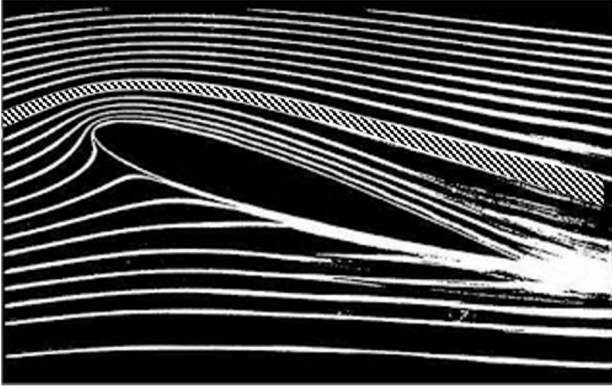


11 – Teknik Notlar

Arvel Gentry'nin SAIL Magazine Nisan 1973 – Ocak 1974 sayılarında yayınlanan makalelerinde bahsedilen hususlarla ilgili açıklayıcı teknik notlardır

HAVA AKIŞI VE AKIŞ ÇİZGİLERİ

Havanın, akış çizgileri denilen kanallar içinde aktığı farz edilir. Şekil-1'de akış çizgileri bir kesit üzerinde iki-boyutlu olarak görülmektedir. Bu çizgiler Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği¹ tekniklerine göre bilgisayarda yazılımlar ile hesaplanabileceği gibi, rüzgâr tüneli testlerinde, havanın test edilen cisme yaklaşımadan içine renkli bir gaz enjekte edilerek de görülebilir.



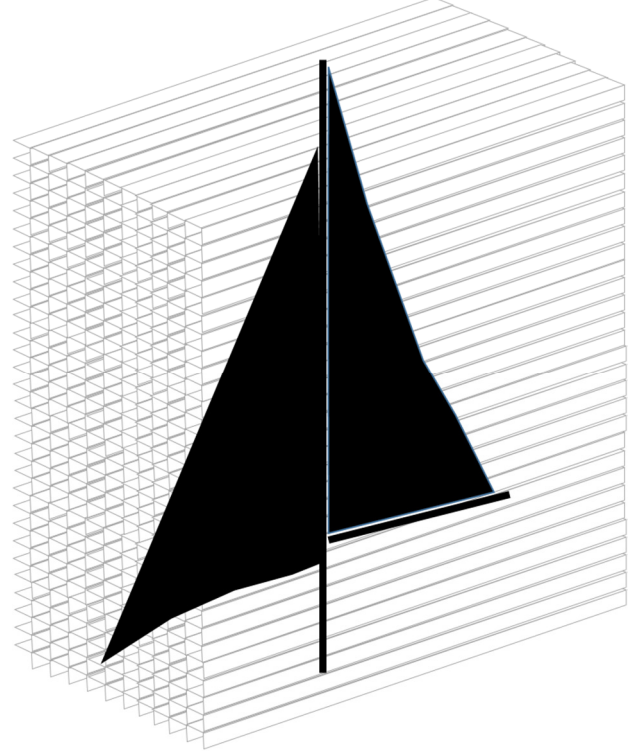
Şekil 1

Hava akış çizgileri, hava moleküllerinin içinde aktığı ve asla komşu tarafa geçemedikleri kanallar olarak da düşünülebilir. Üç-boyutta bakıldıklarında daha anlaşılabilir olabilirler (bknz. Şekil-2). Dolayısıyla havanın bu kanallar içinde ve bir diğerine geçmeden aktığını düşünmek doğru olur. Bu hayali kanalların kenarları da akış çizgileri olarak adlandırılır. O halde, Şekil-1'de taralı görülen kanalda (iki akış çizgisi arasında) hava komşu kanallara geçmeden, kanalı sınırlayan akış çizgilerini aşmadan, kanal boyunca ilerler. Bu durumda kanal kesitinin akış boyunca değişmesi, daralması veya genişlemesi sebebiyle havanın hızı ve basıncı üzerinde etkili olur.

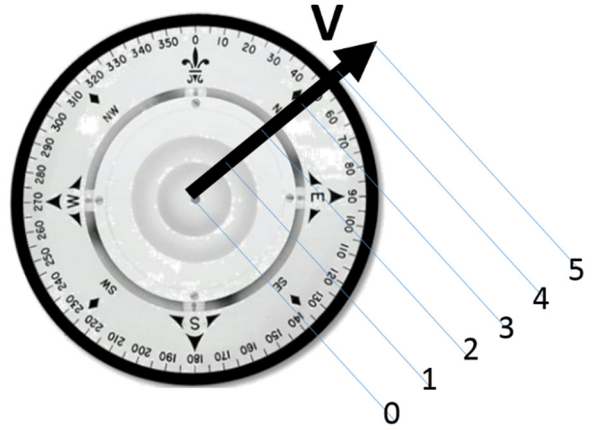
VEKTÖR VE ZAHİRİ RÜZGÂR

Vektör, sayısal büyüklüğü ve birimi yanında, yönü de olan niceliktir. Hız, kuvvet, ivme birer vektör örneğidir. Şekil-3'teki V hız vektörünün sayısal büyüklüğü 5 knots ve yönü de 50°dir.

Vektörler yönleri olan nicelikler olduğu için, büyüklükleri aritmetik olarak değil, geometrik olarak toplanırlar. Şekil-4, 5 ve 6'da bazı örnekleri görülmektedir. Bu örnekleri yelkenli bir teknede olabilecekler arasından seçmeye gayret ettik.



Şekil 2



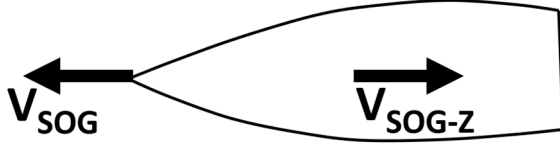
Şekil 3

Öncelikle hiç gerçek rüzgâr olmadığı zaman, teknenin bir rotada motor ile yol aldığı zaman, tekneye göre zahiri (ing. relative to the boat) hızı inceleyelim. Şekil-4'teki tekne batı rotasında karaya göre (GPS hızı diyelim) 3 knots hızla ilerlemektedir (V_{SOG} hız vektörü). Burada

¹ Akışkan davranışının etkili olduğu problemlerin, sayısal metod ve algoritmalar ile bilgisayar üzerinde çözülerek analiz edildiği,

akışkanlar mekaniğinin bir koludur (ing. CFD – Computational Fluid Dynamics)

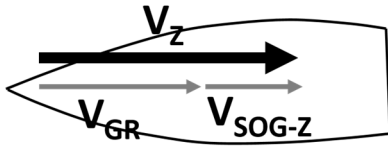
eğer tekneyi durmuş olarak düşünersek, aynı şiddette ve fakat bu sefer ters yönde bir rüzgârı üzerinden geçirmemiz gerekecektir. Bu hız vektörü Şekil-4'te V_{SOG-Z} olarak gösterilmiştir. Zahiri rüzgâr konseptinin ilk ve önemli aşaması budur ve bir otomobilde giderken elinizi çıkarttığımızda hissettiğiniz rüzgâr ile aynıdır.



- V_{SOG} 3 knots şiddetinde ve 180° yönündeki teknenin kendi hızı
- V_{SOG-Z} 3 knots şiddetinde ve 90° yönünde teknenin hissettiği zahiri hız

Şekil 4

Yukarıda vektörlerin aritmetik olarak değil, geometrik olarak toplandığını belirtmiştik. Şekil-5'te bir önceki şekildeki duruma V_{GR} gerçek rüzgâr vektörü eklenmiştir.

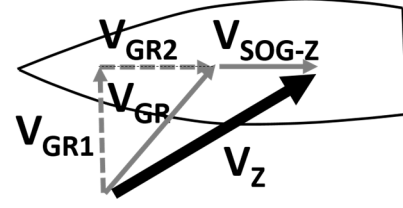


- V_{SOG-Z} Teknenin kendi hızı neticesinde hissettiği 3 knots şiddetinde ve 90° yönündeki zahiri rüzgâr
- V_{GR} 5 knots şiddetinde ve 90° yönündeki gerçek rüzgâr
- V_Z 8 knots şiddetinde ve 90° yönündeki toplam zahiri rüzgâr

Şekil 5

Dikkat edilirse Şekil-5'te V_{GR} gerçek rüzgâr hızı ile V_{SOG-Z} teknenin kendi zahiri hızı aynı yönde oldukları için, şiddetleri aritmetik olarak toplanmışlardır. Oysa yelken seyirinde çoğunlukla tecrübe ettiğimiz şekilde gerçek rüzgâr tekneye belli bir açı ile gelir. İşte bu durumda V_Z zahiri rüzgârı vektörel olarak toplarız (bknz Şekil-6). Burada bizler için çok önemli bir gerçek şudur ki, **üzerinde yol olan bir tekne, bir açı ile gerçek rüzgârı karşıladığında, ortaya çıkan zahiri rüzgârın teknenin orta hattına göre açısı, gerçek rüzgârın teknenin orta hattına yaptığı açıdan daha dardır.** Teknenin ve gerçek rüzgârın hızlarına bağlı olarak değişmekle birlikte gerçek rüzgârın kemereden geldiği bir durumda, tekneyi götürecektir zahiri rüzgâr dar apaz, hatta orsadan gelebilir.

Hesaplaması en basit örneklerden birisi: tekneyin yere göre hızı 5 knots, gerçek rüzgâr tam iskele kemereden, 90° den geliyor ve bu şekilde stabil olarak yelken yapmaktasınız. Her iki rüzgâr vektörü birbirlerine dik ve şiddetleri de eşit olduğu için, zahiri rüzgâr tekneye karenin köşegeni şeklinde 45° den gelecektir ve şiddeti de 5'in karesi ve diğer 5'in karesinin toplamının karekökü, yani 7.1 knots olacaktır. İşte bu sebeple bazen yelkencilere "kendi rüzgârını yapanlar" derler.



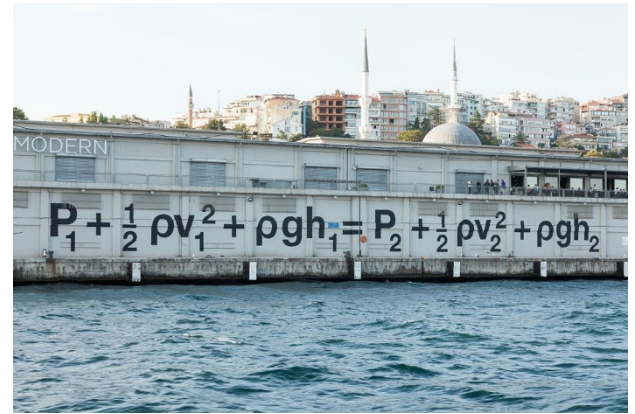
- V_{SOG-Z} Teknenin kendi hızı neticesinde hissettiği 3 knots şiddetinde ve 90° yönündeki zahiri rüzgâr
- V_{GR} 5 knots şiddetinde ve 45° yönündeki gerçek rüzgâr
- V_{GR1} VGR gerçek rüzgâr vektörünün teknenin kemere hattı boyunca olan bileşeni = $V_{GR} \times \cos 45^{\circ} = 3.54$ knots
- V_{GR2} VGR gerçek rüzgâr vektörünün teknenin merkez hattı boyunca olan bileşeni = $V_{GR} \times \sin 45^{\circ} = 3.54$ knots
- V_Z İki bileşenden birisinin teknenin merkez hattı boyunca $V_{GR2} + V_{SOG-Z} = 3.54$ knots + 3 knots = 6.54 knots ile teknenin kemere hattı boyunca $V_{GR1} = 3.54$ knots olan zahiri hız vektörü
- Şiddeti = $\sqrt{(6.54)^2 + (3.54)^2} = 7.43$ knots
- Yönü = $\text{Inv.tan}(3.54 / 6.54) = 28^{\circ}$

Şekil 6

Bu alıştırmaları değişik değerler için yapabilirsiniz. Esasen çoğu yelkenli teknede olan rüzgâr hızı göstergesinde, gerçek (ing. true) rüzgâr hesaplaması da, parakete sensöründen gelen hız verisi ve zahiri rüzgâr (ing. apperent) verisi kullanılarak aynen bu şekilde yapılmaktadır.

BERNOULLİ PRENSİBİ

Bernoulli denklemi, havanın akış çizgileri (üç-boyutlu düşünürseniz bir kanal) içinde basınç ve hızının arasındaki ilişkiyi tanımlar. Aslında enerjinin korunması prensibine dayanmaktadır.



Şekil 7
İstanbul Modern'in duvarında Bernoulli denklemi

Bir akışkanın denklemin sol tarafındaki basıncı + kinetik enerjisi + potansiyel enerjisi, denklemin sağ tarafındaki ikinci durumuna eşit olmalıdır. Burada eşitliğin her iki tarafında, en sonda yer alan ve akışkanın yüksekliği ile ilgili (ρgh) potansiyel enerji kısmını atacak olursak, basınçlar ve $\frac{1}{2} \rho v^2$ kinetik enerjiler kalacaktır. Akışkanın ρ ile gösterilen yoğunluğu sıvılar için denklemin her iki tarafında değişmez olarak kabul edilse de, hava gibi gazlar

için değişecektir. Bu durum, işleri biraz karmaşıklştırırsa da, Bernoulli denkleminin özünde şu yatar:

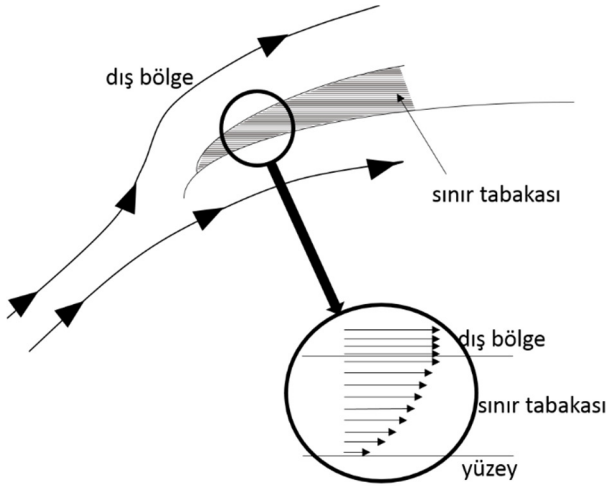
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Yelken üzerinde, akış çizgileri arasında hareket eden havanın hızı arttıkça basıncı düşer ve basıncın bu değişimi hızın karesi ile orantılıdır! Basıncın değişiminin, hızın karesi ile orantılı olması, o derece etkilidir ki, havanın hızı biraz arttığında bile süratle negatif (emme) basınçları oluşur.

KESİT ÜZERİNDE AKIŞ, BASINÇ GRADİENTİ VE SINIR TABAKASININ AYRILMASI

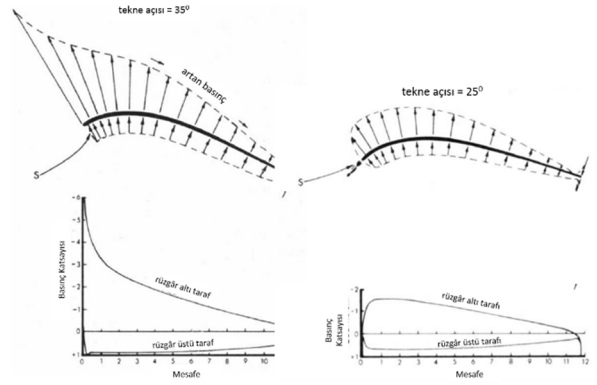
Kesit üzerindeki akış çizgilerinin daralması veya açılması neticesinde içindeki havanın hızının artması ve buna mukabil basıncının düşmesi veya tam tersinin olması, yazı dizisindeki makalelerde açıklanmıştı. Burada rüzgâr altı tarafında basıncın kesit boyunca yükselmesi neticesinde sınır tabakasının yüzeyden nasıl ayrıldığını açıklayacağız.

Sınır tabakası, orsa yakasına yakın yerlerde kalınlığı 2-3 mm olan, geriye gittikçe kalınlığı santimetreleri bulan bir tabakadır. Bu tabaka içinde Şekil-8'de görüldüğü üzere havanın yüzeye değdiği yerde hızı 0 knots ve sınır tabakasının bittiği yerde de, komşu akış çizgisi içindeki havanın hızı kadardır.



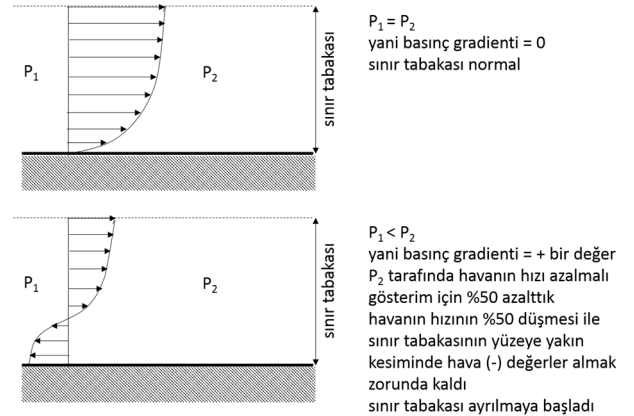
Şekil 8 Orsa yakasına yakın laminar akışlı sınır tabakası

Yelkenin rüzgâr altı tarafında havanın akış hızının orsa yakasından itibaren çok yüksek ve daha sonra kesit boyunca güngörmeze kadar yavaşlaması neticesinde, rüzgâr altı tarafta negatif (emme) basınçları oluştuğunu biliyoruz. Şimdi Şekil-9'a bakın. Sol taraftaki kesit rüzgâra 35° açıda olup, rüzgâr altı tarafındaki emme basınçları orsa yakasına yakın yerlerde son derece yüksektir, yani negatif basınçların değeri yüksektir. Bu basınç değerleri arkaya ilerledikçe süratle azalmaktadır (basınç yükselmektedir). Sol taraftaki kesitin hemen altındaki çizim ise, kesitin kamburluğu alınmış halidir. Dikkat edilecek olursa 0-basınç noktası x-ekseninin hemen üzerinde olup, yukarıdaki basınçlar negatif,



Şekil 9 İki farklı rüzgâr açısında kesit üzerindeki basınç dağılımları

aşağıdaki rüzgâr üstü basınçları pozitifdir. Burada, sınır tabakasının ayrılmasını anlamak üzere bizim için önemli olan rüzgâr altı tarafta emme basınçlarının büyüklüğü değil, değişim hızıdır, basınç gradientidir. Basınç gradientini meteorolojik izobar haritalarını düşünerek daha kolay anlayabilirsiniz. Nasıl birbirine yakın izobar çizgileri basınçlar arasındaki farkın kısa mesafede oluştuğunu, araları açık izobarlar da basınçlar arasındaki farkın uzun mesafeler arasında oluştuğunu gösteriyorsa, burada da her bir basınç değerinin bir yanındakine göre değişimine, matematiksel olarak eğimine (birinci türevine) bakacağız. Şekil-9'un alt tarafında sol ve sağ grafiklerde açıkça görüldüğü üzere sol taraftaki basınç değişiminin hızı, yani grafiğin eğimi, diğerine göre çok daha fazladır. İşte basınçtaki bu hızlı ve yüksek artış (emme basıncının ciddi şekilde düşmesi), sınır tabakası içindeki havanın hızının da Bernoulli prensibine göre azalmasını gerektirir. Basıncın artış hızı o derece olur ki,



Şekil 10 Sınır tabakası içinde ters akışın olması

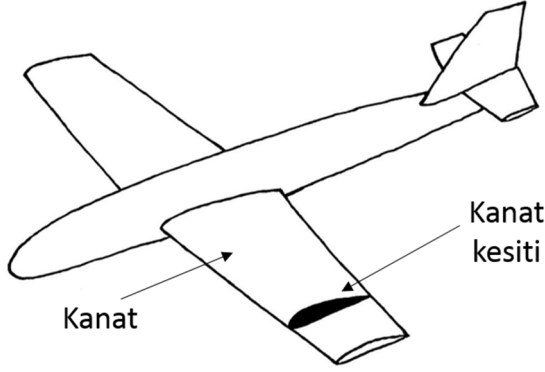
havanın yavaşlaması yetmez, ters akış olur. Bunu Şekil-10'da açıklamaya çalıştık.

Bu basınç artış hızının yüksek olması sebebiyle sınır tabakası ayrılmaya başladıktan kısa bir süre sonra, eğer önlem alınmaz ise, yüzeyin tümü "stall" eder ve itme kuvveti üretme yeteneğini kaybeder, ayrıca olağanüstü bir sürtünme kuvveti üretir.

O halde bizim kaçınmamız gereken durum, sınır tabakasının ayrılmasıdır. Bunu da anlamanın en kolay ve ucuz yolu, ayrılmanın başlamasını beklediğimiz yerlere

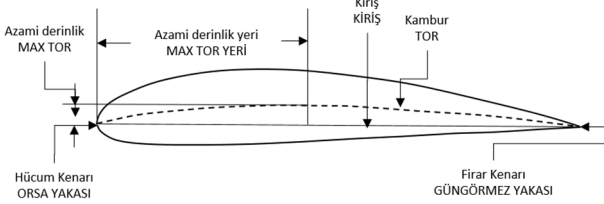
(Şekil-9'daki grafiklerde görüldüğü gibi basıncın hızla yükselmeye başladığı yer orsa yakasından itibaren kirişin yaklaşık %30'udur) tüy veya kurdeleler koyarak bu olayı gözlemlemek, ayrılma başlarken rüzgâr açısını azaltarak, toru azaltarak, toru öne alarak vs yelkenin rüzgâr altı tarafındaki basınç değişim hızını düşürmektir.

KESİT VE TEMEL AERODİNAMİK KUVVETLER



Şekil 11 Uçak kanadı ve kanat üzerinde kesit

Kesit (ing. airfoil) bir aerodinamik yüzeyin üzerinden akan havanın hız vektörlerine paralel olacak şekilde kesitidir.

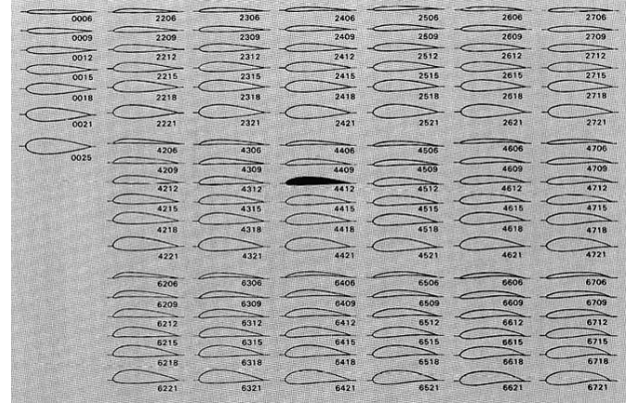


Şekil 12

Şekil-11 bir uçağın kanadını ve kanat kesitini göstermektedir. Uçak kanatları ile yelken arasında teorik olarak bir fark olmamasına rağmen, uçak kanadının, uçağın ağırlığı kadar, hatta daha fazla kaldırma kuvveti üretmek zorunda olmasından kaynaklanan mukavemet zorunluluğu da vardır. Yelkenlerimizde ise makûl itme kuvvetlerini taşımanın ötesinde bir mukavemet aramayız. Bu sebeple uçak kanatları, yelken kesiti gibi eğri bir çizgi şeklinde veya bir metal plaka olarak değil, fakat üç-boyutlu olarak üretilirler.

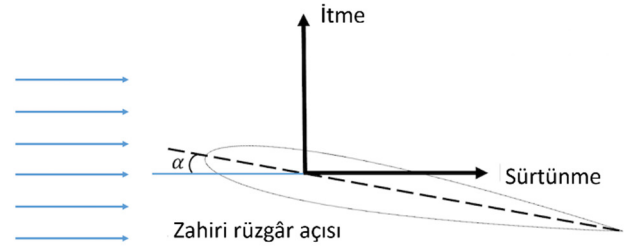
Uçaklarda çok çeşitli kesitler kullanılır. Bunların pek çoğu NACA – National Advisory Committee for Aeronautics tarafından kataloglanmışlardır. Şekil-13'te bazı örnekler görülmektedir. Bunlardan simetrik olanlarının (ilk sütunda 00 ile başlayanların) teknelerimizde salma ve dümen palasında kullanıldığına dikkatinizi çekerim.

Tipik bir kesitin belli başlı unsurları Şekil-12'de gösterilmiştir. Bunların hepsi yelken kesitlerimiz için de geçerli olup, havacılık terminolojisine göre isimleri



Şekil 13 Örnek NACA kesitleri (profilleri)

farklıdır. Yelken yüzeyinin altında Şekil-12'de TOR olarak gösterilen kesik çizgiye karşılık geldiğini görüyoruz. Burada bizler için önemli olan azami tor derinliğinin ne kadar olduğu ve nerede olduğudur. Azami tor derinliğinin konumu, orsa ve güngörmez yakalarını birleştiren hayali kirişin yüzdesi olarak ve orsa kenarından itibaren ifade edilir. Örneğin %25 demek, azami tor derinliğinin kirişin %25'i kadar orsa yakasından uzakta olduğu şeklindedir.



Şekil 14

Bir aerodinamik kesit üzerinde iki temel kuvvet oluşur: kaldırma (biz bu yazı dizisi amacına uygun olarak "itki" dedik) ve sürtünme kuvvetleri.

Şekil-14'de görüldüğü üzere kesitin şekli, toru, kiriş uzunluğu vs ne olursa olsun, **itme kuvveti her zaman zahiri rüzgâra dik ve rüzgâr altı yönünde, sürtünme kuvveti de zahiri rüzgâr yönünde oluşur**. Bu, çok temel bir kuraldır ve yelkenlerin ürettiği kuvvetlerin tekneye etkilerinde önemli rol oynarlar.

Aerodinamik, geçen yaklaşık bir yüzyıla rağmen halâ amprik çalışmalara dayanmaktadır. Buna göre, itme ve sürtünme kuvvetlerinin hesaplanmasında değerleri deneylerden ve rüzgâr tüneli testlerinden elde edilen katsayılar kullanılır. Bunlar C_L itme katsayısı ve C_D sürtünme katsayısıdır. Bu kuvvetlerin hesaplanmasındaki denklemleri burada verecek olmamızın nedeni, yelkenlerin üzerinde üretilen itme ve sürtünme kuvvetlerine hâkim olmanızı sağlayacak parametreleri bilmeniz içindir.

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L S V^2 \quad \text{ve} \quad D = \frac{1}{2} \rho C_D S V^2$$

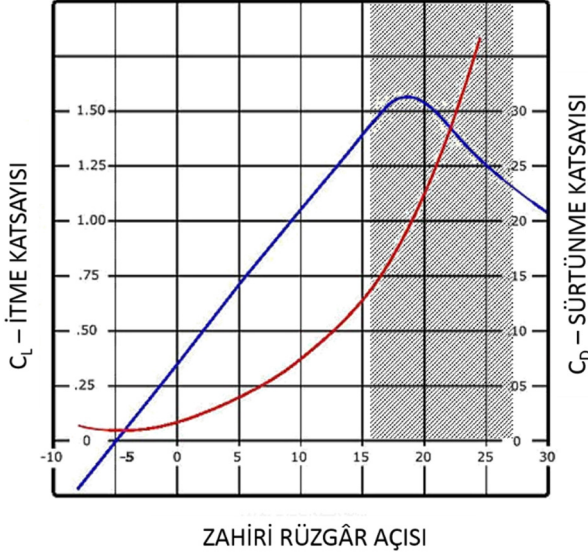
L: yelken tarafından üretilen itme kuvveti (Newton)

D: yelken tarafından üretilen sürtünme kuvveti (Newton)

ρ : havanın yoğunluğu (kg/m^3)

S: yelken alanı (m^2)

V: zahiri rüzgârın hızı (m/s)²



Şekil 15 C_L ve C_D katsayılarının zahiri rüzgâr açısına göre tipik değişimi

Burada bizim için önemli olan bileşenler katsayılar C_L ve C_D , yelken alanı S, zahiri rüzgâr hızı V'dir. Havanın yoğunluğu buradaki işimiz için bir değişken değildir.

Öncelikle katsayılar bakalım. Şekil-15'de örnek bir kesit için C_L ve C_D katsayılarının, zahiri rüzgâr açısı ile nasıl değiştiği görülüyor. Her ne kadar bu katsayıların değişmesi sadece buna bağlı değilse de, başal etkenler kesitin şekli ve zahiri rüzgâr açısıdır. Şekil-15'den anlamamız gereken şudur: Yelken kesitlerinin (ana yelken bumbadan mandar köşesine kadar ve ön yelken alt yakadan mandar köşesine kadar) zahiri rüzgâr ile yaptıkları açı arttıkça itme ve sürtünme katsayıları da artmaktadır. Şekil-15'de bir tepeye benzer grafik C_L itme katsayısı ve sağdan sola doğru yükselen grafik de C_D sürtünme katsayısıdır. Görülüyor ki, 15-18 derece zahiri rüzgâr açılarında kadar itme katsayısı doğrusal olarak artmaktadır. 20 dereceye yaklaşırken sınır tabakası yüzeyden ayrılmakta ve hızla "stall" gerçekleşmekte, itme kuvveti bariz şekilde düşmektedir. Diğer taraftan sürtünme katsayısı parabolik olarak artmakta, 10 derecelere kadar makûl sayılabilecek değerler alırken, devam eden açılarda çok ciddi şekilde yükselmektedir.

Burada dikkat çeken bir başka husus da, yelken "stall" etmeden önce itme ve sürtünme kuvvetleri arasındaki oran, başka deyişle kuvvet katsayıları arasındaki oran yaklaşık 5:1 şeklindedir (aynı rüzgâr açısında C_L ve C_D

değerlerini karşılaştırmak). Bu oranı, teknenin üzerindeki kuvvetleri çizerken kullanacağız.

Biz yelkenlerimizin kesit şekli, toru, azami torunun olduğu yer vs itibarıyla Arvel Gentry'nin makale dizisinde önerdiği gibi yelkenlerimizi tüy ve kurdelelerle donatırsak, "stall" anını görebilir ve ondan uzak kalacak şekilde kanal (ing. groove) içinde kalarak yelken yapabiliriz. Şekil-15 bize taralı kısımdan uzak durun diyor.

Önemli: Burada referans verdiğimiz zahiri rüzgâr açısı, yelken kirişinin zahiri rüzgâr ile yaptığı açıdır. Oysa biz tekneimizde zahiri rüzgârı teknenin orta hattı ile yaptığı açı olarak görürüz. Dolayısıyla, örneğin ön yelkenimiz zahiri rüzgârı 15° ile karşılarken, ön yelken kirişinin (orsa yakası ile güngörmezi birleştiren hayali düz çizginin) tekne orta hattı ile yaptığı açıyı da eklersek, teknedeki rüzgâr sensöründen zahiri rüzgârı belki 40° olarak görüyor olabiliriz.

Pek tabii, bu katsayı grafiklerinin dümen palası için de geçerli olacağını ve aynı şekilde yüksek dümen açılarında benzer sürtünme kuvvetlerinin oluşacağını unutmayın.

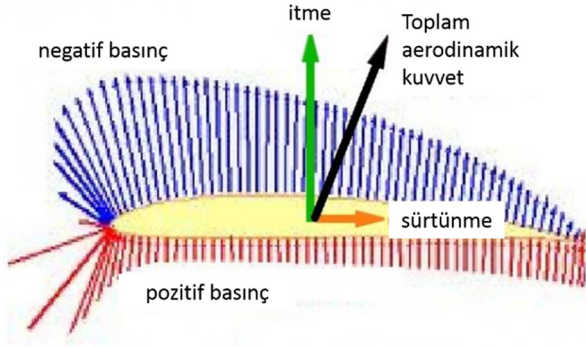
İkinci olarak yelken alanını ele alacağız. İtme ve sürtünme kuvveti formüllerine bakarsanız, bu kuvvetlerin yelken alanı S ile birebir orantılı olduğunu görürsünüz. Demek ki, yelkeni toplam alanının yarısı kadar küçültürsek (camadan vurduğumuzda kesitlerin eski verimlerinde olduğunu varsayarak) itme ve sürtünme kuvvetlerinin yarı yarıya azalacağını anlıyoruz. Bu durum, sert rüzgâr şartlarında elimizdeki birkaç parametreden belki de en önemlisi. Rüzgârın etkisini de inceledikten sonra tekrar buraya döneriz.

Üçüncü olarak da rüzgârın etkisine bakacağız. Yine formüllerde, itme ve sürtünme kuvvetlerinin, zahiri rüzgâr hızının karesi ile orantılı olduğunu görüyoruz. Bu, çok çok önemli bir saptama. Yani zahiri rüzgârın artışı, itme ve sürtünme kuvvetlerini olağanüstü yükseltiyor. Örneğin 10 knots zahiri rüzgârda üretilen itme kuvveti 1000 birim olsa, sadece %50 artış ile 15 knots rüzgârda itme kuvveti %125 artarak 2,250 birim oluyor. "Rüzgâr az arttı, ama tekne çok yattı" sözünü herhalde burası iyi açıklıyor.

Son olarak bu kuvvetlerin yelken üzerinde nereye etki ettiğini belirleyeceğiz. Şekil-16'da kesit üzerinde oluşan negatif (emme) ve pozitif basınçlar gösteriliyor.

Her bir basıncın, etki ettiği küçük alanları, etki eden basınç ile çarparak itme kuvvetlerini bulabiliyoruz. Bunların hepsinin kesit üzerinde bir noktada toplandığı ve moment yaratmadığı nokta ise toplam itme kuvvetinin etki noktasıdır. Genellikle itme ve sürtünme kuvvetleri kesit üzerinde, torun en derin olduğu yerde veya orsa yakası tarafında olmak üzere torun en derin olduğu yere yakın pozisyonlarda etki ederler.

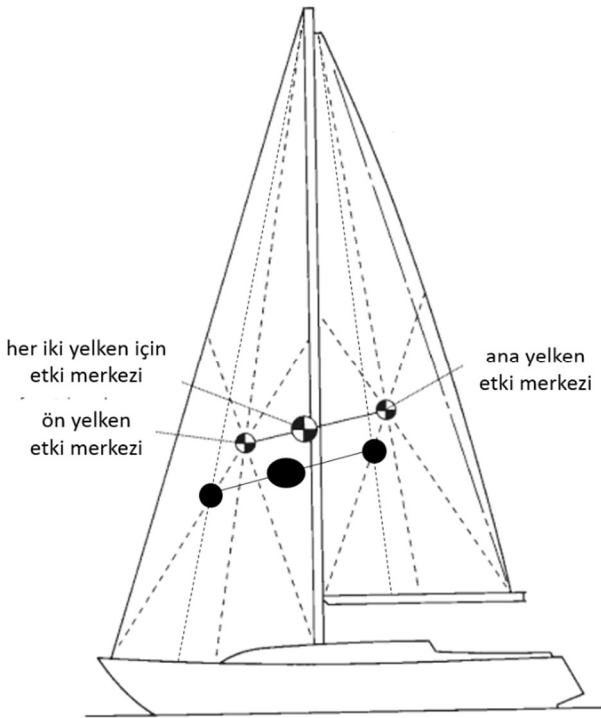
² Knots, deniz milini metre/saniye'ye yaklaşık çevirmek için ikiye bölün. Örneğin 5 knots = 2.5 m/s



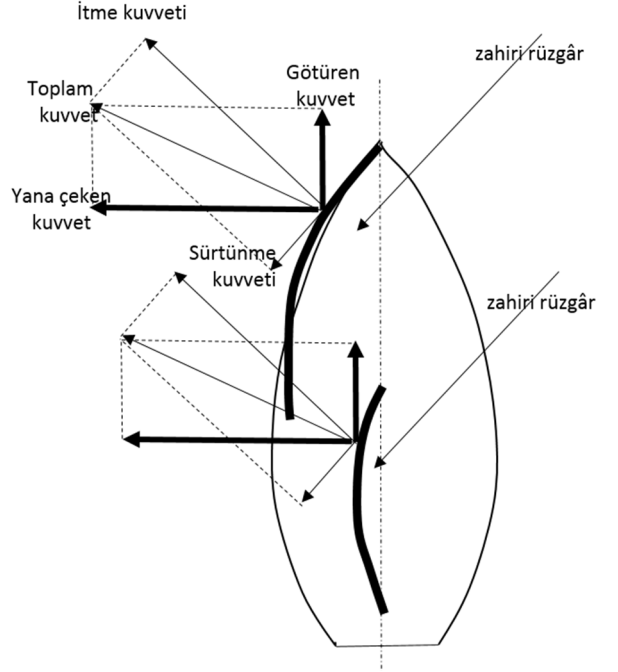
Şekil 16 Kesit üzerinde oluşan basınç kuvvetlerinin etki merkezinde toplanması

Kesit üzerine konumlandığımız bu kuvvetleri, yelken boyunca aynı şekilde pozisyonladığımız zaman, bütün bu kuvvetlerin yelken üzerinde "etki merkezi" olarak adlandırabileceğimiz bir noktada tek kuvvet olarak gösterilmesi uygun olacaktır. Şekil-17 bu etki merkezlerini göstermektedir.

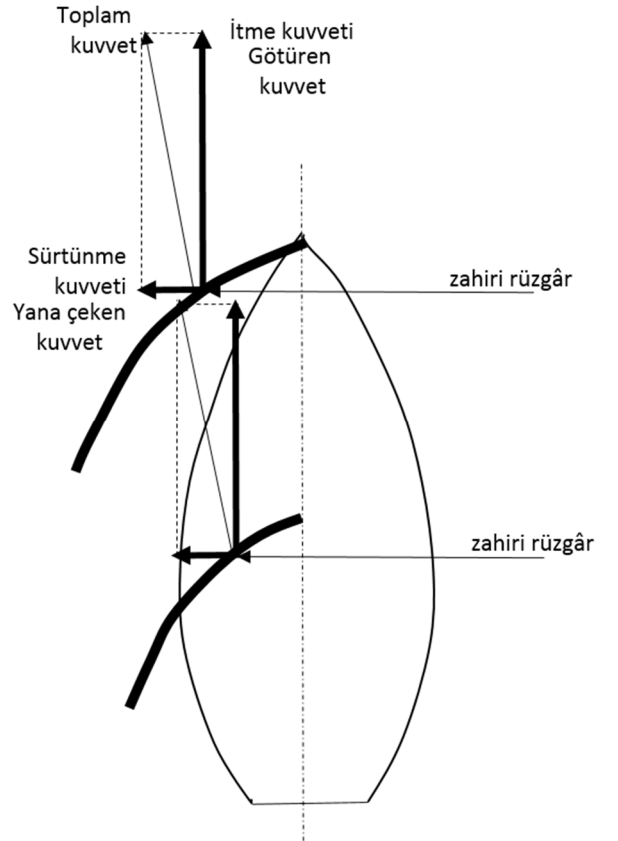
Pek çok kitap, etki merkezi olarak, yelkenlerin kenarortaylarının kesiştiği yeri işaret etseler de, ben bunun pek de doğru olduğu kanısında değilim. Netice itibariyle kesitlerdeki bileşke itme kuvvetlerinin azami tor ya da ona yakın bir yerde olduğunu bildiğimize göre, bence orsa yakasından %30 kadar geride, orsa yakasına paralel bir hat ile güngörmez yakası kenarortayının kesişim noktası daha doğru bir etki merkezi verebilir? Bu noktaları Şekil-14'te içi dolu siyah noktalar ile gösterdim.



Şekil 17 Ön yelken ve ana yelkende aerodinamik kuvvet etki merkezleri



Şekil 18 Orsa seyrinde itme ve sürtünme kuvvetleri



Şekil 19 Apaz seyrinde itme ve sürtünme kuvvetleri

Nihayet, orsa ve apaz seyirleri için itme ve sürtünme kuvvetlerini şekil üzerinde göstererek konuyu kapatacağız. Bunu yapmamızın sebebi, itme kuvvetinin daima zahiri rüzgâra dik ve rüzgâr altı tarafta olmasının orsa ve apaz seyirlerde yarattığı farka dikkat çekmektir. Pupa seyrinde yelkenlerin neredeyse paraşüt gibi davrandıkları ve aerodinamik açıdan sürtünme

kuvvetinden başka bir kuvvet üretmedikleri sebeple, burada konuştuğumuz geniş apaz ve bilhassa pupa için geçerli değildir.

Şekil-18'de orsa, Şekil-19'da ise apaz seyirleri gösterilmiştir. Kuvvet bileşenlerinin ayırt edilebilmesi için çizimlerin abartılmış olduğunu hatırlatmak isteriz. Her iki şekil arasındaki bariz fark, Şekil-18'deki orsa seyirinde, itme ve sürtünme kuvvetlerinin bileşkesi olan Toplam Kuvvetin, teknenin eksenlerine göre bileşkelerine ayrılması sonucu ortaya çıkan **Götüren Kuvvetin, Yana Çeken Kuvvete göre çok daha küçük olduğu**; Şekil-19'da ise bunun tam tersi olduğudur. Bunu değişik kombinasyonlar için deneyebilirsiniz, ama unutmayın, itme kuvveti daima zahiri rüzgâra dik ve rüzgâr altı tarafa doğru, sürtünme kuvveti, itme kuvvetinin yaklaşık 1/5'i oranında ve zahiri rüzgâr yönündedir.

DENGE

Arvel Gentry'nin 9uncu ve takip eden makalelerinde teknenin dengede olması ile ilgili görüşlerini destekleyecek şekilde teknenin eksenleri, oluşan kuvvetler ve momentleri göstereceğiz. Böylece teknede arzu edilen dengeyi sağlamak üzere ağırlık merkezinin yerini değiştirmek, yelkenlerin şekli ve açısı ile oynayarak ürettikleri kuvvetleri değiştirmek veya yelkenleri küçültmek gibi seçeneklerin sebeplerini daha iyi anlayabileceğimizi tahmin ediyoruz.

Öncelikle teknenin ağırlık merkezi ve eksenleri üzerine birkaç bilgi: Hareket eden her cisim, ister doğrusal bir hareket, ister dönme, isterse her ikisi birden olsun, hareketini mutlaka ve mutlaka ağırlık merkezi noktasında yapar. Bu sebeple tüm vektörel analizler (kuvvet, moment, hız vs) teknenin ağırlık merkezine taşınmak suretiyle gerçekleştirilir.

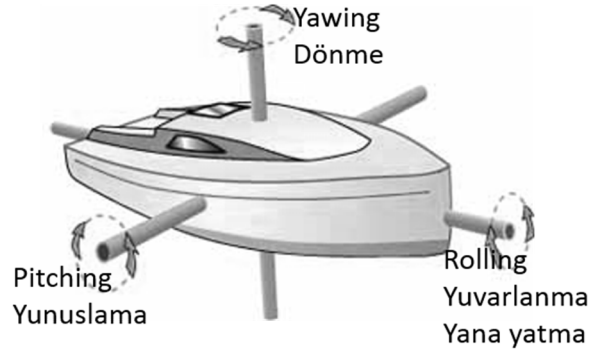
Diğer taraftan yine tüm vektörlerin tekne eksenlerine göre olan bileşkeleri ile işlem yapılır. Aksi halde açısız hatalar kaçınılmaz olur.

Sırayla gidecek olursak, teknenin ağırlık merkezi, teknenin eksenleri üzerinde terazide olduğu, yani tüm ağırlığının üç-boyuta konsantre olduğu bir noktadır ki, tekne o noktada teraziye alınsa, teorik olarak devrilmez.

Şekil-10'da görüldüğü gibi, tekne eksenleri işte bu ağırlık merkezinden çıkan üç adet eksenidir. X-ekseni baş kış hattı boyunca uzanır, pozitif tarafı teknenin başıdır. Y-ekseni kemere hattı boyunca uzanır, pozitif tarafı teknenin sancak tarafıdır. Z-ekseni ise salma-direk hattı boyunca uzanır ve pozitif tarafı direk tarafıdır.

Tekneye etkiyen tüm kuvvetlerin arasından sadece yelkenin ürettiği kuvvetler ile onu dengeleyen kuvvetleri sıralayacak olursak:

1. Ön yelkenin itme kuvveti
2. Ön yelkenin sürtünme kuvveti
3. Ana yelkenin itme kuvveti
4. Ana yelkenin sürtünme kuvveti
5. Salmanın yan mukavemet kuvveti
6. Salmanın sürtünme kuvveti



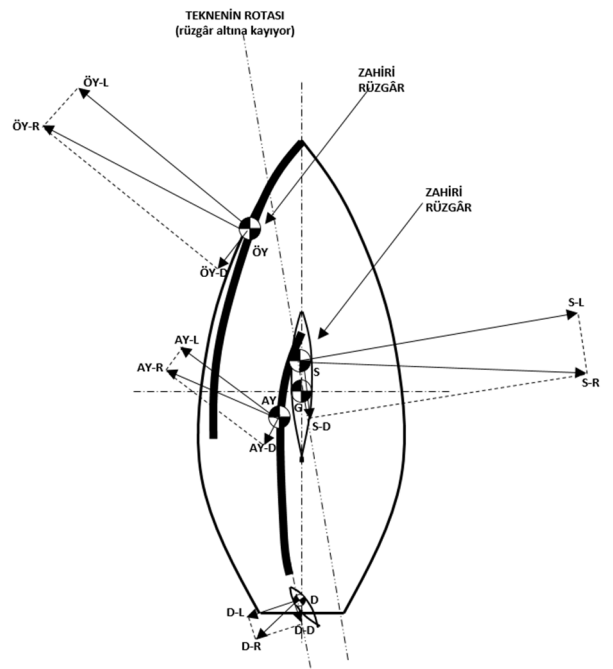
Şekil 10 Teknenin ağırlık merkezinden geçen eksenler
X-ekseni: baş-kış hattı yönünde
Y-ekseni: kemere yönünde
Z-ekseni: salma-direk yönünde

7. Dümen palasının itme kuvveti
8. Dümen palasının sürtünme kuvveti

Bunların dışında kalan diğer kuvvetleri çalışmamızın kapsamı dışında kaldıkları için irdelemeyeceğiz.

Yukarıda sıraladığımız 8 kuvvet, esasen 4 yüzeyden üretilmektedir: ön yelken, ana yelken, salma ve dümen palası. Bu aşamada vurgulamak gerekir ki, ön yelken ve ana yelkeni bir arada ele alarak tek bir kuvvet ile denge analizi yapmak, ön yelken ve ana yelken için elimizdeki farklı trim seçeneklerini ortadan kaldıracığı için doğru değildir, onları ayrı ayrı tutalım.

Şekil-11'de bu kuvvetleri orsa seyir için çizdik ve anlaşılması için de biraz abarttık. Her teknenin ağırlık merkezinin, yan mukavemet merkezinin, dümen palasının, ön ve ana yelkenlerinin kuvvet etki merkezlerinin birbirinden farklı olduğunu biliyorsunuz. Buradaki çalışmanın, sadece bu kuvvetlerin teknenin Z-ekseni etrafındaki dönüşü, baş vermesi, rüzgâr altı veya



Şekil 11

üstü dümen durumuna göre dengesi açısından yapıldığını unutmayın.

Şekil-11’de çizilen kuvvetleri sırasıyla açıklayacağız. Teknenin Z-ekseni boyunca dengesini etkileyen başka kuvvetler varsa da, bunların ihmal edilebileceğini düşündük.

Etki merkezleri itibariyle:

ÖY – ön yelken kuvvet etki merkezi. Buradan zahiri rüzgâra dik ve rüzgâr altı tarafa doğru ÖY-L itme kuvveti ve zahiri rüzgâr yönünde ÖY-D sürtünme kuvveti çıkıyor. Bunların vektörel bileşkesi de ÖY-R ön yelkenin ürettiği toplam aerodinamik kuvvet.

AY – ana yelken kuvvet etki merkezi. Buradan zahiri rüzgâra dik ve rüzgâr altı tarafa doğru AY-L itme kuvveti ve zahiri rüzgâr yönünde AY-D sürtünme kuvveti çıkıyor. Bunların vektörel bileşkesi de AY-R ön yelkenin ürettiği toplam aerodinamik kuvvet.

S – salmanın kuvvet etki merkezi (salma ve dümen palasının yukarıda bahsettiğimiz üzere simetrik birer kesit olduğunu unutmayın). Buradan teknenin suda izlediği rotasına dik ve rüzgâr üstü tarafa doğru S-L itme kuvveti ve rotanın geri yönünde S-D sürtünme kuvveti çıkıyor. Bunların vektörel bileşkesi de S-R salmanın ürettiği toplam hidrodinamik kuvvet.

D – dümen palasının kuvvet etki merkezi. Buradan teknenin suda izlediği rotasına dik ve rüzgâr üstü tarafa doğru D-L itme kuvveti ve rotanın geri yönünde D-D sürtünme kuvveti çıkıyor. Bunların vektörel bileşkesi de D-R dümen palasının ürettiği toplam hidrodinamik kuvvet. Dümen palasının teknenin x-ekseninde hiç açı verilmeden durması halinde salma gibi yan mukavemet kuvveti oluşturması söz konusu ise de, burada denge maksadıyla açı verildiği için ürettiği kuvvet çok daha yüksektir.

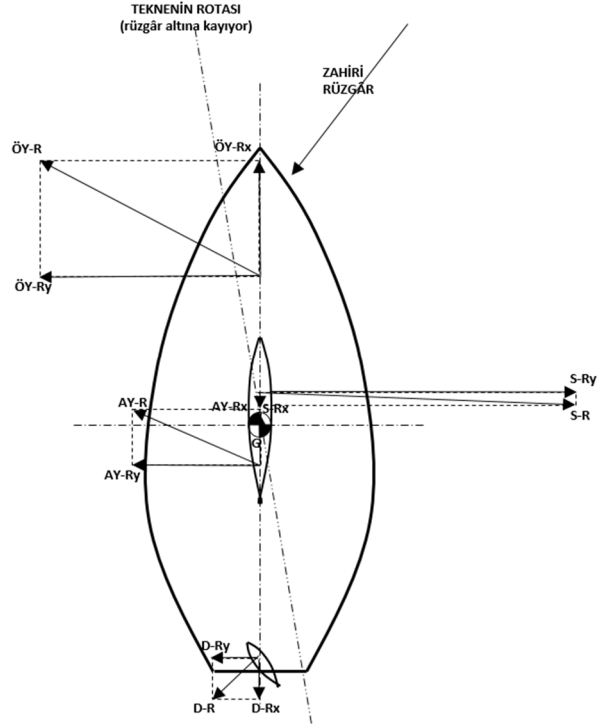
Şimdi yapacağımız şey, Şekil-12’de görüldüğü gibi bu oluşan –R kuvvetlerini vektörel açılarını bozmadan teknenin x-eksenine değene kadar kaydıracağız.

Sonra x ve y-eksenlerindeki bileşkelere ayıracağız. Şekil-12’de ön yelkenin ürettiği toplam aerodinamik kuvvet ÖY-R, x-ekseni boyunca ÖY-Rx ve y-ekseni boyunca ÖY-Ry bileşenlerine ayrıldı. Keza AY-R, S-R ve D-R kuvvetleri de aynı şekilde x ve y eksenlerine göre bileşenlerine ayrıldılar.

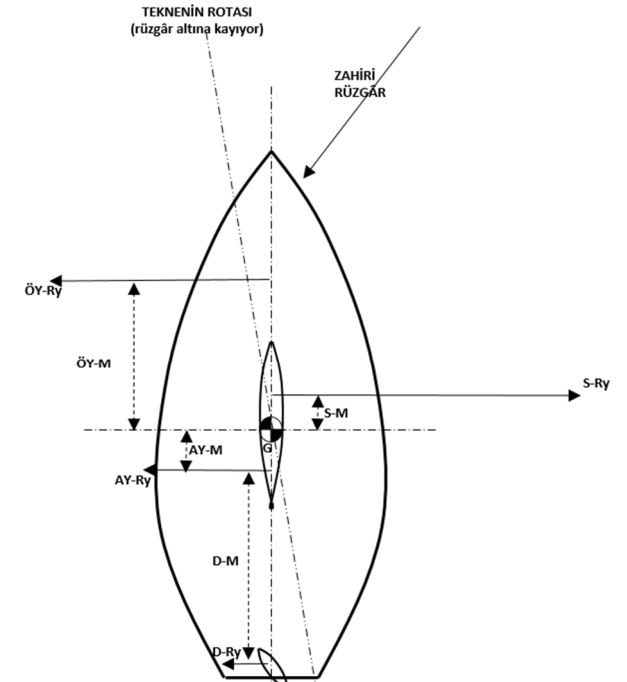
X-ekseni yönündeki kuvvet bileşenleri Z-ekseni boyunca bir momente etki etmedikleri için Şekil-13’te onları kullanmayacağız. O halde elimizde sadece y-eksenine paralel olan kuvvet bileşenleri kaldı:

ÖY-Ry
AY-Ry
S-Ry
D-Ry

Bu kuvvet bileşenleri teknemizi G ile işaretli ağırlık merkezinden geçen z-ekseni boyunca rüzgâr altına ya da



Şekil 12



Şekil 13

üstüne döndürmek isterler. Bunu döndürme momentleri ile gerçekleştirirler.

Döndürme Momenti = dönme eksenine dik olan kuvvet bileşeni x bu kuvvet bileşeninin dönme eksenine olan uzaklığı

Şimdi bu momentlere bakalım olursak:

- Ön yelken (ÖY-Ry x ÖY-M) momenti ile tekneyi rüzgâr altına çekiyor.
- Ana yelken (AY-Ry x AY-M) momenti ile tekneyi rüzgâr üstüne itiyor.
- Salma (S-Ry x S-M) momenti ile tekneyi rüzgâr üstüne itiyor.
- Dümen palası (D-Ry x D-M) momenti ile tekneyi rüzgâr üstüne itiyor.

Tekne zahiri rüzgâr açısını sabitleyerek yol aldığına ve rüzgâr üstüne veya altına kaçmadığına göre G-ağırlık merkezindeki momentlerin toplamı da -sıfır- olmalıdır. Momentleri toplarken rüzgâr altına çekenler pozitif, diğerleri negatif olacak:

$$(\text{ÖY-Ry} \times \text{ÖY-M}) = (\text{AY-Ry} \times \text{AY-M}) + (\text{S-Ry} \times \text{S-M}) + (\text{D-Ry} \times \text{D-M})$$

Şimdi burası önemli. Dikkat ettiyseniz şekilde kullandığımız örnekte tekne rüzgâr altı dümendir, yani dümenci yekeyi bıraksa tekne rüzgâr altına kaçma eğilimindedir ve biz bunu istemeyiz, ama bunun sadece bir örnek olduğunu düşünelim. Yukarıdaki moment eşitliği ve Şekil-13'teki durumu düzeltmek için ne yapabiliriz? Elimizde ne var? Elimizde ne olmadığını hemen söyleyelim: salma! Salmaya yapabileceğimiz bir şey yok. Zaten salmanın G-ağırlık merkezine olan moment kolu mesafesi de o kadar az ki, moment olarak etkisi yok denecek kadar az. İşte belki de bu sebeple salmaların kuvvet etki merkezi ile tekne ağırlık merkezi birbirlerine çok yakın tasarlanıyor.

Elimizde kalanlar ön yelkeni ana yelken ve dümen. Dümeni kullanmak yapmak istediğimiz en son şey. Keşke sıfır dümen açısı ile gidebilsek. Ama G-ağırlık merkezine moment kolu o kadar uzak ki, az bir açı ile ürettiğimiz kuvvetler bile ağırlık merkezinde büyük momentler yaratabiliyor.

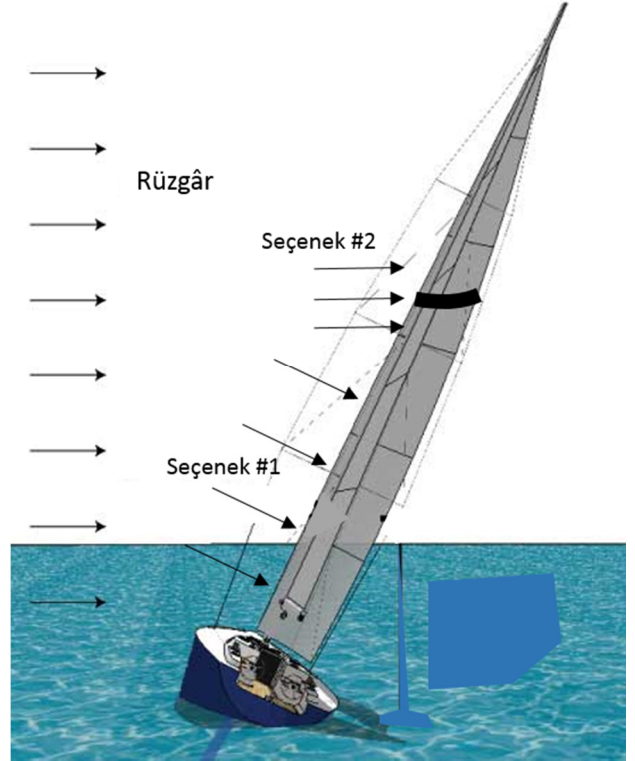
Yine yukarıdaki moment eşitliği ve Şekil-13'teki duruma bakarsak, ana yelken ve dümen palasının ön yelkeni dengelemeye çalıştığını görüyoruz. Eğer amacımız dümeni rüzgâr üstü yapmak ise seçeneklerimiz:

1. Ön yelkenin ürettiği kuvveti azaltmak
2. Ana yelkenin ürettiği kuvveti artırmak
3. Ağırlık kaydırarak G-ağırlık merkezini öne almak, bu sayede ana yelken ve dümen palasının moment kollarını uzatırken, ön yelkenin moment kolunu kısaltmak.

Tabii ki, biz burada bu kuvvetleri göstermek ve üzerinde fikir yürütmek için kendi modelimizi çizdik. İyi ellerden çıkan tasarımların orsa seyirinde rüzgâr altı dümen olmalarını beklemeyiz.

ÜÇ BOYUT ETKİSİ, TEKNENİN YATMASI

Arvel Gentry'nin makalelerini tercüme ederken, katkı veren arkadaşlarımızdan birisi, orsa seyirde yatmış olan teknesinin yelken tüylerinin baş istralyaya dik uçmadıklarını, hafifçe yukarı kaçtıklarını söyledi. Bunun bir sebebi olarak tekne yatsa da, rüzgârın halâ suya paralel estiğini ve tüylerin de buna uyduğunu düşündük. Bu doğru bir yaklaşımdır. Ancak yatmış bir teknenin yelkenleri üzerindeki hava akışının üç-boyut analizi azımsanmayacak etkileri olan bir meseledir.



Şekil 14

Şekil-14'teki yatmış olan teknenin yelkenlerinin rüzgârı alışı açısı ve bunun aerodinamik analizi gerçekten önemli bir problemdir. Bugün artık bu problemleri Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği yöntemleri ile bilgisayar yazılımları ile çözüyorlar. Bu problem ile ilgilenmek isteyenler için iki seçenek sunabiliriz. Seçenek-1'de denize paralel olan zahiri rüzgârın hız vektörünü teknenin yatış açısına dik olan bileşkesini bulmak üzere Cos(yatış açısı) ile çarpabiliriz. Rüzgârın hızı azalmış olur, ama sanki tekne hiç yatmamış gibi kuvvet hesaplamaları yapılabilir.

Bu, yaklaşımsal bir metottur çünkü hava böyle hareket etmez. Hava denize paralel yol almaya devam eder, biz tekneyi yatırarak yelken kirişini değiştirmişizdir. Seçenek-2'de buna göre kalın çizgi ile çizilmiş yeni kesit görülüyor. Bu kesitin kirişi daha uzun, toru daha azdır. Yelkenimizin dikildiği formdan farklı bir formdur ve hava bunun üzerinde akmaktadır.