نیوار، دوره ۴۳، شماره ۱۰۷-۱۰۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۸ (دو فصلنامه) DOI: 10.30467/nivar.2019.136681.1096

تحلیل هندسی جابه‌جایی ایستگاه‌های هواشناسی برای اتصال داده‌ها به یکدیگر (مثال موردی ایستگاه هواشناسی شیراز)

عبدالحمید بهروزی[1*]، محمدرضا پیشوایی[2]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- استاد بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۲)

چکیده

هدف از این پژوهش تشکیل سری زمانی بلند مدت شیراز به وسیله ی تحلیل هندسی ایستگاه‌های باران‌سنجی شیراز است که تاکنون چهار بار جابه جا شده اند. آمار بارش سه ایستگاه قدیمی شیراز (کنسولگری انگلیس، خیابان مشیر کهنه و خیابان ارتش سوم) در دوره زراعی ۱۳۰۲ تا ۱۳۴۵ هجری شمسی، از طریق یکی از شرکت‌های وابسته به سازمان آب جمع‌آوری شد. از سال ۱۳۴۵ تاکنون آمار بارش توسط دو ایستگاه سازمان آب و همدیدی شیراز اندازه‌گیری می‌شود. روش کار به این صورت بوده است که معیار تحلیل هندسی برای میزان جابه‌جایی افقی تا حداکثر ۵ کیلومتر و جابه‌جایی عمودی تا حداکثر ۷۵ متر در نظر گرفته شد، تا در این صورت پیوند دو سری زمانی از نظر هندسی معنادار شود. دو آزمون ران و من- ویتنی برای سری زمانی حاصل انجام شد. نتایج نشان داد آمار سه ایستگاه قدیمی شیراز را می توان به عنوان یک سری زمانی به هم پیوسته در نظر گرفت زیرا معیار تحلیل هندسی را برآورده می‌کند. همچنین آمار ایستگاه سازمان آب را می توان به آمار سه ایستگاه قدیمی شیراز پیوند زد و سری زمانی ۹۰ ساله شیراز را در دوره ۱۳۰۲ تا ۱۳۹۲ ساخت. آزمون ران نشان داد که داده‌ها به‌صورت تصادفی تولید شده‌اند. آزمون ناپارامتری من‌ویتنی نیز برای اطلاع از اختلاف میانگین دو دوره قدیم و جدید اندازه‌گیری بارش انجام شد و نشان داد که از دیدگاه آماری اختلاف میانگین بین دو سری وجود ندارد.

کلمات کلیدی: شیراز، بارش، تحلیل هندسی

مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین سنجه‌های اقلیمی است که نقش مهمی در برآورد بسیاری از متغیرهای آب‌شناسی و هواشناسی دارد. به‌طورکلی، بارندگی دارای تغییرات جغرافیایی، لحظه‌ای و فصلی است. کلیه‌ی این تغییرات در توسعه وبرنامه‌ریزی منابع آب از اهمیت خاصی برخوردارند. برخی ایستگاه‌های هواشناسی در گذر زمان چندین بار جابه‌جا شده‌اند. در صورت جابه‌جایی ایستگاه مسلما در صورتی می‌توان سری زمانی حاصل از چندبار جابه‌جا شدن ایستگاه‌ها را به یکدیگر پیوند داد که میزان جابه‌جایی در مقیاس افقی و عمودی مطابق با معیارها و ضوابط استاندارد باشد در غیر این‌صورت نمی‌توان سری زمانی را دارای اعتبار دانست. هدف این تحقیق ساخت و ساز مهندسی اتصال دو یا چند سری زمانی از داده‌های بارش، معتبر از نظر آماری، که تاکنون چندین بار جابه‌جا شده، برای حصول طولانی‌ترین سری زمانی بارش دیده‌بانی در استان فارس یعنی در دوره ۱۳۹۲-۱۳۰۲ هجری شمسی در شیراز و در نهایت دست‌یابی به روشی است که مشخص کند، در صورتی‌که محل ایستگاه هواشناسی در یک منطقه به عللی مانند نبود دیده‌بان، از بین رفتن ایستگاه و.... تغییر کند چگونه می توان سری‌های زمانی مربوط به این جابه‌جایی ها را به یکدیگر اتصال و به آنها اعتبار لازم جهت استفاده‌های اقلیمی را داد. روشی که در این راستا استفاده می‌شود استفاده از تحلیل هندسی بر اساس معیارهای سازمان جهانی هواشناسی است. (روزنان، ۱۹۵۵) با بررسی آمار ۵ ایستگاه قدیمی شهر بیت‌المقدس سری هموتاپی (هندسی) ۱۰۰ ساله‌ی شهر بیت‌المقدس را به‌دست آورد.

* نگارنده رابط: abdolhamidb@gmail.com

(سوزوکی وهمکاران، ۲۰۰۳) در بررسی رابطه بین بارندگی و ناهمواری در ژاپن به تاثیر توپوگرافی بر روی بارش به‌صورت یک رابطه خطی دست یافته‌اند. در گزارش ارائه شده توسط اداره هواشناسی انگلستان (۲۰۱۰b)، چگالی شبکه باران‌سنجی چند کشور اروپایی مقایسه شده است، براساس گزارش مذکور چگالی شبکه باران‌سنجی انگلستان ۶۰ کیلومترمربع، در آلمان، فرانسه و هلند بترتیب برابر ۸۸، ۱۱۶ و ۱۳۰ کیلومتر مربع است. توجه شود که تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در انگلستان ۲۱۶۹ و فاصله میانگین بین باران سنج ها ۷/۷ کیلومتر است. پیشوایی (۲۰۰۱) میانگین بارش سطحی را برای جلگه جنوب‌غربی اسلواکی (حوضه کنار دست دانوب) محاسبه نموده که از روش مثلث سازی در آن استفاده شده است به‌طوری‌که همه ایستگاه‌های موجود دارای ارتفاع کمتر از ۳۰۰ متر و در جلگه پست کنار دانوب واقع شده‌اند. وی فاصله جغرافیایی بین سه ایستگاه باران‌سنجی را با فرض کروی بودن زمین محاسبه و سپس سطح مثلث را تخمین زد. سطح پوششی را به‌عنوان وزنه در شبکه مثلثاتی برای محاسبه میانگین سطحی بارش در جلگه با تعداد زیادی ایستگاه باران‌سنجی به‌کار بست (شرافت و همکاران، ۱۳۹۳). توزیع فرازسنجی ایستگاه‌های استان فارس و اعتبار آب ورودی به منطقه را بررسی نمودند و شبکه باران‌سنجی با ۱۲۳۰ ایستگاه با دقت اندازه‌گیری بهینه میانگین ده کیلومتر فاصله ایستگاهی از هم، در استان فارس را پیشنهاد دادند که توسط آن پهنه‌بندی اقلیمی معتبر و محاسبه بارش سطحی میانگین با کمترین خطا همراه است. تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در استان فارس در سال ۱۳۹۰ برابر با ۲۴۷ و میانگین فاصله ایستگاه‌ها از هم حدود ۲۳ کیلومتر بود. با در نظر گرفتن مساحت استان فارس چگالی سطحی ایستگاه‌ها برابر با یک ایستگاه در ۵۰۰ کیومتر مربع محاسبه می‌شود،که در گستره جواز حدی قرار دارد و لذا همراه با خطای نمونه‌برداری به‌ویژه برای ثبت بارش‌های نوع همرفتی است. (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۶) کفایت ایستگاه‌های باران سنجی و شعاع موثر آنها با استفاده از آمار ۱۶ ایستگاه با طول دوره آمار ۲۵ ساله در حوضه میانی آذربایجان‌غربی را بررسی کردند و معلوم شد که عدم پوشش ایستگاه‌های باران‌سنجی در ارتفاعات غربی منطقه دقت تحلیل‌های بارندگی را کاهش می‌دهد.

داده و روش‌ها

مطابق پایگاه اداره کل هواشناسی استان فارس (۱۳۹۲) طولانی‌ترین داده‌های بارش استان فارس مربوط به ایستگاه شیراز است که از مهر ۱۳۰۲ هجری شمسی توسط کنسول‌گری انگلیس در شیراز، خیابان زند (موقعیت اول (St.1): N°۲۹/۶۲، E°۵۲/۵۳، ۱۵۱۹ متر، به‌دست آمده از روی نرم افزار google earth) آغازگری شده است. در سال ۱۳۲۷ بنگاه مستقل آبیاری تحت نظر وزارت کشاورزی آن زمان اقدام به برپایی ایستگاه همدیدی در خیابان مشیر کهنه شیراز (موقعیت دوم (St.2): N°۲۹/۶۱، E°۵۲/۵۳، ۱۵۱۶ متر) می‌نماید که تا سال ۱۳۳۴ ادامه می‌یابد. سپس در مجاورت فروگاه قدیم، خیابان ارتش سوم (موقعیت سوم (St.3): N°۲۹/۶۰، E°۵۲/۵۳، ۱۵۱۱ متر) تا سال ۱۳۴۴ شمسی جابه‌جا می‌شود. لذا از سال ۱۳۰۲ تا ۱۳۴۴ از داده‌های ماهانه بارش این سه ایستگاه استفاده می‌شود. از سال ۱۳۴۴ به بعد دو ایستگاه در ابتدا مد نظر قرار می‌گیرد: الف- ایستگاه همدیدی شیراز است که به فرودگاه شهید دستغیب، مجاور سایت هواپیمایی آسمان (موقعیت چهارم(St.4): N°۲۹/۵۵، E°۵۲/۶۰، ۱۴۸۸ متر) منتقل شده است . تغییر مسافت ایستگاه از موقعیت سوم به چهارم چیزی در حدود ۸۳۰۰ متر بوده است. ب- از طرف دیگر از سال ۱۳۴۵ تاکنون سازمان آب منطقه‌ای شیراز با تأسیس ایستگاه باران‌سنجی، در خیابان ارم (موقعیت پنجم(St.5): N°۲۹/۶۳، E°۵۲/۵۳، ۱۵۲۲ متر) ثبت بارش داشته است. ایستگاه باران‌سنجی دیگری نیز واقع در شهرک گلستان شیراز(St.6) موجود است (جدول۱).

جدول ۱-مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی در شیراز در دوره درازمدت ۱۳۰۲ تا ۱۳۹۲(اداره کل هواشناسی فارس، ۱۳۹۲).

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	دوره زمانی (شمسی)	مختصات جغرافیایی
۱	St.1	باران‌سنجی	۱۳۰۲-۲۷	29.6234°N, 52.5344°E, 1549m
۲	St.2	همدیدی	۱۳۲۷-۳۴	29.6102°N, 52.5291°E, 1544m
۳	St.3	همدیدی	۱۳۳۴-۴۴	29.5983°N, 52.5257°E, 1540m
۴	St.4	باران‌سنجی	۱۳۴۵-۹۲	29.6299°N, 52.5338°E, 1550m
۵	St.5	همدیدی	۹۲-۱۳۴۵	29.5333°N, 52.6000°E, 1484m
۶	St.6	باران‌سنجی	۹۳-۱۳۹۲	29.7505°N,52.4147°E,1811m

روش محاسبه فاصله ایستگاه‌ها با فرض کره‌وار بودن زمین

یکی از مشکلات موجود در بعضی از سری‌های زمانی بارش، جابه‌جایی ایستگاه باران‌سنجی است. در صورت جابه‌جایی ایستگاه، اگر طول و عرض جغرافیایی ایستگاه مکان‌های اول و دوم در جابه‌جایی معلوم باشد، با فرض کروی بودن زمین مقدار جابه‌جایی قابل محاسبه خواهد بود.

$$d=\alpha\times R \qquad (۱)$$

که درآن d مقدار جابه‌جایی بر حسب کیلومتر، α زاویه مرکزی بین دو بردار مکان مربوط به دو ایستگاه بر حسب رادیان و R شعاع زمین بر حسب کیلومتر است.

مقدار زاویه α از طریق معادله ۲ به‌دست می‌آید.

$$\alpha=\cos^{-1}\left[\cos\varphi_1\cos\varphi_2\cos(\lambda_1-\lambda_2)\right]+\sin\varphi_1\sin\varphi_2 \qquad (۲)$$

که در آن α: زاویه بین دوبردار از مرکز زمین تا دو نقطه جغرافیایی حسب رادیان،φ_1: عرض جغرافیایی ایستگاه اول حسب درجه، φ_2:عرض جغرافیایی ایستگاه دوم حسب درجه، λ_1:طول جغرافیایی ایستگاه اول حسب درجه، λ_2: طول جغرافیایی ایستگاه دوم حسب درجه.

همچنین برای محاسبه اختلاف ارتفاع دو ایستگاه، از معادله ۳ استفاده می‌کنیم.

$$\Delta H=H_2-H_1 \qquad (۳)$$

ΔH: اختلاف ارتفاع دو ایستگاه (حسب متر)، H_1: ارتفاع ایستگاه اول (حسب متر)، H_2: ارتفاع ایستگاه دوم (حسب متر).

تحلیل هندسی بر اساس جابه‌جایی افقی ایستگاه

مطابق با توصیه سازمان جهانی هواشناسی چگالی تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز براساس کیلومتر مربع در انواع مختلف ایستگاه‌های هیدرولوژیکی و مناطق مختلف جغرافیایی مطابق جدول ۲ است.

جدول ۲- توصیه های سازمان جهانی هواشناسی در مورد حداقل تعداد ایستگاه‌ها بر حسب کیلومتر مربع (WMO-No.168, 2008, pp 1.2-24 to 1.2-26).

ردیف	واحد گیتا نگاری	کمینه چگالی بر باران‌سنج (km^2) (باران‌سنج غیر ثبات)	کمینه چگالی بر باران‌سنج (km^2) (باران‌سنج ثبات)
۱	ساحلی	۹۰۰	۹۰۰۰
۲	کوهستانی	۲۵۰	۲۵۰۰
۳	داخل جلگه	۵۷۵	۵۷۵۰
۴	تپه ای	۵۷۵	۵۷۵۰
۵	جزایر کوچک	۲۵	۲۵۰
۶	سطوح شهری	---	۱۰ تا ۲۰
۷	قطبی	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۸	خشک	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰

سازمان جهانی هواشناسی (WMO, 1965) نیز، دو گستره حدی و بهینه را برای سطح پوشش دهنده ایستگاه‌های هواشناسی در اقلیم‌های مختلف مطابق جدول ۳ توصیه می‌کند.

جدول۳- چگالی ایستگاهی برای انواع مختلف توپوگرافی در سطوح جغرافیایی

ردیف	نوع طبیعت ناحیه جغرافیایی	سطح بر بارانسنج (km^2) (گستره جواز بهنجار)	سطح بر بارانسنج (km^2) (گستره جواز حدی)
۱	جزایر کوهستانی کوچک با بارش نامنظم	۲۵	---
۲	مناطق کوهستانی معتدله، مدیترانه ای و نواحی گرمسیری	۱۰۰ تا ۲۵۰	۱۰۰۰ تا ۲۵۰
۳	نواحی هموار و دشت در معتدله، مدیترانه ای و نواحی گرمسیری	۶۰۰ تا ۹۰۰	۹۰۰ تا ۳۰۰۰
۴	خشک و کلاهک قطبی	۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰	---

برای اندازه‌گیری میانگین بارندگی بر روی یک حوضه روش‌های گوناگونی پیشنهاد شده‌است که می‌توان به روش‌های میانگین حسابی، میانگین وزنی، روش خطوط هم باران و پلیگون تیسن اشاره کرد. روش تیسن از آنجا که سراسر یک حوضه را درگیر می‌کند می تواند روش مناسبی برای محاسبه میانگین به‌ویژه برای حوضه‌های پست باشد، بر اساس روش تیسن برای محاسبه میانگین بارندگی یک حوضه می توان از اتصال ایستگاه‌های موجود در یک حوضه به یکدیگر شبکه‌ای از مثلث‌ها ایجاد کرد. از رسم عمود منصف‌های این مثلث ها پلیگون‌هایی حاصل می‌شود که مساحت تحت پوشش هر ایستگاه را نشان می‌دهد. میانگین بارندگی بر روی حوضه مطابق معادله ۴ محاسبه می شود.

$$P_{avg}=\frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i} \qquad (۴)$$

که در آن:

A_i : مساحت هر پلیگون بر حسب کیلومتر مربع، P_i: بارندگی هر پلیگون بر حسب سانتی متر.

بر اساس این معادله و مطابق جدول ۳ ، برای سطح پوششی هر ایستگاه داریم:

$$\begin{aligned} &1)\ A_i \le 100\ km^2 && \text{(Optimized)}\\ &2)\ 100 < A_i \le 250\ km^2 && \text{(Normal)}\\ &3)\ 250 < A_i \le 1000\ km^2 && \text{(Extreme)}\\ &4)\ A_i > 1000\ km^2 && \text{(Not accepted)} \end{aligned} \qquad (۵)$$

در یک حالت فرضی با در نظرگرفتن شبکه ایستگاهی می‌توان مساحت تحت پوشش هر ایستگاه را تحت شبکه به‌صورت مربعی فرض کرد که مساحت آن همان حالت های بهینه، بهنجار، حدی، و غیر قابل قبول است و بر اساس آن سطح پوشش دهنده هر ایستگاه را محاسبه کرد. با در نظر گرفتن مساحت تحت پوشش هر ایستگاه به صورت مربعی که مساحت آن در حالت های بهینه، نرمال و حدی و قرار گرفتن هر ایستگاه در مرکز مربع می‌توان اضلاع مربع های تحت پوشش و میزان جابجایی ایستگاه را محاسبه کرد.

$$\begin{cases} X=\sqrt{A_i} \\ Y=\dfrac{X}{2} \end{cases} \qquad (۶)$$

در معادلات (۶):

A_i : مساحت تحت پوشش هر ایستگاه در معادله (۴) بر حسب کیلومترمربع، X: طول ضلع مربع فرضی مربع تحت پوشش هرایستگاه بر حسب کیلومتر، Y: میزان مجاز جابجایی بر حسب کیلومتر.

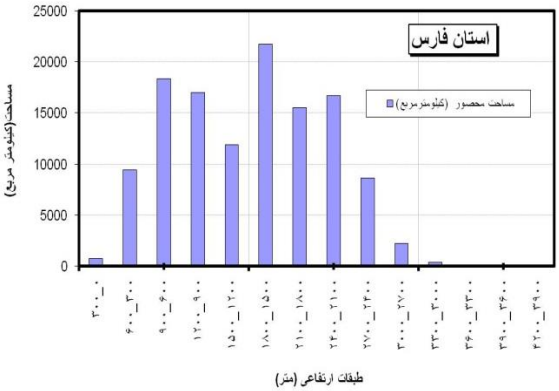
میزان مجاز جابجایی در حالت بهینه، در تحلیل افقی سری هندسی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که اگر مساحت یک حوضه A کیلومتر مربع باشد، برای حالت‌های نرمال ، بهینه و حدی تعداد ایستگاه باران سنجی (N) مطابق معادلات ۷ خواهد بود.

$$\begin{cases} N_{optimized}=\dfrac{A}{100} \\ N_{normal}=\dfrac{A}{250} \\ N_{extreme}=\dfrac{A}{1000} \end{cases} \qquad (۷)$$

تحلیل هندسی بر اساس جابجایی عمودی ایستگاه

چون استان فارس یک استان کوهستانی و با اقلیم خشک و نیمه خشک است، مطابق (شرافت و همکاران ، ۱۳۹۳) فاصله طبقات ارتفاعی ۳۰۰ متری پس از چند نوع بررسی در نهایت انتخاب شده است (شکل۱)، به‌طوری‌که اگر یک ایستگاه باران‌سنجی جابجایی ارتفاعی داشته باشد در فاصله حداکثر ارتفاعی ۱۵۰ متر ازیک طبقه به طبقه دیگر منتقل می‌شود. بنابراین ۱۵۰ متر

جابجایی ارتفاعی را با حد بالا می‌پذیریم. نصف مقدار حدی برابر با ۷۵ متر را به‌عنوان مقدار نرمال در نظر گرفته می‌شود. حالت بهینه کمتر از ۵۰ متر خواهد بود. در حالت بهینه میزان جابجایی عمودی را در سری زمانی همگن می‌توان در نظر گرفت.



شکل ۱- چگونگی توزیع مساحت استان فارس در ۱۴ طبقه ارتفاعی با تفکیک ۳۰۰ متری مطابق شرافت و همکاران (۱۳۹۳).

آزمون ران برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها

گاهی یک سری زمانی در ابتدا نیاز به انجام آزمون تصادفی بودن داده‌ها دارد تا تأیید شود که نمونه برداری از مشاهدات بدون گرایش و تبعیض انجام شده‌است. در این پژوهش نیز برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها از این آزمون استفاده شده است.

آزمون ناپارامتریک من- ویتنی برای مقایسه میانگین‌ها

آزمون ناپارامتری U من-ویتنی برروی دو نمونه تصادفی مستقل از یکدیگر انجام می‌شود. متغیر اصلی مشاهده پیش از رتبه ای شدن باید یک متغیر تصادفی پیوسته باشد و توزیع اولیه جامعه آماری دونمونه، از نظر شکل و ظاهر یکسان باشند. البته لازم نیست شکل نرمال داشته باشند. این آزمون مقاوم است چون داده های پرت نمی‌توانند در نتیجه آن بسیار موثر باشند و قوی است زیرا برای همه انواع داده ها با توزیع‌های متفاوت قابل انجام است. فرض صفر آزمون ناپارامتری U من- ویتنی برابری میانگین دو جامعه آماری در مقابل نابرابری میانگین دو جامعه است.

نتایج و بحث

ماتریس فاصله افقی ایستگاه‌ها:

بر اساس معادله ۲ می توان ماتریس فاصله افقی ایستگاه‌ها از یکدیگر را محاسبه کرد (جدول۴).

جدول ٤- ماتریس فاصله ایستگاه‌های شیراز از یکدیگر حسب متر.

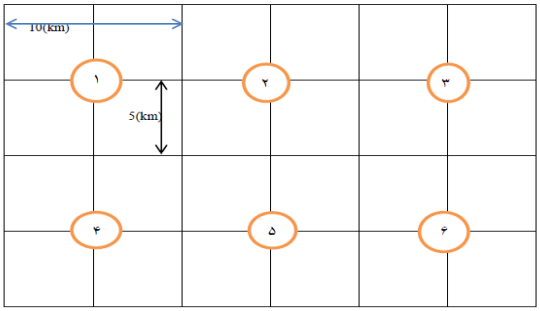
نام ایستگاه	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	
St.1	۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۱۵۰۰	۳۷۶۰۰	۱۹۱۰۰	
St.2	۱۵۰۰	۰	۱۲۰۰	۲۲۰۰	۳۶۲۰۰	۱۹۴۰۰	
St.3	۱۱۰۰	۱۲۰۰	۰	۳۳۰۰	۳۴۵۰۰	۲۰۳۰۰	
St.4	۱۵۰۰	۲۲۰۰	۳۳۰۰	۰	۳۸۲۰۰	۱۷۶۰۰	
St.5	۳۷۶۰۰	۳۶۲۰۰	۳۴۵۰۰	۳۸۲۰۰	۰	۴۸۰۰۰	
St.6	۱۹۱۰۰	۱۹۴۰۰	۲۰۳۰۰	۱۷۶۰۰	۴۸۰۰۰	۰	

نتایج تحلیل هندسی افقی

بر اساس معادلات ۴ و ۵ و ۶ در حالت بهینه مساحت تحت پوشش هر ایستگاه بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلومتر مربع است.

اگر عدد ۱۰۰ کیلومتر مربع را به عنوان مساحت بهینه پوشش دهنده هر ایستگاه در نظر بگیریم با توجه به مساحت استان فارس ($122670\ km^2$) تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز ۱۲۲۷ عدد می‌باشد (۱۲۲۶۷۰÷۱۰۰~۱۲۲۷) که به فاصله ۱۰ کیلومتر از هم باید قرار گیرند. مطابق شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت اگر در منطقه‌ای نیاز به نصب ایستگاه باران سنجی جدید باشد فاصله آن تا ایستگاه فعلی از حداقل ۵ کیلومتر نباید بیشتر و اگر نیاز به جابه‌جایی ایستگاه باران‌سنجی باشد باید حد بهینه را در نظر داشت. با توجه به توصیه سازمان هواشناسی برای مناطق کوهستانی سطح پوشش دهنده برای هر ایستگاه ۲۵۰ کیلومترمربع است، بر این اساس اگر مساحت استان فارس ($122670\ km^2$) را بر ۲۵۰ کیلومتر مربع تقسیم نماییم عدد ۴۹۰ حاصل می‌شود که بیان‌گر تعداد ایستگاه باران‌سنجی در حالت نرمال، همچنین جذر ۲۵۰ عدد ۱۵/۸ کیلومتر،که فاصله متوسط دو ایستگاه است و اگر عدد حاصل را بر دو تقسیم کنیم عدد ۸ کیلومتر حاصل می‌شود

که میزان جابجایی ایستگاه در حالت نرمال است. در سال ۱۳۹۲ در سراسر استان فارس حدود ۲۴۷ ایستگاه باران سنجی موجود بوده است (شرافت و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه مساحت استان فارس ۱۲۲۶۷۰ کیلومتر مربع است از تقسیم مساحت بر تعداد ایستگاه‌ها عدد ۴۹۶ کیلومتر مربع حاصل می‌شود که بیان‌گر سطحی است،که هر باران‌سنج میزان بارش را اندازه می‌گیرد. اگر جذر ۴۹۶ را حساب کنیم عدد ۲۲ کیلومتر حاصل می‌شود که متوسط فاصله دو ایستگاه به‌دست می‌آید و اگر ۲۲ را بر دو تقسیم کنیم عدد ۱۱ کیلومتر حاصل می‌شود که میزان جابه‌جایی مجاز ایستگاه را در حالت موجود یا درجریان نشان می‌دهد. جدول ۵ میزان مجاز جابه‌جایی را در سه حالت بهینه، نرمال و در جریان نشان می‌دهد. در مناطق شهری براساس توصیه سازمان هواشناسی (جدول۲) به ازای هر ۱۰ تا ۲۰ کیلومترمربع یک ایستگاه مورد نیاز است و چون شهر شیراز حدود ۲۴۰ کیلومتر مربع مساحت دارد بین ۱۲ تا ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی مورد نیاز است. با توجه به جدول ۵ و در نظر گرفتن تلورانس (گستره مجاز) بهینه ۵ کیلومتر یا حداکثر تلورانس بهنجار ۷/۶ کیلومتر را برای جابه‌جایی مجاز ایستگاه‌ها باید در نظر گرفت.



شکل ۲: سطح پوشش دهنده یک ایستگاه (نمایندگی سطحی)، فاصله تقریبی دو ایستگاه و میزان مجاز جابجایی ایستگاه در حالت بهینه.

جدول ۵- میزان مجاز جابجایی افقی ایستگاه باران سنجی (km) .

میزان مجاز جابجایی	فاصله دو ایستگاه (km)	میزان پوشش سطحی km^2	تعداد ایستگاه	گستره مجاز
۵	۱۰	۱۰۰≥	۱۲۲۷	بهینه
۷/۶	۱۵/۸	۲۵۰≥	۴۹۰	نرمال
۱۱	۲۲	۴۹۶	۲۴۷	درجریان

براساس جداول ۴ و ۵ نتیجه گرفته می‌شود که جابه‌جایی چهار ایستگاه کنسول‌گری انگلیس، خیابان مشیر، ارتش سوم و سازمان آب در حالت بهینه و کمتر از ۵ کیلومتر است. بنابراین جابه‌جایی این ایستگاه‌ها از نظر افقی مجاز است، یعنی این چهار ایستگاه در حوضه هم‌مکانی یا شبه‌مکانی قرار دارند ولی فاصله ایستگاه همدیدی شیراز نسبت به هیچ‌کدام از چهار ایستگاه فوق الذکر در محدوده مجاز قرار ندارد و نمی‌توان به عنوان چهارمین ایستگاه در سری زمانی از آن استفاده کرد. فاصله بین ایستگاه باران‌سنجی شهرک گلستان و سینوپتیک شیراز نیز حدود ۴۸ کیلومتر است که میزان مجاز جابه‌جایی را دارا نیست، در صورت نیاز قابلیت استفاده در سری زمانی هندسی را ندارد، دراین فاصله باید تعداد ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی باید نصب شود.

ماتریس اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها

بر اساس معادله ۳ ماتریس اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها مطابق جدول ۶ است.

جدول ٦- ماتریس اختلاف ارتفاع ایستگاه‌های شیراز نسبت به یکدیگر حسب متر.

نام ایستگاه	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
St.1	۰	۵	۹	۱	۶۵	-۲۶۲
St.2	-۵	۰	۴	۶	۶۰	-۲۶۷
St.3	-۹	-۴	۰	-۱۰	۵۶	-۲۷۱
St.4	-۱	-۶	۱۰	۰	۱۶	-۲۶۱
St.5	-۶۵	-۶۰	-۵۶	-۱۶	۰	-۳۲۷
St.6	۲۶۲	۲۶۷	۲۷۱	۲۶۱	۳۲۷	۰

نتایج تحلیل هندسی در راستای عمودی

نتایج در قالب جدول ۷ ارایه شده است. در این جدول میزان جابه‌جایی عمودی در سه حالت بهینه، نرمال، حدی و غیر قابل قبول نشان داده شده است. مطابق جداول ۵ و ۶ اختلاف ارتفاع ایستگاه‌های معرفی شده در جدول ۱ همگی در حالت بهینه کمتر از ۵۰ متر هستند. بنابراین چهار ایستگاه معرفی شده از نظر عمودی نیز در حالت مجاز قرار دارند. در حالی‌که ایستگاه

شهرک گلستان بیش از ۳۰۰ متر با سازمان آب اختلاف ارتفاع دارد. با استفاده از برنامه GIS موقعیت جغرافیایی وارتفاعی ایستگاه‌ها نیز برروی نقشه شهر شیراز جانمایی شد (شکل ۳).

جدول ۷- میزان مجاز جابجایی عمودی ایستگاه باران سنجی (m)

حالات مختلف	گستره مجاز(متر)
بهینه	زیر ۵۰
نرمال	زیر ۷۵
حدی	زیر ۱۵۰
غیرقابل قبول	بالای ۱۵۰

با توجه به بالا بودن اختلاف ارتفاع ایستگاه شهرک گلستان و چهار ایستگاه مورد بحث (میانگین ۲۷۷ متر)، در صورت نیاز نمی‌توان آمار این ایستگاه را به آمار ایستگاه‌های مذکور پیوند زد. بهترین راه افزودن ایستگاه‌های باران سنجی در فاصله ایستگاه شهرک گلستان و سازمان آب است.

با استفاده از جدول ۴ ، در فاصله ایستگاه سازمان آب و شهرک گلستان تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز حدودا ۱۰ عدد برآورد می‌شود (۵÷۴۸). فاصله ایستگاه سازمان آب تا ایستگاه همدیدی حدود ۴۰ کیلومتر است که نشان می‌دهد ۸ ایستگاه دیگر در این فاصله مورد نیاز است از طرفی با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع در این فاصله در سطح بهینه است می‌توان حالت نرمال ۱۰ کیلومتر جابجایی را مد نظر قرار داد که بر این اساس تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز ۴ عدد برآورد می‌شود.

نتیجه تحلیل هندسی

بر اساس نتایج تحلیل هندسی افقی و عمودی سری زمانی ۹۰ ساله شیراز به شرح جدول ۸ ارائه می‌شود.

نتایج آزمون ران برای بررسی تصادفی بودن داده ها

آزمون ران برای داده های بارش شیراز، (جدول ۸) به مدت ۹۰سال با استفاده از برنامه spss انجام شد. مقدار آماره آزمون ۱/۹۶، که چون از حد بحرانی کمتر است نشان دهنده تایید تصادفی بودن داده‌ها است.

نتایج آزمون ناپارامتری من ویتنی برای مقایسه میانگین دو دوره (۱۳۴۵-۱۳۰۲) و (۱۳۴۵-۱۳۹۲)

آمار موجود قبل از ۱۳۴۵ مربوط به سه ایستگاه است و از سال ۱۳۴۵به بعد ایستگاه سازمان آب اقدام به جمع آوری آمار بارش کرده است. آزمون من ویتنی که یک آزمون ناپارامتری است، می تواند مشخص کند که آیا این دو دوره از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری در میانگین‌ها می‌باشند یا خیر؟ فرض صفر و یک این آزمون به شرح زیر می‌باشد.

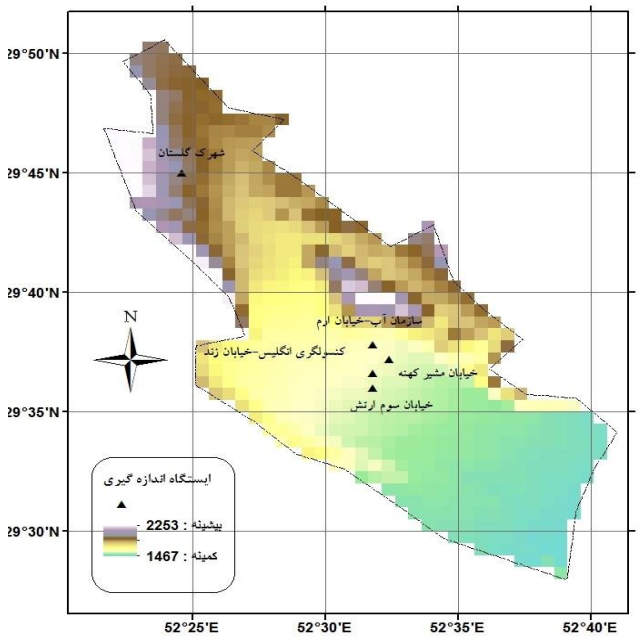
H_0: بین دو گروه تفاوت وجود ندارد

H_1: بین دو گروه تفاوت وجود دارد

مقدار آماره آزمون ۱/۱۳۶-، از مقدار بحرانی ۱/۹۶ بیشتر است بنابراین میانگین ها اختلاف معنی داری با هم ندارند و فرض صفر مورد مورد تایید قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

آمار دراز مدت بارش که بتوان به صحت آن اطمینان داشت اساس بسیاری از مطالعات مربوط به علوم آب است. این موضوع ارتباط تنگاتنگی با موقعیت مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی و چگالی آنها دارد. با توجه به تنوع اقلیم‌های متفاوت در ایران باید تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در هر اقلیم به اندازه کافی زیاد باشد تا بتوان داده‌های قابل اعتمادی از بارش را به‌دست آورد. براساس نتایج تحلیل هندسی افقی و عمودی پیشنهاد می‌شود در شهر شیراز تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی به بیست عدد و به فاصله ۵ کیلومتر از یکدیگر افزایش یابد.



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی ایستگاه‌ها

جدول۸- سری زمانی ۹۰ ساله بارش شهر شیراز در دوره ۰۳-۱۳۰۲ تا ۹۲-۱۳۹۱ زراعی

سال	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲	۰۲/۰۳	۰۳/۰٤	۰٤/۰۵	۰۵/۰٦	۰٦/۰۷	۰۷/۰۸	۰۸/۰۹	۰۹/۱۰
۱۳۰۰	------	-------	۳۹۴	۳۸۷	۳۳۳	۲۳۷	۲۸۸	۵۰۱	۴۳۴	۲۸۳
۱۳۱۰	۱۱۴	۳۴۲	۲۹۷	۴۱۲	۳۱۰	۲۶۰	۴۰۹	۳۹۷	۳۳۱	۲۷۸
۱۳۲۰	۲۳۴	۴۶۸	۲۸۱	۴۹۸	۲۳۱	۲۲۸	۳۹۵	۲۹۳	۳۲۲	۳۵۵
۱۳۳۰	۳۲۳	۲۹۶	۵۸۲	۵۶۳	۳۱۹	۴۹۸	۵۲۶	۲۴۴	۱۹۸	۲۹۲
۱۳٤۰	۲۸۰	۱۴۰	۲۳۹	۴۹۶	۸۳	۲۳۰/۱	۳۹۳/۲	۲۳۰/۱	۳۹۳/۲	۳۸۰
۱۳۵۰	۱۳۹/۴	۱۶۵/۱	۵۴۹/۴	۲۱۱/۲	۳۰۵/۵	۴۰۰/۵	۵۱۴/۴	۲۵۶/۶	۴۳۴/۶	۴۴۹/۵
۱۳٦۰	۴۷۹/۱	۳۱۳/۲	۳۵۲/۴	۳۷۷/۹	۲۲۸/۵	۳۲۲/۲	۲۹۵/۱	۵۶۰/۸	۴۵۳/۵	۲۱۸/۹
۱۳۷۰	۴۱۹/۹	۴۲۲	۳۸۰/۳	۶۲۵/۸	۲۰۱/۷	۵۲۹/۱	۶۵۴/۱	۲۴۲/۳	۵۳۹/۳	۳۵۲
۱۳۸۰	۲۲۱/۴	۲۶۶/۳	۴۷۸/۱	۳۷۷/۹	۴۲۱/۳	۵۸۶	۳۸۰/۵	۴۰۰/۵	۱۲۹/۸	۱۹۵/۴
۱۳۹۰	۲۵۸/۹	۲۳۴/۶	_____	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

منابع

۱-اداره کل هواشناسی فارس(۱۳۹۲). مرکز تحقیقات، <<www.farsmet.ir>>، معتبر در تاریخ ۱۲ خرداد ۱۳۹۲.

۲-خلیلی، ک. بشارت، س. جباری، آ. (۱۳۸۶): بررسی کفایت ایستگاه‌های باران‌سنجی و شعاع موثر هر ایستگاه (مطالعه موردی: حوضه‌ی میانی آذربایجان غربی). مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. ص ۳۰۹۰.

۳-شرافت، ز. پیشوایی، م.ر. عطایی، ه. (۱۳۹۳): توزیع فرازسنجی ایستگاه‌های باران سنجی در استان فارس و اعتبار آب ورودی به منطقه. دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهرکرد، ۸ صفحه.

4-http://www.farsmet.ir/WeatherHistory.aspx
5-https://fa.wikipedia.org/wiki>>

6-Fujita, T. Theodore. (1981) Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38.8: 1511-1534.

7-Met. Offoice, UK. (2010b): The British Rainfall Network in 2010. National Met. Library and Archive, Crown copyright, powerpoint pdf file, 33 pages.

8-Pishvaei, M.R. (2001): A Case Study for Calculation of Areal Mean Precipitation Over a Basin in Southwestern Slovakia. Acta Met. Univ. Comenianae, 2001.No.xxx, pp.19-30.

9-Rosenan, N. (1955): One hundred years of rainfall in Jerusalem: a homotopic series of annual amounts. Israel Exploration Journal, 5(3), 137-153.

10-Suzuki, Y. Nakakita, E. Ikebuchi, S. (2003). Numerical Study of Rainfall – Topography Relationship in Mountainous Region of Japan Using Mesoscale Meterological Model. International Association of Hydrological Sciences, Publication, 2003,282, pp.43-50.

11-WMO No.168 (2008): Guide to Hydrological Practices, Sixth edition, Vol. II, pp II.5.9.

12-WMO, (2015): Climate Data and Data RelatedProducts. <http://www.wmo.int/pages/ themes/climate/climate_data_and_products.php>>, 07 Feb 2015 vali.