

# تأثیر تغییر زاویه میل زمین بر روی آب و هوا

دکترابراج مغفوری مقدم

عضو هیأت علمی دانشگاه لرستان

مهندس محمود جلالی

کارشناس مدیریت اکتشاف - شرکت ملی نفت ایران

## چکیده

مانند دیگر پدیده‌های طبیعی جهان زاویه میل محور زمین نیز دچار تغییر و دگرگونی می‌باشد. این تغییرات را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. اول تغییرات چرخه‌ای منظم زاویه میل زمین که قسمتی از تغییرات میلانکوویچی است و در هر ۴۱ هزار سال مقدار آن مثبت و منفی  $۳/۵$  می‌باشد. دوم تغییرات بلندمدت زمین‌شناسی زاویه میل زمین که به نظر می‌رسد این تغییرات یکسویه می‌باشد و از شروع فنروزونیک ( $۴۵۰$  میلیون سال قبل) تاکنون تدریجاً در حال کاهش می‌باشد. عواملی چون اصطحکاک حاصل از جزرومد و تفکیک گوشته و پوسته زمین در این پدیده دخالت داشته‌اند. تغییرات بلندمدت زاویه میل زمین و کاهش آن موجب ایجاد فصول و همچنین تقسیم آب و هوایی عرضهای جغرافیایی شده است.

## سرآغاز

نزدیک به ۱۷۳ سال قبل کتاب مبانی زمین‌شناسی توسط چارلز لایل (Charles Lyell) علم زمین‌شناسی به عنوان شاخه‌ای مستقل در علوم پایه تأسیس شد. هدف اصلی این کتاب تشریح پدیده‌های مختلف زمین و تبیین آن بر اساس اصل یکنواختی بوده است. طبق این اصل رویدادهای حاکم بر زمین در تمامی زمانها بدون وقفه و تغییر ادامه داشته است. مانند امروز میلیون‌ها سال قبل نیز رودها قاره‌ها را فرسایش می‌دادند و بار خود را در دریاها و دیگر حوضه‌های رسوبی قرار می‌دادند. آتشفشانها محل فوران میلیونها تن مواد آذرین بوده‌اند و... نزدیک به ۱۵۰ سال این انگاره موردقبول

تمامی زمین‌شناسان بوده است ولی برخی یافته‌ها نشان می‌دهد که واقعاً زمین یکنواخت نیست به عنوان مثال برای بسیاری از محققان ثابت شده است که اتمسفر زمین همیشه مانند امروز اکسیدان نبوده است و برای مدت زمان طولی شاید  $۳/۴$  عمر زمین اتمسفر حالت احیا داشته است. همچنین در برخی زمانها مانند اواخر کرتاسه زمین در معرض شهابخانه‌ها و اشعه‌های مرگبار ناشی از انفجار سوپرنوواها بوده است به طوری که بسیاری از جانداران نتوانسته‌اند این وضعیت را تحمل کنند. در اواخر پرمین در منطقه سیبری آتشفشانهایی اتفاق افتاده است که حجم گدازه‌های آن به یک میلیون متر مکعب می‌رسیده است. بنابراین بر همگان ثابت شده است که زمین دچار تغییرات شگرفی می‌شود که تصور آن شاید کمی برای عوام مشکل باشد. با یک مثال شاید بتوان تأثیر این تغییرات و درک آن را برای انسان جستجو کرد. فرض کنیم دو موجود هستند که یکی از آنها یکسال و دیگری  $۱۰$  سال عمر کند و باز فرض کنیم در منطقه‌ای که این موجودات هوشمند زندگی می‌کرده‌اند به طور آماری سالی یکبار سیل و هر  $۱۰$  سال یکبار آتشفشانی بوجود آید. اگر از موجودات یک ساله در زمان حیات وی که اتفاقاً همزمان با فعالیت سیل و آتشفشان است در مورد کوره زمین سؤال شود واضح است که موجود زمین را مکان سخت و دردناکی می‌داند. ولی اگر از موجودی که  $۱۰$  سال عمر می‌کند در مورد زمین پرسیده شود و در این مدت این موجود نه سیل و نه آتشفشان دیده باشد پاسخ وی بسیار خوش‌باورانه و درعین حال امیدوارکننده است ولی اگر این موجود یکبار در عمر خود سیل یا آتشفشان را دیده بود پاسخ او دوگانه است یعنی هم زمین را جای دوست‌داشتنی می‌داند ولی درعین حال آنرا حامل



## عوامل تغییرات بلندمدت زاویه میل زمین و سیارات دیگر

میزان زاویه میل سیارات با هم بسیار تفاوت می‌کند و کمترین آن متعلق به عطارد به مقدار صفر درجه و بیشترین آن به پلوتو به مقدار  $174/5$  درجه است. در جدول (۱) میزان زاویه سیارات و دلایل این تغییرات را با اقتباس از نوشته‌های ویلیامز ۱۹۹۲ و ۱۹۹۱ بیان کرده‌ایم. تنها لازم به توضیح است که بعد از یافته‌های ویجر ۲ زاویه میل سیارات اورانوس و نپتون به ترتیب ۲۹ و  $29/6$  در نظر گرفته می‌شود.

جدول (۱)، مقدار زاویه میل سیارات خورشیدی (Williams 1998)

Planet	Present obliquity (°)	Range or past obliquity (°)	Mechanism for variation
Mercury	0	<90	tidal torque and core - mantle dissipation
Venus	177	0 to ~ 180	tidal torques and core_mantle dissipation
Earth	23.5	0 to ~ 180	tidal torques and axial - orbital precession
		23±1.5	tidal friction
		~10 to 23	tidal friction
		~13 to 23	core-mantle dissipation
Moon	6.7	77 to 6.7	tidal torque
Mars	25.2	24.4±13.6	axial-orbital precession
		27.5±18.5	axial-orbital precession (prior to Tharsis uplift)
		25.8±25.6	axial-orbital precession
		0 to ~20+	polar ice-cap loading
		Jupiter	3.1
Saturn $\oplus$	26.7	0 to ~ 27	twist of orbital plane
Uranus	97.9	0 to ~ 98	planetary impact
		0 to ~ 98	planetary impact
		0 to ~ 98	tidal torque
		0 to ~ 98	twist of orbital plane
		0 to ~ 98	axial-orbital precession
Neptune	28.8	0 to ~ 29	twist of orbital plane
Pluto	104.5	99±14	axial orbital precession
		0 to 118	twist of orbital plane

یادآوری این نکته ضروری است که دلایل ذکر شده در این جدول برای تغییرات زاویه میل قطعی نیست و چه بسیار عوامل پنهان دیگری در این

خطراتی می‌داند که باید مراقب آن بود.

انسانها نیز نسبت به زمین عمر بسیار کوتاه دارند حتی تاریخ بشریت نسبت به بسیاری از حوادث زمین‌شناسی که در چرخه‌های طولانی اتفاق می‌افتد بسیار کوتاه است. تنها با پیشرفت علوم مختلف مانند پالئومغناطیس، پالئوژئوشیمی و شناسایی محیطهای رسوبی... امکان شناسایی مدارکی از این پدیده‌ها وجود دارد که می‌توان به تأثیرات این عوامل پی برد. یکی از حوادث مهم در تاریخ زمین تغییر زاویه میل زمین می‌باشد که حقیقتاً در سطح جهانی بسیار کم به آن توجه شده است و در دهه‌های آینده نشان دهنده رشد داده‌های مختلف در مورد شناسایی مدارک جدید از این پدیده زمین‌شناسی است. در این مقاله سعی شده است تا برخی از داده‌های دو دهه اخیر در مورد زاویه میل زمین گردآوری شود.

## تغییرات میلانکوویچی مدار زمین

در اواسط دهه پنجاه قرن گذشته محقق یوگسلاویایی میلانکوویچ (Milanovic) اثبات کرد که سه مؤلفه مهم در گردش زمین به دور خورشید در حال تغییر است. یکی از آنها میزان متوسط فاصله زمین تا خورشید است. (Eccentricity) که مدت زمان هر چرخه آن حدود ۹۱ هزار سال می‌باشد. دوم تغییر زاویه میل زمین (Obliquity) است که مدت زمان هر چرخه آن حدود ۴۱ هزار سال است و در این مدت زاویه میل زمین حدود مثبت و منفی  $3/5$  درجه تغییر می‌نماید. مقدار این زاویه هم اکنون  $23/5$  می‌باشد. سوم تغییرات جهت میل محور زمین (Precession) است. مدت زمان هر چرخه آن حدود ۲۶ هزار سال می‌باشد. تلفیقی از این تغییرات موجب افزایش و یا کاهش دمای سطح زمین می‌شود که اصطلاحاً در مناطق عرضهای بالای جغرافیا و یا مناطق مرتفع عرضهای میانی آنها را دوران یخبندان (Ice Age) و دوره‌های بین یخبندان (House Age) می‌نامند. معادل این دوره‌ها را در مناطق گرمسیری دوره‌های مرطوب (Pluvial) و دوره‌های خشک (Arid) می‌نامند.

به علت موقعیت فعلی قاره‌ها پیشینه تغییرات میلانکوویچی به خوبی در رسوبات پلیوسن فوقانی (۳ میلیون سال قبل) ثبت شده است. در لایه‌های قدیمی‌تر زمین شناسی اولاً رسوبات شدیداً تحت تأثیر آب و هوا می‌باشند و ثانیاً کمتر دچار فرسایش شده‌اند و در نتیجه تغییرات حاصل از دوره‌های میلانکوویچی را در خود ثبت می‌کنند. این لایه را می‌توان در رسوبات دریایچه‌ای و در دریاچه‌ای کم عمق یافت که دو ویژگی فوق رادار. به این ترتیب تغییرات آب و هوایی میلانکوویچی تا پالئوزئوتیک شناسایی شده است. اما زاویه میل زمین دچار تغییرات دیگری نیز می‌باشد که اولاً برخلاف تغییرات میلانکوویچی حالت چرخه‌ای ندارد و از طرف دیگر تأثیر آن بسیار بلند می‌باشد. به نظر می‌رسد حداقل از شروع کامبرین (حدود ۴۵۰ میلیون سال قبل) مقدار زاویه میل زمین تغییر چندانی نیافته است ولی قبل از آن شواهدی وجود دارد که نشان دهنده این حقیقت است که میزان زاویه میل بسیار کمتر از امروز بوده است و به صورت تدریجی از مقدار زاویه میل زمین کاسته شده است.

خود هستند به عنوان مثال وجود استخوان خزندگان نشان دهنده آب و هوای گرم تا معتدل است. و قطعاً در مناطق قطبی خزندگان قادر به حیات نیستند. با توجه به شواهدی مانند مغناطیس دیرینه می توان موقعیت جغرافیایی مناطق مختلف را بازسازی کرد. مناطقی که به علت حرکت قاره ها صدها کیلومتر از محل اولیه خود تغییر مکان داده اند.

با توجه به ساخت های رسوبی مانند طبقات متقاطع در رسوبات بادی می توان جهت بادهای دیرینه را شناسایی کرده و یا جمع آوری داده های مختلف مسیر بادهای قدیمی و در نتیجه مناطق پرفشار و کم فشار در گذشته زمین را شناسایی کرد. (Parish-Pterson 1988) بسیاری از این داده ها را جمع آوری کردند و نتیجه گرفتند حداقل از کامبرین (۵۴۰ میلیون سال قبل) تاکنون تغییر در مناطق پرفشار (سرد) و کم فشار (گرم) زمین حاصل نشده است. (به نقل از ویلیامز ۱۹۹۳)

اما در رسوبات کرتاسه پسین - ترشیر پیشین (حدود ۸۰ میلیون سال قبل) گیاهان پهن برگ همیشه سبزی یافت شده است. این گیاهان در تمامی فصول به نور خورشید احتیاج دارند و هنگامی که در قطبین زمستان فرامی رسد این گیاهان نمی توانند باقی بمانند و لذا این مسئله به ذهن خطور می کند که محور زمین زاویه متفاوتی با امروز داشته است و در نتیجه قطبین برخلاف امروز در چهار فصل نور یکسانی از خورشید دریافت می کردند. ولی به نظر می رسد که این گیاهان حالت استثنایی داشته اند یعنی می توانستند با کاهش شدت نور در عوض نور مداوم به بقای خود ادامه دهند. باید به این نکته مهم توجه کرد در چرخه های میلانکوویچی دمای قطبین کاهش و افزایش پیدامی کند ولی میزان شدت نور در زمستان و تابستان تغییرات شدیدی نمی نماید. بنابراین بحث مورد نظر ما در تغییرات زیاد زاویه میل به تغییر نور دریافتی قطبین در تمامی فصول است.

رسوبات مختلف فنروزونیک نشان می دهد که تقسیم مناطق آب و هوایی زمین از کامبرین تاکنون تغییر نکرده است یعنی گرمترین بخشها در استوا - مناطق بیابانی بین عرضهای ۱۵ تا ۳۰ درجه جنوبی و شمالی - و مناطق سردسیر در قطبین بوده است و در چرخه های میلانکوویچی دمای این مناطق زیاد یا کم می شده است ولی تقسیم بندی مناطق استوایی معتدله و قطبی مانند امروز بوده است.

اما شواهد فراوانی از سنگهای پرتورزونیک (سنگهای قدیمی تر از ۶۵۰ میلیون سال قبل) نشان می دهد که اکثر نقاط زمین تحت پوشش یخچالها بوده اند. رسوبات یخچالی این دوران را می توان در اسکاتلند، گرولند، استرالیا، افریقای جنوبی و... یافت. شواهد مغناطیس دیرین نشان می دهد در آن زمان این مناطق در عرضهای میانی و حتی استوایی قرار داشته اند یعنی در آن زمان مناطق با عرضهای پایین سرد و مناطق با عرضهای بالا گرم بوده اند. (Sonnet et al 1999)

در نگاه زیر اثر تغییرات محور میل زمین بر روی آب و هوا نشان داده شده است. در بخش (a) در قسمت پایین محور زاویه میل زمین از ۰ تا ۹۰ درجه نشان داده شده است. در قسمت عمودی نسبت مقدار نور دریافتی سالانه مناطق قطبی به استوا در نظر گرفته شده است.

مورد نقش فرایندهای دارند. اما محاسبات مؤلفانی چون (Berger et al 1991, 1977, 1992) نشان می دهد که اصطحکاک حاصل از جزرومد و تفکیک هسته و گوشته عامل مهمی در تعادل و مقدار زاویه میل می باشد. از آنجا که حرکت هسته و گوشته در ماه وجود ندارد تنها عامل جزرومد در این تغییر زاویه میل اهمیت دارد.

سیاراتی مانند زهره زاویه میل بسیار زیادی دارند که جدا از عوامل شناخته شده در مورد سیارات دیگر می تواند به علت برخورد شهابخانه های بزرگ و کوچک به سطح این سیاره باشد. انگاره برخورد شهابخانه و تأثیر آن بر روی زاویه میل در مورد زمین نیز صدق می کند.

محاسبات (Bili 1990) نشان می دهد که با توجه به روند جدایش هسته خارجی و گوشته تحتانی و اصطحکاک حاصل از جزرومد می بایستی زمین در ابتدای تشکیل خود زاویه میلی حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه داشته باشد و به نقل از ویلیامز ۱۹۹۳ شواهد بسیار قوی نشان می دهد که نواحی جغرافیایی زمین قبل از ۶۵ میلیون سال قبل عکس امروز بوده است یعنی مناطق استوایی آب و هوای سرد و قطبین آب و هوای گرم داشته است.

مطالعه تغییرات محدوده های آب و هوایی زمین محققانی چون ویلیامز (۱۹۹۳) را ناچار به انگاره هایی می کند که نشانگر آن است که زمین در شروع تشکیل خود می بایستی زاویه میل بسیار زیادی حتی نزدیک به ۷۵ درجه داشته باشد که به تدریج از مقدار آن کاسته شده است و در شروع کامبرین به حد امروزی رسیده است. به اعتقاد این محققان زمین در شروع تشکیل خود مورد اصابت شهابخانه هایی قرار گرفته است که سرعت آنها بین ۲ تا ۲۰ کیلومتر در ثانیه و نسبت آنها به حجم زمین بین ۰.۰۸ تا ۰.۱۴ بوده است. ولی به تدریج به علت تفکیک داخلی زمین و به ویژه تقسیم زمین به گوشته و هسته خارجی و جزرومد از مقدار زاویه میل زمین کاسته شد به اعتقاد همین مؤلفان برخورد این شهابخانه ها موجب جدایش بخشی از زمین و ماه شده است. این انگاره قابل تأیید است. در ماه کانی های آبدار و پرسیلین مانند کوارتز کم می باشد که حاکی از این واقعیت است که عوامل بعدی که در زمین حادث شد و منجر به تشکیل پوسته (شامل کانیهای سبک مانند) و گوشته و هسته در ماه بوجود نیامده است. امواج زلزله در ماه نزدیک به صفر است که نشان می دهد تکنونیک ورقه ای در آنجا وجود ندارد و ماه یک توده سنگ تقریباً یکنواخت می باشد که در دور زمین می چرخد.

### تغییرات زاویه میل زمین در پیشینه زمین شناسی

با شواهد مختلف می توان آب و هوای گذشته زمین و همچنین مسیر بادهای دیرینه (Paleowind) جغرافیای دیرینه را بازسازی کرد.

با توجه به محتویات کانی شناسی و سنگ شناسی رسوبات و نسبت ایزوتوپ های (018/016) می توان دمای دیرینه را محاسبه کرد. به عنوان مثال وجود کانیهای تبخیری نشان دهنده آب و هوای گرم می باشد. نسبت ایزوتوپ های اکسیژن نیز می تواند تا چنددهم درجه دمای هنگام تشکیل رسوبات را نشان دهد.

در رسوبات فسیل دار نیز محتویات فسیلی نشانگر اقلیم زمان تشکیل



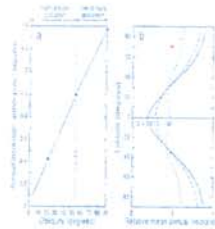
۶۲۰ میلیون سال قبل این مقدار به ۵۴ درجه رسید. نواحی اقلیمی براساس عرضهای جغرافیایی از حالت معکوس به حالت معمولی امروزی رسید در ۵۵ میلیون سال قبل هنگامی که زاویه میل زمین به ۴۵ درجه رسید تغییرات فصلی جهانی به اوج خود رسید. چراکه در این زمان تغییر جهت زاویه میل زمین (Precession) به اوج خود می‌رسد و از آن زمان تا کواترنری زاویه میل زمین تغییرات کم ولی چرخ زایی داشته است. نکته جالب تقارن این حوادث با فرگشت جانداران می‌باشد. به عنوان مثال در ۶۲۰ تا ۵۹۰ میلیون سال قبل مقارن با ظهور اولیسن موجودات پرسلولی است که به آنها (Ediacarian) گفته می‌شود که اقتباس از محلی بنام ادیاکار در استرالیا می‌باشد و یا تغییر ۲۳۰ میلیون سال قبل مقارن با شروع فنروزونیک و ظهور جانداران مختلف است که نشان می‌دهد آب و هوای زمین برای جانداران مختلف قابل تحمل شده بود.

#### نتیجه

تغییرات زاویه میل زمین تأثیرات زیادی بر روی آب و هوا دارد اگر زاویه میل زمین به بیش از ۵۴ درجه برسد میزان نوردریافتی نور خورشید بین قطبین و استوا معکوس می‌شود و یخچالهای دائمی در قطبین تشکیل می‌شود. شواهد مختلف زمین‌شناسی نشان می‌دهد که این شرایط در پروتروزونیک وجود داشته است. زاویه میل زمین بر اثر واکنشهای ژئوفیزیکی درون زمین مانند تکفیک هسته و گوشته و همچنین تأثیرات اصطحکاک حاصل از جزرومد به تدریج کاهش یافته است و از شروع فنروزونیک مانند امروزه شده است.

#### منابع

- 1 - Berger, A., Loutre, M.F., & Lasker, J. (1992): Stability of the astronomical frequencies over earth's history for paleoclimate studies. *Science*, 255:560-566.
- 2 - Berger, A. (1977): Support for the astronomical theory of climate change. *Nature*, 26:44-45.
- 3 - Hays, J.D., Imbrie, J., & Shackleton, N.J. (1976): Variation in the earth's orbit: Pacemaker of the ice age. *Science*, 194:1121-1132.
- 4 - Sonnet, C.P., Finlay, S.A., & Williams, C.R. (1988): The lunar orbit in the later Precambrian & the ELATINA sandstone laminae. *Nature*, 335:806-808.
- 5 - Williams, G.E. (1991): Upper Proterozoic tidal rhythmic south Australia: Sedimentary features deposition & implication for the earth's paleorotation. In D.G. Smith et al., *Clastic tidal sedimentology*. *Can. Soc. Pet. Geol. Mem.* 16:161-178.
- 6 - Williams, G.E. (1993): History of the earth's obliquity. *Earth Science Reviews*, 34:1-45.



نگاره ۱: (a) - نسبت بین نوردریافتی نور خورشید در قطبین و استوا در زاویه میل مختلف زمین (b) مقایسه نوردریافتی عرضهای مختلف زمین با توجه به زاویه میل زمین هنگامی که این زاویه ۶۰-۷۵ و ۹۰ وی باشد. (اقتباس از ویلیامز ۱۹۹۱)

خط تیره ممتد نشان می‌دهد که با افزایش میزان زاویه میل نسبت نور دریافتی از خورشید بین قطبین و استوا افزایش پیدا می‌کند. هنگامی که زاویه میل صفر درجه است نور دریافتی قطبین از خورشید صفر می‌شود که نشان می‌دهد نسبت فوق نیز صفر می‌گردد. در ۲۳/۵ درجه این نسبت مانند شرایط امروزی ۰/۴ می‌شود ولی با افزایش زاویه میل و در حدود ۵۴ درجه این نسبت ۱ می‌شود یعنی بین قطبین و استوا هیچ تفاوت نور دریافتی از خورشید وجود ندارد و در نتیجه هیچ منطقه یخبندان نداریم. با افزایش زاویه میل از ۵۴ درجه میزان دریافتی نور خورشید در قطبین نسبت به استوا زیادتر می‌شود و تدریجاً مناطق استوایی سردتر از قطبین می‌شود به طوری که در زاویه میل ۹۰ درجه این شرایط به اوج می‌رسد. در بخش (b) نسبت نوردریافتی از خورشید در عرضهای مختلف بر حسب مقدار زاویه میل زمین نشان داده شده است. همانطور که از این نگاره مشخص است این میزان زمانی که زاویه میل ۹۰ درجه است برای استوا بسیار کم می‌باشد با کاهش زاویه میل نور دریافتی از خورشید در استوا نیز زیادتر می‌شود. هنگامی که زاویه میل به ۶۰ درجه می‌رسد کمترین نوردریافتی سالیانه خورشید در عرضهای مثبت و منفی ۳۰ درجه می‌باشد. و با کاهش بیشتر زاویه میل، بیشترین نوردریافتی مربوط به مناطق استوا می‌باشد.

بنابراین اگر عوامل مجزایی از چرخه‌های میلانکوویچی مانند کاهش دی اکسید کربن و در نتیجه کاهش اثر گلخانه‌ای عامل یخبندان شود این یخبندان در پروتروزونیک در عرضهای پایین اتفاق افتاده است و در عرضهای بالا موجب بارش برفهای اندکی می‌شده است که با گرمای تابستان به سرعت ذوب می‌شده است. بنابراین به نظر می‌رسد که وجود رسوبات مناطق سردسیر در عرضهای پایین در زمان پروتروزونیک به علت زاویه میل زیاد زمین بوده است که به تدریج از این میزان کاسته شده است.

محاسبات مختلف نشان می‌دهد از ۴۵۰۰ تا ۶۵۰۰ میلیون سال قبل زاویه میل کاهش یافته و به ۶۰ درجه رسیده است. میزان کاهش حدود ۰،۰۰۰۹ ثانیه آرک در هر قرن بوده است. میزان زاویه میل محور زمین از ۶۵۰ تا ۲۳۰ میلیون سال قبل از ۶۰ درجه تا ۲۶ درجه کاهش یافته است. هنگامی که در