, 401-416.

Eldrandaly,K. , N.Eldin .2003. A COM-based spatial Decision Support System for Industrial site selection, Journal of Geographic information and Decision Analysis, 7(2):72-92.

Eldrandly,K. 2009. Integrating Gene Expression Programming and Geographic Information Systems for Solving a Multi Site Land Use Allocation Problem. American Journal of Applied Sciences, 6(5): 1021-1027.

Saadatseresht,M., A.,Mansourian, M.,Taleai .2009. Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. European Journal of Operational Research, 198:305-314.

Xiaoli,L., Y.,Chen, L.,Daoliang .2009. A Spatial Decision Support System for Land-use Structure Optimization. WSEAS Transactions on Computers, 8(3):439-448.

Zhou,J., B.,Liu, 2003.New stochastic models for capacitated location-allocation Problem. Computers & Industrial Engineering, 45:111-125.

Archive of SID

www.SID.ir