



Analysis of Reinforced Concrete Structure on Moon Surface

Abdullah SERDAROĞLU*¹, Habip ÇAKMAK*²

¹Chamber of Engineers, İstanbul, Turkey.

²Chamber of Engineers, Trabzon, Turkey.

Corresponding Author: abdullah_serdaroglu@hotmail.com

Keywords:

Construction on Moon Surface, Reinforced concrete structure design on moon surface

Abstract

This study deals with the construction of the Moon surface using the resources on the Moon. In this context; The 2-storey reference building is designed to be constructed on the Earth and Moon surface. The analyzes were performed with SAP2000 structural analysis program. As the gravitational acceleration of the lunar surface is low compared to the Earth, the dimensions of the structural system elements have decreased considerably compared to the Earth structure. The study provided an idea about the element dimensions of the structures to be built on the Moon in the future. The results of the study were interpreted and recommendations were presented.

Ay Yüzeyinde Betonarme Yapı Analizi

Anahtar Kelimeler;

Ay yüzeyinde inşaat, Ay yüzeyinde betonarme yapı tasarımı.

Özet

Bu çalışma Ay üzerindeki kaynaklar kullanılarak Ay yüzeyinde inşaat çalışmalarını konu edinmektedir. Bu kapsamda; tasarlanan 2 katlı referans binanın Dünya ve Ay yüzeyinde inşa edileceği varsayılarak tasarım açısından karşılaştırılmıştır. Analizler SAP2000 yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Ay yüzeyinde yer çekimi ivmesinin Dünya'ya oranla az olması sebebiyle taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları Dünya'daki yapıya kıyasla boyutları oldukça küçülmüştür. Çalışma ile ileriki zamanlarda Ay üzerinde yapılacak yapıların eleman boyutları hakkında fikir sağlamıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve tavsiyeler sunulmuştur.

1 GİRİŞ

Ay'da yaşam, Uzay ve Ay yolculukları uzun zamandan beri insanoğlunun merakla araştırdığı konulardan biridir. İnsanoğlunun imkansız olarak gördüğü bu yolculukların ilk adımı 1961 yılında Sovyet kozmonot Yuri Gagarin tarafından Vostok 1 adlı uzay aracıyla atılmıştır (Nemiroff ve Bonnell, 1996). Bu yolculuktan sonra Sovyetlerin; Uzay yarışının başında sağlamış olduğu üstünlüğe karşılık ABD, Ay'a insan indirme ve geri getirme amacıyla Apollo adını verdikleri insanlı uzay projesini başlatmıştır. 20 Temmuz 1969 tarihinde Neil Armstrong, Apollo 11 uzay aracı ile Ay'a adım atan ilk insan olarak yolculukların öncüsü olmuştur (NASA, 2012). İnsanlı Ay yolculuklarının gerçekleşmesinden sonra başka gezegenlere de insanlı yolculukların yapılabileceği fikri doğmuştur. Ancak hem maliyetlerin fazla olması hem de yolculukların uzun sürecek olması sebebiyle 7 Aralık 1972 tarihinde gerçekleşen Apollo 17 yolculuğundan sonra ABD tarafından Ay'a insanlı yolculuklar sonlandırılmıştır (NASA, 2011). Bu kararın gerçek nedenleri arasında yolculuğun maliyetli olmasının yanı sıra, siyasi nedenler, güvenlik ve önceliğin başka programlara kaydırılması gösterilebilir. ABD'nin Sovyetlerle girdiği

mücadelede Ay'a insanlı yolculuklarda edindiği başarı belki de programın sonlanmasındaki asıl sebep olarak gösterilebilir. Sovyetler ise maliyeti asıl neden göstererek uzunca bir süre çalıştıkları Ay'a insanlı yolculuk macerasını maalesef gerçekleştirilmeden sonlandırmak zorunda kalmıştır. Ancak ABD Başkanı George W. Bush'un 2004'te NASA Genel Merkezi'nde yaptığı "2020 yılından itibaren Ay'a yeniden insanlı uçuşların yapılacağı ve Ay yüzeyinde kalıcı yapılar inşa edileceği" duyurusu, bu tür projelerin yeniden gündeme geleceğinin bir habercisi olup; gerçekleşmesi için de somut adımlar atılacağını göstermektedir (NASA, 2004).

Uzaya yapılacak olan seyahatlerin ilk basamağını Ay'a yolculuk oluşturur. Genel olarak Uzay ve Ay ortamını keşfetmeye ve bilimsel çalışmalar yapmaya yönelik olsa da önümüzdeki yıllarda Ay kolonileri, Ay otelleri ve Ay habitatları gibi projelerin gerçekleştirilmesiyle seyahatlerin farklı bir boyuta ulaşması beklenmektedir. Ayrıca baş döndürücü hızda ilerleyen teknolojik gelişmeler ve bilgi birikimi kullanılarak uzaya yapılacak seyahatlerin sadece astronotlarla değil farklı meslek gruplarında insanları da içerecek şekilde yapılması planlanmaktadır (Erdem, 2012). Bu gelişmeler göz önüne alındığında akla gelen ilk sorular; yapıların nasıl yapılacağı, malzeme olarak neler kullanılacağı, eleman boyutlarının değişip değişmeyeceği gibi sorular gelecektir.

ABD'nin Apollo insanlı uçuş programı kapsamında 1969 ile 1972 yılları arasında gerçekleştirdiği altı başarılı iniş, Ay hakkında çok daha detaylı bilgiye sahip olunmasına olanak sağlamıştır. Bu yolculuklar sonrasında yapılan laboratuvar incelemelerine göre Ay ortamını hammadde bakımından da oldukça zengin olduğu ortaya çıkmıştır (Ruess ve ark., 2006). Ay yüzeyinin tamamen daneli ve gevşek yapıya sahip "Regolit" adı verilen malzeme ile kaplı olduğu belirlenmiştir (Taylor, 1992). Regolit malzemesinden oluşan yüzey tabakasının yaklaşık kalınlıkları ise buzullarda 5 metre, dağlık bölgelerde ise 12 metre olarak ölçülmüştür (Shkuratov ve Bondarenko, 2001). Regolit malzemesi; Ay yüzeyine çarpan gök cisimlerinin oluşturduğu yapay bir tabaka olup demir, alüminyum, silikon, titanyum, oksijen, hidrojen, karbon, helyum ve azot gibi elementleri içermektedir (Taylor, 1992). Bu maddeler dikkate alındığında bilim insanları; Ay'ın Kuzey ve Güney Kutuplarındaki Hidrojen Yoğunlaşmasını inceleyen bir uzay üssünde yapı malzemesi olarak Regolitin kullanılabilmesi fikrini savunmuşlardır (Lin, 1985). Ay ortamında inşa edilecek bir yapının Dünya'daki benzerine göre malzeme, mimari form ve yapı sistemleri açısından farklılıklar sergileyeceği beklenen bir gerçektir. Bu farklılıkların temelini Ay'ın ortam koşulları oluşturmaktadır. Mimarlar, bu farklılıkları göz önünde bulundurarak Ay'da inşa edilecek yapılar için; (a) konvansiyonel, (b) prefabrik ve (c) Ay'daki doğal kaynaklar kullanılarak yapı sistemini olmak üzere üç farklı sistemi önermektedir (Cohen, 2002); Ay'daki doğal kaynaklarla nasıl bir üs inşa edilmesi gerektiği yönde çalışmalar yürütmüş ve yürütmektedirler. Bütün çalışmalar göstermektedir ki; insanoğlu Ay yüzeyine yapı inşa etme fikrini benimsemiş ve bu fikirde kararlıdır. Bununla birlikte; Ay yüzeyine yapılacak binaların statik analizine ilişkin bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu makale çalışması Dünya ve Ay yüzey şartlarında inşa edilecek binaları yapısal açıdan karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

2 TASARIM TEKNİĞİ

Yapılan çalışmalar; Ay yüzeyinde bulunan regolit malzemesi kullanılarak beton dökümü için gerekli olan çimento bileşeninin elde edilebileceğini göstermektedir. Özellikle, Apollo projesiyle Ay'dan alınan bazı kayaç türleri üzerinde yapılan incelemede Ay'daki doğal malzemelerin çimento üretimi için gerekli olan SiO₂, Al₂O₃ ve CaO gibi bileşikleri yeterli miktarda bulundurduğu görülmüştür (Lin, 1985). Özellikle %19 CaO içeriğine sahip olan Ay kayacı tipinin Ay kaynaklı çimento üretimi için uygun olabileceği düşünülmektedir (Lin, 1985). Regolit malzemesi, çimento üretimi dışında farklı formlara dönüştürülerek aşınma etkisine, meteorit darbelerine ve ışımının zararlarına karşı da koruyucu katman olarak kullanılabilir özel bir malzemedir. Ay betonu için gerekli olan agrega ihtiyacının ise yine Ay regoliti kullanılarak giderileceği öngörülmektedir (Lin, 1985).

Beton üretimi için gerekli olan bir diğer önemli malzeme ise bilindiği üzere sudur. Ay'da suyun var olup olmadığı ise hala araştırma konusu olup henüz netlik kazanmamıştır. Bu sebeple; Ay toprağından elde edilen oksijenin ve hidrojenin basit bir yöntem kullanılarak birleştirilmesiyle beton üretimi için gerekli olan su ihtiyacının karşılanacağı öngörülmektedir (Ruess ve ark., 2006). Bu yöntem dışında alternatif bir yöntem olarak susuz beton üretimi hakkında da bilim insanları araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalar, Ay yüzeyinde bulunan doğal kükürt elementi kullanılarak susuz betonun üretilebileceğini göstermiştir (Toutanji ve Grugel, 2009). Regolit kaynaklı çimento, agrega ve su elde edilirse Ay'da beton dökümü projesi de hayata geçirilmiş olacaktır. Böylece; Dünya kaynaklı malzemelerle yapılan üslerin yerine Ay'ın doğal kaynakları kullanılarak ortam şartlarına daha uygun ve sağlam üslerin inşa edilmesi sağlanmış olacaktır.

Yukarıda izah edildiği üzere Ay'ın doğal kaynakları kullanılarak üretilen beton dökümü önerilen inşaat yapı sistemlerinden biri olsa bile beton dökümü sırasında ciddi birtakım olumsuzluklar yaşanacağı şimdiden bilim insanlarınca öngörülmektedir. Örneğin, Ay'da beton dökümünde karşılaşılabilecek olumsuz koşullardan biri

atmosfersiz ortamda yapılacak beton dökümüdür. Atmosfersiz ortamdan dolayı oluşan boşluk, betonun döküm esnasında sertleşmesine ve kimyasal reaksiyon için gerekli olan suyun çekilmesine neden olacaktır (Ruess ve ark., 2006). Bunu önlemek için malzemelerin kuru toz formda karıştırılması ve karışımın içine buhar püskürtülmesi önerilmektedir (Ruess ve ark., 2006). Ayrıca beton için gerekli olan çimento malzemesinin üretimi için de ciddi bir enerji kaynağına ihtiyaç olacaktır (Ruess ve ark., 2006). Bu yüzden; Ay'ın enerji kaynaklarından en üst düzeyde faydalanabileceğini düşündüğümüz bölge veya alanda üretimin yapılması en doğru seçim olacaktır.

Ay'daki yer çekim ivmesi de tasarımı doğrudan etkileyen parametrelerden biri olacaktır. Bilindiği üzere Ay'daki yer çekim ivmesi Dünya'dakinden yaklaşık olarak 6 kat daha azdır (Ruess ve ark., 2006). Yer çekiminin azlığı nedeniyle taşıyıcı yapı elemanlarının boyutları küçülecek ve daha narin elemanların kullanılması mümkün olacaktır. Ay'da yapılacak üs tasarımında, rüzgar ve deprem etkileri ise ihmal edilecek düzeyde az olmaları nedeni ile tasarım yükü olarak göz önüne alınmayacaktır (Lin, 1985). Dolayısıyla yatay yüklere göre bir tasarım yapılmayacak sadece yer çekim ivmesinden kaynaklı düşey yükler (ölü ve hareketli yükler) kullanılarak gerekli tasarım gerçekleştirilecektir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere Ay'da yapılacak yapılar, gevşek ve daneli regolit tabakası üzerine inşa edilecektir. Bu tabakanın sert bir tabaka olmaması yapıların temel uygulamaları açısından da kolaylık sağlayacaktır. Kaldı ki bir veya iki katlı olarak tasarlanacak yapıların yer çekimi dolayısıyla maruz kalacağı düşey yük değerlerinin azlığı temel ebatlarının da minimum boyutlarda gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Ay'da inşaat yapımı ile ilgili olarak örnek teşkil edecek türden bazı yapılar özellikle son yıllarda Dünya'da da inşa edilmeye başlanmıştır. Bu yapıların inşaat yapım süreçlerinde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri ise hiç şüphe yok ki Ay ortamında yapılacak benzer tür inşaatların yapılabilirliğini de mümkün kılacaktır. Ay'daki yüzey ve iklim koşullarına en yakın bölgelerde seçilen Dünya'daki benzer projelerin hayata geçirilmesi ile mühendislik ve mimari anlamda yadsınamaz bir deneyim daha şimdiden kazanılmıştır. Örneğin, Ay kaynaklı üslerin inşasına hız kazandıracak bir proje, Ay ortamına benzerliği sebebiyle Antarktika'da 2005 yılında inşa edilmiş olan Concordia Araştırma İstasyonu'dur (McKay, 2013). Bu istasyonla birlikte izole bir ortam elde edilmeye çalışılmış ve Ay ortamına adapte olabilme sürecinin deneyimi yaşanmıştır.

Bir yapı sistemi tasarımında yük, malzeme ve boyut koşullarının yanı sıra yapının statik sistemi de önemli bir unsurdur (Işık ve Öztürk, 2017). Ay üzerinde inşa edilecek yapı ile dünya üzerinde yapılacak yapı arasında bariz farklar olacaktır bu farklardan en önemlisi Ay üzerinde doğal kaynaklar ile elde edilen beton ile Dünyadaki Beton arasındaki malzeme farkından kaynaklı dayanım ve elastisite modülü gibi karakteristik özelliklerin farklılığıdır. Bu sebeple daha önce yapılan çalışmalardan faydalanarak Aydaki doğal kaynaklarla oluşturulan beton dayanımları kullanılmıştır. (Toutanji et al., 2009). İki farklı konum içinde program ile kendi koşullarındaki durumlar göz önüne alınarak incelemeler yapılmıştır.

Bu çalışma ile ileride Ay üzerinde yapılacak yapıların statığıyla ilgili bilgilerin edinilmesiyle, yapılacak yapılar için ön bilgi sağlayacaktır. Ay üzerindeki yapılar yazılım programı ile Aydaki doğal kaynaklar kullanılarak oluşturulan yapı malzemelerinin karakteristik özellikleri kullanılarak çözülecektir. Örnek olarak regolit malzemesiyle oluşturulan betonun daha önce yapılan çalışmalar ile elde edilen dayanımı ve elastisite modülü kullanılmıştır. Waterless Concrete Production Samples (Toutanji et al., 2009). İlk olarak 2 katlı bir yapı tasarlanmıştır ve Dünya üzerinde inşa edileceği varsayılarak analiz yapılmıştır. Sonrasında ise Ay yüzeyinde inşa edileceği varsayılarak; yer çekimi ivmesi, malzeme özellikleri gibi ortamdan kaynaklı değerler baz alınarak tekrar çözülmüştür. Ay yüzeyinde yer çekimi ivmesinin küçük olması nedeniyle yapı elemanlarının boyutları küçültülerek optimum boyutlar belirlenmeye çalışılmıştır.

3.UYGULAMA VE BULGULAR

İlk önce referans yapı olarak Şekil 1'de plan ve 3 boyut görüntüsü verilen yeryüzü şartlarında 2 katlı bir betonarme sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistem elemanları; düşey yükler altında sonlu elemanlar yöntemiyle FEMA, Eurocod ve TS500'e göre boyutlandırılmıştır. Analiz edilen sistem için kiriş, kolon ve döşemelerin yer değiştirmeleri, yapının frekans ve periyotları incelenmiştir. Sonrasında ise aynı yapı Aydaki malzemelerin karakteristik özellikleri ile analiz edilmiştir. Ayda yapı inşaatı için su ile karılan beton kullanılması şu an için gerçekçi bir çözüm olmayacağından, Ay'da inşaat çalışmalarında önerilen ve regolit kullanılarak üretilen susuz betonun karakteristik özellikleri esas alınmıştır. Ay yüzeyini kaplayan regolit tabakası beton yapımı için uygun maddeler içermektedir ve imalatı susuz bir şekilde yapılacaktır. Dünyadaki betondan biraz farklı olarak elastisite modülü ve dayanım daha düşüktür. Yaklaşık olarak 21-22 Mpa değerleri arasındadır. Elastisite değeri ise 35 – 50 Gpa arasındadır. Analizler için tercih edilen CSI Sap2000 programında elastisite değeri 40 Gpa alınmış ve sonuçlar buna göre elde edilmiştir. Sonrasında ise Ay için yeni bir yapı daha

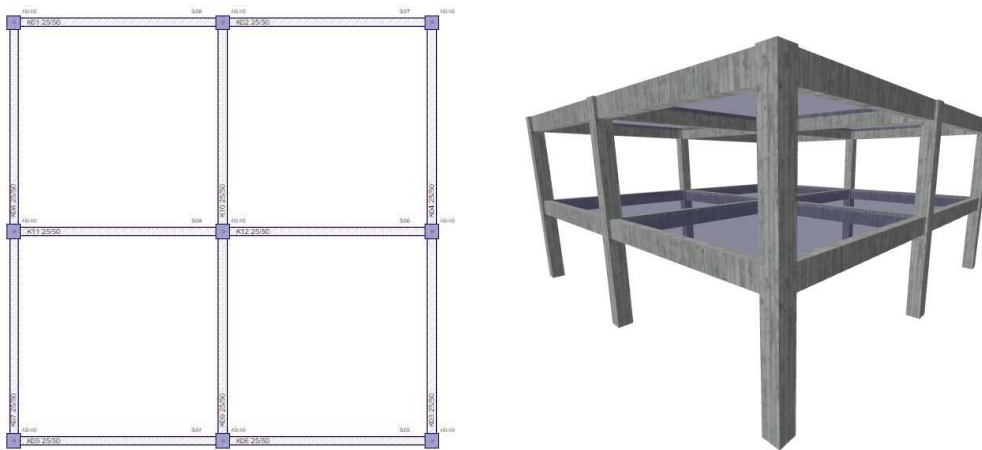
tasarlanmıştır. İlk tasarlanan yapı ile farkı ise boyutlarını daha küçük olmasıdır. Tasarlanan ilk yapının kolon boyutları 30x40cm, kiriş boyutları 30cmx60cm olarak yapılmıştır. İkinci yapının boyutları ise kolon için 15x20cm kiriş için 15x30cm olarak tasarlanmıştır. Bu yapının da analiz sonuçları incelenmiştir. Yeterli veri toplayabilmek ve sonuçları daha iyi gözlemek için farklı boyutlarda birçok yapı tasarlanıp analizler tekrarlanarak sonuçlar yorumlanmıştır. Yapılarda çeşitli sebeplerle farklı kat yükseklikleri tercih edilmektedir. Karkas yapılar için kat yüksekliğinin artması kolonların serbest yüksekliğinin artması anlamına gelir. Bu durumda kolon uçlarına etki eden eğilme momentlerinde önemli artışlar olacaktır. Bu durum bütün taşıyıcı sistemler için benzer etkilere sebep olacaktır fakat çalışmanın sınırlandırılması için bu makale sadece betonarme kolonlar üzerine yoğunlaşmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistemler yapı mühendisliğinde en yaygın tercih edilen sistemlerdendir. Betonarme yapı elemanlarına dair hesaplarda; donatı çeliği ile beton arasında bir iş paylaşımı olduğu kabul edilir. Bu paylaşım her eleman için farklıdır ve donatıların konumlarına buna göre karar verilir. Günümüzde statik hesaplar ekseriyetle paket programlar yardımıyla yapıldığından bu programlarda kullanılan çözüm yolunu dikkate almak gerekir. Paket program ile çözüm yaparken genellikle eleman boyutları sabit tutularak programın donatı oranı ve donatı miktarına karar vermesi istenir.

Makalenin araştırma konusuna dönülecek olursa; kat yüksekliğindeki artışın kolon momentlerine etkimesi ve kolon momentlerini de önemli ölçüde kolon boyuna donatılarının taşınması nedeniyle kat yüksekliği ile kolon donatı oranı arasında matematiksel bir ilişki olması muhtemeldir. Elbetteki bu ilişki kolon boyutları, kat sayısı, kolonların yerleşimi, yükleme durumu, donatıların yerleşimi gibi bir çok parametreye bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bütün bu parametreleri göz önünde bulundurmak çok daha kapsamlı bir çalışmanın konusu olmakla birlikte bir başlangıç çalışması olarak temel bir ilişki yakalamak istenmiştir. Bu nedenle uygulama binası olarak; bütün elemanları sabit boyutlarda 6 katlı ve 4 açıklıklıklı simetrik bir yapı ele alınmıştır.

3 UYGULAMA

İlk olarak şekil 1'de plan ve 3 boyut görüntüsü verilen referans yapı; yeryüzü şartlarında 2 katlı bir betonarme sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistem elemanları; düşey yükler altında sonlu elemanlar yöntemiyle FEMA yönetmeliği göz önüne alınarak boyutlandırılmıştır. Analiz edilen sistem için kiriş, kolon ve döşemelerin yer değiştirmeleri, yapının frekans ve periyotları incelenmiştir. Sonrasında ise aynı yapı Aydaki malzemelerin karakteristik özellikleri ile analiz edilmiştir. Ayda yapılacak yapı ile Dünyadaki yapının belli birtakım farkları olacaktır. Bu farklardan en önemlisi Ay'da beton imalatı için su bulma problemidir. Literatürde bu soruna Ay yüzeyini kaplayan regolit tabakası kullanılarak geliştirilen susuz beton ile çözüm aranmaktadır. Regolit tabakası beton yapımı için uygun maddeler içermektedir ve imalatı susuz bir şekilde yapılabilir (Toutanji ve Grugel, 2009). Dünyadaki betondan biraz farklı olarak elastisite modülü ve dayanım daha düşüktür. Yaklaşık olarak 21-22 Mpa değerleri arasındadır (Toutanji ve Grugel, 2009). Elastisite değeri ise 35 – 50 Gpa arasındadır (Shkuratov, 2001), (Toutanji ve Grugel, 2009). Bu çalışmadaki tüm analizlerde literatürdeki değerlerin arasında bir değer olan 40 Gpa değeri kabul edilmiştir. Analizler aynı boyuttaki yapının Ay yüzeyinde çok daha yüksek dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. Ekonomik bir tasarım için Ay'ın yüzey şartları referans alınarak yeni bir yapı daha tasarlanmıştır.

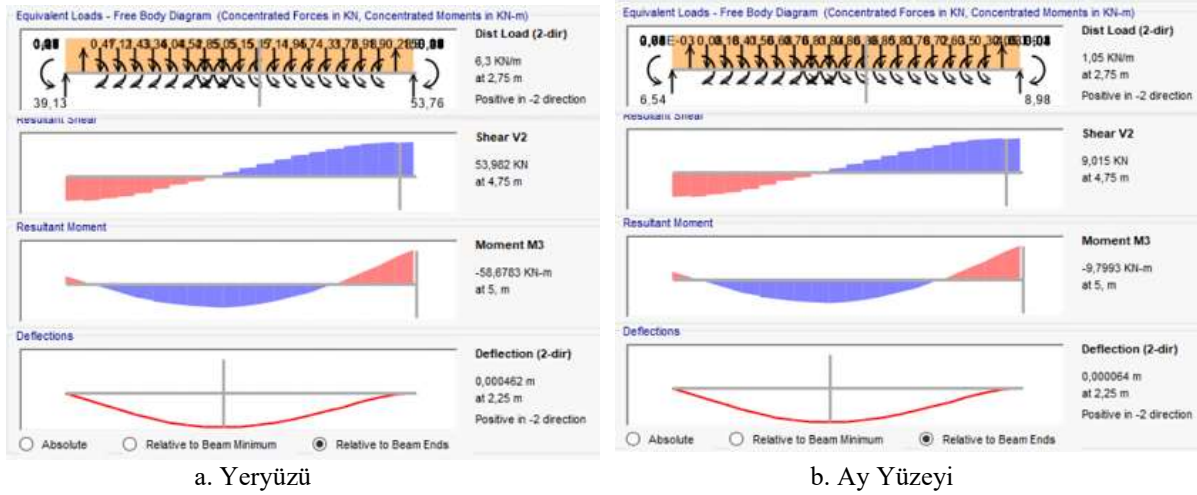


Şekil 1. Referans Yapıya Ait Kat Planı ve 3 Boyut Görüntüsü

Dünya ve Ay yüzeyi için tasarlanan ilk yapının kolon boyutları 30x30cm, kiriş boyutları ise 30x60cm'dir. İkinci yapının boyutları ise kolonlar için 15x20cm kiriş için 15x30 olarak değiştirilmiştir. Bu yapının da analiz sonuçları incelenmiştir. Yeterli veri toplayabilmek ve sonuçları daha iyi gözlemlemek adımı farklı boyutlarda birçok yapı tasarımı ele alınıp analiz sonuçları yorumlanmıştır.

4 BULGULAR

Şekil 1'de verilen yapı için referans kirişe ait yeryüzünde ve ay yüzeyinde bulunması durumunda ortaya çıkan kuvvet diyagramları hesaplanmış ve şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Betonarme Kiriş Kuvvet Diyagramları

Diyagramlarda görüldüğü gibi; betonarme yapının referans kirişine yeryüzünde 6,3kN/m sürekli yayılı yük etkirken, aynı yapı ay yüzeyine taşındığında kirişe etkileyen yayılı yük 1,05kN/m'ye düşmektedir. Buna bağlı olarak kiriş uçlarında oluşan kesme kuvvetleri yaklaşık değerleriyle 54kN'dan 9kN'a, kiriş orta noktasındaki eğilme momentleri ise 58,68kNm'den 9,80kNm'ye düşmektedir. Bu yüklerin kiriş orta noktasında sebep olduğu düşey yerdeğiştirme değeri ise yeryüzünde 0,462mm olarak hesaplanırken ay yüzeyinde 0,064mm'ye düşmektedir.

Kirişlere etkileyen kuvvetler yaklaşık olarak yerçekimi ivmesindeki fark kadardır. Yapı ay yüzey şartlarına göre analiz edildiğinde kuvvetler yaklaşık alta bire düşmektedir.

Kolonlara etkileyen aksel yüklerde yine yerçekimi ivmesindeki azalma ile doğru orantılı bulunmuştur Fakat Aynı karşılaştırma kolon uçlarındaki eğilme momentleri için yapıldığında fark daha da büyümektedir. Referans kolon için Yeryüzü şartlarındaki eğilme momenti 27,6kNm' iken ay yüzeyinde aynı kolon ucuna etkileyen moment 2,87kNm'ye düşmektedir. Farkın 10 kata yakın olduğu görülmüştür.

Döşemelerin sehim değerleri karşılaştırıldığında ise iki ortam arasındaki sehim farkının yaklaşık 7 kat olduğu gözlenmiştir. Referans döşeme için Yeryüzünde sehim değeri 2,23mm iken Ay yüzeyinde aynı değer 0,31mm olarak hesaplanmıştır.

5 SONUÇ

Yapılan çalışmadan çıkan ilk sonuç; Ay üzerinde inşa için yapı tasarlanırken daha küçük boyutlara sahip yapı elemanları seçilebilecek ve bu tasarlanan elemanlar güvenlik sorunu teşkil etmeyecektir. Yer çekimi ivmesinin az olması sebebiyle daha geniş açıklıklar daha kolay geçilebilecektir. Elemanların sehim değerleri daha az olacak ve kirişler güvenlik bakımından sorun oluşturmayacaktır. Mimari açıdan daha farklı yapılar tasarlanabilecektir. Ay üzerinde yapılacak yapılar daha küçük boyutlara sahip olacağından, yapı kütlesi ve kütleyle bağlı parametreler azalacaktır. Dünya da tasarladığımız yapılardan istediğimiz performansı ve güvenliği, Ayda daha küçük boyutlara sahip yapı elemanlarıyla rahat bir şekilde sağlayacağız. Ayda tasarlanan yapının kolon ve kirişlerine gelen kesme kuvvetleri Dünyadakine göre oldukça azdır bu nedenle kolon ve kirişlerde kesmeye karşı kullanmış olduğumuz sargı donatısı ihtiyacı ortadan kalkabilir. Aynı şekilde; Moment kapasiteleri

karşılaştırıldığında; betonarme çerçeveler üzerindeki momentin yer çekimi ivmesi farkına yakın oranlarda ortalama 6 kat düştüğü görülmektedir. Bu durum; Ay şartlarında temin edilmesi en zor yapı malzemelerinden olan beton donatısı ihtiyacını ortadan kaldırarak “betonarme bina” yerine “yığma beton bina” olanağı sağlayacaktır.

Özetle; Bu çalışma günümüz şartlarında Ay yüzeyinde temin edilmesi mümkün olmayan su ve çelik donatı ihtiyacı olmadan “yığma beton” şeklinde bir yapı inşasının mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmaya devam niteliğindeki araştırmalarda Ay yüzeyi için beton bina tasarımına odaklanılması önerilir.

Referanslar

- Lin, T. D. (1985). Concrete for Lunar Base Construction, *Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, Editor: W.W. Mendell, Chapter 6: Lunar Construction, Lunar and Planetary Institute.
- McKay, C. P. (2013). The Case for a NASA Research Base on the Moon. *New Space*, (1), 4, 162-166. Doi: 10.1089/space.2013.0018
- Nemiroff, R., Bonnell, J., (1996). NASA Technical Rep.: Sherri Calvo. Specific rights apply. A service of: LHEA at NASA/ GSFCNASA. Available on: <https://apod.nasa.gov/apod/ap960412.html>
- Toutanji, H. A. ve Grugel, R. N. (2009). Performance of “Waterless Concrete”, *Concrete Solutions*, CRC Press. 215-218.
- (NASA, 2011); Apollo 17 - Mission Objective, *News from NASA*, Editor: NASA Content. Available on: https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo17.html Last Updated: Jan. 9, 2018
- Taylor, L. A. (1992). Resources for a Lunar Base: Rocks, Minerals, and Soil of the Moon, *The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, Johnson Space Center, Vol. 2. 361-377.
- Shkuratov, Y.G, Bondarenko, N.V., (2001). Regolith Layer Thickness Mapping of the Moon by Radar and Optical Data. *Icarus, Elsevier Publications*, (149), 2, 329-338.
- Ruess, F., Schaenzlin, J., and Benaroya, H. (2006). Structural Design of a Lunar Habitat, *Journal of Aerospace Engineering*, 19(3), 133-157.
- Tunc, G., Demirtürk, D., (2015). Habitat Structures on the Moon, *Yapı Dergisi*, 134-140.
- Işık, E., Öztürk, G. (2017). The Effect of Storey Height on the Earthquake Performance of RC Buildings, *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.* 7(1):299-305.