



9-20 m Boy Aralığında Salmalı Yatların Parametrik Yelken Analizleri

Sarih SARI, Muhsin AYDIN

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye
sarih@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-5046>
muhsina@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0979-5167>

Öz

Yapılan çalışmada salmalı yatlar için yelken parametrelerinin boyutlarının en uygun şekilde belirlenmesi ayrıca belirlenen yelken ve tekne için performans değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda üretilen tekneler incelenerek, yaygın olarak kullanılmakta olan gemi boyu aralığı 9 ile 20 m arasında belirlenmiştir. Bu aralıkta hesaplamalar ve tahminler yapılabilmesi için 9,15; 14,25 ve 19,50 m tam boya sahip 3 adet tekne oluşturulmuştur. Her bir tekneye karşılık gelecek şekilde 81 adet farklı yelken donanımı oluşturularak 6, 12 ve 20 knot rüzgâr hızlarında ve her bir rüzgâr hızı için rüzgârın karşıdan alındığı durumda 45, 90 ve 110 derece açılarda, rüzgârın arkadan alındığı durumda ise 90, 120 ve 140 derece açılarda incelemeler yapılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen verilerin en iyi %25'inin ortalama değerlerinden yola çıkılarak 9 ile 20 m boy aralığında tüm rüzgâr koşulları için kullanışlı sayılabilecek yelken donanım boyutlarının belirlenmesi mümkün olmuştur. Ayrıca istenilen boydaki teknelerin tekne hızı, sürüklenme kuvveti ve bayılma açısı performans değerlerinin tahmin edilebilmesi %2'nin altındaki hata oranıyla sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Salmalı Yelkenli Yatlar, Sistematik Yelken Analizi, Yelken Parametreleri.

Parametric Sail Analysis of Sailing Yachts in 9-20 Meters

Abstract

The study was carried out in order to determine the dimensions of the sailing parameters for the sailing yachts in the most appropriate way and to estimate the performance values for the determined sail and boat. The length overall range, which is widely used for this purpose, is determined between 9 and 20 m. In order to make calculations and estimations in this range, 3 boats having 9.15, 14.25 and 19.50 m full size were formed. 81 different sailing equipment was created to correspond to each boat. For each boat and sailing equipment, it was examined at wind speeds of 6, 12 and 20 knots and in angles of 45, 90 and 110 degrees in wind direction. In the case of the opposite direction of the wind, 90, 120 and 140 degree angles were examined.

Based on the average of the 25% of the results of the surveys, it was possible to determine the dimensions of sailing equipment that could be considered useful for all wind conditions between 9 and 20 m in length. In addition, estimation of boat speed, drift force and heel angle performance values of the desired length of the vessel is provided with an error rate of less than 2%.

Keywords: Sailing Yachts, Sail Parameters, Systematic Sailing Analysis.

To cite this article: Sarı, S. & Aydın, M. (2019). 9-20 m Boy Aralığında Salmalı Yatların Parametrik Yelken Analizleri. *Journal of ETA Maritime Science*, 7(4), 332-343.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2019.52714>

1. Giriş

Yelkenli teknelerin performans analizleri ile ilgili deneysel ve teorik olarak pek çok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalar genel olarak teknenin formundan kaynaklanan etkileri, yelkenlerin duruşu ve rüzgârı alma açısı ile olan ilişkileri, aynı ortamda bulunan farklı teknelerin birbirleriyle olan etkileşimini, yelkenler üzerinde oluşan kuvvet ve gerilmelerin yelken direğine ve teknenin yapısal elemanlarına olan etkisini, teknelerde bulunan farklı yelken gruplarının birbiri içindeki etkileşimini, yelkenlerin boyutlarındaki değişimin teknenin performansı üzerindeki etkilerini, Re sayısına bağlı olarak yapılan teorik incelemelerde hangi türbülans modelinin kullanımının daha uygun olduğunun incelenmesini kapsamaktadır.

Teknelerde bulunan flok yelkeni ve ana yelken arasındaki etkileşimin incelendiği çalışmalarda Gentry 1971 yılında Bernoulli denklemini baz alarak analog alan ekipmanı adı verilen bir cihaz ile modellediği yelkenler üzerindeki akım hatlarını belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışmasını yelken üzerine etki edebilecek farklı rüzgâr açıları için tekrarlayarak yelkenler üzerinde oluşabilecek olası kuvvetleri tahmin etmiştir[1]. Öte yandan 1981 yılında yaptığı çalışmada ise yelkenler üzerinde aerofil kesitler olarak kurduğu bir düzenele bu kesitlerin akım hatlarını belirlemeye çalışarak yelkenler üzerine etki eden akımdan dolayı yelkenin tamamı hakkında tahminlerde bulunmuştur [2]. Lasher yapmış olduğu çalışmasında yelkenler üzerindeki beş farklı parametreyi incelemiştir. Bu parametreler yelkenlerin boyutlarıyla ilgili olup flok yelkenindeki boyutları kapsamaktadır. 12 farklı yelken için rüzgâr tüneli testlerinde aldığı sonuçlardan yola çıkarak halihazırda kullanılmakta olan 6 farklı türbülans modelinin hangi koşullarda kullanılmasının daha doğru olabileceği üzerinde bir çalışma yapmıştır [3]. Rüzgârın yelkene

geliş açısının uygunluğunu kontrol etmek isteyen Elkaım çalışmasını katamaran bir tekne üzerine kurduğu hareketli düzenele ile değişen rüzgâr açılarındaki yelkenle oluşan kuvvetlerin yelken direğindeki etkisini araştırmış ve en uygun rüzgâr geliş açısını tahmin etmeye çalışmıştır. Ancak yaptığı çalışma sadece rüzgâr açısı ile ilgili olup tekne ve yelken form parametrelerini kapsamamaktadır [4]. Viola ise 3 farklı rüzgâr açısı için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri (HAD) ile hesaplamalarda bulunmuştur. Yapmış olduğu HAD çalışmalarda tetrahedral mesh olarak hesaplama yapılmasının sonuçlara olan olumlu etkisini incelemiştir. Navier Stokes denkleminde yararlanarak yelkenin etrafındaki türbülans modeli belirlemeye çalışmıştır [5]. Aynı yıllarda çalışmalarını yapan Ryn ise benzer HAD yöntemler kullanmış olup yelken geometrisindeki değişimin yelken etrafında oluşturabileceği akım hatlarındaki değişimi incelemiştir. Bu değişimi incelerken flok yelkenin geometrisini sabit tutmuş, ana yelkenin formunda birtakım değişiklikler yaparak hesaplar yapmış ve tahminlerde bulunmuştur[6].

Yelkenlerin birbiri üzerinde oluşturduğu etkileşimi farklı bir bakış açısı ile ele alan Detlefsen aynı ortamda bulunan 2 farklı teknenin birbiri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sabit rüzgâr geliş açısı ile teknelerin farklı pozisyonları için rüzgârın farklı geliş açılarındaki durumunu rüzgâr tüneli testleri ile araştırmıştır [7]. Benzer bir çalışmayı ise Bergsma tam boyutlu olarak yapmıştır. Kullandığı ölçüm cihazlarının yetersizliği nedeniyle yelkenler üzerinde ölçtüğü statik basınç değerlerinden yola çıkarak, arada kalan kısımları interpolasyon yöntemi ile belirlemiştir [8]. Blakeley çalışmasında çok gövdeli tekneler üzerine etki eden kuvvetleri belirlemek için farklı türbülans modellerini kullanmıştır.[9]. Deparday çalışmalarını tek bir tekne ve yelken için yapmış olup, yelken üzerine

yerleştirdiği ölçüm aletleri ile farklı açılarda gelen rüzgârın karakteristik sonuçlar üzerindeki etkisini incelemiştir [10]. Katamaran teknelerin yelkenlerinde oluşan kuvvetleri saptamak için Cella, HAD programları ile 5 farklı tipte yelken modeli incelemiştir. Çalışmasında $K-\varepsilon$ ve $K-\omega$ türbülans modellerini kullanmıştır [11].

Keuning'in yaptığı çalışmada, salmalı yatlar için tekne serisi oluşturulmuş, bu seri için teknelere etki eden kuvvetler ile salma ve dümen donanımı incelenmiştir. Ayrıca tekne gövdesi üzerindeki form değişikliklerinin teknenin performansına olan etkileri araştırılmış ve bu etkileri gösteren bağıntılar elde edilmiştir [12].

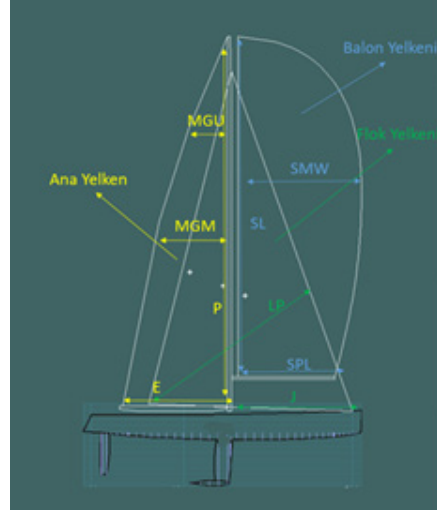
2. Yelkenli Tekneler ve Yelkenler Hakkında Bilgi

Salmalı yatlar teknenin sevkini sağlayan bir ya da daha fazla yelkenden oluşan yelken donanımına sahip tamamen rüzgâr gücü ile hareket eden deniz taşıtlarıdır. Bu tip teknelerde yelkenler üzerinde oluşan kuvvetlerden dolayı teknenin devrilmesini önlemek için gövdenin altında dengeyi sağlaması için bir de salma donanımı mevcuttur. Bu çalışmada ise hesaplamaları yapılan tekne için 3 adet yelken bulunmaktadır. Bunlar; flok yelkeni, balon yelken ve ana yelken olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışma için incelenecek olan teknenin yelken parametreleri Şekil 1'de görülmektedir.

Yelken donanımı için kullanılan kısaltmalardan;

- I, Şiyer hattından flok yelkenin en üst noktasına kadar olan yüksekliği
- J, Yelken direğinden pruva ana ıstralyasına kadar olan mesafeyi
- LP, Flok yelkenin iskota köşesinden orsa yakasına olan dik uzaklığı
- SPL, Balon yelkenin alt uzunluğu
- SL, Balon yelkenin dikey uzunluğu
- SMW, Balon yelkenin maksimum genişliği
- P, Ana yelkenin direk üzerindeki en alt

- ve en üst noktaları arasındaki mesafeyi
- E, Ana yelkenin bumba üzerindeki genişliği
- MGM, Ana yelkenin orta Hizasındaki genişliği
- MGU, Ana yelkenin üst hizasındaki genişliği ifade etmektedir.



Şekil1. Üç Yelkenli Salmalı Yatların Yelken Parametreleri

2.1. Yelkenli Tekneler İçin Hesaplama Yöntemleri

Günümüzde yelkenli teknelerin performans hesapları Navier Stokes ya da Bernoulli denklemlerinden yararlanılarak yapılmaktadır.

Deneyel hesaplamalar ise tarihsel gelişim süreci boyunca her dönemde yapılmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle ölçüm cihazlarındaki hassasiyet artmış ve yelken aerodinamiği hesaplamalarında bu cihazların kullanımını mümkün olmuştur. Birtakım deneyel çalışmalar, tam ölçekli tekneler üzerinde yapılmış olup, hassas ölçüm cihazları kullanılarak basınç ve itme kuvvetleri belirlenebilmiştir. Bazı çalışmalarda tekne ve yelkenler modellenmiş ve rüzgâr tüneli testleri yapılmıştır.

Deneyel çalışmalarda yaşanan

zorluklar, uzun süreç ve yapılan çalışmaların tek bir tekne ve yelken için geçerli olması, araştırmacıları matematiksel yaklaşımlara itmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, incelenmek istenen cisimlerin modellenmesi mümkün olup, Bernoulli ve Navier Stokes denklemleri ile cisim etrafındaki akım hesaplanabilmektedir. Günümüzde bu prensiplere dayalı çalışan kullanılmakta olan bazı HAD programları ile gerçek sonuçlara oldukça yakın değerler elde edilebilmektedir.

Teknelerin tasarımından, performans analizlerine kadar kullanım olanağı sunan Maxsurf programının VPP (Velocity Prediction Programme) modülü ile yelkenli teknelerin direnç ve sevk hesaplamalarını yapmak mümkün olmaktadır. Oluşturulan tekne gövdesinin üzerine program yardımıyla tüm boyutları belirtilerek yerleştirilebilecek olası yelken modelleri için tekne hızı, bayılma açısı, ileri yönlü kuvvetler, yan kuvvetler, kaldırma kuvveti, aerodinamik ve hidrodinamik momentler ve doğrultucu momentlerin hızlı bir şekilde hesaplanması mümkündür.

Program 25 yılı aşkın süreyle yapılan çalışmaların verileri baz alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmalardan en önemlisi Keuning'ing çalışmasıdır [12]. Çalışmada yatlar üzerine etki eden hidrodinamik kuvvetlerin yatlardaki gövde, salma, dümen ve diğer takıntılarının etkilerinin incelenmesine yönelik gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 50 adet farklı tekne, farklı omurga ve salma donanımları incelenmiştir. Tekne performansına etki eden kuvvetlerin belirlenebilmesi için tekneye etki eden dirençlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu dirençlerin hesaplanması için kullanılan denklemler; belirli yelkenli tekne serisi, salma serisi ve bunların çeşitli durumlar altında incelenmesiyle elde edilen birtakım sonuçların ve denklemlerin kullanımıyla sağlanmaktadır. Bu dirençler temel olarak sürtünme dirençleri ve artık dirençler olarak ele alınmıştır.

Sürtünme direncinin hesaplanması için tanımlanan denklem şu şekildedir:

$$R_{fh} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_c C_f \quad (1)$$

Burada:

ρ	Suyun özgül kütlesi	kg/m ³
V	Teknenin ileri yöndeki hızı	m/s
S_c	Hareketsiz konumdaki ıslak yüzey alanı	m ²
C_f	Sürtünme katsayısı	

Islak yüzey alanının hesaplanmasında ise kullanılan denklem şu şekildedir:

$$S_c = \left(1.97 + 0.171 \frac{B_{wl}}{T_c} \right) \cdot \left(\frac{0.65}{C_m} \right)^{1/3} \cdot (\nabla_c \cdot L_{wl})^{1/2} \quad (2)$$

Burada:

B_{wl}	Su hattı tekne genişliği	m
T_c	Draft	m
C_m	En kesit alan katsayısı	
∇_c	Deplasman hacmi	m ³
L_{wl}	Su hattı uzunluğu	m

Artık direncin hesaplanması için kullanılan denklem ise şu şekildedir:

$$\frac{R_{fh}}{\nabla_c \cdot \rho \cdot g} = a_0 + \left(a_1 \cdot \frac{LCB_{fpp}}{L_{wl}} + a_2 \cdot C_p + a_3 \cdot \frac{\nabla_c^{2/3}}{A_w} + a_4 \cdot \frac{B_{wl}}{L_{wl}} \right) \cdot \frac{\nabla_c^{1/3}}{L_{wl}} + \left(a_5 \cdot \frac{\nabla_c^{2/3}}{S_c} + a_6 \cdot \frac{LCB_{fpp}}{LCF_{fpp}} + a_7 \cdot \left(\frac{LCB_{fpp}}{L_{wl}} \right)^2 + a_8 \cdot C_p^2 \right) \cdot \frac{\nabla_c^{1/3}}{L_{wl}} \quad (3)$$

Burada:

R_{fh}	Artık direnç	N
∇_c	Deplasman hacmi	m ³
ρ	Suyun yoğunluğu	kg/m ³
L_{wl}	Su hattı uzunluğu	m
B_{wl}	Su hattı tekne genişliği	m
LCB_{fpp}	Kaldırma kuvvetinin boyuna yönde etki merkezi	m
LCF_{fpp}	Yüzme merkezinin boyuna yöndeki konumu	m
C_p	Prizmatik katsayı	
A_w	Su hattı alanı	m ²
S_c	Hareketsiz konumdaki ıslak yüzey alanı	m ²

Islak yüzey alanının değişimi, mevcut olan tekne serilerinin verileri ile türetilmiş olan denklem vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Denklemlerin elde edilmesi ile ilgili detaylar Keuning'in bahsi geçen çalışmasında mevcuttur.

3. Salmalı Yatlar İçin Parametrik Yelken Hesapları

Hesaplamaların yapılacağı tekne boyu aralığının belirlenmesi için piyasada halihazırda var olan tekneler incelenmiş ve teknelerde en sık olarak karşılaşıldığı boy aralığı 9-20 m olarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak en sık görülen boy aralığı 13-16 m olarak tespit edilmiştir. Bu aralığa denk gelecek şekilde 9,15; 14,25 ve 19,50 m tam boya (LOA) sahip 3 adet tekne oluşturulmuş, bu teknelere yerleştirilecek farklı yelken donanımlarının performans değerlerine etkisi incelenmiştir. Yelken donanım boyutlarının belirlenmesi için programın önerdiği boyut parametrelerinden yola çıkılmıştır. Bu parametrelerin %15 küçüğü ve %15 büyüğü olacak şekilde her bir parametre için 3 farklı değer kullanılmıştır. Tekne üzerinde 3 farklı yelken olmasına rağmen boyut parametrelerinin bazılarının birbirine bağımlı bazılarının ise birbirinden bağımsız olduğu anlaşılmıştır. Birbine bağımlı 4 farklı yelken parametresi grubu bulunması ve her bir boyut için 3 farklı değerde inceleme yapılması, tek bir tekne için 81 farklı yelken donanımı oluşturulup parametrik olarak inceleme yapılmasını gerektirmiştir [13].

Rüzgâr hızı ve açısının seçiminde ise teknelerin karşılaşılabileceği rüzgâr hızı için 6, 12 ve 20 knot, rüzgâr doğrultusu ile tekne istikameti arasında kalan açı (RTA) için rüzgâra karşı olduğu durum için 45, 90 ve 110 derece, rüzgârın arkadan geldiği durum için ise 90, 120 ve 140 derece belirlenerek her bir tekne-yelken donanımı için 18 farklı senaryoda hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 1'de 14,25 m boya sahip tekne için kullanılan yelken donanım boyutları verilmiştir. Diğer tekneler için olan yelken donanım boyutları tekne boyuna göre oran alınarak elde edilmiştir.

Yapılan hesaplama sonuçlarından elde edilen veriler her bir rüzgâr hızına ve açısına göre ayrı ayrı sınıflandırılıp incelenmiştir. İncelemeler sonucunda gözüktüğü üzere, rüzgâr hızı ve açısındaki değişime bağlı olarak en iyi tekne performansının elde edildiği yelken donanımı da değişmektedir. Bu nedenle incelenen her bir tekne boyu için elde edilen sonuçlar bahsi geçen her bir rüzgâr hızı ve açısına göre sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma işleminin ardından tekne hızına, en iyi sonucu veren yelken donanımlarından %25'i belirlenerek her bir koşuldaki en iyi 20 adet yelken donanımı ayrı ayrı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçların ortalamalarından yararlanılarak her bir rüzgâr koşulu için tekne boyuna bağlı tekne hız performansını verebilecek denklemler elde edilmiştir. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te bu denklemlerin grafiğe dönüştürülmüş hali gösterilmiştir.

Belirlenen rüzgâr durumlarında 9 ile 20 m boy aralığındaki tekneler için tekne hızını veren denklem aşağıdaki (4) gibidir.

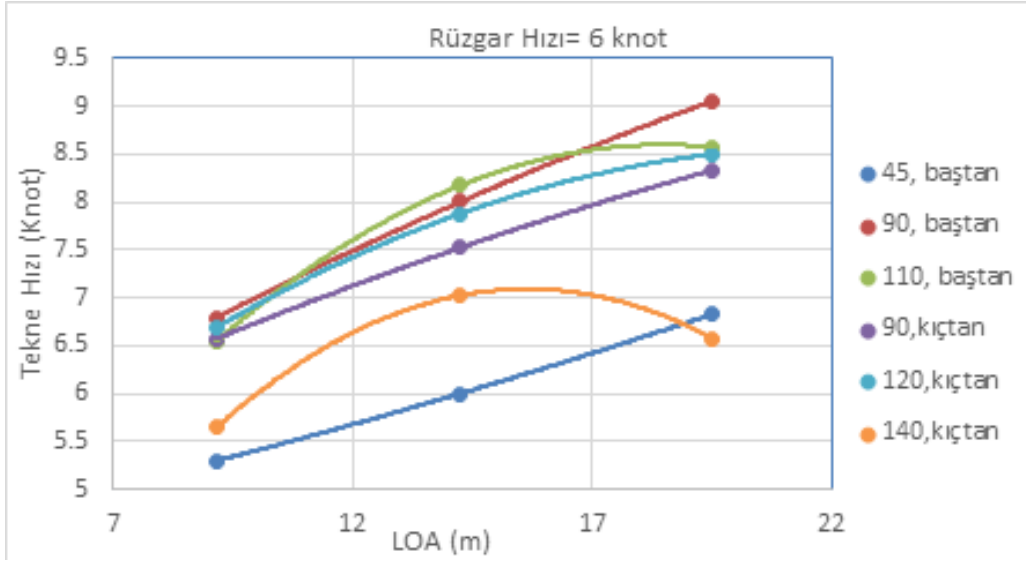
$$V = a_1 * L_{OA}^2 + a_2 * L_{OA} + a_3 \quad (4)$$

Denklem 4'te belirtilen a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları Tablo 2'de her belirli rüzgâr durumu için sunulmuştur.

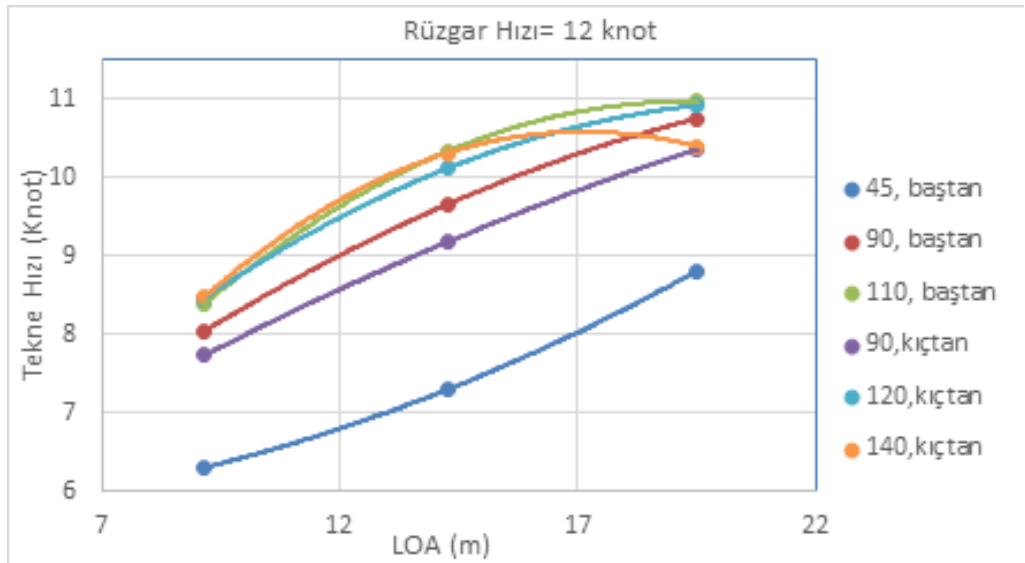
Bayılma açısının hesaplanması için de aynı yöntem uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara

Tablo 1. 14,25 m Boya Sahip Tekne İçin Yelkenlerin Boyutları

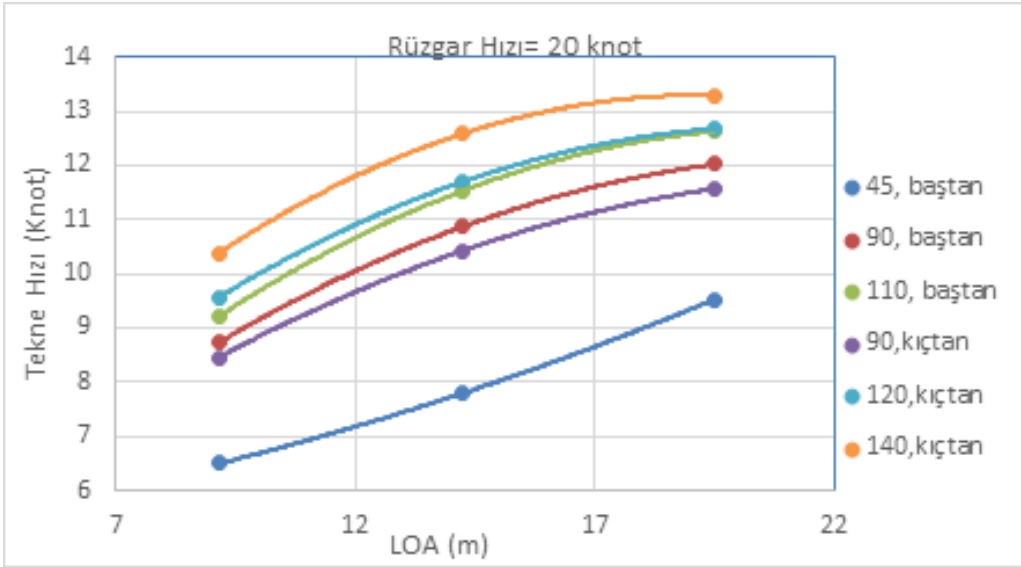
SL	SPL	SMW	E	MGU	MGM	P	BAS	I	J	LP
17,338	5,277	9,511	4,553	1,684	2,972	16,017	2,278	17,341	6,181	9,690
20,397	6,209	11,189	5,357	1,981	3,497	18,844	2,679	20,402	6,181	9,690
23,457	7,140	12,868	6,161	2,278	4,021	21,670	3,081	23,462	6,181	9,690



Şekil 2. Rüzgâr Hızı 6 knot İçin Gemi Boyuna Göre Tekne Hızının Değişimi



Şekil 3. Rüzgâr Hızı 12 knot İçin Gemi Boyuna Göre Tekne Hızının Değişimi



Şekil 4. Rüzgâr Hızı 20 knot İçin Gemi Boyuna Göre Tekne Hızının Değişimi

bağlı olarak belirli rüzgâr durumları için bayılma açıları gösteren grafikler elde edilmiştir. Elde edilen bu grafiklerden yola çıkılarak bayılma açısının hesaplanmasında

Tablo 2. Tekne Hızını Hesaplamada Kullanılacak Katsayılar

Rüzgâr Hızı	RTA	Balon	a_1	a_2	a_3
6	45	baştan	0,0019	0,0931	4,2849
6	90	baştan	-0,0036	0,3213	4,154
6	110	baştan	-0,0235	0,8686	0,5635
6	90	kıçtan	-0,0032	0,2625	4,4417
6	120	kıçtan	-0,0112	0,4942	3,1008
6	140	kıçtan	-0,0343	1,0725	-1,2935
12	45	baştan	0,0091	-0,0174	5,6943
12	90	baştan	-0,0104	0,5615	3,7687
12	110	baştan	-0,0251	0,9701	1,6089
12	90	kıçtan	-0,0056	0,416	4,3904
12	120	kıçtan	-0,0166	0,714	3,3133
12	140	kıçtan	-0,0333	1,1384	0,8396
20	45	baştan	0,0071	0,089	5,0863
20	90	baştan	-0,0193	0,8713	2,3848
20	110	baştan	-0,0238	1,0098	1,9673
20	90	kıçtan	-0,0163	0,7669	2,8058
20	120	kıçtan	-0,0224	0,9418	2,8294
20	140	kıçtan	-0,0287	1,1029	2,6986

kullanılan katsayılar elde edilmiştir.

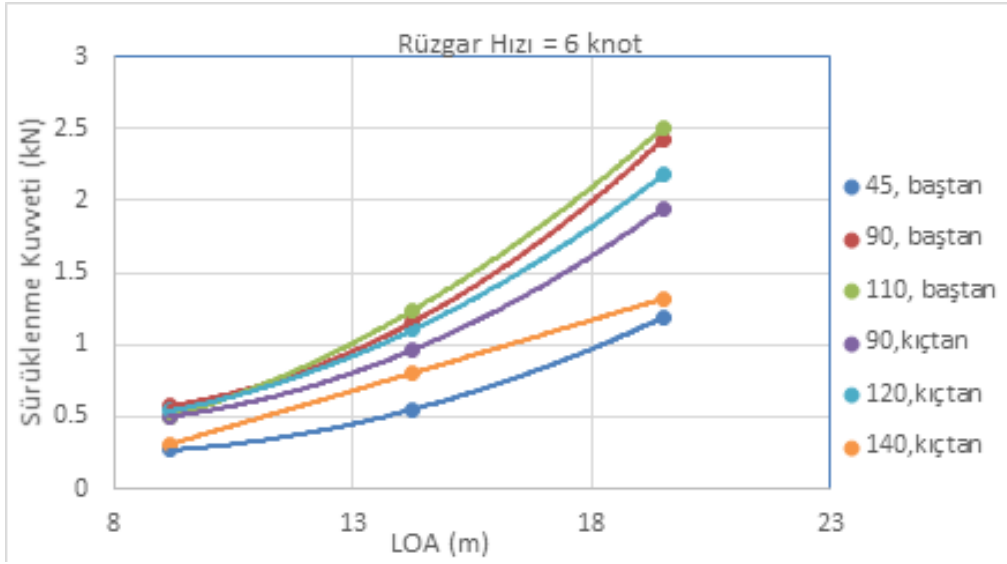
Belirlenen rüzgâr durumlarında 9 ile 20 m boy aralığındaki tekneler için sürüklenme kuvveti ve bayılma açısını veren denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Sürüklenme Kuvveti} = b_1 * L_{OA}^2 + b_2 * L_{OA} + b_3 \quad (5)$$

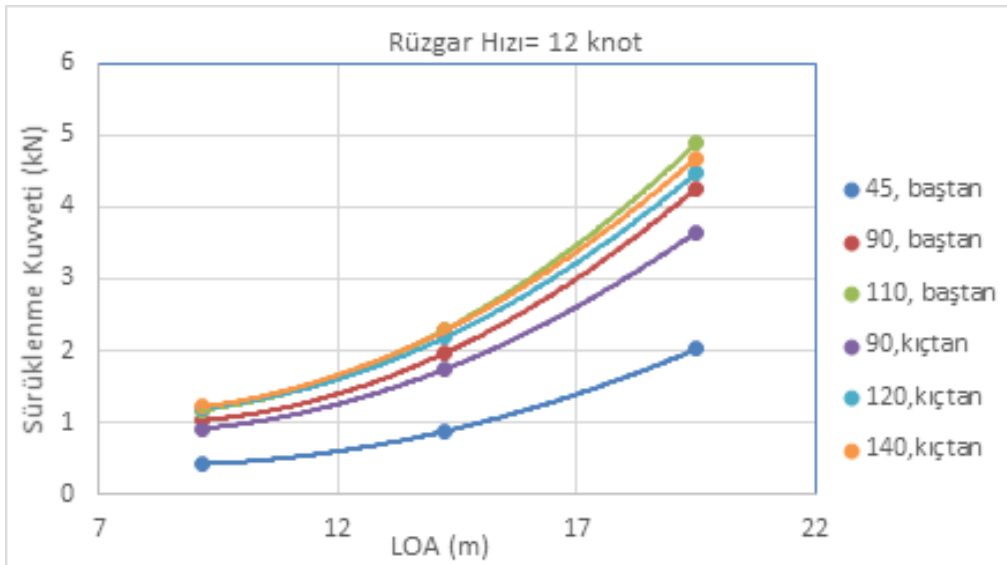
$$\text{Bayılma Açısı} = c_1 * L_{OA}^2 + c_2 * L_{OA} + c_3 \quad (6)$$

Denklemler 5'teki b_1 , b_2 ve b_3 katsayıları ve denklemler 6'daki c_1 , c_2 ve c_3 katsayıları Tablo 3'te belirtilmiştir. Hesaplama yapılmak istenen rüzgâr hızı ve açısı için belirlenen katsayı değerleri seçilerek denklemlerde yerine kullanıldığında o rüzgâr durumundaki sürüklenme kuvveti ve bayılma açısı değeri hesaplanmış olacaktır.

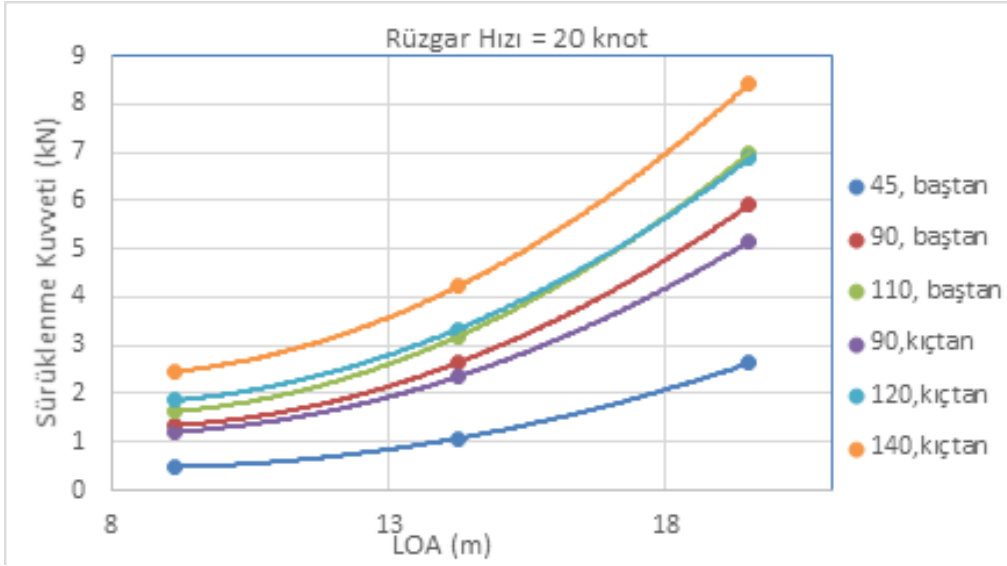
Yelken donanımının boyutlarının belirlenmesi de, aynı şekilde her rüzgâr koşulu için tespit edilen sonuçların en iyi %25'lik dilimi kullanılarak sağlanmıştır. Daha önce her koşulda elde edilen verilerin ortalama değerlerinden faydalanarak gemi boyuna bağlı tekne hızı denklemleri



Şekil 5. Rüzgâr Hızı 6 knot İçin Gemi Boyuna Göre Sürüklenme Kuvvetlerinin Değişimi



Şekil 6. Rüzgâr Hızı 12 knot İçin Gemi Boyuna Göre Sürüklenme Kuvvetlerinin Değişimi



Şekil 7. Rüzgâr Hızı 20 knot İçin Gemi Boyuna Göre Sürüklenme Kuvvetlerinin Değişimi

Tablo 3. Sürüklenme Kuvveti ve Bayılma Açısı Katsayılarını Hesaplama Kullanan Katsayılar

Rüzgar Hızı	RTA	Balon	b_1	b_2	b_3	c_1	c_2	c_3
6	45	baştan	0,0064	-0,094	0,5907	-0,0928	2,658	1,6613
6	90	baştan	0,0092	-0,0699	0,3603	-0,0965	2,6562	2,8416
6	110	kıçtan	0,0124	-0,175	1,1412	-0,466	13,557	-79,448
6	90	kıçtan	0,0093	-0,1277	0,8867	-0,1312	3,4831	-3,2031
6	120	kıçtan	0,0091	-0,1013	0,7057	-0,2539	7,1367	-31,546
6	140	baştan	0,0001	0,0942	-0,5649	-0,1062	3,0372	-16,012
12	45	baştan	0,0122	-0,1958	1,1924	0,0235	-0,5894	24,747
12	90	baştan	0,0243	-0,3847	2,5152	0,0422	-1,056	28,33
12	110	kıçtan	0,0263	-0,3945	2,584	-0,0781	2,3353	4,453
12	90	kıçtan	0,0193	-0,288	1,9381	0,0336	-0,8561	27,178
12	120	kıçtan	0,0234	-0,3551	2,495	-0,0211	0,5468	18,486
12	140	baştan	0,0237	-0,3444	2,3819	-0,3089	8,6595	-41,424
20	45	baştan	0,0174	-0,2905	1,6783	0,0245	-0,6195	26,173
20	90	baştan	0,0358	-0,5828	3,6846	0,043	-1,186	30,944
20	110	kıçtan	0,0404	-0,6389	4,0942	0,0546	-1,5095	33,366
20	90	kıçtan	0,03	-0,4781	3,0735	0,0097	-0,2447	25,174
20	120	kıçtan	0,0368	-0,5711	4,004	0,0588	-1,6003	33,452
20	140	baştan	0,044	-0,6831	5,031	-0,0152	0,4531	19,64

her bir rüzgâr koşulu için elde edilmişti. Bu aşamada ise 9,15; 14,25 ve 19,50 m tekne boylarında elde edilen bu ortalama değerlerin tekne boyu sabit kalmak üzere kendi içinde ortalamaları alınarak her bir boy için her rüzgâr koşulunda kullanımı kabul edilebilecek bir yelken donanımı elde etmek mümkün olmuştur. Bu işlemden sonra belirlenen yelken donanımlarından yola çıkarak tekne boyuna bağlı olarak kullanışlı sayılabilecek yelken donanımlarının boyutlarının belirlenebilmesi mümkün kılınmıştır. SL, SPL, SMW, E, MGU, MGM, P, I, J ve LP yelken boyut parametrelerini gösteren eğriler Şekil 8’de verilmiştir.

Yelken donanım boyutlarını belirlemede kullanılacak denklemler ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak SL değeri için} \\ \text{SL}=0,0542*L_{OA}^2-0,0661*L_{OA}+8,6236 \quad (7)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak SPL değeri için} \\ \text{SPL}=0,0041*L_{OA}^2-0,3295*L_{OA}+0,661 \quad (8)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak SMW değeri için} \\ \text{SMW}=0,0073*L_{OA}^2-0,5937*L_{OA}+1,1914 \quad (9)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak E değeri için} \\ \text{E}=0,0017*L_{OA}^2+0,3378*L_{OA}+0,313 \quad (10)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak MGU değeri için} \\ \text{MGU}=0,0006*L_{OA}^2+0,1249*L_{OA}+0,1157 \quad (11)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak MGM değeri için} \\ \text{MGM}=0,0011*L_{OA}^2+0,2205*L_{OA}+0,2043 \quad (12)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak P değeri için} \\ \text{P}=-0,0124*L_{OA}^2+1,8012*L_{OA}-2,6874 \quad (13)$$

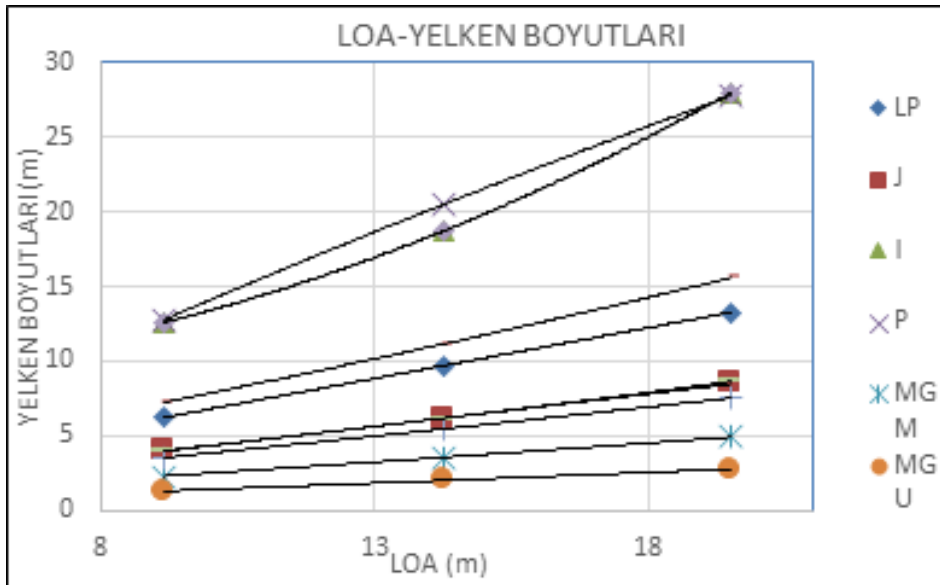
$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak I değeri için} \\ \text{I}=0,0542*L_{OA}^2-0,0661*L_{OA}+8,6252 \quad (14)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak J değeri için} \\ \text{J}=0,4338*L_{OA}-5E-14 \quad (15)$$

$$\text{Gemi boyuna bağlı olarak LP değeri için} \\ \text{LP}=-1E-15*L_{OA}^2+0,68*L_{OA}-3E-13 \quad (16)$$

4. Sonuçlar ve Öneriler

Elde edilen denklemler ile istenilen tekne boyu için yelken donanım boyutları belirlenmesi sağlanmıştır. Belirlenen yelken donanımına ait teknenin hızını, bayılma açısını ve tekneye etkien sürüklenme



Şekil 8. Tekne Boyuna Bağlı Olarak Yelken Donanım Boyutlarının Değişimi

kuvvetlerini yapılan çalışma sonucunda elde edilen denklemler vasıtasıyla hesaplamak mümkün kılınmıştır. Elde edilen tüm bu denklemlerden yararlanılarak 16 m ve 18 m boya sahip tekneler için olası sonuçlar denklemler yardımıyla tahmin edilmiştir. Sonuçlar programdan alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Her iki uygulama için tekne hızı, bayılma açısı ve sürüklenme kuvvetleri için ayrı ayrı yapılan hesaplama sonuçlarına göre toplam hata ortalaması %1,75 civarında olduğu görülmektedir. Sonuç olarak ön dizayn aşamasında kullanılmak üzere uygun yelken boyutlarının belirlenmesi elde edilen denklemlerle mümkün olabilir. Bu denklemlerle belirlenen yelken donanımı için tekne performansı verilerinin hesaplanması sağlanmaktadır.

İlerideki çalışmalarda, incelenen rüzgâr hızı ve açısının aralıklarını sıklaştırıp elde edilen sonuçlar regresyon analizi ile yorumlanabilir. Tek bir denklemde tekne boyu ve rüzgâr koşulu verilerini girerek yatların performans değerlerinin hesaplanmasını sağlayan denklemler elde edilebilir.

Kaynakça

- [1] Gentry, A. (1971). Yacht - The Aerodynamics Of Sail Interaction. The Aerodynamics of Sail Interaction. Redondo Beach, California: Proceedings of the Third AIAA Symposium on the Aero/Hydraulics of Sailing.
- [2] Gentry, A. (1981). A Review of Modern Sail Theory. A Review of Modern Sail Theory. Seattle, Washington: Proceeding of Eleventh AIAA Symposium on the Aero/Hydraulics of Sailing.
- [3] Lasher, W. C., & Sonnenmeier, J. R. (2008). An analysis of practical RANS simulations for spinnaker aerodynamics. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96(2), 143-165.
- [4] Hugh Elkaim, G., & Lee Boyce, C. O. (2010). Experimental Aerodynamic Performance Of A Self-Trimming Wing-Sail For Autonomous Surface Vehicles. IFAC Proceedings Volumes, 40(17), 271-276.
- [5] Viola, I. M. (2009). Downwind sail aerodynamics: A CFD investigation with high grid resolution. Ocean Engineering, 36(12-13), 974-984.
- [6] Ryn, D. Van. (2009). Optimisation of NS14 Sail Design.
- [7] Detlefsen, O. (2010). Predicting the Effects of Interaction between Yachts Sailing Upwind Att förutse effekterna av interaktion mellan båtar som seglar på kryss. Stockholm.
- [8] Bergsma, F., Motta, D., Le Pelley, D. J., Richards, P. J., & Flay, R. G. J. (n.d.). Investigation of sailing yacht aerodynamics using real time pressure and sail shape measurements at full scale.
- [9] Blakeley, A. W., Richard Flay, Aucklanduniacnz G., Furukawa, H., & Richards, P. J. (2015). Evaluation Of Multi-Element Wing Sail Aerodynamics From Two-Dimensional Wind Tunnel Investigations.
- [10] Deparday, J., Bot, P., Hauville, F., Augier, B., & Rabaud, M. (2016). Full-scale flying shape measurement of offwind yacht sails with photogrammetry. Ocean Engineering, 127, 135-143.
- [11] Cella, U., Salvadore, F., & Ponzini, R. (n.d.). Partnership for Advanced Computing in Europe SHAPE Project-Design Methods: Coupled Sail and Appendage Design Method for Multihull Based on Numerical Optimisation Coupled Sail and Appendage Design Method for Multihull Based on Numerical Optimisation 2.

- [12] Keuning, J A, Sonnenberg, U. B. (1998). __Delft systematic yacht hull series__
Hydrodynamic forces sailing yachts.
Approximation of the Hydrodynamic Forces on a Sailing Yacht Based on the “Delft Systematic Yacht Hull Series,” 99–152. Amsterdam: 15th International Symposium on Yacht Design and Yacht Construction.
- [13] Sarı, S. (2019). 9- 20 Metre Boy Araliğında Salmali Yatların Parametrik Yelken Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.