

Boğaziçi Üniversitesi
Yelken Takımı

Salma Tasarımı
: Akışın Etkisi

Oytun Babacan

Ağustos 2009

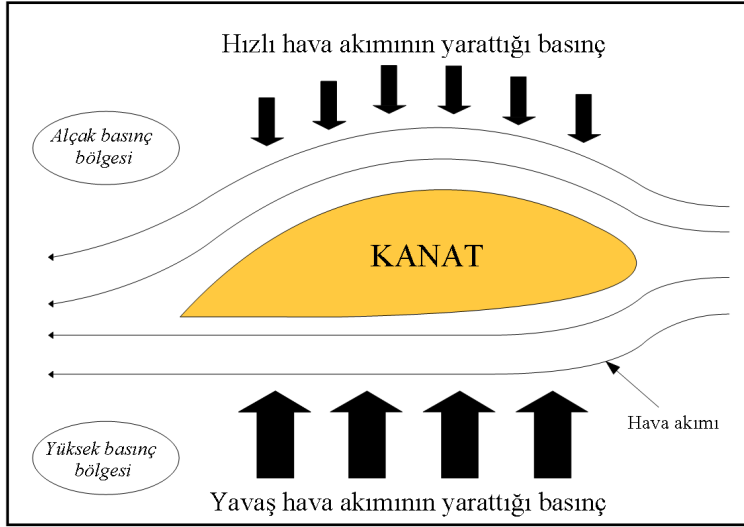
1. GİRİŞ

Ne tasarımı olursa olsun, o tasarıma neden ihtiyaç duyduğumuzu irdelemek ve bu ihtiyaçlarımızın tasarım tarafından nasıl karşılandığını anlayabilmek günlük kullanımımızı daha verimli ve anlamlı kılacaktır. Bu makale de temel olarak salmanın bir yelkenli tekne için ne ifade ettiği üzerine kurulmuştur. Sade görünüşünün aksine karmaşık bir yapıyla elzem görevler üstlenen salmayı incelemek yelkencilikle uğraşan kişiler için önem taşımaktadır. Zira yelkende üretilen güçten faydalanabilmek çoğu koşulda salma sayesinde. Aynı zamanda "İdeal tek bir salma tasarımı olabilir mi?" gibi önemli bir sorunun cevabını verecek teknik bilgiyi edinmenin yelkencilere denizde değişik bir bakış açısı kazandıracağı inancındayım. Öte yandan amacım okuyuculara salma tasarımı konusunda ayrıntılı teknik ve pratik bilgi kazandırmak değil, okuyucuların salma ve tasarımı hakkında akışkanlar mekaniği açısından belli başlı fikirleri tanımasını sağlamaktır.

2. SALMANIN ÇALIŞMA ŞEKLİ

Yelkenli bir tekne gövdesi su yüzeyinde, kanatları ise dikey düzlemde ilerleyen farazi bir uçağa benzetilebilir. Gerçek bir yelkenli teknenin de bu farazi uçak gibi iki “kanadı” vardır: Salması ve yelkeni. Böyle bir benzetmenin yapılması uçakta kanatların, yelkenli teknede ise salmanın ve yelkenin temelde aynı fizik kuralına bağlı olarak çalışmasından dolayıdır. Bu ortaklığı yaratan fiziksel ilke Bernoulli İlkesi’dir. Bernoulli İlkesi basitleştirilmiş haliyle şu kuralı ortaya koyar: Akmaya direnç göstermeyen bir akışkan kümesinin hızı arttıkça yarattığı basınç düşer. Su ve hava akmaya karşı az da olsa direnç gösteren akışkanlardır fakat gündelik yaşamımızdaki çoğu uygulamada su ve hava akmaya direnç göstermeyen akışkanlar olarak kabul edilebilir. Yapılan bu varsayım bu akışkanların akış davranışlarını Bernoulli İlkesi ile incelemeyi mümkün hale getirir. Bu sayede ise salma ve yelken etrafındaki akışı gerçekte olduğundan daha basit ama gerçeğine çok yakın bir şekilde biçimlendirebiliriz.

Şekil 1’de bir uçak kanatı etrafında akan havanın kanat üzerinde yarattığı değişik büyüklükteki basınç bölgelerini görmekteyiz. Kanadın burnuna ulaşan hava molekülleri

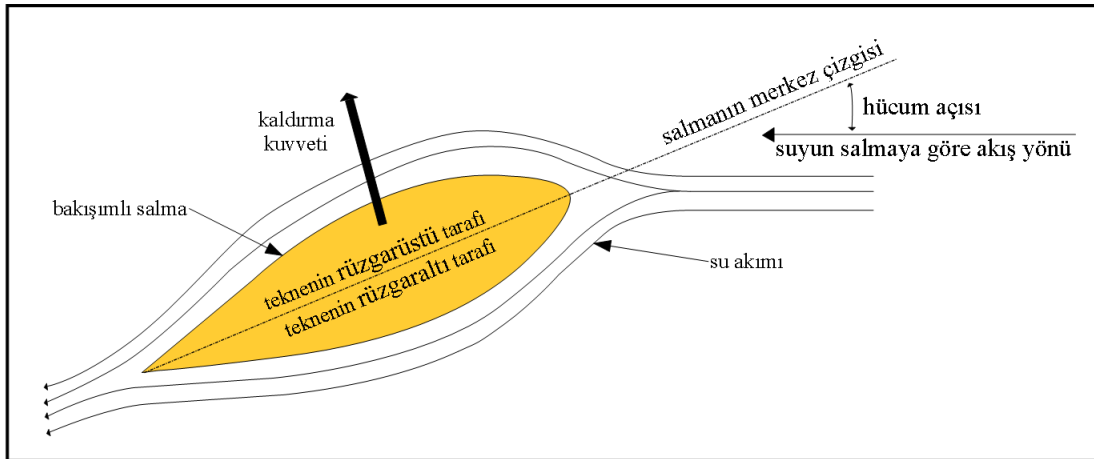


Şekil 1: Kanat üzerinde kaldırma kuvveti oluşumu

burada kanadın iki tarafından akmaya zorlanır. Kanadın üst tarafından akan moleküller kanadın şeklinden ötürü daha uzun bir yol katetmek zorunda kalırlar. Bunu sağlamak için kanadın üst tarafı dışbükey, alt tarafı ise düz olarak tasarlanmıştır. Bir varsayım yapalım: Burunda ayrılan ve üst uzun taraftan akan hava eğer alt kısa taraftan akan havayla eş hızda aksaydı kuyruğun üstünde havasız bir bölge, yani boşluk (vakum) oluşurdu. Gerçek hayatta hava bu boşluğun içine doğru çekilir veya başka bir ifadeyle hava boşluk oluşumunu engellemek için hızlanmak zorundadır. Bernoulli İlkesi bu durumda kanadın üst kanadında basıncın düşeceğini öngörür. Hava yüksek basınçtan alçak basınca doğru akmak isteyeceğinden kanat üzerinde yukarı doğrultuda bir *kaldırma kuvveti* ortaya çıkar ve bu sayede uçağımız havalanır. Bu olgu konuyla ilgili yazılmış eserlerde “Uzun Yol Açıklaması” diye de adlandırılmaktadır.

Uçak kanatlarında görülen bu olgu benzer bir şekliyle yelkenli teknenin salmasında da görülmektedir. Bilindiği üzere salma etrafında hava molekülleri yerine su molekülleri akar ama salmalar ve kanatlar birçok yönden benzer şekilde tasarlanırlar. İkisinin de uzunlukları tasarımın üretmesi gereken kaldırma kuvvetine göre belirlenir. Genelgeçer bir kural olarak daha yüksek bir kaldırma kuvveti gerektiren kanat veya salma tasarımları daha uzun olmalıdırlar. İkinci olarak tasarımlardan ileri götürücü kuvvetten azami derecede faydalanmaları beklenir. Bu nedenle yapıları harekete karşı oluşan direnci azaltmaya yönelik tasarlanır. Örnek olarak *bıçak* incelikleri veya yüzey pürüzleri iki tasarım içinde önemlidir.

Salma ile kanadı birbirinden ayıran en temel özellik şekilleridir. Uçak kanadının temel yapısı uçağın yüksekliğini arttırmaya, yani yerçekimi kuvvetini yenmeye çalışacak şekilde tasarlanır. Bu yüzden alışılmış kanatların üst şeklinin dışbükey, alt şeklinin düz veya içbükey olmasında bir sakınca yoktur. Öte yandan salma her iki tarafa da kaldırma kuvveti üretmelidir çünkü sancak ile iskele kontrada yelkenli tekne farklı yönlere kaldırma kuvveti ihtiyacı içinde olacaktır. Bu yüzden uçak kanadına benzeyen bir salma tasarımı bir kontrada gözle görülür bir üstünlük sağlayacakken diğer kontrada ciddi sıkıntılar yaşatacaktır. Bu nedenle salmalar yaygın olarak bakışimli (simetrik) bir şekilde tasarlanırlar.¹ İlk bakışta bakışimli bir tasarımdan "Uzun Yol Açıklaması"na uygun olarak *kaldırma kuvveti* yaratamayacak olması beklenir. Zira bakışimli bir tasarımın iki yüzeyi üzerinden akacak akışkan aynı yolu katedecektir ve akışkan gereken basınç farkını yaratamayacaktır. Bu duruma karşın bakışimli salmalar *hücum açısı* sayesinde *kaldırma kuvveti* üretebilir. Bakışimli salmalar için *hücum açısı* (*rüzgaraltına düşme açısı*) Şekil 2'de görülebileceği üzere suyun *bıçağa* çarparken *bıçağın* merkez çizgisi ile yaptığı açıdır ve sabit salmalarda *rüzgaraltına düşme* sayesinde oluşur.



Şekil 2: Bakışimli salmada kaldırma kuvveti oluşumu

¹ Bakışimsız (asimetrik) salma tiplerinin çeşitli uygulamaları yaygın olmasa da mevcuttur. Örnek olarak yarış amaçlı teknelerde ikiz bakışimsız oynar salma tasarımları denenmektedir. Bakışimli salmaya sahip teknelere göre üstün seyir özelliklerine sahip olmalarına karşın kullanım ve tasarım açısından zorluğu nedeniyle özellikle seyir amaçlı yelkenlilerde henüz tercih edilmemektedir.

Rüzgaraltına düşme yelkenli teknenin izlediği rota üzerinde istenmeyen bir şekilde rüzgaraltına doğru sürüklenmesidir. *Rüzgaraltına düşmenin* başlıca nedeni rüzgar, akıntı ve/veya dalganın tekne üzerinde yarattığı yanal kuvvettir. Salmanın en temel işlevi tekneyi sürükleyen bu yanal kuvveti karşılamak ve yelkenli teknenin istenilen rotaya doğru ilerlemesini sağlamaktır. Bu amaca karşın bakışumlu salmaların *kaldırma kuvveti* üretilip *rüzgaraltına düşmeyi* engelleyebilmeleri için *rüzgaraltına düşmeye* ihtiyaçları vardır. Bu ikilem Şekil 2 ile daha anlaşılır hale gelecektir. Şekil 2’de görülebileceği üzere tasarımı itibariyle merkez çizgisine göre bakışumlu olan salma *rüzgaraltına düşme* sayesinde “*Uzun Yol Açıklaması*”nı yapay olarak kullanabilir hale gelir. Salmanın rüzgaraltı tarafından akan su sürüklenme nedeniyle salmanın kuyruğuna daha kısa bir yol izleyerek ulaşır. Diğer yandan salmanın rüzgarüstü tarafından akan su kuyruğa ulaşmak için daha uzun bir yol izlemek zorunda kalır. Bu nedenle rüzgarüstü tarafından akan su hızlanır ve hızlanırken basıncı düşer. Böylece salma üzerinde rüzgaraltı taraftan rüzgarüstü tarafa doğru bir *kaldırma kuvveti* oluşturur. Bu *kaldırma kuvveti* sayesinde yanal kuvvete karşı bir direnç oluşur ve *rüzgaraltına düşme* büyüklüğü azalır.

Bir bakışumlu salmanın verimi birim oranda *rüzgaraltına düşme* sırasında üretebildiği *kaldırma kuvveti* ile ifade edilebilir. Az *rüzgaraltına düşme* ile yüksek *kaldırma kuvveti* üretebilen salma üstün nitelikte bir salmadır ve tasarımcının peşinde olduğu da buna ulaşmaktır. Buradan çıkarılabilecek önemli bir sonuç ise akıntı gibi etkenleri yoksaydığımızda teorik olarak bakışumlu *sabit* bir salmaya sahip hiçbir yelkenli teknede hedeflenen rota ile teknenin izlediği rota aynı olamaz. Öte yandan bakışumlu salmamız eğer omurga hattı boyunca uzanmak yerine istendiği vakit omurga hattıyla belli bir açı yapabilecek bir mekanizmaya sahip olursa oldukça az bir *rüzgaraltına düşme* ile kaldırma kuvveti üretebilir. Zira salma için gerekli *hücum açısı* salmayı konumlandırarak sağlanabilir. Diğer yandan tasarım açısından barındırdığı zorluklar nedeniyle bu tür yönlenebilir salma tasarımları özellikle büyük teknelerde rağbet görmemektedir.

3. SALMANIN TEKNE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Salma yelkenli teknenin vazgeçilmez bir parçasıdır. Teknenin ihtiyaç duyduğu safraya ev sahipliği yapar. Taşıdığı safranın yerleştirilmesi teknenin baş ile kıcımın yatay çizgiye göre konumunu belirler. Taşıdığı safranın büyüklüğü ile teknenin su hattını çizer. Tekneye etkileyen yanal kuvvetlere karşı kaldırma kuvveti üreterek direnç gösterir ve aynı zamanda teknenin bu kuvvetlere karşı gösterdiği toplam direncin merkezini belirler. Ürettiği kaldırma kuvveti ile teknenin hızına katkıda bulunur. Teknenin ağırlık merkezini derine çeker ve teknenin dengesini artırır. Salmanın tüm bu işlevleri yerine getirmesi elbette belli başlı fiziksel kurallara bağlı olarak gerçekleşebilmektedir fakat özellikle salmanın su akışıyla ilgili tasarımında teorik çalışmalar yapmak hesaplamaların karmaşıklığından ötürü tercih edilmemektedir ve bazı zamanlar mümkün bile değildir. Bu

yüzden çağdaş salma üretimi ağırlıklı olarak su havuzlarında uygulanan deneysel yöntemler ile birlikte yürütülmektedir. Buna karşın teorik çalışmalar tasarımcıya temel bazı görüşleri edinmesinde yardımcı olması açısından önemlidir. Zira tasarımcının neyin işe yarayıp neyin yaramayacağını örnek üretimden önce kestirebilmesi ona hem zaman kazandıracaktır hem de son ürünün maliyetini düşürecektir.

3.1. Kaldırma kuvveti

Tasarımcının salma tasarımında yararlandığı en temel teorik ilişki kaldırma kuvveti hakkındadır. Kaldırma kuvveti ihtiyacını karşılayacak bir tasarım yaratmak için üç değişkeni belirleyebilmek önemlidir. Bu değişkenler tasarım için öngörülen alan, tasarımın hızı ve tasarım etrafından akacak akışkanın yoğunluğudur. Bu üç değişkenin kaldırma kuvveti ile olan ilişkisi Denklem 1’de verilmiştir.

$$\text{Kaldırma Kuvveti (KK)} = 0.5 \times \text{KK Sabiti} \times \text{Akışkan yoğunluğu} \times \text{Salma Alanı} \times (\text{Salma Hızı})^2 \quad (1)$$

İlk olarak akışkan yoğunluğunu irdeleyelim. Eski dönemlerde yelkenli tekneler yöresel olarak üretilip yöresel olarak kullanılırken değişik coğrafyalarda benzer amaçlar için kullanılan tekneler arasında birçok farklılık yakalamak mümkündü. Bu farklılıkların bazıları bölgenin kültürüyle yakından ilgili olsa bile çoğu farklılıklar tamamen bölgenin özelliği ile ilintiliydi. Suyun niteliğinin salma üzerindeki etkisi de bu tür bölgesel bir ilişkidir. Örneğin göl suyunun yoğunluğu deniz suyundan azdır. Bu yüzden bir göl yelkenlisi kendisine benzer bir deniz yelkenlisinden değişik (büyük, uzun vs.) bir salmaya ihtiyaç duyar. Başka bölgesel bir farklılık suyun sıcaklığıdır. +4°’ye kadar suyun sıcaklığı düştükçe suyun yoğunluğu artar. Bu durumda Avrupa’nın kuzeyinde kullanılacak bir yelkenli teknenin ülkemizde kullanılacak eş bir yelkenli tekne ile benzer bir salma kullanmaları beklenmemelidir. Günümüzde küresel bir kullanım alanı yakalayacak tekneler üreten tasarımcıların tasarımlarında bu değişkeni göz önünde bulundurması gereklidir. Küçük teknelerde bazı zamanlar göz ardı edilebilecek bu değişken üstün başarımlar beklenen büyük teknelerde önemli bir etken olabilir.

Denklem 1’de görüleceği üzere salma hızı üretilen kaldırma kuvveti üzerindeki etkili değişkendir. Dolayısıyla hıza yatkın bir tekne yavaş teknelere kıyasla daha küçük bir salma ile daha büyük bir kaldırma kuvveti üretebilir. Tasarımcı için salma alanı ve hızının arasındaki ilişki hakkında önemli bir denge ise şu şekildedir: Salma alanının büyümesi salma üzerinden akan suyun yarattığı sürtünme kuvvetini arttıracak ve tekneyi yavaşlatacaktır. Yani salma alanı arttığı için büyüyen kaldırma kuvveti, salma hızı azaldığı için küçülecektir. Eğer artan salma alanına göre tekne bir hayli yavaşlıyorsa sonuçta elde edilen kaldırma kuvveti öncekinden küçük olacaktır. Öte yandan eğer salma alanı büyüdükçe hızda önemli bir değişiklik olmuyorsa kaldırma kuvveti öncekinden yüksek olabilir. Görüldüğü üzere tasarımcının en uygun tasarıma karar verebilmesi için *akışkan direnci* hakkında da yeterli bilgisinin olması gerekmektedir.

3.2. Akışkan direnci

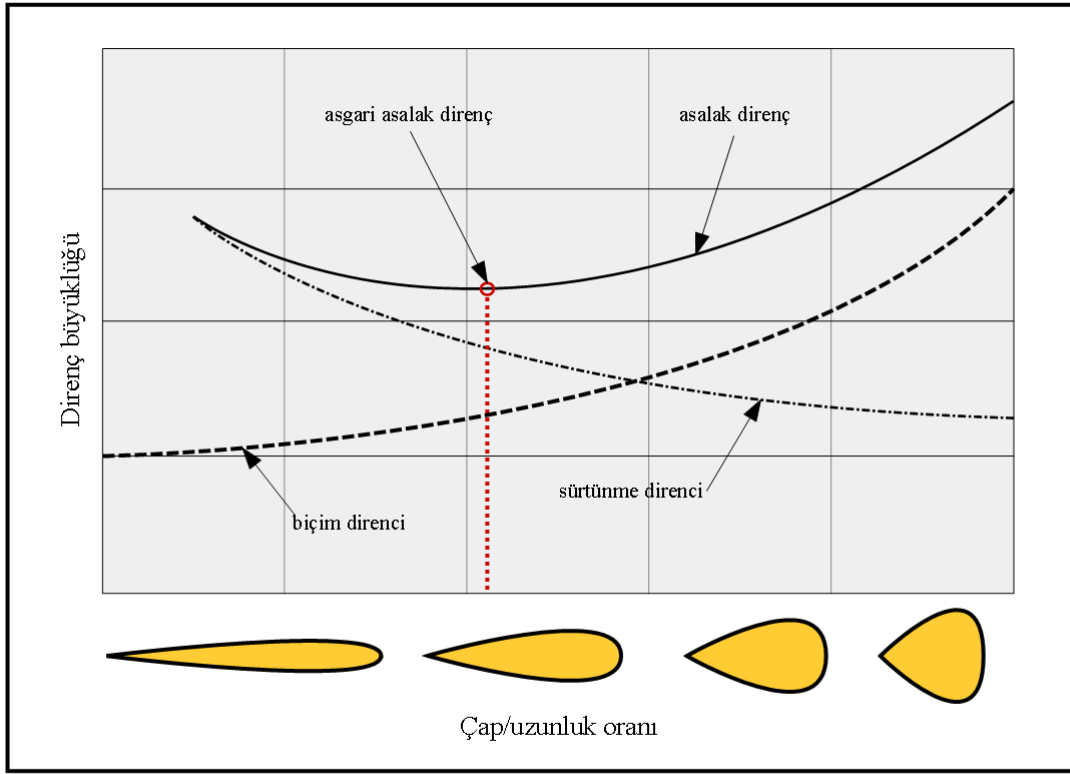
Salmanın temel bir işlevi *kaldırma kuvveti* üretmektir. Öte yandan kaçınılmaz bir durum salmanın *akışkan direnci* ile karşılaşmasıdır. Bu istenmeyen direnç, tekneyi ilerletmek için yelkenler aracılığıyla dönüştürülen gücün israfına neden olur ve tekneyi yavaşlatır. Yelkenli tekneler, içten yanmalı motor kullanan teknelere kıyasla hız odaklı işlevlere sahip olmasalar bile koşulların izin verdiği azami hıza erişmek yelkenli tekne tasarımlarında birincil amaçlar arasında gelir. Sadece tasarım safhasında değil, kullanım sırasında da temel amaç tekneyi verimli, yani çoğu zaman hızlı kullanmaktır. Bu nedendir ki yelkenciliğin özü olan trim, anlık değişken şartlarda eldeki tekne ile rüzgar kuvvetinden azami ölçüde yararlanmayı amaçlar. Tasarımcı da tekne suya inmeden onu yavaşlatacak her etkeni kısıtlamaya gayret eder. Salma ise tasarımcının aşması gereken zorlu engellerden biridir. Yazının ilerleyen kısımlarında göreceğimiz üzere *akışkan direnci* tasarımı çoğu açıdan kısıtlayan sonuçlar yaratır.

Akışkanların içinde yol alan katı cisimler hareketlerini azaltan *akışkan direncine* maruz kalırlar. Yelkenli tekne salmalarını ilgilendiren *akışkan direnci* iki temel tür olarak görülür: *Asalak direnç* ve *indüklenmiş direnç*.²

3.2.1. Asalak direnç

Asalak direnç büyüklüğü ne olursa olsun sürekli varolması nedeniyle ‘asalak’ olarak tanımlanmıştır. Temel olarak iki alt türden oluşur: Akış halindeki suyun salma yüzeyine teması ile oluşan *sürtünme direnci* ve tasarım şeklinden kaynaklanan *biçim direnci*. *Asalak direnç* orsa, apaz veya pupa seyirlerinde koşullardan bağımsız hep varolacağı için bu direnci düşük tutmak tasarımın genel başarımını arttıracaktır. Bu dirençlerin tasarımda oluşumu çeşitli örnekleri irdeleyerek görebiliriz. Teknenin su ile temas eden yüzey büyüklüğü arttıkça oluşan *sürtünme direnci* de artacaktır. Bu nedenle salmayı olabildiğince küçük tutmak gerekir. Diğer yandan hatırlayacağımız üzere salmayı küçültmek üretilen *kaldırma kuvvetini* de küçültür. Tasarımcı salmayı daha çok küçültemediği durumlarda *sürtünme direncini* azaltmak için yüzeyi daha pürüzsüz yapabilir fakat bu da salmanın üretim maliyetini arttıracaktır. Bu değişkenler arasındaki dengeyi tasarımın neye ihtiyaç duyduğu belirleyecektir. *Asalak direncin* ikinci üyesi olan *biçim direncinin* oluşmasında salmanın kalınlığı ve *bıçak kesiti* önemlidir. Kaba bir deney düzeneği ile basitçe kanıtlayabileceğimiz üzere kalın bir cismin suyu yarması daha ince bir cisme göre zordur. (Örneğin bir bıçağın keskin ucu ile yan kısmının suyu yarma kolaylığını kıyaslayabiliriz.) Buradan çıkarabileceğimiz bir sonuç şöyledir: Salmanın kalınlığının artması *biçim direncini* arttıracaktır. Nitekim dikkatle yapılmış deneysel

² Tekne gövdelerinde önemli bir etkisi olan *dalga oluşumdan kaynaklanan direnç* salma gibi tamamen su içinde bulunan ve dolayısıyla dalga üretmeyen uzantılar için önem taşımamaktadır. Diğer yandan seyir esnasında gövdenin ürettiği dalgalar teknenin hareketine gösterilen toplam direnç içerisinde ciddi bir paya sahiptir.



Şekil 3: Balbın çap/uzunluk oranı ile değişen asalak direnç büyüklükleri

Şekil, kaynak [1]'den değiştirilerek alınmıştır.

çalışmalar da bunu kanıtlar. Buna ek olarak salmanın neresinin kalın neresinin ince olacağı da önem taşır. Yapılan araştırmalar *bıçak kesitlerinin* azami kalınlıkları değişmese bile en kalın yerlerinin suyu kestiği uca uzaklığının *biçim dirençlerini* değiştirdiğini saptamıştır.³

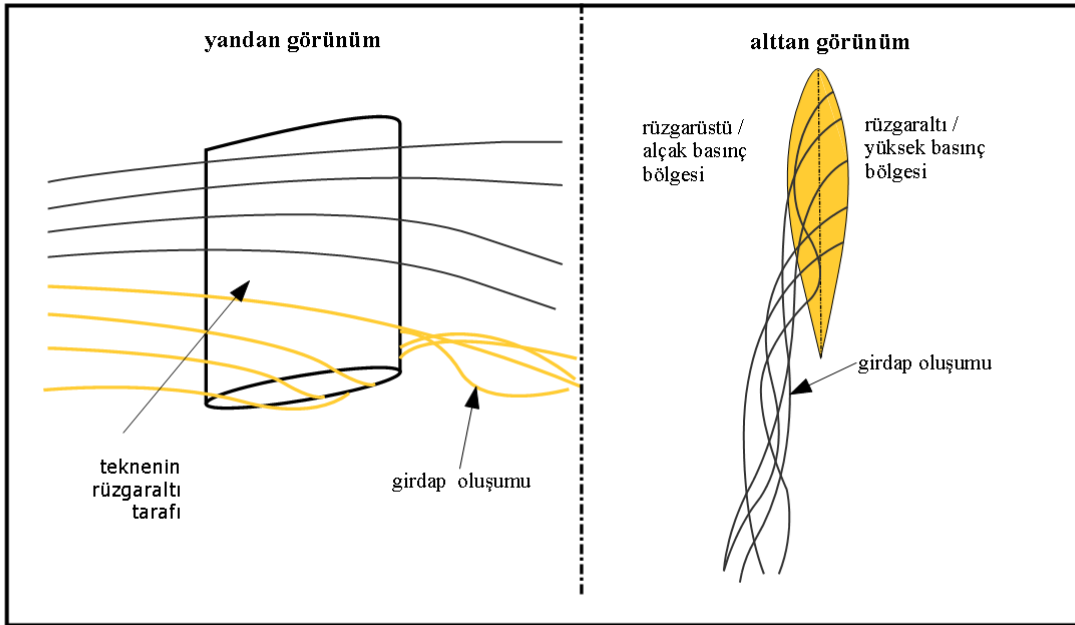
İki direnç çeşidi hakkında bilinmesi gereken önemli bir bilgi iki çeşidin birbirine sıkı bir şekilde bağlı olduğudur. Şekil 3 'fin' tipi salma tasarımlarında görülen balbın çap/uzunluk oranına göre değişen *biçim direncini* göstermektedir. *Biçim direnci*, balb ince ve düz bir şekle sahipken tasarımın inceliğinden dolayı azdır fakat toplam yüzey alanı yüksek olduğu için *sürtünme direnci* fazladır. Balb daha dolgun, yağmur damlasına benzer bir biçim aldıkça yüzey alanı ve dolayısıyla *sürtünme direnci* azalmakta, kalınlaşan şeklinden ötürü ise *biçim direnci* artmaktadır. Şekil 3'de görüldüğü üzere ve benzer örnekler incelendiğinde görüleceği üzere ne *sürtünme direncini* ne de *biçim direncini* azaltmak için bağımsız kararlar verilemez. En az *biçim direncine* veya en az *sürtünme direncine* sahip bir tasarım gerçekte en az *asalak dirence* sahip bir tasarım olmayabilir. Nitekim şekil 3'de yuvarlak içine alınmış nokta asgari direnç noktasını belli etmektedir. Tasarımcının arzuladığı 'iki direncin toplamının' asgari olduğu bu noktaya ulaşmaktır.

³ Uçak kanadı *bıçak kesitlerinin* farklı etkileri Ira H. Abbot ve A.E. von Doenhoff'un "Theory of Wing Sections" adlı eserinde ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Birçok salma tasarımcısı kanat *bıçak kesitlerinin* deneysel verilerini yorumlayarak uygun gördükleri *bıçak şekillerini* salmaya uyarlamaktadır.

Şekil 3’de sadece *asalak direnç* ile balbın çap/uzunluk oranı arasındaki ilişki irdelenmiştir. Etkin tüm değişkenler hesaba katıldığında ilişkiler bu kadar basit kalmamaktadır. Buna ek olarak *indüklenmiş direnç* ile *asalak direnç* arasında da ideal bir nokta bulunması gerekir. Salmanın en/boy oranı, tekne hızı, suyun hücum açısı gibi birçok değişkenin bu dirençler üzerindeki farklı etkisini düşündüğümüzde tasarımın birçok açıdan kısıtlandığını, tasarımcının işinin ise gittikçe karmaşıklaştığını aklımızda canlandırabiliriz.

3.2.2. İndüklenmiş direnç

İndüklenmiş direnç *asalak direncin* aksine salma üzerinde her zaman etkili değildir. *İndüklenmiş direnç*, *kaldırma kuvveti* üretimi sırasında oluşur. Belli bir *hücum açısı* ile sürüklenmekte ve bu sayede *kaldırma kuvveti* üretmekte olan salmanın derin kısmına (uç bölgeye) doğru ilerledikçe su akışının denetimsiz bir şekilde gerçekleştiğini görürüz. Bu durum Şekil 4’de gösterilmiştir. Uç bölgenin aksine salmanın tekne ile birleştiği bölge daha düzgün bir akışa sahiptir çünkü tekne gövdesinin alt yüzeyi, salmanın yardığı su akışı karşısında bir duvar görevi görür ve su akışının sadece salma boyunca ilerleyip kuyruk kısmında birleşmesine izin verir. Salmanın uç kısmında ise suyun akışını denetleyici bir etken yoktur. Salmanın rüzgaraltında oluşan yüksek basınçlı su akışı salma boyunca ilerlemek yerine salmanın açık olan ucundan rüzgaraltındaki



Şekil 4: Salmada girdap oluşumu

alçak basınç bölgesine doğru yönelir. Akışın gitmeyi seçtiği bu ‘kestirme’ yol yüzünden salma kuyruğunda bir girdap oluşur ve bu girdap oluşumu teknenin enerjisini ‘harcar’. Bu

olayın önemli bir sonucu salmanın uç kısmında basınç farkının korunamaması nedeniyle üretilen *kaldırma kuvvetinin* azalmasıdır.

Rüzgaraltına düşmenin daha az olduğu veya olmadığı geniş seyirlerde *indüklenmiş direnç* etkisini göstermez fakat dar seyirlerde teknenin başarımını arttırmak için tasarımcı *indüklenmiş direncin* etkisini azaltacak önlemler almalıdır. Örnek olarak salma uzunluğunu arttırmak etkili bir yöntemdir. Zira *indüklenmiş direnç etkili salma uzunluğunun* karesi ile ters orantı içindedir. Buna rağmen tasarımcı her zaman uzun bir salma tercih etmez. Üretilen teknenin sığ sularda seyir yapabilmesi ve yat limanlarına girebilmesi için salma boyunun belli ölçülerde olması gerekir. Özellikle koy koy gezmeyi seven yelkenciler için her salma boyu uygun değildir. Yine de şartların el verdiği ölçüde uzun bir salma kullanmak dar seyirlerde tekne başarımını oldukça arttıracaktır.

4. SALMANIN VERİMİNİ BELİRLEYEN BAZI ÖĞELER

İyi tasarlanmış bir salma, teknenin ihtiyaç duyduğu kaldırma kuvvetini en az rüzgaraltına düşme ile üretebilmelidir. Böyle bir salma tasarlarken *kaldırma kuvveti* oluşumunu teşvik edici etkenleri destekleyip *akışkan direnci* gibi olumsuz etkenleri kısıtlamamız gerekir. Bunu yapabilmek de salmanın hangi özelliklerinin nasıl bir etkiye sahip olduğunu kavramayı gerektirir. Öğeleri tanıyıp birbirleri arasındaki ilişkileri bilmenin salmanın verimini arttırmadaki önemini kavramak için takip eden bölümlerde birkaçı üzerinde duralım.

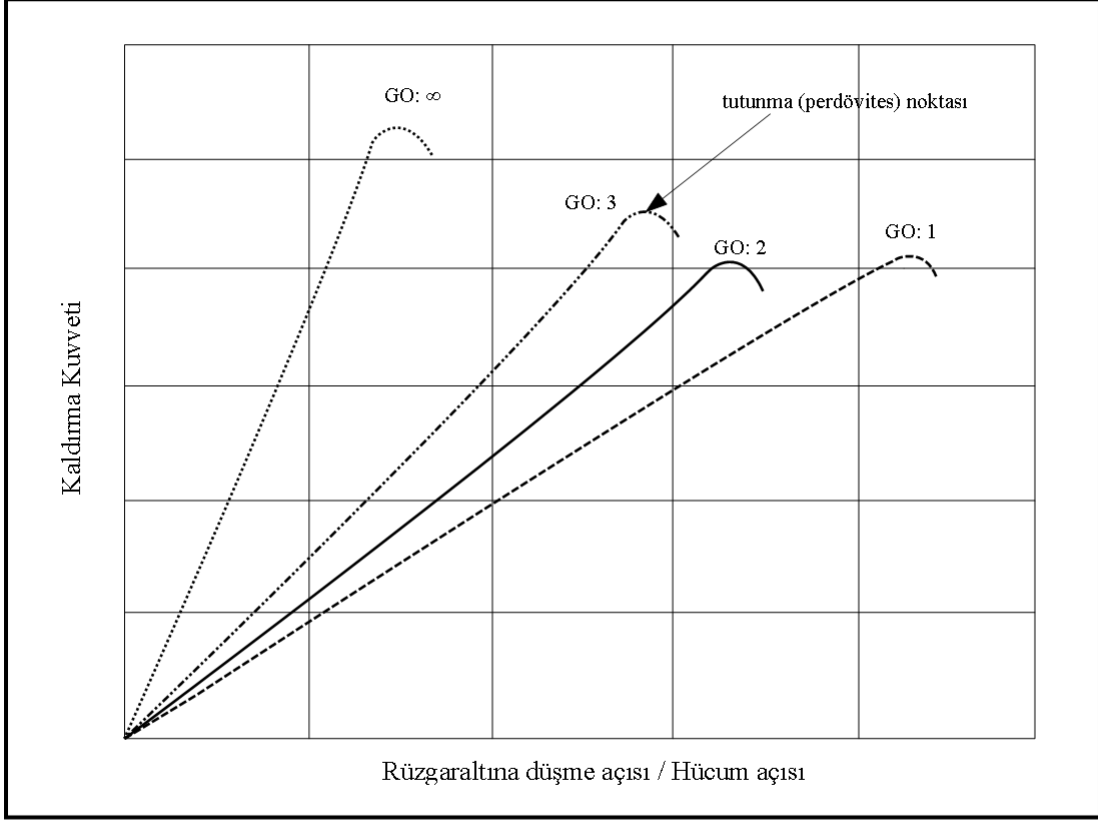
4.1. Görünüm oranı ve etkisi (GO)

Aynı yüzey büyüklüğüne sahip iki salmadan biri dar ve derine doğru uzanırken diğeri teknenin omurga hattı boyunca uzanan kısa bir salma olabilir. Bu iki salmayı birbirinden görünüm oranı sayesinde ayırt edebiliriz. Görünüm oranı teknik anlamda Denklem 2 ile ifade edilir:

$$\text{Görünüm Oranı} = (\text{Salma uzunluğu})^2 / \text{Yanal Alan} \quad (2)$$

Bu tanıma göre yüzey alanları eşit iki salma arasından dar ve derin olan salma, geniş ama kısa olan salmadan daha yüksek bir görünüm oranına sahiptir.

Görünüm oranının kaldırma kuvveti – rüzgaraltına düşme ilişkisi üzerindeki etkisi Şekil 5’de gösterilmiştir. Belli bir kaldırma kuvveti üretimi için görünüm oranı daha yüksek olan salmalar daha az sürüklenerek seyir yapar. Dolayısıyla dar seyirlerde teknenin istenen rotaya yakın gidebilmesi için büyük bir salmadan çok, uzun ve dar bir salmaya ihtiyaç vardır.



Şekil 5: Görünüm oranının kaldırma kuvveti - hücum açısı ilişkisi üzerindeki etkisi
 Şekil, kaynak [3]'den değiştirilerek alınmıştır.

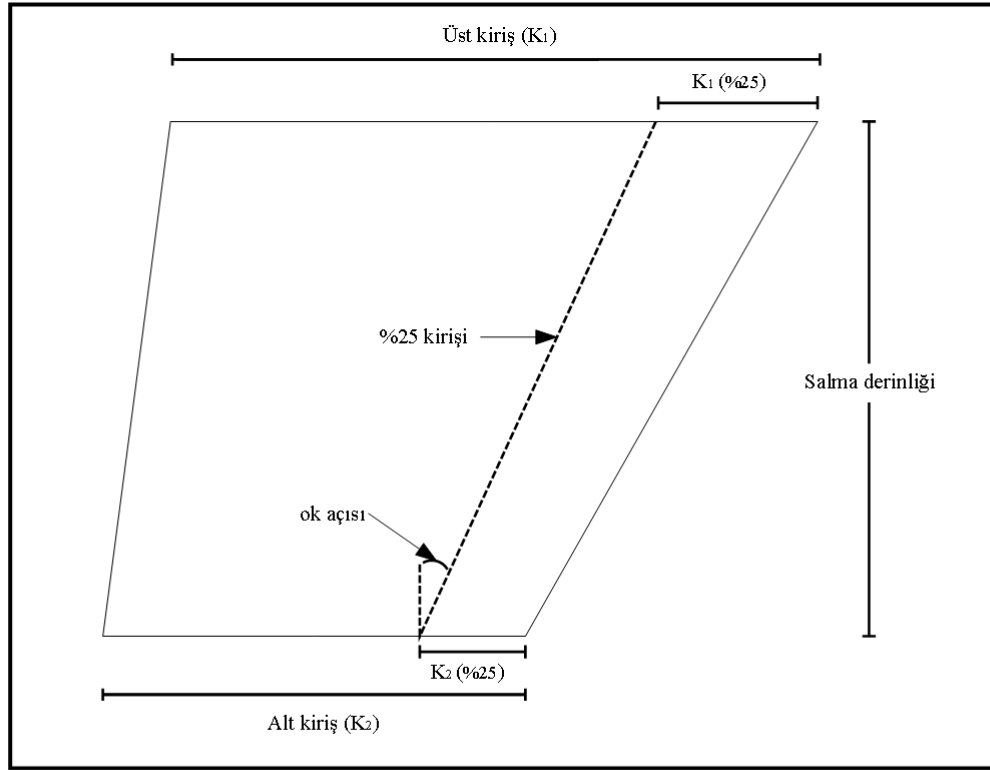
Görünüm oranı ile ilgili önemli bir konu tutunma noktası ile ilgilidir. Şekil 5’de eğrilerin yaptığı tepe noktaları tutunma (perdövites) noktası olarak tanımlanır. Belli bir hücum açısından itibaren su akışı artık salma yüzeyini sonuna kadar takip edemez ve yüzeyden *kopar*. Yüzeye tutunamayan akış yüzünden basınç farkı düşmeye başlar ve kaldırma kuvveti azalır. Yüzeyden kopmanın başlayacağı hücum açısına *tutunma açısı* denir ve Şekil 5’de görüleceği gibi *görünüm oranı* yüksek olan salmalarda *tutunma açısı* gittikçe düşmektedir. Diğer yandan *görünüm oranı* düşük, örneğin “1” olan bir salma büyük açılarla sürükleniyor olsa da *kaldırma kuvveti* üretebilir.

4.2. Eliptik yük dağılımı

İndüklenmiş direnci azaltmanın en temel yollarından birisi salma üzerinde oluşan yüklerin dağılımını belirlemektir. Yapılan deneyler sonucu yük büyüklükleri salma derinliği boyunca eliptik bir şekilde dağıldığında *indüklenmiş direncin* en az ölçüde oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat karmaşık akışa maruz kalan 3 boyutlu salma üzerinde eliptik bir yük dağılımı, salmanın her kirişi (tekne gövdesinden salma ucuna inen hayali çizgiler) üzerinde elde edilemez. Bu yüzden önceliğimiz bu yük dağılımını en etkili olacağı bölgelerde elde etmektir. %25 kirişi böyle bir yerdir. Bu hayali çizgi salmanın suya karşı direnç noktasını taşımasından ötürü önem taşır.

Eliptik yük dağılımını incelerken aşına olmamız gereken iki kavram vardır: *Ok açısı* ve *sivrilme oranı*. *Ok açısı* Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu açı, salmanın üst ve alt kirişinin salmanın suyu yaran ucundan %25'lik uzaklığında birleşen hayali bir çizginin eğimi olarak tanımlanmıştır. Yük dağılımını belirleyici ikinci öge olan *sivrilme oranı* ise Denklem 3 ile gösterilmiştir.

$$\text{Sivrilme oranı} = \text{Alt kiriş} / \text{Üst kiriş} \quad (3)$$



Şekil 6: Yamuk şekilli bir salmanın yandan görünüşü

Şekil, kaynak [3]'den değiştirilerek alınmıştır.

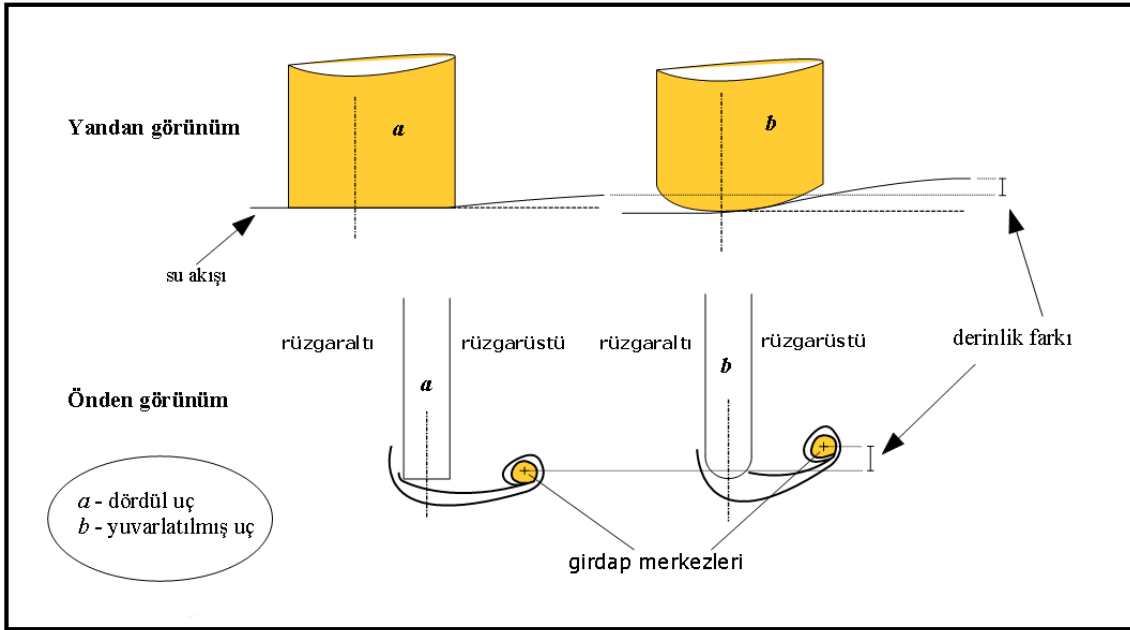
Ok açısını ve *sivrilme oranını* birbirinden bağımsız bir şekilde tanımlayabilmek mümkündür fakat ancak ikisi arasındaki doğru ilişki sayesinde %25 kirişinde eliptik bir dağılımına yaklaşabiliriz. Bu bağlamda tasarımcının seçeceği her farklı *sivrilme oranı* için eliptik yük dağılımı sağlayacak ideal bir *ok açısı* vardır ve tasarımcı bu ideal ilişkiyi koruyabilmek uğruna *sivrilme oranını* arttırmak istedikçe *ok açısı* azaltmak zorunda kalacaktır.

İndüklenmiş direnci asgari düzeyde tutacak ideal bir ilişkinin varlığına karşın hangi *sivrilme oranının* veya *ok açısının* seçileceği bariz değildir. Tasarımcının yapmış olduğu önceki tercihlere göre bu seçim belirgin hale gelir. Ayrıca *sivrilme oranının* ve *ok açısının* tekne üzerinde istenmeyen bir takım etkileri de vardır. Örneğin düşük *sivrilme oranları* teknenin dengesini kötüleştirir çünkü salmanın ve safranın büyük bir kısmı üst kirişe yani teknenin gövdesine yakın durmaktadır ve dolayısıyla teknenin ağırlık merkezi

yüzeğe yakın kalır. Yüksek *sivrilme oranları* da salma ile tekne gövdesinin birleştiği yerde girdap oluşumunu tetikler. Başka bir örnek olarak büyük *ok açılı* salmada *kaldırma kuvveti* kaybına yol açar. Küçük *ok açılı* da özellikle yosunlu sularda seyir yapan teknelerin salmasında yosun birikmesine neden olacaktır. Dolayısıyla tasarımcı ya bu olumsuz etkileri ortadan kaldıracak başka öğeleri kullanacak ya da kısıtlı seçimler yapmaya razı olacaktır.

4.3. Salmanın uç şekli

‘Küçük dokunuş’ların etkisini en iyi gözlemleyebileceğimiz örneklerden biri salmanın uç şeklinin etkisidir. Daha önce salmayı 3 boyutlu olarak incelediğimizde uç bölgesi civarında akışın denetimsizleştiğini görmüştük. Uygun uç şekli bu bölgedeki denetimsiz akışın *kaldırma kuvveti* üzerindeki etkisini azaltabilir. Buradaki temel amaç salma çıkışında oluşan girdabın olabildiğince uzak ve derinde oluşabilmesini sağlamaktır.



Şekil 7: Çeşitli salma uç şekillerine göre akışın davranışı

Şekil 7’de iki farklı uç şekli gösterilmiştir. Salmalara yandan baktığımızda basit bir dördül uca sahip salmanın arkasındaki girdabın daha derinde oluştuğunu görmekteyiz. Dördül uç, bu üstünlüğü düz arka çıkışı sayesinde önden gelen akışı arkaya doğru yönlendirerek elde etmektedir. Diğer yandan yuvarlatılmış uç akışı arkaya ama aynı zamanda kısmen yukarı doğru yönlendirmekte ve dolayısıyla girdap merkezini yukarı doğru taşımaktadır. Benzer bir durumla önden baktığımızda da karşılaşırız. Rüzgaraltından rüzgarüstüne doğru ‘kısa yolu’ kullanmaya çalışan akış dördül uç kullanan salmada yüzeyden erken bir kopuş yaşar. Yuvarlatılmış uç ise keskin bir köşeye sahip olmadığından ‘kısa yolu’ kullanan akışı engelleyemez. Yüksek basınç bölgesi

rüzgaraltından gelen akış düzgün yüzey üzerinde ilerler ve dolayısıyla yüzeyden geç kopar. Bu nedenle girdap merkezinin derinliği azalır. Girdabın yüzeye ve salmaya yakın oluşması salmada üretilen kaldırma kuvvetini azaltacaktır. Bu nedenle ‘küçük dokunuşlar’ dahil olmak üzere salma şeklinin girdap oluşumunu azaltacak ve derinde tutacak yapıda olması tercih edilir.

5. SONSÖZ

Yaygın olarak kullanılan yat sınıfı yelkenli teknelerin salmaları ya sabittir ya da sadece kısıtlı hareket imkanına sahiptirler. Dolayısıyla salma, önemine rağmen yelkencinin hayatında yelken kadar ön planda değildir. Buna karşın günümüzde oynar ve yönlendirilebilir salma tasarımları baş döndüren bir hızla geliyor. “*Volvo Ocean Race*” gibi yarış teknelerine büyük araştırma geliştirme bütçeleri ayrılmasını sağlayan organizasyonlar sayesinde gezi amaçlı teknelerde de bu tür salmaları yakın bir zamanda göreceğiz. Salmasını aşağı/yukarı oynatabildiği gibi omurga hattı, kemere hattı ve dikey eksen etrafında döndürebilen her yelkenci için ‘salma trimi’ bilmek şart olacaktır.

6. SÖZLÜK

- A -

Akışkan direnci	:	Drag
Asalak direnç	:	Parasitic drag

- B -

Balb	:	Bulb
Bıçak	:	Foil
Biçim direnci	:	Form drag

- G -

Görünüm oranı	:	Aspect ratio
---------------	---	--------------

- H -

Hücum açısı	:	Angle of attack
-------------	---	-----------------

- İ -

İndüklenmiş direnç	:	Induced drag
--------------------	---	--------------

- K -

Kaldırma kuvveti	:	Lift
------------------	---	------

- O -

Ok açısı	:	Sweep angle
----------	---	-------------

- R -

Rüzgaraltına düşme	:	Leeway
--------------------	---	--------

- S -

Sivrilme oranı	:	Taper ratio
Sürtünme direnci	:	Friction drag

- T -

Tutunma (perdövites)	:	Stall
----------------------	---	-------

- U -

Uzun Yol Açıklaması	:	Longer Path Explanation
---------------------	---	-------------------------

7. KAYNAKLAR

- [1] S. Killing and D. Hunter, Yacht Design Explained, W.W. Norton, New York, 1998
- [2] C.A. Marchaj, Aero-Hydrodynamics of Sailing, Adlard Coles, London, 1988
- [3] L. Larsson and R.E. Eliasson, Principles of Yacht Design, International Marine, Great Britain, 2000
- [4] D. Vacanti, Keel Parameters and Performance, Sail Magazine, Boston, August 1985
- [5] B. Gladstone, Performance Racing Trim, North U., Madison CT, 2003
- [6] C. Hamlin, Preliminary Design of Boats and Ships, Cornell Maritime Press, Maryland, 1989
- [7] A.J. Alexander, J.L. Grogono and D.J. Nigg, "Hydrofoil sailing", Juanita Kalerghi, London, 1972