مسیریابی بهینه جاده‌های برون‌شهری با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) با تاکید بر مؤلفه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی (مطالعه موردی محور ایلخچی- خسروشهر)

مهندس ابوالفضل رنجبر1

مربی دانشگاه تبریز – دانشجوی دکتری دانشگاه تهران- عضو نظام مهندسی آذربایجان شرقی– ranjbar57@yahoo.com

چکیده

سامانه اطلاعات مکانی می‌تواند به شکل موثری در جمع‌آوری، وزن‌دهی، تجزیه و تحلیل و نمایش داده‌های مکانی در جهت مسیریابی بهینه جاده های برون شهری کمک نماید. مسیریابی بهینه جاده های برون شهری دارای اهمیت فراوانی بوده و فرآیند آن پیچیده و مبتنی بر معیارهای کمی و کیفی متعددی است. در فرآیند تصمیم‌گیری در حوزه مکانی به ندرت مسائلی به چشم می‌خورد که در کنار معیارهای کمی، متغیرهای کیفی وجود نداشته باشند. در این مقاله، یک روش ترکیبی برای تعیین مسیریابی بهینه جاده های برون شهری ارائه شده است. بر این اساس، ابتدا به روش AHP، وزن لایه‌های مورد نظر تعیین شده و سپس مکانهای مورد نظر به 3 کلاس عالی، خوب و ضعیف طبقه بندی می‌شوند. در فاز آخر نیز مناطق قرار گرفته در کلاس عالی به روش پرامتی V رتبه بندی می شوند تا به این نحو مسیر بهینه جهت احداث جاده‌های برون شهری با تاکید بر مولفه های اقتصادی و زیست محیطی انتخاب شود. همچنین، رویکرد پیشنهادی بر روی محور ایلخچی-خسروشهر به عنوان مطالعه موردی اجرا شده است.

کلمات کلیدی: مسیریابی- تحلیل سلسله مراتبی – پرامتی – توسعه پایدار – سیستم اطلاعات مکانی

1-مقدمه

معرفی مسیرهای بهینه بین شهری از نظر زیست محیطی و با هزینه کم و در عین حال کوتاهترین مسیر جهت احداث راههای بین شهری یکی از مسائل مهم در حوزه مباحث مدیریتی می‌باشد. در صورتیکه این کار به درستی صورت نگیرد زیانهای جبران ناپذیری را به محیط زیست منطقه وارد خواهد کرد. از این رو استفاده از تکنیکهای دقیق محاسباتی در این کار اجتناب ناپذیر است. لذا همواره مسیریابی بهینه بین شهرها همواره بعنوان یکی از مشکلات اولیه مسئولین محسوب می شود. پایین بودن مخاطرات زیست محیطی و پایین بودن هزینه و در عین حال کوتاهترین مسیر جهت پایین بودن مصرف سوخت، نیاز به کنترل و اعمال سیستم مدیریت ویژه ای دارد که در فرآوری توسعه و افزایش جمعیت پیچیدگی های بیشتری می یابد. رشد روزافزون جمعیت و گسترش شهرها و به تبع آن نیاز به افزایش ایجاد راههای بین شهری باعث نیاز مبرم به چنین مساله ای می باشد. لذا ضروری است تا با بررسی های دقیق در جهت انتخاب بهترین و مناسبترین مسیر بین شهرها اقدام شود. به علت وجود پارامترهایی چون وضعیت توپوگرافی منطقه، گسل، رودخانه ها، مناطق چهارگانه محیط زیست، و روستاها، شناسایی و تعیین مسیر بهینه که کمترین اثرات زیست محیطی در منطقه ایجاد کند، امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد.

سامانه اطلاعات مکانی می‌تواند به شکل موثری در جمع‌آوری، وزن‌دهی، تجزیه و تحلیل و نمایش داده‌های مکانی در جهت مسیریابی بهینه جاده های برون شهری کمک نماید. مسیریابی بهینه جاده های برون شهری دارای اهمیت فراوانی بوده و فرآیند آن پیچیده و مبتنی بر معیارهای کمی و کیفی متعددی است. در فرآیند تصمیم‌گیری در

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

حوزه مکانی به ندرت مسائلی به چشم می‌خورد که در کنار معیارهای کمی، متغیرهای کیفی وجود نداشته باشند. در این مقاله، یک روش ترکیبی برای تعیین مسیریابی بهینه جاده های برون شهری ارائه شده است.

بخش بندی این تحقیق به این صورت می باشد که ابتدا مقدمه، ضرورت و اهداف تحقیق بیان شده است. سپس، پیشینه تحقیق و اهمیت و جایگاه حل مساله مسیریابی با استفاده از تحلیل‌های مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات مکانی ارائه می‌شود. در بخش بعدی همچنین روش‌های وزن‌دهی به معیارها نظیر سلسله مراتبی و پرامتی مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش بعدی، روش تحقیق با بیان نوآوری‌های انجام گرفته در زمینه تعیین معیارهای مؤثر در مسیریابی تشریح شده است. در نهایت به بحث و نتیجه‌گیری مباحث مطرح شده و همچنین تبیین افق‌های تحقیقات آتی خواهیم پرداخت.

2-پیشینه تحقیق

مسیریابی بهینه به معنای یافتن بهترین مسیر ارتباطی میان حداقل یک جفت نقطه به عنوان مبدا و مقصد مسیر است [1-5].عبارت بهترین مسیر در مقابل کم‌ترین هزینه احداث مسیر معنا می‌شود، و به طور مستقیم با مفهومی که برای هزینه تعریف می‌شود در ارتباط است [5,6]. فرآیند یافتن مسیری با کم‌ترین هزینه شامل دو مرحله اساسی است [6]: 1- تلفیق شاخص‌های مختلف موثر در راه موردنظر و محاسبه هزینه نهایی راه [7,8] و 2- یافتن مسیری که نقاط مبدا و مقصد جاده را با کمترین هزینه تجمعی با یکدیگر مرتبط می‌سازد[2,9,10]. مسیر حاصل از این روش برای تمامی شاخص‌های مورد بررسی بهینه خواهد بود[11]. یکی از موثرترین ابزارهای تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعات مکانی، سیستم‌های اطلاعات مکانی است، که به طور فزاینده‌ای در انواع تحلیل‌های مکانی نظیر: یافتن سریع‌ترین مسیر با شیب کمینه براساس اطلاعات ارتفاعی زمین[12]، مسیریابی بهینه لوله‌گذاری براساس اطلاعات پوشش و کاربری اراضی [13]، یافتن ارزان‌ترین مسیر برای ترابری کالا براساس اطلاعات کاربری اراضی و توپوگرافی منطقه [14] مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهشی، Atkinson و همکارانش با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی قطب شمال، از سیستم اطلاعات مکانی برای مسیریابی جاده ای که در تمامی شرایط آب‌وهوایی قطب قابل استفاده باشد، استفاده نمودند[6]. در پژوهش دیگری، Anavberokhai با در نظر گرفتن شرایط زیست محیطی و اقتصادی، مسیر بهینه را بین دو نقطه با استفاده از GIS برای اداره گاز بروکلین تعیین کردند[16]. در پژوهشی Anavberokhai از تلفیق سنجش از دور و GIS برای مسیریابی بهینه دو نقطه در نیجریه بهره گرفت. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی با روش بدون نظارت به پنج کلاس طبقه‌بندی شد و همچنین با استفاده از DEM منطقه نقشه شیب تهیه شد و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دهی صورت گرفت ودر پایان با استفاده از GIS، تجزیه تحلیل صورت گرفت و مسیر بهینه بین این دو نقطه بدست آمد[16]. در پژوهش دیگری، Djenalieve با در نظر گرفتن پارامترهای اجتماعی و اقتصادی و فنی برای به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی، برای یافتن مسیر بهینه راه آهن و نیز محل ایستگاه در قرقیزستان از سامانه‌های اطلاعات مکانی بهره گرفت[17]. در پژوهشی Jong یک الگوریتم نیمه خودکار برای مسیریابی بهینه بزرگراه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد داد[10]؛ و این الگوریتم توسط Jong and Schonfeld برای بهینه‌سازی سه‌بعدی بزرگراه‌ها بهبود یافت[4]. پس از آن، تلاش‌هایی برای ادغام الگوریتم ژنتیک و سیستم اطلاعات مکانی به منظور مسیریابی موثرتر بزرگراه‌ها صورت پذیرفت [3,18]. سپس، این فرآیند با تلاش برای در نظر گرفتن سازه‌هایی نظیر تقاطع‌ها، تونل‌ها و پل‌ها در فرآیند بهینه‌سازی مسیر تکمیل شد [2]، تا شرایط تحقیق به شرایط واقعیت نزدیک‌تر گردد. هرچند استفاده از الگوریتم‌ها فراابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک بهبود قابل‌توجهی در مسیریابی بهینه ایجاد می‌کند، اما با افزایش تعداد شاخص‌های مورداستفاده در فرآیند مسیریابی، حجم و زمان محاسبات به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد [19]. در نهایت، kim ، برای بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک در مسیریابی بزرگراه‌ها، یک فرآیند محاسباتی چند مرحله‌ای پیشنهاد دادند[2]، که علاوه بر کاهش زمان محاسبه، موجب بهبود نتیجه محاسبات نیز می‌شد.

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

در داخل کشور نیز تلاش‌هایی برای مسیریابی بهینه به کمک سیستم اطلاعات مکانی صورت پذیرفته است. در پژوهشی صفرپور با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS و با در نظر گرفتن معیارهایی نظیر توپوگرافی، زمین شناسی، اقتصادی و نقاط اجباری اقدام به طراحی مسیر بین دو شهر لار و بریز در استان فارس نمود[20]. در پژوهش دیگری (نقیبی با استفاده از تحلیل‌های سیستم اطلاعات مکانی نسبت به تعیین بهترین مسیر خطوط لوله نفت در مسیر اهواز به مارون استفاده کرده است[21]. در پژوهشی، حسینی در جنگلهای خیرودکنار نوشهر، مسیریابی را با توجه به پارامترهای نظیر ارتفاع، جهت شیب، شیب، وضعیت زهکشی منطقه، تیپ و حجم درختان جنگل و توان اکولوژیکی منطقه انجام داده و به این نتیجه رسید که استفاده از سیستم اطلاعات مکانی هم از لحاظ زمان و هزینه طراحی پایین بوده و از لحاظ دقت کار مناسب می باشد[22]. در پژوهش دیگری، بروجردیان با توجه به نقاط دسترسی موجود در طول کریدور، مدل مسیریابی بهینه‌ای ارائه نمود[23]. در پژوهشی حجازی و همکاران برای طراحی مسیر بهینه امدادرسانی (بندر امام خمینی به اهواز) حمل و نقل جاده‌ای از توابع GIS استفاده نموده سریعترین مسیر از پایگاه امداد تا محل تصادف را تعیین نمودند[24]. در پژوهش دیگری صفارزاده و همکاران مدلی برای مسیریابی بهینه کریدور طرح مسیر راه و راه‌آهن در مناطق دشتی پیشنهاد دادند[25]. در پژوهشی ابراهیمی‌پور و همکاران از قابلیت‌های GIS برای مسیریابی بهینه خطوط لوله انتقال آب استفاده نمودند[26].

3- مواد ها و روشها

3-1- تصمیم‌گیری چندمعیاره به روش AHP

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] توسط ساعتی پیشنهاد شده[27] که یکی از پرکاربردترین روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه[2] است. چرا که امکان فرموله کردن مساله را به صورت سلسله مراتبی دارد تا اولویتها، بر پایه اهداف، دانش و تجربه تنظیم شوند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. بعلاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و براساس اصول بدیهی بنا شده است. در تصمیم‌گیری چندمعیاره، بر پایه چندین شاخص، گزینه‌ها[3] را رتبه‌بندی[4] می‌کنیم [28]. در ماتریس مقایسات زوجی، سطر iام با ستونjام مقایسه می‌شود [27]. بنابراین همه عناصر قطر اصلی این ماتریس عدد یک می‌باشد. همچنین هر مقدار زیر قطر اصلی، معکوس مقدار بالای قطر است. مقایسات زوجی در این فرایند تصمیم‌گیری جهت شکل‌دهی ماتریس داده‌های کیفی به مقادیر عددی بکار می‌رود. (طبق جدول شماره 1)

جدول 1: مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی ساعتی [27]

تعریف ترجیحات	اهمیت یکسان	برتری متوسط	برتری زیاد	برتری بسیار زیاد	برتری فوق العاده زیاد	ارزشهای بینابین
مقدار عددی	1	3	5	7	9	2و4و6و8

مراحل اصلی این روش شامل توسعه ماتریس مقایسه در هر سطح سلسله مراتب، مقایسه وزنها برای هر جزء سلسله مراتب و برآورد نرخ سازگاری تصمیم‌گیری می‌باشند. بر مبنای اجزاء مساله، ترجیحات و مقایسات خلاصه می‌شوند به نحوی که به هر جزء یک اهمیت نسبی تعلق می‌گیرد. روش مقدار ویژه روشی متداول در رسیدن به وزن پارامترها از یک ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد که در آن مقادیر ویژه یک ماتریس مقایسه زوجی از رابطه شماره 4 بدست می‌آید [27]:

[1] Analytical Hierarchical Process
[2] Multi Attribute Decision Making (MADM)
[3] Alternative
[4] Ranking

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

$$|A-\lambda I|=0 \qquad (4)$$

در این رابطه A یک ماتریس مقایسه، λ مقادیر ویژه ماتریس A و I ماتریس همانی می‌باشد. وزنهای نهایی از قرار دادن مقدار ویژه بیشینه در رابطه شماره 5 قابل محاسبه خواهد بود:

$$AW=\lambda_{\max}W \Rightarrow (A-\lambda_{\max}I)W=0 \qquad (5)$$

به منظور اندازه‌گیری نرخ سازگاری در ابتدا شاهد سازگاری[5] CI از رابطه شماره 6 محاسبه می‌گردد:

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1} \qquad (6)$$

در این رابطه n تعداد معیارها یا ابعاد ماتریس A و $\lambda_{\max}$ بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A می‌باشد. سپس نرخ سازگاری[6] CR از رابطه 7 تعیین می‌گردد:

$$CR=\frac{CI}{RI} \qquad (7)$$

اگر CR کوچکتر از 0.10 باشد در اینصورت، در مقایسات زوجی سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. اگر نه، تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی بازنگری کند[29]. مقدار RI را نیز Saaty و Vargas در سال 1991 برای ماتریسهای در ابعاد مختلف آماده کرده‌اند. این اعداد در جدول شماره 2 آورده شده است [30].

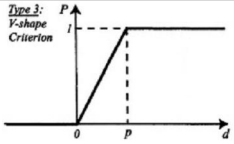
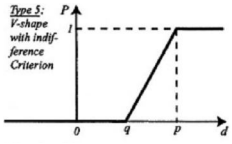
جدول 2: شاخص ناسازگاری تصادفی[30]

n	RI	n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

2-3- روش Promethee

روش Promethee I (رتبه بندی جزئی) و Promethee II (رتبه بندی کامل) توسط Brans در سال 1982 پیشنهاد شد[31]. روش Promethee V ، امکان انتخاب چندگانه از گزینه ها را تحت شرایط خاص مساله فراهم می‌نماید [32,33]. همچنین Mareschal and Brans ماژول GAIA را جهت بهره‌برداری هر چه بیشتر از روشهای پرامتی را ارائه نمودند[34]. توابع ترجیهی استفاده شده برای تعریف تابع برتری گزینه‌ها طبق جدول شماره 3 عبارتند از:

جدول 3: توابع ترجیهی [34]

نام روش	شکل	رابطه	توضیح اضافی
v-shaped criteria		آستانه ترجیح $p(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ \frac{d}{p} & 0\le d\le p\\ 1 & d>q\end{cases}$	با نوسان امتیازات در بازه صفر تا p میزان اولویت خطی تغییر می‌کند. اگر تفاوت بیشتر از p باشد، گزینه اولویت کامل دارد.
v-shaped with indifference threshold linear-criteria		$p(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{d-q}{p-q} & q\le d\le p\\ 1 & d>q\end{cases}$	اگر تفاوت امتیازات دو گزینه کمتر از q باشد هیچ تفاوتی وجود ندارد. اگر تفاوت بین q و p باشد، میزان اولویت به گونه خطی تغییر می کند و اگر تفاوت بیش از p باشد اولویت کامل وجود دارد.

[5] Consistency Index
[6] Consistency Ratio

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

با توجه به مطالب گفته شده، باید جهت رتبه بندی کامل از روش Promethee II و جهت انتخاب سبدی از پروژه‌ها از روش Promethee v استفاده شده است.

کلیات روش پرامتی:

این روش، روش ساختار یافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها می‌باشد. (این روش برای جبرانی و غیرجبرانی کاربرد دارد.) این روش به جدول تصمیم، بردار اوزان معیارها (w_j) توابع ترجیح هر معیار ($p_j(a,b)$) نیاز دارد.

روش پرامتی معیار تعمیم یافته ذیل را برای تعریف تابع برتری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. (قابل استفاده به تفکیک هر معیار) $p_j\left(d(a,b)\right)$ بیانگر تفاوت اندازه‌ها در شاخص jام است.

$$p_j\left(d(a,b)\right) = p_j\left[f_j(a) - f_j(b)\right]$$

لذا در این روش رتبه‌بندی گزینه‌ها با مقایسه زوجی گزینه‌ها در هر شاخص، انجام می‌شود. گامهای روش پرامتی عبارتند از:

قدم 1: تصمیم گیرنده بایستی نوع شاخص، نوع تابع برتری، آستانه های بی تفاوتی و برتری را برای هر شاخص باید تعیین کند.

قدم 2: تعیین میزان تفاوت هر گزینه با گزینه های دیگر

قدم 3: میزان برتری هر گزینه نسبت به گزینه های دیگر با استفاده از تابع برتری تعریف شده در گام اول

قدم 4: محاسبه شاخص ترجیهی ادغامی برای هر زوجی از گزینه‌ها

درجه ترجیح کلی a بر b براساس تمامی معیارها به صورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} \pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} p_j(a,b).w_j \\ \pi(b,a) = \sum_{j=1}^{k} p_j(b,a).w_j \end{cases} \quad \forall (a,b) \in A \times A,\ (\sum_{j=1}^{k} w_j = 1)$$

وزن شاخص jام: w_j

قدم 5: محاسبه جریانهای تسلط ضمنی گزینه‌ها بر هم[7]

اگر مقایسات زوجی بیشتر از دو مورد شود، رتبندی پایانی به وسیله مجموع مقادیر مقایسات زوجی بدست می آید:

Positive outranking flows for alternative a: $\varnothing^{+}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A} \pi(a,x)$

این جریان متوسط درجه a بر سایر گزینه‌ها را نشان می‌دهد و بیان می کند که گزینه a چقدر بر گزینه‌های دیگر ارجعیت دارد. لذا پس هر چقدر $\varnothing^{+}(a)$ بیشتر باشد برتر بودن a بر سایر گزینه‌ها (قدرت تسلط a بر سایر گزینه‌ها) را نشان می دهد.

Negation outranking flows for alternative a: $\varnothing^{-}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A} \pi(x,a)$

این جریان متوسط درجه سایر گزینه‌ها بر a را نشان می دهد و بیان می کند که گزینه های دیگر چقدر بر گزینه a اولویت دارند. لذا پس هر چقدر $\varnothing^{-}(a)$ بیشتر باشد بدتر بودن a بر تسلط سایر گزینه‌ها (قدرت بیشتر تسلط سایر گزینه‌ها به a) را نشان می دهد.

[7] Outranking flows

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

قدم 6: تهیه بردار رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

نوع رتبه بندی، بستگی به نوع روش پرامتی دارد که تصمیم‌گیر انتخاب می نماید.

روش اول: پرامتی **I**

یک بردار جزئی با تعریف سه رابطه P^I, I^I, R^I بین گزینه‌ها به صورت زیر تعریف می شود:

الف- ارجعیت: $a \quad P^I \quad b \Leftrightarrow \begin{cases} \varnothing^+(a) > \varnothing^+(b) \ \ and \ \ \varnothing^-(a) < \varnothing^-(b) \\ or \\ \varnothing^+(a) = \varnothing^+(b) \ \ and \ \ \varnothing^-(a) < \varnothing^-(b) \\ or \\ \varnothing^+(a) > \varnothing^+(b) \ \ and \ \ \varnothing^-(a) = \varnothing^-(b) \end{cases}$

ب- بی تفاوت: $a \quad I^I \quad b \Leftrightarrow \begin{cases} \varnothing^+(a) = \varnothing^+(b) \\ \varnothing^-(a) = \varnothing^-(b) \end{cases}$

پ- قابل مقایسه نیست: $a \quad R^I \quad b \Leftrightarrow \begin{cases} \varnothing^+(a) > \varnothing^+(b) \ \ and \ \ \varnothing^-(a) > \varnothing^-(b) \\ or \\ \varnothing^+(a) < \varnothing^+(b) \ \ and \ \ \varnothing^-(a) < \varnothing^-(b) \end{cases}$

این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که گزینه a روی مجموعه معیارهایی که گزینه b ضعف دارد، قوی است و در مقابل گزینه b در معیارهای دیگر نسبت به گزینه a قویتر می‌باشد، لذا روش پرامتی I توان رتبه‌بندی کامل را ندارد.

روش دوم: پرامتی **II**

تصمیم‌گیران همیشه خواهان رتبه‌بندی کامل هستند، لذاجهت غلبه بر مشکل پرامتی I این روش با محاسبه جریان خالص $\varnothing(a)$ (این جریان حاصل توازن میان جریانهای رتبه‌بندی مثبت و منفی است جریان خالص بالاتر نشان دهنده گزینه برتر است) به صورت زیر کیفیت یا ارزش هر پروژه را با توجه به مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی محاسبه می‌کند:

$$\begin{cases} \varnothing(a) = \varnothing^+(a) - \varnothing^-(a) \\ \varnothing(b) = \varnothing^+(b) - \varnothing^-(b) \end{cases}$$

سپس براساس تشکیل دو رابطه I^{Π} و P^{Π} ، رتبه بندی کامل[8] را انجام می‌دهد:

$$\begin{cases} a \quad P^{II} \quad b \quad iff \quad \varnothing(a) > \varnothing(b) \\ a \quad I^{II} \quad b \quad iff \quad \varnothing(a) = \varnothing(b) \end{cases}$$

$$-1 \le \varnothing(a) \le 1 \ , \ \sum_{x \in a} \varnothing(a) = 0$$

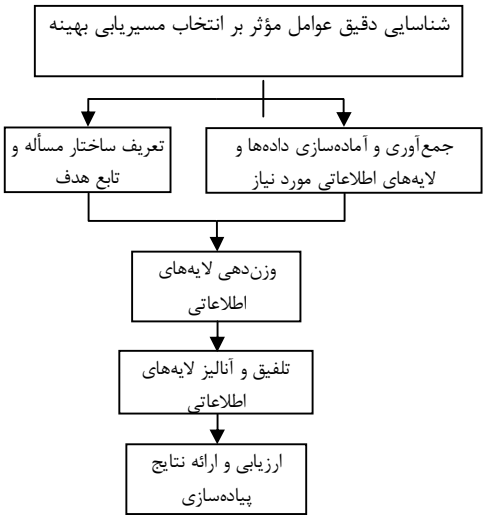
$\varnothing(a)>0$، یعنی تسلط a بر سایر گزینه‌ها بیشتر از شدت تسلط سایر گزینه‌ها بر آن است.

3-3- مبانی اجرایی مسیریابی بهینه با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی

در این فصل، معیارهای مختلفی که در مسیریابی بهینه باید لحاظ گردند، شناسایی شده و اهمیت و نحوه مدل‌سازی هر یک از آنها تشریح می‌گردد. در ادامه نیز روش وزن‌دهی لایه‌ها با تاکید بر روش پیشنهادی بیان می‌شود. روند کلی تحقیق در شکل (1) نشان داده شده است.

[8] Complete ranking vector

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)



شکل1: روند و مراحل کلی انجام طرح

3-3-1-عوامل مؤثر در طراحی مسیر

لذا در حال حاضر یکی از مسائل مهم مدیریتی انتخاب مسیر بهینه بین شهرها می‌باشد. با توجه به تعدد پارامترهای موثر در انتخاب مسیر بهینه به شیوه‌های سنتی و صحرایی دشوار و بعضا غیرممکن است. لذا برای انتخاب یک مسیر بهینه بین شهرها با منظور نمودن معیارهای زیست محیطی و اقتصادی از فناوری سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان تکنیک تصمیم‌گیری با پردازش اطلاعات وارد شده در مسیریابی کمک شایانی را ارائه خواهد نمود.

نخستین گام در یک فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره شناسایی عوامل مؤثر در تامین هدف مورد نظر می‌باشد. در این تحقیق با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و همچنین مطالعه در خصوصیات هندسی و فنی جاده‌ها عوامل مهم در مسیریابی بهینه تعیین شد که در ادامه هر یک از آنها به طور مجزا مورد بحث قرار گرفته است. لذا نظرات کارشناسان خبره در زمینه مکان‌یابی دفن پسماندهای شهر تبریز طبق جدول شماره 4 ارائه شده است.

جدول 4: معیارهای ارزیابی مناطق اولویت دار برای مسیر یابی بین شهرها

معیارها	کلاس A (نامناسب)	کلاس B (مناسب)	کلاس C (عالی)
کاربری اراضی	زراعی	مرتع	بایر
فاصله از روستا (کیلومتر)	>3	2-3	<1
فاصله از رودخانه (کیلومتر)	<2	3-2	>3
فاصله از گسل (کیلومتر)	<1	1-2	>2
فاصله از مناطق تحت مدیریت محیط زیست (کیلومتر)	<5	5-8	>8
شیب (درصد)	>20	5-20	0-5

4- مطالعه موردی مسیر ایلخچی- خسروشهر

4-1- کار عملی انجام شده توسط روش AHP

کار عملی انجام شده ابتدا ساختار تحقیق طبق فلوچارت زیر (جدول 5) تشکیل و سپس اقدام به وزن دهی لایه ها شد. (جدول 6)

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

جدول 5: فلوچارت زیر معیارها نسبت به هدف

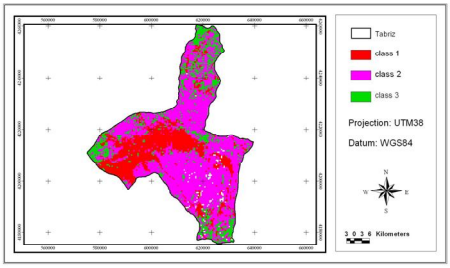
Goal A	Hierarchy B
مسیریابی	کاربری اراضی (B1)
	فاصله از روستا (B2)
	فاصله از رودخانه (B3)
	فاصله از گسل (B4)
	فاصله از مناطق تحت مدیریت محیط زیست (B5)
	شیب (B6)

جدول 6: ماتریس مقایسات زوجی A-B1,B6

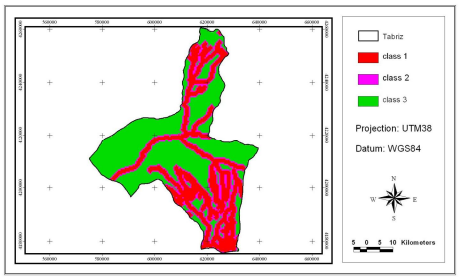
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	w_i
B1	1	4	2	1	2	3	0.31
B2		1	3	2	2	3	0.22
B3			1	3	2	3	0.18
B4				1	3	1	0.15
B5					1	2	0.09
B6						1	0.05

$$CR = 0.09 \leq 0.1$$

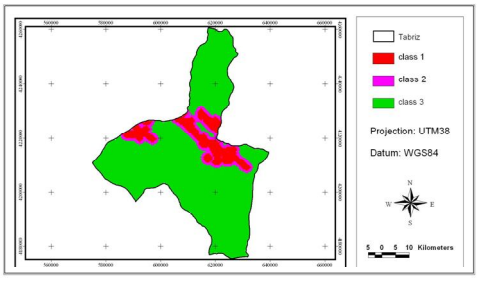
نقشه‌های کلاسه‌بندی شده طبق معیارهای موجود در جدول شماره 1 در نرم افزار ArcGIS 10 ترسیم شده‌اند که در اشکال 2 الی 7 آورده شده‌اند.



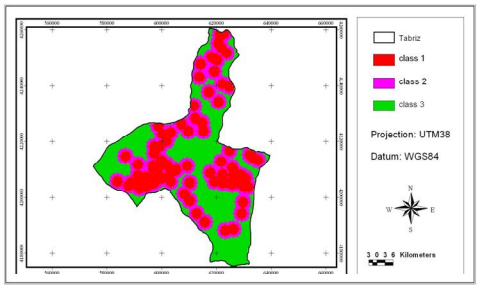
شکل 2: نقشه کاربری اراضی کلاسه بندی شده



شکل 3: نقشه فاصله از رودخانه کلاسه بندی شده

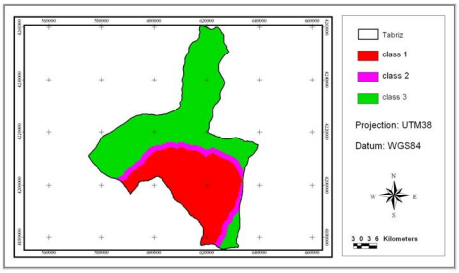


شکل 4: نقشه فاصله از گسل کلاسه بندی شده

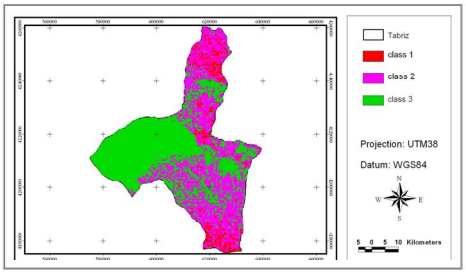


شکل 5: نقشه فاصله از روستاها کلاسه بندی شده

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)



شکل 6: نقشه فاصله از مناطق تحت مدیریت محیط زیست کلاسه بندی شده



شکل 7: نقشه شیب کلاسه بندی شده

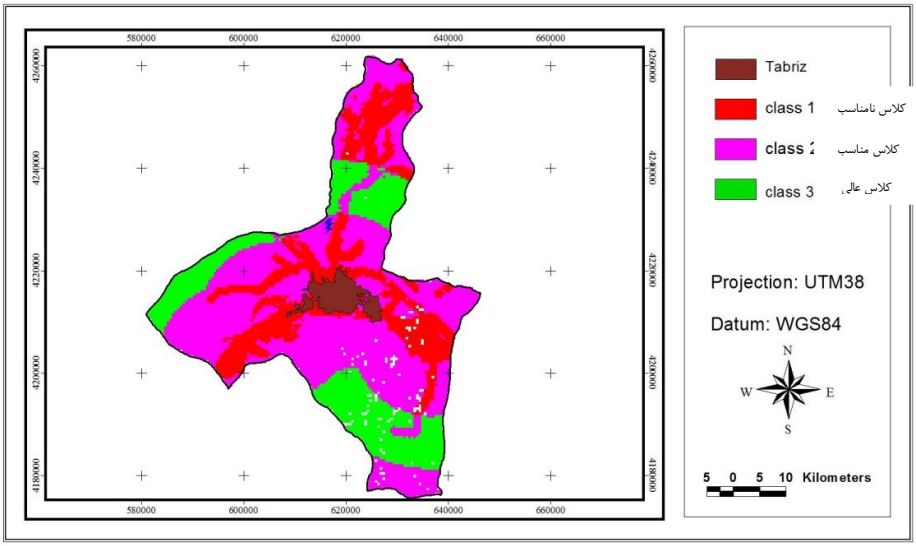
با توجه به اینکه کل 6 نقشه فوق‌الذکر طبق جدول شماره 1 به سه کلاس با وزنهای برابر کلاسه‌بندی شده اند لذا وزن هر کلاس به ترتیب برابر خواهد شد با: 1، $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{3}$. یعنی در این روش علاوه بر در نظر گرفتن وزن لایه‌ها، کلاسهای نقشه‌ها نیز با امتیازات اختصاص یافته‌شان در عملیات تلفیق شرکت داده می‌شوند. لذا در این روش هم دیدگاههای متخصصان درباره اهمیت لایه‌ها و کلاسها ترتیب اثر داده می‌شود[28].

برای محاسبه وزن نهایی در AHP غالبا از روش ترکیب وزنی ساده[9] استفاده می‌شود. حالا طبق رابطه زیر نقشه ایندکس مناسبت دفن پسماندها را بدست می‌آوریم[35]

$$LSI = \sum_{i=1}^{12} Map_i c_{w_i} \times Map_i sc_{w_i}$$

که در آن i تعداد لایه‌ها، $Map_i c_{w_i}$ وزن معیار نقشه کلاس iام طبق جدول شماره 2-4 و $Map_i sc_{w_i}$ وزن زیر معیار نقشه کلاس iام مطالب گفته شده در بالا می‌باشند. در این روش فرض بر این است که ارتباط بین مقادیر، خطی بوده و استقلال بین لایه‌ها وجود دارد. اما اکثرا شرط دوم صادق نمی‌باشد[36].

نقشه مناسبتی تهیه شده به سه کلاس عالی، مناسب و نامناسب طبقه بندی شده است. (شکل 8)



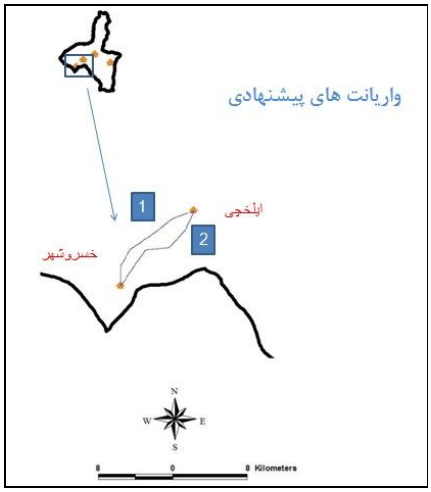
شکل 8: نقشه مناسبت مکانی به روش **AHP**

[9] Simple Additive Weighting

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

4-2- کار عملی انجام شده توسط روش Promethee V

پس از تعیین واریانت‌های مناسب طبق شکل 9 حال نوبت انتخاب بهترین واریانت می باشد.



شکل 9: واریانت های پیشنهادی

نوع شاخص، نوع تابع برتری، آستانه‌های بی‌تفاوتی و برتری را برای هر شاخص طبق جدول شماره 7 تعیین شد. لازم به ذکر می‌باشد که از 6 معیار، 4 معیار تاثیرگذار با ضریب 86 درصد که عبارتند از کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از روستا و فاصله از گسل در نظر گرفته شدند.

جدول7: نوع شاخص، نوع تابع برتری، آستانه های بی تفاوتی و برتری در روش پرامتی V

	Createrion1 (km) کاربری اراضی	Createrion2 (km) روستاها	Createrion3 (km) رودخانه	Createrion4 (km) گسل
Max/Min	Max	Max	Min	Min
Weight	0.31	0.22	0.18	0.15
Preference Function	V	Liner	Liner	V
Indifference Threshold	-	1	1	-
Preference Threshold	2	1	1	3

طبق روابط ذکر شده پرامتی V جریان خالص گزینه را طبق جدول 8 محاسبه می نمایم.

جدول8: محاسبه جریان خالص

	$\varnothing^{+}(a)$	$\varnothing^{-}(a)$	$\varnothing(a)$
Action1	**.57**	**.33**	**.24**
Action2	**.69**	**.28**	**.41**

طبق جدول بالا مشخص شد که واریانت دوم بهتر از واریانت اول می باشد.

5- نتیجه گیری

کلا رویکردی که در پیشینه کارهای انجام شده برای مسیریابی بین شهرها به چشم می‌خورد به این صورت می‌باشد که ابتدا مکانهای نامناسب با استفاده از GIS شناسایی و حذف می‌شوند تا محدوده مطالعاتی کوچکتر شود. سپس با در نظر گرفتن معیارها و شرایط فنی، اقتصادی و قوانین و مقررات موجود و با استفاده از روش AHP اقدام به مقایسات زوجی نموده و در نهایت به لایه‌های مساله وزنی اختصاص داده می‌شود و سپس با محاسبه جمع جبری وزنهای نقشه‌ها، نقشه مسیرهای بهینه مشخص می‌شود که سپس این نقشه به سه کلاس عالی، مناسب و نامناسب تقسیم بندی می‌شود. سپس از بین کلاسهای عالی انتخاب شده، مسیرهای برای گذر انتخاب شده و به عنوان کاندیدا معرفی می شوند و لذا با تعداد انگشت شماری از مکانهای کاندیدا مواجه هستیم. لذا در این تحقیق هدف کلاسه‌بندی بهترین واریانت ها(که از روشهای مختلفی مثلا AHP بدست آمده اند) با استفاده از روش پرامتی 2 می باشد، این در

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

صورتی که تحقیقات گذشته با توجه به آنالیزها به مسیرهای متفاوتی دست یافته اند و سپس در انتخاب بهترین واریانت از نظرات کارشناسان استفاده نموده اند. لازم به ذکر می باشد که مثال در این تحقیق ایلخچی به خسروشهر مد نظر بوده است، در صورتیکه می توان هر دو نقطه دلخواه در شهرستان تبریز را انتخاب و به مسیر بهینه بین دو نقطه دست یافت.

پیشنهاداتی که برای کارهای آینده می شود ذکر نمود، استفاده از دیگر روشهای تصمیم گیری چند معیاره برای نظیر تاپسیس و غیره می باشد. البته توصیه می شود در ادامه کار از ترکیب روشهای فازی و روشهای تصمیم گیری استفاده شود. همچنین توصیه می شود برای حل چنین مسائلی از روشهای فراابتکاری نیز استفاده شود.

6- قدردانی

این مقاله حاصل نتیجه طرح پژوهشی می باشد که تحت نظر و حمایت مالی سازمان نظام مهندسی استان آذربایجان شرقی انجام شده است. لذا نویسنده از تمام مسولین این نظام مهندسی استان آذربایجان شرقی تقدیر و تشکر و قدردانی خود را اعلام می دارد.

منابع و ماخذ

[1] Jong, J.-C., Jha, M.K., Schonfeld, P., 2000.Preliminary highway design with genetic algorithms and geographicinformation systems. Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering 15 (4), 261–271.

[2] Kim, E., Jha, M.K., Lovell, D.J., Schonfeld, P., 2004. Intersection cost modeling for highway alignment optimization.Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 19 (2), 136–146.

[3] Jha, M.K., Schonfeld, P., 2004. A highway alignment optimization model using geographic information systems.Transportation Research, Part A 38 (6), 455–481

[4] Jong, J.C., Schonfeld, P., 2003. An evolutionary model for simultaneously optimizing three-dimensional highwayalignments. Transportation Research, Part B 37 (2), 107–128.

[5] Jha, M.K., 2003. Criteria-based decision support system for selecting highway alignments.Journal of TransportationEngineering 129 (1), 33–41.

[6]Atkinson, D., Deadman, P., Dudycha, D., Traynor, S., 2005. "Multi-criteria evaluation and least cost pathanalysis for an arctic all-weather road", Applied Geography 25 (2005) 287–307.

[7] Douglas, D. H. (1994). Least cost path in GIS using an accumulated cost surface and slope lines. Cartographica,31(3), 37–51.

[8] Collischonn, W., &Pilar, J. V. (2000). A directional dependent least-cost path algorithm for roads and canals.International Journal of Geographical Information Science, 14(4), 397–406.

[9] Thomson, N.R., Sykes, J.F., 1988. Route selection through a dynamic ice field using the maximum principle.Transportation Research, Part B 22 (5), 339–356.

[10] Jong, J.-C., 1998.Optimizing highway alignments with genetic algorithms.Ph.D. dissertation, University of Maryland,College Park.

[11] Lee, J., &Stucky, D. (1998).On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on digital elevationmodels. International Journal of Geographical Information Systems, 12(8), 891–905.

[12] Stefanakis, E., &Kavouras, M. (1995).On the determination of the optimum path in space. In Proceedings of theeuropean conference on spatial information theory, COSIT 95, Lecture notes in computer science. Berlin:Springer.

[13] Feldman, S. C., Pelletier, R. E., Walser, E., Smoot, J. C., &Ahl, D. (1996). GIS, remote sensing analysis used toselect potential route. Pipe Line and Gas Industry , 52–55.

[14] Jaga, R. M. N., Sundaram, A., & Natarajan, T. (1993).Wasteland development using geographic informationsystem techniques. International Journal of Remote Sensing, 14(17), 3249–3257.

[15] LoPresti, F., and B., Miller, 1996, Finding the best path for a pipeline: interactive route-pplanning on NYU web, Statistics and Social Science.

[16] Anavberokhai I, 2008," Introducing GIS and Multi-criteria analysis in road path planning process in Nigeria", A case study of Lokoja, Kogi State .29,1-13.

[17] Djenalieve A. 2007. Multicriteria decision making and GIS for railroad planning in Kyrgyzstan. Master of Science thesis in geoinformatics. Supervisor: Hans Hauska. May

[18] Jha, M.K., Schonfeld, P., 2000a. Integrating genetic algorithms and GIS to optimize highway alignments.Transportation Research Record 1719, 233–240.

[19] Jha, M.K., 2002. Optimizing highway networks: a Genetic Algorithm and Swarm Intelligence Based

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

Approach. In:Songer, A., Miles, J. (Eds.), Computing in Civil Engineering. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston,VA, pp. 76–89.

[20]صفرپور، شمس‌الدین، 1380، شناسایی و تعیین مسیر احداث جاده با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) (پژوهش موردی جاده لار-بریز در استان فارس)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

[21]نقیبی، فریدون، 1381، مسیریابی بهینه خطوط لوله نفت و گاز به کمک سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[22]حسینی، سید عطاالله، 1382، برنامه‌ریزی شبکه راه‌های جنگلی با استفاده از فن‌آوری سامانه اطلاعات مکانی در جنگل خیرود کنار نوشهر، رساله دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

[23]بروجردیان، امین‌رضا، 1383. "مدل مسیریابی بهینه راه با توجه به نقاط دسترسی موجود در کریدور". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

[24]حجازی، سید جعفر و همکاران، 1385، طراحی مسیر بهینه امدادرسانی حمل و نقل جاده‌ای در محیط GIS (بر مبنای نقاط حادثه‌خیز)، مجموعه مقالات همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی 85 (GIS 85)

[25]صفارزاده، محمود، مهرآذین، هاشم، و بروجردیان، امین‌رضا، 1385. "مدل مسیریابی بهینه کریدور طرح مسیر راه و راه‌آهن در مناطق دشتی". نشریه دانشکده فنی، جلد 40، شماره 5، آبان ماه 1385، صص: 665-651.

[26]ابراهیمی‌پور، احمدرضا و همکاران، 1385، مسیریابی خطوط لوله انتقال آب با استفاده از GIS، مجموعه مقالات همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی 85 (GIS 85)

[27] Saaty, T.L., (1980), The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY, 437pp.

[28]قدسی پور سید حسن (1385)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

[29] Ying, X., Guang-Ming, Z., Gui-Qiu, C., Lin, T., Ke-Lin, W. and Dao-You, H. (2007), Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—A case study of Hunan Province, China. Ecological Modelling, 209(2–4), 97–109.

[30] Saaty, T.L. and Vargas, L.G., (1991), Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Dordrecht, 251pp. Publishers,

[31] Brans. J.P. (1982), Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In R. Nadeau and M. Landry, editors, L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir, pages 183–213, Québec, Canada.

[32] Brans, J.P. and Mareschal, B., (1992), Promethee-V – MCDM problems with segmentation constraints. INFOR, 30(2):85–96.

[33] Brans, J.P. and Mareschal, B., (1995),The PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multicriteria problems. Journal of Decision Systems, 4:213–223.

[34] Mareschal B., and Brans, J.P. , (1988), Geometrical representations for MCDA. the GAIA module. European Journal of Operational Research, 34:69–77.

[35] Sener, S., Sener, E. and Karagüzel R., (2010), Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey, Springer Science+Business Media B.V. , Environ Monit Assess 173, pp533–554.

[36] Malczewski , J . (1999). GIS and Multi Criteria Decision Analysis. 1th edition. John Wiley & Sons INC.

You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)