

MILANKOVITCH DÖNGÜLERİ

Hakan PEHLİVAN *

Hepimizin çok iyi bildiği üzere Dünya'mız Güneş'in etrafındaki elipse yakın şekildeki yörüngesinde 4,5 milyar yıldır dönmektedir. Bu dönme hareketini gerçekleştirirken kendi eksenini etrafındaki dönüşünü de sürdürmektedir. Peki dünyanın 4,5 milyar yıldır bıkmadan usanmadan sürdürdüğü bu dönme hareketlerinde hiçbir değişiklik olmuyor mu? Aslına barksak bu soruya hayır cevabı vermemiz pek mümkün görünmüyor.

Birinci Dünya Savaşı yıllarında Sırp bilim insanı Milutin Milankovitch, yapmış olduğu çalışmalarla Dünya'nın Güneş'in etrafındaki ve kendi eksenini etrafındaki dönüşünün sabit olmadığını ve belli zaman periyotlarında değişiklik gösterdiği iddiasında bulunmuştur.

Milankovitch teorisi, 1. Dünya Savaşındaki gözaltı sürecinde Sırp jeofizikçi ve gök bilimci Milutin Milankovitch'in dünyanın hareketlerindeki değişikliklerin iklim üzerindeki kolektif etkilerini açıklamaya çalıştığı bir kuramıdır. Milankovitch; yerkürenin devinimi, eksen eğikliği ve eksen kaymasındaki değişimlerin yörüngesel baskı ile birlikte yeryüzündeki iklim oluşumlarını belirlemiş olduğunu matematiksel olarak teorize etmiştir.

Dünya eksenini yaklaşık olarak her 26 bin yılda tam bir dairesel devinim (presesyon) gerçekleştirir. Aynı zamanda eliptik yörünge daha düşük hızda döner. Söz konusu iki devinimin toplam etkisiyle mevsimler ve yörünge arasında 21.000 yıllık bir süre oluşumuna neden olmaktadır. Ek olarak, yeryüzünün eksenini ve yörüngesinin düzlemi (eğiklik) arasındaki açı 41 bin yıllık bir döngü boyunca 22,1 ile 24,5 dereceleri arasında gidip gelmektedir. Şu anda 23,44 derecelerinde bulunmakta ve giderek düşmektedir.

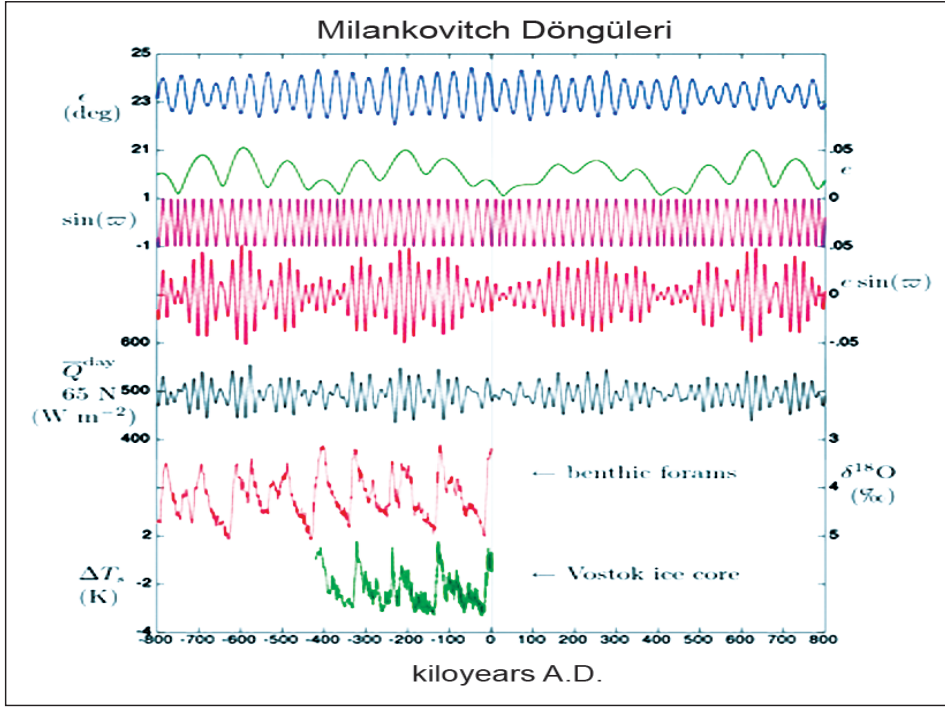
Joseph Adhemar, James Croll ve diğer gök bilimciler tarafından 19. yüzyılda benzer kuramlar öne sürülmüştür. Fakat hangi dönemlerin önem arz ettiği konusunda somut verilerin olmayışı nedeniyle bu kuramlara ilişkin geçerliliğin doğrulanması zor olmuştur.

GEÇMİŞE VE GELECEĞE DAİR DÖNGÜLER

Yarı analitik gezegen teorisi (VSOP olarak kısaltılır), geçmiş ve geleceğe dair yörüngesel parametreler konusunda önemli tahminlerde bulunur. ϵ eksen eğikliğini, e eksen sapmasını, ω günberinin boylamını, ϖ eksen eğikliği ile birlikte güneş ışınımının mevsimsel döngüsünü kontrol eden devinim endeksini ifade eder. Benthicforams ve Vostok buz çekirdeği sırasıyla okyanus tortulundan ve Antarktika buzundan edinilen geçmiş deniz seviyesi ve ısısına ilişkin iki farklı proxy'i gösterir. Dikey gri çizgisi MS 2000 yıllık süre içerisindeki mevcut koşulları ifade eder (Şekil 1).

Dünya kendi eksenini ve güneş etrafındaki dönüşü sırasında, karşılıklı çekimsel etkileşimler nedeniyle bazı yarı dönemsel değişiklikler meydana gelmektedir. Eğrilerin çok miktarda sinüzoidal bileşene sahip olmasına rağmen, bu bileşenlerden çok azı baskın özelliğindedir. Milankovitch, yeryüzü hareketlerindeki eksen eğikliği ve devinimindeki değişiklikleri incelemiştir. Söz konusu hareketteki bu tarz değişiklikler ve yönelimler yeryüzüne ulaşan Güneş ışınımının (radyasyonunun) miktarını ve yerini değiştirmektedir. Bu da Güneş kuvveti (bir ışınımsal baskı örneği) olarak bilinmektedir. Kuzey kutup bölgesinin yakınındaki (yaklaşık 65 °C Kuzey enlemi) değişiklikler çok büyük bir karayı kapsadığından ötürü büyük bir önem teşkil etmektedir. Yüzey ve derinlik sularının karışması ve katı kütlelerin spesifik ısısının sıvılardan genellikle daha düşük olmasından dolayı, buradaki kara kütleleri

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Deniz ve Çevre Araştırmaları Dairesi, Ankara.



Şekil 1- Bentik foraminer ve Vostok buz çekirdeği proxy dataları (Petit, vd., 2001).

daha yüksek bir ısı kapasitesine sahip olan okyanuslara kıyasla ısı değişimine daha hızlı bir şekilde tepki verir.

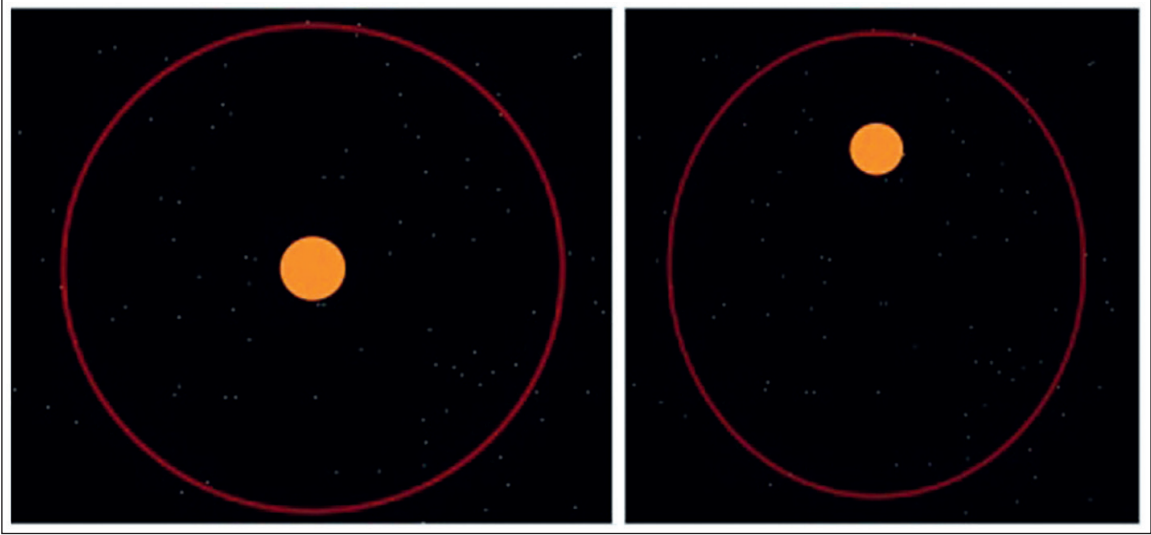
MILANKOVITCH DÖNGÜLERİ

Yörüngesel Şekil (Eğiklik)

Dünyanın yörüngesi elipstir. Eğiklik bu elips şekle ilişkin dairesel sapmanın ölçülmesi ile belirlenir. Yeryüzünün yörünge şekli 0.028'lik eğiklik derecesi ile dairesel (0.005'lik düşük eğiklik derecesi) ve hafif eliptik (0.058'lik yüksek eğiklik derecesi) şekil arasında zamanla değişiklik göstermektedir. Bu değişikliklerin ana bileşeni 413.000 yıllık bir süre içerisinde ortaya çıkar ($\pm 0,012$ 'lik eğiklik değişimi). Diğer bileşenler ise 95.000 ile 125.000 yıl arasında değişiklik göstererek gün yüzüne çıkar (400.000 yıllık ısı dönemi) ve genel hatlarıyla 100.000 yıllık bir döngü içerisinde bir araya gelir (değişiklik $-0,03$ ile $+0,02$ arasında). Şu anki eğiklik $0,017$ 'dir.

Eğer Dünya Güneş etrafında dönen tek gezegen olsaydı, yörünge eğikliğinde bir milyon yılı aşkın bir sürede bile gözle görülür bir şekilde değişiklik yaşanmazdı. Dünya'nın eğikliği birincil olarak Jüpiter ve Satürn gezegenlerinin çekimsel alanları ile olan karşılıklı etkileşimleri nedeniyle değişiklik göstermektedir. Yörünge eğikliği oluştuğu, yörüngesel elipsin x eksenini deforme eder ve göstermemektedir (Şekil 2).

Yörünge mekaniği mevsim sürelerinin bölgelerde yaşanan 4 tip mevsim süresine oranlanmasını istemektedir; çünkü eğiklik çok fazla artış gösterdiğinde, dünyanın yörünge hareketi daha düzensiz olup mevsim süreleri değişiklik gösterir. Sonbahar ve kış mevsimleri güneşe en yakın konumda gerçekleştiğinde, Yerküre maksimum hızda hareket eder ve dolayısıyla sonbahar ve kış mevsimleri ilkbahar ve yaz mevsimlerinden bir miktar daha kısa geçer. Böylelikle kuzey yarımküredeki yaz mevsimi kıştan 4,66 gün, sonbahardan 2,9 gün daha uzun geçer. Bununla birlikte yerkürenin yörünge düzlemi ilkbahar ekinoksuna



Şekil 2- Herhangi bir eksen sapmasının olmadığı ve 0,5 derecelik sapmanın olduğu yörünge (en.wikipedia.org).

dair devinimi nedeniyle dünyanın düzensiz hareketi tarafından etkilenen mevsim sürelerini değiştirmektedir. Yerkürenin apsidederi ekinokslarla aynı eksene geldiğinde, ilkbahar ve yaz süreleri toplamı sonbahar ve kış süreleri toplamı ile eşitlenir. Gün dönmeleri ile aynı eksene geldiklerinde ise ya ilkbahar-yaz ya da sonbahar-kış mevsimleri en uzun dönemlerle yaşanır. Eğiklik derecesindeki artış günötesine yakın olarak harcanan zamanı uzatır, gün berisine yakın olan zamanı ise kısaltır. Eğiklikteki değişiklikler anomal yıl süresini ya da yerkürenin yörüngesi boyunca gerçekleştirdiği ortalama hareketini kendi başlarına değiştiremezler. Çünkü her ikisi de x ekseninin fonksiyonları arasında yer alır.

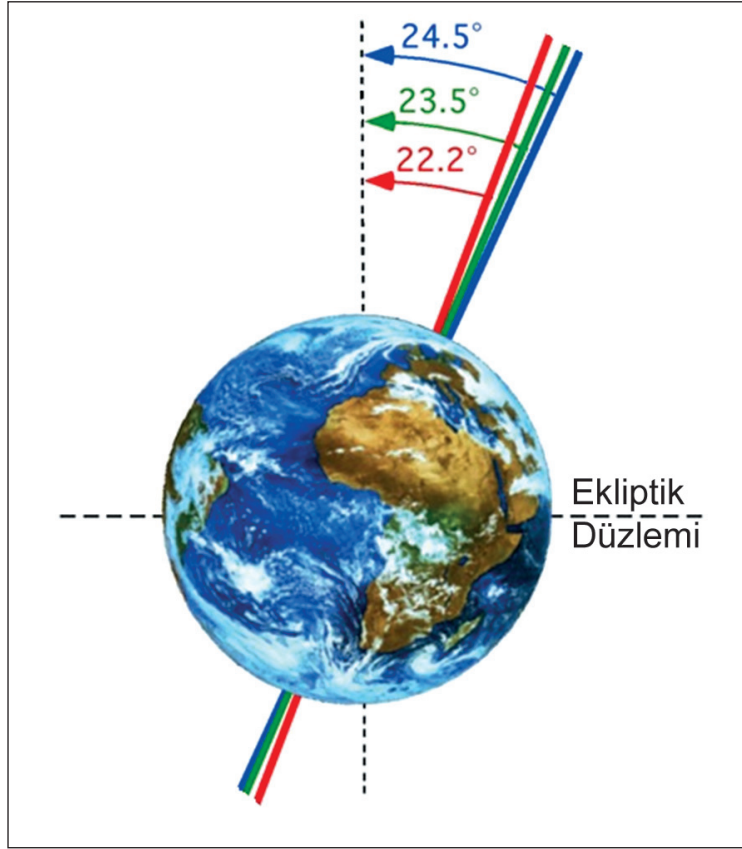
Eksen eğikliği (eğimi)

Yerkürenin eksen eğikliği (eğimi) açısı yörüngesinin düzlemine ilişkin olarak değişiklik gösterir. 2,4°'lik bu küçük eğim değişiklikleri 22,2° ve 24,5°'lik eksen değişiklikleri arasında yer alması için yaklaşık olarak 41.000 yıl periyodik olarak devam etmesi gerekir (Şekil 3). Eğim arttıkça, güneşlenmedeki mevsimsel döngü genliği artar. Bu değişimi her iki yarım kürenin yazın Güneş'ten daha fazla ışınlam

akısı almasına, kışın ise daha az ışınlam akısı almasına neden olur.

Bununla birlikte yaz ve kış mevsimlerindeki ters işaret değişiklikleri yerkürenin her yerinde aynı büyüklükte gerçekleşmemektedir. Yüksek enlem derecesinde ortalama yıllık güneşlenme süresi eğim ile birlikte artış gösterir, enlem derecesi düşük olan yerler ise güneşlenme süresinde bir düşüş yaşar. Serin geçen yazlar ve daha az kar erimeleri buz çağına girileceğinin bir göstergesi olabilir. Gezegenin neredeyse bütün karı ve buzunu yüksek enlemlerde yer aldığından, daha düşük eğim derecesinin iki nedenden dolayı buz çağına geçişi tetiklediği görüşü tartışılmaktadır. Bunlar: toplam yaz güneşlenme süresindeki azalış ve yüksek enlem derecesindeki ortalama güneşlenme süresindeki ek düşüştür.

Daha fazla eksen eğikliği olaylarını incelemek için bilgisayar programlarından faydalanan bilim insanları, yüksek dereceli eğimlerdeki sert iklimlerin özellikle yerkürede mevcut olan ileri yaşam düzeylerini tehdit edeceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca söz konusu yüksek dereceli eğimlerin bir gezegeni tamamıyla verimsiz hale getiremeyeceğini fakat bugünkü hassas ve kolay etkilenebilecek bir



Şekil 3- Yerkürenin 22.1-24.5 dereceleri arasındaki eksen sapması
(Image Copyright: Michael Pidwirny).

özelliğe sahip olan toprağa dayalı yaşamımız için koşulları daha da zorlaştırabileceğini belirtmişlerdir.

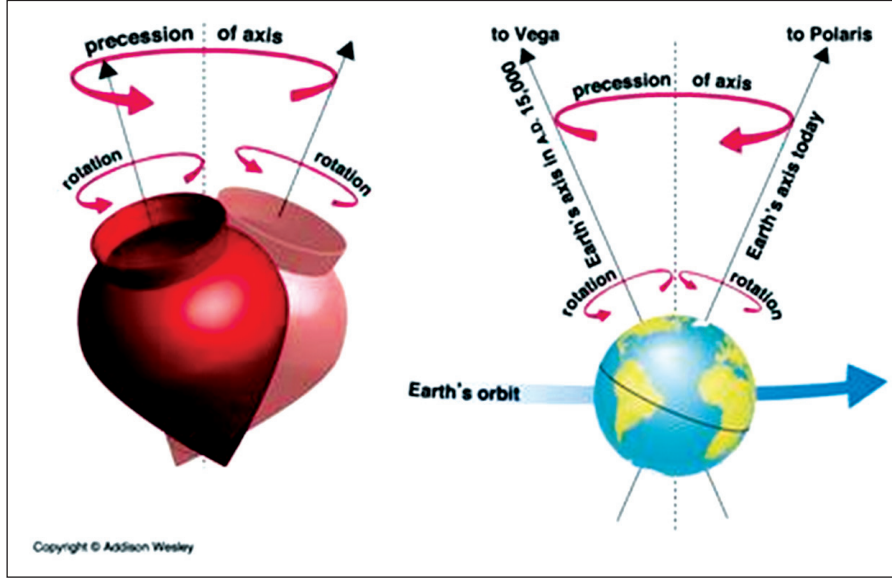
Şu anda yerküre yörüngesel düzleminde 23,44°'lik bir eksen eğikliğinde olup aşağı yukarı en uç değerlerinin ortasında bir değerde yer almaktadır. Bu eğiklik yerkürenin döngüsünde yaşanan düşüş evresi içerisinde yer alır ve yaklaşık olarak MS 11.800'de minimum değerine ulaşacaktır; maksimum değerine ulaştığı en son tarih ise MÖ 8.700'dir. Bu durum kış aylarını daha sıcak ve yazları daha soğuk yaparak genel serinleme eğilimi ile birlikte buz çağına geçişi gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte 20. yüzyıl sıcaklık ölçüm kayıtlarına göre yerküre sıcaklıklarında yaşanan ani artışın ve peşinden gelen buzul erimelerinin sonucunda bilim camiası son zamanlarda

gerçekleşen değişikliklerin nedeni olarak sera gazı salınımlarını öne sürmüştür.

Eksen devinimi

26.000 yıllık durağan yıldızlara ilişkin olarak söz konusu devinim dünyanın eksen hareketi yönünde yer almaktadır. Bu jiroskopik hareket, Güneş ve Ay'ın kutuplardan basık olan yerküre üzerinde uyguladığı gel-git kuvvetleri nedeniyle oluşmaktadır. Güneş ve Ay bu etkiye aşağı yukarı eşit derecede katkıda bulunur (Şekil 4).

Eksen günberisindeki Güneş'e doğru yöneldikçe, iki yarımküreden birisinde mevsimler daha ılık geçerken, diğer yarımkürede yaşanan mevsimler arasında ise daha büyük farklılaşmalar ortaya çıkar. Yaz mevsiminde



Şekil 4- Yerkürenin yalpalanma (devinimsel) hareketi (CopyrightAddisonWesley).

günberisinde yer alan bir yarım küre güneş ışınımında bir artış yaşar. Bununla birlikte kış mevsiminde günötesinde yer alan aynı yarım küre daha soğuk bir kış geçirir. Diğer yarım küre ise nispeten daha sıcak bir kış ve daha serin bir yaz mevsimi geçirecektir.

Yerküre aynı eksene gelip günötesi ve gün berisinin de ekinokslara yakın olarak gerçekleşmesi durumunda, kuzey ve güney yarım kürelerin mevsimlerinde benzer farklılıklar yaşayacaktır.

Şu anda, günberisi güney yarım kürenin yaz mevsimi sırasında gerçekleşirken, günötesi ise kış mevsiminde gerçekleşir. Böylelikle güney yarım kürenin mevsimleri bir ölçüde kuzey yarım kürenin mevsimlerine nazaran daha sert geçer, yalnız diğer faktörler aynı kalır.

Apsidal Devinim

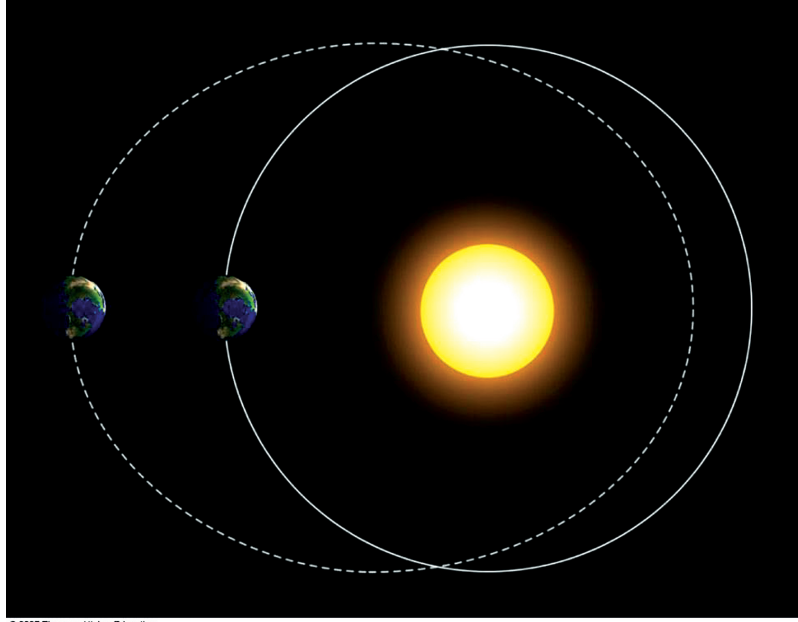
Güneş etrafında hareket eden gezegenler zaman içerisinde yavaş bir şekilde dönen eliptik yörüngeleri takip eder. Bu elipsin eksen sapması şekil üzerinde görselleştirilmiştir. Güneş Sistemindeki pek çok yörünge, kendilerini kısmen daireselleştiren çok daha küçük bir

eksen sapmasına sahiptir (Şekil 5).

Yörünge elipsi, Jüpiter ve Satürn ile karşılıklı etkileşimleri sonucunda kendi başına uzayda devinme hareketi içerisindedir. Ayrıca Güneş'in basıklığı ve Merkür'e dair iyi bilinen Genel İzafiyet gibi unsurlar da burada etkilidir. Toplam yörüngesel devinim, 25.771 ile 21.636 yılları arasındaki günberilerine ilişkin ekinoksların devinim süresini kısaltarak eksen yönünün jiroskopik hareketi mantığı ile aynı doğrultuda işlemektedir. Apsidal devinim ekliptik düzlem içerisinde gerçekleşir ve Ekliptik'e ilişkin yerküre yörüngesinin yönünü değiştirir. Ayrıca eksen sapmasındaki değişiklikler ile birlikte, mevsim sürelerinde de bir değişikliğe yol açar.

GÜNÜMÜZE VE GELECEĞE DAİR SORUNLAR

Daha öncede belirtildiği gibi, şu anda günberisi güney yarım kürenin yaz mevsiminde, gün ötesi ise kış mevsiminde gerçekleşmektedir. Bundan ötürü güney yarım kürenin mevsimleri kuzey yarı küredeki mevsimlere kıyasla daha sert geçmelidir. Şu anki yörüngede yaşanan nispeten düşük eksen sapması, her



© 2007 Thomson Higher Education

Şekil 5- Yerküre yörüngesinin zaman içerisindeki şekil değişimi (2007; Thomson Higher Education).

iki yarım kürede yaşanan yaz mevsimindeki güneş ışımalarının miktarında %6.8'lik bir fark yaratmaktadır.

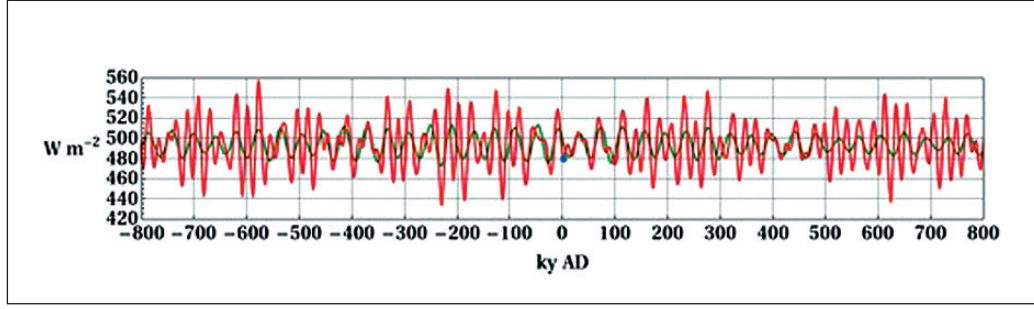
65° Kuzey enlemindeki yaz gün dönümünün yaşandığı bir günde atmosferin en üst kısmında günlük olarak hesaplanan geçmiş ve geleceğe dair ortalama güneş ışınımına göre yeşil kıvrım varsayımsal olarak 0'da belirlenen eksen sapması ile gösterilmektedir. Kırmızı kıvrım ise mevcut (tahmini) eksen sapması değerini kullanır. Mavi nokta ise MS 2000 yıllık süre içerisindeki mevcut koşulları ifade eder (Şekil 6).

Yörüngesel değişiklikler tahmin edilebilir nitelikte olduğundan dolayı, eğer kişi söz konusu değişiklikleri iklimle ilişkilendirebilecek bir modele sahipse, bu modeli gelecekteki iklimi "tahmin etmek" için kullanabilir. Burada dikkat edilmesi gereken iki durum vardır: birincisi, antropojenik etkiler değişebilir ya da yörünge üzerinde kapsamlı etkilere yol açabilir; ikincisi ise yörüngesel kuvvet (baskı) ile birlikte iklimi etkileyen mekanizma iyi bir şekilde çözümlenememiştir.

65° Kuzey enlemindeki kuzey yarım kürede gerçekleşen Güneş ışınımı miktarının bir buz devrinin başlangıcına işaret ettiği düşünülebilir. Astronomik hesaplamalara göre, 65°Kuzey enlemindeki yaz güneşlenme süresi gelecek 25.000 yıl boyunca giderek artış göstermelidir. Eksen eğikliğindeki değişiklikler kuzey yarımkürenin güneşlenme süresindeki değişikliklere hâkimiyet kuracaktır. Gelecek 50.000 yıl içerisinde 65° Kuzey enlemindeki yaz güneşlenme süresinde buzullaşma dönemine yol açabilecek herhangi bir düşüş beklenmemektedir.

Imbrie 1980'deki araştırmasında, her 19.000 yılda bir gerçekleşecek döngüden daha yüksek frekanslarda harekete geçen antropojenik etkileri ve diğer olası unsurları bir kenara bırakan modelinde, 6 bin yıl öncesinde başlamış olan uzun vadeli soğuma eğiliminin gelecek 23.000 yıl boyunca devam edeceğini ileri sürmektedir.

Berger ve Loutre tarafından yapılan son çalışmaya göre ise şu anki sıcak iklim 50.000 yıl daha devam edebilir.



Şekil 6- 65 derece kuzey enlemlerinde güneş ışınımı değişimi (tr.wikipedia.org).

Bu üç faktörün tesadüfen birleşimi yarım-küreler arasında düzensiz aralıklarla sıcaklık değişimlerine neden olur. Milankovitch döngüleri olarak bilinen bu astronomik olaylar dünyamız iklimindeki dış kaynaklı değişimlerin ana nedenlerini oluştururlar (Hays vd., 1976, Imbrie ve Imbrie 1979, Imbrie vd., 1984). İçinde bulunduğumuz dönem, yaklaşık bin yıl önce başlamış olan ve kuzey yarım kürede tekrardan ısının arttığı dönemdir. Isınmanın doğal olarak gittikçe arttığı bir dönemde bulunuyoruz. Bir de yapay olarak bu ısınmayı hızlandıran yaşam biçimimizi değiştirmesek, herhalde kısa süre içinde büyük doğal afetlerle karşılaşmamız kaçınılmaz olacaktır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17790893>

<http://etd.ohiolink.edu/sendpdf.cgi/Girkin,%20Amy%20Negich.pdf?miami1133292203>

<http://www.clim-past-discuss.net/2/519/2006/cpd-2-519-2006.pdf>

http://www.fys.uio.no/kjerne/task26/handbook/chapters/chapter_3.pdf. Data from United States Naval Observatory

<http://physics.bd.psu.edu/faculty/williams/3DEarthClimate/ija2003.pdf>

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2009Sci...325.1236K>

http://en.wikipedia.org/wiki/Gordon_J._F._MacDonald

<http://muller.lbl.gov/papers/nature.html>

<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/milankovitch.html>

<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.quascirev.2004.02.014>

<http://web.archive.org/web/20110720092801/>

<http://www.geolab.unc.edu/faculty/rial/GPCRial2.pdf>

<http://dx.doi.org/10.1016%2F0167-2789%2894%2990131-7>

<http://dx.doi.org/10.1029%2F1999PA000461>

<http://www.scencemag.org/cgi/pmidlookup?view=long&pmid=11303100>. Imbrie and Imbrie; IceAges, solvingthemystery, p 158

<http://astrobiology.ucla.edu/OTHER/SSO/SolarSysInt.pdf>

<http://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.207.4434.943>

Petit, J.R., et al., 2001, VostokIceCore Data for 42)

Data from United States Naval Observatory