

ال نینو و نوسان جنوبی

عباس مفیدی
دبیر جغرافیا، منطقه ۱۷ تهران
abbasmofidi@hotmail.com

مقدمه

ماده و انرژی با قانونمندی خاصی بین دریا و خشکی مبادله می شوند. قسمت اعظم این مبادله به وسیله فرایندهای اتمسفری انجام می شود. بدین ترتیب که

باد و توده های هوا، هنگام عبور از روی خشکی و آب، گازها، ذرات جامد و مایع، و گرما را با خود در سرتاسر سیاره زمین انتقال می دهند. گفته می شود موتور حرکت گردش اتمسفری، انرژی گرمایی حاصل از آب دریاها و اقیانوس هاست و هرگونه تغییر در وضعیت اقیانوس ها، از طریق برهم کنش آنها با اتمسفر، تمام سیستم اقلیمی زمین را از خود متأثر می سازد.

در چند دهه اخیر، افزایش اطلاعات بشر از اقلیم زمین و دغدغه انسان در مورد تغییرات آب و هوایی در آینده، موجب شناخت دقیق تر مؤلفه های تأثیر گذار بر اقلیم زمین شده است.

در سال های اخیر، نوسانات و تغییرات آب و هوایی در منطقه اقیانوس آرام و تأثیر آن روی آب و هوای مناطق کره زمین، نظر بسیاری از دانشمندان را به خود معطوف کرده است. این پدیده که به «ال نینو» معروف شده، حجم عظیمی از پژوهش ها و تحقیقات علمی را در اقصانقاط زمین به خود اختصاص داده است. در این مقاله سعی بر آن است که یک شناخت کلی از این پدیده ارائه شود.

ال نینو، لائینو و نوسان جنوبی

مطالعات نشان می دهند که ال نینو اولین بار حدود صدسال پیش مورد توجه علمی قرار گرفت. با وجود این، شواهدی در دست است که نشان می دهد، دریانوردان و ماهیگیران بومی آمریکای جنوبی، پدیده ال نینو را در اوایل قرن ۱۵ میلادی نیز می شناخته اند. آنان اصطلاح ال نینو را برای تعریف یک جریان گرم ضعیف که هر ساله حول و حوش ایام کریسمس در امتداد سواحل اکوادور و پرو به سمت

جنوب جریان دارد، به کار می برند. در واقع ساکنان بومی، اصطلاح «ال نینو» را با توجه به تقارن این پدیده با ایام کریسمس برگزیدند که معنای «فرزند مسیح» از آن دریافت می شود.

در امتداد ساحل غربی آمریکای جنوبی، جایی که جریان سرد پرو (همبولت) به سمت شمال حرکت می کند، بادهای جنوبی موجب بالا آمدن آب سرد غنی از نیترات می شوند که متعاقباً افزایش جمعیت آبزیان (به خصوص ماهی کولی) را در سواحل آمریکای جنوبی به دنبال دارد. کثرت آبزیان هم افزایش جمعیت پرندگان ماهیخواری موسوم به «گوانو»^۲ را در پی دارد که آن ها نیز به نوبه خود موجب افزایش حاصلخیزی خاک سواحل می شوند.^۳

در پایان هر سال، جریان گرم استوایی که از نظر نیترات فقیر است به سمت جنوب حرکت می کند و جایگزین آب سرد غنی از نیترات می شود. این جریان همان ال نینو (فرزند مسیح) است.

اغلب سال ها، جریان گرم تنها به مدت چند هفته و یا یکی دو ماه باقی می ماند و معمولاً پس از آن، الگوی جریان آب و همچنین الگوی هوا به شرایط عادی خود بازمی گردد و ماهی ها دوباره در منطقه افزایش می یابند.

اما اگر شرایط ال نینو مدت زمان بیش تری باقی بماند و جریان گرم، منطقه وسیع تری را تحت تسلط خود درآورد، نتایج اقتصادی می تواند مخاطره آمیز باشد. در حال حاضر، به چنین حالتی که معمولاً در حواصل زمانی ۳ تا ۷ سال اتفاق می افتد، «رخداد ال نینوی اصلی»^۴ (یا فاز گرم) اطلاق می شود.^۵ در طول یک رخداد ال نینوی اصلی ممکن است تعداد زیادی از



ماهی ها و موجودات دریایی بمیرند و ماهی ها و پرندگان مرده، سواحل و آب های ساحلی پرورابپوشانند. لاشه های در حال تجزیه این موجودات نیز موجب کاهش ذخیره اکسیژن آب می شوند و در نهایت، تولید مقادیر عظیمی سولفید هیدروژن بدبو را در پی دارند.

ال نینوی که در سال های ۷۳-۱۹۷۲ اتفاق افتاد، به طور قابل ملاحظه ای صید سالانه ماهی کولی را در سواحل پرو کاهش داد. از آنجا که قسمت اعظم این صید به غذای ماهی تبدیل و برای تغذیه چهارپایان و ماکیان صادر می شود، تولید غذای ماهی دنیا در سال ۱۹۷۲ کاهش عمده ای یافت.

معمولاً در مناطق حاره ای اقیانوس آرام، بادهای تجارتی به طور مداوم از یک منطقه پرفشار روی اقیانوس آرام شرقی، به سمت یک منطقه کم فشار در آرام غربی (حول وحوش اندونزی) می وزند. هنگامی که این بادهای غربی جریان می یابند، همراه خود آب سرد سواحل آمریکای جنوبی را جابه جا می کنند. این آب همان طوری که به سمت غرب جریان می یابد، به تدریج در اثر تابش خورشید گرم می شود.

نتیجه فرایند مذکور این است که آب سطحی در امتداد خط استوا در آرام غربی گرم می شود. علاوه بر این، جریان یافتن آب های سطحی تحت تأثیر الگوهای فشار، موجب بالا آمدن سطح آب در اقیانوس آرام غربی و پائین تر بودن آن در شرق اقیانوس آرام می شود. به دنبال این فرایند، از لایه ضخیم آب گرم در آرام غربی، یک جریان اقیانوسی ضعیف در امتداد خط استوا به سمت آمریکای جنوبی جریان می یابد. این جریان اصطلاحاً به «جریان معکوس استوایی» معروف است.

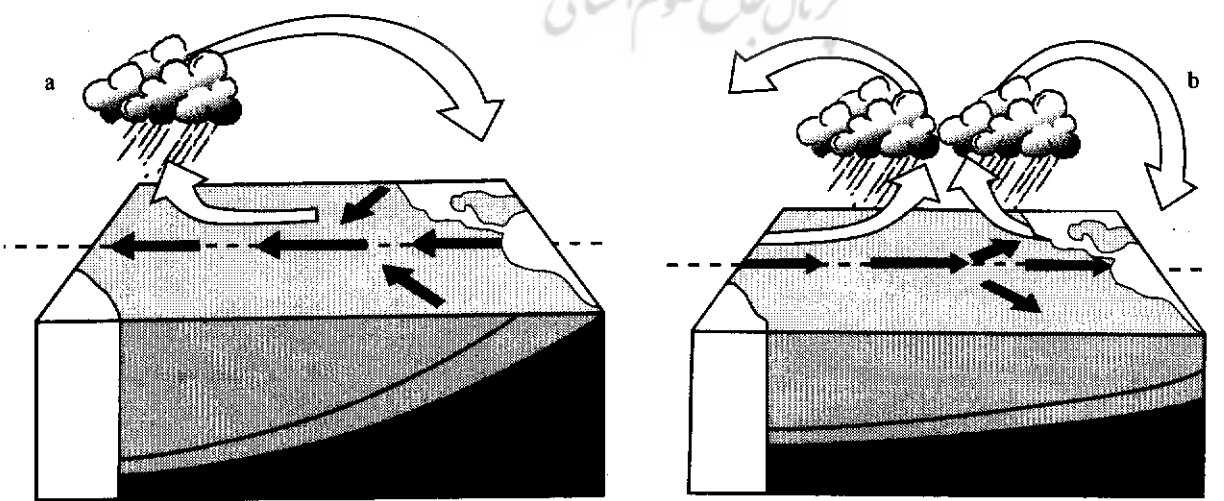
هر چند سال یک بار، الگوهای فشار اتمسفری در سطح دریا تغییر پیدا می کنند. بدین ترتیب که میزان فشار هوا روی منطقه آرام غربی افزایش و روی آرام شرقی کاهش می یابد. این تغییر در میزان

فشار هوا، موجب تضعیف بادهای تجارتی (بادهای شرقی) می شود و در طول دوره ای که فشار هوا حالت عکس پیدا می کند، بادهای غربی جایگزین بادهای تجارتی در سطح دریا می شوند (شکل ۱). بادهای غربی جریان معکوس استوایی را تقویت می کنند و سبب پیشروی آب گرم به سمت آمریکای جنوبی و روی منطقه گسترده ای از اقیانوس آرام حاره ای می شوند.

در پایان دوره گرم (فاز گرم) که ممکن است بین یک تا دو سال طول بکشد، مجدداً فشار هوا در آرام شرقی افزایش می یابد، در حالی که روی آرام غربی کاهش می یابد. این الگوی الکلنگی^۷ یعنی معکوس شدن فشار هوا در سطح دریا در دو انتهای شرقی و غربی اقیانوس آرام، اصطلاحاً «نوسان جنوبی»^۸ نامیده می شود. در واقع، نوسان جنوبی تغییرات «گردش واکر»^۹ را به نمایش می گذارد.

گردش واکر همان طوری که در شکل ۱ دیده می شود، گردش مداری است که در عرض های پائین اتفاق می افتد. بدین ترتیب که توزیع ناهمگن خشکی و دریا و تغییرات درجه حرارت سطح دریا در اقیانوس آرام، موجب گرم شدن نامتقارن مداری و گردش شرقی-غربی هوا می شود. هوا در مناطق گرم آرام غربی صعود و در مناطق نسبتاً سرد شرق آرام فرونشینی می کند. تضاد حرارتی و تفاوت فشار متعاقب آن، موجب پیدایش یک سلول گردش شرقی-غربی (مداری) هوا در منطقه اقیانوس آرام می شود که به نام کاشف آن سلول، «گردش واکر» نامگذاری شده است.^{۱۰}

در شرایط عادی، در سلول گردش واکر، بادهای سطحی از شرق (بادهای تجارتی) و بادهای سطوح فوقانی از غرب می وزند تا سلول کامل شود (شکل ۱a). این حالت در سال های ال نینو به هم می خورد و حتی شرایط عکس حاکم می شود (شکل ۱b). در سال های ال نینو، گردش واکر ضعیف تر و حتی به صورت یک ساختار گردشی پیچیده تر، به سلول های کوچک تری شکسته می شود (شکل ۱b).



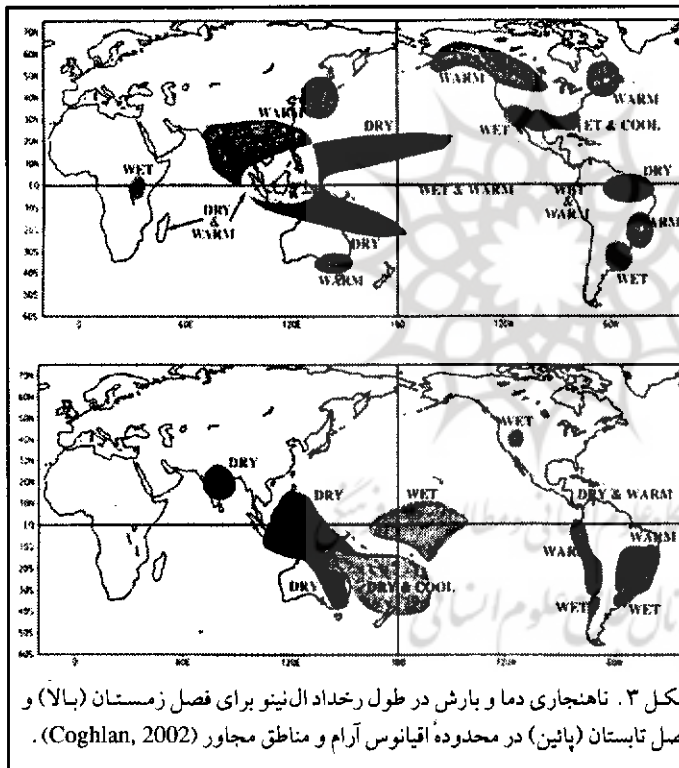
شکل ۱. a و b به ترتیب وضعیت نرمال و ال نینو را نشان می دهند (Garrison, 1999).



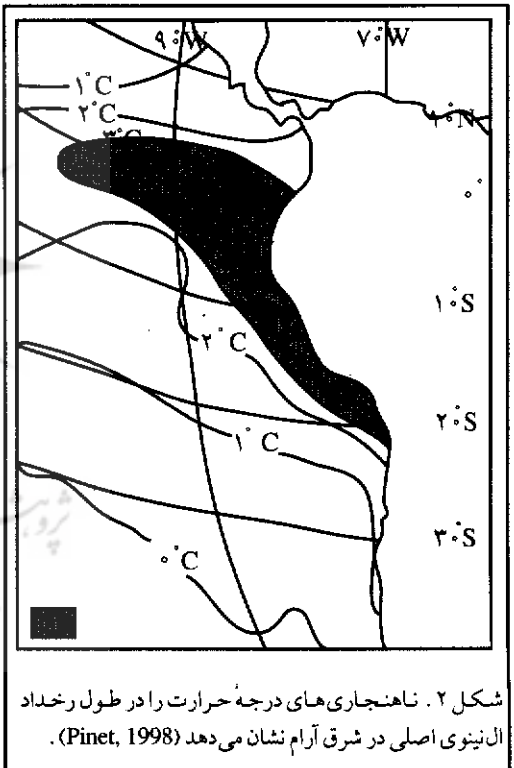
آنجا معکوس شدن فشار هوا و تغییرات گرمایشی اقیانوس در منطقه آرام، به طور همزمان اتفاق می افتند، دانشمندان این پدیده را «ال نینو / نوسان جنوبی»^{۱۱} یا به طور خلاصه «انسو» می نامند.

در طول رخداد انسو ۸۳-۱۹۸۲، بادهای غربی نزدیک خط استوا در مقایسه با تمام دوره های پیشین، شدت بیش تری داشتند. در سال های ال نینو، استقرار بادهای غربی در سطح اقیانوس آرام غربی، جریان شدیدتر آب های سطحی را به سمت شرق (آمریکای جنوبی) امکانپذیر می سازد. نتیجه این فرایند بالا آمدن سطح آب دریا در شرق و پائین رفتن آن در غرب اقیانوس آرام است. آبی که توسط جریان معکوس استوایی به سمت سواحل آمریکای جنوبی جریان دارد، به تدریج تحت تأثیر تابش خورشید گرم می شود و در نهایت، منطقه آرام شرقی دمایی حدود ۶ درجه سانتی گراد گرم تر از شرایط عادی به دست می آورد (شکل ۲).

بادهای تجارتي به شرایط عادی خود بازمی گردند. با وجود این، اگر بادهای تجارتي به طور غیرمنتظره ای قوی باشند، موجب افزایش بالای آبی آب سرد در سواحل غربی آمریکای جنوبی می شوند و متعاقب آن، دمای آب در آرام شرقی و مرکزی به طور غیرمعمول سرد خواهد شد. در چنین شرایطی، تشکیل لایه ضخیم آب گرم و بارش های سنگین، عمدتاً به منطقه آرام غربی محدود می شود. این فاز سرد که درست شرایط عکس ال نینو (فاز گرم) بر آن حاکم است، اصطلاحاً «لانینو»^{۱۲} نامیده می شود. محققان، لانینوی (فاز سرد) سال ۱۹۸۸ را با خشکسالی تابستانی آمریکای شمالی در همان سال مرتبط می دانند. همان طور که توضیح داده شد، ال نینو و نوسان جنوبی بخشی از یک ارتباط متقابل و برهم کنش بزرگ مقیاس بین اتمسفر و اقیانوس است. در زمان وقوع این پدیده، مناطق معینی از دنیا واکنش های اقلیمی معنی داری را نشان می دهند.



شکل ۳. ناهنجاری دما و بارش در طول رخداد ال نینو برای فصل زمستان (بالا) و فصل تابستان (پائین) در محدوده اقیانوس آرام و مناطق مجاور (Coghlan, 2002).



شکل ۲. ناهنجاری های درجه حرارت را در طول رخداد ال نینو اصلی در شرق آرام نشان می دهد (Pinet, 1998).

انسو و بارش های منطقه ای

در طول رخداد ال نینو ۱۹۸۳-۱۹۸۲ کشورهای اندونزی، آفریقای جنوبی و استرالیا با خشکسالی های شدیدی مواجه شدند؛ به طوری که تولید محصولات کشاورزی این کشورها نصف مقدار سال قبل شد و در بیابان های ساحلی اکوادور و پروی شمالی، بارش های شدید و سیل های بزرگی به وقوع پیوستند. شکل ۳ وضعیت کشورها و مناطق مختلف را در محدوده اقیانوس آرام و اقیانوس هند در هنگام وقوع پدیده ال نینو، به تفکیک برای

بدین ترتیب، یک لایه ضخیم از آب گرم در مناطق ساحلی اکوادور و پرو پیشروی می کند. وجود چنین درجه حرارت های غیرمعمول و ناهنجاری در آرام شرقی، روی الگوهای باد در مقیاس وسیع اثر می گذارد. گرم شدن اقیانوس در شرق و آزاد شدن گرمای نهان تبخیر در طول مدت تراکم و تشکیل ابرها، تأثیر قابل ملاحظه ای روی بادهای غربی سطح بالا دارد (شکل ۱ب) که در نهایت موجب افزایش بارش در برخی مناطق زمین و کاهش آن در برخی مناطق دیگر می شود.

پس از پایان یافتن یک رخداد ال نینو اصلی، معمولاً

دوره‌های سرد و گرم سال، نشان می‌دهد. در نیمکره شمالی، یک «رود باد» غربی جنب حاره‌ای قوی و غیرمعمول، به دفعات با رودباد قطبی یکی و موجب افزایش بارش قابل ملاحظه‌ای در ایالت‌های ساحلی خلیج مکزیک شده است.

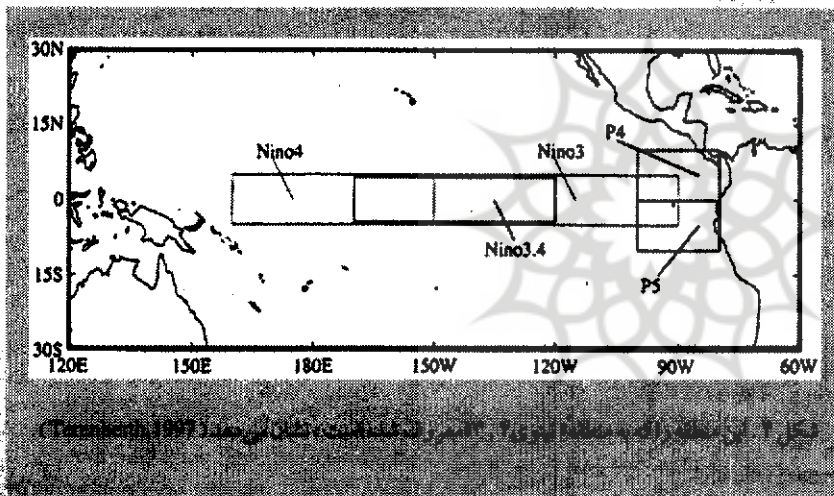
در مناطق مونسونی همچون هند، مدت زیادی است که نقش ال نینو بر میزان بارش تابستانی مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت، منطقه هند در طول سال‌های ال نینوی قوی، کاهش بارش تابستانی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد (شکل ۳). فعالیت سیکلون‌های حاره‌ای نیز از فازهای گرم و سرد انسو تبعیت می‌کند. در کل، فاز گرم با افزایش تعداد توفان‌های حاره‌ای و هاریکن‌ها در اقیانوس آرام شرقی و کاهش تعداد آن‌ها در خلیج مکزیک و دریای کارائیب همراه است.^{۱۳}

چگونه می‌توان یک ال نینو را تشخیص داد؟ برای تعیین و تشخیص ال نینو و لانیو به طور کلی شرایط هنجار و ناهنجار در منطقه اقیانوس آرام، از دو مؤلفه استفاده می‌شود:

در عین حال در سال‌های ال نینو، مناطق مرکزی و غربی اروپا در طول فصل زمستان بارش‌های بیش‌تر از حد عادی دریافت می‌کنند که با کاهش میزان فشار هوا در این منطقه همراه است. در حالی که اروپای شمالی در چنین سال‌هایی از بارش‌های کم‌تری برخوردار خواهد بود. از طرف دیگر، پوشش برف در مناطقی چون شرق قفقاز، حوضه غربی و شرقی دریای خزر و آسیای مرکزی، بیش‌تر از شرایط عادی خواهد بود.^{۱۴} در واقع مسیر سیکلون‌ها در منطقه شرق اقیانوس اطلس و اروپا به عرض‌های جنوبی‌تری جابه‌جا می‌شود.^{۱۵}

۱. درجه حرارت سطح دریا: در طول یکی دو دهه گذشته، مطالعات گسترده‌ای در مورد درجه حرارت اقیانوس آرام حاره‌ای صورت گرفته است. در نهایت، در آخرین مدل‌های پیش‌بینی ارائه شده، منطقه‌ای بین ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه طول غربی در حداقل ۵ درجه عرض شمالی و جنوبی، به عنوان منطقه مناسب برای تعیین ناهنجاری‌های دمایی (تعیین شرایط ال نینو و لانیو و یا شرایط عادی) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

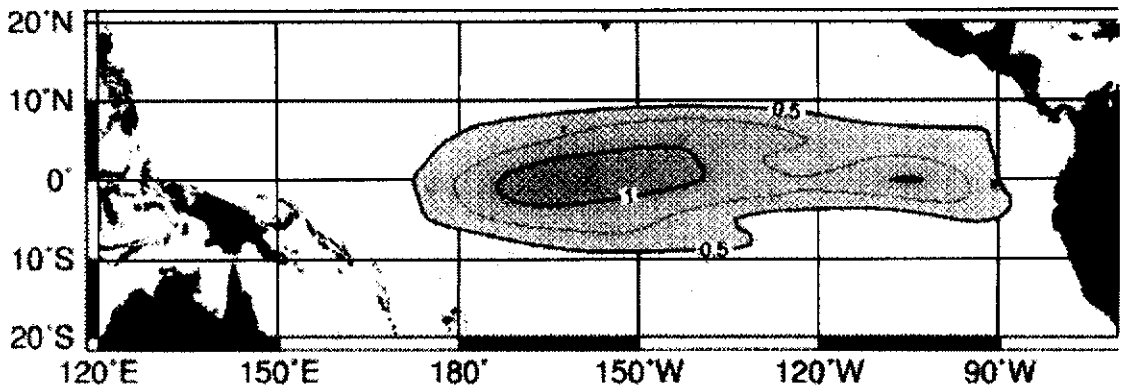
نتایج پژوهشگران در خاورمیانه نیز از تباطؤ پدیدآمده انسو را با ناهنجاری‌های بارش روزی منطقه نشان می‌دهد. به طوری که سال‌های ال نینوی قوی با افزایش بارش زمستانی همراه بوده است.^{۱۶} در عین حال، جدیدترین خشکسالی ایران و جنوب غرب آسیا (خشکسالی ۲۰۰۱-۱۹۹۸) یا یکی از طولانی‌ترین و قوی‌ترین لانیوهای نیم قرن اخیر مرتبط دانسته شده و در واقع فاز سرد انسو علت اصلی خشکسالی اخیر معرفی شده است.^{۱۷}



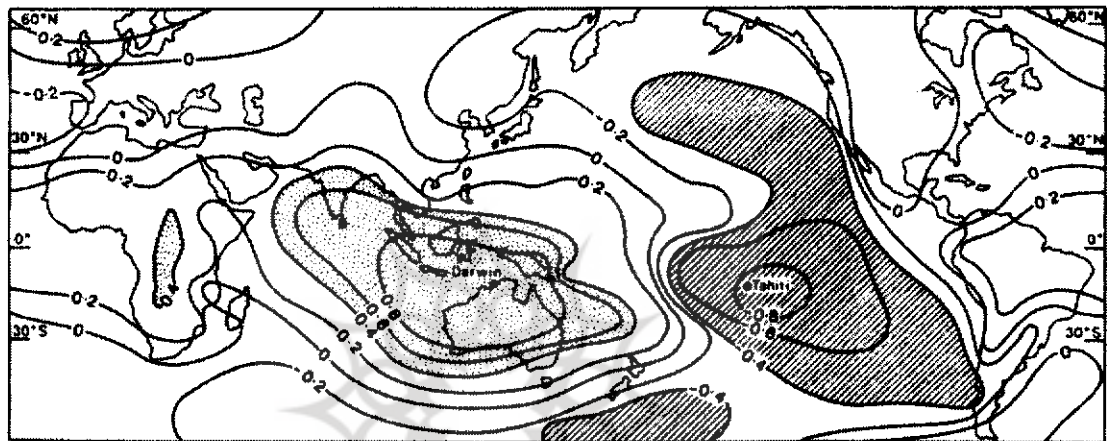
بر اساس مطالعات انجام شده، اگر درجه حرارت متوسط سطح دریا در منطقه نینوی ۳، ۴ برای مدت حداقل شش ماه متوالی ۰/۴ درجه سانتی گراد بالاتر از دمای عادی باشد، پدیده ال نینو (فاز گرم) به وقوع پیوسته است و به همین ترتیب، اگر ۰/۴ درجه پایین‌تر از دمای عادی باشد، لانیو (فاز سرد) اتفاق افتاده است. با توجه به شاخص یاد شده در طول ۵ سال گذشته، اغلب ال نینوها و لانیوها در حداقل ماه‌های مارس تا سپتامبر آغاز شده‌اند.^{۱۸}

تقریباً تمام تحقیقات انجام شده در ایران نیز رخداد ال نینو را با افزایش بارش‌های فراگیر در دوره سرد سال مرتبط می‌دانند.^{۱۹} گفته می‌شود که در زمان وقوع پدیده ال نینو، رودباد جنب حاره در نیمکره شمالی به عرض‌های پایین‌تری منتقل می‌شود و در واقع جانب شمالی سلول هدلی در موقعیتی نزدیک‌تر به استوا قرار می‌گیرد. در چنین حالتی، بر فشارهای جنب حاره‌ای در منطقه خاورمیانه به عرض‌های پایین‌تری جابه‌جا شده و امکان نفوذ

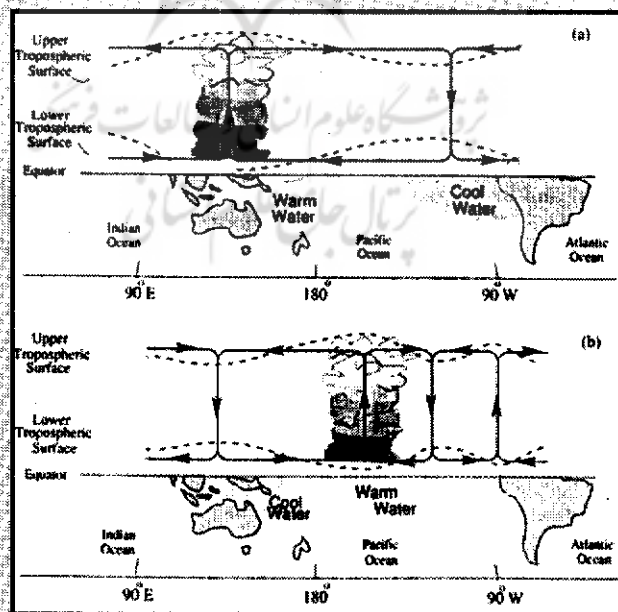
شکل ۵. نقشه پیش‌بینی ناهنجاری درجه حرارت سطح دریا را در ماه‌های دسامبر ۲۰۰۶ و ژانویه و فوریه ۲۰۰۳ که توسط مرکز پیش‌بینی اقلیمی آمریکا برای منطقه اقیانوس آرام تهیه شده است، نشان می‌دهد. با توجه به آن‌چه ذکر شده، دمایی پیش‌بینی شده نشان‌دهنده استقرار فاز گرم (ال نینو) در زمستان سال جاری است. به طوری که در منطقه نینوی ۳، ۴، ناهنجاری در طول این سه ماه (درجه سانتی گراد بالاتر از حد عادی) است.



شکل ۵. پیش‌بینی ناهنجاری‌های درجه حرارت سطح دریا در منطقه اقیانوس آرام برای زمستان ۱۳۸۱



شکل ۶. موقعیت مراکز پرفشار و کم‌فشار در منطقه اقیانوس آرام در وضعیت ال‌نینوی قوی (Barry and Chorley, 1998).



شکل ۷. طرحی شماتیک از نحوه گردش اتمسفر روی اقیانوس آرام حاره‌ای

a گردش واکر در شرایط نرمال، همراه با بارش فراوان و دمای بالا در غرب اقیانوس آرام. b الگوی گردش بحاره‌ای در طول رخداد ال‌نینوی اصلی، همراه با بارش فراوان و دمای بالای آب در آرام مرکزی تا شرقی (Peng et al, 2002).

20. Terenberth, 1997.
21. Southern Oscillation Index (SOI).
22. Tahiti.
23. Darwin.

منابع

۱. استوار میمندی، ابراهیم (۱۳۷۹). ال نینو و رابطه آن با بارش های ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه تربیت مدرس.
۲. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷). پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۵۱. صفحه ۱۳۹-۱۲۱.
۳. عزیزی، قاسم (۱۳۷۹). ال نینو و دوره های خشکسالی و ترسالی در ایران. پژوهش های جغرافیایی. شماره ۳۸. صفحه ۸۴-۷۱.
۴. مدرس پور، آزاده (۱۳۷۵). ناهنجاری های اقلیمی ایران و پدیده انسو. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی. دانشگاه آزاد اسلامی (واحد شمال تهران).
۵. ناظم السادات، سید محمد جعفر (۱۳۷۸). بررسی تأثیر پدیده انسو بر بارندگی پایتیزه ایران. مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. سازمان هواشناسی. صفحه ۲۶۴-۲۵۲.
6. Ahrens, D. (1998). *Essentials of Meteorology*. wadsworth publishing company. PP. 177-183.
7. Alpert and Reisin (1986). An early winter polar air mass penetration to the eastern Mediterranean. *Mon. Wea. Rev.* Vol. 15. No. 7. pp. 1411-1418.
8. Barlow, M. et al (2002). Drought in central and southwest Asia: La Nina, the warm pool, and Indian ocean precipitation. *J. climate*. vol. 15. No. 7. pp. 697-700.
9. Barry, R., and chorley, R. (1998). *Atmosphere, weather and climate*. Routledge. pp. 277-278.
10. Coghlan, C. (2002). El Nino - causes, consequences and solutions, *weather*. vol. 57. No. 6. pp. 209-215.
11. Carrison, Tom (1999). *Oceanography*. Wadsworth publishing company. pp. 214 - 216.
12. Krenke, and Kitaev (2002). Impact of ENSO on snow cover in the former Soviet Union. <http://www.gewex.com/nov98enso.html>.
13. Lutgens, F. and Tarbuck, E. (1998). *The Atmosphere*. prentice hall. pp. 178-181.
14. Pinet, P. (1998). *Invitation of oceanography*, Jones and Bartlett, pp. 392-393.
15. Price et al (1998). A possible link between Elnino and precipitation in Israel. *Geoph. Res. Lett.* vol. 25. pp. 3963-3966.
16. Peng et al (2002). *Environmental modelling and predition*. springer - verlag. pp. 24-27.
17. Thompson, R. (1998). *Atmospheric processes and systems*. Routledge. pp. 161-163.
18. Terenberth, K. (1997). The definition of El Nino. *Bull. Amr. Met. Soc.* vol. 78. No. 12. pp. 2771-2777.
19. Waple, A. M., et al (2002). Climate assessment for 2001. *Bull. Amr. Met. Soc.* vol. 83. No. 6. pp. sl-s 59.

لازم به ذکر است که اقیانوس آرام در سرتاسر سال ۲۰۰۲ پدیده ال نینو را تجربه کرده است.

۲. شاخص نوسان جنوبی^{۲۱}: به واسطه این شاخص، وضعیت الگوهای فشار و شدت و ضعف جریان های اتمسفری در منطقه اقیانوس آرام مشخص می شود. در این شاخص، یک منطقه پرفشار در اقیانوس آرام جنوبی و یک منطقه کم فشار در آرام غربی در نظر گرفته شده اند.

ایستگاه «تاهیتی»^{۲۲} به عنوان مرکز پرفشار (۱۷ درجه جنوبی و ۱۵۰ درجه غربی) و ایستگاه «داروین»^{۲۳} در شمال استرالیا (۱۲ درجه جنوبی و ۱۳۰ درجه شرقی) به عنوان مرکز کم فشار تعیین شده اند (شکل ۶). شاخص نوسان جنوبی از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$SOI = P - P$$

(Tahiti) (Darwin)

در این جا P مقدار فشار هوا در سطح دریاست. هر قدر میزان فشار هوا در تاهیتی بیش تر از معمول باشد، بادهای تجارتی قوی تر خواهند بود. از طرف دیگر، فاز گرم (ال نینو) با اختلاف فشار کم تر بین این دو مرکز فشار مرتبط است. به عبارت دیگر، کاهش میزان فشار در ایستگاه تاهیتی موجب کاهش شیب فشار در منطقه اقیانوس آرام و در نهایت ضعیف شدن بادهای تجارتی و استقرار فاز گرم می شود.

زیر نویس

۱. لغت اسپانیولی به معنی پسر بچه.
۲. Guano.
۳. فضله این پرندگان غنی از فسفات است.
4. Major El Nino Event.
5. Ahrens, 1998.
6. Equatorial Counter Current.
7. Seesaw.
8. Southern Oscillation.
9. Walker Circulation.
10. Thompson, 1998.
11. El Nino Southern Oscillation (ENSO).
12. La Nina (لغت اسپانیولی به معنی دختر بچه)
13. Coghlan, 2002.
14. Krenke and Kitaev, 2002.
15. Coghlan, 2002.
16. Alpert and Reisien, 1986; price et al, 1998.
17. Barlow et al, 2002; Waple et al, 2002.
۱۸. مدرس پور، ۱۳۷۵، خوش اخلاق، ۱۳۷۷؛ ناظم السادات، ۱۳۷۸؛ استوار میمندی، ۱۳۷۹؛ عزیزی، ۱۳۷۹.
19. Price et al, 1998.

