

الگوهای رگرسیونی رواناب حاصل از سطوح آبیگر کوچک

جواد طباطبائی یزدی^۱ - حجت رضائی پزند^{۲*} - هادی خاتمی مشهدی^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۸

چکیده

این مقاله تحلیل نتایج حاصل از یک طرح پژوهشی استحصال آباران از سطوح کوچک (پشت‌بام‌ها) است. پشت‌بام دانشگاه آزاد اسلامی مشهد محل جمع آوری داده‌هاست. رواناب حاصل از رگبارهای مختلف ریزشی بر این سطوح پس از نصب باران‌سنج معمولی و یک منبع ذخیره (حجم ۴ متر مکعب) برآورد و رگبارها و رواناب حاصل به مدت دو سال (۸۶/۱۰/۲۳ تا ۸۸/۳/۹) اندازه‌گیری شده است. حجم نمونه مشاهده‌ای ۳۵ مورد است. رابطه بین رواناب - بارش با الگوهای رگرسیونی بررسی و الگوی مناسب پس از تحلیل باقی‌مانده‌ها و آزمون‌های لازم انتخاب و رواناب حاصل از پشت‌بام‌ها به کمک الگوها برآورد شده است. طول دوره آماربرداری کوتاه است. لذا از پنجاه و پنج سال آمار بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مشهد (۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵) استفاده شده است. این آمار تحلیل فراوانی شده و نتایج تحلیل فراوانی پنجاه و پنج ساله فوق در دوره‌های بازگشت ترسالی و خشکسالی به‌دست آمده است. رواناب پشت‌بام‌های این دانشگاه به کمک این تحلیل برای دوره‌های بازگشت ترسالی و خشکسالی حساب شده است. سطح پشت‌بام‌ها و متوسط سالانه رواناب آنها به ترتیب: ۱۸۶۸۰ مترمربع و ۸۴۲۸ متر مکعب است.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب، پشت‌بام، رواناب، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

مقدمه

حوض‌انبارهایی برای تأمین آب شرب و دام در مناطق خشک احداث و از آب باران پر می‌کرده‌اند. بومیان آمریکای شمالی و جنوبی روش‌های ساده استحصال آب را برای کشاورزی در حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ سال قبل مورد استفاده قرار داده‌اند (۹ و ۱۰). استحصال آب از سطح پشت‌بام‌ها از قدیم رایج بوده است. سوابق نشان می‌دهد که سطوح عایقی در کشور استرالیا از مصالح ضد آب در پشت‌بام‌ها بر روی یک پایه و در نزدیک سطح زمین می‌ساخته‌اند. آب باران برای مصرف کشاورزی و دام از روی این سطوح جمع‌آوری می‌شده است. نوآوری عمده در فن‌آوری استحصال آب در کشورهای استرالیا و سرزمین‌های اشغالی فلسطین و آمریکا در دهه ۱۹۶۰ رخ داده است (۶ و ۱۰).

این مقاله تحلیل نتایج حاصل از یک طرح پژوهشی استحصال آباران از سطوح کوچک (پشت‌بام‌ها) است. پشت‌بام دانشگاه آزاد اسلامی مشهد (مساحت ۱۸۶۸۰ مترمربع) محل جمع آوری داده‌هاست. این طرح یک امکان‌سنجی برای تخمین رواناب تکمیلی به منظور کمک و صرفه‌جویی در آبیاری باغچه‌ها و استفاده در سیفون‌های سرویس‌های بهداشتی طبقات زیرین ساختمان‌های این دانشگاه است.

استحصال آب باران روشی برای مهار و بهره‌برداری آب باران در مناطق شهری و برون شهری است. می‌توان آب مورد نیاز برخی از مصارف خانگی، فضای سبز، شرب‌دام و غیره را در مقیاس کوچک با این روش تأمین یا ذخیره کرد (۶ و ۹). این سامانه‌ها شامل دو بخش اصلی به شرح زیر است. الف) سطح جمع‌آوری آب (حوضه آبریز): اندازه حوضه‌های استحصال آب کوچک است. پشت‌بام یک اتاق کوچکترین حوضه تلقی می‌شود. پشت‌بام و محوطه بلوک‌های ساختمانی حالت توسعه یافته‌تر این حوضه‌هاست. ب) تأسیسات و امکانات ذخیره‌سازی رواناب (مخزن): تنوع حوضه‌ها سبب تنوع روش‌هاست. نصب منبع ذخیره برای آب پشت‌بام در محل مناسب، ایجاد راه‌آب برای هدایت رواناب به باغچه، ذخیره آب در محلی مرتفع برای سیفون دستشوئی‌ها و غیره است (۴، ۵، ۸ و ۹).

اولین شواهد استفاده از فنون استحصال آب در صحرای نقب (فلسطین) در ۴۰۰۰ سال قبل بوده است (۶). ایرانیان باستان نیز

مواد و روش‌ها

هدف اصلی انجام این طرح پژوهشی، برآورد رواناب حاصل از

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی مشهد، مربی و مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

(Email: hrpazhand@yahoo.com)

* - نویسنده مسئول:

استحصال آب از پشت‌بام است. بارندگی متوسط سالانه معیار خوبی برای مقدار آب قابل استحصال نیست. باید آمار درازمدت تحلیل‌فرآوانی و سال‌های خشک و تر در دوره‌های بازگشت مختلف مشخص شود (۹). آمار مشاهده‌ای ۳۵ مورد است که به مدت دو سال جمع‌آوری شده است. طول این آمار کوتاه است. پنجاه و پنج سال آمار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه سینوپتیک مشهد (۲۰۰۵-۱۹۵۱، میلادی) برای جبران طول دوره‌آماری استفاده شده است. این داده‌ها از پایگاه اطلاع‌رسانی سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شده‌اند. آمار فوق به دو صورت روزانه و ماهانه به شرح زیر است (www.weather.ir).

- آمار روزانه: این آمار به مدت ۱۸ سال (۸۵-۱۳۶۸) براساس نوع ریزش (باران یا برف) در اختیار است. متوسط بارش سالانه ۲۳۵/۲ با انحراف معیار ۷۳/۹ میلی‌متر است. مقدار ۶۲/۱ میلی‌متر آن به صورت برف ریزش کرده، آب معادل برف ۱۰٪ است، بنابراین ارتفاع آب معادل ۶/۲ میلی‌متر در سال است که در مجموع مقدار ناچیزی است و تأثیری در محاسبات کل ندارد. متوسط تعداد روزهای بارانی این دوره آماری ۶۴ روز است.

- آمار ماهانه: این آمار به مدت ۵۵ سال (۲۰۰۵-۱۹۵۱ میلادی) است. متوسط این دوره ۲۵۵/۱ با انحراف معیار ۷۰/۷ میلی‌متر است. این آمار نوع بارش را تفکیک نکرده است. نسبت بارش دوره ۵۵ ساله به بارش ۱۸ ساله این ایستگاه ۱/۰۸۵ است. این ضریب در محاسبات اعمال شده است.

آزمون‌های پایه

یکی از اهداف علم آمار اخذ نمونه از جامعه با قوانین نمونه‌گیری و تعمیم خصوصیات نمونه به جامعه است. نمونه‌های مشاهده‌ای که در هیدرولوژی در اختیار قرار می‌گیرد جزء نمونه‌های اجباری است. زیرا این نمونه‌ها طبق یک طرح نمونه‌گیری از جامعه اخذ نشده‌اند تا خصوصیات لازم یک نمونه آماری را دارا باشند. بنابراین باید بررسی کنیم که آیا این نمونه خصوصیات لازم یک نمونه تصادفی را دارد یا خیر؟ این بررسی‌ها را آزمون‌های پایه می‌گویند (۱). خصوصیات لازم شامل: تصادفی بودن، نداشتن روند، ایستائی، جهش، شکست، همگنی و وجود داده‌پرت است. اگر داده‌ها این خصوصیات را نداشته باشند، آنگاه نمونه از نظر ریاضی قابل قبول نیست و تحلیل‌های بعدی زیر سؤال می‌رود. برای بررسی موارد فوق از آزمون‌های تصادفی‌گردش، من-ویتنی، والد-ولفویتز و گروبز-بک و قانون سه-زیگمای استوار استفاده شده است (۱۲ و ۱۱). نتایج تحلیل بر قبول نمونه تأکید دارد.

الگوهای رگرسیون رواناب-بارش

آمار مشاهده‌ای بارش - رواناب در حوضه مورد مطالعه ۳۵ مورد

بارش‌ها بر پشت‌بام‌هاست. حوضه آبریز مورد مطالعه پشت‌بام‌های دانشگاه آزاد اسلامی مشهد به مساحت ۱۸۶۸۰ مترمربع است. رواناب حاصل از بارش‌ها باید تخمین و در محل مناسبی ذخیره و صرف آبیاری تکمیلی باغچه‌ها (مساحت ۳۰۰ مترمربع) یا سیفون‌های دستشوئی‌های طبقات پائین شود. پشت‌بام‌ها همگی ایزوگام بوده و رفتار یکسانی در مقابل بارش دارند. پشت‌بام کارگاه نجاری گروه معماری (به مساحت ۳۹/۳ مترمربع) به‌عنوان سطح نمونه پشت‌بام‌ها انتخاب و تجهیز شده است. رواناب حاصل از این سطح نمونه در یک منبع پلاستیکی شفاف با ابعاد مشخص و به حجم ۴ مترمکعب جمع‌آوری و فعلاً به مصرف باغچه‌ها می‌سد. رواناب پشت‌بام از طریق ناودان به داخل منبع هدایت می‌شود. یک باران سنج معمولی نیز از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان اخذ و در اول مهرماه ۱۳۸۶ در روی پشت‌بام ساختمان مجاور و به فاصله ۳۰ متری نصب و اندازه‌گیری بارش و رواناب به مدت دو سال (۲۳/۱۰/۸۶ تا ۲۳/۳/۸۸) انجام شده است. این باران‌سنج بدون بادگیر است (Unshielded). بنابراین بارش‌ها نیاز به تصحیح دارند (۱۳ و ۱۴). تعداد اندازه‌گیری‌ها ۳۵ مورد است. شکل ۱ نقشه ساختمانها، محل منبع، باران‌سنج و پشت‌بام کارگاه نجاری دانشگاه آزاد مشهد را نشان می‌دهد.

آب باران را می‌توان تقریباً از هر نوع پشت‌بامی جمع‌آوری و به مصرف آبیاری غیر شرب رسانید. البته سطوح پوشش شده با آزیست و یا اندود شده با سرب سمی است و باید اجتناب کرد. پوشش سطح پشت‌بام‌های این دانشگاه ایزوگام است. لذا شرایط فیزیکی و شیمیایی این سطوح مناسب و آب حاصل بدون مواد سمی و یا آلاینده‌های زیانبار دیگر است. می‌توان رواناب حاصل را مستقیماً وارد باغچه‌ها کرد یا به سیفون‌های سرویس‌های بهداشتی طبقات زیرین هدایت نمود. البته نصب صافی‌های آشغالگیر لازم است. شایان ذکر است که ایزوگام‌ها عمر مفیدی دارند که پس از انقضای آن می‌توانند در آب باران حل شده و آلودگی‌های شیمیایی ایجاد کنند (۹).

مقدار رواناب قابل استحصال از پشت‌بام به‌صورت مستقیم به مقدار بارندگی، مساحت و پوشش سطح پشت‌بام بستگی دارد. پوشش سطح این پشت‌بام‌ها ایزوگام به رنگ سیاه است که در تابستان سبب جذب انرژی بیشتری از خورشید می‌شود. کارگاه معماری معمولاً در زمستان گرم است. بنابراین تلفات ناشی از تبخیر لایه‌های ایزوگام در ابتدای بارش به‌ویژه در بارش‌های کم شدت قابل ملاحظه است. نصب ایزوگام‌ها به‌صورت نواری است که خود سبب گیرش گودالی می‌شود. بنابراین تلفات ناشی از عوامل فوق در بارش‌های کم شدت و طولانی مدت قابل ملاحظه است.

آمار موجود

آمار طولانی‌مدت بارندگی روزانه بهترین مأخذ برای ارزیابی

شده‌اند. خلاصه خروجی‌های این نرم‌افزار برای هر الگو در جدول یا نمودار ارائه شده‌اند. الگوی برتر با تحلیل خروجی‌های این نرم‌افزار معرفی شده است (۷۳).

تحلیل فراوانی

نمودار گشتاوری خطی برای انتخاب اولیه توزیع مناسب استفاده می‌شود. گامبل نوع ۱ توزیع مناسب این طرح پژوهشی است. تحلیل فراوانی داده‌ها با توزیع گامبل نوع ۱ و به‌چهار روش برآورد انجام شده است. این روش‌ها عبارتند از: گشتاوری معمولی (MOM)، گشتاورهای وزن دار احتمالی (PWM)، حداکثر درست نمائی (MLM) و حداکثر آنتروپی (ENT). تابع چگالی و برآورد پارامترها به‌چهار روش فوق در روابط (۱) تا (۵) آمده است. حل معادلات (۴) و (۵) نیاز به روش‌های عددی است. آزمون کولموگروف-اسمیرینوف برای نیکویی برازش انتخاب شده است (۲، ۱۱).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\{-y - \exp(-y)\} \quad y = \frac{x-m}{\alpha}, \quad x, \alpha > 0 \quad (1)$$

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = 0/7797 S_{n-1} \\ \hat{m} = \bar{x} - 0/45005 S_{n-1} \end{cases} \quad (2) \text{ برآورد پارامترها به روش (MOM)}$$

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = 1/442695(2b_1 - \bar{x}) \\ \hat{m} = \bar{x} - 0/577216 \hat{\alpha} \end{cases} \quad (3) \text{ برآورد پارامترها به روش (PWM)}$$

$$\begin{cases} -(\sum y_i) + \sum y_i \exp(-y_i) = n \\ \sum \exp(-y_i) = n \end{cases} \quad (4) \text{ برآورد پارامترها به روش (MLM)}$$

$$\begin{cases} \sum y_i - 0/577216n = 0 \\ \sum \exp(-y_i) = n \end{cases} \quad (5) \text{ برآورد پارامترها به روش (ENT)}$$

مساحت سطح جمع‌آوری رواناب (پشت‌بام معماری) ۳۹/۳ مترمربع است. جدول (۱) بارش‌ها را به همراه تاریخ وقوع نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری رواناب

نصب مخزن ذخیره و شروع اندازه‌گیری رواناب اول مهرماه ۱۳۸۶ است. رواناب از تاریخ ۸۶/۱۰/۲۳ به طور مرتب اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری بارش و رواناب حاصل پس از اتمام هر بارش صورت گرفته است. منبع پلاستیکی و شفاف است. ابعاد آن معلوم و ارتفاع آب به خوبی از بیرون قابل مشاهده است. بنابراین خطای اندازه‌گیری رواناب قابل چشم‌پوشی است. جدول (۱) مقادیر رواناب‌ها را به همراه تاریخ وقوع نشان می‌دهد.

است، لذا می‌توان از روابط رگرسیونی دو متغیره بارش- رواناب استفاده و مناسبترین الگوی را یافت و از آن استفاده کرد.

تحلیل رگرسیون به دو قسمت تقسیم می‌شود. مرحله اول: برازش الگو، برآورد ضرایب الگو، محاسبه جدول تحلیل واریانس و برآورد ضریب‌تعیین و غیره است. رد یا قبول این موارد با آزمون‌های F ، t یا مقدار احتمال انجام می‌شود. اگر الگو در این مرحله رد نشود، باید مرحله دوم به نام تحلیل باقی‌مانده‌ها یا آسیب شناسی^۱ الگو انجام شود. این تحلیل اساس رگرسیون است و قبول یا رد الگو را رغم می‌زند. تحلیل باقی‌مانده‌ها می‌تواند به خوبی ضعف الگو را نشان دهد. آسیب شناسی برقراری فرض‌های زیر را برای باقی‌مانده‌ها بررسی می‌کند. این فرض‌ها شامل: نرمال بودن، پایایی واریانس، عدم وجود روند، بررسی داده‌پرت، استقلال باقی‌مانده و متغیرهای اضافی است. رسم باقی‌مانده‌ها، آماره‌های t مقدار احتمال (P-value)، آماره دوربین-واتسن، آماره کوک، و خصوصیات اهرمگون باقی‌مانده‌ها ابزار لازم در آسیب‌شناسی الگوهای رگرسیونی است (۷).

الگوهای رگرسیونی با استفاده از نرم‌افزار SPSS.15 تحلیل

تحلیل نتایج

جمع‌آوری آمار بارندگی

نصب باران‌سنج بر روی پشت‌بام انتخابی در مهرماه ۱۳۸۶ انجام و آمار برداری شروع شده است (جدول ۱). متأسفانه تعداد رگبارها در سال اول به علت برخورد با سال‌های خشک اندک بوده و اولین بارش در تاریخ ۱۳۸۶/۹/۵ به ارتفاع ۸/۵ میلی‌متر باریده است. متوسط بارش ثبت شده در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به ترتیب: ۱۱۳/۷ و ۲۵۷/۳ میلی‌متر است. باران‌سنج بدون بادگیر است که با اعمال ضریب تصحیح ۱/۱ مساوی ۱۲۵/۱ و ۲۸۳ میلی‌متر می‌شود (۱۳ و ۱۴). متأسفانه اندازه‌گیری مدت بارش‌ها امکان نداشته است.

تحلیل رواناب اندازگیری شده

رواناب از هر رگباری به رگبار دیگر متفاوت است. این عامل به شدت رگبار، مدت بارش، نوع بارش، رطوبت قبلی سطح حوضه، دمای سطح حوضه و غیره وابسته است. ضرایب (جریان) حاصل در جدول (۱) نیز مؤید این نوسانات است. متوسط ضریب جریان سطوحی مشابه پشت‌بام برای بارش‌های نسبتاً شدید ۷۰ تا ۱۰۰ درصد است (۹). میانگین، واریانس، ضرایب چولگی و کشیدگی بارش‌ها، رواناب، بارش خالص و ضرایب جریان در انتهای جدول (۱) نیز آمده است. ضریب چولگی بارش، بارش خالص و ضریب جریان به ترتیب: ۱/۱۹۱، ۱/۳۰۰ و ۲/۱۹۲- است. این موضوع رفتار غیرخطی رابطه بین این‌ها را نشان می‌دهد (۱). هدف نهائی بررسی رفتار رواناب حاصل از بارش‌ها و الگوبندی آن و استفاده از الگوی مناسب برای تعیین رواناب طولانی مدت پشت‌بام دانشگاه آزاد است. ابتدا کلیه تحلیل‌ها برای رواناب حاصل از بارش‌ها بر پشت‌بام دانشکده معماری (سطح نمونه) به مساحت ۳۹/۳ مترمربع انجام شده است. رواناب کل پشت‌بام‌ها پس از نتایج تحلیل‌های نهائی برآورد شده است. الگوهای رگرسیونی برای تحلیل انتخاب و به کمک اطلاعات جدول ۱ و نرم افزار SPSS.15 مبادرت به الگوبندی و انتخاب الگوی برتر شده است. روش به کار رفته ورود (Enter)، سطح معنی داری ۹۵٪ است.

ابتدا چند الگوی خطی (با عرض از مبدأ و بدون عرض از مبدأ)، لگاریتمی و نیمه لگاریتمی (برای تثبیت واریانس) بر تمام ۳۵ داده‌ها برازش که این الگوها رد شده‌اند. دو نمونه از این الگوها در بندهای (۱) و (۲) آمده است. بررسی‌های بیشتر نشان داد که دو اندازگیری اولیه (ردیف ۴ و ۵ جدول ۲) اعداد نسبتاً پرتی هستند، آنها را حذف و دوباره الگوها را بر ۳۳ داده جدید برازش داده‌ایم (الگوهای ۳ تا ۵) که نتایج به شرح زیر است. الگوی (۵) الگوی برتر است.

الگوی خطی "باران- رواناب" با عرض از مبدأ: نتایج در ردیف‌های ۱ تا ۶ جدول ۲ آمده است. عرض از مبدأ رگرسیون $\beta_0 = -0/06$ با خطای استاندارد ۰/۰۱ و آماره $t = -0/560$ (مقدار احتمال ۰/۵۷۹) است. وجود عرض از

مبدأ در الگو رد، بنابراین این الگو رد می‌شود. شکل (۲-بالا راست) نیز پایان‌بودن واریانس را نشان می‌دهد.

الگوی خطی "باران- رواناب" بدون عرض از مبدأ: نتایج در ردیف‌های ۷ تا ۱۱ جدول ۲ آمده است. آماره‌های t ، F و ضریب تعیین کارائی خود را در الگوهای بدون عرض از مبدأ از دست می‌دهند. آسیب‌شناسی باقی‌مانده‌ها نشان از باقی‌مانده پرت بزرگی دارد ($Min - Stud.D.R = -5/97$). بنابراین این الگو رد می‌شود و نیاز به بررسی بیشتر نیست. نمودار (۲-بالا- چپ) نیز پایا نبودن واریانس را نیز نشان می‌دهد.

الگوی خطی "باران- رواناب" با عرض از مبدأ برای ۳۳ داده:

نتایج در ردیف‌های ۱۲ تا ۱۷ جدول ۲ آمده است. عرض از مبدأ رگرسیون $\beta_0 = -0/001$ با خطای استاندارد ۰/۰۰۶ و آماره $t = -0/290$ (مقدار احتمال ۰/۵۸۱) است. وجود عرض از مبدأ در الگو رد، بنابراین این الگو رد است. شکل (۲-پایین- راست) نیز پایان‌بودن واریانس را نشان می‌دهد.

الگوی تمام لگاریتمی "باران- رواناب" بدون عرض از مبدأ: نتایج در ردیف‌های ۱۸ تا ۲۲ جدول ۲ آمده است. آماره‌های t ، F و ضریب تعیین کارائی خود را در الگوهای بدون عرض از مبدأ از دست می‌دهند. آسیب‌شناسی باقیمانده‌ها نشان از پایا نبودن واریانس است (شکل ۲- پایین چپ). بنابراین این الگو نیز رد می‌شود.

الگوی تمام لگاریتمی "باران- رواناب" با عرض از مبدأ: نتایج در ردیف‌های ۲۳ تا ۲۸ جدول ۲ آمده است. نتایج جدول نشان از مناسب بودن الگو دارد. نمودار باقی‌مانده‌ها (شکل ۳). نشان از پایائی واریانس، استقلال و نرمال بودن آنهاست. آماره کوک، مقادیر حداقل و حداکثر اهرمگون مرکزی و آماره دوربین- واتسن نیز بی‌آسیب بودن الگو را نشان می‌دهد. بنابراین این الگو قبول و به کار گرفته شده است. مقدار ضریب تعیین اصلاح شده ۰/۹۹۱ نشان از قدرت خوب الگو است. این الگو به شرح رابطه (۶) است.

$$\ln(\text{Runoff}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{Rain}) = -3/339 + 0/996 \ln(\text{Rain})$$

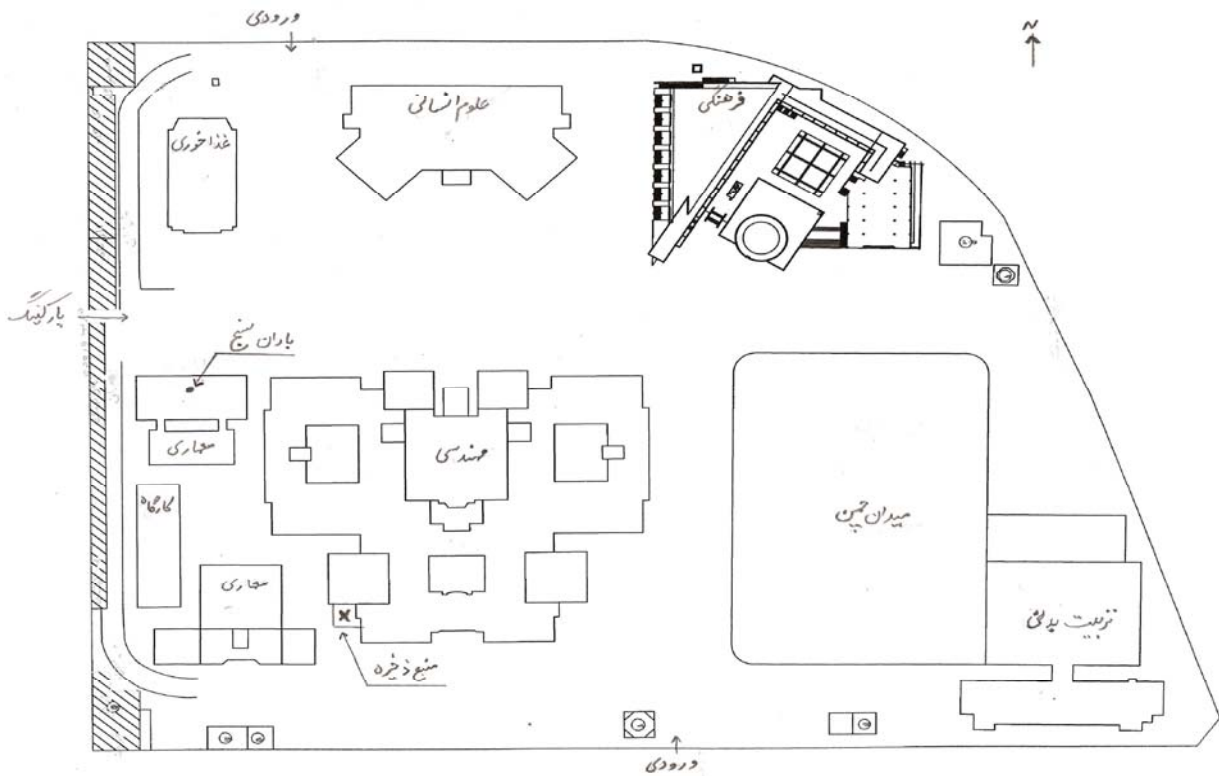
برآورد رواناب دراز مدت پشت‌بام نمونه

آمار برداری از پشت‌بام مربوط به طرح پژوهشی مورد نظر حدود دو سال انجام شده که بسیار کوتاه مدت است، برای نتیجه‌گیری دراز مدت ناچار به استفاده از آمار بلند مدت بارش ایستگاه سینوپتیک مشهد شده‌ایم. آمار ۱۸ سال بارندگی روزانه برای برآورد رواناب روزانه استفاده شده است. ابتدا رواناب حاصل از بارش‌های روزانه با رابطه (۶) برآورد گردید که در نتیجه متوسط رواناب این دوره آماری ۱۶/۳۴۷ مترمکعب برای سطح نمونه (پشت‌بام کارگاه نجاری) بدست آمد. سپس آمار ماهانه این ۱۸ سال حساب شده‌اند. نتایج حاصل با اعمال ضریب مناسب (۱/۰۸۵) به آمار ۵۵ ساله ماهانه مشهد تعمیم داده شده که نتیجه ۱۷/۷۳۰ مترمکعب برای سطح نمونه است. بنابراین برآوردی از آمار رواناب ۵۵ ساله پشت‌بام معماری در اختیار است.

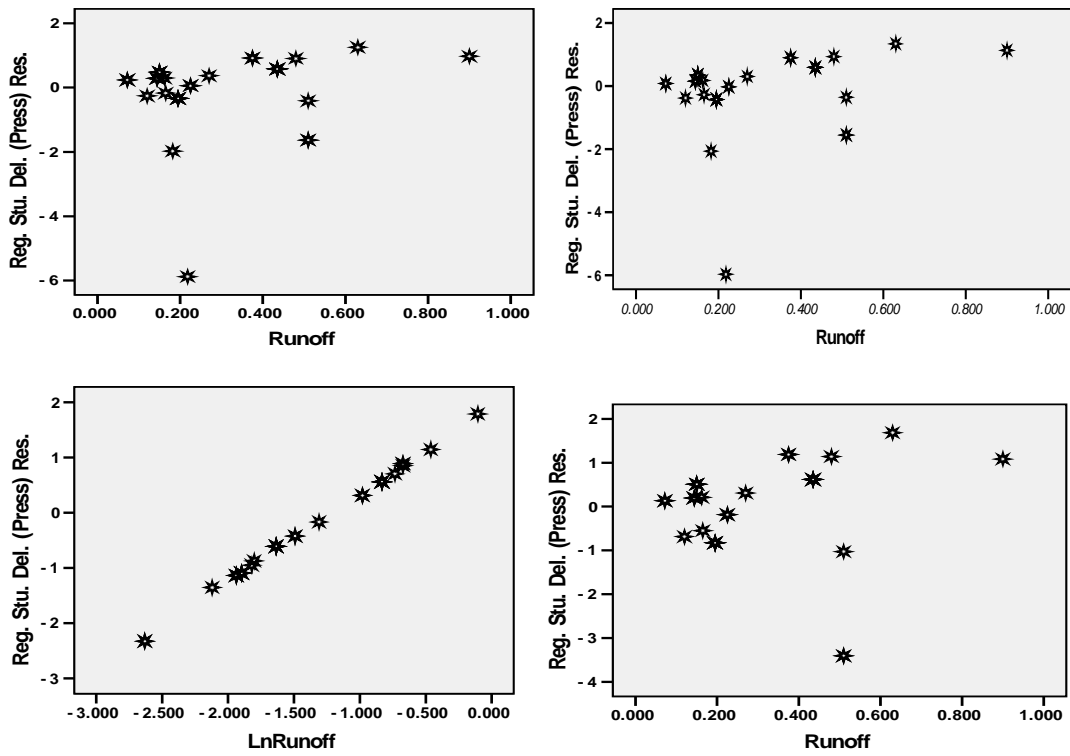
تحلیل فراوانی رواناب

آمار ۵۵ ساله رواناب برای تحلیل فراوانی انتخاب که تحلیل‌ها مطابق زیر است.

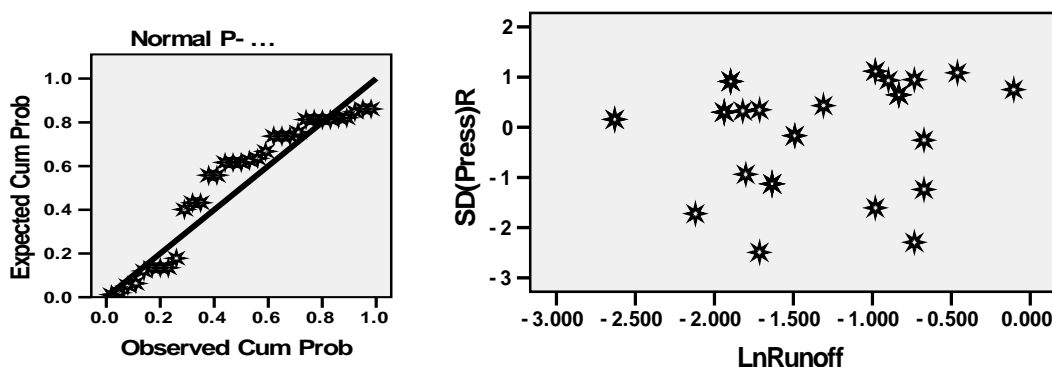
الف) انجام آزمون‌های پایه برای نمونه مشاهده‌ای: آزمون‌های- پایه برای این نمونه انجام و نمونه خصوصیات لازم را پس از انجام آزمون‌های فوق دارد و برای تحلیل فراوانی قبول می‌شود.



شکل ۱- موقعیت ساختمان‌های مختلف دانشگاه آزاد اسلامی مشهد (قاسم آباد). محل باران سنج و محل نصب منبع ذخیره مشخص شده است. پشت بام کارگاه نجاری معماری با علامت ضربدر مشخص شده است



شکل ۲- رفتار باقی مانده‌های (حذفی Press) الگوهای (۱) تا (۴)



(شکل ۳) - رفتار باقی مانده های (حذفی Press) الگوی (۵) و نرمال بودن آنها

برآورد رواناب پشتبام‌های دانشگاه آزاد قاسم آباد

برای محاسبه این رواناب از نسبت مساحت کل پشتبام‌ها (۱۸۶۸۰ مترمربع) به مساحت کارگاه نجاری (۳۹/۳ مترمربع) استفاده می‌شود. این نسبت را در رواناب‌های برآوردی برای کارگاه نجاری ضرب نموده تا رواناب حاصل از کل پشت بام‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف ترسالی و خشکسالی به دست آید. جدول (۳) نتیجه نهائی را نشان می‌دهد. متوسط سالانه این رواناب ۸۴۲۸ مترمکعب است. توزیع ماهانه رواناب برآوردی نیز در دوره‌های بازگشت ترسالی و خشکسالی در جدول ۳ آمده است.

خلاصه و جمع‌بندی

جمع آوری آب از سطح پشتبام‌ها یکی از انواع روش‌های استحصال آب بوده که از قدیم تا کنون همواره مورد استفاده بوده است. مقاله حاضر نتیجه یک طرح پژوهشی است که هدف آن ارزیابی امکان استحصال آب حاصل از بارندگی بر پشتبام‌های دانشگاه آزاد اسلامی مشهد (قاسم آباد) است. برای این منظور ابتدا یک پشتبام نمونه به مساحت ۳۹/۳ مترمربع انتخاب و به باران سنج و منبع ذخیره رواناب مجهز شده است. بارش - رواناب طی دو سال جمع‌آوری و تحلیل شده‌اند. برای تحلیل آنها از پنج الگوی رگرسیونی استفاده شده است. الگوی برتر تمام لگاریتمی (رابطه ۶) است که با بررسی آمارها و رفتار باقی مانده‌ها انتخاب شده است. آمار مشاهده‌ای کوتاه مدت است. برای تحلیل دراز مدت بارش - رواناب از آمار ۱۸ ساله (به صورت روزانه) و ۵۵ ساله ایستگاه سینوپتیک مشهد (به صورت ماهانه) استفاده شده است. ابتدا آزمون‌های پایه برای قبول نمونه انجام شده است. سپس، تحلیل فراوانی این آمار با توزیع گامبل نوع ۱ با چهار روش برآورد صورت پذیرفته و روش برتر (MLM) با آزمون کولموگروف - اسمیرینوف انتخاب شده است. بارش با دوره‌های بازگشت مختلف (ترسالی و خشکسالی) محاسبه و با اعمال نسبت‌های به دست آمده به رواناب تبدیل شده است. ابتدا

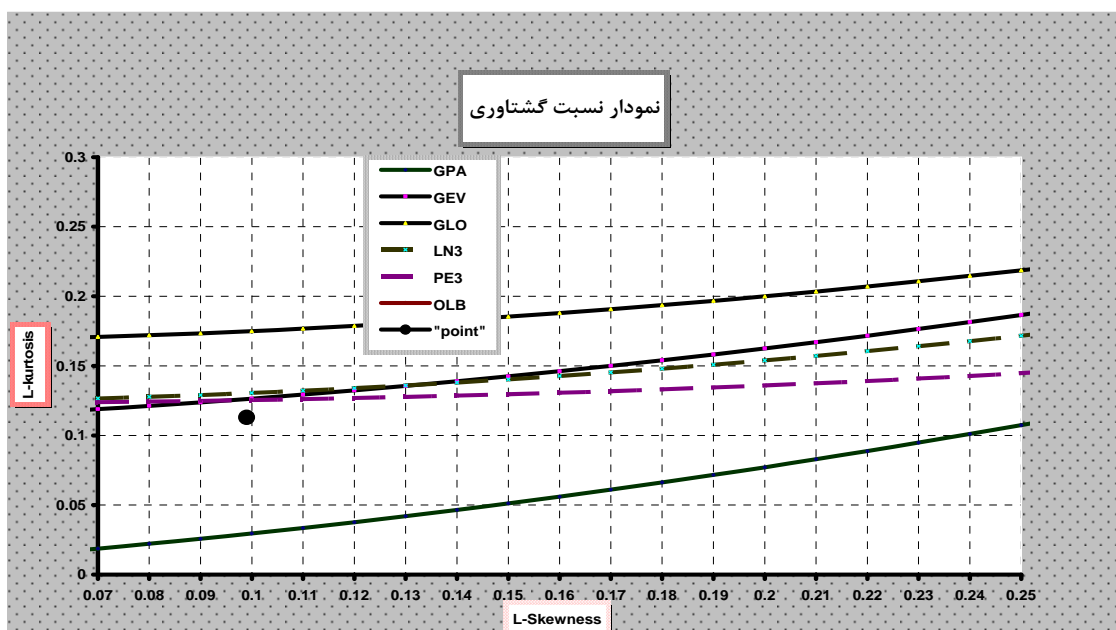
(ب) انتخاب و برازش توزیع: نمودار گشتاوری خطی برای تخمین اولیه توزیع مناسب به کار گرفته شده است. شکل ۴ این نمودار را نشان می‌دهد (۱۶). توزیع‌های لوگ نرمال، پارتو، خانواده گامبل و چند توزیع دیگر روی شکل به صورت منحنی رسم شده‌اند. ابتدا باید دو نسبت گشتاوری خطی یعنی ضرایب چولگی و کشیدگی داده‌ها را حساب که مقادیر آنها $tow4 = 0/113$ و $tow3 = 0/099$ است. نقطه مربوط به این دو نسبت روی شکل ۴ پیاده و با دایره توپر نشان داده شده است. نقطه نزدیک به خانواده گامبل است. بنابراین توزیع گامبل نوع ۱ می‌تواند مناسب باشد. توزیع گامبل نوع ۱ را با چهار روش مختلف برآورد بر ۵۵ سال داده‌های بارندگی سالانه مشهد برازش داده‌ایم. آزمون کولموگروف - اسمیرینوف برای نیکنوی برازش انتخاب و روش حداکثر درست‌نمایی (MLM) بهترین برازش را دارد. سپس، مبادرت به برآورد بارندگی در دوره‌های ترسالی و خشکسالی شده است (۱۴و۲).

تصمیم‌گیری در ذخیره رواناب حاصل از بارش‌ها نیاز به دانستن رواناب در دوره‌های بازگشت ترسالی و خشکسالی است. برای این منظور از نتایج تحلیل فراوانی ۵۵ سال آمار ایستگاه سینوپتیک مشهد استفاده شده است. متوسط بارش مشهد ۲۵۵/۱ میلی‌تر است. توزیع ماهانه این بارش در دوره ۵۵ ساله موجود است. می‌توان با تقسیم کردن بارش در دوره‌های بازگشت مختلف بر متوسط بارش و اعمال نسبت‌های ماهانه مبادرت به تعیین بارش ماهانه در دوره‌های بازگشت مختلف کرد. رواناب ماهانه نیز قبلاً محاسبه شده است. با تقسیم بارندگی در دوره‌های بازگشت مختلف بر بارندگی متوسط سالانه ضریبی به دست می‌آید. می‌توان رواناب ماهانه و سالانه را در دوره‌های بازگشت مختلف با ضرب این ضریب در رواناب سالانه و ماهانه به دست آورد. بنابراین می‌توان توزیع رواناب ماهانه پشتبام کارگاه معماری را در دوره‌های بازگشت مختلف ترسالی و خشکسالی به دست آورد.

تشکر و قدردانی

پروژه استحصال آب با پشتیبانی مالی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد مشهد انجام گرفته است. معاونت مطالعات آب منطقه‌ای خراسان جناب مهندس سیدعلی حسینی نیز در تجهیز ایستگاه باران سنج همکاری صمیمانه داشته‌اند. از زحمات و مساعدت‌های این عزیزان این تشکر و قدردانی می‌شود.

رواناب پشت‌بام نمونه (۳/۳۹ مترمربع) برآورد و سپس نتایج به کل پشت‌بام‌های دانشگاه (۱۸۶۸۰ مترمربع) تعمیم داده شده است. متوسط رواناب ۵۵ ساله این پشت‌بام‌ها ۸۴۲۸ مترمکعب است. نتایج نهائی در جدول ۳ آمده است. نتایج حاصل از این پروژه پژوهشی با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته و انجام آزمون‌های مناسب قبول و مورد تأیید قرار می‌گیرد و به عنوان راهکاری برای استحصال آب پیشنهاد می‌شود.



(شکل ۴) - نمودار گشتاوری خطی برای انتخاب اولیه توزیع مناسب

(جدول ۱) - آمارهای مشاهده‌ای بارش و رواناب، به همراه بارش خالص و درصد ضریب جریان

ردیف	تاریخ وقوع	نوع بارش	ارتفاع بارش (میلی متر)	حجم رواناب (مترمکعب)	بارش خالص (میلی متر)	درصد ضریب جریان
۱	۱۳۸۶/۱۰/۲۳	برف	۵۰/۰	۰/۰۲۱	-	-
۲	۱۳۸۶/۱۱/۱۵	برف	۱۲۰/۰	۰/۳۰۸	-	-
۳	۱۳۸۶/۱۱/۲۷	باران	۴/۵	۰/۱۶۲	۴/۱	۹۱/۶
۴	۱۳۸۷/۱/۱۵	باران	۱۰	۰/۲۱۸	۵/۶	۵۵/۵
۵	۱۳۸۷/۱/۲۵	باران	۷	۰/۱۸۲	۴/۶	۶۶/۲
۶	۱۳۸۷/۱/۲۶	باران	۴	۰/۱۴۴	۳/۷	۹۱/۶
۷	۱۳۸۷/۲/۱۵	باران	۴	۰/۱۴۴	۳/۷	۹۱/۶
۸	۱۳۸۷/۲/۱۵	باران	۴	۰/۱۴۴	۳/۷	۹۱/۶
۹	۱۳۸۷/۳/۲	باران	۲	۰/۰۷۲	۱/۸	۹۱/۶
۱۰	۱۳۸۷/۳/۴	باران	۲	۰/۰۷۲	۱/۸	۹۱/۶
۱۱	۱۳۸۷/۸/۱۵	باران	۱۲	۰/۴۳۵	۱۱/۱	۹۲/۲
۱۲	۱۳۸۷/۹/۱۳	باران	۶	۰/۱۹۵	۵	۸۲/۷
۱۳	۱۳۸۷/۹/۱۷	باران	۶	۰/۱۹۵	۵	۸۲/۷
۱۴	۱۳۸۷/۹/۲۳	باران	۷/۵	۰/۲۷۰	۶/۹	۹۱/۶
۱۵	۱۳۸۷/۱۰/۱۵	باران	۱۲	۰/۴۳۵	۱۱/۱	۹۲/۲
۱۶	۱۳۸۷/۱۰/۲۱	باران	۶/۵	۰/۲۲۵	۵/۷	۸۸/۱
۱۷	۱۳۸۷/۱۱/۴	باران	۶	۰/۱۹۵	۵/۰	۸۳/۷
۱۸	۱۳۸۷/۱۱/۱۴	باران	۱۰	۰/۳۷۵	۹/۵	۹۵/۴
۱۹	۱۳۸۷/۱۱/۳۰	باران	۱۵	۰/۵۱۰	۱۳/۰	۸۶/۶
۲۰	۱۳۸۷/۱۲/۲	باران	۶	۰/۱۹۵	۵/۰	۸۳/۷
۲۱	۱۳۸۷/۱۲/۱۳	باران	۱۶	۰/۵۱۰	۱۲/۴	۸۱/۱
۲۲	۱۳۸۷/۱۲/۱۵	باران	۱۲	۰/۴۳۵	۱۱/۱	۹۲/۲
۲۳	۱۳۸۷/۱۲/۲۷	باران	۱۳	۰/۴۸۰	۴/۶	۹۴/۰
۲۴	۱۳۸۸/۱/۱	باران	۶	۰/۱۹۵	۵	۸۲/۷
۲۵	۱۳۸۸/۱/۲	باران	۱۲	۰/۴۳۵	۱۱/۱	۹۲/۲
۲۶	۱۳۸۸/۱/۵	باران	۱۶	۰/۵۱۰	۱۳	۸۱/۱
۲۷	۱۳۸۸/۱/۱۱	باران	۲۵	۰/۹۰۰	۲۲/۹	۹۱/۶
۲۸	۱۳۸۸/۱/۲۱	باران	۶/۵	۰/۲۲۵	۵/۷	۸۸/۱
۲۹	۱۳۸۸/۱/۲۴	باران	۱۷	۰/۶۳۰	۱۶/۰	۹۴/۳
۳۰	۱۳۸۸/۱/۳۱	باران	۳/۸	۰/۱۲۰	۳/۰	۸۰/۴
۳۱	۱۳۸۸/۲/۶	باران	۱۲	۰/۴۳۵	۱۱/۱	۹۲/۲
۳۲	۱۳۸۸/۲/۱۳	باران	۱۰	۰/۳۷۵	۹/۵	۹۵/۴
۳۳	۱۳۸۸/۲/۲۸	باران	۴	۰/۱۵۰	۳/۸	۹۴/۴
۳۴	۱۳۸۸/۲/۲۸	باران	۵	۰/۱۶۵	۴/۲	۸۴/۰
۳۵	۱۳۸۸/۲/۲۹	باران	۴	۰/۱۵۰	۳/۸	۹۵/۴
۳۶	۱۳۸۸/۳/۷	باران	۴	۰/۱۵۰	۳/۸	۹۵/۴
۳۷	۱۳۸۸/۳/۹	باران	۴	۰/۱۵۰	۳/۸	۹۵/۴
۳۸	میانگین	-	۸/۴	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۸۸/۰
۳۹	واریانس	-	۲۶/۶۶	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۸/۵
۴۰	ضریب چولگی	-	۱/۱۹۱	۱/۳۰۰	۱/۳۰۰	-۲/۱۹۲
۴۱	ضریب کشیدگی	-	۱/۵۴۵	۱/۸۸۷	۱/۸۸۷	۶/۰۶۰

(جدول ۲) - خصوصیات الگوهای برازشی برآمار رواناب - بارش

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
Runoff = $\beta_0 + \beta_1 \text{ Rain} = -0.06 + 0.035 \text{ Rain}$ (الگوی ۱)							
۲	ضرایب الگو	St-Erro.	آماره t	P-Value	R^۲	Adj - R^۲	D-W
۳	$\beta_0 = -0.06$	-0.10	-0.560	-0.579	0.972	0.971	1.733
۴	$\beta_1 = 0.035$	-0.01	33/62	-0.00	-	-	-
۵	آماره F	Min Stud.D.R	Max Stud.D.R	Min Cooks	Max Cooks	Min Cent.L	Max Cent.L
۶	3130	-5/877	1/255	-0.00	0.277	0.001	0.029
Runoff = $\beta_1 \text{ Rain} = 0.035 \text{ Rain}$ (الگوی ۲)							
۸	ضرایب الگو	St-Erro.	آماره t	P-Value	R^۲	Adj - R^۲	D-W
۹	$\beta_1 = 0.035$	-0.01	64/7	-0.00	0.992	0.992	1.76
۱۰	آماره F	Min Stud.D.R	Max Stud.D.R	Min Cooks	Max Cooks	Min Cent.L	Max Cent.L
۱۱	4192	-5/97	1/344	-0.00	0.537	0.001	0.184
Runoff = $\beta_0 + \beta_1 \text{ Rain} = -0.001 + 0.035 \text{ Rain}$ (الگوی ۳)							
۱۳	ضرایب الگو	St-Erro.	آماره t	P-Value	R^۲	Adj - R^۲	D-W
۱۴	$\beta_0 = -0.001$	-0.06	-0.290	-0.581	0.990	0.990	2/370
۱۵	$\beta_1 = 0.035$	-0.01	54/56	-0.00	-	-	-
۱۶	آماره F	Min Stud.D.R	Max Stud.D.R	Min Cooks	Max Cooks	Min Cent.L	Max Cent.L
۱۷	2966	-3/405	1/685	-0.001	0/448	0.001	0/305
Ln(Runoff) = $\beta_1 \text{ Ln(Rain)} = -0.564 \text{ Ln(Rain)}$ (الگوی ۴)							
۱۹	ضرایب الگو	St-Erro.	آماره t	P-Value	R^۲	Adj - R^۲	D-W
۲۰	$\beta_1 = -0.564$	-0.88	-6/43	-0.00	0.564	0.560	1/224
۲۱	آماره F	Min Stud.D.R	Max Stud.D.R	Min Cooks	Max Cooks	Min Cent.L	Max Cent.L
۲۲	41/36	-2/327	1/789	-0.001	0/244	0.001	0.075
Ln(Runoff) = $\beta_0 + \beta_1 \text{ Ln(Rain)} = -3/239 + 0.996 \text{ Ln(Rain)}$ (الگوی ۵)							
۲۴	ضرایب الگو	St-Erro.	آماره t	P-Value	R^۲	Adj - R^۲	D-W
۲۵	$\beta_0 = -3/239$	-0.34	-99/2	-0.00	0.992	0.991	2/159
۲۶	$\beta_1 = 0.996$	-0.17	60/2	-0.00	-	-	-
۲۷	آماره F	Min Stud.D.R	Max Stud.D.R	Min Cooks	Max Cooks	Min Cent.L	Max Cent.L
۲۸	3640	-2/037	1/154	-0.001	0/132	0.000	0/129

نمادها: D-W آماره دوربین-واتسن. Min-Cook و Max-Cooks حداقل و حداکثر آماره کوک. Min -S.D.R و Max -S.D.R حداقل و حداکثر باقی مانده (Press) و Min-Cent.L و Max-Cent.L حداقل و حداکثر اهرمگون مرکزی

جدول ۳- برآورد رواناب (مترمکعب) پشت‌بام‌های دانشگاه در دوره‌های بازگشت مختلف ترسالی و خشکسالی

حجم رواناب (مترمکعب) برای پشت‌بام‌های دانشگاه در دوره‌های بازگشت ترسالی (مساحت ۱۸۶۸۰ مترمربع)														
دوره بازگشت	ترسالی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Agu	Sep	Oct	Nov	Dec	سالانه
Tr=5	معدل	۱۰۸۶/۴	۱۱۵۷/۳	۱۸۳۷/۶	۱۵۳۳/۰	۹۱۳/۸	۱۴۲/۰	۳۰/۵	۰/۰	۶۰/۹	۲۸۴/۳	۵۳۸/۱	۸۱۲/۱	۸۴۲۶/۵
	Xt	۱۳۲۹/۹	۱۴۲۱/۳	۲۲۵۳/۵	۱۸۷۸/۲	۱۱۱۶/۷	۱۷۲/۶	۴۰/۶	۰/۰	۷۱/۱	۳۴۵/۲	۵۵۹/۸	۹۹۴/۹	۱۰۳۲۵/۰
	Rxt	۱۶۵۴/۸	۱۷۶۶/۶	۲۷۹۱/۸	۲۳۳۴/۶	۱۳۹۱/۰	۲۱۳/۲	۵۰/۸	۰/۰	۹۱/۴	۴۴۶/۶	۸۲۲/۴	۱۲۳۸/۷	۱۲۸۱۲/۴
Tr=10	Lxt	۱۱۹۸/۱	۱۲۷۹/۳	۲۰۲۰/۲	۱۶۸۵/۳	۱۰۰۵/۰	۱۵۲/۳	۳۰/۵	۰/۰	۷۱/۱	۳۱۴/۶	۵۸۸/۹	۸۹۳/۵	۹۲۷۹/۲
	Xt	۱۵۲۳/۰	۱۶۳۴/۵	۲۵۷۸/۲	۲۱۵۳/۱	۱۲۷۹/۳	۲۰۳/۱	۴۰/۶	۰/۰	۸۱/۲	۳۹۶/۰	۷۵۱/۲	۱۱۳۷/۰	۱۱۸۲۷/۵
	Rxt	۱۷۱۵/۸	۱۸۲۷/۳	۲۸۹۴/۳	۲۴۱۵/۸	۱۴۴۱/۶	۲۲۳/۶	۵۰/۸	۰/۰	۹۱/۴	۴۴۶/۶	۸۴۲/۷	۱۲۷۹/۳	۱۳۲۶۹/۳
Tr=20	Lxt	۱۳۴۰/۱	۱۴۳۱/۵	۲۲۶۴/۲	۱۸۸۸/۴	۱۱۲۷/۰	۱۷۲/۶	۴۰/۶	۰/۰	۷۱/۱	۳۵۵/۴	۶۵۹/۸	۱۰۰۵/۰	۱۰۳۸۵/۹
	Xt	۱۷۱۵/۸	۱۸۲۷/۳	۲۸۹۴/۳	۲۴۱۵/۸	۱۴۴۱/۶	۲۲۳/۴	۵۰/۸	۰/۰	۹۱/۴	۴۴۶/۶	۸۴۲/۷	۱۲۷۹/۳	۱۳۲۶۹/۳
	Rxt	۱۹۴۹/۳	۲۰۸۱/۳	۳۳۰۰/۱	۲۷۵۱/۲	۱۶۳۴/۵	۲۵۳/۸	۵۰/۸	۰/۰	۱۱۱/۷	۵۰۷/۷	۹۶۴/۴	۱۴۵۱/۸	۱۵۱۰۶/۹
Tr=50	Lxt	۱۴۷۳/۱	۱۵۷۳/۶	۲۴۹۷/۰	۲۰۸۱/۳	۱۲۳۸/۷	۱۹۲/۹	۴۰/۶	۰/۰	۸۱/۲	۳۸۵/۸	۷۳۰/۹	۱۱۰۶/۷	۱۱۴۵۲/۰
	Xt	۱۹۴۹/۳	۲۱۹۱/۴	۳۳۰۰/۱	۲۷۵۱/۲	۱۶۴۴/۷	۲۵۳/۸	۵۰/۸	۰/۰	۱۱۱/۷	۵۰۷/۷	۹۶۴/۴	۱۴۶۱/۹	۱۵۱۴۷/۴
	Rxt	۲۲۵۳/۹	۲۴۰۶/۲	۳۸۱۷/۰	۳۱۷۸/۴	۱۸۹۸/۵	۲۹۴/۳	۶۰/۹	۰/۰	۱۲۱/۸	۵۸۸/۹	۱۱۱۶/۷	۱۶۸۵/۳	۱۷۴۹۲/۶

حجم رواناب (مترمکعب) برای پشت‌بام‌های دانشگاه در دوره‌های بازگشت خشکسالی (مساحت ۱۸۶۸۰ مترمربع)														
دوره بازگشت	خشکسالی	Lxt	Xt	Rxt	Lxt	Xt	Rxt	Lxt	Xt	Rxt	Lxt	Xt	Rxt	Lxt
Tr=5	Lxt	۱۶۵۴/۸	۱۷۶۶/۵	۲۷۹۱/۸	۲۳۳۴/۶	۱۳۹۱/۰	۲۱۳/۲	۵۰/۸	۰/۰	۹۱/۴	۴۴۶/۶	۸۲۲/۴	۱۲۳۸/۷	۱۲۸۱۲/۴
	Xt	۸۲۲/۴	۸۷۳/۲	۱۳۸۰/۷	۱۱۵۷/۳	۶۹۰/۴	۱۱۱/۷	۲۰/۳	۰/۰	۵۰/۸	۲۱۳/۲	۴۰۶/۱	۶۰۹/۲	۶۳۴۵/۲
	Rxt	۸۳۲/۴	۸۹۳/۵	۱۴۱۱/۳	۱۱۷۷/۶	۷۰۰/۶	۱۱۱/۷	۲۰/۳	۰/۰	۵۰/۸	۲۲۳/۴	۴۱۶/۳	۶۲۹/۵	۶۴۸۷/۵
Tr=10	Lxt	۸۰۲/۱	۸۵۲/۹	۱۳۵۰/۲	۱۱۲۷/۰	۶۷۰/۱	۱۰۱/۵	۲۰/۳	۰/۰	۴۰/۶	۲۱۳/۲	۳۹۶/۰	۵۹۸/۹	۶۲۰۳/۲
	Xt	۷۲۰/۹	۷۷۱/۵	۱۲۲۸/۴	۱۰۲۵/۵	۶۰۹/۲	۹۱/۴	۲۰/۳	۰/۰	۴۰/۶	۹۲/۹	۳۵۵/۴	۵۳۸/۱	۵۶۲۴/۵
	Rxt	۷۷۱/۵	۸۲۲/۴	۱۲۹۹/۵	۱۰۸۶/۴	۶۴۹/۸	۱۰۱/۵	۲۰/۳	۰/۰	۴۰/۶	۲۰۳/۱	۳۸۵/۸	۵۷۸/۶	۵۹۶۹/۷
Tr=20	Lxt	۶۸۰/۳	۷۳۰/۹	۱۱۴۷/۲	۹۶۴/۴	۵۶۸/۶	۹۱/۴	۲۰/۳	۰/۰	۴۰/۶	۱۸۲/۸	۳۳۴/۹	۵۰۷/۷	۵۲۷۹/۳
	Xt	۶۵۹/۸	۷۰۰/۶	۱۱۰۶/۷	۹۲۳/۸	۵۴۸/۳	۸۱/۲	۲۰/۳	۰/۰	۶۰/۴	۱۷۲/۶	۳۳۴/۹	۴۸۷/۲	۵۰۹۶/۵
	Rxt	۷۲۰/۹	۷۷۱/۵	۱۲۱۸/۴	۱۰۱۵/۲	۶۰۹/۲	۹۱/۴	۲۰/۳	۰/۰	۴۰/۶	۱۹۲/۹	۳۵۵/۴	۵۳۸/۱	۵۵۹۴/۰
Tr=50	Lxt	۵۸۸/۹	۶۲۹/۵	۱۰۰۵/۰	۸۳۲/۴	۴۹۷/۵	۸۱/۲	۲۰/۳	۰/۰	۳۰/۵	۱۵۲/۳	۲۹۴/۳	۴۴۶/۶	۴۵۹۹/۰
	Xt	۵۸۸/۹	۶۲۹/۵	۹۹۴/۹	۸۳۲/۴	۴۹۷/۵	۸۱/۲	۲۰/۳	۰/۰	۳۰/۵	۱۵۲/۳	۲۹۴/۳	۴۳۶/۶	۴۵۵۸/۴
	Rxt	۶۷۰/۱	۷۲۰/۹	۱۱۳۷/۰	۹۴۴/۱	۵۶۴/۶	۹۱/۴	۲۰/۳	۰/۰	۴۰/۶	۱۷۲/۶	۳۳۴/۹	۴۹۷/۵	۵۲۰۸/۲
Lxt	۵۰۷/۷	۵۳۸/۱	۸۵۲/۹	۷۱۰/۶	۴۲۶/۳	۶۰/۹	۱۰/۳	۰/۰	۳۰/۵	۱۳۲/۰	۲۵۳/۸	۳۷۵/۷	۳۹۰۸/۷	

توضیح: نمادهای Xt، Rxt و Tr، به ترتیب نمایش رواناب، کران بالا و پائین ۹۵٪، دوره بازگشت ترسالی و خشکسالی

منابع

- ۱- رضائی پزند ح. ۱۳۸۰. کاربرد آمار و احتمال در منابع آب. چاپ دانشگاه آزاد مشهد.
- ۲- رضائی پزند ح. و قهرمان ب. ۱۳۸۲. دستورالعمل تعیین ظرفیت زهکش های سطحی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، وزارت نیرو.
- ۳- رضوی پاریزی س.ا. ۱۳۸۴. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون خطی، چاپ دانشگاه باهنر کرمان.
- 4- Fewkes A. 1999. The use of rainwater for WC flushing: The field testing of collection, Journal of Building and Environment, vol. 34:765-772.
- 5- Carder D.J. 1970. Roaded Catchments- A Method of Increasing Run Off into Dams and Reservoirs. Technical Bulletin No. 5. Western Australian Department of Agriculture.
- 6- Cluff C.B. 1981. Surface Storage for Water Harvesting Agrisystems, Rainfall Collection for Agriculture in Arid and Semi Arid Regions, G. R. Dutt, et all, C. A. B., Farnham House, Slough, UK.
- 7- Belsley D.A., et all. 2004. Regression Diagnostics. John Willey & Sons.
- 8- Villarreal E.L., and Dixon A. 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in

- Ringdansen, journal of Building and Environment, vol. 40:1174-1184.
- 9- Frasier G.W., and Myer L.E. 1983. Handbook of Water Harvesting. Agricultural Handbook No. 600. US Department of Agriculture, A. R. S., USA.
 - 10- O'Bryan D., et all. 1969. Water, Population Pressure and Ancient Indian Migrations. Bulletin 10, International Hydrologic Decade. June 1969. pp. 438-442.
 - 11- Hosking J.R. and Wallis J.R.. 1997. Regional Frequency Analysis An Approach Based on L-Moments. Cambridge Press Univversity.
 - 12- Maronna R.A., Martin R.D., and Yahai V.j. 2006. Robust Statistics: Theory and Methods. John Willey& Sons.
 - 13- Rafael Bras L. 1990. Hydrology, An Introduction to Hydrological Science, Adison- Wesley Pub.
 - 14- Lawrence Dingman S. 2002. Physical Hydrology. Perentice Hall.



Runoff regression models for small catchments

J. Tabatabee-Yazdai¹ - H. Rezaee- Pazhand^{2*} - H. Khatami-Mashhadi³

Abstract

This paper is results of analysing the data which reported from a harvesting project. The site for collecting data is buildings' roofs of Azad Islamic University of Mashhad. A rain gauge and a small reservoir (capacity is 4 cubic meters) were set at this site. Then the amount of precipitation and its runoff were measured during two years (from 1386, Dey, 23 to 1388, Tir, 3). The sample size is 35 observations. The relationship between runoff and rainfall was estimated by regression methods. The best model was chosen by analyzing residuals and testing the Models. Then the runoff were estimated through this model. The 55-year annual rainfalls of Mashhad synoptic station (1951-2005) were selected and frequency analysis was done on them. Then the roofs' runoff was estimated by this frequency analysis for both wet and dry years. The total area of roofs and their mean annual runoff in ordered are 18680 square meters and 8428 cubic meters.

Key words: Water harvesting, Roof, Runoff, Azad Islamic University of Mashhad

1,2,3- Assitant prof, Mashhad Agricultural Research Station, Instructors, Dept. of Clivil Eng, Azad Islamic University, of Mashhad
Respectively
(* - Corresponding author Email: hrpazhand@yahoo.com)