

GÖKSEL NAVİGASYON

Yüzyıllarca denizcilere yol gösteren yıldızlar, gezegenler, güneş ve ay; elektronik seyir araçlarının, özellikle de GPS'in (Global Positioning System) yaygınlaşmasıyla bu özelliklerini kaybettiler. GPS'in kullanımının çok daha kolay olması ve koordinatları metre hassasiyetinde vermesi, geleneksel yöntemlerin rafa kaldırılmasında en büyük etken olarak düşünülebilir. Fakat, son yıllarda, özellikle kıyıda uzakta yelken yapacak, okyanus geçecek veya dünyayı dolaşacak denizcilerin bir kısmı, teknelerinde GPS bulundursalar da, acil durumlar için (elektrik bağlantıları arızalanabilir, piller bozulabilir, aletler ıslanabilir – denizde elektronik eşyalara çok fazla güvenmemek lazım!) göksel navigasyon öğreniyorlar.

Uygulamalı astronominin bir dalı olan göksel navigasyon, astronomik gözlemlerle coğrafik pozisyonu bulmaya yarayan bir bilimdir. Temel olarak, mevkilerini bildiğimiz yıldızlardan ve gezegenlerden faydalanarak bilmediğimiz kendi mevkimizi bulmak için geliştirilmiş yöntemlerdir. Kopernik'ten önce de uygulanan yöntemler, Batlamyus'un evrenini (merkezinde dünyanın olduğu ve diğer göksel cisimlerin onun etrafında döndüğü bir evren) temel alır. Yani cisimlerin uzaydaki mutlak pozisyonlarından ziyade, bize görünen pozisyonlarını ölçeriz ve koordinatlarımızı da buna göre buluruz.

Gökyüzündeki bir cisim ile dünyanın merkezinden geçen doğrunun dünya yüzeyini kestiği noktaya cismin coğrafik pozisyonu (CP) denir. Eğer bu cismin yüksekliği, H, (altitude) 90° ise, o cisim için 'zenit uzaklığı, z' sıfırdır. Yani H ve z tümler açılarıdır. Tek bir cismin yüksekliğini ölçtüğümüzde, merkezi CP ve yarıçapı r olan bir dairenin üzerindeyiz demektir. Dairenin yarıçapı zenit uzaklığı ile doğru orantılıdır ve aşağıdaki şekilde bulunur:

$$r[km] = \frac{\text{dünyanın çevresi}[km]}{360^\circ} \cdot z[^\circ]$$

İki cismin yüksekliklerini hesaplayıp bunların oluşturduğu daireleri bir küre üzerine çizdiğimizde, koordinatımızın dairelerin kesiştiği iki noktadan birinde olduğunu buluruz. Bulduğumuz nokta hakkında başka bir bilginiz yoksa, 3. bir cismin yardımı olmadan bu iki noktadan hangisi üzerinde olduğumuzu bulamayız.

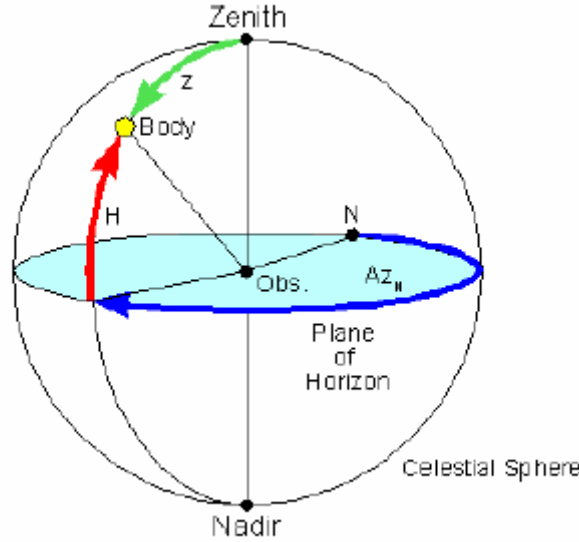
Bir kürenin üzerine daireler çizerek mevkimizi bulmak teorik olarak mümkün olsa da, hassas ölçü yapabilmek için oldukça büyük bir küreye ihtiyacımız var. Eğer yarıçap düşükse, harita üzerinde de bu daireleri çizebiliriz, fakat bunun için 90° 'ye oldukça yakın ölçümler yapmamız gerekir, ki bu kolay bir ölçüm değildir. 19. yüzyılda, trigonometrinin yardımıyla geliştirilen geometrik yöntemler sayesinde bu sorunlar aşılmıştır. Bu yöntemlerin bulunması, modern göksel navigasyonun da başlangıcı sayılır.

Coğrafik mevkimizi bulmak için yapılması gerekenleri şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Gökyüzündeki iki veya daha fazla cismin yüksekliği hesaplanır.
2. Her cismin ölçüm zamanındaki coğrafik pozisyonu (CP) bulunur.
3. Bulunan bu bilgilerle mevki hesaplanır.

1. YÜKSEKLİK HESAPLAMASI

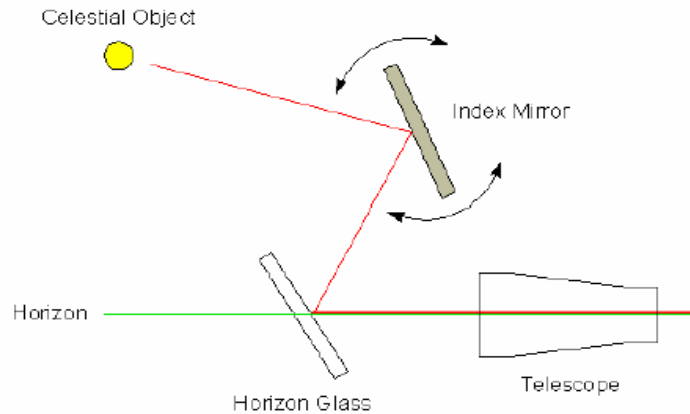
Gökyüzündeki bir cismin pozisyonu (görünür – apparent - pozisyonu) 'Koordinatların Ufuk Sistemi' adlı bir sistemde tanımlanır. Buna göre, gözlem yapan kişi, ufuk çizgisinin ikiye böldüğü sonsuz yarıçaplı hayali bir kürenin merkezinde bulunur.



resim 1: Ufuk Sistemi

Gözlemi yapılan cismin ufuk çizgisinden yüksekliği *altitude* olarak ifade edilir ve derece cinsinden söylenir. Eğer altitude 0° ile $+90^\circ$ arasında ise cisim ufuk çizgisinin üzerindedir ve görünüyordur. Eğer -90° ile 0° arasında ise cisim ufuk çizgisinin altındadır ve görünmez. *Zenit uzaklığı*, gözlemcinin tam tepesindeki noktadan cismin açısal uzaklığıdır. Zenitin tam karşısındaki nokta ise *nadir* olarak isimlendirilir. *Gerçek azimut (semt)* cismin ufuk üzerinde gerçek kuzeye göre ölçülen doğrusal yönüdür.

Deniz sekstantı iki ayna ve bir teleskopun metal bir çerçeveye aşağıdaki şekilde monte edilmesiyle oluşmuş bir sisteme dayanır. Sabit ufuk camı (horizon glass) yarı saydam bir aynadır ve çerçeveye monte edilmiştir. Tamamen yansıtıcı olan indeks aynası ise, çerçeveye dik olan bir pivot etrafında döndürülebilen bir kola monte edilmiştir.



resim 2: sekstantın şematik gösterimi (yan)



resim 3: sekstant

Bir cismin yüksekliği ölçülmek istendiğinde, çerçeve dikey tutulur, ve görünür ufuk çizgisi teleskop ve ufuk camı ile aynı düzleme getirilir. Gözlemlenen cisimden gelen ışık, önce indeks aynasından ufuk camına yansır, oradan da telekopa gelir. İndeks aynasını pivot etrafında yavaşça döndürerek cismin ve ufkun üst üste binmiş görüntüsü elde edilir. Bu esnada indeks aynası ile ufuk camının düzlemleri arasında kalan açının iki katı, gözlemlenen cismin yüksekliğini (altitude) verir. Sekstantın çerçevesinin altındaki kavisli ayaktan bu değeri okuyabiliriz.

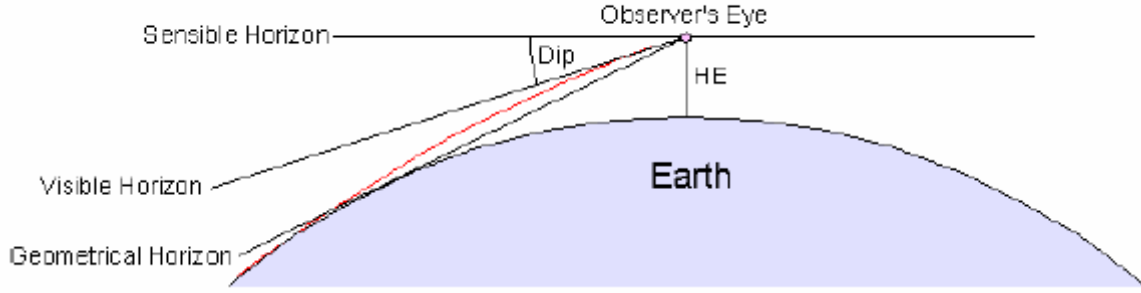
Ancak okuduğumuz bu değer aletten ve kullanıcıdan kaynaklanan bazı hataları içerir. Bu hatalardan birisi indeks hatası (IE) olarak isimlendirilir ve hesaplama yapılmadan önce bulduğumuz açıdan çıkarılması gerekir. Bu hata sekstanttan kaynaklanır.

$$1. \text{ düzeltme: } H_1 = H_s - IE$$

H_s : sekstantla yapılan ölçüm sonucu bulunan yükseklik (derece cinsinden)

IE : indeks hatası

Gözlem yapılan nokta dünyanın tam üzerinde yapılmadığı ve dünya sonsuz büyüklükte bir düzlem olmadığı için, hissedilen ufuk ile görünen ufuk arasında bir açı vardır. Atmosferde ışığın kırılması nedeniyle görünen ufuk çizgisi ile geometrik ufuk çizgisi de aynı düzlemde değildir.



resim 4

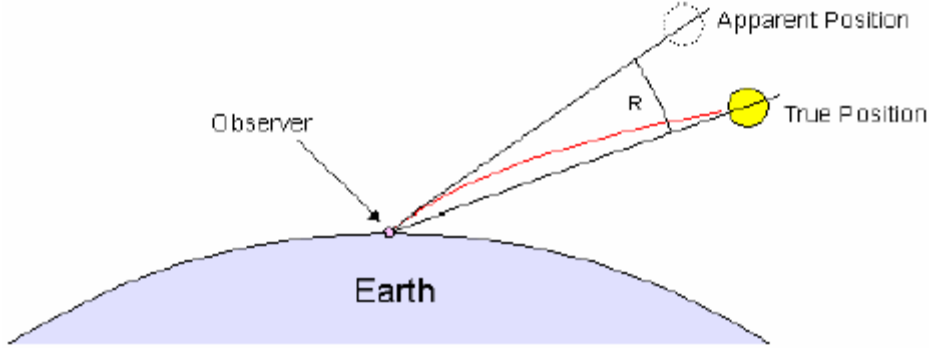
Hissedilen ufuk ile görünen ufuk arasında kalan açı *dip* olarak adlandırılır ve gözün deniz seviyesinden yüksekte olmasından kaynaklanan bir hatadır.

$$\text{Dip} \approx 1.76 * \sqrt{HE[m]}$$

Bu formül deneyseldir ve dünya yüzeyinin eğikliği ile atmosferden kaynaklanan kırılmayı da hesaba katar. Dip'i daha doğru hesaplayabilmek için gözlemcinin önündeki ve arkasındaki görünür ufuk çizgileri arasında kalan açının hesaplanması gerekir. Bu değeri 180°'den çıkartıp ikiye böldüğümüzde doğru dip değerini buluruz. Ancak iki ufuk çizgisi arasındaki açıyı deniz üzerinde hassas olarak ölçmek oldukça zordur ve sekstanta benzer özel bir alete daha ihtiyacımız vardır.

$$2. \text{ düzeltme: } H_a = H_1 - \text{dip}$$

Bir uzay cisminin gelen ışık, atmosfere girdikten sonra dünyadan uzaklaşacak şekilde kırılır. Bu nedenle cisimler olduklarından daha yüksekte görünürler.



resim 5

Kırılma H_a 'ya bağlı olarak değişir. 'Standart kırılma', R_0 , yükseklik 90° iken 0'dır. Yükseklik düştükçe kırılma artar ve 0°'de yaklaşık 34' olur. R_0 değişik şekillerde hesaplanabilir. Kesin olmamakla beraber, aşağıdaki formül yaklaşık bir kırılma hesaplamasında kullanılabilir:

$$R_0['] = \frac{1}{\tan\left(H_2[^\circ] + \frac{7.31}{H_2[^\circ] + 4.4}\right)}$$

Eğer atmosfer standart kabul edilen durumlardan (1010 mb atmosferik basınç ve 10° sıcaklık) çok farklıysa, özellikle düşük yükseklikler çok hatalı ölçülür.

$$3. \text{ düzeltme: } H_3 = H_a - R_0$$

Dünyanın tam merkezinde olmadığımız için, 3. düzeltmeden sonra ulaştığımız 'hissedilen ufuk' da sistemin temel aldığı 'göksel ufuk'la çakışmaz. İki ufuk arasındaki bu fark 'paralaks, HP' olarak isimlendirilir. Navigasyonda kullanılan gezegenlerin paralaksları almanaklarda belirtilmiştir.

$$P = \arcsin(\sin HP * \cos H_3) \approx HP * \cos H_3$$

$$4. \text{ düzeltme: } H_4 = H_3 - P$$

Ayı ve güneşi gözlemlediğimizde, cismin merkezini tam olarak belirleyemeyebiliriz. Bu durumda cismin üstünden veya altından ölçüm yaparız ve almanakta belirtilen yarıçap değerini bu ölçümden çıkarırız. Kullandığımız yarıçap değeri derece cinsindedir ve paralaks ile cismin yarıçapına bağlıdır.

$$5. \text{ düzeltme: } H_5 = H_4 \pm SD$$

2. COĞRAFİK MEVKİ VE ZAMAN

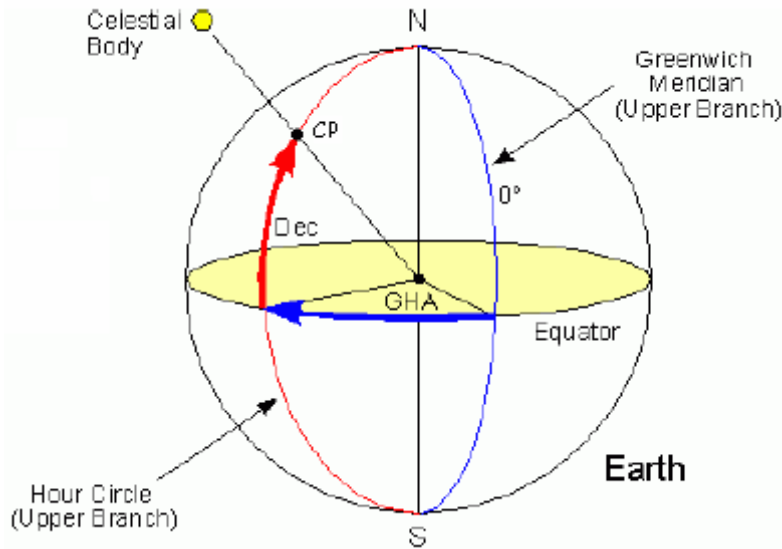
Göksel navigasyon modern bilimden çok daha önce kullanılan yöntemleri temel alır. Bu nedenle kabul ettiğimiz bazı varsayımlar, astronomi ve coğrafyanın bazı temel ilkeleri ile çatışabilir. Ancak, bu varsayımlar işimizi oldukça kolaylaştırır ve hatalar da kabul edilebilecek seviyededir.

Varsayımlarımızdan bir tanesi dünyanın evrenin merkezinde olduğudur. Gökyüzündeki her cisim merkezinde dünyanın olduğu dev bir kürenin ('gök küre') iç yüzeyinde yer alır. Ölçümlerimizde cisimlerin mutlak pozisyonları ile ilgilenmeyiz, bizim için önemli olan görünür pozisyonlardır.

Diğer bir varsayım da dünyanın yuvarlak olduğu varsayımdır. Düzlemi dünyanın merkezinden geçen dünya yüzeyindeki dairelere 'büyük daire' denir. Bu daireler dünya üzerindeki en büyük çapa sahip dairelerdir. Bütün boylamlar ve ekvator birer büyük dairedir. Diğer daireler ise küçük daire olarak adlandırılır.

Dünya üzerindeki her noktanın 'gök küre'de bir karşılığı vardır. Örneğin, gözlemcinin projeksiyonu zenittir.

Gökyüzündeki bir cismin dünya yüzeyindeki coğrafik pozisyonu (CP) ekvator ve 0° meridyenine göre (Greenwich Meridyeni) konumlandırılır. Cismin bu meridyene olan açısal uzaklığı 'Greenwich Saat Açısı, GHA' olarak isimlendirilir. 0° 'den batıya doğru 360° 'ye kadar olan bir değer alır. CP ve kutuplardan geçen büyük daireye saat dairesi denir. CP'nin ekvator düzlemine olan açısal uzaklığı 'Açılım, dec' olarak adlandırılır ve kuzey yarım kürede is 0° 'den $+90^\circ$ 'ye, güney yarım kürede is 0° 'den -90° 'ye kadar bir değer alır. Dec değeri coğrafik enlem değeri ile aynıdır. Ancak, GHA eğer CP batı yarımkürede ise coğrafik boylam değeri ile aynıdır.



resim 6: Koordinatların ekvator ve ilk meridyene göre konumu

Greenwich Meridyeni dünyayla birlikte döndüğü ve çoğu gök cismi gökyüzünde neredeyse sabit olduğu için bir cismin GHA'sı saatte yaklaşık 15° artar ($15^\circ 2.46'$). Ancak güneş, ay ve gezegenlerin GHA değerleri daha farklıdır. Çünkü bu cisimlerin görünür mevkilerini dünyanın dönüşünün yanı sıra kendi dönüşleri de (gezegenlerin güneşin çevresinde ve ayın dünyanın çevresinde) etkiler.

GHA'nın hızlı değişimi yüzünden, gözlem yapıldığı an, eğer mümkünse saniyesine kadar not alınmalıdır. Almanaklardaki mevkiler, 'Evrensel Zaman, UT' referans alınarak yazılmıştır. UT şu şekilde bulunur:

$$UT[h] = \frac{GHA_{güneş} [^{\circ}]}{15} + 12 \quad (\text{Eğer } UT \text{ 24'ten büyükse, 24 çıkarın.})$$

Güneşin GHA değeri, tanım gereği her saat 15° artar ve 24 saatte 360° 'yi tamamlar. Ancak gözlemlenen güneşin GHA değerindeki değişim yıl periyodik olarak değişir. Bazen 15° 'den biraz küçük, bazen de biraz büyük olur. Bu fark, almanaklarda 'EoT – equation of time – ' olarak gösterilir.

Deniz Almanağı

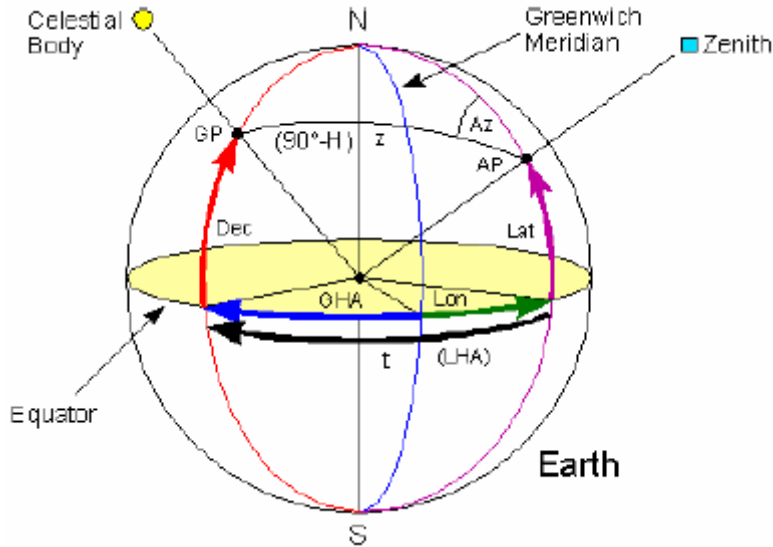
Güneşin, ayın ve bazı gözlemlenebilen gezegenlerin tahmini GHA ve dec değerleri, UT referans alınarak yılın her gününün her saati için almanaklarda yazılmıştır. 57 yıldızın GHA ve dec'i ise 3 günlük periyotlar halinde yazılmıştır.

3. MEVKİ BULMA

Ölçüm veya gözlemlerle bulduğumuz ve bulunduğumuz noktadan geçen herhangi bir geometrik veya fiziksel çizgiye 'mekki çizgisi, LOP' denir. Tek bir mekki çizgisi bize sonsuz sayıda mekki olasılığı verir. Gerçek mekki, en az iki mekki çizgisinin kesiştiği noktadır.

Gökyüzündeki bir cismin yüksekliğini ve CP'sini biliyorsak, merkezini ve yarıçapını bildiğimiz bir dairenin üzerindeyiz demektir (bkz: sayfa 1). Tek bir cisim, tek bir mekki çizgisi verir. Daha önce de belirtildiği gibi, böyle büyük dairelerle uğraşmak oldukça zordur. Ancak dairenin kısa bir yayı da bizim işimizi görür. Kullanacağımız bu yay, asıl daireye kıyasla oldukça küçük olduğu için, sekant veya tanjant değeri ile değiştirilebilir.

Verilen bir mekkidenden geçen boylama 'yerel boylam' denir. Saat dairesi ile yerel boylam arasında kalan açı, mekki bulmada temel bir görev alır. Bu açı, yerel boylamdan batıya doğru ($0^\circ \dots +360^\circ$) ölçülür ve 'yerel saat açısı, LHA' adını alır. LHA, gözlem yapılan noktanın boylamı ile cismin GHA'sının toplamına eşittir. Eğer bulunan değer istenilen aralıkta ($0^\circ \dots +360^\circ$) değilse 360° eklenir veya çıkartılır.



resim 7: Mekki bulmada kullanılan bazı açılar

Sumner Yöntemi

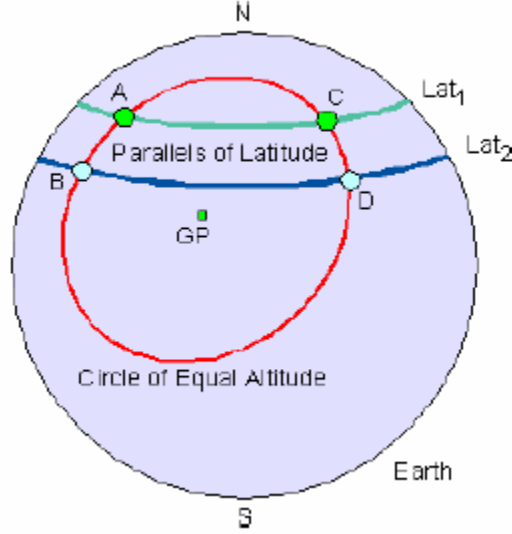
Sumner yöntemi bugün çok fazla kullanılmasa da modern göksel navigasyonun temeli olarak kabul edildiği için burada değinilmiştir.

1. Bulduğumuzu tahmin ettiğimiz enlemin kuzeyinde bir enlem seçeriz ($enlem_1$). (haritadaki enlem çizgilerinden bize en yakın ve kuzeyimizdeki güzel bir tercih olabilir.)
2. $enlem_1$, dec ve gözlemlediğimiz cismin yüksekliği olan H_0 'yu kullanarak boylam açısını, t , buluruz:

$$t = \pm \arccos \frac{\sin H_0 - \sin enlem \cdot \sin dec}{\cos enlem \cdot \cos dec}$$

(t değeri LHA ile aynıdır, ancak LHA başlangıç meridyeninden batıya doğru 0° 'den $+360^\circ$ 'ye kadar tanımlanmıştır. t ise başlangıç meridyeninden batıya 0° 'den $+180^\circ$ 'ye kadar, doğuya doğru da 0° 'den -180° 'ye kadar tanımlanmıştır.)

Denklemleri çözdüğümüzde iki t değerine ulaşırız. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi, eşit yükseklik dairesi, enlem dairesini iki noktada keser.



resim 8

Eşit yükseklik dairesinin enlem₁'i kestiği noktanın olası boylamları şu şekilde bulunur:

$$\text{Boylam} = t - \text{GHA}$$

$$\text{Boylam}' = 360^\circ - t - \text{GHA}$$

Tahmin ettiğimiz boylam değeriyle bulduğumuz değerleri karşılaştırarak doğru boylamı buluruz.

3. Güneyimizde kalan ikinci bir enlem (enlem₂) seçeriz ve bu enlemle ilk iki basamağı tekrarlarız. Seçtiğimiz iki enlem arasındaki açının 1 ya da 2 dereceyi geçmemesine dikkat etmeliyiz.
4. Haritanın üzerinde, bulduğumuz boylam değerlerini işaretleyerek bu iki noktayı bir çizgi ile birleştiririz. Bu çizgi bize ilk mevki çizgimizi verir (LOP). Yerimizi kesin olarak belirleyebilmek için ikinci bir cismi daha gözlemlememiz gerekir. İki mevki çizgisinin kesiştiği nokta bize mevkiimizi verir.

Eğer bulunduğumuz enlemle ilgili çok yaklaşık bir bilgimiz yoksa, iki çizginin kesişme noktası enlemlerin arasında olmayabilir. Yine de bulduğumuz nokta doğrudur. Bu yöntem, dairelerin eğriliğini göz ardı ettiği için küçük bir hata içerir.

Kesişme Yöntemi

Gözlem yapılan herhangi bir noktada, gözlemi yapılan cismin yüksekliği, sadece gözlemcinin enlemine, cismin açılımına (dec) ve boylam açısına bağlıdır. Trigonometrinin de yardımı ile yükseklik aşağıdaki formül ile bulunabilir:

$$H = \arcsin(\sin \text{Enlem} \cdot \sin \text{Dec} + \cos \text{Enlem} \cdot \cos \text{Dec} \cdot \cos t)$$

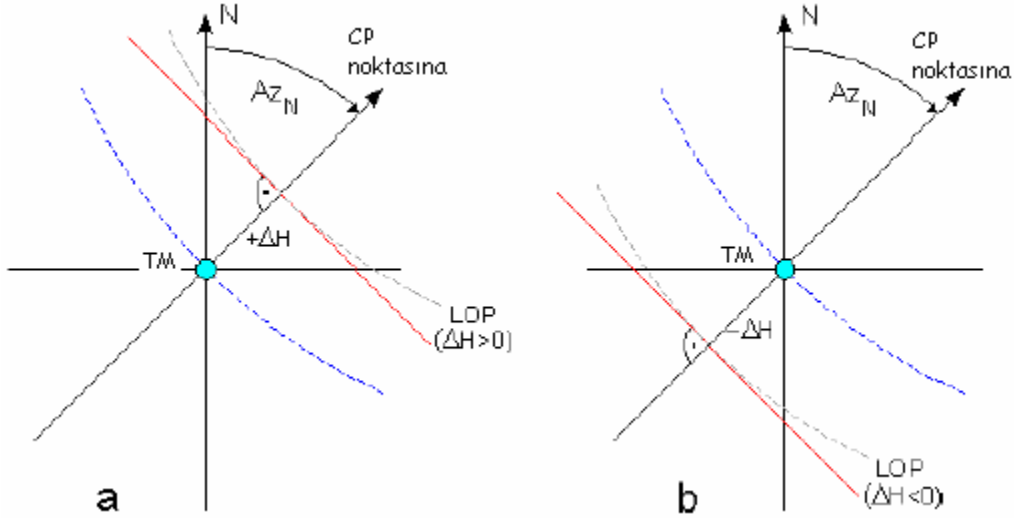
Öncelikle, bulunduğumuz tahmini mevkiinin yakınlarında bir nokta (haritada enlem ve boylam çizgilerinin kesiştiği noktalardan bize en yakın olanı) seçeriz. Bu nokta 'tahmini mevki, TM' olarak isimlendirilir. Yukarıdaki yükseklik formülünün yardımıyla cismin TM'nin koordinatlarına (enlem_{TM} ve boylam_{TM}) bağlı olan yüksekliğini hesaplarız. Bulunan yüksekliğe H_c diyelim. Genelde H_c , gözlemlerimiz sonucu bulduğumuz H_o 'dan farklıdır. İki yükseklik arasındaki bu farka kesişim denir.

$$\Delta H = H_o - H_c$$

Eğer ΔH sıfıra eşitse, TM ile gerçek mevki aynıdır. İkisinin farklı olduğu durumlarda, bir mevki çizgisi bulmaya çalışırız. Kesişimi deniz mili cinsinden ifade edebiliriz:

$$\Delta H[nm] = 60 \cdot (H_o[^\circ] - H_c[^\circ])$$

TM ile ölçümünü yaptığımız cismin CP'sini bir doğru ile birleştirdikten sonra, bu çizgi üzerinde, eğer ΔH sıfırdan büyükse CP'ye doğru, değilse öteki yönde ΔH kadar gidilir ve bulunan noktadan TM – CP arasındaki çizgiye dik bir başka çizgi çizilir. İşte bu çizgi, üzerindeki herhangi bir noktanın bizim mevkiimizi verdiği mevki çizgisidir. (aşağıdaki resimde kırmızı çizgi ile gösterilmiş.)



resim 9: kesişim yöntemi ile bulunan mevki çizgisi

Bu grafikte Az değeri bir çok yöntemle bulunabilir. Burada navigasyon üçgeninden faydalanılarak elde edilen aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$Az = \arccos \frac{\sin Dec - \sin H_c \cdot \sin Enlem_{TM}}{\cos H_c \cdot \cos Enlem_{TM}}$$

Arccos fonksiyonu 0° ile $+180^\circ$ arasında bir değer verdiği için bu formülden bulunan azimut değeri her zaman gerçek azimutu, Az_N ($0^\circ \dots +360^\circ$) vermez. Doğru sonuca ulaşmak için bir düzeltme yapmak gerekebilir:

$$\begin{aligned} Az_N &= Az & \text{eğer } t < 0^\circ \text{ ise (ya da } 180^\circ < LHA < 360^\circ) \\ Az_N &= 360^\circ - Az & \text{eğer } t > 0^\circ \text{ ise (ya da } 0^\circ < LHA < 180^\circ) \end{aligned}$$

Kesin pozisyonumuzu bulabilmek için, yine, ikinci bir cismi daha gözlemleyip bir başka mevki çizgisi bulmamız ve bu iki çizgiyi kesiştirmemiz gerekir. Bu metotta, mevki çizgilerinin eğrilikleri göz ardı edilir. Sonuç olarak da bulduğumuz mevki hata içerir. Ancak, eğer kullandığımız eş yükselti dairelerinin yarıçapları yeteri kadar büyükse, bu hata ihmal edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://home.t-online.de/home/h.umland/>
(An introductory guide for celestial navigation)
- [2] <http://www.celestialnavigation.net/>
(provides useful information and links to other sites about celestial navigation)
- [3] <http://www.tecepe.com.br/nav/> (navigator software)
- [4] <http://jacq.istos.com.au/sundry/navig.html> (navigation and related subjects)
- [5] <http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/celnav.html> (celestial navigation resources)
- [6] <http://www.seamanship.co.uk/deck/navigator/ASNAv/ASNAv%20Site/index.htm>
(astronomic navigation software)