

3 – Yelkenlerde İtme Kuvveti Nasıl Oluşur

Arvel Gentry bu en çok yanlış bilinen teoriyi düzeltiyor

Arvel Gentry – SAIL Magazine Haziran 1973 sayısından tercümedir

ticari amaçlı değildir, amatör denizcilerin kendi amaçlarına yönelik yararlanmaları amacıyla tercüme edilmiştir

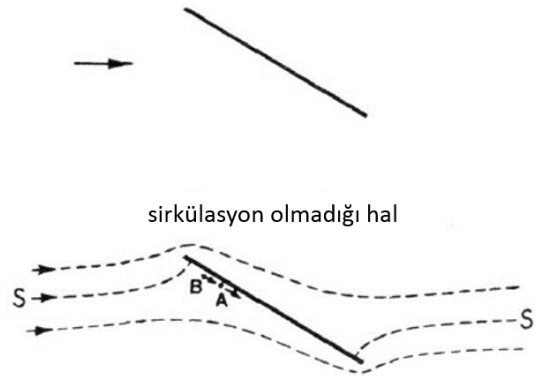
Havanın rüzgâr üstü tarafta, rüzgâr altına göre daha uzun bir yol kat etmesinden dolayı rüzgâr üstünde daha hızlı yol alması sebebiyle, iki taraf arasında basınç farkı oluştuğunu ve buradan da itme kuvveti¹ ürettiğini ve bu sayede tekneyi ilerlettiğini kaç defa duydunuz? Bu yanlıştır! Her iki tarafı eşit uzunlukta olan ince ve dümdüz bir kesit bile, rüzgâra bir açı yaptığında itme kuvveti oluşur.

O halde yelkenin nasıl itme kuvveti ürettiği ile ilgili bildiğiniz (veya bildiğinizi düşündüğünüz) her şeyi unutmaya çalışın. Yelkenin nasıl itme kuvveti ürettiği ile ilgili açıklamalar başlangıçta biraz karmaşık gelebilir, fakat fikri öğrendiğiniz zaman, gerisi kolayca anlaşılabilir.

Yelkenin rüzgâr altı tarafının çoğu kısmında basınçların serbest hava akımı basıncından daha küçük olduğu, rüzgâr üstü taraftaki basınçların ise daha büyük olduğu doğrudur. Bu basınç farklılıkları havanın rüzgâr altı tarafta daha hızlı ve rüzgâr üstü tarafta ise daha yavaş akmasından kaynaklanmaktadır (Bernoulli prensibi). Fakat havanın bu şekilde akmasına sebep olan nedir?

Eski matematikçiler bu problemi çözmeye çalışmışlar ve bir dizi denklem türetmişlerdir. Bu ilk çözümler neticesinde rüzgâra belirli bir açıda tutulan yassı ve düz bir yüzeyin çevresinde oluşan akış çizgileri Şekil-1’de gösterilmiştir. Denklemleri ve çözümleri doğru ise de, akış çizgileri kesitin her iki tarafında da aynı idi (sayfayı ters çevirdiğinizde ne demek istediğimi göreceksiniz).

Akış çizgileri her iki tarafta da aynı olduğu için, basınçtan kaynaklanan kuvvetlerin de birbirine eşit olması gerekirdi ve dolayısıyla bu yüzey herhangi bir itme (kaldırma) kuvveti üretmezdi. Bu, insanların ya da kuşların uçamayacağı anlamına gelirdi. Fakat kuşlar ve insan yapımı planörler, hem de düz, kavisi² olmayan kanatlarla uçabiliyorlar. Bu eski çözümlerde açıkça bir şey eksikti.



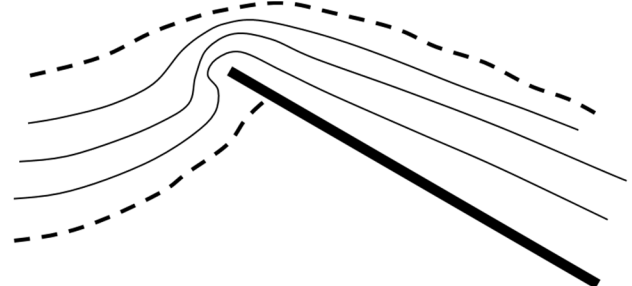
Şekil 1

Yüzeyin kenarlarının etrafında hesaplanmış akışın incelenmesi bize ipucunu verir. Şekil-1’de görüldüğü gibi matematiksel olarak belirlenmiş akış çizgileri, hücum kenarı ve firar kenarı (yelkenlerimizde orsa ve güngörmez yakaları) çevresinde sert dönüşler yapıyorlar.³ İnce bir kesit için bu durum, hava akışının bu keskin köşeleri dönebilmesi için yüksek hızlara çıkması anlamına gelir. Kesitin ön kenarını (hücum kenarını) serbest akışın geliş yönüne doğru eğmek suretiyle orsa yakasındaki bu yüksek hızlar düşürülebilir⁴, fakat firar kenarını (güngörmez) nasıl halledeceğiz?

Gerçek hayatta firar kenarı etrafındaki akışın Şekil-1’de gösterilenden farklı olduğunu görürüz. Hava firar kenarından düzgün olarak ve her iki taraftaki hız ve basınçlar da birbirine eşit olarak kesiti terk eder. Bu aerodinamik gerçeklik Kutta Şartı olarak bilinir (1902’de bunu bulan kişinin ismi ile anılır).

Kutta Şartı gereğini şu şekilde anlayabilirsiniz: Eğer Kutta Şartı yerine gelmese idi, firar kenarının rüzgâr altı tarafından gelen havanın hızı, rüzgâr üstü taraftan gelen havadan daha hızlı olacaktı (birçok yelken kitabındaki akış şekillerinde gösterildiği gibi). Bu durumda firar kenarını terk eden rüzgâr üstü ve rüzgâr altı hava akışlarını

yerleştirdiğimiz detay akış çizgilerinin orsa yakasını dönmek için nasıl birbirlerine yaklaştığına dikkat edin.



⁴ (ç.n.) Uçakların iniş ve kalkışta yüksek hücum açılarını tolere edebilmek için kanatlarının hücum kenarındaki “slat”leri indirmesi gibi

¹ (ç.n.) Aerodinamikte hava akışının bir yüzey etrafından geçmesi sonucu oluşan kuvvetlere geleneksel olarak kaldırma kuvveti (ing. lift force) ve sürtünme kuvveti (ing. drag force) denir. Bu tercümenin amaçları doğrultusunda kaldırma kuvveti yerine itme kuvveti demeyi tercih ediyoruz.

² (ç.n.) ing. camber. Türkçe’de kamber, kavis, bombe, dışbükeylik olarak geçer. Yay yüksekliğinin kirişe oranı şeklinde ifade edilir. Yelkene hava dolduğu zaman, yelken yüzeyinin şişmesi, torlanması ile orsa yakasından güngörmeze kadar kesitlerde oluşan yay şeklindeki kavisler.

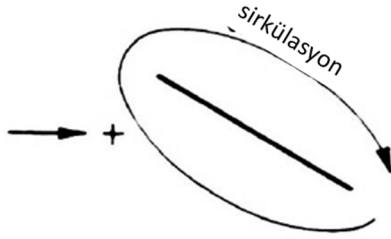
³ (ç.n.) Hatırlayacağınız üzere akış çizgileri kavramı gereği, iki akış çizgisinin arasında kalan hava, bu akış çizgilerinin dışına çıkmadan, her zaman kendi akış çizgilerinin içinde hareket eder. Burada ifade edilen “keskin dönüşü” aşağıdaki gibi resimleyebiliriz. Kesik çizgi ile gösterilen akış çizgileri arasına

ayırır çizginin her iki tarafında farklı hızlar varsa, farklı basınçlar olacaktır (Bernoulli prensibi). Farklı basınçları yelken kumaşı da artık birbirinden ayırmadığına göre yüksek basınç bölgesindeki havanın düşük basınç bölgesine itilmesine mani olacak hiçbir şey olmayacaktır.

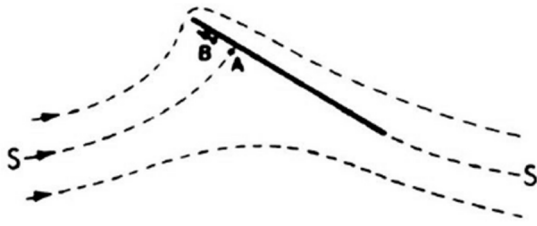
Gerçek akışta olan ise şudur: aerodinamik yüzeyin çevresindeki bölge kendisini o şekilde düzenler ki, her iki tarafından yüzeyi güngörmez yakasında terk eden havanın hızları ve basınçları birbirlerine eşit olur. Yelken etrafındaki akış alanının üzerindeki etkileri bakımından hatırlanması gereken bir prensiptir.

Matematikçiler, Kutta Şartının yerine gelmesi için, ismine “sirkülasyon” denen başka bir akış tipinin Şekil-1’deki çözüme eklenmesi gerektiğini buldular. Sirkülasyon, havanın aerodinamik kesit etrafında döndüğü özel bir matematiksel akıştır. Sirkülasyonun yönü, rüzgâr üstü tarafta güngörmezden öne doğru, orsa yakasının etrafından rüzgâr altı tarafta arkaya doğru akış (dönüş) şeklindedir. Sirkülasyon akışında havanın hızı yüzeye yakın yerlerde hızlanır ve yüzeyden uzaklaştıkça azalır.

Sirkülasyon olmayan akış ile sirkülasyon akışının bileşimi Şekil-2’de gösterilmiştir. Zahiri rüzgârın hızını ve yönünü hesaplamak için tekne hızı ile gerçek rüzgâr hızının toplanmasında olduğu gibi, burada da her iki akış birleştirilir.



sirkülasyon ile birleştiği durum



Şekil 2

Matematiksel çözüm içinde sirkülasyon hızları o şekilde hesaplanır ki, güngörmez yakasında Kutta Şartı yerine gelmiş olur; yani güngörmez her iki tarafında da hesaplanmış hava akışı hızları ve basınçları birbirlerine eşit olurlar. Sirkülasyon akışındaki hava hızları, sirkülasyon olmadığı durumdaki hızlardan düşüktür. Yüzeyin üst kısmında sirkülasyon akışının yönü, sirkülasyon olmayan akış ile aynı yödedir. Bu sebeple iki

akış birbirine eklenerek daha yüksek hava akış hızları elde edilir.

Alt tarafta sirkülasyon akışının yönü, sirkülasyon olmayan akışın ters yönündedir ve iki akış birbirini dengelemeye çalışarak daha düşük hava hızlarına sebep olurlar.

Kesitin alt kısmında yavaş ve üst kısmında ise yüksek hava hızı neticesinde alt tarafta (ç.n. rüzgâr üstü tarafta) yüksek basınç ve üst tarafta (ç.n. rüzgâr altı tarafta) düşük basınç elde ederiz ki bu sayede yelkenin iki tarafı arasında gerekli olan basınç farkına ulaşarak yelkenin kavisini korurken, tekneyi götürecek itme kuvvetini elde ederiz.

Bu matematiksel çalışmanın (sirkülasyon olan ve olmayan akışların birleştirilmesi) gerçekten anlamlı olup olmadığını sorgulayabilirsiniz.

Şekil-1 ve Şekil-2’de S ile işaretli durgunluk noktalarına bakınız. Şekil-1’de durgunluk akış çizgisi kesitin kenarına yakın bir noktaya gelmektedir. Şekil-1’de A noktasında rüzgâr üstü akış çizgisi yüzeye oldukça uzak kalmaktadır.

Bu noktada küçük ok ile işaretlenmiş yönde olmak üzere düşük hava hızı olmasını bekleriz. Bu noktadaki sirkülasyon akışının hızı neredeyse bu düşük hıza eşit olduğu için, sirkülasyon olmayan hava akışını ortadan kaldırmış olur (ç.n. sirkülasyon hız vektörünün yönü, akışın yönünün ters istikametinde olduğu için). Bu nokta Şekil-2’de görüldüğü üzere durgunluk akış çizgisinin geldiği yeni durgunluk noktasıdır.

Şekil-1’de B noktasında yüzeydeki akışın hızı A noktasına göre daha azdır. Bu sebeple sirkülasyon akışı sadece bu akışı dengelemekle kalmaz, akışın orsa yakasının etrafından olacak şekilde **ters tarafa yönlennmesine** neden olur. Buradan görürüz ki rüzgâr üstü tarafta gidecek olan havanın bir kısmı sirkülasyon sebebiyle orsa yakasına yönlendirilmiş olur. Bu durumu ayrıca Şekil-2’nin sol tarafındaki durgunluk noktasının, Şekil-1’dekinden daha aşağıda olduğunu görerek de fark edebiliriz.⁵

Kutta Şartı, itme kuvveti üreten tüm yelkenler için yerine getirilmiş olmalıdır. Oysa hava akışı güngörmez ulaşmadan yüzeyden ayrılırsa, Kutta Şartı güngörmez yakasında sağlanmamış olacaktır. Onun yerine bu Şart, güngörmez hayli arkasında ve uzağında, ayrılma bölgesinin bittiği yerde oluşacaktır.

Ancak, ayrılma bölgesinin sonundaki (ç.n. sanal firar kenarı ya da sanal güngörmez) hava akışının serbest hava akışına yaptığı açığı, yelkenin güngörmezinin gerçekte yaptığı açıdan daha küçük olduğu için, ayrılma durumunda olan kesit daha az itme kuvveti ve daha çok sürtünme kuvveti üretecektir. Bu durum Şekil-3’te gösterilmiştir.

Şartını yerine getirebilmek için sirkülasyon yüksek değerler almaktadır. Başka deyişe çok düşük hücum açısı ile rüzgârı karşılayan nispeten düz bir kesitte sirkülasyon çok düşük olacak veya hiç olmayacaktır.

⁵ (ç.n.) Sirkülasyon, Kutta Şartını yerine getirebilmek için matematiksel bir model olarak ortaya çıkmıştır. Burada fark edilmesi gereken husus aerodinamik yüzeyin rüzgâr ile yaptığı açının artması neticesinde rüzgâr altı tarafta karışık akış, ayrılma, “stall” gibi durumlar neticesinde firar kenarında Kutta



Şekil 3

Belirtmeliyim ki, buraya kadar havanın yoğunluğundan veya havanın rüzgâr altına çok daha fazla kaçmasından veya havanın yelkenlere çarpmasından bahsetmedim. Hava bu şekilde davranmaz. Ayrıca hatırlatmak gerekir ki kullandığımız kesit düz ve ince idi. Tabii ki bizim kavisli yelkenlerimiz düz kesitlere göre daha verimlidir, fakat verilen örnekten hareketle, yelkenin, itme kuvveti üretecek şekilde gerçek ya da sanal bir kalınlığı olması gerekmiyor. Hava yelkenlerin çevresinden akar ve bu akış yelken kesitinin şekli ile yönlendirilir. Bu akış temel olarak sirkülasyon olmayan bir akıştır ve ilâve olarak güngörmez yakasında Kutta Şartını yerine getirmek üzere sirkülasyon etikleri bunun üzerine konulur.

Hava, esen toz zerrecikleri gibi yelkenlere çarpmaz. Onun yerine, yelkenlerin üzerinden geçen bir akışkan gibi davranır. Hava yelkene yaklaştığını gördüğü zaman, yelkenin üzerinden geçecek şekilde hareket etmeye ve yönünü değiştirmeye başlar. Fakat hava aynı zamanda yönünü değiştirmeye karşı direnç de gösterir. Yelkenin üzerinden geçmesini sağlayacak kadardan daha fazla yönünü değiştirmek istemez.

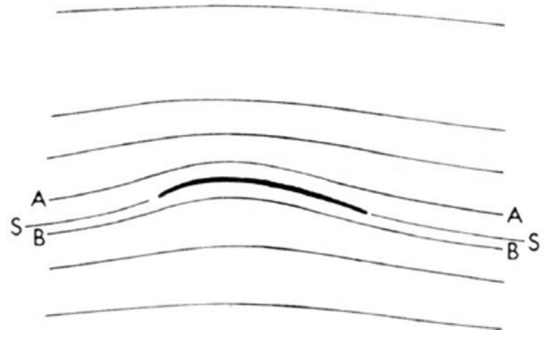
Durgunluk akış çizgisi havayı yelkenin iki tarafından geçecek şekilde böler. Rüzgâr altı taraftan geçecek olan hava, yelken yüzeyini kat etmek ve halâ Kutta Şartını sağlamak için rüzgâr altına doğru gereken yön değişikliğinden fazlasını yapmaz. Dolayısıyla rüzgâr altı akış çizgileri yelkenin ön tarafına çok yakın geçerler. Bu bölgede hızları yüksek, basınçları düşük olur.

Rüzgâr üstü tarafta ise hava biraz tembeldir; kesit ve durgunluk akış çizgileri ile oluşturulmuş kavisli içbükey bölgeye girmek istemez. Rüzgâr üstü akış çizgileri biraz yayılırlar, hava yavaşlar ve basınç yükselir. Fakat Kutta Şartını sağlamak üzere güngörmez her iki tarafındaki nihai hız, basınç ve akış yönü eşit olur.

1.Bölümde doğru akış çizgisi şeklinin nasıl olduğunu öğrendik. 2.Bölümde sınır tabakasını ve ayrılma etkilerini tanıttık. Şimdilik 3.Bölümde de yelkenin nasıl itme kuvveti ürettiğini öğrendik. Şimdi tek bir yelkenin nasıl çalıştığını görmek için bütün aerodinamik bilgisini bir araya getirelim.

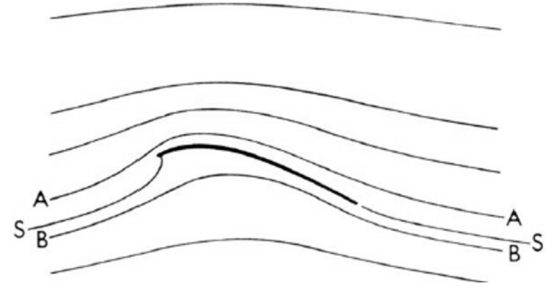
Şekil-4 ve Şekil-5 teknenin merkez hattının zahiri rüzgâr ile yaptığı iki farklı açıda (25 ve 35 derece), ön yelkeni temsil eden kesitlerin üzerinde hassas çizilen hava akışlarını gösteriyor. Yelkenin her iki tarafından geçen akışı bölen durgunluk çizgileri S harfi ile belirtilmiştir. Birinci rüzgâr altı akış çizgisi A ile ve birinci rüzgâr üstü akış çizgisi de B ile gösterilmiştir.

tekne açısı = 25°



Şekil 4

tekne açısı = 35°



Şekil 5

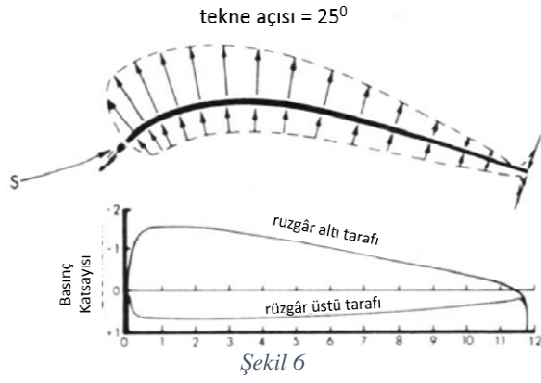
İki tekne açısı için detay basınç dağılımları ise Şekil-6 ve Şekil-7'de gösterilmiştir. Bu çizimlerde, negatif ya da emme basınçları (atmosferik basınçtan az) yelkenden dışarıya doğru olan oklar ile temsil edilmiştir. Alt yüzeydeki basınçlar genellikle atmosferik basınçtan yüksektir (pozitif basınç) ve yelkene doğru olan oklar ile temsil edilmiştir.

Her kesit çiziminin altında aynı bilgileri yelken yüzeyi boyunca (ç.n. orsa yakasından güngörmeze) basınç katsayıları ile gösteren mühendislik grafikleri vardır. Kesit üzerindeki herhangi bir noktada, rüzgâr üstü ve rüzgâr altı tarafların basınçları arasındaki fark, yelken kumaşı üzerindeki basınç farkıdır.

Eğer Şekil-4 ve Şekil-6'ya birlikte bakarsanız, daha önce öğrendiğiniz tüm bilgilerin nasıl birbirleri ile bağdaştığını göreceksiniz. Şekil-4'te durgunluk akış çizgisi S orsa yakasına düzgünce gelmektedir. A-akış çizgisi yavaş yavaş S-durgunluk akış çizgisine ve yelken yüzeyine yaklaşırken, azami kavis noktasına⁶ yaklaşmaktadır. A-akış çizgisi daha sonra yelkenden gittikçe uzaklaşmaktadır.

Bu akışa göre A-akış çizgisinin yelkene en yakın olduğu yerde hava akışında bir artış ve ardından güngörmeze

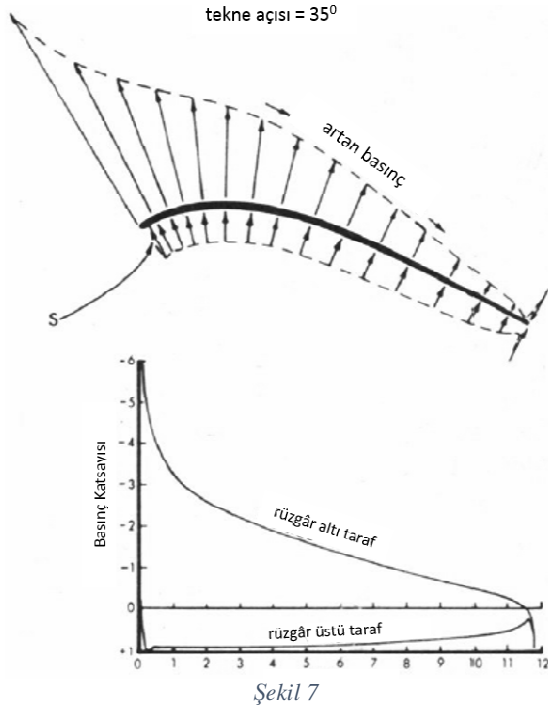
⁶ Yelkenin en fazla torlandığı, kavisin en derin olduğu yer (ing maximum camber point)



kadar havanın hızında tedrici bir azalma bekleriz. Eğer havanın hızı yükselirken basıncının düştüğünü hatırlarsanız (Bernoulli prensibi), o halde yelkenin rüzgâr altı bölgesinin önünde bir basınç düşüşü ve ardından güngörmeze kadar basınçta yavaş bir atış elde edersiniz.

Şekil-4'te B-akış çizgisi kesit ve durgunluk çizgileri tarafından oluşturulan içbükey alana girmeye direnmekte ve dolayısıyla gittikçe kesit yüzeyinden uzaklaşmaktadır. O halde rüzgârın hızı düşmekte ve basınç bu bölgede yükselmektedir. Şekil-6 tüm bunların yelken yüzeyi üzerinde basınç haline dönüşmesini göstermektedir.

Şekil-5 ve Şekil-7'deki 35 derecelik tekne açısında ise, yelken için daha büyük bir hücum açımız, çok belirgin olarak farklılaşmış bir akış çizgisi resmimiz ve sonuçta yüzey basınçlarımız var. Durgunluk akış çizgisi yelkene rüzgâr üstü yüzeyden, orsa yakasından çok az aşağıda geliyor. A-akış çizgisi orsa yakasına yakın geçiyor ve hemen ardından yüzeyden uzaklaşmaya başlıyor. A ve S



⁷ (ç.n.) karıştırılmaya müsait olması bakımından, Şekil-7'de kesitin rüzgâr altı tarafında orsa yakasından güngörmeze doğru ilerlerken basıncın artması ile çizimde basınç kuvvetinin vektör

arasındaki bütün havanın orsa yakasının rüzgâr altındaki dar aralıktan geçmesi gerekiyor.

Orsa yakasına yakın bölgede, küçük hücum açısında olduğundan çok daha yüksek hava hızları ve daha düşük basınçlar görmeyi bekleriz. Ayrıca A-akış çizgisi yüzeyden hızla uzaklaşırken, orsa yakasından geriye basınçta gittikçe hızlı bir yükselme bekleriz.⁷ Şekil-7'deki basınç çizimleri ve grafikleri aynen bunu göstermektedir.

Daha önce, sınır tabakasının basınçtaki hızlı yükselmeleri sevmediğini ve böyle durumlarda ayrılmaya meyli olduğunu öğrenmiştik. Gerçek hayatta, Şekil-5 ve Şekil-7'de gösterilen yüksek açı durumunda sınır tabakası muhtemelen ayrılacak ve yelken "stall" edecektir. Bu olduğunda, Şekil-5'teki akış çizgileri artık geçerli olmayacak çünkü yelken kesiti üzerindeki akış açısından Şekil-3'tekine benzer, tamamen değişmiş bir resimle karşı karşıya kalmış olacağız.

Diğer taraftan ayrılma olmadığı durumda bilgisayar ile hava akışını hesaplayabilirken, ayrılmaya neyin sebep olduğu ve ayrılmadan kaçınmak için ne yapılabileceği üzerinde de çalışabiliyoruz.

Şekil-4 ve Şekil-5'teki akış çizgisi diyagramlarında A ve B çizgilerinin güngörmezde ve orsa yakasından yeteri kadar uzaklıktaki S durgunluk akış çizgilerine olan açıklıkları eşittir. Bu demektir ki, güngörmezde iki tarafındaki hava hızları ve basınçları, serbest hava akışı hızına yaklaşık olarak eşittir.

Detay hesaplama sonuçları göstermektedir ki, kesit boyunun %95'inde akış hızı serbest akış hızından %14 kadar fazladır ve güngörmeze gelene kadar hız ve basınç serbest akış değerlerine yaklaşmaktadır. Bu gerçekler iki yelkeni beraber ele aldığımızda çok önemli olacaktır.

Bu Şekillerde sunulan verilerden önemli başka bir husus daha ortaya çıkıyor. Tüm yelkenler çok ince oldukları için görece keskin orsa yakaları ile rüzgâra yaptıkları açı çok hassas hale geliyor.

Hücum açısındaki (ç.n. zahiri rüzgâr açısındaki) bir artış, durgunluk akış çizgisinin yelkenin rüzgâr üstü tarafına gelmesine sebep olur. Bu durumda hava, orsa yakasındaki keskin bir dönüşten sonra toparlanıp ve güngörmeze kadar serbest akış değerlerine geri gelirken, rüzgâr altı tarafta aşırı yüksek basınç gradientlerine sebep olur. Bunun sonucu olarak akış ayrılır ve "stall" durumu ortaya çıkar.

Hücum açısı azalırken (tekne orsalarırken) durgunluk akış çizgisi orsa yakası etrafından yelkenin rüzgâr altına kayar. Bunun sonucu olan basınç dağılımı neticesinde rüzgâr altı tarafta, rüzgâr üstüne göre daha yüksek bir basınç olabileceğinden yelkenin şeklinin değişmesine sebep olur. Bu tersleme anıdır.

Bilinmelidir ki, hava toz zerrecikleri gibi yelkene çapmaz ve onu sallamaz. Yelkenin akışın yarattığı basınçlara bir tepki olarak sallanması, formunun bozulmasının sebebi

değerlerinin azalması arasında bir yanlışlık yoktur. Rüzgâr üstü basınç emme (negatif) olduğu için, basınç artışında kuvvetlerin vektörel büyüklükleri azalmaktadır.

dalgalanan basınç değerleri ve kararsız (ç.n. ing. unstable) yelken formudur.

Ayrıca, Şekil-6 ve Şekil-7’de görülüyor ki yüksek tekne açısı durumunda – eğer hava akışı ayrılmazsa – yüksek itme kuvveti üretilmektedir. Bu yüksek itme kuvveti nereden geliyor? Şekil-4 ve Şekil-5’teki akış çizgileri açıkça bunu göstermektedir. Yüksek tekne açısı (ç.n. zahiri rüzgâr açısı) güngörmezde Kutta Şartının yerine gelebilmesi için yüksek sirkülasyon anlamına geliyor. Yüksek sirkülasyon ise daha fazla havanın yukarıdan veya yelkenin rüzgâr altından geçmek üzere yönlendirilmiş olması anlamına geliyor. Bunu Şekil-5’teki durgunluk akış çizgisinin aşağıda (rüzgâr üstü tarafta) olmasından görebiliriz. Tekrar edersek, daha fazla itme kuvveti için yelkenin rüzgâr altı tarafından daha fazla havanın geçmesini sağlamalıyız.

Eğer ilk üç makaleyi dikkatli okuduysanız, her iki yelkenin, ön yelken ve ana yelkenin birlikte kullanıldığında ne olacağını tahmin edebiliyor olmalısınız. Bir sonraki makaleye kadar yelken kitaplarında aralığın nasıl çalıştığını gösteren çizimlere ve açıklamalarına bakın. Bakalım neden yanlış olduklarını fark edebilecek misiniz?

Sonraki makale: ön yelken, ana yelken ve aralık etkisi