



Makale Geliş | Received: 04.04.2026
Makale Kabul | Accepted: 23.07.2026
Yayın Tarihi | Publication Date: 30.09.2026
DOI: DOI: 10.20981/kaygi.1923299

Seçil Özdemir

Dr. | Dr.
Bağımsız Araştırmacı
Independent Researcher
ORCID: 0000-0001-7718-5718
s.secilozdemir@gmail.com

Eudoksos'tan Ptolemaios'a Göklerin Geometrik Kurgulanışı¹

Öz: Geçmişten günümüze değin bütün gök bilimciler, evrenin işleyişine dair büyük bir merak içinde olmuşlardır. Bilinmeyene yönelik süregelen bu arayış, Knidoslu Eudoksos'un, evreni geometrik bir şekilde tasarlamasıyla yeni bir boyut kazanmıştır. Onun *Ortak Merkezli Küreler Modeli* matematik ve geometri temellidir. Eudoksos'un modeli, göklerin sistematik bir kavrayışla irdelenmesi gerektiği düşüncesinin önünü açmıştır. Eudoksos'tan sonra gökler artık geometrik ve matematik unsurlarla açıklanmaya başlanmıştır. Eudoksos her ne kadar evren tasarımı eksiksiz bir şekilde oluşturmaya çalışsa da mevcut sistemde pek çok eksiklik söz konusu olmuştur. Eudoksos ile başlayan geometri temelli evren tasarımı, yine geometri ve matematik ışığında ilerlemeye devam etmiştir. Eudoksos'tan sonra gelen her gök bilimci kendinden önceki gök bilimcilerin eksikliklerini gidermeye çalışmıştır. Aristarkhos, Pontuslu Herakleides ve Ptolemaios Grek dönemindeki önemli gök bilimcilerindendir. Bu gök bilimcilerin her biri Eudoksos'un sistemini kendi düşünce örüntüleri çerçevesinde ele almışlardır. Ptolemaios haricinde diğer gök bilimcileri evreni açıklama noktasında önemli katkılar sunsa da hiçbirinin evren tasarımı Ptolemaios kadar etkin olmamıştır. Ptolemaios'un evren tasarımı yaklaşık on dört yüzyıl boyunca hakimiyetini sürdürmüştür. Bu çalışmada Eudoksos'tan başlayıp, Aristarkhos'un, Pontuslu Herakleides'in ve Ptolemaios'un evren tasarımlarına yer verilecek olup bunun akabinde özellikle Ptolemaios'un evren tasarımının neden bu kadar uzun süre hâkimiyet sürdüğü tartışılacak ve sonrasında değerlendirme ile tamamlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Knidoslu Eudoksos, Aristarkhos, Pontuslu Herakleides, Ptolemaios, Göklerin Geometrisi, Evren Tasarımları.

Geometrical Construction of the Heavens from Eudoxus to Ptolemy

Abstract: All astronomers from the past to the present have had an insatiable curiosity about the universe and an irresistible desire to learn how it works. This ongoing quest for the unknown took on a new dimension with Eudoxus of Cnidus' geometric design of the universe. His model of

¹ "Kant'ın Gökkuramının Bilgikuramsal Temelleri Üzerine Tarihsel Bir Araştırma" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

concentric spheres is based on mathematics and geometry. Eudoxus' model paved the way for the systematic study of the heavens. After Eudoxus, the heavens began to be explained with geometric and mathematical elements. Although Eudoxus tried to create a complete design of the universe, there were many shortcomings in the existing system. The geometry-based design of the universe

that began with Eudoxus continued to progress in the light of geometry and mathematics. Every astronomer who came after Eudoxus tried to remedy the shortcomings of their predecessors. Aristarchus, Heraclides of Pontus, and Ptolemy were important astronomers of the Greek period. Each of these astronomers approached Eudoxus' system within the framework of their own thought patterns. Although the other astronomers, except for Ptolemy, made important contributions to explaining the universe, none of their designs of the universe were as effective as Ptolemy's. Ptolemy's design of the universe remained dominant for approximately fourteen centuries. This study will cover the universe designs of Eudoxus, Aristarchus, Heraclides of Pontus, and Ptolemy, followed by a discussion of why Ptolemy's universe design remained dominant for so long, and will conclude with an evaluation.

Keywords: Eudoxus of Cnidus, Aristarchus, Heraclides of Pontus, Ptolemy, Geometry of the Heavens, Cosmological Models.

Giriş

Evrene dair bilinen ilk açıklama girişimleri kozmogonilerdir. Kozmogoniler astronomik gözlemlerden ziyade, büyük ölçüde insanın dünyevi deneyimlerine dayanmaktadır. Bununla birlikte kozmogoniler bir nevi insanların günlük yaşamlarını anlamlandırmasına olanak sağlaması bakımından ve aynı zamanda insanın varoluşuna anlam katması açısından psikolojik ihtiyaç sonucunda ortaya çıkan açıklama biçimleridir. Söz konusu edilen açıklama biçimi, evreni anlama ve anlamlandırma noktasında bilhassa kadim toplumlardan başlayıp Greklere değin etkisini sürdürmüştür. Hatta MÖ. 300'lere kadar Grek astronomisinin neredeyse tamamen niteliksel olduğunu ve göksel olayların doğru tahmin edilmesine yönelik bir araştırmanın olmadığını söylemek mümkündür. Greklerin bu döngüyü kırması Büyük İskender dönemine tekabül etmektedir. O dönemde yapılan fetihlerle, Babilli astronomların evren üzerine olan görüşlerine vakıf olunmuştur (Linton, 2004, s. 14-15).

Bu etkileşim sadece Babilliler ile sınırlı değildir. Aynı zamanda Greklerin, Mısır toplumuyla olan etkileşimi de kozmogoniye dayalı evren tasarımlarında köklü değişiklikler meydana getirmiştir. Tam da bu noktada değişikliklerin temel unsurlarının neler olduğu ve Grekleri diğer kadim medeniyetlerden ayıran şeyin ne olduğunun yanıtlanması elzemdir. Aslında Babiller, gökyüzü gözlemleri konusunda oldukça önemli gelişmeler kaydetmelerine ve matematiksel olarak düzenlenmiş astronomi kayıtlarına sahip olmalarına karşın, gökyüzünün yapısına ve işleyişine

ilişkin bir teori ileri sürememişlerdir. Ayrıca belirli teknolojik gelişmeler ortaya koymalarına rağmen, doğadaki düzen ve işleyişle ilgili yani olgulara yönelik bir açıklamaları da mevcut değildir. Yukarıdaki satırlarda belirtildiği üzere Grekler de başlarda bu minvalde evren tasarımlarını ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte hem diğer toplumlarla olan etkileşimleri hem de onların kozmopolit yapıda olması, dini ve siyasi olarak da daha özgür bir toplum içerisinde yaşamış olmaları yeni bir döneme kapı aralamış; böylece Grekler zaman içerisinde doğal olan ile doğaüstü ayrımını kavramışlardır. Evrende gerçekleşen her olayın tanrıların keyfiliğinden ziyade, belirli bir düzenliliğin sonucunda olduğunu ve bu durumun insanlar tarafından keşfedilebileceğini düşünmüşlerdir. Söz konusu değişim ve etkileşim, bilginin ve bilgiyi elde etme sürecinin de sistematik hale gelmesine öncülük etmiştir. Bilginin sistematikleşmesi doğal olarak evren tasarımları üzerinde de önemli bir etki yaratmıştır. Şöyle ki Grek düşünürleri artık evreni yahut doğayı, kozmogoni ışığında açıklamak ve anlamak yerine belli bir düzen çerçevesinde işleyen, bütünlüğe sahip bir organizma gibi görmeye başlamış, logosa tabi şekilde anlamaya, anlamlandırmaya ve açıklamaya çalışmışlardır. Doğada bir düzenlilik olduğu müddetçe, bilgi edinmenin mümkün olabileceğinin farkına varan Grekler, bilimi de bu minvalde inşa etmeye girişmişlerdir. Bu anlayış Grek düşünce dünyasında, bilginin sistematik olarak ele alınması gerektiğine yönelik bir kavrayış oluşturmuştur. Öyle ki önceleri gök gürlemesi, yıldırım düşmesi, fırtına ya da heyelan gibi pek çok doğa olayı Tanrılara bağlanırken, Grekler artık bu doğa olaylarının ardındaki nedenleri sorgulamaya ve doğanın gizlerini anlamaya çalışmışlardır. Nihayetinde doğada olup biten her şeyin doğa yasaları doğrultusunda açıklanması gerektiğini idrak etmişlerdir. Onların bu tutumu, kendilerinden önceki medeniyetler ile kendi medeniyetleri arasında kavrayış bakımından keskin bir ayrıma neden olmuştur. Böylece mitos ile logos ayrımı zorunlu hale gelmiştir. Mitolojiye dayalı söylemlerin ötesine geçilerek, doğanın ilkelerle izah edilmeye çalışılması ve teorilerin de gözlem ve deneye açık olması gerektiği düşüncesi, yani doğanın gözlemlenecek, açıklanabilecek ve anlaşılabilir bir yapıda olduğunun

ortaya konulması, düşünce tarihinde önemli bir dönüm noktası olmuş (Gregory, 2005, s. 18-23) ve doğanın bu şekilde tanımlanması, mevcut evren tasarımlarının da sorgulanmasına neden olmuştur. Şunu da belirtmek gerekir ki bu köklü değişim ve sorgulayış sadece toplumlar arası etkileşimin bir sonucu değildir; temelde matematiğin ve geometrinin gelişmesine koşut olarak gerçekleşmiştir.

Şöyle ki geometrinin gelişmesi yeryüzünün boyutunun ve biçiminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Geometrinin erken tarihinde yer alan Pythagoras (MÖ 570-495) ve Eukleides (yaklaşık MÖ 300'lerde) bu girişime öncülük etmiş düşünürlerdir. Bilhassa Eukleides, *Elementler* adlı eserinde üçgen, dörtgen ve çember yaylarını ayrıntılı incelemiş ve üç boyutlu geometrinin olanaklılığını tanıtlama yöntemiyle ve tümdengelimli akıl yürütmeye önermeler aracılığıyla göstermiştir (Osserman, 2005, s. 3-5).

Görüldüğü üzere hem toplumsal hem de bilimsel gelişmeler akabinde yeni bir evren tasarımının gerekliliği hasıl olmuştur. Bu yeni evren tasarımını yani matematik ve geometri temelleri üzerinden evreni açıklama girişimini ilk başlatan kişi ise Knidoslu Eudoksos'tur (Yak. MÖ. 408-355). Eudoksos'un başlattığı geometri temelli Yer merkezli evren tasarımı Ptolemaios'a kadar bazı değişiklikler barındırsa da temelde geçerliliğini sürdürmüştür. Bu çalışmada Knidoslu Eudoksos'tan başlayıp, Aristarkhos (Yak. MÖ. 310-230), Pontuslu Herakleides (MÖ. 390-322) ve Ptolemaios'un (MÖ. 367-283) evren tasarımlarına yer verilmiş olup, geometrinin evren tasarımlarını nasıl şekillendirdiği üzerinde durulmuştur.

1. Knidoslu Eudoksos'un Gök Kuramı

Knidoslu Eudoksos, matematiğin birçok alanında önemli katkılar yapmış Grek düşünürlerindendir. Orantı teorisi üzerine çalışmalar yürüten Eudoksos'un, küre ve koni gibi katı cisimlerin hacmini hesaplamak için geliştirdiği tüketme yöntemi, günümüzde "integral" olarak bilinen hesaplama yönteminin öncüsü olarak görülmektedir. Ayrıca öne sürdüğü Ortak Merkezli Küreler Modeli ile hem bilimsel

astronominin öncülüğünü yapmış hem de Grek astronomisine geometrik bir nitelik kazandırmıştır (Tekeli, ve diğerleri, 2021, s. 61).

Eudoksos'un, Ortak Merkezli Küreler Modeli'nin detaylarına geçmeden önce bazı bilgilere yer vermek gerekmektedir. Yer'in şeklinin küre olduğunu ilk dile getirenler, Pythagorasçılardı. Pythagoras'ın takipçileri tarafından öne sürülen kürenin "mükemmel" bir biçime sahip olduğu fikri, doğa felsefesi üzerinde çalışanların kısa sürede dikkatini çekmişti. Geometri bilgisine verdiği önemle bilinen Platon, kendi evren tasarımı bu küreyi farklı renklere sahip, 12 beşgenden yapılmış bir topa benzeterek, geometrik bir tasarım ortaya koymuştu. Aristoteles ise Ay tutulmaları üzerinden Yer'in şeklinin küre olduğunu kanıtlamaya çalışmıştı. Tüm bu girişimler ve bilgiler Eudoksos'un matematik bilgisi ve gözlemleriyle birleşince, Ortak Merkezli Küreler Modeli ortaya çıkmıştır. Eudoksos'un evren tasarımı aslında, Platon'dan kendisine miras kalan bazı sorunların çözümü üzerineydi. Gök cisimlerinin hareketleri nasıldır? Bu hareketler düzenli midir? Yörünge hareketlerinin şekli daire midir? Tüm bu ve buna benzer sorular, "görünüşü kurtarmak" ya da "görünen şeyleri muhafaza etmek" (diasōthēnai ta phainomena)² başlığıyla ifade edilen bu problemin yanıtlanmasına bağlıydı. Eudoksos, *Hızlar Üzerine* (Peri Takhōn) adlı eserinde önerdiği çözümle bu problemlere yanıt aramaya çalışmıştır. Nihayetinde vardığı sonuçlar şunlardır: Yer merkezdedir. Güneş, Ay, gezegenler ve sabit yıldızların her biri ortak merkezli kürelere bağlıdır. Ay, Güneş ve bilinen beş gezegen (Venüs, Merkür, Mars, Jüpiter, Satürn) hareketsiz Yer'in etrafında dönmektedir. Eudoksos' un "görünüşü kurtarmak" adına en önemli başarılarından biri yeryüzündeki bir gözlemcinin değil

² "Platon gök cisimlerinin dairesel, tek tip ve daima düzenli bir hareketle devindiğini ilkece kabul eder ve buradan hareketle matematikçilere şu soruyu sorar: Gezegenlerin sergilediği görünüşleri kurtarmayı amaçlayan, hipotez sayılmaya uygun dairesel, tek tip ve kusursuzca düzenli hareketler nelerdir?" Buradaki amaç, her gezegenin devinimini gezegene ilişkin gözlem verilerinin uygun olması koşuluyla dairesel ve tek tip hareketlerle, geometrik olarak inşa etmektir. Bu sağlandığında hipotezler görünüşleri kurtarmış olacaktır. Pierre Duhem, *Görünüşleri Kurtarmak Platon'dan Galileo'ya, Fizik Kuramı Fikri Üzerine Bir Deneme* Çev. Oylum Bülbül (İstanbul: Fol Kitap, 2024), s. 13-14.

de adeta dışarıdan bir gözlemcinin gözünden, Dünya'nın nasıl görüldüğüne yönelik yapmış olduğu çıkarımdır. Tamamıyla geometri bilgisi ve gökyüzü gözlemleri neticesinde oluşturulan bu tasarım, ana çemberleri, ekvatoru, dönenceleri, görünen ve görünmeyen kutup çemberlerini, iki gün dönümünden geçen gök çemberlerinin tam yerlerini belirliyordu (Gören, 2024, s. 36-37).

Ortak Merkezli Küreler Modeli, sayesinde bazı gök cisimlerinin belirli bir süre sonra nerede bulunacağını matematiksel olarak tespit etmek olanaklı olmuştur. Aslında düzgün bir biçimde devinen yıldızların konumlarını önceden belirlemek kolay olmasına karşın, aynı durum bütün gezegenler için geçerli değildir. Bazı gezegenler belirli bir doğrultuda giderken, bir ara durup ve daha sonra geriye dönerek periyotlarını tamamlayabilmektedir. Periyotlarını tamamladıklarında ise ortaya sekizi andırır bir eğri çıkmaktadır. Bu eğriyi *hippopede* -yani atkösteği- olarak adlandırmış olan Eudoksos'a göre, gezegenlerin böyle bir yörüngede dolanıyormuş gibi görünmelerini sağlamak için dairesel hareketleri birleştiren geometrik ve kinematik bir modelden yararlanmak gerekmektedir. Ancak bu şekilde "görüntüyü kurtarmak" mümkün olabilecektir (Tekeli, ve diğerleri, 2021, s. 61). Şöyle ki: "Bir kürenin üzerinde bulunan bir gezegen, bu kürenin eksenlerinden birisi üzerinde dolanırken, merkezdeki Yer'in çevresinde daire çizer. Eğer kürenin ekseni, başka bir eksen çevresinde dönmekte olan ikinci bir küreye bağlıysa, çizeceği yörünge, bir daire değil, bu iki kürenin hareketlerinin bir bileşkesi olacaktır; küreleri arttırmak suretiyle oluşan bileşke hareketleri, gezegenlerin gökyüzündeki hareketleriyle uyuşturmak olanaklıdır" (Özdemir, 2025, s. 147-148). Eudoksos, her basit hareket için, merkezi Yer olan bir küre tayin etmiş ve tasarladığı bu sistem ile ortak merkezli kürelerin sayısını yirmi yediye çıkarmıştır (Mason, 2001, s. 30-31). Bunlardan biri sabit yıldızların, üçü Ay'ın, üçü ise Güneş'in hareketlerini açıklamak adınadır. Geriye kalan yirmi küre, gezegen başına dört adet olmak üzere beş gezegenin hareketini açıklamak için kullanılmıştır. Kürelerin sıralanış şekli şöyledir: Merkeze aldığı Yer'in üzerinde olan Ay, Güneş, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn'dür. Son olarak da en dışta

yer alan sabit yıldızlar vardır (Tekeli, ve diğerleri, 2021, s. 61). Böylece ilk defa gökyüzü görünüşleri, geometrik bir modelle anlamlandırılmış olmuştur.

Buna karşın Ortak Merkezli Küreler Modeli, hem çok sayıda küre içermesinden dolayı hem de tüm gezegenlerin hareketlerini kapsayıcı bir şekilde açıklayamamasından mütevellit yetersiz olarak görülse de geometrik bir tasarım olması açısından diğer bilim insanlarına iyi bir örnek olmuştur.

2. Aristarkhos'un Gök Kuramı

Gözlem verileri artmaya başladıkça Eudoksos'un Ortak Merkezli Küreler Modeli'ndeki eksiklikler ortaya çıkmaya başlamıştı. Yer merkezli düzgün dairesel devinim, bazı gök cisimlerinin hareketlerini açıklamada yetersiz kalmaktaydı. Bu problemi aşmak adına Eudoksos'un öğrencisi Callipus (MÖ. 325'ler) gök cisimlerinin her biri için birer küre daha ekleyip küre sayısını 34'e çıkarmıştı. Aynı minvalde hareket eden Aristoteles ise sisteme yirmi iki küre daha eklemişti. Bununla birlikte Ortak Merkezli Küreler Modeli içinden çıkılamayacak denli karmaşık bir hale bürünmüştü (Mason, 2001, s. 31). Bu noktada Sisamlı Aristarkhos dikkat çekici bir evren tasarımı öne sürmüş ve bu yeni evren tasarımında, Güneş'i evrenin merkezine yerleştirmiştir. Yer de dahil olmak üzere diğer beş gezegenin onun etrafında dairesel yörüngelerde devinimlerini tamamladığını ileri sürmüştür.

Bu bağlamda Aristarkhos'un Güneş Merkezli Evren Modeli'nin ana hatlarını ortaya koyduğu *Güneş ve Ay'ın Uzaklıkları ve Büyüklükleri* eserinde ifade etmiş olduğu önermeler şunlardır:

- "1. Ay ışığını Güneşten alır.
2. Yer, Ay'ın hareket ettiği küreye bir nokta ve merkezle orantılı olduğundan Yer, Ay küresinin merkezindedir.
3. Ay bize ikiye bölünmüş görüldüğünde -yani yarımay olduğunda-, Ay'ın karanlık ve aydınlık kısımlarını ayıran büyük daire gözümüzün yönündedir.
4. Ay bize ikiye bölünmüş görüldüğünde, Güneş'ten uzaklığı bir çeyrek dairenin otuzda birinden daha azdır. Yarımay zamanında, Ay'ın Güneş'e olan uzaklığı 87 derecedir.
5. Yer'in gölgesinin genişliği, tutulma zamanının iki Ay çapı kadardır.

6. Ay'ın çapı 2 derecedir" (Heath, 2014, s. 306).

Aristarkhos, bu önermeleri oranlamayla elde etmiştir ve bu saptama yöntemi avantajların yanı sıra bazı sorunlara da neden olmuştur. Aristarkhos'un zamanında, standart bir mesafe ölçüsünün olmayışı, genellikle adım gibi biyolojik bir birime dayanan yerel bir ölçü kullanılması, mesafe birimlerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesini zorlaştırmasının yanında astronomik mesafelerin eksiksiz ve doğru bir şekilde ölçülmesini de imkânsız kılmıştır. Şöyle ki bir gök cismi ile diğeri arasındaki mesafe, o zamanlar yalnızca mesafelerin karşılaştırılmasıyla, yani bir orana referansla bilinmekteydi. Bu durum, gezegenlerin hesaplamalarında yer alan mesafeleri anlamada zorluk yaratmıştır (Wall, 2018, s. 5).

Aristarkhos bu zorluğa rağmen hem Güneş'in hem de Yer'in çapını ölçmeye çalışmıştır. O dönemlerde Güneş'in çapı göreceli bir ölçü olsa da Yer'in çapı nicel bir değer olarak hesaplanmaktaydı. Hoyle'nin aktarımına göre, muhtemelen bu ölçüm eski Grek aletlerinden nişangahla gerçekleştirilmiştir. Büyük olasılıkla tahtadan yapılmış bir asa ve üzerinde bir ölçek ve yuvarlak bir disk içeren aletin, bir ucundan bakıp diski Güneş'i tam olarak örtene kadar hareket ettirerek göreceli bir çap belirlemek mümkündür. Geometrik olarak Yer'den Güneş'e olan mesafe hesaplanırsa, Güneş'in çapını belirlemek nispeten kolay bir adım olurdu (Wall, 2018, s. 6).

Geometrik hesaplamalar ışığında hareket eden Aristarkhos, Güneş Sistemi'nin gerçek ölçeğini belirlemek için önemli çalışmalar yapmış; Ay'a Yer'den bakıldığında yüzeyinin yarısı Güneş tarafından aydınlatılırken, diğer yarısı karanlıksa Güneş, Yer ve Ay arasında dik açılı bir üçgen oluşacağını belirtmiştir. Böylece Güneş Yer Ay (GYA) açısı ile Ay Güneş Yer (AGY) açısı artık basit bir geometrik hesaplama haline gelmiştir. Eğer Ay'ın mutlak uzaklığı tespit edilebiliyorsa Güneş'in uzaklığı da kolayca saptanabilirdi. Ay'ın uzaklığını belirlemek nispeten kolaydı. Örneğin, Ay tutulması sırasında yapılabilirdi. Yer'in gölgesinin Ay'ın üzerinden geçerken kenarının her zaman dairesel olduğu daha önce bilinmekteydi. Bu dairenin görünen yarıçapını Ay'ın görünen yarıçapıyla

karşılaştırarak, Yer'in yarıçapının Ay'ın yarıçapına oranı bulunabilirdi. Bu oran ve Ay'ın görünen açısal çapı bilindiğinde, Ay'ın uzaklığı Yer'in yarıçapı cinsinden hesaplanabilirdi. Aristarkhos bu hesaplamayla, Güneş'in uzaklığının Ay'ın uzaklığına oranını belirlemiştir. Bunun yaklaşık 87° olduğunu ve bu ölçüme dayanarak, Güneş'in Ay'dan yaklaşık yirmi kat daha uzakta olduğunu göstermiştir (Hoyle, 1962, s. 89).

Aynı yöntemle Ay'ın ve Güneş'in Yer'e olan uzaklığını, bilinen tüm gezegenlerin yörüngelerinin yarıçaplarını, Güneş'in Yer'e olan uzaklığı cinsinden hesaplayabilmiştir. Aristarkhos, Güneş'in uzaklığını yaklaşık dört veya beş milyon mil olarak tespit etmiştir. Bu değer, günümüzdeki bilinen hesaplamadan çok uzak olsa da Güneş sisteminin genel büyüklük sırasını belirlemede oldukça faydalı olmuştur. Aristarkhos'un kullandığı yöntemdeki en büyük engel, elbette Ay'ın karelenme anının tam olarak hesaplanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu da Ay'ın şeklinin tam olarak küresel olmamasından kaynaklanmaktadır (Hoyle, 1962, s. 90).

Aristarkhos, dönemi açısından değerlendirildiğinde başarılı bir hesaplama yöntemi olsa da o zamanlarda trigonometri ve kiriş hesabı bilinmediğinden dolayı bazı hesaplamaları günümüzdeki değerlerden farklı çıkmıştır. Aristarkhos yukarıda sözü edilen hesaplamalara, Ay'ın yarısının aydınlık olduğu zamanlarda Güneş'in açısını gözlemleyerek ulaşmıştır. Bu yöntemle Güneş ile Ay arasındaki açıyı doğru bir şekilde ölçmek gözlem araçlarının yetersizliğinden dolayı mümkün olamamıştır. Güneş'in Yer'e olan uzaklığının, Ay'ın Yer'e olan uzaklığından sadece 18-20 katı olduğu sonucuna varmış olmasına karşın bugün ki veriler 400 katına yakın olduğunu göstermektedir (Ronan, 2003, s. 129-130) (Topdemir & Unat, 2018, s. 42). Muhtemelen Aristarkhos, epicycle ve eksantrik dairenin eşdeğerliğini fark etmiş, bir dış gezegen hareketiyle de hipotezini desteklemeye çalışmıştır (Hoyle, 1962, s. 88).

Her ne kadar Aristarkhos'un Güneş Merkezli Evren Modeli döneminde büyük bir etki yaratmamış olsa da gelecek yüzyıllarda bu evren tasarımı, Kopernik tarafından yeniden gündeme getirilecek ve düşünce dünyasında bir devrime yol

açacaktır. Bununla birlikte göklerde olup bitenlerin izah edilmesi adına öne sürülmüş olan Yer veya Güneş merkezli modellerden hiçbirini diğerini gölgede bırakacak denli başat bir rol oynamamaktaydı. Her iki kuramın da kendine göre bazı üstün tarafları olsa da geometrik model olmalarının ötesinde fizik temelli bir açıklama sunmakta yeterli değillerdi. Bu yetersizlikte, evreni anlama ve açıklama noktasında kesinlik arayışı devam ettiğinden dolayı yeni model arayışı gündemde yerini korumaktaydı. Bu arayış neticesinde Pontuslu Herakleides de mevcut evren tasarımlarını uzlaştırmaya çalışmıştır

3. Pontuslu Herakleides'in Gök Kuramı

MÖ. 4. yüzyıllarda, Merkür'ün (29 derece) ve Venüs'ün (47 dereceden daha çok olamamak koşuluyla) Güneş'ten uzaklıkları tespit edilmiş olup, bu gezegenlere sabah yıldızı yahut akşam yıldızı adı verildiği; aynı zamanda Mars, Jüpiter ve Satürn'ün, Güneş'ten herhangi bir açısal uzaklıkta gözlenebileceği bilinmekteydi. Bununla birlikte genel kabulü temsil eden Eudoksos'un sistemi, gök cisimlerini Yer merkezli dairesel bir yörünge üzerinde belirli hızlarla devineceğini öne sürmesi nedeniyle sınırlıydı. Ayrıca Merkür ve Venüs'ün Güneş'in altında mı yoksa üzerinde mi konumlandırılacağı meselesi de aydınlatılmış değildi. Pontuslu Herakleides, bu problemi çözmeye çalışmış ve iç gezegen olarak bilinen Merkür'ün ve Venüs'ün Güneş'ten hiçbir zaman uzaklaşmadıkları bilgisinden hareketle, bu gezegenlerin Güneş'in etrafında dairesel yörüngelerde devindikleri savını ileri sürmüştür. Bu bağlamda gezegenlerin daha öncesinde açıklanamayan parlaklıklarındaki değişimleri açıklamaya çalışmıştır. Bununla birlikte Mars, Jüpiter ve Satürn, merkezleri olan Yer'in etrafında dolanırken, Merkür ve Venüs'ün, doğrudan doğruya Güneşin, ardı sıra Yer'in etrafında dolanan gezegenler olduğunu ileri sürmüştür (Mason, 2001, s. 31) (Unat, 2013, s. 37) (Grant, 1986, s. 7-9).

Herakleides bu evren tasarımını oluştururken, Philolaus ve Hiketas tarafından gündeme getirilen Yer'in hareketine ilişkin bilgilere itibar etmiş, Yer'in kendi etrafında döndüğünü kabul etmiştir. Ayrıca Herakleides'in evren tasarımında,

çağdaşı Ecphantus'un da etkisi vardır. Yer'in evrenin merkezinde bulunduğunu ve kendi etrafında döndüğünü dile getirdiği savından etkilenen Herakleides, Yer'i sonsuz evrenin merkezine yerleştirmiştir (Unat, 2013, s. 37-38).

Sınırsız bir kozmosta, bazı yıldızların Yer'den çok uzakta olması olasıdır. Böyle bir durumda Yer, merkez olarak alınırsa ve bu yıldızların Yer'in etrafında hareket ettiği varsayılırsa onların devinimlerini tamamlamaları için çok hızlı hareket etmeleri gerekir. Bu düşünce sağduyudan bir hayli uzaktır. Bunun yerine Yer'in kendi etrafında hareket ettiğini varsaymak daha makul bir seçenek olduğundan, Pontuslu Herakleides sınırsız bir kozmosta, Yer'in merkezde olduğunu ve dairesel bir yörüngede döndüğünü, gökyüzünün ise sabit kaldığını varsayarak, gözlemlenen olayları açıklamaya çalışmıştır. Buna karşın Pontuslu Heraklides'in varsaydığı gibi gök cisimleri hareketsizken Yer, kendi merkezi etrafında dönseydi, batıya doğru dönme hipotezine göre yıldızlar oradan doğardı. Doğuya doğru dönme hipotezine göre Yer, ekvatorun kutupları etrafında dönseydi, Güneş ve diğer gezegenler ufkun farklı noktalarından doğmazdı. Eğer Yer, zodyakın kutupları etrafında dönseydi, sabit yıldızlar her zaman şimdiki gibi aynı noktalardan doğmazdı. Burada şöyle bir problem hasıl olmuştur: Yer ister ekvatorun kutupları isterse zodyakın etrafında dönsün her hâlükârda, gök cisimleri hareketsizken gezegenlerin ardışık burçlara doğru hareketin nasıl sağlanacağı sorun teşkil etmektedir. Hem Pontuslu Heraklides hem de Aristarkhos gökyüzü ve yıldızlar sabit kalsa bile, Yer'in ekvatorun kutupları etrafında batıdan hareket ederek günde neredeyse bir tur dönmesi durumunda bu fenomenin açıklanabileceğini düşünmüştür. Bu probleme istinaden Herakleides Venüs ve Merkür'ün hem Güneş'in hem de Yer'in etrafında hareket ettiğini dile getirmiştir. Herakleides'in dönemine kadar böyle bir öneri ortaya konulmamıştı (Keyser, 2009, s. 212-214).

Pontuslu Herakleides'in evren tasarımı gökyüzünde gerçekleşen bazı hareketleri açıklamak adına iyi bir geometrik model gibi görünse de bazı zorlukları da peşinden getirmiştir. Bu zorluklardan belki de en önemlisi, sonraki dönemlerde astronomları gök cisimlerinin hareketini açıklamak adına giderek artan sayıda

küreye mahkûm etmiş olmasıydı (Topdemir, 2021, s. 78). Bununla birlikte Merkür ve Venüs'ün hem sabah yıldızı-akşam yıldızı olarak görünmeleri hem de Güneş'ten uzaklaşmamaları meselesi Herakleides'in evren tasarımı ile tam olarak izah edilememektedir.

4. Ptolemios'un Gök Kuramı

Görüldüğü üzere ileri sürülen evren tasarımları göklerdeki hareketlere ilişkin bazı problemlere çözüm bulsa da bazı problemler hala geçerliliğini korumaktaydı. Yukarıdaki satırlarda dile getirilen problemlere yanıt aramaya çalışan düşünürlerden biri de Ptolemaios'tur. Ptolemaios'un evren tasarımının detaylarına değinmeden önce bazı hususların aydınlatılması elzemdir. Onun yüzyıllar süren başarısı sadece kendisinin ortaya koyduğu yeni bir sistemin sonucu değildir. Özellikle burç takım yıldızlarının kataloglanması gibi birçok astronomi bilgisinin kaynağı Mısır ve Mezopotamya gibi uygarlıklara dayanmaktadır. Ptolemaios'un astronomiye dair bilgisinin oluşmasında ve gelişmesinde Babil uygarlığından öğrenilen bilgilerin etkisi büyüktür. Bunun sonucunda denilebilir ki o, geçmişin bilgi birikimini hem çok iyi özümsemiş hem de sentezlemiştir. İşte onun ünlü eseri olan *Almagest* böyle bir düşünce ve bilgi birikimi sonucunda ortaya çıkmıştır (Evans, 1998, s. 22-23) (Ronan, 2003, s. 132).

Bu önemli eser, Greklerin matematiksel astronomisinin on üç kitaba bölünmüş eksiksiz bir ifadesidir. İlk iki kitap, çalışmanın dayandığı varsayımlar ve matematiksel yöntemlerle ilgilidir. Kitap III ve IV sırasıyla Güneş'in ve Ay'ın hareketi üzerinedir. Kitap V daha gelişmiş bir Ay teorisi ve usturlap yapımına dair bir tartışmayı içerir. Kitap VI, tutulmalara yönelik teoriyi kapsar. Kitap VII ve VIII genel hatlarıyla yıldız kataloglama üzerinedir. Son olarak IX-XIII kitaplar gezegen hareketlerini ele almıştır. Kitaplar arasındaki geçiş mantık çerçevesinde olup, her kitap yalnızca kendinden öncekilere bağlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm bu bağlamlar neticesinde *Almagest*, Antik çağın sonlarına doğru astronomi konusunda standart ders kitabı haline gelmiş ve bin yıldan fazla bir süre de geçerliliğini

koruyarak, düşün tarihi içerisinde klasik bir eser olarak anılmıştır. Ptolemaios eserinde, kendi sisteminin herhangi bir fiziksel yorumundan bahsetmemiştir. Onun amacı sadece göksel fenomenleri tamamen kinematik hipotezlerle açıklamaktır. O bu tutumunu daha sonra kaleme alacağı *Gezegensel Hipotezler* adlı eserinde de sürdürmüştür. Buna karşın ünlü gök bilimci, evrenin merkezinde sabit bir Yer seçimini haklı çıkarmak için fiziksel argümanlar kullanmıştır. Göklerin günlük dönüşünü, Herakleides'in savunduğu gibi dönen bir Yer aracılığıyla açıklanabileceğini fark etmesine rağmen, bu düşüncenin Aristoteles fiziğiyle çelişeceği gerekçesiyle göz ardı etmiştir (Linton, 2004, s. 63-64).

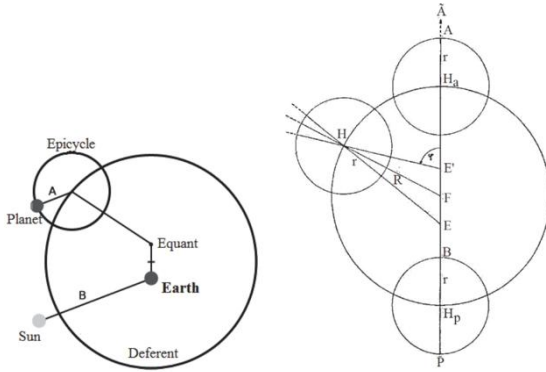
Ptolemaios için “fiziksel ve dünyevi şeyler değişebilen, bozulabilen unsurları barındıran bir alan iken astronomi ise zihnin evrendeki Tanrısal düzene yöneldiği bir alandır. *Almagest*'te gökyüzündeki hareketleri betimlemek adına kullandığı geometri yönteminin altını çizer ve daha sonra Güneş, Ay ve diğer beş gezegenin yörüngelerinin matematiksel olarak tasvirine yer verir. Değişmez olarak kabul ettiği dairesel hareket ile gökcisimlerine ilişkin gözlem verilerini uzlaştırma kaygısından hareketle hem kendi gözlem verilerinden hem de kendinden önceki astronomların gözlem kayıtlarından yararlanır. Bu uzlaştırma çabasının sonucunda iki sav ortaya koymuştur: Birincisi gökcisimlerinin ikili bir harekete sahip olduklarını savunan ve matematiksel astronominin kurucusu sayılan Apollonius'un teorisini kabul eder; buna göre, büyük küre daha küçük kürenin eksenini taşımaktadır. İkincisi ise, Yer büyük çemberin tam merkezinde olmak zorunda değildir, ekseninden kaymış da olabilir” (Özdemir, 2025, s. 151).

Ünlü gök bilimcinin kozmolojisi *deferent* ve *epicycle*³ -yani taşıyıcı daireler/düzenekler- ile Eudoksos'un ve Aristoteles'in eski küre kozmolojisinin birleşimine dayanmaktadır. Deferent ve epicycle modellerinin evrenin gerçek mekanizmasını temsil ettiğini varsaymıştır. Bununla birlikte gezegenlerin sonsuz ince, iki boyutlu daireler tarafından taşınamayacağını dile getirmiştir. Bunun yerine,

³ Gezegenler eşmerkezli kürelerde değil, eşmerkezli kürelerin bağlı olduğu çemberlerde yer almaktadır. Bu çemberlere ilmek adı verilmiştir. Ptolemaios, her bir gezegenin ilmek denilen küçük bir daire içinde hareket ettiğini ileri sürmüştür ve Aristoteles'in yer-merkezli modelindeki problemleri aşmaya çalışmıştır. Her ilmeği, taşıyıcı çember (deferent) olarak ifade edilen bir küreye yerleştirmiştir. Her gezegenin taşıyıcı çemberi, Yer'in uzaydaki konumundan biraz kaymış bir noktanın etrafında dönmektedir. Bu nokta da denge noktası (equant) denilen başka bir noktanın etrafında dönüyordu. Her gezegenin kendi denge noktası vardı. Bu sistemin ana bileşenleri eksen (deferent), epicycle ve equant noktasıdır. Gezegenlerin döndüğü ana dairesel yörüngelere eksen denir ve bu eksenler Yer'i merkez alır. Gezegenlerin bu eksenler üzerinde daha küçük dairesel yörüngeler çizdiği düşünülür ve bu küçük yörüngelere de epicycle adı verilir. Epicycle'lar, gezegenlerin gökyüzündeki karmaşık hareketlerini açıklamak için kullanılır (Hughes, Dinwiddie, Johnson, & Jackson, 2018, s. 35).

deferent ve epicycle ile üç boyutlu kürelerin “ekvator daireleri” olarak tasavvur edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Görünmez olan bu kürelerin, gezegenlerin kendileri gibi beşinci elementten (eterden) olduğunu öne sürmüştür. Ptolemaios’un diğer önemli bir savı, evrende boşluğa yer vermemesidir. Bir gezegenin hareketini üreten mekanizma (deferent dairesi ve epicycle) küresel bir kabuğu doldurmaktadır. Bu kabuğun kalınlığı gezegenin deferent çemberinin dışmerkezliği ve gezegenin epicycle’ın yarıçapı tarafından belirlenmiştir. Tüm gök cisimlerinin kabukları standart düzende birbiri içinde sıralanmıştır (Evans, 1998, s. 384).

Şeklin solunda yer alan çizimde Ptolemaios modelinin temel unsurları



Şekil 1: Ptolemaios'un taşıyıcı düzenek sistemi

gösterilmiştir: Deferent, epicycle ve equant. Sağında yer alan çizimde ise gezegen hareketinin en önemli özellikleri verilmiştir: dışmerkezlik (EF), geri hareket (R) ve apoje (A) ile periye (B) arasındaki açısal hız değişimi yer almaktadır. Dünya (E) konumunda, equant (E')

konumundadır.⁴

Ptolemaios, ilk olarak yörüngelerin dışmerkezliğini hesaba katmak için, merkezi O olan ve Dünya'ya göre yer değiştirmiş bir daire olan deferenti belirler. Bunun akabinde, yörüngenin en yakın ve en uzak noktalarını, sırasıyla periye ve apoje olarak adlandırır. Gezegen, deferent boyunca düzgün hareket halindeyken geriye doğru bir hareket sergilemeye başlarsa bunu deferent üzerinden izah etmek mümkün değildir. Ptolemaios'dan birkaç yüzyıl önce bu problemi fark eden Pergeli Apollonius (MÖ 240-190) epicycle adını verdiği, ek bir daireyi öne sürmüştü. Epicycle sayesinde sisteme ekstra dairesel bir hareket tanımlanarak, gezegenin

⁴ Şekil 1 Richar Kerner'in *Our Celestial Clockwork* kitabında s. 139'dan alınmıştır.

düzensiz hareketi açıklanmaya çalışılmıştır. Eşmerkezli bir daire boyunca taşınan bir epicycle, aynı anda geriye doğru hareketi ve dışmerkezliği yeniden tanımlamaya izin vererek, gezegenlerin Yer'e daha yakın veya daha uzak konumlarını dışmerkezli bir deferent bir epicycle ile birleştirerek izah etmeyi olanaklı hale getirmiştir. Ancak, gök cisimlerinin görünen açısal hızlarındaki değişimle ilgili bir sorun devam ediyordu; bu durum, gökyüzünde yalnızca düzgün hareketlere izin verildiği yönündeki Aristotelesçi varsayımla çelişiyordu. Eğer gezegenler Yer'in etrafında kendi daireleri boyunca düzgün hareketle dönüyorlarsa ve epicycle döngüleri varsa, o zaman en azından Yer'den bakıldığında, gezegenlerin sabit bir açısal hızla hareket etmeleri mümkün değildir (Kerner, 2022, s. 138-139).

Görüldüğü üzere Ptolemaios'un öne sürdüğü deferent ve epicycle eksiksiz bir kozmoloji sunmaya yetmemiştir. Her bir gezegen için astronomik olarak çıkarılabilecek tek şey, epicycle'ın boyutunun deferent'inkine oranı olmuştur. Dolayısıyla, hangi gezegenin Yer'e en yakın olduğuna gözlem yoluyla karar vermek imkânsız hale gelmiştir. Ptolemaios bu eksiklikten dolayı fiziksel ya da felsefi argümanlara başvurmak zorunda kalarak, zamanının standart sıralamasını benimsemiştir: Ay, Merkür, Venüs, Güneş, Mars, Jüpiter, Satürn. Daha önceki satırlarda belirtildiği üzere mevcut sistemde sadece Ay'ın mutlak mesafesinin ölçümü yapılabiliyordu. Aristarkhos'un ifade ettiği yöntem üzerinden hareket eden Ptolemaios, bazı değişiklikler yaparak Ay'ın uzaklığını hesaplanmaya çalışmıştır. O, Ay'ın yeni veya dolunay halindeyken, Yer'in merkezine olan ortalama uzaklığını elli dokuz Yer yarıçapına eşit kılmıştır. Bu sonuç, o dönem için hesaplanan oldukça iyi bir değer olarak görülmüştür (Evans, 1998, s. 385).

Nihayetinde Ptolemaios, kendinden önceki astronomların öne sürdüğü gibi Yer'in şeklinin küre olduğunu kabul etmiş ve gök cisimlerinin hareketlerini çember düzenekleriyle açıklamaya çalışmıştır. Değerlendirmelerinden biri şöyledir: Eğer Yer düz olsaydı güneye yapılan seyahatlerin sonucunda yıldızların hareketlerinde değişimin olmayacağını belirtmiş ve günbatımını gözlemleyen gözlemcinin, hangi

ülkeden olursa olsun aynı zaman diliminde günbatımını gözlemesinin gerekeceğini söylemiştir. Ptolemaios, ayrıca gözlemcinin bulunduğu boylam değiştikçe günbatımı zamanının büyük ölçüde değişeceğini kanıtlamıştır. Ay, ışığını Güneş'ten aldığından dolayı, Ay'ın görülebildiği her yerde Ay tutulmasının aynı anda başlaması gerektiği savını öne sürmüştür. Bu savdan hareketle, farklı gözlemcilerin Ay tutulmasının başlangıcını gözlemlediği yerel saatleri farklı merkezlerden toplamış ve İskenderiye'den daha batıya gidildikçe, Ay tutulmasının daha erken bir zamanda gerçekleştiğini; İskenderiye'nin daha doğusunda olanların ise tutulmayı daha geç gözlemlemiş olduklarını tespit etmiştir. Böylece Ptolemaios, Yer'in sanıldığı gibi sonsuz bir okyanusla kuşatılmış olmadığını ve şeklinin de düz değil küre olduğunu kanıtlamıştır. O, ayrıca Yer'in uzayda serbest halde bulunan küre biçiminde bir cisim olduğunu ve tüm yönlerden yıldızlarla çevrelendiğini düşünmüştür. Onun bu çıkarımı döneminde büyük bir yankı uyandırır da Yer'in desteksiz bir küre olarak nasıl durduğu meselesi Newton'a kadar gizemini korumuştur (Ball, 2015, s. 27-31).

Yer'in dönüyor olabileceğini düşünmüş olsa da mevcut fizik bilgisinin yetersizliğinin bir sonucu olarak kabul etmemeyi yeğlemiştir. Yer'in yirmi dört saatte tam bir turla devinimini tamamlaması düşüncesi Ptolemaios için tedirginlik verici olmuştur. Çünkü, Yer büyük bir cisimdir ve böylesine büyük bir cismin yirmi dört saatte devinimi tamamladığında, bazı yıldızların hareketlerini gözlemek nerdeyse imkânsız gibi görünmektedir. Ayrıca devasa bir kürenin durağan bir atmosfer içerisinde hareket etmesinden kaynaklanan şiddetli fırtınaların olacağı ve yeryüzündeki her şeyi savuracağı düşüncesi problem teşkil etmektedir. İşte tüm bu gerekçelerden dolayı Ptolemaios, Yer'i çevreleyen atmosferin de Yer'le birlikte dönebileceğini düşünememiş ve yahut kanıtlamayacağı gerekçesi ile görmezden gelmiştir (Ball, 2015, s. 48-50).

Ptolemaios'un bu yaklaşım tarzı günümüz fizikçisinin tutumuna benzerdir. O bir nevi deney ve gözlem sonuçlarını denklemlerle ilişkilendirmeye çalışmıştır. Eğer ortaya atılan teoriler deneyle ve gözlemlerle desteklenmezse, sadece matematiksel

denklemlerle yetinmek zorunda kalınır, Ptolemaios'un yaptığı da tıpkı böyledir (Cohen, 1992, s. 30).

Ptolemaios sistemi matematik ve geometri temelli olduğundan, çoğu kişi için epeyce karmaşıktır. On üçüncü yüzyılda yaşamış olan Kastilya Kralı Leon Alfonso, Ptolemaios'un sistemiyle ilgili olarak rivayete göre şöyle demiştir: “Her şeye gücü yeten Rab, yaratmaya başlamadan önce bana danışsaydı, daha basit bir şey tavsiye ederdim” (Cohen, 1992, s. 33). Şunu da gözden kaçırmamak gerekir ki Ptolemaios'un zamanında analitik geometri keşfedilmemişti ve sadece Eukleides geometrisi vardı. Ayrıca Aristoteles'in fizik üzerine görüşleri o dönemde etkindi.

Sonuç

İnsanın içinde yaşadığı evreni sayı ve ölçü temelinde anlamaya başlaması doğada olup bitenleri de bu minvalde anlamlandırmasına neden olmuştur. Bu düşünce örüntüsünden hareketle Eudoksos da gök cisimlerinin hareketlerini geometrik olarak tasarlama girişiminde bulunmuştur. Eudoksos'tan itibaren kadim bir tartışma gündeme gelmiştir: Yer mi hareketli yoksa gök mü? Gök cisimlerinin hareketleri nasıldır? Yer'in şekli nedir? Evrenin merkezi neresidir? Sonraki yüzyıllarda evrene dair bu ve bunun gibi sorulara yanıt aranmıştır.

Aristarkhos'un Güneş merkezli evren tasarımı bu probleme cevap olma gereksinimi neticesinde doğmuştur. Onun Güneş merkezli evren tasarımı, sağduyuya aykırı olarak değerlendirildiğinden döneminde kabul görmemiştir. Çünkü o dönemlerde kabul gören bilgi, Yer'in durağan Güneş'in ise onun etrafında hareket ettiği şeklindeydi. Aristarkhos sadece Yer'e hareket vermekle kalmamış, gezegenlerin kürelere çakılı olmadığını, Güneş'in etrafında daire çizdiğini dile getirmiştir. Bu açıdan ele alındığında Aristarkhos'un modeli başarılı bir soyutlama becerisinin ürünüdür. Aslında Aristarkhos'un öne sürdüğü hipotez ilk aşamada Yer merkezli evren tasarımının karmaşıklığı karşısında hayranlık uyandıracak şekilde yalın ve uygundu. Buna karşın, dairesel hareket fikrinden vazgeçip eliptik harekete geçemediğinden dolayı açıklanamayan bir sürü problem ile karşı karşıya kalmıştı.

Örneğin, yıl içerisindeki mevsimlerin eşit uzunlukta olmadığını bilse de bu durumu bilimsel bir kanıtla izah edememiştir. Bu problem, Yer'in, Güneş'in etrafında tam dairesel hareketle değil de Güneş'ten hafifçe uzaklaşmış bir nokta etrafında hareket ettiğini varsayarak açıklanabilirdi. Ayrıca o dönemlerde gökyüzündeki hareketlerde mükemmellik arayışı olduğundan böyle bir varsayım, Güneş merkezli evren tasarımının sadeliğini ve zarafetini ortadan kaldırırdı.

Pontuslu Herakleides'e gelindiğinde ise o Yer'in hareket ettiğini belirterek, düşünce tarihi için önemli bir öneri sunmuştur. Buna karşın gezegenlerin düzensiz hareketlerine ilişkin dile getirdiği Yer ve Güneş merkezli modeli mevcut durumu açıklamaya yeterli olmamıştır. Her ne kadar Merkür ve Venüs'ün Güneş etrafında hareket ettiğini ifade ederek problemi aşmaya çalışsa da Mars'ın devinimini sunduğu modelle açıklamak mümkün değildir. Bu bağlamda, evrenin açıklanmasına ilişkin düzensizlik hala sürmeye devam etmekteydi.

Gezegenlerle ilgili karmaşıklık devam ederken, Ay söz konusu olduğunda durum farklıydı. Antik çağlarda bile, Ay'ın Yer'in etrafında dairesel bir yörünge boyunca düzgün bir şekilde hareket ettiği kolayca öngörülebiliyordu. Bu hareketi en iyi izah edecek olan hareket ise epicycle ile açıklanabilirdi. Çünkü epicycle hareketi sayesinde oluşan devinim, eliptik döngüye benzer bir devinimi ortaya çıkarabilecek nitelikteydi. Bu düşünce örüntüsünden hareket eden Ptolemaios, eğer Ay için epicycle hareketi varsaymak zorundaysak, neden gezegenler için de aynısı olmasın diye düşünmüş ve bu minvalde bir evren tasarımı öne sürerek gök cisimlerinin hareketlerini bu düzeneklerle açıklamaya çalışmıştır.

Düşünce tarihine baktığımızda Ptolemaios dışında hiçbir astronomun gök cisimlerinin hareketi üzerine olan görüşleri bu kadar uzun süre hüküm sürmemiştir. Ptolemaios'un *Almagest* adlı eseri gök cisimlerinin hareketiyle ilgili eksiksiz bir öneri sunmamasına rağmen, yüzyıllar boyunca hem doğu dünyasında hem de batı dünyasında otoritesini korumuştur. Doğal olarak akla gelen ilk soru bu eser hatalarına rağmen neden yüzyıllarca geçerliliğini korumuştur? Bu soruya

verilebilecek yanıt, ilk olarak gökleri gözlemleyecek bir teknolojinin olmayışı olacaktır. Tarihe bakıldığında Brahe'nin gözlemleri aslında Yer merkezli sisteme darbeyi vuran ilk kanıtları sunmuştur. Buna karşın Brahe, Güneş'in merkezde olacağı düşüncesini kendi gözlem kayıtlarına rağmen kabul etmemiş, mevcut kozmoloji ile uzlaştırmaya çalışmıştır. Sadece teknik nedenlerden dolayı değil, dini ve sosyolojik gerekçelerle de Ptolemaios'un sisteminin sorgulanmadığı görülmektedir. Buradaki asıl faktör, Aristoteles'in fizik görüşünün Orta çağdaki dini otoriteler tarafından hâkim görüş olarak kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ay üstü evrenin mükemmel olduğu düşüncesinin, Kutsal Kitap'la uyuşması ve göklere Tanrısal bir düzen atfedilmesi mevcut sistemin sorgulanmamasının önündeki en büyük etkindir. Galileo'ya gelinceye kadar mevcut sistemin eksikleri yama ile kurtarılmaya çalışılmıştır. Hem Galileo tarafından yapılan gözlemler hem de Kepler'in yasaları, Ptolemaios'un evren tasarımını çürütecek kanıtları ortaya koymuştur.

Geometrical Construction of the Heavens from Eudoxus to Ptolemy

Summary

Seçil Özdemir

Dr. Independent Researcher
ORCID: 0000-0001-7718-5718
s.secilozdemir@gmail.com

Introduction

This study examines the formation and transformation of cosmological models in the Greek philosophical tradition, with a particular focus on the role of mathematics and geometry. The primary aim of this study is to elucidate how the transition from cosmogony-based explanations to geometric and mathematical models of the universe took place, and to trace this transformation through the celestial theories of Eudoxus, Aristarchus, Heraclides of Pontus, and Ptolemy.

Humankind's earliest attempts to explain the universe were built upon sets of discourses. In a general sense, these sets of discourses can be considered cosmogonies. These explanations were based not so much on direct astronomical observations as on human everyday experiences, the need to make sense of one's existence, and supernatural elements. For example, natural phenomena such as thunder, lightning, and storms were mostly interpreted as being connected to the gods. However, over time, a significant transformation took place in Greek thought, and the idea emerged that natural phenomena were not the result of a divine element but rather the outcome of a specific order. Indeed, the idea emerged that nature is observable, understandable, and explainable through specific principles; thus, the distinction between myth and reason became clearer. This shift also paved the way for the systematization of knowledge and the investigation of the causes of natural phenomena.

The factors driving this transformation were not limited to cultural interactions; the development of mathematics and geometry also played a significant role. The geometric works of thinkers such as Pythagoras and Euclid—which contributed to determining the shape and dimensions of the Earth—particularly Euclid's deductive geometry, reinforced the approach that nature could be understood through mathematical principles. As a result of these scientific and intellectual developments, a new understanding emerged that the universe could be explained not only through mythological narratives but also through mathematical and geometric models. One of the first major proponents of this understanding in astronomy was Eudoxus of Cnidus.

Eudoxus of Cnidus's Theory of the Heavens

Eudoxus was one of the first thinkers to conduct research in various fields of mathematics and to impart a geometric character to astronomy. In particular, *the Model of Concentric Spheres* he developed is a significant example of an attempt to explain the

motions of celestial bodies mathematically and geometrically. Eudoxus's model was intended to address the problem of "saving the appearances"⁵ posed by Plato.

In Eudoxus's model, the Earth is at the center of the universe and is stationary. The Sun, Moon, planets, and fixed stars are each attached to concentric spheres. The Moon, Sun, and five planets move around the Earth. In particular, the combination of multiple circular motions was used to explain complex celestial motions, such as the planets' occasional stoppage while moving forward and their subsequent apparent retrograde motion. The curve formed by these motions, known as the "hippopede," is the result of an effort to geometrically explain the observed irregular motions of the planets.

Eudoxus postulated a Earth-centered sphere for each simple motion and developed a system consisting of a total of 27 spheres. Thus, for the first time, an attempt was made to explain the heavens comprehensively through a geometric model. However, the model's inclusion of a large number of spheres and its inability to adequately explain all planetary motions revealed its limitations. Nevertheless, Eudoxus's model laid the foundation for geometric astronomy for subsequent astronomers.

Aristarchus's Theory of the Heavens

As observational data increased, the inadequacies of Eudoxus's model became more apparent. To address this problem, Callippus and Aristotle added new spheres to the system. As a result, Eudoxus's model gradually evolved into an increasingly complex structure. Faced with this complexity, Aristarchus of Samos developed a different cosmological model centered on the Sun. According to Aristarchus, the planets—including the Earth—move in circular orbits around the Sun.

An important aspect of Aristarchus's astronomical approach was his attempt to determine the distances and sizes of celestial bodies through geometric proportions. His propositions—that the Moon receives its light from the Sun and that the sizes and distances of the Moon and the Sun can be calculated through geometric relationships—constituted a significant initiative in mathematical astronomy for his time. Aristarchus sought to calculate the Sun's distance by utilizing the right angle formed between the Sun, Earth, and Moon when half of the Moon is illuminated. However, due to the inadequacy of measurement tools of the time, the lack of standard units of distance, and the fact that trigonometry and the calculation of chords had not yet been developed, Aristarchus's results differ significantly from modern values.

Heracleides of Pontus's Theory of the Heavens

The cosmological models of Eudoxus and Aristarchus did not fully explain the observational data. In response to this problem, Heraclides of Pontus attempted to reconcile the Earth-centered and Sun-centered models. Specifically, addressing the problem that Mercury and Venus never stray too far from the Sun, he proposed that these two planets orbit the Sun. In contrast, he accepted that Mars, Jupiter, and Saturn orbit the Earth. Thus, Heracleides sought to develop an intermediate system between a completely Earth-centered and a completely Sun-centered model.

Another important feature of Heracleides' model is that it accepted the idea that the Earth rotates on its own axis. In this way, he offered an alternative to the notion that all celestial bodies must move around the Earth to explain the daily motion of the sky.

However, the model he proposed could not fully explain the irregular motions of the planets and failed to completely resolve the problems related to the motions of Mercury and Venus in particular. Therefore, while it was a significant proposal from a geometric standpoint, it did not present a complete cosmology.

Ptolemy's Theory of the Heavens

The final major phase of the work is constituted by Ptolemy's celestial theory. Ptolemy's success stemmed not only from developing an original system but also from systematically synthesizing the accumulated knowledge of Egyptian, Mesopotamian, and Greek astronomy that preceded him. Ptolemy's primary aim was to explain celestial phenomena through kinematic and geometric hypotheses. The fundamental elements of his system are the concepts of the deferent, the epicycle, and the equant. The deferent is the large circular orbit along which a planet moves. The epicycle, on the other hand, is a small circular orbit used to explain the planet's complex and, in particular, retrograde motions. The equant is a specific point used to account for changes in the planet's observed angular velocity. The combined use of these elements made it possible to explain the observed irregular motions of the planets as the result of the superposition of regular circular motions.

Ptolemy also argued that the Earth is spherical and supported this view by noting the variations in the movements of the stars and the timing of eclipses at different latitudes. However, he did not accept the possibility of the Earth rotating on its own axis due to physical considerations. Thus, although Ptolemy's system was quite advanced from a mathematical standpoint, it had certain limitations from a physical and philosophical perspective.

Conclusion

This study highlights the transition in the Greek understanding and explanation of the universe from mythological and cosmogonic accounts toward mathematical-geometric models. The initiative in geometric modeling, which began with Eudoxus, took different forms in Aristarchus's heliocentric approach, Heraclides's hybrid model, and Ptolemy's deferent-epicycle-equant system. A common feature of these models is the effort to explain celestial motions within a specific order and framework of mathematical principles. However, none of the models in question— —was able to fully explain celestial motions. Despite its simplicity, Aristarchus's model could not overcome the limitations of the assumption of circular motion; Heracleides's model could not completely resolve the irregularities in planetary motions; and Ptolemy's system attempted to address these issues through complex geometric mechanisms. Despite its shortcomings, Ptolemy's system maintained its authority for centuries due to the limitations of observational technology, Aristotelian physics, and the religious and sociological beliefs of the Middle Ages. Consequently, this study argues that change in the history of astronomy is linked not only to the emergence of new observations but also to the development of mathematical thought, geometric modeling, and the quest to explain nature based on regularities. The subsequent questioning of the Ptolemaic system through Brahe's observations, Kepler's laws, and Galileo's work paved the way for a transition from geometric models to more comprehensive physical explanations.

KAYNAKÇA | REFERENCES

- Ball, R. S. (2015). *Büyük Gökbilimciler*. (O. Aydın, Çev.) İstanbul: Altın Bilek Yayınları.
- Cohen, I. B. (1992). *The Birth of a New Physics*. London: Penguin Books.
- Duhem, P. (2024). *Görünüşleri Kurtarmak Platon'dan Galileo'ya, Fizik Kuramı Fikri Üzerine Bir Deneme*. (O. Bülbül, Çev.) İstanbul: Fol Kitap.
- Evans, J. (1998). *The History Practice of Ancient Astronomy*. New York: Oxford University Press.
- Gören, E. (2024). Eski Yunan-Roma Düşüncesinde Coğrafi Mekân Fikri, Coğrafyanın Müessesleşmesi ve İslam Coğrafyacılığına Etkisi. *Hitit İlahiyat Dergisi*(23), 27-53.
- Grant, E. (1986). *Orta Çağda Fizik Bilimleri*. (A. Göker, Çev.) Ankara: V Yayınları.
- Gregory, A. (2005). *Evreka! Bilimin Doğuşu*. (E. Ayhan, Çev.) İstanbul: Güncel Yayıncılık.
- Heath, S. T. (2014). *Aritarcus of Samos the Ancient Copernicus*. New York: Dover Publications.
- Hoyle, F. (1962). *Astronomy*. London: Rathbone Books Limited.
- Hughes, D. W., Dinwiddie, R., Johnson, P., & Jackson, T. (2018). *Astronomi Kitabı*. (J. Mitton, Dü., & A. Fethi, Çev.) İstanbul: Alfa Yayınları.
- Kerner, R. (2022). *Our Celestial Clockwork From Ancients Origins to Modern Astronomy of the Solar System*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Keyser, P. T. (2009). Heliocentrism in or out of Heraclides. W. W. Fortenbaugh, & E. Pender (Dü) içinde, *Heraclides of Pontus Discussion Rutgers University Studies in Classical Humanities Volume XV* (s. 205-237). New Jersey: Transaction Publishers.
- Linton, C. M. (2004). *From Eudoxus to Einstein A History of Mathematical Astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mason, S. F. (2001). *Bilimler Tarihi*. (U. Daybelge, Çev.) Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.

Osserman, R. (2005). *Evrenin Şiiri Kozmosun Matematiksel Bir Açıklaması*. (İ. Birkan, Çev.) Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.

Özdemir, S. (2025). “Kant’ın Gök Kuramının Bilgikuramsal Temelleri Üzerine Tarihsel Bir Araştırma” . *Yayımlanmamış Doktora Tezi*.

Ronan, C. A. (2003). *Bilim Tarihi*. (E. İhsanoğlu, & F. Günergun, Çev.) Ankara: Tübitak.

Tekeli, S., Kahya, E., Dosay, M., Demir, R., Topdemir, H. G., Unat, Y., & Koç, A. A. (2021). *Bilim Tarihine Giriş* (3 b.). Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım.

Topdemir, H. G. (2021, Şubat). Bilim Tarihinden Notlar. *Bilim ve Teknik*(639), 78-80.

Topdemir, H. G., & Unat, Y. (2018). *Bilim Tarihi* (9 b.). Ankara: Pegem Akademi.

Unat, Y. (2013). *İlkçağlardan Günümüze Astronomi Tarihi*. Ankara: Nobel Yayıncılık.

Wall, W. (2018). *A History of Optical Telescopes in Astronomy*. (W. Orchiston, Dü.) Springer.