

# KAOS VE ATMOSFER

**Doç. Dr. Kasım KOÇAK**  
**İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi**  
**Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 80626 Maslak, İstanbul**

## DOĞADA KAOS

Bir akarsuda yüzen yaprağın davranışını dikkate alalım. Yaprak, hareketi sırasında bir girdaba yakalandığında girdabın çevresinde bir süre tur atar. Girdaptan kurtulan yaprak, bir sonraki girdaba yakalanıncaya kadar yolculuğuna kaldığı yerden devam eder. Yaprakın konumundaki çok küçük bir değişiklik, onun gelecekteki davranışını tamamen değiştirir. Çok küçük değişimlerin daha büyük değişimlere yol açması kaosun en belirgin özelliğidir. Bazen damlayan bir muslukta ve bazen de insan kalbinin atışında olmak üzere kaos doğada her yerde karşımıza çıkar.

Belli koşullar altında insan kalbinin atışı kaotik bir davranış ortaya koyar. Kalbin atış hızı, ritmik aktiviteyi kontrol eden organ tarafından denetlenir. Ancak bazı durumlarda bu organ ile kalbin uyumlu çalışmaması nedeniyle kalp atışları arasında birini takip eden uzun ve kısa boşluklar ortaya çıkar. Daha ekstrem koşullarda ise kalp atış ritmi düzensiz bir hal alır. Kalbin herhangi bir atışının zamanlamasında meydana gelen çok küçük bir değişiklik, bir sonraki kalp atışında büyük bir değişikliğe neden olur. Kalp atışları kaotik bir hale gelir ve yaşamı tehdit eder. Bu örnek, düzenli bir davranışın başlangıç koşulları değiştiğinde nasıl kaosa dönüştüğüne ilginç bir örnektir.

Bu şekilde düzenli davranıştan kaotik davranışa geçişe, damlayan bir musluğun sesini dinlerken de tanık olunabilir. Eğer musluğun altına bir parça alüminyum folyo yerleştirilirse, damlamanın çok yavaş olması durumunda, folyodan düzenli bir ses duyulur. Eğer musluk çok az açılırsa, damlamalar, bir birini takip eden uzun ve kısa zaman aralıklarında meydana gelmeye başlar. Musluk biraz daha açılırsa, düzenli, kararlı davranış tamamen ortadan kalkar ve kaotik davranışa geçilir.

Kaos sürekli bir kararsızlıktır. Kararsızlık çevremizin ve kültürümüzün bir parçasıdır. Günlük yaşamda sıklıkla kullanılan “bıçak sırtında olmak”, “bardağı taşıran son damla” gibi deyimler kararsızlık ifade ederler.

Kaotik davranış, evrende daha büyük ölçekte kendini gösteren düzenlilik ile çelişmektedir. İnsanlar tarih boyunca, mevsimlerin, gece ve gündüzün bir birini izlemesindeki düzeni, gezegen ve yıldızların hareketindeki kesinliği anlamaya çalışmıştır. Bu tür göksel olaylar, Isaac Newton’ın hareket yasaları ve evrensel çekim yasasında belirtildiği gibi, dünyanın ve diğer gezegenlerin hareketlerindeki düzenlilikten kaynaklanırlar. Bu yasalara göre Güneşin ve gezegenlerin mevcut konumu ve hızı, bütün geçmiş ve gelecek zamanlardaki konumu ve hızı da tayin eder.

Geleceğin geçmiş tarafından tam olarak belirlendiği Newton'ın hareket yasaları determinizmin klasik bir örneğidir. Bilim adamları genellikle evrende bu tür düzenlilikleri arama eğilimindedirler. Ancak düzenlilik evrensel değildir. Dolayısı ile düzensizlik, üzerinde önemle durulması gereken bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Düzensizlik konusunda ilk çalışan matematikçilerden biri Simon de Laplace'dır. Laplace'ın evrene bakışı tamamen Nevtonyendir. Bununla birlikte Laplace, olayların bireysel olarak öngörülemez olmasına karşın, çok sayıda olayın karakteristik davranışını açıklayan düzensizlik ya da olasılık teorisinin ortaya konmasına yardımcı oldu.

19. yüzyıl boyunca, biri deterministik diğeri olasılık teorisi olmak üzere birbirine zıt iki teori hakim oldu. Bu teorilerin karşısına 1920 ve 1930'larda önce kuantum teorisi, daha sonrada kaos teorisi çıktı. Basit matematiksel çözümler, Newton'ın hareket yasalarına uyan çok basit sistemlerde bile bir sonraki adımın öngörülemediğini ortaya koymaktadır. Bunun nedeni başlangıç koşullarına olan hassas bağımlılıktır. Bir cisim üzerine birden fazla kuvvetin etki etmesi durumunda, bu davranış biçimi ile sıklıkla karşılaşılır. Buna klasik bir örnek olarak, altına yerleştirilmiş olan iki adet mıknatıs tarafından eşit olarak çekilen bir sarkaç verilebilir.

Sarkaç, mıknatıslar arasındaki mesafenin ortasına doğru yavaşça ilerlerken, mıknatıslar tarafından sarkacın ucundaki metal ağırlığa hemen hemen eşit bir kuvvet uygulanır. Sarkacın ilerleyen zaman içerisindeki davranışı, o anki konum ve hız koşullarına son derece duyarlı bir hale gelir. Diğeri bir deyişle sarkacın davranışı kaotik olur. Ancak bu, sarkacın davranışı hakkında hiç bir şey söyleyemeyeceğimiz anlamına gelmez. Bazı başlangıç koşulları için sarkacın davranışı düzenlidir ve uzun bir süre için öngörülebilir. Diğeri taraftan sarkacın kaotik davranışı ile ilgili pek çok özellikleri olasılık teorisi yardımıyla anlayabiliriz.

Deterministik kaos teorisi, determinizm ve olasılığın paradoksal birlikteliğinin teorisidir. Kaosun gerisindeki mekanizmaların anlaşılması, yalnızca suda yüzen bir yaprağın davranışı, düzensiz kalp atışları ve damlayan bir muslukta değil; evrenin küçük ve büyük ölçekte pek çok görünümünü anlamamıza da yardımcı olacaktır. Bu özelliği nedeniyle kaos teorisi bütün bilim dallarında yerini almıştır.

Biyolojistler kaosu böcek ve kuş nüfusunun değişiminde, salgın hastalıkların yayılmasında ve hücre metabolizmasında görmektedir. Fizikçiler elektronun hareketinde, moleküllerin atomlarında, gazlarda ve temel parçacıklar teorisinde yine kaosla karşılaşmaktadır. Diğeri taraftan değişik alanlarda çalışan mühendisler de artık yapmış oldukları dizaynlarda kaosu dikkate almaktadırlar.

Kaosun en güzel örneklerini matematikte bulmak mümkündür. Görünüşte çok basit problemlerin çözümü son derece karmaşık davranışlar ortaya koymaktadır. Basit olmasına rağmen lineer olmayan bu tür problemlerin çözümü ancak bilgisayarların devreye girmesiyle kolaylaşmıştır. Bu nedenle kaos, bilgisayar çağının bilimi olarak adlandırılabilir.

## HAVA DURUMU VE KAOS

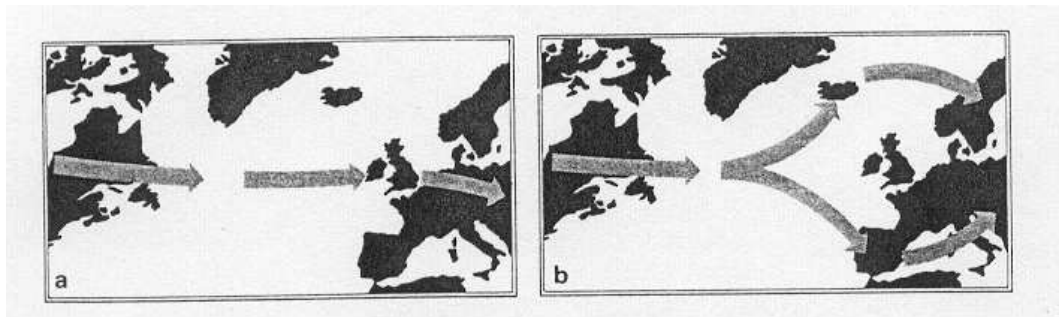
Gökbilimciler, yıldızların, gezegenlerin ve Güneş Sistemindeki uydu ve kuyruklu yıldızların hareketini modellemek için kaos teorisini kullanmaktadır. Güneşten yayılan ve dünya manyetosferi tarafından yakalanan yüklü parçacıkların atmosferde meydana getirdiği orora olayının açıklanmasında kaos teorisi yardımcı olmaktadır. Havayı belirleyen atmosferin hareketlerinin incelenmesi kaos teorisinin en heyecan verici uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır.

Meteorolojistler, atmosferin hareketini açıklayan oldukça karmaşık matematiksel modelleri kullanarak gelecekte havanın nasıl olacağını öngörmeye çalışmaktadır. Ayrıca, örneğin Muson yağmurlarının mevsimlik tahmini gibi daha uzun süreli tahminler yapabilmeye yönelik çalışmalar gündemdedir. Meteorolojistler bu çalışmaların ötesinde, sera etkisi gibi insan aktivitelerinden kaynaklanan iklim değişikliklerinin tahmini yönünde çalışmalar yapmaktadır. Bununla birlikte atmosferin kaotik bir sistem olduğunu biliyoruz. Atmosfer doğası gereği öngörülemez bir karaktere sahiptir. Öyleyse uzun vade hava ve iklim öngörüsü boşuna bir çaba mıdır? Televizyonlardaki hava durumu raporları ile yetinip, gerisini şansa mı bırakmalıyız?

Siklonlar ve bununla ilgili hava cepheleri gibi bireysel sistemler doğuya doğru ilerlerken hava da günlük olarak değişir. Diğer taraftan bazı hava durumları hafta, ay hatta mevsimler boyunca sürebilir. Bu tür hava durumları bireysel hava sistemleri ile değil, yukarı atmosferde esen ve jet akımları olarak adlandırılan kuvvetli rüzgarların konumu ile yakından ilişkilidir. Jet akımları önümüzdeki yaz mevsiminin yağışlılığı yoksa kuraklığı olacağını; kış mevsiminin ılımanlığı yoksa sertliği geçeceğini belirler.

Şekil 1, iki farklı hava rejimi durumunda jet akımının Atlantik ve Avrupa üzerinde izlediği yörüngeyi göstermektedir. Şekil 1a'da verilen yörünge hemen hemen bir enlem boyunca uzanmaktadır. Bireysel hava sistemleri, jet akımı boyunca hareket etme eğilimi gösterirler. Jet akımının mevcut konumu nedeniyle Britanya adalarının üzerinde, yağış bantları monoton bir düzenlilikte geçecek şekilde yağışlı ve değişken hava koşulları hakimdir.

Şekil 1b'de jet akımı orta Atlantik üzerinde, biri Britanya Adalarının kuzeyinden diğeri ise güneyinden geçecek şekilde iki kola ayrılmaktadır. Bu oluşum Britanya üzerinde yazın ılık bir havanın, kışın ise kapalı ve sıkıcı veya soğuk bir havanın hüküm sürmesine neden olur. Şekil 1a ve b'de verilen akışlar sırasıyla zonal ve engellenmiş rejim olarak adlandırılır.



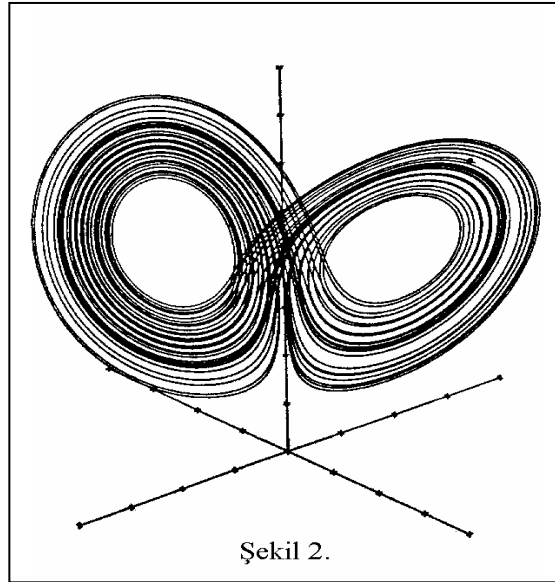
Şekil 1.

## LORENZ DİNAMİK SİSTEMİ

Hava rejimleri geçmiş hava durumlarına ait kayıtlardan hareketle sayısal olarak belirlenebilir. Kuzey Yarımküredeki büyük ölçekli değişimlerin pek çoğu yaklaşık on farklı hava rejimi ile karakterize edilebilir. Hava rejimlerinin öngörülebilirliği meteorolojistlerin üzerinde en çok çalıştıkları konulardan biridir. Bireysel hava sistemlerinin gelecek bir kaç gün içinde nasıl davranacağı öngörülebilmektedir. Benzer şekilde hava rejimlerinin davranışı da bir ay ilerisi için öngörülebilir mi?

Meteorolojist Edward Lorenz'in ilgisini daha çok bu tür problemler çekmekteydi. Lorenz'in 1960'ların başlarında Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) yapmış olduğu çalışmalar kaos teorisine önemli katkılar yapmıştır. Lorenz, atmosferin türbülanslı bir akışkan gibi davrandığını, nonlinear ve başlangıç koşullarına son derece duyarlı olan bir diferansiyel denklem sistemi tarafından idare edildiğinin farkındaydı. Lorenz, başlangıç koşullarına hassas bağımlılığın, hava öngörüsünü içinden çıkılmaz bir probleme dönüştüreceğini de seziyordu. Düşüncelerinin doğruluğundan emin olmak için, temel özellikleri aynı kalmak koşuluyla, denklemleri daha basit bir hale getirmeye çalıştı. Bu uğraşların sonucunda, akışkanın davranışını idare eden karmaşık denklem sistemini  $x$ ,  $y$  ve  $z$  gibi yalnızca üç değişkeni olan basit bir modele indirgedi.

Bu modelde verilen bir andaki hava, üç boyutlu faz uzayında bir nokta ile, havanın zaman içerisindeki seyri ise bu noktalardan geçen bir yörünge ile temsil edilir. Modelin çalıştırılması sonucu elde edilen olası hava durumlarının kümesi ise Lorenz çekicisi (atraktörü) olarak adlandırılır, (Şekil 2).

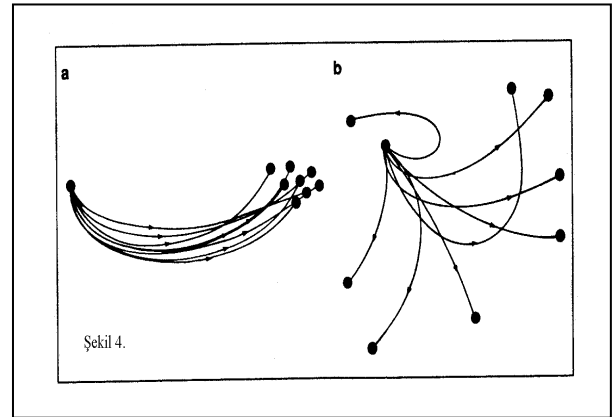
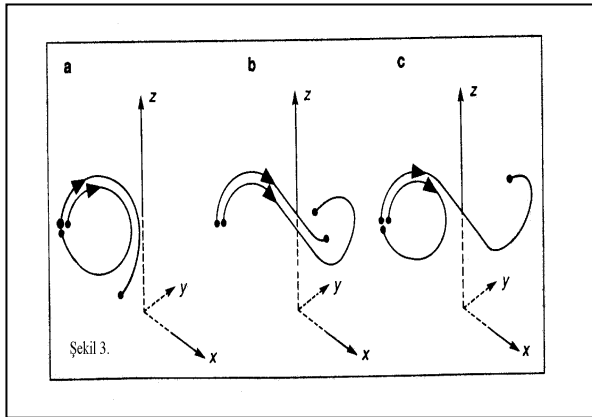


Lorenz çekicisi üç boyutlu uzayda herhangi bir hacim işgal etmez. Diğer taraftan bu çekici ne bir boyutlu basit bir eğri ne de iki boyutlu bir yüzeydir. Çekici 2.06 gibi tam sayı olmayan (fraktal) bir boyuta sahiptir ve bu nedenle garip veya acayip sıfatları ile nitelendirilir.

Lorenz dinamik sistemi, hava rejimlerinin gelişimini tam olarak yansıtmaz. Bununla birlikte Lorenz dinamik sistemi, atmosferde hava rejimlerinin zaman içerisindeki kaotik davranışının niteliksel özelliklerinin

anlaşılmasında önemli bir rol oynar. Şekil 2'den de görüldüğü gibi, Lorenz çekicisi kelebek kanatları olarak adlandırılan iki kısımdan oluşmaktadır. Soyut faz uzayındaki bu kanatlar, Şekil 1'de verilen gerçek uzaydaki iki farklı hava rejimine karşılık geldiği şeklinde ele alınabilir. Örneğin çekicinin sol kanadının Şekil 1a'da verilen zonal rejime, sağdaki kanatın ise Şekil 1b'de verilen engellenmiş rejime karşı geldiğini varsayalım. Bu durumda çekicinin sol kanatı üzerindeki herhangi iki nokta, farklı iki anlık hava durumuna denk düşer. Bununla birlikte her iki durumda da aynı büyük ölçekli akış hakimdir.

Çekicinin sol kanatı üzerinde birbirine yakın rastgele iki noktayı dikkate alalım. Bu iki nokta, Biritanya Adaları üzerindeki değişken hava koşullarını temsil eden rejim içerisinde hemen hemen benzer hava koşullarını temsil eder. Faz uzayında seçilen bu noktalardan hareketle, iki hava durumunun başlangıç gelişimini takip edebiliriz. Bu koşullar altında üç olasılık söz konusudur: Her iki yörünge de çekicinin sol kanatı üzerinde kalabilir (Şekil 3a); her iki yörünge de sağ tarafa geçebilir (Şekil 3b) veya yörüngelerden biri sol kanat üzerinde kalırken diğeri sağ kanata geçebilir (Şekil 3c). Her üç durumda, ilerleyen zaman içerisinde, yörüngeler birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Bu, anlık hava durumu için yapılacak tahminlerin oldukça farklı sonuçlar vereceği anlamına gelir.



Atmosfer temelde kaotik olmasına rağmen, belli başlangıç koşullarından hareketle hava rejimleri öngörülebilir. Bu başlangıç koşullarının neler olduğunu belirlemek için, seçilen bir noktaya çok yakın noktalardan hareketle yapılmış çok sayıda hava öngörüsüne gereksinim vardır.

Şekil 4, iki gerçekçi hava tahmini örneğine ait faz uzayının belli bir zaman dilimindeki gelişimini göstermektedir. Şekil 4a'da verilen başlangıç koşulları için yapılan tahminler çok az bir sapma göstermektedir. Bu durumda, seçilen başlangıç koşulları için öngörülebilirlik dolayısı ile tahminlerin güvenilirliği yüksektir. Şekil 4b'de ise birincisine yakın başlangıç koşulları durumunda belli bir zaman dilimi için yapılan tahminleri göstermektedir. Ancak bu durumda tahminler faz uzayının oldukça geniş bir bölgesine dağılmaktadır. Bu başlangıç koşulları dikkate alındığında, tahmin periyodu boyunca atmosfer kaotik durumdadır ve güvenilir tahmin yapılamaz.

Lorenz dinamik sistemi yalnızca üç değişkene diğer bir deyişle üç serbestlik derecesine sahiptir. Dolayısı ile gerçek atmosferin davranışını tam olarak açıklaması beklenemez. Bununla birlikte serbestlik derecesinin

arttırılması, gelecek bir kaç gün için yapılacak öngörülerin kalitesini de arttıracaktır. Günümüzde hava öngörüsünde kullanılan modellerin serbestlik derecesi yaklaşık bir milyon kadardır.

Buraya kadar daha ziyade orta enlem havası üzerinde duruldu. Dünyanın dönüşü nedeniyle ortaya çıkan koriolis kuvvetinin etkisi tropiklerde iyice zayıflar. Bu nedenle tropikler üzerindeki atmosferin dinamiği daha farklıdır. Tropiklerde kasırgalar ve musonlar gibi büyük ölçekli akışların kararsızlığından kaynaklanan hava sistemleri olmasına rağmen, bu sistemler orta enlemlerde olduğu gibi daha büyük ölçekli akışlar tarafından beslenmezler. Gerçekte, tropikal atmosferin büyük ölçekli davranışı, okyanus yüzeyinin sıcaklığı ile yakından ilişkilidir. Tropiklerde karşımıza çıkan önemli olaylardan biri olan El Niño, okyanus-atmosfer sisteminin oluşturduğu ortak dinamiğin bir sonucudur. Meteorolojistler El Niñonun dünya üzerinde oldukça geniş bir bölgeyi etkilediği konusunda hemfikirdir.

Atmosfer ve okyanus dinamiğinin birlikte göz önüne alınması durumunda, tropikal atmosferde küresel ölçekteki akışın mevsimlik öngörüsü mümkün olabilir. Diğer taraftan, El Niño ve sonuçlarının bir mevsim ilerisi için tahmin edilmesine yönelik bazı cesaret verici çalışmalar mevcuttur. Yakın bir gelecekte hava tahminçileri Afrika, Hindistan ve diğer tropikal bölgelerde mevsimlik yağışı öngörebileceklerdir. Bununla birlikte, kaosu en belirgin özelliği olan nonlineerlik ve kararsızlık, bu öngörülerde tamamen ortadan kalkmış değildir.

## **İKLİM VE KAOS**

Kaos, gelecek yüzyıldaki olası iklim değişiminin öngörülmesine engel midir? Bu sorunun cevabı “hayır” şeklindedir. Çünkü burada kastedilen öngörü yaklaşımı, daha önce bahsedilen öngörülerden oldukça farklıdır. Bu yaklaşımda amaç, iklim çekicisi üzerindeki bireysel bir yörüngenin öngörülmesi değil; örneğin sera gazlarının artması durumunda, bütün bir iklim çekicisinin şeklinin ve faz uzayındaki konumunun belirlenmesidir. Çok küçük bir tedirgeme durumunda iklim çekicisinin bundan etkilenip etkilenmeyeceği veya çekicinin bir bütün olarak şeklinde ve konumunda, günümüz ikliminde hiç görülmemiş tahrif edici bir hava durumunu işaret eden önemli bir değişimin olup olmayacağı vb. sorular meteorolojistlerin cevabını bulmaya çalıştıkları kritik sorulardır. Kaos teorisi iklim değişimi için erken bir karar verme konusunda bilim adamlarını uyarır. Tekrar Lorenz çekicisine dönersek, verilen bir yörüngenin keleşinin verilen bir kanadı üzerinde kaç kez tur attıktan sonra diğer kanada geçeceği önceden kestirilemez

Havanın öngörülemez olması, konunun dışında bir kimseyi karamsarlığa sevk edebilir. Ancak aynı sorun bir meteorolojist için konuyu ilginç ve eğlenceli bir çalışmaya dönüştürür. Bütün bunların ötesinde kaos, olaylar karşısında pes etmek ve herşeyi şansa bırakmak anlamına gelmez. Farklı disiplinlerin bir harmanı olan kaos bilimi, çağdaş bilgisayar teknolojisinin de yardımıyla, bizi kuşatan ve koruyan dünya atmosferinin davranışının kavranması bakımından, bugün olduğu gibi gelecekte de önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

## **KAYNAKLAR**

Lorenz, E.N. 1963: Deterministic nonperiodic flow, Journal of Atmospheric Sciences, 20, 130-141.

Percival, I. 1992: Chaos: A science for the real world, The Newscientist Guide to Chaos, Edited by Nina Hall, Penguin Books, pp. 10-21.

Palmer, T. 1992: A weather eye on unpredictability, The Newscientist Guide to Chaos, Edited by Nina Hall, Penguin Books, pp. 68-81.

Gleick, J. 1987: Chaos: Making a New Science, Viking Press, New York.