

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde düzenlenen Ulusal Beton Kano Yarışması kapsamında üretilen hafif beton kanonun tasarımı, malzeme geliştirme çalışmaları, yapısal analizi ve üretimi yapılmıştır. Hafif betonun tasarımında hafif agrega olarak geliştirilmiş cam agregası, pomza ve geliştirilmiş kil agregasının performansları incelenmiştir. Kullanılan beyaz çimentonun yanında silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkılarla birlikte hafif betonun mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Hafif betonun enerji yutma kapasitesini geliştirmek için mikro poliamid liflerin kullanımı araştırılmıştır. Ayrıca birim hacim ağırlığı düşük, çekme dayanımı ve uygulanabilirliği yüksek donatı olarak karbon geo-grid hasır donatı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan latex ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla işlenebilirlik, darbeye dayanıklılık ve geçirimsizlik özellikleri geliştirilmiştir. Taze birim hacim ağırlığı 1058 kg/m³ olan hafif beton malzemesi tasarlanmış ve özellikleri belirlenmiştir. Gemi yapımında sıklıkla kullanılan, deniz araçlarının görselleştirilmesi, tasarımı ve optimizasyonu için uygun olan MAXSURF programı, kano gövde tasarımında kullanılmıştır. 6 metre uzunluğundaki kano simetrik bir şekle sahip olmakla birlikte 10 segmente ayrılan kano kesitinin her segmente ait alan ve hacim hesapları yapılmıştır. Yapısal analiz için öncelikle kanoyu oluşturan malzemelerden teşkil edilen lamine numune testlerinin sonuçlarından karbon lif donatı için elastisite modülü SAP 2000 modeli ile elde edilmiştir. MaxSurf programıyla hazırlanan 3 boyutlu kano modeli AutoCAD programına aktarılmış, çizim 800 segmente ayrılarak SAP2000 programına 3 boyutlu sonlu eleman modeli olarak tanımlanmıştır. Yapısal analizle beton kanonun et kalınlığı ve carbon fiber donatı kullanım yeri belirlenmiştir. Hafif beton kano çalışması çok disiplinli bir çalışma olup, geliştirilen kano İTÜ'de düzenlenen yarışmada 3. olmuştur.

GİRİŞ

Birim ağırlıkları 1840 kg/m³'ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç dayanımı 17 MPa'ı aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Hafif Beton, hafif agreganın kullanılması ile elde edilir. Öncelikle kullanılacak olan hafif agregalar belirlendi. Geri kazanılmış geliştirilmiş cam agregaya ek olarak yerli olan doğal pomza ve geliştirilmiş kil agregası kullanılmasına karar verildi. Su emmeyi azaltmak için doğal pomza ve geliştirilmiş kil agregası sodyum silikat ile kaplandı. Bağlayıcı olarak beyaz çimento, silis dumanı ve uçucu kül kullanıldı. Silis dumanı agrega taneleri arasındaki aderansı dolayısıyla beton dayanımını ve durabilitesini arttırdı. Uçucu kül ise hem yerli hem de çevreci olması tercih sebebi olmuştur. Mikro poliamid lif takviyesi betondaki eğilme ve çekme dayanımını arttırdı. Beton karışımının çekme yüklerini üzerinde taşıması için karbon geo grid mesh kullanılmasına karar verildi. Karbon geo grid meshin kesite yerleşiminin kolay olması ve birim hacim ağırlığının düşük olmasından dolayı tercih edilmiştir.

MALZEME

Beton kano ekibi olarak amacımız yerli, çevreci ve minimum maliyet oluşturacak malzeme kullanmak ve bu belirlenen malzemelerle ulaşılabilecek en yüksek dayanım değerlerini elde etmektir. Bu yüzden doğal pomza ve geliştirilmiş kil agregası ve bağlayıcı olarak beyaz çimentonun yerli malzeme olması; geri kazanılmış geliştirilmiş cam agregası, silis dumanı ise atık malzeme olduğu için tercih edildi. Uçucu kül ise hem yerli hem atık malzeme olduğu için tercih edildi. Kullanılacak yerli malzemeler birim hacim ağırlığı arttıracığından maksimum birim hacim ağırlık 1150 kg/m³ olarak belirlendi ve ön tasarımda kullanıldı. İlk olarak doğal pomza boyutlarına göre karışımlar yapıldı. İnce, orta ve kalın doğal pomza ikemeleri kademe kademe arttırıldı. En iyi sonuç için değişik alternatifler denendi. Sonrasında ise geri kazanılmış geliştirilmiş cam agregası ve pomza miktarı azaltılarak yerine geliştirilmiş kil agregası kullanıldı. Yerli malzeme kullanımı böylece artmış oldu. Doğal pomza ve geliştirilmiş kil agregası sodyum silikat ile kaplandı. Amacımız su emmeyi azaltmaktı ve doğal pomzada ve geliştirilmiş kilde yaklaşık %32'lik azalmalar meydana geldi. Deneyler sonucunda beton kano yapımı için belirlediğimiz karışıma lif takviyesi yapıldı ve en iyi sonuç %0,35'lik lif oranında yapılan karışım oldu.

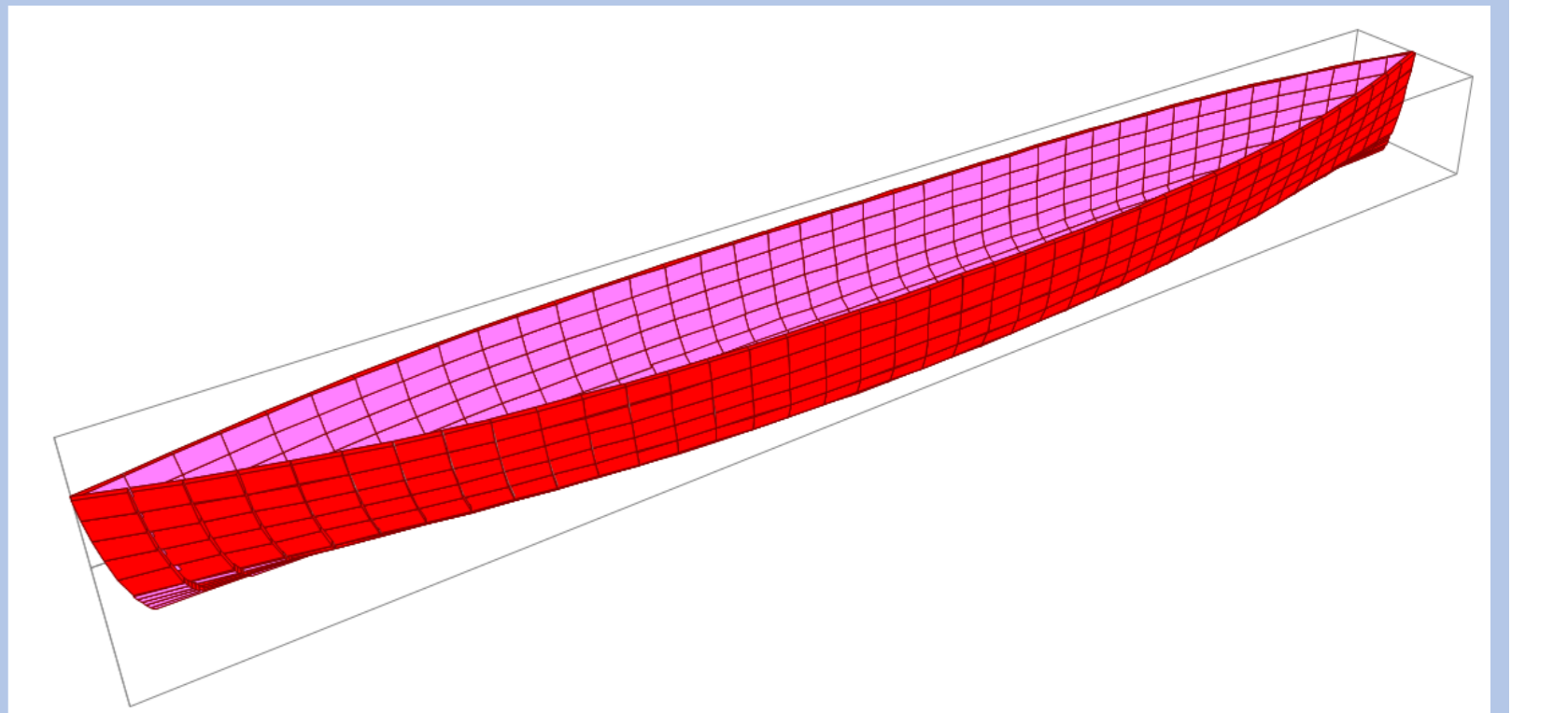
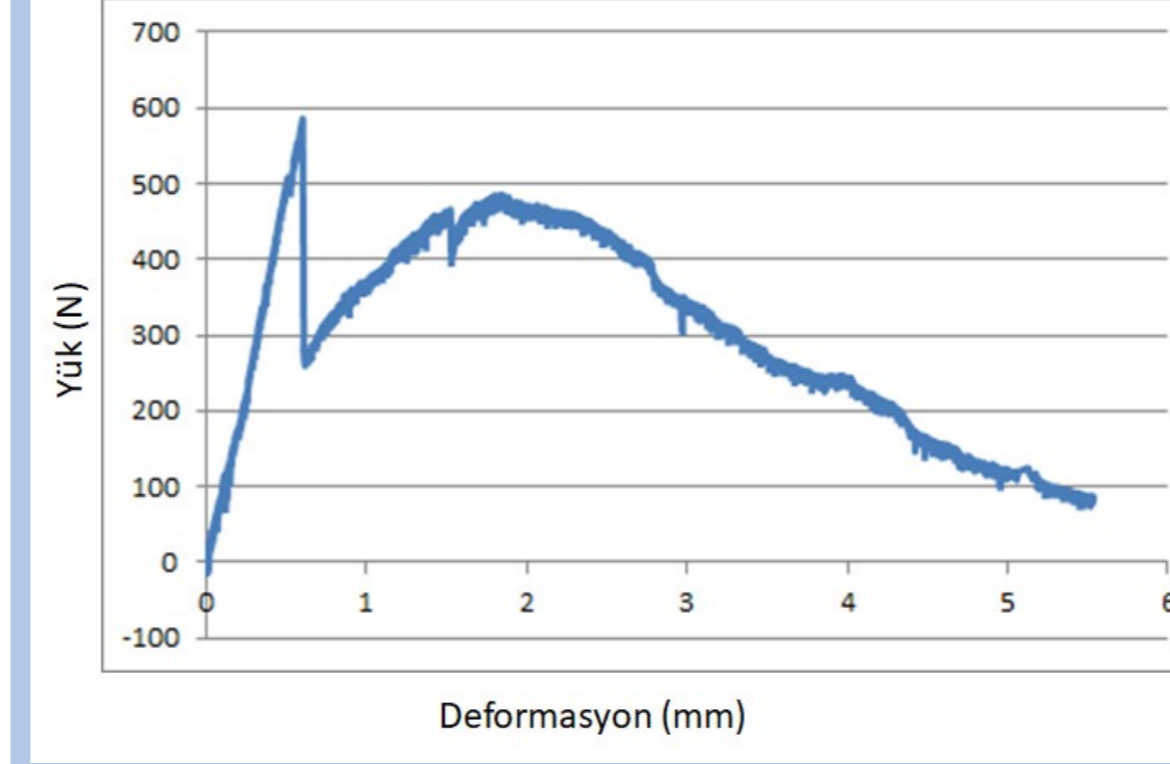
KANONUN ÖZELLİKLERİ	
Adı	SANCAR
Ağırlık	150 kg
Uzunluk	605 cm
Maksimum Genişlik	71 cm
Maksimum Derinlik	42 cm
Et Kalınlığı	Alt kalınlık: 2.0 cm Yan kalınlığı: 1.6 cm
Donatı	Mikro Poliamid Lif Karbon Geogrid Mesh
Renkler	Açık Mavi, Yeşil, Kahverengi

BETON KANODA KULLANILAN BETONUN MÜHENDİSLİK ÖZELLİĞİ	
Islak Birim Hacim Ağırlık	1058,6 kg/m ³
Kuru Birim Hacim Ağırlık	1008,3 kg/m ³
Beton Basınç Dayanımı	24 MPa
Beton Eğilme Dayanımı	4,4 MPa

NİHAİ KARIŞIM	
Malzeme	Kuru Ağırlık kg
Çimento	315,0
Uçucu Kül	31,5
Silis Dumanı	135,0
Su	47,5
Cam Agregası 0.25-0.5 mm	110,5
Cam Agregası 0.5-1 mm	90,7
Cam Agregası 1-2 mm	51,1
Pomza 0.25-0.5 mm	30,1
Pomza 0.5-1.0 mm	36,1
Genleştirilmiş Kil 1.0-2.0 mm	21,8
Mikro Poliamid Lif	4,0
Akışkanlaştırıcı	50,0
Latex	135,0
Hava	
Toplam	1058,6

YAPISAL ANALİZ

Kanonun ağırlığı 150 kg yayılı yük olarak tanımlanmıştır. Modele etkiyecek kaldırma kuvveti ve kürekçi ağırlıkları hesaplanmıştır. Yarışma şartnamesine uygun 4 erkek yüklemesi için yapılmıştır. Her bir erkek yüklemesi için 784,84 N (80 kg) değeri hesaba katılmıştır. Analiz sonucu oluşan "Yük - Deformasyon" eğrisi elde edilmiştir. Yapısal analiz için SAP 2000® programı ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen nihai beton özelliklerini çekme dayanımı değeri 2,2 MPa ve basınç dayanımı değeri 24 MPa olarak bulunmuştur. Donatı olarak Karbon Grid Mesh kullanılmıştır.



SAP2000'de karbon geogrid mesh kullanılmış numunelerden hesapladığımız elastisite modülüne göre kabuk, tek katman olarak Model A ve beton ile karbon geogrid mesh elemanlarının özellikleri kabuk elemana ayrı katmanlar olacak şekilde Model B sonlu eleman modelleri oluşturuldu. Lamine testlerden elde edilen en büyük birim uzama ve kısalma değerinden ($\epsilon = 768 \times 10^{-6}$) küçük değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir.

Model	Mesnetlenme türü	Elastisite modülü	Kabuk eleman	Kaldırma kuvveti	MODEL/ANALİZ		S _{max} (MPa)		E _{max} (MPa)	
					BASINÇ	ÇEKME	BASINÇ	ÇEKME	BİRİM DEFORMASYON	BİRİM DEFORMASYON
Model A	Basit mesnet	E _c = 15103 MPa	Shell-thin	Alt yüzeye noktasal yükler	0,275	0,44	0,45	0,135	0,0000315	0,0000048
Model B	Basit mesnet	E _c = 6252 MPa E _f = 50000 MPa	Shell-Layered	Alt yüzeye noktasal yükler	0,36	0,16	0,252	0,112	0,00006	0,00004

Model C'de kaldırma kuvvetleri kano modelinin her yüzeyinde yer alan kabuk elemanlara alan yükü olarak etki ettirilmiştir. Kano yüzeyine uygulanacak yükler, kanonun yüzeyine dik ve içeri doğru olmalıdır.

KANO ÜRETİMİ



Tasarımı yapılan beton kanonun CNC kesim ile erkek kalıp uygulaması yapıldı. Kalıp epoksi reçine ve cam elyaf ile güçlendirilmesi yapıldı. Betonun kalıptan rahat ayrılması için kalıp streç film ile kaplandı. İstenilen et kalınlığı sağlanması için ahşap çerçeveler kullanılarak beton elle yerleştirildi. Karbon geo-grid mesh beton priz almadan kademe kademe yerleştirildi. Donatı yerleştirildikten sonra ikinci kat beton dökümü gerçekleştirildi. Beton dökümü yaklaşık 10 saat sürdü. Döküm tamamlandıktan sonra 3 gün buhar kürü uygulandı. Kalıptan çıkarılan kanonun yüzeyi zımparalandı ve sızdırmazlık malzemesi uygulandı. Yüzdürme materyallerinin konulmasının ardından grafik tasarımı ve boyaması yapılan beton kano yarışmaya hazır hale geldi. Beton kanomuz ile katıldığımız, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendisliğe Hazırlık Kulübü'nün hazırladığı Beton Kano yarışmasında üçüncülük derecesi alındı.



Çalışmalarımızla elde ettiğimiz bilgi ve birikimi uygulamaya koyarken tecrübelerinden ve desteklerini bizlerden esirgemen malzeme araştırma ve geliştirme ile yapısal analiz ve modelleme konusunda Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalında Prof. Dr. Halit YAZICI ve Araş. Gör. Rasim Cem SAKA, Mekanik Ana Bilim Dalında Prof. Dr. Serap KAHRAMAN ve Yapı Ana Bilim Dalında Dr. Öğr. Üy. Sadık Can GİRĞİN'e; kanonun tasarımında, kalıp imalatı ve güçlendirmesinde destek veren Denizcilik Fakültesi hocalarımızdan Dr. Öğr. Üy. K. Emrah ERGİNER ve Araş. Gör. Burak GÖKSU'ya teşekkür ederiz. Gerekli olan tüm malzeme, araç ve gereçlerin temini ve proje yönetimi sırasındaki çalışma alanlarımızın oluşturulmasında bizleri sonuna kadar destekleyen Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Birol Kaya ve Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN'e teşekkür ederiz. Bu süreçte bizlerle beraber çalışmalara katılıp destek olan inşaat mühendisliği bölümü öğrencilerine ve Yapı malzemesi laboratuvar görevlisi Süleyman AKGÜL'e teşekkür ederiz.