

به نام خدا

# تحليل فضایی چگالی خاک

استاد: دکتر محسن محمدزاده

گردآورنده: ساجده لشگری

## فهرست مطالب

۱. مقدمه.....	2
۲. تعریف داده.....	3
۳. بررسی فضایی بودن داده‌ها.....	4
۴. تحلیل اکتشافی داده‌ها.....	5
۴.۱. بررسی توزیع داده‌های میدان تصادفی.....	5
۴.۲. بررسی مانایی داده‌ها.....	7
4.2.1. مانایی از حیث میانگین.....	7
4.2.2. مانایی از تغییر نگار و هم‌تغییر نگار.....	7
۴.۳. شناسایی داده‌های دورافتاده.....	8
۴.۴. بررسی همسان‌گردی میدان تصادفی.....	10
۴.۵. شناسایی روند و حذف آن.....	11
۴.۶. برآورد تغییر نگار و پارامترهای آن.....	13
۵. پیش‌گویی فضایی.....	15
۵.۱. کریگیدن عام و عادی و ساده.....	15
۵.۲. پیش‌گویی فضایی هم‌کریگیدن.....	17
۵.۳. پیش‌گویی بیزی فضایی.....	17
۶. نتیجه‌گیری.....	18
۷. پیشنهادات.....	18

## ۱. مقدمه

خاک مخلوطی از مواد معدنی و آلی است که از تخریب سنگ‌ها به وجود می‌آید. نوع و ترکیب خاک‌ها در مناطق مختلف بر حسب شرایط ناحیه، فرق می‌کند. مقدار آبی که خاک‌ها می‌توانند به خود جذب کنند، از نظر کشاورزی و همچنین در کارهای خانه‌سازی، راه‌سازی و ساختمانی دارای اهمیت بسیاری است که این مقدار در درجه‌ی اول بستگی به اندازه دانه‌های خاک دارد. هرچه دانه‌ی خاک ریزتر باشد، آب بیشتری را به خود جذب می‌کند که این خصوصیت برای کارهای ساختمان‌سازی مناسب نیست.

در پروژه‌های مختلف مهندسی عمران از خاک به عنوان مصالح ساختمانی استفاده می‌شود و خاک، تکیه‌گاه پی‌های سازه‌ای را فراهم می‌سازد. بنابراین مهندسین عمران باید خصوصیات خاک مانند منشا، دانه بندی، قابلیت زهکشی، تراکم پذیری، مقاومت برشی و ظرفیت باربری را مورد بررسی و مطالعه قرار دهند.

دانه‌بندی خاک به عمل دسته‌بندی دانه‌های خاک گفته می‌شود. خاک‌ها براساس نتایج به دست آمده از دانه‌بندی یا اندازه‌های مختلف دانه‌هایشان، رتبه‌بندی می‌شوند. عمل دانه‌بندی خاک از بخش‌های مهم مکانیک خاک به ویژه مهندسی خاک و پی، است چون اندازه دانه‌های خاک آشکارا بر رفتار خاک و ویژگی‌های آن مانند مقاومت برشی، تراکم پذیر بودن، توانایی آن در هدایت مایعات و ... تاثیر می‌گذارد و معمولاً نوع دانه‌بندی خاک محل پروژه، بر توانایی زهکشی آن تاثیر زیادی می‌گذارد. خاک‌ها از نظر دانه‌بندی به دو دسته‌ی خوب دانه‌بندی شده و بد دانه‌بندی شده تقسیم می‌شوند. خاک بد دانه‌بندی شده، نسبت به خوب دانه‌بندی، معمولاً توانایی بیشتری در زهکشی آب دارد. به طور کلی خاک خوب، از دانه‌های ریز و درشت تشکیل می‌شود. تشکیل خاک‌ها به گذشت زمان، مقاومت سنگ اولیه یا سنگ مادر، آب و هوا، فعالیت موجودات زنده و توپوگرافی ناحیه‌ای که خاک در آن تشکیل می‌شود، بستگی دارد.

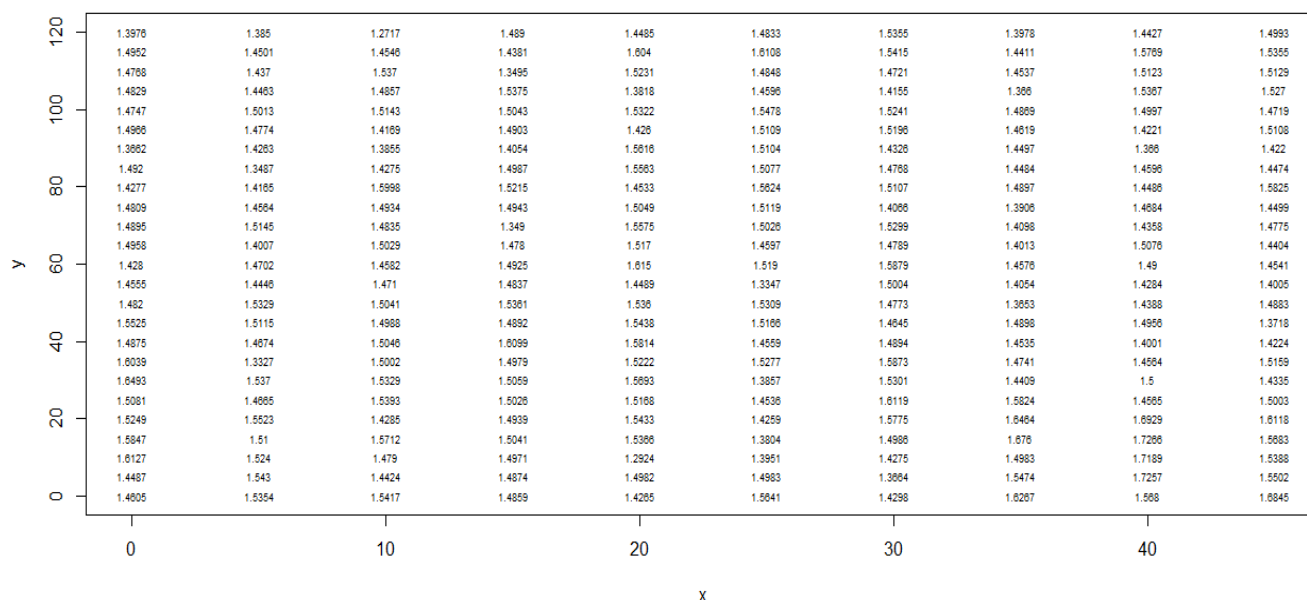
برای پروژه‌هایی مانند احداث بزرگراه یا بنای یک سد خاکی، خاک خوب دانه‌بندی شده را بهتر می‌توان متراکم ساخت. برای چنین سازه‌های ویژه‌ای، پیش از هر کاری باید ویژگی‌های خاک محل مورد نظر را بررسی کرد و دید که آیا نیازهای آن پروژه را می‌تواند تامین کند یا خیر. پس از آنکه گزینه‌های بهسازی خاک به دست آمد، آنگاه دانه بندی خاک را با معیارهای مربوطه، کنترل می‌کنند.

## ۲. تعریف داده

داده‌های WRC مربوط به چگالی خاک و اندازه‌های منحنی مشخصه آب می‌باشد که در هشت فشار مختلف بر روی یک شبکه منظم با  $25 \times 10$  نقطه با فاصله‌های ۵ متر از هم، اندازه‌گیری شده‌اند. داده‌ها شامل ۲۵۰ نمونه و ۱۱ متغیر می‌باشند که در این مطالعه، متغیر سوم یعنی چگالی خاک در نظر گرفته شده است.

این داده‌ها دارای وابستگی فضایی هستند، یعنی به لحاظ موقعیت قرار گرفتن در فضای مورد مطالعه، دارای همبستگی فضایی می‌باشند، به عبارتی داده‌هایی که در فواصل نزدیک به هم هستند دارای همبستگی بیشتر و آن‌هایی که در فواصل دورتر قرار دارند، همبستگی بین مقادیرشان کمتر است. بنابراین برای تحلیل آن‌ها از روش‌های معمول موجود در آمار کلاسیک نمی‌توان استفاده کرد و در صورت استفاده از روش‌های معمول آماری، نتایج دارای اعتبار لازم نبوده و قابل استناد نیستند، بنابراین در این مطالعه باید از روش‌های آمار فضایی استفاده کرد که به طریقی این همبستگی را در تحلیل داده‌ها لحاظ کند.

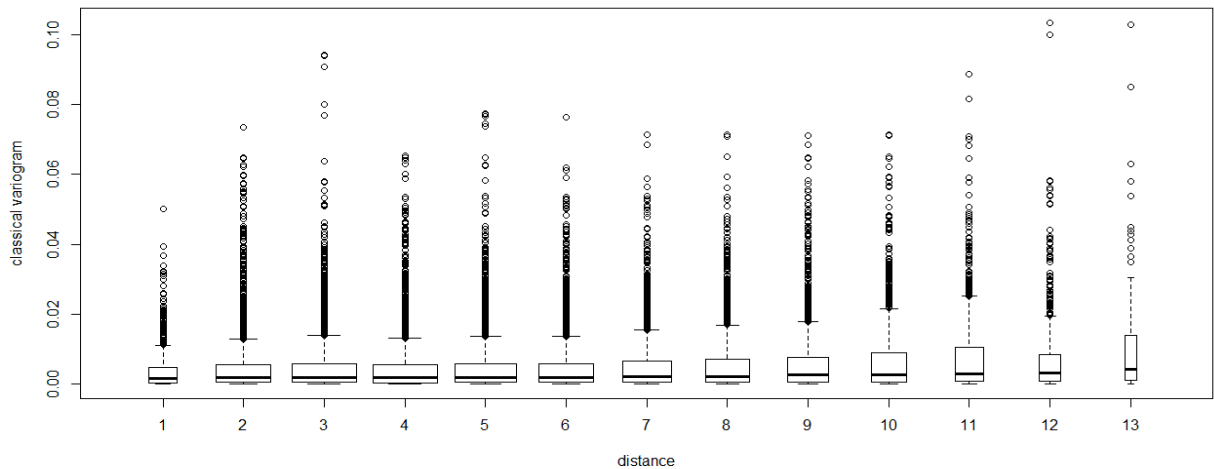
شکل زیر مقادیر و موقعیت‌های داده‌های WRC مربوط به متغیر *Densidade* را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، داده‌ها منظم می‌باشند از این رو در ادامه به تحلیل داده‌های منظم فضایی پرداخته می‌شود.



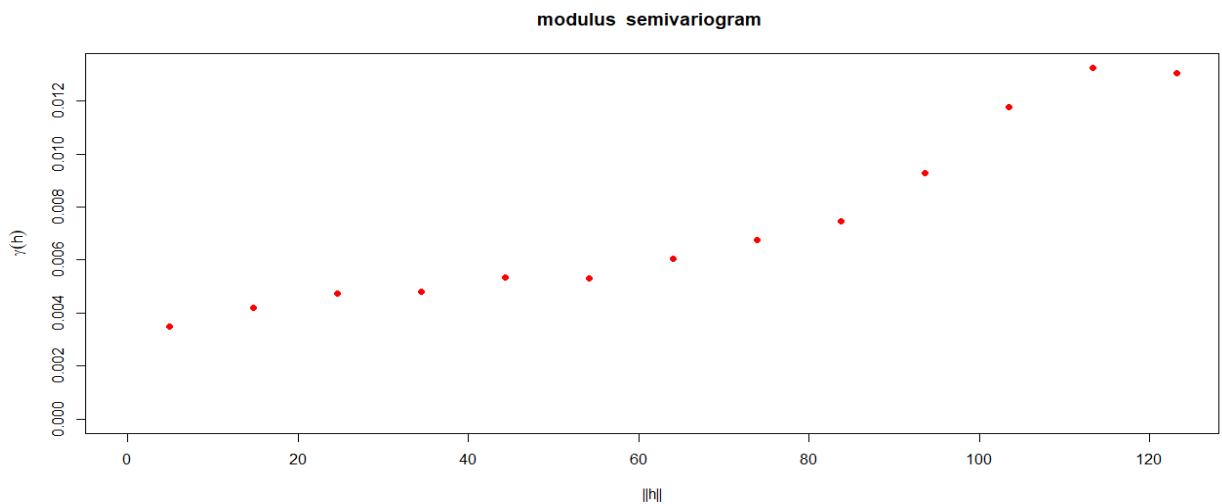
شکل ۱: مقادیر و موقعیت‌های داده‌های WRC

### ۳. بررسی فضایی بودن داده‌ها

ابر تغییر نگار یک ابزار برای تشخیص خصوصیت فضایی بودن داده‌ها است. با توجه به شکل ۲، چون در هر تاخیر برآوردهای تغییر نگار حول میانگین متقارن نیستند، به لحاظ شهودی می‌توان همبستگی فضایی بین داده‌ها را تایید کرد، البته این می‌تواند به دلیل وجود روند در داده‌ها باشد. همچنان حضور داده‌های نامتعارف را می‌توان به طور گرافیکی در تاخیرهای مختلف بررسی کرد، که با توجه به آن، تاخیر ۱۲ و تاخیر ۱۳ مشکوک به حضور داده‌ی نامتعارف می‌باشند. در ادامه، بیشتر به روش‌های شناسایی دقیق داده‌های دورافتاده پرداخته می‌شود. یک روش دیگر برای فهمیدن فضایی بودن داده‌ها رسم تغییرنگار داده‌ها است، همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش فاصله، تغییرنگار نیز افزایش پیدا کرده، پس می‌توان گفت همبستگی فضایی بین داده‌ها وجود دارد.



شکل ۲: نمودار جعبه‌ای ابر تغییر نگار



شکل ۳: نمودار تغییر نگار

## ۴. تحلیل اکتشافی داده‌ها

### ۴.۱. بررسی توزیع داده‌های میدان تصادفی

داده‌ها در ۲۵۰ موقعیت مختلف در فضای دو بعدی  $X$  و  $Y$  اندازه‌گیری شده‌اند، که کمترین فاصله بین دو موقعیت ۵/۰۰ و بیشترین فاصله ۱۲۸/۱۶ است. در جدول‌های زیر خلاصه‌ای از داده‌ها نمایش داده شده است.

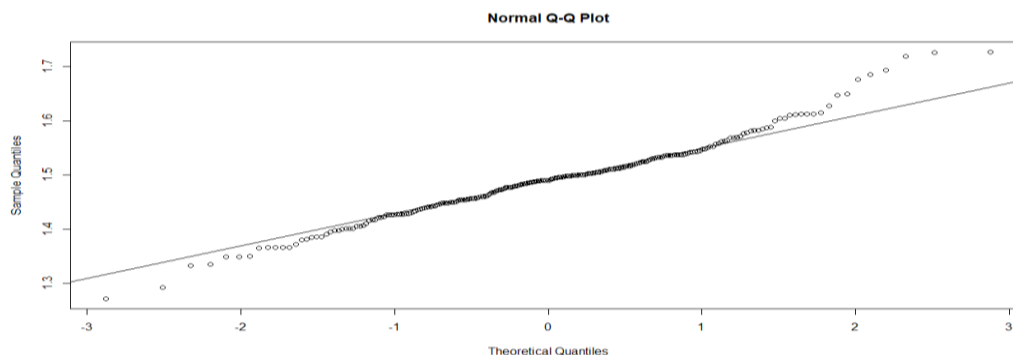
Coordinates summary	Coordx	Coordy
min	0	0
max	45	120

جدول ۱

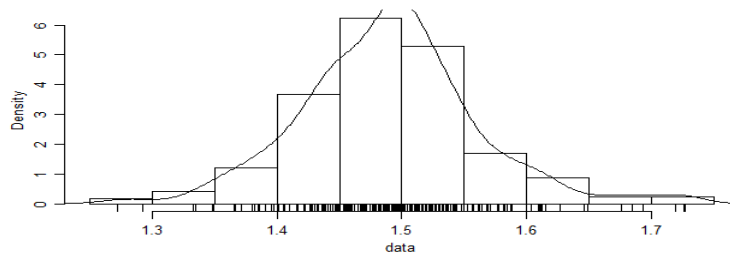
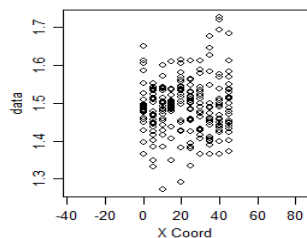
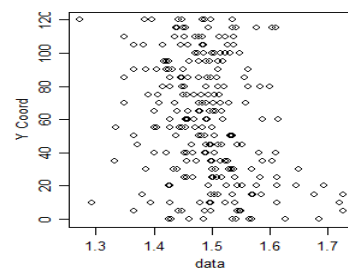
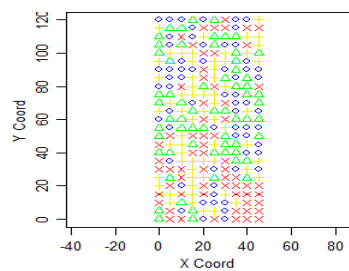
Min	1 <sup>st</sup> Qu	Median	Mean	3rd Qu	Max
1.271700	1.448525	1.490150	1.490119	1.529350	1.726600

جدول ۲

برای به دست آوردن یک دید کلی از داده‌ها و موقعیت قرار گرفتن آن‌ها از نمودارهایی استفاده شده که داده‌ها را در مقابل هر یک از ابعاد موقعیت یعنی  $X$  و  $Y$  نمایش می‌دهد. با توجه به هیستوگرام نمایش داده شده در شکل ۵ و شکل ۴ که مربوط به Q-Q plot است، همچنین شکل ۶ که همان نمودار ساقه و برگ می‌باشد، به نظر می‌رسد داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند که این نتیجه با توجه به مقدار  $p\text{-value} = 0.0008$  حاصل از آزمون شاپیرو ویلک و  $p\text{-value} = 0.001211$  آزمون اندرسون دارلینگ نیز، برقرار است و فرض نرمال بودن میدان تصادفی رد می‌شود.



شکل ۴: نمودار Q-Q



شکل ۵: نمودار پراکندگی داده‌ها نسبت به محورهای مختصات و هیستوگرام داده‌ها

```

-26 | 2
-24 |
-22 | 5
-20 | 0
-18 | 44
-16 | 763
-14 | 7382
-12 | 5386543220
-10 | 765365521
-8 | 9865222210097654210
-6 | 966654322098888654331
-4 | 9855544321109988886322211000
-2 | 9877665554333222111098888776655533322211000
0 | 998632009755431100000
2 | 011223344556889901122455899
4 | 001356667711146789
6 | 0012352344567
8 | 2246678
10 | 4778925689
12 | 393
14 | 79
16 | 6
18 | 6
20 | 12
22 | 8
24 | 45

```

شکل ۶: نمودار ساقه و برگ

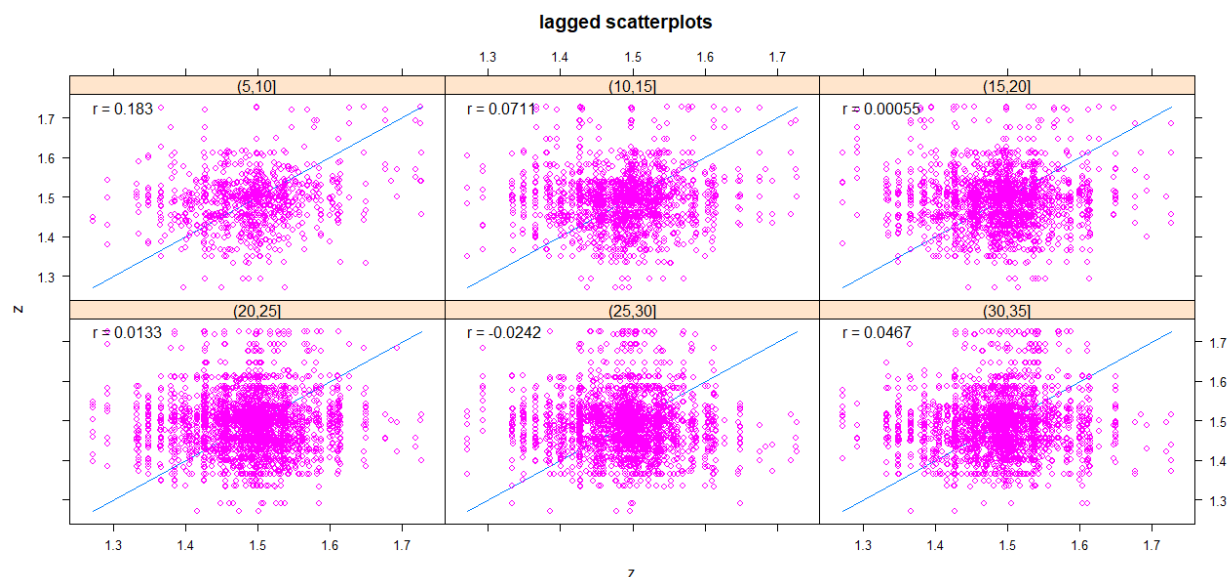
## ۴,۲. بررسی مانایی داده‌ها

### ۴,۲,۱. مانایی از حیث میانگین

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در جهت شرق به غرب هیچ روند صعودی یا نزولی خاصی در داده‌ها مشاهده نمی‌شود، که نشان دهنده‌ی افزایش یا کاهش داده‌ها در موقعیت‌های بخصوصی باشد ولی در جهت شمال به جنوب با توجه به رفتار سیستماتیک و نزولی داده‌ها به نظر می‌رسد، داده‌ها در مولفه  $Y$  دارای روند باشند که جلوتر در مورد روند آن صحبت می‌شود. همچنین لازم به ذکر است وجود روند در داده‌ها باعث ایجاد نامانایی در میانگین می‌شود و به دلیل اینکه وجود روند در میانگین، باعث اریب شدن برآورد تغییر نگار می‌شود، در ادامه به حذف این روند پرداخته می‌شود.

### ۴,۲,۲. مانایی از حیث تغییر نگار و هم‌تغییر نگار

برای بررسی مانایی از حیث تغییر نگار یا هم‌تغییر نگار از نمودارهای  $H$ -پراکنش استفاده می‌شود. در نمودار  $H$ -پراکنش همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، تمام مشاهدات  $Z(s)$  در مقابل  $Z(s+h)$  به ازای مقادیر  $h$  برابر با ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ رسم می‌شود. چون در تمام نمودارها نقاط حول نیمساز به طور متقارن پراکنده شده‌اند، مانایی در تغییر نگار برقرار است.



شکل ۷: نمودارهای  $H$ -پراکنش



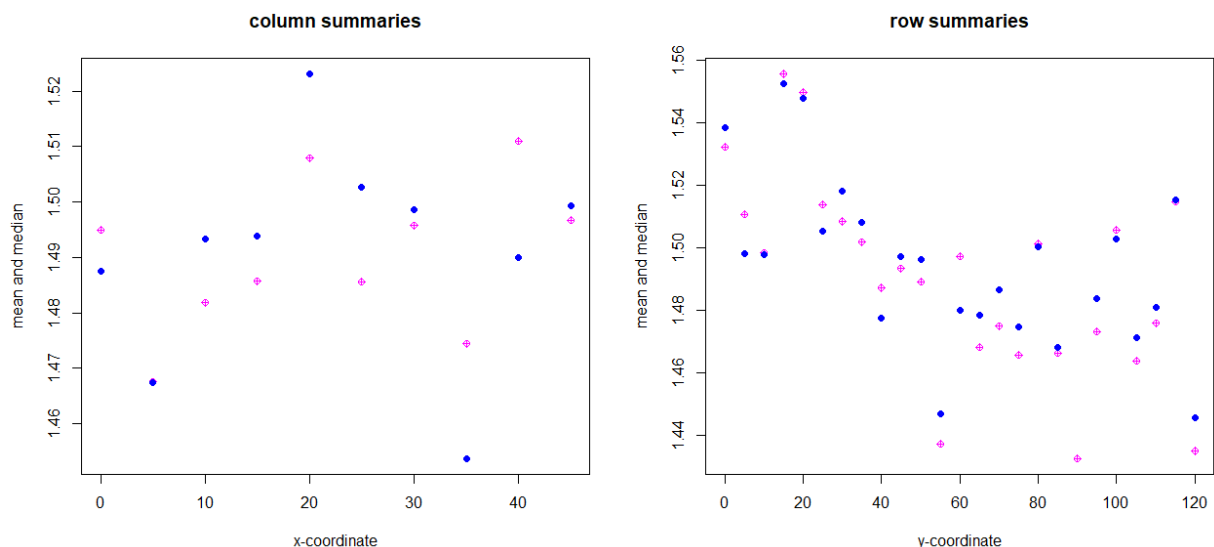
### ۴.۳. شناسایی داده‌های دورافتاده

شناسایی داده‌های دور افتاده در مطالعات آماری اهمیت زیادی دارند، زیرا وجود این نوع داده‌ها در مشاهدات، نتایج را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در آمار فضایی دو نوع داده‌ی دورافتاده وجود دارد: اول داده‌هایی که نسبت به کل مشاهدات (بدون در نظر گرفتن موقعیت) خیلی بزرگ یا خیلی کوچک باشند (فاصله‌ی آن‌ها از داده‌های دیگر، خیلی زیاد باشد) و نوع دوم داده‌هایی که نسبت به مشاهدات اطرافش دورافتاده باشند، که واضح است، در نوع دوم موقعیت داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین باید این داده‌ها را شناسایی و به گونه‌ای اثر آن‌ها را کنترل نمود. در ادامه چندین روش برای شناسایی داده‌های دورافتاده بررسی می‌شود.

برای شناسایی داده دورافتاده نوع دوم، نمودار  $H$  پراکنش تمام مشاهدات  $Z(s)$  در مقابل  $Z(s+h)$  به ازای مقادیر  $h$  برابر با ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ در شکل ۷ رسم شده‌اند. با توجه به این که در نمودارها، هیچ نقطه غیر عادی ملاحظه نمی‌شود، بنابراین داده دورافتاده نوع دوم با استناد به نمودار، وجود ندارد.

از روش‌هایی که برای شناسایی داده‌های دورافتاده نوع اول استفاده می‌شوند، می‌توان نمودار ساقه و برگ را نام برد، همچنین روش دیگر برای شناسایی داده‌ی دورافتاده نوع اول، روش هاینینگ است که هشت داده با مقادیر ۱،۲۷۱۷ و ۱،۲۹۲۴ و ۱،۶۷۶ و ۱،۷۲۵۷ و ۱،۷۱۸۹ و ۱،۷۲۶۶ و ۱،۶۹۲۹ و ۱،۶۸۴۵ توسط این روش، به عنوان داده‌ی دور افتاده به دست می‌آید.

اما شیوه دیگر برای بررسی این نوع داده، با توجه به اینکه مشاهدات به صورت شبکه منظم هستند، رسم سطر و ستون در مقابل میانه و میانگین به صورت همزمان است، در این صورت تفاوت زیاد میانه و میانگین در هر سطر یا ستون می‌تواند به علت وجود داده دورافتاده در آن سطر یا ستون باشد. میانگین و میانه هر سطر و ستون در شکل ۸ رسم شده است. با توجه به این شکل، به نظر می‌رسد داده‌ی نامتعارف وجود نداشته باشد چون اختلاف میانه از میانگین زیاد نیست. بنابراین با توجه به نمودار شکل ۸، هیچ سطر یا ستونی مشکوک به داشتن داده نامتعارف نیست.



شکل ۸: مقادیر میانه و میانگین داده‌ها در جهت شمال به جنوب و شرق به غرب

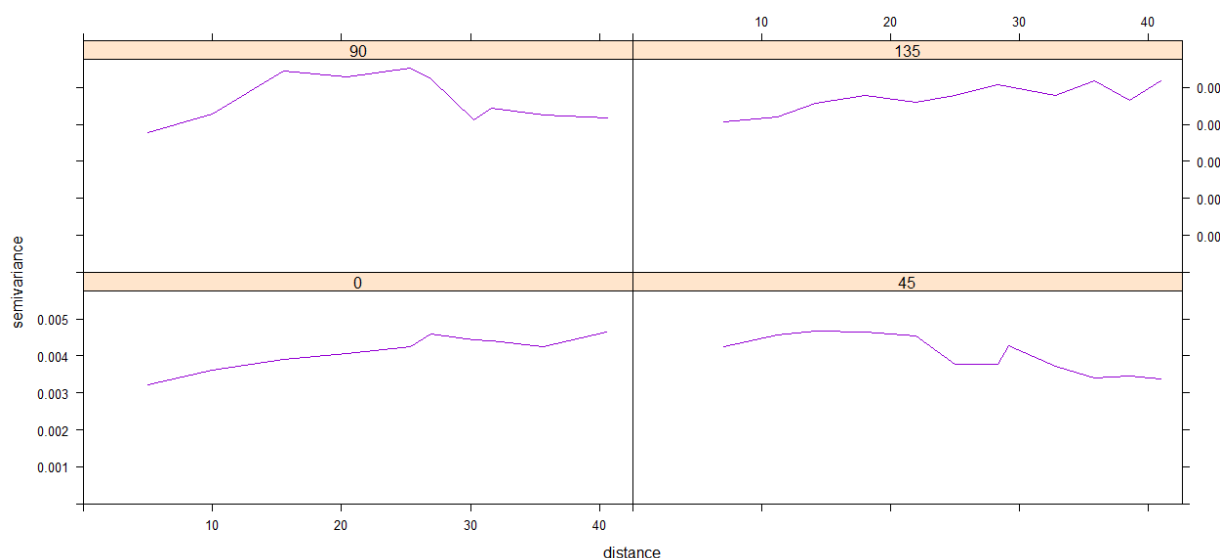
در واقع با فرض اینکه میدان تصادفی گاوسی است (برای حالت یک متغیره پس از حذف روند، فرض نرمال بودن پذیرفته شد) برای قوی کردن فرض وجود داده نامتعارف کمیت  $u = n1/2(Y - \bar{Y})0.7555\hat{\sigma}$  محاسبه می‌شود که در آن  $\bar{Y}$  و  $Y$  به ترتیب میانگین و میانه داده‌ها و  $\hat{\sigma}$  برآورد انحراف معیار داده‌هاست که می‌توان آن را با استفاده از چارک‌های اول و سوم به صورت تقریبی  $\hat{\sigma} = q0.75 - q0.251.349$  محاسبه کرد. هر سطر یا ستونی که در آن‌ها مقدار  $|u|$  نزدیک یا بیشتر از ۳ باشد، مشکوک به دارا بودن داده نامتعارف خواهد بود. مقادیر محاسبه شده  $|u|$  برای هر سطر و ستون داده WRC در جدول ۳ آورده شده است، که باتوجه به مقادیر زیر، سطر ۴ ام مشکوک به دارا بودن داده‌ی نامتعارف است.

ستون	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ u $	0.3517	0.8040	0.04053	0.2385	0.1078	0.81247	0.6708	0.7589	1.1801
ستون	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$ u $	0.8238	0.7361	0.9522	1.7727	1.0323	0.9978	1.1837	0.0590	0.2161
ستون	19	20	21	22	23	24	25		
$ u $	0.8652	0.8281	0.5225	0.4439	0.5060	0.0275	0.6631		
سطر	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ u $	1.401	0.0124	1.7365	4.0361	1.3206	2.4064	0.3952	2.3132	1.9918
سطر	10								
$ u $	0.2634								

جدول ۳: مقادیر  $|u|$  برای داده‌های WRC

## ۴.۴. بررسی همسان‌گردی میدان تصادفی

برای شناسایی همسان‌گردی لازم است تغییرنگار تجربی مشاهدات در تمام جهات‌ها رسم شود. در صورتی که تغییرنگارها در تمام جهات تقریباً بر هم منطبق باشند و تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نداشته باشند، همسان‌گردی برقرار است. لازم به ذکر است که، عدم برقراری فرض همسان‌گردی منجر به افزایش واریانس پیش‌گو می‌شود.



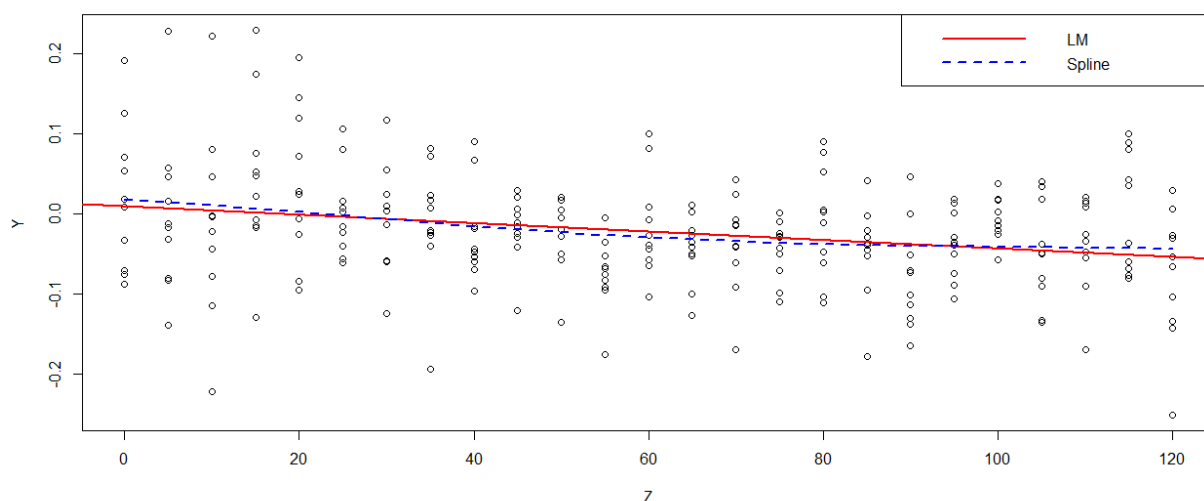
شکل ۹: نمودار تغییرنگار تجربی در جهت‌های مختلف

برای داده‌های WTC تغییرنگارهای تجربی در چهار جهت ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه، در شکل ۹ رسم شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، برآوردهای تغییرنگار کاملاً یکسان نیستند، اما می‌توان گفت، تقریباً دارای رفتار مشابهی هستند بنابراین با کمی اغماض فرض همسان‌گردی پذیرفته می‌شود.

## ۴.۵. شناسایی روند و حذف آن

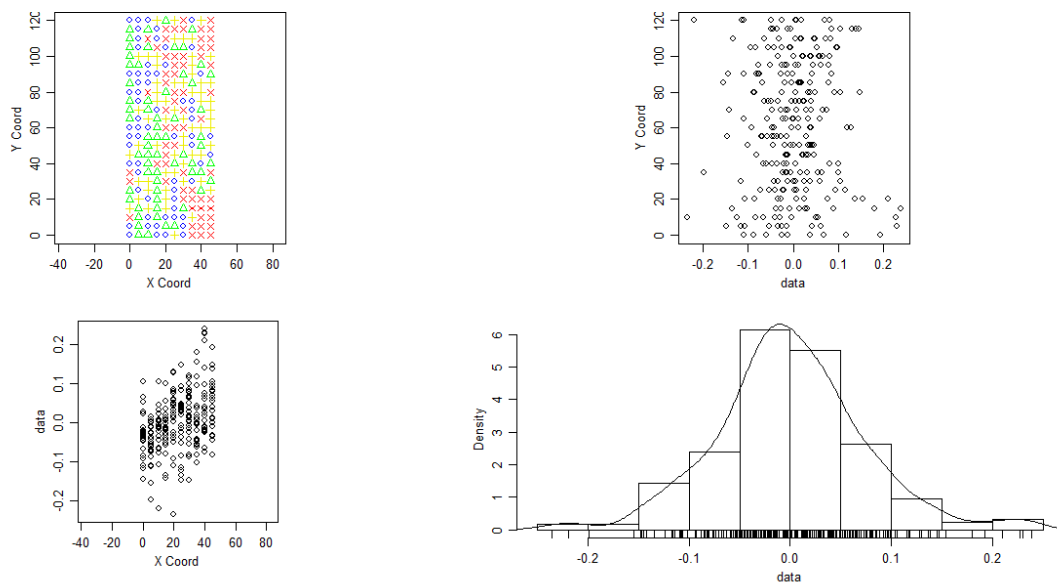
برای حذف روند میانگین، از دو روش پارامتری و ناپارامتری استفاده می‌شود. در روش پارامتری، مدل به صورت  $\mu(s_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i$  در نظر گرفته شده و نتایج حاصل، حاکی از این بود که مدل معنی دار است. برآورد روند مدل با استفاده از روش پارامتری رگرسیون برابر  $\mu(s_i) = 1.522 - 0.0005 y_i$  می‌باشد و مقدار اعتبارسنجی متقابل (CV) این روش برابر 0.0051 است. در روش ناپارامتری با استفاده از روش اسپلاین مدل به صورت  $\mu(s_i) = g(x_i)$  در نظر گرفته شده و مقدار اعتبارسنجی متقابل (CV) این روش برابر 0.0051 است. از آنجایی که تفاوت بسیار ناچیزی بین مقدار اعتبارسنجی متقابل (CV) این دو روش وجود دارد و می‌توان گفت تفاوت معنی‌داری بین این دو روش وجود ندارد. شکل ۱۰ مدل اسپلاین و خطی روند را نمایش می‌دهد.

از آنجایی که تفاوتی بین دو روش وجود ندارد، به دلخواه یکی از آن‌ها انتخاب شده و برآورد و حذف روند انجام می‌شود.



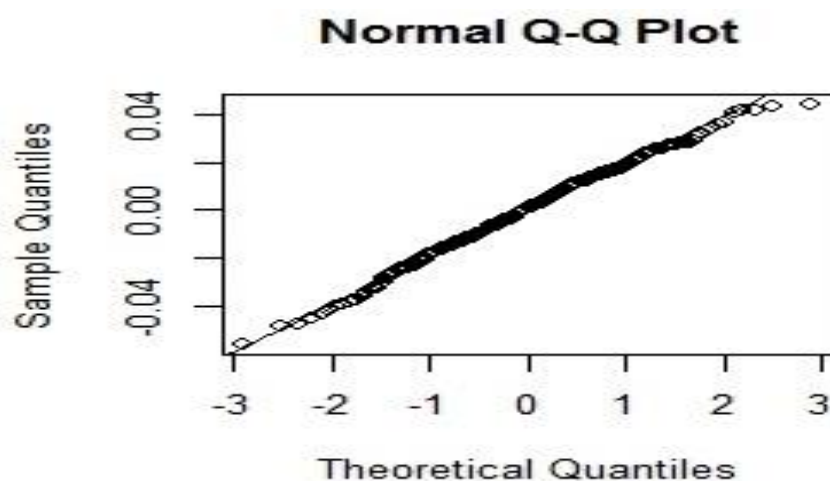
شکل ۱۰: نمودار روند با روش‌های اسپلاین و رگرسیون خطی

نمودارهای پراکنش در برابر X و Y و هیستوگرام داده‌های روند زدوده در شکل ۱۱ نمایش داده شده‌اند.



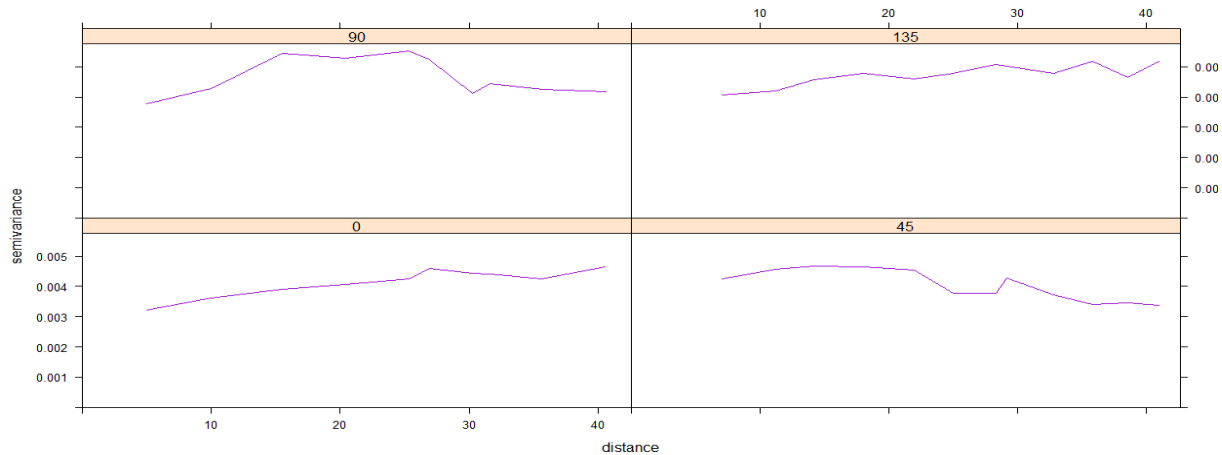
شکل ۱۱: نمودار پراکندگی داده‌های روند زدوده شده نسبت به محورهای مختصات و هیستوگرام داده‌ها

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، روند موجود در جهت شمال به جنوب داده‌ها حذف شده است. با دقت بیشتر روی چگالی داده‌های روند زدوده، مشاهده می‌شود که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند پس با حذف روند، توزیع داده‌ها نیز نرمال می‌شود. برای بررسی بیشتر، نمودار Q-Q که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، نیز نرمال بودن داده‌ها را نشان می‌دهد اما باتوجه به این که نتایج فقط از روی نمودار و بطور شهودی است، برای اطمینان از آن باید آزمون زد و با استفاده از مقدار  $P\text{-value}=0.188$  آزمون شاپیرو ویلک، فرض نرمال بودن پذیرفته می‌شود.



شکل ۱۲: نمودار Q-Q داده‌های روند زدوده شده

بنابراین میدان تصادفی جدید گاوسی می باشد، حال مجددا همسان گردی بررسی می شود.  
با توجه به شکل ۱۳، همسان گردی تغییرنگار با کمی اغماض پذیرفته می شود.



شکل ۱۳ : نمودار تغییرنگار تجربی در جهت های مختلف برای داده های روند زدوده

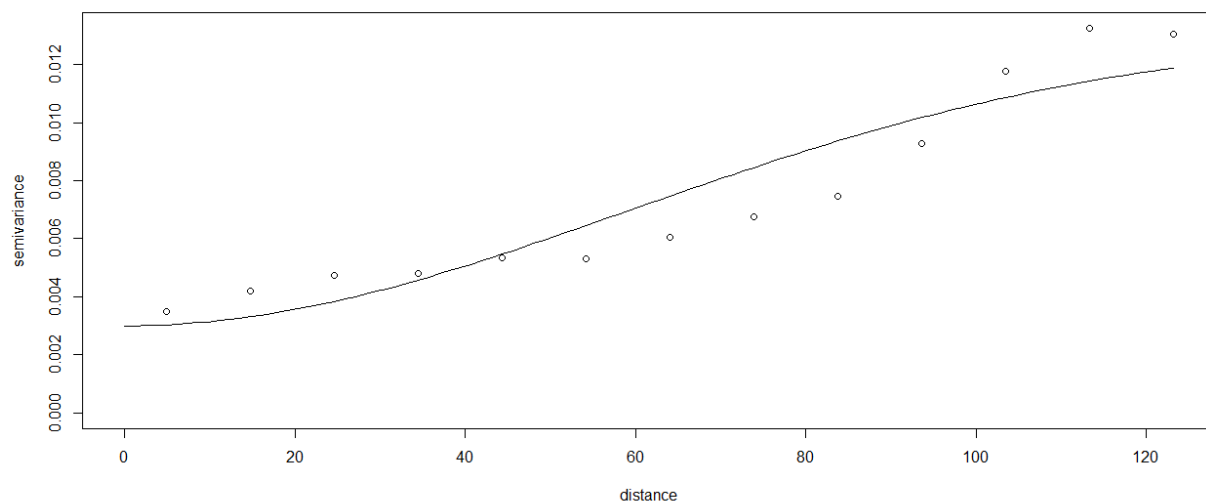
## ۴.۶. برآورد تغییر نگار و پارامترهای آن

با رسم نمودار تغییر نگار تجربی و برازش مدل های معتبر تغییر نگار به آن و مقایسه ی آن ها با استفاده از RSS بهترین مدل برای تغییر نگار انتخاب می شود. مدلی که RSS کمتری دارد، به عنوان مدل بهتر انتخاب می شود. اما باید دقت داشت که برای دو مدل مختلف باید RSS به دست آمده از یک روش با هم مقایسه شوند. در واقع نمی توان RSS به دست آمده از روش WLS را برای یک مدل، با RSS به دست آمده از روش GLS برای مدل دیگر مقایسه کرد. در این مطالعه از روش WLS برای مقایسه استفاده شده است و مدل گاوسی به عنوان بهترین مدل برای میدان تصادفی، به دست آمد.

در شکل ۱۴ مدل تغییر نگار تجربی و مدل گاوسی برازش داده شده به آن، نمایش داده شده است و جدول ۴ مقدار RSS به دست آمده، از این روش را نشان می دهد.

RSS(WLS)	exponential	guassian
value	0.04084	0.02213

جدول ۴: مقدار RSS به دست آمده به روش WLS در مدل تغییر نگار گاوسی و نمایی



شکل ۱۴: نمودار تغییر نگار تجربی و مدل گاوسی برازش داده شده به آن

قابل ذکر است علاوه بر مدل گاوسی، مدل نمایی (با پارامترهای ۰,۰۰۱۷ و ۰,۰۰۸۳ و ۶۳,۲۸۱) و مدل مترن نیز، به تغییرنگار تجربی برازش داده شد اما از آنجا که بین این مدل‌ها، مدل گاوسی دارای کمترین RSS بود، پس به عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود.

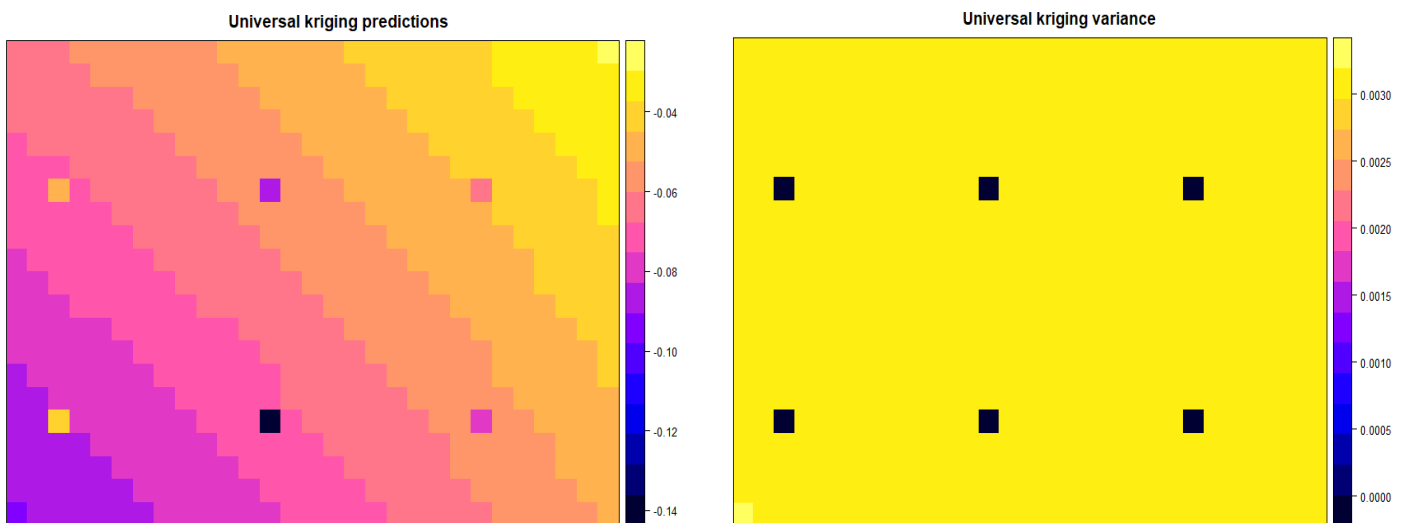
## ۵. پیش‌گویی فضایی

مهمترین هدف تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی از نوع زمین آماری، پیش‌گویی مقدار متغیر مورد بررسی در موقعیت‌هایی که مشاهده‌ای برای آن وجود ندارد، با استفاده از بردار مشاهدات موجود، می‌باشد. با توجه به این که میدان تصادفی گاوسی می‌باشد، کریگیدن بهترین پیش‌گو در رده تمام پیش‌گوهای خطی و غیر خطی می‌باشد.

در ادامه چند رویه‌ی پیش‌گو و رویه‌ی واریانس مشاهده می‌شود.

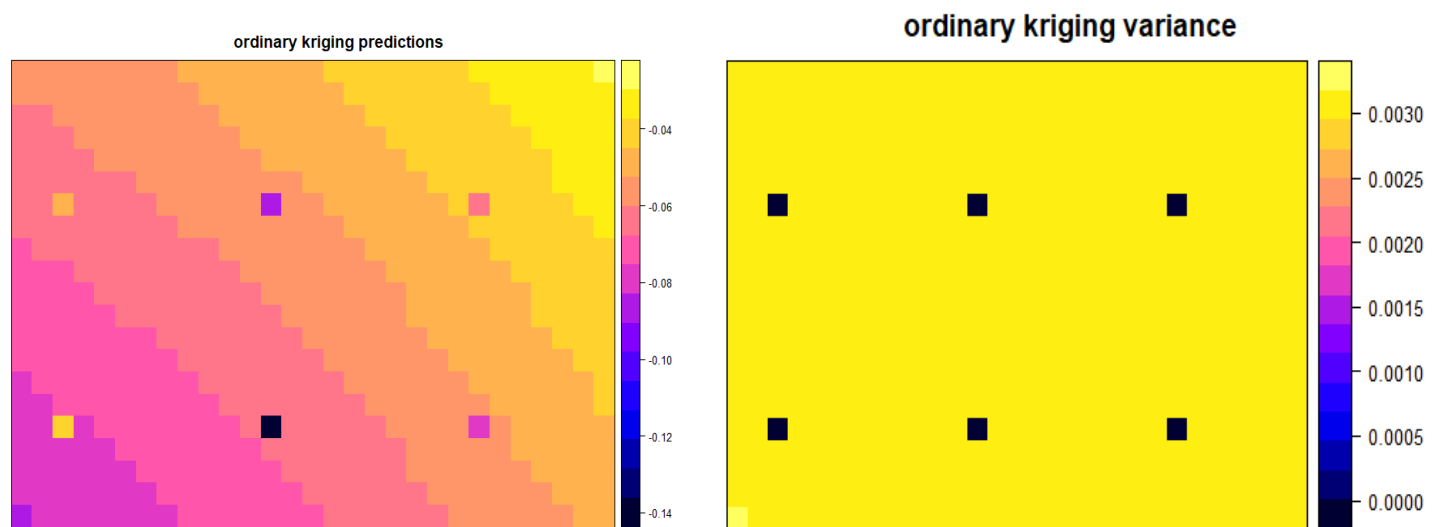
### ۵.۱. کریگیدن عام، عادی و ساده

در شکل ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به ترتیب کریگیدن‌های عام، عادی و ساده (با میانگین  $0.416$ ) مشاهده می‌شوند که نمودار سمت چپ مربوط به مقادیر پیش‌گو در هر موقعیت و نمودار سمت راست مربوط به واریانس آن، می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، واریانس مقادیری که در وسط قرار دارند، کمتر از داده‌هایی است که در گوشه قرار گرفته‌اند، که این اتفاق به دلیل کمبود داده می‌باشد و به آن اثر حاشیه‌ای گویند.

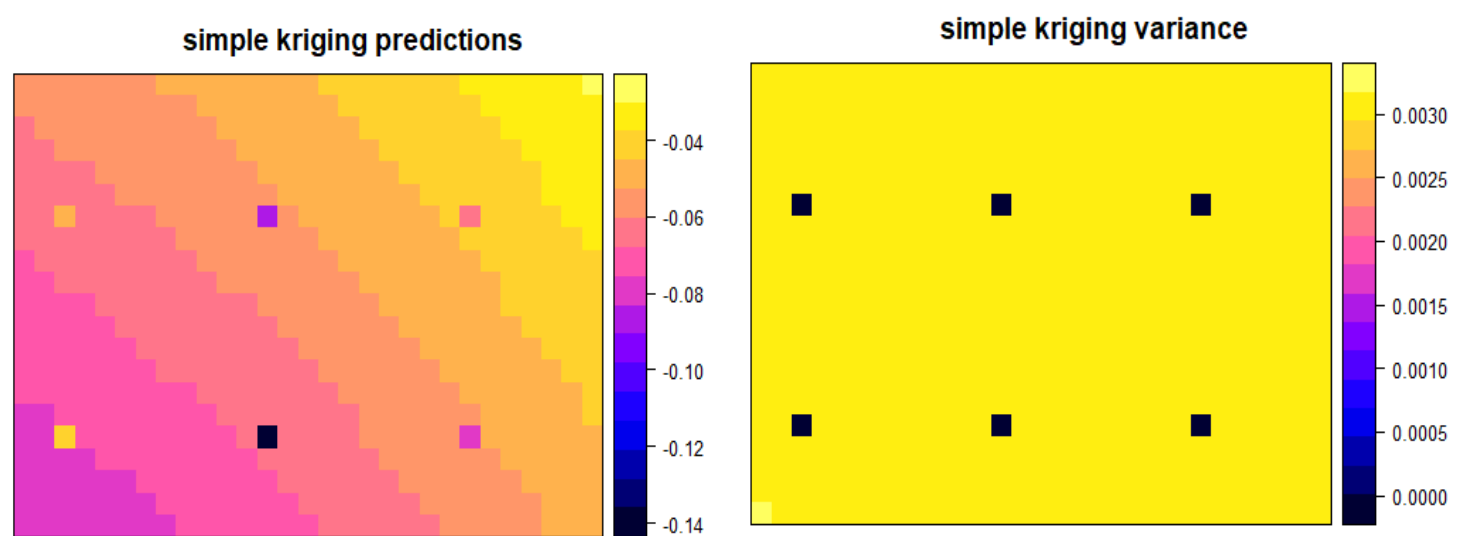


شکل ۱۵: رویه‌ی کریگیدن عام





شکل ۱۶: رویه‌ی کریگیدن عادی



شکل ۱۷: رویه‌ی کریگیدن ساده

## ۵.۲. پیش‌گویی فضایی هم‌کریگیدن

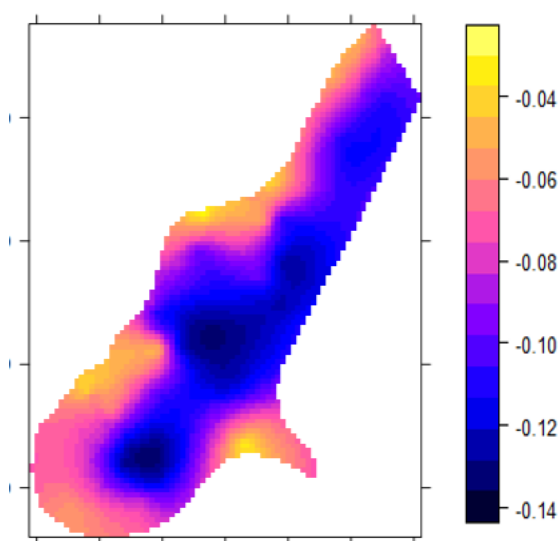
برای افزایش دقت پیش‌گو می‌توان از هم‌کریگیدن استفاده کرد. باتوجه به مقدار همبستگی متغیرها که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، با در نظر گرفتن متغیر Pr5 (مربوط به فشار ۵ ام) به عنوان متغیر کمکی می‌توان به پیش‌گوهای دقیق‌تری، دست یافت. در شکل ۱۸ رویه‌ی پیش‌گوی مربوط به هم‌کریگیدن مشاهده می‌شود.

نام متغیر	Pr15300	Pr3060	Pr60	Pr306	Pr100	Pr81	Pr5	Pr6	Pr10
مقدار همبستگی	۰.۴۸	۰.۴۷	۰.۸۴	۰.۶۴	۰.۷۶	۰.۵۹	۰.۹۸	۰.۸۴	-۰.۷۵

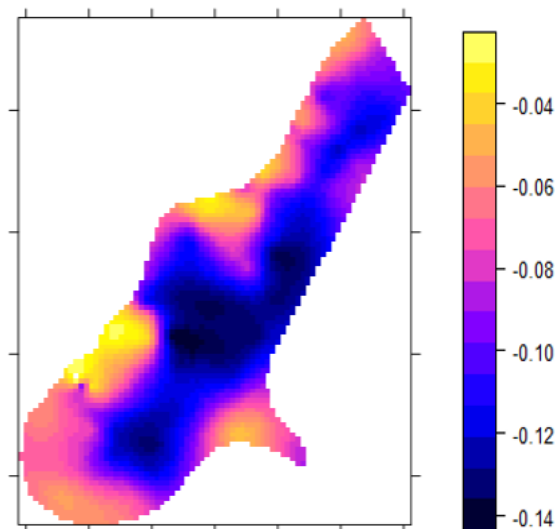
جدول ۵: مقدار همبستگی متغیرهای مختلف

## ۵.۳. پیش‌گویی بیزی فضایی

با در نظر گرفتن توزیع‌های پیشین نرمال و کای-دو وارون به ترتیب برای بتا که مربوط به پارامتر روند و سیگما<sup>۲</sup> که مربوط به واریانس است، رویه‌ی پیش‌گو به صورت شکل ۱۹ می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رود به دلیل در نظر گرفتن توزیع پیشین (در صورت مناسب بودن)، پیش‌گوهای حاصل از این روش دقیق‌تر از حالت قبل می‌باشند.



شکل ۱۸: مقادیر پیش‌گوی فضایی هم‌کریگیدن



شکل ۱۹: مقادیر پیش‌گوی بیزی فضایی

## ۶. نتیجه گیری

در این گزارش داده‌های مربوط به چگالی خاک و اندازه‌های منحنی مشخصه آب و خاک مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا در تحلیل اکتشافی داده‌ها، وجود روند و داده پرت شناسایی شد. بعد از حذف روند و تصحیح داده‌های دور افتاده و چولگی داده‌ها، تابع تغییرنگار تجربی برآورد و مدل گاوسی به آن برازش داده شد. در نهایت با روش‌های متفاوت پیش‌گویی فضایی برای نقاطی که مقداری در آنجا وجود نداشت، انجام شد.

## ۷. پیشنهادات

- به دلیل متناهی و محدود بودن داده‌ها، با اضافه کردن متغیرهای کمکی و استفاده از هم کریگیدن برای پیش‌بینی بهتر داده‌ها استفاده شود.

- برای از بین بردن اثر داده‌های دور افتاده، پس از به دست آوردن تغییرنگار استوار برای پیش‌گویی بهتر، از روش کریگیدن استوار کرسی و هاوکینز استفاده شود.

- برای مقایسه‌ی این پیش‌گوها و انتخاب بهترین پیش‌گو از اعتبارسنجی متقابل استفاده شود.