تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفتم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰
Volume 7, No. 4, Winter 2012 (IR-WRR)
۸۲-۹۴

بررسی تاثیر شبکه‌بندی روی ضریب شکل توابع پایه شعاعی در نگاشت داده‌های ناقص بارندگی

حسن درخشان[۱]* و ناصر طالب بیدختی[۲]

چکیده

از طریق نگاشت داده‌های موجود بارندگی می‌توان به درونیابی و نگاشت داده‌های ناقص بارندگی که اطلاعات بارندگی بدلایلی در آنها ثبت نشده است پرداخت. در این مقاله برای تکمیل داده‌های ناقص ازپنج روش درونیابی مبتنی بر توابع پایه شعاعی در یک محدوده سطح واحد استفاده شده است. برای یافتن روش مناسب درونیابی، مقدار ضریب ثابت کمینه کننده خطا (ضریب شکل C) طی یک روش اعتبار سنجی بهینه‌یابی از سه نمونه از توابع آزمون که در آن محدوده مورد مطالعه بصورت شبکه‌های مربعی ۰/۱ متری تا ۰/۵ متری در مربع با ابعاد واحد انتخاب شده‌اند و در اینجا حکم مشاهدات را دارند، استفاده شده است. با داشتن این ضریب شکل خاص میزان بدست آمده برای تداوم بارندگی محاسبه شده و با کارهای دیگر که در این زمینه انجام شده مقایسه به عمل آمده و به منظور بررسی دقت روش تخمین و انتخاب روش نهائی از روشهای کنترل آماری شامل خطای متوسط مربعی نرمال (NMSE)[۱]، درصد متوسط خطای تخمین (PAEE)[۲] و یا مربع ضریب همبستگی (R^2)[۳]، استفاده شده است. به صورت عددی نشان داده شده است که میزان بهینه ضریب شکل بستگی به توزیع تعداد ایستگاهها بر روی سطح واحد و نحوه شبکه بندی دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش تعداد ایستگاه مشاهده‌ای در دامنه مورد نظر اختلاف محاسبات با مشاهدات (توابع آزمون) بسیار کمتر می‌شود در ادامه مقدار بارندگی در یک ایستگاه خاص کاملا انتخابی در درون دامنه بغیر از ایستگاههای منظم موجود، یعنی ایستگاه واقع درنقطه (۰/۲۵،۰/۳۵) Z نیز از دو طریق توابع آزمون و محاسبات بدست آمد و نتایج بسیار رضایت بخشی حاصل گردید و پیشنهاداتی برای ادامه تحقیق داده شد.

کلمات کلیدی: توابع پایه شعاعی، نگاشت بارندگی، ضریب شکل، شبکه‌بندی، نقاط همسایگی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۷ آذر ۱۳۸۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۸ دی ۱۳۹۰

Support Domain Effects on Shape Parameter C in Mapping by Radial Basis Functions (RBFs)

H. Derakhshan [1*] and N. Talebbeydokhti [2]

Abstract

In many water engineering studies, there is a need to fill lost rain data using mapping tools. In this research this has been done by 5 types of RBFs; the data used were extracted by 3 test functions in which the support domain varied from 0.1 by 0.1 meter net to 0.5 by 0.5 meter net with different numbers of stations in a unit area domain. The c parameter was optimized by cross validation method and the Normalized Mean Square Error (NMSE), Percent Average Estimation Error (PAEE) and Coefficient of determination (R^2) were the statistical controlling tools for choosing suitable RBF function type. Compared to other works in literature, this work had a better performance in mapping. It is also shown that the c parameter that optimizes the RBF function is highly dependent on the support domain size; the finer the resolutions of support domain, the better the results achieved. The attribute was also found for an arbitrary station point, Z (0.25, 0.35) to show the model capability for an irregular domain. This work may be compared with meshless methods for further research.

Keywords: RBFs, Mapping, Shape parameter, Support domain, Resolution.

Received: December 8, 2007
Accepted: January 18, 2012

۱- استادیار بخش راه و ساختمان، دانشکده مهندسی دانشگاه زابل- زابل- ایران
۲- استاد دانشکده مهندسی بخش راه و ساختمان دانشگاه شیراز- شیراز- ایران
*- نویسنده مسئول

1- Assistant Professor of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Zabol University, Zabol, Iran. Email: derakhsh@gmail.com
2 Professor of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

داشتن آمار پیوسته بارندگی جهت برنامه‌ریزی در مهندسی منابع آب از ضروریات اولیه است. در برخی از ایستگاهها مقدار بارندگی ثبت نشده است که از جمله دلایل آن می‌توان به خراب شدن مقطعی باران‌سنج، یا کمبود باران‌سنج در ایستگاه مورد نظر، تفاوت زمانی نصب باران‌سنج‌های مختلف در ایستگاههای مختلف یک حوضه آبریز و غیره اشاره کرد.

داده‌های ناقص بارندگی را می‌توان از طریق میانگین‌گیری (Magness and McCuen, 2004) و یا روش معکوس فاصله و یا روش‌های وزنی (Shams et al., 2003) که کاربر مشخص می‌کند پیدا کرد. Vizzaccaro, Borga (1997) در تحقیقی در روش درونیابی به روش سطوح مالتی کوادراتیک و کریجینگ به این نتیجه رسیده‌اند که در شرایط دانسیته کم ایستگاههای بارندگی، روش کریجینک جواب بهتری می‌دهد ولی در شرایط ایستگاههای با دانسیته زیاد، هر دو روش مساوی هستند. Myers (1994) روشهای مختلف درونیابی را به روشهای متعین و غیرمتعین تقسیم‌بندی کرده است. از روشهای دیگر یافتن داده‌های ناقص بارندگی استفاده از روشهای زمین آماری و یا روشهای توابع پایه شعاعی است. عملکرد روش توابع پایه شعاعی بهتر از روش معکوس فاصله بوده است و نیز بدلیل عدم نیاز به فرض ثبات که در روش کریجینگ لازم است، روش توابع پایه شعاعی برترین روش شناخته شده در این زمینه است. در ادامه در این زمینه می‌توان به کارهای Carlson R.E.and Foley, T.A. (1991), Foley T.A.(1987 , 1991), Franke R. (1982), Hardy R.L.(1971, 1990), Lyche T. and Morken K. (1987), Poggio T.and Girosi F.(1990), Powell M.J.D.(1990) اشاره نمود.

که در بین روشهای یاد شده در این مقاله از روش آخر یعنی روش توابع پایه شعاعی استفاده شده است. هدف نهائی که در این مقاله دنبال می‌شود، بررسی تاثیر نوع شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه بر روی نگاشت داده‌های ناقص بارندگی است. این تاثیر را نهایتا می‌توان از طریق ضریب شکل c که مقدار آن برای هر مدل متفاوت است، دید. لذا در این مقاله وظیفه توابع آزمون معرفی شده، ایجاد داده‌های تداوم بارندگی در محدوده واحد و در نقاط مختلف است که به عنوان داده‌های مشاهده‌ای از آنها یاد می‌شود و داده‌های محاسبه‌ای نیز از طریق توابع پایه شعاعی بهینه‌یابی شده بدست می‌آیند (بمنظور سهولت انتخاب تعداد دلخواه از ایستگاهها، محدوده مربع واحد در نظر گرفته شده است). در انتهای مقاله نیز در هر روش، مقادیر مشاهداتی با مقادیر محاسبه شده با معیارهای کنترل جانبی متفاوت مقایسه گردیده‌اند و روشی که کمترین میزان خطای محاسباتی را دارا بوده به عنوان روش مناسب برای بررسی تاثیر ضریب شکل انتخاب شده است.

۲- معرفی محدوده مورد مطالعه

از ۹ دسته توابع زیر (Rippa, 1999) برای تولید داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. به منظور سهولت کار همه داده‌ها در محدوده واحد (مربع واحد) توزیع شده‌اند. اولین مجموعه داده‌ها در رئوس شبکه 0.1 در0.1 پخش گردیده که مجموعا ۱۲۱ داده را بدست می‌دهد که به منزله ۱۲۱ ایستگاه بارندگی خواهد بود و شبکه بعدی از مربع‌های به ابعاد 0.2 درست شده است که متشکل از ۳۶ نقطه (۳۶ ایستگاه) بوده و شبکه سوم از مربع‌های به ابعاد 0.25 درست شده که متشکل از ۲۵ نقطه (۲۵ ایستگاه) است. نهایتا شبکه چهارم از مربع‌های به ابعاد 0.5 درست شده که متشکل از ۹ نقطه (۹ ایستگاه) است. بنابراین در این روش محدودیتی برای تعداد ایستگاه انتخابی نیست. درکد کامپیوتری نوشته شده در محیط MATLAB جهت این موضوع امکان انتخاب هریک از ۹ تابع زیر وجود دارد ولی به منظور خلاصه سازی تنها نتایج سه مورد تابع آزمون F_1, F_3 و F_6 انتخاب و در قسمت نتایج ارائه شدند.

$$F_1 = 0.75\exp\left(-\frac{(9x-2)^2+(9y-2)^2}{4}\right) + 0.75\exp\left(-\frac{(9x+1)^2}{49}-\frac{9y+1}{10}\right) + 0.5\exp\left(-\frac{(9x-7)^2+(9y-3)^2}{4}\right) - 0.2\exp\left(-(9x-4)^2-(9y-7)^2\right) \quad (۱)$$

$$F_2 = \frac{\tanh(9y-9x)+1}{9} \quad (۲)$$

$$F_3 = \frac{1.25+\cos(5.4y)}{6(1+(3x-1)^2)} \quad (۳)$$

$$F_4 = \frac{\exp\left(-\frac{81}{16}((x-0.5)^2+(y-0.5)^2)\right)}{3} \quad (۴)$$

$$F_5 = \frac{\exp\left(-\frac{81}{4}((x-0.5)^2+(y-0.5)^2)\right)}{3} \quad (۵)$$

$$F_6 = \frac{\sqrt{64-81((x-0.5)^2+(y-0.5)^2)}}{9} - 0.5 \quad (۶)$$

$$F_7 = \begin{cases} 1, & y-\xi \geq 1/2, \\ 2(y-\xi), & 0 \leq y-\xi \leq 1/2, \\ (\cos(4\pi r(\xi, y))+1)/2, & r(\xi, y) \leq 1/4, \\ 0, & otherwise, \end{cases} \quad (۷)$$

where

$$r(\xi, y) = \sqrt{(\xi - 3/2)^2 + (y - 1/2)^2}$$

$$\xi = 2.1x - 0.1$$

$$F_8 = 0.595576(y + 3.79762)^2 - x - 10 \quad (۸)$$

$$F_9 = (1 - x/2)^6 (1 - y/2)^6 + 1000(1-x)^3 x^3 (1-y)^3 y^3 + y^6 (1-x/2)^6 + x^6 (1-y/2)^6 \quad (۹)$$

توابع فوق در واقع محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهند که از طریق آنها می‌توان داده‌های مشاهداتی را بدست آورد و x وy نشان دهنده مختصات این محدوده هستند. (درواقع x وy هرکدام بین صفر و یک تغییر می‌کنند و روش تغییر آنها نیز اختیاری است). به عنوان نمونه شکلهای ۱ الی ۳ نیز توابع آزمون انتخابی F_1 ، F_3 و F_6 را نشان می‌دهند و تغییرات آنها نمایش داده شده است. از این توابع برای تولید داده‌های مشاهداتی در محدوده بین صفر و یک در بخش روش کار استفاده شده است.

۳- روش درونیابی مبتنی بر توابع پایه شعاعی

در روش درونیابی توابع پایه شعاعی مطابق شکل ۱ ایستگاههای مختلف (با بارندگی) موجود منطقه مورد نظر با ایستگاه مورد نظر (بدون داده‌های بارندگی) بطور کلی توسط مختصات مکانی مرتبط هستند. بدین صورت که بین هر یک از ایستگاههای با اطلاعات معلوم و ایستگاه با اطلاعات مجهول و مورد نظر، این ارتباط فاصله‌ای که طبق تعریف روش توابع پایه شعاعی نسبت به نقاط مختلف رویه‌های کلاه مانند تغییر می‌نماید برقرار می‌شود (در این روش میزان همبستگی و تاثیر پذیری یک ایستگاه از ایستگاههای مجاور، از روی رویه کلاه مانند پیدا می‌شود). در واقع سهم هریک از ایستگاههای جانبی در تشخیص مقدار مورد نظر برای یک ایستگاه تابعی از مختصات مکانی بین تک تک این ایستگاههای جانبی و ایستگاه مورد نظر می‌باشد. که تابع عملکرد مورد بحث به شکلهای گوناگون ظاهر می‌شود.

این توابع عملکرد به ۵ نوع مختلف زیر تقسیم می‌شوند:

- **روش مالتی کوادریک** از مرکز به طرفین تغییر می‌یابد و به شکل زیر است:

$$\phi(r) = (r^2 + c^2)^{1/2} \quad (۱۰)$$

که در آن $\phi(r)$ تابع پایه شعاعی ، r فاصله اقلیدسی بین نقطه مورد نظر و هر یک از نقاط موجود و ضریب c ضریب تاثیر شکل تابع می‌باشد .

- **روش معکوس مالتی کوادریک** از مرکز به طرفین تغییر می‌یابد و به شکل زیر است:

$$\phi(r) = (r^2 + c^2)^{-1/2} \quad (۱۱)$$

که در آن $\phi(r)$ تابع پایه شعاعی ، r فاصله اقلیدسی بین نقطه مورد نظر و هر یک از نقاط موجود و ضریب c ضریب تاثیر شکل تابع می‌باشد. در واقع اختلاف دو تابع ذکر شده فوق تنها در علامت توان دو تابع است.

- **روش گوسی** از مرکز به طرفین تغییر می‌یابد و به شکل زیر است:

$$\phi(r) = \exp(-r^2 / c^2) \quad (۱۲)$$

که در آن $\phi(r)$ تابع پایه شعاعی ، r فاصله اقلیدسی بین نقطه مورد نظر و هر یک از نقاط موجود و ضریب c ضریب تاثیر شکل تابع می‌باشد.

- **روش کوشی**

$$\phi(r) = (r^2 + c^2)^{-1} \quad (۱۳)$$

که در آن $\phi(r)$ تابع پایه شعاعی ، r فاصله اقلیدسی بین نقطه مورد نظر و هر یک از نقاط موجود و ضریب c ضریب تاثیر شکل تابع می‌باشد.

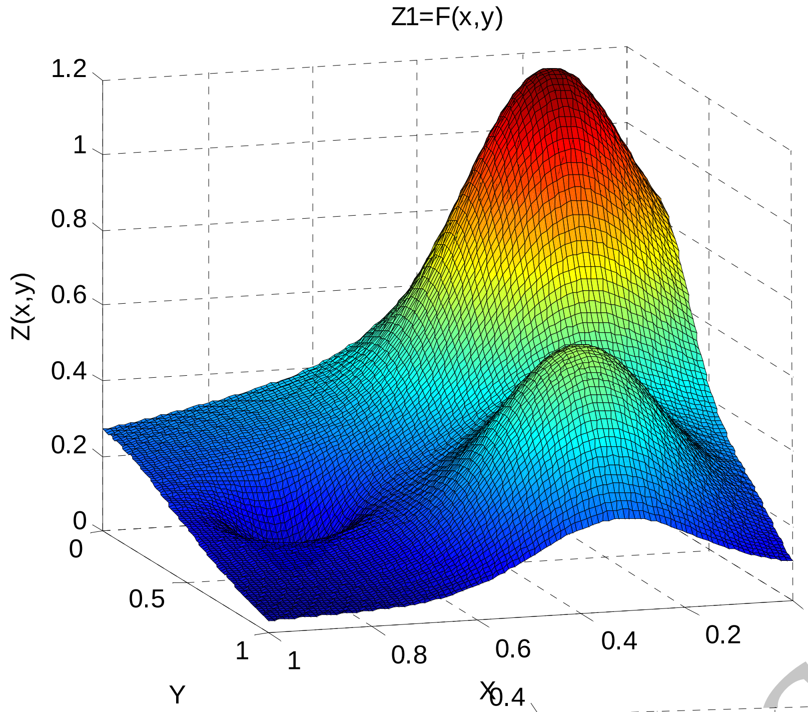
- **روش صفحات نازک**

$$\phi(r) = (cr)^2 \ln(cr) \quad (۱۴)$$

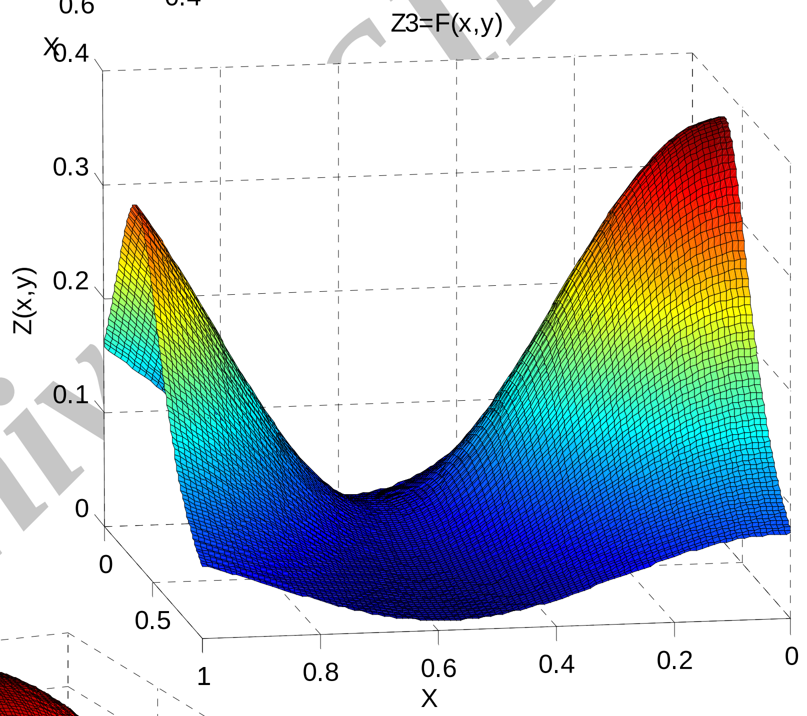
که در آن $\phi(r)$ تابع پایه شعاعی ، r فاصله اقلیدسی بین نقطه مورد نظر و هر یک از نقاط موجود و ضریب c ضریب تاثیر شکل تابع می‌باشد.

۴ - روش کار

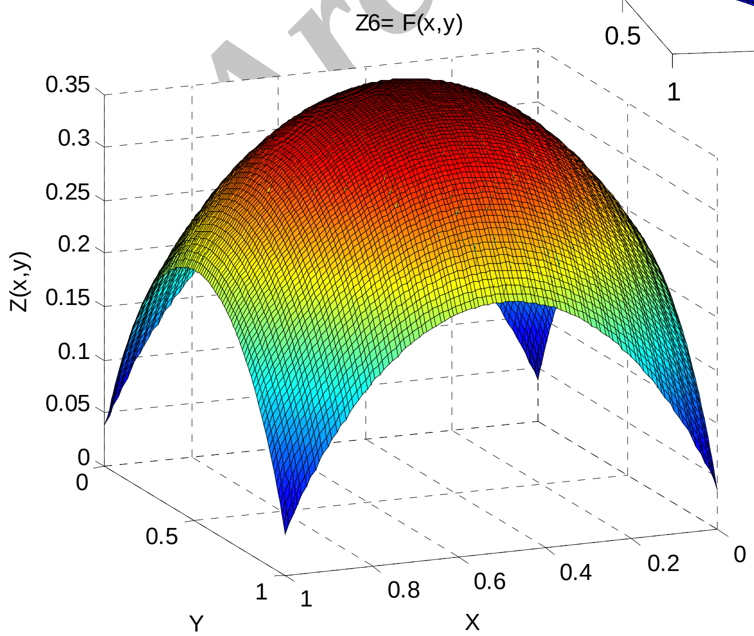
یک تابع خاص از توابع پنجگانه فوق را به همراه یک مقدار مشخص ضریب تاثیر شکل c انتخاب کرده و برای آن تفاوت میزان بدست آمده برای کمیت از طریق اعتبار سنجی جانبی و میزان مشاهده شده آن (توابع آزمون نه گانه) محاسبه می‌شود.



شکل ۱- نمایش تابع آزمون F_1



شکل ۲- نمایش تابع آزمون F3



شکل ۳- نمایش تابع آزمون F6

این مقدار در یک حالت ایده‌آل بایستی صفر باشد و هر چه جواب بدست آمده به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان از دقت روش تخمین دارد. از روشهای کنترل آماری دیگر محاسبه درصد متوسط خطای تخمین است که آنهم بایستی صفر باشد و یا به عنوان سومین ابزار کنترل، مربع ضریب همبستگی که میزان درجه همبستگی بین مقدار محاسبه شده با مقدار مشاهده شده را نشان می‌دهد و این مقایسه نسبت به خط ۴۵ درجه که از قبل رسم شده است، صورت می‌پذیرد. بدیهی است این مقدار بایستی هر چه بیشتر به عدد یک نزدیکتر باشد. معادله ۱۵ یک معادله کلی درون یابی است:

$$\hat{D}(X_0)=\sum_{i=1}^{n}c_i\phi(\|X_i-X_0\|) \qquad (۱۵)$$

بعنوان مثال هر گاه در یک زمان خاص و در یک ایستگاه خاص X_0 از میان ۱۲۱ ایستگاه، درونیابی مقدار زمان بارندگی $\hat{D}(X_0)$ از طریق مقدار سایر ایستگاهها در حالت شبکه ۱۲۱ نقطه‌ای مورد نظر باشد، c_i ضریب وزنی است که مربوط به داده مشاهده شده X_i بوده و $\phi(\|X_i-X_0\|)$ یک تابع مناسب فاصله بین X_0 و X_i از توابع پنج گانه است. برای تشخیص c_i بایستی از روش اعتبار سنجی جانبی استفاده شود. به این صورت که با حذف موقت هر یک از ۱۲۱ ایستگاه، معادله ۱۵ را برای هر یک از ایستگاهها مطابق معادله ۱۶ نوشته و مقدار مورد نظر آن ایستگاه ($D(x_s)$) را که یک مقدار مشاهده شده هم برای آن از طریق توابع آزمون موجود است، با استفاده از ۱۲۰ ایستگاه دیگر پیدا کرده، سپس مقدار محاسبه شده با مقدار مشاهده شده مقایسه می‌شود.

$$D(x_s)=\sum_{i=1}^{121}c_i\phi(\|X_i-X_s\|) \quad \forall \quad s=1,2,3,...,121 \qquad (۱۶)$$

این روش برای هر یک از توابع عملکرد پنجگانه تکرار می‌شود، سپس همین کار برای یک مقدار ضریب تاثیر شکل بزرگتر انجام می‌شود. با داشتن مقادیر مختلف ضریب تاثیر شکل به عنوان محور افقی و تفاوتهای مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه شده ازکمیت ارزیابی جانبی مورد نظر و رسم نقاط مختلف می‌توان به C بهینه (ضریب تاثیر شکلی که کمترین میزان نرمالیزه شده جذر مربع اختلاف بین مشاهده و محاسبه را داراست) برای هر کدام از توابع عملکرد پنجگانه دست یافت. تا این مرحله برای هر روش از توابع پایه شعاعی و شبکه ۱۲۱ ایستگاهی مقادیر C_{opt} ، NMSE، PAEE و R^2 محاسبه شده‌اند و هر روشی که بیشترین ضریب R^2 و کمترین میزان خطا را بدست بدهد به عنوان بهترین روش برای درونیابی شناخته می‌شود. بدیهی است با تشخیص آن ضریب شکل بایستی کل محاسبات درونیابی بر اساس همان ضریب شکل ثابت و براساس تابعی از توابع عملکرد پنجگانه (معادله‌های ۱۰ الی ۱۴) که خطای کمتری داشته است، انجام شود.

$$PAEE=\frac{100\%}{\overline{D}n}\sum_{k=1}^{n}[\hat{D}(X_k)-D(X_k)] \qquad (۱۷)$$

این میزان باید درحد صفر باشد که در آن $\hat{D}(X_k)$ مقدار بارندگی محاسبه شده (توابع پایه شعاعی) در نقطه X_k و $D(X_k)$ زمان بارندگی مشاهده شده (توابع ریپا) در نقطه مورد سوال X_k است و n تعداد ایستگاههای موجود و $\overline{D}$ متوسط زمان بارش است.

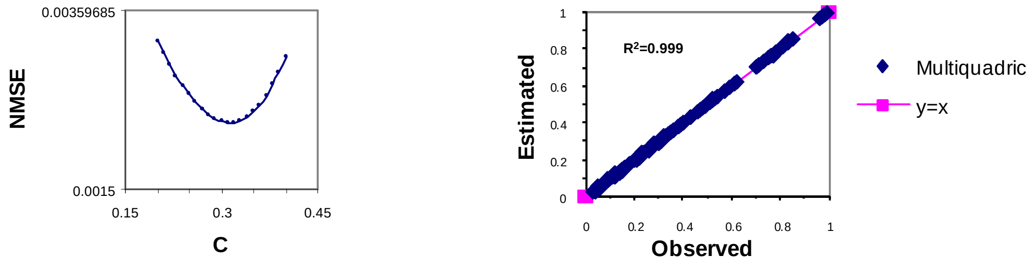
$$NMSE=\frac{1}{s^2n}\sum_{k=1}^{n}[\hat{D}(X_k)-D(X_k)]^2 \qquad (۱۸)$$

این میزان باید درحد صفر باشد که در آن s^2 واریانس داده‌ها و R^2 مربع ضریب همبستگی بین مشاهدات و محاسبات است. فرمولهای ارائه شده ۱۷ و ۱۸ کلی بوده و برای هر کمیتی قابل اعمالند ولی کمیت مورد نظر در این تحقیق، تداوم بارندگی است. دقت شود که تاکنون تعداد ایستگاهها ۱۲۱ عدد بود، به منظور بررسی تاثیر شبکه‌بندی کارهای فوق برای شبکه‌های ۳۶ ایستگاهی، ۲۵ ایستگاهی و ۹ ایستگاهی نیز تکرار گردیدند. قابل ذکر است که هر چه شبکه ریزتر (با تعداد ایستگاههای بیشتر در مربع واحد) انتخاب گردد میزان محاسبات و زمان کار برنامه بالاتر می‌رود بطوری که اجرای برنامه برای شبکه ۱۲۱ ایستگاهی زمان بسیار بیشتری نسبت به شبکه ۹ ایستگاهی می‌طلبد.

۵- نتایج و تحلیل نتایج

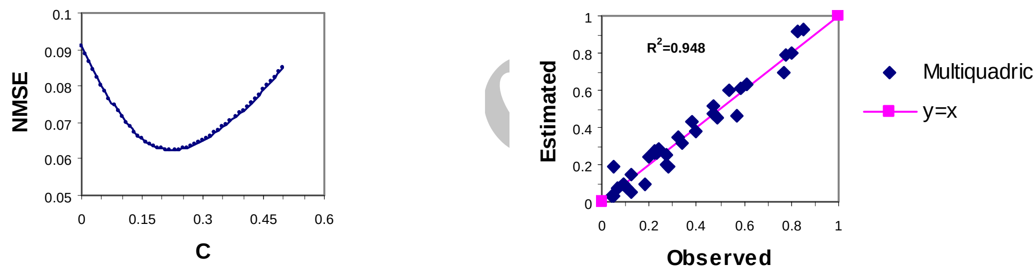
شکلهای۴ الی ۱۵ کاربرد روش‌های مختلف درونیابی به روش تابع شعاعی پایه مالتی کوادریک می‌پردازند. شکلهای قسمت الف مربوط به بهینه‌سازی ضریب شکل c در شبکه بندی‌های مختلف ۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۲۵ و ۰/۵ بوده و شکلهای قسمت ب مربوط به نمودار پراکندگی محاسبات در مقایسه با مشاهدات در این شبکه‌ها است. همانگونه که از این شکلها و نیز جدول خلاصه شده ۱ دیده می‌شود، بهترین روش درونیابی برای روش تابع شعاعی پایه مالتی کوادریک در شبکه با نقاط بیشتر یعنی شبکه ۱۲۱ ایستگاهی است که به کمترین خطای آماری و بیشترین R^2 منجر شده است و نیز به عنوان نمونه، نقطه Z(0.25,0.35) در داخل دامنه با این روش، و البته با ضریب شکل بهینه‌یابی شده، درون یابی شده است که نتایج درونیابی با مقدار مشاهداتی همخوانی دارد. در اینجا به منظور کم کردن حجم عملیات تنها نتایج روش مالتی کوادریک در نتایج مقاله آورده شده اند. لازم است اشاره شود که مقادیر نقاطی که از طریق معادلات پیشنهادی ریپا بدست می‌آیند در اینجا حکم مشاهدات را دارند و

مقادیر محاسبه‌ای این نقاط نیز از طریق توابع پایه شعاعی حاصل می‌شوند.



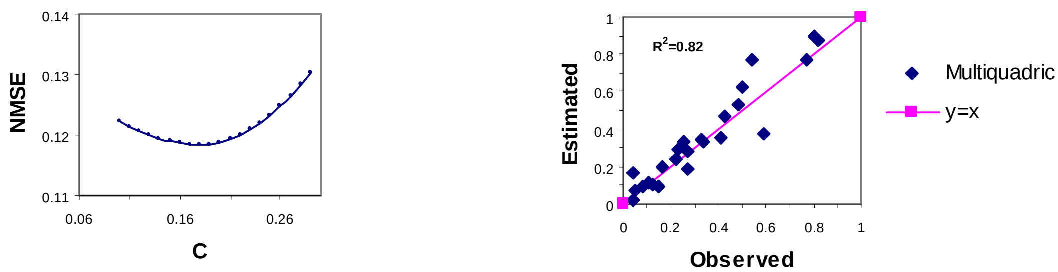
(الف) (ب)

شکل۴ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۱/. متری و تابع F_1
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



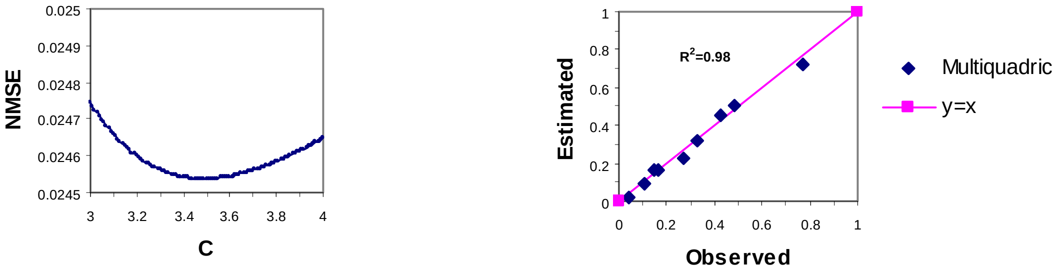
(الف) (ب)

شکل۵ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۲/. متری و تابع F1
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



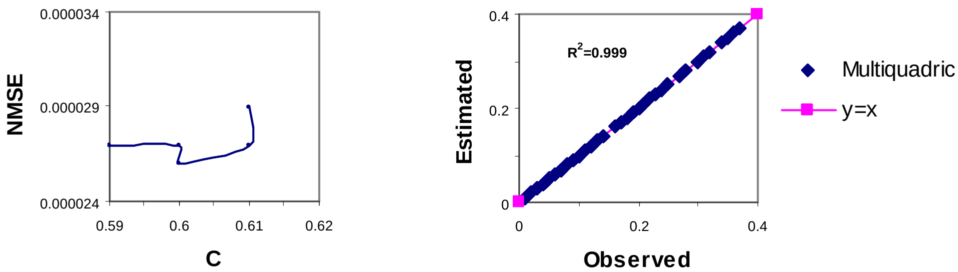
(الف) (ب)

شکل۶– الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۲۵/. متری و تابع F1
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



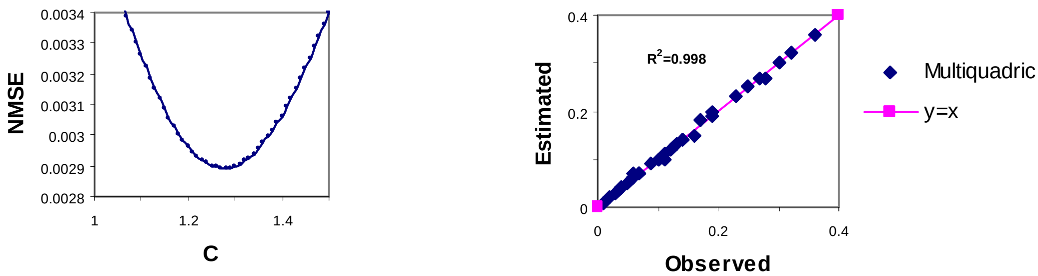
(الف) (ب)

شکل۷ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۵/. متری و تابع F1
ب نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



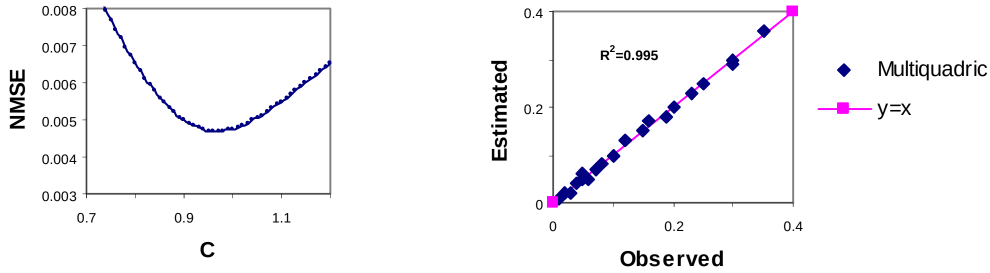
(الف) (ب)

شکل۸ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۱/. متری و تابع F3
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



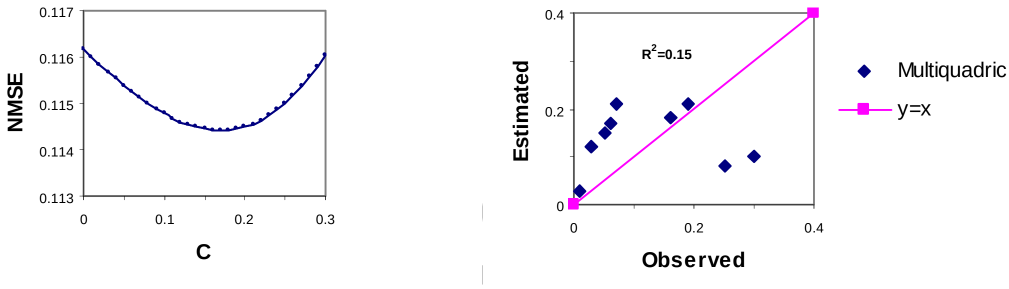
(الف) (ب)

شکل۹ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۲/. متری و تابع F3
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



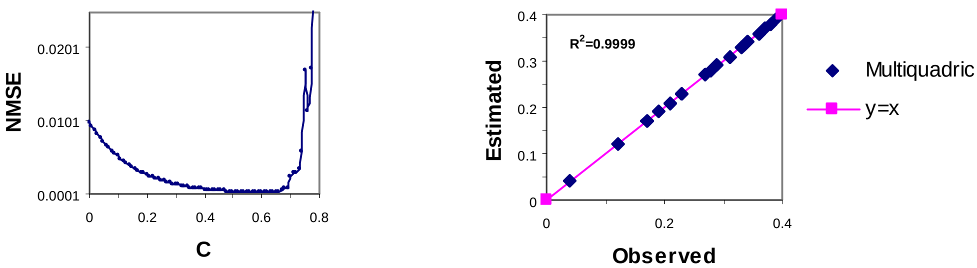
(الف) (ب)

شکل۱۰- الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۲۵/. متری و تابع F3
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



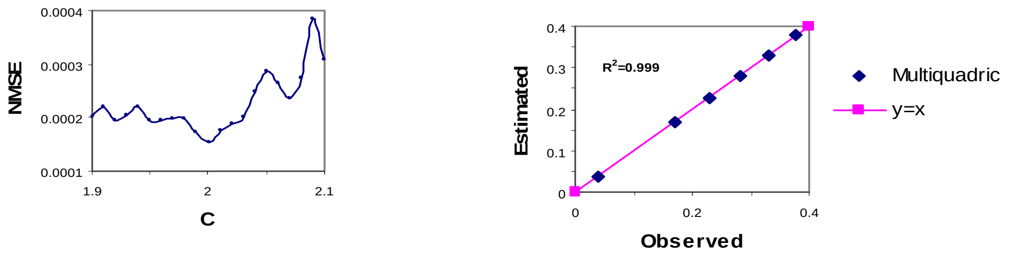
(الف) (ب)

شکل۱۱- الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۵/. متری و تابع F3
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



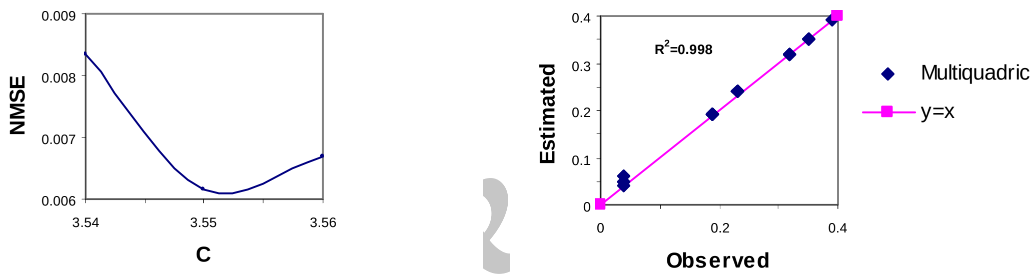
(الف) (ب)

شکل۱۲- الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۱/. متری و تابع F6
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



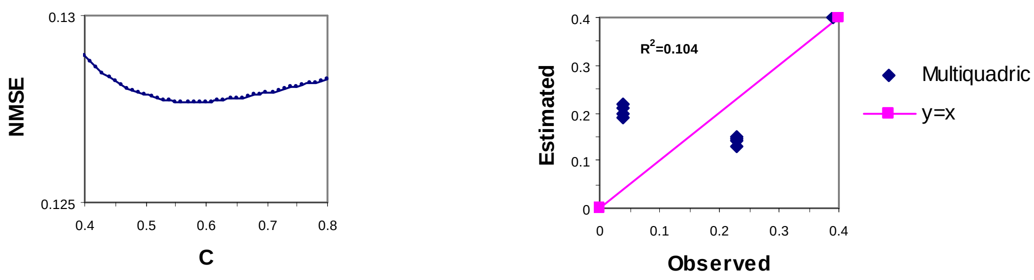
(الف) (ب)

شکل۱۳ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی c با شبکه ۲/. متری و تابع F6
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



(الف) (ب)

شکل۱۴ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۲۵/. متری و تابع F6
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.



(الف) (ب)

شکل۱۵ – الف: دیاگرام C-NMSE برای بهینه‌سازی C با شبکه ۵/. متری و تابع F6
ب: نمودار پراکندگی طول دوره رگبار محاسبه‌ای بر حسب مشاهده‌ای.

جدول ۱- مقایسه نتایج پارامتر c بهینه در مطالعه حاضر و کار Rippa (۱۹۹۹)

تابع آزمون مدل مشترک مالتی کوادریک در دو مقاله	NMSE		پارامتر c بهینه	
	مطالعه حاضر	کار Rippa	مطالعه حاضر	کار Rippa
F_1 and 0.1 by 0.1 mesh	0.00227	0.00229	0.31	0.35
F_3 and 0.1 by 0.1 mesh	0.000025	0.000058	0.60	0.55
F_6 and 0.1 by 0.1 mesh	0.00024	0.000021	0.61	1.25

برای انتخاب ضریب شکل بهینه C_{opt}، هر سه PAEE ،NMSE و R^2 ملاک انتخاب قرار گرفتند و دیده می‌شود که در روش مالتی کوادریک ۱۲۱ نقطه‌ای هر سه این کمیتهای آماری بهتر از بقیه روشها بدست آمده‌اند و با کم شدن تعداد ایستگاهها بتدریج از دقت روش کاسته می‌شود. بنابر این در اینجا تاثیر تعداد نقاط همسایگی بر روی نحوه تخمین کمیت کاملا مشهود است و هر چه اندازه نقاط همسایگی بیشتر باشد تخمین‌ها به واقعیت نزدیکترند. این نتایج را نمی‌توان به مکانهای دیگر تعمیم داد و برای هر محدوده‌ای بایستی با توجه به وضعیت توپوگرافی آن محدوده، جداگانه انجام شود. برای مقادیر ضریب شکل مقادیر محدودی را باید در نظر گرفت و مقادیر آن در دامنه بزرگی عمل نمی‌نماید و نیز برای بهتر دیده شدن نتایج بهینه کردن مقادیر ضریب شکل و تاثیر آن و بهتر پیدا کردن نقطه بهینه، بایستی محدوده مقادیر آنرا مرتبا کوچک و کوچکتر نمود. جدول ۱ نتایج تحقیق حاضر را با نتایج پارامتر c بهینه حاصل از روش ریپا (البته در حد آنچه در هر دو تحقیق مشترک است درحالی که تحقیق حاضر بسیار گسترده‌تر از تحقیق ریپا است) مقایسه می‌نماید که حاکی از نتایج نسبتا بهتر این روش می‌باشد. از جدول ۲ الی جدول ۶ ملاحظه می‌شود که در این تحقیق از ابزارهای سه گانه ارزیابی جانبی استفاده شده است که این را می‌توان از تفاوتهای این کار با کار ریپا دانست و نیز در کار ریپا به روش عملکرد مستقیما اشاره نشده است و تنها از نتایج آن می‌توان مقایسه را انجام داد.

از جمله تفاوتهای دیگر این کار با کار ریپا می‌توان به استفاده ازسایر روشهای توابع پایه شعاعی (بکارگیری پنج مدل مختلف بر خلاف ریپا که تنهایک مدل را بررسی می‌نماید) یعنی مدل‌های مالتی کوادریک معکوس، گوسی، کوشی و صفحات نازک نام برد. نتایج حاصله را می‌توان با روشهای بدون شبکه در مقاله‌ای مستقل بررسی و مقایسه کرد.

۶- نتیجه گیری

با کوچک و ریزکردن شبکه و در واقع با افزودن تعداد ایستگاهها نتایج بسیار بهتری برای نگاشت داده‌های بارندگی بدست می‌آید و در این صورت اطلاعات بارندگی نقاط دیگری را به غیر از نقاط ایستگاهی موجود نیز می‌توان در مقیاس مورد نظر بدست آورد. این موضوع در نتایج تمامی پنج مدل کلی مورد استفاده جهت نگاشت داده‌های ناقص تایید شده است. با توجه به اینکه هر نقطه انتخابی برای تخمین بر روی خود تابع پایه شعاعی می‌افتد، این تابع یک تابع تخمین دقیق محسوب می‌شود و بنابراین استفاده از این نوع تابع در مقایسه با سایر توابع اعم از خطی و غیرخطی و حتی توابعی که فاصله را برای تخمین مد نظر قرار می‌دهند، ارجحیت دارد. لازم به توضیح است که مقدار تخمین علاوه بر این که درست برروی ایستگاههای مشخص انجام گردیده است برای یک نقطه (ایستگاه) خاص با مختصات کاملا انتخابی غیر از مختصات شبکه تعریف شده اولیه مثل نقطه اختیاری Z(0.25,0.35) نیز در ستون آخر جداول ۲ الی ۶ نشان داده شده است، بنابراین برای هر نقطه‌ای در داخل محدوده می‌توان کمیت موردنظررا تخمین زد و این موضوع هیچ محدودیتی ندارد بنابراین مدل معرفی شده برای شبکه‌های نامنظم هم کاملا کاربرد دارد. توصیه می‌شود اثر حاضر به کمک روشهای بدون شبکه نیز انجام پذیرفته و با این روش مقایسه گردد.

پی‌نوشت‌ها

1- Normalized Mean Square Error.
2- Percent Average Estimation Error**.**
3- Correlation Coefficient

جدول۲- آمار ارزشیابی جانبی به روش درونیابی تابع مالتی کوادریک

مدل	C_{opt}	NMSE	PAEE	R^2	شبکه	تابع آزمون	Z(0.25,0.35) نقطه اختیاری شبکه	
							مشاهده	تخمین
مالتی کوادریک	۰.۳۱	۰.۰۰۲۲۷	-۰.۰۰۸۴۸	۰.۹۹۹	۰.۱*۰.۱	F_1	۰.۹۳۱۴	۰.۹۳۱۵
	۰.۲۲	۰.۰۶۲۴	-۰.۰۰۹۱	۰.۹۴۸	۰.۲*۰.۲			۰.۹۰۵۲
	۰.۱۸	۰.۱۱۸۴	۰.۷۹۵۶۱	۰.۸۲۰۴	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۹۵۷۲
	۳.۴۹	۰.۰۲۴۵۳	-۲.۲۸۹۴	۰.۹۸۵۷	۰.۵*۰.۵			۰.۴۵۹
	۰.۶	۰.۰۰۰۰۲۵	-۰.۰۰۰۵۶	۱	۰.۱*۰.۱	F_3	۰.۱۴۶۸	۰.۱۴۶۸
	۱.۲۸	۰.۰۰۲۸۹	-۰.۰۲۶۹	۰.۹۹۸۱	۰.۲*۰.۲			۰.۱۴۶۶
	۰.۹۷	۰.۰۰۴۶۸	-۰.۱۳۶۲۱	۰.۹۹۵	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۱۴۷۳
	۰.۱۷	۰.۱۱۴۴۲	۱۲.۵۰۳	۰.۱۵	۰.۵*۰.۵			۰.۰۸۵
	۰.۶۱	۰.۰۰۰۲۴	۰.۰۰۸۶۷	۱	۰.۱*۰.۱	F_6	۰.۳۳۹۷	۰.۳۳۹۷
	۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۱۱۶	۰.۹۹۹	۰.۲*۰.۲			۰.۳۳۹
	۳.۵۵	۰.۰۰۶۱۵	۰.۷۳۲۶۷	۰.۹۹۸	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۳۷۲۴
	۰.۵۸	۰.۱۲۷۶۸	۲۰.۶۸۹	۰.۱۰۴۲	۰.۵*۰.۵			۰.۳۳۱۳

جدول۳- آمار ارزشیابی جانبی به روش درونیابی تابع مالتی کوادریک معکوس

مدل	C_{opt}	NMSE	PAEE	R^2	شبکه	تابع آزمون	Z(0.25,0.35) نقطه اختیاری شبکه	
							مشاهده	تخمین
مالتی کوادریک معکوس	۰.۳۷	۰.۰۰۲۳۵	-۰.۰۰۸۸	۰.۹۹۹۷	۰.۱*۰.۱	F_1	۰.۹۳۱۴	۰.۹۳۱۵
	۰.۳۴	۰.۰۶۰۹۳	-۰.۰۰۸۸	۰.۹۵۲۷	۰.۲*۰.۲			۰.۹۰۶۸
	۰.۲۸	۰.۱۱۷۲۸	-۰.۸۲۵۷۳	۰.۸۲۵۷	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۹۵۸۱
	۳.۹۹	۰.۰۲۳۶۴	-۲.۱۵۰۸	۰.۹۸۷۴	۰.۵*۰.۵			۰.۴۶۲۵
	۰.۷۲	۲.۲۸E-۰۵	۰.۰۰۱۸۵	۱	۰.۱*۰.۱	F_3	۰.۱۴۶۸	۰.۱۴۶۹
	۱.۴۶	۰.۰۰۲۶۲	-۰.۰۱۵۰۵	۰.۹۹۸۴	۰.۲*۰.۲			۰.۱۴۶۶
	۱.۱۸	۰.۰۰۳۵۲	۰.۰۰۵۲۱	۰.۹۹۷	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۱۴۷۳
	۰.۵۵	۰.۱۰۳۹۳	-۳.۱۰۵۵	۰.۰۱۸۲	۰.۵*۰.۵			۰.۰۸۴۵
	۰.۷۲	۰.۰۰۰۲۸	۰.۰۰۶۱۳	۱	۰.۱*۰.۱	F_6	۰.۳۳۹۷	۰.۳۳۹۶
	۲.۲۳	۰.۰۰۰۱۳	۰.۰۱۴۲۱	۱	۰.۲*۰.۲			۰.۳۳۹۶
	۴.۲۱	۰.۰۰۶۴۵	۰.۲۷۸۴۳	۰.۹۹۴۹	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۳۷۶۲
	۰.۲۴	۰.۱۲۶۶۶	-۹.۰۵۱۷	۰.۰۱۰۶	۰.۵*۰.۵			۰.۲۶۹۸

جدول ۴- آمار ارزشیابی جانبی به روش درونیابی تابع گوسی

مدل	C_{opt}	NMSE	PAEE	R^2	شبکه	تابع آزمون	Z(0.25,0.35) نقطه اختیاری شبکه	
							مشاهده	تخمین
گوسی	۰.۲	۰.۰۰۳۹۱	-۰.۰۶۹۴۱	۰.۹۹۹۶	۰.۱*۰.۱	F_1	۰.۹۳۱۴	۰.۹۳۱۷
	۰.۲۷	۰.۰۶۸۰۳	-۳.۷۱۹۸	۰.۹۴۱۸	۰.۲*۰.۲			۰.۸۹۸۹
	۰.۲۷	۰.۱۴۸۳۳	-۱۵.۶۷۷	۰.۷۶۱۸	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۹۵۳۶
	۲.۴۳	۰.۰۲۳۴۶	-۲.۲۵۰۴	۰.۹۸۹	۰.۵*۰.۵			۰.۴۶۹۲
	۰.۳۳	۱.۹۹E-۰۵	-۰.۰۰۱۱۸	۱	۰.۱*۰.۱	F_3	۰.۱۴۶۸	۰.۱۴۶۹
	۰.۶۴	۱.۹۹E-۰۵	۰.۰۰۱۱۵	۰.۹۹۹۷	۰.۲*۰.۲			۰.۱۴۶۴
	۰.۶	۰.۰۰۱۷۲	۰.۰۶۳۸۶	۰.۹۹۸	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۱۴۷۶
	۰.۵۸	۰.۱۰۳۷۸	-۱۹.۰۹۶	۰.۰۵۳۷	۰.۵*۰.۵			۰.۰۸۶۵
	۰.۳۳	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۴۶۶	۰.۹۹۹۶	۰.۱*۰.۱	F_6	۰.۳۳۹۷	۰.۳۳۹۸
	۱.۵	۴.۰۳E-۰۵	۰.۰۰۲۱۷	۱	۰.۲*۰.۲			۰.۳۳۹۵
	۲.۱۶	۰.۰۰۷۳۱	۰.۷۴۱۸۶	۰.۹۹۷۶	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۳۴
	۰.۴۷	۰.۱۱۹۵۸	-۲۲.۹۱۸	۰.۱۴۴۹	۰.۵*۰.۵			۰.۳۱۶۲

جدول ۵- آمار ارزشیابی جانبی به روش درونیابی تابع کوشی

مدل	C_{opt}	NMSE	PAEE	R^2	شبکه	تابع آزمون	Z(0.25,0.35) نقطه اختیاری شبکه	
							مشاهده	تخمین
کوشی	۰.۴	۰.۰۰۲۴۳	−۰.۰۱۶۵۱	۰.۹۹۹۹	۰.۱*۰.۱	F_1	۰.۹۳۱۴	۰.۹۳۱۵
	۰.۳۸	۰.۰۶۱۴۶	−۰.۵۸۹۵۱	۰.۹۵۲۱	۰.۲*۰.۲			۰.۹۰۶۷
	۰.۳۳	۰.۱۱۸۰۴	−۳.۳۷۶۷	۰.۸۳۰۲	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۹۶۰۴
	۴.۳۲	۰.۰۲۳۵۳	−۲.۱۵۱۳	۰.۹۸۹۴	۰.۵*۰.۵			۰.۴۶۲۱
	۰.۷۸	۲.۲۷E−۰۵	۰.۰۰۳۴۴	۰.۹۹۹۹	۰.۱*۰.۱	F_3	۰.۱۴۶۸	۰.۱۴۶۷
	۱.۵۴	۰.۰۰۲۵۳	−۰.۰۱۱۸۵	۰.۹۹۹۳	۰.۲*۰.۲			۰.۱۴۶۶
	۱.۲۶	۰.۰۰۳۲۶	۰.۰۳۷۹۸	۰.۹۹۸۷	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۱۴۷۱
	۰.۶۹	۰.۱۰۲۹۷	−۶.۹۰۳۵	۰.۰۲۴۳	۰.۵*۰.۵			۰.۰۸۱۶
	۰.۷۸	۰.۰۰۰۲۸	۰.۰۱۰۷۳	۰.۹۹۹۹	۰.۱*۰.۱	F_6	۰.۳۳۹۷	۰.۳۴۰۲
	۲.۴۵	۰.۰۰۰۱۱	۰.۰۰۴۴۳	۱	۰.۲*۰.۲			۰.۳۳۹۶
	۴.۲۷	۰.۰۰۷۲۴	۰.۵۷۷۷۱	۰.۹۹۶۸	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۱۶۶۳
	۰.۴۱	۰.۱۲۰۹۲	−۱۱.۲۵۱	۰.۰۴۱۸	۰.۵*۰.۵			۰.۳۰۴۲

جدول۶- آمار ارزشیابی جانبی به روش درونیابی تابع صفحات نازک

مدل	C_{opt}	NMSE	PAEE	R^2	شبکه	تابع آزمون	Z(0.25,0.35) نقطه اختیاری شبکه	
							مشاهده	تخمین
صفحات نازک	۰.۴۴	۰.۰۰۹۶۷	−۰.۰۰۵۰۹	۰.۹۹۸۸	۰.۱*۰.۱	F_1	0.9314	۰.۹۲۹۷
	۰.۴۷	۰.۰۶۹۹۸	۰.۴۴۷۴۶	۰.۹۳۸	۰.۲*۰.۲			۰.۸۸۹۴
	۰.۲۸	۰.۱۱۹۵۴	۰.۶۱۸۴۱	۰.۸۲۱۹	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۹۳۴۸
	۰.۰۰۱	۰.۰۹۰۵۹	۱.۴۵۱۱	۰.۸۳۰۱	۰.۵*۰.۵			۰.۴۶۸
	۰.۴۷	۰.۰۰۲۱۱	۰.۱۰۳۱۵	۰.۹۹۹۵	۰.۱*۰.۱	F_3	0.1468	۰.۱۴۶۸
	۲.۳۳	۰.۰۱۳۸۳	۰.۱۴۱۵۸	۰.۹۸۰۷	۰.۲*۰.۲			۰.۱۴۴۸
	۱.۰۳	۰.۰۲۶۰۲	۱.۶۸۹۲	۰.۹۲۹۵	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۱۴۹۶
	۰.۶۲	۰.۱۰۵۹	۵.۰۶۶۸	۰.۰۱۳۳	۰.۵*۰.۵			۰.۱۱۵۹
	۱	۰.۰۰۰۳۱	۰.۰۶۱۶۲	۰.۹۹۹۹	۰.۱*۰.۱	F_6	0.3397	۰.۳۳۹۷
	۰.۹۸	۰.۰۰۳۰۱	۱.۰۹۰۲	۰.۹۸۹	۰.۲*۰.۲			۰.۳۳۹۸
	۰.۹۸	۰.۰۰۶۸۵	۲.۷۳۴۹	۰.۹۸۰۴	۰.۲۵*۰.۲۵			۰.۳۳۹۹
	۰.۷	۰.۰۲۸۶	−۱۰.۶۴۴	۰.۹۹۰۷	۰.۵*۰.۵			۰.۳۲۱۲

۷- مراجع

Borga, M. and Vizzaccaro A. (1997), "On the interpolation of hydrologic variables: formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging", *Journal of Hydrology*, 195, pp.160-171.

Carlson, R.E. and Foley, (1991). T.A. The parameter R^2 in multiquadric interpolation, *Comput. Math. Appl.* 21, pp. 29–42.

Foley, T.A. (1987). Interpolation and approximation of 3-D and 4-D scattered data, *Comput. Math. Appl.*13, pp. 711–740.

Foley, T.A. (1991). Near optimal parameter selection for multiquadric interpolation, *J. Appl. Sci. Comput.*1, pp. 54–69.

Franke, R. (1982). Scattered data interpolation: tests of some methods, *Math. Comp.* 38, pp. 181–200.

Hardy, R.L. (1971). Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces, *J. Geophys. Res.*76, pp.1905–1915.

Hardy, R.L. (1990), Theory and applications of the multiquadric-biharmonic method, *Comput. Math. Appl.* 19, pp. 163–208.

Lyche, T. and Morken, K. (1987). Knot removal for parametric B-spline curves and surfaces, *Comput. Aided Geom. Design* 4, pp. 217–230.

Magness, A. L. G. and McCuen, R. H. (2004), "Accuracy evaluation of rainfall disaggregation methods", *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(2), pp.71-77.

Rippa, S. (1999), "An algorithm for selecting a good value for the parameter C in radial basis function interpolation", *Advances in Computational Mathematics*, 11, pp.193-210.

Shams, S., Abedini M. J. and Asghari K. (2003), "Rainfall disaggregation via artificial neural networks", Fourth *Iranian hydraulic conference, Shiraz University, Iran*, pp.1-8.

Myers, D. E. (1994), " Spatial interpolation: an overview", *Geoderma*, 62, pp. 17-28.

Poggio, T. and Girosi, F. (1990), Networks for approximation and learning, *Proceedings of the IEEE* 78, pp. 1481–1497.

Powell, M.J.D. (1990), The theory of radial basis function approximation, *Advances in Numerical Analysis*, Vol. 2: *Wavelets, Subdivision Algorithms and Radial Functions*, ed. W. Light pp. 105–210.