

METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1301-1103

TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI • YIL 1998 • SAYI: 2



TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI

YIL 1998 • SAYI: 2

ISSN 1301 - 1103

**TMMOB
METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ
ODASI ADINA
SAHİBİ ve SORUMLU
YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ**

İsmail KÜÇÜK

YAYIN KURULU

Eşref BATUR
Meral ŞENOCAK
Hamza ÖZGÜLER
Gökhan YÜCEL
Ömer KARACA
Faruk ŞANLI
Mustafa ÖZKAYA

YÖNETİM YERİ

Sümer 1. Sk. No: 12/8 Kızılay-ANKARA
TEL: (0.312) 231 55 35

Meteoroloji Mühendisliği TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası yayınıdır. Üç ayda bir yayınlanır. Odamızın amaç ilke ve yayın koşullarına uygun bilimsel ve teknik yazılar yayınlanır. Yayınlanan yazıların sorumluluğu yazarına aittir. Dergide yayınlanan yazılar kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

ODAMIZIN HESAP NUMARALARI

Posta Çeki No:

TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası
105616

BANKA HESAP NO:

T.C. Ziraat Bankası
304-40 2053

Yapı Kredi Bankası Anafartalar Şubesi
1035019-9

Türkiye İş Bankası Yenişehir Şubesi
4218-3419634

DİZGİ ve TASARIM

P-YAYINCILIK

Tel: (0.312) 432 01 83-93 • Faks: (0.312) 432 54 22

BASKI

ARMONİ MATBAACILIK

Tel: (0.312) 232 19 15

İÇİNDEKİLER

Bu Sayıda	2
VAN GÖLÜ HAVZASINDA YAĞIŞ - AKIŞ İLİŞKİSİ Eşref BATUR, Mikdat KADIOĞLU, Bayram ÇEPNİLER	3
DOLU, ÖNGÖRÜSÜ VE KORUNMA YÖNTEMLERİ Yunus BORHAN	15
İNSAN VE EKONOMİK KAYIPLARI ÖNLEMEDE METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ Mikdat KADIOĞLU	25
ÇOK BOYUTLU İKLİM VERİSİNİN ZAMAN DİZİLERİ ANALİZİNDE AYRILAN FAKTÖRLERLE MODEL PARAMETLERİNİN KESTİRİMİ VE ÖNGÖRÜSÜ Reşat KASAP, Kasım KOÇAK	31
GÖKKUŞAĞI GİZEMİ Gökhan KARA, Rauf GARDASOV, E. Gül Emecen	37
BÜHARLAŞMA Ömer KARACA	46

YAYIM KOŞULLARI:

Dergide aşağıdaki konularda çalışmalar ve tercüme yayınlanır. Meteoroloji Klimatoloji, Hidroloji, Çevre, Şehir Meteorolojisi, Hava Kirliliği, Enerji (Hidro-Elektrik, Güneş, Rüzgar, Nükleer) Uzaktan Algılama (Hidroloji ve Meteoroloji konularında) Meteorolojik Doğal Afetler, Oşinografi, Açık Kanal Hidroloji Tarımsal Meteoroloji, İstatistik, Genel Matematik, Genel Fizik, Bilgisayar Uygulamaları.

Dergiye gönderilecek yazılar, A4 kağıdının bir yüzüne daktilo (veya yazıcı) ile çift aralıklı olarak ve 10 sayfayı geçmeyecek, kenarlardan 2.5 cm boşluk olacak şekilde ve ayrıca 3.5'lik diskete kayıtlı olarak gönderilmelidir.

Şekiller, tablolar ve resimler net olmalı. Yapılabiliyorsa şekiller aydınlar kağıdına 0.3-0.4 mm uçlu kalemle çizilmelidir.

Gönderilen eserler şu kısımlardan oluşturulmalıdır. Başlık, Yazarlar (Görevler ve yazışma adresleri), özet (150 kelimeyi geçmemelidir). Meftin (Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular, Tartışma, gerekirse Sonuç ve Öneriler), Kaynaklar.

Yazıların yayınlanabilmesi için daha önce başka bir dergide yayınlanmamış olması gerekir. Yazıların her türlü sorumluluğu yazarına aittir.

Yayınlanmayan yazılar geri gönderilmez.

Lisans, Master ve Doktora tezlerinin bir sayfayı geçmeyecek olan özetleri yayınlanır.

Yayınlanan yazılarla ilgili eleştirilerinizin yayınlanmasını istiyorsanız Yayın Kurulu'na ulaştırınız.

DERGİ REKLAM ÜCRETLERİ

Arka Kapak	125.000.000 - TL.
Arka Kapak İç	75.000.000 - TL.
Ön Kapak İç	100.000.000 - TL.
Ön Kapak İç Karşısı	70.000.000 - TL.
İç Sayfalar	30.000.000 - TL.

NOT: Bütün fiyatlar tam sayfa üzerinden verilmiştir. Yarım sayfa reklamlarda ücretin %65'i alınır. Kapak sayfaları için reklamlar renkli baskı olarak yapılır. İç sayfalar için fiyatlar siyah-beyaz olarak verilmiştir. Bu sayfalar için renkli baskı isteminde ayrıca %50 ilave ücret istenir. Sürekli ilanlarda %15 indirim yapılır. (En az üç sayı)

Bu Sayıda

Bu sayımızda ve bundan sonraki sayılarımızda birbirinden ilginç ve eğitici yazılar bulacaksınız. İlk olarak basında "Van Gölü Canavarı" başlığı ile gündemimize giren Van Gölü su seviye yükselmesi problemi ile başlıyoruz. Dünyanın en büyük ve sodalı gölü olan Van Gölü'nde su seviyesinin 1987-1995 periyodunda ortalama 2 m yükselmesi göl civarında sosya-ekonomik faaliyetlerin aksamasına, tarım alanlarının kullanılamaz hale gelmesine ve Van Gölü civarının doğal afet bölgesi ilan edilmesine neden olmuştur. Göl seviyesindeki bu artışın nedenini Güneşteki manyetik patlamalar gibi hayali nedenlere bağlayanlar olmasına rağmen dünyadaki benzer problemler ile ilgili çalışmalar incelendiğinde bunun havzalarındaki yağış-akış ve buharlaşma ile ilgili olduğu görülür. Van Gölü su seviyesindeki ani değişimler gelecekte de tekrarlanacağı için göl su seviye tahmin çalışmalarında havzadaki yağış-akış ilişkisinin çok iyi bilinmesi gerekir. Gerek basında gerekse bilim dünyasında yerini alan bu problem gelecekte de sürekli gündemde olacağı için bu konudaki çalışmalara sürekli yer verilecektir. Daha önce göl su seviye tahmini ile ilgili bir makaleye yer verilmiş olup bu sayımızda da Van Gölü havzasında yağış-akış ilişkisi adlı bir makaleye yer verilmiştir.

Dolunun meydana getirdiği zararlar kuraklık, sel gibi meteorolojik karakterli doğal afetler kadar geniş bir alanda etkili olmamasına rağmen oldukça yüksek rakamlara ulaşabilmektedir. Özellikle, tarım ve ormancılık açısından dolu oluşumu, öngörüsü ve zararlarından korunma yöntemleri ile ilgili Dünyada pek çok deneysel çalışma yapılmaktadır. Bu konudaki çalışmalara ışık tutacak benzer bir makaleyi de bu sayımızda bulacaksınız. Ayrıca, Türkiye'de meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı insan ve ekonomik kayıpları önlemede meteoroloji biliminin önemini anlatan bir yazıyı da zevk ile okuyacaksınız.

Meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı erken uyarı ile mücadele edilmemesinden ve planlamalarda meteoroloji biliminden gerektiği şekilde yararlanılamamasından dolayı her yıl ülkemizde; gelişmiş ülkelere oranla çok daha fazla can ve mal kaybı olmaktadır. Oysa gelişmiş ülkelerde, Meteoroloji Mühendislerinin topluma sağladığı en önemli ve hayati hizmetler hava tahmini ve fırtına uyarılarıdır. Bu sayımızda da bazı meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı Meteoroloji Mühendisliğinin neler yapabildiğini anlatan bir makale okuyacaksınız.

Ayrıca zaman dizilerinin modellenmesi ve öngörüsü ile ilgili bir çalışmayı da bu sayımızda bulacaksınız.

Gökkuşağının güzelliğini hayranlıkla yıllardan beri izleyen insanlar, bu dev ve güzel görüntünün tabiatını bilmemelerinden dolayı geçmiş zamanlarda onun sihirli özelliklere sahip olduğunu söylemişler ve gökkuşağının Tanrı ile insanlar arasında aracılık yaptığına inanmışlardır. Günümüzde herkes gökkuşağının bu sihirli özelliklerinin yalnız masallarda mümkün olduğunu bilir. Gerçekte ise gökkuşağı optik bir olay olup Güneş ışınlarının çok sayıda yağmur damlalarında kırılması ve yansımaları sonucu oluşmaktadır. Ayrıntılı fiziksel yorumunu ise ilerleyen sayfalardaki gökkuşağının gizemi adlı yazıda bulacaksınız.

Bundan sonraki sayılarımızda Zirai Meteoroloji, hidrometeoroloji, orman meteorolojisi ve hava kirliliği başta olmak üzere değişik konulardaki çevirilere ağırlık verilecektir.

Odamızın gücü, dergimizin bilimsel gücüne ve katılımına bağlıdır. Katılım ise dergimize göndereceğiniz bilimsel çalışmalar ile mümkündür.

Bir sonraki sayıda buluşmak dileğiyle.

YAYIN KURULU

VAN GÖLÜ HAVZASINDA YAĞIŞ - AKIŞ İLİŞKİSİ

Y. Müh. Eşref BATUR

Doç. Dr. Mikdat KADIOĞLU

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bayram ÇEPNİLER

Mühendislik Fakültesi Ondokuzmayıs Üniversitesi

Özet

Van gölünde su seviyesi 1987 yılından itibaren yükselmeye başlamış ve 1995 yılına kadar ortalama 2 m yükselmiştir. Bu seviye yükselmesi, göl civarında sosyo-ekonomik faaliyetlerin aksamasına sebep olmuş ve bu yüzden Van gölü civarı doğal afet bölgesi ilan edilmiştir. Su seviyelerinin yükselmesinde yağışın akışa geçen izdesinin bir ifadesi olan akış katsayılarının rolü çok büyüktür. Şimdiye kadar yapılan çalışmaların hemen hepsinde yıllık akış katsayıları bulunmuştur. Bu çalışmada ise Van gölüne yağıştan meydana gelen akışı taşıyan azı dereler için akış katsayısının aylık değişimini gösteren yağış-akış katsayı çokgeni kavramından yararlanılmıştır. Genel olarak yıllık sürelerde sıfır ile bir arasında değişen bu akış katsayısının, aylık akış katsayıları hesaplanmasında bir'den büyük olduğu görülmüştür. Bunun anlamı ise yüzeysel sulara bazı yıllarda gecikmeli olan kar erimesi ve/veya yeraltı suyu atkısıdır.

Giriş

Dünyanın en büyük tuzlu ve sodalı gölü olan Van Gölü'nde su seviyesinin 1987 yılından 1995 yılına kadar ortalama 2 m yükselmesi, göl civarındaki sosyo-ekonomik faaliyetlerin aksamasına ve tarım alanlarının kullanılamaz hale gelmesine neden olmuştur. Van gölü su seviyesindeki bu artışın büyük ölçüde meteorolojik nedenlere dayandığı Kadioğlu (1994a, b, 1995a, b) tarafından yapılan çalışmalarda gösterilmiştir.

Dünyada buna benzer problemler üzerine yapılan yayınlar incelendiğinde problemin yağış ve akış ile yakından ilgili olduğu görülür. Örneğin, 1958-1963 periyodunun ilk üç ayı boyunca su seviyesi sürekli olarak yükselerek 1 m artan ve bu periyodun son iki senesinde de ani düşüş gösteren Erie gölündeki değişime, havzadaki net su girdisinin neden olduğu belirlenmiştir (Mather, 1961). ABD'nin kuzeyinde yer alan Büyük Göller'de (The Great Lakes) 2 m'lik su seviye değişimlerinin de bölgedeki yağış rejimindeki farklılaşma ile yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir. Hatta bu göllerin, çevrelerindeki iklim elemanlarındaki değişmelere, 2 ay ile 2 yıl sonra tepki gösterdiği de tespit edilmiştir (Changnon, 1987). Ayrıca, Brunk (1959) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise ABD'de Michigan-Huran havzasında, drenaj alanındaki yağışın göl seviyesi ile ilişkisi sayısal olarak belirlenmiştir. Brunk çalışmasında, sadece yağışın etkisi dikkate alındığında aynı zamanda bir gecikme olduğunu tespit etmiş ve bu gecikmeyi havzanın jeolojik durumuna bağlamıştır. İsrail'de ise Kinret gölü havzasındaki yağış akış ilişkisi o kadar iyi tespit edilmiş ki su dengesi metodu ile göldeki su seviye değişimleri tahmin edilmektedir (Khavich and Ben-Zvi, 1995).

Türkiye'de Kadioğlu ve ark. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada havzaya düşen yağış ile Van Gölü'nün su seviyesindeki değişimler arasında önemli bir ilişki

olduğu ve su seviyesindeki değişimlerin havzaya düşen yağıştaki değişimlere iki yıl sonra tepki gösterdiği tespit edilmiştir. Sezen (1996) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise Van gölü su seviyesindeki değişimler ile Van gölü havzasına düşen yağışlar arasındaki ilişkiler, beraberlik ihtimal matrisi adı verilen bir yöntemle incelenmiştir. Van gölü havzasına düşen aylık veya yıllık yağışlar ile su seviyesi arasında önemli bir ilişki olduğu ve yıllık yağış farklarındaki değişimler ile su seviyesi arasında 1 yıllık istatistiksel anlamda önemli bir gecikme tespit edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı Van gölü havzasındaki yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi Van gölü su seviyesinin yükselmesini açıklamak için önemlidir.

Bu çalışmada, Şen ve ark. (1995) tarafından geliştirilen Yakaç yöntemi ile tüm akarsuların kendi havzalarındaki akış katsayısı tek tek hesaplanmış ve bu akış katsayılarından faydalanarak da Van gölü için genel bir akış katsayısı belirlenmiştir. Van gölü havzası ve tüm akarsular için tek tek Yakaç diagramları çizilerek yağış-akış ilişkisi incelenmiştir. Her durumda klasik şekilde bulunan akış katsayıları ile karşılaştırılarak yağış, akış ve su seviyesi arasındaki ilişki tartışılmıştır.

Van Gölü'ne Gelen Akımlar

Van gölünü besleyen irili ufaklı bir çok akarsu vardır; Kuzeyde Zilan Çayı, Deli Çay ve Bendimahi Çayı (Aladağ 3510 m), Güney Doğuda Ergil Suyu (Mengen Dağı 3610 m, Başkale Dağı 3668 m, Koçkırın Dağı 3684 m), Doğuda Karasu, Keşiş Deresi ve Hoşap (Micinger) Suyu

ve Kuzey Batıda Süfrezor Deresi başlıca akarsulardır. Ayrıca güneyde Alacabük Dağları (3076 m), batıda Nemrut Dağı (2810 m), Kuzey Batıda Süphan Dağı (4058 m) ve bunlara bağlı olarak küçük akarsular bulunmaktadır (Türksoy ve Seçkin, 1995; Kafalı, 1976; Yılmaz ve ark. 1994). Bunlardan en önemlileri Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu akarsuların toplam drenaj alanı 5755.8 km² olup, toplam kara alanının %46'sıdır.

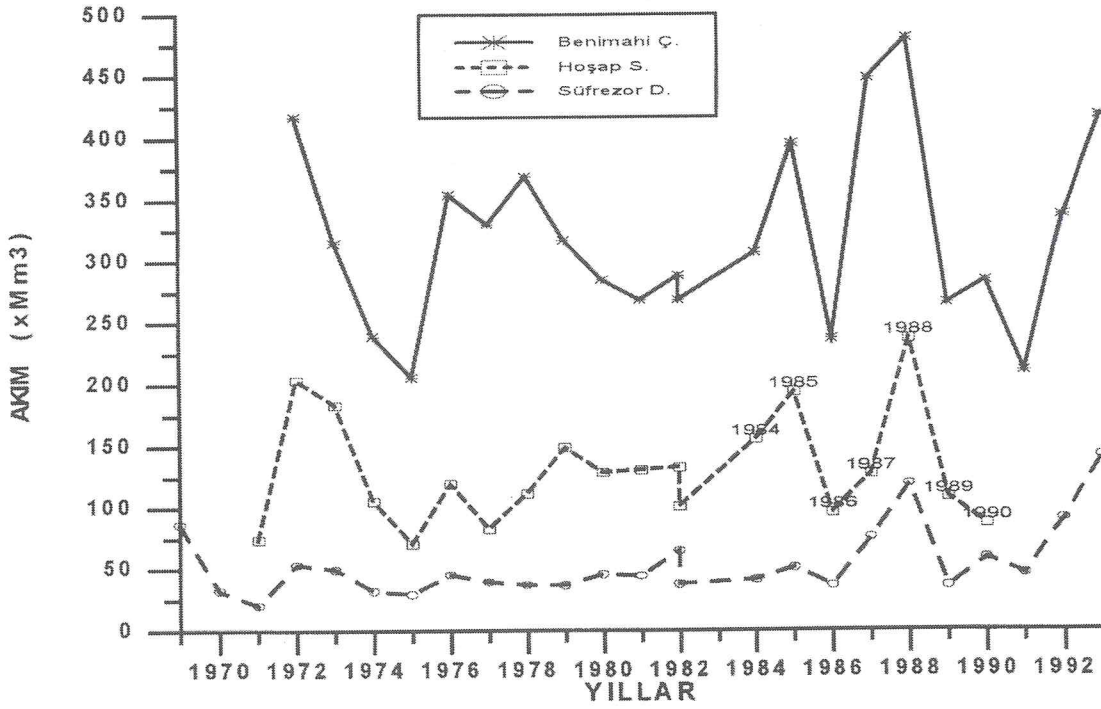
Van gölü havzasının drenaj (kara) alanı 12596 km² olup, havza alanının %78'ini oluşturmaktadır. Hoşap Suyu Süfrezor Deresi ve Bendimahi Çayı toplam olarak 3379.8 km²'lik alanı temsil eder. Göle gelen akımların hesabı sırasında toplam drenaj alanının %27'sinin gözönüne alınması demektir. Bu üç akarsu içerisinde en büyük akım Bendimahi Çayı'nda, en düşük akım ise Süfrezor Deresi'nde gözlenmektedir. Havzanın doğusunda ve kuzeyinde birim alandaki akarsu uzunluğu büyüktür. Dolayısıyla göle giren akımın çok büyük bir kısmı doğudaki ve kuzeydeki akarsulardan (Karasu, Ergil Bendimahi, Deliçay ve Zilan) gelmektedir (Şekil 1).

Van gölü beslenmesinin havza oranında %25 ve akım olarak ise %35'i kontrol altında tutulmaktadır (Türksoy ve Seçkin, 1995). Van Gölü gibi akım ölçüm ağına yetersiz olduğu havzalarda, yağışın ne kadarlık bir kısmının akış haline geçerek göle ulaştığı yaklaşık olarak akış katsayısı ile hesaplanabilir. Böylece havzada ölçüm yapılamayan kısımlar da dikkate alınmış olur.

Bu çalışmada, Van gölü havzasında EİE İdaresince işletilen Bendimahi Çayı-Göndürme, Süfrezor Deresi-Kınalıkoç ve Hoşap Suyu-Zerne Köprüsü'nde çalıştırılan

Tablo 1. Van gölü havzasında yer alan büyük akarsular (E.İ.E.İ., 1991).

İst.No.	Kuruluş	Akarsu Adı-İst Adı	Yağış Alanı(km ²)	Kotu(m)
2509	EİE	Hoşap S.-Zerne Köp.	1598.0	1862
2507	EİE	Süfrezor D.-Kınalıkoç	334.6	1775
2505	EİE	Bendimahi Ç.- Gönderme	1447.2	1912
2512	DSİ	Karasu-Erdeviz	1334.0	1823
2513	DSİ	Deliçay-Payköy	342.0	1992
2502	DSİ	ZilanÇ.-Koçköprü	700.0	1765



Şekil 1. Van Gölü'ne gelen üç akarsuyun yıllık toplam akımlarının zamanla değişimi.

Akım Rasat İstasyonlarının (ARI) verileri kullanılmıştır. Bu üç akarsuyun yıllık toplam akımları Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1'e göre 1987 yılında göle gelen akım, 1977-1986 periyoduna göre %36, 1986 yılına göre %76, 1988 yılında ise aynı periyoda göre %75, 1986 yılına göre de %127 artmıştır. 1987 ve 1988 yıllarında gözlenen akımdaki artış, aynı yıllarda havzaya rekor denecek miktarda düşen yağışın beklenen bir sonucudur. Bu iki yıl içinde akımdaki artışa paralel olarak göl seviyesi de aynı yıllarda artmıştır.

Van Gölü Havzası Akış Katsayısı

Akış katsayısı, belli bir alana düşen toplam yağış miktarının ne kadar yüzdesinin akış haline geçtiğini gösterir. Yağmur suyunun akımının hesabında basitlik sağlamak için, genellikle akış katsayılarının zamanla değişmediği kabul edilir. Dolayısı ile akış katsayıları yer üst yüzeyinin özelliğinin bir fonksiyonudur (Muslu, 1993). Akış ile yağış arasındaki en basit bağıntı, çeşitli yağışlara ait akış yüksekliklerinin yağış yükseklikleri ile bir Kartezyen koordinat sisteminde noktalanmak sureti ile kurulabilir.

Bir eksene yağış yükseklikleri, diğerine akış yükseklikleri taşındığında elde edilen saçılma diyagramına en uygun geçen bir doğru çizilir. Noktaların bu doğru etrafındaki sapmaları genellikle çok fazla olur. Sapmaların büyük oluşu, olayda başka etkenlerin de bulunduğu işaret eder. Bunların en önemlisi yağışın başlangıcındaki zemin nemidir. Zira zemin nemi, sızma miktarını etkiler. Ancak zeminin geçirimsiz olduğu bölgelerde bu etki azalır, akış ile yağış arasında basit bir bağıntı elde edilir. Diğer hallerde zemin nemini bir parametre olarak almak gerekir (Bayazit, 1991). Akış katsayısı aşağıdaki değişik şekillerde hesaplanabilir;

- Bir su toplama havzasına ait eş yağış eğrilerinin belirlenmesinden ve yüzeysel akış miktarının ölçülmesinden sonra akış hacmi bulunarak yağış hacmine bölünmesi sonunda akış katsayısı yaklaşık olarak elde edilir (Şen ve ark., 1995).
- Yağış ve akış yüksekliklerinin oluşturduğu saçılma diyagramına uydurulan en iyi doğrunun eğimi akış katsayısı olarak kullanılır (Muslu, 1993).
- Bir su biriktirme haznesi yakınındaki bir yağış

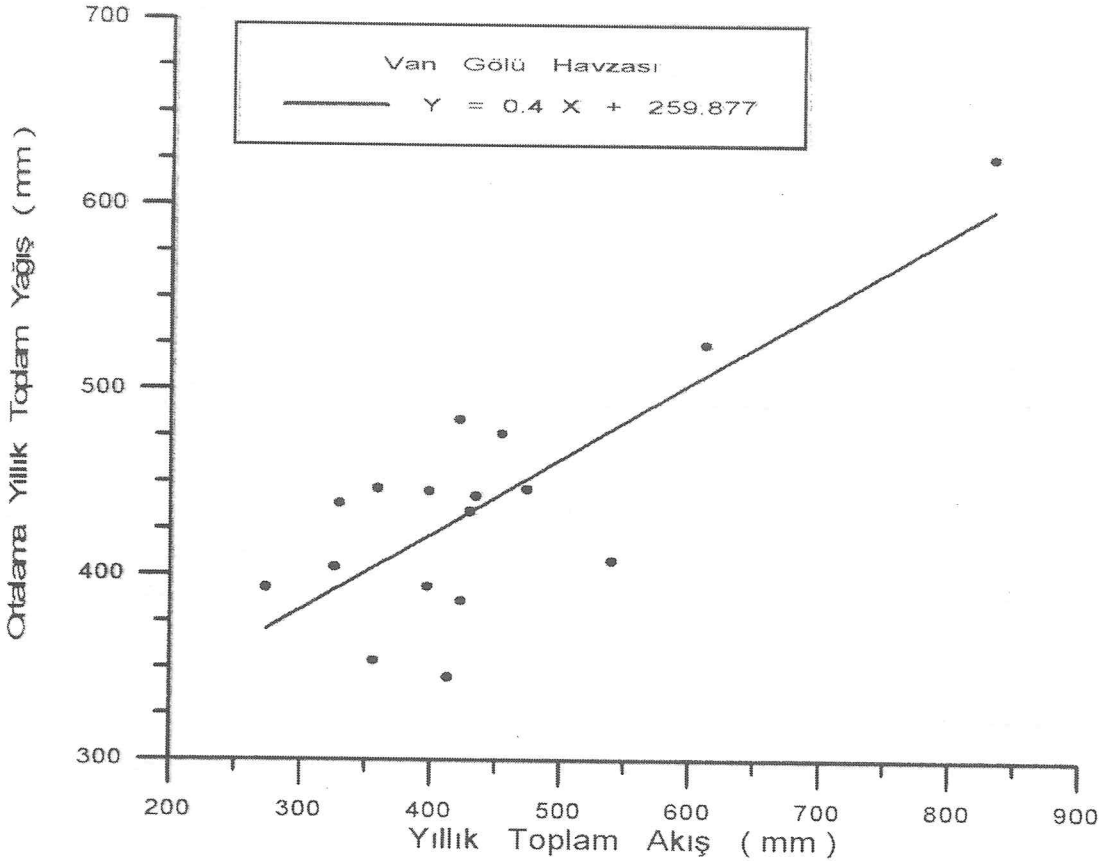
ölçerden elde edilen yağış miktarlarının yine o hazneye giren ölçülmüş gerçek akış değerlerine bölünmesi ile akış katsayısı bulunur (Şen ve ark., 1995).

Şen (1994) tarafından geliştirilen Yüzde Ağırlık Poligon (YAP) metodu ile Van Gölü havzası için hesaplanan alansal ortalama yıllık toplam yağış miktarı ile daha önce belirtildiği gibi Van gölü havzasını temsil ettiği düşünülen ve Şekil 1'de gösterilen üç büyük akarsuyun yıllık toplam akış miktarlarının saçılma diyagramına uydurulan doğrunun eğimi Şekil 2'den görüldüğü gibi 0.4 olarak bulunmuştur. O halde Van gölü havzası için yıllık yağış-akış katsayısı 0.4'tür. Yani, havzaya düşen yıllık yağış miktarının yaklaşık olarak %40'ı akışa geçmektedir.

Almanların desteği ile Kempe ve ark. (1978) tarafından

kullanılarak Kempe ve ark. (1978) tarafından bu akış katsayısı 0.40 olarak hesaplanmıştır.

Van gölü havzası için geçerli olabilecek yağış-akış katsayısını hesaplamak için bir diğer yol, Şen ve ark. (1995) tarafından belirtildiği gibi bir su biriktirme haznesinin yakınındaki bir yağış ölçerden elde edilen yağış miktarlarının yine o hazneye giren ölçülmüş gerçek akış miktarlarına bölünmesi ile yaklaşık olarak elde edilir. Bu yolla, Van gölü havzasını temsil eden akış katsayısı şöyle bulunmuştur: Daha önce belirtildiği gibi Van gölü havzasını temsil eden üç büyük akarsu vardı, bunlar Süfrezor Deresi, Bendimahi Çayı ve Hoşap Suyu dereleridir. Bu akarsulardan Süfrezor Deresi-Kınalıkoç mevkiindeki ARI'na en yakın yağış istasyonu (Yİ) olarak Ovakışla Yİ seçilmiştir. Benzer şekilde Bendimahi Çayı-



Şekil 2. Ortalama yıllık toplam yağış ve akış arasındaki saçılma diyagramı (Batur, 1996).

Van gölü havzası için akış katsayısı, Şen ve ark. (1995) belirttiği gibi akış hacminin yağış hacmine bölünmesi ile elde edilmiştir. Van gölü kıyısındaki Muradiye, Erciş, Tatvan, Gevaş ve Van yağış ölçüm istasyonları

Göndürme mevkiindeki ARI'na en yakın Yİ olarak Çaldıran yağış istasyonu ve Hoşap Suyu-Zernek köprüsü mevkiindeki ARI'na en yakın yağış istasyonu olarak Güzelsu yağış istasyonu seçilmiştir. Daha sonra bu

arsulardaki uzun yıllar ortalama aylık akış değerleri, zkonusu akım istasyonuna en yakın olan yağış istasyonundaki uzun yıllar aylık ortalama yağış miktarına ünerek her bir akarsu için aylık akış katsayıları Tablo 2'e görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Yıllık akış katsayıları, Tablo 2'den görüldüğü gibi aylık akış katsayılarının ortalaması alınarak Süfrezor Deresi için 0.50, Bendimahi Çayı için 0.54 ve Hoşap Suyu için de 0.27 bulunmuştur. Akış katsayılarından da anlaşılacağı üzere, Van gölü seviyesini kuzeyden gelen akışlar daha çok etkilemektedir. Daha sonra, Tablo 2'den görüleceği gibi her bir akarsuyu temsil eden yıllık akış katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak Van gölü havzası için yıllık akış katsayısı 0.43 olarak elde edilmiştir (Batur, 1996).

Yıllıklı ortalama alınarak da Van Gölü havzası için yıllık akış katsayısı 0.42 hesaplanmıştır (Batur, 1996). Görüldüğü gibi değişik yöntemlerle Van gölü havzasını

temsil eden yıllık yağış-akış katsayısı 0.40-0.43 arasında değişmektedir. Van gölü havzasını temsil ettiği düşünülen üç büyük akarsuyun aylık akış katsayılarının birbirlerine göre karşılaştırılması Van gölü havzası hakkında ek bilgiler verecektir. Tablo 2'deki akış katsayıları kullanılarak elde edilen Şekil 3, Süfrezor Deresi, Bendimahi Çayı ve Hoşap Suyu'na ait akış katsayılarının aylık değişimini göstermektedir. Şekil 3'den görüldüğü gibi ilkbahar mevsiminde yağış ve akışlardaki artışa paralel olarak akış katsayıları da bu mevsimde artmaktadır. Ancak yıl içindeki maksimum akış katsayıları, her üç akarsu için de yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos ve kısmen Eylül) görülmektedir. Özellikle Süfrezor Deresi'nde akış katsayısı Temmuz ve Ağustos aylarında 1'den büyük çıkmaktadır. Yani bu aylarda akış, yağıştan fazladır. Şen ve ark. (1995) belirttiği gibi bunun değişik nedenleri olabilir:

(a) Havza alanının çok büyük olması ve yağışa olan akış şeklinde cevabın çok yavaş olması ve yağış istasyonu ile akış istasyonunun aynı yerde olmayışı,

(b) Havzadaki kar yağışlarının gecikmeli olarak Süfrezor Deresine ulaşması,

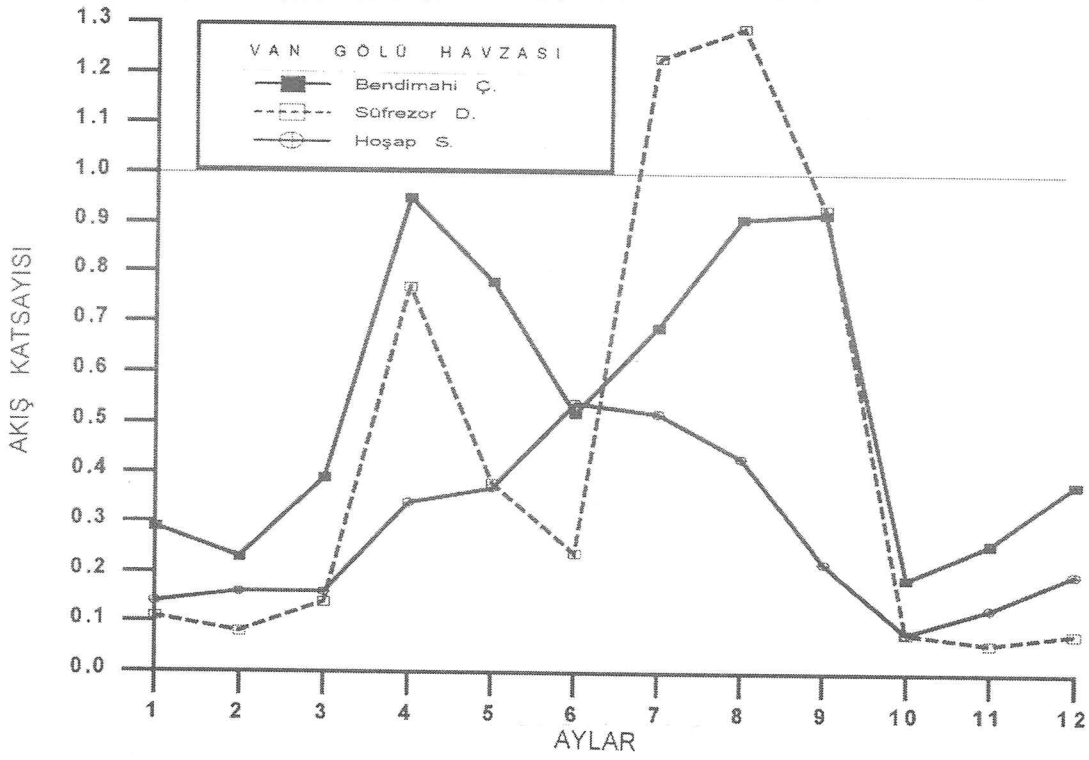
(c) Yeraltı suyunun yüzeye çıkarak Süfrezor Deresini beslemesi olabilir.

Havzadaki kar yağışları gecikmeli olarak bu akarsulara ulaşıyor ise her üç akarsu için akış katsayısının büyük çıktığı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında akışların miktar olarak büyük olması gerekirdi. Halbuki Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'dan görüldüğü gibi bu aylarda akış miktarı yağış miktarından çok fazla değildir. Yağış ile akış arasında çok az bir fark vardır. Yağış ile akış arasındaki fark, Süfrezor De-

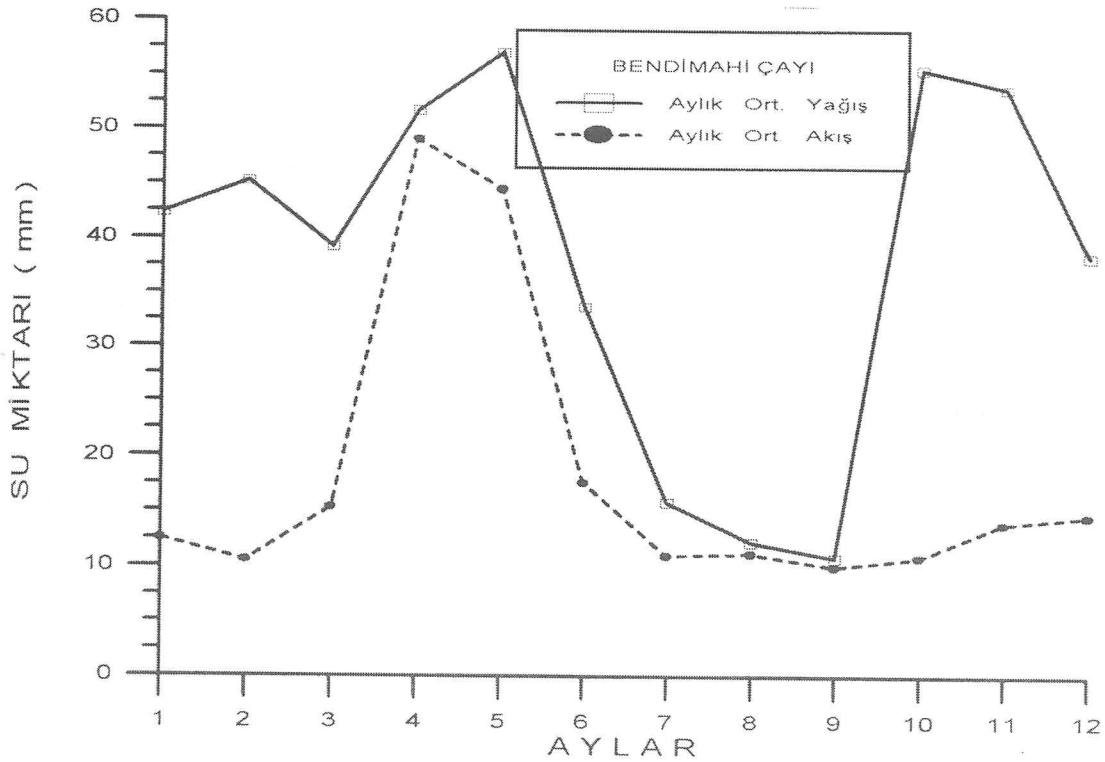
Tablo 2. Yakaç metodu ile hesaplanan aylık akış katsayıları (Batur, 1996).

Aylar	Süfrezor D. Yağış-Akış Katsayısı (R _S)	Bendimahi Ç. Yağış-Akış Katsayısı (R _B)	Hoşap S.. Yağış-Akış Katsayısı (R _H)	Van Gölü Havzası Yağış-Akış Katsayısı (R _{Havza} = (R _S + R _B + R _H)/3)
Ocak	0.11	0.29	0.14	0.18
Şubat	0.08	0.23	0.16	0.16
Mart	0.14	0.39	0.16	0.23
Nisan	0.77	0.95	0.34	0.67
Mayıs	0.38	0.78	0.37	0.51
Haziran	0.24	0.52	0.54	0.43
Temmuz	1.23	0.69	0.52	0.81
Ağustos	1.29	0.91	0.43	0.88
Eylül	0.93	0.92	0.22	0.69
Ekim	0.08	0.19	0.08	0.12
Kasım	0.06	0.26	0.13	0.15
Aralık	0.08	0.38	0.20	0.22
Ortalama	0.50	0.54	0.27	0.43

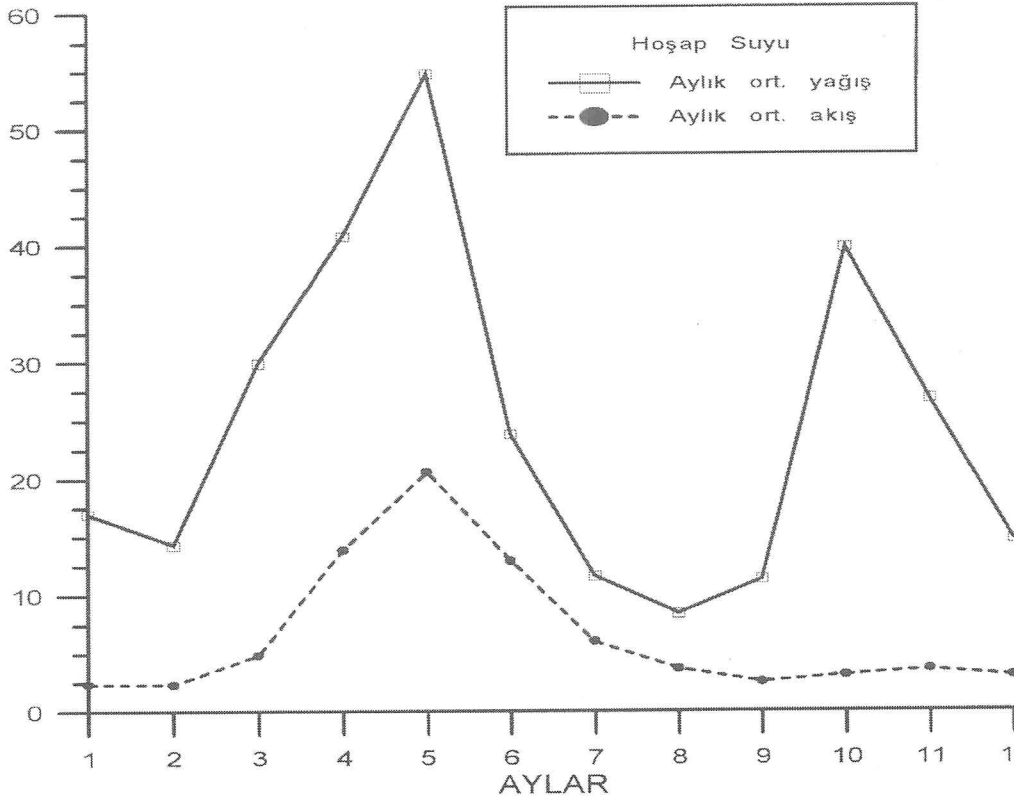
VAN GÖLÜ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİ



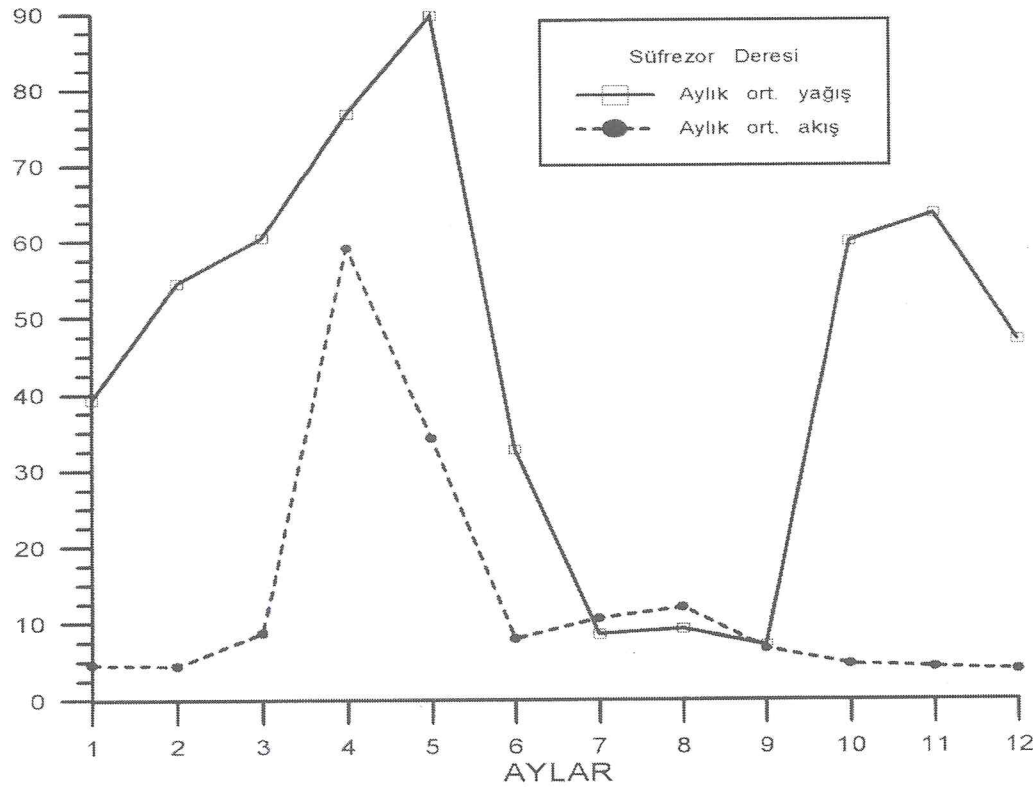
Şekil 3. Hoşap Suyu, Süfrezor Deresi ve Bendimahi Çayı'na ait Yakaç yöntemi ile bulunan akış katsayılarının aylık değişimi (Batur, 1996).



Şekil 4. Uzun yıllar ortalama yağışın ve akışın Bendimahi Çayı'nda aylık değişimi.



Şekil 5. Uzun yıllar ortalama yağışın ve akışın Hoşap Suyu'nda aylık değişimi.



Şekil 6. Uzun yıllar ortalama yağışın ve akışın Süfrezor Deresi'nde aylık değişimi.

resi ve Bendimahi Çayı'nda yaklaşık olarak birbirine eşit iken Hoşap Suyu'nda biraz daha büyüktür. Süfrezor Deresi'nde Temmuz ve Ağustos aylarında akışın yağıştan birazcık fazla olması, akış katsayısının 1'den büyük olmasına neden olmaktadır. Eğer Süfrezor Deresi'nde Yİ ve ARİ birbirine yakınsa yaz aylarında meydana gelebilecek şiddetli yağışlarda su, kuru olan toprağa sızmadan dereye ulaşabilir. Ancak Yİ ile ARİ birbirine

görüldüğü gibi Hoşap Suyu-Zernek Köprüsü ARİ ile bu akım istasyonuna en yakın Yİ olarak seçilen Güzelsu yağış istasyonu arasında 250 m yükseklik farkı varken, Süfrezor Deresi-Kınalıkoç ARİ ile Ovakişla Yİ arasında 55 m ve Bendimahi Çayı-Göndürme ARİ ile Çaldıran Yİ arasında 65 m'lik bir yükseklik farkı vardır. ARİ ile Yİ arasındaki yükseklik farkının en fazla olduğu Hoşap Suyu'da akış katsayıları yıl içinde hiçbir zaman 1'den

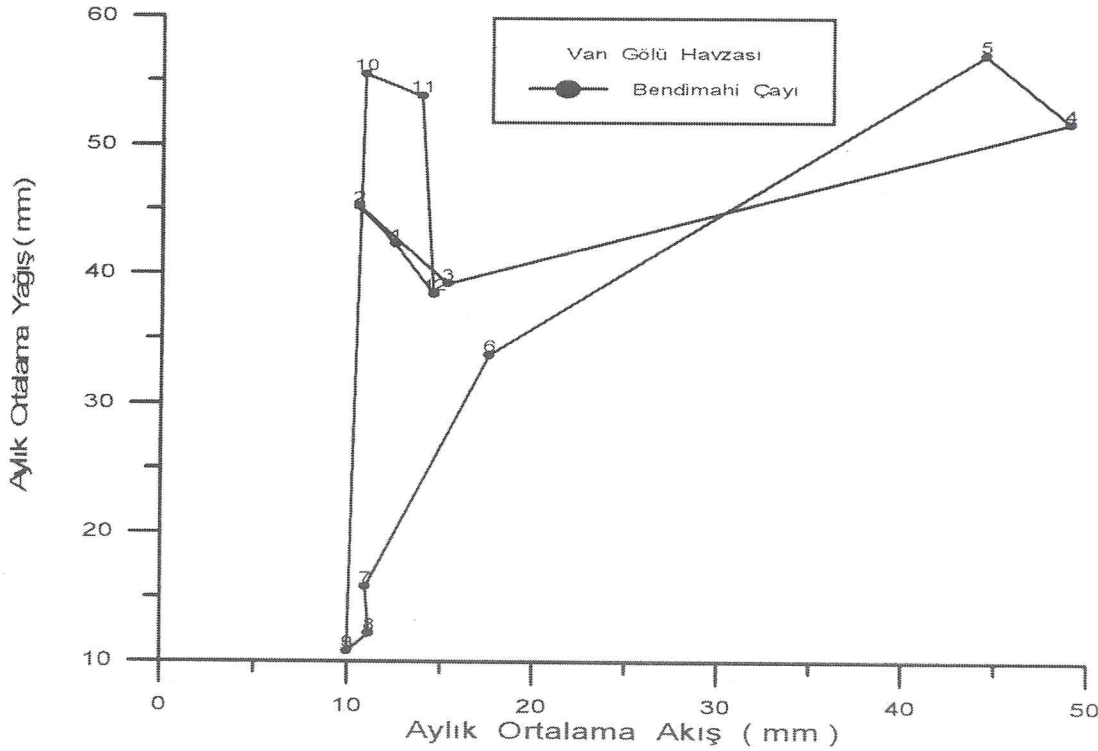
büyük çıkmamaktadır. Demek ki Süfrezor Deresi'nde yaz aylarında akış katsayısının 1'den büyük çıkmasına ARİ ile Yİ'nun birbirinden uzak olmasının etkisi yoktur. O halde veriler doğru ölçülmüş ise bu, yeraltı su seviyesinin arttığına bir işarettir. Akış katsayısının 1'e yaklaştığı veya 1'den büyük olduğu durumlarda yanlış yorumlar yapılmaması için Şen ve ark. (1995) tarafından geliştirilen Yakaç diagramlarının çizilip sözkonusu aylar için yağış ile akış arasında miktar açısından büyük bir fark olup olmadığına bakılmıştır. Böylece havzanın yağış-akış ilişkisi hakkında da yorumlar yapılabilmıştır.

Tablo 3. Van gölü havzasındaki ARİ'leri ve bunlara en yakın olarak seçilen Yİ'leri (E.İ.E.İ., 1995).

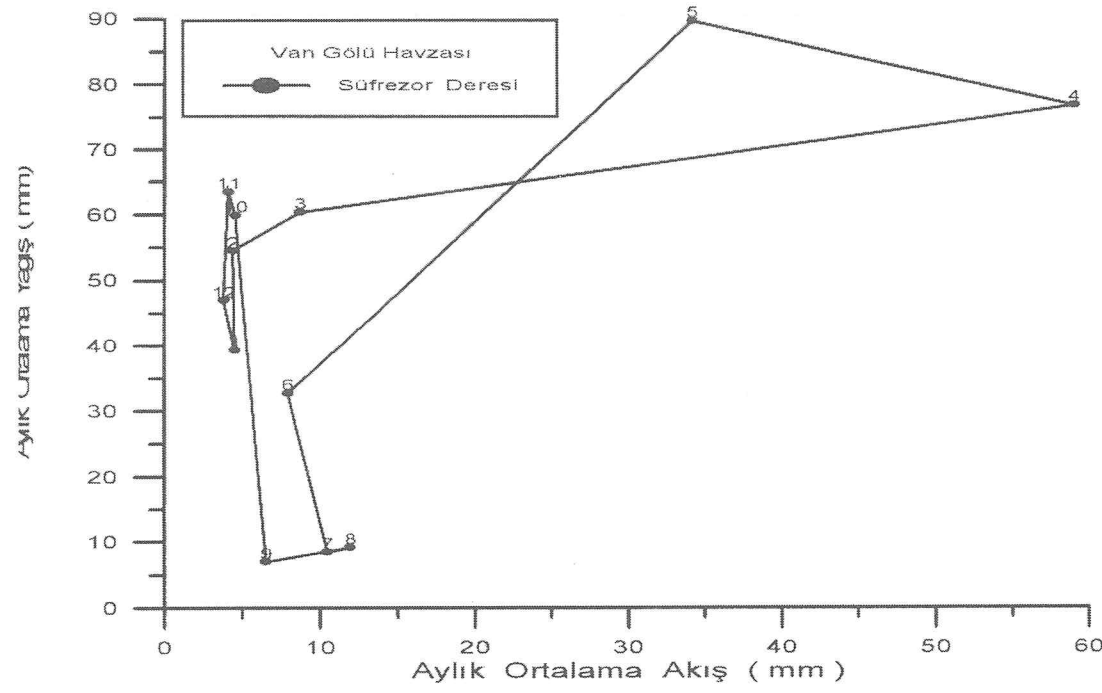
Akarsu-ARİ	Rakım (m)	Yİ	Rakım (m)
Hoşap Suyu-Zernek Köprüsü	1850	Güzelsu	2100
Süfrezor Deresi-Kınalıkoç	1775	Ovakişla	1830
Bendimahi Çayı-Göndürme	1935	Çaldıran	2000

yakın değilse ölçülen yağış ile akış arasında daima bir zaman farkı olacaktır. Bu zaman farkından dolayı akış katsayısı 1'den büyük çıkacaktır. Tablo 3'de görüldüğü gibi her üç akarsu için akım istasyonları ve bu ARİ'lerine en yakın Yİ'lerinin kotları verilmektedir. Tablo 3'ten

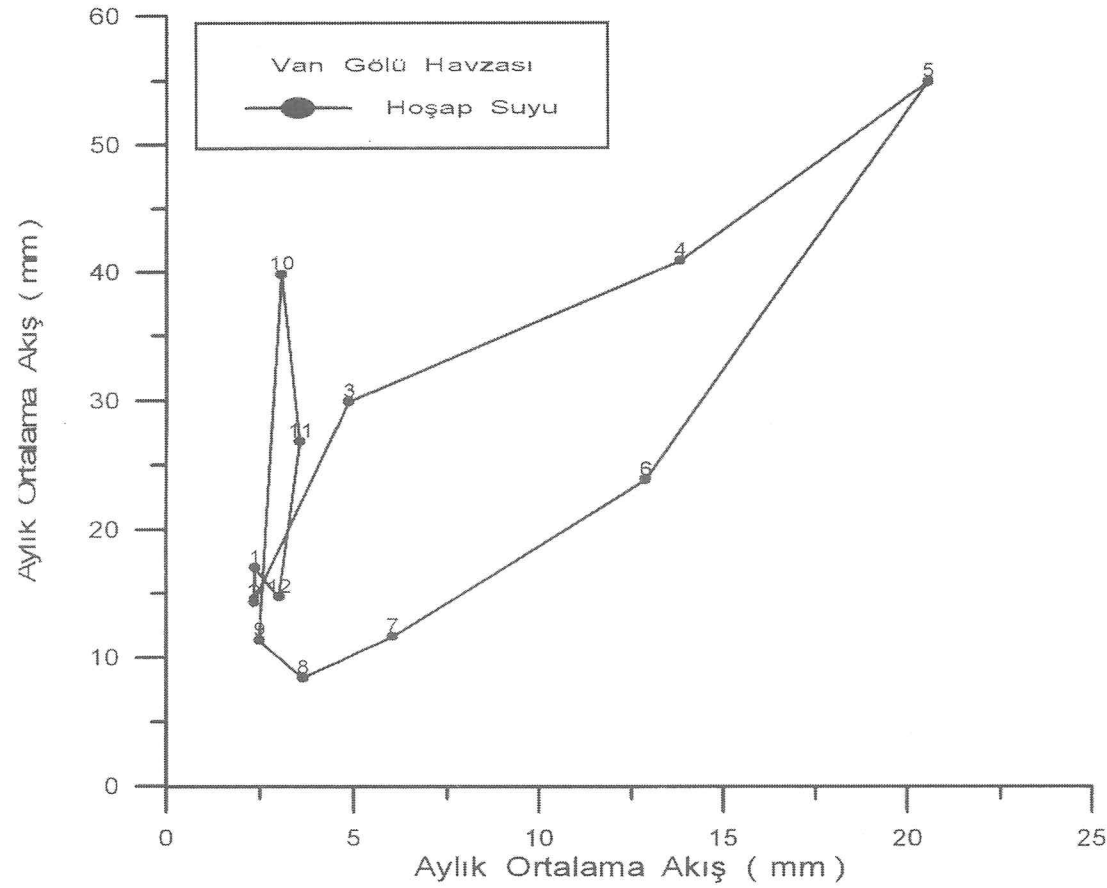
rumlar yapılmaması için Şen ve ark. (1995) tarafından geliştirilen Yakaç diagramlarının çizilip sözkonusu aylar için yağış ile akış arasında miktar açısından büyük bir fark olup olmadığına bakılmıştır. Böylece havzanın yağış-akış ilişkisi hakkında da yorumlar yapılabilmıştır.



Şekil 7. Bendimahi Çayı için Yakaç diagramı (Batur, 1996).



Şekil 8. Süfrezor Deresi için Yakaç diagramı (Batur, 1996).



Şekil 9. Hoşap Suyu için Yakaç diagramı (Batur, 1996).

Yağış-Akış-Katsayısı Çokgeni (Yakaç) Diagramları

Bunun esası yükseklik cinsinden (burada mm) yağış ve akış değerlerinin kartezyen koordinat takımında noktalanmasından sonra ardışık ayları temsil eden noktaların birbiri ile birleştirilmesi sonucunda çıkan çokgene dayanır ve bu çokgene Yakaç diagramı adı verilir (Şen ve ark., 1995).

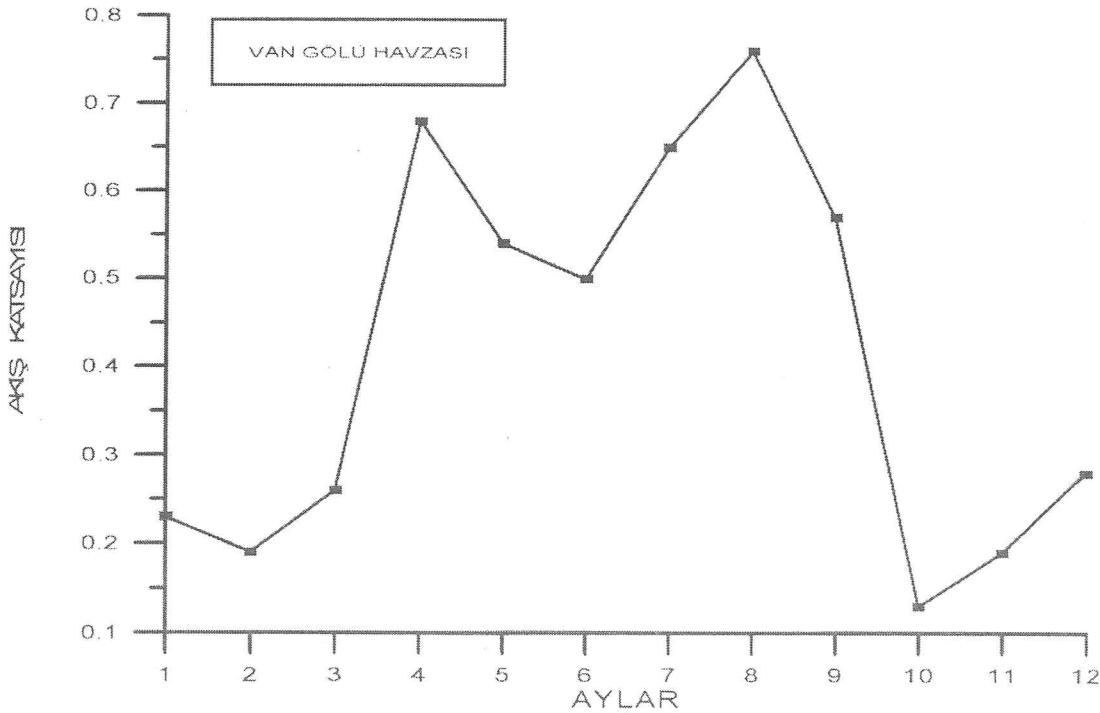
Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da Bendimahi Çayı, Süfrezor Deresi ve Hoşap Suyu'na ait Yakaç diagramları görülmektedir. Her üç akarsuda da akış katsayılarının 1'den büyük veya 1'e yaklaştığı yaz aylarında minimum yağış ve akış gözlenmektedir. O halde yaz aylarında akış katsayısının 1'den büyük veya 1'e yaklaşması bizi yanıltmamalıdır. Sadece yeraltı suyunun yükselmesi hakkında bize bilgi verebilir.

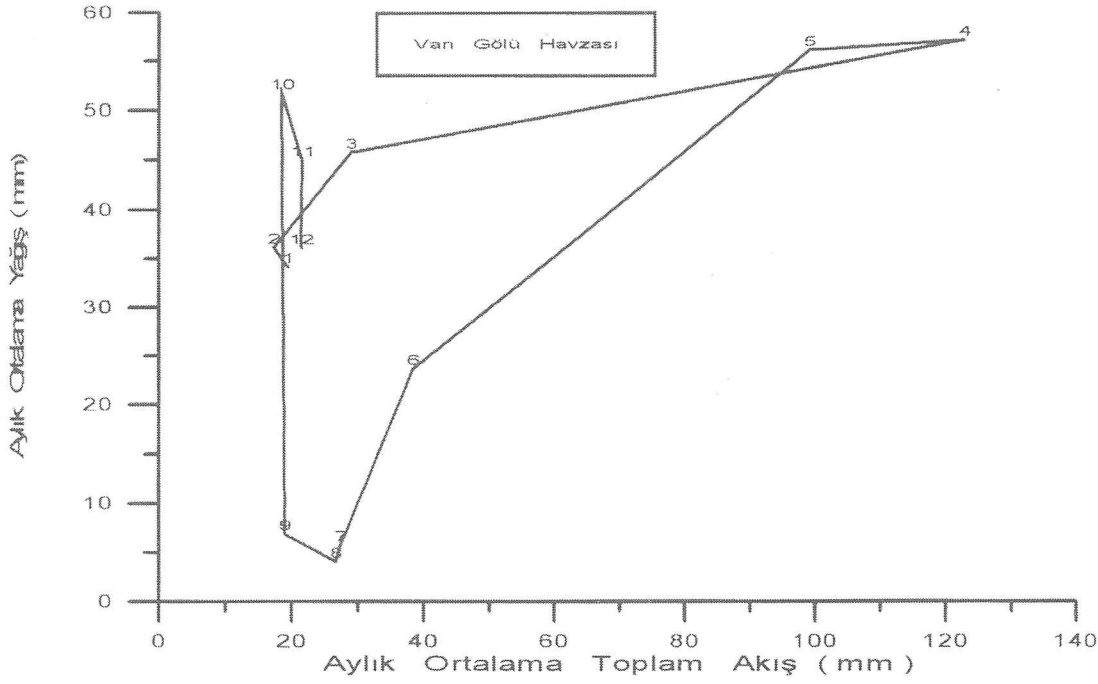
Her üç akarsu için çizilen Yakaç diagramlarından görüleceği üzere yıl içinde maksimum yağışlar Nisan ve Mayıs aylarında gözlenmektedir. Bu yüzden, göl seviyesini etkileyen akışlar bu aylardaki akışlardır. Van

gölü su seviyesi Haziran ayında maksimum değerine ulaşmaktadır. Halbuki, akış katsayısının 1'den büyük çıktığı Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelen akış, göl su seviyesinin maksimum değerini aldığı Haziran ayından sonradır. Bu da, yaz aylarındaki akışların Van gölü su seviyesi için fazla önemli olmadığını gösterir. Her üç akarsuda da Mayıs ayından sonra yağışlarda büyük bir azalma gözlenmekte ve bu Süfrezor Deresi ve Bendimahi Çayı'nda Eylül ayına kadar Hoşap Suyu'nda ise Ağustos ayına kadar devam etmektedir. Bu aylarda yağışlardaki azalmaya paralel olarak akışlar da azalmaktadır.

Yine her üç akarsuda da Eylül ayından sonra yağışlar hızlı bir şekilde artarken akış hemen hemen hiç yoktur. Çünkü bu aydaki yağış tamamen zemine sızmaktadır. Demek ki her üç akarsuda da zeminde maksimum nem açığı Ekim ayında oluşmaktadır. Kasım ayından Şubat ayına kadar meydana gelen yağışlar kış mevsiminden dolayı yüzeyde donmakta ve havaların ısınması ile birlikte ilkbahar aylarında akışa geçmektedir. Tüm yıl gözönüne

Şekil 10. Van Gölü havzasının akış katsayısının aylık değişimi (Batur, 1996).





Şekil 11. Van Gölü Havzası için Yakaç diagramı (Batur, 1996).

alındığında yağıştan akışa geçme işlemi en yavaş Hoşap Suyu'nda gözlenmektedir ve bu yüzden maksimum akış diğer akarsulardan bir ay sonra, Mayıs ayında gözlenmektedir. Bu üç akarsu içerisinde en büyük yağış miktarı, Mayıs ayında Süfrezor Deresinde, en küçük yağış miktarı ise yine bu akarsuda gözlenmektedir. Diğer taraftan en büyük akış ise maksimum yağışa paralel olarak yine Süfrezor Deresi'nde Nisan ayında meydana gelmektedir.

Yukarıda her bir akarsu için çizilen şekil ve yorumlardan Van gölü havzası için yüzeysel akış katsayısının aylık değişimi ve Yakaç diagramı, sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Van Gölü havzası Yakaç diagramından görüldüğü gibi maksimum yağış ve akış Nisan ve Mayıs aylarında olmaktadır. Ağustos ayında minimum yağışa karşılık maksimum akış katsayısı gözlenmektedir. Ekim ayında meydana gelen yağış tamamen zemine sızmaktadır. Bu ayda hemen hemen hiç akış yoktur.

Kasım ayından Şubat ayına kadar olan sürede yağışlar kışın yüzeyde donma olduğundan fazla bir akış olmamaktadır. Havaların ısınması ile donan yağış çözülerek Nisan ayında hızlı bir akışa geçmektedir. Mayıs ayından sonra da hem akış hem de yağış ani bir şekilde azalmaktadır. Dolayısıyla, Van gölünü etkileyen akışlar Nisan ve Mayıs aylarındaki akışlardır. Her ne kadar yaz aylarında havza içinde akış katsayısı 1'den büyük çıkıyorsa da bu aylardaki yağış ve akışlar miktar açısından çok küçüktür.

Sonuç ve Öneriler

Son zamanlarda Van gölünde su seviyesindeki aşırı yükselme nedeninin açıklanabilmesi ve göldeki su seviye değişimlerinin çok önceden öngörülebilmesi için Van gölü havzasındaki yağış-akış ilişkisinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada havzadaki yağış-akış ilişkisini belirleyebilmek için Yakaç diagramları hazır-

lanmış ve havza için yüzeysel akış katsayısı aylık olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, Van gölü havzasına düşen yağışın yaklaşık olarak %40'ı akışa geçerek aynı yıl içinde, yıllık gecikme farkı olmadan, yüzeysel akış şeklinde göle ulaşabildiği tespit edilmiştir. Van gölü havzasında en fazla yağış, Nisan ve Mayıs aylarında gözlenirken aynı zamanda en fazla akış da yine bu aylarda ölçülmüştür. Havzanın kuzeyindeki akarsulardan göle daha çok su taşınmaktadır. Havzada, toprak nem açığı en fazla Ekim ayındadır.

Göl su seviyesindeki ani değişimler muhtemelen gelecekte de tekrarlanacaktır. Bu yüzden havzaya düşen yağışın ne kadarının, ne zaman göle ulaşacağını çok iyi bilinmesi sonraki çalışmalara ışık tutacaktır. Bunun için de havzadaki yağış ve akım ölçüm istasyon ağının geliştirilmesi gerekmektedir. Halbuki Van gölü havzasında mevcut akım rasat istasyonları böyle bir ilişkinin bilinmesi için yeterli değildir.

Teşekkür

Bu çalışmayı çeşitli şekillerde destekleyen kişi ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Batur, E., "Van Gölü'nün Su Bütçesi ve Havza İklimi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 124, 1996.
- Bayazit, M., "Hidroloji", İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 270, 1991.
- Brunk, I.W., "Precipitation and the levels of Lake Michigan-Huron", J. Geophys. Res., 64, 1591-1595, 1959.
- Changnon, S.A., "Climate Fluctuations and Record-High Levels of Lake Michigan", Bull. Amer. Meteor. Soc., 68(11), 1394-1402, 1987.
- E.İ.E.İ., "1988 Su Yılı Akım Değerleri", Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yayın No: 91-51, Ankara, 289-293, 1991.
- E.İ.E.İ., "Aylık Ortalama Akımlar (1935-1990)", Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 361-364, 1995.
- Kadioğlu, M., "İklim ve Van Gölü Su Seviyesindeki Değişimler Arasındaki İlişkinin Tesbiti", Van Gölü'nde Su Seviye Değişimleri ve Çevreye Olumsuz Etkileri Sempozyumu, 27-29 Eylül 1994, Van, 1994a.

- Kadioğlu, M., "Van Gölü'nün Yükselen Suları", İ.T.Ü. Vakıf Dergisi, (3), 36-38, 1994b.
- Kadioğlu, M., "Van Gölü'ndeki Su Seviye Yükselmesinin Meteorolojik Faktörler ile Olan İlgisi", Van Gölü'nün Su Seviyesinin Yükselmesi Nedenleri Etkileri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-21-22 Haziran 1995, Van, 21-39, 1995a.
- Kadioğlu, M., "Van Gölü ve Yükselen Su Seviyesi", Türkiye Mühendislik Haberleri, Eylül 1995, 95-95, 1995b.
- Kadioğlu, M., Sezen, G., ve Çepniler, B., "Yağışlar ile Van Gölü Su Seviyesindeki Değişimler Arasındaki İlişkinin Tespiti", Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi, Cilt 3, 1-5 Mayıs 1995, MTA Kültür Sitesi, Ankara, 717-726, 1995.
- Kafalı, K., "Van Gölü Ulaştırma Olanaklarının İncelenmesi ve Taşımada Kullanılacak Gemi Tiplerinin Saptanması", İTÜ-Gemi İnşaatı Fakültesi Gemi Enstitüsü, Proje No. 75/9-UKİ 25302/AI, 1976.
- Khavich, V. and Ben-Zvi, A., "Forest of Daily Water Levels for Lake Kinret", Israel Bulletin of Hydrological Sciences, 40, 2, 1995.
- Kempe, S., F. Khoo and Gürleyik, Y., "Hydrography of Lake Van and Its Drainage Area", In the Geology of Lake Van, ed. by E. T. Degens and F. Kurtman, M.T.A. Press, Ankara, 169 s, 1978.
- Mather, J.R., "The Climatic Water Balance", Pub. in Climatology, 14 (3), 251-264, 1961.
- Muslu, Y., "Hidroloji ve Meskün Bölge Drenajı", İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 720 s, 1993.
- Sezen, G., "Van Gölü'ünde Su Seviye Değişimleri ile Yağışlar Arasındaki İlişkinin tesbiti", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 124 s, 1996.
- Şen, Z., "Yüzde Ağırlıklı Poligon Yöntemi ile Alansal Yağış Hesabı", I. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu, 23-25 Mart 1994, İstanbul, 124-132, 1994.
- Şen, Z., M. Kadioğlu ve S. Satılmış, "İstanbul Su Toplama Havzaları Yağış-Akış Katsayı Çokgeni", İstanbul ve Civarı Su Kaynakları Sempozyumu, 22-25 Mayıs 1995, İstanbul, 201-205, 1995.
- Türksoy, M. ve Seçkin, U., "E.İ.E. Van Gölü Hidrometri Çalışmaları", Meteoroloji Mühendisliği Dergisi, TMMOB Meteoroloji Müh. Odası, Ekim 195, (2), 3-8, 1995.
- Yılmaz, R., Çelik, S., Ertürk, A.G., Adıgüzel, A., ve Sayın, A., "Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesine Etki Eden Hidrometeorolojik Parametrelerin Analizi", Van Gölü'nde Su Seviye Değişimleri ve Çevreye Olumsuz Etkileri Sempozyumu, 27-29 Eylül 1994, Van, 1994.

DOLU, ÖNGÖRÜSÜ VE KORUNMA YÖNTEMLERİ

Doç. Dr. Yunus BORHAN

Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi

Giriş

Tarım ve ormancılık bakımından en önemli doğal zararlılar arasında yer alan "dolu" nun oluşumu, saptanması, öngörüsü ve önleme yöntemleri konusunda teorik ve uygulama alanında oldukça ilginç çalışmalar yapılmıştır. Dünyanın birçok ülkesinde, tarım arazilerinin doludan korunması konusunda başarılı deneyler uygulanmıştır. Örneğin, Sovyetler Birliği'nde 1 milyon hektardan daha büyük bir tarım arazisi koruma altına alınmış ve koruma altına alınan bölgedeki dolu zararı korunmayan bölgeden 3-5 defa daha az olmuştur. Bu planlamada koruma masrafları, alınan ürün bedelinin sadece % 2-3 kadarı olmuştur. Fransa'da yerden Ag I generatörleri ile yapılan ohumlama ile dolu zararında % 15 azalma olduğu bulunmuştur [1].

Dolunun meydana getirdiği zararlar, kuraklık, sel gibi diğer meteorolojik afetlerde olduğu kadar geniş bir alanda etkili olmamasına rağmen oldukça yüksek rakamlara ulaşabilir.

Dolu yağışının zararları esas olarak ikiye ayrılabilir:

- 1) Dolu bitkilerin gelişme ve büyüme evresinde meydana geldiğinde genç sürgün ve filizleri kırar, çiçek, yaprak ve meyveleri kopartır. Ağaçların 1-2 yıllık sürgünlerini de kırdığı için gelecek yılların verimini azaltır.
- 2) Eğimli ve üzerinde bitki örtüsü bulunmayan sürülmüş arazide su baskınları ve sellere sebep olur ve erozyonu artırır.

Dolu, gelişmekte olan tarım ürünleri üzerine düştüğü zaman mutlak bir hasar meydana getirir. Ancak bu hasarın miktarı dolu tanelerinin iriliği ve sıklığı, yağış süresi ve ürünün cinsine göre değişir. Dolu olayı her yerde ve her mevsimde fakat özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde olmak üzere senenin belirli aylarında görülür. Dolu ilkbaharda ne kadar geç yağarsa yapacağı zarar o kadar artar. Üreticinin maruz kaldığı zarar yağışın süresine, dolu tanelerinin büyüklüğüne ve sıklığına, ürünlerin doluya karşı dayanıklılık derecesine ve dolunun ürünlerin yetişme evresinin başında veya sonunda yağmasına göre değişir. Yeni yetişmekte olan ürünler şiddetli bir dolu yağışı sonunda tamamen mahvolurken, yetişmiş bir üründe nispeten daha az bir tahribat görülebilir.

Dolu her yıl yurdun birçok yerinde ekinleri yatırmakta, çiçek ve meyveleri dökmekte, filizleri kırmakta, pancar, pamuk, tütün ve sebzelerde çeşitli zararlar yapmakta, büyük ve küçük baş hayvanlarla kümes hayvanlarının ölümüne sebep olmakta, hatta bazı yerlerde şiddetli yağın dolu seller meydana getirmektedir. Bu nedenle, dolu zararlarının üzerinde önemle durularak her yıl ne miktar ürünün bu yüzden ziyan olduğunu ve bu zararın nerelerde daha fazla hissedildiğini tespit etmek büyük faydalar sağlar.

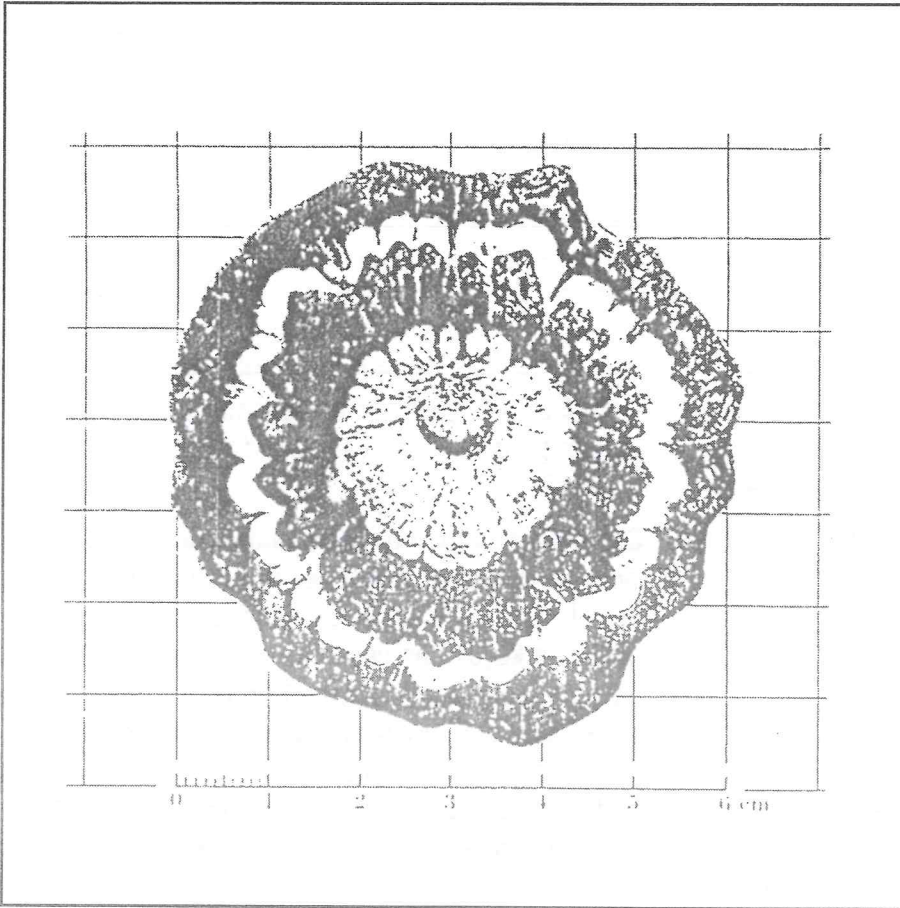
Dolu

Çapı 5 -50 mm veya bazen daha büyük küresel veya düzensiz buz parçalarının yağışına dolu denir. Dolu yağışı daima Kümülonimbüs bulutundan meydana gelir ve yüzeydeki hava sıcaklığı sıfır derecenin altında olduğu zaman dolu yağışı oluşmaz. Dolu tanesinin çapının 5 mm veya 5 mm'den daha büyük olduğu kabul edilmektedir. Küçük dolu denilen benzer orijinli ancak daha küçük parçacıklar ise buz topakları (bunlara grezil de denir) veya kar topakları olarak isimlendirilir.

Bir dolu tanesinin kesiti alınacak olursa iç içe daireler şeklinde saydam veya yarı saydam tabakalar görülür (Şekil 1) [2]. Dolu taneleri bulut içinde üzerlerinde 0°C'ın altındaki sıcaklıklarda bulut elemanlarının birikmesiyle veya üzerlerinde su buharının direkt olarak buz şeklinde yoğunlaşmasıyla büyürler. Dolu tanesindeki yarı saydam tabakalar dolu tanesi üzerinde kar birikmesi veya bulutun soğuk bölgelerindeki aşırı soğumuş damlacıkların dolu

tanesi üzerine yapışması ve hızla donmasıyla oluşurlar. Saydam tabakalar ise, dolu tanesinin üstünün bulut sıcaklığının 0°C'ın üzerinde olduğu bölgelerde sıvı su tabakası ile kaplanması ve dolu tanesi bulut içinde 0°C izoterminin üzerine taşındığı zaman bu tabakanın donmasıyla oluşur. Kesitte birkaç saydam ve yarısaydam tabakanın bulunması, dolu tanesinin kümülonimbüs bulutu içinde çeşitli kereler donma seviyesinin üzerine ve altına taşınmış olduğunu gösterir.

Dolu tanesinin büyüklüğü kümülonimbüs bulutu içindeki yükselici akımların şiddetine bağlıdır. Bu nedenle, bulut içindeki yükselici akımların şiddeti en az, dolu tanesinin bulutu terketmeden önceki gelişme evresinde sahip olduğu terminal hızın şiddetine eşit olmalıdır. Böylece 5 cm çaplı bir dolu tanesi için bulut içinde yaklaşık 30 m/s şiddetinde bir yükselici akımın bulunması gerekir. A.B.D.'de Kansas Coffeyville'de 3 Eylül 1970 tarihinde gözlenen dolu yağışında dolu tanelerinin ağırlığı 758 gram, çevresi 44,5 cm ve çapı 14,2 olarak ölçülmüştür [3]. İri dolu tanelerinin



Şekil -1- Bir dolu tanesinin kesiti.

oluşması için kümülonimbüs bulutunun birkaç kilometre kalınlığa ve çok yüksek sıvı su içeriğine sahip olması veya bulut içinde çok kuvvetli yükselici akımların bulunması gerekir. Şekil 2'de ortalama yoğunluğu $0,6 \text{ g/cm}^3$ olan bir dolu tanesinin farklı sıvı su içerikleri ve yükselici akımlar için sahip olacağı son yarıçap gösterilmiştir [2]. Şekilden görüleceği üzere, 8 g/cm^3 'lük sıvı su içeriği ve 15 m/s 'lik yükselici akım için dolu tanesinin sahip olacağı son yarıçap $3,0 \text{ cm}$ olacaktır. Aynı büyüklükte bir dolu tanesinin daha düşük yükselici akım hızlarında oluşabilmesi için daha yüksek sıvı su içeriği gerekmektedir.

Doluları meydana getiren kümülonimbüs bulutları atmosferde lokal olarak gelişen çok güçlü konveksiyon hücrelerinin sonucunda oluşurlar. Kümülonimbüs bulutlarının gelişmesi üç safhaya ayrılabilir (Şekil 3)[4] :

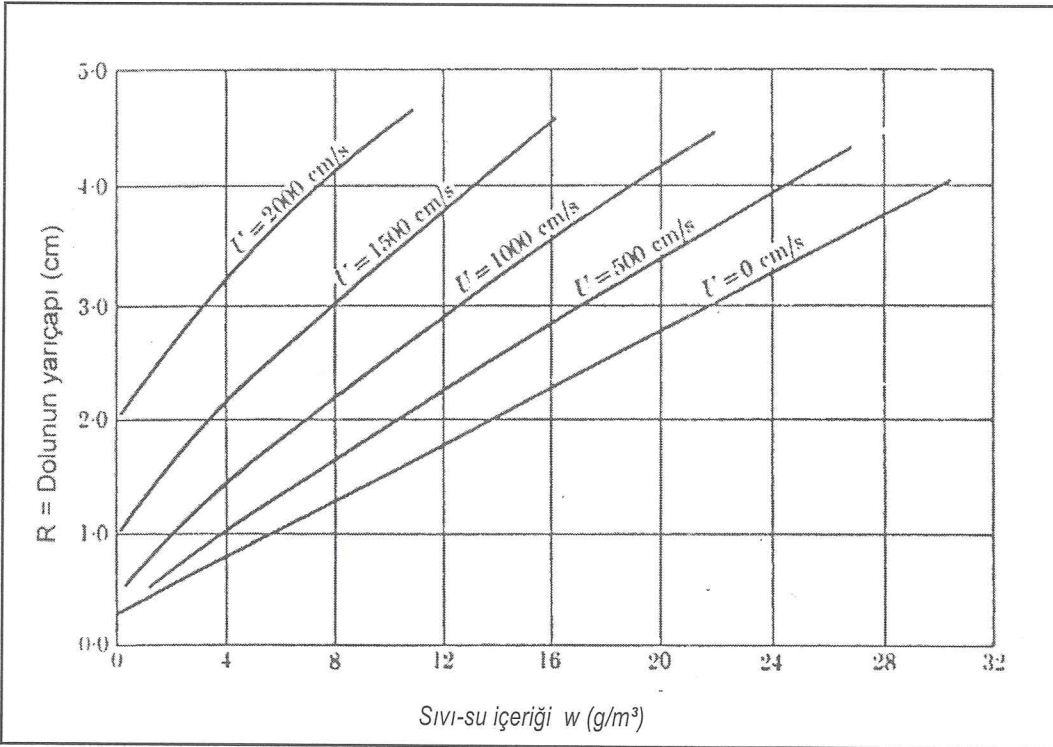
- 1 -Kümüülüs safhası,
- 2 -Olgunlaşma safhası,
- 3 -Dağılma safhası

Kümüülüs safhasında hücrenin her tarafında yükselici akımlar vardır. Yükselici akımların şiddeti bulutun tabanından tepesine doğru artar ve $6-7 \text{ m/s}$ değere ulaşır. Bu safhada bulutun yanlarından kümüülüsün içine hava girer. Bu işleme "katılım" denir. Kümüülüs bulutu donma seviyesinin üstüne doğru geliştiğinde bu

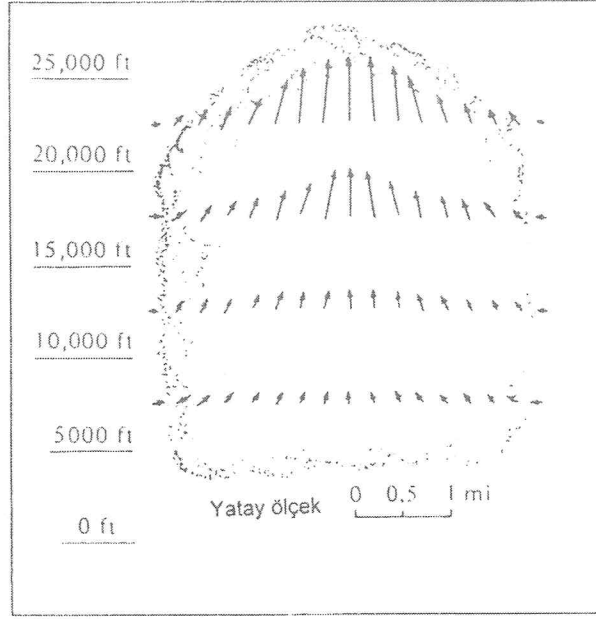
safhanın başladığı kabul edilebilir. Bu gelişmeden sonra su ve buz parçacıkları radarda eko verecek kadar büyürler. Bulut kümülüs safhasında yaklaşık olarak 15 dakika kalır ve bu esnada tepesi $8-10 \text{ km}$ 'ye kadar ulaşabilir.

Olgunlaşma safhasında yükselici akımlar jetler meydana getirir. Olgunlaşma safhasının son periyodunda düşey akımların hızları $20-25 \text{ m/s}$ 'lik maksimum bir değere ulaşır. Bu safhanın başlangıcında yüzeyde yağmur görülür. Bulutun ön kısmının merkezinde ise iniç akımlar oluşur. Bu iniç akımlar, düşen su ve buz parçacıklarının sürüklenmesi ve bulutun yanlarından giren soğuk havanın birlikte etkisiyle başlatılır. İniç akımlar yüzeye ulaştığı zaman yatay olarak yayılırlar. Bu iniç akımlarla ilgili olarak, kuvvetli sağanaklar, önemli derecede hamleli rüzgarlar, sıcaklıkta bir azalma ve basınçta ani bir yükselme gözlenir. Dolu genellikle olgunlaşma safhasında meydana gelir ve donma seviyesinin altına ve üstüne çeşitli kereler taşınması nedeniyle eş merkezli tabakalı bir yapı kazanır. Yaklaşık $15-30$ dakikalık olgunlaşma safhası esnasında kümülonimbüs $10-20 \text{ km}$ 'lik maksimum yüksekliğe erişir.

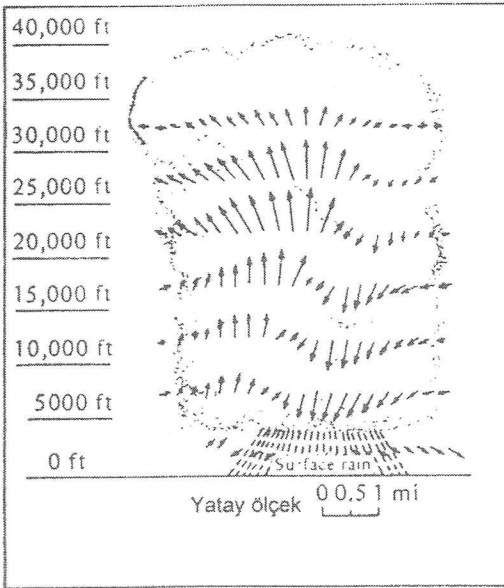
Dağılma safhasında iniç hareketler aşağı seviyelerde tüm buluta yayılır.



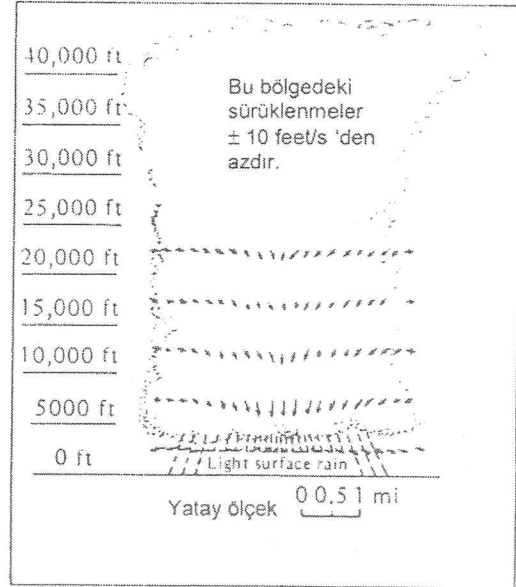
Şekil -2- Farklı sıvı su içeriği ve yükselici hızlar için $0,6 \text{ g/cm}^3$ ortalama yoğunluklu bir dolu tanesinin ulaşacağı son yarıçap.



Kümülüs safhası



Olgunlaşma safhası



Dağılma safhası

Şekil -3- Kümülönimbüs bulutunun gelişme safhaları

Dolu Öngörüsü

Dolu oluşumunu etkin bir şekilde kontrol etmek için sinoptik şartlardan ve düşey sıcaklık gradyanından dolu fırtınasının öngörüsünü yapmak büyük bir önem taşır.

Düşen dolu tanesinin yarıçapı esas olarak yükselici akımın maksimum hızından tayin edilir. Bu nedenle, düşey sıcaklık gradyanı verisinden yükselici akımın hızını hesaplayarak, verilen bir düşey sıcaklık gradyanı için maksimum dolu büyüklüğünü

$$R_m = \frac{W_m^2}{\gamma^2} + \frac{qE}{4\rho_{dr}} (Z_t - Z_0) \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplamak mümkündür [5]. Bu eşitlikte,

R_m = Maksimum hız seviyesindeki dolu büyüklüğünün yarıçapı

W_m = Maksimum hız seviyesindeki yükselici hız

γ = ($2,2 \times 10^3 k$, $k = 1 \text{ cm}^{1/2} \text{ s}^{-1}$) katsayı

q = Sıvı su içeriği

E = Birleşme katsayısı

ρ_{dr} = Dolu yoğunluğu

Z_t = Bulut tepesinin yüksekliği

Z_0 = Bulut tabanının yüksekliği

dir. Böylece, maksimum hız seviyesinden düşen bir dolu tanesinin büyüklüğü, yükselici akım hızına, sıvı su içeriğine ve bulutun kalınlığına bağlıdır.

Dolu taneleri esas olarak üzerlerinde nemin birikmesiyle büyüdüklerinden ve dolu pozitif sıcaklıklarda büyüye-meyeceğinden, dolu sadece bulut içindeki birikme zonu sıfır derece izoterminin üzerinde bulunduğu zaman görülebilir. Bu nedenle, dolu oluşum öngörüsü için ilk iki şart;

1 - Yükselici akımların maksimum hızı 10 - 15 m/s'yi geçmelidir. Bu hız 0,5 cm veya daha büyük yarıçaplı bir dolu tanesini kaldıracak büyüklükte bir düşey hızdır.

2 - Yükselici akım hızlarının maksimuma eriştiği seviye 0°C izoterminin üzerinde bulunmalıdır. Aksi halde, birikme zonu bulutun sıcak kısmında bulunur ve burada dolu oluşumu olanaksızdır.

Üzerinde nemin yoğunlaşmasıyla dolunun büyümesi ortamın sıcaklığına ve bölgenin sıvı su içeriğine bağlıdır. Bulutun sıvı su içeriği ne kadar yüksek olursa, yoğunlaşma ile dolu büyümesi o kadar düşük sıcaklıklarda meydana gelir. Ayrıca bulutun maksimum sıvı su içeriği yükselici akımın hızına bağlıdır. Böylece, düşey sıcaklık gradyanı verilerinden elde edilen maksimum yükselici akım hızları kullanılarak ve

$$\bar{q}_m = \bar{\rho} \frac{W_m^2 - V_{cr}^2}{2g(Z_t - Z_{cr})} \quad (2)$$

formülü vasıtasıyla sıvı su içeriği hesaplanarak birikme zonunun alt sıcaklık limiti T_h 'yi hesaplamak mümkündür [5]. Bu zonun üst sıcaklık limiti 0°C izotermi olacaktır. Hesap sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. (2) denkleminde

\bar{q}_m = Maksimum ortalama sıvı su içeriği

ρ = Ortalama hava yoğunluğu

W_m = Maksimum hız

V_{cr} = Kritik hız

g = Yerçekimi ivmesi

Z_t = Bulut tepesinin yüksekliği

Z_{cr} = Yükselici akım hızının $d = 5-6 \text{ mm}$ çaplı bir damlanın kritik düşme hızına eşit olduğu seviye' dir.

Eğer maksimum hız seviyesindeki sıcaklık Tablo 1'de verilen sıcaklık aralıklarının dışında kalırsa bulutta katı yağış oluşmayacaktır. Eğer maksimum hız seviyesi, verilen bir yükselici akım hızı için bu sıcaklık aralıklarının üzerinde ise yoğunlaşma ile dolu büyümesi gerçekleşmeyecek ve sonuç olarak büyük dolu oluşamayacaktır. Bu durumda bulutta yuvarlak kar veya kar oluşacaktır.

Tablo 1 den görüleceği gibi, yükselici akım hızı ne kadar büyük olursa, bulutun sıvı su içeriği ve yoğunlaşma ile dolu büyümesinin sıcaklık aralığı o kadar büyük olacaktır. Örneğin, 12 m/s 'lik bir yükselici akım hızı için dolu büyümesinin oluşabileceği sıcaklık aralığı 0, -8°C dir ki bu 1,5 km'lik bir yüksekliğe karşılık gelir. 30 m/s 'lik bir yükselici akım hızı için ise sıcaklık aralığı 0, -30°C olup bu 6 km'lik bir düşey kalınlığa karşılık gelir. Böylece, dolu oluşumu için iki şart daha verilebilir,

3 - Maksimum hız seviyesi, bulut sıcaklığının yoğunlaşma ile dolu büyümesine müsaade ettiği bir yükseklikte olmalıdır.

Ayrıca, oluşmuş bir dolu 0°C izoterminin altına düştüğü zaman eriyebilir. Yer yüzeyine düşecek olan dolunun öngörüsü yapılırken dolunun 0°C izotermi altındaki düşüşü esnasındaki erimesi de göz önüne alınmalıdır. Düşüşü esnasında erimeden dolayı dolu büyüklüğündeki değişim 0°C izoterminin yüksekliğine bağlıdır (Şekil 4).

Dolu Kontrolü

Birçok ülkede uzun yıllardan beri dolu yağışının zararlarını azaltmak için buz çekirdekleriyle bulutları tohumlama yöntemleri uygulanmaktadır. Dolu oluşum mekanizması hakkındaki görüşlere göre dolu, dolu çekirdeğinin büyük aşırı soğumuş damlalarla birleşmesinden oluşur. Bu görüşler dolu işlemini kontrol etmek için geliştirilen tekniklere temel teşkil eder. Dolu kontrolü için uygulanan tekniklerin hepsi kümülönimbüs bulutunun dolu meydana getiren kısmındaki mevcut aşırı soğumuş su miktarının

Tablo 1 Çeşitli yükselici akım hızları için yoğunlaşma ile dolu büyümesinin üst sınırının sıcaklığı (T_h)

	W_m (m/s)			
	12	15	20	30
q (g/m ³)	2,6	6	10	23
T_h (°C)	0. -8	0. -12	0. -20	0. -30

4 - Maksimum yükselici akım hızından tayin edilen dolu büyüklüğü, 0°C izotermi altındaki düşüşü esnasında tamamen eriyebilecek olan dolunun büyüklüğünden daha fazla olmalıdır.

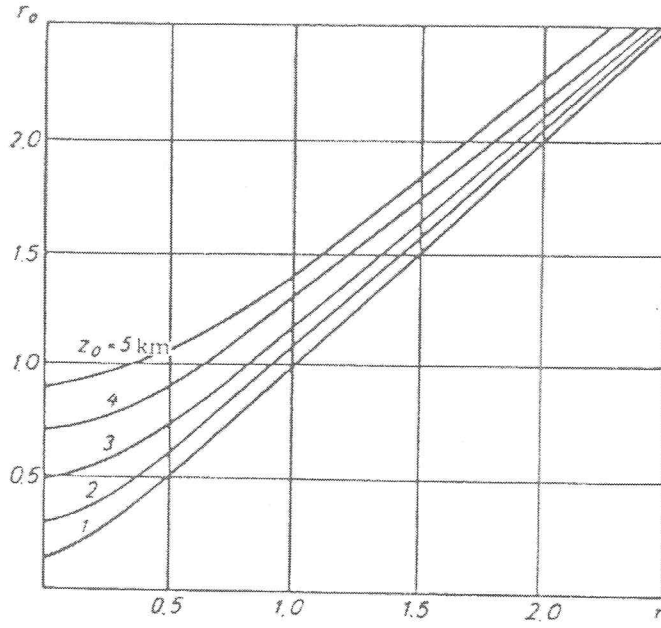
Bu şartları göz önüne alarak Glushkova maksimum yükselici akım hızı (W_m) ve W_m seviyesindeki sıcaklığı kullanarak bir sinoptik öngörü metodu geliştirmiştir (Şekil 5) [5]. Şekilden görüleceği gibi grafikte üç ayrı oluşum bölgesi vardır. I - sıvı yağış II - dolu ve III - yuvarlak kar ve kar bölgesi. abcd çizgisi yoğunlaşma ile dolu büyüme sınırını göstermektedir. Maksimum yükselici akım hızı ve bu seviyedeki sıcaklık vasıtasıyla elde edilen nokta grafikte I bölgesine gelirse, böyle bir buluttan sadece sıvı yağış meydana gelebilecektir. III bölgesine gelirse yuvarlak kar, kar veya sıvı yağış düşebilecektir. II bölgesine gelirse buluttan dolu yağışı düşecektir.

Böylece, dolu öngörüsü yapmak için maksimum yükselici akım hızı ve bu seviyedeki sıcaklık bulunur. Dolu büyüklüğü (1) denkleminde hesaplanır. 0°C izoterminin altındaki erime Şekil 4' deki grafikten elde edilir. Sonuçta yer yüzeyine ulaşan dolunun son büyüklüğü tayin edilir.

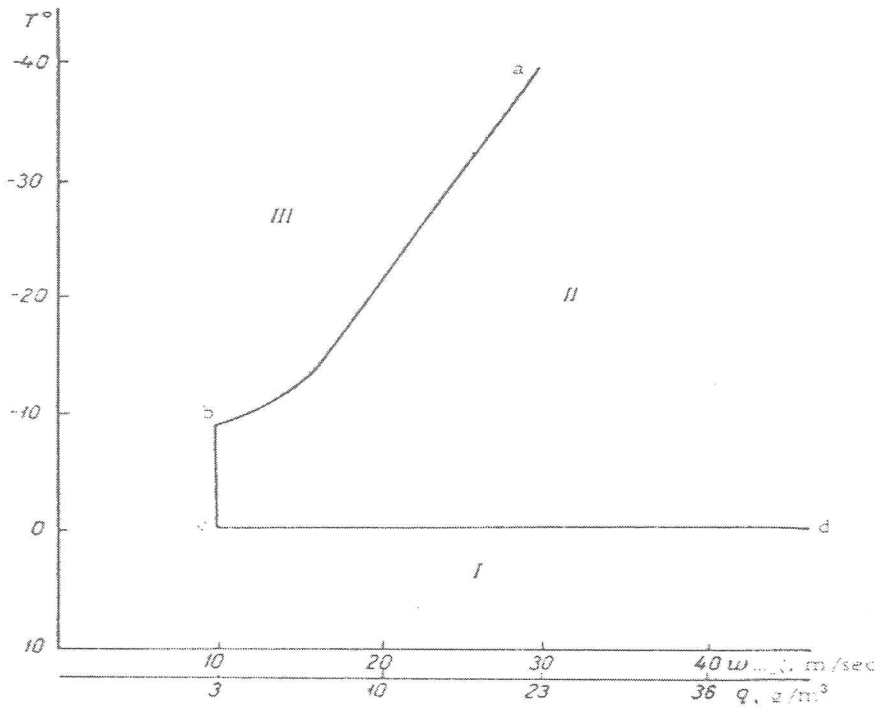
sabit olduğu ve eğer dolu taneciği sayısı arttırılırsa ortalama büyüklüklerinin azalacağı kabulüne dayanmaktadır. Böylece, buz çekirdeği konsantrasyonu iki veya üç kat arttırılırsa, dolu taneleri ya yer yüzüne ulaşmadan önce tamamen buharlaşacak kadar küçülecekler veya tarım ürünleri üzerinde çok az veya hiç zarar meydana getirmeyecek kadar küçük bir momentuma sahip olacaklardır.

Bir bulutta ana dolu gelişmesi birkaç dakika sürer. Bu nedenle, bulutu değiştirmeye teşebbüs edildiği zaman önce dolunun büyümeye başladığı odağı bulmak ve sonra dolu çekirdeğinde bir artış yaratacak zamanda bu odağa ajan atmak çok önemlidir. Dolu gelişmesinin odağı radarla tespit edilir. Bu odağa ajan atılması ise içinde gümüş iyodür ve kurşun iyodür gibi kristalizasyon ajanları bulunan roketler ve uçaksavar mermileri ile sağlanır. Bu teknik ilk kez 1946 yılında Dr. Vincent J. Schaefer tarafından New York'ta General Electric laboratuvarlarında denenmiştir. Bu laboratuvarlarda bulutlarda su damlacıkları ve buz kristallerinin oluşumuna ve gelişimine yol açan işlemler üzerinde ilk çalışmalar yapılmıştır.

Tarım ürünlerini korumak için dolu oluşumunu kontrol



Şekil -4- $\gamma = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ve 0°C izoterminin farklı yükseklikleri için r_0 başlangıç yarıçapına karşılık gelen son dolu yarıçapı (r).



Şekil -5- Dolu öngörü grafiği

işlemi, korunan bölgenin sınırları dışında bulunan ve korunan bölgeye doğru yaklaşan bir bulut olduğu zaman yapılabilir. Bu durumda ajan dolu büyümesinin merkezine atılır. İşlemin başlangıcı, düşmesi engellenemeyecek kadar gelişmiş doluların hava akımları ile korunan bölgeye taşınmayacak şekilde seçilmelidir. Eğer bulut gelişme eğilimi gösterirse, korunan bölge üzerindeki zon 5 -10 dakikalık aralıklarla tekrar tohumlanır.

Dolu bulutunun gelişmesi korunan bölgenin üzerinde meydana geldiği zaman ajan zonun en şiddetli kısmına atılır ve operasyona bulutta büyük dolu taneleri oluşmadan önce başlamak gerekir. Operasyon, dolu bölgesine değil yuvarlak kar ve büyük aşırı soğumuş damlaların bulunduğu bölgeye uygulanmalıdır. Eğer bölge daha fazla gelişme eğilimi gösterirse, bu işlem 5 -10 dakikalık aralıklarla tekrar edilmelidir.

Bir dolu odağı korunan bölge üzerinde gelişirse, bu odaktan yüzeye düşecek dolu tanelerindeki erime de göz önüne alınmalıdır. 0°C izotermi yer yüzeyinden yaklaşık olarak 4000 m yükseklikte bulunduğu zaman, yarıçapı 1 cm'den daha küçük olan bir dolu tanesi genellikle tamamen erir. Bu nedenle, korunan bölgenin üzerinde gelişen bulutların modifikasyonuna sadece 0,5 cm yarıçaplı dolu taneleri belirdikten sonra başlanmalıdır. Bu şekilde işlem sayısı önemli derecede azaltılır. Bununla beraber, bu metot sadece ajanın dolu büyüme zonuna 0,5 - 1,0 dakika içinde atılacağından kesin olarak emin olduğu zaman kullanılabilir. İşlemin başlamasında 2 - 3 dakikalık bir gecikme bazı durumlarda büyük doluların yağmasına sebep olabilir.

Böylece, doluyu önlemek amacıyla yapılacak başarılı bir bulut modifikasyonu için,

1- Dolu belirme ve büyüme yerinin yani dolu odağının hızla tespitine,

2- Bu dolu odağı içine kristal maddelerin hızla atılmasına ve yayılmasına

ilişkin bir metodun bulunması gerekir.

Önceleri, bir buluta ajan vermenin en yaygın yöntemi ajanları yer yüzeyinden püskürtmektir. Ag I ve Pb I₂ bir fosfor alevi içinde yakılır ve yükselici akımlar vasıtasıyla dumanla bulutun içine sokulurdu. Bu tür denemeler Sovyetler Birliğinde geniş ölçüde uygulanmıştır. Kris-

talizasyon sıcaklığını yükseltmesine ve yağışı tahrik etmesine rağmen bu yöntemin çeşitli sakıncaları vardır. Birincisi, buluta girmeden önce güneş ışınlarına maruz kaldığından Ag I aktivitesini önemli ölçüde kaybeder. İkincisi, ajanın dolu büyümesinin meydana geldiği noktadan buluta gireceği kesin değildir. Üçüncüsü, bu denemelerin her birinde ajan tüketimi 15 kg'dan daha fazladır.

Bazı yerlerde ajanlar buluta pilot balonlarla gönderilmiştir. Ag I ve Pb I₂ ile karıştırılmış fosfor, madeni bir kutuya yerleştirilir ve pilot balona takılarak buluta gönderilir. Bu karışım bir fitil ile önceden saptanan yükseklikte ateşlenir. Pilot balonu bulutun belirli bir yerine göndermek zordur. Balonların çoğu bulutun yanından geçer ve bulutun yanında tutuşur. Fakat bu duman da bulutta suni kristalizasyona sebep olur. Ajanların bu yöntemle bulut içine atılmasından vazgeçilmiştir. Daha sonra, uçakların altına monte edilmiş özel roket fırlatıcıları ile bulutların içine, içinde ajan bulunan kartuşların atılması gibi daha birçok metot denenmiştir. ABD'deki Hipler deneyleri en önemli çalışmalardır. Kanada'da Alberta'da yapılan deneylerde Ag I ve CO₂ kullanılarak sonuçlar kıyaslanmıştır [6].

Bulutlar yerdeki jeneratörlerden veya bulutun dışında uçan uçaklara monte edilmiş jeneratörler vasıtasıyla tohumlandığı zaman bulutun içine ne kadar çekirdeğin girdiğini kesin olarak bilmek imkansızdır. Bu yöntemlerin hiçbirisi ajanın dolu oluşum bölgesine hızla ve hassasiyetle konulması ve dağıtılması koşulunu yerine getirememişlerdir. Bu tekniklerin yanısıra, dolu-savar roketleri ve uçaksavar topları da kullanılmıştır. Roketle ve uçaksavar toplarıyla bulutların içine buz çekirdeği atma işlemi, çekirdeklerin gerçekten bulut içine uygun sıcaklık seviyesinde ulaşıp ulaşamayacağı belirsizliğini bir ölçüde azaltır.

Çin'de dolu bulutlarını değiştirmek için kullanılan "Ulusal Toplar" yöntemi uzun yıllar uygulanmıştır [7]. Ulusal top, 2 m boyunda demir bir tüptür. Dolu yağdırması görsel kriterlere göre saptanmış bir bulut (renk, kalınlık, v.s.) korunan bölgeye yaklaştığında toplar ateşlenir. Ulusal toplarla elde edilen sonuçların tam bir kontrolü yapılmamıştır ve bu nedenle bu yöntemin kesin bir faydası olduğunu söylemek zordur. Bu toplarla elde edilen ses çok zayıftır ve dolu yağışıyla birlikte gök gürültüsünün meydana gelmesi göz önüne alındığında, bu topların dolu

büyümesi üzerinde etkili olabileceğini düşünmek ve bu yöntem için bilimsel bir temel bulmak zordur. Dolu kontrolü için Çin'de ayrıca 1-2 km'ye kadar çıkan roketler, uçaklardan Ag I püskürtülmesi ve pilot balonlarla yükseltile ve içlerinde kırmızı fosfor ve gümüş iyodür bulunan kartuşlar da kullanılmıştır.

Avrupa'daki dolu kontrol yöntemlerinin gelişmesi asrın başlarında Fransa'da başlamış ve ilk olarak dolu bulutlarına havan topu ile ateş edilmiştir. Daha sonra yöntem dolu-savar roketlerine dönüşmüştür. Fransa'da bulutlara elektrik yüklü parçacıkların atılması metodu da kullanılmış fakat önemli bir sonuç alınamamıştır. Fransa'da dolu zararlarını önlemek için yapılan çalışmalar iki programda yoğunlaşmıştır. Dessens, ve Boutin ve arkadaşları tohumlamanın etkilerini, tohumlama yapılan yıllardaki ürün zararını tohumlama yapılmayan yıllarda dolu tarafından meydana getirilen ürün zararı ile karşılaştırmışlardır. Dessens yerden Ag I jeneratörleri ile yapılan tohumlamada dolu zararında %15 azalma olduğunu belirtmiştir. Fransa'da yapılan ikinci dolu modifikasyonu programında bulutlara roketlerle Ag I çekirdekleri atılmıştır. Testler Dessens'in kullandığı aynı bölgede 9000 km²'lik bir alanda yapılmıştır. Tütün ekili bir bölgede dolu frekansı ve dolu zararı, tohumlama yapılmayan periyottaki değerlerle karşılaştırılmış ve buz çekirdeği ile tohumlamanın dolu frekansını ve zararını azalttığı bulunmuştur [1].

Dolu bulutlarına havan topu ve roketlerle ateş etme yöntemi Fransa'dan İtalya'ya geçmiş ve savaştan sonra "İtalrazzi" adı verilen dolu savar roketleri geniş ölçüde kullanılmıştır [7]. Bu roketler sadece İtalya'da değil Bulgaristan, Yugoslavya ve bazı Afrika ülkelerinde de kullanılmıştır. Önceleri roketler sadece patlama dalgası yaratacak şekilde planlanıp aktif maddeler içermezken, sonraları bu roketlere 16 g Ag I konulmuştur. Ayrıca, yağışı tahrik etmek için roketler tuz ile (200 g) yüklenmiştir. Bu roketlerle bulut kontrolünde ateşlemenin başlangıcı çok önemlidir. Fırlatma dolular yere düşmeye başlarken yapılır.

Bulut tohumlamasının Pb I içeren roketlerle yapıldığı Bulgaristan'daki dolu önleme çalışmaları ile bulut tohumlamasının yerden Ag I jeneratörleri ile yapıldığı Fransa'daki dolu önleme çalışmalarının etkinlikleri arasındaki karşılaştırmada, tohumlama teknikleri, karşılaştırılan alanların büyüklükleri ve tohumlama

periyotlarının uzunluklarının farklı olmasına rağmen her iki ülkedeki dolu önleme aktivitelerinin etkinliklerinin büyüklük ve önem olarak yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir [8].

İsviçre'de yapılan dolu önleme deneylerinde tohumlanmış ve tohumlanmamış günlerden alınan istatistiksel sonuçlardan Schmid tohumlamanın dolulu günlerin sayısında bir artıma sebep olduğuna dair küçük de olsa bir şüphe olduğunu belirtmiştir. Bu durum, yerdeki 24 adet gümüş iyodür jeneratörü şebekesinin, dolu oluşturan bulutlardaki buz-çekirdeği konsantrasyonunda yeterli bir değişime sebep olmamasıyla açıklanabilir [1].

Sovyetler Birliği'nde uygulanan iki temel dolu modifikasyonu çalışması, bulut içine tohumlama ajanlarının atılması yönünden birbirinden farklıdır. Bunlardan birinde toplar ve tüfekler kullanılmıştır. Diğerinde ise roketler kullanılmıştır. Toplar daha uzun bir menzile ve yüksekliğe sahiptirler ve 100-200 gr tohumlama ajanı (Ag I veya Pb I₂) taşırlar. Roketler daha fazla tohumlama ajanı taşıyabilirler (3,2 kg) ve bu ajanları bulut içinde yakarak dağıtırlar. Roketler buz çekirdeklerini bulut içinde balistik bir eğri boyunca veya roket paraşütü alçalırken düşey olarak yayarlar.

Sovyetler Birliği'ndeki dolu kontrol programı dört ana projeye ayrılmıştır. Bunlardan en büyük proje, Kuzey Kafkasya, Azerbaycan, Ermenistan ve Orta Asya'nın çeşitli bölgelerinde beş dolu önleme projesinden meydana gelmiştir. Bu projelerde roketler ve toplar kullanılmıştır. Sovyetler Birliği'ndeki bütün operasyonlar benzer şekilde düzenlenmiştir [1].

- Dolu öngörüsü
- Radar gözlemleri
- Bulut içinde dolu toplanma bölgesinin belirlenmesi
- Sıcaklıkları -5 ve -10°C arasındaki seviyelerde bulut içine tohumlama ajanları atmak.

Bu projelerdeki tohumlama operasyonlarının bazıları gelişmesi muhtemel dolunun gelişmesini önlemeye yöneliktir. Diğerlerinde ise dolu oluşmaya başladıktan sonra oluşmasını durdurmaya yöneliktir.

A.B.D.'de yapılan dolu kontrol çalışmaları daha çok Montana ve Dakota'yı kapsamaktadır. Kuzey ve Güney

Dakota'da üç bölgede yapılan bulut tohumlama çalışmalarında, bulut tabanının yaklaşık 700 m altından uçan uçaklardan yükselici akımlar içine saatte 0,5 - 1,0 kg Ag I atılmıştır. Sonra dolu frekansı ve her bir dolu fırtınası için pasif dolu detektörleri vasıtasıyla "dolu-çarpma enerjisi" ölçülmüştür. Ürünlerde belirli bir hasar meydana getiren ve konvektif hücre veya hücreler grubu olarak tanımlanan her bir dolu fırtınası için "birim alandaki ortalama çarpma enerjisi" hesaplanmıştır. Yapılan gözlemlerde, tohumlanmış dolu fırtınalarının, tohumlanmamış fırtınalardan daha az şiddetli ve sayı olarak da daha az olduğu bulunmuştur [1].

Sonuç

Dolu zararlarını azaltmak için iki yaklaşım denenmektedir:

- Bulut modifikasyonu
- Erken uyarı.

Bilimsel bulut modifikasyonu deneylerinde, özellikle dolu önleme deneylerinde, tatminkar sonuçlar gözlenmemiştir. Dolu zararlarını önlemek amacıyla yapılan bulut modifikasyonu çalışmalarında alınan sonuçların anlamlılık derecesini saptamak büyük bir önem taşır. Bu amaçla, benzer koşullarda yapılan birçok tohumlama sonucunun istatistiksel analizi yapılarak anlamlılık derecelerinin saptanması gerekir. Aksi halde, elde edilen sonucun tohumlama nedeniyle mi, yoksa doğal nedenlerle mi meydana geldiğini saptamak olanaksızdır. Bu nedenle, son yıllarda dolu zararlarını azaltmak için tek gerçekçi yolun erken uyarı sistemleri olduğu ileri sürülmektedir [9].

Dolu öngörüsü için iki farklı temel yaklaşım vardır. Birincisi, gelişen bir bulut sisteminin dolu oluşturup oluşturmayacağına öngörüsünü yapmak, ikincisi dolu fırtınasının hareketinin öngörüsünü yapmak.

Dolu fırtınalarını takip etmek ve bu fırtınaların gelecekteki konumlarının öngörüsünü yapmak genellikle radar verileriyle mümkün olmaktadır. A.B.D.'de otomatik izlemelerde NEXRAD radarları kullanılmaktadır. Radar verileri kullanılarak yapılan öngörülerde önemli sınırlamalar vardır. Radar verilerine dayanılarak yapılan dolu öngörülerinde, maksimum 20 dakika civarında bir erken uyarı süresi vardır. Bunun nedeni, radarın gelişen

bir fırtına sistemini sadece dolular oluştuğundan sonra seçebilmesidir. Böylece radarla yapılan gözlemler, doludan korunabilmek için yeterli zaman sağlamaz. Bu sebepten radar gözlemleri faydalı bir veri kaynağı değildir. Oysa, gelişen bir bulut sisteminin dolu oluşturup oluşturmayacağına karar vermek daha uzun bir korunma süresi sağlar. Bu nedenle bulut içinde dolu tanelerinin yerine, bulut tanecikleri ve su buharı birikme bölgeleri takip edilmelidir. Bu amaç için uydulardan alınan veriler en ideal veri kaynağıdır [9]. Görünür uydu verisi (VIS), bulutun optik kalınlığını hesaplamaya olanak sağlar. Infrared uydu verisi (IR) yardımıyla atmosferin çeşitli seviyelerindeki sıcaklıkları ve böylece bulut tepelerinin yüksekliklerini bulmak mümkündür.

Belirtilen bu avantajları nedeniyle günümüzde dolu öngörülerinde büyük ölçüde uydu verileri kullanılmaktadır.

Kaynaklar

- Weather and Climate Modification, 1973: Committee on Atmospheric Sciences, National Research Council, National Academy of Science, Washington, D. C.*
- Mason, B. J., 1971: The physics of clouds, Clarendon Press Oxford.*
- Moran, J. M. and M. D. Morgan, 1994: Meteorology, McMillan College Pubs. Comp., New York.*
- Donn, W. L., 1975: Meteorology, McGraw-Hill Book Company, New York.*
- Sulakvelidze, G.K., 1969: Rainstorm and Hail, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.*
- English, M. and J. D. Maurwitz, 1981: A comparison of Ag I and CO2 seeding effects in Alberta Cumulus clouds, J. Appl. Meteor. Vol. 20, 489-495.*
- Sulakvelidze, G.K., N.S. Bibilashvili and V.F. Lapcheva, 1967: Formation of precipitation and modification of hail processes, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.*
- Simeonov, P. 1992: Comparative study of the hail suppression efficiency in Bulgaria and in France, Atmospheric Research, Vol. 28 p.227-235.*
- Bauer-Messmer, B. and A. Waldvogel, 1997: Satellite data based detection and prediction of hail, Atmospheric Research, Vol. 43, p.217-231.*

İNSAN VE EKONOMİK KAYIPLARI ÖNLEMEDE METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

Doç. Dr. Mikdat KADIOĞLU

*TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası
Marmara Bölge Temsilcisi*

Türkiye, meteorolojik karakterli doğal afetler ile gelişmiş meteoroloji bilimini ve teknolojilerini kullanarak mücadele etme konusunda şimdiye kadar uyumuştur ve uyumaya da devam etmektedir. Gerçek anlamda tanınıp, bilinmeyen meteoroloji bilimini ve meteoroloji mühendislerini hiç bir sosyo-ekonomik etkinliğin planlanması ve uygulanmasında gerektiği şekilde kullanamayan, henüz bilgi toplumu olamamış bir ülkede yaşıyoruz.

Böylece Türkiye'de meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi erken uyarı ile mücadele edilememesinden ve planlamalarda meteoroloji biliminden gerektiği şekilde yararlanılamamasından dolayı her yıl fırtınalar, seller, çığlar, kuvvetli rüzgarlar ve yıldırım gibi meteorolojik olaylar, gelişmiş ülkelere nazaran çok daha fazla insan ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Halbuki Türkiye gibi gelişmekte ve kaynakları kıt olan bir ülkede meteoroloji biliminin,

toplum sağlığına ve ülke kalkınmasına yapabileceği katkılara daha çok ihtiyaç vardır.

Ani sel gibi meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı alınacak önlemler şüphesiz sınırlıdır. ABD ve Japonya gibi bu alanda teknolojileri gelişmiş ve imkanları geniş ülkelerde bile, fırtınalar gene de önemli hasarlara neden olmaktadır, fakat can kayıpları minimuma indirgenmektedir. Ancak Türkiye'de görüntülü ve yazılı basın tarafından sadece bu ülkelerde fırtına sırasında ve sonrasında ortaya çıkan yıkıma ait manzaralar gösterilir ve fırtınaların öncesi halka yapılan fırtına uyarısı ve hazırlıklardan pek haberdar olamayız. Şayet bu uyarı ve hazırlıklar yapılmıyorsa, okyanuslara açık ve Türkiye'den çok daha şiddetli fırtınalarla karşı karşıya kalan bu ülkelerde can kaybı daha da büyük olurdu. Gelişmiş ülkelerde fırtına öncesi halka yapılan fırtına uyarısı ve hazırlıklar, Türkiye'de kısmen yapılabilirse ülkemizde can ve mal kayıpları kesinlikle daha az olacaktır.

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi, afetlerden sonra yaraları sarmaya çalışmaktan ve ekstrem meteorolojik olayları hayali şeyler ile açıklayıp oyalanmaktan çok, her felaketten sonra alınan dersler ile onları mümkün olduğunca önlemeyle, can ve mal kayıplarını en aza indirmeye yönelik önceden yapılacak hazırlıklar ve çalışmalar ile doğru orantılıdır. Dünyanın bir çok gelişmiş ülkesinde olduğu gibi hava tahmini ve fırtına uyarıları, meteoroloji mühendislerinin topluma sağladığı en önemli ve hayati hizmetlerinden biridir. Türkiye'de bir selin neden olduğu ekonomik kaybın gelişmiş ülkelerdeki gibi yeterli sayıda meteoroloji mühendisinin istihdamı, bilimsel çalışmaların yapılması ve gerekli tedbirlerin alınması için yapılacak olan harcamalardan çok ama çok daha fazla

olduğu unutulmamalıdır.

Türkiye'de günlük yaşamı sık sık felce uğratan, can ve mal kayıplarına neden olan, şiddetli kar, yağmur ve bunların sonucu ortaya çıkan çığ, yıldırım, orman yangınları, trafik kazaları, hava kirliliği, asit yağmurları, sel ve taşkınlar gibi meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı meteoroloji mühendislerinin neler yapabildiği gelişmiş ülkelerdeki uygulamalardan görülebilir. Aşağıda bunların bir kaçından ve çok kısa bir şekilde bahsedilecektir.

Orman Yangınları

Orman yangınlarının çoğuna insanlar bilerek veya bilmeyerek neden olur, hava şartları ise yangınlarda önemli bir çevre faktörüdür. Her yıl yıldırımların sebep olduğu yangınlar da, Türkiye'de yaklaşık olarak 140 hektarlık ormanı tahrip eder. Dünyada ise bir günde ormanlara düşen yıldırım sayısı 500,000 olarak hesaplanmaktadır.

Türkiye'de orman yangınlarının büyük bir bölümüne her ne kadar insanlar neden oluyorsa da, bu yangınların gelişerek yayılmasını da yine büyük ölçüde meteorolojik şartlar kontrol etmektedir. Yangın esnasında, rüzgarın yönü ve şiddetindeki anlık değişimlerin meteorologlar tarafından tespit edilmesi, yangın söndürme çalışmalarını yönlendirmede hayati önem taşır. Orman yangınları ile mücadelede yangına erken müdahale de çok önemlidir. Bunun için güvenilir ve uzun vadeli özel hava tahminleri ile değişik bölgelerdeki yangın söndürme ekiplerinin yangın olasılığının yüksek olduğu yerlere önceden gönderilebilmesi gerekir.

Bütün bunlar için gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de bir yıldırım dedektörleri ağının kurulması ve itfaiyeciler, ormancılar ile meteoroloji mühendislerinin daha yakın bir işbirliğine girmesi gereklidir. Yine gelişmiş ülkelerin orman teşkilatlarında olduğu gibi Orman Genel Müdür-lüğü'müzde de özel bir meteoroloji biriminin kurulması şarttır.

Yüksek Sıcaklık+Nem=Bunaltı

Sıcak-nemli hava, sıcak-kuru havadan daha fazla rahatsız edicidir, çünkü havadaki yüksek nem vücuttan

terin buharlaşmasını yavaşlatır. Terin buharlaşması canlılar için doğal bir soğuma mekanizmasıdır. Sıcak, nemli hava sadece bunaltıcı değil aynı zamanda insan sağlığı için tehlikelidir. Isı ile nemin bileşimi ölümlere de sebep olabilir. Özellikle açık havada yapılan işlerde çalışanlar, yaşlı ve hastaların sağlığını korumak için bunaltıcı gün ve saatlerin önceden belirlenmesi ve halka duyurulması gerekir.

Hava Kirliliği

Hava kirliliği, atık gaz konsantrasyonlarının bazı atmosferik şartlar altında organik ve inorganik maddelere zarar verecek miktarda havada artması olayıdır. Bu tanımdan hava kirliliğinin, iki temel bileşeni olduğu görülür; 1) kirleticiler, 2) uygun meteorolojik şartlar. Hava kirliliği, birinci derecede atmosfere salınan kirleticilerin miktarına bağlıdır. Günlük hayatta atmosfere salınan kirleticilerin miktarı değişmediği halde hava kirliliğinde günden güne değişiklikler olduğunu gözleriz. Gerçekte, hava kirliliği problemlerinin tehlikeli boyutlara ulaştığı günlerde, genellikle atmosfere salınan kirleticilerin sayısındaki bir artış değil, bazı hava şartlarının değişmesi en büyük rolü oynar.

Bununla beraber, ülkemizde hava kirliliği ile ilgili olarak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, enerji üretim tesislerinden, sanayi tesislerinin bacalarından ve taşıt egzostlarından çıkan duman ve gazların nitelik ve nicelikleri üzerinedir. Bunların değişen meteorolojik şartlara göre nasıl yayılacağını önceden belirlemek ve genel anlamda hava kirliliğinin önceden tahmin etmek üzerinde yeterince durulmamıştır.

Böylece günümüzde tehlikeli hava kirliliği problemi yaşandığı zamanlarda, yerel yönetimlerimiz kademeli olarak tedbirlerini hep bir kaç gün sonra gecikmeli olarak uygulamaya koyabilmektedir ve yine bir kaç gün sonra normale dönelebilmektedir. Halbuki değişik hava şartlarında, örneğin baca gazları ve duman gibi, kirleticilerin atmosferde nasıl yayılacağını ve hava kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşip ulaşamayacağını bir kaç gün önceden meteorolojik analizler ile tesbit etmek ve kirlilik tehlikeli bir seviyeye ulaşmadan önlem almak mümkündür.

Kimyasal ve Nükleer Serpinti

Sanayi tesislerinde ve nükleer santrallarda olası bir kazanın atmosfere bırakacağı kimyasal ve radyoaktif kirleticiler ile yüklenen hava parselleri de rüzgarlar vasıtasıyla çok uzaklara taşınabilir. Her ne kadar Türkiye'de henüz nükleer bir santral mevcut değilse de, eski doğu bloğunun kullandığı eski teknolojiye sahip ülkelerin yer aldığı büyük kirletici kaynağı olan orta ve doğu Avrupa'nın rüzgar-altı kısmında bulunan Türkiye için bu tehlike her zaman mevcuttur. Bu şekilde Chernobil kazasında nükleer kirleticiler, Doğu Avrupa'dan atmosfere salınan endüstriyel duman ve tozlar ile birlikte, kazadan bir kaç gün sonra Türkiye'ye ulaşmıştı.

Sanayi tesislerinde ve nükleer santrallarda bir kaza anında atmosfere karışacak kimyasal ya da nükleer kirleticilerin kısa ve uzun mesafedeki taşınımını hesaplamak ve belirlemek için hava parsellerinin yörüngelerini hemen saptamak gerekir. Bunun için ileri ülkelerde, bir çok sanayi tesisi ve nükleer santrallar, profesyonel meteorologlar istihdam ederek dispersiyon modelleri ile kirleticilerin olası hareketleri sürekli olarak kontrol edilmektedir.

Asit Yağışları

Asit yağışları da, fosil yakıtların kullanılmasının sonucunda oluşan bir kirlilik şeklidir. Havayı kirletici unsurlar kükürt oksitler, duman, havada asılı duran partikül maddeler, hidrojen sülfür vs.'dir. Bunlar asit yağmurları şeklinde dünyaya dönebilir ve bu olay oluştuğunda bitkilere, ormanlara, hayvanlara, toprağa, suya, binalara ve insanlara zarar verir. Özellikle uzun bacaları ile atmosfere bol miktarda kükürdioksit salan termik santrallar ve diğer sanayi tesisleri çok ciddi asit yağışı problemine ve çevre kirliliğine neden olabilmektedir.

Bu nedenle, sanayi tesisleri ve gökdelenler için yer seçiminde meteorolojik şartlar mutlaka göz önüne alınmalıdır. Örneğin, ABD'de şehirlerin batısına ağır kokular salan çiftliklerin dahi kurulmasına izin verilmezken İstanbul, İkitelli gibi şehrin kısmen içinde kısmen de batısında yer alan bir organize sanayi bölgesinden

havaya salınabilecek kirleticiler, genellikle batılı olan yukarı seviyelerdeki rüzgarlar ile yine şehrin içine taşınacaktır. Benzer şekilde gökdelenler hava sirkülasyonlarını keserek rüzgarın gittiği yöndeki yerlerde kirleticilerin dağılmasını önlerler. Bu da yerel hava kirliliği problemine neden olabilirler.

Asit yağışları ve hava kirliliği problemi bu kadar önemliyken, ülkemizde termik santraller ve benzeri sanayi tesisleri için hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirmelerinin (ÇED) meteorolojik yönleri hala gerektiği şekilde ve uzmanlarına yaptırılmamaktadır. Halbuki rüzgarlar ile uzun mesafelere taşınan kirleticilerin hangi yerleşim bölgelerini ne zaman etkileyeceği de meteorolojik analizler ile ÇED raporlarında belirtilmelidir. Bu nedenle ÇED raporlarında eksik olan asit yağışları, kirlilik ve radyasyon tehlikesine karşın gerekli olan analizler mutlaka ve meteoroloji mühendislerince yapılmalıdır.

Çığlar

İrili ufaklı kar kütlelerinin hızlıca kayma veya düşmesi ile ortaya çıkan kar çığlarının binlercesi kar yağışları ile birlikte dağlık bölgelerde her kış görülür ve bazıları bu bölgelerdeki yerleşim birimleri, haberleşme, ulaşım, enerji nakil hatları, sanayi, askeri ve diğer benzeri tesisler için büyük tehlikeler oluşturduğu gibi can kayıplarına da sebep olurlar. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizde bir çok yerleşim birimi karla kaplı, orman örtüsünün yok edildiği sarp yamaçlarda bulunmakta ve gelişmektedir. Bu nedenle, bu yerleşim birimlerinin çoğu çığ tehdidi altındadır. Bugünün teknolojisi ile kar tabakalarını gözleyerek çığın oluşacağını önceden tesbit edilmesi kolay değildir. Bununla birlikte, atmosferik şartların değişmesiyle kar kütlelerinin kayma ihtimali veya artan sabitliği derecesi arasında kolayca bir ilişki kurulabilir.

Kar kaymaları sonucu ortaya çıkan çığ tehlikelerinin tahmini, mevcut olan ve gelecekte oluşacak kar tabakalarının kararsız olup olmayacakları olasılığı üzerine kurulur. Böylece çığ öngörülerinde, kar tabakalarının gelecekteki durukmu, beklenen yağış ve rüzgarla mevcut kar örtüsünün üzerinde oluşacak ilave yük, yağış ve değişen hava sıcaklığı ve güneşlenme ile birlikte kar

tabakasında oluşacak başkalaşım sonucu kar tabakasının değişen dayanıklılığı hakkında fikir yürütülmesi gerekir. Bu nedenle, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de kar örtüsünün yapısal özelliklerinin ve atmosferik şartların dikkatli bir şekilde analiz edilip, gerektiğinde günlük "Çığ Tahmin Bültenleri"nin yayınlanması gerekir.

Göl Seviye Yükselmeleri

Dünyadaki göl yükselmeleri üzerine yapılan bilimsel yayınlar incelendiğinde problemin yağış, akış ve buharlaşma ile yakından ilgili olduğu görülür. Örneğin, 1958-63 arasının ilk üç yılı boyunca su seviyesi sürekli yükselerek 1 m artan ve bu sürenin son iki senesinde de ani düşüş gösteren Erie gölündeki değişime, havzadaki net su girdisinin neden olduğu belirlenmiştir. Yine su seviye değişimi ile ilgili olarak, Erie gölünün 1940-79 arası için aylık ve yıllık su denge modeli oluşturularak göldeki su seviye değişimini incelemişler ve göl seviyesindeki dalgalanmaların havzadaki net su girişi ve çıkışı ile ilgili olduğunu gösterilmiştir. ABD'nin kuzeyinde yer alan Büyük Göller'de 2 m'lik su seviye değişimlerinin de bölgedeki yağış rejimindeki farklılaşma ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir. Hatta bu göllerin, çevresindeki iklim elemanlarına ait değişime, 2 ay ile 3 yıl sonra tepki gösterdiği de tespit edilmiştir. Endonezya'daki Toba gölünde 1984-87 arasında su seviyesindeki 2.5 m'lik düşüşün sebebi, su denge metodu ile araştırılmış ve buna göldeki net su girdisindeki azalışın neden olduğu belirlenmiştir. İsrail'de ise, Kinret gölündeki su seviye değişimi ile havzadaki meteorolojik elemanlar ve hidrolojik bileşenler arasındaki ilişki o kadar iyi belirlenmiş ki artık gölün günlük su seviye tahminleri su denge metodu ile her gün yapılabilmektedir.

İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde Van gölündeki son seviye yükselmesi üzerine yapılan incelemeler bu olayın meteorolojik nedenlere bağlı olduğunu göstermektedir. Eski bilimsel çalışmalar da Van gölünün su seviyesinde önceden de görülen yükselmeler bölgenin iklimindeki değişikliklere bağlanmıştır ve bu durum Van'da yapılan iki bilimsel sempozyumda ve yurtdışında yayınlanan çalışmalarda teyid edilmiştir.

Geçmişte ve bugün Van gölünde görülen su seviyesi yükselmesi problemi gelecekte de büyük ihtimalle tekrarlanacaktır. Bugün bu problemin nedenini ve çözümünü belirlemede büyük veri problemleri ile karşılaşmaktadır. Bunun için, hidro-meteorolojik gözlem şebekelerinin geliştirilerek havzadaki kar yükseklikleri, yağış, akış, buharlaşma gözlemlerinin sayısı ve kalitesinin artırılması yanında, dağların yüksek kısımlarında ve Van gölü üzerinde de hidro-meteorolojik ölçümlerin yapılabilmesi gerekir.

Yıldırım

Tek bir yıldırım 100,000 amper kadar büyüklükte elektrik akımı oluşturabilir ve yıldırım çarptığında hayvanlar ve insanlar elektrikle yüklenebilirler. Birçok kurban tarlada çalışırken, ata binerken, dışarıda oynarken, spor veya çobanlık yaparken, dağlarda gezerken ya da küçük teknelerle denize açılmışken dolaylı veya doğrudan yıldırım tarafından çarpılmışlardır. Diğer meteorolojik karakterli doğal afetlerde olduğu gibi, yıldırımlardan dolayı olan can ve mal kayıplarını azaltabilmemiz için insanlarımızın bilgilendirilmesi gerekir.

İstanbul ve Ankara gibi büyük şehirlerde doğal gaz kullanımına geçilmesi ile beraber yeni bir tehlike de ortaya çıkmıştır. Doğal gaz ile birlikte eski bacaların içine korozyona dayanıklı bükülebilir çelik borular koyma uygulamada giderek yaygınlaşmaktadır. Bacalar genellikle binaların en yüksek çıkıntıları olduğundan, yıldırımlara oldukça sık maruz kalırlar. Doğal gaz kullanan binaların bacalarındaki çelik borular, bir yıldırım çarpması durumunda, büyük bir elektrik akımını gaz tesisatına kadar taşıyabilecektir.

Sel ve Fırtına

Dünya üzerinde yağmurlar yağmaya başladığından beri nehir ve dereler taşarak etraflarında, sellere neden olmaktadır. Seller, çöller dahil, dünyanın her tarafında sık sık görülür. Bu nedenle gelişmiş ülkelerde, medyada sırayla ve anında yapılan "Sel Gözetleme, Sel Uyarı ve Sel Alarmlarına" halk her zaman kulak kabartır.

Sel nedeniyle meydana gelen ölümlerin çoğunu, gelişmiş

ülkelerde otomobillerinin içinde sürüklenen insanlar; Türkiye'de ise sel yataklarına yerleşmiş ve sel için gerektiği gibi uyarılmayan insanlar oluşturmaktadır. Derelerin su seviyesi şiddetli yağışların başlamasından bir saat sonra veya daha kısa bir süre içinde beklenenden çok daha hızlı bir şekilde yükselebilir (ani sel). Özellikle ani sellerde, dere ve nehirlerin aşağı kısımlarındaki halkın uyarılması ve bu bölgelerin boşaltılması için en fazla bir saatlik bir süre vardır. Bu yüzden bu bölgelere yerleşmiş insanların, muhtemel bir sel tehlikesi karşısında bölgeyi en geç bir saat içinde boşaltabilecek şekilde hazırlanmış olmaları gerekir.

Aşırı yağışlara neden olabilecek hava sistemlerinin geliştiği ve bundan dolayı sel ihtimalinin bulunduğu yerler Sel Gözetimine alınır. Sel Gözetimindeki yerlerde bulunan nehir kıyılarında, nehirlerin su seviyesini gözleyen gözcüler veya nehirlerin su seviyesini otomatik bir şekilde ölçen aletler selin başlangıcını anında haber verir. Sel başlangıcı tespit edilen nehrin yatağı çevresinde, sivil savunma sirenleri halka Sel uyarısında bulunur.

Barajlar ve tam olarak kontrol edilemeyen büyük nehirlerde görülen (ani olmayan) sellerin tahmini ise günler öncesinden mümkündür. ABD Ulusal Meteoroloji Teşkilatı nehir ve göl su seviyelerini de rutin bir şekilde tahmin etmektedir. Seller, her zaman yağmur yağın yerlerde görülmez. Tüm gün boyunca günlük-güneşlik olan bir yer, kilometrelerce öteden gelen sel suları tarafından tahrip edilebilir. Bu nedenle meteorolojik ihbarlara günlük-güneşlik günlerde de kulak kabartılmalıdır.

Dünyada olduğu gibi tüm meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı erken uyarı sistemleri kurmak ve işletmek Türkiye'de de tek başına Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün görevi olmalıdır. Bunun için meteoroloji teşkilatımız gerekli eleman ve teknoloji ile donatılmalı ve bu işi yapabilecek şekilde bir an önce reorganize olmalıdır.

Tornado ve Su Hortumu

Tornado, dünyanın her yerinde meydana gelen insanın canı ve malı için önemli tehlikeler oluşturan atmosfer olaylarından biridir. ABD'de yılda ortalama 700 tornado

oluşmakta ve 100 kişi ölmektedir. Biraz da bu yüzden, tornadolar sadece Amerika'ya mahsus bir atmosfer olayıymış gibi yanlış bir kanı da yerleşmiştir. Tornadolar, küçük, güçlü alçak basınç alanlarında hızlı bir şekilde kendi etrafında dönen rüzgarlardır. "Twisters" ve "siklonlar" olarak da adlandırılırlar. Su hortumu, büyük su kütlelerinin üzerinde dönen hava kolonlarıdır. Su hortumları, daha çok sıcak sığ su yüzeyleri üzerinde oluşur. Güzel havalarda oluşan su hortumları zayıftır.

Tornadolar, Akdeniz ülkelerinde sonbahar aylarında yoğunlaşırken, Avrupa'nın diğer kısımlarında ise yaz aylarında yoğunlaşmaktadır. Yunanistan ve Girit'te Ocak, Şubat, Ağustos ayları ile birlikte Sonbahar ayları ve Ocak'ta tornado gözlenmiştir. En çok tornadonun rapor edildiği ay ise Ekim olmaktadır. İklimsel ve topoğrafik benzerliklerinden dolayı, Türkiye kıyılarının Akdeniz ülkelerine, iç kısımlarının ise az olsa da Avrupa'nın diğer kısımlarına benzer bir tornado dağılıma sahip olmasını bekleyebiliriz. Diğer bir deyişle Türkiye'nin tornado gerçeğinde soyutlanması mümkün olmadığı görülür. Evet adı yoksa veya değiştirilmiş olsa da ve rapor edilmese de Türkiye'de tornadolar oluşabilir ve oluşmaktadır. Sonuç olarak tornadolar Türkiye'de, ABD'ye kıyasla, sayı ve şiddet bakımından daha az ve zayıf olmakla beraber mevcuttur. Tornadoların ülkemizde gelecekte neden olacakları insan kaybı ve maddi hasarın, artan nüfus ve şehirleşme ile beraber büyüyeceği de aşıkardır.

Ulaştırma ve Trafik Kazaları

Ulaşımında ekonomi, düzen, mal ve can emniyetinin sağlanabilmesi, modern karayolu, demiryolu, denizyolu ve havaalanlarının planlanma ve tasarımında ve bu yollardaki seyrüseferin her aşamasında meteorolojik şartların ve yapılan hava tahminlerinin gözönünde bulundurulması ile mümkündür. Otoyol ve büyük şehirlerdeki trafiği felce uğratan sağanaklar, aşırı kar yağışı, yoğun sis, buzlanma, kuvvetli rüzgarlar gibi meteorolojik karakterli doğal afetler ile etkili mücadele, ancak problemin boyutlarının kriz anından önce bilinmesi ve bunlara karşı hazırlıklı olunması ile mümkündür.

Hava limanlarında pistlerinin ve kara yollarının donması

hava ve kara ulaşımı için büyük tehlikeler oluşturur. Buzlanmayı önlemek için kullanılan tuz, büyük ekonomik maliyeti ile beraber korozyon nedeniyle köprüleri ve yolları tahrip etmekte, yol kenarındaki yeşil örtüyü de öldürmektedir. Bu nedenle tuz, mümkün olduğu kadar hesaplı ve doğru yerde kullanılmalıdır. Bu ise, yolların hangi kısmının ne zaman, ne kadar donacağına belirlenmesine yönelik termal haritalama gibi özel bir meteorolojik çalışma ve öngörü ile mümkündür. Bundan dolayı, 1987 yılında ABD Kongresi Stratejik Karayolu Araştırma Programı ile ulusal bir araştırma başlatmıştır. Bu proje ile yol hava tahminlerini iyileştirmek ve otomatik sistemler kullanarak yolların durumunu yakından takip etmek suretiyle tuz kullanımını en aza indirmek ve Sis Potansiyeli İndekslerinin hesaplanması ile uyarı işaretleri için uygun yerlerin tespiti amaçlanmaktadır.

Ülkemizde havalimanlarının meteorolojik etüd ve analizlerinin gerektiği gibi yapılmadığı gözlenmektedir.

Örnek vermek gerekirse, gerek yer seçimi ve gerekse pistin yönlendirilmesinde meteorolojik etüd ve analizlerinin gerektiği şekilde yaptırılmamasından dolayı Bodrum Havalimanı günün belli saatlerinde kullanılamamaktadır. Türkiye'de her ile yapılması planlanan havalimanı projelerinin meteorolojik etüd ve analizlerinin mutlaka uzman meteoroloji mühendislerince yapılması gerekir. Ayrıca, her türlü ulaşım problemini uzun vadeli olarak çözmek için geliştirilen, Metropolitan Alan Nazım ve Ulaşım Nazım Planlarında, ulaşım ve sair bakımlardan meteoroloji de uzmanlık seviyesinde gözönüne alınmalıdır.

Kaynaklar:

Kaynaklar çok uzun bir liste oluşturduğundan burada verilememiştir. Arzu edenler ayrıntılı bilgi ve kaynakları yazardan temin edebilir.



ÇOK BOYUTLU İKLİM VERİSİNİN ZAMAN DİZİLERİ ANALİZİNDE AYRILAN FAKTÖRLERLE MODEL PARAMETRİLERİNİN KESTİRİMİ VE ÖNGÖRÜSÜ

Yard. Doç. Dr. Reşat Kasap
İstatistik Bölümü Gazi Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Kasım KOÇAK
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi

Özet

Bu makalede, çok boyutlu sıcaklık verisi, Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illerine ait aylık ortalama sıcaklıkların oluşturduğu zaman dizilerinin modellenmesi ve öngörüsüne (forecasting) yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bunun için çok değişkenli zaman dizileri analizinde, parametreler arasında ilişki ve geniş parametre (overparametrization) problemine neden olan ortak faktör ile yönlendirmeye çözüm getiren ve dizilerin modellenmesi ve kestirimi için ortaya atılan, "ayrılan faktörler modeli (uncoupled-factors model)" kullanılmıştır. Adı geçen iklim verisi için 4-boyutlu ARMA (0,1) modeli uygun model olarak elde edildi. Ayrıca veriye, tek değişkenli modelleme de uygulandı. Öngörüler açısından modeller, bazı farklılıklarına rağmen, genel olarak benzer sonuçlar vermiş olduğu söylenebilir.

Giriş

Bu çalışmada, Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illerine ait ortalama aylık sıcaklıklarının oluşturduğu zaman dizilerinin modellenmesi yapılmıştır. Hava sıcaklığı verilerinin istatistiksel olarak incelenmesi süre gelen zaman içerisinde devam etmektedir. Genellikle bu tür veriler daha çok tek tek ele alınarak inceleme konusu olmaktadır. Bu verilerin bir zaman dizisi yapısı içermesinden dolayı birlikte modellenmesi ve analiz edilmesi bir takım zorlukları beraberinde getirmektedir. Bundan dolayıdır ki, çok değişkenli zaman dizileri analizinde karşılaşılan benzer problemlere yönelik, farklı yaklaşımlar geliştirilmektedir. Özellikle kestirilen parametreler arası yüksek ilişki problemi ve uygun modellerin geniş sayıda parametreler içermesi durumunda standart çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle çözümler aranmakta ve uygulamalar yapılmaktadır (Tiao ve Box, 1981). Parametreler arası yüksek ilişki ve modelde çok sayıda parametrenin olmasının bazı nedenleri vardır. Bunun nedenlerinden biri de çok değişkenli zaman dizilerinin ortak faktör içermeleridir. Verilerin modellenmesinde bu ve benzer problemleri en aza indirmek için, çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden faktör analizinin özelliklerini içeren ayrılan faktörler modeli (AFM) kullanılmaktadır (Pena ve Box, 1987). Zaman ortamında tek değişkenli zaman dizileri analizinde, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin kullanılması çalışmaları ise devam etmektedir (Kasap, 1996). Bunun yanında, zaman dizilerinde frekans ortamında, standart temel bileşenler analizinin uygulanması verilmiştir (Brillinger, 1981).

Bu makalede, çok değişkenli zaman dizileri, ortak faktör ile yönlendirildiğinde, gizli yapının belirlenmesinde ve modelleme sürecine yardımcı olan, ayrılan faktörler kullanılarak, iklim yapıları itibarıyla Türkiye'yi temsil

edebileceği kabul edilen dört ilimize ait aylık ortalama hava sıcaklıklarının oluşturduğu zaman dizileri modellenmiştir. Bunun için, Bölüm 2'de AFM tanıtılmış ve sürecin otokovaryans ve kısmi otokorelasyon matrisleri özetlenmiştir. Kanonik dönüşümün açıklaması ve dönüşümle yeniden oluşacak model, Bölüm 3'de verilmiştir. Bölüm 4'de ise Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illerine ait aylık ortalama sıcaklıkların zaman dizileri verisi için modelleme yapılmıştır.

Model ve Bazı Özellikleri

Bu çalışmada kullanılacak metod, giriş bölümünde de ifade edildiği gibi, çok boyutlu zaman dizilerinin içerdiği bazı modelleme problemlerine çözüm getirme amacıyla kullanılan alternatif bir yaklaşımdır. Modellemeyle çözüm getirilmeye çalışılan problemler, geniş parametre tahmini problemi parametreler arasındaki ilişki problemi olabilmektedir. Bu problemlere neden olan zaman dizileri yapısı ise dizilerin ortak faktörle yönlendirilmesi olabilmektedir. İşte bu durumdaki zaman dizilerinde modelleme amacıyla kullanılmak üzere AFM ortaya konmuştur. AFM temelde çok değişkenli istatistiksel analizlerin karakteristiğini taşımaktadır. Veriye uygun bir dönüşüm, yukarıda sözü edilen problemleri arındırarak modellenmesini sağlamaktadır. Burada adı geçen modelleme ve ondan sonra yapılacak önkestirim metodolojisi çok detaylı verilmeden, kısaca aşağıdaki gibi özetlenecektir. Bu konuyla daha detaylı teorik bilgi için kaynaklara başvurulabilir (Tiao ve Box, 1981; Pena ve Box, 1987; Kasap, 1992).

\underline{Y}_t : $K \times 1$ boyutlu zaman dizisi olmak üzere $\underline{y}_t = \underline{Y}_t - \underline{\mu}$ olsun. \underline{x}_t , r ($r \leq K$) boyutlu ve $\underline{\varepsilon}_t$, hatalar vektörü ise

$$\underline{y}_t = P\underline{x}_t + \underline{\varepsilon}_t \quad (1)$$

olduğunu varsayalım. Burada P : $K \times r$, r - dereceli (ranklı) parametreler matrisi ve $\underline{\varepsilon}_t$: $K \times 1$ boyutlu ve Σ_{ε_t} kovaryans matrisli beyaz gürültü vektörüdür. r - boyutlu \underline{x}_t vektörü için; $ARMA(p_x, q_x)$ modeli

$$\Phi_x(B)\underline{x}_t = \Theta_x(B)\underline{A}_t \quad (2)$$

olup, burada

$$\Phi_x(B) = I - \Phi_x(1)B - \Phi_x(2)B^2 - \dots - \Phi_x(p)B^p \text{ ve}$$

$$\Theta_x(B) = I - \Theta_x(1)B - \Theta_x(2)B^2 - \dots - \Theta_x(q)B^q$$

dır. Ayrıca $|\Phi_x(B)|=0$ ve $|\Theta_x(B)|=0$ polinomlarının kökleri birim çemberin dışındadır. Aynı zamanda \underline{A}_t ,

ortalaması $\underline{0}$ ve kovaryans matrisi $\Sigma_{\underline{A}_t}$ olan Gaussian beyaz gürültü vektörüdür.

Denklem (1) deki P matrisi, faktör ağırlıkları matrisi olarak adlandırılabilir. Eğer D : $r \times r$ gibi herhangi bir tekil olmayan matris ise model aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\underline{y}_t = P^* \underline{x}_t^* + \underline{\varepsilon}_t$$

Burada $P^* = PD^{-1}$, yeni katsayılar matrisi olup, ve

$\underline{x}_t^* = D\underline{x}_t$ ise faktörlerin doğrusal dönüşümüdür. (2) denklemini D ile çarpılırsa,

$$\Phi^*(B)\underline{x}_t^* = \Theta^*(B)\underline{A}_t^*$$

Olur. Böylece, faktörlerin yeni seti için model, r -boyutlu $ARMA(p_x, q_x)$ nın parametreleri,

$$\Phi^*(B) = D\Phi(B)D^{-1},$$

$$\Theta^*(B) = D\Theta_x(B)D^{-1} \text{ ve } \Sigma_{\underline{A}_t^*} = D\Sigma_{\underline{A}_t}D^T \text{ ile birlikte}$$

burada $\sum_{i=1}^K p_{ij}^2 = 1$ özelliği vardır.

\underline{y}_t ve \underline{x}_t süreçlerinin kovaryans matrisleri sırasıyla,

$$\Gamma_y(\ell) = E\left[\underline{y}_{t-\ell}\underline{y}_t^T\right] \text{ ve } \Gamma_x(\ell) \text{ olup,}$$

$$\Gamma_y(0) = P\Gamma_x(0)P^T + \Sigma_{\underline{\varepsilon}_t} \quad (3)$$

$$\Gamma_y(\ell) = P\Gamma_x(\ell)P^T, \ell \geq 1 \quad (4)$$

dir. Burada $\Gamma_y(\ell)$ 'nin rankı, r-ortak faktör sayısına eşittir. Eğer faktörler bütün gecikme (lag)'ler için bağımsız ve $\Sigma_{\underline{A}_t}$ diagonal ise, $\Gamma_y(\ell)$ matrisi diagonal olacak ve i) $\ell \geq 1$ için $\Gamma_y(\ell)$ simetrik yapıya sahip olur, ii) P'nin kolonları, $\Gamma_y(\ell)$ 'nin özdeğerlerine karşılık gelen özvektörleridir (Pena ve Box, 1987). Ayrıca buradan hareketle kısmi otokorelasyon matrisi (PACM)'de elde edilebilir (Tiao ve Box, 1981).

Şimdi, verideki problemleri yapıya çözüm getirebilmesi amacıyla yapılacak söz konusu dönüşüm aşağıda özetlenecektir. Öyleyse \underline{y}_t dizisinin dönüşümü, yapının basitleştirilmesi ve anlaşılmasını kolaylaştırması açısından önemlidir. Bunun için P^+, P 'nin herhangi bir genelleştirilmiş tersi ve \underline{y}_t için (1) eşitliği var ise, o zaman

$$\underline{x}_t = P^+ \underline{y}_t + P^+ \underline{\epsilon}_t$$

Olur. Bundan başka,

$$H = \begin{bmatrix} P^+ \\ M \end{bmatrix}$$

olmak üzere, \underline{y}_t 'ye aşağıdaki gibi doğrusal bir dönüşüm uygulandığı varsayılınsın;

$$\underline{z}_t = H\underline{y}_t = \begin{bmatrix} P^+ \underline{y}_t \\ M\underline{y}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{x}_t + P^+ \underline{\epsilon}_t \\ MP_{\underline{x}_t} + M\underline{\epsilon}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{z}_{1t} \\ \underline{z}_{2t} \end{bmatrix}$$

Burada M, $MP=0$ olacak şekilde seçilmiştir. Öyleyse, \underline{z}_t 'nin birinci bileşeni, \underline{x}_t vektörüne eşit olur. İkinci K-r bileşeni ise, sadece beyaz gürültü olacaktır. M matrisinin

bu koşulu sağlaması, PP^+ sıfır özdeğerlerine karşılık gelen K-r özvektörü M'nin satırlarına konulmasıyla elde edilir. Bu özvektörler \underline{v}_i ile gösterilsin,

$$PP^+ [\underline{v}_1, \underline{v}_2, \dots, \underline{v}_{K-r}] = 0 = PP^+ \underline{v}$$

dolayısıyla $\underline{v}^T P = 0$ ve böylece $M = \underline{v}^T$ istenilen özelliğe sahip olur. Burada \underline{z}_{1t} ve \underline{z}_{2t} yeni vektörleri için uygun özellik, bağımsız olmalarıdır, bu ise $\Sigma_{\underline{\epsilon}_t} = I$ ile mümkündür. Bu eşitliğin varsayımından hareketle $E[\underline{z}_t \underline{z}_t^T] = P^+ M^T$ yazılabilir. Eğer P'nin genelleştirilmiş tersi P^+ , Moore-Penrose genelleştirilmiş tersi (Graybill, 1983) olarak seçilirse, kovaryans matrisi 0 (sıfır) ve \underline{z}_{1t} ile \underline{z}_{2t} bileşenleri bağımsız olacaktır.

Şimdi K-boyutlu bir \underline{y}_t süreci için aşağıdaki dönüşüm yapılsın,

$$\underline{z}_t = H\underline{y}_t$$

Buradaki H matrisi, $HH^{-1} = H^{-1}H = I$ özelliğini sağlamak üzere

$$H = \begin{bmatrix} (P^T P)^{-1} P^T \\ \underline{v}^T \end{bmatrix}$$

olur. Öyleyse, $\Phi_i^* = H\Phi_y H^{-1}$ ve $\Theta_i^* = H\Theta_y H^{-1}$ dönüşümlerinden hareketle, genel dönüşüm modeli

$$\underline{z}_t = \Phi_1^* \underline{z}_{t-1} + \dots + \Phi_p^* \underline{z}_{t-p} - \Theta_1^* \underline{\epsilon}_{t-1} - \dots - \Theta_q^* \underline{\epsilon}_{t-q} + \underline{\epsilon}_t$$

şeklinde elde edilir. Burada tek değişkenli modelleme çalışmamızın gerçek amacı olmadığından bununla ilgili teknik bilgi verilmeyecektir. İlgilenenlere literatürdeki bu konuda var olan kaynakları öneririz (Box ve Jenkins, 1976; Kendall ve Ord, 1990). Ayrıca öngörünün yapılmasıyla ilgili geniş teorik yapı burada verilmeyecektir. Şunu söyleyebiliriz ki, bu çalışmada, zaman dizileri modeli için kestirim yöntemlerinden biri, en küçük ortalama hata kareler öngörüsü yöntemi kullanılacaktır. Fakat öngörüye dayanarak bir değerlendirme ve karşılaştırma yapmak için ise aşağıdaki yol izlenecektir. Eğer k, öngörü değeri

$\hat{Z}_n(k)$ ise öngörü hatası;

$$e_n(k) = Z_{n+1} - \hat{Z}_n(k) \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Öngörülerini karşılaştırmak için MSE (mean square error-ortalama hata kareler)

$$MSE = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M e_k^2 \right\} \quad (6)$$

dir. Bu formüle göre, iki ayrı dizi için MSE değerleri hesaplandıktan sonra bu değerlerin küçük olanının daha iyi öngörü verdiği göz önünde tutularak öngörüler arasında değerlendirme yapılabilir (Wei, 1990).

Analiz

Bu bölümde, Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illeri için aylık ortalama sıcaklıklara ait dizilerden oluşan 4-boyutlu verinin analizi sonuçları verilecektir. Bundan dolayı 1961-1990 yılları arasında 360 gözlem kullanılmıştır (DMİ, 1961-1990). Verinin sahip olduğu mevsimsel yapı nedeniyle, analiz için aşağıdaki form düşünülmüştür;

$$\underline{W}_t = (1 - B^{12}) \underline{y}_t \quad (7)$$

Denklem (7)'de \underline{y}_t 'ler aylık ortalama sıcaklıkları göstermektedir. Bu tür bir dönüşüm ile aylık veri dizilerindeki mevsimsellik giderilerek \underline{W}_t şeklinde durağan veri dizileri elde edilmiştir. Veriye böyle bir dönüşümün uygulanmasının nedeni, kullanılan AFM

yönteminin mevsimsel modellemeye uygun olmadığıdır. Bu durum belki bazı bilgi kaybına neden olabilecektir. Fakat söz konusu olan problemlere getireceği çözüm nedeniyle bu durum göz ardı edilebilecektir. Buna göre adı geçen veri için elde edilen analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Burada öncelikle her bir dizinin ayrı ayrı modellenmesiyle elde edilen analiz sonuçları verilecektir. Buna sırasıyla, Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul'un sıcaklık verileri için elde edilen modeller ve parametre kestirimleri ve 0.05 anlamlılık düzeyi ile karşılaştırıldıklarında uygun modellere karşılık gelen (ki-kare) χ^2 değerleri;

A) Ankara: MA(1)XSMA(12): -0.21 ve 0.89, (8.9)

B) Antalya: MA(1)XSMA(12): -0.19 ve 0.88, (22.1)

C) Erzurum: MA(1)XSMA(12): -0.15 ve 0.91, (20.1)

D) İstanbul: MA(1)XSMA(12): -0.14 ve 0.87, (11.2)

olur.

Bu sonuçlara göre, her bir dizi için elde edilen model ve kestirimi yapılan parametre değerleri göz önüne alındığında, dizileri benzer özelliğe sahip oldukları anlaşılmaktadır. Bu durum dizilerin hepsinin birlikte modellenmesinde kullanılacak AFM'nin önemini artırmaktadır. Buna göre elde edilen analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 1 (a,b,c)'de kovaryans matrislerinin özdeğerleri ve onlara karşılık gelen özvektörleri görülmektedir. Gecikme 5 için verilen bu sonuçlara bakıldığında, hemen bütün gecikmeler için özdeğerler bir azalma içerisindedirler.

Tablo 1: Kovaryans Matrisinin Özdeğerleri ve Özvektörleri
a) En büyük (1.) özdeğerler ve onlara karşılık gelen özvektörler

Gecikme	0	1	2	3	4	5
$\hat{\lambda}$	17.59	3.48	1.5	0.39	1.02	0.27
v_{11}	0.56	0.58	0.49	0.56	0.46	-0.59
v_{12}	0.28	0.38	0.28	0.62	0.05	-0.24
v_{13}	0.7	0.64	0.8	0.14	0.88	0.61
v_{14}	0.34	0.34	0.13	-0.42	0.08	0.47

b) İkinci (2.) büyük özdeğerler ve onlara karşılık gelen özvektörler

Gecikme	0	1	2	3	4	5
$\hat{\lambda}$	4.09	0.5	0.24	0.39	0.12	0.01
v_{21}	-0.42	0.27	0.16	0.56	-0.63	0.06
v_{22}	-0.29	0.76	0.9	0.62	-0.11	0.72
v_{23}	0.61	-0.48	-0.35	0.14	0.14	0.32
v_{24}	-0.52	0.36	-0.23	-0.42	0.76	-0.61

c) Diğer özdeğerler

Gecikme	0	1	2	3	4	5
3.	0.93	0.23	0.08	-0.02	-0.1	-0.02
4.	0.87	0.11	-0.08	-0.6	-0.6	-0.71

Özellikle birinci özdeğerin çok yüksek olması dikkat çekicidir. İkincisinin daha az önemli olduğu görülmektedir. Zaten meteorolojik verilerin incelenmesinde her zaman birinci özdeğer ikinciden daha büyük çıkar. Bunun nedeni, gecikme zamanı artıkça veriler arası bağımlılığın gittikçe azalmasındandır. Diğer taraftan, birinci gecikme'den sonra hızlı düşüşler olması, modelin derecesinin 4-boyutlu MA(1) olabileceğine işaretler. Ayrıca iki büyük özdeğer de, bu modelin iki faktör tarafından etkilendiği (yönlendirildiği)ni işaret etmektedir.

Şimdi kısmi otokorelasyon matrisinin sıfır olmayan iki özdeğerine karşılık gelen özvektörleri kullanarak elde edilen H dönüşüm matrisi, (6) eşitliğinden hareketle aşağıdaki gibi elde edilir,

$$H = \begin{bmatrix} -0.61 & 1.06 & -0.26 & 0.38 \\ -0.77 & 0.23 & -0.05 & 1.07 \\ 0.79 & 0.26 & -0.38 & 0.47 \\ -0.53 & 0.00 & 0.79 & -0.32 \end{bmatrix}$$

Buradan

$$\underline{z}_t = H \underline{w}_t$$

ile dönüştürülmüş verilere ulaşılır. Öyleyse bu çok değişkenli zaman dizilerinin yukarıda derecesi kabaca belirlenen ARMA(0,1) modeli

$$\underline{z}_t = (I - \Theta_1^* B) \underline{\varepsilon}_t$$

için parametre kestirimi yapılırsa,

$$\left. \begin{array}{l} z_{1t} = \varepsilon_{1t} \\ z_{2t} = \varepsilon_{2t} - 0.6\varepsilon_{2t-1} + 0.4\varepsilon_{4t-1} \\ z_{3t} = \varepsilon_{3t} - 0.2\varepsilon_{3t-1} \\ z_{4t} = \varepsilon_{4t} - 0.4\varepsilon_{2t-1} \end{array} \right\}$$

bulunur.

Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illerine ait aylık ortalama sıcaklık dizileri için yapılan analiz sonucunda;

Çok değişkenli zaman dizileri analizinde AFM ile yapılan modellenmeyle, 4-boyutlu ARMA(0,1) modeli bulunmuştur. Buna göre, yapılan parametre kestirimi ile yukarıda elde edilen modelin artıklarına ait çapraz-korelasyon matrislerinin **gecikme** 10 için elde edilen Li-McLeod (1981) istatistiği, 167.4 ile anlamlılık düzeyi 0.09 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değeri, serbestlik derecesi 144 ve anlamlılık 0.05 olan χ^2 ile karşılaştırıldığında bu modelin uygun bir model olduğu tesbit edilmiştir.

Bu modellere göre elde edilen öngörü MSE değerleri ise şöyle bulunmuştur. Öncelikle tek ve çok değişkenli modellerden hareketle Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illeri için hava sıcaklıklarının 1,4,7 ve 12 şer adımlık öngörülerini yapılmıştır. Bu öngörülerin MSE değerleri ise Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Her iki tablo dikkatle incelendiğinde eğilimlerin benzer olduğu anlaşılmaktadır. Bu eğilim ise öngörülerin adımları arttıkça MSE değerlerinin azaldığı fakat Erzurum ili hariç, diğer illerde 7.ci öngörü adımından sonra tekrar MSE değerlerinin artam eğilimine girdiği anlaşılmaktadır.

Tablo2: Tek değişkenli modellere göre öngörülerin MSE değerleri

Öngörü Adımı	Ankara	Antalya	Erzurum	İstanbul
1	13.69	3.25	42.04	1.21
4	4.28	0.98	22.56	1.65
7	2.77	0.70	13.04	1.11
12	2.83	0.78	8.03	1.90

Tablo 3: Çok değişkenli modellere göre öngörülerin MSE değerleri

Öngörü Adımı	Ankara	Antalya	Erzurum	İstanbul
1	12.17	3.71	32.29	1.48
4	3.87	1.09	23.55	1.84
7	1.68	1.02	12.43	1.38
12	1.96	1.43	9.19	2.13

Sonuç

Eş zamanlı olarak farklı konumlardaki meteoroloji istasyonlarında kayıt edilen aylık ortalama sıcaklıkların öngörüsü için ayrılan faktörler modeli (AFM) açıklanmıştır. Model uygulaması için Ankara, Antalya, Erzurum ve İstanbul illeri aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Değişik aralıklarla (1, 4, 7 ve 12) aylık ortalama sıcaklıkların öngörülerini yapılmıştır. Öngörü yapılmadan önce, model parametreleri kestirilmiş ve ki-kare testleri ile modellerin uygunlukları tesbit edilmiştir.

Söz konusu modelin, başka meteoroloji istasyonlarından alınmış olan aylık ortalama sıcaklık veya yağış, buharlaşma gibi değişik meteorolojik değişkenler için de kullanılması mümkündür.

Teşekkür

Çalışmamızın özellikle uygulama aşamasında yaptığı değerli eleştiri ve görüşlerinden dolayı İ.T.Ü., Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Başkanı, Prof. Dr. Zekai ŞEN'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Box, G.E.P and Jenkins, G.M., *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, San-Francisco, 1976.
- Brillinger, D.R., *Time Series, Data Analysis and Theory, Expanded Edition*, Holden-Day, San-Francisco, 1981.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 1961-1990 yılları için aylık sıcaklık ortalamaları verisi, Ankara.
- Graybill, F.A., *Matrices with Applications in Statistics*, Wadsworth Publishing Company, California, 1983.
- Kasap, R., *Multivariate Statistical Methods in Time Series*, Ph.D. Thesis, University of Wales, Aberystwyth, United Kingdom, 1992.
- Kasap, R., AR(p) modelinin CFA yardımıyla derecesinin belirlenmesi ve parametre kestiriminin yapılması, *Hacettepe Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17, 195-205, 1996.
- Kendall, M. and Ord, J.K., *Time Series*, third edition, Edward Arnold, London, 1990.
- Li, W.K. and McLeod, A.I., *Distribution of the residual autocorrelations in multivariate ARMA time series models*, *J.Roy.Statist.Soc., B*, 43, 231-239, 1981.
- Pena, D. and Box, G.E.P., *Identifying a simplifying structure in time series*, *JASA*, 82, 399, 836-843, 1987.
- Tiao, G.C. and Box, G.E.P., *Modeling multiple time series with applications*, *JASA*, 76, 376, 802-816, 1981.
- Wei, W.W.S., *Time Series Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., UK., 1990.

GÖKKUŞAĞININ GİZEMİ

Dr. Gökhan KARA

Prof. Dr. Rauf GARDASON

Yük. Müh. E. Gül EMECEN

Mühendislik Fakültesi

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü

İstanbul Üniversitesi

Gökkuşağının güzelliğini hayranlıkla seyretmemiş bir kişi olduğumu düşünmek çok zor. Gökyüzünde oluşan bu dev ve güzel görüntü eski zamanlardan beri insanların dikkatini çekmiştir. Bu olayın tabiatını bilmemelerinden dolayı onun sihirli özelliklere sahip olduğunu söylemişlerdir. Gökkuşağı, gök'ü ve yeri birleştirdiği için eski yunanlılar bunun Allah ve insanlar arasında aracı olan bir tanrının oluşturduğunu düşünüyorlardı. Rusça gökkuşağına "Raduga" denir ve bu da "cennet çemberi" anlamına gelir. Eski bir İngiliz inancına göre ise gökkuşağının dibinde altın ile dolu bir küp bulunuyordu.

Günümüzde herkes gökkuşağının bu sihirli özelliklerinin yalnız masalarda mümkün olduğunu bilmektedir. Gerçekte ise gökkuşağı optik bir olay olup güneş ışınlarının çok sayıda su (yağmur) damlalarından kırılması ve yansması sonucu oluşmaktadır. Bu dev

boyutlu renkli yayların nasıl oluştuğunu herkes bilmeyebilir.

Burada amacımız gökkuşağı optik olayının ayrıntılı fiziksel yorumunu vermektir.

Bir Gözlemcinin Gözlemi İle Gökkuşağı

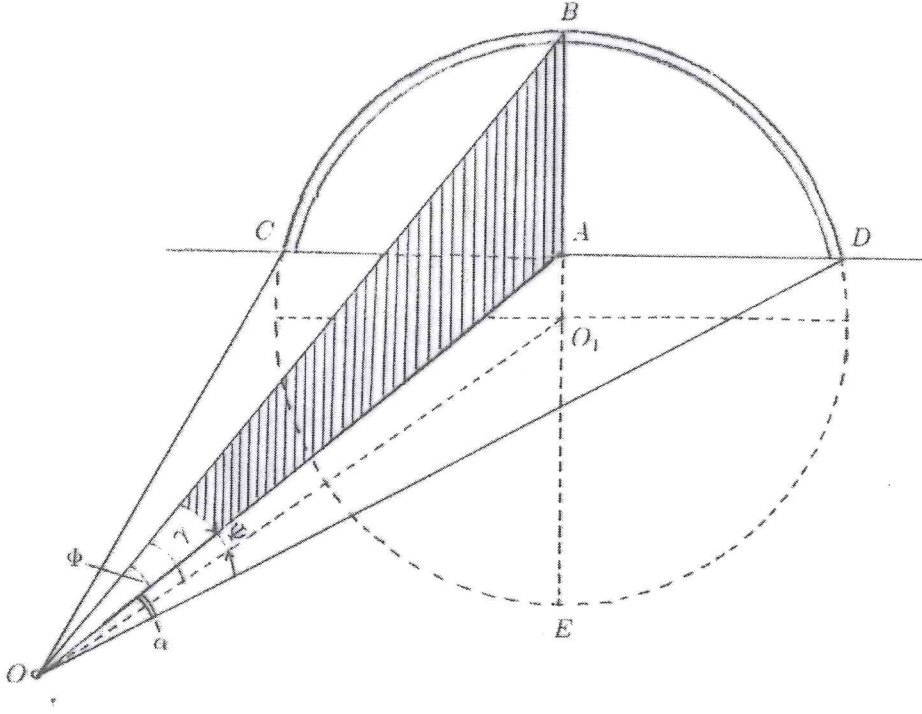
Gökkuşağı dikkatli bir seyirci tarafından gözlenildiğinde şu hususlar farkedilmektedir.

- Gökkuşağı, yalnız güneşin gözlemcinin arkasında olduğunda görülebilmektedir.
- Gökkuşağı yağmurlu havada güneş ışınlarının su damlalarına çarptığı zaman meydana çıkabilmektedir. Yağmur azalarak kesildiğinde gökkuşağı da zayıflar ve kaybolur.
- Gökkuşağında renklerin sıralanması, güneş ışınının prizmadan geçerken ayrıldığı renklerin sıralaması ile aynıdır. Başka bir deyişle, güneş spektrumu'nda olduğu gibidir. Gökkuşağının yayı her zaman kırmızı, iç yayı ise mor renktedir.
- Bazı durumlarda daha zayıf ve geniş olan ikinci gökkuşağıda görülebilir. İkinci gökkuşağında renkler temel gökkuşağındaki renklerin tersi yönünde sıralanmıştır.

Yani iç yay kırmızı, dış yay ise mor renktedir.

- Yeryüzünde bulunan bir kişi gökkuşağını güneşin yüksekliği 42°'den küçük olan durumlarda görebilir.
- Güneşin yüksekliği ne kadar küçük ise, gökkuşağının tepesinin açısal yüksekliği de o kadar büyük olur.
- İkinci gökkuşağı ise güneşin yüksekliği 52°'den küçük olduğunda görülebilir.

Gökkuşağı güneş ve gözlemciyi birleştiren eksene takılmış dev bir tekerlek olarak düşünülebilir.



ŞEKİL-1-

Şekil.1'de bu eksen $-OO_1$, gözlemci $-O$, yeryüzü düzlemi OCD , güneşin ufuktan açısal yüksekliği $-\Psi = \widehat{AOO}_1$ ile gösterilmiştir. ($\tan \Psi$ 'yi bulmak için gözlemcinin boyunu gölgesinin uzunluğuna bölmek yeterlidir). O_1 noktasına güneşin karşı noktası "antisolar" denir. Bu nokta CD ufuk hattının altında bulunmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi gökkuşağı eksenini OO_1 olan koninin taban dairesinin çemberi $CBDE$ üzerinde bulunmaktadır. γ açısı ise koninin OO_1 eksenini ile kenarı arasındaki açıdır. Tabii ki gözlemci $CBDE$ çemberinin bütününe görmeyip, yalnız ufuktan üstte kalan kısmı olan CBD yayını görmektedir. Gözlemci $\Phi = \widehat{AOB}$ açısı altında gökkuşağının tepesini (B noktasını), $\alpha = \widehat{AOD}$ açısı altında ise gökkuşağının dibini görmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi,

$$\Phi + \Psi = \gamma \quad (1)$$

bağıntısı sağlanmaktadır.

Böylece gökkuşağının çevreye göre yerleşmesi gözlemcinin bulunduğu yere bağlı olup, güneşin ufuktan

yüksekliği ile belirlenir. Gözlemci sözü geçen koninin tepe noktası konumunda bulunmasından dolayı yer değiştirdiğinde koni ve buna bağlı olarak gökkuşağında yer değiştirir (Bu nedenle de gökkuşağının dibinde altın aramak anlamsızdır).

Burada iki hususa dikkat edelim. Birincisi gözlemci ve güneşi birleştiren doğru, güneşin gerçekten bulunduğu yönde olmayıp güneşin görüldüğü yönde alınmış bir doğrudur. Bu da güneşin gerçek yönünden atmosferde oluşan refraksiyon açısı kadar farklıdır. İkincisi eğer gökkuşağı ufuk hattı üzerinde ise bu durumda su damlalarının bulunduğu atmosfer bölgesi gözlemciden birkaç kilometre uzaktadır. Bunun yanısıra yakın mesafelerde şelalelerde ve su fıskiyelerinde oluşan gökkuşaklarını da görmek mümkündür. Gökkuşağının açısal ölçüleri ise onun yakın veya uzak mesafede oluşmasına bağlı değildir. Temel gökkuşağı için $\gamma \approx 42^\circ$, ikinci gökkuşağı için ise $\gamma \approx 52^\circ$ 'dir. (1) formülünden $\Phi = \gamma - \Psi$ bulunur ki, bu da temel

gökkuşağının güneş yüksekliğinin Ψ (42° olduğu hallerde görülebilmesinin nedenini açıklar. Eğer gözlemci yeryüzeyinden belli bir yükseklikte ise, örneğin uçakta bulunuyorsa gökkuşağını tam bir çember şeklinde bile görebilir. Gözlemci yeryüzeyinde veya yüksekte bulunmasına bağlı olmadan, her zaman ekseni güneşe yönelmiş ve tepe açısı $\gamma \approx 42^\circ$ (temel gökkuşağı için) ve $\gamma \approx 52^\circ$ (ikinci gökkuşağı için) koninin tepe noktasında bulunur.

Temel gökkuşağı için γ açısının sadece 42° ve ikinci gökkuşağı için sadece 52° olmasının nedenini ileride izah edeceğiz.

Örnek olarak güneş yüksekliği $\Psi = 20^\circ$ olduğunda gökkuşağının tepesi ve dibinin hangi açılar altında görüneceğini hesaplayalım. Gökkuşağının tepesi $\Phi = \gamma - \Psi = 42^\circ - 20^\circ = 22^\circ$ açısı altında görülecektir. Gökkuşağının dibinin görüldüğü α açısını bulmak için Şekil.1'e dikkat edelim. BOO_1 üçgeninden

$$\frac{OO_1}{OB} = \cos \gamma, AOO_1 \text{ üçgeninden } \frac{OO_1}{OA} = \cos \Psi, AOD$$

üçgeninden $\frac{OA}{OD} = \cos \alpha$ bulunur.

$$\frac{OO_1}{OB} = \frac{OO_1}{OA} \cdot \frac{OA}{OB} = \frac{OO_1}{OA} \cdot \frac{OA}{OD}$$

olmasından dolayı,

$$\cos \gamma = \cos \Psi \cdot \cos \alpha$$

elde edilir. Böylece,

$$\cos \alpha = \frac{\cos \gamma}{\cos \Psi} = \frac{\cos 42^\circ}{\cos 20^\circ} = 0.79$$

ve buradan $\alpha = 38^\circ$ bulunur.

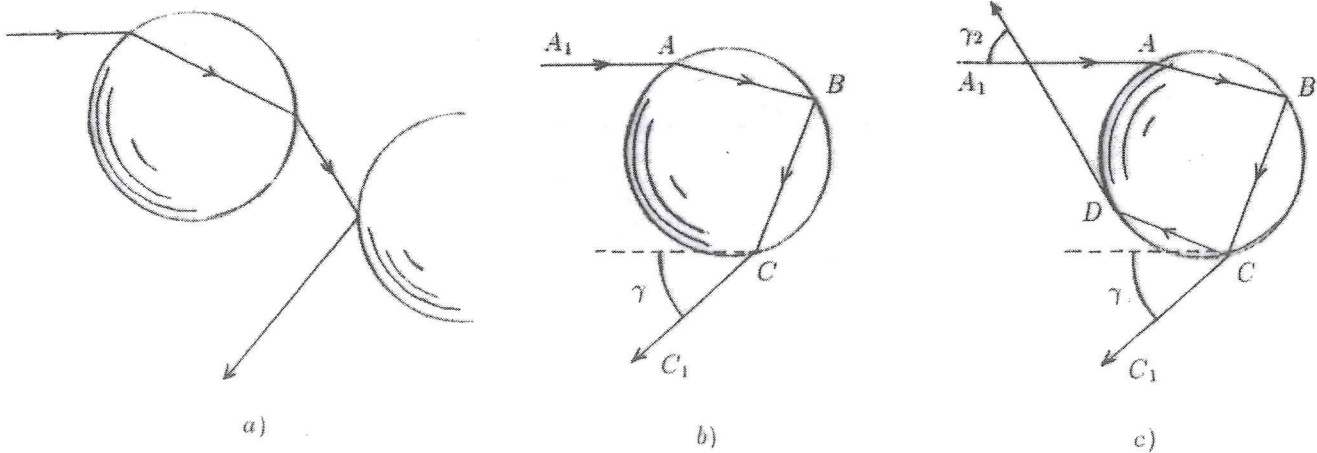
Gökkuşağı Oluşumunda Fiziksel Düşüncelerin Gelişmesi

Eski zamanlardan beri gökkuşağını seyreden insanlar, doğal olarak bu hayranlık verici görüntünün oluşumunun fiziksel mekanizmasını anlamaya çalışmışlardır.

Fletcher (1571) gökkuşağını bir su damlasında iki kez kırıldıktan sonra başka bir damladan yansımış güneş ışınının göze düşmesi sonucu oluştuğunu düşünmüştür (Şekil. 2a).

İtalyan bilim adamı A. Dominico'ya (1566-1624) göre ise gökkuşağını oluşturan aynı bir su damlasında iki kez

ŞEKİL-2-



kırılmış ve bir kez yansımış ışındır (Şekil. 2b). A_1A güneş ışını A noktasında damlaya düşerek kırılır, B noktasında yansır ve sonra C noktasında yeniden kırılarak damladan çıkar. Gözlemcinin gözüne de CC_1 ışını düşer. Bu ışın ilk A_1A ışını ile γ açısı oluşturur. Sonuçta gözlemci gökkuşağını güneş ışınlarına göre γ açısı altında görür.

R. Descartes bu düşüncelerini geliştirerek ikinci gökkuşağının da oluşumunu izah etmiştir (Şekil. 2c). A, B, C noktalarının her birinde ışın hem kırılmakta hem de yansımaktadır. Ama A noktasında yansımış ve B noktasında kırılmış ışınların gökkuşağının oluşmasına bir katkısı yoktur. C noktasında yansımış ışın ise D noktasında kırılarak damladan çıkar ve ikinci gökkuşağını oluşturur. Bu ikinci gökkuşağı $\gamma_2 \approx 52^\circ$ altında görülecektir. Böylece ikinci gökkuşağı daha zayıf olacaktır. Çünkü CD ışınının enerjisinin bir kısmı D noktasında yansımış ışındadır.

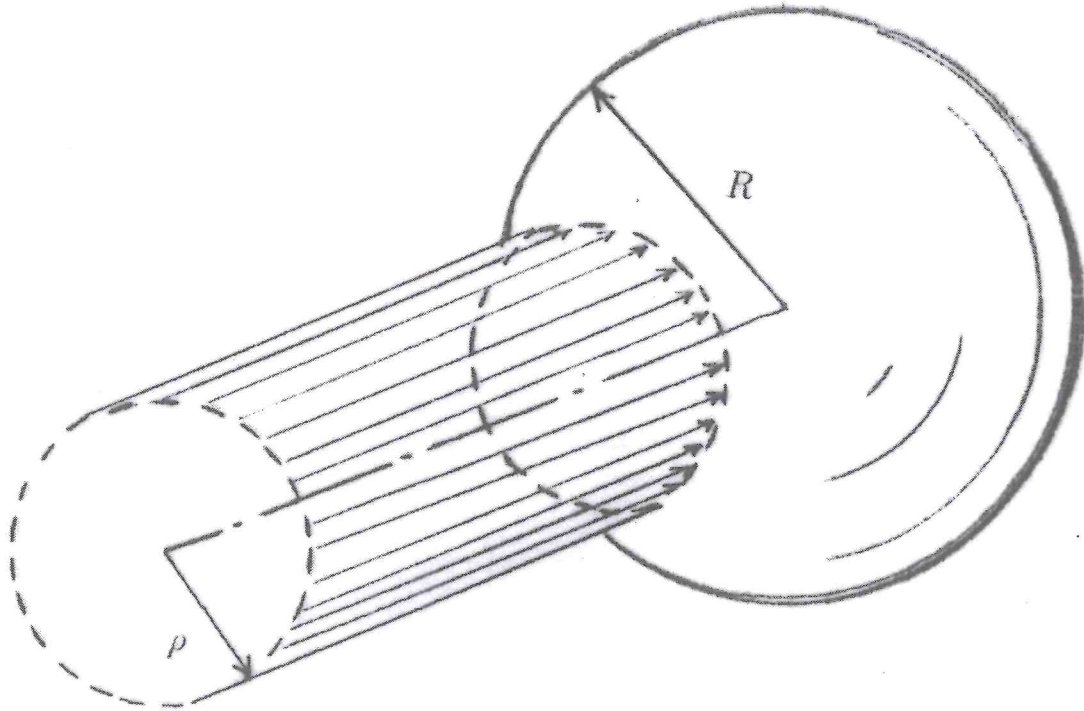
Burada bir açıklama yapalım: Bu söylediklerimizde bir damlada ışının yolu sözkonusudur. Bu olay her bir su damlasında aynı şekilde oluşur ve gökkuşağı çok sayıda (milyonlarca) damlada oluşan aynı olayların toplu sonucudur.

Dominico ve Descartes ışının damlada yolunu doğru açıklamalarına rağmen, gözlemcinin gökkuşağını $\gamma \approx 42^\circ$ derece altında görme nedenini açıklayamamışlardır. Bununla beraber gökkuşağındaki renklerin oluşma nedenini de izah edememişlerdir.

Newton'a Göre Gökkuşağı Oluşumu

Newton'un renkler (güneş ışınının prizmadan geçerken renklere ayrılması) teorisi, gökkuşağı olayının fiziki mekanizmasının tam açıklanmasına imkan vermiştir. Newton'un optik dersleri kitabında gökkuşağının oluşması

ŞEKİL-3-



şu şekilde yorumlanmıştır; Su damlalarına giren ışınlardan bazıları bir kez, diğerleri ise iki ve daha çok kez yansıyor damladan çıkarlar. Yağmur damlalarının ölçüleri gözlemciye kadar olan mesafe ile karşılaştırıldığında çok küçük olmasından dolayı damlanın ölçüleri önemli olmayıp damlaya düşen ve damladan çıkan ışınlar arasındaki açı önemlidir. Damladan çıkan ışınlar, bu açının en büyük değer aldığı yönde daha fazla yoğunlaşmışlardır (Bak. Şekil 5). Güneş spektrumunun çeşitli renkli ışınları için bu en büyük açılar (çok az- da olsa) farklı olduğundan ışınlar kendi renklerini de göstermektedirler. Şimdi de Newton'un bu düşüncesinin ayrıntılı bir açıklamasını verelim.

Yağmur Damlasında Işının Yolu

İlk olarak yağmur damlasına düşen ışının aynı dalga boyuna sahip (monokromatik) olduğunu, bir başka deyişle ışının damlada kırılmasının dispersiyasız (yani renklere ayrılmadan) oluştuğunu kabul edelim. Böylece R yarıçaplı yağmur damlasına monokromatik ışınlar düşmüş olsun.

p damlanın merkezinden giren ışın ile ele alınan ışın

arasındaki uzaklık olmak üzere $\xi = \frac{p}{R}$ birimsiz paramet-

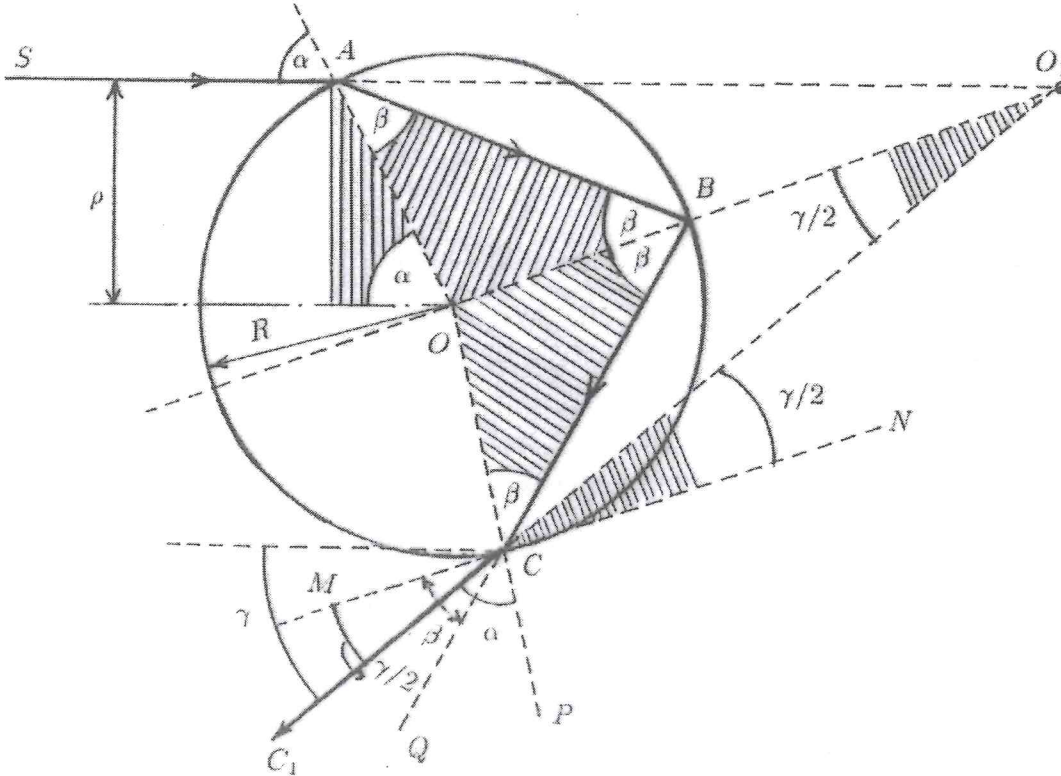
resine bağlı olarak ışının damlada yolunu takip edelim. $\xi=0$ damlanın merkezinden geçen ışını, $\xi=1$ ise damla yüzeyine teğet olan ışını vermektedir.

Damlanın küresel olmasından dolayı ξ parametresinin aynı değerlerine karşı gelen ışınlar (bu ışınlar silindirin yüzeyini oluştururlar) damlada benzer yollar çizerler ve damlaya düşen ışına göre aynı açı altında çıkarlar (Şekil 3).

Simetriye göre her bir ışının yolu bir düzlem üzerinde olur. Bu düzlem ele alınan ışın ve damlanın merkezinden geçen ışını sağlayan bir düzlemdir. Bu nedenle de adı geçen düzlemde ışının yolunu takip etmek yeterlidir. Yani problem üç boyuttan iki boyuta indirilmiş olur. Şekil 4'de

$\xi = \frac{p}{R}$ olan ışının yolu gösterilmiştir. Bu ışın damlaya

$\sin \alpha = \frac{p}{R} = \xi$ olan α açısı altında düşmektedir. (Şekil 4)



ŞEKİL-4-

$\triangle AOB$ ve $\triangle BOC$ üçgenleri ikizkenar olduklarından $\angle OAB = \angle ABO$ ve $\angle OBC = \angle BCO$ 'dur. Düşme açısı yansıma açısına eşit olduğundan dolayı $\angle ABO = \angle OBC$ 'dir. Bu açılar β ile, damladan çıkan CC_1 ışınının damlaya düşen SA ışını ile oluşturduğu açı ise γ ile gösterilmiştir. Işının yolu OO_1 doğrusuna göre simetrik olduğundan $\angle OO_1C = \frac{\gamma}{2}$ 'dir.

C noktasından $MN \parallel OO_1$ doğrusu geçirilirse,

$$\angle MCC_1 = \angle O_1CN = \angle QCP = \beta$$

ve

$$\angle MCQ = \angle OBC = \beta$$

olduğu görülür. Sonuçta,

$$\angle MCC_1 = \angle MCQ - (\angle C_1CP - \angle QCP) = \beta - (\alpha - \beta)$$

ve buradan,

$$\frac{\gamma}{2} = \beta - (\alpha - \beta)$$

Böylece,

$$\beta = \frac{\gamma + 2\alpha}{4}$$

olduğu bulunur.

γ açısını ξ parametresi cinsinden ifade edelim. A

noktasında kırılma kanunu $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ (n-kırılma katsayısı) şeklindedir. (2) eşitliğini ve kırılma kanununu kullanarak,

$$\begin{aligned} \sin \frac{\gamma + 2\alpha}{4} &= \frac{\sin \alpha}{n} \Rightarrow \\ \frac{\gamma + 2\alpha}{4} &= \arcsin \left(\frac{\sin \alpha}{n} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

elde edilir. Böylece,

$$\gamma = 4 \arcsin \left(\frac{\sin \alpha}{n} \right) - 2\alpha \quad (4)$$

veya

$$\sin \alpha = \frac{\rho}{R} = \xi$$

olduğu gözönüne alınırsa,

$$\gamma = 4 \arcsin \left(\frac{\xi}{n} \right) - 2 \arcsin \xi \quad (5)$$

bulunur.

İlerideki yorumlarımız için (3) ve (5) bağıntıları temel olacaktır. Görüldüğü gibi γ açısı damlanın yarıçapı R 'ye bağlı olmayıp yalnız α açısına (yani ξ parametresine) bağlıdır. Newton'un damla yarıçapının önemli olmadığı yorumunun doğruluğu buradan anlaşılmaktadır.

Örnek olarak, ξ parametresinin hangi değerine karşılık gelen ışının damladan ters yönde çıkacağını bulalım. Başka bir deyişle ξ 'nin hangi değerinde $\gamma = 0$ olacağını bulalım.

(5)'de $\gamma = 0$ alınırsa,

$$2 \cdot \arcsin \frac{\xi}{n} = \arcsin \xi$$

$$\sin \left[2 \cdot \arcsin \left(\frac{\xi}{n} \right) \right] = \xi$$

elde edilir.

$$\sin 2t = 2 \sin t \cdot \sqrt{1 - \sin^2 t}$$

olduğundan, buradan;

$$2 \frac{\xi}{n} \sqrt{1 - \left(\frac{\xi}{n} \right)^2} = \xi \quad (6)$$

olduğunu buluruz. (6) denkleminin 2 tane kökü vardır. Birinci kök $\xi_1 = 0$ olup damlanın merkezine düşen ışına karşılık gelir. İkinci kök ise

$$\xi_2 = \frac{n}{2} \sqrt{4 - n^2} \quad (7)$$

şeklindedir. Burada $n = \frac{4}{3}$ alınırsa $\xi=0.994$ olarak bulunur. ($n = \frac{4}{3}$ güneş spektrumunun sarı rengine karşılık gelen kırılma katsayısıdır).

Damlaya Düşen ve Çıkan Işıklar Arasındaki En Büyük Açı

$\xi = \frac{\rho}{R}$ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında γ açısı da 0'dan kendisinin en büyük değeri γ_{\max} kadar artar ve sonra azalarak $\xi=0.994$ 'de $\gamma = 0^\circ$ değerini alır (sarı renk için).

γ_{\max} değerinin bulunması çok önemlidir. Çünkü Newton'un da kabul ettiği gibi γ açısının en büyük değer aldığı yönün civarında damladan çıkan ışıklar daha fazla yoğunlaşmışlardır. Şimdi şu problemi çözelim: Damlaya düşen ve damladan çıkan ışıklar arasındaki açı olan γ 'nin ξ parametresinin hangi değerinde en büyük γ_{\max} değerini aldığını bulalım.

Bunun için (5) ile tanımlanan $\gamma = \gamma(\xi)$ fonksiyonunun türevini bulalım ve 0'a eşitleyelim.

$$\frac{d\gamma}{d\xi} = \frac{4}{\sqrt[n]{1 - \left(\frac{\xi}{n}\right)^2}} - \frac{2}{\sqrt{1 - \xi^2}} = 0$$

Buradan,

$$\xi = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}} \quad (8)$$

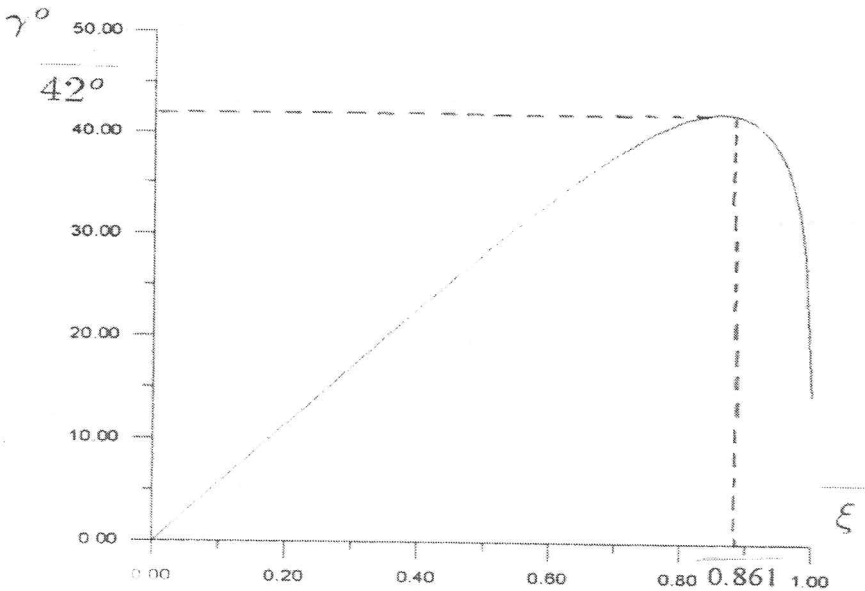
bulunur.

ξ 'nin (8) ifadesi (5)'de yerine konulursa γ açısının en büyük değeri için,

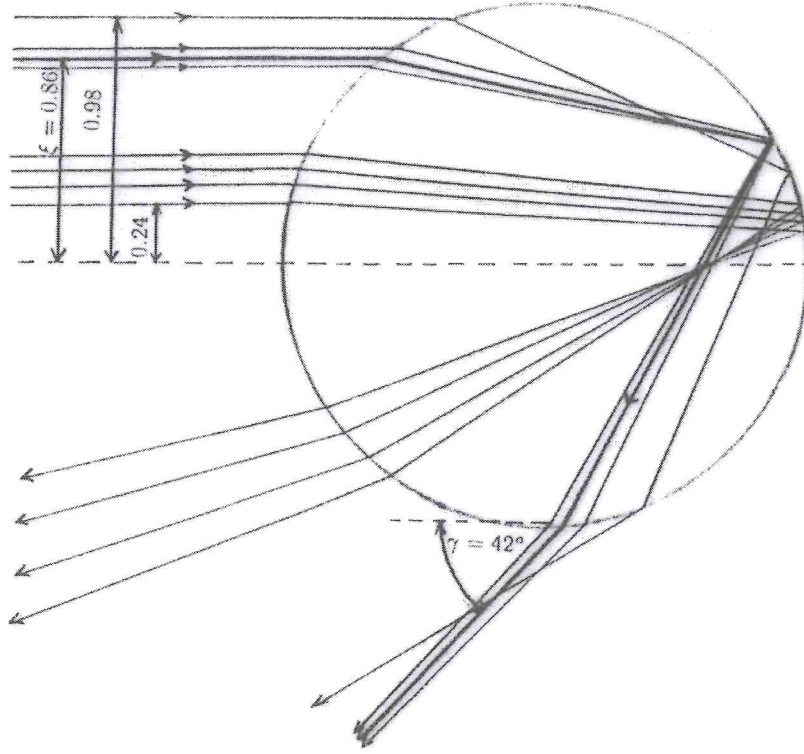
$$\gamma_{\max} = 4 \arcsin\left(\frac{1}{n} \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}\right) - 2 \arcsin\sqrt{\frac{4 - n^2}{3}} \quad (9)$$

bulunur. Örneğin $n = \frac{4}{3}$ için (8) den $\xi=0.861$ ve (9) dan $\gamma_{\max} = 42^\circ 02'$ olduğu elde edilir.

Şekil 5'de $n = \frac{4}{3}$ değeri için (5) formülü ile tanımlanan $\gamma = \gamma(\xi)$ fonksiyonu Şekil 5'te gösterilmiştir.



ŞEKİL-5-



ŞEKİL-6-

Her bir yağmur damlasına ξ parametresinin $0 \leq \xi \leq 1$ koşulunu sağlayan değerlerine karşı gelen sonsuz sayıda ışınlar düşmektedir. Bu ışınlar damladan çeşitli γ açılarında çıkmaktadır. Tabii ki gözlemci yoğunluğu az olan ışınları zayıf, yoğunluğu çok olan ışınları ise daha iyi görecektir. Işınlar $\gamma_{\max} = 42^{\circ}02'$ civarında daha yoğunurlar. Bu Şekil 6'da açıkça görülmektedir. Burada ışınların yolu kesin hesaplamalara dayanılarak

$$\left(n = \frac{4}{3} \right) \text{ için çizilmiştir. (Şekil 6)}$$

Şimdi gökkuşağının bir yay biçiminde görülmesinin nedenini açıklayalım: Gözlemci $\gamma = 42^{\circ}02'$ koşulunu sağlayan ışınları göreceğinden ve bu ışınlarda Şekil 1'de gösterildiği gibi koninin taban çevresinden gözlemcinin

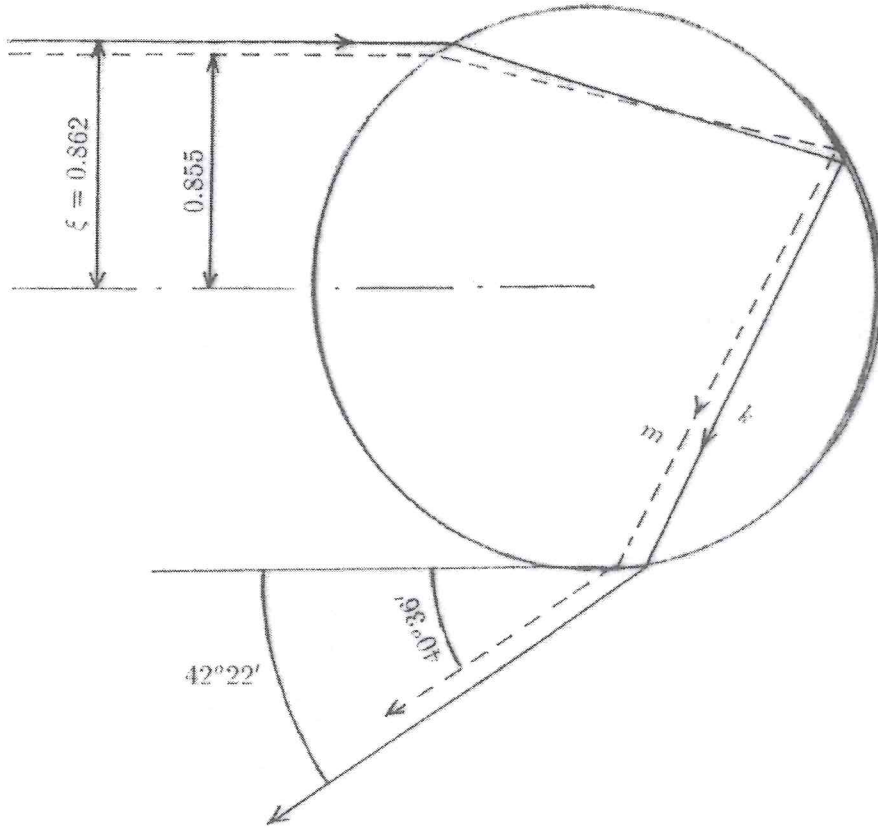
gözüne düşecek gibi görünmektedir. Eğer güneş spektrumunda yalnız bir dalga boylu (bir renk veya monokromatik ışık) olsaydı, gözlemci gökkuşağını ince parıltılı bir renkte ve yay biçiminde görecekti.

Gökkuşağında Renklerin Yorumu

Bildiğimiz gibi güneş spektrumu çeşitli dalga boylu (renkli) ışınları içermektedir. Bu nedenle gökkuşağı bu renkleri içeren yaylardan oluşmaktadır. Bunun nedenini şu şekilde açıklayabiliriz:

Güneş spektrumu iki kenarı kırmızı ve mor renkli ışıklar için $n_k=1.331$ ve $n_m=1.344$ olup, diğer renkli ışınlar için kırılma katsayısının değeri bu değerler arasında bulunmaktadır. n_k ve n_m 'nin bu değerleri (8) ve (9) formüllerinde yerine konulursa,

Kırmızı ışın için $\xi_k = 0.862$ ve $\gamma_{k,\max} = 42^{\circ}22'$



ŞEKİL-7-

Mor ışın için

$$\xi_m = 0.855 \text{ ve } \gamma_{m,\max} = 40^\circ 36'$$

olduğu bulunur.

Şekil 7'de kırmızı (k) ve mor (m) renkli ışınların doğrultuları çizilmiştir. Böylece damlaya düşen ve çıkan ışınların oluşturduğu γ açısının en büyük değeri γ_{\max} çeşitli renkler için farklıdır. Bu da gözlemcinin gökkuşağını renkli yaylar şeklinde görmesini sağlar. Gözlemci kırmızı yayı

$\gamma_{k,\max} = 42^\circ 20'$ açısı altında, mor yayı ise

$\gamma_{m,\max} = 40^\circ 40'$ açısı altında görecektir. Bu da kırmızı

yayın gökkuşağının dışında, mor yayın ise içerisinde oluşması nedenini açıklamış olur.

Sonuç

Benzer yorumlar $\gamma_{\max} = 52^\circ$ civarında oluşan ikinci gökkuşağı için de geçerlidir. Önce de söylenildiği gibi ikinci gökkuşağını oluşturan ışınların enerjisi az olduğundan çok nadir görülebilmektedir.

Böylece gökkuşağı olayının temel fiziki mekanizması açıklanmıştır. Bunun yanısıra gökkuşağı olayında daha bir çok hususlar vardır, fakat bu hususların yorumu geometrik optik dışına çıktığı için burada bahsedilmemiştir.

Kaynaklar

1. Tarasov, L.V., Tarasova, A.N. "Işının Kırılması Hakkında Söyleşi". *Kvant Serius, Volume 18. Moskova. 1982.*
2. Zveryeva, S.V., "Güneş Işını Dünyası". *Hydrometeorology Published. Leningrat, 1988.*

BUHARLAŞMA

- ETo'nun daha hassas tahmini için en uygun metodun seçimine
- İstasyonlardan elde edilen meteorolojik verilerin hassasiyetine
- Kc değerinin seçimine

ETo'nun hesaplanması için Doorenbons ve Pruitts (1977) tarafından tavsiye edilen **Modifiye Penman Metodu** aşağıdaki gibidir.

$$ETo = c[WRn + (1-W) f(u) (e_a - e_d)] \quad (\text{mm/gün})$$

W = sıcaklığın yükseklikle değişimine bağlı ağırlık faktörüdür.

Rn = Net radyasyondur (mm/gün).

1 W/m² lik radyasyon 0.00143 mm/saat veya 0.034 mm/gün lük bir buharlaşmaya neden olur. Rn çok nadir olarak klima istasyonlarında ölçülmektedir. Ancak gelen toplam radyasyon temel alınarak tahmin edilebilir. F(u) rüzgar fonksiyondur ve şu şekilde hesaplanır.

$$F(u) = 0.27 (1 + U/100)$$

Burada U, 2 metredeki rüzgarın 24 saate aldığı toplam yoldur (km/gün) . (e_a-e_d), ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı ile aktüel buhar basıncı arasındaki farktır.

c = gece ve gündüz hava şartlarına göre değişen düzeltme katsayısı.

Bu amaç için tavsiye edilen bir başka metod ise **Radyasyon Metodu**'dur. Sıcaklık ve radyasyon değerleri mevcut ise rüzgar hızı ve bağıl nem mevcut ise veya tahmin edilebiliyorsa bu metod kullanılabilir. İfade aşağıdaki gibidir.

ÇEVİREN

Dr. Ömer KARACA
DMİ Genel Müdürlüğü

Evapotranspirasyonun tahmin edilmesine dayanan sulama programlarının düzenlenmesine ait metodlar son yıllarda yaygınlık kazanmıştır. Bu metodlar, miktarı iklim ve toprak koşulları ile birlikte bitkinin gelişme safhaları ve karakteristikleri tarafından belirlenen bitki su tüketiminin tahmin edilmesine imkan vermektedir.

Agroklimatik Yaklaşım

Bu yaklaşım, çeşitli metodlar vasıtası ile bulunabilen referans evapotranspirasyon (ETo) ile deneysel bitki katsayısı (Kc) nı kullanarak aktüel bitki evapotranspirasyonunun (ET veya ETc) elde edilmesine dayanmaktadır.

$$ETc = ETo * Kc \quad (\text{mm/gün})$$

Sulama için kullanılan toplam su miktarı, sulama stratejisine, bitki cinsine ve safhasına bağlı olan kümülatif su toplamının değişen bir yüzdesi olabilir. Metodun hassasiyeti şu üç faktöre bağlıdır.

$$ET_o = c(WRs) \text{ (mm/gün)}$$

Burada,

R = solar radyasyon (mm/gün)

W = sıcaklığın yükseklikle değişimine bağlı ağırlık faktörü

c = düzeltme faktörüdür.

Açık Yüzey (Leğen) Buharlaşma Metodu buharlaşma leğeninden (serbest su yüzeylerinden) olan buharlaşma değerlerini kullanır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$ET_o = E_{pan} * K_{pan} \text{ (mm/gün)}$$

E_{pan} = günlük buharlaşma yüksekliği

K_{pan} = buharlaşma leğeninin lokasyonu ve hava şartları dikkate alınarak elde edilen bir katsayıdır.

Bu üç methodla elde edilen ET_o' in yaklaşık hata miktarları aşağıda verilmektedir.

Modifiye Penman Metodu : yazın ± %10 düşük buharlaşma şartlarında + %20

Buharlaşma leğeni : buharlaşma leğeninin pozisyonuna bağlı olarak ± %15

Radyasyon Metodu : yazın ± %20 ye kadar

Günlük maksimum evapotranspirasyon (ET_m), referans evapotranspirasyon değerinden tahmin edilebilir.

$$ET_m = ET_o * K_c \text{ (mm/gün)}$$

Burada,

K_c = bitkinin evapotranspirasyon miktarının mevsimsel salınımlarını ve diğer bitki karakteristiklerini dikkate almak için kullanılan katsayıdır.

Bazı bitkiler için K_c değerini değişik oranlarda etkileyen faktörler vardır. Bunlar;

- toprak türü
- bitkilerin seyrek veya sık dikilmiş olması
- bitki dikim tarihi
- bitki gelişim oranı
- yetiştirme sezonunun uzunluğu
- iklim şartları
- buharlaşma ve terleme oranları
- potansiyel terleme esnasında kanopi (canopy) direnci
- Kanopy geometrisi ve albedo

K_c değeri aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$K_c = ET_c / ET_o$$

Burada;

ET_c = günlük bitki evapotranspirasyonu

ET_o = referans bitkinin evapotranspirasyonudur

Bu denklemi kullanarak günlük K_c değeri, ET_c ve ET_{ref} değerlerinin ölçümü ile lokal olarak hesaplanabilir. Şayet lokal K_c değeri mevcut değil ise mevsimsel değişimi benzer iklim bölgelerinde elde edilen değerlerden tahmin edilebilmektedir. Örneğin patates için Doorenbons ve Kassam (1979) aşağıdaki K_c değerlerini vermektedirler.

- Başlangıç safhası (20-30 gün) 0.4-0.5
- Gelişme safhası (30-40 gün) 0.7-0.8
- sezon ortası safhası (30-60 gün) 1.05-1.2
- sezon sonu safhası (20-35 gün) 0.85-0.95
- olgunluk 0.7- 0.75

Tablo 1: Ilıman-kurak bölgelerde Patates için yonca temel alınarak elde edilen K_{bc} ve ortalama K_{cm} değerleri.

Bitki katsayısı											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K _{cb}	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.32	0.47	0.62	0.70	0.75
K _{cm}	0.20	0.20	0.20	0.22	0.31	0.41	0.51	0.62	0.70	0.76	0.78
K _{cb}	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K _{cm}	0.75	0.75	0.73	0.70	0.66	0.63	0.59	0.52	0.20	0.10	0.10
	0.78	0.78	0.76	0.74	0.71	0.67	0.63	0.59	0.36	0.52	0.20

Wright (1981 ve 1982) ılıman-kurak bölgelerde yoncaı referans bitki olarak elde ettiği ortalama Kc (Kcm) değerlerini Tablo 1 de vermektedir.

Kullanılan Kc değerleri, ilgili iklim bölgesine ait değerler olup değişik iklim bölgeleri için uygulanabilirliğinin şüpheli olduğunu vurgulamak gereklidir. Sık sulama yapılan ve yüzeyin nemli olduğu büyük taneli ve kumlu topraklar için Kc=0.8 değeri topraktan olan buharlaşmayı da hesaba katmak için sezon boyunca uygulanabilir (Wright ve Stark, 1990).

Daha yakın zamanlarda Bausch ve Neale (1987) kırmızı ve yakın infrared ışınımın tarla yüzeyinden yansımaya dayanan bir yöntemle Kc nin elde edildiği bir metod geliştirmişlerdir. Bu metodun uygulanabilirliği yaprak alan indeksi (LAI) ile Kc arasındaki ilişkinin iyi bilinip bilinmemesine bağlıdır.

Mikrometeorolojik Yaklaşım

Aktüel bitki evapotranspirasyonu (ETc), gravimetrik lizimetre gibi cihazlar vasıtası ile yerinde ölçülebilir (Reicosky ve Peters, 1977). Bu metod hassas ölçümlere imkan vermekle birlikte bir noktada ölçülen değerlerin arazinin üniform olmayan yapısı nedeniyle civar bölgelere taşınmasında güçlüklerle karşılaşmaktadır.

Geniş alanların yüzeylerinin radyatif sıcaklıklarının uzaktan algılama yöntemleri ile saptanması mümkün olmaktadır. Bu sayede enerji dengesi yöntemiyle ET' un bölgesel haritaları elde edilebilmektedir. Bu konudaki pek çok model enerji dengesi denkleminde dayanmaktadır.

$$R_n = H + LE + G$$

Burada,

Rn = net radyasyon

H = hissedilebilir ısı

LE = latent (gizli) ısı

G = toprağın ısı akısı (W/m²)

Hissedilebilir ısı akısı aşağıdaki denklem vasıtasıyla elde edilebilir

$$H = C_p(T_c - T_a)/R_a$$

Burada,

Cp = volumetrik ısı kapasitesi (J m⁻³ °C⁻¹)

Ta = hava sıcaklığı

Ra = bitki yüksekliği ve rüzgar hızından elde edilebilen aerodinamik dirençtir (sn m⁻¹)

(Thom ve Oliver, 1977).

H, yukardaki denklemde yerine yazılıp buradan LE çekilirse

$$LE = R_n + G - C_p(T_c - T_a)/r_a$$

Elde edilir. Kanopi sıcaklığı olan Tc, uydu tarayıcıları vasıtası ile elde edilir. Jackson (1977) günlük buharlaşma ile lizimetre değeri ve Tc-Ta arasındaki farkı deneysel çalışmalarla şu şekilde formüle etmiştir.

$$ET = R_n - B(T_c - T_a)$$

Burada Rn günlük net radyasyon, B ise regresyon sabitidir. Jacson (1977), B nin bitkiye ve bölgeye özel olduğunu ve yüzey pürüzlülüğü ile rüzgar hızı tarafından da etkilendiği sonucuna varmıştır.

Soer (1980) anlık ölçümler ve enerji dengesi esas alınarak elde edilen bağıntıları kullanarak günlük evapotranspirasyon (ET) haritaları elde etmiştir. Daha sonra elde ettiği değerleri su dengesi yöntemi ile elde edilen evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırmış ve % 30 luk bir fark bulmuştur.

Jackson (1983) yukardaki metodu kullanarak anlık ET değerleri elde etmiş ve bu değerleri bir düzeltme faktörü vasıtası ile günlük toplam ET şekline çevirmiştir. Burada kullanılan düzeltme faktörü 60 °S ve 60 °N enlemleri arasında yılın günü ve günün saatinden elde edilmektedir.

Yukarıda bahsedilen bütün metodlar meteoroloji istasyonlarında net radyasyonun elde edilmesini gerektirmektedir. Yakın zamanlarda Jackson (1985) Multi-spektra radyometre dâtasının net radyasyonun tahmin edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Reginato (1985) yansıyan solar radyasyonu ve yüzey sıcaklığını birleştirerek net radyasyon ve hissedilebilir ısı akısını hesaplayabilmiştir.

Kaynak

Riou, C. and Zipoli, G. (1995). *Agrometeorological Information Required for the Management of Irrigated Soils and Crops*. CagM Report No. 63 WMO/TD-No.727 Geneva. Switzerland

EKH® **AKIM ELEKTRONİK**

Hidroloji, Hidro-Jeoloji ve Meteoroloji
Rasat Aletleri İmalat ve Tic.



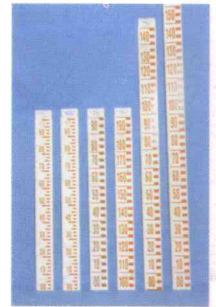
İmalatını Yaptığımız RASAT ALETLERİ



Elektronik LİMNİGRAF Seti
(Elekt. Su Seviyesi Kayıtedici)



Elektronik PLÜVİOGRAF
(Elektronik Yağış Ölçer)



Emaye EŞEL



Buharlaştırma Leğeni

- **3 Yıl Garanti**
- **İmalattan Satış**
- **TSEK Belgeli**



PLÜVIOMETRE

T. Özal Bulvarı No: 45/1 Tlf: (322) 234 10 17 - 234 54 44 • Fax: (322) 234 54 44 ADANA

Siparişlerinizi Fax., Tlf. veya Mektupla verebilirsiniz