

**Mart 2007**  
**Ahmet Yalçın**

## **KÜTLESEL ÇEKİM ALAN HIZI NASIL ÖLÇÜLÜR**

### **Tarihçe:**

Newton'un evrensel çekim yasasına göre, uzayda iki maddesel parçacık birbirlerini, kütlelerinin çarpımıyla orantılı aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak çekerler. Bu yasa aşağıdaki matematiksel bağıntıyla ifade edilir:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \text{ burada:}$$

*F* iki kütleli birbirlerini çekme kuvveti,  
*G* evrensel çekim katsayısı,  
*m*<sub>1</sub> birinci maddesel parçacığın kütlesi,  
*m*<sub>2</sub> ikinci maddesel parçacığın kütlesi,  
*r* maddesel parçacıklar arasındaki mesafe.

Bu kuvvet, dünya üzerindeki her şeyin yere düşmesinin veya dünyamız ve diğer gezegenlerin güneş etrafında dönmesinin, daha genel olarak evrende görülen düzenin ve hareketlerin nedenidir.

Newton, bu kuvvetin yayılma hızının sonsuz olduğunu farz etmiştir. Bu, herhangi bir maddesel parçacığın kütle veya konumundaki bir değişimin diğer maddesel parçacık üzerine uyguladığı kuvvete anında yansması anlamına gelir.

Diğer yandan Einstein'ın Görecelik Kuramı, evrende hiç bir şeyin hatta kütleli çekim alan kuvvetinin bile ışıktan daha hızlı olamayacağını öngörür. Deneysel olarak henüz doğrulanmamış olsa da, modern quantum alan teorisine göre, kütleli çekim alanı graviton denen kütleli elemanter zerrecikler tarafından oluşturulur, tıpkı ışığın kütleli fotonlardan oluşması gibi. Graviton zerreciklerinin hızı da ışık hızından (foton hızından) daha fazla olamaz.

Bununla beraber, kütleli çekim alan hızı konusunda bilim adamları arasında bir görüş birliği yoktur. Çünkü yörüngesel hareketlerin kaynağı olan kütleli çekim kuvvetine bir gecikme parametresi eklenirse yörüngeler kararlı olmamaktadır. Bu nedenle soruna deneysel bir çözüm bulmak bilimsel açıdan son derece önemlidir.

Kütleli çekim kuvveti evrende var olan dört temel kuvvetten en zayıf olanıdır. Ve bu nedenle bunun yayılma hızının ölçülmesi doğrudan ölçme yöntemleriyle günümüz teknolojisiyle olanaklı değildir. Kütleli çekim alan hızını ölçmek için bu güne değin sadece tek bir girişim olmuştur. 2002 yılında Missouri-Columbia Üniversitesi'nden Sergei Kopeikin ve arkadaşları tarafından yapılan bu ölçüm sonucu Einstein'ın öngörüsünün doğrulandığı belirtilmektedir.

Sergei Kopeikin Amerikan Ulusal Bilim Vakfı'nın Amerikan Kıtası'nı boydan boya kaplayan radyo-teleskop dizinini kullanmıştır. Bu ölçüm düzeneği ile 8 Eylül 2002'de parlak J0842+1835 kuasar'ı Jüpiter'in önünden geçerken ölçümler yapılmıştır. Burada, kuasar'dan gelen radyo dalgalarının Jüpiter'in kütle çekim alanı etkisiyle oluşan çok hafif bükülmeleri kaydedilmiştir. Buradan hareketle kuasar'ın görünen konumunun gerçek konumdan çok hafif farklı olduğu hesap edilmiştir.

Ölçüm sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek kütle çekim alanı hızının %20 doğrulukla ışık hızına eşit olduğu hesap edilmiştir.

Fakat bu ölçüm de bilim çevrelerini tatmin etmemiş ve konu ile ilgili tartışmaları bitirmemiştir. Çünkü:

1. Kopeikin'in uyguladığı yöntem tekrarlanabilir bir yöntem değildir. Benzer bir ölçümün tekrarlanabilmesi için bir başka on yıl beklemek gerekmektedir.
2. Ölçüm yöntemi karmaşık ve hata kaynaklarına sahiptir. Ancak %20'lik bir doğrulukla ışık hızına eşit olduğu belirtilebilmektedir.
3. Bazı bilim adamları kullanılan yöntemin doğruluğu konusunda şüphe içindedirler.

Kütle çekim alanının doğrudan ölçülebilmesi pek çok tartışmaya son verecektir. Özellikle sonsuz hızda veya ışık hızının iki katı gibi bir hızda bulunması hem modern quantum alan teorisinde ve hem de astrofizikte yeni radikal değerlendirmelere ve düzenlemelere yol açacaktır. Bu satırların yazarı bunu söylerken kütle çekim alan hızının ışık hızından daha fazla olduğunu savlamamaktadır. Sadece kolay ve anlaşılır bir yöntemle laboratuvar ortamında ölçülebilir olduğunu belirtmektedir. Bunun için gerekli olan tek şey gerçek zamanda yüksek duyarlılıkta yerçekimi ivmesini ölçebilecek bir aygıttır. Böylesine bir aygıtın gerçekleştirilebilirliği de bu web sitesinde duyurusu yapılan teknoloji ile olanaklıdır.

### **Kütle çekim alan hızı nasıl ölçülür?**

Konuya başlamadan önce şunu belirtmekte yarar var: Kütle çekim alanını incelemek için bu alan içindeki ve alanla etkileşen bir objeyi kullanmanın oldukça mantıklı görüldüğünü belirtmek gerekiyor. Bu, elektriksel ya da manyetik bir alan içinde bulunan bir elektronun, elektrik yüklü bir parçacığın davranışını incelemeye benzer. Örneğimizde kütle çekim alanı yaratan kaynak Güneş ve bir ölçüde Ay ve üzerinde ölçüm yapılan obje ise Dünyamızdır.

Ölçüm yapabilmek için elimizde yerçekimi ivmesini gerçek zamanda ve yeteri kadar duyarlı ölçebilen bir aygıtımızın olduğunu varsayıyoruz. Burada **gerçek zaman**, ivmedeki değişimleri anında izleme anlamında kullanılmıştır.

Dünya üzerindeki herhangi bir maddesel tanecik, Dünya, Güneş, Ay, gezegenler ve hatta yıldızlar tarafından yaratılan kütle çekim alanı etkisi altındadır. Maddesel taneciğin davranışı, bu kütle çekim alanlarının oluşturduğu bileşke alan kuvvetiyle belirlenir. Bu bileşke alan kuvvetinin genliğinin ölçüsü, bu kuvvetin maddesel taneciğe kazandırdığı ivmenin büyüklüğüdür. Bu büyüklük her bir kütle çekim alan kaynağı için, Newton'un ikinci yasası yardımıyla bulunabilir. Formül aşağıdaki gibidir:

$$g_i = G \frac{m_i}{r_i^2}, \text{ burada:}$$

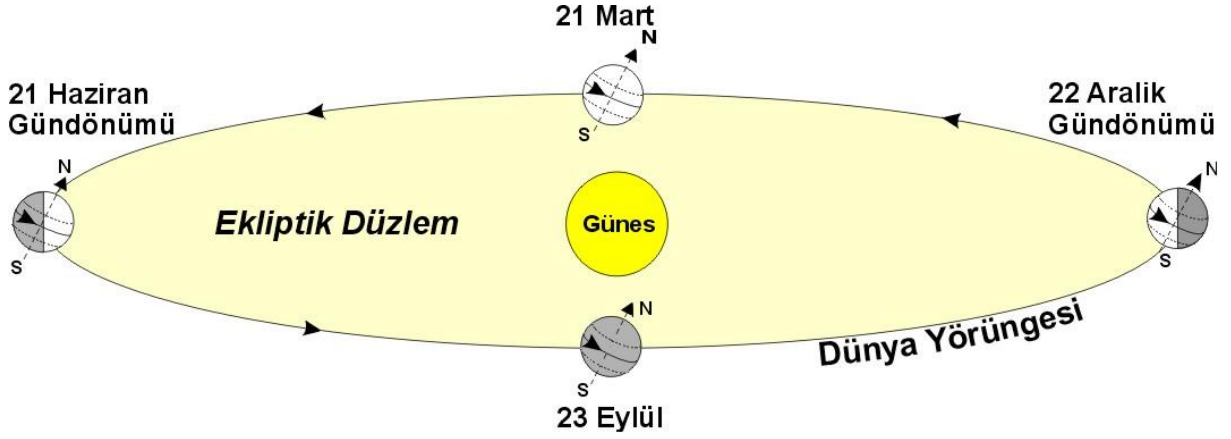
$g_i$  ,  $m_i$  kütle çekim alanı maddesel taneciğe kazandırdığı ivmenin genliği,  
 $G$  , evrensel çekim katsayısı,

$m_i$ , kütle çekim alan kaynağının kütlesi,  
 $r_i$ ,  $m_i$  kütle çekim alan kaynağı ile maddesel tanecik arasındaki uzaklıktır.

Buradaki ivmenin yönü ise maddesel tanecikten çekim alanı kaynağına doğrudur.

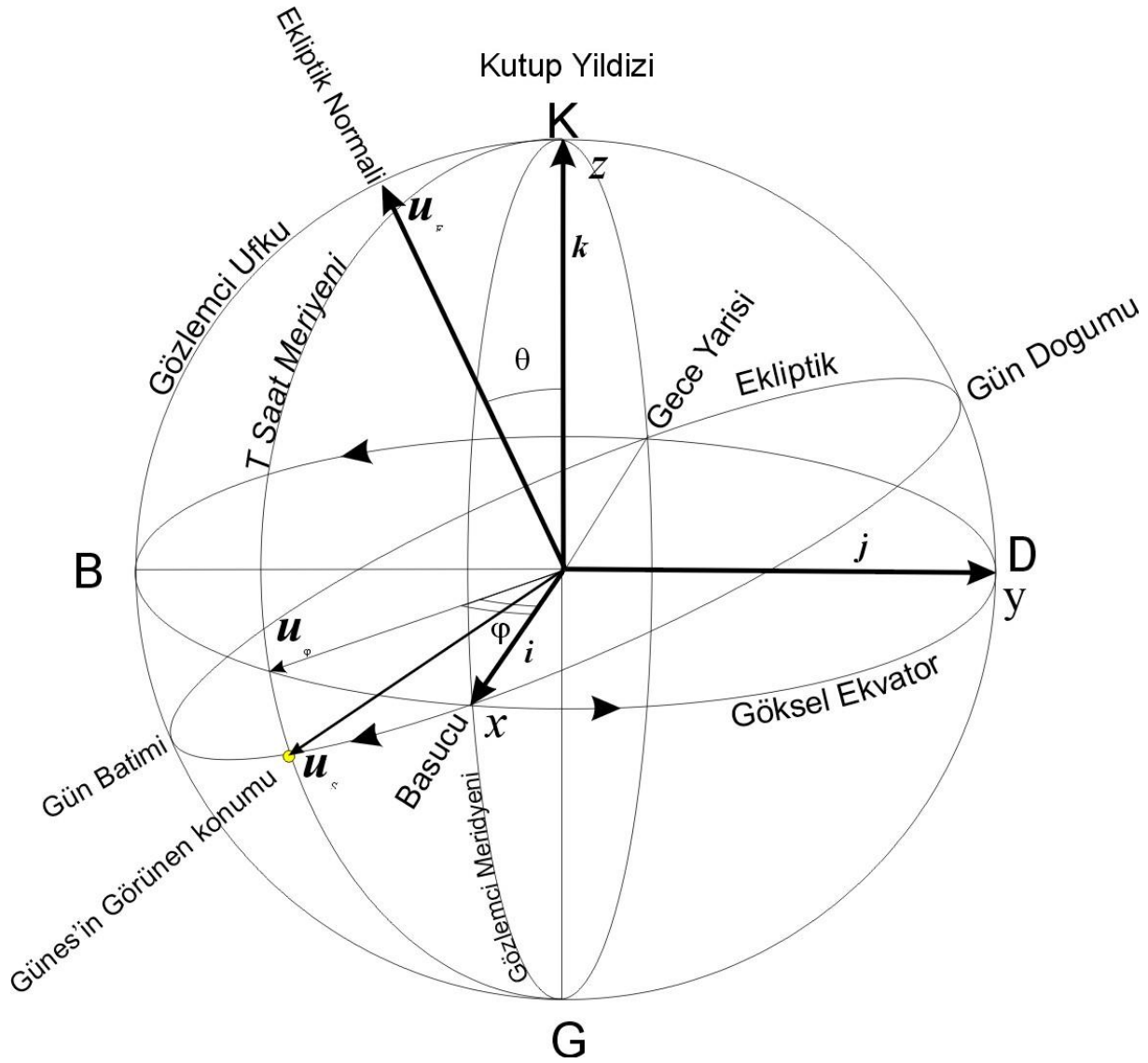
Formülü kullanarak Dünya'mızın neden olduğu ivme  $g_e$  ( $G= 6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ,  $m_e=5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,  $r_e= 6378,137 \text{ km}$ ) :  $9,80922 \text{ m s}^{-2}$  ya da  $980,922 \text{ cm s}^{-2}$  olarak bulunur. Dünya'nın basıncı nedeniyle bu değer ekvatorunda biraz düşük kutuplarda ise daha fazladır.

Benzer şekilde Dünya üzerinde, ölçüm noktasındaki Güneş ve Ay'ın oluşturduğu kütle çekim ivmeleri de hesaplanabilir. Bu ivmelerin genliği her yerde yaklaşık aynıdır ancak; yönleri Güneş ve Ay'ın konumları nedeniyle farklıdır. Bu hesapları yapmadan önce, Ay ve Dünya'nın Güneş çevresindeki hareketlerini hatırlamakta yarar var. Dünya'nın Güneş çevresindeki hareketi için Şekil 1'den yararlanacağız.



Şekil 1

Dünya'nın kuzey kutup noktasında durduğumuzda Dünya'mızın saat dönüş yönünün tersine 24 saatte bir dönüş yaptığını biliyoruz. Dünya'mız Güneş'in çevresinde de, yaklaşık dairesel bir yörüngede gene aynı yöne 365 günde bir tur atar. Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesi ekliptik olarak adlandırdığımız düzlemi oluşturur. Yörüngesel kuzeyi işaret eden ekliptik düzlem normali ile (ekliptik düzleme dik birim vektör) dünyanın dönüş eksenleri arasında  $23.5^\circ$  lik bir açı vardır. Bu, ekliptik düzlemle Dünya'nın ekvator düzlemi arasında  $23.5^\circ$  açı var demekle eş anlamlıdır. Bu eğimden dolayı **ekinokslarda** (yılın gece ve gündüzlerinin eşit olduğu dönemler) ekvatorunda tam öğlen vakti Güneş tam dik konumda (**başucu noktası-zenith**) bulunacaktır. Gene aynı nedenle yaz ve kış gündönümlerinde **yengeç** ve **oğlak dönencelerinde** benzer durum olacaktır.



Şekil 2

Şekil 2, ekinoks döneminde ekvatordaki bir gözlemci için durumu şematik olarak göstermektedir. Şeklin merkezi gözlem noktasını ifade etmektedir. Dünya kendi eksenini çevresinde dönerken gözlemcinin başucu noktası **göksel ekvator** düzlemini tarar. Şekilde biz gözlemcinin bulunduğu yatay düzlemini sabit olarak değerlendireceğiz. Bu nedenle gözlemcinin başucu noktası sabit kalacak, ancak Güneş'in görünen konumu gözlemciye göre doğudan batıya doğru yer değiştirecektir. Güneş tam öğlen vakti gözlemcinin başucu noktasında bulunacak ve  $T$  saat sonra, Güneş'in görünen konumu Şekilde gösterilen noktada bulunacaktır. Burada  $\phi=(2\pi/24)T'$  dir.

Koordinat sistemi olarak başucu doğrultusunu  $x$  eksenini, doğu ve kuzey yönlerini de  $y$  ve  $z$  eksenleri olarak seçersek, Güneş'in görünen konumunu kolayca hesap edebiliriz. Gerekli birim vektörler şekilde gösterilmiştir. Ekliptik düzlem normal birim vektörü  $u_E$  ise:

$$u_E = -\sin\theta \cdot j + \cos\theta \cdot k ; \text{ burada } \theta=23.5^\circ \text{ dir.}$$

Göksel ekvatorla  $T$  saat sonrasını belirleyen göksel meridyenin kesim doğrultusunu belirleyen birim vektör  $\mathbf{u}_\varphi$  ise:

$$\mathbf{u}_\varphi = \cos\varphi \cdot \mathbf{i} - \sin\varphi \cdot \mathbf{j}$$

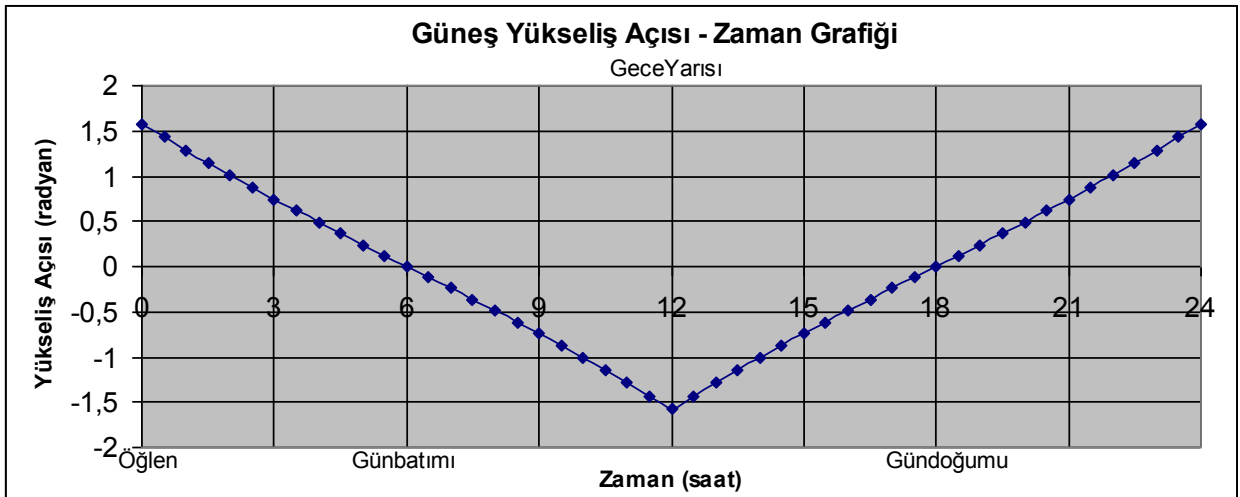
$T$  saat sonrasını belirleyen göksel meridyen düzleminin normali  $\mathbf{N}_\varphi$  ise:

$$\mathbf{N}_\varphi = \mathbf{k} \times \mathbf{u}_\varphi = \sin\varphi \cdot \mathbf{i} + \cos\varphi \cdot \mathbf{j}$$

Son olarak  $\mathbf{u}_s$  Güneş'in görünen konumunu belirleyen birim vektöre:

$$\mathbf{u}_s = \frac{\mathbf{N}_\varphi \times \mathbf{u}_E}{|\mathbf{N}_\varphi \times \mathbf{u}_E|} \text{ or:}$$

$$\mathbf{u}_s = \frac{\cos\varphi \cdot \cos\theta \cdot \mathbf{i} - \sin\varphi \cdot \cos\theta \cdot \mathbf{j} - \sin\varphi \cdot \sin\theta \cdot \mathbf{k}}{\sqrt{\cos^2\theta + \sin^2\theta \cdot \sin^2\varphi}}$$



Şekil 3

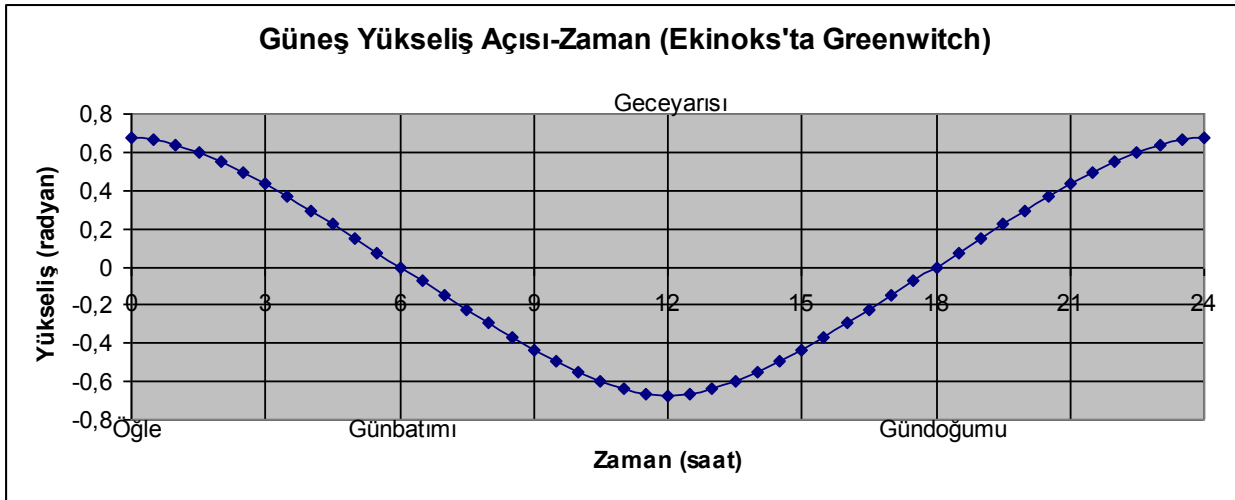
Yukarıdaki eşitlikten Güneş'in gözlemciye göre yükseliş açısı  $\alpha$  aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\cos\varphi \cdot \cos\theta}{\sqrt{\cos^2\theta + \sin^2\theta \cdot \sin^2\varphi}}\right)$$

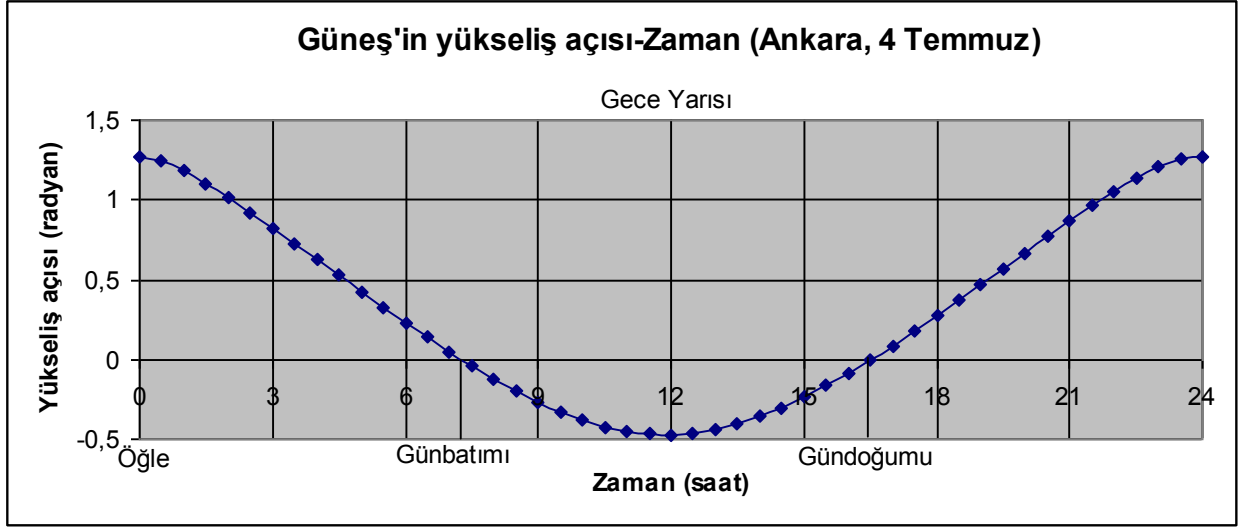
Şekil 3 ekvatorda ekinoks döneminde bir gün boyunca Güneş'in yükseliş açısının zamanla değişimini göstermektedir. Yükseliş açısı üçgen dalgaya yakın bir değişim gösteriyor. Güneş burada neredeyse eşit zamanlarda eşit açılar taramaktadır. Güneş gözlemci meridyenini geçerken hafif bükülme gözlenmektedir. Bunun nedeni ekliptik düzlemlerle, göksel ekvator arasındaki 23.5 derecelik açıdır. Bu açı daha fazla olsaydı bükülme daha artardı. Açı sıfır olsaydı bükülme olmayacaktı ve grafik tam bir üçgen dalga olacaktı. Bu grafik, gerçek durumda Güneş'in yükseliş açılarını zamana göre tam bir doğrulukla belirtmez. Burada Dünya kendi ekseninde

dönerken, Güneşe göre sabit bir noktada kaldığını farzettik. Oysa aynı zamanda Güneş çevresinde da tur atmaktadır. **Dahası, bu grafik Güneş'in gerçek konumunu da göstermemektedir. Çünkü Güneş gerçek olarak görünen konumundan 8.3 dakika daha ilerdedir. Bu fark kuşkusuz Güneş ışınlarının Dünya'ya ulaşmak için bu kadar süre geçmesi gerektiği içindir. Bu da şu anlama gelmektedir: Eğer Güneş'in kütle çekim alan hızı sonsuz olursa, bunun Dünya üzerindeki etkisi güneşin görünen konumundan 8.3 dakika daha erken hissedilmesi gerekir.**

Ölçüm için ekinoks zamanında ekvatordaki bir nokta seçilmiştir. Ekvatordaki diğer noktalar için de saat farkıyla aynı şeyler geçerlidir. Benzer durumlar gün dönümlerinde yengeç ve oğlak dönencelerinde oluşacaktır. Ölçümler dünya üzerinde herhangi bir yerde ve herhangi bir zamanda yapılabilir. Ancak Güneş'in bir günlük döngüdeki yükseliş açıları arasındaki fark ne kadar fazla ise, yer çekimi üzerindeki etkisi de o ölçüde ölçülebilir olacaktır. Bu nedenle dönenceler arası bölge Güneş'in öğlen saatinde tam dik baktığı noktalar ölçüm için en uygun noktalardır. Kutuplara yaklaştıkça ideal ölçüm noktalarından da uzaklaşıyoruz demektir. Güneş'in yükseklik açıları, benzer şekilde, Dünya üzerinde herhangi bir enlemden gözlemcinin başucu birim vektörünü yazarak bulabiliriz. Örneğin Greenwich Gözlemevi'nde ekinoksta Güneş'in günlük yükseliş açıları Şekil 4'teki gibi olacaktır. Aslında Güneş'in koordinatlarını (görünen konumunu) bulmak için böylesine hesaplamalara da gerek yoktur. Dünya üzerindeki herhangi bir noktada ve yılın herhangi bir zamanında Güneş'in, Ay'ın ya da herhangi başka bir yıldızın yükseliş açılarını ve yönünü çok hassas olarak hesap eden pek çok program bulunmaktadır. Şekil 5, 4 Temmuz günü Ankara'daki Güneş'in yükseliş açılarını göstermektedir.



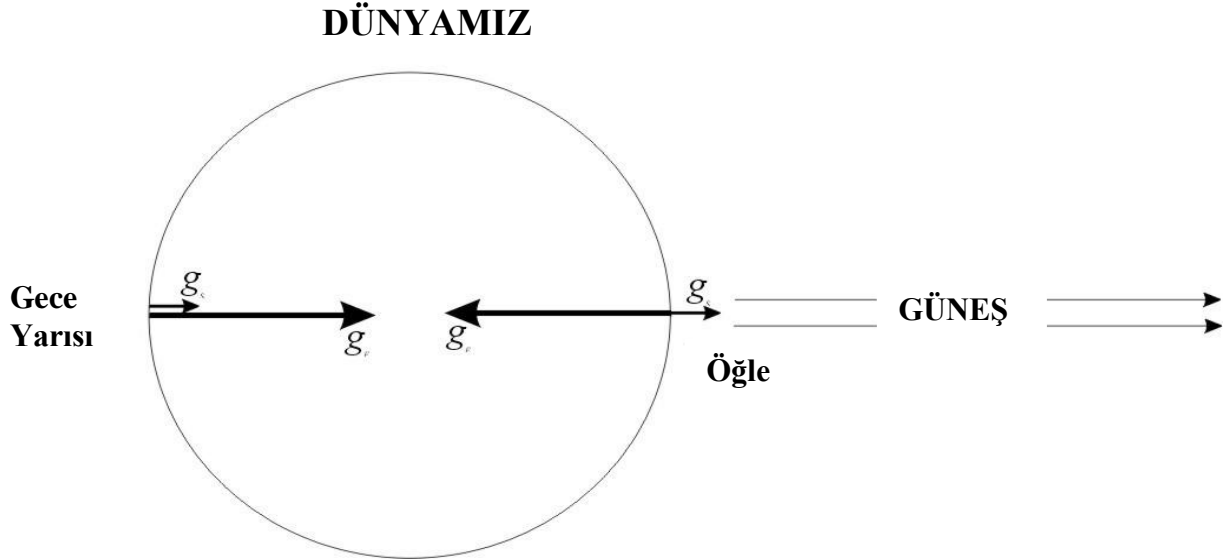
Şekil 4



Şekil 5

Görüldüğü gibi kuzeye çıktıkça Güneş'in yükseliş açılarının en fazlası ve azı arasındaki fark azalmaktadır. Bu da kuzeye çıktıkça Güneş'in yerçekimi ivmesi üzerindeki ölçülebilir etkisinin azaldığını söyleyebiliriz.

Bu noktadan sonra Güneş'in öğlede Dünya yüzeyine dik baktığı bir ölçüm noktasındaki kütleçekim kuvvetini hesaplayabiliriz.



Şekil 6a

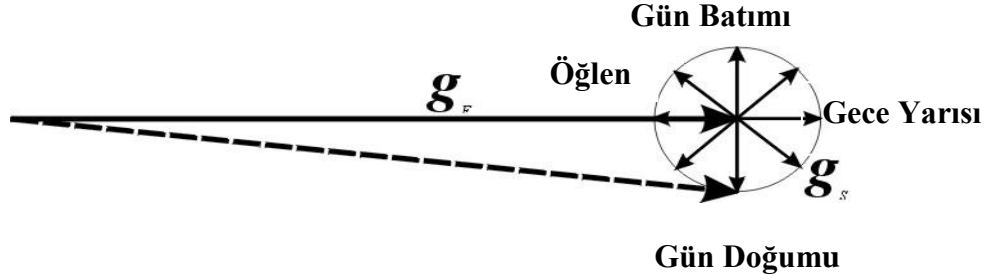
Dünya üzerinde Dünya'mızın kütesinden kaynaklanan yerçekimi ivmesinin yaklaşık 980 cm/sec<sup>2</sup> olduğunu biliyoruz. Dünya kendi ekseninde döndükçe Güneş ve Ay'ın etkileriyle bu ivmede oynamalar olacaktır. Dünya ile Güneş arasındaki uzaklık ortalama olarak 149.597.890 km.dir. Gündüz öğlen vakti ile gece yarısı bu uzaklık Dünya'nın çapı kadar değişecektir. Güneş'in ağırlığı 1.989 x 10<sup>30</sup> kg olduğundan, gündüz öğlen ve gece yarısı ölçüm noktasında

Güneş'ten kaynaklanan kütle çekim ivmesi sıra ile  $5,9312 \text{ cm/sec}^2$  ve  $5,93 \text{ cm/sec}^2$  dir. Aradaki fark oldukça küçüktür yani; Güneş Dünya'daki her noktayı hemen hemen aynı kuvvetle kendine çekiyor diyebiliriz.

Yerçekimi ivmesini etkileyen diğer en etkin gök cismi Ay'dır. Ay Dünya çevresinde dönerken oluşturduğu yörünge düzlemi, ekliptik düzlemle 5 derecelik bir açı yapar. Dünya dönerken Ay'ın görünen konumu Güneş'le aynı fazda olmadığından, burada gece ve gündüz yerine Dünya'ya en yakın ve en uzak noktalarından söz edeceğiz.

Ay'ın dünyadan ortalama uzaklığı 384.400 km ve Ay'ın ağırlığı  $4,3483 \times 10^{22}$  kg olduğundan, ölçüm noktasında en yakın ve en uzak noktalarda ay'dan kaynaklanan kütle çekim ivmesi sıra ile 0,0343 ve 0,0321  $\text{cm/sec}^2$  dir.

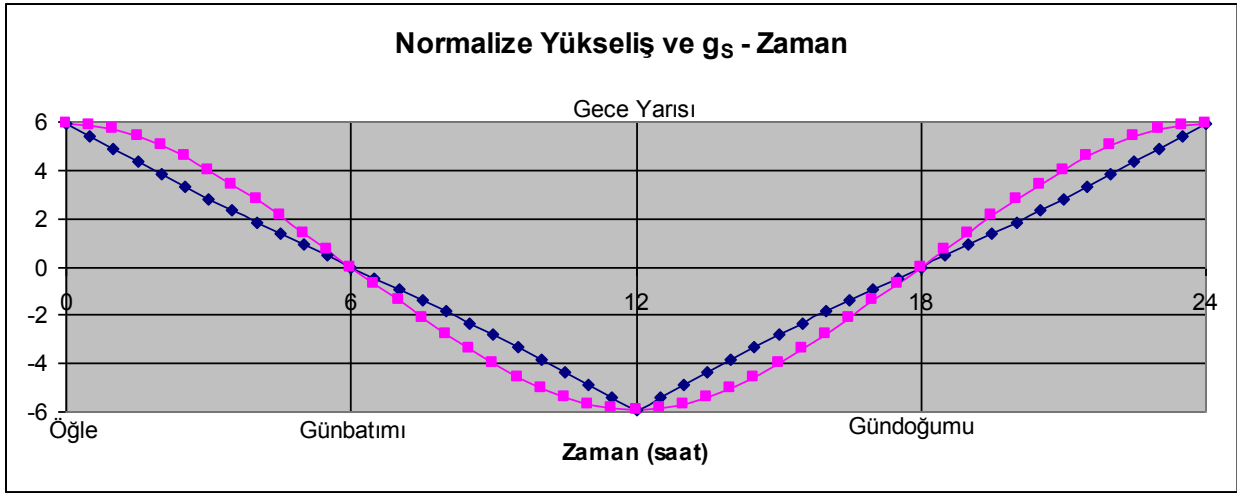
Görüldüğü gibi Güneş'in yerçekimi ivmesine etkisi Ay'ın etkisine göre yaklaşık 175 kez daha fazladır. Ancak Ay, Dünya'nın en yakın ve en uzak noktalarındaki çekim gücü farkı Güneş'e göre daha fazladır. Bu nedenle gel-git olaylarında Ay'ın etkisi Güneş'ten daha fazladır. Ay'ın yerçekimi ivmesi üzerindeki etkisi Güneş'e oranla çok küçük olduğundan hesaplarımızda Ay'ın etkisini gözardı edeceğiz.



Şekil 6b

Şekil 6a'da öğlen saati ve gece yarısında, yer ve Güneş kaynaklı kütle çekim alanı ivme bileşenleri görülmektedir. Burada  $g_E$  dünyamızdan kaynaklanan ivme bileşeni olup ölçüm süresince genliği ve yönü sabit olup yerin merkezine doğrudur. Dünya dönerken Güneş'ten kaynaklanan ivme  $g_S$  Şekil 6b'de görüldüğü gibi yaklaşık sabit bir genlikle 360 derecelik tur atar. Bu şekillerde Güneş'ten kaynaklanan kütle çekimi ivme genliği oldukça abartılmıştır. Toplam ivme  $g = g_E + g_S$ 'dir. Bir günlük süre içinde bileşke ivme genliği Güneş kaynaklı ivme genliğinin iki katı kadar değişir. Bileşke ivmenin yönü ise gün batımı ve gün doğumunda en fazla olmak üzere, batı ve doğu doğrultusunda hafifçe yön değiştirir. Şekil 2' den de anlaşılacağı gibi Güneş kaynaklı ivme sürekli **ekliptik düzlem** içinde (yaklaşık doğu batı doğrultusunda) kalmaktadır. Öte yandan ivme ölçer aygıtımızın ölçme yapabilmesi için kuzey-güney doğrultusuna yerleştirilmesi bir ön koşuldu. Bu nedenle bileşke ivme yönünün doğu-batı doğrultusunda kayması ölçü aygıtımıza etki etmeyecektir. Aygıtımız bileşke ivmenin yer kaynaklı ivme doğrultusundaki iz düşümüne duyarlı olacaktır. Bu nedenle aygıtımız " $g = g_E + g_S \cdot \sin \alpha$ " değerini ölçecektir. Burada  $g$ ,  $g_E$  ve  $g_S$  ivme genlikleri  $\alpha$  ise Güneş'in yükseliş açısıdır. Eğer aygıtımız yeteri kadar duyarlı ise gün boyu ölçme değerlerinden Güneş'in etkisini süzebiliriz.





Şekil 7

Şekil 7, Güneş'in görünen konumu ve yerçekimi ivmesine etkisi zamana bağlı olarak göstermektedir. Burada  $180^\circ$  faz farklı bir görüntü olmasını diye " $g_E$ " yerine " $-g_E$ " değerleri kullanılmıştır. Grafikteki y-ekseni, Güneş'in yerçekimi ivmesi üzerindeki  $\text{cm.san}^{-2}$  cinsinden etkisi, ve Güneş'in görünen konumu için yükseklik açısıdır. Her iki değişimin birbirlerine göre durumu önemli olduğundan, yükseklik açısının genliğini artırılarak başka bir deyimle normalize ederek daha iyi görüntü sağlamış olduk. **Burada görünen konum (yükseliş açısı) grafiği, ışık hızını;  $-g_E$  grafiği ise kütleçekim alan hızını temsil eder. Eğer her iki hız birbirine eşitse her iki grafik aynı fazda olacaktır (Tepe noktaları, sıfır geçiş noktaları aynı zamana denk düşecektir).** Eğer  $-g_E$  grafiği 8.3 saniye sola kayarsa kütleçekim alan hızı sonsuz olacaktır. Genel olarak iki grafik arasında  $\Delta t$  dakika faz farkı var ise kütleçekim alan hızı  $v_g$  :

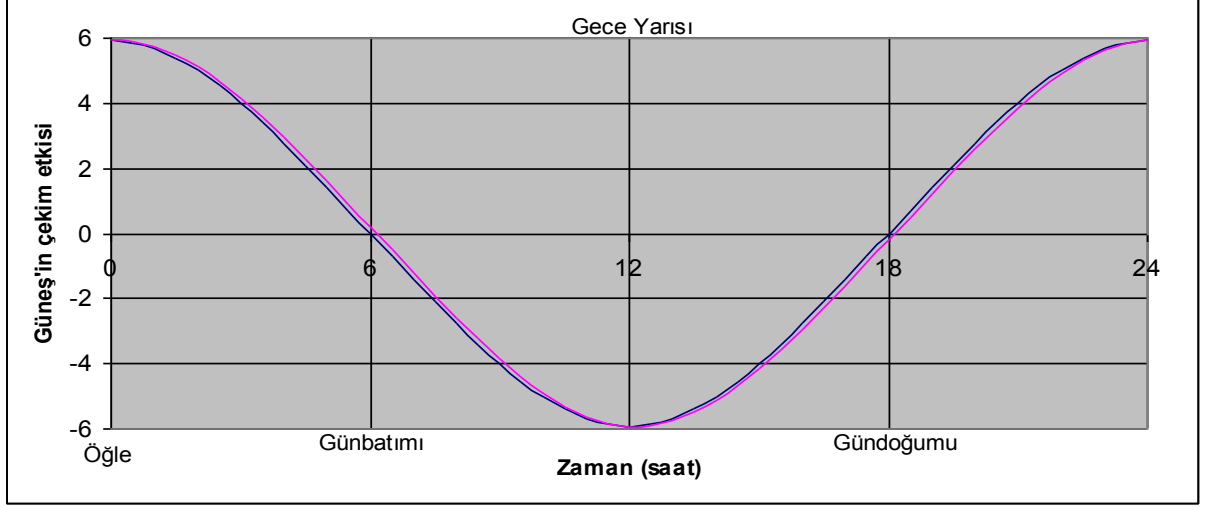
$$v_g = \frac{c}{1 - \frac{\Delta t}{8.3}} \text{ olacaktır.}$$

Son olarak bir konuyu daha netleştirmek gerekmektedir. Ölçü aygıtımızla ne kadarlık bir faz kaymasını ölçebileceğimizi bilmeliyiz. Kayma varsa ama bu ölçü aygıtımızın duyarlılığından küçükse bir anlamı olmayacaktır. Eğer kütleçekim alan hızı sonsuz ise  $-g_E$  grafiği en fazla 8.3 saniye sola kayacaktır. Kayma sağa olursa kütleçekim alan hızı ışık hızından daha yavaştır diyeceğiz. Şekil 8,  $-g_E$  grafiğini ışık hızıyla aynı fazda ve 8.3 dakika sola kaymış halde göstermektedir. Burada görsel olarak iki grafiği birbirinden ayırmak oldukça zordur. Şekil 9 bu iki grafiğin farkını göstermektedir. Burada görülmektedir ki grafiğin 8.3 dakika kayması, bazı noktalarda ölçmemiz gereken değerden  $0,2 \text{ cm/sec}^2$  farklı değerler ölçmemize yol açmaktadır. En fazla farklılık gün batışı ve gün doğuşu noktalarında olmaktadır. Eğer aygıtımız  $0,001 \text{ cm/sec}^2$  duyarlılığında ölçüm yapabiliyorsa –ki ticari elemanlarla bile bu olanaklı gözüküyor- biz bu 8.3 dakikaya karşı gelen  $0,2 \text{ cm/sec}^2$  ivme farkını çok rahat bir şekilde saptayabiliriz. Çünkü bu fark, ölçü aygıtımızın duyarlılığından 200 kat daha fazladır.

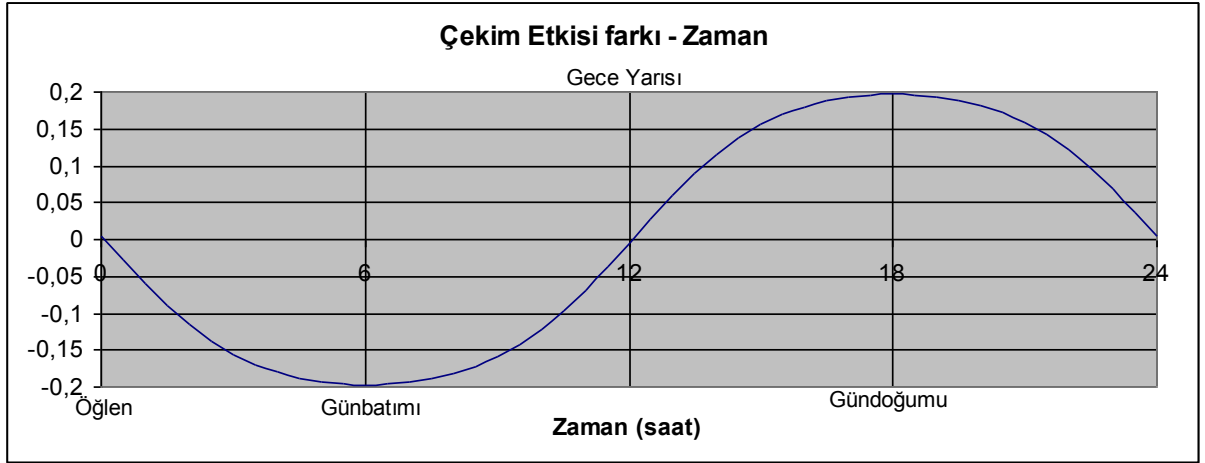
Bu durumda aygıtımızdan aldığımız bir günlük ölçüm verilerinden aşağıdaki algoritmayla kütleçekim alan hızını ölçebiliriz.

1. Güneşin en yüksek ve en alçak açılar arasında görüldüğü yeri ve zamanı ölçün noktası olarak belirle.

2. Ölçüm noktasında Güneş'in zamana göre yükseliş açılarını hesapla, grafiği çiz, özellikle günbatımı ve gündoğumu anlarını belirle.
3. Aygıtımızla yerçekimi ivmesini gün boyunca ölç ve kaydet.



Şekil 8



Şekil 9

4. Yerçekimi ivmesindeki günlük değişimleri gözle (Gün ortasında en düşük, gece yarısı en büyük).
5. İvmenin günlük ortalamasını al. Bu, Güneş'in etkisinden arındırılmış sabit dünyamızdan kaynaklanan yerçekimi ivme değeridir.
6. Aygıtın ölçtüğü bileşke ivme değerinden bu sabit değeri çıkar. Geriye Güneş'in değişken etkisi kalacaktır.
7. Güneş'in yerçekimi üzerindeki etkisinin sıfır olduğu noktalardaki zamanı belirle.
8. Bu zamanları 2'de belirlenmiş güneşin görünen batış ve doğuş zamanları ile karşılaştır.
9. Zaman farkını üstteki formüle koyarak kütleli alan çekim hızını ışık hızı cinsinden hesapla.

**Dosdoğru, kolay ve anlaşılır. Gereken tek şey, gerçek zamanda ve yeteri kadar duyarlı ölçüm yapabilen bir yerçekimi ivme ölçer.**