



ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، ICCE 2003
۱۵-۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۲ - دانشگاه صنعتی اصفهان



بررسی تراز بیشینه سطح آب دریاچه هامون هیرمند و مدل قابلیت اعتماد دینامیک سیل بند آن

علی تفرج‌نوروز، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران*
مسعود تجربی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران**
احمد ابریشمی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
بهناز خاکباز، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
 *تلفن: ۰۲۱-۶۰۳۶۰۱۶، شماره: ۰۲۱-۶۰۳۶۰۱۶، پست الکترونیکی: tafaroj@mehr.sharif.edu
 **تلفن: ۰۲۱-۶۰۳۶۰۱۶، شماره: ۰۲۱-۶۰۳۶۰۱۶، پست الکترونیکی: tajrishy@sharif.edu

چکیده

در این مقاله، ضمن بررسی تراز بیشینه آب دریاچه هامون هیرمند واقع در دشت سیستان، با بررسی جداگانه تراز استاتیکی دریاچه و خیزاب بوجود آمده در اثر بادهای یکصد و بیست روزه و تلفیق این دو پدیده، تراز بیشینه سالانه دریاچه با توجه به احتمال وقوع‌های گوناگون بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های خیزاب بیشینه سالانه از توزیع احتمالی لوگ پیرسون نوع ۳ و داده‌های تراز استاتیک دریاچه از توزیع احتمالی نرمال پیروی می‌کنند. در ادامه منحنی احتمال وقوع تراز بیشینه سالانه سطح آب دریاچه هامون مربوط به هر تراز استاتیکی و برای یکی از پروفیل‌های بحرانی دریاچه ارائه شده است. از منحنی‌های بدست آمده می‌توان برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی و قابلیت اعتماد سیل‌بند‌های (گوره‌های) محافظت سمت شرقی دریاچه که برای جلوگیری از ورود آب به زمین‌های کشاورزی احداث شده‌اند استفاده نمود. نمودار قابلیت اعتماد دینامیک سیل‌بند هامون هیرمند نیز ارائه شده که حکایت از مقدار ریسک روگذری بسیار بالای آن می‌باشد.

کلید واژه‌ها: احتمال وقوع شرطی تراز آب، دریاچه هامون، مدل قابلیت اعتماد دینامیک، طراحی هیدرولوژیک سیل‌بند.

۱- مقدمه

دریاچه‌های جهان و به ویژه دریاچه‌های آب شیرین از دیدگاه‌های گوناگون اهمیت دارند. یکی از این دریاچه‌ها که دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشد، مجموعه تالابی هامون‌ها است که بیشتر آن در جنوب خاوری ایران در گودترین بخش منطقه سیستان معروف به کاسه سیستان واقع شده است. از ویژگی‌های خاص مجموعه تالابی هامون‌ها، شیرین بودن آب آن (تنها دریاچه آب شیرین در فلات ایران)، وزش بادهای ۱۲۰ روزه در طول تابستان، تبخیر زیاد و اهمیت آن از جنبه‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی در منطقه است. مجموعه تالابی هامون‌ها از سه هامون هیرمند، سابوری و پوزک تشکیل شده

است (شکل ۱). هامون هیرمند به‌طور کلی در داخل خاک ایران واقع شده و نسبت به دو هامون دیگر بزرگتر است. مساحت این هامون حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع است [۱].

بررسی و مدل‌سازی تراز آب دریاچه‌ها برای اهداف گوناگونی از قبیل تعیین خط ساخت و ساز ساحلی، استفاده در مدل‌های پیش‌بینی حمل رسوب و پتانسیل فرسایش سواحل و تعیین حجم آب دریاچه‌ها انجام می‌شود. در دریاچه‌های بادخیز، سطح آب حالت افقی خود را بر اثر وزش باد از دست می‌دهد. در این حالت، تراز آب در هر نقطه از دریاچه از دو مؤلفه تشکیل شده است؛ مؤلفه تراز دینامیکی که نتیجه وزش باد است و مؤلفه دوم تراز استاتیکی است که تراز آب در حالت بدون وزش باد است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی هامونها

کویک در تحقیقی، حداکثر تراز آب سالانه در دریاچه بادخیز می‌شیکان را بررسی کرد [۲]. وی با بدست آوردن تابع توزیع احتمال وقوع شرطی تراز آب دریاچه، تابع توزیع احتمال وقوع تراز بیشینه سطح آب دریاچه را بدست آورد. کویک، از توزیع احتمال نرمال برای بررسی خیزاب بیشینه سالانه و تراز استاتیکی دریاچه استفاده کرد. باخ‌برگر نیز تحقیقاتی در مورد بررسی تغییرات سطح آب در یکی از دریاچه‌های بادخیز انجام داده است [۳]. باخ‌برگر، تراز سطح آب را به صورت یک سری زمانی تحلیل کرد و داده‌های خیزاب نیز به طور جداگانه مورد تحلیل قرار داد و تعیین شد که خیزاب دریاچه دارای توزیع نرمال است. در انتها، این دو سری بطور جداگانه مورد تحلیل قرار گرفته و تابع توزیع احتمال وقوع شرطی تراز دریاچه بدست آمد.

در این مقاله، هدف این است که با استفاده از تراز متوسط ماهانه دریاچه هامون و تلفیق آن با تابع توزیع احتمال خیزاب دریاچه که در حقیقت تراز دینامیکی است، بتوان تابع توزیع احتمال تراز بیشینه سالانه آب دریاچه را بدست آورد. برای این کار، پنج توزیع احتمال بررسی شد و توزیع مناسب با آزمون حداقل مربعات تعیین شد. تفاوتی که دریاچه هامون هیرمند با دیگر دریاچه‌های جهان دارد این است که

دریاچه هامون هیرمند در برخی سالها خشک می‌شود و این مسأله باعث می‌شود که استفاده از توزیع‌های آماری با مشکل مواجه شود. برای رفع این مشکل از روشی که برای برازش توابع احتمال بر داده‌های دبی رودخانه‌های فصلی با پیشامدهای صفر یا داده‌های ناقص پیشنهاد شده، استفاده شده است [۴]. در بخش آخر مقاله، برای ارزیابی قابلیت اعتماد سازه هیدرولیکی سیل‌بند (گوره) هامون هیرمند، نمودار قابلیت اعتماد دینامیکی سیل‌بند بدست آمده است تا بتوان ریسک روگذری این سازه هیدرولیکی را مشخص نمود.

۲- تعیین تابع توزیع احتمال خیزاب بیشینه سالانه

به منظور بررسی خیزاب دریاچه بر اثر وزش باد، کف دریاچه در طول یک سری پروفیل‌های طولی در سالهای ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ نقشه‌برداری شده است. این پروفیلها در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به اینکه جهت و سرعت باد بر میزان خیزاب ایجاد شده توسط باد مؤثر می‌باشند، با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی زابل (۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸ میلادی)، گلبادهای ماه‌های مختلف سال بدست آمد. این گلبادها نشان می‌دهند که جهت غالب باد در ماه‌های مختلف سال برابر با $337/5$ درجه می‌باشد [۵]. با مشخص بودن وضعیت بستر در طول این پروفیلها، می‌توان خیزاب را در هر پروفیل بدست آورد. در این تحقیق، خیزاب دریاچه با استفاده از برنامه‌ای که براساس رابطه ارائه شده توسط وان دورن و همکارانش تهیه گردیده بود تعیین شد [۶].

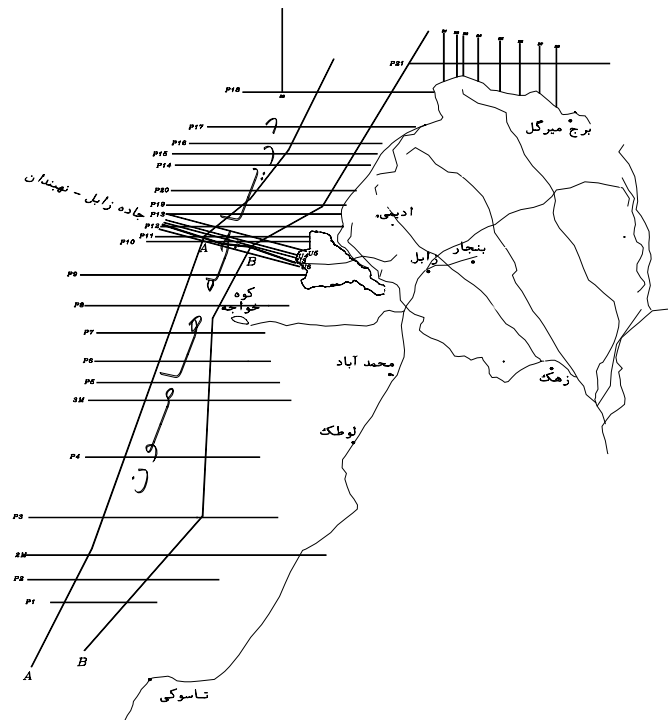
پس از بررسی‌های مقدماتی مشخص گردید که خیزاب بیشینه در قسمت شرقی دریاچه در انتهای پروفیل P8 رخ می‌دهد [۷]. در شکل ۳، پروفیل بستر دریاچه و تراز آب دریاچه بر اثر وزش باد برای پروفیل P8 نشان داده شده است. این نتیجه برای سرعت باد برابر با 50 نات و زاویه وزش $337/5$ درجه و تراز $475/95$ متر در ایستگاه کوه خواجه (تراز کل)، بدست آمده است.

برای بدست آوردن تابع توزیع احتمال وقوع خیزاب بیشینه سالانه دریاچه از توزیع‌های مختلف آماری: نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع ۳، لوگ پیرسون نوع ۳ و گامبل استفاده شده است. هنگام استفاده از توزیع‌های مختلف آماری، اگر در آمار موجود اعداد صفر وجود داشته باشد، استفاده از توزیع‌های آماری با مشکل مواجه می‌شود؛ زیرا استفاده از لگاریتم طبیعی اعداد غیرممکن خواهد بود. علاوه بر این، با توجه به اینکه تعدادی از داده‌ها مقدار مساوی دارند، برازش توزیع‌های آماری بر داده‌های موجود به خوبی صورت نمی‌گیرد و محاسبات انجام شده از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. در این مقاله از روشی که توسط بنسون و جنینگز پیشنهاد شده، استفاده گردیده است [۴]. در این روش، از رابطه مشهور احتمال وقوع شرطی (رابطه ۱) استفاده می‌شود. $P(B)$ در رابطه ۱، خیزاب سالانه بزرگتر از صفر است. از ۱۲ سال آمار موجود ۱۰ سال خیزاب سالانه بزرگتر از صفر بوده است. بنابراین مقدار $P(B)$ برابر با:

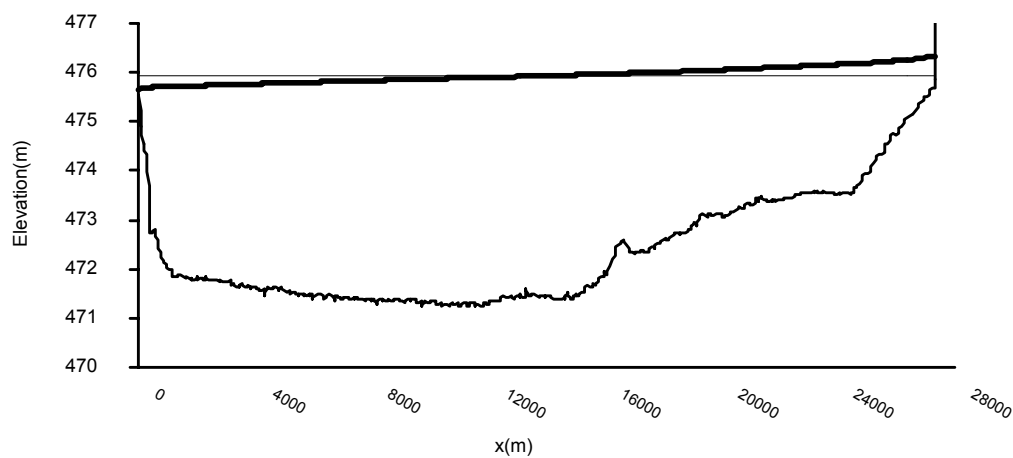
$$\frac{10}{12}$$

است. $P(A)$ ، احتمال وقوع خیزاب سالانه بزرگتر از یک مقدار مشخص بزرگتر از صفر است. احتمال وقوع شرطی $P(A|B)$ با استفاده از توزیع‌های آماری بدست می‌آید. احتمال اشتراک $P(A|B)$ نیز در اینجا برابر با $P(A)$ می‌باشد. بنابراین برای بدست آوردن احتمال وقوع تجاوز تراز آب از یک مقدار مشخص، ابتدا بایستی با استفاده از یک توزیع آماری، مقدار $P(A|B)$ را برای مقادیر بزرگتر از صفر بدست آورد و با ضرب کردن مقدار ثابت $P(B)$ در $P(A|B)$ ، احتمال وقوع تجاوز تراز آب از مقادیر فرضی بزرگتر از صفر بدست می‌آید.

$$P(A|B) = P(A|B).P(B) \quad (1)$$

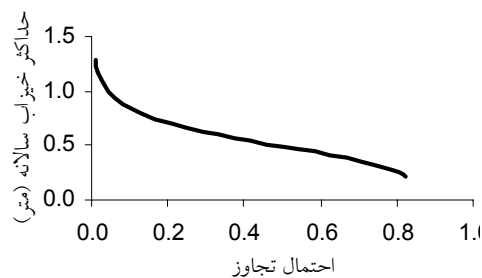


شکل ۲: پروفیل‌های نقشه برداری شده در کف هامون هیرمند

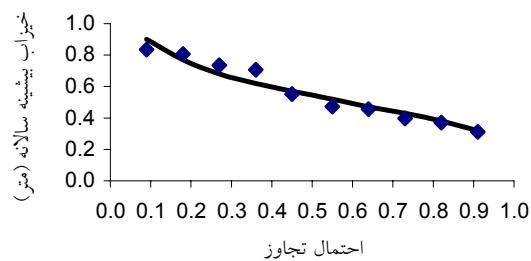


شکل ۳: پروفیل بستر و تراز آب دریاچه قبل و بعد از وزش باد برای پروفیل P8

در این مقاله پس از برازش توزیع‌های آماری ذکر شده بر داده‌های خیزاب بیشینه سالانه، با استفاده از روش حداقل مربعات توزیع‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند [۸]. از آنجا که کمترین مقدار خطای استاندارد محاسبه شده (SE) مربوط به توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ است، بنابراین توزیع مناسب برای برازش بر داده‌های خیزاب بیشینه سالانه دریاچه هامون هیرمند، توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ خواهد بود. در شکل ۴، برازش تابع توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ بر داده‌های خیزاب بیشینه سالانه نشان داده شده است. با ضرب مقدار $\frac{\square}{\square_1}$ در احتمال وقوع‌های بدست آمده از توزیع لوگ پیرسون نوع ۳، می‌توان منحنی احتمال وقوع خیزاب بیشینه سالانه دریاچه هامون را بدست آورد. تابع توزیع احتمال خیزاب بیشینه سالانه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: تابع توزیع احتمال خیزاب بیشینه سالانه دریاچه

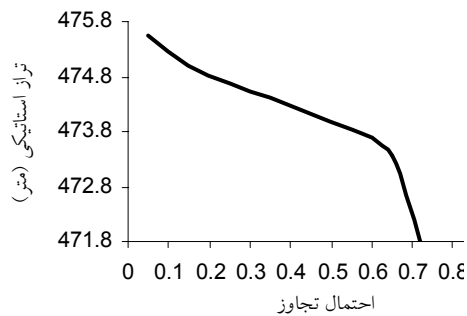


شکل ۴: برازش تابع توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ بر داده‌های خیزاب بیشینه سالانه

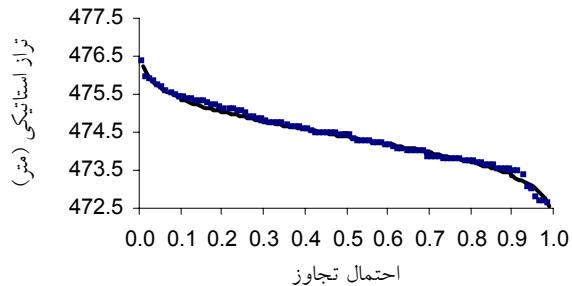
۳- تعیین تابع توزیع احتمال وقوع تراز استاتیکی دریاچه

در مرحله بعد بایستی تابع توزیع احتمال تراز استاتیکی دریاچه را بدست آورد. با توجه به اینکه ایستگاه آمار برداری تراز آب (ایستگاه کوه خواجه) در قسمت شرقی دریاچه و در وسط پروفیل‌های P7 و P8 واقع شده، بایستی برای ماه‌های مختلف هر سال با توجه به متوسط سرعت باد در ایستگاه زابل میزان خیزاب برای هر ماه را در انتهای پروفیل‌های P7 و P8 تخمین زده و پس از میانگین گرفتن از آنها، متوسط خیزاب ماهانه را بدست آورد. پس از کسر نمودن مقدار خیزاب بدست آمده از تراز کل که در ایستگاه کوه خواجه برداشت شده، می‌توان تراز استاتیکی دریاچه را بدست آورد. محاسبات حداقل مربعات نشان می‌دهند که مقادیر خطای استاندارد (SE) محاسبه شده برای توزیع‌های مختلف بجز توزیع گامبل، تقریباً با یکدیگر برابر می‌باشند. بنابراین با استفاده از این روش نمی‌توان توزیع‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه نمود. ضریب چولگی داده‌های تراز استاتیکی بزرگتر از صفر برابر با $0/022$ می‌باشد و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش اسنکر و کچران استفاده شده است [۹]. برای نرمال بودن داده‌ها بایستی قدر مطلق ضریب چولگی برای سطح معنی دار ۱۰ درصد ($\alpha=0.10$) کوچکتر از $0/383$ باشد. بنابراین داده‌های موجود به خوبی از توزیع نرمال برخوردار می‌باشند (شکل ۶). مقدار $P(B)$ برای داده‌های مربوط به تراز

استاتیکی برابر با $\frac{14}{144}$ می باشد. پس از اعمال این ضریب می توان منحنی احتمال وقوع تراز استاتیکی را بدست آورد (شکل ۷).



شکل ۷: تابع توزیع احتمال تراز استاتیکی دریاچه

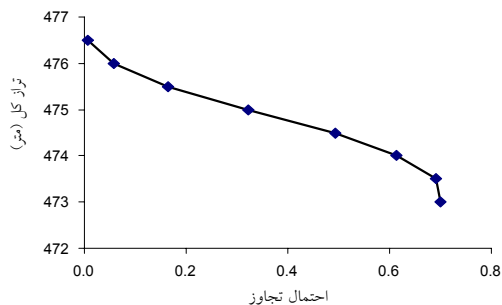


شکل ۶: برازش توزیع نرمال بر داده های تراز استاتیکی

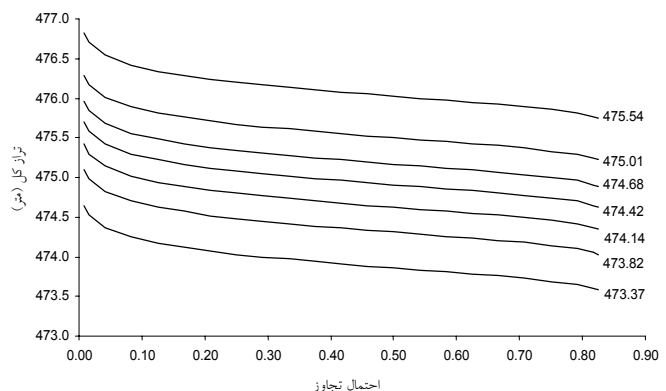
۴- احتمال وقوع تراز بیشینه سالانه آب

در مرحله بعد بایستی تابع توزیع احتمال وقوع شرطی تراز بیشینه دریاچه را بدست آورد (شکل ۸). برای این منظور از منحنی احتمال وقوع تراز استاتیکی دریاچه (شکل ۷) و تابع توزیع احتمال خیزاب بیشینه سالانه دریاچه (شکل ۵) استفاده شده است.

برای بدست آوردن منحنی احتمال وقوع تراز بیشینه سطح آب دریاچه، بایستی از رابطه ۱ استفاده نمود. در این رابطه اگر $P(B)$ احتمال رخ دادن تراز استاتیکی، $P(A)$ احتمال رخ دادن تراز کل و $P(A|B)$ احتمال شرطی رخ دادن پیشامد A وقتی که پیشامد B رخ داده باشد، در این صورت با استفاده از قانون ضرب احتمال می توان مقدار $P(A|B)$ را برای زمانی که هر دو پیشامد رخ داده باشند، با استفاده از رابطه ۱ بدست آورد. در این صورت می توان با بدست آوردن $P(B)$ از شکل ۷ و $P(A|B)$ با استفاده از شکل ۸، احتمال وقوع تراز کل دریاچه را برای پروفیل بحرانی P8 بدست آورد (شکل ۹).



شکل ۹ : منحنی احتمال وقوع تراز بیشینه سالانه پروفیل بحرانی P8 در هامون هیرمند



شکل ۸: منحنی های احتمال وقوع شرطی برای

۵- مدل قابلیت اعتماد دینامیکی روگذری سیل بند

برای ارزیابی میزان قابلیت اعتماد سیل بند (گوره ای) دریاچه هامون برای حفاظت دشت سیستان در طول بهره‌وری خود که در معرض سیل و افزایش تراز حاصل از باد (خیزاب) قرار می‌گیرد، داده‌های باد مربوط به ۳۴ سال آماری که به صورت رکوردهای سه ساعته ثبت گردیده بود و داده‌های مربوط به تراز سطح آب در سال آماری ۷۰-۱۳۶۹ که بالاترین تراز ثبت شده آب هامونها می‌باشد مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه وضعیت روگذری در پروفیل‌های P6 (به لحاظ پائین بودن تراز گوره‌ها) و P5 (به لحاظ بیشترین افزایش تراز سطح آب در نزدیکی گوره‌ها) مورد بررسی قرار گرفته است.

در این مقاله به منظور برآورد احتمال روگذری مربوط به باد، از آنالیز ریسک به روش AFOSM استفاده گردیده است [۱۰]. تابع شکست برای روگذری سیل بند به صورت زیر تعریف شده است:

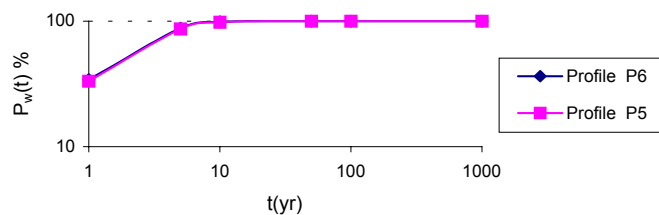
$$Z = (H_c - H_0) - h \quad (3)$$

$$h = h_T + h_r$$

در روابط بالا، Z تابع عملکرد، H_c تراز تاج سیل بند، H_0 تراز آب دریاچه، h ارتفاع موج ایجاد شده بر اثر باد، h_T خیزاب در اثر باد و h_r بالاروی موج می‌باشد. مطابق با این ضابطه، احتمال روگذری ناشی از باد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_f = P(Z < 0) \quad \text{یا} \quad P_f = P(h > H_c - H_0) \quad \text{بطوریکه} \quad Z = (H_c - H_0) - h$$

روگذری هنگامی رخ می‌دهد که $Z < 0$ باشد. در این مطالعه ضمن بدست آوردن سرعت بادی که به ازای آن $Z=0$ (نقطه شکست) می‌باشد، مقدار P_f (احتمال روگذری در یکبار وقوع باد شدید) محاسبه گردیده و با محاسبه v_w (میانگین نرخ وقوع باد شدید)، ریسک روگذری از روی گوره‌ها برای دوره‌های بهره‌وری مختلف بدست آمده است. نتایج این تحلیل در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، دو منحنی برهم منطبق بوده و ریسک روگذری برای هر دو پروفیل بسیار بالا می‌باشد.



شکل ۱۰: احتمال روگذری مربوط به وقوع باد شدید در یک دوره زمانی

۶- نتیجه‌گیری

در تحقیق انجام شده، احتمال وقوع تراز استاتیکی و خیزاب بیشینه سالانه دریاچه هامون هیرمند که یک دریاچه باد خیز است بررسی شده و در نهایت احتمال وقوع تراز بیشینه سطح آب دریاچه برای پروفیل P8 که پروفیل بحرانی دریاچه است (خیزاب بیشینه در آن رخ می‌دهد)، بدست آمده است. نتایج

بدست آمده نشان می‌دهد که داده‌های خیزاب پیشینه دریاچه از تابع توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ و داده‌های تراز استاتیکی دریاچه از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. همچنین نتایج تحلیل قابلیت اعتماد دینامیکی روگذری آب از سیلند هامون در دو پروفیل P5 و P6 نشان از بالا بودن ریسک روگذری دارد.

۷ - تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف برای حمایت مالی از این پروژه، آقای مهندس سیامک شیرزاد مدیر عامل محترم شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان برای در اختیار قرار دادن اطلاعات هامونها و همچنین از آقای مهندس ناصر سعادت‌خواه به خاطر همکاری در محاسبات مربوط به خیزاب دریاچه تشکر و قدردانی می‌شود.

۸ - مراجع

- [۱] شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، طرح بهره برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، گزارش شماره ۳۳، تیرماه ۱۳۷۱.
- [2] Kubik, H., "Procedure for computing frequency of maximum lake levels", The Hydrologic Engineering Center, December 1974.
- [3] Buchberger, Steven G., "Conditional frequency analysis of autocorrelated lake levels", *J. Water Resources Planning and Management*, ASCE, 121 (2), pp. 158-170, 1995.
- [4] Jennings M. E. and Benson M. A., "Frequency curves for annual flood series with some zero events or incomplete data", *Water Resources Research*, 5(1), pp. 276-280, 1969.
- [5] خاکباز، بهناز، مسعود تجریشی و احمد ابریشم‌چی، "تحلیل ریسک و قابلیت اعتماد روگذری سیل‌بند رودخانه ناشی از باد"، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، صفحات ۴۴۵ الی ۴۵۳، آبان ۱۳۸۰.
- [6] Sorensen, Robert M., "Basic Coastal Engineering", Chapman and Hall, 1967.
- [۷] طرح هیدرودینامیک رودخانه سیستان، "محاسبه بالاروی از روی گوره‌های هامون هیرمند"، گزارش فنی (ب)، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.
- [۸] کایت، جی دبلیو، "تحلیل فراوانی وقایع و ریسک در هیدرولوژی"، مترجم: ابوالقاسم بزرگ‌نیا، چاپ اول، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۶۹.
- [9] Snedecor, G. and Cochran, W. G., "Statistical Methods", The Iowa State University Press, 1967.
- [10] Cheng, S. T., Yen, B.C., and Tang, W.H., "Overtopping risk for an existing dam", Hydraulic Engineering Series 37, Dept of Civil Eng., Univ. of Illinois, 1982.