نشریه هواشناسی و علوم جوّ
جلد ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱ صفحات ۸۱-۹۷

بررسی نقش گردش وردسپهر فوقانی موسمی شرق آسیا و واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند تابستانه وردسپهر میانی ایران

حسن حاجی محمدی

دانشجوی دکترای آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

چکیده

سازوکار شکل گیری واچرخندها و نقش واداشت های مختلف در تشکیل آنها از مباحث چالش برانگیز در حوزه علوم اتمسفری می باشد. به همین منظور به بررسی نقش گردش موسمی تابستانه و واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند تابستانه تراز میانی وردسپهر بر روی ایران پرداخته شد. برای دستیابی به سازوکار اصلی واچرخند جنب حاره ایران طی یک دوره اقلیمی ۴۰ ساله(۲۰۲۰-۱۹۸۱) از کمیت های دینامیکی تاوایی نسبی، فرارفت تاوایی نسبی، پتانسیل سرعت باد، تابع جریان و باد واگرا استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که با شروع تابستان در نیمکره شمالی در ترازهای ۲۰۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال قوی ترین واچرخندها در نیمکره شمالی در محدوده ای بین فلات تبت تا فلات ایران گسترش یافته است که بیشینه شدت این واچرخندها در ماه های جولای و آگوست بوده و از نظر مکانی در این دو ماه از گستردگی بالاتری نیز برخوردار می باشند. با شروع فعالیت موسمی و تشکیل چشمه انرژی در شرق آسیا جرم حاصل از همرفت های عمیق در شرق آسیا طی یک جریان شرق به غرب در محدوده وسیعی از غرب آسیا تا عمده مناطق آفریقا شارش جرم صورت گرفته و تشکیل یک چاهه انرژی را می دهد. بیشینه قدرت چشمه انرژی بر روی فلات تبت در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال بوده که با تشکیل چرخه معکوس شاخه ای نزولی بر روی ایران، ارتفاعات خاورمیانه و ارتفاعات شمال غرب آفریقا را به همراه دارد. با بررسی میدان واگرایی و فرارفت تاوایی نسبی مشخص شد که طی ماه های جون تا سپتامبر بر روی ایران و ارتفاعات زاگرس همگرایی شدید و فرارفت تاوایی منفی در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال بوجود آمده و همراه با نزول هوای حاصل از گردش معکوس موسمی و واداشت های واچرخند فلات تبت را در بر داشته است. با شروع تابستان و در ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال محدوده ۹۰ تا ۱۵۰ درجه شرقی چشمه و محدوده ۰ تا ۷۰ درجه شرقی چاهه انرژی در منطقه می باشند. اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال چشمه انرژی در محدوده ۵۵ تا ۶۵ درجه شکل گرفته که نقش واداشت های ارتفاعات زاگرس در شکل گیری پرارتفاع تابستانه نشان می دهد. بررسی همبستگی بین جریان های بالاسو بر روی فلات تبت و میدان واگرایی و تاوایی نسبی بر روی ایران نشان از ارتباط بالای مقادیر امگای تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال فلات تبت با واگرایی و تاوایی نسبی منفی در تراز ۵۰۰ بر روی ارتفاعات ایران را دارد.

کلمات کلیدی: *موسمی تابستانه، چشمه و چاهه انرژی، فلات تبت، پرارتفاع جنب حاره ایران*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *EMAIL*

مقدمه

جو تابستانه و به خصوص سامانه های شبه ساکن به مانند واچرخندهای جنب حاره با تشکیل و تکوین در این دوره، محققان را بر آن داشته تا به استفاده از ابزار جدید و با استفاده از داده های به روز اقدام به شناسایی سازوکار حاکم بر شکل گیری سامانه های مذکور را بررسی نماید. بری و کارلتون(۲۰۰۱) عقیده دارند که شکل گیری این سامانه ها بصورت منفرد در منطقه جنب حاره حاصل تغییر در سطح زمین بوده که از جمله آن وجود کوهستان ها و تضاد گرمایشی بین دریا و خشکی می باشد. این وضعیت در طول تابستان نیمکره شمالی و همزمان با شکل گیری موسمی جنوب آسیا با تغییر در اختلاف دمای خشکی و دریا گردش جو مناطق جنوب غرب آسیا از این سیستم بزرگ مقیاس متاثر می گردد(تربرس و همکاران، ۲۰۰۶؛ یانگ و لو، ۲۰۰۶). گرمایش محسوس که عمدتا بر روی فلات تبت بوده و فرآیندهای بزرگ مقیاس چاهه و چشمه گرمایی بر روی مناطق مختلف از جمله محدوده فعالیت موسمی هند، دریای عرب، شرق آسیا و شمال چین و فلیپین در دوره فعالیت موسمی آسیا را تشکیل می دهند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ دینگ و سیکا، ۲۰۰۶). اما نقش فلات تبت در شکل گیری، تکامل و تغییرپذیری گردش جو در منطقه نقشی حیاتی داشته و از طریق واداشت های حرارتی یک چشمه انرژی در منطقه می باشد (وو و همکاران، ۲۰۰۷، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ لو و همکاران، ۲۰۲۱). گرمایش بالای به وجود آمده بر روی فلات تبت سبب شکل گیری یک پرارتفاع تراز فوقانی وردسپهر شده که به اصطلاح آنرا با عنوان پرارتفاع جنوب آسیا می نامند، وگردش وردسپهر فوقانی و تحتانی را با انتقال رطوبت از شرق آسیا به مناطق غربی را در بر دارد و از آنجایی که نیروی مکانیکی خود را از تشکیل جریان های موسمی دریافت می کند، سبب همگرایی سطحی رطوبت می گردد (کوئنی، ۱۹۴۸؛ وو، ۱۹۸۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ مولنار و همکاران، ۲۰۱۰). به عقیده تایرلیس و همکاران (۲۰۱۳) اثرگذاری موسمی جنوب آسیا بر گردش جو تابستانه شرق مدیترانه و خاورمیانه حاصل از برهمکنش بین فلات تبت و توپوگرافی پیچیده خاورمیانه و ایران بوده و شکل گیری پرارتفاع جنب حاره بر روی ایران حاصل این دو فرآیند می باشد. رن و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خود به نقش فلات تبت در تغییرات بارش موسمی پرداختند. آنها دریافتند که با تغییرات واداشت های دینامیکی و ترمودینامیکی پرارتفاع فلات تبت، کمربند بارشی جهشی شمال سو به خود می گیرد. ژوآنگ و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که موسمی آسیا طی یک برهمکنش بین دریا و خشکی، تنوع توپوگرافی و قرارگیری فلات تبت در منطقه، تاثیر عوامل توپوگرافیک و عدم تباین دمایی بین دریا و خشکی دارای سازوکاری متفاوت بوده و در اواخر تابستان نقش عوامل توپوگرافی ضعیف تر می باشد.

در ایران نیز بر اساس تئوری مطرح شده زرین(۱۳۸۶) و قائمی و همکاران (۱۳۸۸) به تحلیل پرفشارهای جنب حاره بر روی ایران و آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد در تراز ۲۰۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب دارای مدهای جنوب چین تا غرب ایران و فلات تبت-فلات ایران می باشند. بررسی ها نشان داد که سازوکار پرارتفاع های مذکور رابطه مستقیمی با شدت موسمی تابستانه آسیا داشته و برهمکنش بین موسمی و تشکیل پرارتفاع های جنب حاره دارای سازوکار پیچیده ای است. مفیدی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی گردش جو تابستانه در وردسپهر فوقانی بر روی جنوب غرب آسیا و وردایی زمانی آن پرداختند. شواهد بیانگر آن بود که با آغازگری گردش موسمی در جنوب و جنوب شرق آسیا یک جریان غرب سوی مداوم در وردسپهر فوقانی شکل می گیرد که محل اصلی همگرایی آن چاهه گرمایی جنوبغرب آسیا و شرق مدیترانه است. شکل گیری و تداوم جریان مداری غرب سو، جنوبغرب آسیا را محل همگرایی و نزول مداوم هوای منشأ یافته از موسمی جنوب و جنوبشرق آسیا می سازد. تداوم نزول بزرگ مقیاس هوا ضمن ایجاد شیب معکوس نصف النهاری دما، پیدایش یک گردش هادلی معکوس را در امتداد نصف النهاری بر روی جنوبغرب آسیا موجب می گردد.

در سال ۱۳۹۰ زرین و مفیدی به طرح این نظریه پرداختند که آیا پرفشار جنب حاره ای تابستانه بر روی ایران زبانه ای از پرفشار جنب حاره ای آزور است؟ نتایج مدلسازی انجام شده بر نقش برجسته رشته کوه زاگرس در شکل گیری و تداوم

گردش های مقیاس منطقه ای جو در ترازهای میانی و زیرین بر روی خاورمیانه تأکید می نماید. یافته های پژوهش حاضر بیانگر آن است که مرکز واچرخندی مستقر بر روی غرب ایران بیش از آنکه متاثر از واداشت خارجی باشد، ناشی از واداشت های گرمایی سطحی در منطقه خاورمیانه است.

در تحقیق دیگری مفیدی و زرین(۱۳۹۱) با بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا نشان دادند که منشا شکل گیری پرفشارهای تابستانه در تراز های مختلف حاصل واداشت های موسمی و فرارفت های قائم گرما از روی ارتفاعات و یا ترکیب این دو می باشد.

همانطور که مشاهده شد تحقیقات اندکی در ایران بر روی گردش جو تابستانه صورت گرفته است که از بنیادی ترین این تحقیقات در این بخش اشاره شد. اما با وجود تحقیقات گسترده در سطح دنیا و شناسایی بخش های مختلفی از پیچیدگی های گردش جو تابستانه، در داخل ایران بصورت مصرانه تاکید بر این دارند که شکل گیری پرارتفاع جنب حاره تابستانه ناشی فرونشست هوا در قطاع شمالی سلول هادلی می باشد که در تحقیقات داخلی به این تئوری کلاسیک پرداخته می شود. اما اخیرا در سال ۲۰۲۲ زاپلوتنیک و همکاران به بررسی تغییرات و نوسانات سلول هادلی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سلول هادلی بر روی اقیانوس هند، اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس در تغییر فصول دارای تغییرات شمال سو و جنوب سو هستند و عمده شکل گیری این سلول بر روی اقیانوس ها و در مناطق یاد شده می باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی نقش گردش وردسپهر فوقانی موسمی شرق آسیا و واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند تابستانه(در ماه های جون، جولای، آگوست و سپتامبر) وردسپهر میانی ایران از داده های مرکز ملی پیش بینی محیطی/علوم جو(*NCEP/NCAR*) طی بازه زمانی ۴۰ ساله(۲۰۲۰-۱۹۸۱) استفاده شد. دلیل انتخاب ماه های مورد نظر برای این تحقیق استفاده از شاخص های فیزیکی، دینامیکی و شاخص موسمی بوده که متوسط شروع و خاتمه تابستان در منطقه بر اساس ۳ شاخص معرفی شده از ابتدای ماه جون تا اواخر سپتامبر و گاها تا دهه اول اکتبر نیز ادامه دارد(مفیدی و زرین، ۱۳۹۱).در ادامه مقادیر متوسط بلندمدت ۴۰ ساله برای پارامترهای مورد استفاده در تحقیق تهیه و در نهایت خروجی های مورد نظر تولید گردید. از آنجایی که هدف اصلی بررسی اندرکنش بین گردش وردسپهر فوقانی و میانی بود، در بخش های مختلف به آن پرداخته شد. برای این منظور از پارامترهای تاوایی نسبی[1]($10^{-5}\,s^{1}$)، تابع جریان[2]($\mathrm{kg/ms}$)، پتانسیل سرعت باد[3]($10^{6}\,\mathrm{m^{2}\,s^{-1}}$)، باد واگرا[4](ms^{-1})، فرارفت تاوایی نسبی[5] ($10^{-9}\,s^{2}$) و میدان واگرایی[6] ($10^{-5}\,s^{1}$)به عنوان پارامترهای دینامیکی بررسی این سازوکار استفاده شد. در ادامه به بررسی معادلات دینامیک مورد استفاده در این تحقیق پرداخته شده است.

تاوایی نسبی

در ابتدا به بررسی وضعیت تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پرداخته شد تا محدوده تمرکز بیشینه تاوایی منفی در تراز مورد نظر شناسایی گردد. در تعریف تاوایی این گونه عنوان شده که یک اندازه گیری برداری از چرخش محلی در یک جریان سیال، که از نظر ریاضی به عنوان پیچش بردار سرعت تعریف می شود که با رابطه های زیر محاسبه می گردد:

$$\zeta = \nabla \times \boldsymbol{u} \qquad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق ζ تاوایی، $\boldsymbol{u}$ سرعت و ∇ عملگر دل می باشد (هولتون، ۱۹۷۲).

فرارفت تاوایی

برای تکوین سامانه ها و به خصوص پرارتفاع ها که نمود اصلی آن افزایش و کاهش تاوایی نسبی بوده از پارامتر فرارفت تاوایی نسبی استفاده شد که در طول زمان برای یک مکان

1 - *Relative Vorticity*
2 - *Stream Function*
3 - *Velocity Potential*
4 - *Divergent Wind*
5 - *Relative Vorticity Advection*
6 - *Divergence Field*

این تغییرات را نشان می دهد و به صورت زیر تعریف می گردد:

رابطه ۲: $-\boldsymbol{v}.\nabla_p\left(\boldsymbol{\zeta}+\boldsymbol{f}\right)$

در رابطه ۲، $\boldsymbol{v}$ بردار کل باد، ∇_p عملگر دل بر روی سطوح ایزوباریک، ζ تاوایی نسبی و $\boldsymbol{f}$ پارامتر کوریولیس می باشد. فرارفت تاوایی یکی از پارامترهای مورد استفاده در پیش بینی حرکت عمودی در جو است که در آن فرارفت تاوایی مثبت مربوط به حرکت صعودی و فرارفت تاوایی منفی مربوط به چاهه و نزولی بودن جریان قائم است (هولتون، ۱۹۷۲).

پتانسیل سرعت

در تعریف پتانسیل سرعت باید اشاره کرد که یک تابع نرده ای با گرادیان آن برابر با بردار سرعت $\boldsymbol{u}$ یک جریان بی چرخش است.

اگر χ (x,y,z) پتانسیل سرعت باشد،

رابطه ۳: $\boldsymbol{u}=-\nabla\div.$

اگر جریان نیز غیر واگرا باشد، پتانسیل سرعت معادله لاپلاس را برآورد می کند:

معادله ۴: $\nabla^2\div=0.$

در اینجا $\div$ پتانسیل سرعت، ∇ عملگر دل می باشد. سرعت در همه جا نسبت به سطوح با پتانسیل سرعت ثابت نرمال است. اگر پتانسیل سرعت وجود داشته باشد، توصیف حرکت با استفاده از پتانسیل به جای سرعت برداری ساده تر است، زیرا اولی یک تابع نرده ای منفرد بوده، در حالی که دومی مجموعه ای از سه تابع نرده ای می باشد(هولتون، ۱۹۷۲).

تابع جریان

تابع جریان بدین صورت تعریف می گردد که پارامتری از جریان دو بعدی و غیر واگرا، با مقداری که در طول هر خط جریان ثابت است.

برای جریان در صفحه (x,y)، تابع جریان ψ با معادلات مربوط به سرعت مختصات مربوطه u و v تبیین می گردد.

معادله ۵: $u=-\frac{\partial\psi}{\partial y}\,and\,v=\frac{\partial\psi}{\partial x}$

در هواشناسی رایج ترین کاربرد تابع جریان در فرض تعادل ژئوستروفیک است. اگر تغییرات در پارامتر کوریولیس $\boldsymbol{f}$ نادیده گرفته شود، عملکرد جریان در یک سطح فشار ثابت با ژئوپتانسیل gz متناسب است. یعنی $\psi=gz/\boldsymbol{f}$ ؛ در یک سطح همدرگاشت،

$\psi=\left(gz+\mathrm{cpT}\right)$ است که تابع جریان نامیده می شود، که در آن cp گرمای ویژه در فشار ثابت و T دمای کلوین است (هولتون، ۱۹۷۲).

گردش و اگرا و باد واگرا:

به منظور بررسی انتقال جرم از مولفه باد واگرا استفاده شد. برای بررسی گردش سلولی در منطقه حاره به عنوان سلول های بسته در صفحات Y-Z و X-Z باد واگرا جهت آشکارسازی در صفحه کاملا افقی کاربرد دارد(کریشنامورتی، ۱۹۷۱ و ۱۹۷۳).

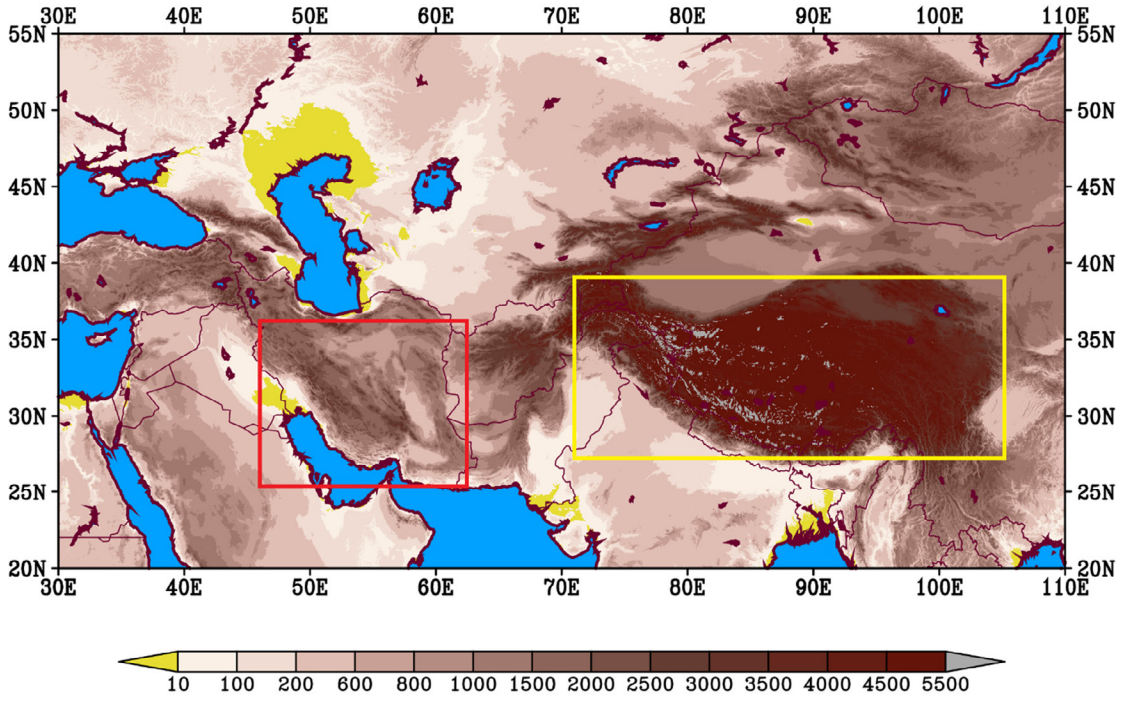
رابطه ۶: $V=V_\psi+V_\div=k\times\nabla\psi+\nabla\div$

رابطه ۷: $\nabla^2\psi=\xi,$

رابطه ۸: $\nabla^2\div=D,$

در این معادله V بردار افقی باد، V_ψ V_χ به ترتیب اجزای چرخشی و واگرایی باد افقی هستند. ψ تابع جریان، $\div$ پتانسیل سرعت، ξ مولفه عمودی تاوایی و D جزء افقی واگرایی می باشد.

پس از محاسبه کمیت های دینامیکی فوق، بر اساس شکل ۱ با استفاده از مقادیر امگا($Pascal\ s^{-1}$) در ترازهای فوقانی وردسپهر در محدوده فلات تبت، اقدام به تهیه نقشه های همبستگی بصورت مقطع قائم شد. برای انجام این فرآیند مقادیر امگای تراز ۳۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال در محدوده فلات تبت انتخاب شد. چرا که هدف تحقیق بررسی نقش گردش



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه برای همبستگی بین گردش فلات تبت و ایران و تغییرات پارامترهای جوی در این دو محدوده(رنگ کادر زرد محدوده فلات تبت و رنگ کادر قرمز محدوده ایران)

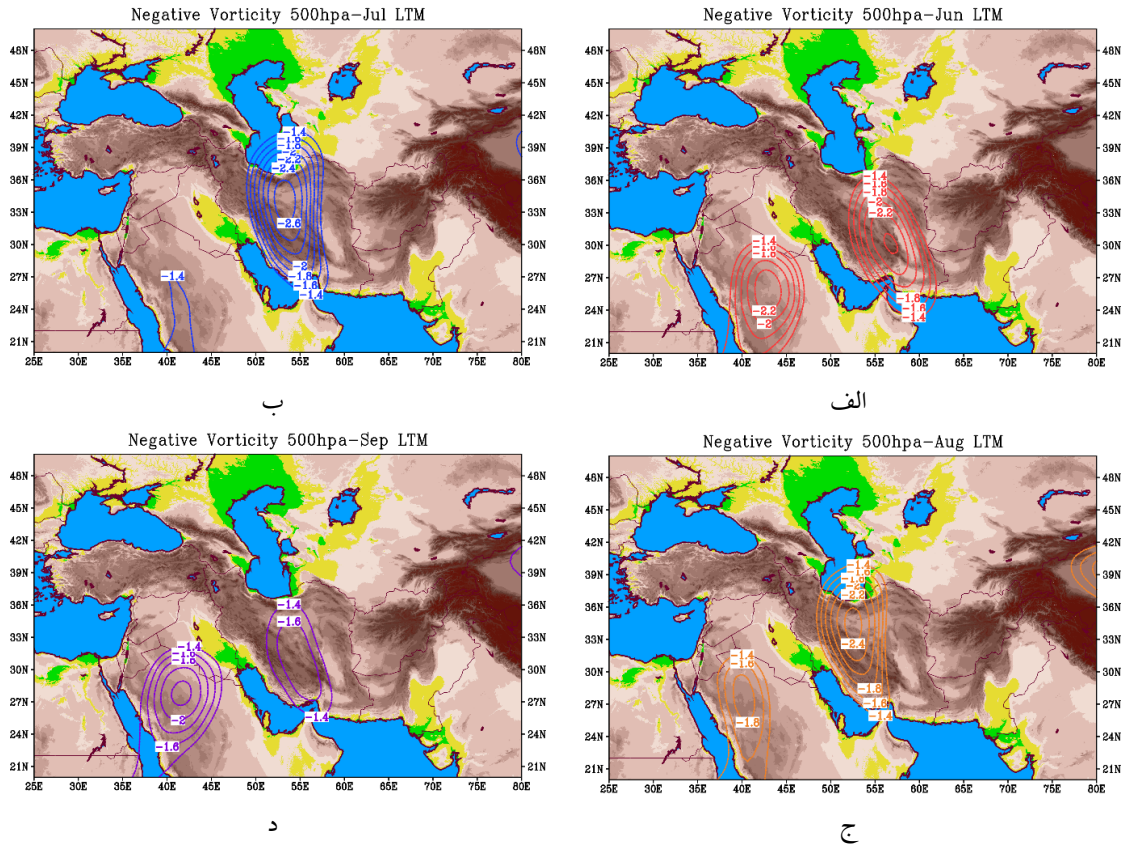
وردسپهر فوقانی موسمی شرق آسیا و واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند تابستانه وردسپهر میانی ایران بود، بیشترین همبستگی بین گردش جو منطقه و ترازهای یاد شده مورد بررسی قرار گرفت. برای همبستگی بر روی ایران نیز از پارامترهای تاوایی نسبی و میدان واگرایی بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

در ابتدا به بررسی مقادیر منفی تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پرداخته شد. نتایج نشان داد در ماه جون هسته بیشینه تاوایی منفی بر روی ارتفاعات جنوب ایران شکل گرفته است. در ماه جولای با پرشی ۳ درجه ای به عرض های بالاتر در عرض ۳۳ درجه بیشنه تاوایی منفی شکل گرفته و همین وضعیت در ماه آگوست نیز ادامه دارد. در ماه سپتامبر از شدت این واچرخند در تراز میانی وردسپهر کاسته شده و بیشینه آن ۱,۶- واحد در بلندمدت ۴۰ ساله برای این ماه می باشد. در این دوره ۴ ماهه تابستان بیشترین مقدار تاوایی منفی در ماه جولای با ۲,۶- واحد بوده و پس از آن ماه آگوست با ۲,۴- واحد بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در ماه جون بر روی عربستان نیز هسته منفی تاوایی شکل گرفته که در ماه جولای از شدت آن کاسته شده و در ماه آگوست تقویت و در سپتامبر به مقدار هسته نزولی افزوده شده است (شکل ۲). وجود هسته های منفی متمرکز بر روی منطقه حاکی از آن بود که ماهیت ساختاری گردش های واچرخندی دارای مکانیسمی متفاوت بوده و از طرفی قرار نگرفتن این هسته های نزولی در راستای یک مدار نشان از تاثیرپذیری این سامانه ها از شرایط جوی و عوامل محلی می باشد.

- بررسی گردش جو وردسپهر فوقانی

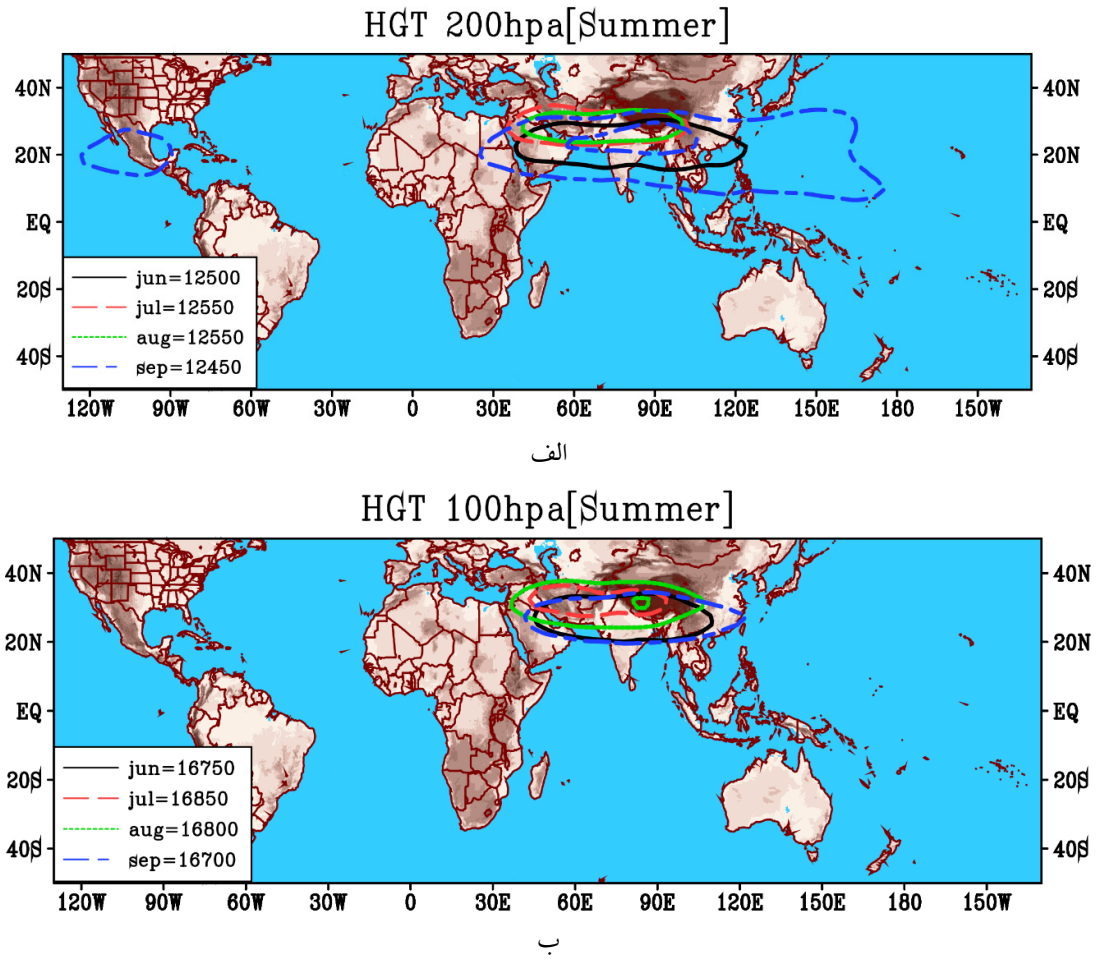
به منظور بررسی و شناسایی پرارتفاع ها در ترازهای ۱۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال برای ماه های جون تا سپتامبر بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل برای کل سیاره تهیه گردید. بررسی ها نشان داد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل در



شکل ۲ مقادیر بلندمدت تاوایی نسبی منفی برای ماه های الف:جون، ب: جولای، ج: آگوست، د: سپتامبرسپتامبر

ماه جون ۱۲۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بوده که از روی عربستان و قسمت هایی از جنوب ایران تا شرق آسیا توسعه یافته است. این درحالی است که در ماه جولای و آگوست با پرش بالاسو بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل با مقدار ۱۲۵۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی ایران و ارتفاعات تبت و قسمت هایی از شمال شبه جزیره عربستان و هند را در بر گرفته است. در این دو ماه ضمن تقویت گردش واچرخندی دراین تراز، دایره فعالیت این سامانه محدوده تر شده است. در ماه سپتامبر هسته بیشینه واچرخند به ۱۲۴۵۰ رسیده و ضمن حرکت جنوب سو بیشینه آن متمرکز بر روی جنوب ارتفاعات تبت و قسمت هایی از شمال دریای عرب می باشد. با بررسی بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل در ماه سپتامبر مشاهده شد که یک هسته مجزای دیگر بر روی ارتفاعات شمالی آمریکای مرکزی شکل گرفته است (شکل ۳ الف). در تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل در ماه های جون و سپتامبر به ترتیب ۱۶۷۵۰ و ۱۶۷۰۰ ژئوپتانسیل متر بوده که محدوده تشکیل و فعالیت این پرارتفاع در دو ماه ذکر شده منطبق بر یکدیگر می باشد. به طوریکه شروع تابستان و خاتمه آن نشان از این دارد که با شکل گیری هسته بیشینه و انتقال آن به عرض های بالاتر و تقویت آن بر روی ارتفاعات تبت نقش اساسی را در برهمکنش شرایط جوی و محلی این سامانه دارد. در ماه های جولای و آگوست بیشترین مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل سیاره ای در این تراز بر روی مرکز فلات تبت و عمده نواحی ایران فعال می باشد. در دو ماه جولای و آگوست بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل به ترتیب ۱۶۸۵۰ و ۱۶۸۰۰ ژئوپتانسیل متر است (شکل ۳ ب).

به منظور درک سازوکار گردش جو بر روی ایران و فلات تبت اقدام به تهیه نمودار هافمولر از سرعت باد و جریان جت استریم و ارتفاع ژئوپتانسیل در محدوده های مشخص شده در شکل ۱ انجام شد. نتایج نشان داد بر روی ایران و ارتفاعات تبت از ماه می تغییرات در گردش جو منطقه رخ می دهد. بدین صورت که با



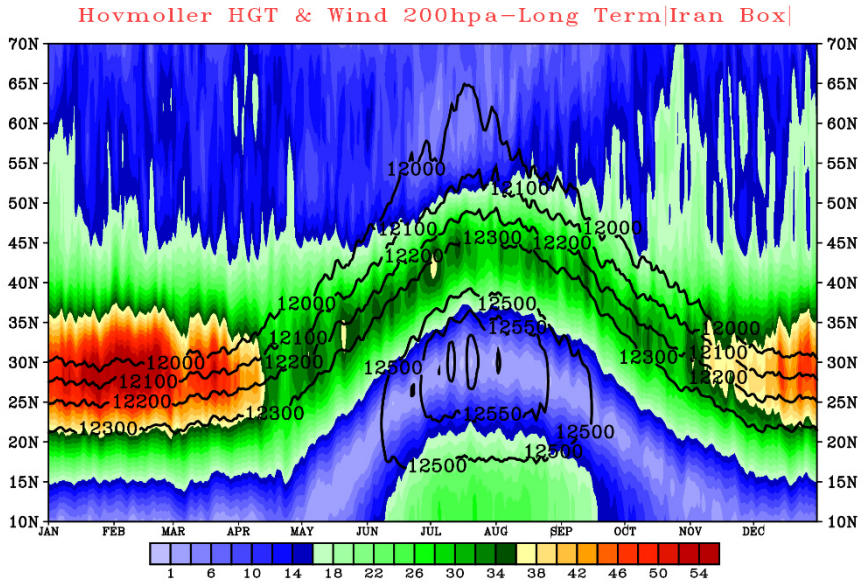
شکل ۳. مقادیر بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل برای دوره تابستانه نیمکره شمالی در وردسپهر فوقانی(الف: تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال) و (ب: تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال)

انتقال جریان جت و افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی مناطق یاد شده با دو پدیده انتقال شمال سوی جت جنب حاره و شکل گیری دو هسته مجزا در دو محدوده یاد شده با بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل شاهد هستیم. لازم به توضیح است که از نظر تداوم هسته بیشینه واقع بر روی تبت تا اوایل اکتبر تداوم دارد اما هسته واقع بر روی ایران تا اواسط سپتامبر بر روی منطقه فعالیت می کند. در زمان شکل گیری این دو پرارتفاع در منطقه نیز از ابتدای ماه جون هسته بیشینه بر روی فلات تبت شکل گرفته ولی هسته واقع بر روی ایران از اواسط ماه جون تشکیل می گردد(شکل ۴).

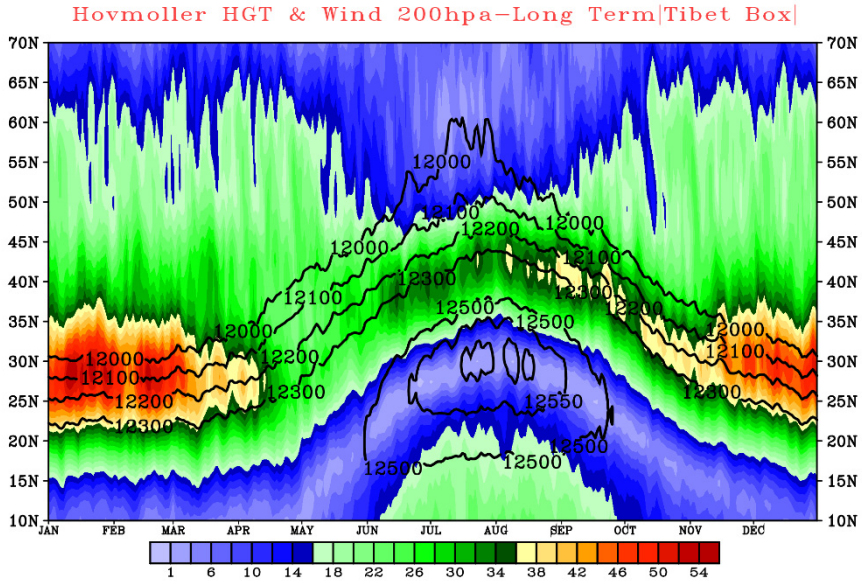
-تابع جریان و شدت پرارتفاع های جنب حاره وردسپهر فوقانی

به منظور شناسایی جریان واچرخندی در ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال در محدوده عرض های ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی در سراسر کره زمین مقادیر تابع جریان محاسبه شد. نتایج نشان داد که تنها یک هسته بسیار قوی از جریان واچرخندی بر روی محدوده طول های ۲۰ تا ۱۲۰ درجه شرقی در وردسپهر فوقانی تشکیل شده که بیشینه آن به ۳۰۰ واحد می رسد. این جریان واچرخندی قوی از اوایل ماه جون شروع و تا اکتبر ادامه دارد و گسترش مداری آن سبب شده تا از هسته اصلی خود که در طول ۸۰ درجه شرقی قرار داشته به سمت غرب و شرق گسترش یابد(شکل ۵).

پس از شناسایی قوی ترین پرارتفاع و جریان واچرخندی بر روی ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال اقدام به تهیه نقشه



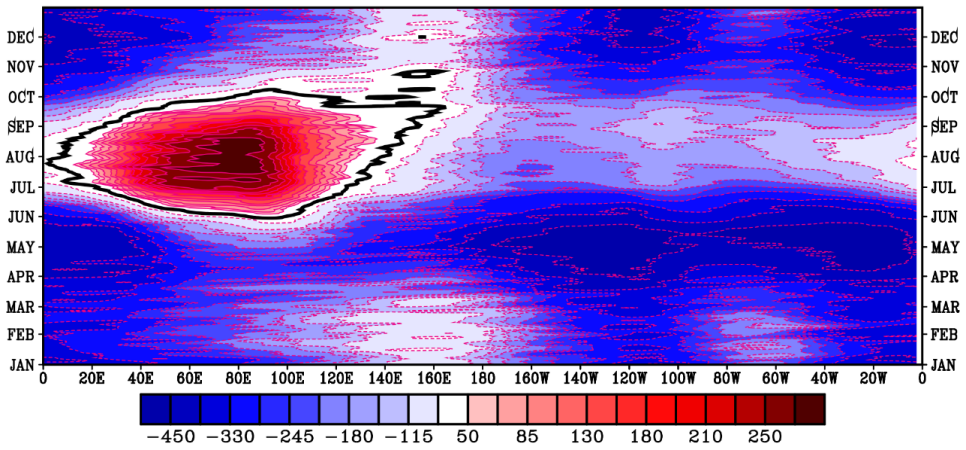
الف



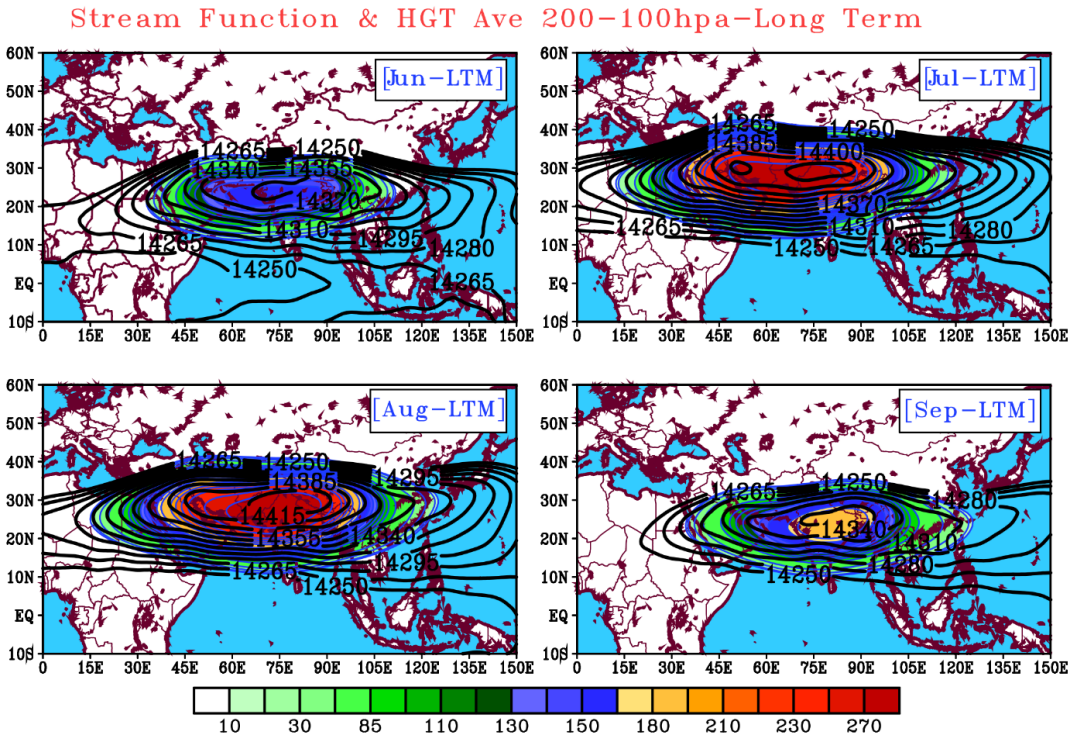
ب

شکل ۴. نمودار هافمولر ارتفاع ژئوپتانسیل(ژئوپتانسیل متر)(خطوط مشکی) و سرعت باد(متر بر ثانیه)(مقادیر رنگی) تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال(الف: محدوده فلات ایران) و (ب: محدوده فلات تبت)

های ترکیبی مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل و تابع جریان برای ماه های جون تا سپتامبر شد. در ماه جون هسته اصلی جریان واچرخند بر روی شرق فلات تبت در حال شکل گیری بوده و مقادیر بیشینه تابع جریان مقداری بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ واحد را نشان می دهد. در ماه جولای این پرارتفاع به شدت تقویت شده و دارای دو هسته مجزا یکی بر روی ایران و دیگری بر

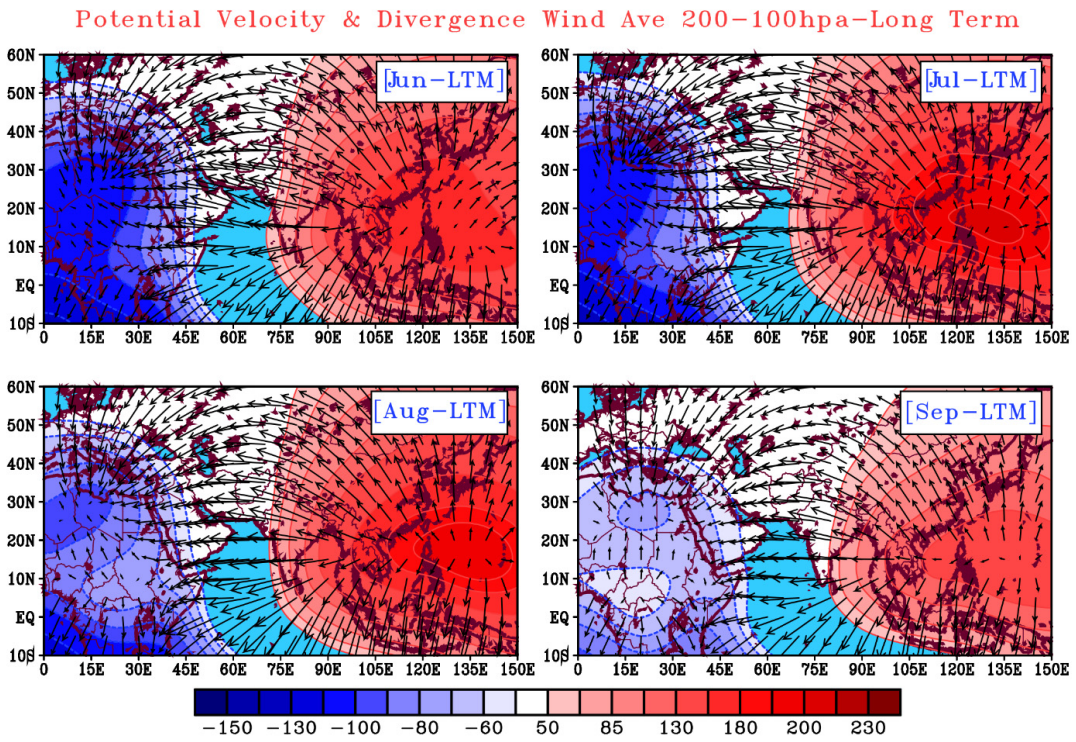


شکل ۵. نمودار هافمولر مجموع مقادیر تابع جریان متوسط گیری شده برای ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال و عرض های ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی



شکل ۶. مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل(خطوط مشکی) و تابع جریان(مقادیر رنگی) متوسط گیری شده برای ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال برای دوره تابستانه نیمکره شمالی

روی ارتفاعات تبت بوده که مقادیر تابع جریان به بیش از ۲۷۰ واحد رسیده است. در ماه آگوست هسته واقع بر روی جنوب ایران ناپدید شده و هسته پرارتفاع واقع بر روی تبت گسترده تر شده است. این درحالی است که مقادیر تابع جریان همچنان بالای ۲۷۰ واحد را نشان می دهد. در ماه سپتامبر از شدت پرارتفاع واقع بر روی جنوب غرب آسیا کاسته شده و با حرکتی جنوب سو بیشینه مقادیر تابع جریان بر روی نوار شمالی هند قرار گرفته است. از طرفی با انتقال جریان واچرخندی در این ماه به سمت عرض های پایین تر نیمه شمالی ایران از استیلای این جریان خارج شده است(شکل ۶).



شکل ۷. مقادیر پتانسیل سرعت باد(مقادیر رنگی) و باد واگرا(بردار باد) متوسط گیری شده برای ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال برای دوره تابستانه نیمکره شمالی

بررسی ها در این بخش نشان داد که با افزایش ارتفاع و تشکیل هسته پر ارتفاع بر روی نوار شمالی شبه قاره هند و از سویی توسعه مداری آن تا خاورمیانه و تشکیل هسته دوم بر روی ایران و از سویی حضور قوی ترین پرارتفاع ها در این عرض جغرافیایی در این دوره از سال، نقش گردش های نصف النهاری را تبیین کننده الگوی کلاسیک سازوکار پرفشارهای یا پرارتفاع های جنب حاره ای تابستانه بود را رد می کند. دلیل رد این ادعا بررسی مقادیر پتانسیل سرعت باد و باد واگرا بود که چشمه[۷] های انرژی و چاهه[۸] های شکل گرفته در ترازهای فوقانی را به خوبی در دوره تابستانه نشان می دهد.

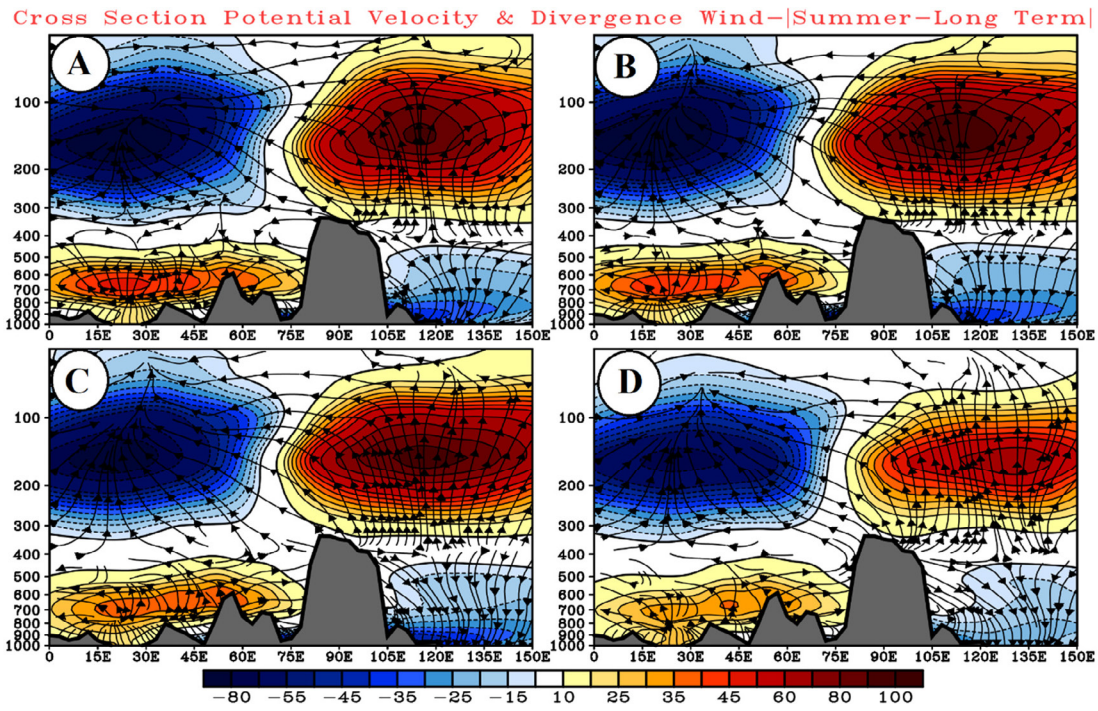
-پتانسیل سرعت باد و باد واگرا

به منظور بررسی چشمه و چاهه انرژی در دوره تابستانه از پتانسیل سرعت باد و باد واگرا و تبیین سازوکار این دو و نقش آن در انتقال جرم برای دوره تابستانه نیمکره شمالی در ابتدا برای ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال نقشه های ترکیبی تولید شد. بر اساس خروجی های شکل ۷ مشاهده می شود که با شروع تابستان نیمکره شمالی هسته مثبت پتانسیل سرعت در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در جنوب شرق آسیا شکل گرفته است. تشکیل این هسته مثبت نشان از شروع فعالیت همرفت های عمیق بر روی مناطق موسمی آسیا بوده که با گسترش قائم جریان هوا و تخلیه آن پس از بارش های سنگین در مناطق موسمی، جرم حاصل از بسته هوا طی یک انتقالی شرق به غرب، از روی جنوب شرق آسیا به سوی آفریقا شارش می یابد. بر اساس معادله باد واگرا و خروجی های تهیه شده مشاهده شد که در ماه جون و پس از شروع تابستان در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال چشمه انرژی بر روی جنوب شرق آسیا شکل گرفته که جرم حاصل از آن در چاهه واقع بر روی آفریقا شارش می یابد. اوج این انتقال و شکل گیری چشمه و چاهه انرژی در ماه ها جولای و آگوست بوده که مقدار پتانسیل سرعت باد به بیش از ۲۰۰ واحد بر روی جنوب شرق آسیا و

7 - *Source*
8 - *Sink*

۱۳۰- واحد بر روی آفریقا است. این وضعیت و جریان معکوس مداری تا انتهای ماه سپتامبر ادامه دارد. وجود چشمه انرژی عظیم بر روی جنوب شرق آسیا و از سویی تشکیل چاهه های عظیم انرژی بر روی منطقه وسیعی از شمال دریای مدیترانه تا جنوب اقیانوس اطلس و عمده مناطق آفریقا، همگرایی فوقانی جرم بسته هوای منتقل شده از موسمی را به همراه دارد.

به منظور درک سازوکار انتقالی گردش معکوس شکل گرفته بر روی موسمی-جنوب غرب آسیا نمودار مقطع قائم متوسط گیری شده برای عرض های ۳۰تا ۳۲,۵ درجه تهیه شد (شکل ۸). نتایج نشان داد دو الگوی زوجی از چشمه و چاهه انرژی در ترازهای فوقانی وردسپهر و ترازهای زیرین وردسپهر در تابستان نیمکره شمالی در محدوده یاد شده شکل گرفته است. بدین صورت که درشرق فلات تبت ودر ترازهای زیرین هسته منفی پتانسیل سرعت شکل گرفته که در ترازهای فوقانی بیشینه مقدار پتانسیل سرعت با مقدار ۱۰۰ واحد در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال قرار دارد. از طرفی در غرب آسیا و مابین طول های ۱۵ تا ۶۰ درجه شرقی در وردسپهر زیرین هسته مثبت پتانسیل سرعت باد با مقدار ۴۵ واحد و در تراز فوقانی محدوده یاد شده چاهه بسیار قوی منطبق بر تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال با مقدار بیش از ۸۰- تشکیل شده است. با شکل گیری این الگو در منطقه جریان معکوسی از روی مناطق کوهستانی تبت به هسته منفی واقع بر روی غرب آسیا با انتقال جرم همراه شده و شاخه ای از آن بر روی تاج کوهستان های زاگرس بین ترازهای ۵۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال نزول یافته است. همین امر سبب شده تا در ترازهای بین ۶۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال یک چشمه انرژی بر روی زاگرس شکل گیرد. با انتقال جرم از تبت به مناطق غربی و انباشت آن در ترازهای فوقانی و نزولی شدن جریان بر روی ارتفاعات غربی ایران سبب شده تا چرخه محدودی نیز در غرب زاگرس شکل گیرد که برهمکنش منطقه ای بین بیشینه پتانسیل سرعت و کمینه آن در مابین طول های ۳۰ تا ۶۰ درجه شرقی حاصل گردد. در این نمودار مقطع قائم مشاهده شد که بیشینه جرم بر روی فلات تبت و در ترازهای فوقانی وردسپهر بوده و کمینه آن در مناطق وردسپهر فوقانی غرب آسیا که از توپوگرافی خاصی



شکل ۸. نیمرخ قائم پتانسیل سرعت باد(مقادیر رنگی) و باد واگرا(خطوط مشکی جریان) متوسط گیری شده برای عرض ۳۰ تا ۳۲,۵ درجه شمالی برای دوره تابستانه نیمکره شمالی(A: جون، B: جولای، C: آگوست، D: سپتامبر)

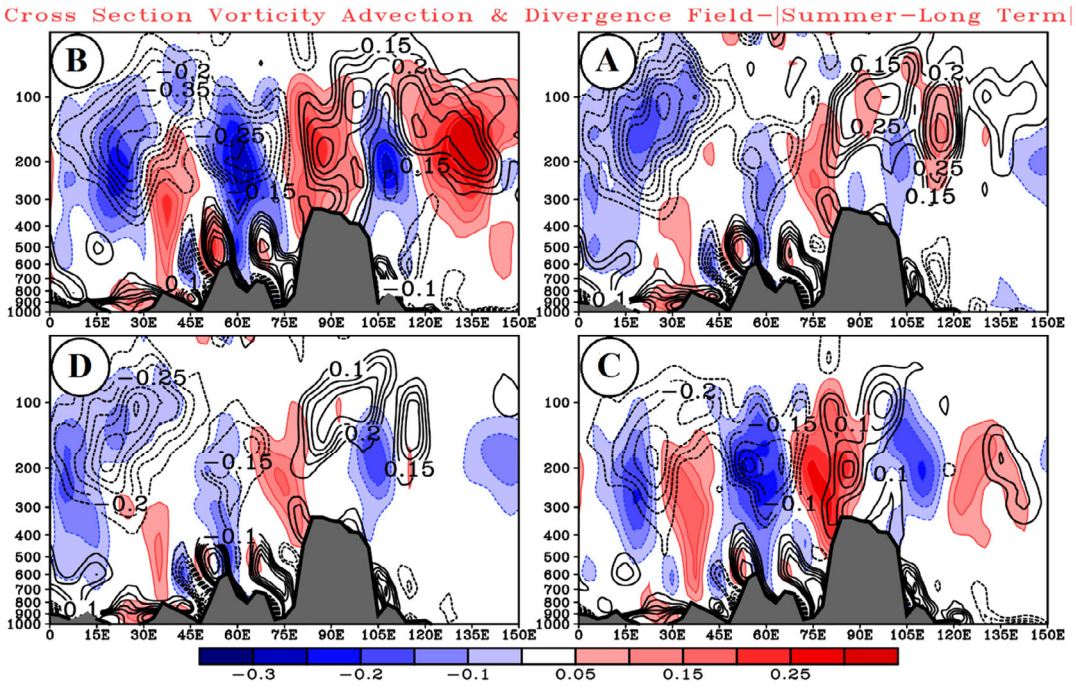
برخوردار نبوده تشکیل شده است. نتیجه گویای این امر است که توزیع ارتفاعات نقش مهمی در شکل گیری واچرخندها در مناطق همجوار موسمی تابستانه و جنب حاره دارد اما تبیین کننده اصلی آن نبوده بلکه وجود واداشت های بیرونی به مانند فعالیت موسمی تابستانه و واداشت های محلی به مانند ارتفاعات و توزیع دشت های بایر از سایر سازوکارهای شکل گیری واچرخندهای جنب حاره غرب آسیا می باشد.

-میدان واگرایی و فرارفت تاوایی نسبی

در بررسی میدان واگرایی و فرارفت تاوایی نسبی در مقطع قائم جو مشاهده شد که در ماه جون یک هسته واگرایی بسیار شدید بر روی فلات تبت شکل گرفته که به موازات آن در راستای مدارات و بر روی مناطق غربی آسیا دو هسته همگرایی فوقانی بوجود آمده است. این دو هسته همگرایی یکی مابین طول های ۵ تا ۳۵ درجه شرقی و دیگری ۵۵ تا ۶۵ درجه شرقی قرار گرفته که هسته اولی منطبق بر تراز ۱۰۰ و هسته دوم در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است. وجود واگرایی شدید بر روی تبت با فرارفت مثبت تاوایی و همگرایی در غرب آسیا با فرارفت منفی تاوایی نسبی همراه است. در این وضعیت بر روی تاج کوهستان های زاگرس به ترتیب در ترازهای ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال واگرایی و فرارفت منفی تاوایی نسبی تشکیل شده است. این وضعیت در ماه جولای شدت یافته به گونه ای که میدان واگرایی قوی به همراه فرارفت شدید تاوایی نسبی مثبت بر روی فلات تبت، افزایش شدت فرارفت تاوایی نسبی منفی و همگرایی قوی بر روی ایران در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و تقویت هسته فرارفت تاوایی منفی بر روی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و واگرایی شدید در تراز مذکور را به همراه دارد. این وضعیت در ماه جولای نیز حاکم بوده اما در ماه سپتامبر از شدت آن کاسته شده است. مکانیسم حاکم بر نیمرخ قائم جو نشان از آن داشته که با شکل گیری چشمه انرژی و چاهه به ترتیب بر روی تبت و غرب آسیا، به ترتیب فرارفت تاوایی مثبت و منفی و واگرایی و همگرایی را در بر داشته و از آنجایی که شاخه گردش معکوس مداری بر روی ایران نزول پیدا می کند، همگرایی فوقانی و افزایش فرارفت تاوایی نسبی منفی را به همراه داشته و طی واداشت های کوهستان های زاگرس و با شکل گیری واچرخند در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، فرارفت تاوایی نسبی منفی و واگرایی شدید در تراز مذکور را به همراه دارد(شکل ۹).

-تغییرات تاوایی و چشمه و چاهه انرژی بر روی فلات تبت و ایران

با بررسی مقادیر تاوایی نسبی در ترازهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ مشاهده شد که در وردسپهر فوقانی از اواخر ماه می گردش واچرخندی بر روی ایران و فلات تبت در حال شکل گیری بوده و تا اوایل اکتبر ادامه دارد. با شکل گیری این جریان واچرخندی که شدت آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بیشتر بوده، گردش جو تابستانه دو منطقه یاد شده شروع می شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و بر روی ایران بصورت مستمر و بر روی شرق فلات تبت وشمال غرب آفریقا با نوسان نیز گردش واچرخندی از ماه می تا اکتبر شکل گرفته که اوج آن در اواخر ماه جون تا اواسط ماه جولای می باشد. وجود این جریان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نقش واداشت های کوهستانی در ایران و شمال غرب آفریقا را نمایان می کند و از طرفی به دلیل گسترش قائم فلات تبت بیشینه جریان واچرخندی در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است(شکل ۱۰ الف، ج، ه). وجود مد تبت حاصل برهمکنش کوهستان های منطقه و وجود همرفت های عمیق موسمی بود، گردش واچرخندی مد ایران در ترازهای فوقانی تر وردسپهر حاصل شکل گیری چاهه انرژی می باشد. با بررسی سری زمانی پتانسیل سرعت باد مشاهده شد از ماه می تا اکتبر بر روی فلات تبت چشمه انرژی بوجود آمده و در غرب آسیا یک چاهه عظیم انرژی تشکیل شده است. همانطور که در بخش های پیشین اشاره شد، با تشکیل گردش معکوس مداری، جرم آزاد شده حاصل از همرفت موسمی تابستانه به غرب سیستم موسمی منتقل می گردد و به دلیل کمبود انرژی در چاهه یاد شده، جرم انتقالی به درون آن صورت می گیرد. این وضعیت در ترازهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کاملا مشهود است. اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با شروع تابستان در محدوده ۴۷ تا ۶۲ درجه شرقی و منطبق بر کوهستان های زاگرس، چشمه انرژی شکل گرفته که طی بررسی برهمکنش جو در مقطع قائم در شکل های ۸ و ۹ نقش

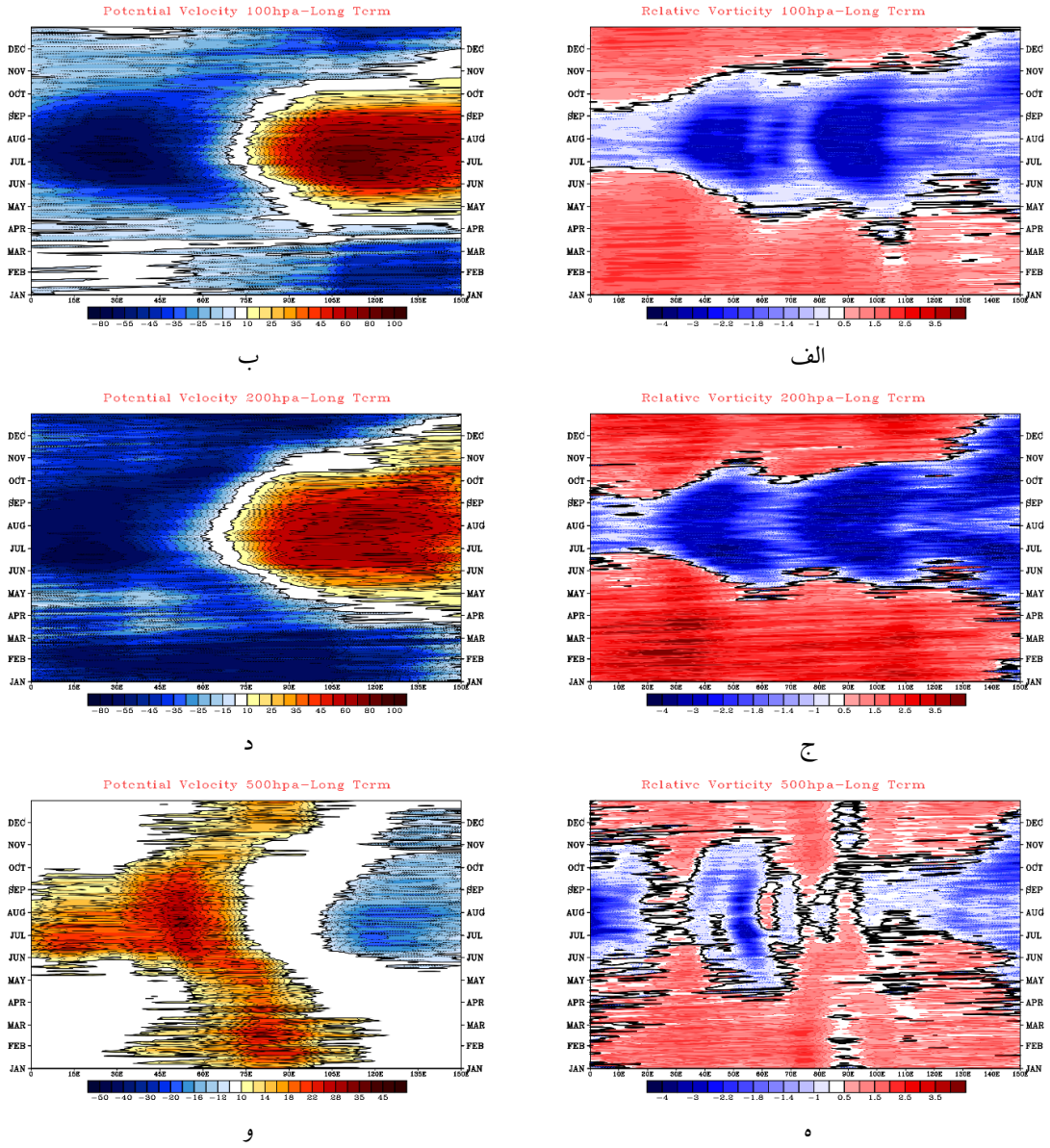


شکل ۹. نیمرخ قائم پتانسیل فرارفت تاوایی نسبی(مقادیر رنگی) و میدان واگرایی(خطوط مشکی) متوسط گیری شده برای عرض ۳۰ تا ۳۲,۵ درجه شمالی برای دوره تابستانه نیمکره شمالی(A: جون، B: جولای، C: آگوست، D: سپتامبر)

واداشت های کوهستانی و شاخه نزول چاهه شکل گرفته بر روی منطقه را تبیین می نماید(شکل ۱۰ ب، د، و).

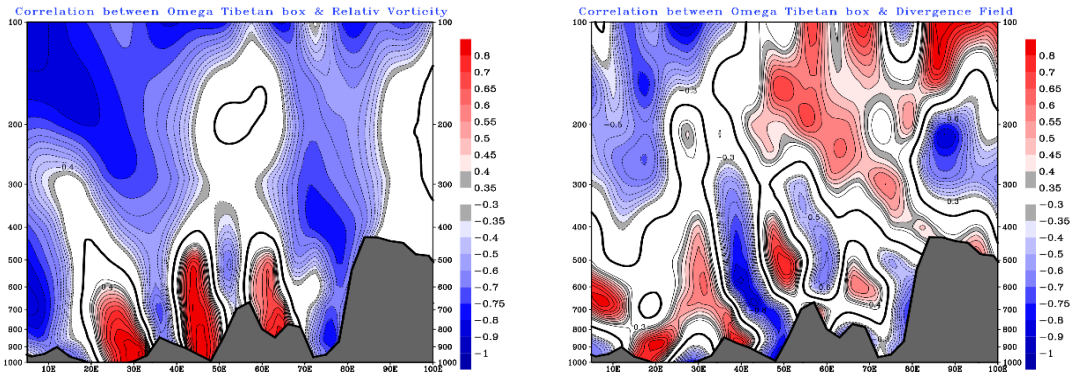
-ارتباط بین گردش جو فلات تبت با گردش جو ایران

با بررسی های انجام شده مشاهده شد که گردش جو موسمی تابستانه و واداشت های فلات تبت از عوامل اصلی در تشکیل واچرخند تابستانه بر روی ایران می باشد. در همین راستا به بررسی ارتباط بین گردش جو فلات تبت و اثرگذاری آن بر روی میدان واگرایی و تاوایی نسبی در راستای مدارات و نیمرخ قائم جو در دوره تابستانه پرداخته شد. برای ایجاد همبستگی از مقادیر امگا بر روی محدوده فلات تبت استفاده شد. بررسی ها نشان داد در بین ترازهای جوی بیشینه ارتباط با معادلات میدان واگرایی و تاوایی نسبی در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می شود. از آنجایی که جریانات بالاسو/پایین سو سبب انتقال جرم حاصل از واداشت های فلات تبت بود، پارامتر امگا انتخاب شد. نتایج نشان داد مقادیر امگا همبستگی بالا و منفی با واگرایی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بر روی فلات تبت دارد. از طرفی این شرایط نیز در شرق و غرب ارتفاعات زاگرس در وردسپهر زیرین و میانی و وردسپهر فوقانی بین طول های ۰ تا ۲۵ درجه شرقی نیز با مقادیر بالای ۰,۷- ارتباط دارد. وجود این ارتباط منفی نشان از همگرایی شدید بسته هوا در ارتباط با تاثیر گردش جو منطقه ای و فرامنطقه ای فلات تبت می باشد. بر روی ارتفاعات زاگرس و دقیقا منطبق بر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز همبستگی مثبت بالای ۰,۷۵ مشاهده می شود که واگرایی قوی را در تراز مذکور نشان می دهد. نکته قابل توجه اینکه ارتباط مثبت و بالایی بین امگای تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال و میدان واگرایی در وردسپهر میانی و زیرین بر روی ارتفاعات خاورمیانه است(شکل الف). با بررسی همبستگی مقادیر امگا و تاوایی نسبی نیز مشاهده شد دو همبستگی بسیار قوی منفی در غرب فلات تبت و غرب خاورمیانه بوجود آمده که همبستگی واقع در غرب فلات تبت از سطح ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال بوده ولی در محدوده غرب خاورمیانه و آفریقا به دلیل تنوع توپوگرافی در وردسپهر میانی و زیرین بر روی ارتفاعات همبستگی منفی و در محدوده های دشتی و صحرایی



شکل ۱۰. نمودارهای هافمولر تاوایی نسبی و پتانسیل سرعت برای ترازهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال متوسط گیری شده برای عرض های ۳۰ تا ۳۲,۵ درجه شمالی

همبستگی مثبت بوجود آمده است. اما در وردسپهر فوقانی در محدوده وسیعی همبستگی منفی بر قرار است. بر روی ارتفاعات ایران نیز منطبق بر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همبستگی ۰,۷- بوجود آمده که به وضوح نقش واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند بر روی ارتفاعات مشاهده گردد(شکل ۱۱ ب). لازم به توضیح است در خروجی های مقطع قائم تهیه شده به دلیل متوسط گیری بین عرض های جغرافیایی مقادیر توپوگرافی اضافه شده به نیمرخ قائم نیز متوسط گیری شد تا به خوبی نحوه شکل گیری واچرخند و ارتباط آن با واداشت های منطقه ای و فرامنطقه ای مشاهده گردد.



ب الف

شکل ۱۱. مقادیر همبستگی مقطع قائم جو بین امگای تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال میدان واگرایی(الف) و تاوایی نسبی(ب) متوسط گیری شده برای عرض های ۳۰ تا ۳۲،۵ درجه شمالی

جمع‌بندی

به منظور بررسی نقش گردش وردسپهر فوقانی موسمی شرق آسیا و واداشت های فلات تبت در شکل گیری واچرخند تابستانه وردسپهر میانی ایران طی یک دوره ۴۰ ساله نتایج زیر حاصل شد:

- با شروع تابستان در نیمکره شمالی و از ماه جون هسته های منفی تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ارتفاعات زاگرس شکل می گیرد. پس از تشکیل هسته های واچرخندی در ترازهای ۲۰۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال پرارتفاع های قوی از شرق فلات تبت تا غرب ایران گسترش می یابد و دارای دو بیشینه ارتفاع بر روی تبت و ایران بوده که مقادیر بالای ۱۲۲۵۰ و ۱۶۸۵۰ ژئوپتانسیل متر به ترتیب در ترازهای ۲۰۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد. با شروع تابستان جت جنب حاره با جهش بالاسو به عرض های بالاتر حرکت کرده و عامل اصلی این جهش ناگهانی تشکیل هسته های بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل در محدوده فلات تبت و ایران می باشد.

- نتایج حاصل از بررسی تابع جریان نشان داد که در فصل تابستان نیمکره شمالی قوی ترین واچرخندها در نیمکره شمالی شکل گرفته که در محدوده طول های ۲۰ تا ۱۳۰ درجه شرقی گسترش داشته و بیشینه آن مابین طول های ۶۰ تا ۱۰۰ درجه شرقی است. بررسی تابع جریان نشان داد که پرارتفاع های تراز فوقانی وردسپهر با مقداری بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ واحد در ماه جون شکل گرفته و طی یک انتقال بالاسو به عرض های بالاتر به بیش از ۲۷۰ واحد در ماه جولای رسیده و این شرایط در ماه آگوست ادامه داشته که در ماه سپتامبر با تضعیف آن بیشینه مقدار تابع جریان به شمال شرق هند منتقل و هسته پرارتفاع نیز به عرض های پایین تر کشیده شده است.

- نتایج حاصل از بررسی پتانسیل سرعت و باد واگرا حاکی از آن بود که با شروع تابستان و فعالیت موسمی تابستانه یک چشمه انرژی در شرق آسیا تشکیل شده و در غرب این چشمه انرژی، یک محدوده وسیع از غرب خاورمیانه تا عمده بخش های قاره آفریقا چاهه انرژی تشکیل شده است. با بررسی باد واگرا مشخص شد از چشمه تشکیل شده جرم آزاد شده حاصل از همرفت های عمیق موسمی به داخل چاهه یاد شده منتقل می گردد و طی آن یک گردش شرق به غرب بین شرق آسیا و مناطق غربی آسیا و آفریقا برقرار می گردد. شاخه نزولی موسمی بر روی مناطق یاد شده سبب انباشت جرم ترازهای فوقانی تر وردسپهر شده که هسته نزولی آن بر روی شمال غرب آفریقا بر روی کوه های اطلس، ایران، عربستان و جنوب اقیانوس شده است. بررسی نیمرخ قائم پتانسیل سرعت و بادواگرا نشان داد جریانات صعودی بر روی فلات تبت با انتقال غرب سو در ترازهای ۳۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال یک چشمه قوی انرژی را بوجود آورده و در محدوده بین ۰ تا ۶۰ درجه

شرقی به داخل چاهه انرژی شارش پیدا می کند. بیشینه این چشمه و چاهه انرژی در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال قرار داشته و در دوره تابستانه و به خصوص ماه های جولای و آگوست از شدت بالایی برخوردار است. طی این وضعیت بر روی ارتفاعات زاگرس یک شاخه نزولی در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال شکل گرفته که در زیر این شاخه نزولی یک چشمه انرژی بوجود آمده است. تشکیل چشمه و شاخه نزولی دیگری بر روی شمال غرب آفریقا نیز از ماهیت ساختاری جو تابستانه نیمکره شمالی است.

- بررسی ها نشان داد با شروع تابستان و موسمی تابستانه بیشینه فرارفت تاوایی نسبی مثبت و واگرایی در ترازهای بالاتر از ۳۰۰ هکتوپاسکال بر روی فلات تبت شکل گرفته و بر روی ایران و شمال آفریقا بیشینه فرارفت منفی تاوایی نسبی و یک همگرایی فوقانی بسیار قوی سبب انتقال پایین سوی جرم بر روی مناطق یاد شده را در بر داشته است. بر روی زاگرس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک هسته واگرایی فوقانی به همراه فرارفت تاوایی نسبی بوجود آمده که تبیین کننده نقش واداشت های منطقه ای و فرامنطقه ای در شکل گیری واچرخند تابستانه بر روی ایران است.

- بررسی ها نشان داد که با شروع تابستان و تشکیل چشمه انرژی مابین طول های ۹۰ تا ۱۵۰ درجه شرقی و چاهه انرژی بین طول های ۰ تا ۶۰ درجه شرقی در ترازهای ۲۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه انتقال جرم در بصورت غرب سو از روی تبت و موسمی به غرب خاورمیانه همراه شده است. اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با شروع تابستان و فعالیت موسمی چشمه انرژی بر روی ایران شکل گرفته که همراه با تاوایی نسبی منفی بوده و نقش ارتفاعات را در شکل گیری واچرخند جنب حاره و تقویت آن بوسیله گردش معکوس موسمی بر روی منطقه را نشان می دهد.

- همبستگی ها نشان داد ارتباط معنادار ۰,۸- و ۰,۹ به ترتیب با تاوایی نسبی و میدان واگرایی بر روی ارتفاعات زاگرس و به خصوص تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین مقادیر امگای ۱۵۰ هکتوپاسکال بر روی فلات تبت وجود دارد. با افزایش جریانات بالاسو بر روی فلات تبت و تقویت پرارتفاع وردسپهر فوقانی و انتقال جرم به مناطق غربی، شرایط برای تشکیل واچرخندهای جنب حاره به خصوص بر روی ایران فراهم شده است. نتایج نشان داد همبستگی بالایی بین واداشت های فلات تبت و واچرخندهای شکل گرفته بر روی ارتفاعات خاورمیانه و شمال غرب آفریقا وجود دارد که حاکی از نقش واداشت های منطقه ای و فرامنطقه ای در شکل گیری این نوع پرارتفاع ها در مناطق جنب حاره است.

نتایج حاضر در بخش فعالیت موسمی و تاثیر آن بر شکل گیری پرارتفاع ها جنب حاره با تحقیقات زرین(۱۳۸۶)، زرین و مفیدی(۱۳۹۰) و تایرلیس و همکاران(۲۰۱۳) همسو بوده و در بخش نقش واداشت های منطقه و فرامنطقه ای در شکل گیری واچرخندهای جنب حاره در جنوب غرب آسیا با تحقیقات زرین و مفیدی(۱۳۹۱) در یک راستا می باشد. دلیل تمایز تحقیق حاضر با تحقیقات یاد شده بررسی همه جانبه نقش واداشت های منطقه ای و فرامنطقه ای و از طرفی نقش گردش ترازهای فوقانی وردسپهر در شکل گیری واچرخند تابستانه ایران و نکته دیگر استفاده از کمیت های دینامیکی برای اثبات این نظریه بود.

مراجع

زرین، آذر(۱۳۸۶). تحلیل پرفشار جنب حاره تابستانه بر روی ایران. پایان نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس. استاد راهنما: هوشنگ قائمی. دانشکده علوم انسانی.

قائمی، هوشنگ؛ زرین، آذر؛ آزادی، مجید؛ فرج زاده اصل، منوچهر(۱۳۸۸). تحلیل الگوی فضایی پرفشار جنب حاره بر روی آسیا و آفریقا. فصلنامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۳. شماره ۱.

مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ فاسولو، جان(۱۳۸۹). گردش جو تابستانه در وردسپهر فوقانی بر روی جنوبغرب آسیا و وردایی زمانی آن در طی نیم قرن گذشته. چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. تهران. ایران.

زرین، آذر؛ مفیدی، عباس(۱۳۹۰). آیا پرفشار جنب حاره ای تابستانه بر روی ایران زبانه ای از پرفشار جنب حاره ای آزور است؟. یازدهمین کنگره انجمن جغرافیدانان ایران. دانشگاه شهید بهشتی. ایران.

زرین، آذر؛ مفیدی، عباس(۱۳۹۱). بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی. سال سوم. شماره ۱۱.

Barry, R. G., and Carlton, A. M. (2001). Synoptic and Dynamic Climatology, London, Rutledge, 13-14.

Trenberth KE, Hurrel JW, Stepaniak DP. (2006). The Asian monsoon: global perspectives. In: Wang B (eds) The Asian monsoon. Praxis Publishing Ltd, Chichester, p 781

Yang S, Lu WKM. (2006) Interannual variability of the Asian monsoon. In: Wang B (eds) The Asian monsoon. Praxis Publishing Ltd, Chichester, p 781

29.1.16.

Wu, G. (1984) The nonlinear response of the atmosphere to large-scale mechanical and thermal forcing. J. Atmos. Sci., 41, 2456–2476, https://doi.org/10.1175/1520-0469(1984)041,2456: TNROTA.2.0.CO; 2.

Liu, Y., B. J. Hoskins, and M. Blackburn. (2007) Impact of Tibetan orography and heating on the summer flow over Asia. J. Meteor. Soc. Japan, 85B, 1–19, https://doi.org/10.2151/jmsj.85B.1.

Molnar, P., W. R. Boos, and D. S. Battisti. (2010). Orographic controls on climate and paleoclimate of Asia: Thermal and mechanical roles for the Tibetan Plateau. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 38, 77–102, https://doi.org/10.1146/annurev-earth- 040809-152456.

Ren, Q., Jiang, X., Zhang, Y., Li, Z., & Yang, S. (2021). Effects of suppressed transient eddies by the Tibetan Plateau on the East Asian summer monsoon. Journal of Climate, 34(21), 8481-8501.

Zaplotnik, Ž., Pikovnik, M., & Boljka, L. (2022). Recent Hadley circulation strengthening: a trend or multidecadal variability?. Journal of Climate, 35(13), 4157-4176.

Krishnamurti,T,N , (1971). Tropical east-west circulations during the northern summer. J. Atmos. Sci., 28, 1342-1347.

Krishnamurti,T,N ,M. Kanamitsu, W. J. Koss and J. D. Lee, (1973). Tropical east-west circulations during the northern winter. J. Atmos. Sci., 30, 780-787.

Holton, J. R., (1972). An "Introduction to Dynamic Meteorology,. Academic 'Press, 319pp.

Wang B, Wu R, Lau KM. (2001). Interannual variability of the Asian summer monsoon: contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian monsoons. J Clim 14:4073–4090

Ding Y, Sikka DR,. (2006). Synoptic systems and weather. In: Wang B (eds) The Asian monsoon. Praxis Publishing Ltd, Chichester, p 781

Wu, and Coauthors. (2007). The influence of mechanical and thermal forcing by the Tibetan Plateau on Asian climate. J. Hydrometeor., 8, 770–789, https://doi.org/10.1175/JHM609.1.

Wu, Y. Liu, B. He, Q. Bao, A. Duan, and F.-F. Jin,. (2012). Thermalcontrols on the Asian summer monsoon. Sci. Rep., 2, 404, https://doi.org/10.1038/srep00404.

Wu, and Coauthors. (2015). Tibetan Plateau climate dynamics: Recent research progress and outlook. Natl. Sci. Rev., 2, 100–116, https://doi.org/10.1093/nsr/nwu045.

Wu, R., T. You, and K. Hu. (2019). What formed the north–south contrasting pattern of summer rainfall changes over eastern China? Curr. Climate Change Rep., 5, 47–62, https://doi.org/10.1007/s40641-019-00124-z.

Tyrlis, E., Lelieveld, J., & Steil, B. (2013). The summer circulation over the eastern Mediterranean and the Middle East: influence of the South Asian monsoon. Climate Dynamics, 40(5), 1103-1123.

Queney, P., 1948: The problem of air flow over mountains: A summary of theoretical studies. Bull. Amer. Meteor. Soc., 29, 16–26, https://doi.org/10.1175/1520-0477-

Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences *Volume 5, Issue 1, Spring 2022*

Investigating the role of East Asian monsoon upper troposphere circulation and Tibetan Plateau forcing in the formation of the summer anticyclone in the middle troposphere of Iran.

Hasan Haji mohammadi

PhD of Synoptic Climatology, Geography Department, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: *EMAIL*

Received: 28 December 2021, accepted: 08 April 2022

ABSTRACT

The mechanism of anticyclone formation and the role of different forces in their formation are challenging topics in the field of atmospheric sciences. For this purpose, the role of summer monsoon circulation and Tibetan Plateau forcing in the formation of mid-troposphere summer anticyclone over Iran was investigated. In order to obtain the main mechanism of anticyclone in the subtropical region of Iran during a period of 40 years (1981-2020), dynamic quantities of relative Vorticity, relative Vorticity advection, Velocity potential, Stream function and divergent wind were used. The results indicated that with the beginning of summer in the Northern Hemisphere, at the levels of 200 and 100 hPa, the strongest anticyclone in the Northern Hemisphere has spread in the area between the Tibetan Plateau and the Iranian Plateau, and the maximum intensity of this anticyclone is in the months of July and August and in terms of location in these two months, they have a higher extent. With the onset of monsoon activity and the formation of an energy source in East Asia, the mass resulting from deep convection in East Asia flows from East to West in a wide range from West Asia to most parts of Africa and forms an energy sink. The maximum power of the energy source on the Tibetan Plateau is at the level of 150 hPa, which forms a downward branching inverse cycle on Iran, bringing the heights of the Middle East and the heights of North-West Africa. The results showed that the divergence field and relative Vorticity advection was determined that during the months of June to September, strong convergence and negative Vorticity advection at the level of 300 hpa occurred over Iran and the Zagros highlands, along with the subsidence of air resulting from the monsoon reverse circulation and forcing Anticyclone has covered the Tibetan Plateau. With the beginning of summer and at levels of 200 to 100 hPa, the range of 90 to 150 degrees east of the Sink and the range of 0 to 70 degrees east of the energy well are in the Source. But at the level of 500 hPa, an energy source was formed in the range of 55 to 65 degrees, which shows the role of the Forcing of the Zagros heights in the formation of the summer anticyclone. Investigating the correlation between the upward currents on the Tibetan Plateau and the divergence field and relative Vorticity on Iran shows a high correlation between the Omega values at the level of 150 hPa on the Tibetan Plateau with the divergence and negative relative Vorticity at the level of 500 on the heights of Iran.

Keywords: *Summer monsoon, Sink and Source energy, Tibetan Plateau, Iran subtropical anticyclone.*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Haji mohammadi, H. (2022). Investigating the role of East Asian monsoon upper troposphere circulation and Tibetan Plateau forcing in the formation of the summer anticyclone in the middle troposphere of Iran.. J. Meteorol. Atmos. Sci., 5(2): 81-97

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).