

## ÜÇ BOYUTLU JEODEZİK TEMEL KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Jeodezi biliminin yıllardan beri uğraştığı konulardan biri de üç boyutlu referans ağı oluşturmaktır. Bu amaçla uzayda bulunan nesnelere, özellikle jeodezik noktaların bağıl konumlarını belirleyen koordinatların yüksek doğrulukta belirlenmesi için tanımlanmış göksel ve yersel koordinat sistemlerine gereksinim duyulmaktadır [4].

Bir koordinat sisteminin tanımlanabilmesi için;

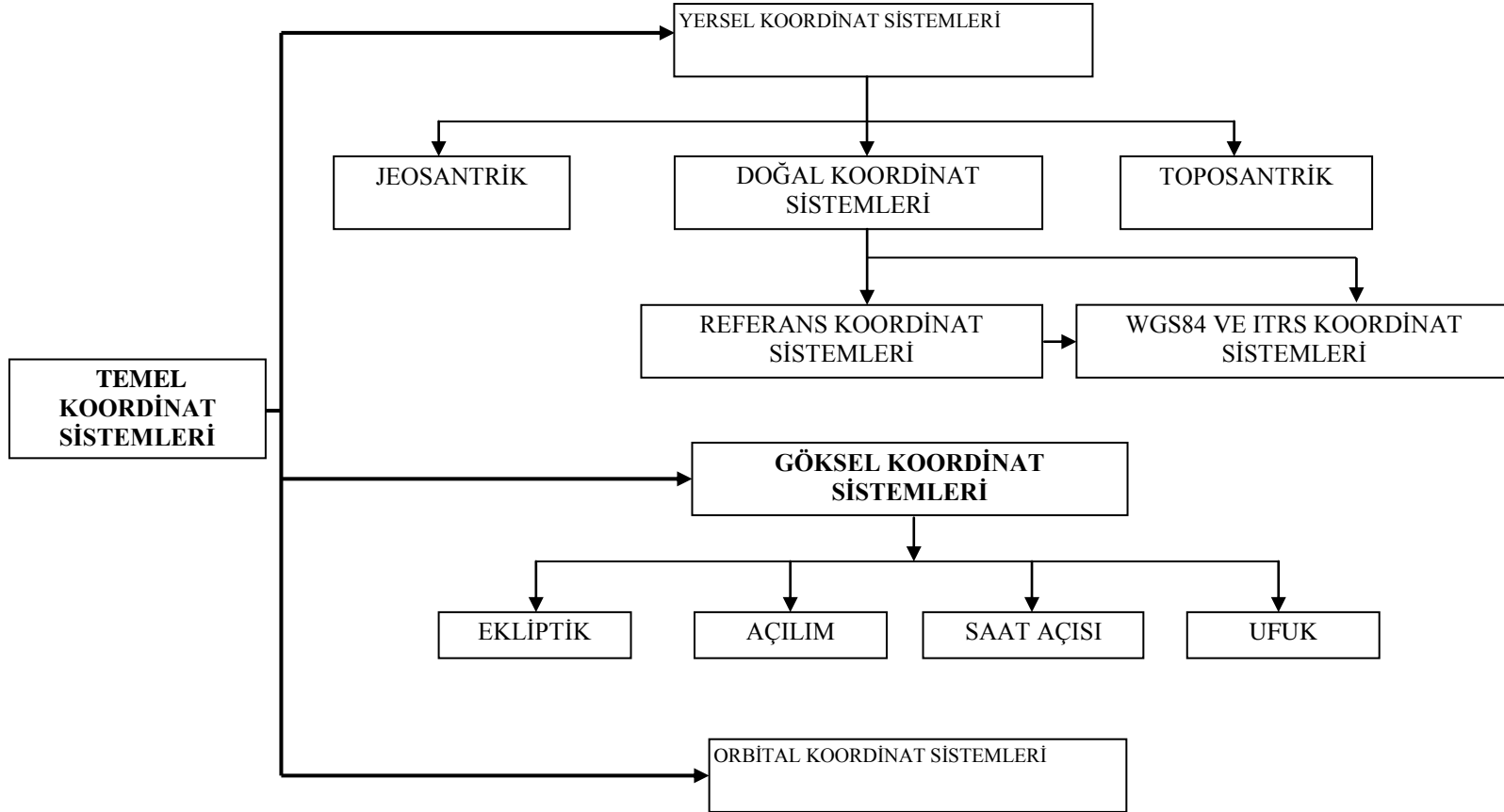
- Eksen yönlerinin ve eksenleri arasındaki açıların tanımlanması,
- Orijin (başlangıç, merkez) noktalarının tanımlanması,
- Açılarının (eksenlerinin) artış yönlerinin tanımlanması gereklidir.

Jeodezik Temel koordinat sistemleri tanımlandıkları yer ve amaca göre başlıca üç grup altında ele alınabilirler.

- Yersel Koordinat Sistemleri,
- Göksel Koordinat Sistemleri,

•Orbital (yörüngesel) Koordinat Sistemleri.

Bir koordinat sisteminin orijin noktası olarak yerin ağırlık merkezi alınırsa bu koordinat sistemi Jeosantrik, yeryüzündeki herhangi bir nokta olarak alınırsa da toposantrik olarak adlandırılır.



## ASTRONOMİK TANIMLAR

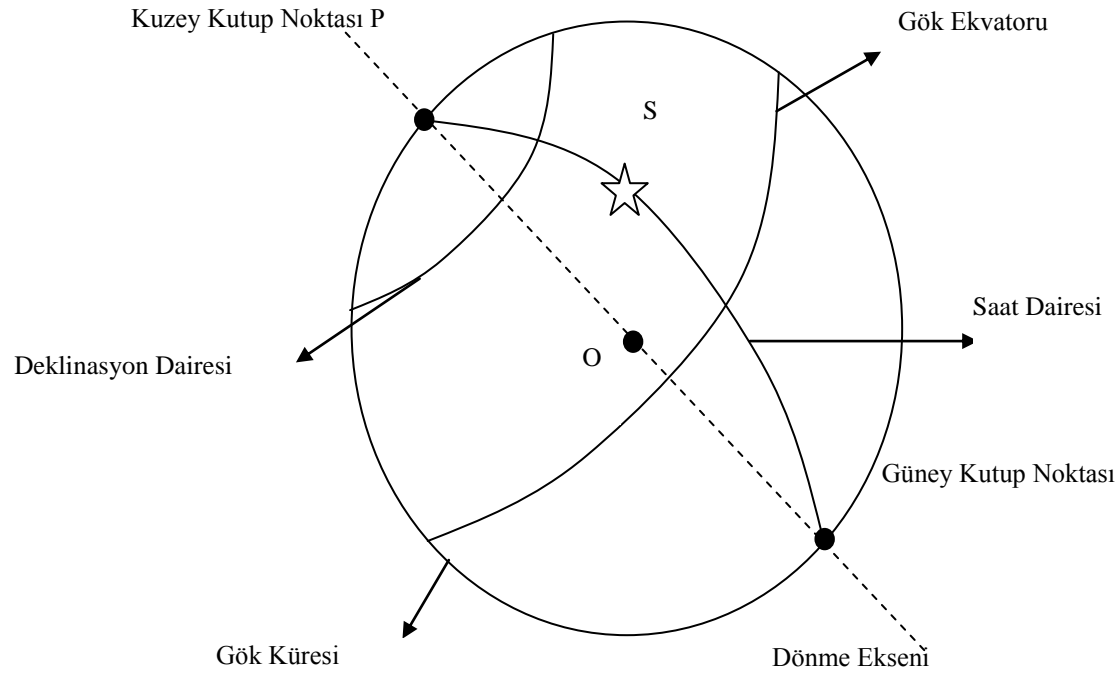
**Gök Küresi:** Merkezi yerküresinin ağırlık merkezi ya da gözlem noktası olan ve yarıçapı birim olarak alınan küreye gök küresi denir. Bu kürenin merkezi yerküresinin ağırlık merkezi olarak alınırsa jeosantrik, gözlem yeri olarak alınırsa toposantrik sistemden söz edilir. Jeodezik astronomide daha çok jeosantrik sistem kullanılır. Bu kürenin merkezi aynı zamanda üç boyutlu koordinat sisteminin başlangıç noktasıdır.

**Gök Kutupları:** Gök küresinin dönme ekseninin gök küresini deldiği noktalara gök kutupları denir. Kuzey ve güney gök kutup noktası vardır.

**Gök Ekvatoru:** Gök küresinin merkezinden geçen ve dönme eksenine dik olan düzlem gök küresini gök ekvatoru boyunca keser.

**Saat Dairesi:** Gök kutup noktalarından geçen büyük daire yaylarına saat dairesi denir. S gök cisminden ve gök kutup noktalarından geçen büyük daireye s gök cisminin saat dairesi denir.

**Deklinasyon Dairesi:** Gök ekvatoruna paralel olan küçük daire yaylarına deklinasyon dairesi denir.

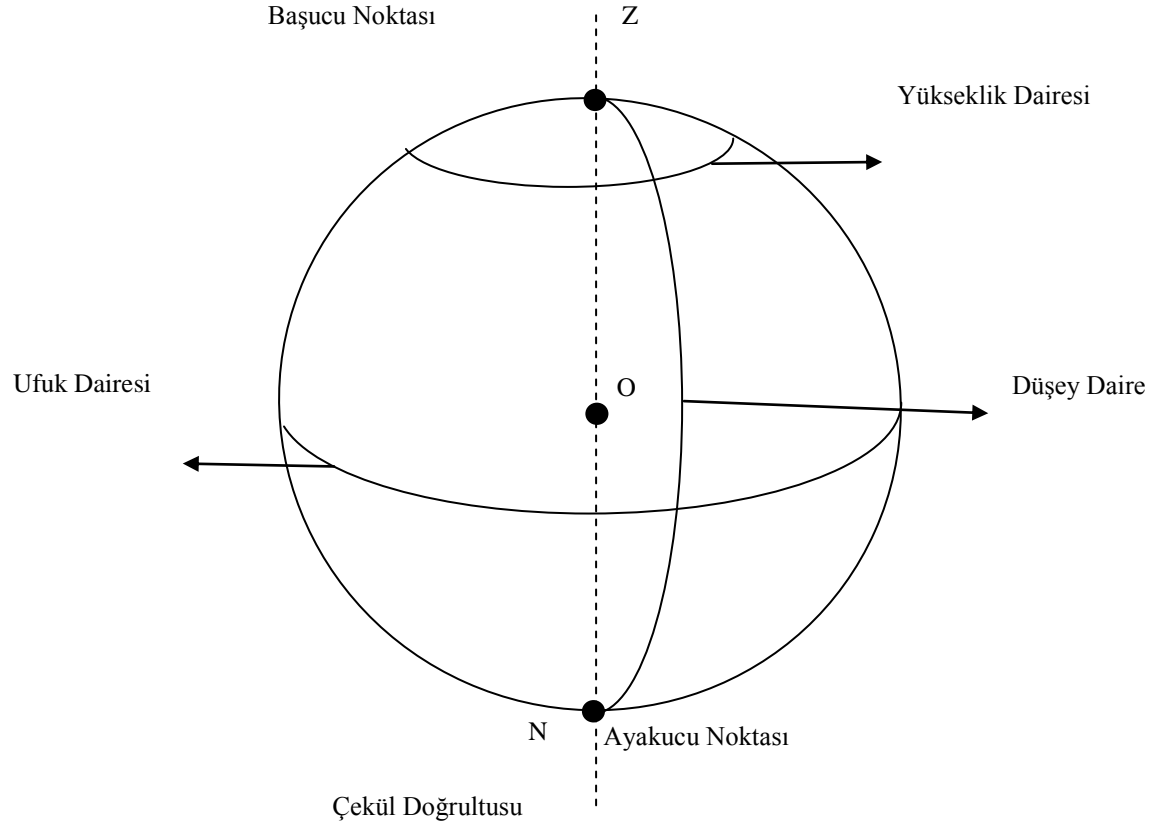


**Başucu ve Ayakucu (Nadir) Noktaları:** Gök küresinin merkezinden geçen ve çekül doğrultusunun (düşey doğrultunun) gök küresini kestiği noktalara başucu (zenit) ve ayakucu (nadir) noktaları denir.

**Ufuk Dairesi:** Gök küresinin merkezinden geçen ve çekül doğrultusuna yerin merkezinde ya da gözlem noktasında dik olan düzlemin gök küresi ile kesiti ufuk dairesidir. Ufuk dairesinin kutup noktaları başucu ve ayakucu noktalarıdır.

**Düşey Daire:** Başucu ve ayakucu noktalarından geçen ve ufuk dairesine dik olan büyük dairelere düşey daire denir.

**Yükseklik Dairesi:** Ufuk düzlemine paralel küçük dairelere yükseklik daireleri denir.



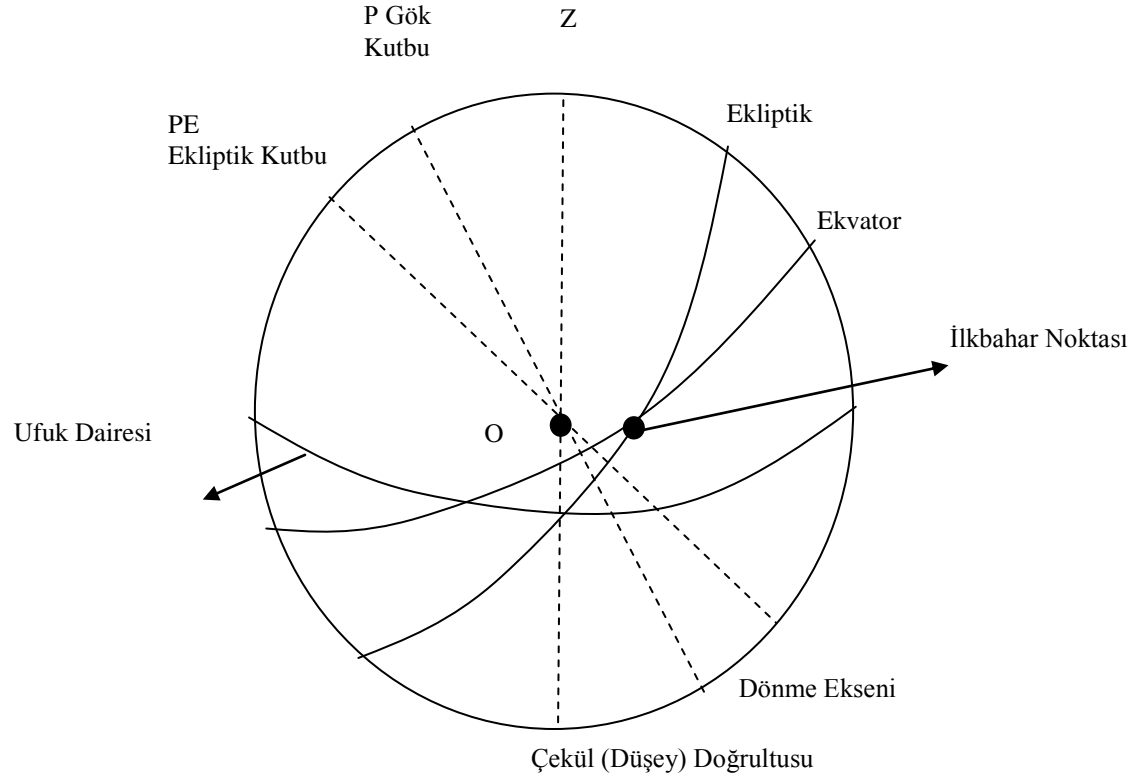
**Ekliptik Dairesi:** Yeryuvarının yörünge elipsinin içinde bulunduğu düzleme yörünge düzlemi, yörünge düzleminin gök küresi ile arakesitine ise ekliptik dairesi denir.

**Ekliptik Kutupları:** Gök küresinin merkezinden geçen ve ekliptik düzlemine dik olan eksen gök küresini ekliptik kutuplarında keser. (PE)

**Ekliptik Paraleller:** Ekliptiğe paralel olan düzlemler gök küresini ekliptik paraleller boyunca keser.

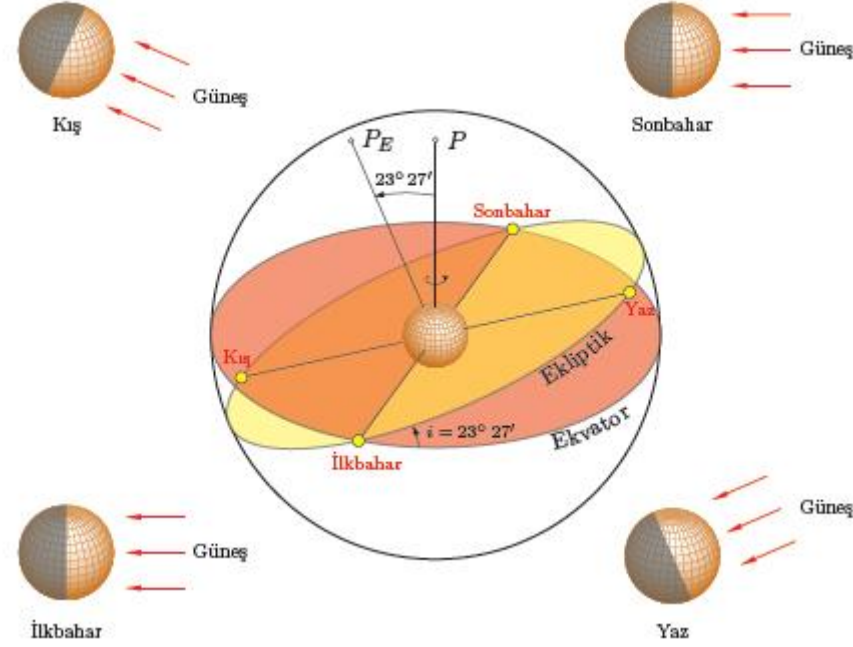
**Ekliptik Meridyenleri:** Ekliptik kutup noktalarından geçen büyük daire yaylarına ekliptik meridyenleri denir.

**İlkbahar ve Sonbahar Noktaları:** Gök ekvatoru ve ekliptik dairesi birbirini iki noktada keser. Bunların birisi ilkbahar diğeri sonbahar noktalarıdır ve  $\gamma$  Gama  $\Omega$  omega ile gösterilirler.





## Mevsimler



Ekvator ve ekliptik dairesi Yeryuvarının yörünge elipsinin içinde bulunduğu düzleme yörünge düzlemi, yörünge düzleminin gök küresi ile arakesitine ise ekliptik dairesi denir.

Gök küresinin merkezinden geçen ve yeryuvarının dönme eksenine merkezde dik düzlemin gök küresi ile arakesitine gök ekvatoru denir.

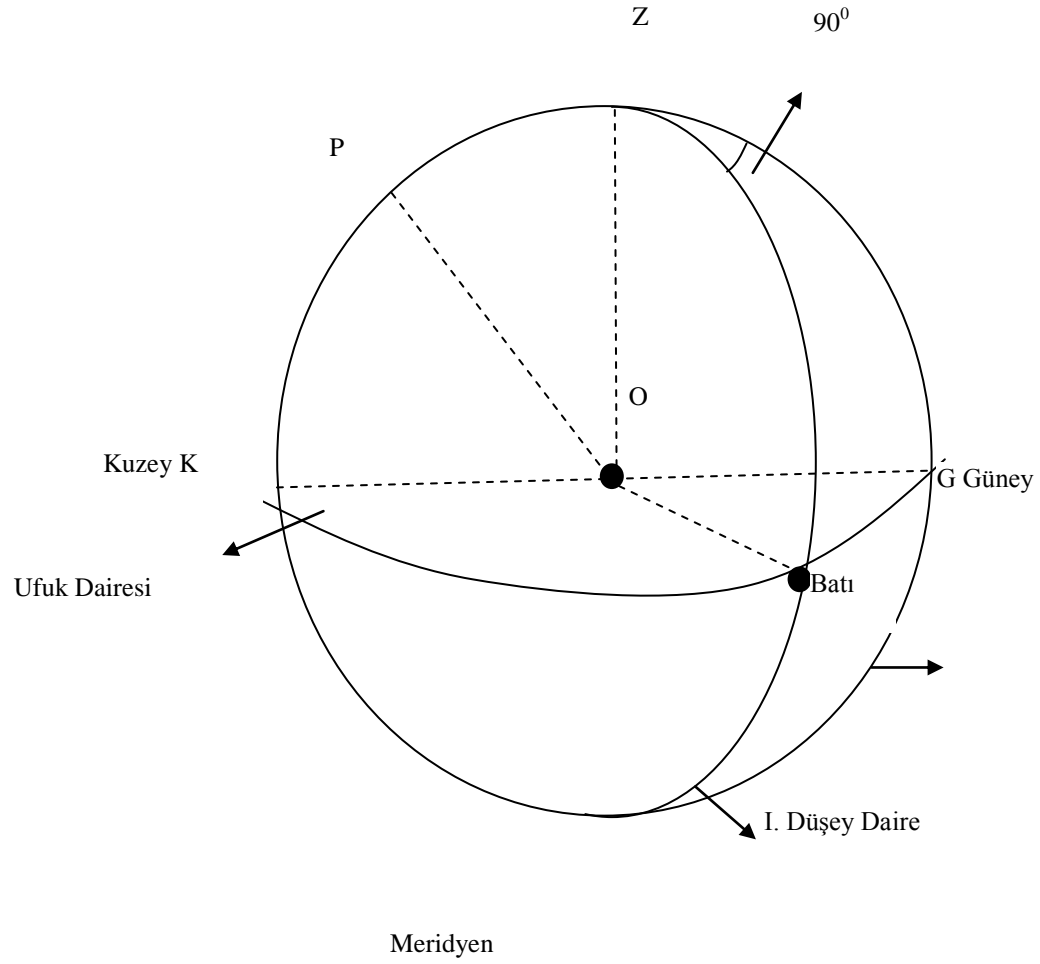
Ekvator ve ekliptik daireleri iki noktada kesişirler: ilkbahar noktası ( $\gamma$ ) ve sonbahar noktası ( $\Omega$ ).

**Gök Meridyeni (Gözlemcinin Meridyeni):** Gözlem noktasından geçen düşey daireden (çekül doğrultusundan) ve gök kutup noktalarından geçen düzlemlerle gök küresinin ara kesitine gök meridyeni (gözlemcinin meridyeni) denir. Gök meridyen dairesi aynı zamanda başucu noktasından geçen saat dairesidir.

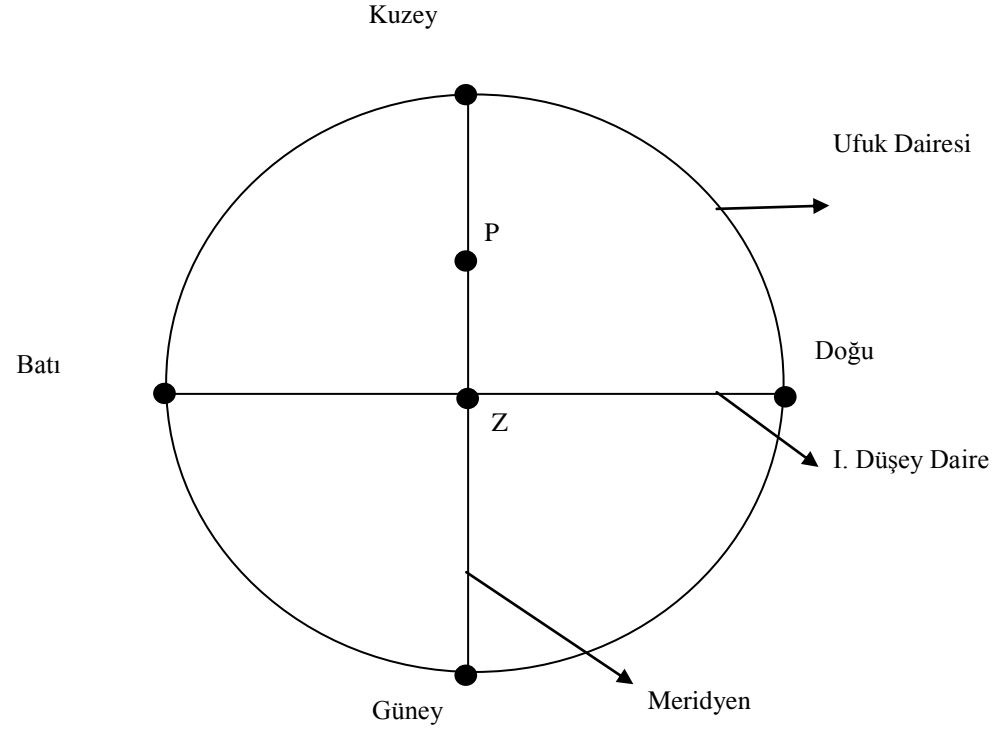
**Kuzey ve Güney Noktaları:** Meridyen dairesi ile ufuk dairesini iki noktada keser Bu noktalardan kuzey gök kutbuna yakın olan kuzey ve diğeri güney noktalarıdır.

**Birinci Düşey Daire:** Meridyen düzlemine dik düşey daireye birinci düşey daire denir.

**Batı ve Doğu Noktaları:** Birinci düşey daire ile ufuk dairesini iki noktada keser. Kuzeye dönüldüğünde sağ tarafta kalan doğu diğeri batı noktasıdır.



Z Noktasından Bakış



## **GÖKSEL KOORDİNAT SİSTEMLERİ**

Göksel koordinat sistemleri, uzaydaki cisimlerin koordinatlarını belirlemek için kullanılırlar. Bu koordinat sistemleri ile yersel ve yörünge koordinat sistemleri arasında iki temel farklılık vardır. Bunların biri, göksel koordinat sistemlerinde konum belirlemek için gözlem olarak sadece doğrultuların kullanılmasıdır. Uzunluklar konum belirlemede kullanılmaz çünkü gök küresi birim yarıçaplı bir küre, kullanılan bütün doğrultular da küre içerisindeki birim vektörler olarak ele alınır. İkinci fark, gök küresinin şeklinin elipsoid ya da küre olarak alınmasıdır. Bunun sonucu olarak matematik çözüm daha basittir. Göksel koordinat sistemleri de genel olarak dörde ayrılabilir.

### **Ekliptik Koordinat Sistemi**

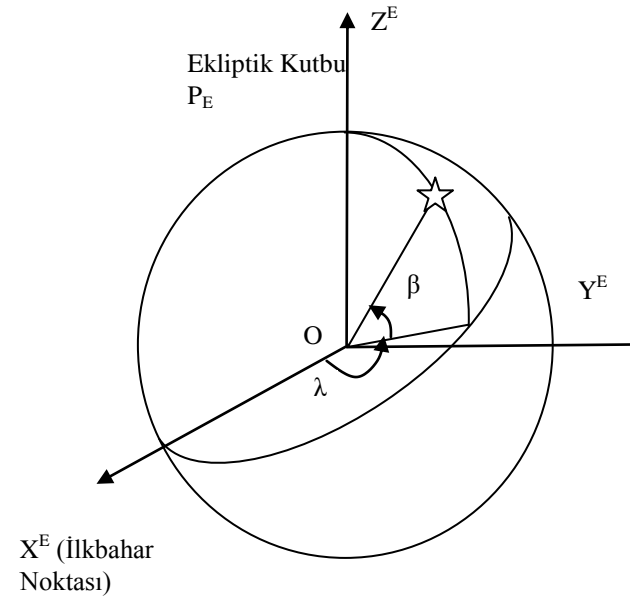
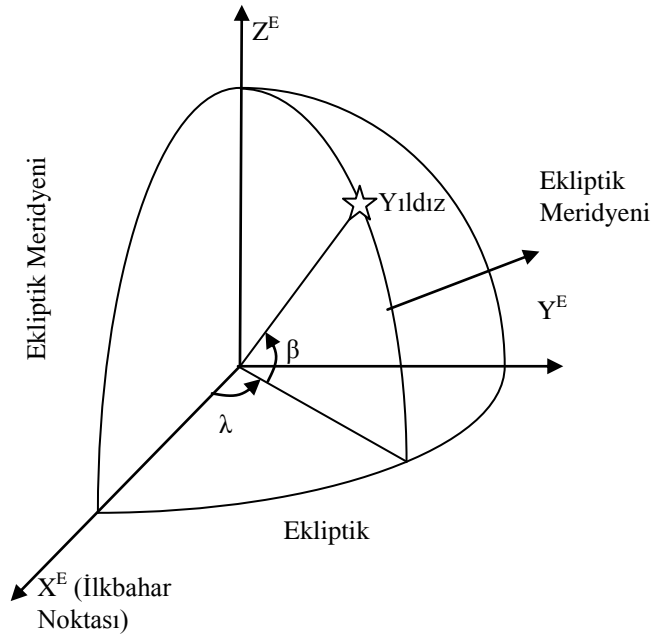
### **Açılım (Rektasazyon) Koordinat Sistemi**

### **Saat Açısı ve Birinci Ekvator Koordinat Sistemleri**

### **Ufuk Koordinat Sistemi**

## 2.1. Ekliptik Koordinat Sistemi

Bu sistem heliosantrik yani orijini güneşin ağırlık merkezi olan bir sistemdir. Koordinat sisteminin birinci ana düzlemi ekliptik düzlemi alınır.  $Z^E$  eksenini, güneşin merkezinde ekliptik düzlemine dik olan pozitif yönü ekliptikten dışa gök küresinin kuzey gök kutbuna dönüktür.  $X^E$  eksenini, güneşin merkezinde  $Z^E$  eksenine dik ve  $\gamma$ -ilkbahar noktasına yöneliktir.  $Y^E$  eksenini ise sağ el kuralına göre bu iki eksene dik olarak yer alır.



Ekliptik koordinat sistemi bir göksel koordinat sistemidir ve aynı zamanda yıldızlara göre hareketsiz olduğu kabul edilebilir. Çok az miktarda dönme hareketi vardır fakat bu hareket çoğu uygulamalar için dikkate alınmayacak kadar küçük olmaktadır.

Ekliptik koordinat sisteminde bir gök cismini koordinat sistemine bağlayan doğrunun ekliptik düzlemiyle yaptığı açı  $\beta^E$  ekliptik enlemi,  $\gamma$ -ilkbahar noktasının meridyeni ile yaptığı açı da  $\lambda^E$  ekliptik boylamıdır.  $\beta^E$  ekliptik enlemi, ( $-90^0 < \beta^E < +90^0$ ),  $\lambda^E$  ekliptik boylamı ( $0^0 < \lambda^E < 360^0$ ) arasında değer alırlar. Her iki açının artış yönü saat ibresinin tersi yönündedir.

Gök küresi üzerinde bulunan bir gök cisminin ekliptik koordinat sistemindeki birim vektörüne ait  $\beta^E$  ekliptik enlemi ve  $\lambda^E$  boylamı bilinmesi halinde dik koordinatları;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_E = \begin{bmatrix} \cos\beta^E \cos\lambda^E \\ \cos\beta^E \sin\lambda^E \\ \sin\beta^E \end{bmatrix}_E$$

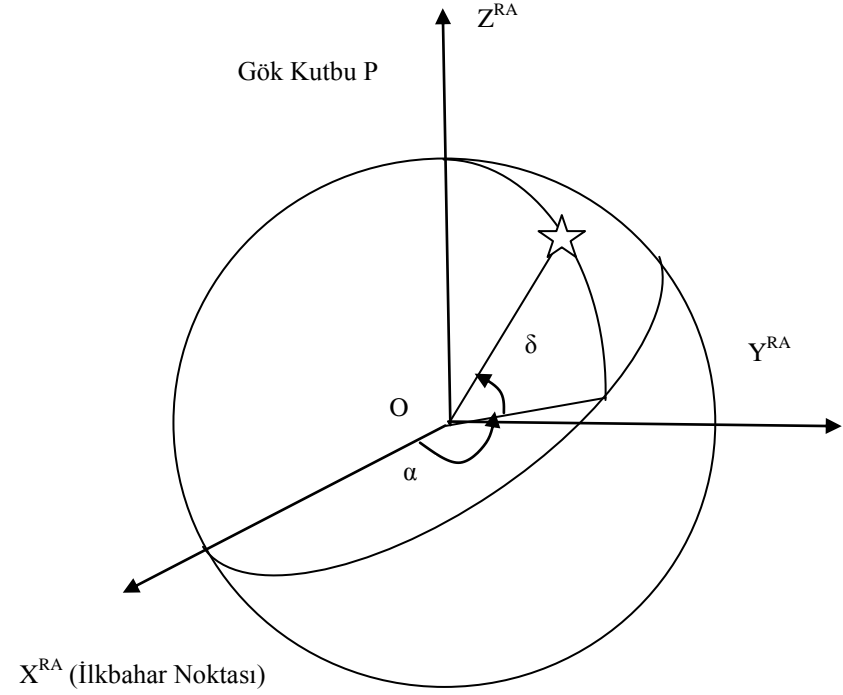
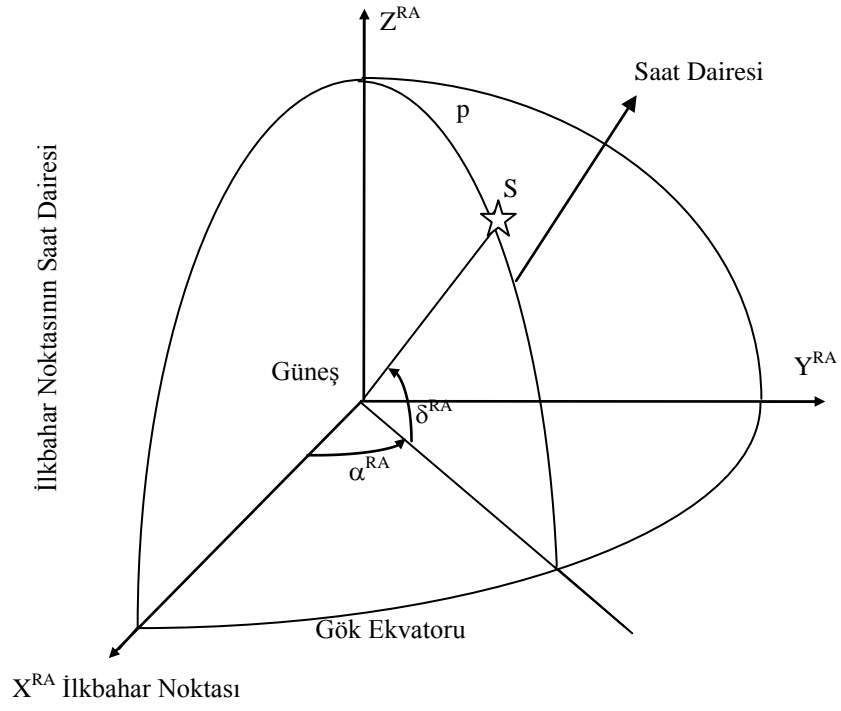
şeklinde elde edilebilir.

## 2.2. Açılım (Rektasazyon) Koordinat Sistemi

Açılım koordinat sistemi heliosantrik yani orijini güneşin ağırlık merkezi olan bir sistemdir.  $Z^{RA}$  eksenine, dünyanın dönme eksenine paralel olarak kuzey gök kutbu yönündedir.  $X^{RA}$  eksenine, gök ekvatoru ile dünyanın üzerinde hareket ettiği ekliptiğin arakesit noktalarından  $\gamma$ -ilkbahar noktasına yöneliktir ve  $Z^{RA}$  eksenine diktir.  $Y^{RA}$  eksenine ise sağ el kuralına göre bu iki eksene dik olarak yer alır. Açılım koordinat sistemi yıldızların ve gezegenlerin koordinatları bu sistemde yayınlandığı için önemli bir koordinat sistemidir. Bu özelliğinden dolayı yersel, göksel ve yörüngesel koordinat sistemleri arasındaki geçişi sağlayan kilit bir koordinat sistemidir.

Açılım koordinat sisteminin ikinci ana düzlemi, gök küresinin kuzey kutup noktası ile  $\gamma$ -ilkbahar noktasından geçen büyük daire yayıdır. Bu yay açılım koordinat sistemi için başlangıç dairesi olarak alınır. Aynı şekilde kuzey kutup noktası ile gök cismi olan yıldızdan geçen büyük daire yayı da saat dairesini oluşturur.





Şekil 9. Açılım koordinat sistemi

Bir gök cisminin bu koordinat sistemindeki konumu, orijin noktasını cisme birleştiren doğrunun ekvator düzleminde  $\gamma$ -ilkbahar noktası ile yaptığı  $\alpha$  rektasazyon açısı ve ekvator düzlemi ile yaptığı meridyen düzlemindeki  $\delta$  deklinasyon açısı ile tanımlanır.

Bu değerlere göre herhangi bir yıldızın birim vektörü aşağıdaki şekilde yazılır.

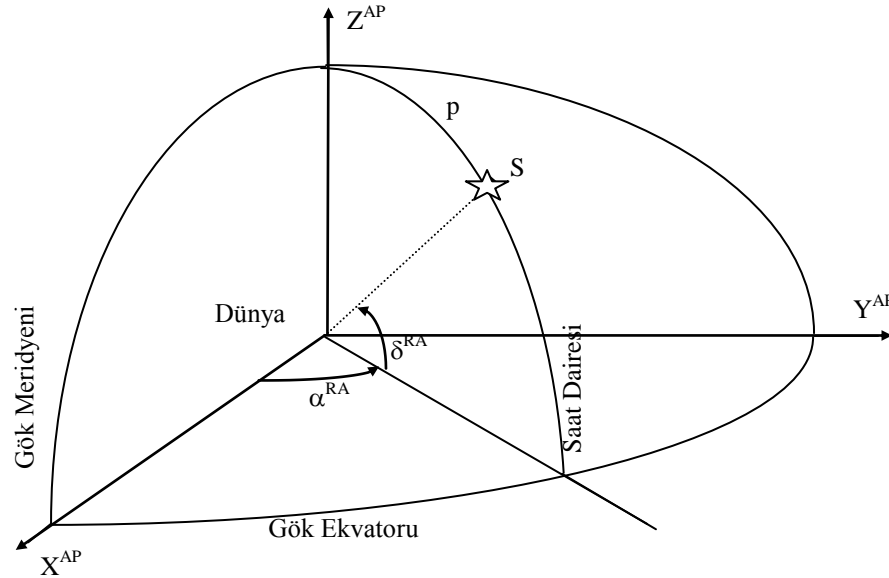
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = \begin{bmatrix} \cos\alpha \cos\delta \\ \sin\alpha \cos\delta \\ \sin\delta \end{bmatrix}_{RA}$$

Koordinat parametreleri Rektasazyon (açılım açısı)  $0^0 < \alpha < 360^0$  ve deklinasyon (yükselem açısı)  $0^h < \delta < 24^h$  arasında değer alır.

Açılım koordinat sistemi ile ekliptik koordinat sistemi arasındaki ilişki gök ekvatorunun ekliptiğe göre eğimi olan  $\varepsilon = 23^0 27'$  ile ifade edilir. Bu iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm ekliptik koordinat sisteminin  $X^E$  koordinat ekseninde  $-\varepsilon$  kadar döndürülmesiyle elde edilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = R_x(-\varepsilon) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varepsilon & -\sin\varepsilon \\ 0 & \sin\varepsilon & \cos\varepsilon \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_E$$

Açılım koordinat sistemi çeşitli nedenlerle farklı başlangıç noktalarında tanımlanabilir. Bunlardan biri de 2. ekvator koordinat sistemidir. Bu koordinat sisteminin ağırlık merkezi dünyanın ağırlık merkezidir ve eksenler açılım koordinat sistemindeki eksenlere paralel olacak şekilde ötelenmiştir.  $Z^{AP}$  eksenini kuzey gök kutbuna,  $X^{AP}$   $\gamma$ -ilkbahar noktasına yöneliktir ve  $Z^{AP}$  eksenine diktir.  $Y^{AP}$  eksenini ise sağ el kuralına göre bu iki eksene dik olarak yer alır.

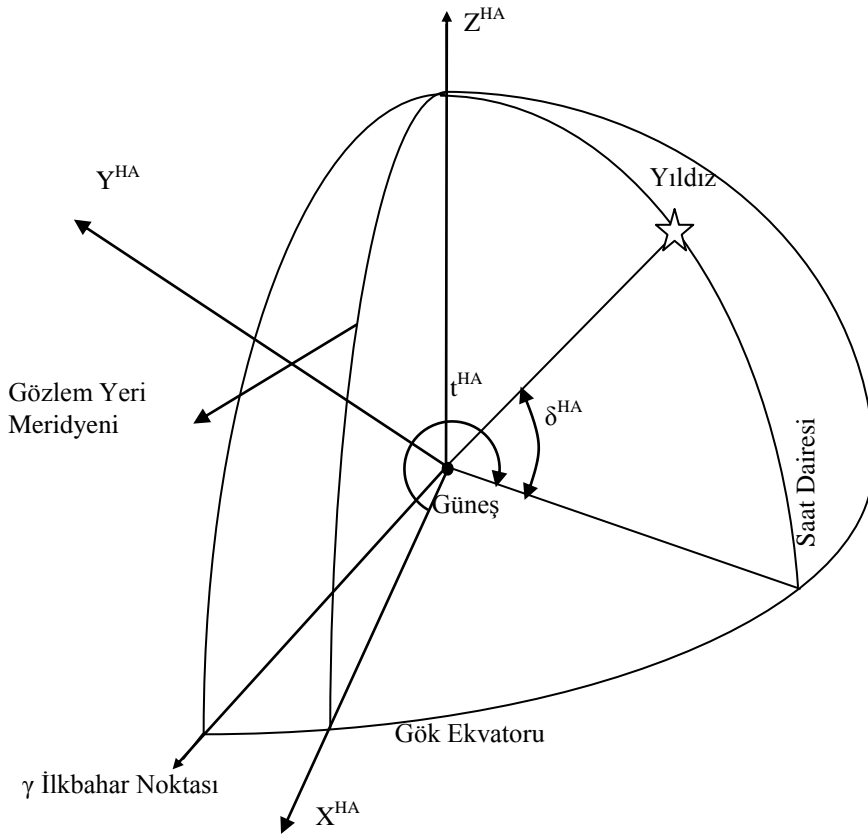


### 2.3. Saat Açısı ve Birinci Ekvator Koordinat Sistemleri

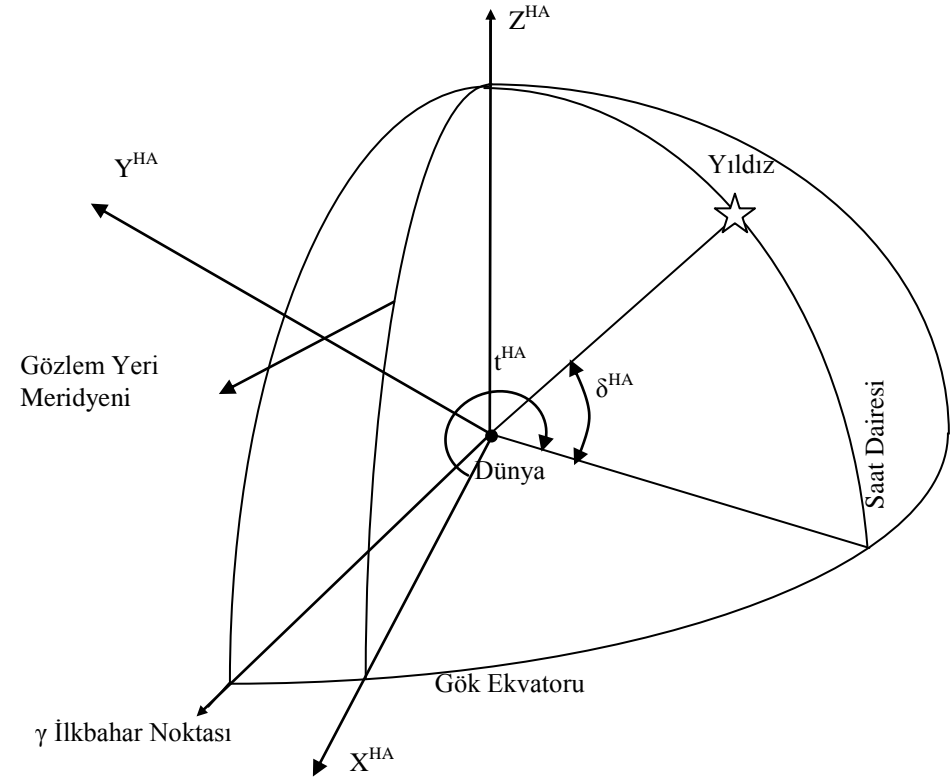
Saat açısı koordinat sistemi daha basit ve anlaşılır olması için orijin noktalarının konumlarına bağlı olarak iki farklı şekilde düşünülerek tanımlanabilir.

Bu sistemlerden ilki, orijin noktası güneşin ağırlık merkezinde olan saat açısı koordinat sistemi, diğeri ise orijini dünyanın ağırlık merkezinde olan 1. ekvator koordinat sistemidir. Bu sistemlerin ikisi de birinci temel koordinat düzlemi olarak gök ekvator düzlemini, İkinci temel düzlem olarak da gözlem yerinin astronomik meridyen düzlemini almaktadır. Hem saat açısı koordinat sisteminin hem de 1. ekvator koordinat sisteminin  $X^{HA}$  eksenini, gök ekvatoru ile gözlem yerinin astronomik meridyeninin oluşturduğu arakesit doğrusudur.  $Z^{HA}$  eksenini, 1. Ekvator koordinat sistemi için dünyanın dönme eksenini, saat açısı koordinat sistemi için de güneşin merkezinde dünyanın dönme eksenine paralel bir doğrudur ve pozitif yönleri kuzey gök kutbuna yönelmiştir. Her iki sistemin  $Y^{HA}$  eksenleri ise diğeri iki eksene dik olan ve sol el kuralına göre uzanan doğrultulardır.

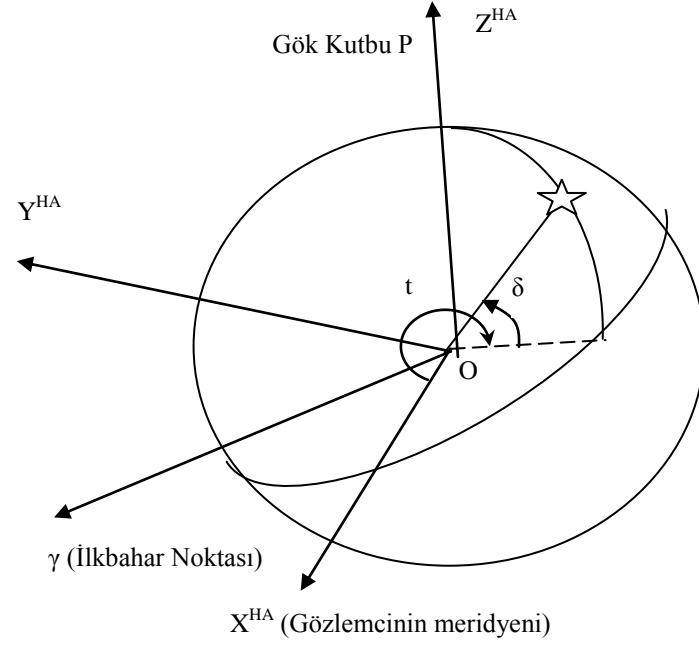
Konum belirlemek için kullanılan t saat açısı; gözlem yeri meridyeni ile yıldızın astronomik meridyeni arasındaki gök ekvator düzlemindeki saat ibresi yönündeki açıdır.  $\delta^{HA}$  deklinasyon değeri ise koordinat sisteminin orjin noktasını yıldıza birleştiren doğru ile ekvator düzlemi arasındaki yıldızın meridyen düzlemindeki açıdır.



Saat Açısı Koordinat Sistemi



1. Ekvator Koordinat Sistemi



Koordinat parametreleri  $0^0 < t < 360^0$  ve  $-90^0 < \delta < +90^0$

Gök küresi üzerinde bulunan bir gök cisminin saat açısı koordinat sistemindeki birim vektörüne ait  $\delta^E$  ve  $t^E$  bilinmesi halinde dik koordinatları;

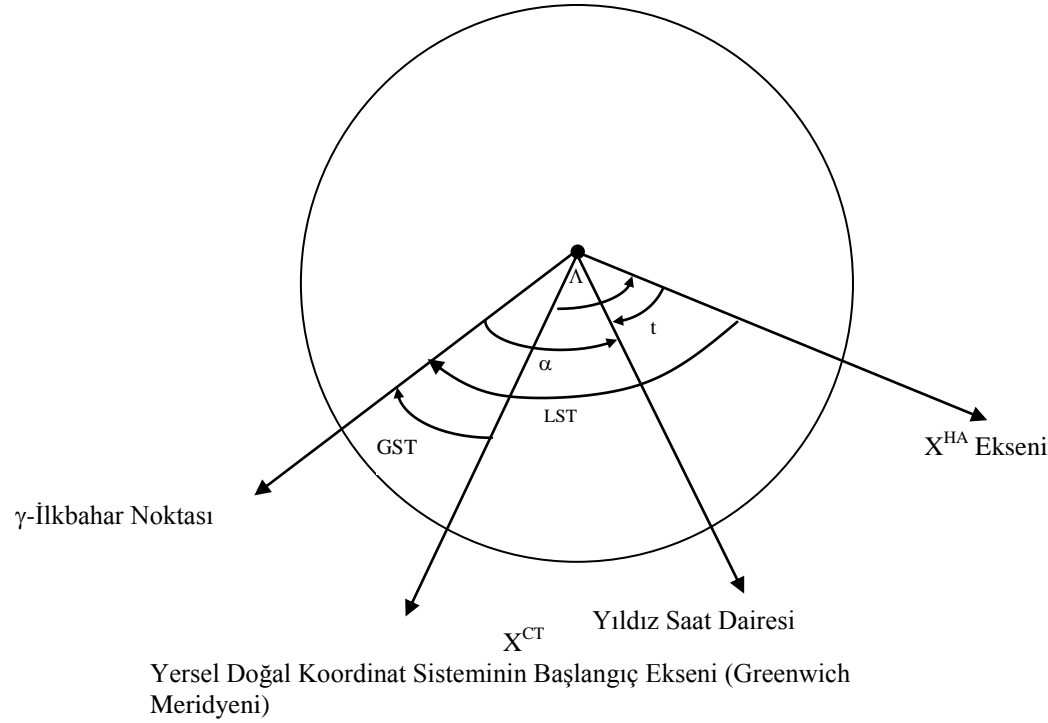
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} = \begin{bmatrix} \text{Cos} \delta^{HA} \text{Cost}^{HA} \\ \text{Cos} \delta^{HA} \text{Sint}^{HA} \\ \text{Sin} \delta^{HA} \end{bmatrix}_{HA} \quad (14)$$

şeklinde elde edilebilir. Tersisi durumundaki çözüm ise şu şekildedir.

$$\delta^{HA} = \text{Sin}^{-1} Z^{HA} = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{Z^{HA}}{\sqrt{X^{HA^2} + Y^{HA^2}}} \right)$$
$$t^{HA} = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{Y^{HA}}{X^{HA}} \right)$$

Burada açıklanan gök küresine ait dört meridyen vardır. İlkbahar noktasından geçen başlangıç meridyeni, Greenwich başlangıç meridyeni, gözlem yeri meridyeni (astronomik meridyen), yıldız yeri meridyeni (saat meridyen dairesi). Bu meridyenlere göre çeşitli koordinat sistemleri tanımlanmakta ve aralarındaki geçiş sağlanmaktadır. Saat açısı koordinat sistemi için üstten bakış durumunda bu meridyenlerin görüntüsü ve aralarındaki ilişki şu şekildedir.

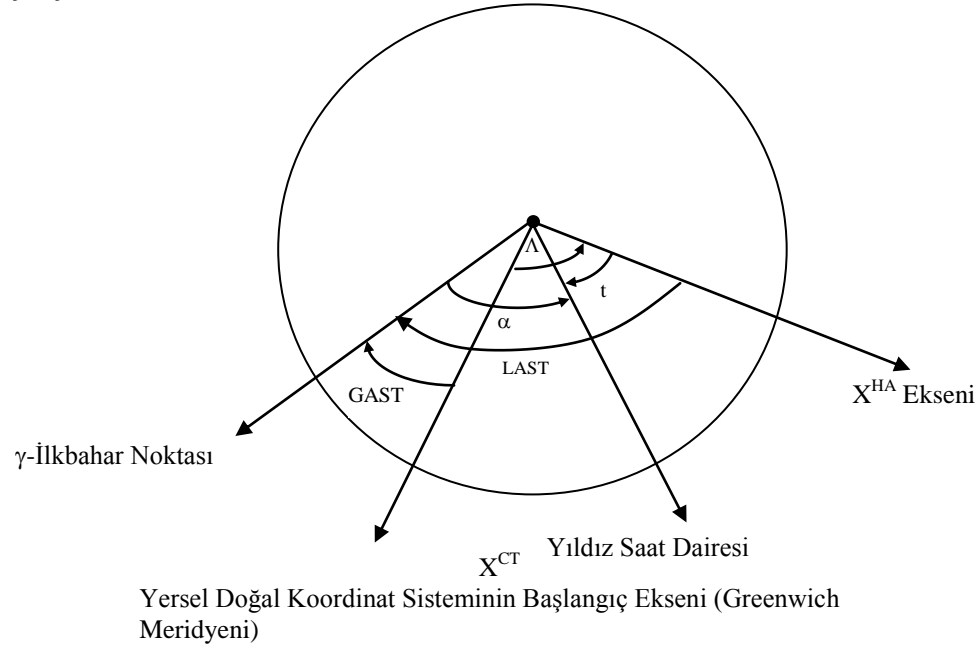
### Saat Açısı Koordinat Sistemi





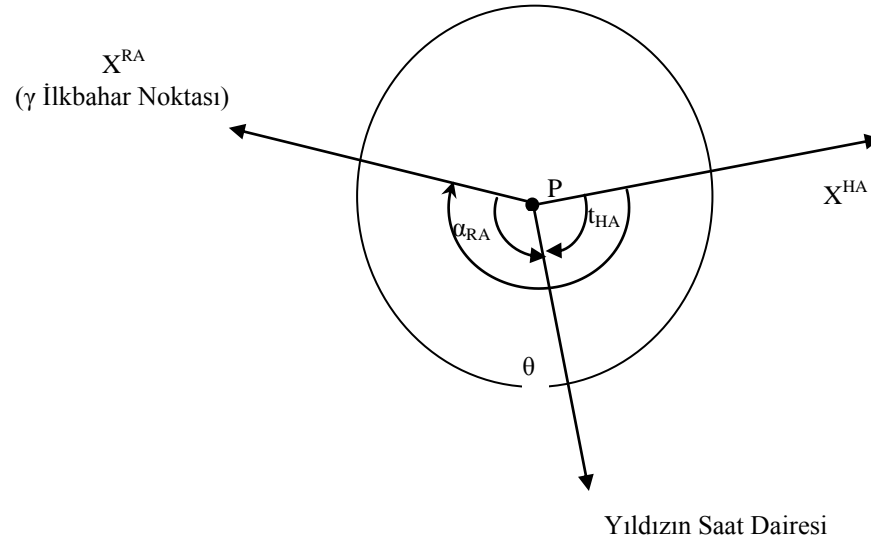
Burada, NCP kuzey gök kutup noktasını, LST (Local Apparent Sideral Time) yerel astronomik yıldız zamanını, GST (Greenwich Apparent Sideral Time) ise başlangıç meridyeninin astronomik yıldız zamanını göstermektedir.

Aynı şekilde 1. Ekvator koordinat sistemi için üstten bakış durumunda bu meridyenlerin görüntüsü ve aralarındaki ilişki şu şekildedir.



Burada, yer merkezli koordinat sistemi için LAST (Local Apparent Sideral Time) yerel astronomik yıldız zamanını, GAST (Greenwich Apparent Sideral Time) ise başlangıç meridyeninin astronomik yıldız zamanını göstermektedir.

### Saat Açısı ve Rektaszyon Sistemleri Arasındaki İlişki



$\alpha_{RA}$  : Rektaszyon Koordinat Sisteminde rektaszyon açısı,

$t_{HA}$  : Saat Açısı Koordinat Sisteminde Saat açısı,

$\theta$  : İlkbahar Noktasından geçen Saat dairesinin saat açısı (yerel yıldız zamanı)

$$\theta = \alpha_{RA} + t_{HA}$$

Buradan herhangi bir anda bir gözlem yerinde ilkbahar noktasının saat açısı yani yerel yıldız zamanı biliniyorsa yıldızın rektasazyon değerinden faydalanarak yıldızın saat açısı  $t_{HA} = \theta - \alpha_{RA}$  eşitliğiyle bulunur. (Yıldızların rektasazyon ve deklinasyon açıları yıldız kataloglarında yayınlanır)

## 2.4. Ufuk Koordinat Sistemi

Ufuk koordinat sisteminin orijini de diğer göksel koordinat sistemleri gibi güneşin ağırlık merkezidir. Bu koordinat sistemi için birinci kutup noktası gözlem yerine ait gravite ekseninin gök küresini deldiği zenit noktasıdır. Orijinden ve zenit noktasından geçen doğrultu  $Z^H$  eksenidir ve artı yönü zenit noktasıdır.  $X^H$  eksenini gözlem noktasından geçen meridyen düzlemi içindeki ve artış yönü kuzey kutup noktasına dönüktür.  $Y^H$  eksenini ise, orijin noktasında her iki eksene dik olan ve sol el kuralına uyan eksenidir.

Ufuk koordinat sisteminde, gök küresinin üzerinde gözlenen bir gök cismini ve zenit noktasını da içinde bulunduran büyük daire, düşey daire olarak adlandırılır. Ufuk düzleminde bu büyük dairenin güneyden batıya saat ibresi yönünde yaptığı  $a$  açısı astronomik azimutu verir. Bir gök cismini  $h$  yükseklik açısı ise sistemin orijini bu gök cismine birleştiren doğrunun ufuk düzlemi ile yaptığı açıdır.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H = \begin{bmatrix} \cos h \cos A \\ \cos h \sin A \\ \sin h \end{bmatrix}_H$$

