تعیین احتمال خطر در طرح‌های هیدرولوژی و منابع آب

نگارش:

علی‌ولی خوجینی

استادیار گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

چکیده:

در طرح‌های مهندسی هیدرولوژی ومنابع آب، قبل ازهمه چیز لازم است دربارۀ فراوانی وقوع رویدادها یا بعبارت دیگر، دوره برگشت تصمیم‌گرفت. در این مقاله طرز تهیه منحنی فراوانی تجمعی تشریح واحتمال و دوره برگشت وهمچنین اشتباهات مقادیر کوچک احتمال مورد بحث قرار میگیرد. در اینجا کاربرد نظریه احتمالات در مورد احتمال خطر مربوط به طرح‌های هیدرولوژی ومنابع آب ازنظر میگذرد. جدول ونموداری تنظیم و ارائه شده که دوره برگشت را برحسب عمر مورد انتظار طرح، برای سطوح مختلف احتمال به‌دست میدهد. برای روشن شدن موضوع چند مثال عملی طرح وحل شده است. در خاتمه بحث ونتیجه‌گیری های‌مربوط ذکر شده است.

I - مقدمه:

هیدرولوژی آماری اساساً برپایه تفسیر مشاهدات در زمینه‌گردش آب در طبیعت بنا شده است. در واقع پدیده‌های هیدرولوژی نتیجه عوامل پیچیده‌ای هستند که ترکیب آنها خیلی مشکل‌تر از آن است که بتوان مکانیسم آنرا بطور کامل تجزیه وتحلیل نمود. باین‌ترتیب هیدرولوژی‌در یک محدوده علی (Deterministic) مطلق قرار نخواهد داشت، وفقط احتمالات میتواند مدلهای لازم را جهت تشریح پدیده‌های آن فراهم نماید. بنابراین پیش‌بینی آماری پدیده‌های هیدرولوژی هم بایستی بصورت احتمال بیان‌گردد. گرچه این پدیده‌ها، حداقل تادرجه‌ای، تصادفی هستند مع‌الوصف وقوع رویدادهائی که برپایه مشاهدات سالانه متکی است میتواند بطور مستقل مورد بحث قرارگرفته وتغییرات سیستم هیدرولوژی برحسب زمان ثابت فرض‌شود. کاربرد نظریه‌ریاضی‌احتمال‌در وقوع رویدادهای‌هیدرولوژی برای‌یک سیستم زمانی لامتغیر بوسیله Chow ، Gumbel ، (Linsley ، Kohler ، and Paulhus) ، Kendall ، Thomas وسایرین مورد تجزیه وتحلیل قرارگرفته است. معذالک فقط Gumbel و Linsley et al بدون آنکه بقدر کافی به کاربرد عملی آن تکیه کنند، بطور خلاصه به «احتمال خطر ساده» که طرح‌های هیدرولوژی را در برمیگیرد اشاره کرده‌اند.

قوانین احتمالات در هیدرولوژی آماری عموما «به دوگونه بکار برده میشود: از طرفی برای تعبیر وتفسیر در تطبیق وبرازش قانون احتمال بامنحنی‌های فراوانی تجربی واز طرف دیگر برای پیش‌بینی ونتیجه‌گیری‌های ضروری. در

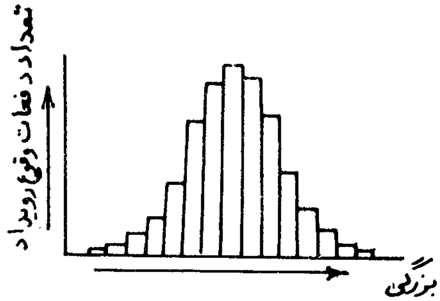
طرح های مهندسی هیدرولوژی ومنابع آب اغلب قبل ازهمه لازم است درباره فراوانی وقوع رویدادها یابعبارت دیگر دوره برگشت تصمیم گرفت. در بسیاری از موارد طرح های آب‌شناسی با توجه بحداقل محدودیت‌ها میتواند برمعیار رابطه «حد مطلوب مقرون بصرفه بودن» ، متکی شود. اکثر اوقات دوره برگشت مربوط به رویدادهای هیدرولوژی میتواند با درنظرگرفتن وابستگی آن به عمر ودوام مورد انتظار طرح مورد نظر، واحتمال بروز خطر در عدم موفقیت که خود براساس مسائل اقتصادی، اجتماعی، مهندسی یا سایر موارد دیگر طرح متکی میباشد تعیین گردد.

در این مقاله ابتدا طرز تهیه یک منحنی فراوانی تجمعی در رابطه با دانسیته احتمال مربوط بیک سری مشاهدات تشریح شده و احتمال و دوره برگشت و همچنین اشتباهات تخمین مقادیر کوچک احتمال مورد بحث قرار میگیرد. سپس کاربرد احتمال خطر مربوط به طرح های هیدرولوژی درکارهای مهندسی ازنظرمیگذرد. همین طور کوشش بعمل آمده تااهمیت اینکار نشان داده شود.

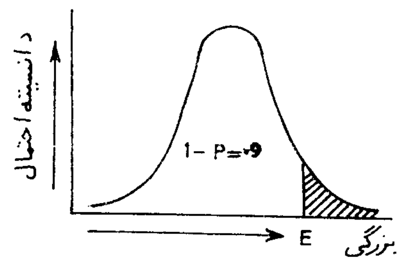
II ـ منحنی فراوانی تجمعی

معمولا «برآورد یک رویداد نظیر بده‌های متوسط سالانه رودخانه، بده‌های حداقل وحداکثر وهمچنین بارندگیها وغیره از منحنی فراوانی تجمعی بدست میآید. این منحنی براساس مشاهدات رویدادها متکی بوده وبوسیله یکی ازچندروش معمولی که بزرگی رویدادها رابه متوسط فاصله برگشت یااحتمال مربوط میکند ترسیم میگردد. در چنین مورد بزرگی و فاصله برگشت، هردو، موضوع اشتباه نمونه‌گیری را مطرح میکنند. اشتباه نمونه‌گیری بزرگی پدیده می‌تواند بوسیله افزایش تعداد نمونه کاهش یابد. برای فاصله برگشت هم یک اشتباه نمونه‌گیری وجود دارد، زیرا فاصله برگشت مقدار ثابتی نیست بلکه متوسط طول فواصل بین رویدادها میباشد که از اندازه معینی تجاوز میکند.

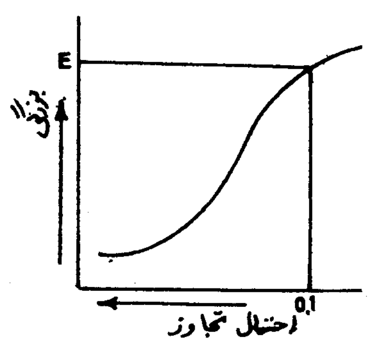
هیستوگرام شکل (۱)، فراوانی رویدادها را برای چندین دامنه تغییرات برحسب بزرگی نشان میدهد. اگر تعداد مشاهدات به سمت بینهایت میل کند ودر ضمن، فاصله بین دسته‌ها یعنی عرض مستطیل‌ها، کوچک شده وبه سمت صفر میل نماید، خط پوشش نمودار مستطیلی به منحنی هموار نزدیک می‌شود. سپس اگر مقادیر عرضی به عددی تقسیم شوند به‌طوریکه سطح زیر منحنی برابر واحدگردد منحنی بدست آمده منحنی «دانسیته احتمال» خواهد بود شکل (۲) .



شکل ۱ـ هیستوگرام



شکل ۲ـ منحنی دانستیه احتمال



شکل ۳ـ منحنی فراوانی تجمعی از منحنی دانسیته احتمال

برای بسط نظری منحنی تجمعی فرض میشود که منحنی «دانسیته احتمال» شکل (۲) شناخته شده باشد . برحسب تعریف احتمال یک رویداد تصادفی که درهر فاصله خاص قرار میگیرد برابر نسبت سطح زیر منحنی بین این فاصله، به کل سطح زیر منحنی میباشد. مثلا سطح ها شور خورده منحنی شکل (۲) یکد همسطح کل است و طبق تعریف احتمال آنکه رویداد تصادفی از E بزرگتر باشد ۱/. میباشد . احتمالی که درست مربوط به رویداد E باشد وجود ندارد . در توزیع پیوسته ، احتمال فقط بیک رویداد موجود بین یک دامنه تغییرات بزرگتریا کوچکتر از یک اندازه معین E مربوط میگردد .

در هیدرولوژی، تفسیر منحنی فراوانی تجمعی یعنی نسبت دادن احتمال وقوع بیک رویداد «برابر با یابزرگتریا کوچکتر از مقدار معین»، قراردادی است. اگر سطح زیرمنحنی شکل (۲) به قطعات باریک بی‌شماری تقسیم گردد و مساحت هریک ازاین سطوح نسبی بطور تجمعی برحسب بزرگی رسم گردد نتیجه همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده، منحنی فراوانی تجمعی خواهد بود. در واقع این منحنی انتگرال منحنی «دانسیته احتمال» میباشد.

در کارهای عملی «دانسیته احتمال» هرگز معلوم نیست، منحنی فراوانی تجمعی بوسیله یکی از دو روش بدست میآید. روش اول مستلزم تطبیق ریاضی داده‌ها بایک توزیع نظری انتخابی اختیاری میباشد، که در کتابهای آمار شرح داده شده است. روش دوم که شرح مختصر آن در زیر آمده روش نیمه گرافیکی میباشد ولازمه آن فرضیاتی نظیر نوع توزیع نمی‌باشد.

بدست آوردن منحنی فراوانی بوسیله روش گرافیکی بشرح زیر صورت میگیرد: (۱) مرتب کردن داده‌ها برحسب بزرگی، (۲) محاسبه احتمال هریک از ارقام، (۳) تعیین موقعیت هریک از نقاط روی کاغذ احتمال، و(٤) تطبیق خطی به نقاط رسم شده.

احتمال مربوط بهریک از مقادیر بوسیله یکی از چند فرمول جدول (۱) بدست میآید. که در آنها m رتبه یا شماره ردیف بترتیب نزولی (برای بزرگترین رقم رویداد $m=1$) و N تعداد نمونه میباشد .

جدول (۱)

اسم روش	$P(X>x)$	مثال برای N=10 m=1 — P	T
کالیفرنیا (California, 1923)	$\frac{m}{N}$	0.10	10
هیزن (Hazen, 1930)	$\frac{2m-1}{2N}$	0.05	20
وی بال (Weibull, 1930)	$\frac{m}{N+1}$	0.091	11
برد (Beard, 1943)	* $1-(0.5)^{1/N}$	0.067	14.9
چگادیف (Chegadayev, 1955)	$\frac{m-0.3}{N+0.4}$	0.067	14.9
بلوم (Blom, 1958)	$\frac{m-3/8}{N+1/4}$	0.061	16.4
تاکی (Tukey, 1962)	$\frac{3m-1}{3N-1}$	0.065	15.5
گرینگورتن (Gringorten, 1963)	$\frac{m-0.44}{N+0.12}$	0.055	18

*-این فرمول فقط برای $m=1$ بکار میرود، سایر نقاط باانترپولاسیون خطی بین این ومقدار ۵/. برای میانه رویداد بدست میآید.

یادآوری میگردد که بین روابط فوق فرمول زیر متداول تراز سایرین میباشد.

$$P=\frac{m}{N+1} \qquad (۱)$$

III ـ تعیین احتمال وقوع و دوره برگشت

اساس ریاضی مورد استفاده برای ارزیابی احتمال خطر سادهای که‌طرح‌های هیدرولوژی را دربرمیگیرد خیلی ساده میباشد . درحقیقت مجموع احتمالات وقوع وعدم‌وقوع یک رویداد برابر واحد است. برای یک زمان نامتغیر سیستم هیدرولوژی احتمال وقوع بزرگی یک رویداد X بزرگتر از مقدار Q طرح‌در طول‌تمامی N سال مورد بررسی $P(X>Q)$ وعدم وقوع آن $P(X\leqslant Q)$ میباشد. بنابراین داریم :

$$P(X>Q)+P(X\leqslant Q)=1 \qquad (۲)$$

در هیدرولوژی، دوره برگشت، T ، یک رویداد نظیر سیلاب یابارندگیهای شدید به‌بزرگی Q میتواند نظیر متوسط طول زمانی که در آن Qبطور آماری یکدفعه برابر یابیشتر خواهد بود تعیین‌گردد. پس‌اگر T برحسب سال باشد، احتمال متغیرX، برابر یابزرگتر از متغیر تصادفی Q در هر سال عبارت خواهد بود از :

$$p(X\geqslant Q)=\frac{1}{T} \qquad (۳)$$

ازنظر طبیعت پدیده‌های هیدرولوژی، X ، معمولا متغیر پیوسته‌است،پس‌احتمال $X=Q$ برابر صفر ومجموع احتمال‌وقوع وعدم وقوع برابر یک میباشد. بنابراین دوره برگشت احتمال وقوع $Q\geqslant X$ برای هرسال برابر خواهد بود با :

$$p(X\leqslant Q)=1-\frac{1}{T} \qquad (٤)$$

از آنجا که وقوع رویدادهایX، مستقل‌از یکدیگر فرض‌شده، احتمال قوع $Q\geqslant X$ برایNسال متوالی بوسیله رابطه زیر بدست میآید:

$$p_1(X\leqslant Q)p_2(X\leqslant Q)\cdots p_N(X\leqslant Q)=$$
$$p^N(X\leqslant Q)=P(X\leqslant Q)=\left(1-\frac{1}{T}\right)^N \qquad (٥)$$

احتمال خطر ساده عدم موفقیت مانند‌احتمال وقوع متغیر، X ،بزرگتر از مقدار Q طرح (نظیر بده حداکثر X بزرگتر از Q سیلابی است که از سرریز عبور میکند) از معادلات (۲) و(٥) برابر است با :

$$P(X>Q)=1-\left(1-\frac{1}{T}\right)^N \qquad (٦)$$

در واقع معادله(٦)احتمال‌خطر را برای آنکه سیلاب $X>Q$، حداقل یک مرتبه در N سال متوالی مشاهده شود، به‌دست میدهد.

بابسط این معادله بصورت سری خواهیم داشت:

$$P(X>Q)=\frac{N}{T}-\frac{N(N-1)}{2!T^2}+\frac{N(N-1)(N-2)}{3!T^3}\cdots$$

اگر T نسبت به N خیلی بزرگ باشد معادله فوق بصورت تقریبی زیر درمیآید :

$$P(X>Q)\approx\frac{N}{T} \qquad (٧)$$

از حل عددی معادله (٦) جدول شماره (٢) که دوره برگشت را برحسب سطوح متفاوت‌احتمال خطر ومقادیر مختلف عمر مورد انتظار طرح به دست میدهد، نتیجه میشود.

جدول (٢)- دوره‌های برگشت(T) برای سطوح متفاوت‌احتمال‌خطر ومقادیر مختلف عمر مورد انتظار طرح(N).

احتمال خطر	عمر مورد انتظار طرح (N)								
%	٢	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٥٠	٧٥	١٠٠
١	١٩٩/٥	٤٩٨	٩٩٦	١٤٩٢	١٩٩٢	٢٤٨٨	٤٩٧٥	٧٤٦٣	٩٩٥٣
٢	٩٩/٠	٢٤٨	٤٩٦	٧٤٣	٩٩٠	١١٣٨	٢٤٧٥	٣٧٠٤	٤٩٥٠
٥	٣٩/٥	٩٨/٠	١٩٥/٥	٢٩٢/٩	٣٩٠	٤٨٨	٩٧٦	١٤٦٢	١٩٤٩
١٠	١٩/٥	٤٨/١	٩٥/٤	١٤٢/٩	١٩٠/٣	٢٣٨	٤٧٥	٧١٢	٩٥٠
١٥	١٢/٥	٣١/٣	٦٢/٠	٩٠/٨	١٢٣/٦	١٥٤/٣	٣٠٨	٤٦٢	٦١٦
٢٠	٩/٤٧	٢٢/٩	٤٥/٣	٦٧/٧	٩٠/١	١١٢/٥	٢٢٤/٦	٣٣٧	٤٤٩
٢٥	٧/٤٦	١٧/٩	٣٥/٣	٥٢/٦	٧٠/٠	٨٧/٤	١٧٤/٣	٢٦١/٣	٣٤٨
٣٠	٦/١٢	١٤/٥	٢٨/٥	٤٢/٦	٥٦/٥	٧٠/٦	١٤٠/٧	٢١٠/٨	٢٨١
٤٠	٤/٤٤	١٠/٣	٢٠/١	٢٩/٩	٣٩/٧	٤٩/٥	٩٨/٤	١٤٧/٢	١٩٦/٣
٥٠	٣/٤٣	٧/٧٤	١٤/٩	٢٢/١	٢٩/٤	٣٦/٦	٧٢/٦	١٠٨/٧	١٤٤/٨
٧٥	٢/٠٠	٤/٠٢	٧/٧٢	١١/٠	١٤/٩	١٨/٥	٣٥/٦	٥٤/٦	٧٢/٧
٩٥	١/٣٩	٢/٣٢	٣/٨٦	٥/٥	٧/١٨	٨/٨٥	١٧/٢	٢٥/٥	٣٣/٩
٩٩	١/٠١	١/٦٦	٢/٧١	٣/٧٨	٤/٨٦	٥/٩٥	١١/٤	١٦/٨	٢٢/٦

بطورکلی احتمال‌وقوع رویداد $Q < X$ باندازه K دفعه در N سال بااستفاده‌از توزیع دوجمله‌ای که‌احتمال وقوع رویدادهای مستقل رابیان میکند بدست میآید:

$$f(K)=\binom{N}{K}\left(\frac{I}{T}\right)^{K}\left(I-\frac{I}{T}\right)^{N-K} \qquad (٨)$$

$$K=0\ ,\ I\ ,\ \ldots\ N$$

$$E[K]=\sum_{K=0}^{N} K\binom{N}{K}\left(\frac{I}{T}\right)^{K}\left(I-\frac{I}{T}\right)^{N-K}=\frac{N}{T} \qquad (٩)$$

معادله (٩) معنای واقعی T را ابراز می‌نماید. مقدار T متوسط فاصله برگشت بین رویدادها را عرضه میکند ومستلزم آن نیست که رویداد مربوطه یکدفعه در هر T سال رخ بدهد ، در عوض مفهوم آن اینست که در طول مدت N سال بزرگتر از T ، انتظارمیرود چنین رویدادی $\frac{N}{T}$ دفعه اتفاق بیافتد.

اگر m رتبه رویدادی بابزرگی Q از رویدادهای یادداشت شده در N سال باشد داریم :

$$F(m)=\sum_{K=0}^{m} f(K) \qquad (۱۰)$$

این «احتمال تجمعی» رویدادی بابزرگی Qمیباشد که در طول مدتNسال بادوره برگشت متوسط T،mدفعه یا کمتر رخ بدهد. بنابراین برای رتبه m رویداد در N سال آمار برداری احتمالی برابر $1-F(m)$ که مربوط به دوره برگشت محتمل T میباشد ارزیابی‌گردیده است.

معادلات (۸) و(۱۰) را میتوان بازاء مقادیر مختلف K حل وهمچنین روی نمودارهائی رسم کرد.

IV ـ اشتباهات تخمین احتمال و دوره برگشت

دیدیم به X یک متغیر تصادفی است که بوسیله تابع توزیع خود معین میگردد:

$$F(X)=P(X \leqslant Q)$$

میخواهیم Q_p را بنحوی تعیین کنیم که:

$$P(X>Q_p)=I-F(Q_p)=P$$

ابتدا از مفهومی که بازاء مقادیر کوچک P میتوان برای این احتمال قائل شد صحبت میکنیم، سپس به اشتباهات مختلفی که این مسئله تخمین را شامل میگردد اشاره مینمائیم.

برای شناسائی صحیح مقدار Q_pمشخص نمودن مفهومی که به احتمالP ، بخصوص برای مقادیر کوچک‌آن نسبت داده میشود مهم است. میدانیم برای احتمال برآورده شده P،دوره برگشتTمربوط به Q_p ، از رابطهٔ $T=\frac{I}{p}$ بدست میآید . همچنین بعنوان مثال احتمال بده حداکثر یک رودخانه برابر $\frac{1}{10}$ ، $\frac{1}{100}$ و $\frac{1}{1000}$ را اینطور معین میکنیم: مقدار بده حداکثری که بطور متوسط هردهسال، صدسال وهزارسال یکدفعه از آن تجاوز کند.

در مورد مقادیر نسبتاً بزرگ احتمال مثلا $p=\frac{1}{10}$ ، تعداد کافی متغیرهای X میتواند در زمان نسبتاً کوتاه چند سال وقوع یابد ومتخصص هیدرولوژی برای تفسیر این احتمال تحت عنوان فراوانی مشکلی نخواهد داشت. ولی در مورد تعیین دوره برگشت هزار ساله یک پدیده هیدرولوژی اطلاعات تجربی کافی در اختیار نیست ، به‌طوریکه براساس آن بتوان مقادیر مربوط به فراوانی حقیقی $\frac{1}{1000}$ را تعیین نمود ، معذالک از آمار مشاهداتی که کمتر از حدود پنجاه سال نباشد می‌توان بایک‌درجه«درست‌نمائی» (Likelihood) مقداری را به‌آن نسبت داد. در واقع علت‌این‌امر را میتوان بوسیله شتباهات تخمین که بشرح زیر از نظر میگذرانیم توجیه نمود :

ـ اشتباهات ناشی از انطباق باقوانین آماری: قوانین مورد استفاده برای پدیده‌های هیدرولوژی بخوبی‌شناخته نشده‌اند. در حقیقت اغلب مشاهداتی که در اختیار میباشد فقط بیک دوره نسبتاً کوتاه مدت مربوط میگردد وباید به‌آن قانون احتمالی بشکل ریاضی نسبت داد، وقانونی که بهتر بامشاهدات تطبیق میکند انتخاب کرد. پس‌این نوع اشتباهات به‌میزان متناسب بودن قانون احتمال انتخاب شده مربوط میشود.

تطبیق یک‌قانون احتمال را بامشاهدات میتوان بطورگرافیکی، که بدون‌شک یک روش تجربی میباشد،مورد بررسی‌قرار داد. البته دراین مورد استفاده‌از یک معیار واقعی نظیر آزمون χ^2 پیرسون مطلوب است. این‌قانون‌تناسب نمونه مشاهده شده را باقانون بکار رفته معلوم میکند.

ـ اشتباهات‌اندازه‌گیری: نباید فراموش کرد که اشتباهات اندازه‌گیری(بویژه در مورد بده‌های حداکثر)میتواند رل مهمی را ایفا نماید. اشتباهات اندازه‌گیری واشتباهات ناشی از انطباق قوانین آماری بامشاهدات، اغلب مستقل ازهم نمی‌باشند. هرچه بده‌های حداکثر بزرگتر باشد اشتباهات اندازه‌گیری هم زیادتر خواهد بود.

ـاشتباهات نمونه‌گیری: قانون احتمال بده‌های حداکثر وحداقل سالانه یک رودخانه، توزیع فراوانی جامعه متشکل ازکلیه این بده‌های قابل مشاهده را میدهد. در واقع مقادیر مشاهدات در دوره مطالعه شده فقط یک نمونه‌گیری تصادفی ازکل جامعه میباشد. قانون انطباق داده شده به نمونه میتواند باقانون صحیح جامعه،کم وبیش ازهم فاصله داشته باشند ودر نتیجه انحرافات تصادفی ناشی از آن، اشتباهات نمونه‌گیری را تشکیل میدهند. همین‌طور اشتباه نمونه‌گیری ما رابه طرح سئوال حدود اعتماد یک مقدار، احتمال مربوط بیک بده معین واحتمال یک بده مشاهده شده هدایت میکند.

V ـ کاربردهای مهندسی

همانطورکه معادله (۶) نشان میدهد، احتمال خطر ساده تابع دوره برگشت طرح (T)، وعمر در نظرگرفته شده برای تأسیسات(N) میباشد. برای هدف‌های کاربردی در امور مهندسی آب حل عددی این معادله مطابق شکل (٤) بصورت نموداری عرضه میگردد. در نمودار رسم شده مقدار احتمال‌وقوع برای $P(X > Q)$ ومقدار مکمل‌آن‌یعنی احتمال وقوع $P(X \leqslant Q)$ بازاء مقادیر مختلف TوN داده شده است. کاربرد این‌نمودار یامعادله(۶)در مسائل مهندسی‌بستگی‌به شرائط خاص پروژه دارد. اغلب دوره برگشت T میتواند بوسیله عوامل مختلف‌اقتصادی، اجتماعی ، سیاسی، مهندسی‌و غیره تعیین گردد. درهرحال احتمال خطر ساده میتواند برای هرمدت زمان معینی ارزیابی‌گردد.

در بعضی‌کارهای مهندسی معمول براینست‌که دوره برگشت مورد نظر برابر عمر مورد انتظار طرح باشد. در این حالت احتمال خطر میتواند از معادله (۶) باقرار دادن $N = T$ محاسبه‌گردد.

جدوك شماره(۳)احتمال خطر را بازاد$T = N$ برای چندمورد نشان میدهد

T	۵	۱۰	۲۰	[illegible]	۱۰۰	۵۰۰	∞
P	۰/۶۷۲	۰/۶۵۲	۰/۶٤۲	۰/۶۳۶	۰/۶۳٤	۰/۶۳۳	۰/۶۳۲

مقدار متوسط احتمال خطر از جدول (۳) حدود ٦٤/. میباشد. وقتی T به بینهایت‌میل‌نماید حداقل مقدار احتمال خطر تقریباً برابر ٦٣/. میگردد:

$$P_{Min} = I - \lim_{T \to \infty} \left(I - \frac{I}{T} \right)^{T} = I - \frac{I}{e} = 0.63 \qquad (۱۲)$$

برای روشن شدن موضوع ذیلا بذکر چند مثال عملی می‌پردازیم:

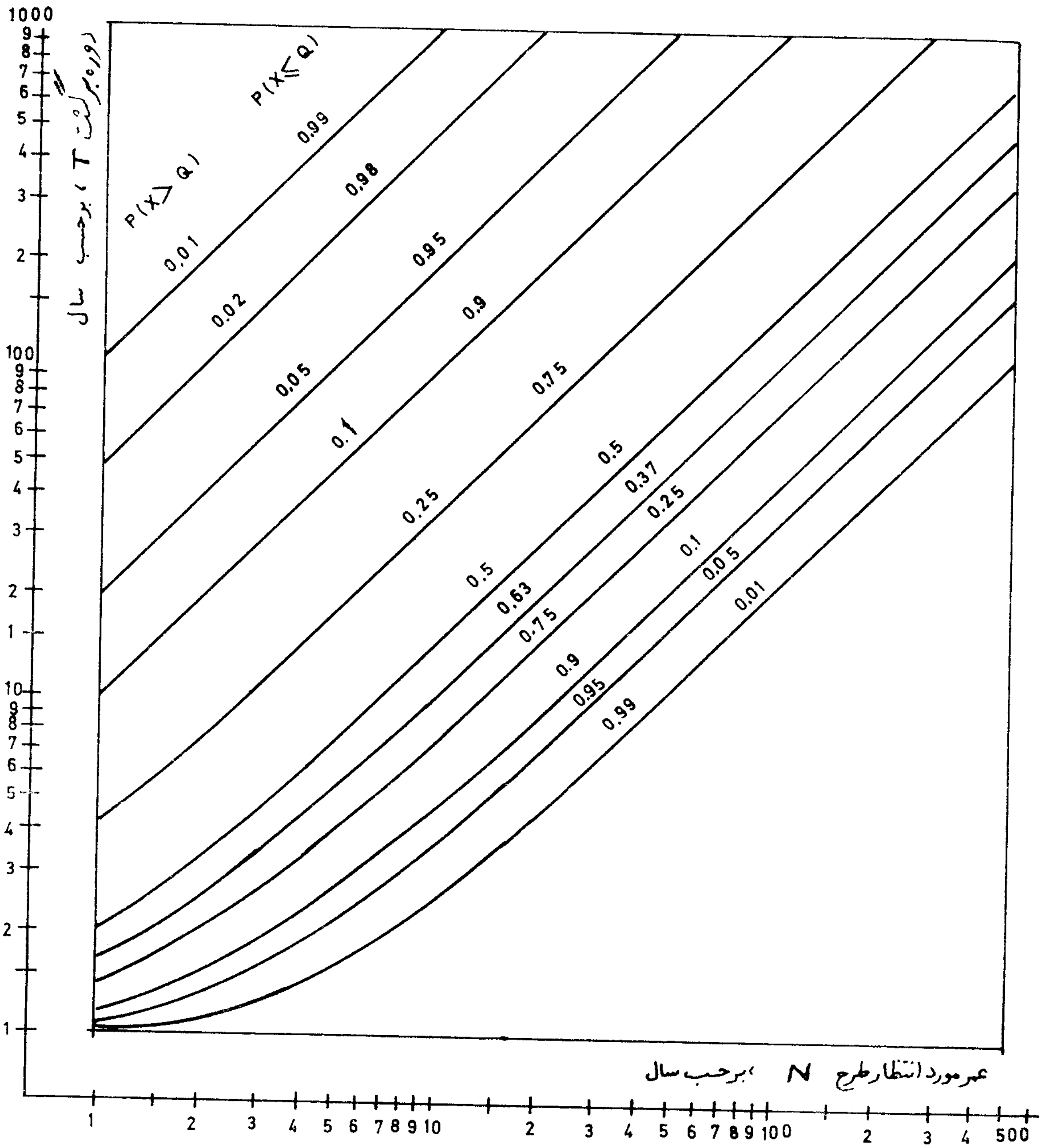
مثال۱ـ میخواهیم ایمنی پلی را در مقابل سیلابهای ۵۰ ساله بررسی‌کنیم ومثلا ببینیم احتمال اینکه سیلاب پنجاه ساله درمدت ۱۰۰ سال ۳دفعه یابیشتر اتفاق بیافتد چقدر است؟ بااستفاده از فرمول (۸) داریم:

$$P(\text{K دفعه در N سال}) = = \binom{N}{K} p^{K} (I - P)^{N-K}$$

$$P(\text{۳دفعه یابیشتر در ۱۰۰سال}) = P(\text{۳دفعه در ۱۰۰ سال}) + P(\text{٤دفعه در ۱۰۰ سال}) + \ldots$$

از آنجاکه مجموع احتمالات وقوع وعدم وقوع کلیه حالات سیلابهای ۵۰ ساله در ۱۰۰ سال بایستی برابر واحد باشد میتوان نوشت:

$$P(\text{۳دفعه یابیشتر در۱۰۰سال}) = ۱ - P(\text{۰دفعه در ۱۰۰ سال}) - P(\text{۱دفعه در ۱۰۰ سال}) - P(\text{۲دفعه در ۱۰۰ سال})$$



شکل ٤- دوره برگشت تابع عمر مورد انتظار طرح ،برای سطوح مختلف احتمال خطر

$$P\,(\text{۳ دفعه یا بیشتر در ۱۰۰ سال}) = 1-\binom{100}{0}\left(\frac{1}{50}\right)^{0}\left(\frac{49}{50}\right)^{100}$$

$$-\binom{100}{1}\left(\frac{1}{50}\right)^{1}\left(\frac{49}{50}\right)^{99}$$

$$-\binom{100}{2}\left(\frac{1}{50}\right)^{2}\left(\frac{49}{50}\right)^{98}$$

$$= 1-0.133-0.271-0.273=0.323$$

بنابراین ۳۲/۳ درصد شانس آن وجود دارد که در مدت ۱۰۰ سال بده رودخانه ۳ دفعه یابیشتر از سیلاب پنجاه ساله در نظرگرفته شده برای طرح تجاوز نماید.

مثال ۲- میخواهیم احتمال خطر را در مورد بده حداکثر سالانه بادوره برگشت ۱۰۰ سال برای یک عمر مورد مورد انتظار صدسال وپنجاه سال پیدا کنیم. این احتمال برای N=۱۰۰ ازنمودار شکل (٤) یااز فرمول (٦) برابر ٦٣/٤٪ نتیجه میشود. اگرعمر مورد انتظار طرح به ٥٠ سال کاهش یابد احتمال خطربه ٤٠٪ میل خواهد کرد. یادآوری میکنیم که احتمال عدم موفقیت در دو حالت برای هرسال ۱٪ میباشد.

مثال ۳- برای یک طرح منابع آب باعمر مفید ۲۰ سال تأمین اطمینانی برابر ٦٠٪ درمقابل خشکسالی مورد نظر است، چه دوره برگشتی را باید برای طرح منظور کنیم؟ این دوره برگشت از نمودار شکل (٤) برابر ۳۹/٥ سال بدست میآید. مفهوم آن اینست که اگر یک طرح باعمر مفید ۲۰ سال برای یک خشکسالی سالانه بادوره برگشت ۳۹/٥ سال طرح شده باشد، در برابر عدم موفقیت ٦٠٪ اطمینان وجود دارد. بعبارت دیگر احتمال وقوع خشکسالی برابر یا کوچکتر از خشکسالی در نظرگرفته شده برای طرح ٦/. نتیجه میگردد.

درهر حال اگر بخواهیم در مقابل عدم موفقیت اطمینانی برابر ۱۰۰٪ تضمین گردد، در این صورت طرح بایستی برای یک بده حداکثر سالانه یاخشکسالی سالانه که در آن دوره برگشت بی‌نهایت است درنظرگرفته میشود.

VI - نتیجه‌گیری و بحث

با کاربرد نظریه احتمالات نشان داده شد که برای هرطرح هیدرولوژی بادوره برگشت T سال ویک عمرمورد انتظار طرح برابر N سال ، همیشه یک احتمال خطر نظیر احتمال عدم موفقیت وجود دارد. این احتمال خطر برای یک زمان نامتغیر هیدرولوژی میتواند بااستفاده از فرمول (٦) یانمودار (٤) محاسبه گردد. برعکس اگر عمر مورد انتظار طرح واحتمال خطر ساده معلوم باشند، دوره برگشت مربوط به طرح معین میشود. البته تعیین دوره برگشت باین شکل مستقل از نوع توزیع وموقعیت نقاط رسم شده داده‌های هیدرولوژی است. علاوه براین، خطرات اضافی وشک وتردیدهائی، بعلل مختلف، بوجود میآیند که بایستی در طرح‌های مهندسی هیدرولوژی ومنابع آب درنظرگرفته شوند. این علل عبارتند از: محدود بودن داده‌های موجود، استعمال یک نقطه برداشت آمار بعنوان معرف ناحیه ، درنظرگرفتن سیستم هیدرولوژی بمنزله یک سیستم نیمه اصولی، عدم انطباق کامل دستورهای ریاضی مورد استفاده باداده‌های تجربی، وهمچنین اشتباهات اندازه‌گیری وغیره.

عموماً داده‌های هیدرولوژی یک دوره محدود، بدرستی نمی‌تواند حالت حقیقی کل جامعه راکه معمولا شامل بی‌نهایت اعداد از داده‌ها در یک دوره بی‌نهایت است عرضه نماید. در نتیجه براثر محدود بودن آمار هیدرولوژی احتمال خطرهای اضافی وجود دارد. بطورکلی داده‌هائی که در اختیار متخصص هیدرولوژی می‌باشد شامل یک مقدار اطلاعاتی است که سعی میگردد تاحد امکان کاملتر استخراج شوند، در واقع برای اینکار حدی وجود دارد که از آن به‌بعد به‌روش‌های مورد استفاده بستگی ندارد. جابجا کردن این حد از عهدهٔ هیدرولوژی آماری برنمی‌آید، اما بوسیله هیدرولوژی‌تجربی (که به‌کمک آن سایر آنالیزهای آماری مجدداً ممکن میگردد) میسر می‌باشد. در هرحال اصلاح نتایج بدست آمده بوسیله روشهای پیش‌بینی آماری به تلاش‌هائی در زمینه هیدرولوژی تجربی بیشتر از روشهای آماری بستگی دارد.

منابع مورد استفاده

1 - Bernier J. et veron R., « Sur quelques difficultés Rencontrées dans l'estimation d'un débit de crue de probabilité donnée», Revue de statistique Appliquée, 1964 - Vol. XII - Nol, France.

2 - Chow, V.T., ed., « Handbook of Applied Hydrology » , Mc Graw - Hill Book Co., Inc., New York, 1964.

3 - Gumbel, E.J. , « Statistical theory of drought » , Proc. Amer. Soc. Civil Eng. 80, 1954.

4- Hjelmfilt, JR. J. J. Cassidy, « Hydrology for Engineers and planner » , Iowa State University Press. Ames, Iowa, 1975

5 - Joseph E.S., « Frequency of Design Drought » , Water Resources Research , Vol. 6 No 4 , 1970.

6 - Linsley, Ray K., Jr., Max A. Kohler, and Joseph L.H. Paulhus, « Hydrology for Engineers, Mc Graw - Hill, New York , 1973.

7 - Riggs, H.C. « Frequency of Natural Event » Journal of the Hydraulics Division. ASCE, Vol 87, 1961.

8 - Warren Viessman Jr., Terence E. Harbaugh, John W. Knapp, « Introduction to Hydrology » , Intext Educational Publishers, New York/London, 1972.

9 - Yevjevich, Vujca, « Probability and statistics in Hydrology » , Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A, 1972.