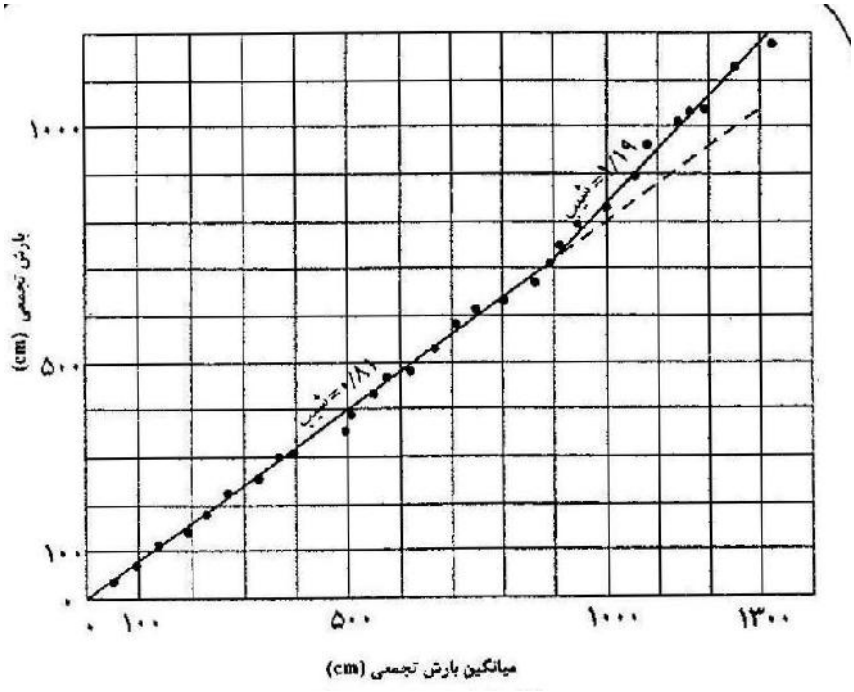
مثال ۳-۴: در جدول ۳-۲ مقادیر میانگین بارش سالانه از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۰ برای ایستگاه باران‌سنجی A که دارای ناسازگاری با ۱۰ ایستگاه مجاور است و نیز مقادیر تجمعی بارش سالانه داده شده است. با استفاده از روش منحنی تجمعی دوگانه مقادیر بارش سالانه ایستگاه A را اصلاح نمائید.

حل: با رسم تجمعی میانگین بارش سالانه در ایستگاه A در مقابل بارش تجمعی سالانه در ۱۰ ایستگاه مجاور، منحنی مطابق شکل ۳-۶ به دست می‌آید که از سال ۱۳۶۱ به قبل دارای ناسازگاری با ایستگاه‌های مجاور است. شیب قسمت ابتدای منحنی معادل M_c=0.81 و در بخش دارای ناسازگاری معادل $M_a = 1.19$ است. لذا ضریب اصلاح داده‌ها از سال ۱۳۵۱ تا سال ۱۳۶۱ معادل $K = {0.81}/{1.19} = 0.68$ می‌شود. در جدول ۳-۳ مقادیر بارش اصلاح شده در طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۰ آمده است.

جدول ۳-۲ مقادیر میانگین بارش سالانه در ایستگاه A و ۱۰ ایستگاه مجاور

سال	بارش در ایستگاه A (cm)	بارش تجمعی در ایستگاه A (cm)	میانگین بارش در ۱۰ ایستگاه مجاور (cm)	بارش تجمعی در ۱۰ ایستگاه مجاور (cm)
1351	50.5	1178.7	71.5	1321.5
1352	90.0	1128.2	57.0	1250.0
1353	6.0	1038.2	27.5	1193.0
1354	21.5	1032.2	25.0	1165.5
1355	50.5	1010.7	60.5	1140.5
1356	62.5	96.02	22.0	1080.0
1357	69.5	897.7	55.0	1058.0
1358	36.0	828.2	57.0	1003.0
1359	42	792.2	36.5	946.0
1360	42	750.2	19.0	909.5
1361	36	708.2	27.5	890.5
1362	42	672.2	60.5	8633.0
1363	18.0	630.2	55.0	802.5
1364	30.0	612.2	38.5	747.5
1365	54.0	582.2	38.5	709.0
1366	48.0	528.2	47.5	670.5
1367	12.0	480.2	49.5	623.0
1368	36.0	468.2	24.0	573.5
1369	42.0	432.2	44.0	549.5
1370	36.0	390.2	60.5	505.5
1371	44.5	354.2	47.5	495.0
1372	9.5	309.2	29.5	397.5
1373	45.5	300.2	40.5	368.0
1374	31.2	254.7	56.0	327.5
1375	43.5	223.5	40.5	270.5
1376	39.5	180.0	38.5	230.0
1377	24.0	140.5	55.0	195.5
1378	44.5	116.5	42.0	137.5
1379	36.0	72.0	46.0	95.5
1380	36.0	36.0	49.5	49.5



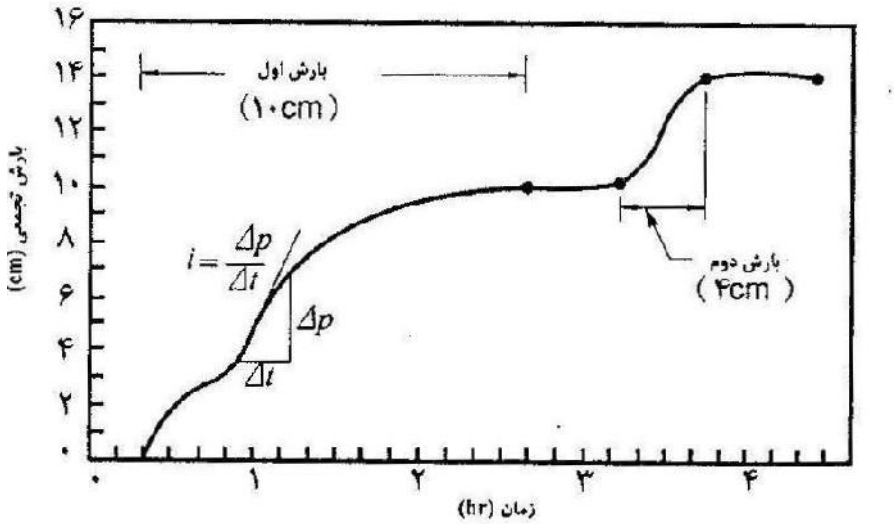
شکل ۳-۶ منحنی تجمعی دوگانه

جدول ۳-۳ مقادیر بارش اصلاح شده در طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۰

سال	بارش اصلاح نشده (cm)	بارش اصلاح شده (cm)
1360	42.0	28.56
1359	42.0	28.56
1358	36.0	24.48
1357	69.5	47..26
1356	62.5	42.5
1355	50.5	34.34
1354	21.5	14.62
1353	6.0	4.08
1352	90.0	61.2
1351	50.5	34.34

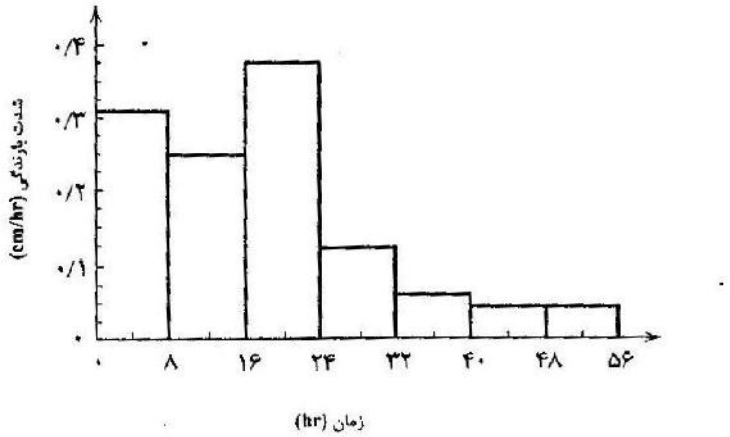
۳-۶ نمایش داده‌های بارش

برای نمایش گرافیکی داده‌های بارش دو روش اصلی وجود دارد. روش اول موسوم به منحنی تجمعی و روش دوم هیتوگراف بارش است. منحنی تجمعی بارش در حقیقت منحنی است که مقدار تجمعی بارش را در مقابل زمان از شروع بارش نشان می‌دهد. باران‌سنج‌های وزنی و سیفونی میزان بارش را بدین صورت ثبت می‌کنند. نمونه‌ای از این نوع منحنی در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. از منحنی تجمعی بارش، مدت بارش، مقدار بارش و شدت آن به سادگی استخراج می شود. براساس شکل ۳-۷ دو بارش رخ داده است، که اولی به مدت ۳ ساعت و مقدار ۱۰ سانتیمتر و دومی به مدت ۰.۵ ساعت و مقدار ۴ سانتیمتر باریده است. شدت بارش اول در طی مدت ۳ ساعت ثابت نبوده و در ابتدا با شدت زیاد (شیب منحنی تندتر) و سپس شدت کمتر (شیب منحنی کندتر) می‌شود. شدت بارش دوم تقریباً ثابت است. شدت بارش در هر گام زمانی عبارتست از شیب منحنی تجمعی در آن نقطه که مطابق شکل ۳-۷ برابر با $i=\Delta p/\Delta t$ است.



شکل ۳-۷ منحنی تجمعی بارش (مشاهداتی)

هیتوگراف بارش عبارتست از تغییرات شدت بارش در بازه‌های زمانی در طول بارش که به صورت نمودار ستونی نشان داده می‌شود. نمونه‌ای از هیتوگراف بارش در شکل ۳-۸ آمده است. بدیهی است هیتوگراف بارش از منحنی تجمعی بارش قابل استخراج است. بدین صورت که در گام های زمانی مختلف شیب منحنی تجمعی بارش نشانگر شدت بارش است و ترسیم مقدار آن در مقابل گام زمانی، هیتوگراف بارش را تشکیل می دهد. از هیتوگراف بارش می‌توان بیشترین شدت بارش، کمترین شدت بارش و زمان تداوم هریک را به دست آورد. همچنین مساحت هیتوگراف بارش مقدار کل بارش را می‌دهد.



شکل ۳-۸ هیتوگراف بارش

مثال ۳-۵: براساس داده‌های باران‌سنجی، مقادیر بارش تجمعی برحسب زمان در طی یک بارش۵۰ دقیقه‌ای مطابق جدول ۳-۴ است. مطلوب است رسم منحنی تجمعی و هیتوگراف این بارش. حداقل و حداکثر شدت بارش برحسب سانتیمتر در ساعت چقدر است؟

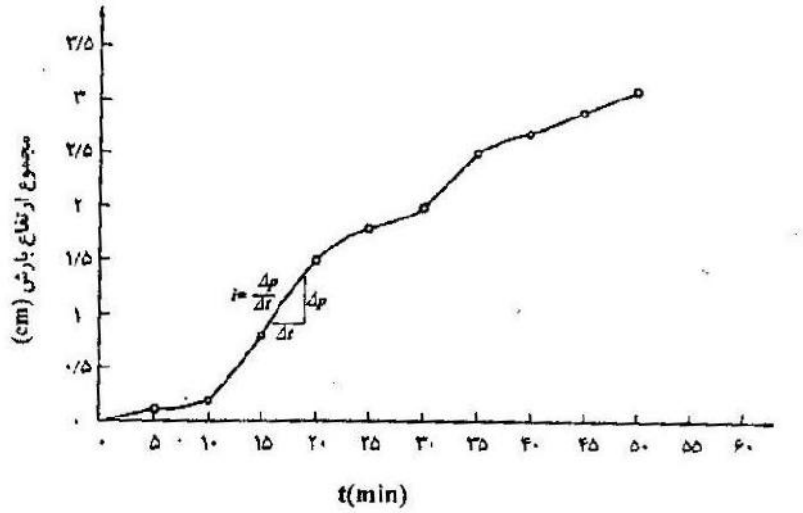
جدول ۳-۴ بارش تجمعی در طی یک بارش ۵۰ دقیقه‌ای

زمان از شروع بارش(min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
بارش تجمعی (cm)	0.1	0.2	0.8	1.5	1.8	2.0	2.5	2.7	2.9	3.1

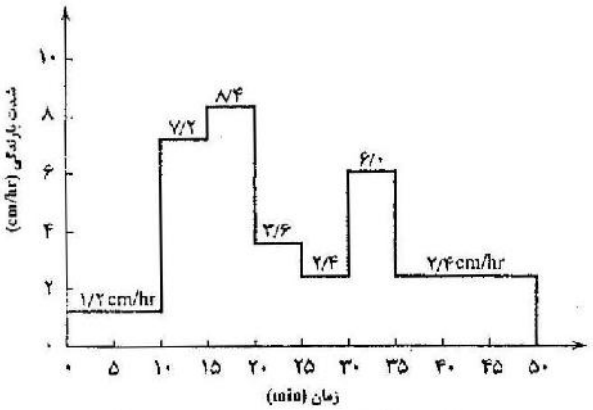
حل: منحنی بارش تجمعی نسبت به زمان که منحنی تجمعی بارش نیز نامیده می شود در شکل ۳-۹ آمده است. جهت استخراج هیتوگراف بارش نیاز به محاسبه‌ی شدت بارش در طی گام‌های زمانی مختلف است که در این مثال (min) $\Delta t = 5$ در نظر گرفته شده است. در جدول ۳-۵ نحوه‌ی محاسبه‌ی شدت بارش در طی زمان‌های مختلف و در شکل ۳-۱۰ هیتوگراف بارش نشان داده شده است. براین اساس حداقل شدت بارش ۱.۲ cm/hr و حداکثر ۸.۴ cm/hr بوده است.

جدول ۳-۵ محاسبه‌ی شدت بارش در طی گام‌های زمانی مختلف از شروع بارش

زمان (min)	بارش تجمعی(cm)	بارش در طول مدت $\Delta t = 5(\min)$	شدت بارش $i = (\Delta p / \Delta t) \times 60 (cm / hr)$
5	0.1	0.1	1.2
10	0.2	0.1	1.2
15	0.8	0.6	7.2
20	1.5	0.7	8.4
25	1.8	0.3	3.6
30	2.0	0.2	2.4
35	2.5	0.5	6.0
40	2.7	0.2	2.4
45	2.9	0.2	2.4
50	3.1	0.2	2.4



شکل ۳-۹ منحنی تجمعی بارش



شکل ۳-۱۰ هیتوگراف بارش در مدت ۵۰ دقیقه بارش

۳-۷ منطقه‌ای نمودن داده‌های نقطه‌ای بارش

اطلاعات اخذ شده از باران‌سنج‌ها نشانگر مقدار و شدت بارش در نقاط اندازه‌گیری است. از آنجا که بارش در سطوح وسیع با مقدار و شدت یکسان نمی‌بارد، لذا برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای بارش به میانگین منطقه‌ای نیاز به روش‌های زمین آماری است. تغییرات بارش در یک رخداد به ویژه در مناطق کوهستانی بیشتر بوده و نیاز به اطلاعات نقطه‌ای بیشتری است. در مناطق وسیع‌تر که با چندین باران‌سنج همزمان داده‌های بارش اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر مختلفی را نشان می‌دهند، نیاز به تبدیل این بارش‌ها به بارش میانگین منطقه است تا بتوان حجم بارش را در کل منطقه تعیین نمود. سه روش اصلی جهت میانگین‌گیری از داده‌های نقطه‌ای وجود دارد که عبارتند از: میانگین‌گیری حسابی، چندضلعی تیسن و خطوط همباران. کاربرد هرکدام در زیر تشریح می شود.

۳-۷-۱ روش میانگین‌گیری ریاضی

وقتی مقادیر بارش مشاهداتی در ایستگاه‌های مختلف منطقه تغییرات زیادی نداشته باشند (مانند وضعیت مناطق مسطح)، با میانگین‌گیری ریاضی از مقادیر بارش در ایستگاه‌های مختلف می‌توان به میانگین بارش در منطقه با تقریب مناسبی دست یافت. لذا در صورتی که بارش در ایستگاه‌های مختلف $p_1, p_2, p_3 \ldots$ و p_N باشد، مقدار بارش میانگین برابر با:

$$\overline{p} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_i \qquad (۱۰-۳)$$

خواهد بود که در آن P_i بارش در ایستگاه i ام و $\overline{p}$ میانگین بارش منطقه است. هرچند این روش ساده است، ولی در مناطقی که تفاوت داده‌های بارش ثبت شده با یکدیگر زیاد و یا توزیع مکانی باران‌سنج‌ها یکنواخت نباشد، کاربرد ندارد.

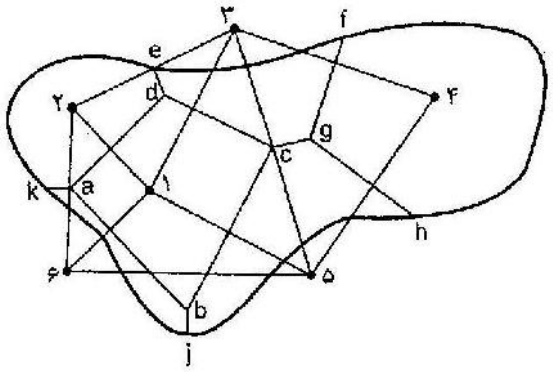
۳-۷-۲ روش چندضلعی تیسن

در مناطقی که توزیع باران‌سنج‌ها یکنواخت نبوده و یا تفاوت بارش در ایستگاه‌های مختلف زیاد باشد، بایستی به نحوی به هر ایستگاه وزن خاصی که رابطه مساحت تحت پوشش آن است داده شود و به نحوی میانگین وزنی از داده‌ها گرفته شود. در روش تیسن وزن هر ایستگاه عملاً مساحتی است که از تقاطع عمود منصف‌های اضلاعی که از اتصال ایستگاه‌های مجاور حاصل شده بدست می‌آید. از تقاطع این عمود منصف‌ها چندضلعی‌هایی به وجود می‌آید که بنام چندضلعی‌های تیسن معروف است (شکل ۳-۱۱). قابل ذکر است که هر ایستگاه فقط به نزدیکترین ایستگاه‌های مجاور خود متصل شده و از رسم خط اتصال با ایستگاه‌های دورتر بایستی اجتناب کرد. در روش تیسن نه تنها داده‌های ایستگاه‌های داخل منطقه بلکه از ایستگاه‌های خارج از منطقه و در مجاورت آن نیز جهت افزایش دقت محاسبه‌ی میانگین استفاده می‌شود. اگر مساحت

چندضلعی های تیسن متناظر با هر ایستگاه که در آن قرار گرفته به ترتیب $A_1, A_2, A_3, ..., A_N$ و مقادیر بارش در ایستگاه باران سنجی $p_1, p_2, p_3 ... p_N$ باشد، مقدار بارش میانگین از رابطه‌ی وزنی زیر بدست می‌آید:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{N} A_i P_i}{\sum_{i=1}^{N} A_i} \qquad (۱۱-۳)$$

که مخرج کل مساحت منطقه است. حسن این روش این است که تا وقتی محل ایستگاه‌های باران‌سنج تغییر نکرده و یا ایستگاهی حذف یا اضافه نشده، مساحت‌های متناظر با هر ایستگاه ثابت بوده و نیاز به مساحت در هر بارش نیست و فقط مقادیر بارش متناظر با هر مساحت تغییر می‌کند. لذا روش نسبتاً ساده در محاسبه‌ی میانگین بارش منطقه‌ای است.



شکل ۳-۱۱ چند ضلعی های تیسن متناظر با ۶ ایستگاه باران سنجی

۳-۷-۳ روش خطوط همباران

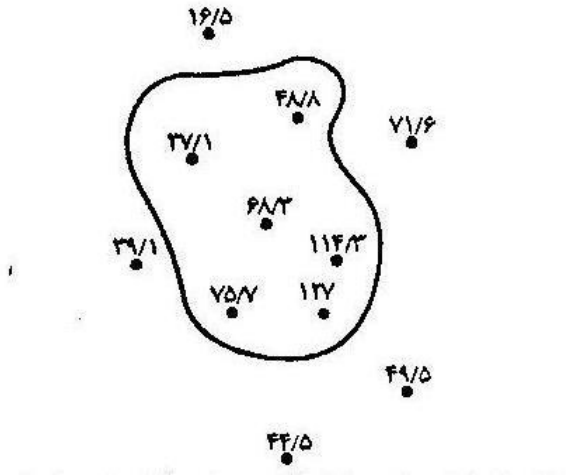
خطوط همباران از اتصال نقاط منطقه با بارش برابر حاصل و رسم می‌شود. این خطوط حاصل یک رخداد بارش است. الگوی یکسانی برای بارش‌های مختلف وجود ندارد. در روش خطوط همباران برای محاسبه‌ی میانگین بارش در منطقه با رسم خطوط همبارش براساس داده‌های نقطه‌ای که از ایستگاه‌های مختلف بدست آمده و به روش درونیابی خطی این منحنی‌ها رسم شده، مساحت بین خطوط همباران محاسبه می‌شود. این مساحت در حقیقت بایستی وزن میانگین بارشی قرار گیرد که دو خط همبارش در اطراف آن قرار گرفته است. میانگین بارش در کل منطقه از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\overline{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \overline{p}_i A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad (۱۲-۳)$$

که $\overline{p}_i$ = میانگین بارش بین دو منحنی همباران، A_i = مساحت بین دو منحنی همباران.

لازم به ذکر است که در این روش نیز از ایستگاه‌های خارج از منطقه جهت رسم دقیق‌تر خطوط همباران استفاده می‌شود. روش خطوط همباران به ویژه در مناطق کوهستانی که تفاوت بارش در ایستگاه‌های مختلف آن زیاد است مناسب‌ترین روش جهت محاسبه‌ی میانگین بارش است. از طرفی به دلیل نیاز به رسم خطوط همباران در هر رخداد بارش و مساحت جدید برای تعیین A_i ، دارای حجم محاسباتی زیادی است و برخلاف روش تیسن که یکبار A_i های متناظر با ایستگاه‌های مختلف محاسبه می‌شود، در این روش برای هر بارش بایستی خطوط همباران ترسیم و مساحت‌ها اندازه‌گیری شود.

مثال ۳-۶: در طی یک بارش مقادیر بارش در ۶ ایستگاه باران‌سنجی در منطقه‌ای و ۵ ایستگاه مجاور آن مطابق شکل ۳-۱۲ اندازه‌گیری شده است. مطلوب است محاسبه‌ی میانگین بارش در این منطقه با هر سه روش مذکور.

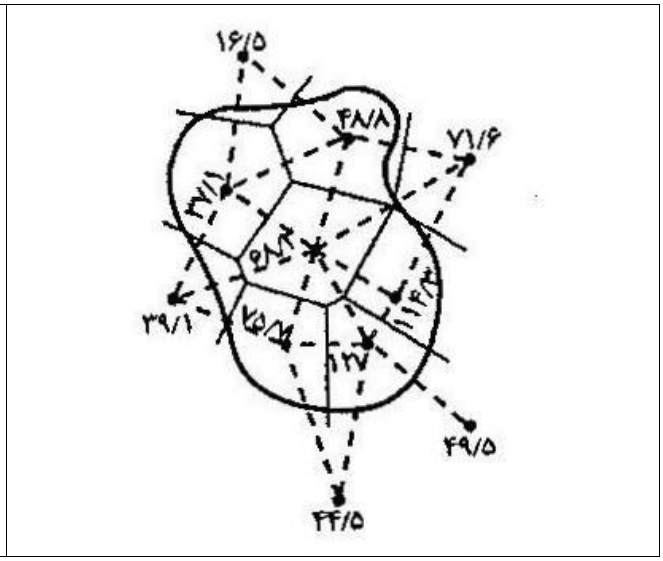


شکل ۳-۱۲ مقادیر بارش در ایستگاه های مختلف

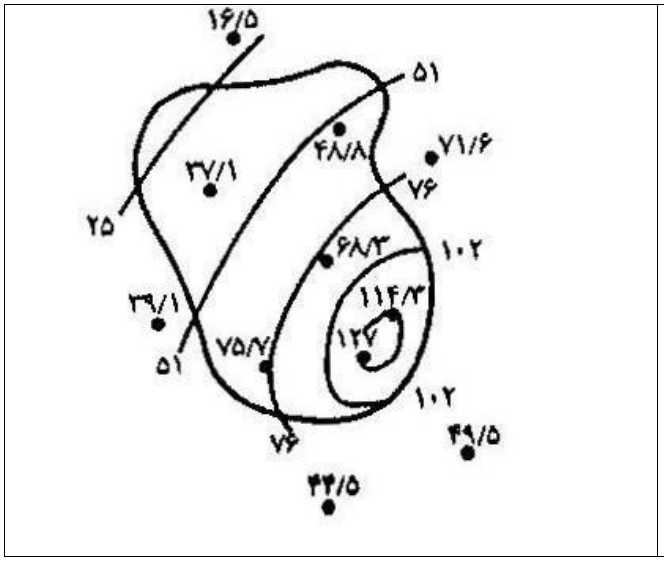
حل: برای برآورد میانگین بارش منطقه فقط از داده‌های داخل منطقه استفاده می‌شود. چرا؟ میانگین حسابی منطقه:

$$P=(37.1+48.8+68.3+114.3+75.7+127)/6=78.5 \text{ (mm)}$$

ولی به دلیل تفاوت زیاد (بیش از ۱۰-۱۵٪)، از میانگین وزنی استفاده می شود. با بکارگیری روش تیسن، با رسم چندضلعی‌ها (شکل ۳-۱۳)، مساحت متناظر با هر ایستگاه محاسبه و به عنوان وزن در مقدار بارش ضرب و حاصل به کل مساحت منطقه تقسیم می‌شود. خلاصه‌ی محاسبات این روش در جدول ۳-۶ آمده است که بارش میانگین می شود $\bar{p} = 116328.9 / 1621 = 71.8(\text{mm})$. با استفاده از روش همباران (شکل ۳-۱۴) و برآورد مساحت بین خطوط، میانگین بارش براساس محاسبات جدول ۳-۷ معادل $\bar{p} = 107061.5 / 1621 = 66.0$ (mm) است.



شکل ۳-۱۳ چند ضلعی های تیسن



شکل ۳-۱۴ خطوط همباران

جدول ۳-۶ خلاصه‌ی محاسبات به روش چندضلعی تیسن

مقدار بارش (mm)	مساحت چندضلعی (km^2)	مساحت × بارش $(km^2 \times \text{mm})$
16.5	18	297
37.1	311	11538.1
48.8	282	13761.6
38.3	311	21241.3
39.1	52	20.33.2
75.7	238	18016.6
127.0	212	26924
114.3	197	22517.1
مجموع	1621	116328.9

جدول ۳-۷ خلاصه‌ی محاسبات روش خطوط همباران

خط همباران (mm)	مساحت بین خطوط همباران (km^2)	مساحت × میانگین خطوط همباران $(km^2 \times mm)$
127	34	4318
102	199	22785.5
76	300	26700
51	508	32258
25	500	19000
	80	2000
مجموع	1621	107061.5

۳-۸ رابطه بین شدت – مدت بارش (ID)

بارش‌ها حتی در یک منطقه مشخص در طول سال دارای شدت و مدت مختلف‌اند. بطور کلی هرچه مدت بارش افزایش یابد از شدت بارش کاسته می‌شود. یعنی بارش‌های شدید و رگبارها تداوم زیادی نداشته و در مدت کوتاهی می‌بارند و بالعکس بارش با تداوم زیاد دارای شدت کمی هستند. براساس تجارب اندازه‌گیری های شدت و مدت بارش در ایستگاه‌های مختلف، رابطه زیر بین شدت (i) و مدت (t) برای بارش‌های با تداوم بین ۵ تا ۱۲۰ دقیقه می تواند برقرار باشد.

$$i = \frac{a}{t+b} \qquad (۱۳-۳)$$

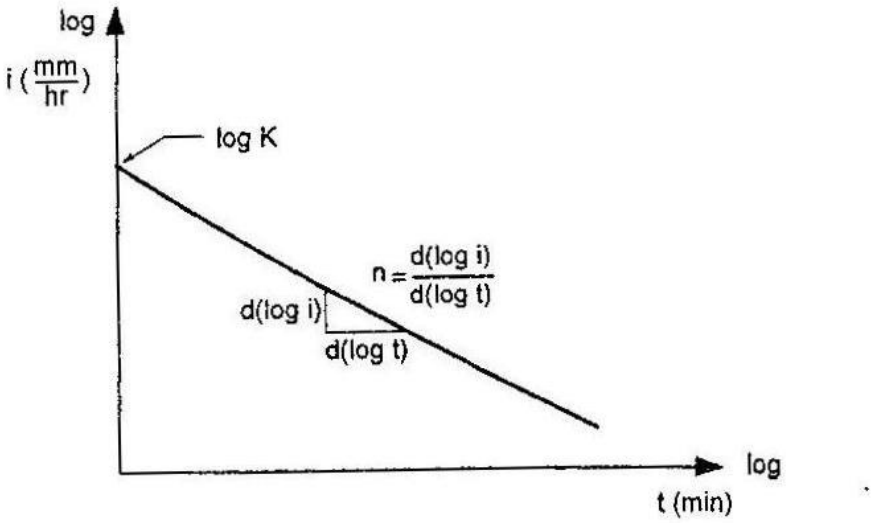
که i = شدت بارش (mm/hr)، t = مدت بارش (min) و a و b به ترتیب ضرایب حاصل از برازش رابطه مناسب بین داده‌های مشاهداتی i و t در ایستگاه مربوطه است. برای بارش های با مدت بیش از ۱۲۰ دقیقه، رابطه به شکل زیر است.

$$i = \frac{k}{t^n} \qquad (۱۴-۳)$$

که k و n ضرایب حاصل از برازش بهترین منحنی بین مقادیر i وt (داده‌های مشاهداتی) است. در سیستم لوگ لوگ، این رابطه به صورت خط شده که براحتی ضرایب k و n برآورد می شود. با لگاریتم‌گیری از طرفین این رابطه‌ی داریم:

$$Logi = \log k - nLogt \qquad (۱۵-۳)$$

مطابق شکل ۳-۱۵ اگر داده‌های اندازه‌گیری شده که مقادیر t و متناظر با آن i را نشان می‌دهد، روی کاغذ دو لگاریتمی برده و بهترین خط بین آنها را برازش دهیم. عرض از مبدأ آن مقدار j و شیب خط، مقدار n را به دست می‌دهد.



شکل ۳-۱۵ برازش خط بین داده های t و i جهت تعیین شکل رابطه

مثال ۳-۷: براساس اندازه‌گیری شدت و مدت بارش در ایستگاه باران‌سنجی، داده‌هایی مطابق جدول ۳-۸ به دست آمده است. مطلوب است رابطه‌ی شدت – مدت بارش برای این ایستگاه.

جدول ۳-۸ مدت و شدت بارش ثبت شده در ایستگاه باران‌سنجی

T(min)	120	150	180	240	360	480	600
i (mm/hr)	3.0	2.8	2.6	2.2	1.9	1.6	1.5

حل: با رسم داده های جدول ۳-۸ روی محورهای دولگاریتمی و برازش بهترین خط بین آنها مطابق شکل ۳-۱۶ مقادیر ضرایب k و n در رابطه (۳-۱۵) برابرند با n=0.46, k=28. لذا رابطه شدت- مدت برابر است با: $i = 28 / t^{0.46}$