

METEOROLOJİK TEMEL FORMÜLLER VE YORUMLARI

Hazırlayan : Nezihe AKGÜN
Fiz.Yük.Müh.

1.Temel SI Birimleri

Kütle (m) : kilogram (kg)
Zaman süresi (t) : saniye (s)
Mesafe (d) : metre (m)
Sıcaklık (T) : Kelvin (K)

1 Kilo : 1.000 birim,
1 Mega : 1.000.000 birim
1Giga : 1.000.000.000 birim

2. Diğer SI Birimleri

Kuvvet (F) : Newton (N) = Kütle * ivme = kg ms⁻²
Basınç (P) : Paskal (Pa) = Kuvvet / yüzey = Nm⁻²
Enerji (W) : Joule (J) = Kuvvet* Mesafe = Nm
Güç (P) : Watt (W) = Enerji / süre = Js⁻¹

1 Paskal = 0.01 milibar (yada 1mb =100 Pa)

3.Sabitler

Işık hızı = c = 2.998 *10⁸ ms⁻¹
Kuru havanın gaz sabiti = Rd = 287 J K⁻¹ kg⁻¹
Standart atmosfer yoğunluğu = (0 ° C ve 1000 mb da) = 1.275 kgm⁻³
Dünyanın yarıçapı = 6.37 × 10⁶ m
Ortalama güneş sabiti = 1.380 Wm⁻²
Ortalama deniz seviyesi basıncı = 1013.25 mb
Dünyanın Koriolis sabiti 7.29 × 10⁻⁵ s⁻¹

4. Newton 'un, İkinci Hareket Kanunu

Kuvvet = Kütle*İvme = F = m*a = kgms⁻²

Yorum: Bir cisim üstüne etki eden kuvvetlerin toplamı direkt olarak cismin ivmesiyle alakalıdır. Her cismin kütlesi bir sabitmiş gibi davranır.

Meteorolojik olaylardaki 5 kuvvet ;

Basınç gradyan kuvveti,
Yer çekimi kuvveti,
Koriolis kuvveti,
Sürtünme kuvveti, ve
Merkezcil kuvvetler (merkeze doğru ve merkezden dışarıya doğru)dir.

Örnek problem: 4 kg lık bir hava kütlesini 1 saniyede 10 knot'lık bir hıza çıkaran kuvvet nedir?

Çözüm: m=4 kg

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$\Delta v = 10 \text{ kt} = 5 \text{ m/s}$$

$$\text{İvme (a)} = \Delta v / \Delta t = 5/1 = 5 \text{ ms}^{-2}$$

$$F = m * a = 4 * 5 = 20 \text{ N}$$

5. İdeal Gaz Kanunu

$$\text{Basınç} = \text{yoğunluk} * \text{gaz sabiti} * \text{sıcaklık} = P = d * R_d * T$$

$$\text{Birim kontrolü, Pa} = \text{kgm}^{-3} * \text{kgms}^{-2} \text{m K}^{-1} \text{kg}^{-1} * \text{K} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{Nm}^{-2}$$

Yorum : Bir hava kütlesinin uyguladığı basınç, direkt olarak o hava kütlesinin yoğunluğu ve sıcaklığı ile orantılıdır. Yoğunluk, hacim ve kütle ile ilişkilidir. Eğer hava kütlesi sabitse, hacim arttıkça yoğunluk azalır, yoğunluk arttıkça hacim azalır.

*Kapalı bir hacimde basınç arttıkça yoğunluk artar.

*Kapalı bir hacimde sıcaklık arttıkça basınç artar.

*Eğer basınç sabitse, yoğunluk arttıkça sıcaklık azalır, yoğunluk azaldıkça sıcaklık artar.

Örnek problem : 998 mb basınç ve 104 °F sıcaklıktaki bir hava kütlesinin yoğunluğu nedir?

Çözüm: Önce, basıncı Paskal ve sıcaklığı Kelvin derecesine çevirelim.

$$998 \text{ mb} = 998 * 100 \text{ Pa}$$

$$104 \text{ F} = 40 \text{ C} = 273 + 40 = 313 \text{ K}$$

$$R_d = 287 \text{ J/kg K}$$

$$P = d * R_d * T$$

$$d = P / RT = 99.800 / 287 * 313 = 1.11 \text{ kgm}^{-3}$$

6. Hidrostatik Eşitlik

$$dp / dz = -d * g$$

$$dp / dz = - \text{yoğunluk} * \text{yerçekimi}$$

$$\text{Birimler} = \text{kgm}^{-3} \text{ms}^{-2} = \text{kgm}^{-2} \text{s}^{-2} = \text{Pa} / \text{m}$$

Yorum : Basınç değişimi ile karşılık gelen yükseklik değişiminin oranı, direkt olarak havanın yoğunluğu ile ilişkilidir. Yerçekimi ivmesi çok az değiştiği için sabit kabul edilir.

- Hava yoğunluğu arttıkça, yüksekliklerle basınç değişimleri de artar. Bu sebeple, soğuk hava (daha yoğun bir hava) yükseldiğinde, sıcak havaya göre basıncı yükseklikle daha hızla azalır.

Bu durum, derin bir polar yükseğinin oluşum sebebidir. Yüzeyde yüksek basınç oluştururken, atmosferin daha üst seviyelerinde bir alçak basınç oluşu oluşturur.

- Formüldeki eksi işareti (-), basıncın yükseklikle azaldığı gerçeğinden kaynaklanır.

Örnek problem : 1000 mb ile 500 mb arasındaki hava kalınlığı 5.340 jeopotansiyel metre ise havanın yoğunluğu nedir?

$$\Delta P / \Delta Z = \text{yoğunluk} * \text{yerçekimi ivmesi}$$

$$\text{Yerçekimi ivmesi (g)} = 9.8 \text{ ms}^{-2}$$

$$\Delta P = 1000 - 500 \text{ mb} = 50.000 \text{ Pa}$$

$$\Delta Z = 5.340 \text{ m}$$

$$\Delta P / \Delta Z = 50.000 / 5.340 = 9.36 \text{ Pam}^{-1}$$

$$d = 9.36 / 9.8 = 0.955 \text{ kgm}^{-3}$$

7. Virtüel Sıcaklık

$$T_v = T(1 + 0.61w)$$

T= sıcaklık (K olarak)

w= karışma oranı (her 1 kg kuru hava içindeki nemin kg olarak ifadesi)

**** Skew T diyagramı üzerinde karışma oranı, g/kg olarak ifade edilir. Bu sebeple diyagramdan bulunan değerleri kg 'a çevirmek için 1000 e bölmelidir.**

Örneğin : Diyagram değeri 15 g/ kg ve sıcaklığın 293 K olduğu yerde virtüel sıcaklığı hesaplayalım.

$$T_v = T(1 + 0.61w)$$

$$T_v = 293(1 + 0.61 * 15 / 1000) = 295.7 \text{ °K}$$

Yorum: Virtüel sıcaklık, tamamen kuru bir havanın nemli bir havanın yoğunluğuyla aynı olmasını sağlayan sıcaklığıdır, diye tanımlanır. Mantıksal olarak havanın nem içeriği arttıkça, virtüel sıcaklık da artar, çünkü nem arttıkça yoğunluk azalır. Nemli hava kuru havadan daha az yoğundur. Bu sebeple, tamamen kuru bir havanın daha az yoğun olan nemli havanın yoğunluğuna sahip olması için daha yüksek bir sıcaklıkta olması gerekir.

Virtüel sıcaklığı bilmenin amacı nedir, diye sorulabilir. Virtüel sıcaklık önemlidir, çünkü bunun sayesinde meteorolojik eşitlikler daha az komplikedir. Eğer virtüel sıcaklık kullanılırsa havanın nemi ile ilgilenilmez.

*** İki hava parseli aynı virtüel sıcaklıkta ise, aynı yoğunlukta da olacaklardır. Virtüel sıcaklık kullanılarak, hava parsellerinin daha az yoğun yada daha çok yoğun oldukları sonucuna kolayca varılabilir.**

Örnek problem : 50 °F sıcaklıktaki havanın karışma oranı 5 g/kg ise, virtüel sıcaklığı nedir?

Çözüm: Önce sıcaklığı K'a, karışma oranını kg/kg'a dönüştürelim.

$$T = 50 \text{ F} = 10 \text{ C} = 283 \text{ K}$$

$$w = 5 / 1000 = 0.005$$

$$T_v = 283.0 (1 + (0.61 * 0.005)) = 283.9 \text{ K}$$

8. Hipsometrik Eşitlik

$$Z_2 - Z_1 = R * T_v * 1/ \text{yerçekimi} * \ln (\text{alt seviyedeki basınç} / \text{üst seviyedeki basınç})$$

$Z_2 - Z_1$ =yükseklik farkı, kalınlık

$$\text{Birim kontrolü, } m = \text{kgms}^{-2} \text{mK}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{Km}^{-1} \text{s}^2 = m$$

$$R_d = \text{gaz sabiti} = 287 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$$

T_v = iki basınç seviyesi arasındaki ortalama virtüel sıcaklık K, (gerçek sıcaklıktan hafifçe daha yüksek)

\ln = natural log

$$g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$$

Örneğin, 700 ve 850 mb arasındaki yükseklik değişimini bilmek istersek, burada alt seviye basıncı 850, tepe seviyesi basıncı 700 mb olacaktır. Bu iki değer oranlanıp, sonra \ln alınır. $\ln (850 / 700) = 0.194$

Yorum: Yükseklik değişimi direkt olarak sıcaklıkla ilgilidir. Sıcaklık arttıkça, iki basınç seviyesi arasındaki kalınlık artar. Sıcaklık azaldıkça, yükseklik değişimleri de azalır. Bu sebeple, sıcak hava adveksiyonunda hava genişlerken, soğuk hava adveksiyonunda havanın sıkıştığı görülür.

Örnek problem : 1000 mb ve 500 mb seviyeleri arasındaki kuru bir havanın ortalama sıcaklığı 5 C ise kalınlığı nedir?

Çözüm: Hava kuru olduğu için hava sıcaklığı, virtüel sıcaklığa eşittir.

$$T = T_v = 5 \text{ C} = 278 \text{ K}$$

$$Z = (278 \text{ K})(1/9.8 \text{ ms}^{-2})(287 \text{ JK}^{-1} \text{kg}^{-1}) \ln (1000/500) = 5.643 \text{ jeopotansiyel m.}$$

9. Kuru Adyabatik Lapse- Rate

Eğer havadaki nisbi nem %100 den azsa, bir hava parselinin sıcaklık değişiminin yükseklik değişimine oranı, $dT/dz = g/c_p$, formülü ile hesaplanır.

$$dT/dz = g/c_p$$

$$\text{Birim kontrolü} = \text{ms}^{-2} \text{J}^{-1} \text{kgK} = \text{ms}^{-2} \text{kg}^{-1} \text{m}^{-1} \text{s}^2 \text{m}^{-1} \text{kgK} = \text{Km}^{-1}$$

$$g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$$

$$c_p = 1004 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

Yorum : Kuru adyabatik lapse- rate direkt olarak yer çekimi ivmesinin bir fonksiyonudur. Yerçekimi ivmesi temelde bir sabit olduğu için, kuru adyabatik Lapse- rate de bir sabittir.

Örnek problem: Venüs gezegenindeki kuru adyabatik lapse- rate nedir? Yerküredeki kuru adyabatik lapse- rate ile karşılaştıralım. Venüsteki yerçekimi dünyadaki yerçekiminin 0.9 udur. Venüs atmosferi saf CO₂ ile doludur. CO₂ için $c_p = 840 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$

Çözüm :Önce Venüs'teki yerçekimini ivmesini hesaplayalım.
 $g_v = g * 0.9 = 0.9 * 9.81 = 8.87 \text{ms}^{-2}$

$$dT/dz = g/c_p = 8.87 / 840 = 10.6 \text{ K/km}$$

Venüste, yükselen bir kuru hava parseli, Yerküredeki ile yaklaşık aynı oranda soğur.

10. Nisbi Nem

$$RH = 100 * w/w_s \text{ veya}$$

$$RH = 100 * E/E_s$$

RH, birimsizdir.

w = karışma oranı, E= buhar basıncı

w_s= doymuş karışma oranı, E_s= doymuş buhar basıncı

- Nisbi nem, işba sıcaklığının sıcaklığa bölünmesi demek değildir.
- RH, ya Skew- T diyagramı kullanılarak, sıcaklık grafiğinin bir fonksiyonu olarak, **buhar basıncı/ karışma oranı** bulunur, yada **eşitlikten hesaplanır**.

- **Herhangi bir basınç seviyesinde RH için Skew T metodu:**

1. İlgili basınç seviyesinde işba sıcaklık eğrisini takip ederek (burada w dir) karışma oranı bulunur.
2. İlgili basınç seviyesinde sıcaklık eğrisi takip edilerek (burada w_s dir) karışma oranı bulunur.
3. w,w_s ye bölünür 100 ile çarpılır.

Bir sıcaklık/işba noktası sıcaklığı ve karışma oranı grafiği de kullanılabilir.

***Buhar basıncı metodu.**

- 1.Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak buhar basıncını gösteren grafik kullanılır.
2. Sıcaklığı kullanarak buhar basıncı, işba sıcaklığını kullanarak da buhar basıncı bulunur.
3. İşba sıcaklığı buhar basıncı sıcaklık buhar basıncına bölünür 100 ile çarpılır.

Clausius-Clapeyron eşitliğini kullanarak el ile de hesaplanabilir mi ?

Örnek problem : Sıcaklığı 70 F, işba sıcaklığı 50 F olan yerin RH si nedir?

Önce, sıcaklıkları C ye çevirelim.

$$T = 70 \text{ F} = 21.1 \text{ C}, T = 50 \text{ F} = 10 \text{ C};$$

$$10 \text{ C için doymuş karışma oranı} = 7.8 \text{ g/kg};$$

$$21.1 \text{ C için doymuş karışma oranı} = 16.0 \text{ g/kg};$$

$$RH = 7.8 / 16.0 = 49 \%$$

Nisbi nem, işba sıcaklığı doymuş karışma oranının sıcaklığın doymuş karışma oranına bölünmesiyle bulunur.

11. Stefan-Boltzman Kanunu

Siyahcisimden yayınlanan enerji, $E = \text{sabit} * T^4$

Birim= Wm^{-2}

Sabit = $5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$

T, Kelvin olarak sıcaklık

$T^4 = T * T * T * T$

Yorum: Bir siyahcisimden yayınlanan enerji o cismin sıcaklığı ile üstel olarak artar .

**Örnek problem : Sıcaklığı 400 K olan bir kurşundan ne kadar enerji yayımlanır?
Kurşunun siyah cisim olduğu kabul ediliyor.**

$$E = (5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4})(400 K)^4 = 1.452 Wm^{-2}$$

12. Potansiyel Sıcaklık (aka Poisson Eşitliği)

$$PT = T(1000/P)^{Rd/cp} = T(1000/P)^{0.286}$$

T = Sıcaklık, K olarak

P = Basınç mb olarak

Rd = Kuru hava için gaz sabiti

c_p = işlem sabit basınçta

Yorum : Potansiyel sıcaklık, 1000 mb seviyesine çıkan yada inen bir hava parselinin sıcaklığıdır. Bu hava parselinin yükselirken yada çökerken dışardan herhangi bir ısı alıp vermediği (adyabatik şekilde) kabul edilir.

***Potansiyel sıcaklığın yükseklikle azalması atmosferik kararlılığın bir göstergesidir.**

Örnek Problem: 500 mb da 0 C sıcaklıktaki hava parselinin potansiyel sıcaklığı nedir?

Çözüm: 0 C =273 K

Rd/cp=0.286

$$PT=(273)(1000/500)^{0.286}$$

$$PT = (273 K)(2)^{0.286} = 333 K$$

13. Eşdeğer Potansiyel Sıcaklık

$$\text{Theta-E} = T(1000/P)^{0.286} + 3w = PT + 3w$$

T = Sıcaklık K olarak

P = Basınç mb olarak

w = Karışma oranı g/kg olarak

PT = Potansiyel sıcaklık

Yorum : Theta-E, nem (w ile) ve sıcaklığın(potansiyel sıcaklık ile) bir fonksiyonudur.

Theta-E, ya hava sıcaklığının artmasıyla yada havanın içerdiği nemin artmasıyla artar. Daha yüksek Theta-E'ye sahip olanlar çökmeden yüzebilme için daha büyük bir potansiyele sahiptir.

Örnek problem: 850 mb da doymuş bir hava parselinin sıcaklığı 16 C ise Theta-E si nedir?

Çözüm: Önce karışma oranını bulalım.

Hava doymuş olduğu için karışma oranı, $w = 11.56$ g/kg olacaktır.
Sonra sıcaklığı K e çevirelim. $16\text{ C} = 289\text{ K}$

$$\text{Theta-E} = 289(1000/850)^{0.286} + 3(11.56) = 337\text{ K}$$

14. Clausius-Clapeyron eşitliği

$$\ln(E_s/6.11) = (L/R_v)(1/273 - 1/T)$$

E_s = Doymuş buhar basıncı

L = Buharlaştırma gizli ısı = $2.453 * 10^6$ J/kg

R_v = Nemli hava için gaz sabiti = 461 J/kg

T = Sıcaklık K olarak.

Yorum: Bu eşitlik doymuş buhar basıncı ve Kelvin olarak sıcaklık arasındaki ilişkiyi verir. Bu eşitlik nisbi nem ve diğer nem değişkenlerini hesaplamakta da kullanılır.

Örnek problem : Sıcaklık 30 C olduğunda doymuş buhar basıncı nedir?

Çözüm: Sıcaklığı K ya çevir , $T=30\text{C} = 303\text{K}$

$$\ln(E_s/6.11) = (L/R_v)(1/273 - 1/T)$$

$$\ln(E_s/6.11) = (2.453*10^6\text{ J/kg} / 461\text{ J/kg})(1/273 - 1/303)$$

$$\ln(E_s/6.11) = (5.321.041215)(0.003663004 - 0.00330033)$$

$$\ln(E_s/6.11) = 1.929801333$$

$$E_s/6.11 = e^{1.929801333}$$

$$E_s = (e^{1.929801333})(6.11) = 42.1\text{ mb}$$

15. Buhar basıncı ve karışma oranı arasındaki ilişki

Eşitliğin iki şekli; $w = (0.622 * e)/(P - e)$
 $e = (w * p)/(0.622 + w)$

w = karışma oranı kg/kg olarak

e = buhar basıncı mb olarak

P = basınç mb olarak

Yorum: Eğer karışma oranı yada buhar basıncı bilinirse, onlar ya karışma oranına ya da buhar basıncına çevrilebilir.

16. Sıvı sıcaklık dengesi

$$(c1 * m1 * (TF - T1)) + (c2 * m2 * (TF - T2)) + \dots = 0$$

$c1$ = özısı kapasitesi cal/g/ C (maddeye özel bir sabit, su için $c1 = 1.00$)

$m1$ = gram olarak kütle, eğer $c1, c2$ aynı kütle yada ısı birimlerine sahipse, kütle farklı birimde de olabilir.

TF = Son sıcaklık K yada C olarak.

$T1$ = Sıvı 1 in sıcaklığı K yada C

\dots = 2 den fazla sıvı olduğunu gösteriyor.

Yorum : Sıvılar karıştırıldıklarından sonra bir denge sıcaklığına gelecektir. İki farklı sıcaklıktaki su kütlesi birbiriyle karıştırılırsa yeni bir denge sıcaklığına kavuşurlar. Maddelerin çoğu suyun öz ısı değerinden daha düşük özısı değerlerine sahiptir (örnek Alüminyum =0.2, bakır =0.095)

Örnek problem: 3 kg su 5 C sıcaklıkta, 10 kg su 15 C sıcaklıkta karıştırılıyor. Bu sular tamamen karıştıktan sonra son sıcaklık ne olur?

Çözüm : Suyun ısı kapasitesi =1

$$(c1 * m1 * (TF - T1)) + (c2 * m2 * (TF - T2)) + \dots = 0$$

$$(1)3kg (TF - 5 C) + (1)10kg (TF - 15 C) = 0$$

$$3TF - 15 + 10TF - 150 = 0$$

$$13TF = 165$$

$$TF \text{ (son sıcaklık)} = 12.7 C$$

17. Gizli ısının alınması (soğurulması) /verilmesi (serbest bırakılması)

Buharlaştırma yada yoğunlaştırma gizli ısı = $2.5 * 10^6$ J/kg

Donma yada erime gizli ısı = $3.34 * 10^5$ J/kg

Ara fazı atlayarak buharlaştırma yada katılaşma (süblimleşme) = $2.83 * 10^6$ J/kg

- Süblimleşme gizli ısı önceki iki fazın gizli ısı değerleri toplanarak bulunur.
- Gizli ısı salınması işlemlerinde çevre havası ısınır : Yoğunlaştırma, donma, erime olmadan donma.

Gizli ısı soğurulma işlemlerinde çevre havası serinler : Buharlaştırma, erime, erimeden buharlaştırma.

Toplam gizli ısı = Gizli ısı sabiti * kg olarak kütle

Soğurulan /serbest bırakılan gizli ısı miktarı J birimiyle verilir.

Örnek problem: Bir fırtına 1.000.000 kg yağmur üretiyor. Ne kadar yoğunlaştırma gizli ısı havaya verilmiştir?

$$\text{Çözüm: } (2.5 * 10^6 \text{ J/kg})(1.000.000 \text{ kg}) = 2.5 * 10^{12} \text{ J}$$