http://fbe.trakya.edu.tr/tujs
Trakya Univ J Sci, 10(2):149-157, 2009
ISSN 1305–6468
DIC: 288SASIT10100911091209

Araştırma Makalesi / Research Article

ALTIN ORANLA TASARLAMAK: DOĞADA, MİMARLIKTA VE YAPISAL TASARIMDA Φ DİZİNİ

Semra ARSLAN SELÇUK[1],Arzu GÖNENÇ SORGUÇ[2], Aslı ER AKAN[3]
[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 32260, Isparta.
e-mail: semra@mmf.sdu.edu.tr
[2] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 06531, Ankara.
e-mail: arzug@arch.metu.edu.tr
[3] Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 32260, Isparta.
e-mail: aslierakan@mmf.sdu.edu.tr

Alınış: 10 Ekim 2009
Kabul Ediliş: 04 Aralık 2009

Özet: *İnsanın parçası olduğu doğayı ve bir üst ölçekte evreni anlama isteği ve merakı, bu anlamanın bir ara yüzü olarak bir yanda matematik, fizik, kimya gibi temel bilimlerin ve bilgilerin ve sonrasında da pek çok farklı disiplinin ortaya çıkmasını sağlarken, diğer yanda sanat ve felsefede de önemli tartışmaları gündeme getirerek, anlama eyleminin de yeni araç ve ara yüzleri için farklı düzlemleri oluşturmaktadır. Tüm bu süreçte farklı bilgilerin ve olguların sembolik ama herkes tarafından anlaşılabilen bir anlatım biçimi olan matematik farklı bilgi alanlarının birbiri ile "konuşmasını" değil, anlama eyleminin model ve araçlarını da sağlamıştır. Bu bağlamda, insanoğlunun doğadaki büyüme modelini ve doğal yapılaşmalardaki tasarım estetiğini anlamakta kullandığı, esinlendiği/ öğrendiği/ uyguladığı parametrelerden en eskisi olan altın oran özellikle sanat ve mimarlıkta matematiğin rolünü gösteren ve izini tarih boyunca pek çok yapıtta görebileceğimiz bir benzeşim ölçütü olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucu, Fi dizininin doğadaki formların gelişiminin (morphogenesis) açıklanması kadar; mimarlık tarihine baktığımızda, mimarlıktaki estetik ve yapısal formların da gelişmesinin açıklanabilmesine yardımcı olduğu görülmüştür. Bu çalışma, "altın oranın, Φ (Fi)", doğada ve mimarlıkta nasıl sistematik olarak kodlandığını (Φ dizini) örneklendirmektedir. Ayrıca bu oranın kabuk gibi bazı yapıların strüktür sisteminde de karşımıza çıkması, Φ dizininin yapı davranışının eniyilenmesi konusunda da bir araç olabileceği tartışmasını gündeme getirmektedir.*

Anahtar Kelimeler: *Altın Oran, Fi Dizini, Doğadaki Fi Dizini, Sanatta, Mimarlıkta ve Yapısal Tasarımda Altın Oran*

Designing by Golden Ratio:φ Code in Nature, Architecture and Structural Design

Abstract: *Mathematical construction and form/structures of nature in universe have been studied and been discussed by philosophers, mathematicians, scientists and artists throughout the centuries. This cosmic query has led important developments in mathematics and physics as in many other disciplines and through this learning process inter discipliner knowledge has been growing exponentially by those feed backs. Golden ratio is one of the oldest and probably the persistent parameters used by human being to understand/ inspire/ learn and implement the growth model of nature and design aesthetic of natural structures. It is seen that, phi code facilitates to explain not only developments of forms in nature (morphogenesis), but also to explain aesthetic and structural forms of work of art and architecture. This study exemplifies how the golden ratio, Φ (phi) is coded (Φ code) in nature, art and architecture. Furthermore, this paper introduces a discussion platform that phi code could be a tool to optimize the structural behavior as it is seen in some structural systems like shells.*

Keywords: *Golden Ratio, Phi Code, Phi Code in Nature, Golden Ratio in Art, Architecture and Engineering*

GİRİŞ

Altın oran, bazı doğal form ve strüktürlerin ve onların büyüme süreçlerinin açıklanabilmesinde, bir dizi geometrik kurallı biçimleri (pattern) matematiksel bir sayı dizini, olarak modelleyen bir araç olarak günümüze dek kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada tartışıldığı gibi, bu bağlamda kullanılan bazı geometriler doğadaki büyüme biçimlerini ve bu biçimlerin oluşturduğu düzen ve estetiği, diğerleri ise sanatsal ve mimari tasarımda uyum, denge ve oran anlayışını açıklamakta kullanılmaktadır. Benzer şekilde mühendislikte de strüktürel mekaniğin özellikle strüktürel elemanların stres analizleriyle ilgili matematiksel ifadelerde benzer geometrik düzen arayışlarını açıklamakta kullanılabilmektedir.

Borges'e göre Fi kodu davranış kuralları olup, bu kurallar, doğada büyüme davranışıyken, mimaride estetik kaygılar ve mühendislikte yapı elemanlarının yapısal davranışı olarak karşımıza çıkabilmektedir (Borges, 2004). Ancak bu noktada Fi dizinini doğadaki bir kod olarak algılanması yerine, Fi dizinin belirli davranış biçimlerini, büyüme biçimlerini, algı-estetik-nesne ilişkilerini vb., anlamak için kurulan pek çok modelin matematiksel temeli olarak anlamak önemlidir. Örneğin, doğada fi dizini spirallerin ve pentoganal geometrilerin oluşumunun modellenmesinde kullanılmaktadır. Tarih boyunca mimaride bazı stiller ve tasarım eğilimlerinde Φ, bir oran ve oran taracı olarak görülmüş ve hem kütle hem de cephe tasarımında sıklıkla kullanılmıştır (Scholfield, 1958). Benzer şekilde mühendislikte de temel yapı elemanlarının (kiriş, kolon, kubbe gibi) yapısal davranış biçimlerinin modellenmesinde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada Fi dizininin bu üç bağlamdaki durumu tartışılmaktadır; doğa, mimarlık ve strüktür (yapısal mekanik). Şüphesiz ki altın oranın tüm yönlerini detaylı olarak ele almak ve tarihine kadar uzanmak, bir çalışmayla mümkün olamayacaktır. Çalışmada ilk önce özet olarak Fi dizininin doğadaki büyüme biçimlerinin modellenmesinde nasıl kullanıldığı gösterilmiş ve doğadaki formlardan örnekler verilmiştir. Daha sonra dönemlerinin öncül mimari örnekleri arasında gösterilen birkaç bina incelenmiş ve fi dizinin nasıl kullanıldığı örneklenmiştir Bu örneklerden bazılarında mimarların bilinçli olarak fi dizinini tasarımlarında bir girdi olarak kullandıkları belirtilmişken, bazılarında da tasarımcının salt estetik kaygılarla ve farkında olmadan fi dizinine yaklaştığı gözlenmiştir. Son olarak bu oran kullanılarak mimari strüktürlerin yapısal tasarımında davranışı nasıl etkilediği gösterilmiştir.

ALTIN ORAN, Φ (Fİ) NEDİR?

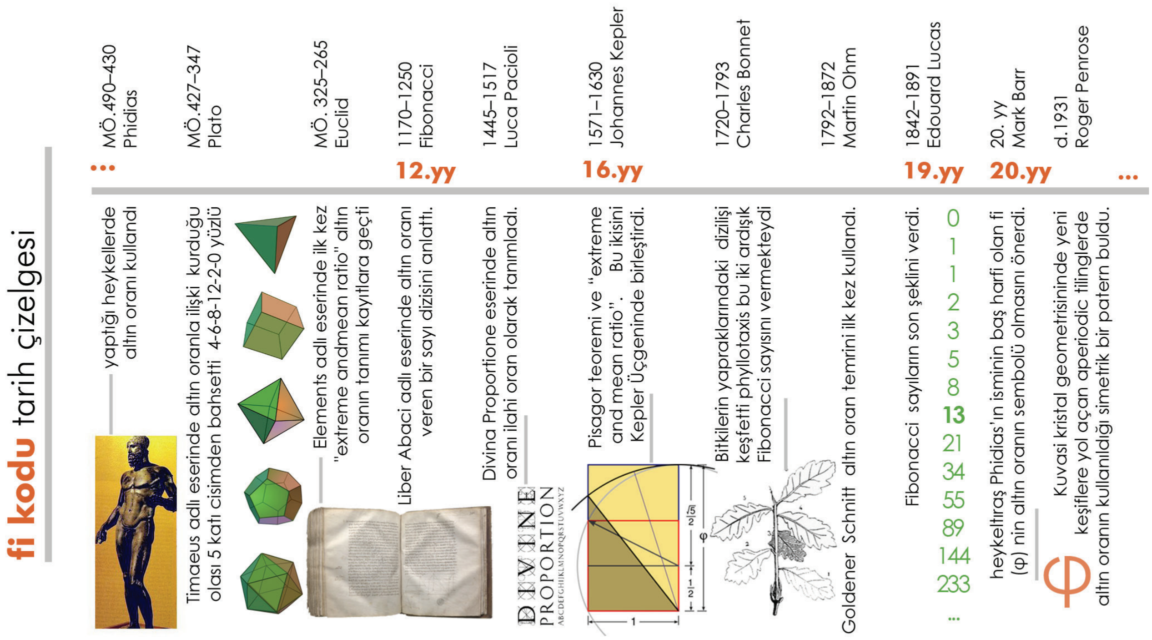
Altın orana ilişkin bilgi ilk kez M.Ö 3.yy da Euklid'in Stoikheia (Elementler) adlı kitabında "sıra dışı ve ortalama oran" (extreme and mean ratio) teriminde karşımıza çıkmaktadır. Aslında bazı kaynaklarda bu geçmişin M.Ö 3. bin yıla kadar uzandığını iddia etmektedirler (Bergil,1998). Altın oranın simgesi olarak Yunanlı heykeltıraş Phidias'ın adının ilk harfi ve Yunan alfabesinin 21. harfi olan Φ kullanılmaktadır. Doğada çok sık rastladığımız altın oranın en basit tanımı, şöyle yapılabilir; *bütünün büyük parçaya oranı; büyüğün küçük parçaya oranına eşittir* (Doczi,1994) *(Şekil 1)*.

Şekil 1. Altın oranın çizgisel gösterimi

Şekil1'de görüldüğü gibi AB/CB=CB/AC ya da , $\Phi x/x = x/x(\Phi-1)$ denkleminin açılımından;

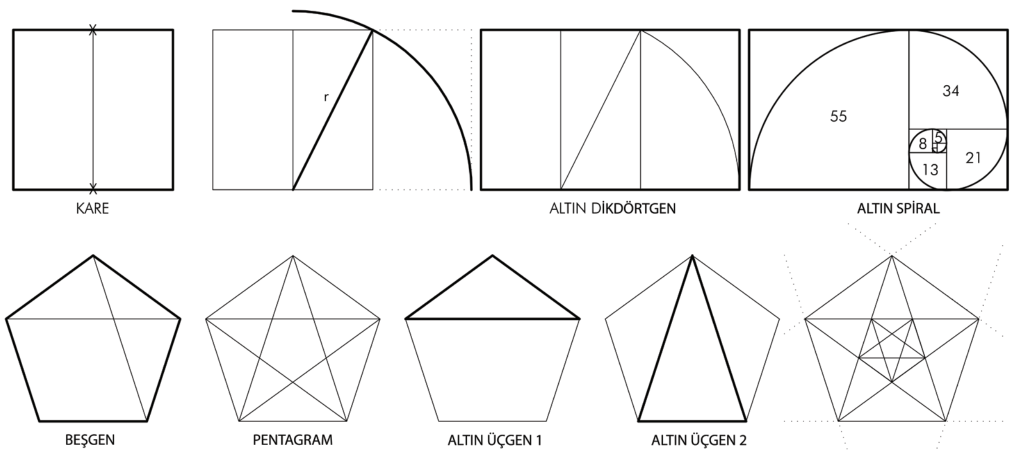
$$\Phi^2 - \Phi - 1 = 0$$

denklemi çözüldüğünde, $\Phi=(1+\sqrt{5})\ /2=1.61803$ sonucuna ulaşılır. Bu sonuçtan da şöyle bir tanım çıkarmak mümkündür; altın oran, 1 sayısına eklendiğinde kendi karesine eşit olan iki sayıdan biridir; bunlardan ilki 1,618033... olarak devam eden ondalık sayıdır. Denklemin ikinci kökü ise - 0,618033... olarak devam eden ondalık sayıdır. Bir başka deyişle altın oran kendisinden "1" çıkarıldığında kendi ters değerine eşit olan tek sayıdır (Doczi, 1994).

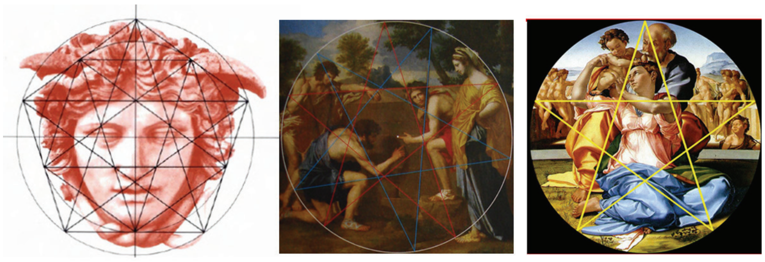


Şekil 2. Altın oran üzerine yapılmış çalışmaların tarih çizelgesi

Yukarıdaki tarih çizelgesinde Fi dizini ile ilgili kilometre taşları niteliğindeki çalışmalar gösterilmiştir. Bunların en önemlilerinden biri, İtalyan Matematikçi Filius Bonacci ö.1250 (Fibonacci) bulduğu sayılar serisidir. Dizideki sayılardan her biri, kendisinden önce gelen iki sayının toplamından oluşmaktadır ve dizideki ardışık sayıların oranı birbirine çok yakındır ve 13. sayıdan sonra sabitlenerek altın oranı vermektedir. Fibonacci Sayıları: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, ...şeklinde devam etmektedir. Benzer şekilde 1509 da Luca Pacioli's Divina Proportione adlı yayınında uzun kenarının kısa kenarına oranı 1.618 olan bir dikdörtgenden bahseder; altın dikdörtgen (Livio, 2002). Bu dikdörtgenin kısa kenarının tamamını kenar kabul eden bir kare ve hemen ardından karenin iki köşesi arasında bir çeyrek çember çizilip bu işlem kalan dikdörtgenler için devam ettirildiğinde ortaya çıkan şekil Φ’ nin bir faktörü ile büyüyen altın spiraldir (Şekil 3). Theodore Andrea Cook, (Cook, 1979) The Curves of Life adlı kitabında doğada, sanatta ve mimaride karşılaştığı bu spiralleri detaylı olarak tartışmıştır. Benzer şekilde Şekil 3’te bir beşgenden 2 farklı altın üçgen ve pentagramın nasıl elde edildiği gösterilmiştir (Skinner, 2006). Pentagramdaki altın oran, insan yüzü başta olmak üzere pek çok heykel ve tabloda geometrik taban olarak kullanılmıştır (Lawlor, 2002) (Şekil 4).



Şekil 3. Altın dikdörtgen, altın spiral altın üçgen, pentagon ve pentagramın çizilmesi (yazarlar tarafından çizilmiştir)

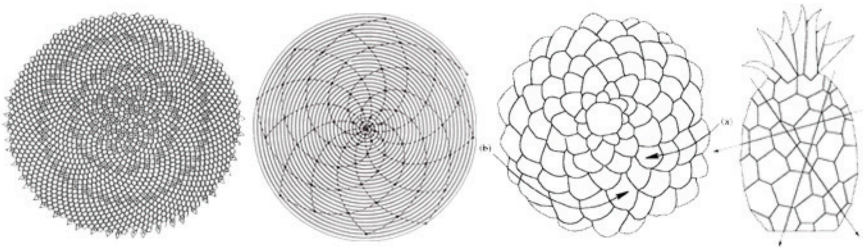


Şekil 4. Pentagram ve bazı sanat eserlerindeki uyum analizi (Lawlor, 2002)

Yukarıda kısaca özetlenen ve binlerce yıldır insanoğlunun ilgisini çeken Fi dizini konusunda biyolojiden matematiğe, fizikten sanatta ve estetiğe, tasarımdan mimarlığa kadar pek çok yayın bulunmaktadır (Ghyka1977, Cook1979, Bergil1993, Doczi1994, Lawlor2002, Hemenway2005, Posamentier, 2007). Bu örnekler arasından, çalışmanın bundan sonraki bölümünde doğada ve mimarlıkta Fi dizinine ulaşılabilecek örnekler verilmiştir. Daha sonra ise matematiği, sanatı ve estetiği bir arada barındıran bir konuda; yapı statiğinde dizininin kullanımı tartışılmıştır.

DOĞADA ALTIN ORAN

Fi dizini doğada çok çeşitli biçimlerde karşımıza çıkar. Bu sayılar sadece matematiğin " nesnelliği ile " eşine rastlanmayan özellikleri modellemekle kalmayıp, doğada da bitkilerdeki filotaksis (Yun. phyllon: yaprak; taxis: düzenleme); gövde ekseni üzerinde yaprakların diziliş şekli olayından, çeşitli yumuşakçaların kabuklarındaki spirallere, erkek arıların ve tavşanların üremesiyle ilgili soy tablosundan, akciğerlerdeki bronş ağacı dallanmalarına (Posamentier, 2007) kadar pek çok olayda kendini göstermektedir. Örneğin, Şekil 4' te görüldüğü gibi pek çok bitkideki yaprak sıralanışında ve özellikle papatya, ananas, ayçiçeği ve kozalaklarda yapılan çalışmalarda ardışık Fibonacci sayılarını yani fi dizinini görmek mümkündür. Bu bitkilerden ayçiçeğinde birbirine zıt yönlü şekillenmiş ardışık spirallerin sayısı saat yönündekinde 13 ve ters yöndeki ise 8 dir (Lawlor, 2002). Bu sayı farklı türlerde artabilmekte ancak spirallerin sayısı Fibonacci sayı dizisine uymakta yani 13-21, 21 34, 34-55 şeklinde olmaktadır. Benzer şekilde Şekil 5'te gösterilen çam kozalağında da spirallerin sayısı 13 ve 8'dir.



Şekil 5. Ayçiçeği, çam kozalağı ve ananasta Fibonacci sayıları analizi (Dunlap, 2003)

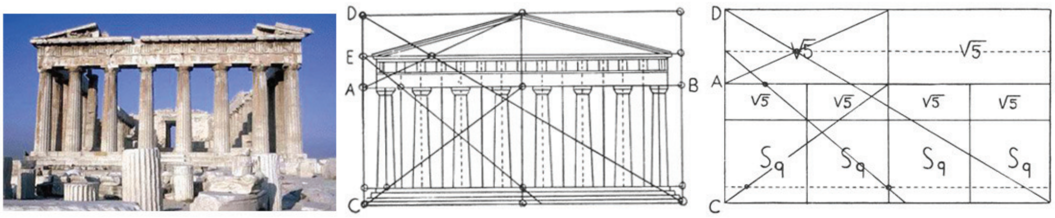
Fibonacci serisine göre geliştirilmiş olan altın oran kumpası (golden mean gauge) ile doğadaki pek çok yapılaşmada altın oran olduğu görülmektedir. Şekil 6 da bir kuşta, tavus kuşunun kanadındaki bir motifte, bir çiçekte ve bir böcekteki oranlar gösterilmiştir. Sözü edilen kumpas hala aktif olarak estetik diş hekimliğinde ve heykeltıraşlıkta kullanılmaktadır.

Şekil 6. Altın oran kumpası yardımıyla doğada görülen altın oran örnekleri (http://www.goldenmeangauge.co.uk/fibonacci.htm).

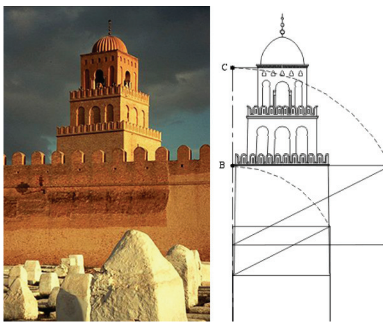
Gözlem araçları geliştikçe, araştırmacılar DNA moleküllerinde de altın oranla karşılaşmışlardır. İç içe iki sarmaldan oluşan yapının bir tam periyodunun uzunluğu 34 angström genişliği 21 angström'dür. 21 ve 34 yine ardışık iki Fibonacci sayısıdır. Sonuç olarak doğada, insanların kalp atım ritminden el ve yüzlerindeki bölümlenmelerin arasındaki uzaklığa/dağılımına, bitki yapraklarının diziliş biçimi ve sayılarından, hayvanların tırnak ve boynuz yapılarına, deniz kabuklarının geometrileri sarmal sayılarından, plankton gibi mikroorganizmalara ve hatta makro dünyalardaki gezenlerin halkalarına (Satürn) ve galaksilere kadar pek çok yapıda bu spirallere ve oranlara dolayısıyla Fi dizinine rastlarız (Mariani ve Scott, 2005). Bu yapılanma bize evrendeki oluşum ve büyüme biçimleri ile ilgili ipuçları da vermektedir.

MİMARLIKTA ALTIN ORAN

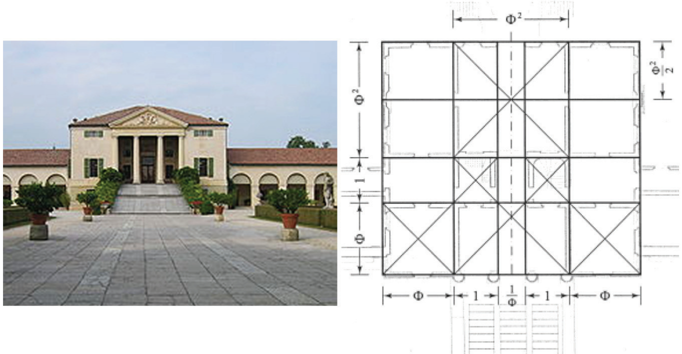
Doğayı her zaman gözlemleyen ve ondan öğrenen insanoğlu, geometriyi bir araç olarak kullanarak, öğrendiklerini kendi yapılı çevresini oluştururken kullanmıştır. Marcus Frings mimarlık teorisinin en önemli konularından birinin oran (fr. proportion) olduğunu söyler (Frings, 2007). Gerçekten de özelikle Eski Mısır ile Klasik Mimarlık olarak adlandırabileceğimiz Eski Yunan ve Roman mimarilerine baktığımızda son derece yalın olan dilin geometrik "oranlarla" öne çıkarıldığını görürüz. Altın oran ise bu geometrik oranlar içinde en çok bilineni ve belki de en çok kullanılanıdır. Vitruvius'un 10 Kitap'ı ile başlayan ve Le Corbusier'in Modular'ı ile zirveleşen "mimarlık teorisinde altın oran kavramının" pekçok farklı dönemde mimarlık söyleminde bir biçimde yer aldığını söylemek olasıdır. Örnek olarak Çin Şehirlerinden Yasak Şehir yerleşim planı, Mısır Tapınaklarından Giza Piramitlerinin kütlesel ilişkileri, Yunan Tapınaklarından Parthenon'un cephesi (Şekil 7), Gotik Katedrallerden Notre Dame'ın cephesi, İslam Mimarlığından Tunus Kayravan'daki Büyük Cami' nin mimaresi (Şekil 8), Klasik Batı Mimarlığından Palladio'nun Emo Villası plan şeması (Şekil 9), Modern mimarlıktan, Le Corbusier, Villa Savoye'nin plan şeması (Şekil 10) ve Marsilya Konutları'nın cephe tasarımı, Birleşmiş Milletlerin New York ofis binasının kütle oranları, Washington DC Pentagon binasının plan şeması, strüktürel mimarlıktan Toronto'nun simgesi olan CN Tower'ın kule-güverte oran ilişkisi verilebilir (Fletcher2001, Olsen2006,).



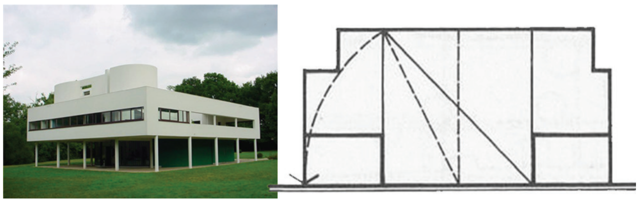
Şekil 7. Parthenon cephesi için yapılmış altın oran uyum çalışması (Ghyka, 1977)



Şekil 8. Kayravan'daki Büyük Cami' minaresi için yapılmış altın oran uyum çalışması (Boussora, 2004)



Şekil 9. Emo Villasının planı için yapılmış oran uyum çalışması (Fletcher, 2001)



Şekil 10. Villa Savoye planı için yapılmış oran uyum çalışması
(http://harmonyandhome.blogspot.com/2008/12/golden-mean-and-modern-design.html)

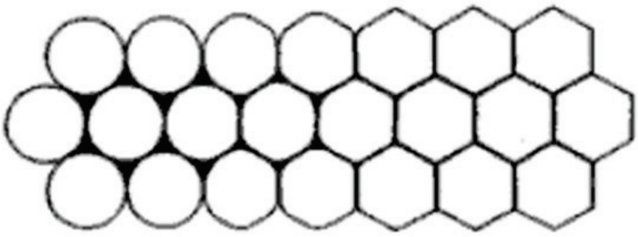
Örnek resimlerden de görüldüğü gibi altın oran mimaride "oran" gerektiren her elemanda (plan, cephe, kesit) kullanılmaktadır. Altın oranının yanı sıra fraktal kurgunun Fibonacci sayılarıyla olan ilişkisi düşünüldüğünde fraktal mimarlık örneklerini de bu gruba dahil etmek mümkün olabilir. Üstelik Reading'in 1994 yılına yazdığı makalesinde tartıştığı gibi kaos teori, fraktal geometri ve altın oran arasındaki matematiksel sentezin açılımları olan "dinamik simetriler" yeni mimari tasarım yöntemleri önerecek potansiyellere sahiptir.

YAPISAL TASARIMDA Φ DİZİNİ

Altın Sayı, matematiksel hayal gücünün değil de, denge yasalarına ilişkin doğal prensibin bir ürünüdür (Bergil,1993)

Doğada, mimarlıkta ve sanatta sıkça izlerine rastladığımız ve insanoğlunun tasarımlarına bilinçli ya da sezgisel olarak giren Fi dizini, Bergil'in işaret ettiği gibi denge yasalarına ilişkin bazı doğal ilkelerin bir sonucu olarak ele alınabilir. Bu yaklaşımın ışığında çalışmanın bu bölümünde mühendislik problemlerinde ve özellikle mimarlıktan ayrı düşünemeyeceğimiz strüktür tasarımında fi dizininin nasıl model oluşturabileceği tartışılmakta ve örneklendirilmektedir. Bu örneklere geçmeden ise yine doğada gördüğümüz bazı doğal yapılaşmaların ardında yatan strüktürel gereksinmelerden ve fi dizini ile modellenen bazı yapısal sistemlerden örnekler verilmiştir.

İlk olarak doğadaki altın oran örnekleri arasında verilen filotaksis aslında mühendislikte sıklıkla karşılaştığımız optimizasyon ve verimlilik problemleri için önemli bir örnek oluşturmaktadır. Dikey bir bitki sistemindeki dizilişinde her yeni yaprak, bir altındaki yapraktan belli bir açı farkı ile büyür. Bu açı büyük çoğunlukla 137,5 derecedir ve 360 derecenin altın oranda bölünmesi ile elde edilir. Bu açı ile bitki sap etrafına spiral şeklinde dizilen yaprakların maksimum sayıda yerleştiği, diğer yaprakları en az gölgede bıraktığı ve tüm yaprakların en verimli şekilde güneş ışınlarından faydalandığı fark edilmiştir (Chown, 2002). Arı peteklerinde görülen altıgen yapılaşmanın, alanın maksimum kullanımına en uygun geometrik şekil olduğu ve yaklaşık 0.07 mm olan petek duvar kalınlığının bu geometri sayesinde direnç kazandığı ve depolanan kilolarca balı taşıyabildiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, aynı alanın beşgen sekizgen ya da daire formlarla örülmesiyle duvarlar arasında boşlular kalacağı (Şekil 11); üçgen kare ya da dikdörtgen formlarda örülmesiyle toplam kenar uzunluğunun altıgenden daha fazla olacağı saptanmıştır (Winston, 1991). Her iki durumda da yapımı için çok fazla enerji gerektiren "balmumu" optimum miktarda kullanılmamış olacaktır (von Frisch, 1974). Benzer şekilde doğada gördüğümüz pek çok paketlenme (closest packaging) en az malzeme ve enerji ile en çok faydanın sağlanması noktasında bir başka mühendislik probleminin çözümü olarak örneklendirilebilir. Birçok kar tanesi altıgen şekle sahiptir ve bunun sebebi su moleküllerinin donarken hidrojen bağları adı verilen bir bağ oluşturmaları ve bu bağların en sağlam olabileceği şekilde sıralanmalarıdır. Bu sıralanmada karşımıza çıkan oran fi dizinidir. Söz konusu altıgen geometrinin altın oranla olan ilişkisini ortaya koyan çeşitli çalışmalar da (Weis, 2002) yapılmıştır.



Şekil 11. Daire formdan altıgen forma geçişte duvarlar arasındaki boşlukların azaldığını gösteren şema (Pearce, 1978)

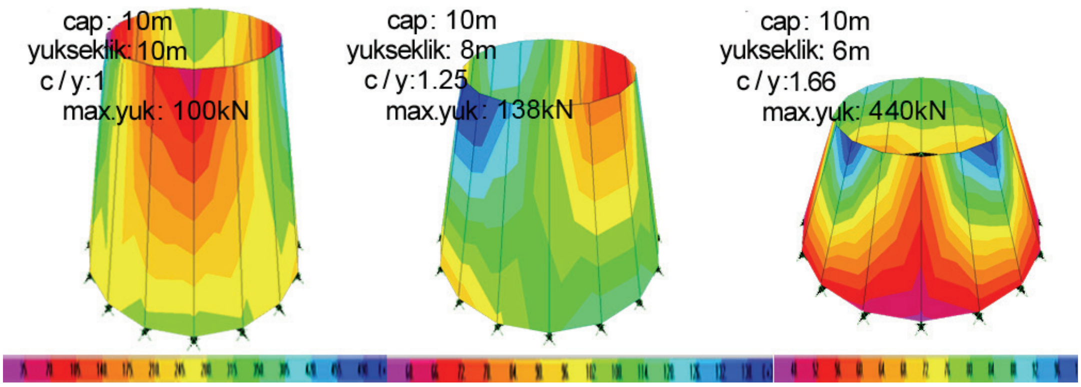
Mimari strüktür tasarımı söz konusu olduğunda tıpkı plan, cephe ve diğer mimari elemanlar gibi “strüktür ile mimari ifade arasındaki ilişki” yine matematiksel oranlarla kurulmaktadır. Literatürdeki pek çok kaynak mimarlıkta “altın oran” konusu söz konusu olduğunda -tıpkı Parthenon tapınağı ve Keops Piramitlerinde olduğu gibi- bu matematiksel ilişkinin yapının estetik görünüşünün gerekçesi olan oranları olarak bahseder. Oysa gerçekte bu oranlar Partenon’da kolon yükseklerinin kirişle olan ilişkisin tanımlarken, piramitlerde devasa bir yığma strüktürün taban alanın taşıyabileceği/ulaşabileceği maksimum yüksekliği de tarifler.

Mimar Sinan’ın kubbelerin yerden yüksekliği ve minarelerin uzunlukları arasındaki geometrik ilişkide altın oranı kullandığı pek çok kaynakta geçmektedir. Bu çalışma kapsamında, tarihin en önemli kubbeli yapılarından biri olan Ayasofya’dan teknikler ve oranlar öğrendiği ve onları geliştirdiği herkes tarafından bilinen Sinan’ın camilerinin kubbelerinde çap/yükseklik oranları incelendiğinde ilginç bir eğilimle karşılaşılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen değerler kesitlerden ölçülerek bulunmuş ve bir tablo haline getirilmiştir. Ayasofya’nın kubbe çapının yüksekliğine oranı ölçüldüğünde 2.02 olarak bulunan değerin Sinan’ın kubbelerinde 1.63’e kadar çekildiği ve pek çok camide uygulandığı görülmüştür. Sinan, bilinçli olarak mı bu boyutsuz parametreleri (non-dimensional parameters) kubbelerinde kullanmıştır ve kubbelerindeki statik ve akustik başarının altında yatan acaba yine kubbe tasarımında altın orana yaklaşılmış olması mıdır?

Tablo1. Bazı yapıların kubbe çaplarının yüksekliklerine oranları

Kubbeli Yapı	**Yapım yılı**	**Çap/ yükseklik oranı**
Ayasofya	537	2,02
Mahmut Paşa Camii	1464	1,69
Şehzade Camii	1548	1,63
Süleymaniye Camii	1557	1,64
Kara Ahmet Paşa Camii	1558	1,64
Rüstem Paşa Camii	1561	1,74
Selimiye Camii	1574	1,77
Sokullu Mehmet Paşa Camii	1577	1,62
Azapkapi Camii	1578	1,74

Bu yaklaşımın doğruluğunu test etmek amacı ile kesik konik biçimli 3 kabuk tasarlanmıştır. Bu kabukların hepsinde taban çapları 10m ve üst çapları 6 m olarak düzenlenmiş ve yükseklikleri 10m, 8m ve 6m seçilerek çap/yükseklik oranı 1 den başlayarak altın orana yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Her bir kabuğun sonlu elemanlar analizi yapılmak üzere mesh modelleri hazırlanmış ve kabuklara malzeme olarak beton atanmıştır. Her bir kabuk tabanından sabit mesnetlerle bağlanmıştır (fixed restraints). SAP2000 programında her birinin üst yarıçaplarına düşey doğrultuda 100.000kN yükleme yapılmış ve her bir kabuğun dayanabildiği maksimum yükler karşılaştırılmıştır. Çap/yükseklik oranının 1 olduğu durumda 100kN, 1.25 olduğu durumda 138kN ve 1.66 olduğu kabukta maksimum yüke dayanım da 490kN ile en yüksek performansı göstermiştir. Şekil 12’ de her bir kabuğun gösterdiği performans farklı renklerdeki gerilim eğrileri ile gösterilmektedir.



Şekil 12. Kabuk dayanımlarını gösteren sonlu elemanlar analiz sonuçları

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu makalede, doğada mimarlıkta ve sanatta sıklıkla karşımıza çıkan ve aynı zamanda estetiğin de bir ölçütü olarak kabul edilen "altın oran" yapısal tasarımda bir başlangıç parameteresi olarak tartışılmıştır. Bu amaçla çalışmanın ilk bölümünde doğadan sanat ve mimarlıktan fi dizini ile ilişkilendirilmiş bazı örnekler incelenmiştir. Bu örneklerdeki tasarımlarda altın oranın estetik kaygıların yanı sıra form, fonksiyon ve strüktürdeki eniyilenme durumunun da bir aracı olduğu görülmüştür. Bu sebeple mimari strüktür tasarımında altın oran bir tasarım ölçütü olabilir mi sorusu sorulmuş ve altın oranla tasarlandığı bilinen birkaç örnek üzerinden konu irdelenmiştir.

Burada tartışılması gereken yüzyıllardır estetik ve güzelliğin bir ölçüsü olarak kabul edilen "altın oran" -bilinçli ya da bilinçsiz olarak örneğin Parthenon tapınağı, Keops Piramitleri, Sinan camilerinin kubbeleri vb. gibi- yapıtların strüktür tasarımına bir ölçüt olarak mı girmiştir? "Estetik" dediğimiz aslında geometrinin doğru olarak kullanıldığı ve dolayısıyla strüktür tasarımının temel kararlarının alındığı bir olgu mudur? Mimaride kullanılan geometri ile tasarım ilkelerinin en doğru biçimde örtüştürülmesi strüktür tasarımı bağlamında da doğru sonuçlar mı vermektedir? Altın oran ile tasarımın ilkelerini doğru anlamak ve uygulamak strüktür tasarımında tasarımcıyı bir adım sonrasına etkin bir biçimde taşıyabilir mi? Kuşkusuz tüm bu soruların cevaplarına evet diyebilmek için pek çok sayıda araştırma ve inceleme yapılmalı konu farklı boyutlarıyla da ele alınmalıdır. Ancak çalışma kapsamında incelenen örnekler bu eğilimin doğru bir başlangıç olabileceği noktasında önemli ipuçları vermektedir.

REFERANSLAR

BERGİL, M., (1993), Doğada/Bilimde/Sanatta, Altın Oran, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 155.
BORGES, R. F., (2004) The Phi Code in Nature, Architecture and Engineering, Design and Nature-2 Conference, ed: Brebbia, C. A., WIT Pres, 401-409
BOUSSORA, K., MAZOUZ, S., (2004) The Use of the Golden Section in the Great Mosque at Kairouan, Nexus Network Journal, vol.6, no.1, 7-16
CHOWN, M,. (2002), Why Should Nature Have a Favorite Number, NewScientist, 21/28, 55-56.
COOK, T. A., (1979), The Curves of Life, Being an Account of Spiral Formations and Their Application to Growth in Nature, to Science and to Art. Dover, New York.
DOCZI, G., 1994, The Power of Limits : Proportional Harmonies in Nature, Art, and Architecture, Shambhala Publications,
DUNLAP, A,. 2003, The Golden Ratio and Fibonacci Numbers World Scientific Press.
FLETCHER, R., (2001), Palladio's Villa Emo: The Golden Proportion Hypothesis Defended, Nexus Network Journal vol.3, no.2, 105-112.
FRINGS, M., (2007), The Golden Section in Architectural Theory, Nexus Network Journal vol. 4 no. 1, pp. 9-32. http://www.emis.de/journals/NNJ/Frings.html
GHYKA, M., (1977), The Geometry of Art and Life Dover Publications, New York.

HEMENWAY, P., (2005), Divine Proportion: Phi in Art, Nature, and Science. Sterling Publishing, New York, 20–21, 127–129.
HUNTLEY H. E., (1970), The Divine Proportion, Dover Publications.
JEAN, R. V., (1994), Phyllotaxis: A Systematic Study in Plant Morphogenesis. New York: Cambridge University Press.
LAWLOR, R., (2002), Sacred Geometry: Philosophy and Practice, Thames and Hudson, London, 53-60.
LIVIO, M., (2002), The Golden Ratio: The Story of Phi, The World's Most Astonishing Number. New York: Broadway Books.
MAINZER, K., (1996), Symmetries of Nature: A Handbook for Philosophy of Nature and Science, Walter de Gruyter,199–200.
STERNE C., (2008), Blueprints of the Cosmos
http://www.world-mysteries.com/newgw/sci_blueprint1.htm
MARK, L., (1991), The Biology of the Honey Bee, Harvard Unv. Press, ,s. 81.
OLSEN,S., (2006), The Golden Section: Nature's Greatest Secret, Walker & Company.

PEARCE, P., (1978), Structure in Nature is a Strategy for Design, MIT Press.
POSAMENTIER, A., (2007). The Fabulous Fibonacci Numbers, Prometheus Books, New York.
READING, N., Dynamical Symmetries: Mathematical Synthesis between Chaos Theory (Complexity),Fractal Geometry, and the Golden Mean, Architectural Design 64, 11/12 (1994): xii-xv.
SCHOLFIELD, P.H., (1958), The theory of Proportion in Architecture, Cambridge University Pres, xx
SKINNER, S., (2006), Sacred Geometry: Deciphering the Code, Octopus Publishing, London, 44-45
STERNE C., (2008) Blueprints of the Cosmos
http://www.world-mysteries.com/newgw/sci_blueprint1.htm
Von FRISCH, K,. (1974), Animal Architecture, Harcourt, Brace Jovanavich, Inc., NY.
WEIS, G., (2002), Golden Hexagons, Journal for Geometry and Graphics Volume 6, No. 2, 167-182.
WINSTON, M,. (1991), The Biology of the Honey Bee, Harvard Unv. Press.