اشاره

انتقال عددی معکوس در سیستم‌های تصویر نقشه

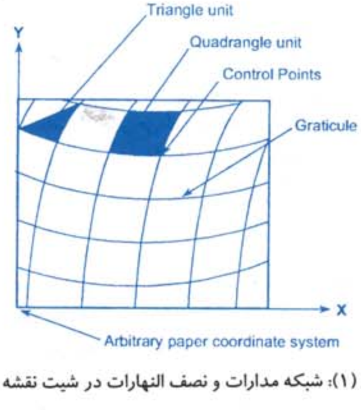
مهدی مدیری
عضو هیأت علمی دانشکده نقشه‌برداری
mmodiri@ut.ac.ir

چکیده
در کارتوگرافی سیستم‌های تصویر نقشه برای انتقال مختصات جغرافیایی به شبکه مختصاتی مسطحاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش انتقال «انتقال به جلو»[1] نامیده می‌شود. در بسیاری از کاربردها از جمله سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه‌ها با رقمی گرها به شکل رقومی درمی آیند. بنابراین داده‌های اخذ شده در یک مجموعه داده‌ای دیگر مجتمع می‌گردند که در این صورت، مختصات مسطحاتی باید به فرم مختصات جغرافیایی انتقال یابند که این مراحل «انتقال معکوس»[2] نامیده می‌شود.
در این مقاله دو روش عددی برای انتقال معکوس ارائه و استدلال می‌گردد.

۱ـ مقدمه

سیستم‌های تصویرنقشه، نمونه‌ای از انتقال مختصات می‌باشند که می‌توانند سطح کروی زمین را در یک نقشه مسطح (سطح مستوی)[3] ارائه دهند. انتقال مختصات جغرافیایی در مختصات مسطحاتی یک روال عادی در کارتوگرافی می‌باشد. انتقال معکوس می‌تواند مختصات جغرافیایی را از مختصات نقشه ارائه دهد که برای این منظور دریافت اطلاعات از طریق رقومی کردن نقشه‌های کاغذی، به خصوص برای قرار دادن در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) فراهم می‌شود. برای نقشه‌های بزرگ مقیاس که باید رقومی شوند، معمولاً یک سیستم مختصات مسطحاتی (قائم الزاویه) یعنی شبکه نقشه را در یک نقشه قرار می‌دهند. با استفاده از یک چنین شبکه‌ای، مثل سیستم تصویر UTM، مختصات مسطحاتی به راحتی با استفاده از یک صفحه مختصات[4] رقمی گر یا یک تصویر اسکن شده دریافت می‌گردد و در صورتی که نیاز باشد، این مسئله به صورت تحلیلی در سیستم‌های مختصات مسطحاتی تبدیل می‌شود. برای این نوع، یک شبکه بندی جغرافیایی در نقشه نشان داده می‌شود (نگاره ۱). بطور کلی این مسئله نمی‌تواند یک سیستم مختصات قائم الزاویه را شکل دهد، همچنین نمی‌تواند به طور مستقیم برای اهداف رقومی استفاده گردد. به منظور رقومی کردن، یک سیستم مختصات قائم الزاویه مورد نیاز می‌باشد. در صورتی که اطلاعاتی

کافی درمورد سیستم تصویر معلوم باشد، مختصات قائم الزاویه نقاط شبکه بندی جغرافیایی را می‌توان محاسبه نموده و رقومی کردن را برای نقشه‌های بزرگ مقیاس انجام داد. به منظور اینکه بتوان مختصات قائم الزاویه را در داخل مجموعه‌های داده‌ای مختلف مجتمع نمود، باید بعد از رقومی کردن، مختصات قائم الزاویه‌ای رقومی شده را به صورت تحلیلی در سیستم‌های جغرافیایی منتقل نمود. برای بعضی از سیستم‌های تصویری که در نقشه‌های کوچک مقیاس استفاده می‌شوند (به خصوص برای سیستم‌های تصویر جهانی)، انتقال معکوس تنها با استفاده از تکرار عددی امکان‌پذیر است (Ipbuker,2002). در صورتی که اطلاعات کافی و مناسبی در مورد سیستم تصویر نقشه کوچک مقیاس وجود نداشته باشد، مختصات قائم الزاویه‌ای شبکه بندی جغرافیایی را نمی‌توان محاسبه نمود. در اینجا دو روش قابل کاربرد در چنین مواردی تشریح می‌شود. اولی روش انتقال محلی[۵] نامیده می‌شود و از چهاروجهی‌های شبکه جغرافیایی استفاده می‌شود. دومین روش معروف انتقال به نام انتقال چند مربعی [۶]می‌باشد، باید توجه شود که این روشها را نمی‌توان جایگزین راه حلهای تحلیلی نمود، در صورتی که انتقال تحلیلی امکان‌پذیر گردد، راه‌حل تحلیلی ترجیح دارد. برای مدل زمینی، مختصات جغرافیایی بعد از انتقال عددی بستگی به این مسئله دارد که چگونه می‌توان شبکه بندی جغرافیایی را ایجاد نمود. یعنی این مسئله بستگی به سیستم تصویری دارد که به طور دقیق معلوم است.



نگاره (۱): شبکه مدارات و نصف النهارات در شیت نقشه

در حالی که نقشه‌های کوچک مقیاس نیز به این صورت فرض می‌شوند که مدل زمین کروی است. انگیزه اصلی برای این تحقیق، پروژۀ در حال طراحی نقشه سیاسی کوچک مقیاس (۱:۸۰۰۰/۰۰۰) بود، به طوری که بیشتر مناطق اوراسیا (اروپا و آسیا) را تحت پوشش قرار می‌داد. بعضی از مرزهای اجرایی آن باید از نقشه‌های کاغذی رقومی گردد و در نقشه پایه‌ای کهاستفاده‌می‌شود،مجتمع‌گردد.هیچگونه‌اطلاعاتی‌درمورد سیستم تصویر وجود ندارد، همچنین شکل شبکه جغرافیایی نیز نمی‌تواند هیچگونه نظری‌رادرموردسیستم تصویر ارائه نماید و طبق برنامه توسعه یافته می‌توان از روشهای انتقال عددی که در این جا ارائه شده استفاده کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد مرزهایی که با این روش رقومی گردید مطابق با نقشه پایه می‌باشند.

۲ـ انتقال معکوس

فرمول کلی انتقال معکوس عبارت است از:

$$\lambda=f_1(x,y),\qquad (۱)$$
$$\varphi=f_2(x,y).$$

هدف از این تحقیق انتقال سیستم‌های مختصات مسطحاتی قائم الزاویه در طول و عرض جغرافیایی (مختصات جغرافیایی) است. فرض نمایید که هیچگونه معادلات تحلیلی بین دو سیستم معلوم و مشخص نباشد. در این صورت به دلخواه می‌توان هرگونه سیستم مختصات کاغذی را انتخاب نمود. سپس مختصات جغرافیایی و مختصات قائم الزاویه برای کلیه نقاط شبکه جغرافیایی معلوم می‌باشد که این نقاط، نقاط کنترلی را برای انتقال عددی شکل می‌دهند و به منظور انتقال عددی از چند جمله‌ای‌ها استفاده می‌گردد (Yang et al.,2000).

یک روش جایگزین، «انتقال چند مربعی»[۷] است که در سال ۱۹۷۱ میلادی توسط هاردی [۸] پیشنهاد گردید. این روش می‌تواند به عنوان روش جهانی در نظر گرفته شود و روش دیگر، روش انتقال محلی می‌باشد که راه حلهای مختلفی را برای هر چهار وجهی شبکه بندی جغرافیایی ارائه می‌دهد.

۲ـ۱) روش انتقال محلی (L.T)[۹]

در این روش هر چهار ضلعی در شبکه‌بندی جغرافیایی به عنوان یک بخش مستقل به کار می‌رود. با توجه به یک شیت نقشه، واحدهای مستطیلی شکل نمی‌توانند در لبه‌ها شکل بگیرند که در این صورت، در این قسمتهای نقشه، بخشهای مثلثی شکل را می‌توان ایجاد نمود. حتی با استفاده از مثلثها، مقداری فضا وجود دارد که نزدیک لبه‌های شیت است و خالی می‌ماند (پوشیده نمی‌شود) نگاره (۱)

چهار نقطه مشترک (نقاط کنترل) برای هر بخش از چهارضلعی معلوم است. چند جمله‌ای که به عنوان معادلات انتقالی استفاده می‌شوند:

$$\lambda=a_1x+a_2y+a_3xy+a_4,\qquad (۲)$$
$$\varphi=a_5x+a_6y+a_7xy+a_8.$$

این انتقال را می‌توان انتقال هذلولی[۱۰] نام نهاد، چون هر معادله در رابطه (۲) یک هذلولی را تعیین می‌نماید. با استفاده از چهار نقطه کنترل می‌توان سیستم معادله خطی رابطه ۲ را حل نمود. یعنی ۸ ضریب را می‌توان تعیین کرد.

$$\underline{A}=\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & x_1y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x1 & y_1 & x_1y_1 & 1 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ x_4 & y_4 & x_4y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & x_4y_4 & 1 \end{bmatrix} \text{ و}$$

$$\underline{X}=\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ . \\ . \\ . \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix}, \quad \underline{B}=\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \varphi_1 \\ . \\ . \\ . \\ \lambda_4 \\ \varphi_4 \end{bmatrix},$$

$$\underline{A}\,\underline{X}=\underline{B}\rightarrow\underline{X}=\underline{A}^{-1}\underline{B}. \qquad (۳)$$

راه حل درماتریس رابطه (۳) نشان داده شد.برای هر واحد مثلثی، سه نقطه کنترل معلوم است که در اینجا از تبدیل شش پارامتری استفاده می‌گردد.

$$\lambda=a_1x+a_2y+a_3, \qquad (۴)$$
$$\varphi=a_4x+a_5y+a_6.$$

سیستم مختصات رابطه (۴) معادله ذیل حل می‌گردد.

$$\underline{A}=\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\underline{X}=\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ . \\ . \\ . \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}, \quad \underline{B}=\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \varphi_1 \\ . \\ . \\ . \\ \lambda_3 \\ \varphi_3 \end{bmatrix},$$

$$\underline{A}\,\underline{X}=\underline{B}\rightarrow\underline{X}=\underline{A}^{-1}\underline{B}. \qquad (۵)$$

برای هر نقطه‌ای که باید منتقل شود، با استفاده از الگوریتم «نقطه در چند ضلعی»[۱۱] می‌توان یک قسمت مربع مستطیلی یا مثلثی را بررسی نمود. (Cromeley, 1992) هر نقطه با استفاده از ضرایب مرتبط هر بخش

منتقل می‌شود. در صورتی که نقاطی که باید انتقال داده شوند در فضای بخشهای انتقالی قرار گیرند، روش انتقال محلی (LT) از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار می‌باشد. به هر حال چهار ضلعی‌ها و قائم الزاویه‌ها ممکن است تمام نقشه را پوشش ندهند. نقاطی که به سمت لبه‌ها می‌باشند و در هر بخش قرار ندارند، باید به صورت مجزا و جداگانه به کار روند. به عنوان یک راه حل عملی، انتقال با استفاده از ضرایب نزدیکترین بخش را می‌توان پیشنهاد نمود. برای پیدا کردن چنین بخشهایی، مرکز هر بخش (یعنی میانگین مختصات) را می‌توان در نظر گرفت. روش برنامه نویسی «box test» نیز می‌تواند این مراحل تحقیقی را سرعت بخشد. (Cromley,1992) روش انتقال محلی (LT) مرحله به مرحله طبق موارد ذیل خلاصه می‌گردد. نقطه‌ای که با مختصات قائم الزاویه (x,y) منتقل گردیده باید مختصات جغرافیایی آنرا پیدا نمود.

- بخشی که شامل نقطه‌ای می‌باشد، تعیین می‌گردد و در صورتی که چنین بخشی نباشد، نزدیکترین بخش تعیین می‌گردد.
- در صورتی که بخش به صورت چهار ضلعی باشد، از انتقال زیر استفاده می‌شود.

$$\lambda=a_1x+a_2y+a_3xy+a_4,$$
$$\varphi=a_5x+a_6y+a_7xy+a_8.$$

- اگر بخش مثلثی باشد از روابط متقابل زیر استفاده می‌گردد.

$$\lambda=a_1x+a_2y+a_3,$$
$$\varphi=a_4x+a_5y+a_6.$$

روش انتقال محلی (LT) در نگاره ۲ توضیح داده شده است.

نگاره ۲: روش انتقال محلی (LT)

۲-۲) روش انتقال مولتی کوادریک (MQ)[۱۲]

در سال ۱۹۷۱ میلادی، هاردی روش انتقال مولتی‌کوادریک (MQ) را به عنوان یک روش جایگزین انتقال جهانی پیشنهاد نمود که بعد از مدتی نیز انتخاب گردید. این روش به طور گسترده‌ای در مدل سازی مدل رقومی زمین (DTM) استفاده‌می‌شود. اولوگتکین[۱۳] در سال ۱۹۹۴ میلادی، روش مولتی کوادریک (MQ) را برای رقومی کردن نقشه‌های کاداستر به کار گرفت. در سال ۱۹۹۰ میلادی هاردی یک بررسی کلی از کاربرد را در ژئودزی، ژئوفیزیک، نقشه برداری، کارتوگرافی، فتوگرامتری، دورکاوی، پردازش سیگنال، جغرافیا، مدل رقومی زمین و هیدرولوژی ارائه نمود. عملکرد روش مولتی کوادریک (MQ) طبق رابطه ذیل معرفی می‌گردد. (Hardy, 1971)

$$\varphi(x,y)=\sum_{j=1}^{n}cj\sqrt{(xj-x)^2+(yj-y)^2+\Delta^2} \qquad (۶)$$

این رابطه سطح را تعیین می‌کند. اگر $\Delta^2\neq 0$ باشد، سطح مجموع هذلولی‌هاست. در صورتی که $\Delta^2\neq 0$ باشد، سطح مجموع مخروط هاست. تعدد Δ^2 در هر کاربردی متغیر می‌باشد. برای انتقال مختصات قائم الزاویه به مختصات جغرافیایی دو عملکرد مولتی کوادریک مورد نیاز است.

$$\lambda=\sum_{i=1}^{n}C\lambda_i\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)},$$
$$\varphi=\sum_{i=1}^{n}C\varphi_i\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}. \qquad (۷)$$

در معادلهٔ (۷) n تعداد نقاط کنترل را نشان می‌دهد. $C\lambda_i$ و $C\varphi_i$ ضرایبی هستند که باید تعیین شوند. چنانچه معادلات در معادله (۷) برای کلیه نقاط کنترل نوشته شود، در سیستم مختصات خطی شکل می‌گیرند.

$$\lambda=C\lambda_1\sqrt{(x_1-x_1)^2+(y_1-y_1)^2}$$
$$+C\lambda_2\sqrt{(x_1-x_1)^2+(y_1-y_2)^2}$$
$$+...+C\lambda_n\sqrt{(x_1-x_n)^2+(y_1-y_n)^2}$$
$$\lambda=C\lambda_2\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$$
$$+C\lambda_2\sqrt{(x_2-x_2)^2+(y_2-y_2)^2}$$
$$+...+C\lambda_n\sqrt{(x_2-x_n)^2+(y_2-y_n)^2}$$

...

$$\varphi_1=C\varphi_1\sqrt{(x_1-x_1)^2+(y_1-y_1)^2}$$
$$+C\varphi_2\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2}$$
$$+...+C\varphi_n\sqrt{(x_1-x_n)^2+(y_1-y_n)^2}$$
$$\varphi_2=C\varphi_1\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$$
$$+C\varphi_2\sqrt{(x_2-x_2)^2+(y_2-y_2)^2}$$
$$+...+C\varphi_n\sqrt{(x_2-x_n)^2+(y_2-y_n)^2}$$

...

$$
\begin{aligned}
&aij=\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}\\
&aij \in \underline{A}\\
&\underline{\lambda}=\underline{A}\ \underline{C\lambda} \Rightarrow C\lambda \Rightarrow \underline{A}^{-1}\underline{\lambda}\\
&\underline{\varphi}=\underline{A}\ \underline{C\varphi} \Rightarrow \underline{C\varphi}=\underline{A}^{-1}\underline{\varphi}
\end{aligned} \tag{۸}
$$

از آنجائی که A یک ماتریس متقارن و منظم است، راه حلهای سیستم معادلات خطی در معادله (۸) امکان پذیر می‌باشد. A به اندازه n×n است. اندازه آن با تعداد نقاط کنترل افزایش می‌یابد. همانگونه که از معادله (۸) مشخص است، کلیه عناصر مایل، ماتریس A صفر هستند. این مسئله باید در معکوس سازی ماتریس در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن محاسبه با معادله (۷) و اندازه سیستم معادله خطی در معادله (۸) به سهولت می‌توان تشخیص داد که روش مولتی کوادریک (MQ) را نمی‌توان به صورت دستی انجام داد به طوری که به یک برنامه رایانه‌ای پیشرفته نیاز می‌باشد.

همچنین لازم به ذکر می‌باشد که روش مولتی کوادریک (MQ)، یک روش انترپولاسیون است، یعنی روش (MQ) نتایج قابل اطمینانی را ارائه می‌کند، به طوری که نقاطی که باید منتقل شوند در قسمت محدب نقاط کنترل قرار دارند. از سوی دیگر نقاط کنترل شامل نقاط شبکه‌ای است، این قسمت محدب نمی‌تواند کل شیت نقشه را دربرگیرد، نقاطی به سمت لبه‌ها هستند که خارج از قسمت محدب قرارگرفته‌اند.

پی نوشت

1)Forward Transformation
2)Inverse Transformation
3)Flat Map
4) Tablet
5)Local Transformation
6) Multiquadric Transformation
7)Multiquadric
8)HARDY
9)Local Transformation method (LT Method)
10)Heyperbolic Transformation
11)Point in Polygon
12)Multiquadric Transformation method(MQ)
13)Ulugtekin

منابع

1)Bildirici,O.I.,2003.Numerical inverse transformation for map projections, computers& Geo-sciences, (29) 1003-1011.

2)Cromley, R.G., 1992, Digital Cartography, Prentice Hall Inc., Englewood Cliff,NJ,317PP.

3)Hardy, R.L., 1990, Theory and Application of The Multiquadric biharmonic method, coputers and mathematical Application 19(8/9),163-208.

4) Ipbuker, C., 2002, An inverse Solution to the winkel Tripel projection using partial derivatives. Cartography and Geographic Information Science 29(1),37-42.

5)Mc Gwire,K.C.,1998, Mosaicking airborne Scanner data with the multiquadric rectification technique, photogrammetric Engineering & Remote Sensing 64(6),601-606.

6)Yank,Q.,Snyder,J.P.,Tobler,W.,2000,Map Projection Francis, London, 367pp.