

JAA ATPL Eğitimi

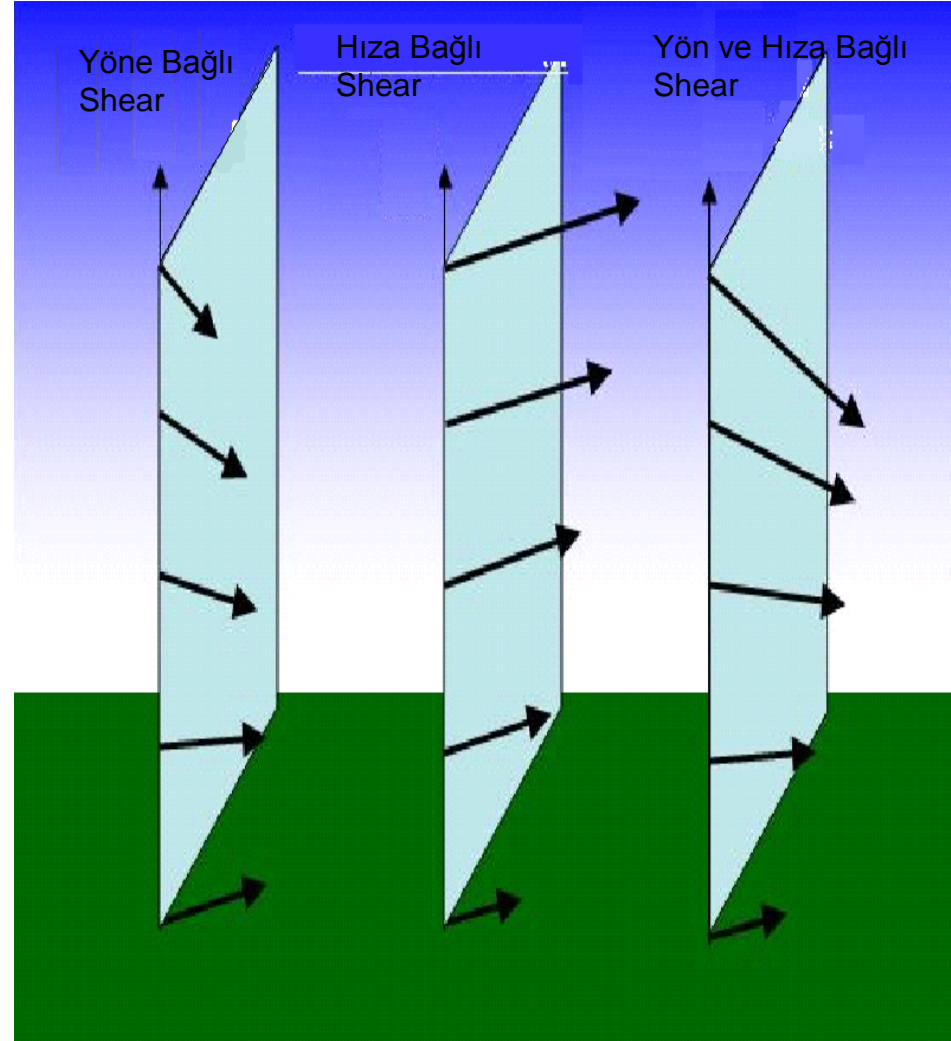
(METEOROLOJİ)

Hazırlayan: İbrahim CAMALAN
Meteoroloji Mühendisi

2012

WINDSHEAR AND TURBULENCE

- **WINDSHEAR** :Rüzgar kesmesi rüzgar yön ve hızında belirli bir mesafede meydana gelen ani değişiklik olarak tanımlanabilir.
- Rüzgar Sheari temel olarak iki durumda incelenir.
- **Yatay Rüzgar Sheari.**
- **Düşey Rüzgar Sheari.**
- Gerek düşey, gerekse yatay mesafede meydana gelen Rüzgar Sheari atmosferde herhangi bir yerdeki rüzgar alanının devamlılık etkisini ani bir şekilde sonlandırır ve başka bir rüzgar alanına geçişi sağlar ki bu etki kesme etkisi (shearing effect) olarak tanımlanır. Bu durum düşey mesafede oluşan Rüzgar Sheari bakımından önemlidir ve havacılık için önemli bir tehlike kaynağıdır.



WINDSHEAR

- Rüzgar Sheari'nin oluşmasında pek çok meteorolojik faktör rol oynar. Bu faktörlerin dayandığı temel atmosferdeki termal dengeyle ilgilidir. Aşağıdaki meteorolojik faktörler windshear in oluşmasına sebep olurlar
- Sıcaklık terselmesi (inversion)
- Dağ dalgaları ve rotor etkisi (Mountain waves and rotors)
- Katabatik rüzgarlar (fall winds)
- Deniz meltemi cephesi (Sea breeze fronts)
- Cepheler (air mass fronts)
- CB bulutu
- Alçak seviye jeti (Low level jet)
- Jet akımları (jet streams)

LOW ALTITUDE WINDSHEAR

Atmosferde Rüzgar Shearine her seviyede rastlanılabılır. Ancak Rüzgar Shearinin yerden itibaren 500 m (1600 feet) bir tabakada rastlanması uçak inişi ve kalkışı bakımından oldukça tehlikeli ve zarar vericidir. Yerden itibaren olan söz konusu tabakadaki Rüzgar Shearine **Alçak Seviye Rüzgar Sheari** (Low-Level Wind Shear) adı verilir.

Düşey windshear: Yatay doğrultuda, düşey iki nokta arasındaki rüzgarın vektörel olarak farkları alınarak bulunur. Hava alanlarında değişik yüksekliğe sahip iki veya daha fazla noktadan aynı anda yapılan rüzgar ölçümlerinin sonucunda tespiti mümkün olabılır.

En çok oraj bulutlarının olgunlaşma ve dağılma safhalarında, aşağı yönlü çöküşler sonucu meydana gelir. Uçaklarda irtifa kaybına neden olur.

LOW ALTITUDE WINDSHEAR

Yatay windshear: Yatay doğrultudaki iki nokta arasındaki rüzgarın vektörel olarak farkları alınarak bulunur. Pist boyunca aynı yüksekliğe sahip iki veya daha fazla noktadan aynı anda yapılan rüzgar ölçümlerinin sonucunda tespiti mümkün olabilir. Yerden 100-150m yükseklikte görülür.

Oraj bulutlarından yere doğru çöküşlerden sonra görülür, Uçağın etkilendiği kanat altı ve baş rüzgarındaki düzensizlik uçuş güvenliğini negatif yönde etkiler. İnişlerde irtifa kaybına, kalkışta zorlanmaya neden olur. Yere yakın wind shear'e yakalanan uçağın kaza yapma olasılığı çok fazladır.

Updraught/downdraught shear Yatay doğrultuda rüzgarın düşey bileşenindeki değişiktir.

LOW ALTITUDE WINDSHEAR

Rüzgar Sheari koşullarında uçakların inişinde ve kalkışında, kafa rüzgarı (headwind) ve kuyruk rüzgarı (tailwind) çok kısa mesafede önemli değişiklikler gösterecektir.

- Uçak inişe geçtiği sırada kafa rüzgarında ani ve hızlı bir düşüş varsa veya kuyruk rüzgarında ani bir artma söz konusu ise bu durumda uçağın hızı kafa rüzgarının hızıyla aynı oranda düşüş gösterir.
- Ayrıca söz konusu durumda uçağın hızındaki düşüş kuyruk rüzgarının yaratmış olduğu ivmeyle de orantılıdır. inişe geçmiş bir uçağın hızında ani düşüş olduğunda uçağın iniş eğimi aniden artar.

LOW ALTITUDE WINDSHEAR

- Uçağın iniş açısındaki ani değişiklik dengesiz kuvvetlerin etkisinde ve rasgele olacaktır. Yere doğru kuvvetli Rüzgar Sheari koşulları devamlılık gösteriyorsa uçağın dengesi bozulacak ve pilotun uçağı kontrol edemeyecektir.
- Yukarıdaki durumun tersine, uçak inişe geçtiği sırada kafa rüzgarında ani ve hızlı bir yükseliş varsa veya kuyruk rüzgarında ani bir düşüş varsa böyle durumda uçak aniden hızlanır. Sonuçta uçağın iniş açısı aniden artar ve uçağın kafası yukarı doğru dikilebilir.

ORAJ ANINDA WINDSHEAR

Atmosferde sıcaklığın yükseklikle hızlı bir şekilde azaldığı durumlarda kuvvetli kararsızlıklar meydana gelir. Böyle durumlarda genel hava hareketi yerden yukarı doğrudur (konverjans).

Ancak kararsızlığın ileri aşamalarında oraj bulutları oluşur. Oraj bulutlarının tepe yüksekliği kararsızlığın şiddetine bağlı olarak tropopoz seviyesinin üzerine kadar çıkabilir. Böyle durumlarda microburst, downburst gibi hadiseler ortaya çıkabilir.

Rüzgar sheari bakımından microburst ve downburst öne çıkar ve her ikisinde de oraj bulutundan yere doğru bir akım (downdraft) mevcuttur. Bütün bu olayların meydana geldiği durumlarda yükseklikle rüzgar önemli ölçüde değişiklik gösterir.

Gerek bulut içi gerekse de bulut dışında kuvvetli kararsızlık ve oraj durumlarında türbülanslı akım ve bunun sonucu olarak kuvvetli Rüzgar Shearlari meydana gelir.

ORAJ ANINDA WINDSHEAR

Uçak motor gücünün etkisindeyken ve havada süzülme esnasında kanat eksenine, kanada gelen rüzgar yönü arasında bir açı oluşur. Bu açıya İngilizce'de "Angle of Attack" açısı adı verilir .

Bu açıya rüzgarın düşey bileşeni etki eder ve bu bileşen, cephe ve konvektif gelişmelerin olduğu kararsız hava koşulları durumunda çok önemlidir.

Özellikle yere doğru kuvvetli hava akımlarının olduğu downburst durumunda oluşan kuvvetli Rüzgar Sheari "Angle of Attack" açısı üzerinde oldukça etkilidir.

Pek çok havaalanında karasızlıktan kaynaklanan Rüzgar Shearlarının sebep olduğu uçak kazaları gerçekleşmiştir.

INVERSION DURUMUNDA WINDSHEAR

- Inversion a bağlı low level wind shear çoğunlukla kapalı gecelerde ve cephesel enverziyon bölgelerinde görülür.
- Sürtünme tabakasının altındaki (yer rüzgarı) ile üst seviyeler arasındaki fark shear'e neden olur.
- Yer seviyesinde durgun veya yavaş hareket mevcutken yukarı seviyelerdeki havanın hızlı hareket etmesi, iki yüzey arasında shear'e neden olur.

Türbülans sınır tabakası

- Hamleli ve aralıklarla duran, kuvvetli yer rüzgarı shear'e neden olur.
- Sıcak bölgelerde yerdeki aşırı ısınmadan oluşan termal türbülans, aşağı/yukarı kuvvetli hareketlere neden olur

Topografya ya bağlı Windshear

Tek bir doğrultuda ve uzun süreli bir hava hareketi rüzgar bakımından farklı yapıda arazilerde değişik sonuçların doğmasına neden olabilmektedir. Burada arazinin yapısı ve deniz veya göl gibi su kütlelerine yakınlığı ön plana çıkmaktadır.

- Dağlık bölgelerdeki arazilerde dağ ve vadi meltemleri (mountain, valley breeze) meydana gelebilir. Dağ ve vadi meltemlerinin etkisinin kuvvetli olmasında vadi tabanının derinliği ve dağ silsilesinin yüksekliği önemli rol oynamaktadır.

Topografya ya bağlı Windshear

- Her iki meltem durumunda da yükselici ve çökmekte olan hava kütlelerinden söz edilebilmektedir. Termik yapının farklılık gösterdiği durumlarda dağ ve vadi meltemlerinin etkisi daha da artacak ve kuvvetli rüzgarların olmasına sebep olacaktır.
- Bütün bunların sonucunda sürtünmenin de etkisiyle yerden yukarı doğru rüzgar önemli değişiklikler gösterecektir. Bu durumda özellikle yere yakın seviyelerde kuvvetli Rüzgar Shearlari beklenilebilir.

Topografya ya bağlı Windshear

Dağlık b6lgelerde dağ ve vadi meltemlerinin neden olduğu Rüzgar Shearlarının yanı sıra dağ dalgalarının sebep olduğu Rüzgar Shearlarine de sık sık rastlanılır. Dağ dalgası, dağ engeline çarpan hava akımlarının oluşturduğu atmosferik dalgalardır. Düzgün bir akımla (laminer akım) dağ engeline çarpan akımlar oldukça türbülanslı dalgaların oluşmasına neden olabilir.

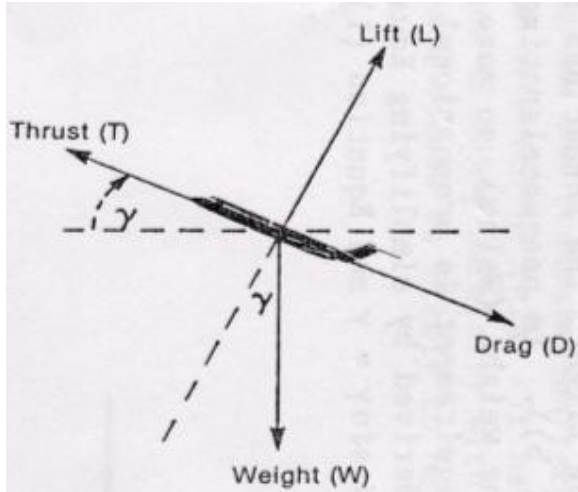
Bu durumda, yükselici ve alçalıcı hareketlenmelerin sonucu olarak hava parseli içerisindeki termik yapı da değişebilir. Sonuç olarak dağ seviyesinin hemen üzerinde ve yamaçlarda kuvvetli Rüzgar Shearlari oluşabilir.

Topografya ya bağlı Windshear

- Deniz seviyesinden oldukça yüksek, deniz etkisinden uzak düz ovalarda, platolarda gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları büyüktür. Hatta gün içerisinde bile gneşlenmeden dolayı farklı sıcaklık değerleri oluşabilir.
- Bunun sonucunda hava yoğunluğunda ani ve farklı değişmeler meydana gelir. Böylece mikro ölçekli basınç sistemleri oluşur ve bunun sonucunda kuvvetli rüzgarlar meydana gelir.
- Yer seviyesinde meydana gelen kuvvetli rüzgarlar sürtünme tabakasına doğru azalabilir ve bu etki kuvvetli Rüzgar Shearlarının oluşmasına sebep olabilir.

Windshear in uçuş halindeki bir uçağa etkileri

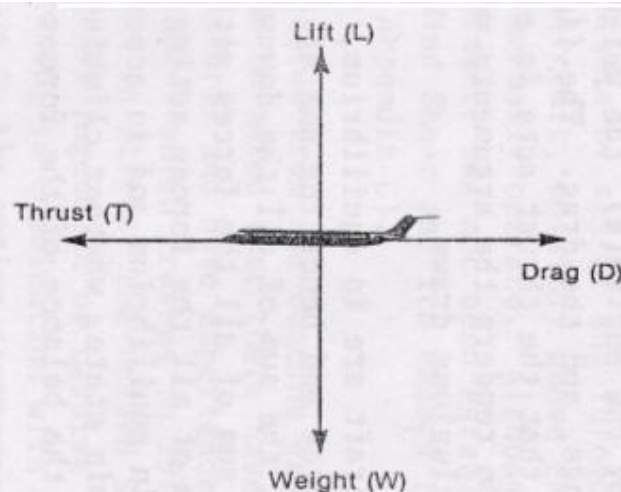
Alçak Seviye Rüzgar Shearinin uçakların performansına olan etkisini anlayabilmek için dengeli bir uçuş sırasında, uçağın üzerine etki eden bütün kuvvetlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu kuvvetler uçuşun temel prensiplerini teşkil eder. Söz konusu kuvvetler, motor etkisinde meydana gelen Motor İtme Kuvveti (Thrust), Uçağın Ağırlığı (Weight), Sürtünme Kuvveti (Drag) ve Havanın Kaldırma Kuvvetidir (Lift) Uçuş söz konusu bu dört kuvvetin dengesinde meydana gelir. Güvenli ve dengeli bir uçuş için bu dört kuvvetin bir biri arasındaki dengenin tam olması zorunludur



a) Tırmanma

$$T = D + W \sin \gamma \quad \dots \dots \dots (1)$$

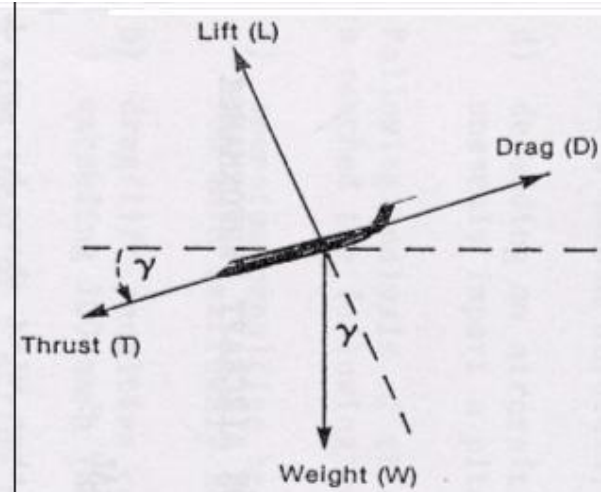
$$L = W \cos \gamma \quad \dots \dots \dots (2)$$



b) Uçuşta

$$T = D \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$L = W \quad \dots \dots \dots (4)$$



c) İnişte

$$T + W \sin \gamma = D \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$L = W \cos \gamma \quad \dots \dots \dots (6)$$

Windshear in uçuş halindeki bir uçağa etkileri

Pilot eğitiminde ilk olarak rüzgarın sadece uçağın yere göre olan hızına (Ground Speed, GS) ve süzölmeye (drift) olan etkisi öğretilmektedir.

Ancak Rüzgarın uçak üzerindeki bütün etkisi söz konusu iki durumla sınırlı değildir.

Bu da Rüzgar Shearinin uçak üzerine olan etkisinin anlaşılmasında büyük zorlukların yaşanmasına neden olmaktadır.

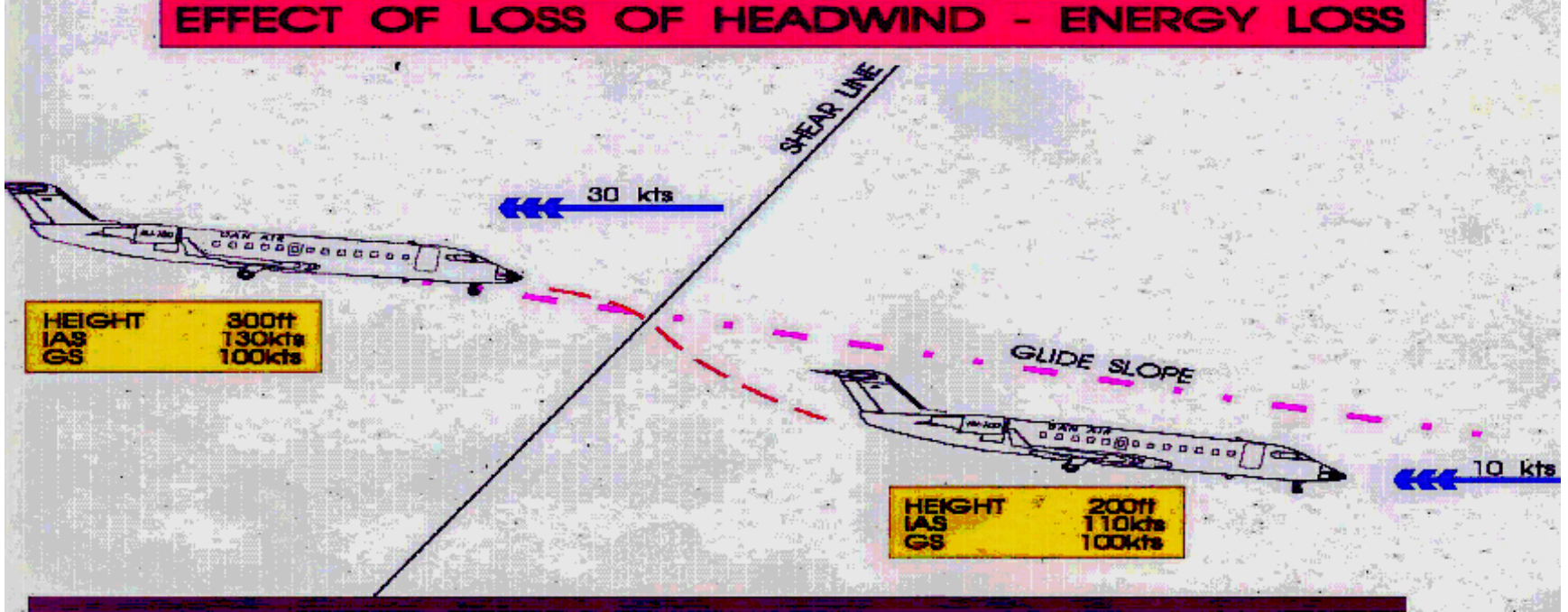
Rüzgarın GS ve drift'e olan etkisinin Rüzgar Sheari durumunda daha iyi anlaşılabilmesi için, rüzgardaki ani ve önemli değişikliğin hesaba katılması Rüzgar Shearinin uçaklara olan etkisini daha iyi anlaşılabilir kılacaktır.

Düzenli akışın olduğu durumlarda ve rüzgarın tedrici olarak değiştiiği durumlarda rüzgarın uçak hızına etki etmediği aşığıdaki eşitlik ile doğrulanır.

GS (Ground Speed) = Uçağın Gösterge Hızı (Indicated air speed) ± Uçağa Etki Eden Rüzgar Hızı (Wind)

Windshear in uçuş halindeki bir uçağa etkileri

GS (Ground Speed) = Uçağın Gösterge Hızı (Indicated Air Speed) \pm Uçağa Etki Eden Rüzgar Hızı (Wind)



Rüzgar Shearine maruz kalan bir uçakta, kafa ve kuyruk rüzgarı hızla değişiklik gösterdiği için eylemsizlik hareketi meydana gelecektir.

Bu durumda uçak ne hızlanabilecek ne de yavaşlayabilecektir. Aynı zamanda uçak kendi orijinal hızını da koruyamayacak ve sadece rüzgar hızına göre hareketini sürdürecektir. Bu ir durumda uçağa etki eden kuvvetlerin dengesi önemli ölçüde bozulacaktır.

$$IAS=100kt+30kt \rightarrow 130kt$$

$$IAS=100kt+10kt \rightarrow 110kt$$

Windshear in uçuş halindeki bir uçağa etkileri

$$IAS_1 = 100kt + 30kt \rightarrow 130kt \quad IAS_2 = 100kt + 10kt \rightarrow 110kt$$

$$IAS_1 - IAS_2 = 20kt$$

Uçak düzgün bir şekilde alçalmaya devam ederken uçağa etkiyen rüzgar hızındaki bu ani değişiklik uçak üzerine etkiyen kuvvetlerin bileşke vektörünü değiştirecektir. Uçak yolundan rüzgar etkisiyle meydana bu bileşke vektör kadar sapma gösterecektir.

Uçak inişe geçtiği sırada kafa rüzgarında ani ve hızlı bir düşüş varsa veya kuyruk rüzgarında ani bir artma söz konusu ise bu durumda uçağın hızı kafa rüzgarının hızıyla aynı oranda düşüş gösterir. Bu durum inişe geçmiş bir uçağın hızında ani düşüş yaratacağından uçağın iniş eğimi aniden artar.

Windshear in uçuş halindeki bir uçağa etkileri önceki durumun tersine, uçak inişe geçtiği sırada kafa rüzgarında ani ve hızlı bir yükseliş varsa veya kuyruk rüzgarında ani bir düşüş varsa böyle durumda uçak aniden hızlanır.

Sonuçta uçağın iniş açısı aniden artar ve uçağın kafası yukarı doğru dikilebilir.

Önceki durumun tersine, uçak inişe geçtiği sırada kafa rüzgarında ani ve hızlı bir yükseliş varsa veya kuyruk rüzgarında ani bir düşüş varsa böyle durumda uçak aniden hızlanır.

Sonuçta uçağın iniş açısı aniden artar ve uçağın kafası yukarı doğru dikilebilir.

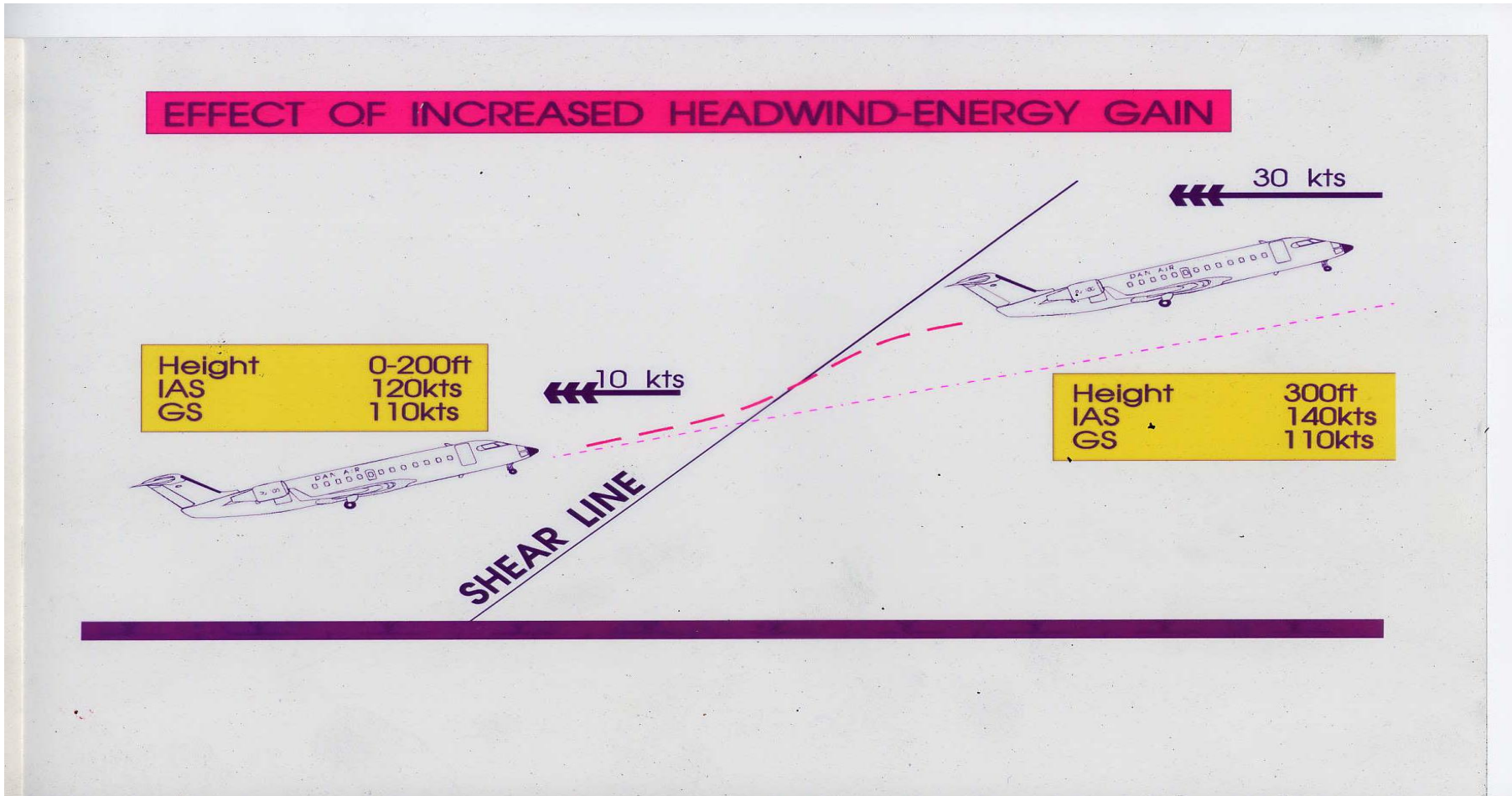
Windshear in uçuş halindeki bir uçağa etkileri

$$IAS = GS \pm W$$

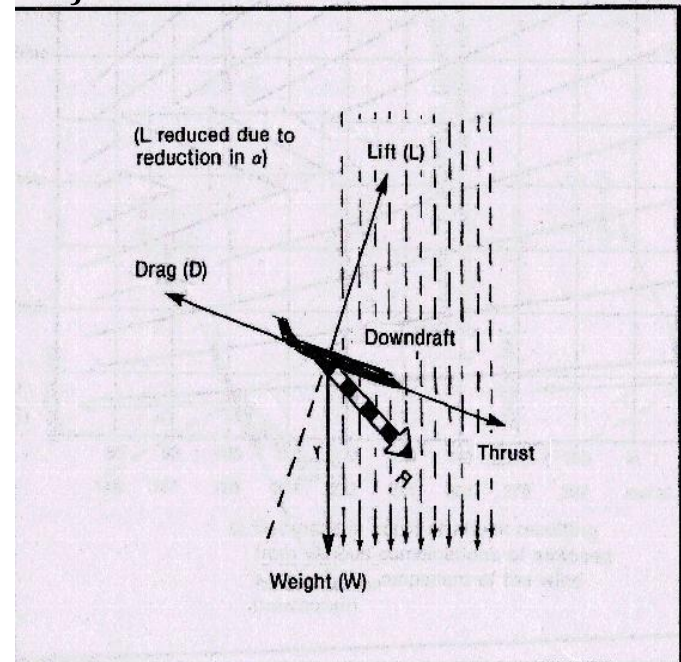
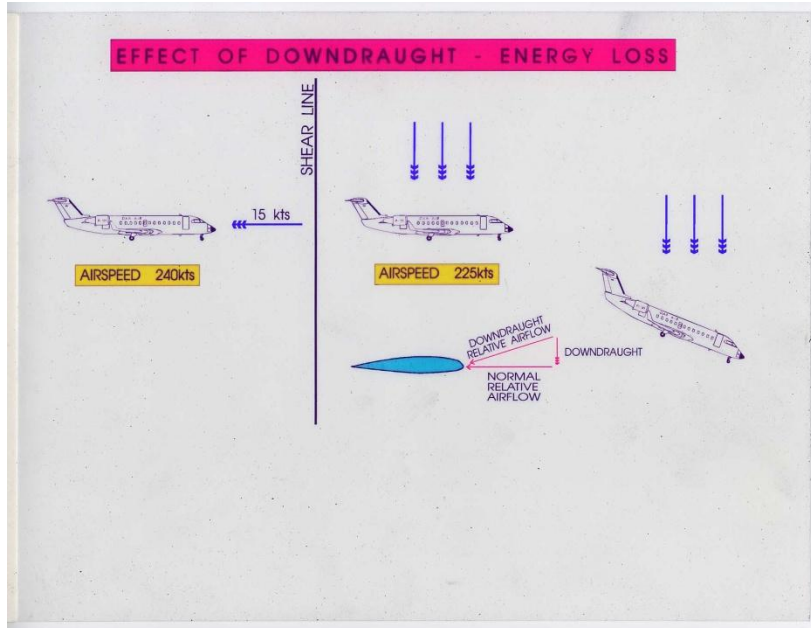
$$IAS_1 = 110\text{kt} + 10\text{kt} \rightarrow 120\text{kt}$$

$$IAS_2 = 110\text{kt} + 30\text{kt} \rightarrow 140\text{kt}$$

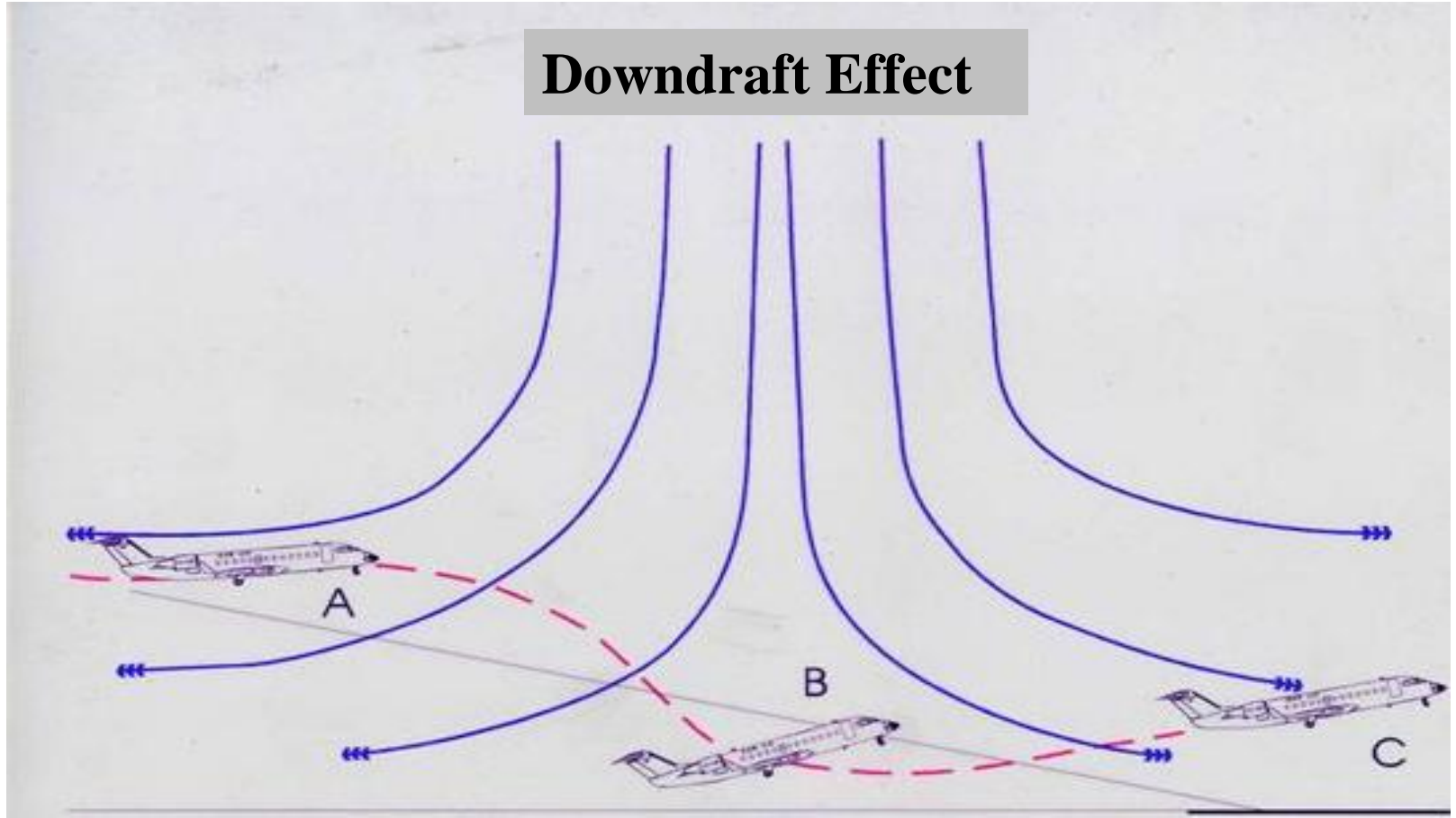
$$IAS_1 - IAS_2 = 20\text{kt}$$



Aşağı yönlü akımların bir uçağa etkileri
“Angle of Attack” açısı literatürde α ile gösterilir. α açısına rüzgarın düşey bileşeni etki eder ve bu bileşen, cephe ve konvektif gelişmelerin olduğu kararsız hava koşulları durumunda çok önemlidir. Özellikle yere doğru kuvvetli hava akımlarının olduğu downdraft durumunda oluşan kuvvetli Rüzgar Sheari α açısı üzerinde oldukça etkilidir. Aşağıya doğru olan hava hareketinde (downdraft) α açısındaki azalma çok daha önemlidir. Kuvvetli bir downdraft durumunda herhangi bir uçağın sahip olabileceği bileşke vektörün yönü sağdaki şekilde gösterilmiştir.



Aşağı yönlü akımların bir uçağa etkileri

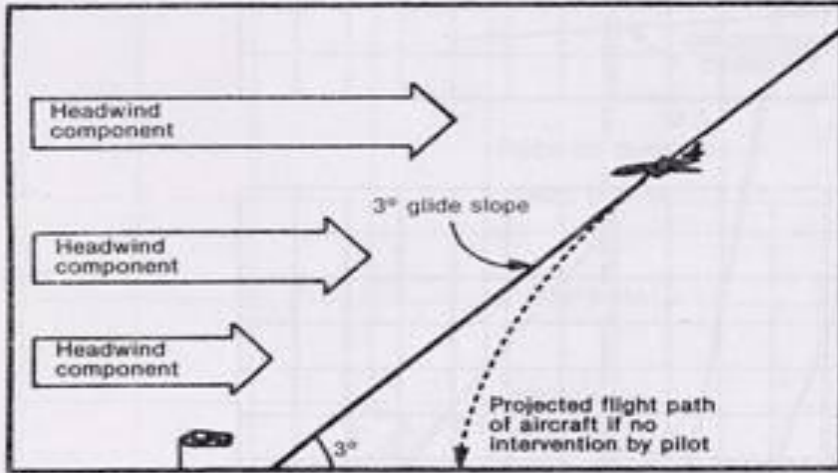


A- Kuvvetli baş rüzgarı, enerji kazanımı, IAS artışı

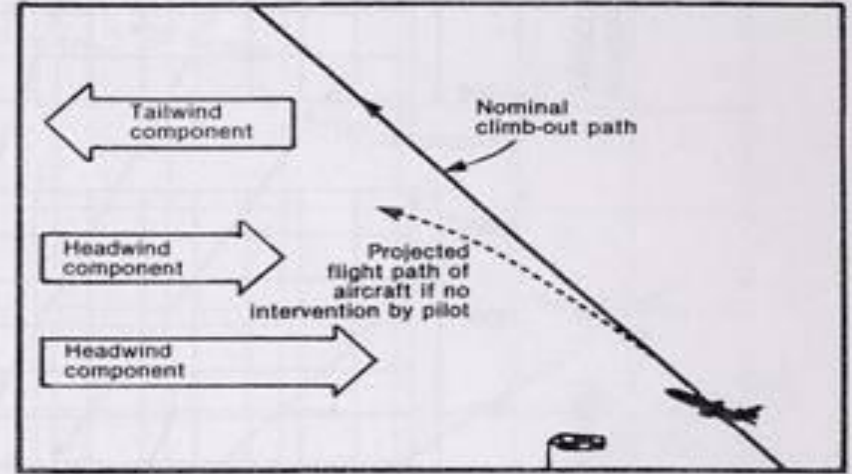
B- Baş rüzgarında düşüş, Enerji kaybı, aşağıya doğru düşme

C- kuyruk rüzgarının artışı, Enerji kaybı, yaklaşmanın kaçırılması

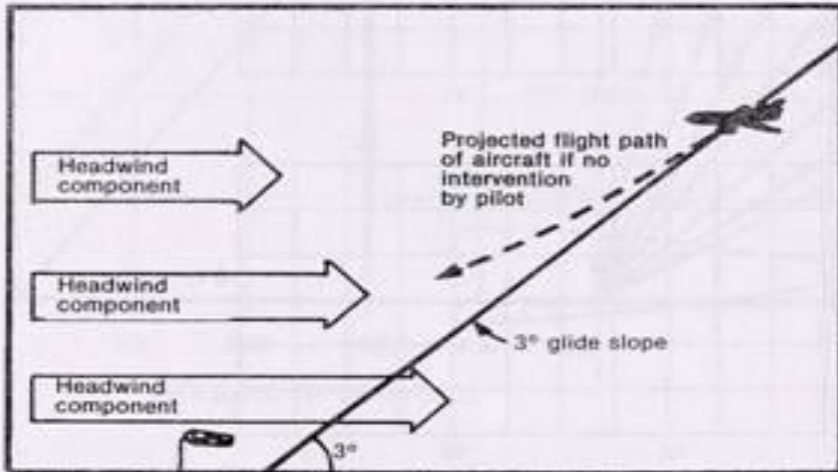
Aşağı yönlü akımların bir uçağa etkileri



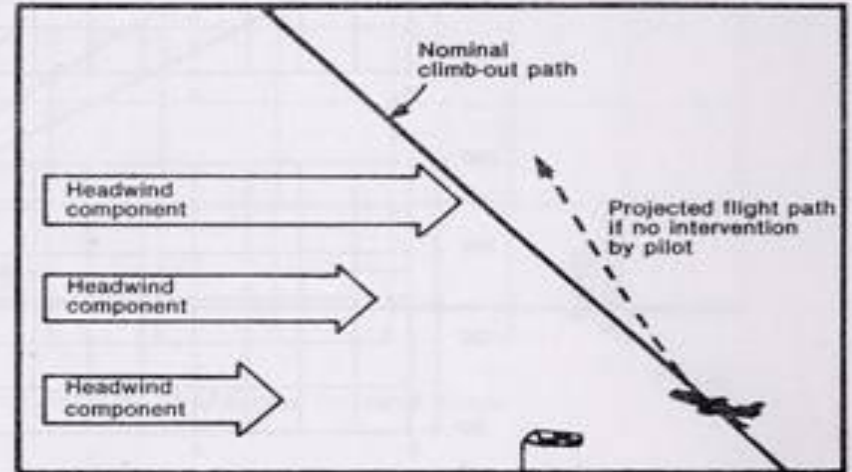
a) Landing in decreasing headwind



b) Take-off in decreasing headwind



c) Landing in increasing headwind



d) Take-off in increasing headwind





Wind shear in tespiti

Görerek Gözlem

Wind Shear'in tek başına gidişatı, ilerleyişi görülemez. Ancak çoğunlukla etkileri görülebilir. Oluşum sebepleri ya da yeryüzünde meydana getirdiği etkilere bakılarak, aynı zamanda başka meteorolojik bilgilerin yardımıyla Wind Shear tespiti yapılabilir.

Uygun Meteorolojik Aletlerle Gözlem

Anemometrelerle:

Yatay planda pist boyunca, yatay Wind Shear'i ölçmek için anemometreler kullanılabilir. Teker alma ve teker koyma gibi uçuş için önem arz eden noktalara anemometreler kurularak rüzgar bilgileri ölçülebilir

Sondaj Balon:

Balon yükselirken seviyeler arası rüzgarlardaki farklılıkları ölçülür. Dikey Wind Shear'in profilini görme açısından çok yararlıdır. Havaalanlarında özellikle dikey Wind Shear tespitinde sıkça kullanılan metottur.

Yer Meteoroloji Radarı:

Zayıf ve farklı ekoları algılamada genellikle squal hattından doğan hamle cephesi tespitinde kullanılan küçük çaplı meteorolojik radarlar mevcuttur. Bu cephelerden meydana gelen Wind Shear'i ölçmede bu radarlar kullanılabilirler.

Meteorolojik Uydular ile Gözlem:

Wind Shear ile ilgili olan hamle cepheleri uydular ile gözlenebilir. Cephelerin analizleri ile Shear tespiti yapılabilir.

Wind shear ikazlarının temini

Meteorolojik ihbarlardan,

Hava Trafik Servisi ikazlarından,

Pilotların yapmış olduğu ikaz ve raporlardan (PIREP) ,

Uçak üzerine monteli alet ve sistemlerden ,

Standart Uçuş Güvertesi Ekipmanlarının Kullanılması (altimetre ve dikey hız indikatörü)

Modifiye Edilmiş Dikey Hız İndikatörü

Havada Doppler Radar

Baş-Yukarı Göstergesi

Modifiye Edilmiş durgun Sefer Sistemleri

Wind shear in sınıflandırılması (ICAO Tanımlamaları)

Intensity of windshear	Vertical wind shear/100 ft	Horizontal wind Shear/2000 ft	Up or Down draought	Effect on flight altitude
Light	0 -4 kt	0 -4 kt	0 -4 kt	Small
Moderate	4- 8 kt	4- 8 kt	4- 8 kt	Significant
Strong	8-12 kt	8-12 kt	8-12 kt	Hazardous
Severe	> 12 kt	> 12 kt	> 12 kt	Highly dangerous

TÜRBÜLANS

Aşağıdaki durumlarda Türbülans meydana getiren küçük ölçekli girdaplar oluşur.

- Düzenli bir hava akışı herhangi bir yüzey engeli nedeni ile buzuluyorsa.
- Farklı yöndeki veya hızdaki iki hava akımını karşılaştıklarında
- Aynı akım içerisindeki havanın hızı ani şekilde değişikliğe uğradığı zaman

Türbülanslı havada rüzgar hızında kısa süreli artışlar veya azalışlar görülür.

Rüzgar hızındaki kısa süreli ani artışlara Gust

Rüzgar hızındaki kısa süreli ani azalmalara da Lull denir.

TÜRBÜLANSIN OLUŞUMU ve ÇEŞİTLERİ

Türbülansın oluşumunda başlıca 4 neden vardır.

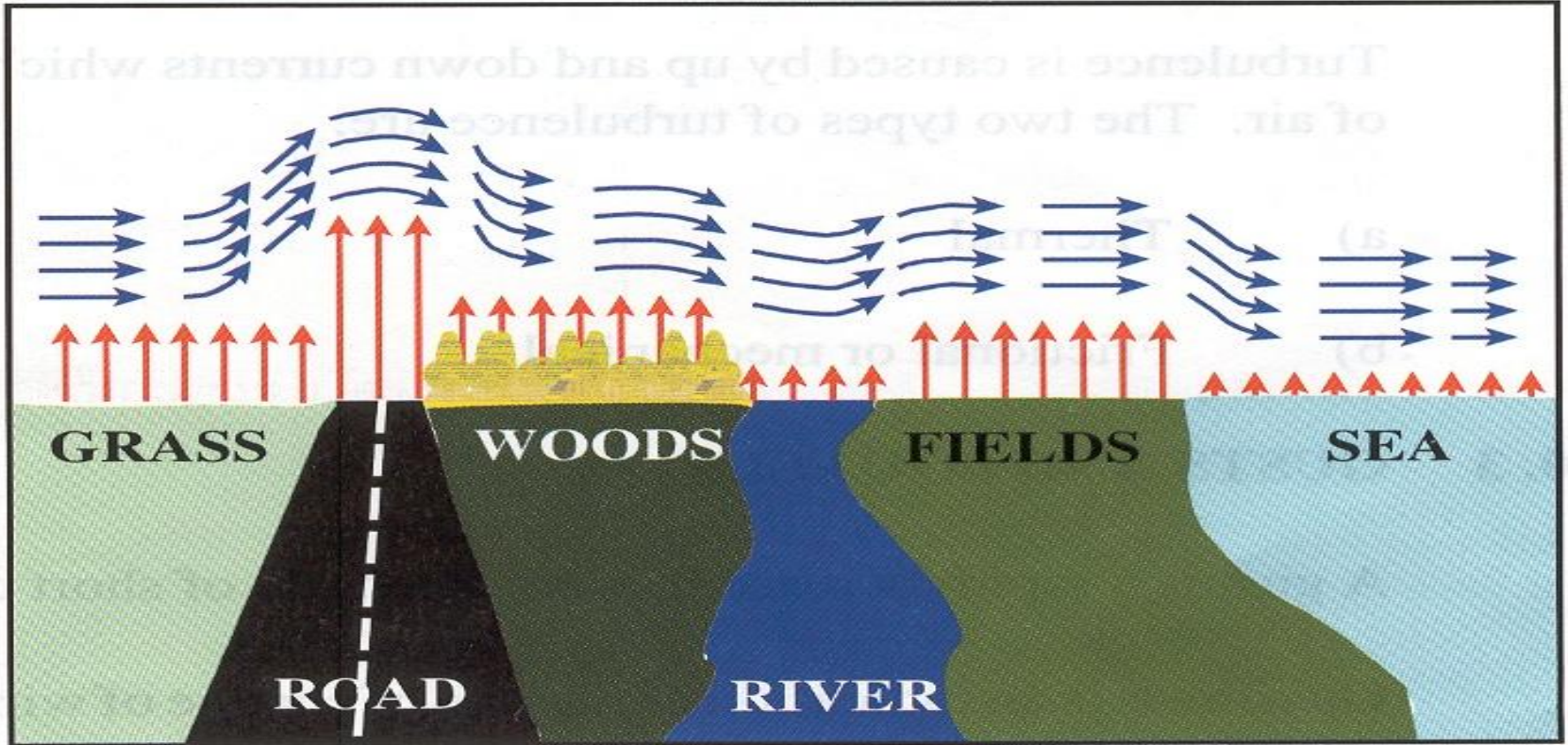
- a- Konvektif hareketler sonucu (Termal türbülans)
- b- Yeryüzü şekilleri nedeniyle (mekanik türbülans)
- c- Wind shear'i nedeniyle
- d- Uçağın oluşturduğu (kuyruk türbülansı)

- **Light (Hafif)** - 3 ila 20ft/sec arası ise hafif,
- **Moderate (Orta)** - 20 ile 35ft/sec ise Orta şiddette,
- **Severe (Ciddi)** - 35 ile 50ft/sec ise şiddetli,
- **Extreme (Aşırı)** - 50ft/sec dan daha fazla ise çok şiddetli olarak adlandırılır.

Konvektif hareketler sonucu oluşan (Termal) türbülans

Yeteri kadar neme sahip olan bir hava parselinde ısınma görülmesi ve parselde konvektif faaliyetlerin başlamasıyla oluşan türbülanstır. Bu tip türbülansın şiddeti yeryüzünün nemliliğine, coğrafik yapısına ve ısınma derecesine göre değişiklik gösterir. Konvektif akımların şiddeti kısmen alttaki yüzeyin ne kadar ısındığına bağlıdır.

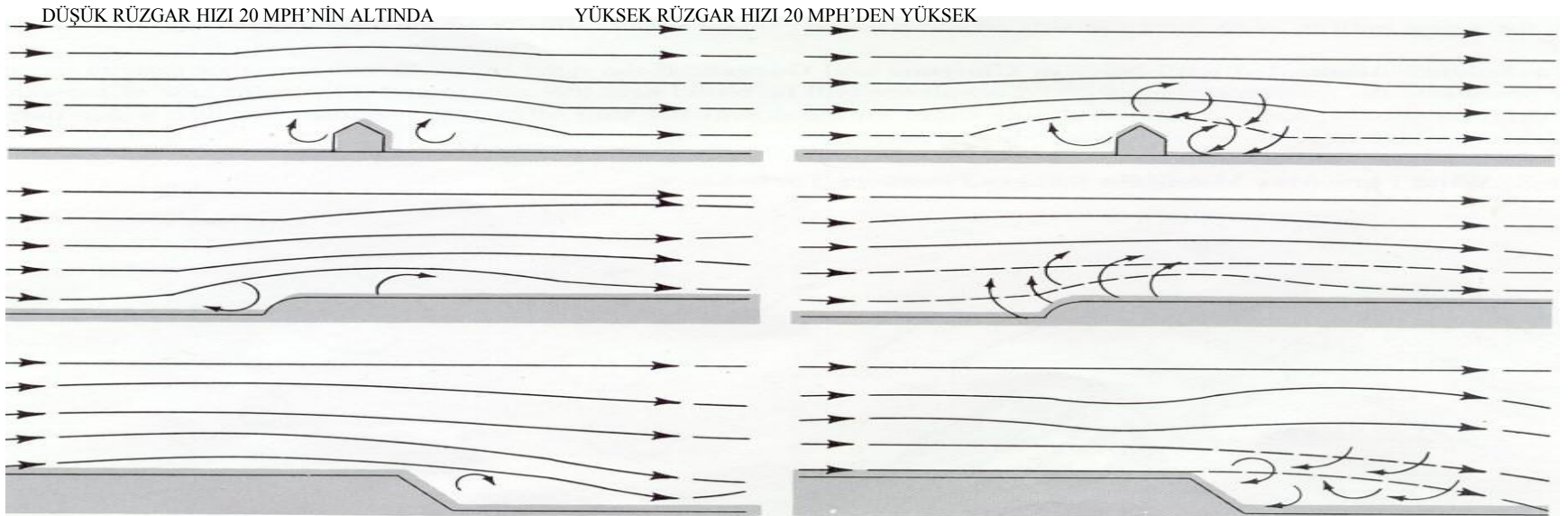
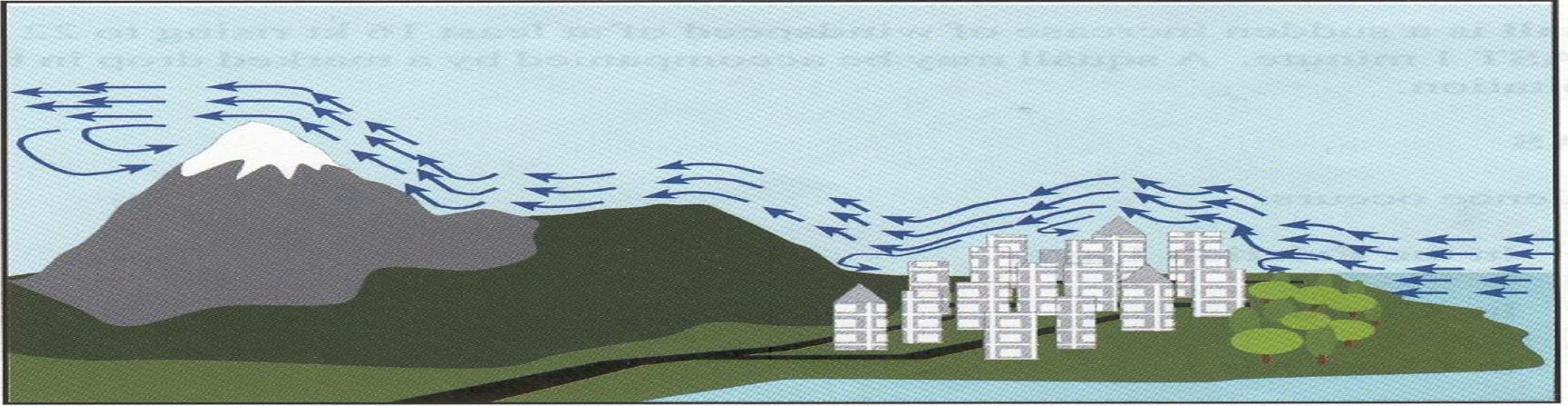
Su yüzeyleri daha yavaş ısındığından yaz günlerinde kıyılardaki türbülansın sebebi ısınma farkıdır



Yeryüzü şekilleri nedeniyle oluşan (mekanik) türbülans

Sürtünmenin etkisiyle oluşan türbülanstır. Bunun oluşmasında yeryüzündeki binalar,engebeler rol oynar.

Bu tür türbülans bazen yatay olarak geniş bir sahada etkili olabilir.Bu tip türbülansın şiddeti yeryüzündeki engebelerin yüksekliğine yer rüzgarının hızına ve sıcaklık değişimine bağlıdır.

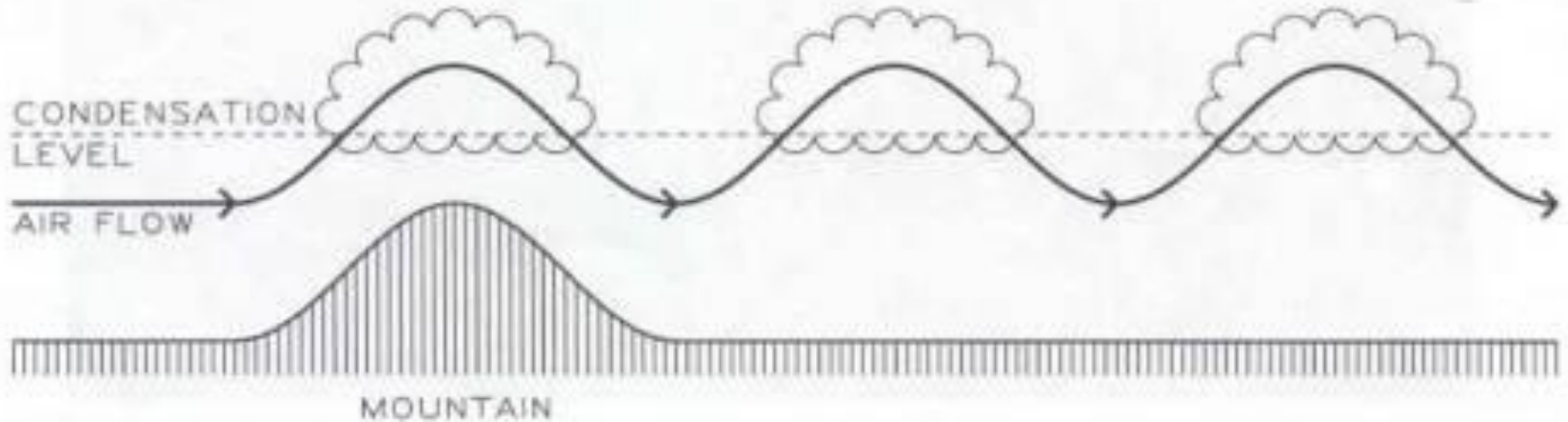
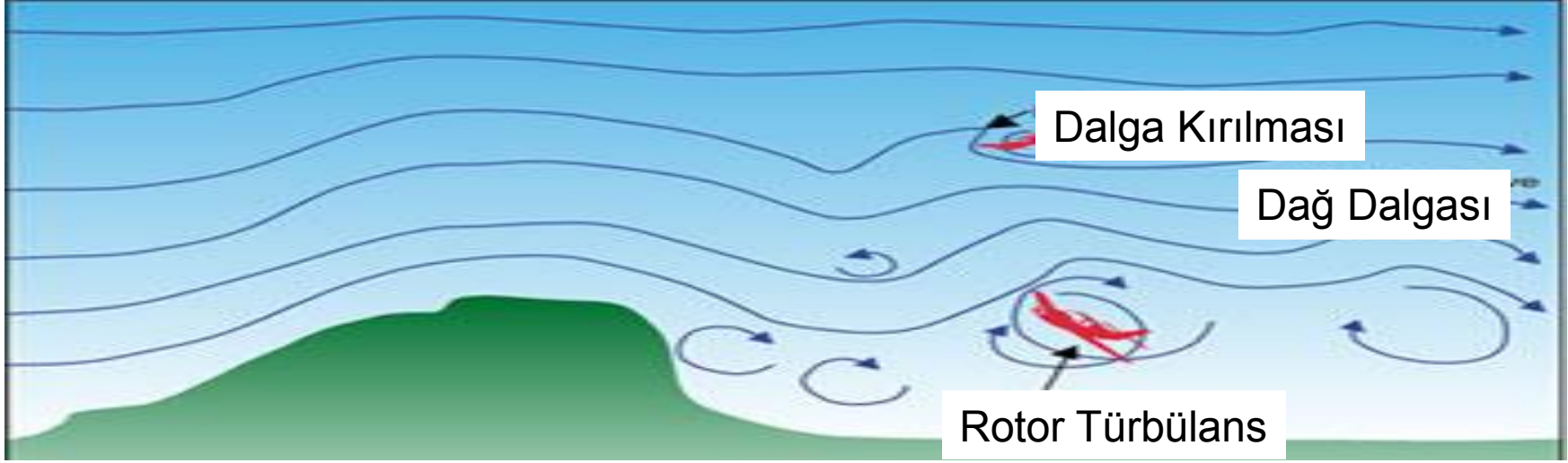


Mekanik Türbülansın sınıflandırılması

Surface	Wind < 15 kt	15 - 30 kt	> 30 kt
Sea	Light	Moderate	Mod/ Severe
Plain	Only Light	Moderate	Severe
Broken terrain	Light-moderate	Severe	Extreme

Dağ Dalgaları

Kuvvetli rüzgar akışının yüksek **dağ** bariyerine doğru sürekli akışı, **dağ** dalgasını meydana getirir. Bu dalgalı akış altında türbülanslı bir alan oluşur (mountain wave turbulence), şayet nem koşulları uygunsa bu dalgalı akış alanında **dağ** dalga bulutları (mountain wave clouds)



Wind Shear'ı Sebebiyle Oluşan Türbülans

- Belirli bir doğrultuda veya yönde (yatay veya dikey) hareket eden rüzgarın süratindeki değişimin yol açtığı karıştırma hareketleride türbülansa neden olur.Rüzgarın belirli yöndeki sürat ve/veya istikameti ne kadar çok değişirse türbülans o ölçüde şiddetli olur.Türbülansa yatay ve dikey geniş çaplı rüzgar değişikliklerinin yer aldığı jet rüzgarları civarında rastlanır.Bu tip türbülans hiçbir bulut emaresi görülmeden açık havadada gelebildiği için “Açık Hava Türbülansı” CAT denir.CAT bir dağ dalgası içindedede görülebilir.