

**MATEMATİK VE MATEMATİKLER: TARİHİ TASVİRLER  
VEYA  
MATEMATİKTEN SAYFALAR**

ROBERT P. LANGLANDS

İÇİNDEKİLER

Önsöz	2
Öklid'in Öğeler'i	12
Üçgenler ile eğrilik	14
Geometrik cebir	25
İrrasyonel sayılar	29

**Açıklama.** Belki bildiğiniz gibi bir deney olmak üzere buraya gelerek Türkçe konuşup ders vermek istedim. Davetiniz için çok teşekkür ederim. Tecrübeme göre bir kimse bir dil öğrenmek isterse, matematik hakkında konuşması en etkili bir usuldür. Yani konuşacağımı iyi hazırlayarak ders verirken hiç durmadan konuşabilir. Hiç kimse sözünü kesemez.

Dinleyicilere ya sabır çekmek lazım gelebilir. Bu derslerde olacağını bilmem. Her halde, ilk derslerde, soru hemen soracağınız yerde dersin sonunu bekleyerek benimle o zaman konuşmanız daha iyi olur.

Otuz yıl evvel bu ülkede bir yıl geçirdim, ama o zaman dili az öğrendim. Bir iki yıldan beri dille uğraşıyorum ama konuşma fırsatım az oldu. Amerika'nın sesini dinleyebiliyordum. Fakat konuşma tecrübem yok!

Türkçe gerçekten öğreneyim diye ülkenize dönmeye karar verip, Cihan Saçlıoğlu'na yazdığım, taşrada konuşmamı önerdim, fakat o İstanbul veya Ankara'da olsun dedi. Öyle ise, siz Kars'da başlasaydım, daha iyi olurdu diye düşünürseniz, suçu Cihan'a atabilirsiniz.

Sonra anlatacaklarımın çoğu matematik olacak, ama başta farklı şeyler nakledeceğim. Söyleminin kötü olduğundan veya yazdığım ibarelerde her türlü hata bulunduğundan, söyleyeceğimi belki anlamıyacaksınız. Önceden her şeyi yazdığımdan, uygun ise, konuşurken size metni gösterebilirim. Ne var ki, başlamamızdan evvel ciddi bir uyarı lazımdır. Söylemek isteyeceğim kadar Türkçe hâkimiyetim yok! Dolayısıyla beni dinlemek zor olacak.

Malzemenin basit olduğunu vurguluyorum. Dolayısıyla tecrübeli olmayan öğrencilere uygun. Kimse anlamazsa, benim kusurum olur.

Yazarken sözlüğü kullandım, hatta matematikte tanımlanmış kavramlar için. Matematik kelime hazinesinin devamlı değiştiğini sanıyorum. Yanlış kelime kullanırsam, onu hemen düzeltmeniz daha iyi olur.

Tekrarlayayım, başlıca amaçım Türkçe öğrenmek oldu, ama dersleri hazırlayarak içeriğe, özellikle eski Yunan matematiğine, hayran kaldım. Tabii, hazırlanmaya başlarken bir çok

---

Robert Langlands tarafından verilmiş konferans dizisi, birinci kısım. Haziran, 2003, Yıldız Üniversitesi.

merak ettiğim vardı ama Öklid'in Öğeler'inde bulunduğunu keşfederken, o zamandaki düşünürlerin bilimde ve felsefede meydana getirdiği katkıları yavaş yavaş takdir etmeye başlıyorum. Yeni anlayışımı, az bile olsa, size aktarma umudundayım. Siz evvelce matematik ustaların yazılarını okumaya düşkün olmadıysanız bile, belki beni dinledikten sonra onları okumak isteyeceksiniz.

Ben ise Öklid'in, Dekart'ın veya Gauss'ın yazılarına dalarak matematikçi olmak için fazla olgunlaştım. Yazık ki, daha gençken, bunu çok az yaptım.

Her ders için, iki saat öngörülmüş. Benim o kadar konuşabileceğim belli değil. Sizin beni o kadar dinleyebileceğiniz de belli değil. Bu iki saat ikiye bölünmesini öneririm. Elli beş dakika konuşacağım, ondan sonra duracağım. Bir az dinlenerek, elli beş dakika daha devam edip etmiyeceğimize karar vereceğiz.

## ÖNSÖZ

Öklid'in yazdığı geometrinin Öğeler'i kitap veya cüz denilen on üç kısımdan ibarettir. İçeriği basit değil. Tabii basit, kolay ispatlanan teoremler var. Öklid gibi biz teorem değil önerme deriz. Ama aynı zamanda Öğeler'de önermeler kadar mantıki yapı önemlidir. önermelerin bilimsel düzeyi de çok yüksek. Özellikle son cüzlerdeki ispatladığı iddialarda eski Yunanlıların matematik ustalığı yansıyor.

Farklı sebeplerden, farklı amaçlarla Öğeler okunabilir. Evvela, bugünlere kadar süren ve çağdaş fizikle matematikte önemli olan kavramların başlangıcının temelleri birinci cüzde atılmıştır. On dokuzuncu yüzyılın başından beri geometrinin merkezinde bulunan eğrilik kavramı bu cüzdeki basit görünen önermeler arasında saklanıyor. Yani cüzün otuz ikinci önermesinde üçgendeki üç dahili açının toplamının  $\pi$ 'ye eşit olduğunu iddia edilir. Bugünkü kavram kullanılırsa, bu özellik Öklid'in geometrisinin düz, eğriliğinin sıfır olduğunu ifade eder.

İki binden fazla yıldan sonra, yirminci yüzyılda **Einstein**'in genel izafiyet teorisinin önerilmesi ve kanıtlanmasıyla, herkes yaşadığımız uzayın eğri olduğunu anlayabilirim. Einstein fiziğin özüne nüfuz etmesi yanı sıra bizi azimi ile sebatına da hayran bırakır. "Eşdeğerlik ilkesi"ni keşfedince, durmamış, önceden bilinen matematik kavramlarını arayıp, onları geliştirmiş, temel fiziksel kavramlarına uygulayacağı bir düzeye getirmişti.

Einstein'in başarısına imkan veren ilerlemelerin kökleri Fransız devriminden önceki yıllarda, yani geç Avrupa Aydınlanmasında bulunur, ama 18. yüzyılın sonu ile 19. yüzyılın başlarında Gauß'ın meydana getirdiği iki fikir sayesinde Einstein uygun kavramları el altında bulmuştur. Bu iki fikir belki aynı fikrin iki tarafıdır. Yani bir yandan, aynı dönemde yaşayan fen adamlarıyla filozoflara karşı Gauss bulunduğumuz uzayın düz olmadığını tasavvur edebilmiş, öte yandan, yerden yere değişen eğrilikten bahsetmek için gerekli yöntemleri ortaya koymuştur.

Gauss ile Einstein arasında çok çarpıcı başka bir Alman matematikçi ve fen adamı, Bernhard **Riemann**, çeşitli matematik alanlarına önemli katkılar yaptı. Özellikle, o Gauss'ın iki fikrini Einstein'in kullanabileceği şekilde geliştirdi. Bu üç bilim adamını, onların kişiliğini, fikirlerini daha iyi tanıma, daha iyi anlama büyük zihni keyiftir. Aynı zamanda, üçünün yaşadıkları dönem Almanya'nın parlak bilim dönemiyle rastlaşmıştır. Gauss geç Aydınlanma döneminde doğdu ama Napoléon'ü ve Napoléon sonradaki yeni kurulmuş Alman devletlerini gördü. Riemann, Almanya'da, Napoléon savaşları sonradaki "Biedermeier" denilen dönemin zihni ve ahlaki toprağında yetişmiştir. Bismarck döneminden evvel ölüyor, Almanya'nın sanayisini geliştirip zenginleşerek büyük devlet olduğunu görmedi.

Diğer taraftan, Einstein, çok açıdan isyankâr olmasına rağmen, bu dönemin bir çocuğu idi ve niteliklerinden birçoğu ortamı tarafından belirlendi. O Alman İmparatorluğunun Birinci ile

İkinci Dünya Savaşındaki inişi ile yıkımını ve sonraları Alman entellektüel şanının sönmesini gördü. Bu dönemin de, bu şanın da şimdi bitmiş olmasına rağmen, matematiklerinin anısı, katkıları durur. Geçmiş merak edersek, biz, bu üç düşünürlerin bilimsel eserlerini okuyunca, dönemin ustalığına hayran kalarak, çok çabalamaksizin ustalarının yaşadıkları çevrede, yaşadıkları ülkede, kişilikleriyle tanışabiliriz.

Ama Gauss'tan Einstein'e kadar akan büyük nehirin kaynağına karışan iki ırmak var. Öklit ve genellikle, Gauss'a kadar her matematikçi ve her filozof için, uzayda, bilhassa düzlemde, her yer aynıdır. Buradaki yer ile oradaki yer aynı özelliklere sahiptir. Gauss mesaha memuru olarak birkaç ay mesaha ederek Braunschweig'ta yolculuk yaptı. Belki bunun dolayısıyla arzdaki yerlerin hep aynı olmadığını takdir etti. Dağlar ovalara veya derelere benzemiyorlar.

O zaman da, bugün de bunu ifade etmek için, koordinatlar lazımdır, yani geometrinin cebirle ifade edilmesi lazım. Cebir çerçevesinde yapılan geometriye "kartezyen" geometri denilir. Tabii kartezyen geometrinin gelişimi **Dekart** tarafından pek çok etkilenmiştir, ama herkesin inandığının tersine Dekart kendisi bizim anlamımızda koordinat kullanmadı. Bununla beraber, usta bir matematikçi olarak, Dekart ünlü eseri, "*Discours de la méthode*"a, bir ilâve olarak, "*La géométrie*" başlıklı metinde, cebir kullanılmazsa çok zor olan hendesî önermelerin cebir ile nasıl çözüleceğini gösterdi. Bu metni, hiç olmazsa baş kısmını, anlatmak oldukça kolay. Anlatınca, Dekart'ın matematik yeteneğini değerlendirebileceğiz.

Ama Dekart matematikçiden daha çok filozof ve fen adamı olarak önemli idi. Onu tanıyıp anlamak istersek, yalnız matematiğe kattığı fikirleri değil, felsefeyle fene ne kattığını da bilmeliyiz. Hepsiden ziyade, 16. yüzyıl ile 17. yüzyılın başı boyunca süren Avrupadaki dinsel savaşlar ile, 17. yüzyılın ikinci yarısından ve 18. yüzyılın sonuna kadar süren Aydınlanma döneminin arasındaki orta yerde alan geçiş simasıdır. Yazdığı pek çok mektupları okuyunca, öncelleri veya kendi kuşağı ile ilgilerini anlayabiliriz, belki o bilimsel devrenin dokusu ile yapısına girebiliriz. Özellikle, Eflâtun gibi Dekart matematik kabiliyetli ve matematikte etkili olan bir filozof idi. Biz bugün bunun gibi bir etkinin mümkün olabileceğine inanmıyoruz. Bu iki simanın etkisinin nasıl meydana geldiğini anlamaya uğraşabiliriz, Tam anlamaya asla ermiyeceğiz, ama teşebbüs edince, zanaatımızın etrafındaki zihni veya entellektüel derinliğini daha iyi değerlendirebiliriz.

Resmedeceğimiz üç dönem olacak: eski Yunanlı dönem; burada Yeniçağ denilen döneme denk düşen geç Rönesansle erken Aydınlanma dönemleri arasındaki yıllar; ve Fransız devriminden sonraki, şimdiye kadar süren çağ. Bu dizi için, ikinci dönemin en önemli siması Dekart olacak. Tabii, üçüncü dönemde üç önemli sima olacak, yani, Gauss, Riemann ve Einstein. Bu üç kişiyi filozof sayarsak, konumuz olan üç dönemden matematik yönünden ikisinin felsefe tarafından çok etkilenmiş olduğunu düşünebiliriz. Ben, Gauss'ın ile Riemann'ın bazı yazılarının düşünce tarihinde en önemli olaylar arasında olduğunu inancındayım. Einstein'ın filozof olduğuna herkes elbette inanıyor.

İkinci döneme ait dizimde konuşulacak en önemli yazı Dekart'ın ünlü metni *La géométrie* olacak. Üçüncü döneme ait en önemli incelenecek makaleleri de hemen verebilirim:

- Carl-Friedrich Gauss, *Disquisitiones generales circa superficies curvas*.

Ama ilaveten mektuplarıyla kendisi için yazdığı notları yani Gauss'ın zamanında belki pusulalar denilen yazılar, incelememiz gerekecek, özellikle hiperbolik geometri üzerine fikirlerini anlatmak istersek.

- Bernhard Riemann, *Ueber die Hypothesen, welche die Geometrie zu Grunde liegen*,
- \_\_\_\_\_, *Commentatio mathematica, qua respondere tentatur questioni ab III<sup>ma</sup> propositae*.

Einstein'in ilk makalelerinden daha kolay okunan ve fizikçi olmayanlar için Einstein kendisi tarafından yazılan iki risale bana çok faydalı oldu.

- Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie.
- Grundzüge der Relativitätstheorie

---

Matematikte de, üstelik mantıkta da usta olduğu halde, bildiğim kadar Öklid filozof değilmiş. Eflatun'un adını henüz andığımız halde, Öklid'in döneminde matematikte felsefenin etkisinin varolup varolmadığını, Hankel fonksiyonları dolayısıyla babasının adını tanıdığımız 34 yaşında genç ölmüş Hermann Hankel'in sözlerinden yine öğrenebiliriz.

*Die Verbindung philosophischer und mathematischer Productivität, wie wir sie ausser in Platon wohl nur noch in Pythagoras, Descartes, Leibniz vorfinden, hat der Mathematik immer die schönsten Früchte gebracht.*

Bir yabancı dil konuşan Türklere belki yüzde doksanı Almanca konuştukları halde, bu cümleyi çevireyim.

*Eflatun dışında, yalnız Pisagor, Dekart ve Leibniz'ta bulunan filozof ile matematik verimliliğinin birleştirilmesi matematiğe her zaman en güzel mahsulleri verdi.*

Ne var ki, biz bu görüşü tam kabul etmeyiz, zira bize göre Gauss, ya da Riemann ile Einstein da, filozoflar. Hankel, elbette Einstein'i tanımamış belki Riemannı da tanımamış ama en azından Gauss'ın ismini kuşkusuz tanımıştı. Fakat Gauss hem o zaman hem bugün matematikçi, astronom, veya fizikçi olmak üzere ünlüydü. Tabii felsefede bu başka üç alan kadar, önemli değil, fakat gayri Öklidyen olmayan geometri hakkında düşünceleri sayesinde, filozof olarak da onu tanımamız lazım.

Cümlede başka kabul edemeyip anlamadığımız iddialar bulunuyor. Mesela Pisagor'un kim olduğu şimdi tarihçiler ve filologlar arasında tartışılan bir konudur. Bazılarına göre tamamen dini bir sima olmuştur, başkalarına göre, matematiğe önemli katkılar yapmıştı. Bu iki açı iki kitapta ileri sürülmüş. Birinciden iki baskısı, ilk olarak Almanca yazılmış, ondan sonra İngilizceye çevrilmiş yayımlanmıştır.

Kitabı yazan ünlü Alman tarihçi, Walther Burkert'in iki baskısının arasında görüşlerini değiştirdiğinden, iki kitabın da okunması lazım. Yakında çok okunan bir dergide onun Pisagor'un söylencesini, en azında söylencenin bilimsel kısmını, tamamen imha ettiğini okudum. Yani, bildiğiniz gibi, Pisagor hakkında her türlü hikâye var, Mısır'a gitmiş, irrasyonel veya adını taşıyan teoremi keşfedince kurban etmiş. Bu hikâyelerin ardında ne gerçekliğin olduğunu bilinmez. Dergideki makalenin Burkert'in söylenceyi imha ettiğini iddia etmesine rağmen, makaleyi okuduğumdan bir iki ay sonra çalıştığım Enstitü'deki bilim tarihi hakkında bir konferans dinleyince, Pisagor'in geleneğinin tamamen söylence olmadığını öğrendim. Bir Rus tarihçi, Leyonid Şimud, tarafından ünün eski haline getirildiğini öğrendim. Kitabı Rusça olarak yayımlanmış ama Almanca tercümesi de var.

- Walter Burkert: (a) Weisheit und Wissenschaft, (b) Lore and Science in Ancient Pythagoreanism.
- л. Жмуд В раннем Пифагореисме

Biz bu kısa dizide bu kitaplarda ne anlatıldığını incelemeyeceğiz, ama gelecek yılda onları okuyup anlamamdan sonra, daha uzun bir dizide onlara gene geleceğiz.

Anlaşılan, mesleğimizin tarihini anlamak istersek, Pisagor'un kim olduğundan, etrafında ne keşfedildiğinden veya eski zamanda matematik ile felsefe arasında ne bağlar olduğundan tam bihaber kalamayız.

Fakat uzman olmayanların uzmanların tartışmasını yakından izlemesi kolay değil. Pek az mevcut belge var. Onları okumak için, eski Yunanca öğrenmek lazım. İstersem belki sabırla gittikçe okuyarak öğrenebilirim. Öğrenmemin mümkün olmasına rağmen, öğrensem bile, belgelerin içerdiği malumatı—yani olguları—değerlendiremem. Uzmanların yazılarını okuyunca, temel bilgiye sahip olmadığımı anladım. Hankel'e göre Pisagor ile Eflatun eski Yunanlı dönemde matematikte çok etkiliymişler. Hatta matematiğe katkıda bulunmuşlar. Bugünkü uzmanlara inanırsak, Pisagor'un ne yaptığı o kadar belli değil. Ama yazılarını okuyunca daha önemlisini hemen anlıyoruz. Kendinin fikirlerini anlatarak, Eflatun öncellerinin felsefesini yorumlayıp anlatmış. Özellikle zaman zaman Eflatun'un yazılarında Pisagor söz konusudur. Eflatun'un peşinden giderek, tilmizleri, yani öğrencileri veya tarafatları kendinin fikirlerini Pisagor'a atfetmişler. Dolayısıyla sonradan çok belgede rastlanan Pisagor hakkında hikâyelerin tarihi temelleri yok. Edebi nedenle, daha kandırıcı olmak için, kendi düşüncelerini Pisagor'un ağzında koymuşlardır.

Elbette, Pisagor'un kim olduğunu, ne yaptığını anlamak çok zor olacaktı, Eflatun'un kim olduğunu, ne yazdığını anlamak ise daha kolay. İstersek her yazıyı yazılmış şekilde veya çevrilmiş şekilde okuyabiliriz. Tabii, bildiğiniz gibi, o çok yazdı. Gerçekten, Eflatun'un bütün yazılarının her açıdan çok faydalı olmasına rağmen, matematikçiler hepsini okumak elbette istemez. İlkönce yüzeysel de olsa matematiğe ait metinleri ile fikirlerini biraz tanımak lazım.

Eflatun yaklaşık milattan 400 yıl önce yaşadığı ve Öklid yaklaşık milattan 300 yıl önce yaşadığı halde, Eflatun'un matematikte ne bilebildiğini bilmek istersek, ilk aşama olarak, Öklid'in Öğeler'i inceleyebiliriz.

Eflatun ve Eflatuncularla ilgimiz yoksa bile, Öğeler, yalnız matematik açısından olsa, inandığımızdan daha zengindir. Maceralı bir sefer olarak, bazı bölümlerini anlatacağım. Anlatacağımdan sonra Eflatun'un yazılarıyla veya Pisagor ile Pisagorcularla nasıl ilişkili olduklarını soracağız.<sup>1</sup>

İlkönce Öğeler'in birinci cüzünde bulunan eğrilik kavramına ait olan önermeleri inceleyeceğiz. önermeleri ile ispatlarını kısmen hemen anlayacağız ama bazının manasını yalnız sonradan Öklidyen olmayan geometrinin gelişmesini inceleyip anlayınca takdir edebileceğiz.

Eflatun'un yazıları arasında bulunan Θεαιτήτος ile Τιμαίος adlı kitapların her ikisi önemli ilgilendiğimiz malzeme içerir. Theaetetus, Eflatun'dan bir az genç olan bir matematikçi imiş. Özellikle irrasyonel üzerine önemli kavramları ile teoremleri keşfetti. Theaetetus Theodorus'un talebesi idi. Eflatun'un Theaetetus adlı tartışmasında Sokrat Theaetetus ve Theodorus'la tartışırken, o Theaetetus'un kare köklerin dizisini nasıl keşfettiğini anlattığını nakleder. Theodorus kendisi ilk köklerin,  $\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{3}$ ,  $\sqrt{5}$ , irrasyonel olduğunu ispatlamıştı. Ama Eflatun'un

<sup>1</sup>Ben bu dersleri hazırlayıp verirken görüşlerim daha çaplı olurdu. Kaynakları eski Yunan matematikte bulunan ve bugüne kadar matematiğin ana fikirleri kalan en az iki ilke var, bir tarafta, düzlemin ve uzamın niteliklerini belirleyen eğrilik, öbür tarafta geometriyi cebirle ve özellikle irrasyonel sayılarla bağlayan kavramlar veya ilişkiler. Başladığımda bu ilkelerden yalnız birisinin yüzyıllar boyunca gelişmesini nakletmek istedim. Fakat Öğeler'i inceleyip, Eflatun'un matematiği nasıl etkilediğini anlamaya uğraşırken, diğer ilkenin eskiden ve zamanımız ne kadar önemli olduğunu gittikçe takdir ederdim. Ben Öğeler'i okuyunca Öklid'in sunduğu anlatmalarının çağdaş matematik metin okulu gibi okulu ispatlarını tetkik edilmesi lazım olduğunun farkına vardım. Bu yeni görüşlerimin metnimde ifade edilmesine henüz tamamen kavuşmadım.

metnine göre ve herkesin kabul ettiği gibi, genel teorem Theaetetus tarafından keşfedilmiş. Her kare olmayan tam sayının kare kökü irrasyonel olur, mesela  $\sqrt{17}$ .

Meğer Theaetetus yalnız bu teorem değil, irrasyoneller hakkında onuncu cüzde geliştirilen genel teoremin içerdiği kavramları da keşfetmiş.

Tabii Theaetetus ve Timaeus adlı kitabların konusu yalnız matematik değil. Heracleitus (M. E. 500) ve Parmenides (yaklaşık M. E. 420) gibi eski filozofların peşinden giderek, Eflatun da evrenin hem yapısını hem de oluşmasını anlatmak istemişti. Ya da genel olarak değişimi anlatmak istemişti. Mesela evrenin toprak, hava, ateş ile sudan ibaret olduğunu sanarak, havanın nasıl ateşe değiştiğini veya toprağın nasıl sudan hâsıl olduğunu anlatmaya uğraşıyordu. Muntazam üç buutlu cisimlerin niteliklerini kullanarak, çok güzel bir teori geliştiriyordu. Öklid'in on üçüncü cüzünde bu üç buutlu cisimler inşa edilip nitelikleri incelenir. Bu inşanın irrasyonel sayıların teorisiyle sıkı bir ilgisi var. İnşaya ait teori kısmen Theaetus tarafından geliştirilmişti. Öklid'in on üçüncü cüzünde bütün teori meydana konulmuş. Eflatun'un resmettiği evrenin çok güzel olmasına rağmen, Eflatun'un kosmolojisinden, üç buutlu cisimlere ait ve Öklid'in Öğeler'ında bulunan kavramlar ile iddialar çağdaş bilime daha yakındır. Yani, Öğeler'eler'da bulunan teoriyi biz bugün bile faydayla inceleyebiliriz.

Her halde biz evvela Öğeler'in onuncu ile on üçüncü cüzünde bulunan teoremleri sunacağız. Zaman kalırsa, ondan sonra Eflatun'un resmettiği evreni ziyaret edeceğiz.

---

Kendi hayatımla başlayacağımı beklemezsiniz, ama Einstein'i Öklid'le bağlayan ve zevkle hatırladığım anılarım var. Müsaadenizle, bu matematikte başlangıçlarıma ait anılarla başlayayım. İlk önce, üniversiteye kaydolduğum zamandaki durumumu resmedeyim. Türkçem bu işe yetmediği için, sizin hiç bir şey anlamamanız muhtemel. Uzun bir hikâyeye nakletmemden sonra, Einstein ile Öklid'e geleceğiz.

İkinci Dünya Savaşından hemen sonra, Kuzey Amerika'da, bilhassa Kanada'da, büyük merkezlerin dışındaki ortam kuşkusuz hepinizce bilinmez. Ailemin savaştan sonra taşındığı yer köy değildi. Belki kasaba denilebilecek bir yerdi, ama yine de kasaba kadar büyük değildi. En önemli özelliği olarak, kira bedeli ucuz olan çok ev vardı. Avrupalılar, başlıca İngiltere, İskoçya, veya İrlanda'dan göçenler, 19. yüzyılın sonunda ile 20. yüzyılın başında o bölgeye gelip, yerleştiklerinde, yüzyıllarca orada yaşamış olan yerliler çiçek hastalığı salgınlarında öldüklerinden, çok ucuz satın alınabilecek arsalar varmış. Kıyıda olduğundan, merkezden uzak olmadığından, çok hünersizce çerden çöpten yapılmış, ucuz kiralanacak tatil evleri kasabada bulunurdu. Bu sebepten, az paralı, ya da fakir aileler, yaşlı insanlar, boşanmış veya başka nedenden kocasız ama çocuklu olan kadınlar orada yaşıyorlardı. Tabii oldukça olağan görünen aileler de vardı. Onların neden orada bulduklarını, ya da, özellikle, saf çocuksu gözlerimde tamamen olağan görünen kendi ailemin ne sebepten oraya geldiğini yalnız çok sonradan, bir yetişkin olarak, sordum.

Oradaki orta okulda ile lise gibi okulda yedi yıl geçirdim. Başka öğrenciler beklenen nitelikteydi, bazen oldukça iyi, bazen oldukça ahmak. Ben, onların çoğundan daha gençtim, onlardan çok etkilenecek, buluşa erdim, okulda hiç zihinsel coşkuya kapılmadım, hiç bir şey öğrenmedim. Öğretmenlerin de her türlü vardı. Bazi adamakıllı yetersiz, başkaları dürüst ve yeterli öğretmenlerdi. Ama ben budalaca bir isyankarlıkla, hiç kimseden bir şey öğrenmek istemezdim. Şükür ki, okuldaki son iki yılda, genç her öğrenci tarafından sevilen ve İngilizce

edebiyata hayran olan bir öğretmen geldi. O, bana o zamana kadar hiç bir şey öğrenmemiş olduğumu açıkça anlattı, ama üniversiteye kaydolmazsam yazık olur diye, beni sıkıştırdı. Belki ergenliğimin en zor yılları zaten bitmişti. Hemen heyecana kapıldım, sınavlar için çalıştım, çok başarılı olup burs kazandım. Böylece, daha on yedi yaşında değilken, yüksek tasarılarla dolu olarak, üniversiteye vardım.

Annem, hakkımdaki sıkıntıları ile endişeleri hafifleyerek, kuşkusuz mutlu olmuştu. Ama o benim nelere ve ne kadar kapılmış olduğumu bilemezdi. Benim ise telafi edeceğim yedi yıl vardı. Sabırsızdım, çaplı bir sahnede rol alacağımın hayaline kapılmama rağmen, hiç tecrübem olmadığından bir öngörülen mesleğim, gerçek tasarılarım hiç yoktu. Matematikte yeteneğim vardı ve, belki Einstein sayesinde, bazı matematikçiler ile fizikçilerin sadece ün değil, ama entellektüel, hatta ahlaki şan kazandığımı biliyordum. Her halde, üniversiteye vardığımdan kısa zaman sonra, yaşadığımız yerin yakınında bulunan nüfusu belki yirmi bin olan gerçek bir kasabada, kitapçının, aslında kırtasiyecinin, vitrininin önünden geçerken, parlak portakal rengi kabı olan kalın, “Albert Einstein: Philosoph-Scientist” adlı bir kitaba gözüm takıldı. Oldukça pahalı idi, ama on yedinci doğum günüm yaklaşıyordu ve adetimiz üzere hediye bekleyebiliyordum. Kitabı diledim. Annem ciddi, hic olmazsa zararsız, şeylere ilgi gösterdiğimden o kadar memnun idi ki kitabı satın alıp, bana verdi.

Tabii, hiç bir şey anlamadım, ama kitapta Einstein’ın yazdığı ve zihni oluşmasını nakleden makale bulunuyordu, hem Einstein’ın Almanca metni hem de İngilizce çevirisi. Einstein’ın ne yazdığına bakalım. Amerika onu benimsemesine, Einstein’ın kendisi Almanya’yı reddetmesine rağmen, o Wilhelm’in İmparatorluğunun bir ürünü idi. Bence, hayatının sonuna kadar bu devirle memleketin davranışlarını kaybetmemiş, hem yaşam tarzını, hem de düşünme tarzını onlardan miras almıştı. Meramını Almanca anlatmayı yeğlemişti. Bu nedenden, kendi sözlerini vereyim.

*“Im Alter von 12 Jahren erlebte ich ein zweites Wunder ganz verschiedener Art: An einem Buchlein über Euklidische Geometrie der Ebene, das ich am Anfang eines Schuljahres in die Hand bekam. Da waren Aussagen wie z. B. das Sich-Schneiden der drei Höhen eines Dreieckes in einem Punkt, die—obwohl an sich keineswegs evident—doch mit solcher Sicherheit bewiesen werden konnten, dass ein Zweifel ausgeschlossen zu sein schien. Diese Klarheit und Sicherheit machte einen unbeschreiblichen Eindruck auf mich. Dass die Axiome unbewiesen hinzunehmen waren beunruhigte mich nicht. Ueberhaupt genügte es mir vollkommen, wenn ich Beweise auf solche Sätze stützen konnte, deren Gültigkeit mir nicht zweifelhaft erschien. Ich erinnere mich beispielsweise, dass mir der pythagoräische Satz von einem Onkel mitgeteilt wurde, bevor ich das heilige Geometrie-Buchlein in die Hand bekam. Nach harter Mühe gelang es mir, diesen Satz auf Grund der Aehnlichkeit von Dreiecken zu“beweisen“; dabei erschien es mir “evident“, dass die Verhältnisse der Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks durch einen der spitzen Winkel völlig bestimmt sein müsse. Nur was nicht in ähnlicher Weise “evident“ erschien, schien mir überhaupt eines Beweises zu bedürfen. Auch schienen mir die Gegenstände, von denen die Geometrie handelt, nicht von anderer Art zu sein als die Gegenstände der sinnlichen Wahrnehmung,“die man sehen und greifen könnte.“ Diese primitive Auffassung, welche wohl auch der bekannten Kant’schen Fragestellung betreffend die Möglichkeit “synthetischer“ Urteile a priori zugrundeliegt, beruht natürlich*

*darauf, dass diese Beziehung jener geometrischen Begriffe zu Gegenständen der Erfahrung (fester Stab, Strecke, etc) unbewusst gegenwärtig war."*

Yeniden, çevirisini verebilirim.

*On iki yaşında ikinci ve tamamen farklı bir harika gördüm; bir okul yılının başında elime geçen düzlem geometri üzerine küçük kitaptan. Bazı orada bulunan iddialar, mesela üçgenin üç yüksekliğinin bir noktada kesişmesi, hiç aşıkara olmasına rağmen, o kadar kesinlikle ispatlanabilmiş ki kuşku kalmamıştı. Bu kesinlik, bu açıklık bende ifade edilemez bir intiba bıraktı. Aksiyomların ispatsız alınması huzurumu kaçırmadı. Bana şüphesiz görünen iddialara dayanan ispatlar bulabilmekten tamamen memnun oldum. Mesela kutsal kitabın elime geçmesinden evvel, Pisagor'un teoremini bana bir amcamın anlattığını hatırlıyorum. Birbirine benzer üçgenler kullanarak bu teoremi çok çabalayarak ispatlayabildim. Teoremi öyle ispatlarken bana dik açılı üçgenin yanlarının oranının bir dar açı tarafından belirlendiği aşıkara görünmüştü. Bence ispat, yalnız böyle belli olmayan şeyler için lazımdı. Bence geometriye konu olan şeylerle görüş dokunduğunuz nesnelere tamamen benzerdi. Bu ilkel anlayış önsel sentetik hüküm üzerine Kant'ın ünlü sorunun temellerinden biridir. Tabii anlayışımızın kaynağı her geometrik kavramın—ölçü değneği, aralık filan—deneyli bir nesneye ait olduğunun bilinçsiz farkında olmuştum.*

Einstein'in otobiyografisinin hepsinin okunması çok faydalı olacağı halde, biz bu tek bir bentten çok öğrenebiliriz. Öklid'le başlayarak, biz Einstein'e kadar varmak istiyoruz. Yani eğrilik kavramının Öklid'de nasıl meydana çıkıp, ve iki bin üç yıl sonra, Einstein'in genel izafiyet teorisinde nasıl kullanıldığını anlamak istiyorum. Otobiyografisinde Einstein eğrilikten söz etmez. Gerçekten, Einstein'in andığı teorem Öklid'de bulunmaz. Sağlamasını biz sonra hatırlayacağız, ama önce Abraham Pais'in güzel ve çok yararlı "*Subtle is the Lord*" başlıklı Einstein'in biyografisinde bulunan bazı ayrıntıları hatırlayayım.

Einstein, çok genç yaşta beri, Jakob Einstein adlı amcasının teşviğinden faydalandı. Özellikle, amcası on yaşındaki çocuğuya çözeceği matematik önermeler verdi. Bu yüzden hatırladığı geometri kitabını hediye olarak aldığı zamanda, yalnız on iki yaşında olmasına rağmen Einstein oldukça tecrübeli küçük bir matematikçiydi. Fakat abartmamalıyız.

Pais'in kitabına göre, aldığı kitap, 1867 yılında yayınlamış, iki Almanyalı Heis ile Eschweiler tarafından yazılan "Lehrbuch der Geometrie zum Gebrauch an höheren Lehranstalten" idi. Bu kitap hâlâ bazı kütüphanelerde bulunur. Gördüm, çok güzel. Öklid'in geometrisi hakkında olmasına rağmen, bazı kitapta bulunan teoremler Öklid'de bulunmaz. Ya Öklid'dan sonra keşfedildiğinden, ya bazen sadece Öklid tarafından atlandığından. Einstein'in dikkatini çeken teorem şüphesiz eski Yunanlılarca bilinmişti, ama bizim belki sonra anlatacağımız sebepten Öklid tarafından toplanılmamış.

Bazı temel teoremler amcadan daha öğrenmiş olan Einstein kitabın içerdiği malzemeyi anlayıp değerlendirebiliyordu. Belli olmayan, beklemelik, zorla ispatlayacak teoremlere büyülendi. Einstein otobiyografisinde kendisini çarpan bir teorem anlatır. Üçgene ait olduğundan, onu anlatacağımızdan evvel biz bazı üçgene ait tanımlamalar ve kavramlar hatırlamalıyacağız.

Aynı zamanda, Öklid'in Öğeler'in yapısını ve Öklid'e önemli görünen kavramları inceleyebiliriz. Öğeler'ı yazdığı zaman Öklid'in on iki yaşında olduğunu sanamıyoruz. Teoremin güzelliği veya çarpıcılığı Öklid için en önemli niteliği muhtemel olmamış. Bilakis, geometrinin temel ilkelerini korup sağlamak istedi. Hic olmazsa, bana şöyle görünür.



Birinci cüzde, kara cahil çocuğun bile gözüne çarpan geometrik çizimler var. Mesela tam başta, beğendiğim her öğrenciye tanınmış çizimler bulunur. Dokuzuncu önermede bir açının iki eşit açıya nasıl bölünmesini anlatılmış (Şekil I). Onuncu önermede, bir doğru çizginin ikiye bölünür (Şekil II). On ikinci önermede, bir noktadan bu noktayı içermeyen bir doğru çizgiye bu çizgile dik açı yapan başka çizgi çizilmiş (Şekil III). Acaba, bu teoremler, her ne kadar güzel olmalarına rağmen, Einstein'ın ölçütüne uyar mı? Yani çabalayıp düşünmeden çizimlerin önermeleri çözdüğü hemen bellidir.

Ünlü Pisagor'un teoremi kırk yedinci önermesi olarak birinci cüzde bulunur. Cüzün tam son önermesinde, yani kırk sekizincide, Pisagor'un niteliğine sahip olan üçgenin dik açılı olmasını ispatlanır. Okulda öğrendiğimiz gibi, Pisagor'un adlı teorem dik açılı üçgenin hipotenüsündeki karenin başka kenarlardaki karelerin toplamına eşit olmasını iddia eder. Hatırlarına göre, Einstein, amcasının bu teoremi kendisine anlattığından sonra, çok çabalama-  
madan sonra ispatını arayıp buldu. Böylece, bu iddia ölçütüne uyduğunu sanabiliyoruz. Otobiyografisinde Einstein'ın anlattığı gibi, keşfettiği ispatta birbirine benzer olan üçgenlerin nitelikleri uygulandı.

Birinci cüzdeki otuz ikinci önermeyi ispatlamak için Öklid ünlü beşinci önermeyi uygulamış. Sonrada biz bu önermeyi Öklid'in anlattığı şekilde izah edeceğiz. Birinci cüzde önerme en azından iki defa uygulanır. Mesela her üçgenin üç iç açının toplamının  $\pi$ -ye eşit olmasını ispatlamak için, ama Pisagor'un teoremi de onunla ispatlanır. Dolayısıyla, Pisagor'un teoremi birbirine benzer olan üçgenlerin teorisiyle ispatlanabilirse, bu teori beşinci önermeye dayanmalı.

Fakat genç Einstein'e göre, belki herkese göre, şekilde aynı olan—veya benzer—üçgenlerin teorisi sade ve belli. Öklid'ce, bilakis, o kadar belli değil. çocuklar için, genel olarak sokaktaki adam için, matematik asıl ilkelerin ölçek değişmez olması bellidir. İbaremin muhtemel yanlış olduğundan, ne demek istediğimi siz belki anlamıyorsunuz. Başka sözlerle tekrarlayım. Şekillerini değiştirmeden ama boyları ile arasındaki uzaklıklarını aynı oranda büyüterek, bir takım nesnelerin yerine başka bir takım geçirirsek, arasındaki matematik veya fiziksel ilgiler değişmez. İlk Yunanlı matematikçiler ile filozoflar için bu niteliğin aşikâr olduğundan halde, meğer Öklid için aşikâr olmamış. Büyütmeye veya ölçeğe ait kavramları ve teoremleri o hemen uygulamamıştı. Özellikle Pisagor'un teoremini ispatlarken başka yöntemi uyguladı. Aynı şekilde olan geometrik şekilleri ortaya koymasından önce Öklid Öğeler'in beşinci cüzünde Evdoksus'un (İngilizce Eudoxus) oran teorisini anlatıyor. Ardından altıncı cüzde benzer üçgenlere ve başka benzer geometrik şekillere ait teoriyi geliştirdi.

Hatırladığımız gibi ölçek değişmezliği ilkeleri düzlemin veya uzayın düz olduğuna bağlıdır. Dolayısıyla düzlemin düz olması herkesin çocukluğundan beri inandığı hatta bildiğini zannettiği olguların bir sonucudur. Böylece Öklid'i inceleyince, ben Kant'ın sorununu yavaş yavaş anlamaya başlıyorum. Belki bu yolda devam ederek, 18. yüzyıldaki filozoflar arasında yaşadığımız uzay hakkındaki tartışmaları daha iyi anlayabilirim. Gauss bu tartışmanın gerçekten farkında idi. Sonuçta tartışmayı o halletmiştir bile.

Gauss'ın fikirlerine geldiğimizde, bir üçgenin iç açılarının toplamının  $\pi$ 'ye eşit olmamasının sonucunun veya hatta bunun mümkün olmasının 18. yüzyıldaki filozoflar ile matematikçileri şaşırttığını göreceğiz. Bizi de belki şaşırtacaktı, çünkü genel olarak toplamı  $\pi$ -ye eşit değilse, ölçek değişmezliği geçerli değil, yanlış olur, ve üçgenlerin nitelikleri garip görünür. Bu beş konferansda, Gauss'a, Öklidyen olmayan geometriye de gelmeyeceğiz. Bu dizide üçgenlerin nitelikleri ile paralel önermesi arasındaki bağlantıları anlatacağız. Bildiğim kadar bu bağlantılar Eflatun'un veya başka filozofların yazılarında bulunmuyor. Neden, bilmiyor. Belki,

Eflatun'dan sonra keşfedildiklerinden, belki hem Eflatun hem de halefleri önermenin önlemini anlamamışlardı da ondan. Bu sorunun neden 18. yüzyılda o kadar ilgiyle karşılandığı bana hâlâ belli değil.

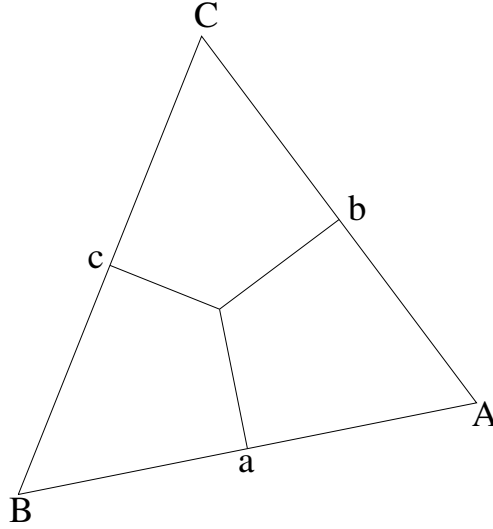
Yazdığım gibi, amcasının Einstein'a verdiği kitap Öklid'in Öğeler'ı değilmiş, başka, eğitimsel yönden daha kolay kitapmış. Fakat genç olduğum zaman ben bunu bilmiyordum. On altı yaşında ortaokulda hatta okulun son yıllarında âdeta hiç bir şey öğrenmemiş ama matematikçi veya fizikçi olacağım diye, karar vermiş delikanlı olarak, Einstein'ın otobiyografisini okuduğumda, baştan başlayım diye, Öğeler'ı okumak istiyordum.

O zaman çok ucuz ve bazı çok faydalı olan bir kitap dizisi Kanada'daki her kitabevinde bulunuyordu, yani, Everyman's Library adlı dizi. Öklid'in Öğeler'ı da bu dizideydi. Everyman's baskısı için Öklid'in Öğeler'mın ünlü yorumcusu Thomas Heath bir önsöz yazdı, ama ucuz olan baskı ne yazık ki bu tefsirini içermiyordu. Önsözünde Heath yazar ki

*“The only general criticism of it which is deserving of consideration is that it is unsuitable as a textbook for very young boys and girls who are just beginning to learn the first things about geometry”*

*Kitap hakkında genel yönden yapabilecek ve önemli olan tek bir eleştiri var. Geometriyi ilk defa olarak öğrenen çok gençöğrencilere uygun değil.*

Maalesef, satın aldığım ucuz baskıyı okuyamadım. O zaman, matematik öğrenmeye başladığımda, Öğeler'ı tek başıma okumak benim için fazla zor idi. Hemen okumaktan vazgeçtim. Olağan üniversite derslerini izleyip, Öklid geometrisini değil, daha kolay olan düzlemdeki ya da uzaydaki koordinat geometriyi öğrendim. Yillardan sonra tecrübeli matematikçi olarak, Öğeler'a döndüm, ama sade baskısına değil, Heath kendisinin tefsir ettiği tabıya. Ancak yorumlarını okuduğumde, genç olduğum zamanda onu anlamadığımın nedenini anladım. Matematik ile felsefenin yönünden, Öğeler çok derindir. çok genç olarak, Einstein bazı önermeleri, sadece çözecek muammalar olarak, çok güzel, çok çekici buldu. Ama Öklid'in amacı sık sık teoremlerin sunulması değil, aksine temel matematik ve mantiki yapıyı anlatmak istedi.

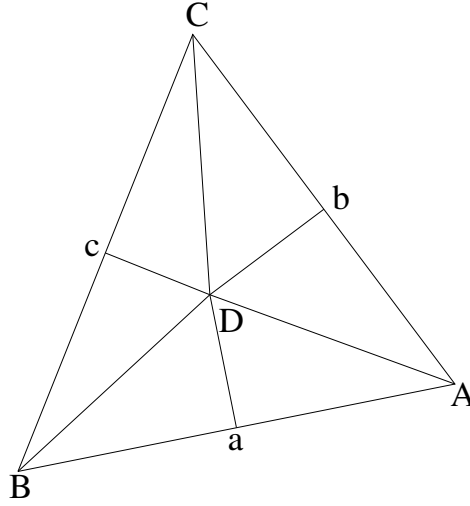


I. Şekil

Özellikle, birinci cüzde, Einstein'ın genel izafiyet teorisine ait olan paralel önermesi ile önermenin sonuçladığı teoremler bulunur. Sade ama çok önemli ve eğrilik kavramına ait olan otuz ikinci önerme Öklid'i Einstein'le bağliyor. Üçgenin üç iç açının toplamının iki dik açığa eşit olması iddia edilir. Biz Öklid'in bu teoremi nasıl ispatladığımızı anlatacağız.



Sade bir önerme olarak, biz şimdi genç yaşında aldığı kitapta Einstein'ı çarpan teoremi ispatlayalım. Herhangi bir üçgende, bir kenarına ve karşıdaki zirvesine bakalım. Bu zirveden kenarına dik açı yapan doğru çizgi yüksekliği adlanır. Belli ki üç yüksekliği var. Einstein'ı çarpan teorem bu üç çizgi bir noktada kesişmesini iddia eder. Amcasının verdiği kitapta gibi, biz Öklid'de bulunan önermeler kullanarak onu ispatlayacağız.



II. Şekil

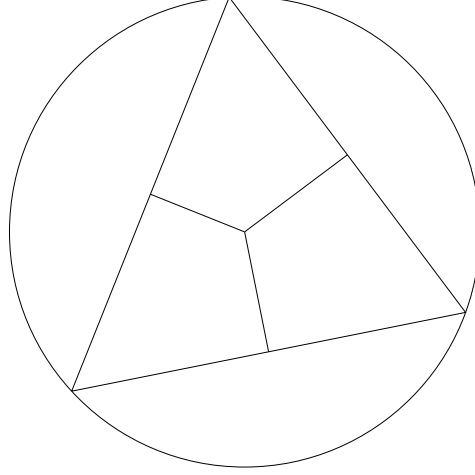
İlk önce başka bir teoreme bakalım. Şekilde gibi (I. Şekil veya II. Şekil)  $ABC$  bir üçgen olsun.  $AB$  kenarının orta noktası  $c$  noktası olsun,  $BC$  kenarının orta noktası  $a$ , ve  $CA$  kenarında  $b$ . Üç çizgi çizeceğiz. Mesela  $AB$  kenarını  $c$  noktasında kesen ve bu kenara dik olarak çizgiyi çizelim. Üç kenardan her birisi bir çizgiyi belirtiyor. Bu üç doğru çizgi bir noktada kesişir. Yani şekilde  $a$  noktasından ve  $c$  noktasından geçen çizgiler  $D$  noktasında kesişsinler.  $c$  noktasındaki iki açı birbirine eşit olduğundan,  $AD$  ile  $BD$  aralığının boyları birbirine eşittir. Aynı sebepten  $BD$  ile  $CD$  aralığının boyları birbirine eşittir. Böylece  $AD$  boyu  $CD$  boyuna eşittir. Dolayısıyla üçüncü,  $b$  noktasından geçen çizgi  $D$  noktasından da geçer. Dolayısıyla üç çizilmiş çizginin hepsi  $D$ 'den geçer.

Henüz ispatladığımız iddia Einstein'ı çarpan teoreme benzer ama ondan daha kolaydır. Merkezi  $D$  noktası olan ve her üç noktadan geçen bir çember çizilebildiğine dikkatinizi çekiyorum (III. Şekil). Dördüncü cüzünde beşinci önerme olarak bu iddiaya benzer olan bir teorem Öğeler'de bulunur.

IV. Cüzdeki 5. Önerme. Verilmiş bir üçgenin etrafına çemberin çizilmesi.

Daha zor olan teorem IV. Şekilde görülüyor. Onu ispatlamak için yeni bir üçgen çizmeliyiz. Bu adım kuşkusuz Einstein'e göre beklenmedik idi, dolayısıyla ispata çok hayran oldu.

Yeni üçgen V. Şekilde gösteriliyor. Mesela  $A$  noktasından geçen ve  $Aa$  yüksekliğine dik olan çizgi  $IH$  çiziliyor. Üç çizgiyi böyle çizerek, biz  $GHI$  üçgenini elde eder. İlk teoremi uygulamak için  $AI$  ile  $AH$  aralıklarının birbirine eşit olmasını gösteririz. Aynı yöntemle,  $BI$  ile  $BG$ 'nin birbirine eşit ve  $CG$  ile  $CH$ 'nin birbirine eşit olmasını gösterebileceğiz. O zaman ispatladığımız teoremi  $GHI$  üçgenine uygularsak, üç çizdiğimiz,  $A$ ,  $B$  ve  $C$  noktasından geçen çizginin bir noktada kesiştiği görürüz.



III. Şekil

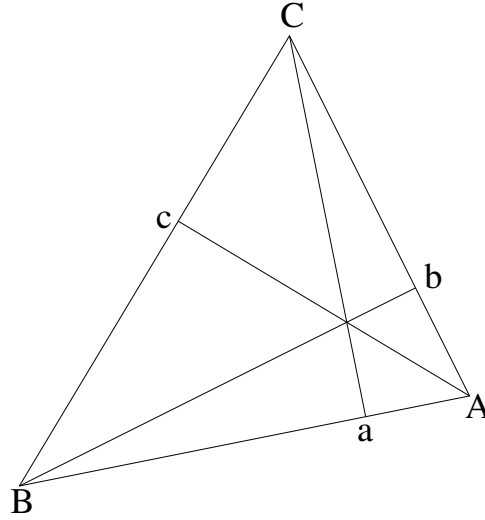
$AI$  ile  $AH$  aralığının birbirine eşit olduğunu ispatlayalım.  $BC$  ile  $AH$  eşittir, çünkü  $BA$  ile  $GH$  ve  $BC$  ile  $AH$  paraleldirler. Yani,  $CBAH$  şekli paralelkenardır. Benzer sebepten  $IA$ 'nın boyu  $BC$ 'nin boyuna eşittir. Böyle, iki boyu  $IA$  ile  $AH$  birbirine eşit olur. Aynı sebepten  $GC$  ile  $CH$  veya  $GB$  ile  $BI$  birbirine eşit olur.

Bu ispatta gerçekten beklemedik ve çok zevkli özellikler var!

### ÖKLİD'İN ÖĞELER'İ

Şimdiye kadar hepsinin ziyade uzun dizimde konuların ne olacağını anlattım. Bundan fazla, çocuk olarak Einstein'in Öklidyen geometride neye hayran olduğunu öğrendim. Şimdi birinci konuya gelerek, Öğeler'e döneceğiz.

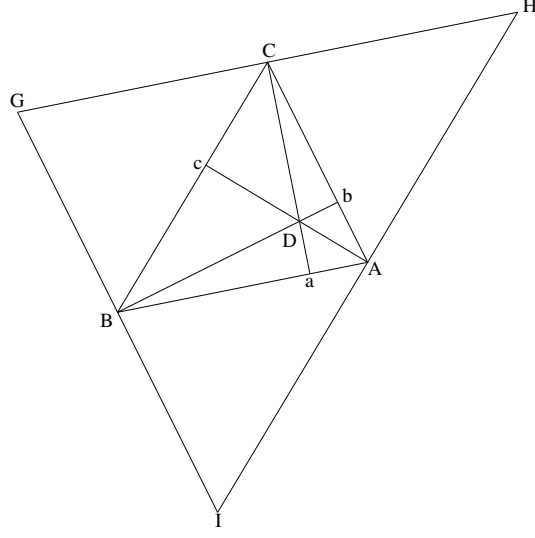
Başlamamızdan evvel vurgulacağım bir şey var. Yani İstanbul'a vardığım gün buradaki iyi tanımadığım meslektaşla rastladım. "Bize matematikte yeni geliştirmeleri nakledeceksiniz" diye, bana nezaket gösterdi. Dinlediğiniz gibi, anlatacağım şeyler hiç yeni olmayacak. Amacım tam başkadır. Öklid'in, Dekart'ın, Gauss'ın veya Riemann'ın yazılarının içerdiği fikirler ile kavramlar yeni değil, ama hepimize, gençlere veya deneyimli matematikçilere, faydalıdır. Bu önemli dört düşünürlerin yarattığı alanlara, farklı düzeyde olsa bile, hepimiz yaklaşabiliriz. Bazen yaklaşarak, beklediğimizden çok daha fazla öğreniriz. Bu konuların güzelliğiyle ya da nihayetsizliğiyle karşı karşıya bulunduğumuzda, biz hepimiz aynı durumdayız. Bu durumda bugün yaygın olan, "Yeni mi?", "çoktanberi bilinmiş mi?" soruları artık önemli değil. Kısa bir zaman için olsa, biz hepimiz bu ortak bilgilere sahip olduğumuzu takdir ederken, birbirimize eşit olduğumuzu da kabul ediyoruz.



IV. Şekil

Öğeler’de bulunan üç konular ele alacağız. Birincisi ilk cüzinde bulunan paralel belite ait geometrik kuramlar. Bu kuramların kökleri eski Yunanlı matematikte bulunur, bilhassa M. Ö. altıncı veya beşinci yüzyılda ügenin niteliklerinin keşfedilmesine aittir. Tembel olarak, çok düşünmeden matematikçiler ile tarihçiler sık sık bu zamanki matematiği Pisagor’a atfediyor. Haberdar iseler Pisagor’ı değil, etkilediği düşünürleri kasteder. Habersiz isek, biz kolayca aldatılırız. Gerçekten, o zamanda oluşan matematiğin tarihi anlatmak zordur. Gerçeği efsanelerden ayırmak çok zor hatta olanaksız. Kendimizi saf görüşlerden kurtarmak istersek, ilk önce o yıllardaki matematiğin eriştiği düzeyi bilmemiz gerektir. Öncelerini, mesela Pisagor’u, Eflatun ile Aristo’nun yazılarından tanıttığımız için, bildikleri matematik özellikle önemlidir. Bu iki filozof matematikle çok ilgilenmiştir ve matematikçiler ile yakın ilişkileri varmış. Öklid’in onlardan sonra Mısırlı Iskenderiye’de yaşamasına ve Öğeler’inin o zamandaki matematiği tamamen içermemesine rağmen, biz Öğeler’inden pek çok Eflatun’u etkileyen matematik öğrenebiliriz.

Pisagor hakkında görüşlerimiz Eflatun ile tilmizlerinden ya da yeni Eflatunculardan aldığımız halde, Eflatun’un kendi yazılarda bulunan en güzel benler eğriliğe veya paralel çizgilere ait değil, irrasyonel sayılara ve muntazam cisimlere aittir. Dolayısıyla Öğeler’inin son cüzde bütün yer alan muntazam cisimler teorisi üçüncü konumuz olacak. Bugün gibi, Öklid için irrasyonel sayılar ile muntazam cisimlerin ilişki hayli önemlidir. Bu ilişki Öklid’in kavramlarına uygun çerçevede oluşturmak için biz ilk önce eski Yunanlı matematikçiler oluşturduğu ve hayli derin olan geometrik cebiri anlatmalıyacağız.



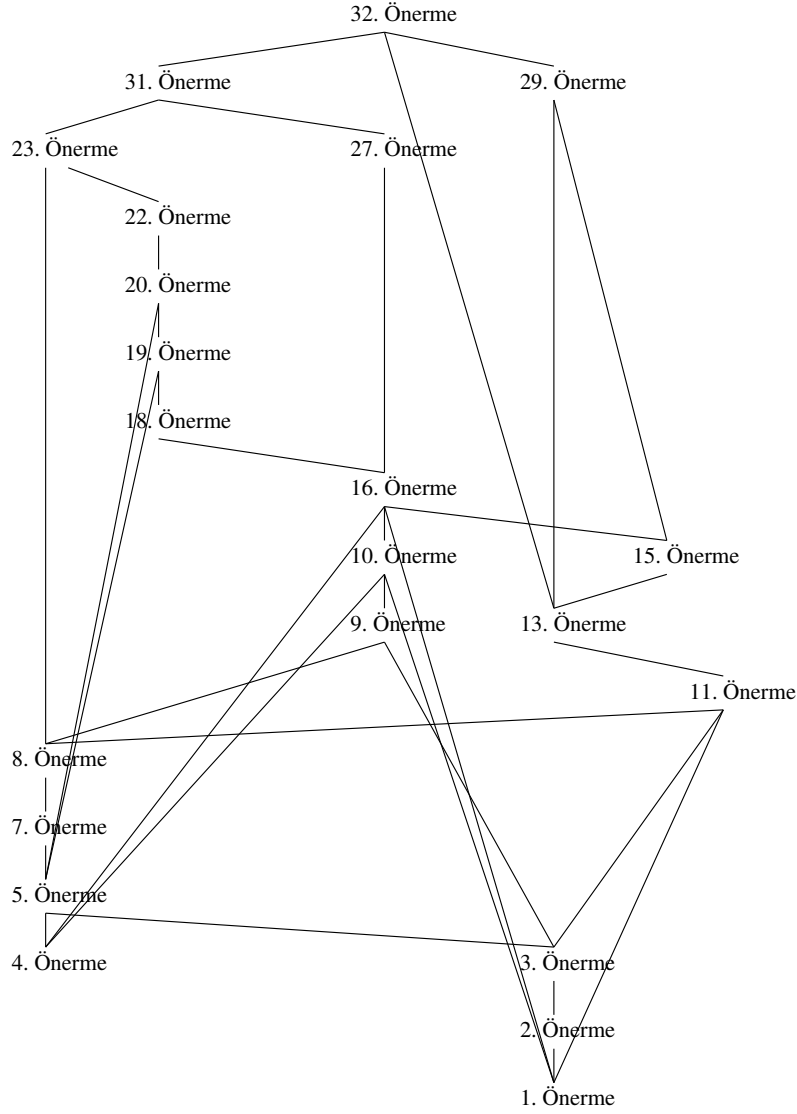
V. Şekil

## ÜÇGENLER İLE EĞRİLİK

İki tam farklı sebepten dolayı, bu dersleri için otuz ikinci önerme önemlidir. önerme bir üçgenin üç iç açısının toplamı iki dik açına, yani  $\pi$ 'ye eşitliğini iddia eder. Hepsinden ziyade, önerme Öğeler'in eğrilğe ait içerdiği bilginin özütüdür. Bundan fazla önermenin köklerinin ilk Yunanlı matematikte bulunduğundan, onu inceleyerek biz hem eski matematiğinin ne olduğunu, hem eski matematikçilerin kim olduğunu daha iyi anlayabiliriz.

*I. Cüzdeki 32. Önerme. Her hangi bir üçgende, bir kenarı uzatılırsa, bir dış açısı, kendisine komşu olmayan iki iç açısının toplamına eşit olur, ve üç iç açısının toplamı iki dik açığa eşittir.*

Heath'in tabısında ya da Everyman tabısında her önermenin ispatında uygulanan ve önceden anlatılan önermeler işaret edilir. Dolayısıyla ispatın düzeni, ya da bazı yönden kitabın yapışı, kolay anlaşılır. Bir şekil (VI. Şekil) ile otuz ikinci önermenin ispatının önceki önermelere nasıl dayandığını anlatabiliriz.



VI. Şekil

Şekildeki ikinci dizide 32. önermenin tam altında bulunun 29. önerme, paralel önermesini doğrudan kullanan tek bir önermedir. Biz önermeyi henüz vermememize rağmen, önermenin Öklidyen geometride birbirine paralel olan doğru çizgilerin var olduğunu iddia ettiğini hemen söylebiliriz.

Öklid'den Einstein'a götüren yolu izlemek istersek, on sekizinci yüzyıldaki keşfedilen ve paralel önermesi ile eğriligi bağlayan teoremleri incelemeliyeceğiz. Önceden Öklid'in Öğeler'inde paralel önermesi ile eğrilik arasındaki ilgi üzerinde ne bulunduğu diye sorarız.

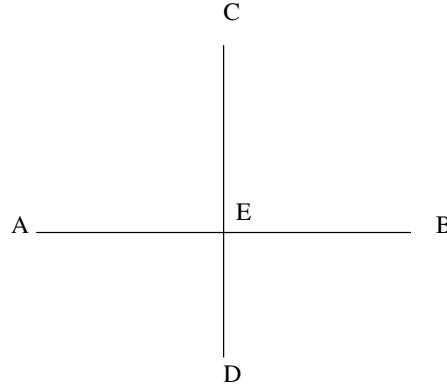
Öklid'in yazdığına bakmamızdan evvel, bazı Heath'in verdiği diğer ispatlara bakalım. İlk vereceğimiz ispatlar son yüzyıllarda tarihçilerin önerdiği fakat eski belgelerde belki varolmayan ispatlardır. Göreceğimiz gibi, bu ispatlarda Öklid'in yaptığı kadar ihtimam edilmemiş. çocuk

olarak, Einstein'in bulduğu ispatlar gibi, bizi çevreleyen uzaydan saf ve bilinçsiz anlayışımıza destekleniyorlar.

Ama önemli bir özellik var. Matematiğin başlangıçlarının izleri farklı ülkede bulunuyor fakat bizim tanıyıp en çok değer verdiğimiz bilimin bu bölgede, daha çok kesinlikle İyonya'da, milattan önce altıncı yüzyılda başladığı anlaşılır. Matematiğin veya felsefenin eski dini ortamdaki nasıl ortaya çıktığını bilemeyiz. O çağda yaşayan insanların nasıl yaşadığını, nasıl düşündüğünü elbette kavramaya uğraşabiliriz ama asla bilemeyiz.

Bu son cümleyi buraya gelip ilk dersleri vermemden evvel yazdım. Açıkçası şimdi cümlelerin cahilce bir görüşü ifade ettiğinden şüpheleniyorum. Belki bu dönemin mevcut olan izlerini iyi tanıyanlar o zamandaki insanlar nasıl yaşadığını biliyorlar. Her halde derslerin içeriği üzerine düşününce, benim cehaletimin belki herkesin cehaleti olmadığını fark ettim.

Matematiğin başlangıcına bağlı olan iki iyi tanınmış ad var, yani muhtemelen milattan önce altıncı yüzyılın başında yaşayan Tales ve milattan önce 570'den 500'e kadar yaşayan Pisagor. Bu tarihler sahil olamaz, ama bu iki simanın o yüzyılda yaşadıklarından ve Tales'in Pisagordan önce doğduğundan kuşku yok. Biz Pisagor'un ne olduğunun sorununa sonra döneceğiz. Matematikçi olsaydı bile dini sima olarak daha önemli idi.



VII. Şekil

Pisagor hakkında çok az bilinir, ama Pisagorcular denilen tilmizleri varmış. Pisagorcuların bilimsel faaliyetlerinin pek çok izleri var. Oysa Tales Pisagordan gözümüzden daha saklamış bir şahsiyet. Benim tanıdığım bir tarihçiye göre, "Tales onlara zaruri olduğu için çağdaş alimlerin uydurduğu eski filozofdur".

Eski dinin etkisinde bulunan kişinin sade matematik şeyleri, mesela üçgenleri, dörtgenleri, küçük sayıları nasıl gördüğünü, onların onun için hangi esrarlı niteliklere sahip olduğunu belki bilemeyiz. Elbette tarihçilerin önerdikleri ispatlar ilkel geometrik şekiller üzerine düşünceye dalmış olan bir kişi tarafından keşfedilebilirdi. Halbuki, niye o zamanda bir kimse bir şeklin önünde şekil üzerine düşünceye dalıyordu, bilemeyiz.

Gerçekten hepimiz bildiğimiz gibi, bazen hatta geçen on yılda keşfedilmiş ispat için, onu keşfeden matematikçinin onu nasıl bulduğunu anlamak mümkün değil.

Öklid için 180 mertebeye eşit olan açı bir açı değil, yani doğru çizgi tanımladığı açı bir açı değil. Birinci cüzdeki onuncu tanımlamada dik açılık tanımlanıyor. VII. Şekilde gibi, bir  $CD$  çizgisi başka bir  $AB$  çizgisini  $E$  noktasında kessin.  $CEA$  açısı  $CEB$  açısına eşit ise, iki



açı dik açı denirler. Dolayısıyla bazen açıların toplamı iki dik açıye eşit ise, biz toplamın 180 mertebeye eşit olduğunu diyoruz.

Heath'in verdiği ispatları yanı sıra şu yorumlar bulunuyor:

- 1) Anlaşılan Eutocius (M. S. 650) Geminus'un (M. E. 70) yazdığı bir metne aktarıp yazmış ki  
*“Eskiler her türlü üçgenin iki dik açı içerdiğini incelemiş, ilk önce eşkenar üçgende, ondan sonra ikizkenar üçgende, ve nihayet kenarları birbirine eşit olmayan üçgende. Ardından genel teorem ispatlanmış.”*

Heath'in yazdığı gibi, Proclus'a göre (M. S. 450) Eudemus (M. E. 320) genel teoremi Pisagorculara hamletmiştir. Heath'e göre, Geminus'un atfettiği eskiler belki Tales devresinde (M. E. 600 civarında, ama Heath'e göre M. E. 624 - M. E. 547! Bazı tarihçiler bilemediğimiz tarihleri o kadar muhakkak nasıl ve neden verdiklerini bilmiyorum.) yaşayan hendesiciler veya hatta Mısırlılar olabilir. Öyle ise muhtemelen ardından genel teoremi ispatlayan Pisagorcular olmuş, yani Pisagor'un (M. E. 570'ten 500'e kadar) muasırları veya ardından gelen (yaklaşık 450'e kadar) Pisagor okuluna veya mezhebine mensup olanlar. Bilemeyiz.

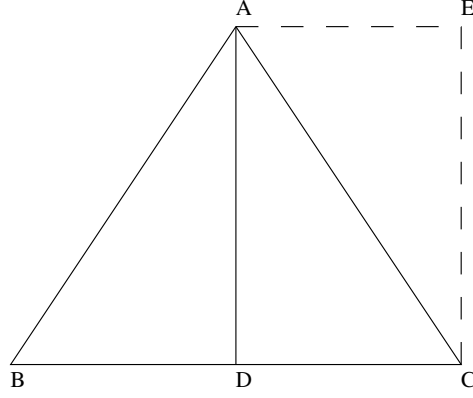
Hendesenin veya geometrinin gelişmesi hakkında yazan eski matematikler ve tarihçiler arasında bazı önemli kişi varmış. İsimlerini ve yaşadıklarını dönemi ezberden öğrenirsek, Heath'in yorumlamalarını izleyip daha iyi anlayacağız. İlk olarak, Aristo'nun bir talebesi olan tarihçi Eudemus varmış. O Öklid'den bir az evvel yaşamıştı. Aslında Öğeler'in ortaya çıktığına kadar geliştirilen geometri hakkında yazmış. Hem matematik hem de astronomi hakkında yazmıştı, ama bizi ilgilendiren yazı önemli Hendesenin Tarihi olacaktı. Maalesef bu yazı artık mevcut değil. Heath'e göre bu yazıda ne bulunduğunu, çok sonradan Proclus'un Öğeler üzerine yazdığı Tefsir'den öğreniyoruz. Heath'e göre Proclus M.S. 410'dan 485'e kadar yaşadı. İlk tahsilini Mısır'daki Iskenderun'da görmüş. Ondan sonra Atinaya giderek, orada Yeni Eflatuncularla öğrenip kendisi Yeni Eflatuncu olurmuş. İstersek mevcut olan tefsirini çevrilmiş şekilde bulabiliriz. Tercümesi yakında yayımlandı. Muhtemelen çok kütüphanede bulunuyor. Ben henüz okumadım.

Dediğim gibi, Geminus'un yaklaşık M. E. 70'in civarında yazdığı anlaşılır. Muhtemelen Rodos adında doğmuş Geminus astronomi üzerinde hâlâ mevcut olan bir eser ve matematik üzerinde ama bugün mevcut olmayan başka bir eser yazmış. Anlaşılan bu matematik yazıları çok tarihi bilgi içeriyormuş. Maalesef ne içerdiği yalnız çok sonraki yazıların (Pappus, hem de Proclus ile Eutocius ve sonradan bazı Arap tefsirci) metinlerinden bilinir.

Tales veya Pisagor hakkında rivayetler kuşkusuz tam doğru değil. Ne var ki bu dönemin gelişmelerini anlamak için, ilk önce onların tam yanlış olmadığını zannedip mana vermeye uğraşabiliriz. Her halde, aşağı yukarı hangi zamanda yaşadıklarını da ne yapabildiklerini de bilmeliyiz. Yoksa çok yanılır, bu çağda matematiğin veya bilimin nasıl oluştuğunu hakkında biz hiçbir neticeye erişemeyiz.

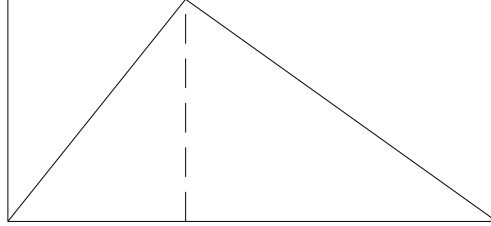
Heath'in anlattığı gibi, mozaikle tecrübeleri sayesinde Mısırlılar bir nokta çevresini doldurmak için, altı eşkenar üçgenin, dört karenin, veya üç altıgenin kullanılmasının mümkün olduğunu anlamışlardı. Kenarları ve açıları birbirine eşit olan başka çokgenin bu amaçla kullanılmasının mümkün olmadığını da anlamışlardı. Sonucu olarak altı eşkenar üçgenin iç açısı dört karenin iç açısına eşittir. Bu yüzden eşkenar üçgenin üç açısının toplamı iki dik açıya eşittir. Biz eskilerin bu şekilde düşündüğüne inanabiliriz.

Bunu anlattığından sonra, Heath mümkün olan ve başka tarihçilerin eski ispat olarak önerdiği ispatı verir, ama kendisi önerinin o kadar inandırıcı olduğunu düşünmez. Her halde, ikizkenar üçgene bakalım. VIII. Şekilde görülüyor.



VIII. Şekil

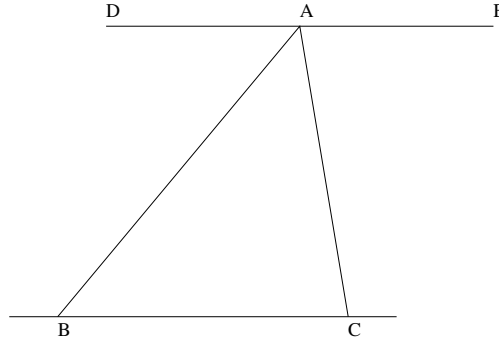
$ABC$  ikizkenar olsun.  $ABD$  üçgenine ait toplam (yani  $\angle ABD + \angle BDA + \angle DAB$ ) ile  $ACD$  üçgenine ait toplamın (yani  $\angle ADC + \angle DCA + \angle CAD$ ) toplamından  $ABC$  üçgenin açılarının toplamının iki dik açı eksikliği var. Ama  $ABD$  üçgenin iç açılarının toplamı  $ACE$  açılarının toplamına eşittir. Elbette  $ADC$  ile  $AEC$  açılarının toplamı dört dik açıya eşittir. Bu sebepten  $ABC$  açılarının toplamı iki dik açıya eşittir. Genel iddiayı ispatlamak için IX. Şekilde bulunan şekli kullanabiliriz.



IX. Şekil

Her halde, istersek, böyle bir ispat kullanarak, iddianın doğru olduğuna kendimizi ikna edebiliriz. Ama önemli bir soru kalıyor. İspatını aramamamızdan önce iddiayı keşfetmemiz lazım. Bu nasıl yapılabilir. Kendi tecrübemize bakarsak, her hangi ciddi bir matematik iddianın bulunması kolay değil. Eskiler niye genel iddialar arıyorlardı? Niye araştırmaya girişmişlerdi? Önce iddianın keşfedilmesi lazım ki sonra genel ispatı aranabilir. Bunun için onların üçgenlerle veya dörtgenlerle eğlenip oynamaları lazımdı. Bu anlattığımız yöntem iddiayı ispatlamadıysa, teoremi keşfetmeye yeterdi. Her halde ben kendi kendime matematik üzerinde düşünmeye başlamadım. Size de belki uygun cesaret veren ortam lazımdı, ama tek bir kere olsaydı bile bir kimse tek başına matematik hakkında düşünmeye başlardı. Fikrimi iyi anlatmıyorum, ama matematiğin başlangıçlarında esrarengiz bir şey vardı. Düşündüğümün ifade edilmesi kolay değil, ama bu noktada önemli ama meydana çıkarılamaz bir şey olduğunu hissediyorum.

Pisagorcuların belki keşfettiği ispat Heath'in yorumlarında bulunur. Bu ispat genel ve henüz anlatmadığımız Öklid'in ispatına benzerdir, ama onun mantığı Öklid'in mantığından daha az açıktır. Heath'e göre bu ispat Eudemus'un yazında bulunmuş. Proclus tarafından bize aktarılmış. Eski matematik hakkındaki bilgimizi araçlı öğrendiğimizi görüyoruz.



X. Şekil

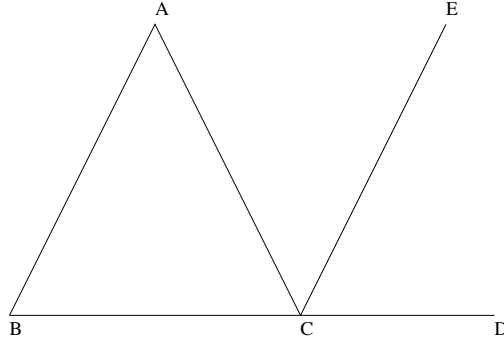
Öklid'in genel teoremi nasıl ispatladığını anlatmamızdan evvel, ona benzer muhtemelen Pisagorcuların olan ispatı anlatalım. X. Şekildeki resmi kullanıyoruz.  $ABC$  verilmiş üçgen olsun.  $DE$  doğru çizgisi  $A$  noktasından geçen ve  $BC$  doğru çizgisine paralel olan bir çizgi olsun. Öyle bir çizginin çizilebildiğini kabul ediyoruz. O zaman  $DAB$ ,  $BAC$ ,  $EAC$  açılarının toplamı iki dik açıya eşittir. Ama aynı zamanda,  $CBA$  açısı  $DAB$  açısına eşit,  $BCA$  açısı da  $EAC$  açısına eşittir.

Bu sezgili kavramamıza aşikâr olan iddiaları kullanan ispat Öklid'in ispatından çok farklı değil, ama Öklid iddialarının paralel önermesinin sonucu olmasının nedenini anlatıyor. Onun ispatı XI. Şekil'de gösteriliyor.

$ABC$  verilmiş bir üçgen olsun. Biz yeniden bir verilmiş çizgiye paralel olan ve bir verilmiş noktadan geçen bir çizgi çizmeliyiz. Yani  $AB$  çizgisine paralel olarak  $CE$  çizgisini çizelim. Yirmi dokuzuncu önermeye göre  $AC$  çizgisinin ikisi birbirine paralel olan  $AB$  ile  $CE$  çizgilerini kesiştiğinden içters durumlu  $BAC$  ile  $ACE$  açıları eşittir. Benzer sebepten, yani yirmi dokuzuncu önermeye göre,  $BC$  çizgisinin aynı iki  $AB$  ile  $EC$  çizgisini kestiğinden iki açı yöndeş durumlu olduklarından  $ECD$  dış açısı ile  $ABC$  iç açısına eşittir.

$ACE$  ile  $ECD$  açılarının toplamı  $ACD$  açısına eşit olduğundan,  $BAC$  ile  $CBA$  açılarının toplamı  $ACD$  açısına eşittir.  $\angle BCA + \angle ACD$  toplamı iki dik açıya eşit olduğundan dolayı,  $BCA$ ,  $BAC$  ve  $CBA$  üç açısının toplamı iki dik açıya eşittir.

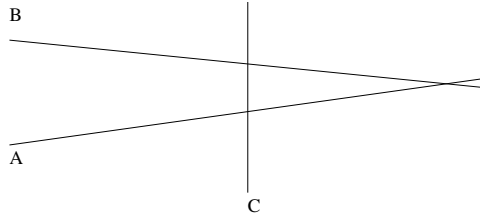
Gördüğümüz gibi, ispat bilhassa yirmi dokuzuncu önermeye dayanıyor. Şimdiye kadar bu önermenin iddiasını kesinlikle vermedik. Bu iki paralel çizgiyi kesen bir çizgiyle ilgilidir.



XI. Şekil

I. Cüzdeki 29. Önerme *Bir çizgi iki paralel çizgiyi keserse, iki içters durumlu açı eşittir, iki yöndeş durumlu açı eşittir, ve iki yanal durumlu açının toplamı iki dik açıya eşittir.*

Bu iddianın ispatı ünlü beşinci önermeye dayanır. Bu önermenin gerçekten bir varsayım, veya isterseniz aksiyom, olduğu derin bir gözlemdi. Ne var ki, bildiğiniz gibi, on dokuzuncu yüzyıla kadar, bu önermenin neden lazım olduğu anlaşılmamış. Ancak sonrada, özellikle Gauss söz konusu olurken, biz geçen üç yüzyılda, meydana gelen ilerlemeleri anlatacağız.



XII. Şekil

İlk önce, önermeyi anlatayayım. Bu önermenin çok önemli olduğu halde, hepiniz belki okulda öğrenmediniz. Böyle anlatılıyor.

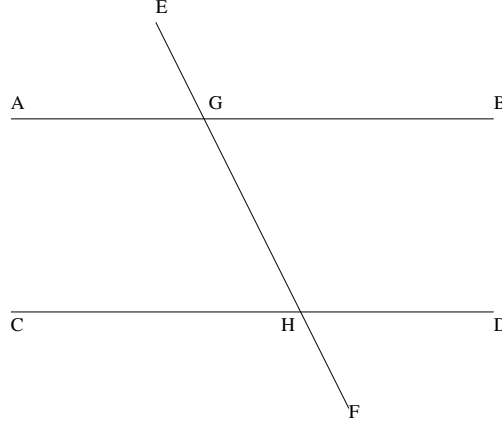
Καὶ ἐὰν εἰς δύο εὐθείας εὐθεῖα ἐμπίπτουσα τὰς ἐντὸς καὶ ἐπὶ τὰ αὐτὰ μέρη γωνίας δύο ὀρθῶν ἐλάσσονας ποιῆ, ἐκβαλλομένης τὰς δύο εὐθείας ἐπ' ἄπειρον συμπίπτειν, ἐφ' ἃ μέρη εἰσὶν αἱ τῶν δύο ὀρθῶν ἐλάσσονες.

5. Postulat. *İki çizgi, bir çizgi ile kesiştirildiğinde, aynı tarafta olan iki iç açının toplamı iki dik açıdan küçük ise, bu iki çizginin aynı taraftaki uzantıları kesişir.*

Üç çizgi ile ikisinin uzantıları XII. Şekilde gösterilir. Bazen beşinci önermeye bir bedel olarak Playfair'in belidi, veya aksiyomu, kullanılıyor. Bugün bu aksiyom da, başka beşinci önermeye bedel olan aksiyomlar da belki Öklid'in beşinci önermesinden daha iyi tanınır. Ancak başta deyip, şimdi gösterdiğim gibi Öklid'in önermesi eğrilik kavramına doğrudan doğruya aittir, belki başka yönden de daha derindir.

*Playfair'in aksiyomu. Verilmiş bir noktadan geçen ve verilmiş bir doğru çizgiye paralel olan yalnız bir çizgi çizilebilir.*

Aksiyom ile önermeyi incelemekten evvel, yirmi dokuzuncu önermenin beşinci önerme kullanılarak nasıl ispatlandığını anlatalım. (Maalesef, bu defa ne aksiyomun ne de önermenin incelenmesinin zamanı yok.) XIII. Şekli kullanacağız. Bu ispatın orta okulda kısmen anlatılmasına rağmen, onda matematiğin bazı ana kavramlarının geliştirilmesini vurguluyorum.



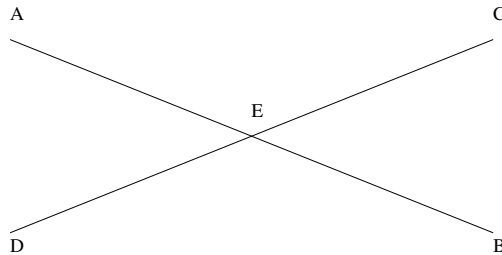
XIII. Şekil

İspat on üçüncü önermeye dayanıyor, ama bu önerme oldukça kolaydır. Mesela  $AGH$  ile  $BGH$  açılarının toplamunun iki dik açıya eşit olmasından yola çıkılarak, her halde, şekilde  $EF$  doğru çizgisi  $AB$  ile  $CD$  doğru çizgisini kesir. İlk olarak,  $AGH$  ile  $GHD$  içters açısı birbirine eşit olduğunu ispatlayalım. Birbirine eşit olmazlarsa, birisi başkasından daha büyük olur.  $AGH$  açısı daha büyük olsun. Her ikisine  $BGH$  açısı eklensin.  $AGH$  ile  $BGH$  açılarının toplamı iki dik açıya eşittir. Bu iddia on üçüncü önermenin sonucudur, ama dediğim gibi, bu iddia oldukça belli dir. Böylece  $BGH$  ile  $GHD$  açılarının toplamı iki dik açıdan daha azdır. Dolayısıyla, beşinci önermeye göre iki çizginin uzatımları kesişirler. Bu iki çizginin paralel olduğundan, kesişmeleri mümkün değil. Binaenaleyh  $AGH$  ile  $GHD$  açısı birbirine eşittir.

$AGH$  ile  $EGB$  açıları birbirine eşittir. Neden? Bu iddianın bize aşikâr olmasına rağmen, on beşinci önerme olarak, Öklid onu ispatlıyor. Yani,

*I. Cüzdeki 15. Önerme. İki doğru çizgi kesişirlerse, ters açılar birbirine eşittir.*

Bu iddianın ne dediği XIV. şekilden bellidir.  $AEC$  ile  $DEB$  açısı birbirine eşittir. Bu ispatlamak için, Öklid on üçüncü önermenin sonucu olarak  $AEC$  ile  $AED$  açısının da,  $AED$  ile  $DEB$  açısının da toplamının iki dik açıya eşit olması sonucunu çıkarır. Dolayısıyla  $AEC$  ile  $DEB$  açısı birbirine eşittir.



XIV. Şekil

Bu ispatta biz Öklid'in başka bir önermesini uyguladık. Yani Öklid'e göre dik açı nedir. Başka bir doğru çizgiye koymuş bir doğru çizgi iki birbirine eşit olan açı teşkil ederse, bu açılar dik adlanır. Dördüncü önermesine göre, her iki dik açı birbirine eşittir. Ögeler'da her kavramın tam belli olmamasına rağmen, bazı mefhumun ifadesi kesin ediliyor. Bilhassa bazı herkesin hemen kabul ettiği kavramlar verilmiş. Bu meydana olan kavramlar arasında, birincisi ile üçüncüsü şöyle ifade ediliyor.

1. Meydandaki kavram. Aynı nesneye eşit olan başka iki nesnelere birbirine eşittir.

3. Meydandaki kavram. Birbirine eşit olan nesnelere birbirine eşit olan nesnelere çıkarılsa sonuçları birbirine eşit olur.

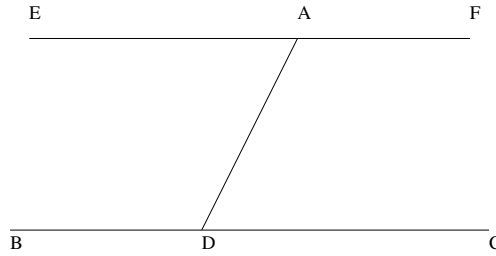
Biz otuz ikinci önermenin ispatının yirmi dokuzuncu önermeye nasıl dayandığını şimdi anlıyoruz. Yirmi dokuzuncu önermenin on üçüncü ile on beşinci önermelere nasıl dayandığını da anlattık. VI.Şekile göre bütün dayanmasının yapılaşımını anlamak için hem otuz birinci önerme ile ispatının hem de kolay olan on üçüncü önermenin ispatının anlaşılması lazım. Fazla olarak yirmi üçüncü önermenin ispatının anlaşılması da lazım.

On üçüncü önermenin çok önceki önermelere dayanmasına rağmen, otuz birinci önermesinden daha kolaydır, ya da göreceğimiz gibi bazı açıdan tam bellidir. Buna rağmen, sonra anlatacağız. Otuz birinci önermenin ispatıyla başlıyoruz.

I. Cüzdeki 31. Önerme. Verilmiş bir noktadan geçen ve verilmiş bir çizgiye paralel olan bir çizginin çizilmesi.

Bu önermenin Playfair'ın aksiyomuyla ilişkili olması bellidir.

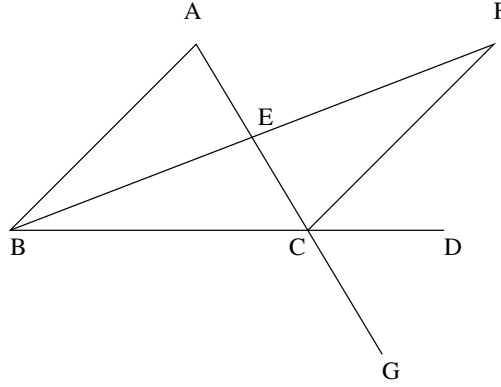
XV. Şekilde gibi verilmiş nokta  $A$  ve verilmiş çizgi  $BC$  olsunlar.  $D$  noktası  $BC$  doğru çizgisinde herhangi bir nokta olsun. Yirmi üçüncü önermede gösterilmiş gibi, zirvesi  $A$ , bir kenarı  $AD$ , ve  $ADC$  açısına eşit olan bir açı  $DAE$  çizilsin.  $EF$  doğru çizgisi  $EA$  doğru çizgisinin uzatımı olsun. Yirmi yedinci önermeye göre,  $EAD$  ile  $ADC$  açıları birbirine eşit olduğundan,  $BC$  ile  $EF$  iki doğru çizgileri birbirine eşittir.



XV. Şekil

Yirmi yedinci önerme kısmen olarak yirmi dokuzuncu önerme karşıtıdır.

I. Cüzdeki 27. Önerme. Herhangi iki çizgi, bir çizgiyle kesildiğinde meydana gelen içters durumlu açılar eşit ise, iki çizgi paraleldir.



XVI. Şekil

Yirmi üçüncü önermeyi aynı zamanda verelim.

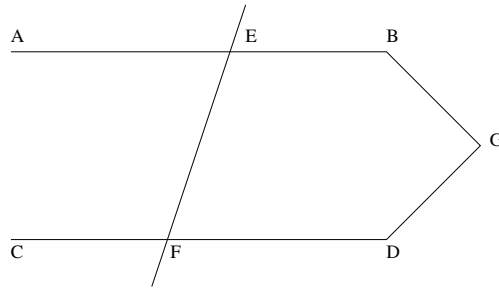
IV. Cüzdeki 23. Önerme. Verilen bir çizginin üzerindeki herhangi bir noktadan, verilen bir açıya eşit açı çizmesi.

Isterseniz kendiniz bu önermenin Öğeler'de bulunan ispatını okuyabilirsiniz. O kadar zaman olmadığımızdan, biz yalnız yirmi yedinci önermenin ispatı inceleriz. Bu ispatta genel üçgenin önemli hususiyeti uygulanmış. Sonrada anlatacağımız gibi, bazı iddialar Öklid'in geometrisinin küresel olmadığı sonucudur, bazı da hiperbolik olmadığı sonucudur. Öklidyen geometrinin küresel olmadığından yirmi yedinci önerme doğrudur. Oysa beşinci önerme dolayısıyla Öklid'in geometrisi hiperbolik değil.

Yirmi yedinci önerme Öklid'in geometrisinin küresel olmadığını ifade eden on altıncı önermeye dayanmış.

IV. Cüzdeki 16. Önerme. Her hangi bir üçgende, bir kenarının uzatıldığında, oluşan dış açı, komşu olmayan iç açılardan daha büyüktür.

Bu önerme XVI. Şekilde anlaşılan.  $ACD$  açısı  $ABC$  açısı veya  $BAC$  açısından daha büyüktür. İlk önce yirmi yedinci önermeyi ispatlayalım.



XVII. Şekil

XVII. Şekli Öklid'den aldım.  $EF$  doğru çizgisi  $AB$  ile  $CD$  doğru çizgilerinin kesmesinden oluşturan  $AEF$  ile  $EFD$  içters durumlu açıları birbirine eşit olsun. Öyle ise  $AB$  ile  $CD$  doğru çizgileri birbirine paralel olur. Paralel olmazsalar, uzatımları ya  $B$  ile  $D$  yönünde ya da  $A$  ile  $C$  yönünde kesişir. Uzatımları  $B$  ile  $D$  yönündeki  $G$  noktasında kesişsin. Öyle ise  $GEF$  üçgeninin  $AEF$  dış açısı  $EFG$  içters açıya eşittir. Fakat  $EFG$  açısı  $GEF$  üçgenin  $AEF$  dış

açısı komsu olmayan iç açıdır. On altıncı önermeye göre,  $AEF$  açısı  $GEF$  açısından daha büyüktür. Dolayısıyla aynı zamanda  $AEF$  açısı  $GEF$  açısından daha büyük ve bu aynı açıya eşittir. Bu mümkün değil. Binaenaleyh iki çizgi paraleldir.

Şimdi on altıncı önermeye döneriz. XVI. şekilde gibi,  $ABC$  bir üçgen olsun.  $BC$  kenarını  $D$  noktasına kadar uzatılsın. Şu halde,  $ACD$  dış açısı kendisine komşu olmayan  $CBA$  ile  $BAC$  açılarından daha büyük olur, diye Öklid iddia eder. Neden?

Onuncu önermeye göre,  $AC$  kenarını ikiye bölebiliriz. Orta noktası  $E$  olsun. Üçüncü önermeyi kullanarak,  $B$  ile  $E$  noktalarını birleştiren doğru çizginin uzantısında  $BE$  eşit  $FE$  olacak şekilde  $F$  noktasını alalım.  $C$  ile  $F$  noktaları birleştirelim.  $AC$  doğru çizgisinin üzerinde herhangi bir  $G$  noktasını alalım. Öğeler’de, iki noktanın birleşmesi ve bir doğru çizginin uzatılması birinci ile ikinci önermelerde açık olarak ileri sürüldü. Sonuç olarak, biz Şekil.P’yi elde ederiz.

$AEB$  ile  $CEF$  üçgenlerine bakalım.  $AE$  ile  $CE$  kenarları birbirine eşittir.  $BE$  ile  $FE$  kenarları da birbirine eşittir. On beşinci önermeye göre  $AEB$  ile  $CEF$  iki ters açısı birbirine eşittir. Hâlâ ispatlanmamış olan dördüncü önermeye göre,  $AEB$  üçgeninin ile  $CEF$  üçgeninin karşılıklı açıları birbirine eşittir. Özellikle,  $BAE$  açısı  $ECF$  açısına eşittir.

Öklid özel bir yöntemle ispatı bittirdi. Bazı şekillerin ileri sürdüğü ama verilmiş aksi-yomlarının sonucu olmayan nitelikler kullanıyor.  $ECF$  açısının  $ECD$  açısından daha küçük olduğundan dolayı  $BAE$  açısı da  $ECD$  açısından daha küçüktür. Böyle ispat etmek istersek, bir doğru çizginin düzlemde iki tarafı var olduğunu ve iki doğru çizginin yalnız bir noktada birbirini kesiştiğini bilmeliyiz. Öklid bu önermeleri açıklıkla ileri sürmemiştir, fakat saklayarak kabul etmiştir. Şimdi bildiğimiz gibi, küresel geometride, birinci önerme doğru değildir.

On altıncı önermenin ispatında yalnız on beşinci önerme değil, üçüncü, dördüncü ile onuncu önermeleri uyguladık.

*I. Cüzdeki 3. Önerme. İki birbirine eşit olmayan doğru çizgi verilmiş ise, daha büyükten daha küçüğe eşit olan doğru çizginin çıkarılması.*

*I. Cüzdeki 4. Önerme. İki üçgenin karşılıklı ikişer kenarları ve bu kenarlar arasındaki açıları eşit ise, karşılıklı tabanları da, iki üçgen de, karşılıklı ikişer açıları da eşit olur.*

Üçüncü önermenin ispatlaması kolay ve o kadar ilginç değil. Aksine dördüncü önermenin ispatlaması Öğeler’deki müşkülâtları meydana koyar. İspatlamasını anlatmamızdan evvel, onuncu önermeyi vereyim. Bu önermenin ispatlaması da oldukça kolay.

*I. Cüzdeki 10. Önerme. Bir doğru parçasının iki eşit parçaya bölünmesi.*

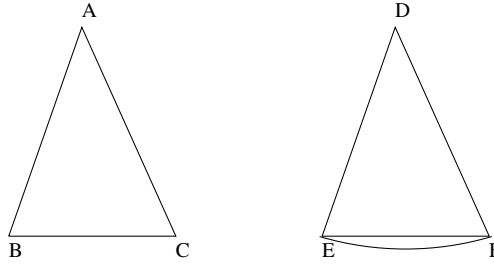
Belki de sonra Öklid’in ifade ettiği kurallarda bulunan sorunu daha açıklıkla anlatabilmek için kullandığım kelimelerin olağan olan anlamlardan farklı olan tanımını neden uygulayacağımı hemen söyleyebilirim. Yani Öklid’in peşinden giderek  $AB$  doğrusunu diye ben  $A$  ile  $B$  bağlayan doğru parçasını kastediyorum. Öte yandan  $C$  ile  $D$  noktası  $AB$  doğrusunda bulunan iki nokta ise,  $CD$  doğru parçası  $AB$  doğrusunun içerdiği,  $C$  ile  $D$  birleştiren aralığı kastediyorum. Yılmaz Beyin komşu olarak, emekli lise öğretmeni İsmet Bey doğru ile doğru parçası arasındaki farka dikkatimi çekti. Yani Öklid’e karşıt bugünkü öğrenciler ve öğretmenler için doğru sınırsızdır. Genel olarak bizim için sınırlıdır. Gene de, doğru anlasaydım, “doğru çizgi” sözü bugün kullanılmaz. Onu kullanıyorum.

Dördüncü önermeyi ispatlarken, XVIII. Şekli kullanırız. İki üçgen  $ABC$  ve  $DEF$  üçgenleri olsun.  $AB$  kenarı  $DE$  kenarına eşit olsun, ve  $AC$  kenarı  $DF$  kenarına.  $BAC$  açısı  $EDF$  açısına



eşit olsun. önermenin ispatlamasında üst üste gelecek şekilde koyma yöntemi kullanılıyor. Yani  $A$  noktası  $D$  noktasına konsun. Aynı zamanda  $AB$  kenarı  $DE$  kenarına konsun. Böylece  $B$  noktası  $E$  noktasına gelir.  $BAC$  ile  $EDF$  açıları birbirine eşit olduğundan,  $AC$ ,  $DF$ 'ye gelir.  $AC$  ile  $DF$  doğru çizgileri birbirine eşit olduklarından,  $C$  noktası  $F$  noktasına çakışır. Dolayısıyla  $BC$  tabanı  $EF$  tabanına çakışır.

Bu son iddia o kadar belli değil. Gerçekten ispatlamayı dikkatli—hatta dikkatsiz—inceleyince bunun tam ispat olmadığını görürüz. Aslında Öklid bazı doğru ile açık görünen kavramını tamamen anlatmamıştır. Mesela hem Öklid doğru çizgi kavramını, hem iki noktayı bağlayan tek bir doğru çizginin olduğunu da anlatmamış. Bundan fazla doğru çizginin parçasının gene de doğru çizgi olduğunu anlatmamış. Aynı zamanda üst üste gelecek şekilde koyma yönteminden çekindiğinden, doğru çizginin üst üste gelecek şekilde konulmasının yine de bir doğru çizgi verdiği anlatmamış. Bu eksiklikleri tamamlamak istersek, yeni Öğeler'i yazmalıyız. Zaten Hilbert tarafından yapılmıştır.



XVIII. Şekil

Biz otuz ikinci önermeye kadar her önerme iddia edip ispatlamamamıza rağmen, biz bu önermeye kadar Öğeler'in ne içerdiğini, özellikle Gauss, Riemann ve Einstein uyguladığı eğrilik kavramına ait olduğunu içerdiğini daha iyi anlıyoruz. Bazı sezgisel, ya açık olarak, Öklid geometrisini küresel ile hiperbolik geometriden ayıran hususiyetlerinin önemleri takdir edebildik. Ayrıca Öklid geometrisinde lazım olan ama Öklid kendisinin meydana açıkça koymadığı kavramlar ile önermeleri tanıdık. Birinci cüzde tam olarak kırk sekiz önermeler var. Son ikisi ünlü Pisagor teorem ile karşıtını ifadeleridir. Biz şu anda bu teoremlerle ilgilenmiyorum. Öte yandan otuz üçüncüsünden kırk altına kadar numaralı on dört önermeler ilerdeki konferanslarda çok önemli olacak.

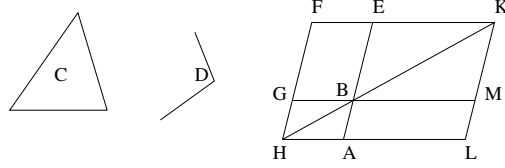
### GEOMETRİK CEBİR

Cebirde, özellikle cebirin başlangıcında çarpma önemli bir işlemdir ve toplama kadar önemlidir. Öklid'in Öğeler'ında çarpma işlemi geometrik yöntemlerle tanımlanmıştır. çarpım sade sayı değil, bir yüzölçümüdür. Ama çarpma yapılması yetmez. çarpma geometrik yapılırsa mesela dik dörtgenle iki çarpımın toplamı nasıl yapılır? Daha genel olarak, şekilleri farklı olan iki alanın yüzölçümünün toplamı nasıl hesaplanır. İki çarpımdan veya şekilleri farklı olan iki alanın yüzölçümünden hangisi daha büyük olduğu nasıl belirlenir?

Öğeler'de yüzölçümler şeklin üçgenlere bölünmesiyle ölçülür. İnceleyeceğimiz önermeler arasında bazıları üçgenlerin, bazıları paralelkenarların yüzölçümüne aittir. çok önemli sorun olarak, yüzölçümü verilmiş her hangi şekillerin yüzölçümünün toplamına eşit olan bir paralelkenarın nasıl çizildiğini anlatmaktır. İlk önce verilmiş şekil bir üçgen olsun.

I. Cüzdeki 44. Önerme. Verilmiş bir üçgene alanca eşdeğer, bir kenarı ve bir açısı verilen paralelkenarın çizilmesidir.

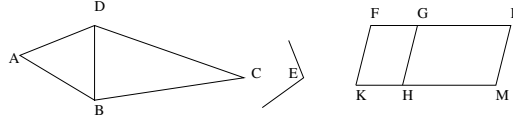
“Bir şekil bir başka şekile eşdeğer” diye, Öklid bir şeklin yüzölçümünün bir başka şeklin yüzölçümüne eşit olduğunu kastediyor. Bu önermeden sonra önermede verilmiş şekil herhangi bir çokgen olabilir. Öklid “kenarları doğru olan şekil” diyor, ama biz sadece “çokgen” deriz.



XIX. Şekil

I. Cüzdeki 45. Önerme. Verilmiş bir çokgene eşdeğer, bir açısı verilen paralelkenarın çizilmesi.

Bu önermeleri iki şeklin yardımıyla sadece anlatabiliriz. XIX. Şekilde verilmiş üçgen  $C$ 'dir ve verilmiş açı  $D$ 'dir. Verilmiş kenar  $AB$  kenarıdır.  $BL$  paralelkenarın bir kenarı  $AB$ 'dir ve  $ABM$  açısı  $D$ 'ye açısına eşittir. Aynı zamanda paralelkenarın yüzölçümü  $C$ 'ye eşittir.



XX. Şekil

XX. Şekilde bir çokgen  $ABCD$  verilmiştir. Bu çokgeni üçgenlere ayırdık. Verilmiş açı  $E$ 'dir. önermenin iddiasında aşikâr anlatılmamasına rağmen, kenar  $FK$  de verilmiş.  $FH$  paralelkenarı  $ABD$  üçgenine eşdeğerdir ve  $GM$  paralelkenarı  $BDC$  üçgene eşdeğerdir. Dolayısıyla  $FM$  yüzölçümü  $ABCD$  çokgene eşdeğerdir. Hemen gördüğümüz gibi, kırk dördüncü önermeyi kullanılarak, kırk beşinci önerme kolay ispatlanır. Binaenaleyh kırk dördüncü önermenin ispatlaması yeter.

Kırk dördüncü önermeyi ispatlamamızdan evvel, sonuçlarını anlatmak isterim. İlk önce Heath'in görüşleri sunarım. Heath yazıyor ki,

*“We can now take stock of how far the propositions I. 43–45 bring us in the matter of transformation of areas, which constitute so important a part of what has fitly been called the geometrical algebra of the Greeks. We have now learnt how to represent any rectilinear area, which can of course be resolved into triangles, by a single parallelogram having one side equal to any given straight line and one angle equal to any given rectilinear angle. Most important of all such parallelograms is the rectangle, which is one of the simplest forms in which an area can be shown. Since a rectangle corresponds to the product of two magnitudes in algebra, we see that the application to a given straight line of a rectangle equal to a given area is the geometrical equivalent of algebraical division of the product of two quantities by a third. Further than this it enables us to add or subtract any rectilinear areas and to represent the sum or difference by one rectangle with one side of any given length, the process being the equivalent of finding a common factor. But one step still remains,*

*the finding of a square equal to a given rectangle, i. e. to a given rectilineal figure; and this step is not taken until II.14.”*

Heath'in deyişi çok önemli, ama cümleleri uzun ve karmaşık, Türkçeye çevirmek kolay değil. Türkçeye çevirmesini sunmamdan evvel, onun ne dediğini kendimim kısa basit cümlelerimle anlatmaya çabalayayım.

Üç önermeler, yani kırk üçüncü, kırk dördüncü ve kırk beşinci önermelerin yararlığını inceler. Öklid'in inşa ettiği teori cebirsel geometri adlanır, ama bu bizim bugünkü cebirsel geometri değil, bu cebirsel işlemlerin geometrik yöntemlerle yapıldığı teoridir. Heath'e göre Öklid'in teorisi bu cebirsel geometri adıyla layıktır. Bu üç önerme Cebirsel geometrinin bizi çok önemli bir kısmı olan yüzölçümünün şeklini değiştirmenin sorununa götürüyor.

Öklid incelediği alanlar çokgendir. Her çokgen üçgenlere bölünebilir. Kırk dördüncü önermeye göre, her çokgen bir kenarı ve bir açısı verilen bir paralelkenara eşdeğerdir. En önemli paralelkenarlar dik dörtgendir. Bir alan gösterebilen şekiller arasında bu şekiller en basittir. Bir dik dörtgen iki niceliğin çarpımının geometrik karşılığıdır. Şu halde,  $c = ef$  iki niceliğin çarpımı ise, ve  $a$  başka bir nicelik ise,  $b = c/a$  bölümünün geometrik karşılık verilmiş dik dörtgenin verilmiş kenarın üstüne konulmasıdır.

Bundan fazla, üste koyma yöntemle biz her hangi kenarları doğru olan alanları toplayabilir veya çıkarabiliriz. Mesela,  $c_1, c_2, c_3, \dots$  filan hepsi yüzölçümü ve  $a$  verilmiş bir aralık, biz  $b_1, b_2, b_3, \dots$  şöyle bulabiliriz ki,  $c_1 = ab_1, c_2 = ab_2, \dots$ . Dolayısıyla,  $c_1$  ile  $c_2$  alanının toplamını kenarlarının boyu  $a$  ve  $b_1 + b_2$  olan dik dörtgen temsil eder. Öklid iki aralığın boyunu toplayabilir, ama iki yüzölçümü dolaysız toplayamaz. Halbuki, bu üste koyma yöntem ile yüzölçümler de toplanabilir.

Önemli bir sorun üstü koyma yöntemle çözülmez, verilmiş bir alana eşdeğer bir karenin çizilmesi! Öklid onu sonra çözüyor. Ben şimdi beceriksiz olsa, Heath'in deyişi Türkçe çevireyim.

*Adısına layık olan Yunanlı geometrik cebirin o kadar önemli kısmı olan yüzölçümünün şeklini değiştirmenin sorununda bu üç önermelerin bizi nereye kadar götürdüğünü biz şimdi sorabiliriz. Elbette üçgene bölünebilen, kenarları doğru olan her hangi bir şeklin yüzölçümünün verilmiş bir aralıkta çizilmiş olan ve verilmiş bir açıyla paralelkenarı kullanarak nasıl temsil yapıldığını öğrendik. Bu paralelkenarlar arasında en önemli olan ve yüzölçümü en basit şekilde gösterebilen şekil dik dörtgendir. Görebildiğimiz gibi, bir dik dörtgen cebirde bir çarpımın karşılığı oldu, verilmiş yüzölçümüne eşit olan bir dik dörtgenin verilmiş bir aralığın üstüne konulması cebirdeki iki sayının çarpımının üçüncü sayıya bölünmesinin geometrik muadiliydirdir. Bundan fazla, bu işlemin yardımıyla kenarları doğru olan şekillerin yüzölçümlerini toplayarak veya çıkararak, toplamı veya farkı bir kenarı verilmiş olan bir dik dörtgenle ifade edebiliriz. Bu işlem ortak bölen bir sayının bulunmasına eşdeğer değer erdir. Ama bir adım henüz atılmadı, verilmiş bir dik dörtgene, yani genel bir kenarları doğru olan şekile, eşit olan karenin bulunması. Bu adım ikinci cüzdeki on dördüncü önermeden önce atılmaz.*

Heath'in adlandırdığı son adımı attığımızdan sonra, biz karekökleri cebirsel hesaplama durumunda bulacağız. Belli ki toplamlar, farklar, çarpımlar ve bölümler bulmamızdan fazla karekökleri hesaplarsak, biz her hangi ikinci mertebeden olan bir denklemi çözebiliriz. Öklid'in bunu nasıl yaptığını anlatacağız. İkinci mertebeden olan denklemi çözülerek, sık sık irrasyonel sayıları meydana çıkar. Ögeler'in onuncu cüzünde Öklid'in dönemine kadar geliştirilmemiş

irrasyonel sayıların teoresini inceleriz. İlk önce bazı Heath'in naklettiği ve bizim şimdi takdir edebildiğimiz görüşleri sunarım.

Heath kendisinin dediğine göre,

*“This proposition will always remain one of the most impressive in all geometry when account is taken (1) of the great importance of the result obtained, the transformation of a parallelogram of any shape into another with the same angle and of equal area but with one side of any given length, e.g. a unit length, and (2) of the simplicity of the means employed, namely the mere application of the property that the complements of the ‘parallelograms about the diameter’ are equal. The marvelous ingenuity of the solution. . .”*

Biz kırk dördüncü önermenin ispatı hâlâ görmedik. Dolayısıyla basitliğini takdir edemeyiz. Bundan fazla Öğeler'in onuncu cüzde geliştirilen irrasyonel sayılar teoresini hâlâ incelemedik. Buna rağmen bu yöntemin irrasyonel sayılar hakkında kavramları meydana getirmesini şimdi anlayabiliriz. Heath'in tefsirini çevireyim.

*“Bu önerme uzun zaman için geometrinin en etkileyici önermelerinden birisi kalacak, özellikle (1) şekli her hangi bir şekil olan bir paralelkenarın aynı açıyla ve aynı yüzölçümüyle fakat aynı zamanda bir kenarı her hangi bir verilmiş uzunluk mesela ölçünlüyle, bir başka paralelkenara değiştirilmesi sonucunun temel önemi de, (2) bundan fazla kullanılan vasıtalar, yani paralelkenarın ‘köşegenine göre karşılıklı paralelkenarların’ tamamlayıcılarının birbirine eşit olmasından fazla hiç kullanmaması da hesaba katılırsa. çözümünün yaratacağı ile hüneri. . .”*

Biz bu iddiayı hâlâ tam anlayamayız, ama önermeyi ispatlamamızdan sonra belli olacak.

Bildiğiniz gibi Plutark yaklaşık M. S. 100 yaşayan biyografıları ve başka yazıları yazan bir yazar idi. Heath ona aşağıdaki gözlemi atfeder.

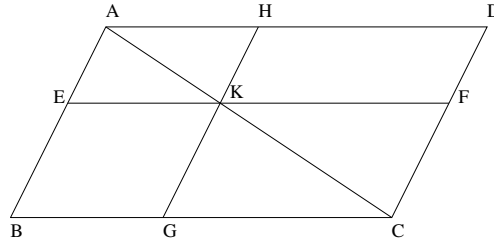
*“En geometrik olan teoremlerden, daha doğrusu em geometrik olan önermelerden birisi olarak, iki verilmiş şekilden, birisine eşit, başkasına aynı şekilde olan şeklin verilmiş bir aralığa konulmasıdır. Bu önerme kuşkusuz üçgenin hipotenüsündeki karenin diğer iki kenardaki karenin toplamına eşdeğer olması teoreminden daha mahir, daha bilimseldir.”*

Herkes Öğeler'ı düşünürken, Pisagor'un teoreminin aklına hemen gelmesine rağmen, Plutark belki haklı oldu.

Kırk dördüncü önermeyi ispatlarken, kırk üçüncü uygularız.

*I. Cüzdeki 43. Önerme. Her hangi bir paralelkenarda, köşegene göre karşılıklı paralelkenarların tamamlayıcılarının birbirine eşit olur.*

Bu önerme XXI. Şekilde anlatılır. İspatını sonra anlatırım. Ama cebiri kullanarak, doğru olmasının sebebini kolay anlatabilirim. Verilmiş açıyla paralelkenarın yüzölçümü iki paralel olmayan kenarın çarpımına orantılıdır. Dolayısıyla  $EG$  paralelkenarının yüzölçümü  $c \times \overline{EK} \times \overline{EB}$ 'ye eşittir ve  $HF$  paralelkenarının yüzölçümü  $c \times \overline{HK} \times \overline{HD}$ 'ye eşittir. Zikrettiğim orantı sabite  $c$ 'dir. İki paralelkenar  $EG$  ile  $HF$  köşegenine göre karşılıklı olduğundan, iki oran  $\overline{HK}/\overline{KG} = \overline{HK}/\overline{EB}$  ile  $\overline{EK}/\overline{KF} = \overline{EK}/\overline{HD}$  birbirine eşittir. Dolayısıyla iki paralelkenarın yüzölçümleri birbirine eşittir. Aşağıda Öklid'in geometri ispatını anlatırım.



XXI. Şekil

Kırk dördüncü önermeyi şimdi ispatlayalım. Şekil.S'yi kullanalım. Verilmiş aralık  $AB$  olsun ve verilmiş üçgen  $C$ . Henüz anlatılmamış kırk ikinci önermeye göre,  $C$  üçgenine eşit olan ve  $D$  açısıyla  $BEFG$  paralelkenarını çizebiliriz.  $EB$  aralığı  $AB$  aralığının uzatımı olsun.  $FG$  aralık  $H$  noktasına kadar uzatılsın ve  $AH$  doğrusu  $A$  noktasından geçen  $BG$  kenarına paralel olan doğru çizgi olsun.

$H$  ile  $B$  noktaları  $BH$  doğru çizgiyle bağlansınlar.  $HF$  Doğru çizgisi iki birbirine paralel olan doğru çizgiyi keser. Dolayısıyla yirmi dokuzuncu önermeye göre,  $AHF$  ile  $HFE$  açılarının toplamı iki dik açıya eşittir. Böylece,  $BHG$  ile  $GFE$  açılarının toplamı iki dik açıdan daha az olur. Öyle ise, beşinci önermeye göre, uzatılarak,  $HB$  ile  $EF$  doğru çizgi kesişirler.  $K$  noktasında kesişsinler.  $KL$  doğru çizgisi  $K$  noktasından geçen ve  $EA$  ile  $FH$  çizgilerine paralel olan bir çizgi olsun.

$HA$  çizgisi  $L$  noktasına kadar uzatılsın ve  $GB$  çizgisi  $M$  noktasına kadar. Şu halde XIX. Şekli elde ederiz.  $HLKF$  paralelkenarının köşegeni  $HK$  doğru çizgisidir.  $AG$  ile  $ME$  paralelkenarlardır,  $LB$  ile  $BF$  birbirinin  $HK$  köşegeniyle ilgili olan tamamlayıcısıdır. Dolayısıyla  $LB$  ile  $BF$  paralelkenarları birbirine eşittir, yani yüzölçümleri birbirine eşittir.  $BF$  paralelkenarı  $C$  üçgenine eşit olduğundan,  $LB$  paralelkenarı  $C$ 'ye de eşittir.  $GBE$  ile  $ABM$  açıları birbirine eşittir ve açı  $ABM$   $D$  açısına eşittir. Dolayısıyla  $C$  yüzölçümü  $AB$  aralığının üstüne koyulmuştur.

Kırk üçüncü önermeye hâlâ ispatlamadık. İspatlamamızdan önce ispatını anlatmadığımız otuz dördüncü önermeyi veririm.

*I. Cüzdeki 34. Önerme. Her hangi bir paralelkenarda karşılıklı kenarlar veya açılar birbirine eşittir. Köşegeni paralelkenarın yüzölçümünü ikiye böler.*

XXI. Şekile bakalım. Şekilde  $ABCD$  köşegeni  $AC$  olan bir paralelkenardır. Birbirinin tamamlayıcısı olan  $BK$  ile  $KD$  iki paralelkenarlarının yüzölçümleri eşittir. Neden? İlk önce otuz dördüncü önermeye göre  $ABC$  ile  $ADC$  üçgenlerinin yüzölçümleri birbirine eşittir. Aynı sebepten hem  $AEK$  ile  $AHK$  üçgenleri hem de  $KGC$  ile  $KFC$  üçgenleri birbirine eşittir. Dolayısıyla  $BK$  tamamlayıcısı  $KD$  tamamlayıcısına eşittir.

Kırk ikinci önermenin ispatı oldukça kolay. İddiasını sunuyorum ama ispatlamıyorum.

*I. Cüzdeki 42. Önerme. Verilmiş bir üçgene eşit olan, verilmiş bir açıyla paralelkenarın çizilmesi.*

## İRRASYONEL SAYILAR

İstersek, biz ikinci cüzde bulunan önermeleri tek tek incelemeye devam edebiliriz, ama onuncu cüze gelmek istiyoruz. Mamafih biz bilhassa irrasyonele gelmek istiyoruz. Birinci cüzü ile onuncu cüzü arasında çok hem önemli hem de güzel kavramlarla önermeler var,

ama bizim maksatlar için onlar konu dışıdır. Mesela üçüncü cüzde çembere ait önermeler bulunur. Geometrik yönden, bu önermelerden çoğu pek güzel. Einstein'ın ölçüdüne uyar. Yedinci, sekizinci ile dokuzuncu cüzler tam sayılar hakkındadır. Bu dört cüzler, yani üçüncü, yedinci, sekizinci ve dokuzuncu bu konferanslarda söz konusu olmayacak. On birinci ile on ikinci cüzlerde üç buutlu geometri hakkındadır, özellikle cisimlerin oylumunun hesaplanmasını incelenir. Onlara da bu konferanslarda dokunmayacağız.

Başka yedi cüzler, irrasyonel sayılara veya muntazam üç buutlu cisimlerin inşa edilmesine kısmen aittir. Mesela dördüncü cüzde çemberin içine dahilen temas etmek üzere muntazam çokgenler cetvel tahtası ile pergelle çizilir. Tabii her muntazam çokgen şöyle çizilemez. Üçgen, dörtgen, beşgen, altıgen, ya da ongen veya onbeşgen için, nasıl yaptığını Öklid anlatmış. Muntazam çokgenlerin yapısı Öğeler'inde geliştirdiği cebirsel irrasyonel sayıların teorisine bağlıdır. Öğeler'inde teori aslında iki mertebeden veya dört mertebeden olan irrasyonel sayılar hakkındadır, ama bugün bildiğimiz gibi, muntazam çokgenlerin inşa edilmesi siklotomik sayılarına aittir. Gauss'ın onyedigen inşa ederken gösterdiği gibi, muntazam çokgen inşa etmesiyle uğraştığımızda Galois teorisinin ortasındaki sorunuyla rastlıyoruz. Öklid'in inceleyip çözdüğü hallarda, muntazam çokgenlere ilgili irrasyonel sayılar, uygun karekökleri kullanarak, ifade edilebilirler.

Ana amacımızın Öklid ile Einstein arasında eğriliğin kavramına katkılarının belirtilmesine rağmen, bazı bu kavramı oluşturan matematikçiler matematikte ana bir fikir ve derin bir ilke olarak geometri ile cebirin çok yönden aynı konu olduğunu da meydana çıkardı. Dolayısıyla iki anlamda onlar Pisagor ile Öklid'in haleflerim. Biz geometrik cebiri ile Öğeler'deki irrasyonel sayılar teoresini anlatarak, eski Yunanlıların matematiğe bıraktığı eğriliğinden fazla olan ikinci mirası da vurguluyoruz. Her diğer matematikçiden önce, Gauss eğriliğin de irrasyonel sayıların da teorisine katkıda bulunmuş oluyor.

Genç olurken her matematikçi Gauss'ın on dokuz yaşında olarak onyedigenin nasıl inşa edildiğini keşfeddiğini öğrenir. Elbette bu harikulade bir keşif idi, ama ben matematik öğrenmeye başladığım zaman Gauss'ın başarısından okuduğumda onun çok zeki olmasına rağmen sadece ilk geometride bir keşif olduğunu sanıyordum. Doğrusu Gauss onyedigeni nasıl inşa ettiğini hemen öğrenmedim ve tefekkür etmeden yönteminin basit ilk geometrikten alınmış ilkelerden daha ileri kavramlar kullanmadığını düşünüyordum. Yalnız ben değil pek çok matematikçiler şöyle düşünür. Hakikat başkadır.

1819 yılında, kırk iki yaşında olarak, talebesi Christian Ludwig Gehrting'e yazdığı mektupte Gauss kendisi çözümünü nasıl keşfettiğini naklediyor. Mektubundan anlayabildiğimiz gibi Gauss eski Yunanlıların açtığı yolundamış ve geometri ile irrasyonel sayılar bağlayan ilkeleri uygulamış. Mektupta Gauss şöyle yazdı,

*Das Geschichtliche jener Entdeckung ist bisher nirgends von mir öffentlich erwähnt, ich kann es aber sehr genau angeben. Der Tag war der 29. März, 1796, und der Zufall hatte gar keinen Anteil daran. Schon früher war alles, was auf die Zerteilung der Wurzeln der Gleichung  $(x^p - 1)/(x - 1) = 0$  in zwei Gruppen sich bezieht, von mir gefunden, wovon der schöne Lehrsatz D. A. p. 637 unten abhängt, und zwar im Winter 1796 (meinem ersten Semester in Göttingen) ohne daß ich den Tag aufgezeichnet hätte. Durch angestregtes Nachdenken über den Zusammenhang aller Wurzeln untereinander nach arithmetischen Gründen glückte es mir, bei einem Ferientaufenthalt in Braunschweig am Morgen des gedachten Tages (ehe ich aus dem Bett gestanden war) diesen Zusammenhang auf das klarste anzuschauen, so daß ich die spezielle Anwendung auf*

*das 17-Eck und die numerische Bestätigung auf der Stelle machen könnte. Freilich sind später viele andere Untersuchungen des 7. Abschnittes der D. A. hinzugekommen.*

Siz bu satırları okumaktan sonra Gauss'un genç yazdığı ünlü D(isquisitiones) A(rithmeticae) kitabını kütüphanede bulup okuyacaksınız umuttayım. Metninde söz konusu olan  $(x^p - 1)/(x - 1)$  denkleminin kökleri siklotomik sayılardır. Ama S. 637'de, yani kitabın 357'inci bölümünde bulunan önerme bu köklerden ibaret olan bir toplamın ikinci mertebeden olan bir irrasyonel sayı olduğunu iddia eder. Gauss kendisinin vurguladığı gibi bu Öğeler'de bulunan geometrik ifade edilen önermelere yakın olan iddia hem geometride hem sayılar teoresinde önemlidir.

Gauss'un cümlelerini çevirelim.

*O keşifin tarihinden henüz hiç bir yerde söz etmedim, ama çok kolay anlatabilirim. 1796 yılın 29 martının günü idi, hiç bir tesadüf olmadı. Daha önce  $(x^p - 1)/(x - 1)$  denkleminin köklerinin iki kısmı ma bölündüğüne ait 637 sayfasında bulunan güzel önermenin tabii olduğunu her şey zaten Göttingen'deki ikinci sömestrim olan 1796 kışda keşfetmiş oldum, ama günün tarihini not etmedim. Braunschweig'da tatil günlerimi geçerken, köklerinin aritmetik anlamda karşılıklı ilişkileriyle düşünüp uğraşarak, andığım günde yatağımdan çıkmaktan evvel bu ilişkiyi tam kesinlikle anlamayı başardım. Ben keşfettiğim ilkeleri hemen onyedigene uygulayabildim ve sayıca sağlayabildim. Tabii ondan sonra D. A. 'nin yedinci kısmına pek çok ötedeki araştırmamı ekledim.*

Ortak ölçülmez sayıların keşfi Yunanlı geometride ana olaylardan birisiydi, ama keşfin geometriyi nasıl etkilediği kesinlikle anlamam. Daha doğru Yunanlılar her iki aralığın ortak ölçüsünün olmadığını keşfettiler. Her uzulluk belirtilmiş uzunluğun bir kesirli kat olmadığından, doğace verilmiş sayılar, yani  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $8/5$ ,  $12/29$ , gibi bayağı kesirler geometride yetermez. Anlaşılan her iki aralığın belki bayağı kesir olmayan ortak ölçümü tanımlamak için, Eudoxus'un genel oran teorisi lazımdır. Bu teori Öklid'in altıncı cüzünde belirtilmiştir. Teorisiyle herhangi iki aynı çeşit olan matematik niteliklerin, mesela iki aralığın ortak ölçümü tanımlanabilir. Dolayısıyla, Eudoxus'un teorisine dayanıp geometrik nitelikler kullanarak, eski Yunanlılar rasyonel veya irrasyonel sayıların teorisini geliştirmiştir. Eudoxus'un bir buçuk yüzyıldan evvel, tam sayılar incelenerek, Pisagorcular ve başka eski matematikçiler, uçgen sayıların veya kare sayıların geometrice etkilenmiş olan kavramlarını ortaya koymuşlar.

Rönesans ve sonradaki dönemlerden sonra oluşturulan cebirsel kavramlar kullanılmazsa irrasyonel sayılar teorisine Eudoxus'un teorisinin ihtiyacının olmasına rağmen, ben beşinci cüzün içeriğini incelemem. Yani hepimiz on dokuzuncu yüzyılda meydana konmuş çağdaş sayı kavramını iyi bildiğimizden, hiç anlatmadan beşinci cüzde bulunan kavramları kullanabiliriz.

İkinci cüzde Heath'in adlandırdığı geometrik cebire yer verilir. Cebir kullanmazsak, gerek açıkça gerek zımmen, biz cebirsel tanım gerektiren irrasyonel sayıları ortaya koyamaz. Dolayısıyla geometrik cebirin temelleri bize oldukça önemlidir. Heath'in anlattığı gibi, *ikinci cüzdeki beşinci ile altıncı önermeleri* kullanarak

$$(A) \quad \begin{aligned} ax \pm x^2 &= b^2, \\ x^2 - ax &= b^2, \end{aligned}$$

iki denkleminin nasıl çözüldüğünü anlatabiliyoruz. Sonradan, oranın teorisinin geliştirildiğinden sonra, altıncı cüzdeki yirmi sekizinci ile yirmi dokuzuncu önermelerde daha genel olarak

iki

$$(B) \quad ax \pm \frac{b}{c}x^2 = \frac{C}{m},$$

denklemini geometrik çözülmüştür. Bence, ikinci cüzde Öklid (A) denklemlerini çözmek istemiştir. Tabii Heath ikinci cüzde bulunan yorumlarıyla Öklid'in bu denklemleri çözebileceğini iddia edip çözümün nasıl görüneceğini anlatır, ama fazla öne sürmüyor.

**Karekökler.** Cebirde veya geometrik cebirde bir sayının karekökünün çıkması çok önemlidir. Öklid bu meseleyi Pisagor'un teoremi sayesinde çözüyor.

Cebir ya da cebirsel sayılar teorisinin geliştirmeyi anlatmak istersek, Heath'in geometrik cebir konusunda tefsirini okumamız çok önemli olur. Bazı cümlelerini burada aktarırım. Evvela beni çarpan bir iddia vereyim, çünkü bu konferanslarda aldırmadığım Pisagor teoreminin geometrik cebirdeki önemini gösterir. Heath yazar ki,

*“Lastly, the extraction of the square root is, in the geometrical algebra, the finding of a square equal to a given rectangle, which is done in II.14 with the help of I.47.”*

Geometrik cebirde her niceliğin bir boyutu var. Oran olabilir, veya uzunluk, veya yüzölçümü. Bir niceliğin karekökünü bulmak istersek, nicelik uzunluk olamaz, ama yüzölçümünün karekökü uzunluktur. Olağan olarak, Öğeler'de karekökü aranan nicelikler yüzölçümüdür. Heath'in cümlesinde söz konusu olan ikinci cüzdeki on dördüncü önerme yalnız dik dörtgen değil her kenarları doğru olan çizgi hakkındadır.

*II. Cüzdeki 14. Önerme. Kenarları doğru olan verilmiş bir şekile eşit olan karenin çizilmesi.*

Fakat fazla genellik aldatıcıdır. Yani birinci adım olarak, anlattığımız birinci cüzdeki kırk beşinci önerme kullanarak, verilmiş şekile eşit olan bir dik dörtgen çizilir. Heath'in dikkatimize çektiği gibi, bu önermenin iddiası altıncı cüzdeki on üçüncü önermeye eşdeğer değer erdir.

*VI. Cüzdeki 13. Önerme. İki verilmiş aralığın orta orantılısının bulunması.*

İki aralık  $AB$  ve  $CD$  ve aranan orta orantılı  $EF$  iseler, şart budur,

$$\frac{AB}{EF} = \frac{EF}{CD},$$

yani

$$EF^2 = AB \times CD.$$

Dolayısıyla bu iki önerme eşdeğer değer erdir.

Altıncı cüze vardığında Öklid'in beşinci cüzde oluşturduğu oranlar teorisi elde bulunuyor. Bu teori on üçüncü önermeye uygulanabilir. Ama ikinci cüzde teori elde değil. Aslında, oranlar teorisini kullanmadan, aynı şekilde olan üçgenlerin teorisinin geliştirilmesi mümkün değil. Dolayısıyla, Öklid aynı şekilde olan üçgenlerin teorisini uygulayan yöntemi kullanmadan, başka kanıtı bularak, Pisagor teoremini birinci cüzde ispatladı. Bu teoreme dayanarak, oranlar teorisini kullanmadan, iki cüzdeki geometrik cebiri tamamlayabilmiş.

Evvelce anlattığımız gibi, ikinci cüzdeki beşinci ile altıncı önermeler iki mertebeden olan cebirsel denklemler çözürlür. On dördüncü önermeyi ispatlamak için, Öklid'in beşinci önerme kullanması bizi hayrette bırakamaz.



On dördüncü önermenin ispatını daha kolay anlamak için, ilkönce beşinci önerme ve ispatını anlatayım.

*II. Cüzdeki 5. Önerme. Bir doğru aralık birbirine eşit olan ve birbirine eşit olmayan aralıklara kesilse, iki birbirine eşit olmayan aralıkların içerdiği dik dörtgen yüzölçümü, iki kesme noktasının arasındaki aralığın üstüne çizilen karenin yüzölçümüyle beraber yarısının üstüne çizilen kareye eşittir.*

Bu iddianın şüphesiz tamamen şaşırtmaca olduğundan, onu bir Öğeler'den alınan bir şekilde anlatacım. XXII. Şeklinde  $AB$  doğru çizgisi  $C$  noktasında iki birbirine eşit olan aralığe bölünür. Öte yandan  $D$  noktasında çizgi iki birbirine eşit olmayan aralığe bölünür. İki birbirine eşit olmayan aralıkların içerdiği dik dörtgenin yüzölçümü  $AD \times BD$ 'ye eşittir. Önermi cebirsel ifade edersek,

$$AD \times DB + CD^2 = CB^2,$$

denklemini elimize geçer.  $AB$  uzunluğu 1'e eşve  $DB = x$  iseler, bu denim açık olan

$$(1 - x)x + (1/2 - x)^2 = (1/2)^2$$

denkleminde eşdeğer değer erdir.  $AB$  uzunluğu  $a$ 'a eşit ise, denklem şöyle görünür,

$$(a - x)x + (a/2 - x)^2 = (a/2)^2.$$

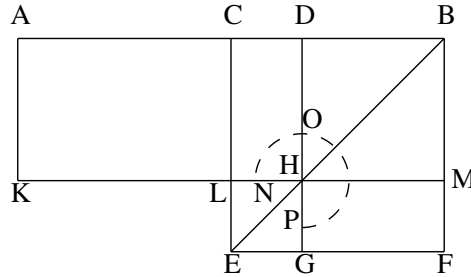
(A) denklemini çözmek istersek,

$$(a/2)^2 - (a/2 - x)^2 = b^2$$

denklemini veya ona eşdeğer değer er olan

$$y^2 = (a/2)^2 - b^2, \quad a/2 - x = y$$

denklemini çözmemiz lazım. Gerçekten,  $b$  ile  $a$  verilmiş iseler ve  $b$  sayı  $a/2$ 'dan daha az ise, şu halde Pisagor teoremi kullanarak,  $y$ 'yi bulup denklemi çözebiliriz. Aşağıda on dördüncü ispatta benzer ispat kullanılır. Buna rağmen, Öklid kendisi (A) veya (B) denklemini çözmez.



XXII. Şekil

Anlaşılan ikinci cüzdeki on dördüncü önermeden fazla tek iki mertebeden olan denklem çözen önerme on birinci önermedir. Be önermenin çözdüğü denklem böyledir,

$$a(a - x) = x^2.$$

Mesela,  $a$  1'e eşit ise, şu halde  $x = -1/2 \pm \sqrt{5}/2$ , ancak  $x$  olumlu ise,  $x = -1/2 + \sqrt{5}/2$ . Böylece hemen tanıdığımız  $x$  sayısı ünlü bir sayıdır. Denklem şöyle verilebilir,

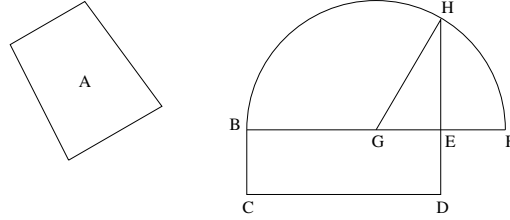
$$\frac{x}{1} = \frac{1-x}{x}.$$

Dolayısıyla,  $x$  sayısı bir aralığın aşırı ile orta orana bölünmesinin çözümüdür. Aralığın uzunluğu 1-e eşit ise, bölümlerinin uzunlukları  $x$  ile  $1-x$  olur. İki eşit olan  $x : 1 = 1-x : x$  orana *altın oran* denilir.

Gene de, başka yöntemle ikinci kes olarak Öklid bu önermeyi altıncı cüzde çözer. Muntazam beşgen çizilmesi için bu sayı ve geometrik yapışı oldukça önemli. Hemen anladığımız gibi hatta eski zamanda geometrik yapılar yanı sıra irrasyonel sayılar meydana çıkmışlar.

XXIII. Şeklini kullanarak on dördüncü önermeyi ispatalım. Verilmiş yüzölçümü dik dörtgen  $BD$  olsun.  $BE$  ve  $ED$  birbirine eşit ise, verilmiş dik dörtgen bir kare olunca, önerme zaten çözülmüştür. Kare olmazsa, iki doğru çizgiden, birisi daha uzundur.  $BE$  çizgisi olsun. Harfları şöyle seçebiliriz.

$EF$  aralığı  $ED$  aralığına eşit olsun.  $BF$  çizgisi  $G$  noktasında ikiye bölünsün. Merkezi  $G$  ve yarıçabı  $GB$  veya  $GF$  olan yarım çember  $BHF$  çizilsin.  $DE$  doğru çizgisi nokta  $H$  kadar uzatılsın. Şimdi beşinci önerme uygulayalım.  $BD$  dik dörtgeni ile  $EG$  karesinin toplamı  $GF$  karesine eşittir.



XXIII. Şekil

$GF$  aralığı  $GH$  aralığına eşittir. Dolayısıyla,  $BD$  dik dörtgeni ile  $EG$  karesinin toplamı  $GH$  aralığının üstündeki kareye eşittir. Pisagor teoremi sayesinde,  $GH$  kare  $HE$  ile  $GE$  karenin toplamına eşittir. Dolayısıyla dik dörtgeni  $HE$  karesine eşittir. Böylece önerme ispatlanmıştır.

Çözümü anlattığımızdan sonra fikrinin ne olduğunu oldukça açıktır. Beşinci önermeye göre, bir dik dörtgen iki karenin farkına eşittir. Ama Pisagor teoremini uygulayarak, biz iki karenin farkının yerine bir kare geçirebiliriz.

İspatın fikri cebirsel anlatabiliriz. Yani  $xy$  sayısının karekökünü nasıl bulabiliriz.  $x = y$  ise bu önerme kolay çözülebilir. Aksi takdirde  $x$  sayısı  $y$  sayısından daha büyük olsun.  $x = u + v$  ve  $y = u - v$  olarak  $x$  ile  $y$  yerine,  $u$  ile  $v$  bulabiliriz. Şu halde  $xy = u^2 - v^2$  ve Pisagor teoremini kullanarak, aradığımız çözümü,  $w^2 = u^2 - v^2$  elde ederiz.

İkinci cüzü artık bırakacağız, fakat, Heath'in peşinden giderek, bırakmamızdan evvel cebirsel içeriğini yine de vurgulamak için, on ilk önerme cebirsel ifade edelim. Bütün cüzde yalnız on dört önerme var, ve biz kalan dörtlerinden daha ikisini anlattık. On ilk önermenin cebirsel

ifadeleri söyle,

$$(1) \quad a(b + c + d + \dots) = ab + ac + ad + \dots$$

$$(2) \quad (a + b)a + (a + b)b = (a + b)^2$$

$$(3) \quad (a + b)a = ab + a^2$$

$$(4) \quad (a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$$

$$(5) \quad ab + \left(\frac{a+b}{2} - b\right)^2 = \left(\frac{a+b}{2}\right)^2$$

$$(6) \quad (2a + b)b + a^2 = (a + b)^2$$

$$(7) \quad (a + b)^2 + a^2 = 2(a + b)a + b^2$$

$$(8) \quad 4(a + b)a + b^2 = \{(a + b) + a\}^2$$

$$(9) \quad a^2 + b^2 = 2\left\{\left(\frac{a+b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a+b}{2} - b\right)^2\right\}$$

$$(10) \quad (2a + b)^2 + b^2 = 2\{a^2 + (a + b)^2\}$$

Tabii, bu iddiaların hepsinin geometrik ispatlanacağı zamanımız yok! Fakat beşinci ve altıncısına sonra geri döneceğiz.

Dediğim gibi, dördüncü cüzde çemberin içine dahilen temas etmek üzere muntazam çokgenler cetvel tahtası ile pergelle çizilir. Gauss'un katkılardan sonra, biz çizilmesinin tekliğin köklerine bağlı olduğunu biliyoruz. Bu köklerin teorisine siklotomi denir. Aslında eski Yunanlılar cebirsel irrasyonel sayıları ile muntazam çokgenler arasında bağlantıların farkındadır, fakat bilgileri bizimki kadar geliştirilmemiş. İki mertebeden olan irrasyonel sayılara dair bilgilerinin dördüncü cüzde anlatılmasına rağmen, bazı özellikler ilk olarak on üçüncü cüzde anlatılıyor.

Bu konuda iki ana sorun var. Birisi, muntazam çokgenlerin cetvel tahtası ile pergelle nasıl çizilmesi? İkinci, muntazam çokgen çemberin içine dahilen temas etmek üzere çizilmiş ise, kenarı ile çemberin yarıçabının oranı ne olur? Başka benzer sorun var. Verilmiş muntazam çokgenin içine dahil kenarlara dokunan çemberin çizilmesi, veya çemberin içine dahil kenarları çember dokunan çokgen çizilmesi.

Bu sorulardan bazılarına hemen cevap verebilirsiniz. Üçgen veya muntazam dörtgen çemberde nasıl çizildiğini biliyorsunuz. Dairenin yarıçabı 1'e eşit ise, kenarının uzunluğunu hesaplayabiliriz. İki irrasyonel sayılar meydana getiriliyorlar, yani 2 ile 3 tam sayılarının kökleri. Beşgen veya ongen ise, bu sorulara çoğunuz kuşkusuz hemen cevap veremezsiniz. Mesela, dördüncü cüzdeki on birinci önermeye bakalım.

*IV. Cüzdeki 11. Önerme. Verilmiş bir çemberin içine dahilen temas etmek üzere, kenarları birbirine eşit olan ve açuları birbirine eşit olan beşgenin çizilmesi.*

Bu soruna Gauss'dan öğrenilmiş olan çağdaş yönden bakarsak, o kadar zor değil, ama bir anlamda Gauss'un geliştirdiği kavramların kaynağı şimdi anlattığımız Öklid'in sunduğu teoride bulunur. Öklid on birinci önermenin çözümü başka önemli önermeye dayanarak ispatlıyor.

*IV. Cüzdeki 10. Önerme. Tabandaki açuları başkasının iki misli olan ikizkenar üçgen çizilmesi.*

Tabandaki her iki açısının beşkatı iki dik açıya eşit olduğu bellidir. Dolayısıyla açılar kendisi  $2\pi/5$  derecesine eşittir.

Yıldız şekli verilmiş olan muntazam beşgen Pisagorcuların önemli işaretiymiş. Dolayısıyla, bu iki önerme Pisagorculara erken bilinmiş olduğu zannedilir. Bildiğiniz gibi, Öklid M.E. yaklaşık üç yüz yıl yaşamış. Pisagor M.E. altıncı yüzyılda yaşamış. Pisagorcular işaretleri olmak üzere muntazam beşgen ne zaman benimsediklerini bilmiyorum, ama tahmin ederek, Pisagor'ın zamanında söylerim. Şöyle ise, Pisagorcular bu iki önermenin iddialarını beşinci yüzyılın başına kadar anladı. Göreceğimiz gibi, önermelerinin tanıtlamasında bir aralığın aşırı ile orta orana nasıl bölünmesinden fazla üçüncü cüzde bulunan çember hakkında teoremler uygulanır. Aslında, bu teoremler yalnız çember hakkında değil, çember ile doğru çizginin kesişme noktaları hakkındadır. Teoremler cebirsel ifade edilirseler, iki mertebeden olup iki bilinmeyen nicelik içeren denklem ile doğrusal denklemin birlikte çözümleri hakkındadır.

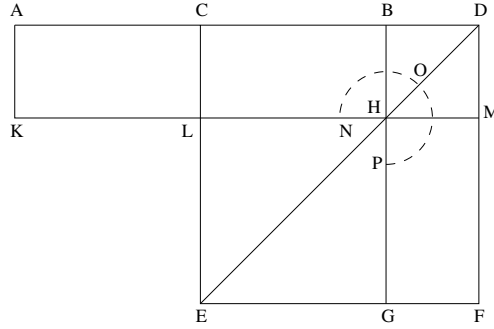
Anlattığım gibi, Pisagor'ın kim olması sorunu inceleyince, Pisagor'u Pisagorculardan ayırmalıyız. Bu iki önerme ile üçüncü cüzün içerdiği bazı önermeleri inceleyerek, Pisagorcuların çok erken ne kadar anladığı daha iyi anlarız.

**Altın oran.** Muntazam beşgenin yapımı için o kadar önemli olan altın oran da Pisagor'un teoremi sayesinde geometrik belirtilebilir.

Bu iki önermenin çözümleri bizim iddia ettiğimiz ama ispatlamadığımız ikinci cüzdeki on birinci önermeye dayanır. Buna hayret etmiyoruz çünkü on birinci önermenin meydana getirdiği sayı  $\sqrt{5}$  yardımıyla ifade edilir. Bu irrasyonel sayı teklüğün beşinci köküne bağlıdır.

*II. Cüzdeki 11. Önerme. Verilmiş bir doğru çizgisinin bütünü ile bir bölümünün içerdiği dik dörtgen başka bölümünün üstündeki kareye eşit olmak üzere dik dörtgenin çizilmesi.*

Bu önermenin iddiasının cebirsel nasıl ifade edildiğini evvelce anlattık.



XXIV. Şekil

İkinci cüzdeki on dördüncü önermeyi ispatlamak için, ikinci cüzdeki beşinci önermeyle birinci cüzdeki kırk yedinci önermeyi, yani Pisagor teoremini, uyguladık. On birinci önermeyi ispatta altıncı önermeyle Pisagor teoremi kullanılır. Altıncı önerme beşincisine benzer, fakat iddiası daha karmaşık.

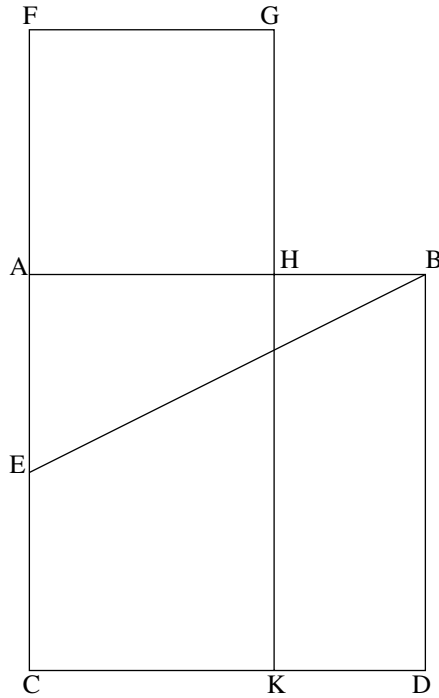
*II. Cüzdeki 6. Önerme. Bir doğru çizgi ikiye bölünsün ve aynı doğru uzatılsın. Şu halde, uzatılmış doğru çizgi ile onu uzatan bölümünün içerdiği dik dörtgenin ve verilmiş doğru çizginin yarısının üstündeki karenin toplamının yarısı, uzatan bölümünle beraber yaptığı doğru çizginin üstündeki kareye eşittir.*

Bu önceden eski Yunancadan İngilizceye çevrilmiş olan, ondan sonra Türkçe iyi bilmeyen kimse İngilizceden Türkçeye çevrilmiş olan iddia o kadar belli değil. Belki XXIV. Şekline bakınca, daha belli olur. Yani verilmiş doğru çizgi  $AB$ 'dir. Uzatılmış çizgi  $AD$ 'dir.  $BD$  ile  $DM$  doğru çizgilerin birbirine eşit olduklarından, önermede söz konusu olan dik dörtgen  $AM$  dik dörtgeni dir. Verilmiş doğru çizginin yarısı  $CB$  çizgisidir. Onun üstüne konmuş kare  $LG$  karesine eşittir. Başka önermede söz konusu olan kare  $CF$  karesidir.  $AL$  ile  $HF$  dik dörtgenlerinin birbirine eşit olduğunun belli olduğundan, önermenin dik dörtgeni ile daha küçük karenin daha büyük kareye eşit olduğu açıktır.

Beşinci ile altıncı önermelerin cebirsel ifadeleri Heath'in denklem dizisinde verilmiştir. XXII. Şekline bakınca beşinci önerme altıncı kadar belli olduğuna kabul edersiniz.

Şimdi ikinci cüzdeki on birinci önermeyi ispatlayalım. XXV. Şekil kullanılır. Verilmiş çizgi  $AB$  olsun. Bu çizginin üstüne  $ABCD$  karesi çizilsin.  $E$  noktasında  $AC$  çizgisi ikiye bölünsün.  $B$  ile  $E$  noktalarını birleştiren doğru çizgi çizilsin.  $EF$  çizgisi  $BE$  çizgisine eşit olarak,  $CA$  çizgisi  $F$  noktaya kadar uzatılsın.  $FA$  çizgisinin üstüne kare  $FH$  çizilsin. O zaman  $GH$   $K$  noktasına kadar uzatılsın. Şu halde,  $AB$  ile  $BH$  doğru çizgilerinin içerdiği dik dörtgen  $AH$  çizgisinin üstündeki kareye eşittir. İlk önce altıncı önermeye göre  $CF$  ile  $FA$  içerdiği dik dörtgen,  $AE$  üstündeki kareyle beraber  $EF$  üstündeki kareye eşittir. Fakat  $EF$  doğru çizgisi  $EB$ 'ye eşittir. Dolayısıyla  $CF$  ile  $FA$  içerdiği dik dörtgenin ve  $AE$  üstündeki karenin toplamı  $EB$  üstündeki kareye eşittir.

$A$  açısının dik olduğundan, Pisagor teoremini uygulayabiliriz. Dolayısıyla  $AE$  ve  $BA$  üstündeki iki karenin toplamı  $EB$ 'ye eşittir. Şu halde,  $CF$  ile  $FA$  içerdiği dik dörtgen  $BA$  üstündeki kareye eşittir.



XXV. Şekil

**Pisagor'un teoreminin uygulaması.** Biz Pisagor teoremiyle beraber, ikinci cüzdeki beşinci veya altıncı önermeyi kullanarak, ayrıca iki önermenin meselerini çözdük, ikinci cüzün on birincisi ile on dördüncüsü. Beşinci ile altıncı önermenin cebirsel özdeşlikler olduklarını, halbuki daha derin olarak on birincisi ile on dördüncüsünün cebirsel denklemlerin köklerini verdiklerini vurgulayalım.

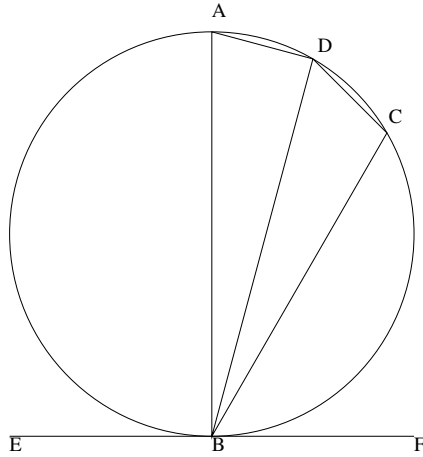
Her iki önermede iki mertebeden olan denklemin çözmesi lazım. Her iki önermede benzer yöntem uyguladık, yani ikinci cüzdeki beşinci veya altıncı önermeyi kullanarak iki karenin farkı elimizde ettik. Pisagor teoremini uygulayarak, iki karenin farkının yerine tek bir kareye geçtirdik. Kullandığımız üçüncü çüzün otuz yedinci önermesi otuz altıncısına dayanılıyor. Otuz altıncısının ispatında hem de Pisagor teoremi hem de üçüncü cüzde geliştirilen çemberin nitelikleri uygulanıyor.

Üçüncü cüzün başka kullanacağız ama ispatlamayacağız önermesi otuz ikincisidir. Bu önerme düzlemin eğriliğinin sıfır olmasının bir sonucudur, yani her üçgenin dahil açılarının toplamunun iki dik açıya eşit olması ispatında kullanılıyor. Biz muntazam beşgenin çizilmesi için, bu önermeyi uygulayacağız. Bundan dolayı Öklid'in peşinden giderek bizim anlatacağımız beşgenin çizilmesi küresel veya hiperbolik müstevide geçerli değil. Bu geometrilere basit muntazam çokgenlerin nasıl çizildiği bilmiyorum. Bu meselenin çözümü hakkında henüz düşünmedim.

**Çemberler nitelikleri.** Dördüncü cüzün on birinci önermesinin meselesi teklığın beşinci kökünün çizilmesidir. Bu meselenin çözülmesi için üçüncü cüzde bulunan yöntemler uygulanıyor, iki çemberin veya bir çemberin ile bir doğru çizginin arakesitin belirlediği noktalar kullanılıyor.

Biz üç kullandığımız önermeleri ispatlamadığımız halde, hepsinin iddiasını verelim. Her önermenin yakında konan şekilde anlatılıyor.

*III. Cüzdeki 32. Önerme. Bir doğru çizgi bir çemberle temasta bulunursa, ve dokunma noktadan çember içindeki çemberi kesişen bir doğru çizgi çizilirse, çizgi ile kesişme noktalardan geçen teğetler beraber yaptığı açılar çemberin karşılıklı kesmesinde oluşan açılara eşit olur.*



XXVI. Şekil

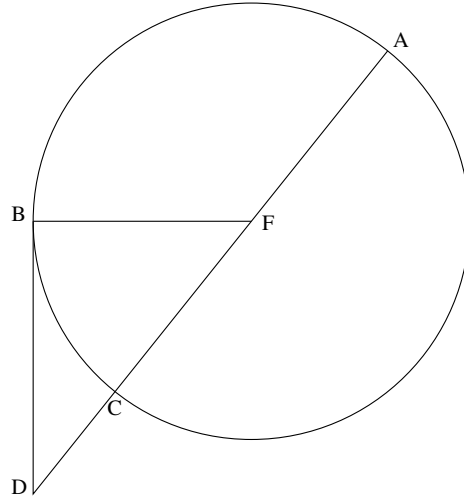
XXVI. Şekilde bir çember ile  $EBF$  teğedi çizilirler. Çemberin içinde bir doğru çizgi  $BD$  de çizilir. Bir çemberin kesmesinde bulunan  $DCB$  açısı  $C$  noktasından bağlı değil ve  $EBD$  açısına eşittir. Tabii o zaman diğer kesmesinde oluşan  $DAB$  açısı  $FBD$  açısına eşittir.

III. Cüzdeki 36. Önerme. Çemberin dışında bir nokta seçilsin. Noktadan iki doğru çizgi geçsin. Çizgilerden birisi çemberi kessin, başkasi çemberle temasla bulunsun. Şu halde çemberi kesişen doğru parça ile onun seçilmiş nokta ile çemberin arasındaki parçasının içerdiği dikdörtgen çemberle temasta bulunan doğru parçanın üstüne çizilmiş kareye eşdeğerdir.

XXVII. Şekilde çemberle kesişen doğru parça  $DA$  çizgisidir. Nokta ile çember arasındaki parçası  $DC$  parçasıdır. Önermenin iddia ettiği eşitlik

$$(C) \quad \overline{DC} \times \overline{DA} = \overline{DB}^2$$

denklemdir.



XXVII. Şekil

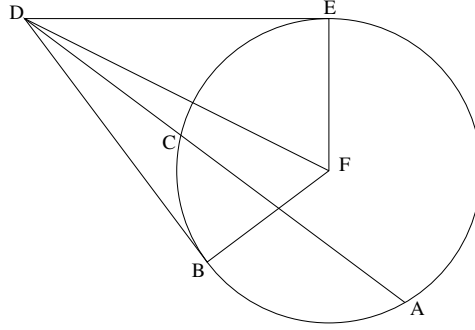
III. Cüzdeki 37. Önerme. Çemberin dışında bir nokta seçilsin. Noktadan geçen iki doğru çizgiden birisi çemberi kesişsin, başkasi çemberden geçsin. Çemberi kesişen bütün doğru parça ve seçilmiş nokta ile çemberin arasındaki parçasının içerdiği dikdörtgen diğer çemberden geçen doğru parça üstüne çizilmiş kareye eşit ise, çemberden geçen doğru çemberle temasta bulur.

Bu önerme otuz altıncı önermenin tersidir. Karenin üstüne çizildiği doğru parça  $D$  noktası ile çemberde bulunan  $B$  noktasını birleştiren doğru parçadır. Dikdörtgen belirten iki doğru çizgi  $DC$  ile  $DA$  çizgilerdir.

Şimdi dördüncü cüze geri dönerek, ikinci cüzün on birinci önermesini kullanarak, dördüncü cüzün onuncu önermesinin meselesini çözüyoruz. Aradığımız ikizkenari çizelim. Herhangi bir doğru çizgi mesela XXIX. Şekilde gibi  $AB$  çizgisiyle başlayarak  $AB$  çizgisini  $C$  noktasında şöyle keseriz ki  $AB$  ile  $BC$  içerdikleri dik dörtgen  $CA$  çizgisinin üstündeki kareye eşit olur. Merkezi  $A$  ve yarıçabı  $AB$  olan  $BDE$  çemberi çizilsin. İspatlamadığımız ama zor olmayan dördüncü cüzdeki birinci önermeye göre, bu çemberin çabından daha küçük olan  $AC$  çizgiye

eşit olan  $BD$  doğru çizgiyi çizebiliriz.  $AD$  ve  $DC$  doğru çizgilerini de çizeriz. Biz Einstein'i düzen geometrideki çarpan teorimden bahsederken, iddia edilen cüzün beşinci önermesine göre,  $ACD$  üçgenin etrafına başka bir çember çizebiliriz.

$AC$  ile  $BD$  doğru çizgisi birbirine eşit olduklarından,  $AB$  ile  $BC$  içerdiği dikdörtgen  $BD$  üstündeki kareye eşittir. Bu kadar, çember hakkında olan üçüncü cüzden kaçındık, ama şimdi Öklid'in üçüncü cüzünün son önermesi, otuz yedinci önermeyi uygulanır. Yani  $B$  noktası  $ACD$  çemberi dışında bulunur.  $BA$  doğru çizgisi  $A$  noktasında çemberi çaprazlayıp keserek,  $BD$  doğru çizgisi çemberi  $B$  noktasında keser.  $AB$  ile  $BC$  içerdiği dik dörtgen  $BD$  üstündeki kareye eşit olduğundan, çizgi  $BD$  çemberi  $D$  noktasında dokunur.



XXVIII. Şekil

Bitmemişiz. Üçüncü cüzde bulunan başka önermeyi uygularız, yani otuz ikinci önermesi. XXVI. Şekille iddiasını anlattık. Otuz yedinci önermenin varsayımının cebirsel iddiası otuz altıncı önermenin sonucu olan (C) denklemdir. Önermenin geometrik ispatını vermeyiz, fakat koordinatlar kullanarak, onu kolay sağlayabiliriz.  $D = (0, 0)$  ve  $F = (b, 0)$  olsunlar. Çember

$$(x - b)^2 + y^2 = a^2$$

denklemleri tanımlansın. Şu halde  $A$  ile  $C$  noktaları elimize geçirmek için,  $x = \lambda\alpha$ ,  $y = \lambda\beta$  olsunlar.  $\alpha$  ile  $\beta$  sayıları  $A$  ile  $C$  noktaları bulunduğu doğru çizgi tarafından belirtilmiştir. Bu çizgi verilmiş ise, iki nokta

$$(\lambda\alpha - b)^2 + (\lambda\beta)^2 = a^2$$

denklemleri tarafından belirtilir. Bu denklemin iki kökleri  $\lambda'$  ile  $\lambda''$  sayılarına eşit iseler,  $\overline{DC} \times \overline{DA}$  çarpımı  $\lambda'\lambda''\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$  dir.  $\lambda'\lambda''$  çarpımının  $(b^2 - a^2)/(\alpha^2 + \beta^2)$  eşit olmasının belli olduğundan dolayı,  $\overline{DC} \times \overline{DA}$  çarpımının verilmiş doğru çizgiye bağlı olmaması bellidir. Özellikle

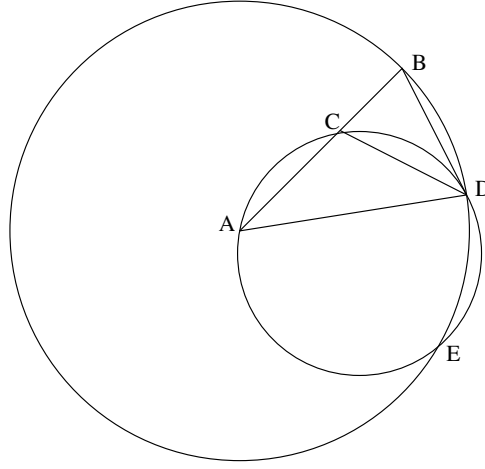
$$\alpha^2 b^2 - (b^2 - a^2)(\alpha^2 + \beta^2) = 0$$

ise, çembere teğet olan doğru çizgi ile nokta  $B$  elimize geçer. Dolayısıyla (C) denklemi  $DB$  çizgisinin çemberle temasta bulunması eşdeğerdir.

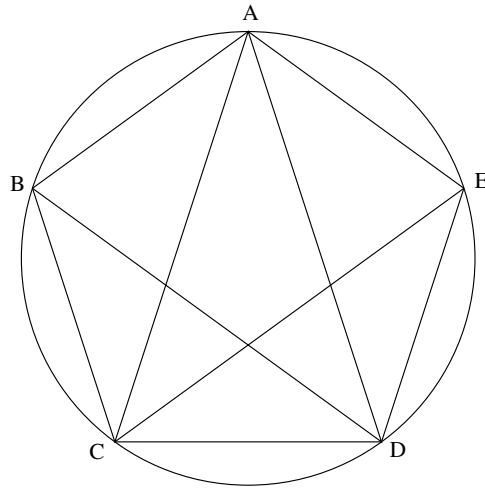
Onuncu önermenin ispatına gene döneriz. XXIX. Şeklinde iki çember var. Üçüncü cüzün otuz ikinci önermesini küçük çembere uyguluyoruz. Önermeye göre,  $BDC$  açısı karşılıklı  $DAC$  açısına eşittir. Dolayısıyla  $BDA$  açısı iki açının  $CDA$  ile  $DAC$  toplamına eşittir. Fakat dış açının  $BCD$  da bu topluma eşit olduğundan,  $BDA$  ile  $BCD$  açıları birbirine eşittir.  $ABD$  üçgeninin ikizkenar olduğundan,  $BDA$  açısı  $ABD$  açısı, veya aynı olarak  $CBD$  açısına eşittir. Dolayısıyla  $DBA$  açısı da  $BCD$  açısına eşittir. Şöyle  $BDA$ ,  $DBA$  ile  $BCD$  açıların hepsi birbirine eşittir. Bundan fazla,  $DBC$  ile  $BCD$  açıların birbirine eşit olduğundan,  $BD$  ile  $DC$  kenarları birbirine eşittir. Fakat  $BD$  kenarı  $CA$  kenarına eşittir. Bu sebepten,  $CA$  kenarı



$CD$  kenarına eşittir. Dolayısıyla  $CDA$  ile  $DAC$  açıları birbirine eşittir. Şu halde  $CDA$  ile  $DAC$  açılarının toplamı  $DAC$  açısının iki mislidir. O zaman  $BCD$  açısının  $CDA$  açısına veya  $DAC$  açısına eşit olduğundan,  $BCD$  açısı da  $CAD$  açısının iki mislidir. Dolayısıyla üç birbirine eşit olan  $BCD$ ,  $BDA$ , ile  $DBA$  açılarından her birisi  $DAB$  açısının iki mislidir. İspat şöyle bitmiş.



XXIX. Şekil



XXX. Şekil

Onuncu önerme bitmiş olarak, on birinci önermeyi XXX. Şeklini kullanarak kolay sağlayabiliriz.  $ACD$  ile  $ADC$  açılarını ikiye bölerek,  $B$  ile  $E$  noktalarını elimize geçiririz.

---

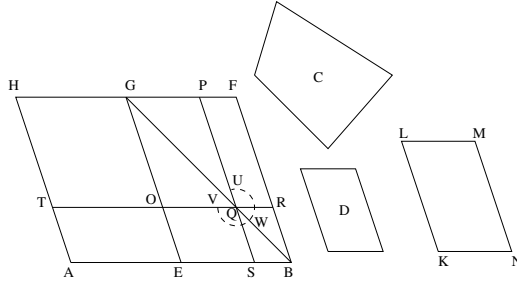
Beşinci cüzü atlayarak, altıncı cüze geliyoruz. Hepsiden ziyade, iki mertebeden olan (B) denklemlerinin çözülmesine imkân verip onuncu cüzde geliştirmelere temel atan bu cüzün

yirmi sekizinci ile yirmi dokuzuncu önermesini inceleyeceğiz. Ondan sonra, nihayet onuncu cüze geleceğiz.

Başlayarak yirmi sekinci önermenin iddiasını verelim. Anlatıldığından sonra (B) denklemini nasıl çözdüğünü anlatacağiz. İddianın anlaşılması o kadar kolay değil.

VI. Cüzdeki 28. Önerme. *Verilmiş kenarları doğru olan şekile eşit olan ve verilmiş paralelkenarla aynı şekilde (yani bu paralelkenara benzer) olan paralelkenarın eksiğiyle olan bir paralelkenarın verilmiş doğru çizginin üstüne konulması. Şöyle, verilmiş kenarları doğru olan şeklin yüzölçümü verilmiş doğru çizginin yarısının üstüne konmuş ve eksine benzer olan paralelkenardan daha büyük olamaz.*

XXXI. Şekline bakarak, bu karışık önermeyi anlatalım. Verilmiş kenarları doğru olan şekil  $C$  şeklindedir. Verilmiş paralelkenar  $D$  şeklindedir. Verilmiş doğru çizgi  $AB$  çizgisi olsun. Önermenin çözümü  $TS$  paralelkenarıdır. Fakat bu paralelkenar  $AB$  çizgisi üstüne konamaz. Eksiği var, yani  $QB$  paralelkenarının eksiğidir. Eksiği  $D$  paralelkenarına benzerdir.



XXXI. Şekil

Bu önermenin

$$ax - \frac{b}{c}x^2 = S$$

denklemini nasıl çözdüğünü Heath anlatır. Verilmiş  $D$  paralelkenarı dikdörtgen olsun.  $QS$  ile  $SB$  oranı bu dikdörtgenin kenarlarının oranıdır. Oranı  $c : b$  olsun.  $QS$  kenarının uzunluğu  $x$  olsun ve verilmiş doğru çizginin uzunluğu  $a$  olsun. O zaman eksik  $bx^2/c$  sayısına eşittir. Dolayısıyla,  $C$  şeklinin yüzölçüsü  $S$  ise,

$$ax - \frac{b}{c}x^2 = S.$$

Biz iddiası anlatmış olan önermeyi ispatlayalım. Bazı bu cüzde bulunup daha önce tanıtlanmış olan başka önermeleri kullanırız. Mesela  $AB$  çizgisi  $E$  noktasında ikiye bölünsün. Altıncı cüzün on sekizinci önermesine göre,  $ED$  üstüne  $D$  paralelkenarına benzer bir paralelkenar  $EBFG$  çizebiliriz.  $AG$  paralelkenarı  $C$  şekline eşit ise, daha yapılacak şey yok, çünkü  $AG$  paralelkenarı  $C$  şekline eşittir ve eksiği  $D$  paralelkenarına benzer olan  $GB$  paralelkenarına eşittir.

$AG$  paralelkenarı  $C$  şekline eşit değilse,  $HE$  paralelkenarı  $C$  şeklinden daha büyük olsun. O zaman,  $GB$  de  $C$  şeklinden daha büyük olur.

Sonra gelen adım belki ispatın en önemli adımıdır zira bu adımda bir karekök çıkarılır. Yani cüzün yirmi beşinci önermesine göre,  $C$  şeklinin  $GB$  paralelkenarından eksiğine eşit ve  $D$  paralelkenarına benzer olan paralelkenarı  $KNML$  çizebiliriz.  $KM$  paralelkenarı  $GB$  paralelkenarına da benzer olur.  $GB$  paralelkenarı  $KM$  paralelkenarına benzer olduğundan ve  $GE$  ile  $LK$  birbirine tekabül ettiklerinden,  $GE$  aralığı  $LK$  aralığından daha büyüktür.

Heath'in anlattığı gibi, Öklid onu ispatlamadan, bu iddiayı kullanır. Heath Öğeler'e uygun ispat verir. Biz Öklid'in peşinden giderek onu ispatlamadan devam ediyoruz.

$GE$  kenarı  $KL$  kenarından daha büyük olduğundan  $GO$  aralığı  $KL$  aralığa eşit olmak üzere  $O$  noktasını bulabiliriz. Aynı sebepten,  $GP$  aralığı  $LM$  aralığına eşit olmak üzere  $P$  noktasını bulabiliriz. Ondan sonra,  $OGPQ$  paralelkenarı tamamlayabiliriz. Bu paralelkenar  $KM$  paralelkenarına benzer ve eşittir, yani ikisinin yüzölçümleri birbirine eşittir. Dolayısıyla  $GB$  paralelkenarına benzerdir. Bu belli olduğunu sandığımız iddia yirmi birinci önerme olarak Öklid tarafından ispatlanmıştır. Cüzün bize tam belli görünen yirmi altıncı önermesine göre,  $GQ$  paralkenarları  $GB$  paralelkenarlarla beraber ortak köşegeni var.

Anlatalım.  $GQ$  ve  $GB$  birbirine benzerdir. Üstelik  $GQ$  paralelkenar  $GB$  paralelkenarının bir açısına konmuş. Şu halde,  $GQ$  paralelkenarının köşegeni  $GB$  paralelkenarının köşegeninin bir bölümü olur. Şu iddianın ispatına altıncı cüzde benzer şekiller hakkında geliştirilen teorinin gerekli olması bizi hayrette bırakmaz. Orta okuldaki geometri bu konudan adeta tamamen ibarettir.

XXXI. Şeklinde  $UWV$  işaretlerle gösterilen  $GB$  ile  $GQ$  farkı  $\gamma\omega\mu\omega\nu$  (gnomon) adlanıyor. Şekil şöyle çizildi ki,  $BG$  yüzölçümü  $C$  şeklinin ile  $KM$  paralelkenarının toplamına eşittir. Şu halde,  $GQ$  ve  $KM$  paralelkenarlarının birbirine eşit olduğundan,  $UWV$  gnomonu  $C$  şeklinin yüzölçümüne eşittir. Biz ilk defa olarak gnomon kavramına rastlıyoruz, ama Öklid'in Öğeler'inde oldukça önemli bir kavramdır. (Anlaşılan  $\gamma\omega\mu\omega\nu$  sözü sadece "bildiren işaret" diyor.) Her halde evvelden anlattığımız birince cüzün kırk üçüncü önermesini göre, gnomonda bulunan  $PR$  paralelkenarının yüzölçümü  $OS$  paralelkenarına eşittir. Bu iki paralelkenara  $QB$  paralelkenarı eklense, yüzölçümleri birbirine eşit olan  $OB$  ile  $PB$  paralelkenarı elde edilir. Fakat  $OB$  paralelkenarı  $TE$  paralelkenarına eşittir. Dolayısıyla gnomonun yüzölçümü  $TS$  paralelkenarına eşittir. Böylece  $TS$  paralelkenarı  $C$  paralelkenarına eşittir.

Nihayet verilmiş doğru çizgi  $AB$  üstüne, verilmiş  $C$  şekline eşit ve eksiği  $D$  paralelkenarına benzer  $QB$  paralelkenarı olan  $TS$  paralelkenarı konmuştur.

**İki yöntem.** *Öğeler'inde karekökler çıkarılmak için iki farklı yöntem geliştirilmiş. Birisinde Pisagor teoremi kullanılıyor, başkasında birbirine benzer şekiller teorisi kullanılıyor.*

Bu iddiayı anlatmak için kullandığımız altıncı cüzün yirmi beşinci önermesine geri dönelim.

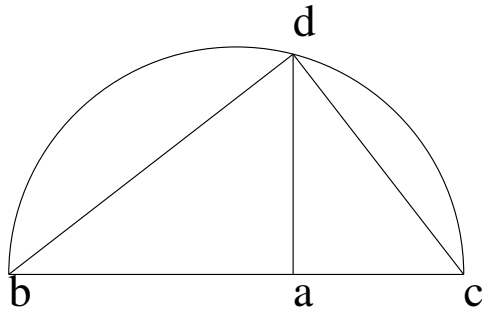
VI. Cüzdeki 25. Önerme. *Verilmiş kenarları doğru olan şekile benzer ve başka verilmiş kenarları doğru olan şekile eşit olan bir şeklin çizilmesi.*

Özellikle, birinci verilmiş şekil bir kare ise ve ikinci verilmiş şekil dikdörtgen ise, bu önerme ikinci cüzün on dördüncü önermesinin başka bir çözümü ileri sürer. Dolayısıyla önermenin ispatında karekök çıkarması saklanır. Nerede? İspatta cüzün on üçüncü önermesi kullanılır.

Biz bu önermenin iki verilmiş aralığın orta orantılısının bulunması hakkında olduğunu evvelden anladık. İki verilmiş aralık  $AB$  ile  $CD$  olsunlar.

$$\overline{EF}^2 = \overline{AB} \times \overline{CD}$$

denklemini çözen aralık  $EF$  aranıyor. Yani karekök aranıyor. Bildiğimiz gibi uygun dik açı üçgenin yardımıyla bulunabilir. XXXII. Şeklinde üç üçgen  $bda$ ,  $cda$  ve  $abc$  birbirine benzer olduğundan  $ad^2 = bd \times dc$ .  $bd$  ile  $dc$  uzunlukları verilmiş ise, biz uygun üçgün çizebiliriz, yani üçüncü cüzde geliştirilmiş çember hakkında olan teoriye göre, çabı  $bc$  olan yarım çember çizebiliriz ve  $ac$  doğrusuna dik olan çizgiyi çizerek,  $d$  noktasını elde ediyoruz.



XXXII. Şekil

Compiled on July 30, 2024.