

## برآورد حداکثر بارش محتمل (PMP) حوضه آجی چای به روش سینوپتیکی

قاسم عزیزی، دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
علی حنفی\*، کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

### چکیده

برآورد حداکثر بارش محتمل، از جمله تحقیقاتی است که در طراحی سازه‌های بزرگ آبی، به خصوص سدها، مورد توجه هیدرولوژیست‌هاست. در این پژوهش، به منظور برآورد حداکثر بارش محتمل در سطح حوضه آجی چای، از روش سینوپتیکی استفاده شده است. بدین منظور داده‌های هواشناسی مربوط به ۴۰ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی مربوط به سازمان هواشناسی و شرکت تماب در یک دوره ۳۰ ساله اخذ گردیده، پس از تکمیل و بازسازی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین داده‌های ترازهای فشار ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال از سایت مرکز ملی پیش بینی محیطی و مرکز ملی مطالعات جوی سازمان هواشناسی آمریکا اخذ گردیده و نقشه‌های سینوپتیکی مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Grads تولید و مورد تحلیل قرار گرفتند. در این تحقیق، از فشار و دمای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان نماینده تراز میانی جو و از رطوبت و باد سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای تحلیل تغذیه رطوبت سیستم استفاده شده است. همچنین نقشه‌های همباران برای توفان‌های منتخب با استفاده از GIS ترسیم و منحنی‌های عمق - مساحت - مدت ۱ هر یک از توفان‌ها تعیین شدند. در نهایت، مقدار حداکثر بارش محتمل در تداوم‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته مربوط به توفان‌های منتخب برآورد گردید، به گونه‌ای که پی‌ام‌پی ۲۴ ساعته برای حوضه آجی چای در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۶۸/۱ و ۷۵/۱ میلی‌متر، پی‌ام‌پی ۴۸ ساعته در دوره‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۸۴/۵ و ۱۰۳/۹ میلی‌متر و پی‌ام‌پی ۷۲ ساعته در این دو دوره به ترتیب ۱۰۳/۹ و ۱۲۸/۷ میلی‌متر تخمین زده شد.

### واژگان کلیدی

حداکثر بارش محتمل، روش سینوپتیکی، توفان شدید، حوضه آجی چای

Email: Hanafi772@gmail.com

<sup>1</sup> - Depth-Area-Duration, (D.A.D)

\* نویسنده مسئول:

## ۱ - مقدمه

شناخت اقلیم یک منطقه در اغلب فعالیت‌های انسان می‌تواند به عنوان نخستین گام و ضروری‌ترین اقدام مطالعاتی قلمداد گردد. در این میان، بارش در بین عناصر اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. با توجه به رشد روز افزون جمعیت و افزایش نیازهای آبی، لزوم اجرای پروژه‌های کوچک و بزرگ هیدرولوژیکی به منظور ذخیره سازی، انحراف یا انتقال آب و نیز مطالعات آبخیزداری هر چه بیشتر مطرح می‌شود. اجرای چنین طرح‌هایی نیاز به مطالعات دقیق و تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروکلیماتولوژی دارد. حداکثر بارش محتمل (PMP)، بیشترین ارتفاع بارش است که در یک دوره زمانی معین می‌تواند در یک حوزه یا منطقه مشخص رخ دهد. مطالعه حداکثر بارش محتمل، به جهت ارزیابی و برآورد سیل محتمل برای طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی شهری، از قبیل کانال آبیاری، تعیین حداکثر مقدار آبی که وارد مخازن سرریز یا سایر تأسیسات می‌شود، ضروری است (سازمان هواشناسی جهانی، ۱، ۱۹۷۶). بنابراین نداشتن آگاهی در این زمینه سبب وارد آمدن خسارات جانی و مالی فراوانی می‌شود. از طرفی، بارش‌های ناگهانی یا آب ناشی از ذوب برف مقدار زیادی آب در اختیار بشر قرار می‌دهد، چنان‌چه پیش از طراحی هرگونه سازه از قبیل کانال آبیاری و زهکشی مسیرهای دفع و جمع‌آوری فاضلاب شهری، سدها، پل‌ها و غیره، پیش‌بینی بارش‌های ناگهانی و یا آب ناشی از ذوب برف نشود، زیان و خسارت‌های غیرقابل جبران جانی و مالی بسیاری در بر خواهد داشت. بنابراین لازمه و زیربنای پروژه‌های هیدرولوژیکی، آگاهی از زمان وقوع و میزان حداکثر بارش محتمل است. با برآورد خطرها و ریسک‌های احتمالی با دوره تناوب‌های مختلف، می‌توان ضمن استفاده بهینه از منابع آب، کمترین خسارات را متحمل شد. در کشور ما به دلیل کمبود یا نبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان آب و نیز ضعف و نواقص اطلاعات آماری، مطالعات با مشکل مواجه می‌باشد. برای رفع این مشکل می‌توان با بررسی دقیق رگبارها و حداکثر تغییرات، آب‌دهی رودخانه‌ها را در مواقع طغیان برآورد نمود، زیرا در بیشتر مواقع (در صورت عدم دخالت بشر) بین حداکثر رگبار و حداکثر دبی همبستگی بسیار زیادی وجود دارد.

## ۲ - پیشینه تحقیق

در چند دهه اخیر بررسی‌های علمی در زمینه حداکثر بارش محتمل در کشور مورد توجه قرار گرفته است. از مطالعات صورت گرفته در زمینه حداکثر بارش محتمل می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

حنفی و همکاران (۱۳۸۷) در مقاله‌ای تحت عنوان «برآورد حداکثر بارش محتمل به روش آماری هرشفیلد در شهر تهران» به برآورد حداکثر بارش محتمل در این شهر پرداختند آنها در این پژوهش با استفاده از روش آماری هرشفیلد، پی‌ام‌پی‌های ۲۴ ساعته و سالانه را برای ایستگاه‌های شمال تهران، دوشان تپه، ژئوفیزیک و مهرآباد محاسبه کردند. در علی‌نجفی (۱۳۸۳)، به محاسبه آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته و حداکثر آب قابل بارش ایستگاه اصفهان پرداخته است، به‌طوری‌که ایشان در این مقاله حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته را برای ایستگاه مذکور برابر ۱۹۶/۲ میلی‌متر و مقدار حداکثر آب قابل بارش (در حالت اشباع) را با استفاده از داده‌های جو بالا برابر ۷۲/۱۸ میلی‌متر به‌دست آورده است. قهرمان و سپاسخواه (۱۳۷۳) حداکثر بارش ۲۴ ساعته را به روش‌های مختلف آماری هرشفیلد و بت لاهمی محاسبه کرده و با باران‌های نادر به‌دست آمده از توابع توزیع احتمال مختلف مقایسه کردند، سپس با اصلاح روش بت لاهمی، روش جدیدی

<sup>۱</sup> - World Meteorological Organization

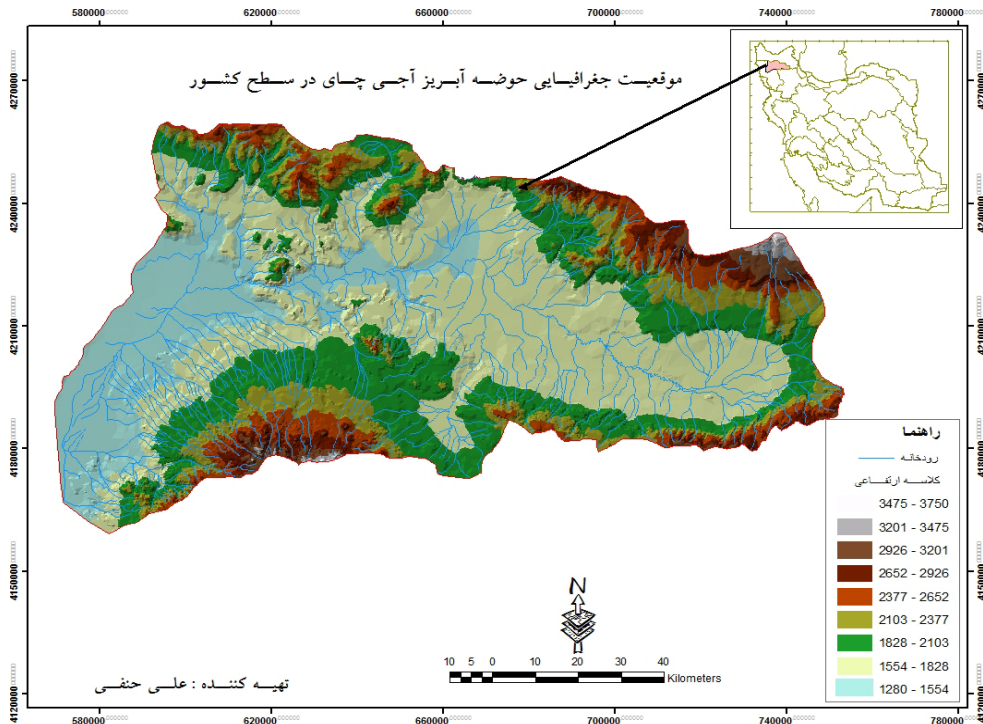
جهت تخمین مقادیر حدی بارندگی در نقاط جنوبی ایران پیشنهاد کردند. خلیلی (۱۳۷۰، ۲۵) در طرح آبخیزداری حوضه طالقان برآورد حداکثر بارش محتمل به روش آماری و سینوپتیکی حوضه طالقان را مورد مطالعه قرار داده و ارقام حاصله را مقایسه کرد. رشتچی (۱۳۷۱) حداکثر بارش محتمل را به طور موردی برای حوضه طالقان در منطقه البرز مرکزی به دو روش آماری و سینوپتیکی مورد مطالعه قرار داد. راخچا و کلارک (۱۹۹۹) حداکثر بارش محتمل را به روش سینوپتیکی برای کل هندوستان در مدت یک روزه مورد مطالعه قرار دادند که نتایج حاصل از ۷۰ تا ۱۷۰ سانتی متر برای مناطق مختلف تغییر می کرد. کول کارنینی و ناندارجی (۱۹۹۶) به مطالعه ۸ توفان عمده روی داده طی سال های ۱۸۹۱ تا ۱۹۹۰ در ویدرابا، منطقه ای در ایالات ماها را شترا پرداختند و منحنی های عمق - مساحت - مدت را برای منطقه مذکور رسم کردند. داگلاس و باروس (۲۰۰۲) با استفاده از شیوه های تحلیل چند بخشی به برآورد حداکثر بارندگی محتمل در شرق ایالات متحده پرداختند، آنها این کار را ابتدا به مشخص کردن میزان عمق های حداکثر بارندگی مشاهده شده انجام دادند و سپس تفاوت این ویژگی ها را به لحاظ زمانی و مکانی ارزیابی کردند. کامپوز آراندا (۱۹۹۸) در مکزیک حداکثر بارش محتمل را به روش آماری برای سن لوئیس پوتسی تعیین کرد. کلادیا براندا و رو رودریگس ۲ (۲۰۰۲)، در مقاله ای به برآورد حداکثر بارش محتمل برای پنج ایستگاه باران سنجی در پرتقال پرداختند.

### ۳ - مواد و روش ها

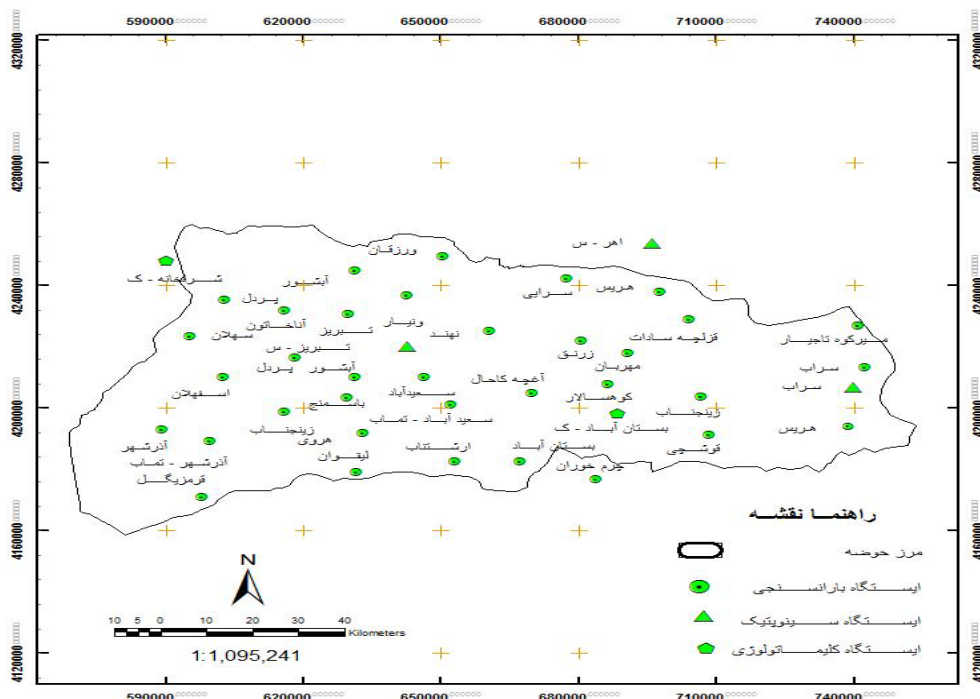
حوضه آجی چای در شمال غرب ایران یکی از مهم ترین زیرحوضه های دریاچه ارومیه است و از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض های ۳۷°۴۲ تا ۳۸°۳۰ شمالی و طول ۴۵°۴۰ تا ۴۷°۵۳ شرقی واقع است. این حوضه از ارتفاع ۳۴۰۰ متری دامنه های جنوب و جنوب غربی کوه سیلان و حدود ۳۳ کیلومتری شمال شرقی شهر سراب (در دهستان آغمیون) شروع می شود و با عبور از شمال شهر تبریز (حدود ده کیلومتری آن)، در مغرب آذرشهر در ارتفاع ۱۲۷۰ متری به دریاچه ارومیه ختم می شود. وسعت کل این حوضه ی آبریز در حدود ۱۲۷۹۰ کیلومترمربع است. شکل (۱) محدوده ی این حوضه آبریز را نشان می دهد. در این پژوهش برای برآورد حداکثر بارش محتمل به روش سینوپتیکی در حوضه آجی چای داده های هواشناسی مربوط به ۴۰ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران سنجی در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۶) از سازمان هواشناسی و شرکت تماب اخذ گردید (شکل ۲) و بعد از رفع نواقص آماری مراحل زیر برای به دست آوردن حداکثر بارش محتمل صورت گرفت:

<sup>1</sup> - Daglass and Barouse

<sup>2</sup> - CladiaBranda and Roroudrix



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی حوضه‌ی آبریز آبی‌ی چای در سطح کشور



شکل (۲): موقعیت ایستگاه‌های مختلف موجود در سطح حوضه‌ی آبی‌ی چای

### ۳-۱ انتخاب توفان شدید و فراگیر

شرط لازم جهت اجرای مدل همگرایی توجه به حالت‌های حداکثر تقرب هوا و به عبارتی توفان‌های شدید و فراگیر است. برای پی بردن به تاریخ وقوع توفان‌هایی که بالاترین بارش را تا زمان مطالعه در منطقه

داشته‌اند، داده‌های روزانه سازمان هواشناسی کشور به عنوان منبع موثق، بکار گرفته شد. پس از بررسی دقیق تعداد کل آمار روزانه بارش ایستگاه‌های حوضه آبی چای و مقایسه آن با دبی لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در سطح حوضه، تعداد چهار توفان که دارای بارش و دبی حداکثر بودند، شناسایی و استخراج گردیدند. جدول (۱) تاریخ و تداوم وقوع توفان‌های منتخب و جدول (۲) آمار بارندگی ایستگاه‌های حوضه آبی چای مربوط به توفان‌های منتخب را نشان می‌دهد.

جدول (۱): تاریخ و تداوم وقوع توفانهای منتخب

ردیف	روز شروع بارش	روز پایان بارش	تداوم بارش(روز)	ماه	سال
۱	۵/۲۲	۵/۲۲	۱	می	۱۹۸۱
۲	۷/۴	۷/۶	۳	جولای	۱۹۹۷
۳	۷/۱۴	۷/۱۶	۳	جولای	۱۹۹۹
۴	۵/۱	۵/۲	۲	می	۲۰۰۴

جدول (۲): مقدار بارندگی ایستگاههای هواشناسی منتخب در سطح حوضه آبی چای

ایستگاه	۱۹۸۱/۵/۲۲		۱۹۹۷/۷/۴			۱۹۹۹/۷/۱۴			۲۰۰۴/۵/۱	
	روز اول	روز دوم	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز اول	روز دوم
سراب	*	*	۱۱	۱۰	۸	۳۵	۰	۳	۲۲	۳/۵
تبریز	۱۵	۲۲	۱	۶	۳	۷/۲	۰	۰	۱	۱۸/۲
هریس	۶	۲۱	۴	۲۷	۴	۲۷/۵	۰	۶	۲۱	۴
ورزقان	*	*	۳	۴/۵	۸	۲	۲۶/۵	۰	۱۴/۲	۶
فزلچه سادات	۱۶	۲/۵	۱	۵	۳/۲	۴/۵	۱	۰	۳۲/۳	۱/۲
قوشچی	۲۲	۱۸	۱۸	۱۷	۱۳	۳۲	۸	۱۰	۴۳	۱۷
زرنگ	۲۰	۱۴/۵	۲۲	۲۷	۸	۳۰	۲۰	۰	۴۰	۰
بستان آباد	۸/۵	۱۳	۲۳/۴	۴/۸	۱	۳۴	۳	۰	۲۸/۲	۶/۴
نهند	۹	۸	۷/۸	۶/۵	۰	*	*	*	۴۳	۱۲
سعیدآباد	۲۳	۲۹/۱	۲۴	۱۶	۰	۱۶	۲۰	۱/۲	۳۲	۱۱
ونیار	۵	۶	۱۲	۸	۱/۲	۱۸	۲۷	۰	۱۶	۷
لیقوان	*	*	*	*	*	۲۳	۱۴	۴	۱۸	۰
هروی	۲	۱۶	۶۰	۷	۱۲	۲۵	۶	۱	۲۷	۲/۳
زینجان	۱۴	۱۲	۲۲	۲۷	۳	۳۱	۳۸	۰	۲۷	۰
قرمزگل	۱۶	۲۴	۳۵	۱	۰	۱۲	۱	۲	۳۹	۱/۵
چرم خوران	۲۲	۸	۲۴	۰	۵	۲۹	۱	۳۲	۰	۴۵
پردل	۵	۸/۲	۴/۵	۵/۵	۴	۱۹	۴	۶	۳۲	۰
باسمینج	۴/۵	۵	۱۱	۲۸/۵	۱/۵	۱۸/۵	۱	۴	*	*
اسفهان	*	*	۰	۲۱	۳/۵	۷/۶	۴/۵	۱	۳۰/۸	۲/۵
آغچه کاحال	۱۹	۶/۷	۷	۱۵	۰	۰	۱۸	۲۶	۴۳/۴	۰

\* علامت ستاره نشان دهنده این است که در این روز ایستگاه مربوطه به دلایلی عددی را ثبت نکرده است.

### ۳-۲- تهیه نقشه‌های همباران

به منظور تعمیم میزان بارش توفان‌ها به سطح و استفاده از آنها در محاسبه میزان بارش تجمعی، نقشه‌های همباران در محیط GIS ترسیم گردید و سپس با استفاده از منحنی‌های همباران، حجم بارش و میزان متوسط بارندگی در سطح تجمعی با استفاده از نرم‌افزار GIS برای هر توفان محاسبه گردید.

### ۳-۳- تهیه و تحلیل منحنی عمق - مساحت - تداوم (D. A. D)

در این مرحله به منظور نشان دادن نحوه توزیع بارش در زمان و سطح، سطوح واقع شده بین دو خطوط هم باران، در میانگین بارندگی دو خط همباران ضرب و سپس به‌طور تجمعی با یکدیگر جمع گردید و پس از محاسبه به کل سطح منطقه تقسیم شده منحنی‌های D. A. D مربوط به هر یک از توفان‌ها به کمک نرم‌افزار Excel رسم گردید. برای رسم منحنی D. A. D محور افقی به مقدار (عمق) بارش و محور عمودی به مساحت‌های تجمعی اختصاص دارد.

### ۳-۴- تحلیل فراوانی دمای نقطه شبنم و سرعت باد

دمای نقطه شبنم و سرعت باد از جمله مهم‌ترین پارامترهایی هستند که در ایجاد بارش‌های رگباری نقش دارند. به‌منظور بیشینه تداوم ۱۲ ساعته نقطه شبنم با ازای هر ۱۰ روز و برای دوره برگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال جمع‌آوری داده‌ها انجام شد به‌گونه‌ای که در هر ۱۰ روز از ماه یک عدد که بیشینه تداوم ۱۲ ساعته نقطه شبنم را در طول ۱۰ روز از ماه نشان می‌دهد استخراج و در نتیجه یکسری از داده‌ها در طول عمر ایستگاه‌ها به‌دست می‌آید، این داده‌ها به صورت فایل اطلاعاتی به کامپیوتر داده شد و با روش‌های آماری شامل توزیع نرمال، لگاریتم نرمال، پیرسن، لاگ پیرسن، گاما، لاگ گاما، گامبل و لاگ گامبل برازش داده شد.

### ۳-۵- بیشینه‌سازی حداکثر دمای نقطه شبنم ۱۲ ساعته توفان

برای برآورد حداکثر بارش محتمل یک توفان، بیشینه‌سازی دمای نقطه شبنم و حداکثر سرعت باد اهمیت زیادی دارد. به این منظور حداکثر تداوم ۱۲ ساعته دمای نقطه شبنم توفان و میانگین فشار «QFE» از طریق داده‌های خام، که به صورت ۳ ساعت به ۳ ساعت است، از دو روز قبل از شروع توفان تا ۲۴ ساعت پس از اتمام آن برآورد گردید.

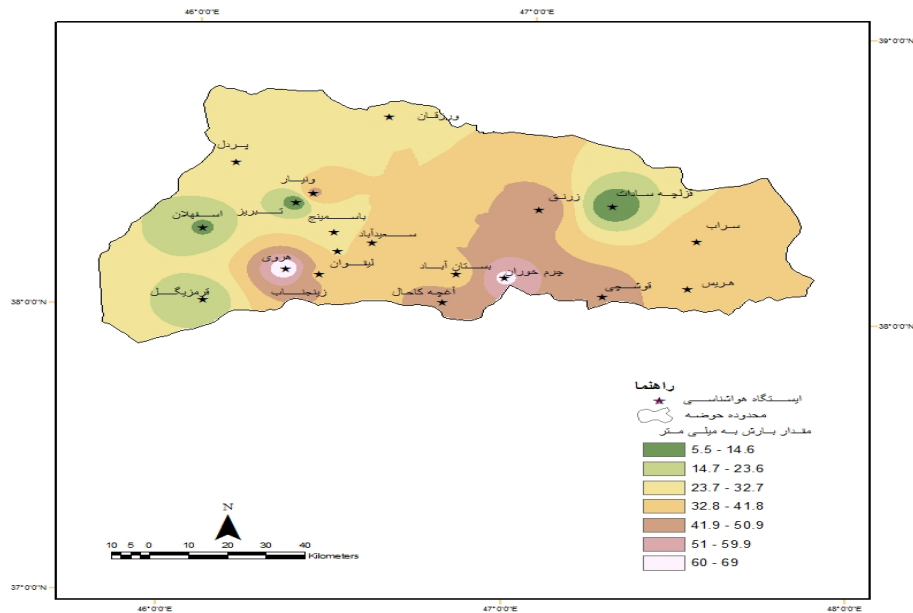
### ۳-۶- بیشینه‌سازی حداکثر سرعت باد

در این قسمت با استفاده از داده‌های خام (هر ۳ ساعت به ۳ ساعت) از دو روز قبل از شروع توفان تا ۲۴ ساعت پس از اتمام آن، حداکثر تداوم ۱۲ ساعته سرعت باد برای هر یک از ایستگاه‌ها در توفان‌های یاد شده محاسبه شد.

### ۴- یافته‌های تحقیق

نقشه‌های همباران مربوط به چهار طوفان منتخب رخ داده در حوضه آبی چای در محیط GIS ترسیم گردیده و نحوه توزیع بارش در طوفان‌های مربوطه مشخص گردید؛ سپس به منظور رسیدن به منحنی‌های عمق - مساحت - تداوم (DAD) متوسط بارش در سطح تجمعی با استفاده از میزان بارندگی بین منحنی‌های همباران، محاسبه و برآورد گردید. شکل (۳) و جدول (۳) نقشه همباران و محاسبات مربوطه را برای طوفان ۱۳۷۸/۰۴/۲۳ به صورت منتخب نشان می‌دهد. منحنی DAD مربوط به طوفان‌های منتخب رخ داده در حوضه آبی چای ترسیم گردید. با توجه به شکل (۴) می‌توان دریافت که هر چه بر زمان تداوم توفان افزوده می‌شود، بر میزان بارش آن افزوده شده و با افزایش مساحت، کاهش محسوسی در مقدار بارندگی مشاهده

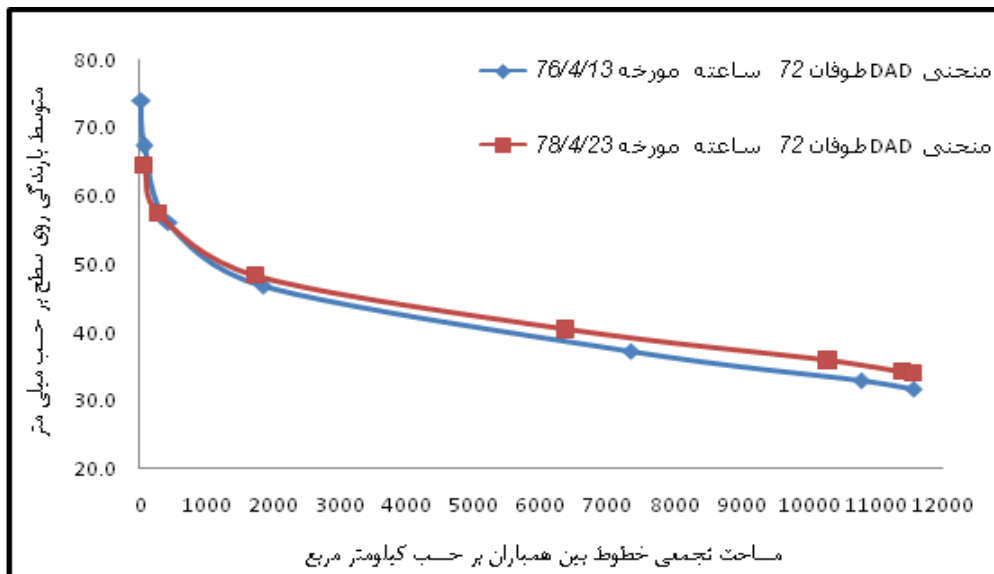
می‌شود؛ در عین حال با کاهش زمان توفان، نمودار مربوطه حالت نرمال تری دارد، یعنی با افزایش مساحت، عمق بارش مربوطه، نزول زیادی را نشان نمی‌دهد.



شکل (۳): پراکنش مقدار بارش توفان ۱۳۷۸/۰۴/۲۳ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی

جدول (۳): محاسبه ارتفاع، مساحت و حجم بارش در نقشه همباران ۱۳۷۸/۴/۲۳ در حوضه آبی چای

میزان بارندگی بین دو منحنی همباران	میانگین باران بین خطوط همباران	سطح بین دو خط همباران Km <sup>2</sup>	حجم بارش M <sup>3</sup>	مساحت تجمعی Km <sup>2</sup>	حجم تجمعی	میزان متوسط بارندگی در سطح تجمعی
۶۰ - ۶۹	۶۴/۵	۵۸ /۸	۳۷۹۲/۶	۵۸ /۸	۳۷۹۲ /۶	۶۴ /۵
۵۱ - ۶۰	۵۵ /۵	۲۲۵	۱۲۴۸۷ /۵	۲۸۳ /۸	۱۶۲۸۰ /۱	۵۷ /۴
۴۲ - ۵۱	۴۶ /۵	۱۴۵۸ /۲	۶۷۸۰۶ /۳	۱۷۴۲	۸۴۰۸۶ /۴	۴۸ /۳
۳۳ - ۴۲	۳۷ /۵	۴۶۱۹	۱۷۳۲۱۲ /۵	۶۳۶۱	۲۵۷۲۹۸ /۹	۴۰ /۴
۲۴ - ۳۳	۲۸ /۵	۳۹۲۸/۵	۱۱۱۹۶۲ /۳	۱۰۲۸۹ /۵	۳۶۹۲۶۱ /۲	۳۵ /۹
۱۵ - ۲۴	۱۹ /۵	۱۱۱۱/۱	۲۱۶۶۶ /۵	۱۱۴۰۰ /۶	۳۹۰۹۲۷ /۶	۳۴ /۳
< ۱۵	۱۰ /۵	۱۶۹/۲	۱۷۷۶ /۶	۱۱۵۶۹ /۸	۳۹۲۷۰۴ /۲	۳۳ /۹



شکل (۴): منحنی‌های D. A. D. توفان‌های منتخب با تداوم ۷۲ ساعته حوضه آبی چای

مهم‌ترین عواملی که در شدت ناپایداری یک سیستم نقش دارد، دمای نقطه شبنم و سرعت باد است که در این تحقیق، به منظور رسیدن به حداکثر بارش محتمل حوضه آبی چای، اقدام به بیشینه سازی دمای نقطه شبنم و سرعت باد گردید. برای بیشینه سازی این پارامترها اقدام به برازش از طریق توزیع‌های آماری گردید. پس از پژوهش، بهترین برازش برای دمای نقطه‌ی شبنم از روش توزیع نرمال به دست آمد. در مورد داده‌های حداکثر سرعت باد، با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، بهترین توزیع، توزیع گامبل تیپ ۳ می‌باشد؛ بنابراین این براساس این توزیع، حداکثر سرعت باد ۱۲ ساعته، برای دوره برگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال، برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب، از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۶ محاسبه گردید (جدول ۴). سپس در روی نقشه «Skew. T» محل تلاقی دمای نقطه شبنم (برحسب سلسیوس) و متوسط فشار توفان (برحسب هکتوپاسکال) را علامت زده و در همین نقطه نسبت اختلاط ۱ (برحسب گرم بر کیلوگرم) محاسبه گردید (شکل ۵). در مرحله بعد نقطه مورد نظر را به موازات خط آدیاباتیک اشباع تا سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ادامه داده، نقطه حاصله در حقیقت بیشینه دمای نقطه شبنم برای توفان است. نسبت اختلاط را نیز در این سطح برآورد می‌کنیم. شایان ذکر است، این عمل برای تمامی توفان‌ها و برای دوره‌های برگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز صورت می‌گیرد. ضریب حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد نیز برای ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در حوضه‌ی آبی چای محاسبه گردید. جدول (۵) نتایج حاصل از بیشینه نمودن سرعت باد مربوط به طوفان ۲۳ تیر ۱۳۷۸ را به طور منتخب نشان می‌دهد.

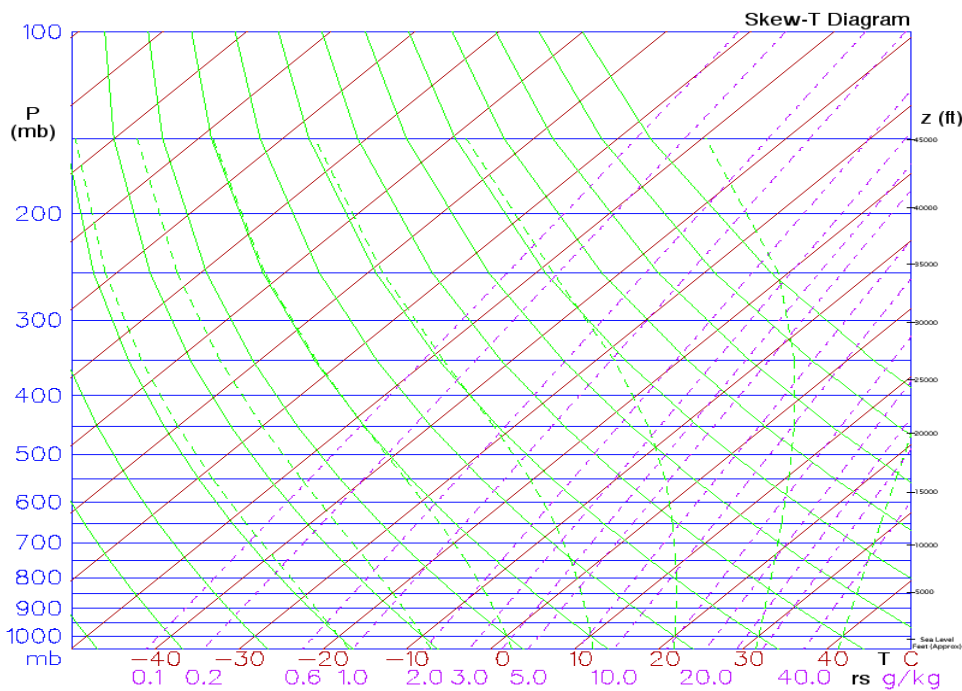
جدول (۴): تحلیل فراوانی دمای نقطه شبنم و سرعت باد ایستگاه تبریز

دوره برگشت تاریخ	حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد (برحسب نات) با دوره برگشت ۱۰۰ سال	حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد (برحسب نات) با دوره برگشت ۵۰ سال	حداکثر ۱۲ ساعته دمای نقطه شبنم (بر حسب سلسیوس) با دوره برگشت ۱۰۰ سال	حداکثر ۱۲ ساعته دمای نقطه شبنم (بر حسب سلسیوس) با دوره برگشت ۵۰ سال

<sup>1</sup> - Mixing Ratio



دوره برگشت تاریخ	حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد (بر حسب نات) با دوره برگشت ۱۰۰ سال	حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد (بر حسب نات) با دوره برگشت ۵۰ سال	حداکثر ۱۲ ساعته دمای نقطه شبنم (بر حسب سلسیوس) با دوره برگشت ۱۰۰ سال	حداکثر ۱۲ ساعته دمای نقطه شبنم (بر حسب سلسیوس) با دوره برگشت ۵۰ سال
۲۰ - ۳۰ می	۳۳/۳	۲۹/۵	۱۴/۸	۱۳/۹
۱ - ۱۰ جولای	۲۸/۱	۲۵/۶	۱۵/۴	۱۴/۳
۱۰ - ۲۰ جولای	۲۹/۴	۲۶/۱	۱۳/۲	۱۲/۷
۱ - ۱۰ می	۳۰/۶	۲۸/۵	۱۶/۱	۱۵/۲



شکل (۵): نمودار دمای اریبی

جدول (۵): بیشینه نمودن سرعت باد ( بر حسب نات) در توفان ۱۳۷۸/۴/۲۳ معادل با ۱۹۹۹/۷/۱۴

ایستگاه	حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد توفان	سرعت باد حداکثر شده با دوره بازگشت ۵۰ سال	سرعت باد حداکثر شده با دوره بازگشت ۱۰۰ سال	ضریب حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد با دوره بازگشت ۵۰ سال	ضریب حداکثر ۱۲ ساعته سرعت باد با دوره بازگشت ۱۰۰ سال
تبریز	۱۹	۲۶/۳	۳۳/۲	۱/۳۸	۱/۷۴
سراب	۱۴	۲۳/۳	۲۹/۸	۱/۶	۱/۲
اهر	۱۱	۱۸/۴	۲۰/۴	۱/۶۷	۱/۸۵
Mean				۱/۵۵	۱/۸۹

بعد از بیشینه سازی رطوبت و حداکثر سرعت باد و به دست آوردن ضرایب رطوبت و سرعت باد، ضرایب بیشینه‌ی رطوبت و حداکثر ۱۲ ساعته پایدار سرعت باد را به‌طور جداگانه، در مقدار متوسط بارش هر توفان با دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال اعمال کرده و پی‌ام‌پی حوضه آجی‌چای به دست می‌آید، جداول (۶) و (۷).

جدول (۶): برآورد حداکثر بارش محتمل بر حسب میلی‌متر به روش سینوپتیک با دوره بازگشت ۵۰ ساله در حوضه آبی چای

روز طوفان	ضریب طوفان	میانگین بارش تجمعی در سطح حوضه	میزان (PMP) طوفان
۱۳۶۰/۳/۱	۱/۹	۳۵/۸	۶۸/۱
۱۳۷۶/۴/۱۳	۲/۱	۴۹/۵	۱۰۳/۹
۱۳۷۸/۴/۲۳	۲/۰۹	۴۵	۹۴/۱
۱۳۸۳/۲/۱۲	۱/۹۵	۴۳/۳	۸۴/۵

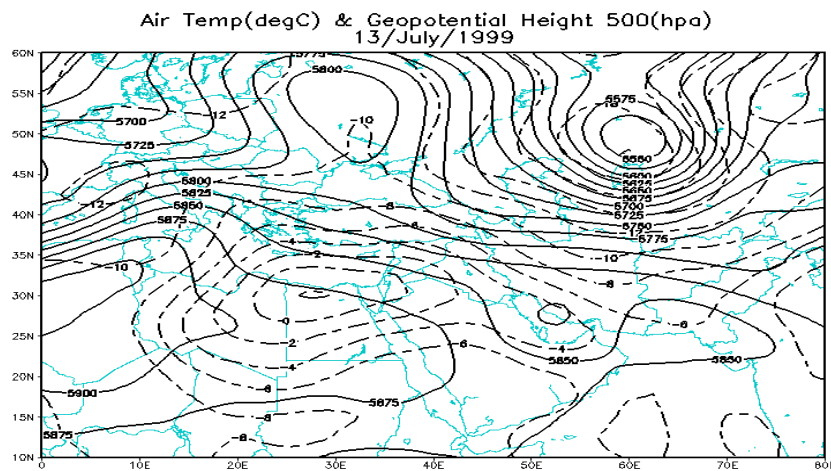
جدول (۷): برآورد حداکثر بارش محتمل بر حسب میلی‌متر به روش سینوپتیک با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در حوضه

#### آبی چای

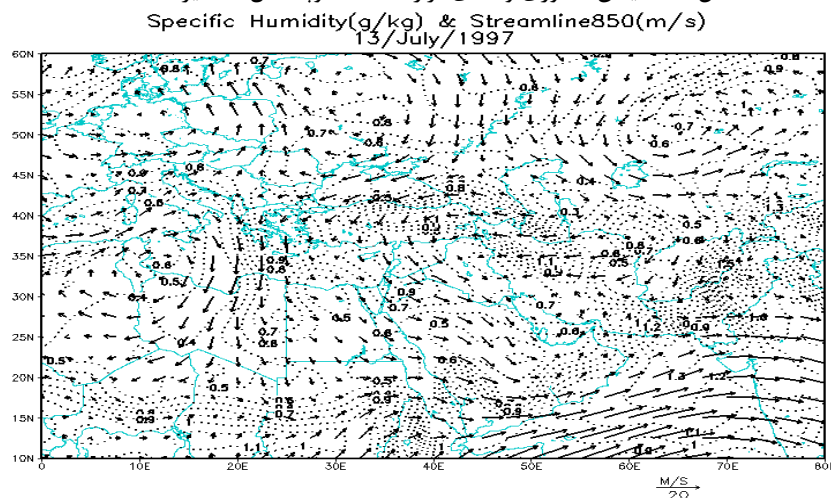
روز طوفان	ضریب شار طوفان	میانگین بارش تجمعی در سطح حوضه	میزان (PMP) طوفان
۱۳۶۰/۳/۱	۲/۱	۳۵/۸	۷۵/۱
۱۳۷۶/۴/۱۳	۲/۶	۴۹/۵	۱۲۸/۷
۱۳۷۸/۴/۲۳	۲/۷	۴۵	۱۲۱/۵
۱۳۸۳/۲/۱۲	۲/۴	۴۳/۳	۱۰۳/۹

پی‌ام‌پی حوضه آبی چای برای تداوم ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. برای محاسبه پی‌ام‌پی ۲۴ ساعته، از متوسط ارتفاع بارندگی توفان یک روزه ۱۳۶۰/۳/۱ که تقریباً ۳۵/۸ میلی‌متر بود استفاده شد. همچنین برای این توفان متوسط ضرایب سه‌ایستگاه تبریز، اهر و سراب که برابر ۱/۹ و ۲/۱ برای دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ می‌باشد بکار برده شد. برای محاسبه پی‌ام‌پی ۴۸ ساعته، از متوسط ارتفاع بارندگی طوفان دو روزه‌ی ۱۳۸۳/۲/۱۲ که تقریباً ۴۳/۳ میلی‌متر بود استفاده شد و برای بیشینه سازی توفان از ضریب ۱/۹۵ و ۲/۴ استفاده گردید. برای محاسبه پی‌ام‌پی ۷۲ ساعته، از متوسط ارتفاع بارندگی توفان سه روزه ۱۳۷۶/۴/۱۳ که تقریباً ۴۹/۵ میلی‌متر بود استفاده شد؛ در نهایت پی‌ام‌پی ۲۴ ساعته برای حوضه آبی چای در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۶۸/۱ و ۷۵/۱ میلی‌متر، پی‌ام‌پی ۴۸ ساعته در دوره‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۸۴/۵ و ۱۰۳/۹ میلی‌متر و پی‌ام‌پی ۷۲ ساعته در این دو دوره به ترتیب ۱۰۳/۹ و ۱۲۸/۷ میلی‌متر تخمین زده شد. برای تحلیل الگوهای سینوپتیکی توفان‌های رخ داده در منطقه، داده‌های ترازهای فشار ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال از مرکز ملی پیش بینی محیطی و مرکز ملی مطالعات جوی سازمان هواشناسی آمریکا اخذ گردید. در این تحقیق، از فشار و دمای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان نماینده تراز میانی جو، رطوبت و باد سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال به منظور تحلیل تغذیه رطوبت سیستم، استفاده شده است. این نقشه‌های سینوپتیکی با استفاده از نرم‌افزار Grads تولید و مورد تحلیل قرار گرفتند. از بررسی سینوپتیکی توفان ۱۹۸۱/۵/۲۱ میلادی می‌توان به این نتیجه رسید که کشیده شدن سامانه کم ارتفاع از نواحی سیبری تا روی دریای مدیترانه و سیاه، باعث ایجاد ناوه بسیار عمیقی با گرادیان کنتوری مناسب در روی ترکیه و شمال غرب ایران گردیده است؛ به طوری که شرایط مناسبی را برای صعود در شمال غرب کشور و منطقه مورد مطالعه فراهم آورده است و با بررسی نقشه میدان‌های باد سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و نیز مقطع عرضی نم ویژه چگونگی تغذیه رطوبتی این سامانه مشخص گردید، به نحوی که خطوط جریان از دریای خزر، دریای سیاه و دریای مدیترانه تغذیه رطوبتی شده و با حرکت به سمت ایران و منطقه مورد مطالعه، رطوبت لازم را برای سامانه بارش‌زا تأمین می‌کرده است. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های سینوپتیکی توفان ۱۹۹۷/۷/۳ میلادی نشان دهنده سامانه امگا تقویت شده‌ای بود که از اقیانوس اطلس تا قلب روسیه کشیده

شده بود که با تشکیل هسته کم ارتفاعی در منطقه قفقاز، شمال غرب ایران نیز؛ در محدوده بارشی این سیستم قرار گرفته است جهت جریان‌ها نیز نشان دهنده تغذیه رطوبتی سیستم از دریای خزر و دریای سیاه بود که باعث تشدید بارش‌ها در منطقه مورد مطالعه شده است. نقشه‌های سینوپتیکی توفان ۱۹۹۹/۷/۱۳ میلادی نیز نشان داد که در اثر تشکیل سامانه امگا شکلی که از اقیانوس اطلس تا قلب روسیه کشیده شده بود، ناوهای در روی دریای خزر ایجاد شده و بعد از تقویت آن، شمال و شمال غرب کشور را تحت تأثیر خود قرار داده است و باعث وقوع بارش‌های شدید در منطقه مورد مطالعه گردیده است. جهت جریان‌ها در این طوفان نیز نشان دهنده تغذیه رطوبتی سیستم، از طرف دریای خزر و دریای سیاه می‌باشد و در دوره فعالیت این سیستم شرایط رطوبتی بسیار مناسبی از شرق ترکیه تا غرب دریای خزر وجود داشته است. بررسی سینوپتیکی توفان ۲۰۰۴/۵/۱ میلادی نشان می‌دهد که مرکز کم ارتفاعی با ارتفاع تقریبی ۵۶۲۵ ژئوپتانسیل متر، در روی دریای مدیترانه تشکیل شده بود و با حرکت به سمت شرق، شمال غرب کشور و منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده بود و در نتیجه آن، شاهد توفان‌های رگباری و بارش‌های شدید در منطقه مورد مطالعه بوده‌ایم. تغذیه رطوبتی این سیستم نیز بیشتر از طرف دریای سیاه و دریای مدیترانه بوده است. نقشه‌های سینوپتیکی مربوط به توفان ۱۳۷۸/۴/۲۳ به طور منتخب در شکل‌های (۶) تا (۱۵) آمده است.

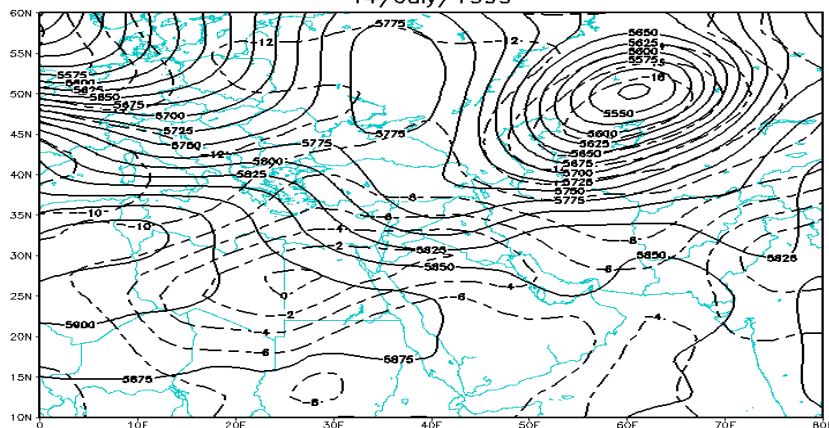


شکل (۶): میدان کنتوری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۲ تیر ۱۳۷۸



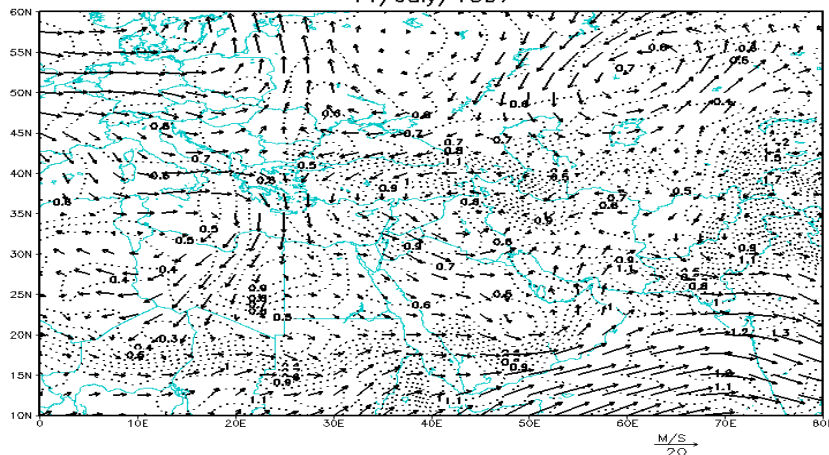
شکل (۷): میدان خطوط جریان و نم نسبی ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۲ تیر ۱۳۷۸

Air Temp(degC) & Geopotential Height 500(hpa)  
14/July/1999



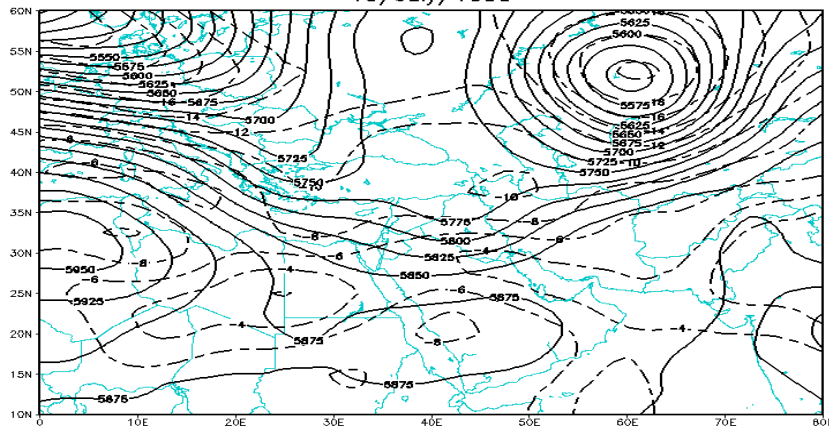
شکل (۸): میدان کنتوری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۳ تیر ۱۳۷۸

Specific Humidity(g/kg) & Streamline850(m/s)  
14/July/1999

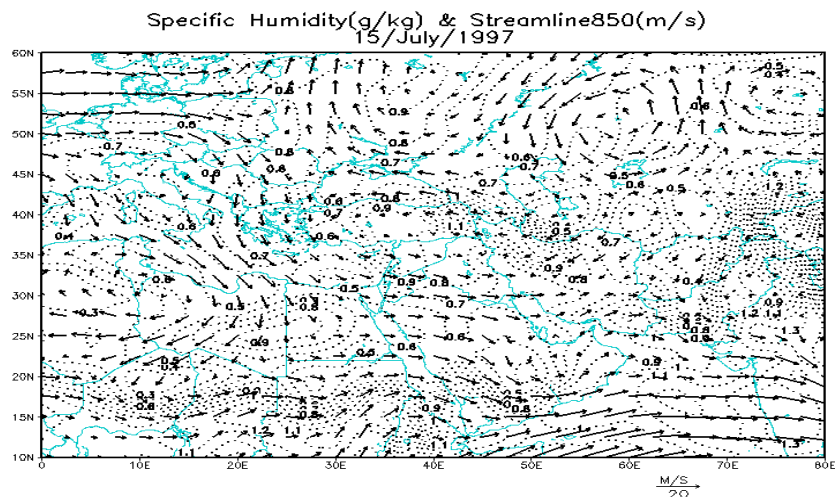


شکل (۹): میدان خطوط جریان و نم نسبی ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۳ تیر ۱۳۷۸

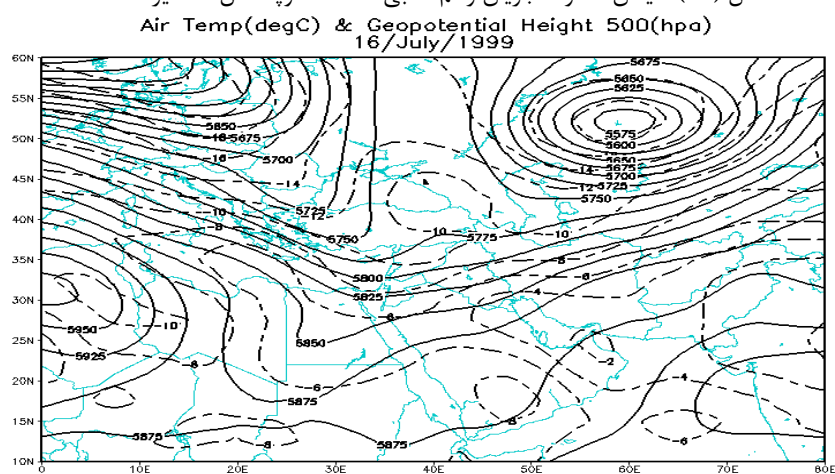
Air Temp(degC) & Geopotential Height 500(hpa)  
15/July/1999



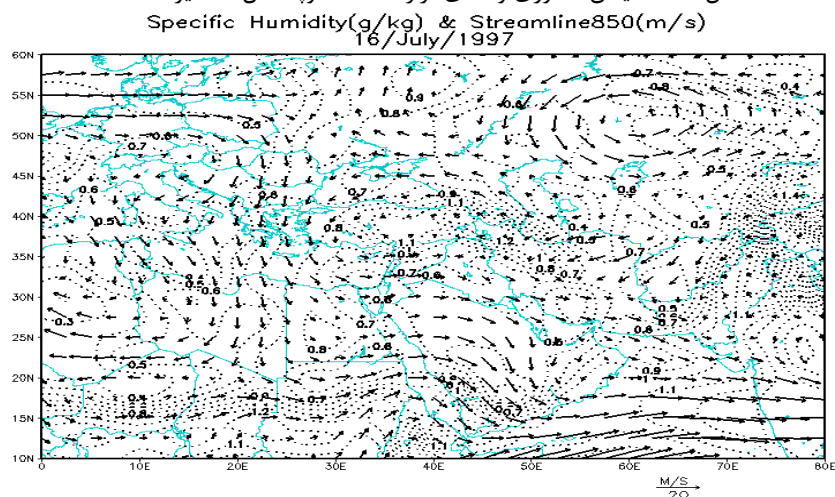
شکل (۱۰): میدان کنتوری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۴ تیر ۱۳۷۸



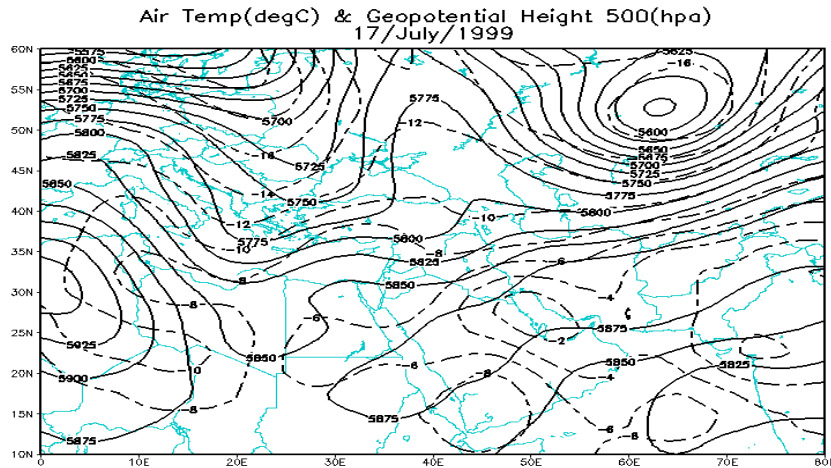
شکل (۱۱): میدان خطوط جریان و نم نسبی ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۴ تیر ۱۳۷۸



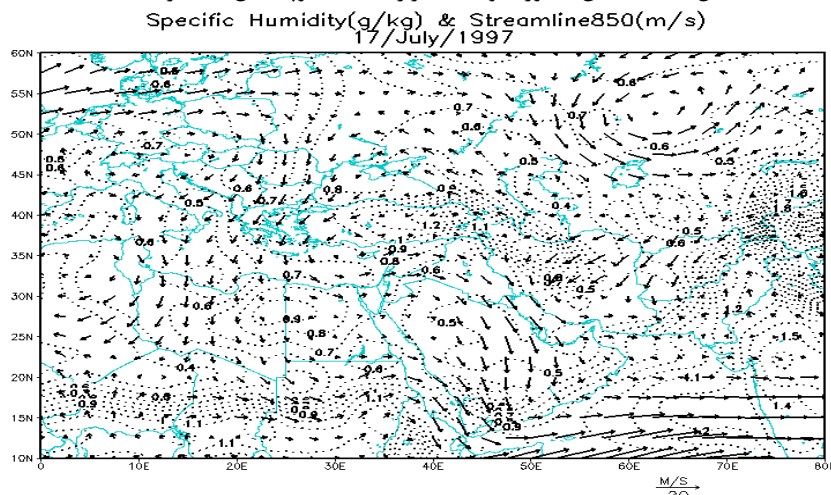
شکل (۱۲): میدان کنتوری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۵ تیر ۱۳۷۸



شکل (۱۳): میدان خطوط جریان و نم نسبی ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۵ تیر ۱۳۷۸



شکل (۱۴): میدان کنتوری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۶ تیر ۱۳۷۷



شکل (۱۵): میدان خطوط جریان و نم نسبی ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۶ تیر ۱۳۷۸

## ۵- بحث و نتیجه گیری

مطالعه حداکثر بارش محتمل، به جهت ارزیابی و برآورد سیل محتمل برای طراحی هرگونه سازه هیدرولوژیکی شهری، از قبیل کانال آبیاری، تعیین حداکثر مقدار آبی که وارد مخازن سرریز یا سایر تأسیسات می‌شود، ضروری است. در این پژوهش پی‌ام‌پی حوضه آبی چای برای تداوم ۲۴، ۴۸، ۷۲ ساعته در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد، به‌گونه‌ای که نتایج حاصل نشان داد که پی‌ام‌پی ۲۴ ساعته برای حوضه آبی چای در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۶۸/۱ و ۷۵/۱ میلی‌متر، پی‌ام‌پی ۴۸ ساعته در دوره‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۸۴/۵ و ۱۰۳/۹ میلی‌متر و پی‌ام‌پی ۷۲ ساعته در این دو دوره به ترتیب ۱۰۳/۹ و ۱۲۸/۷ میلی‌متر تخمین زده شد. تحلیل سینوپتیکی توفان ۱۹۸۱/۵/۲۱ میلادی نشان داد که کشیده شدن سامانه کم ارتفاع از نواحی سیرری تا روی دریای مدیترانه و سیاه، باعث ایجاد ناوهی بسیار عمیقی با گرادیان کنتوری مناسب در روی ترکیه و شمال غرب ایران گردیده به‌طوری‌که شرایط مناسبی را برای صعود و بارش در شمال غرب کشور ایجاد کرده است. نقشه‌های سینوپتیکی توفان ۱۹۹۷/۷/۳ میلادی نشان دهنده سامانه امگا تقویت شده‌ای بود که از اقیانوس اطلس تا قلب روسیه کشیده شده بود که با تشکیل هسته کم ارتفاعی در منطقه قفقاز، شمال غرب ایران نیز در محدوده بارشی این سیستم قرار گرفته است، جهت جریان‌ها نیز نشان دهنده تغذیه رطوبتی سیستم از دریای خزر و دریای سیاه بود. نقشه‌های

سینوپتیکی توفان ۱۹۹۹/۷/۱۳ میلادی نیز نشان داد که در اثر تشکیل سامانه امگا شکلی که از اقیانوس اطلس تا قلب روسیه کشیده شده بود، ناوهای در روی دریای خزر ایجاد شده و بعد از تقویت آن، شمال و شمال غرب کشور را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث وقوع بارش‌های شدید در منطقه مورد مطالعه گردیده است. بررسی سینوپتیکی توفان ۲۰۰۴/۵/۱ میلادی نشان می‌دهد که مرکز کم ارتفاعی در روی دریای مدیترانه تشکیل شده بود و با حرکت به سمت شرق، شمال غرب کشور و منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده در نتیجه آن، شاهد توفان‌های رگباری و بارش‌های شدید در منطقه مورد مطالعه بوده‌ایم.

## ۶- فهرست منابع

- آذر، عادل و مومنی، منصور (۱۳۸۵)، آمار و کاربرد آن در مدیریت، چاپ سیزدهم، انتشارات سمت، تهران.
- آرتیدار، رضا (۱۳۷۷)، برآورد حداکثر بارش محتمل به روش آماری و سینوپتیکی و مقایسه آنها، مطالعه موردی رودخانه آبی‌چای، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، کرج.
- سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۸)، اطلاعات آماری و سینوپتیکی ایستگاه‌های حوضه آبی‌چای، اداره کل سازمان هواشناسی تبریز.
- حنفی، علی و سلطانی، محسن (۱۳۸۷)، برآورد حداکثر بارش محتمل به روش آماری هرفیلد در شهر تهران، مجموعه مقالات سومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه تهران.
- خلیلی، علی (۱۳۸۱)، برآورد حداکثر بارش محتمل آماری در سطح زمانی استاندارد در گستره‌ی ایران و پهنه‌بندی کشور از دیدگاه قانونمندی‌های آن، معاونت پژوهشی و آموزشی وزارت راه و ترابری.
- رشتچی، ژاله (۱۳۷۱)، برآورد حداکثر بارش محتمل به روش‌های مختلف مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد.
- رشتچی، ژاله (۱۳۷۳)، برآورد حداکثر بارش محتمل، تهران: وزارت نیرو، سازمان تحقیقات منابع آب.
- سپاسخواه، علیرضا (۱۳۷۳)، تعیین مقادیر حدی بارندگی در نقاط جنوبی ایران، نیوار شماره ۴۲.
- سازمان جغرافیایی کشور (۱۳۸۱)، فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور، حوضه آبریز دریاچه ارومیه.
- صالحی‌پاک، تهمینه (۱۳۷۸)، برآورد حداکثر بارش محتمل حوضه سد ماملو به روش سینوپتیکی، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- علیزاده، امین (۱۳۷۷)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- موحد دانش، علی اصغر (۱۳۸۵)، هیدرولوژی آبهای سطحی، چاپ چهارم، انتشارات سمت، تهران.
- نجفی، درعلی (۱۳۸۳)، محاسبه آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته و حداکثر آب قابل بارش ایستگاه اصفهان، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، شیراز: دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
- Chang, W. L. and Hui, T. W. (2001). **Probable Maximum Precipitation for Hong Kong, Hong Kong Observatory**, ATC3 Workshop on Rain-Induced Landslides, Hong Kong, China, 12 December 2001.
- Collier, C. G. P. J. Hardaker, (1995). **Estimation probable maximum precipitation using a storm model approach**, journal of hydrology, 183: 277-306.
- Corrigan, P. , Fenn, D. D, Kluck, D. R. , and J. L. Vogel, (1999). **Probable Maximum Precipitation Estimates for California**. Hydrological Report, No. 59, U. S. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U. S. Department of Commerce, Silver Spring, MD, 392pp
- Desa, M. N. Noriah, A. B. and Rakhecha, P. R. (2001). **Probable maximum precipitation for 24-hour duration over Southeast Asian monsoon region -sclangor**, Malaysia.
- Hansen, E. M. , Schwarz, F. K. , and J. T. Reidel, (1977). **Probable Maximum Precipitation Estimates, Colorado River and Great Drainages**. Hydrological Report, No. 49, National Weather Service, National Oceanic Spring and Atmosphere Administration, U. S. Department of Commerce, Silver Spring, M. D, 161pp.
- Jonas, Eliasson. (1994). **Statistical Estimations of Probable Maximum Precipitation Values**, Nordic Hydrology, 25, 1994, 301-312.



- Mc Kay, G. A. , (1970). Precipitation. In: D. M. Gray(Ed), **Handbook on the principles of hydrology**. Canadian national committee for the international hydrological decade. Toronto. Canada. 13. 57. .
- O. Schulze, R. Roth & O. Pieper, (1994). **Probable maximum precipitation in the Upper Harz Mountains**, Flow regions form international experimental and network data (proceeding of the Braunschweig conference, October, 1993. IAHS Publ. No. 221, 1994.
- REzacova, Danicla. Zbynck. Sokol and Vitkveton, (1997). **Estimation of probable maximum precipitation over the catchments in the Czech Republic**, Catchment SIM Home page, .
- Svensson, Cecilia, and P. R. , Rakhecha, (1997). **Estimation of probable maximum precipitation for dams in the Honfru River Catchment**, China, Theor. Appl. Climatol. 59, 79 -91.
- Wang, B. H. (1984), **Estimation of probable maximum precipitation, Case Studies**, journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 10, pp1456 -1472.
- World Meteorological Organization (WMO), (1986). **Manual for estimation of probable maximum precipitation**. No. 332. Operational Hydrology Report.
- <http://www.irimo.ir/farsi/index.asp>