

Prof.. Dr. Şükrü ERSOY,
yXO Doğa Bilimleri Atıştırma Merkezi

Son zamanlarda Dünyanın yak m geleceğini ilgilendiren atmosfer bileşimindeki değişim sonucu ortaya, çıkan küresel ısınma konusunda Türkiye'de de bazı yazılar ve konuşmalar gündeme gelmeye başladı. Bitimle uğraşan bir insan olarak by durumu çok sevindirici buluyorum ve "Yaşasın Popüler Bilim" diyorum. Bilim kültürüne sahip bir toplum olabilmenin yolu bence bilim'in özendirilmesinden ve sadeleştirilmesi(meşinden geçer.

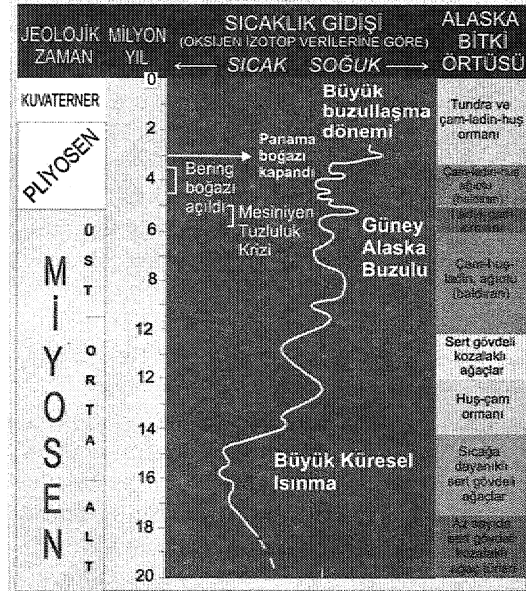
Küresel iklim değişiklikleri konusunda yapılan tartışmaları olumlu bulduğum kadar, bazı açılardan eksik de buluyorum. Genellikle meteorologlar, klimatologlar ve çevreciler tarafından tartışılan iklimin atmosferin kimyasındaki değişimler sonucu bozulduğu ve buna insanların neden, olduğu biçimdeki görüş ve açıklamalarda, geçmiş jeolojik devirlerdeki iklimleri inceleyen paleoklimatolojik konular hep ihmal edilmektedir. Konunun bütünselliği açısından bu ciddi bir eksikliktir. Çünkü, paleo klimatolojik yöntemler geçmişteki iklim değişimlerini jeoloji, jeofizik, jeomorfoloji, oşinografi, volkanoloji, paleontoloji, jeokimya vb gibi yerbilimleri disiplinleri yardımıyla ile sorgular.. İklim kararsızlıkları günümüze kadar süregelen bir dizi olaydan meydana gelmektedir.

İklimdeki kalıcı ısınma ve soğumalara yol açan atmosferik değişimin nedeni, sadece insan kaynaklı sera gazlarının atmosfere yayılması değildir. Bunun bazı doğal nedenleri de vardır. Çünkü dünyanın oluşumundan, özellikle son 3.5 milyar yıldan beri bu değişiklikler sürekli olmakta ve iklimler değişmektedir., Jeolojik tarihte canlıların topluca yok olmalarına yol açan ekstrem iklim değişiklikleri tarihinde pek çok kez tekrarlanmıştır. Bu olayların büyük bir kısmında insanoğlu yoktur. Çünkü insanlar dünya tarihinin ancak son 3 milyon yılından sonra sahneye çıkmışlardır. Dünyanın ilk dönemlerindeki ilkel atmosfer bileşimi şimdikinden çok farklıdır. Organik çorba

IKLİMLER insan Olmadan da Değişebilir*

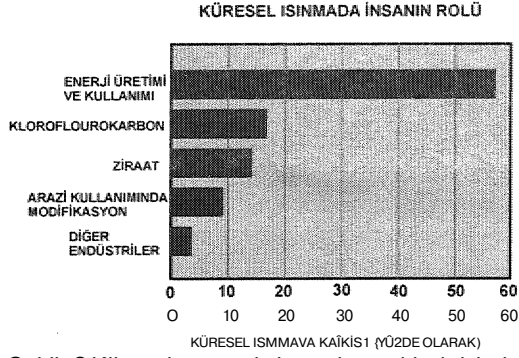
adlı verilen anorganik kanışımından güneş ışınları ve elektriklenme yoluyla türememiş olan ilk canlılar (eobiyontlar), fotosentez yapamayan, ancak fermentasyonla yaşayan ilkeli bitkilerdir. Paleontologlara göre, atmosferde yeterince oksijen bulunmadığı dönemlerde ortaya çıkan ilk basit hayvanlar, ilkel bitkilerin (alglerin) yarattığı bir çeşit "oksijen vahaları" etrafında yaşamışlardır. 4,5 milyar yıldan beri varolan Dünya'da canlı çeşitliliği, ancak atmosfer bileşiminin şimdiki bileşimine yaklaştığı son 600 milyon seneden sonra artmıştır.

Yaşadığımız çağdaki değişimleri de içine alan son dönem iklim değişiklikleri aslında günümüzden 1.650.000 milyon (bazı bilim adamlarına göre 1.8 milyon yıl) önce Kuvaterner'de başlamıştır. Kuvaterner zamanının başı kabul edilen bu tarihten günümüze dek 4 adet büyük küresel

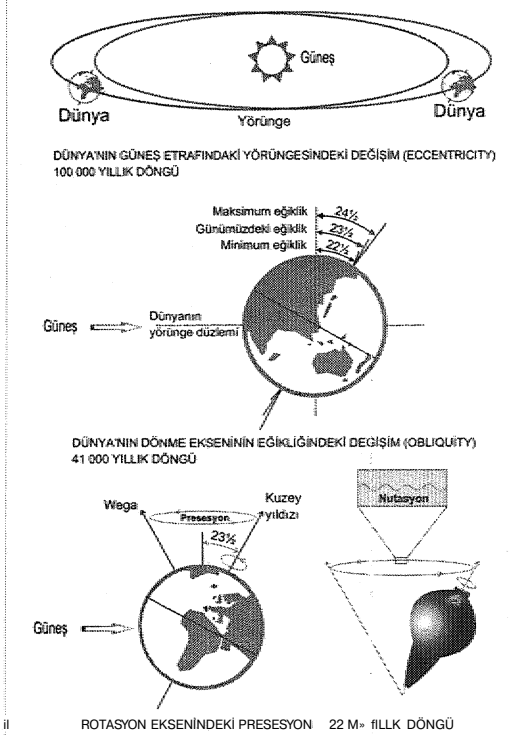


Şekil-1 Güneş ışınları ve küresel ısınmaya yol açan sera etkisi

* Bu yazı 15 Mayıs 2004'de yayınlanan Cumhuriyet Bilim-Teknik Dergisinin 895.. sayısından alınmıştır



Şekil- 2 Küresel ısınmada insan kaynaklı aktivitelerin rolü
buzul (glacial) dönemi ile taunların arasında sıcak iklimler (inter-glacial) yer almıştır 18 000 yıl önce dünyayı kaplayan buzullar şimdikininki 3 katı büyüklüğe ulaşmıştı. Ö dönemde ormanlık alanlar azalmış, çöller artmıştı. Yaşadığımız dönem olan Holosen (fatincede "Holo" bütün, tam; "Cene" ise yeni anlamına gelmektedir) 10 000 yıl önce başlamıştır. Dünyadaki son buzul I fanın erimeye başladığı dönem: Holosenin başlangıcı olarak kabul edilir. 8000 ile 5000 yılları arasında (Alt - Orta Holosen) ise atmosferdeki nem: çok fazladır. Her yer ormanlarla kaplı olup, dünyada hemen hemen hiç çöl bulunmamaktadır. Şimdi ise sıcaklığın arttığı bir dönemde yaşamaktayız. Isınmaya bağlı olarak küresel deniz seviyesi de gitgide yükselmiştir. Son 7000' yıla kadar çok hızlı devam eden deniz seviyesi yükselimi (hatta



Şekil- 3 Kütüresel iklimi değişmesine neden olan dünya ve dünya dışı kökenli faktörler

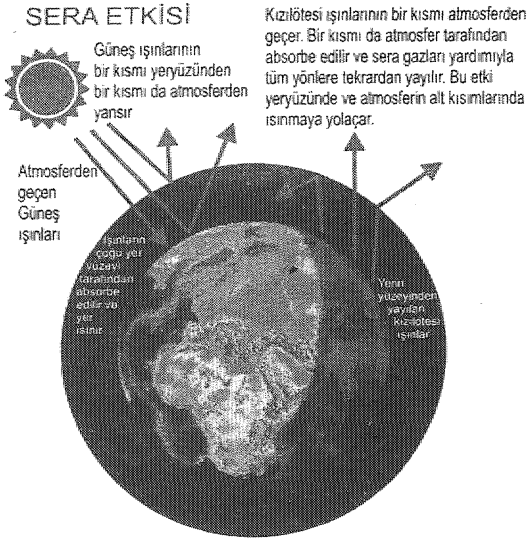
Nuh tufanı bu paroksizmal dönemde olmuştur) günümüzde giderek: yavaşlamıştır. Bu arada uzun buzul dönemleri yanında kısa süreli buzul dönemleri! (örneğin, günümüzden 700 ile 200 yıllan arasında) de yaşanım işti r.

Yukarda açıklanmaya çalışılan doğal nedenli küresel iklim değ isimleri son dönemlerde insanoğlunun yanlış faaliyetleri sonucu hızlanmışır Bunun nedeni ise fosil yakıtların çoğunu tüketen, Dünya nüfusunun % 15'ine sahip olan-gelişmiş ülkelerdir. Endüstrileşmeyle birlikte CO2, CH4, N2O, CFC-11, HCFC-22, CF4 gibi zararlı sera gazlarının atmosfer içinde artması insanoğlunun iklim değişimine neden olduğu tek aktivite değildir. Fotosentez yoluyla atmosfer bileşiminin korunmasına katkı koyan ormanların yok edilmesi Charta réfugia denilen bir önceki jeolojik dönemlerin genetik şifrelerini taşıyan doğal orman örtüierinin kültür ormanlarıyla birlikte yok edilmesi), su kaynaklarının bilinçsizce, yanlış olarak -cömertçe- kullanımı sonucu bu kaynakların tükenmeye yüz tutması (örneğin, Türkiye'nin su kaynakları henüz yetersiz değildir, fakat bu kullanım şekliyle yakın gelecekte pek çok sorunlarla karşılaşabilir), toprakların tuzlanması, çoraklaşması, erozyon, çöllerin genişlemesi, aşırı otlanma, orman yangınları, ormanların ziraat alanlarına dönüşürülmesi, yanlış ziraat teknikleri, su kaynaklarının kirlenmesi, bunlara bağlı olarak biyolojik çeşitliliğin değişmesi, varolan kaynaklara kıyasla dünya nüfusunun hızla artması insan kaynaklı diğer sorunlar arasında sayılabilir

Aslında, küresel iklim değişimlerinin pek çok önemli nedeni vardır Bunların bir kısmı dünya dışı kaynaklı iken diğer bir kısmı da dünyadaki okyanus ve karalarla ilgilidir. Güneş ışınmalarındaki değişimler, dünyanın kendi eksenini ve güneşin etrafında izlediği ekiptik yörüngesindeki periyodik değişimler ile evrendeki toz bulutları, göktaşları en önemli dünya dışı etkenlerdir. Atmosfere yaydığı maddeler nedeniyle volkanik aktiviteler (tozlar, gazlar ve su buharı), küresel hava akımlarının geçiş yollarında bulunan dağ kuşakları, okyanusa! ısı değişimleri, atmosferdeki kimyasal değişimi, atmosferin ve yeryüzünün albedosu ile kıtaların hareketi küresel iklim değişimini etkileyen dünyafonaklı faktörlerdir

İKLİMİ DEĞİŞTİREBİLEN DOĞAL MEKANİZMALAR

Milyonlarca yıldan beri hüküm siren dünya iklim koşulları, Kuvaterner'de yavaş yavaş değişerek soğumaya, başlamıştır. Soğuk dönemlerde, deniz seviyesinde ani bir düşüş yaşanırken,, dağlarda-



Şekil- 4 Son 20 milyon yıldan bu yana dünyanın geçirdiği soğuma, şe ısınma dönemleri

ki orman sınırları daha aşağı seviyelere inerek yeşil alanların yerini almıştır. Buzul kütlelerinin genişlemesiyle birlikte buzul çevresi (peri-glacial) bölgelerde şiddetli, soğuk, tozlu rüzgarlar esmeye başlamıştır. Bu sıralarda, ateşle tanışan! insanoğlu, taşlardan alet yapmasını öğrenmişti ir. Ardından, Holosen döneminde tarımı ve hayvancılığını öğrenmiştir. Yazının bulunmasıyla birlikte ortaya çıkan gelişmelerle birlikte insanoğlu dünyaya egemen olmuştur.

Kuvaterner dönemi ile ilgili araştırmalarda uzun vadeli çevresel eğilimler nedir? ve bunlardan hangi küresel süreçler sorumludur? sorularıyla işe başlamak gerekir. Grönland ve Antarktika gibi devasa buzul bölgelerinin milyonlarca yıl sonra modern boyutlarına ulaştığı Kuvaterner dönemine kadar, Batı Avrupa, İskandinavya ve Kanada bölgelerindeki büyük buz kütlelerinin nasıl yok olduğunu açıklayan tüm hipotezlerin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Yeni karaların ya da okyanusların meydana gelmesine neden olan büyük kıta hareketleri, okyanus akıntılarının dolaşımını ve dolayısıyla ısı transferini yakından etkilediğinden küresel iklim sıcaklığının dengelenmesinde en önemli rolü oynamaktadır. Örneğin, Meksiko körfezinde dolaşan akıntı sistemi, düşük enlemlerdeki sıcak suyun kutuplara doğru taşınmasına yardımcı olarak, yüksek enlemlerdeki bölgesel sıcaklıkların dengelemesine katkıda bulunmaktadır. Aynı bölgede, 3 milyon yıl önce, Panama boğazı açıkken farklı bir dolaşım sistemi egemen olmuştur, Panama boğazının tektonik olarak kapanma-

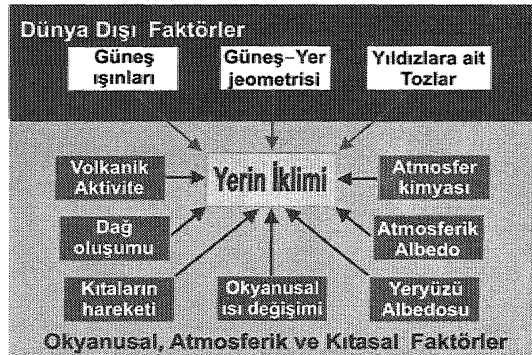
sı sonucu değişen akıntı sistemine başka, örnek olarak Güney Amerika ve Antarktika arasındaki Drake Boğazı ile Avustralya ve Antarktika arasındaki Büyük Güney Okyanusu boğazlarının açılmasını gösterebiliriz. Belli bir zamana kadar ormanlarla kaplı ve buzullar az olduğu Antarktika bu geçitlerinin tektonik olarak açılmasından sonra soğumaya başlamıştır. Panama Kanalı gibi okyanusal giriş yollarının kapanması ya da açılması denizel canlı topluluklarının (biyota) yaşam ortamlarını ciddi bir şekilde etkilemektedir.

Kıtaların hareketi sonucu karaların ekvatorial bölgelerden ziyade kutup alanlarında toplanmaları bile küresel ölçekli büyük buzullaşma döneminin gelişebilmesi için önemli bir etkidir. Böylece, bir bölgede buz birikimi için gerekli olan albedo geri beslemesi sağlanır ve soğuma artışıyla birlikte buz birikimi artabilir.

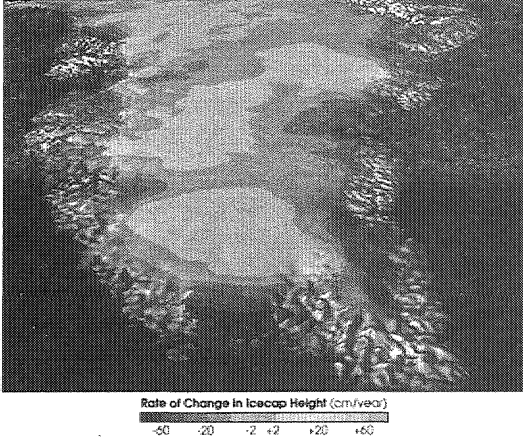
Okyanus ve karaların şekillenmesindeki değişiklikler rüzgar ve okyanus akıntıları da etkileneceğinden de iklimi de değiştirebilir: Çünkü, yeryüzü-atmosfer-okyanus sistemindeki ısı dağılımları da küresel ve bölgesel iklimler için çok önemlidir. Büyük ve yüksek dağ kuşakları, özellikle de meridyensel olarak düzgün sıranmışlarsa, kutuplardan gelen havanın sapsmasına, böylece atmosferik dolaşım sisteminin uzun dalga yapısını değiştirmesine neden olabilir. Bu da, karlanmaya ya da buzulların kalıcı olmasına, yol açabilir.

Gerek kıtaların hareketi ve gerekse buzulların erimesi sonucu deniz alanlarının genişlemesi ve kara alanlarının azalması albedonun düşmesine ve küresel ısınma eğilimlerinin artmasına neden olmaktadır.

Volkanik aktiviteler de atmosfere su buharı, ince partiküller (küller), SO₂, CO₂, NH₄ vb gibi gazlar yaydığından yine küresel iklimi değiştirebilmektedir. Volkanik kökenli tozlar atmosferin



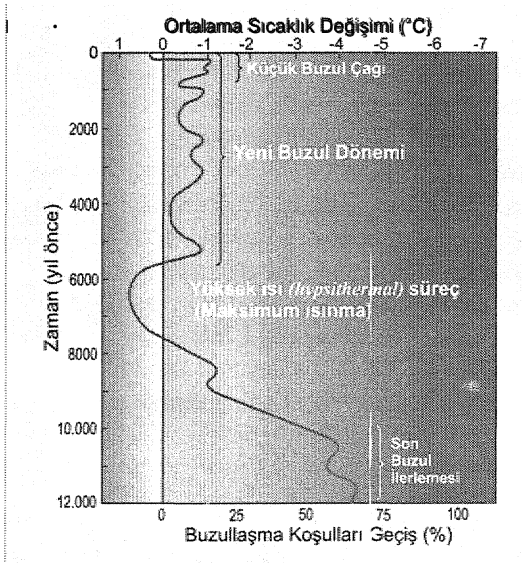
Şekil- 5 Dünyanın yörüngesel parametrelerindeki değişimlerin iklim ile bağlantıyı açıklayan Milankovitch hipotezi



Şekil- 6 İzlanda'da incelmış buzlu şapkanın erime hızı (NASA -mn web sayfasından alınmıştır)

kimyasını değiştirmesi yanında güneş ışınlarının yeryüzüne gelişini engelleyeceğinden albedo geri beslemesiyle ısının, düşmesine yol açabilir:

Kuvaterner dönemdeki çevresel değişkenliğin kanması k bir nedenlerinden biri de buzlu II la mm erimesidir. Karasal buz, tabii ki tuz içeriği olmayan bir buzdur. Kuvaterner'de, buzul çağları gelişirken, okyanuslardaki buharlaşma tatlı suyun azalmasına, ve okyanuslardaki suyun da daha tuzlu hale gelmesine neden olmuştur. Her bir buzlanma döneminin ardından, karasal buzlar eriyerek çok büyük miktardaki tatlı suyun okyanusa karışmasına yol açar. Yoğunluğu deniz suyundan düşük ve tuzsuz olan erime suları, okyanusların üst kısımlarında tabakalanmaya neden olur. Bu da alt tabakalarda oksijenin ve biyolojik üretimin kısıtlanmasına yol açabilir. Daha da önemlisi, eriyen su deniz suyu tuzluluğunun ani olarak düşmesine; kutuplara doğru giden ve orada batan



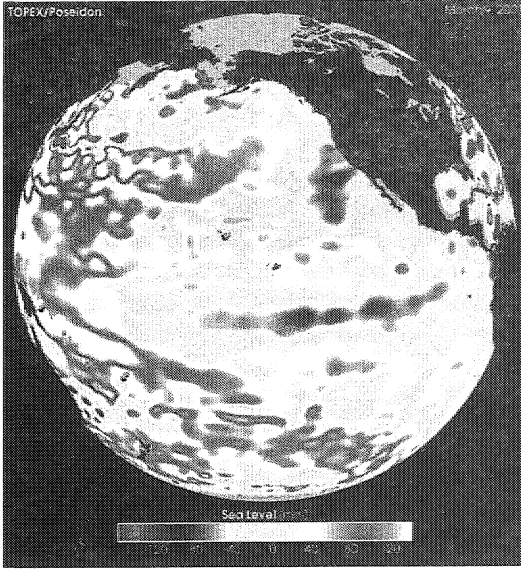
Şekil-7 Yakın dönem buzullaşmadan göstermektedir

yüzey suyunun güçlü akıntılarının zayıflamasına. ve de dipteki su dolaşımının güçlenmesine sebep olmaktadır, Normalde, bu akıntılarda sürekli olarak buharlaşmanın meydana gelmesi sonucu içindeki tuzluluk artmakta, ve su yoğunlaşmaktadır. Bu durumda, yüzeydeki sular çökerek dipte bir akıntının oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek enlemlerde, kıyılara kadar gelip, okyanuslara karışan erimiş sular okyanuslardaki dolaşımın zayıflamasına ve değişmesine yol açar. Bu mekanizma aynı zamanda, yer yüzeyindeki ısının taşınmasına da yardımcı olmaktadır,

Kuvaterner dönemindeki iklim kararsızlıklarında bitkilerin de önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir. Bilindiği gibi bitkiler fotosentez yoluyla atmosferdeki CO₂ ve O₂ dengesine önemli katkı yapmaktadır. Buzul dönemlerinde, ısının düşmesiyle birlikte karalar soğumuş ve genişlemiş; deniz seviyesi isalçafnruştur. Bu yüzden karasal ajanların % 1.5 daha. büyümesi bitkiler için daha geniş bir yaşam ortamı yaratmıştır. Ö dönemlerde, yeryüzündeki büyük değişimlere uğrayan bitki kuşaklarının varolduğu söylenebilir. Buzla kaplı olan geniş alanlar dışında, yeni oluşan geniş kıtasal şelf alanları önemli ölçüde bitki örtüsüyle kaplıdır.. Geniş alanları işgal eden bitki toplulukları (ormanlık ve otluk alanlar gibi) önemli miktarda karbonun depolanmasını da sağlamıştır. Ekvatorial kuşaklarda ve görece! olarak ılık olan düşük enlemlerde, şelf alanlarını kaplayan ormanlar, atmosferden daha fazla CO₂ alınmasına da neden olmuştur. Bu da soğumayı ve biyolojik kütle (biomass) miktarını arttırmıştır.

Bitkilerin başka rolleri de vardır. Buzul dönemlerinin son bulması sonucu denizlerin ilerlemesi (transgresyon) süresince, kıta şelflerindeki bitki toplulukları su ile örtülerek hem karbon depolanmasına, hem de biyolojik üretimi azaltan oksijensiz koşulların oluşmasına neden olmuştur.

Jeolojik geçmişte bitkilerin arttığı dönemler nemli ve karalardaki kimyasal ayrışmaların da hızlandığı dönemlerdir. Bu durum atmosferdeki CO₂ seviyesinin düşmesine ve dolayısıyla da küresel soğumasına yol açabilir. Kuvaterner'deki soğuma hızı, karadaki bitki değişimlerinin etkisiyle de ilişkili olabilir. Bu etkileşim içerisinde hidroloji, albedo gibi diğer faktörlerin devreye girmektedir. Bazı yeşil yapraklılar dışında Boreal ormanları, tamamen karla örtülmeyen, tundra sahaları Kuvaterner soğuma dönemlerinde giderek ormanlarla yer değiştirdiğinden tamamen karlarla kaplanmış ve karın albedosuna kendisini uyarlamıştır. Bu durumda karlar, bahar aylarında bile



Şekil- 8 Isınma n o kyanusa i yüzeyle H gösterir kürese i harita (NASA nm vseb sayfasından alınmıştır)

kalabilir. Bunun sonucunda oluşan pozitif geri besleme soğumayı hızlandırabilir. Bu tip etkilerle bitkiler, Tersiyer döneminde iklimin 1..9°C kadar soğulmasına neden olmuştur.

Kuvaterner'de meydana gelen sıcak ve soğuk fazlar dönemsel olarak, yani yaklaşık 2:1 (kaynaklarda bu değer 19 ile 26 bin arasında değişmektedir), 41 ve 100 bin yıllık periyotlarda düzenli olarak tekrarlanmaktadır. Özellikle Kuvaterner'in son dönemimdeki iklim değişimleri ile yörüngesel parametreler arasında bir çakışmanın olması, son birkaç milyon yılda iklimsel değişimler üzerinde temel kontrolün güneş ısısındaki değişimlerin olduğuna işaret etmektedir (Milankovich hipotezi). Bu mekanizma oldukça karışık ve birçok döngü içermektedir.

Görüldüğü gibi çok küçük değişim mekanizmaları bile önemli iklim değişimleri meydana getirebilmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yaşadığımız dönemi (Holosen), Kuvaterner'in sıcak ya da buzlu arası dönemi olmasına rağmen kutuplarda halen kara buzulları bulunmaktadır, Kuvaterner buzul dönemlerinde, karasal buzulların boyutları çok büyümüştür. Bu büyüme küresel albedonun artmasına neden olmuşsa da hiçbir zaman buzullar karaları tamamen kaplayamamıştır, Kuvaterner'deki iklim değerleri günümüzdeki değerlerden sadece 5-9°C kadar daha soğuk olduğundan iklim değişkenlikleri de sınırlı kalmıştır. Bu nedenle bu döngüyü engelleyen negatif bir geri besleme mekanizması olmalıdır. Örneğin, sıcaklık yükselmesini sınırlayan Dünya'nın kendi

radioaktif soğuması ya da küresel ısınmadaki her bir artı derece için dünya-atmosfer-okyanus sisteminde çok daha fazla ısı tutulmasını gerektiren olasılı bazı mekanizmaların hesaba katılması gerekir. Bu durum, 5°C'den fazla ısınmayı engellemektedir. Negatif geri beslemenin soğumayı sınırlandırması için, buzul çağındaki soğuk okyanuslardan havaya daha az nem bırakmış olması gereklidir. Dolayısıyla karadaki buzul kütleleri nemsiz kalmışlar ve büyüyememiş olabilirler.. Ancak bu durum hakkında kesin bilgiler mevcut değildir.. Dünya tarihinde ekvatora yakın kesimler bile buzullar altında kaldığı dönemler vardır.

Kuvaterner değişkenliğinin bir başka özelliği de, değişimdeki asimetri dir. Buzlanma dönemine geçiş süreci yavaş olurken ısınma dönemi çok daha hızlı gelişmektedir. Buzlanma ve onun ara dönemlerini gösteren eski sıcaklık eğrileri ne baktığımızda onların testere dişi gibi zigzag 11 grafik gösterdiğini görürüz. Bu durum pozitif geri besleme mekanizmaları nedeniyle oluşmaktadır ve bu mekanizma,, çözülme döneminde ortaya çıkmıştır, fakat soğuma, dönemlerinde rol oynamamaktadır.

Görüldüğü gibi insan etkisi olmadan da iklimlerin doğal nedenlerle değişebileceği özellikle Kuvaterner'deki küresel soğuma varlığı verilerle kanıtlanmıştır.. Ancak günümüzde bu iklimsel bozulmanın nedenlerini sonuçlarımızdan ayırmak pek mümkün olmamaktadır. Şüphesiz, bu değişikliklerde yerküredeki tektonik hareketlerin, volkanların, karaların ve denizlerin dağılımlarının, bitki toplulukları nda ki evrimleşmenin de işti rd iği küresel karbon çevriminin de çok önemli etkileri! bulunmaktadır..

Özellikle Kuvaterner'in son dönemimdeki iklim değişimleri ile yörüngesel parametreler arasındaki mükemmel bir uyumun olması, son birkaç milyon yılda iklimsel değişimler üzerinde temel kontrolün güneş ısısındaki değişimlerin olduğuna hemen hemen şüphe bırakmamaktadır. Fakat, yörüngesel karakteristiklerden doğan güneş ısısındaki küçük değişimlerin, küresel buzul ve buzul-arası dönemlere nasıl dönüştüğünün kesin mekanizması halen çözülebilmemiş değildir. Keza,, bu soruyu soğumanın ya da ısınmanın hızını tayin eden ve iklimsel değişimlerin büyüklüğünü sınırlayan mekanizmaların neler olduğu hakkında da sorabiliriz.

NOT : Hacım st m Hamasi nedeniyle bu konuda yararlanılan kaynaklar yazıya ekfenememlsfir.