Modül ve √ 2 Hesabı

Melike Şeyma KUTLU*

Öz

Modül ve orantı konusu Neolitik Dönemden beri bir yapının inşasında kullanılan yapı malzemesinin boyutlandırılmasında ve yapının tasarım planında karşılaşılan kaçınılmaz gereksinimlerin başında gelen kavramlar olarak uygarlık tarihimizde yerini alır. Yapı üzerinde çeşitli uyumu sağlamak, yapım süresini kısaltmak, maliyeti azaltmak gibi çeşitli nedenler için kullanılmıştır. İrrasyonel sayılı geometrik figürlerin nasıl oluştuğunu detaylı olarak betimleyen Vitruvius'un[1] hepsi kareyle başlayan anlatımlarının, Leonardo da Vinci tarafından yapılan çiziminde[2] insan bedenini sığdırdığı kare ve çemberi, Le Corbusier yapı ile uyumlu hale getirecek oranları belirlemiştir.[3] Bu makalede simetri, oran, orantı kavramlarının mimarlığı nasıl etkilediğinden bahsedilmiştir. Dik üçgenin √ 2 hesabının tarihi üzerinden modül hesaplarının ilk teoremi üzerinde durularak Babil kil tabletleri ile başlayıp Pythagoras teoremine dönüşen hipotenüs hesabı irdelenecektir.

Anahtar Sözcükler: modül, √ 2 hesabı, oran, simetri, Vitruvius.

---

* Başkent Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4243-3544, E-mail: seymakutlu14@gmail.com

[1] Marcus Vitruvius Pollio, M.Ö. 90-20 yılları arasında yaşamış Iulius Caesar ve Augustus dönemlerinde faal olmuş mimar ve mühendis. Bütün mesleki birikimini De Architectura (Mimarlık Üzerine) adını verdiği ve İmparartor Augustus'a ithaf ettiği kitabıyla ölümsüzleştirmiştir. Günümüz batı mimarlık tarihinin antik çağdan günümüze kalan tek kitabıdır.

[2] Vitruvius'un 'De Architectura' adlı eserinde açıkladığı oranlardan esinlenerek yapıldığından, "Vitruvius Adamı" olarak anılır.

[3] Bkz. Modulor.

Kutlu, M. Ş. (2021). Modül ve √ 2 Hesabı. *Akademik Açı*, *1*(2), s. 131-146.

Module and √ 2 Calculation

Abstract

The subject of module and proportion has taken its place in our civilization history as the concepts that are at the forefront of the inevitable requirements encountered in the sizing of the building material used in the construction of a building and the design plan of the building since the Neolithic Period. It has been used for various reasons such as providing various harmony on the structure, shortening the construction period and reducing the cost. Describing in detail how the irrational numbered geometric figures are formed, Vitruvius's accounts, all of which begin with a square, in his drawing made by Leonardo da Vinci, determined the proportions that would harmonize the square and circle in which the human body fits, and Le Corbusier's structure. In this article, it is mentioned how the concepts of symmetry, proportion and proportion affect architecture. The first theorem of the module calculations will be emphasized over the history of the √2 calculation of the right triangle, and the hypotenuse calculation, which started with the Babylonian clay tablets and turned into the Pythagoras theorem, will be examined.

Keywords: module, √ 2 calculation, ratio, symmetry, Vitruvius.

Modül ve √ 2 Hesabı

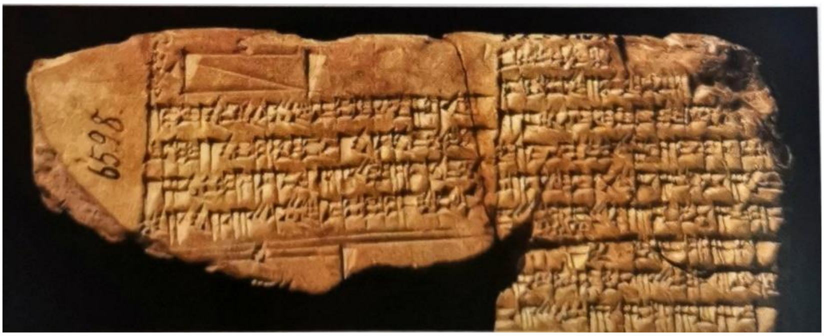
Modül kelimesi Latince 'modulus' (küçük ölçü) kelimesinden gelmektedir. Neolitik dönemden bu yana yapı üzerinde mimarlar tarafından standartlar oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunu göze hitap etmek için, maliyeti azaltmak için, yapım süresini kısaltmak gibi farklı sebeplerden dolayı kullanmışlardır. Vitruvius, Le Corbusier gibi mimarlar bu konu üzerine önemli çalışmalarda bulunmuşlardır. İlk kez Vitruvius'un kitabında bahsedilmiştir. Antik Yunanlıların, anıtsal taş mimarisini sistematik ve etkili bir şekilde inşa etmeyi Eski Mısırlılardan öğrendiğine inanılır (Coulton, 1977). Mısırlılar ise anıtsal mimari tasarımlarında kendilerinden beş yüz yıl kadar önce yaşamış olan Sümerlerden etkilenmişlerdir. Dolayısı ile ilk hesaplamalar bu coğrafya üzerinde Sümer uygarlığının da varisleri olan Babil'den gelmiştir.

Sümer'de kapı yükseklikleri hesaplanırken GAR ölçüsü kullanılmıştır. Burada 0,40 GAR[4] yüksekliği; 0,10 GAR genişliği olarak hesaplanmıştır (Bingöl, 2019). 1 GAR=12 Elle olduğuna göre kapı yüksekliği yaklaşık 4 m, genişliği de 1 m olmaktadır. Hipotenüs formülü aşağıdaki gibidir.

$$d = \sqrt[2]{h^2 + w^2} \approx h + \frac{w^2}{2h} \rightarrow 0;40 + \frac{0:10^2}{2.0:40} GAR = 0;41.15\ GAR$$

$$d = h + \frac{w^2}{2h} \Rightarrow d.h - h^2 = \frac{w^2}{2} \rightarrow 0;42.13.20\ GAR$$

[4] Sümer uygarlığında ölçü birimi.



Şekil 1. Çivi Yazılı Tablet *(Berlin vorderasiatische Museum, No. 275a)*

Parmak, karış, ayak, dirsek, kulaç gibi pratikte halen kullana geldiğimiz ve bir yerde herkese göre değişken bu birimlerin Antik Dönem'de belirli standartlara oturtulmuştur (Bingöl, 2019). Salamis ölçü tablosunda ölçüm için kullanılan uzuvlar 1:1 ölçekte çizilmiştir. Bu tabloda parmak ölçüsü 2cm, karış 24,2 cm, ayak 30,1 cm'dir. Bu tabloda ayrıca bir cetvel ölçüsü bulunmaktadır. Bu cetvelin ölçüsü son çalışmalarda 32,6 – 32,8 cm arasında olduğunu ve bunun bir Dor ayağına karşılık geldiği anlaşılmıştır. Benzer bir ölçüm Oxford Tablosu'dur. Bu tabloda kolları iki yana açılmış ve ellerin parmak uçları arasındaki mesafenin 2,09 m olduğu ölçülmüştür. Başın solunda görülen ayak ölçüsü de 29,5 – 29,6 cm'dir. Bu da bir Attika ayağıdır.

Şekil 2. Salamis Ölçü Tablosu *(Jones, 2000)*

Şekil 3. Oxford Ölçüm Tablosu *(Ashmolean Museum, no 246)*

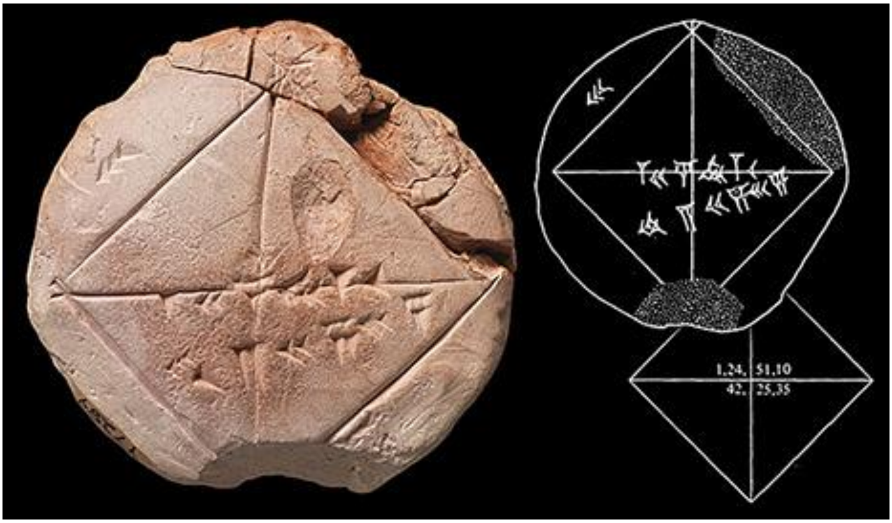
Eski Babil'de geometri, idarecilerin, haritacıların ve inşaatçıların pratik ihtiyaçlarından doğmuştur (Britton, Proust & Schneider, 2011). Babil'de sayı sistemine çok önem verilmiştir. Bunu şu an kazılardan çıkan kil tabletlerde de görmekteyiz. Kil tabletler üzerinde çivi yazısı ile yazılmış hesaplamalar bulunmaktadır. Örneğin Plimpton 322 bunlardan biridir. Bu bir trigonometrik tablodur. Bu tablet altmışlık sayı[5] düzeni içerisinde sonlu basamak dizisi olarak yazılmıştır.

Şekil 4. Plimpton 322 *(Coloumbia University)*

Yale Üniversitesi'nin koleksiyonunda bulunan bir tablette Pythagoras'dan 1000 yıl öncesine ait bir hipotenüs[6] hesabı bulunmaktadır. Burada bir karenin içine köşegenleri çizilmiş ve oluşan dik üçgenin hipotenüsünde √ 2 hesabı yapılmıştır. Bir karenin diagonalini[7] ölçüp karenin bir kenarı boyunca döndürdüğünüzde kenarları 1.414 'e 1 orantısal ilişkisine yani 1: √ 2 oranına sahip √ 2 dikdörtgeni elde edilir. Bu hesap ileride kullanılacak olan modül hesabının ilk temellerini atmaktadır. Karenin ve köşegenlerinden

[5] Altmışlık taban olarak bilinir. MÖ 3. binyılda eski Sümerlerde ortaya çıkmıştır, eski Babillilere aktarılmıştır ve günümüzde hala zamanı, açıları ve coğrafi koordinatları ölçmek için geçmişten bir miras olarak değiştirilmiş bir biçimde kullanılmaktadır.
[6] Eski Yunanca 'da germek fiilinden türetilmiştir. Dik üçgende en uzun olan kenardır.
[7] Bir çokgenin ardışık olmayan köşeleri ya da bir çokyüzlünün aynı düzlem üzerinde olmayan iki köşesi arasında çekilen doğruya denir.

doğan dik üçgenlerin oranları üzerinden yapılacak olan birim ve modüllerin öncüsüdür.

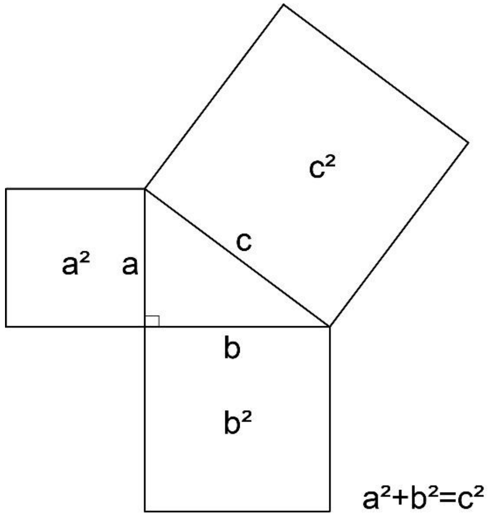


Şekil 5. Yale Üniversitesi Koleksiyonunda Bulunan Babil Kil Tableti *(Yale University)*

Eski Babil'den sonra günümüzde bildiğimiz adı ile Pythagoras teoremini bu hipotenüs hesabında kullanmaktayız. Şüphesiz Pythagoras için bu teoremin çıkışında hayatı etkili olmuştur. Pythagoras iyi eğitim almış ve müzik ile ilgilenmiştir. Lir çalmayı bilmektedir. Pythagoras'ı matematik ile tanıştıran ve onu bu alanda iyi eğitilebilmesi için Mısır'a gönderen öğretmeni Thales'dir[8]. Pythagoras, tüm doğanın ve düzeninin sayısal ilişkilere indirgenebileceğine inanıyordu (Veljan, 2018). Sayılar, üçgenler ve oranlar üzerinde derin

[8] Miletli Tales, İyonya'dan bir Antik Yunan matematikçi, astronom, ve Sokrates öncesi filozofuydu. İlk filozoflardan olduğu için felsefenin ve bilimin öncüsü olarak adlandırılır. İyonya Aydınlanmasının başlatıcısı olarak bilinir ve Eski Yunan'ın Yedi Bilge'sinden ilkidir.

incelemelerde bulunmuştur. İşte antik tapınaklarda da harmonik[9] oranlarda da tam olarak bu hesaplamalar kullanılmıştır. Pythagoras, geometrik hesapları bilimsel olarak kanıtlamıştır. Bunu bir dik üçgende hipotenüsü hesaplayan teoreminde görebiliriz. Bu teoreme göre dik kenarların kareleri toplamı en uzun kenar olan hipotenüsün karesine eşittir. Yani $a^2 + b^2 = c^2$ şeklinde açıklanmıştır ve adına Pythagoras teoremi denmektedir.



Şekil 6. Pisagor Teoremi

Efsaneye göre Pythagoras, demircilerin çekiçle örse vururken çıkan sesi duyar ve bu vuruşların nicel yönünü ve sayısal yapısı ve geometrisi üzerine bir düzen oluşturulabileceğini düşünür. Evrenin sesler üzerine kurulu ideal bir düzene sahiptir. Evrenin bir yansımasında da müzik aralıklarını ve armoniyi görebiliriz. Nota aralıklarında, dünya merkeze alındığında gezegenler

[9] Uyum, düzen, ahenk

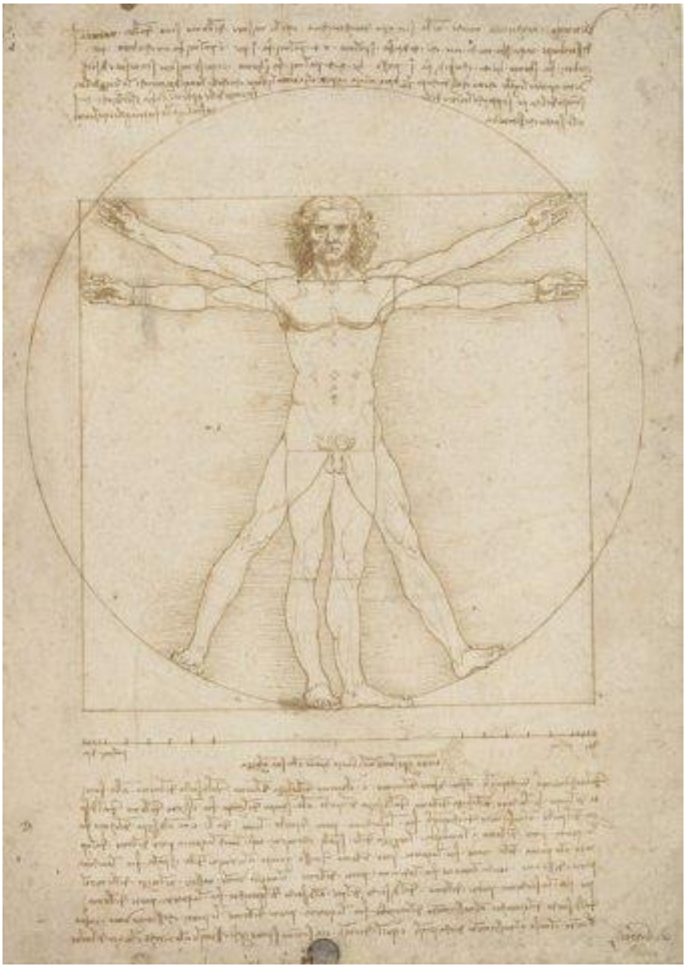
arasındaki yörüngesel mesafenin de oranlı karşılığıdır. Oktavın[10] her notasında bir gezegen bulunur (Korkut, 2011).

Vitruvius modülü ilk kez 3. Kitap 3. Bölümde açıklığa kavuşturmuştur. Modülü sabit ölçü olarak tanımlamaktadır. Vitruvius'a göre modül; bir yapıyı oluşturan parçalarda tekrarlanan ölçü biriminin bir sütun çapı olması gerekmektedir (Vitruvius, 2016). Ancak modülün tek bir ölçü olmadığını yapı üzerinde sabit bir ölçüye dayanacağını belirtmiştir. Bu sayede de yapının orantısı tam olacaktır. Vitruvius yapıda simetriye çok önem vermiştir. 3. Kitapta bahsettiği simetrinin kökenini inceleyecek olursak simetrinin orantıdan çıktığını ve buna analogia dendiğini söylemiştir. Orantı bütün yapı elemanlarının ve tüm yapının standart bir ölçüye göre birbirine uygunluğudur; işte bu uygunluk simetriyi doğurur (Vitruvius, 2016). Ancak burada belirtilen simetri bizim şu anda anladığımız simetriden farklıdır (Viollet-le-Duc, 1854-1868; Thiersch 1893). Vitruvius'un bahsettiği simetri; yapıda belirlenen modüle göre her bir parçanın birbirine uyumudur (Vitruvius III, 1). Mesela belirlenen modüle yapıyı oluşturan parçalardan biri uymuyorsa burada asimetri vardır. Vitruvius'un mimarlığın ilkelerini açıklarken bahsettiği ahenk simetri ve orantıdan doğmaktadır (Vitruvius I, 2). Aynı insan bedenini oluşturan her parçanın uyumu gibi. Thiersch de oranlar açısından bakıldığında, bir strüktürün bölümlerinin hem birbiriyle hem de bütünle uygun ilişkiler kurmaları gerektiğinin kesinliğini vurgularken asıl meselenin bu ilişkinin nasıl tanımlanması gerektiği üzerinde dururken müzikte ahenk yaratabilen notaların da birbirleriyle titreşim sayısıyla ayrılabildiğini açıklar (Thiersch 1893). İnsan bedeninin kusursuz tasarımı

[10] Oktav, müzikte bir ses aralığıdır.

birçok dönemde incelenmiştir. Başından ayağına kadar her uzuv birbiri ile farklı oranlar içermektedir.

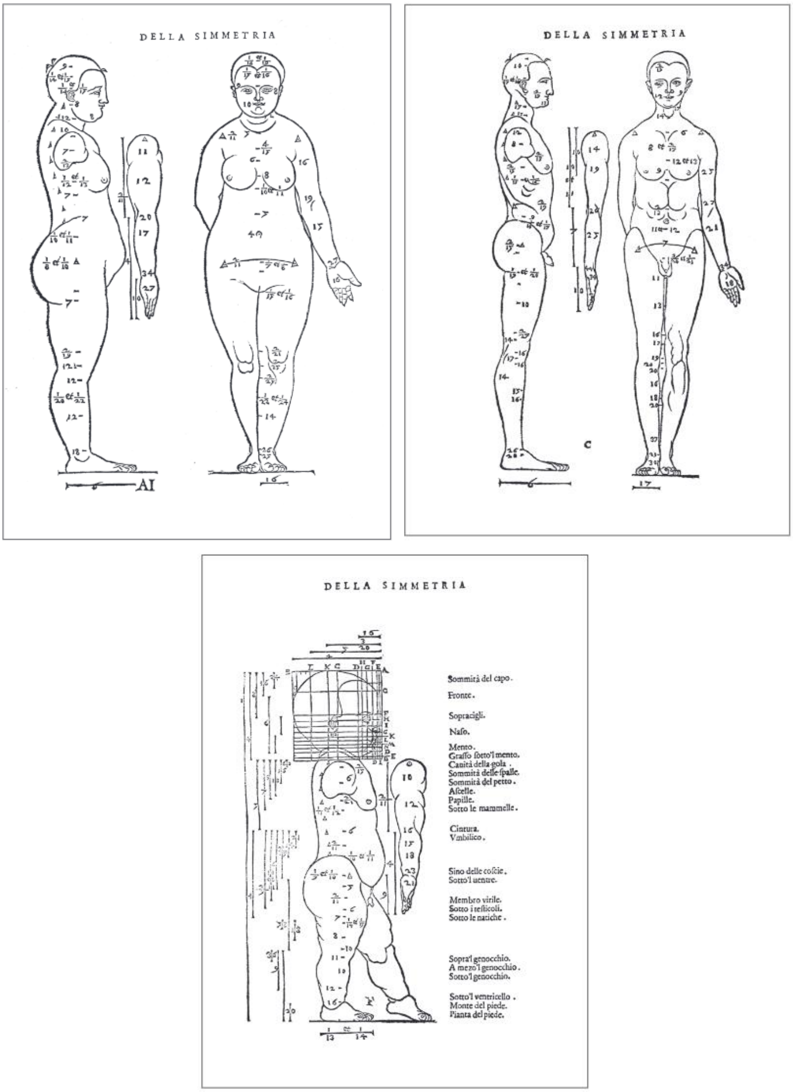
Leonardo da Vinci'nin eskiz defterine bir not olarak çizdiği Vitruvius adamı bilimsel çalışmalarını çizime dönüştürdüğü bir çalışmadır. İnsan vücudundaki boyutları göstermek için bir erkeğin mükemmel anatomik temsilini çizmiştir (Creed, 1986). Bu çizimde kare ölçülebilen fiziksel dünyayı temsil eder ve çizilen figür ölçüm sürecini temsil etmektedir. Leonardo da Vinci için ölçüm süreci bilimsel bilgiye yaklaşımıdır. Kareden farklı merkeze sahip daire bulunmaktadır. Kare insanın elde edemeyip özlem duyduklarını, daire ise gerçeğe ulaşılabilmeyi temsil etmektedir (Magazù, 2019).



Şekil 7. Da Vinci Tarafından Çizilen Vitruvius Adamı *(Gallerie dell'Accademia)*

Albrecht Dürer'de insan bedeni üzerine çizimler yapmıştır. Ancak Leonardo Da Vinci gibi hem yüzeysel hem içi ile değil daha çok yüzeyi ile ilgilenmiştir. Ölümünden kısa bir süre önce yayınladığı eserinde karşılaştırmalı bir antropometri[11] sorunlarını anlatan ilk kitaptır. Antropometriyi tek bir beden ya da cinsiyet üzerinden değil. Bebek, yetişkin, şişman, orta, zayıf gibi farklı özelliklerde incelemiştir.

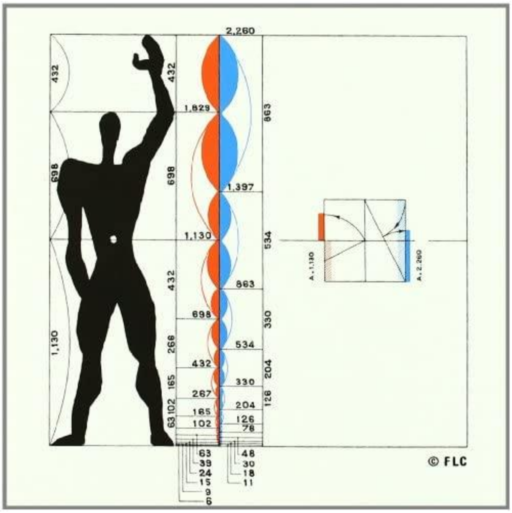
[11] Antropometri, insan vücudunun ölçüleri ile ilgilenen bir tekniktir. Yunanca anthropo (insan) ve metrikos (ölçme) sözcüklerinden türetilmiştir.



Şekil 8. Albrecht Dürer'in çizimlerinden *(Hutson, 2020)*

Le Corbusier, Rönesans'a özgü bir yöntemi kullanmış ve adına düzenleyici çizgiler demiştir. Kendi geliştirdiği 'modulor' ile ölçümlerinde insan uzuvlarının boyutlarından hareketle Fibonacci[12] aritmetik artırımına dayanan bir boyutlama dizgesi oluşturan mekân- insan ölçü istemini bulmuştur (Berkin & Civelek 2020). Le Corbusier'in insan bedeni üzerinden yaptığı bu oran evrensel bir ölçüm haline gelmiştir. Sadece yapıda değil tasarımın her alanında kullanılabileceğini de vurgulamıştır. Le Corbusier'in insan bedeni üzerine yaptığı bu oransal çalışma aslında kare, çember gibi düzgün geometrilere sığabildiğini fark eden Vitruvius'un çalışmasını temel alarak başlamıştır. Le corbusier tasarımlarında modülü kullanmıştır ve modülü maliyeti azaltmak ve yapımı hızlandırmak için kullanmıştır. Modulor'da ilk olarak 1.75m kullanılmıştır. Bu Le Corbusier'in kendi boyudur. Ancak daha sonra yaygın olan 1.83m ölçü olarak belirlenmiştir. Alvar Aalto'nun yapıları incelendiğinde farklı modüller kullanıldığı görülmüştür. Seçtiği küçük bir modülü üreterek yapının her elemanına uygulamıştır. Kendi modülünü 'milimetre' olarak tanımlamıştır. Bazen de malzeme ölçülerini birim olarak kullanmıştır (Berkin & Civelek 2020).

[12] Her sayının kendinden önceki ile toplanması sonucu oluşan bir sayı dizisidir. Bu şekilde devam eden bu dizide sayılar birbirleriyle oranlandığında altın oran ortaya çıkar, yani bir sayı kendisinden önceki sayıya bölündüğünde altın orana gittikçe yaklaşan bir dizi elde edilir.



Şekil 9. Le Corbusier'in Moduloru *(Le Corbusier, 2014)*

Sonuç

Sonuç olarak modül eski çağlarsan beri yapıların tasarımında kullanılmıştır. Vitruvius ile bu kavramı yazılı literatürde görüyoruz. Ona göre simetri ve oran için mimarların yetkin olarak kullanması gereken başlıca unsurlardan biridir. Bu sayede yapıda uyum var olur ve göze hitap eder. Tasarımın yapılması için gereken modülün hesabına önce Eski Babil'de daha sonra teorem olarak Pythagoras'da görüyoruz. Dik üçgenin hipotenüsünün hesabı ile modülün ön hesapları açıklanmıştır. Vitruvius'un bahsettiği bu insan bedeni oranlamasını Leonardo Da Vinci eskiz haline getirmiştir. Yine Da Vinci'den etkilenen Rönesans'ın önde gelen isimlerinden Albrecht Dürer insan bedeninin çeşitleri üzerinden karşılaştırmalı bir antropometrik analiz yapmıştır. Le Corbusier'de bu oranları insan ve yaşam alanı ile oranlı hale gelecek analizi yapmış ve Modulor'u literatüre kazandırmıştır. Modül ve oran konusu mimarlar için eski çağlardan bu yana hep önemini korumuş ve bu alandaki çalışmaların üzerine koyarak devam etmesini sağlamıştır. Thiersich'in belirttiği gibi "*Mimarlıkta ahenk parçaların bütüne benzemesidir; tecrübeli Vitruvius'un söylediği gibi "partium et totius operis commodulatio""*

Kaynakça

Berkin, G. Civelek, Y. (2020). Modül ve Mimarlık. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Bingöl 2004 O. Bingöl, Arkeolojik Mimaride Taş, Istanbul 2004.

Britton, J. P., Proust, C., & Shnider, S. (2011). Plimpton 322: a review and a different perspective. Archive for history of exact sciences, 65(5), 519-566.

Coulton, J. J. 1977: Ancient Greek Architects at Work, Ithaca.

Creed, J. C. (1986). Leonardo da Vinci, Vitruvian man. *JAMA*, *256*(12), 1541-1541.

Magazù, S., Coletta, N., & Migliardo, F. (2019). The Vitruvian Man of Leonardo da Vinci as a representation of an operational approach to knowledge. *Foundations of Science*, *24*(4), 751-773.

Mansfield, D. F., & Wildberger, N. J. (2017). Plimpton 322 is Babylonian exact sexagesimal trigonometry. *Historia Mathematica*, *44*(4), 395-419.

Michaelis, A. (1883). The metrological relief at Oxford. *The Journal of Hellenic Studies*, *4*, 335-350.

Korkut, C. Y. (2011). Müzik ve mimarlık ilişkisinde etkileşimli bir parametrik model.

Le Corbusier, "Modulor 1&2", Çev. Aziz Ufuk Kılıç, YEM Yayıncılık, 2014

Veljan, D. (2000). The 2500-year-old Pythagorean theorem. *Mathematics Magazine*, *73*(4), 259-272.

Vitruvius, M. P., The Ten Books on Architecture, (Çev.) Ç. Dürüşken, Alfa Basım Yayın Dağıtım Ltd. Şti. 2016.

Yale University. (2016). A 3,800-year journey from classroom to classroom. https://news.yale.edu/2016/04/11/3800-year-journey-classroom-classroom adresinden erişildi. (Erişim Tarihi: 03.10.2021)