

KASIRGALARA HÜKMETMEK

Prof Dr. Adil Denizli
Araş.Gör. Lokman Uzun
Halil Erdoğan
Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü

Her yıl kuvvetli rüzgarlar toplayarak saatte 150 km'den fazla hızla esen fırtınalar tropik denizleri geçip kıyı şeritlerine gelerek yaşam alanlarını viraneye çevirmektedir. Kasırğa olarak adlandırılan bu fırtınalar, Pasifik ve Atlantik okyanuslarının güneyinde, tayfunlar, Pasifik Okyanusu'nun kuzeyinde ve siklonlar, Hint Okyanusu'nda ortaya çıktıklarında yaşam alanlarını etkileyerek binlerce insanın ölmesine ve milyarlarca dolarlık maddi hasara sebep olmaktadır.

Doğanın bu korkulu güçleri her zaman kontrolümüzün dışında mı olacaklar? Araştırmacılar kasırgaların daha az zararlı olabilecekleri rotalara nasıl yönlendirilebileceği ya da onları nasıl daha zararsız hale getirilebileceği konusunda araştırmalar yapmaktadırlar.

Bu cesur başkaldırının başanya ulaşması yakın dönemde mümkün görünmektedir. Fakat eldeki sonuçlar üzerinde çalışmak için çok da erken olmadığı düşünülmektedir.

Kasırgaları kontrol etmek için, araştırmacılar fırtınanın rotasını doğru olarak bilmeye, fırtınanın davranışını değiştiren fiziksel değişimleri saptamaya ve bu değişimleri kontrol edebilmek için çözümler üretmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu iş için henüz emekleme aşamasında olmakla beraber son birkaç yıl içinde ortaya çıkan başarılı kasırğa simülasyonları, kontrolün bir gün mümkün olabileceğini göstermektedir. Ayrıca atmosferin küçük uyarılara olan yüksek duyarlılığından dolayı, hava tahminini güçleştiren birçok şey incelenmekte olan fırtına

kontrol yöntemleri için ipucu olabilir. Örneğin, fırtınanın başlangıç koşullarında küçük değişiklikler yaparak kasırganın rotasını değiştirme yönündeki çalışmalardan olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kasırgaların dış müdahalelere niçin bu kadar açık olduklarını görebilmek için ilk önce doğalını ve kökenlerini anlamak gerekir. Kasırgalar tropikal okyanuslar üzerindeki gök gürültülü sağanak yağış kümeleri olarak büyürler. Tropikal denizler sürekli olarak deniz yüzeyinin üzerinde ılık nem üreterek atmosfere ısı ve rutubet sağlarlar. Bu hava yükseldiğinde içindeki su buharı bulutlar ve çökeltiler oluşturmak üzere yoğunlaşır. Yoğunlaşma, okyanus yüzeyinden suyun buharlaşması için alınan güneş ısısının tekrar salınma-

sına neden olur. Bu nedenle gizli yoğunlaşma ısı olarak bilinen bu ısı, havanın kendinden takviyeli geri besleme işlemi için oldukça yukan seviyelere çıkmasına neden olur. Sonuçta, tropikal depresyon, o tanıtık gözü-fırtınanın etrafında döndüğü o yatışkın bölgeyi meydana getirerek güçlenmeye ve organize olmaya başlar. Araştırmalarda, kasırgayı ayakta tutan sıcak su kaynağı kesildiğinde fırtınanın ani bir şekilde güç kaybettiği gözlenmiştir.

Kontrol Rüyaları

Kasırganın enerjisinin büyük bir kısmı, okyanus yüzeyleri üzerindeki ılık havanın yağmura ve bulutlara yoğunlaşması sırasında açığa çıkan ısıdan karşılanır. Bu, ele avuca sığmaz devleri evcilleştirmenin

hayalini kuran araştırmacılar, hava durumunu etkilemek için bulut-tohumlama-teknikleri üzerine odaklandılar. 1960'ların başlarında Amerikan Hükümeti tarafından görevlendirilen bilimsel danışmanlık heyeti "Fırtına Hiddeti Projesi" adı altında, bu yaklaşımın işe yarayıp yaramayacağını belirlemek için bir dizi deney gerçekleştirdi.

Fırtına Hiddeti Projesi; göz duvarının (göz etrafını çevreleyen yüksek rüzgarlar ve bulutlardan oluşan halka) dışındaki birinci yağmur bandındaki çökelmeyi artırarak kasırganın gelişimini yavaşlatmayı amaçlamıştı. Bunu başarmak için bulutları su buharının üstüne ulaştıktan sonra aşırı derecede soğumasıyla buz oluşumu için çekirdek teşkil edecek olan gümüş iyodürle tohumlama denenmişti. Her şey tasarlandığı gibi gitseydi, bulutlar okyanus yüzeyine yakın olan ılık ve nemli hava kaynaklarını tüketerek ve eski göz duvarıyla yer değiştirerek daha çabuk büyüyecekti. Bu süreç, gözün çapının, tıpkı yavaşlamaya çalışan bir kayacının kollarını uzatmasına benzer bir şekilde, kasırğa şiddetinin azalmasıyla gelişmesini sağlayacaktı.

Fırtına Hiddetinin sonuçları kaba tabiriyle şüpheliydi. Meteorologlar

bugün, bu özel bulut tohumlama uygulamasının kasırgalar üzerinde etkili olacağını düşünmemektedirler. Çünkü daha önceki inanışların tam tersine, fırtınalar az miktarda süper soğutulmuş su buharı içermektedirler.

Kaotik Hava

Bugünkü çalışmalar kaos teorisini temel almaktadır. Kaotik sistem, başlangıçta gelişigüzel davranıyormuş gibi gözükür, fakat gerçekte belli kurallar tarafından yönetilen bir sistemdir. Başlangıç koşullarına oldukça duyarlıdır. Önemli bir gözükür bu ayrıntı, sisteme yönlendirilen keyfi girdilerle tahmin bile edilemeyen sonuçların çabuk bir şekilde alınmasında büyük etkilere sahip olabilir. Kasırgalar söz konusu olduğunda ise, okyanus sıcaklığı, geniş ölçülü rüzgar akımları (fırtınanın hareketini sağlayan) ve hat ta göz etrafında dönen yağmur bulutlarının şekli gibi özellikler, bir fırtınanın potansiyel rotasını ve gücünü önemli derecede etkileyebilirler. Atmosfer zayıf etkilere karşı yüksek duyarlılığa sahiptir. Atmosferin bu özelliğinden faydalanılarak, bir kasırgaya hafif zorlamalar uygulanabileceği, onların yaşam alanlarından uzaklaştırılabileceği

Amerika'nın kasırgalar karşısında yenik düştüğünü, ABD Başkanı George W. Bush itiraf etti...

Fırtınanın başlangıç koşullarında küçük değişiklikler yaparak, kasırganın rotasını değiştirme yönünde ki çalışmalardan olumlu sonuçlar elde edilmiştir.



da bu gözlenebilir değişkenler üç boyutlu grid gösteriminde tanımlanmıştır. Böylece her bir özelliğin her yükselti için haritası çıkarılabilir. Modelciler bu değişkenlerin bütün grid noktalarındaki toplu hali "Model hali" olarak adlandırılır.

Model Hali

Uzun vadede bir hava tahmini yapabilmek için, bir sayısal hava durumu tahmin modelinin model halini sürekli olarak bir andan bir diğer ana taşır. Bu modeller her bir zaman aralığı süresince söz konusu bölgede meydana gelen birçok atmosferik özelliği beraberinde taşıyan rüzgar, buharlaşma, yağış yüzey sürtünmesi, kızıl ötesi soğuma gibi süreçlerin etkilerini hesaplarlar. Ne yazık ki, meteorolojik tahminler kusurludur. İlk olarak başlangıç model hali her zaman eksik ve hatalıdır. Doğrudan gözlemlerin azlığı ve zorluğu nedeniyle özellikle kasırgalar için başlangıç hallerini tanımlamak oldukça zordur. Çünkü kasırgaların karmaşık ve ayrıntılı yapıları sahip oldukları uydul bulut fotoğraflarından anlaşılabilir. Bu bulut resimlerinin oldukça kullanışlı olmalarına rağmen başlangıç halini tanımlamak için daha fazlasının bilinmesine ihtiyaç vardır. Buna ilave olarak, şiddetli tropik fırtınaların bilgisayar modelleri yapı itibarıyla hataya yatkındır. Örneğin, atmosfer sadece grid noktalarında modellenir. Grid uzunluğundan daha küçük özellikler ve komşu iki grid arasındaki uzaklık doğru olarak elde edilemez. Yüksek ayrıcılık olmadan kasırganın en önemli özelliği olan göz duvarının yakınlarındaki yapısı net bir şekilde açıklanamaz ve ayrıntılar net olarak elde edilemez. Bunlara ilaveten atmosfer gibi modeller katotik davranırlar ve hava tahmin



modellemelerinden gelen hatalar kaçınılmazdır.

Tüm sınırlamalara rağmen bu teknoloji, kasırgaları kontrol etmek için hala kullanışlıdır. Bu sistemin biraz daha gelişmiş bir şekli vardır: Dört Boyutlu –Değişimsel-Veri-Birleştirilmesi (4DVAR). İsminden de anlaşıldığı gibi dördüncü boyut zamandır.

Dünyanın en önemli meteoroloji merkezlerinden biri olan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'ndeki araştırmacılar hava durumunu tahmin etmede her gün bu teknolojiyi kullanmaktadır. Uydular, uçaklar ve balonlar tarafından toplanan gözlemlerin en iyi şekilde kullanılabilmesi için, hava durumu tahminine başlanmadan önce, 4DVAR bu ölçümleri atmosferik halin işlem görmüş ilk girdisi ile veri birleştirilmesi olarak adlandırılan bir işleme birleştirir. İlk girdi genellikle orijinal gözlemin altı saat geçiciliği olan bir tahminidir. 4DVAR, gözlemlerin her biri için onları uzun vadeli zaman aralıklarıyla birleştirmek için çok meydana geldikleri an için hesaplamalar yapmaktadır. İlk girdinin ve gözlemsel verilerin birleştirilmesinin sonucu, sonraki altı saatlik hava durumu tahmini olarak kullanılmaktadır. Teorik olarak, veri birleştirilmesi model gösteriminin gözlemlere uyumluluğunun ilk girdiye karşı dengelendiği optimal bir hava tahmin yaklaşımı üretir. Bu problem için istatistiksel teorinin açık ve net olmasına rağmen, teorinin doğru bir şekilde uygulanması için gereken yaklaşımlar ve kabuller sadece yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak pratik veri birleştirilmesi bir parça sanat bir parça da bilimdir.

Spesifik olarak, 4DVAR hem ilk girdiye hem de gerçek gözlemlere yakın olan ve model eşitliklerini sağlayan atmosferik hali belirlemektedir. Bu zor



görevi, söz konusu olan zaman dilimi içerisinde elde edilen gözlemler ve model simülasyonu arasındaki farkı temel alarak altı saatlik zaman diliminin başlangıcında orijinal model halini düzelterek başarmaktadır. 4DVAR özellikle, modelin duyarlılığını hesaplamak için bu farkları kullanır—Simülasyonların gözlemlere uygunluk derecesini hangi küçük ölçekli parametre değişimlerinin etkileyebileceğini hesaplar. Bu işlem hesaplama-düzeltilme modeli olarak adlandırılmakta ve altı saatten daha geniş zaman aralıklarında gerilime doğru işlemektedir. Daha sonra bir optimizasyon programı, gerçek kasırganın altı saatlik zaman aralığı içerisindeki gelişimine en yakın olabilecek özellikteki en iyi düzeltmeleri orijinal hali oluşturur.

Düzeltilme işlemi model eşitliklerinin yaklaşımı kullanılarak yapıldığı için, modelin düzeltilmesi ve optimizasyonu, simülasyonu ve karşılaştırmalarını içeren tüm süreç en uyumlu sonuçlar elde edilene kadar tekrarlanır. Bu işlem tamamlanırken, altı saatlik zaman aralığının sonunda elde edilen simülasyon koşulları bir sonraki altı saatlik simülasyon için ilk girdiyi oluşturur.

Geçmişte olmuş bir kasırganın simülasyonu yapıldıktan sonra, herhangi bir an için söz konusu kasırganın bir ya da birkaç karakteristik özelliği birden değiştirilebilir ve etkileri incelenebilir. Bu değişikliklerin birçoğunun kabaca işe yaradığı söylenebilir. Sa-

dece özel karakteristik etkilere sahip, fırtınanın yenilenmesini engelleyici özel bir yapı ya da model gibi oluşumların fırtına üzerinde büyük ve sarsıcı bir etkiye sahip olabilecekleri görülmektedir. Bunun ne anlama geldiği hakkında bir fikir sahibi olabilmek için içlerinden biri titreşen, diğer ise yatışkın olan bir çift diyapozon düşünelim. Eğer diyapozonlar farklı frekanslara tonlanırlarsa, yatışkın olan titreşmekte olan tarafından yayılan ses dalgaları ile ağır bir şekilde sarsılabilir, titreşmeyecektir. Fakat bu aletler aynı frekansları paylaşırlarsa yatışkın olan diyapozon diğerinin titreşimlerini sempatik bir rezonans hali ile uyum gösterecektir. Bu çalışmalardaki amaç, kasırga üzerinde, istenilen sonuçların elde edilmesini sağlayacak olan uygun uyarıları bulmaktır.

Fırtınayı Sakinleştirmek

Atmosferik sistem duyarlılığının kasırgalar kadar güçlü atmosferik olayları modifiye edilmesinde kullanılıp kullanılmayacağını anlamak için araştırmacılar 1992'de ortaya çıkan iki kasırgayı baz alan simülasyon deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İlniki kasırgası, 1992 yılının Eylül ayında Hawai Adaları'ndan geçmiş ve birçok insanın ölümüne, oldukça büyük maddi hasara ve orman alanlarının yerle bir olmasına neden olmuştur. Aynı yılın Ağustos ayında Andrew kasırgası Miami'nin doğusundan Florida'dan geçmiş ve bölgeyi viraneye çevirmişti..

Şaşılacak şekilde var olan hava tahmin teknolojilerinin eksikliklerine rağmen, ilk simülasyonlar orta derecede başarılı sayılabilir. İlniki'nin rotasını değiştirmek için ilk olarak fırtınanın altı saat sonra sona ermesini istediğimiz yer belirlenmiştir. Belirlenen rotanın 60 km kuzeyi kadar bir sapma göstermiştir. Daha sonra yapay gözlemler üretilmiş ve 4DVAR kullanılarak hesaplamalar tekrarlanmıştır. Bilgisayar, kasırganın hedef konuma yönelmesini sağlayacak olan anahtar özelliklerini başlangıç halinde en küçük değişiklikleri bile hesaplayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ilk denemelerde, fırtına sisteminde yapay değişikliklerin oluşmasına izin verilmiştir.

Denenebilen en önemli modifikasyonlar ise başlangıç sıcaklıkları ve rüzgarlar üzerinde olmuştur. Tipik sıcaklık ayarlamalarının en önemli sonucu fırtına modelinin en düşük seviyeli tabakasında yaklaşık 2°C'lik bir artışın meydana gelmesine sebep olmuştur. Hesaplamalar rüzgar hızında saatte iki ya da üç millik bir artışın meydana geldiğini göstermiştir. Sadece birkaç konumda fırtına merkezine yakın olan rüzgarların yeniden yönelmesinden dolayı hızlarında saatte yirmi mil kadar bir artış meydana gelmiştir.

İlniki kasırganının orijinal ve geliştirilmiş modelleri yapısal olarak hemen hemen aynı olmalarına rağmen, anahtar değişkenlerdeki değişimler simülasyonun ilk altı saat için değişmiş şeklinin önce kuzeye daha sonra da



ışımaların atmosfer tarafından absorplanmayan frekanslarda ışımlar yaparak enerjinin boşa harcanmasını önleyecek şekilde tasarlanabilirler.

Hava durum kontrolü için ise, mikrodalga iletimini farklı frekanslarda yaparak atmosferin farklı katmanlarında bulunan su buharı için daha iyi absorpsiyon sağlanabilir. Yağmur bulutları mikrodalgaları kuvvetli şekilde absorpladıkları için, kasırganın

içindeki ve yağmur bulutlarının altındaki bölgeler bu şekilde perdelenmiş olacak ve bu yolla ısıtılmamış olacaklardır.

Daha önceki çalışmalarda, 4DVAR mikrodalga ısınmasının gözlenmediği bölgelerde de büyük sıcaklık değişimlerinin meydana geldiği belirlenmiştir. Bu yüzden optimal pertürbasyon süresince kasırga merkezindeki sıcaklığın sabit kaldığı bir deney gerçekleştirilmiştir. En son sonuçlar, kasırga merkezinde başlangıç sıcaklığındaki değişiklikleri göstermeyi telafi etmek için diğer sıcaklık değişimleri oldukça büyük olacak şekilde toplanmıştır. Simülasyon süresince özellikle fırtına merkezi etrafında ani sıcaklık değişimleri ortaya çıkmıştır.

Şiddetli tropik fırtınaları kontrol etmenin bir diğer potansiyel yöntemi ise okyanus yüzeyinin buharlaşmayı yavaşlatan ve biyolojik olarak indirgenebilen bir ince yağ tabakasıyla kaplanarak enerji sağlanmasının doğru sınırlandırılması olabilir. Kasırgalar ulaşacakları son noktadan binlerce mil uzaktan bile etkilenebilirler. Hava basıncı değiştirilerek, kasırganın rotası üzerinde büyük etkilere sahip olabilen jet-akım seviyesindeki rüzgarların yapılarında değişikliklerin meydana getirilmesi sağlanabilir.

Kontrol Etmeyi Başarırsak Nefer Olabilir?

Eğer meteorolojik kontrolün gerçekte işe yaradığı anlaşılırsa, ciddi politik problemlerin ortaya çıkması da olasıdır. Eğer kasırga üzerinde yapılan değişikliklerle, kasırga başka bir ülkeye zarar verirse ne olur? Hava durumu kontrolünün bir silah olarak kullanımının 1970'lerin sonlarına doğru Birleşmiş Milletler Kongresi tarafından yasaklanmış olmasına rağmen, bazı ülkeler bu konuda kendi vicdanlarıyla baş başa bırakılabilirler. Tüm bu endişe verici olaylar baş göstermeden önce bu yöntemlerin kasırgalar dışında kalan başka atmosferik olaylara da uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmaların önce yağış miktarının kontrolü için kullanılacağı düşünülmektedir. Bu yaklaşımın daha sonra sensörlerle donatılmış küçük ölçekli hedefli amaçlı met vermek üzere kullanılması planlanmaktadır. Eğer bulut fizikine olan bakış açısı, bulutların bilgisayar simülasyonları, veri birleştirme teknikleri umut edildiği kadar hızlı ilerlerse bu çalışmalar 10 ya da 20 yıl içinde hayata geçebilecektir.

Uzaydan ısıtma sistemini kullanarak daha büyük ölçekli hava kontrol sistemlerinin oluşturulma çabaları tüm dünyaya uluslararası bir anlayışla hizmet edeceği amaçlar olacaktır.

Kaynakça: Scientific American, Ekim 2004. ©

güneye hareket etmesini sağlayacak kadar büyük olmuştur.

Bir sonraki denemede, geliştirilmiş kod kullanarak Andrew kasırgası Florida kıyılarına vurduğu zaman ortaya çıkan yüzey, rüzgar zararını sınırlandırmak için gereken sıcaklık artışı hesaplanmıştır. Ayrıca, başlangıç sıcaklık pertürbasyonu minimumda tutularak ilk altı saatlik zaman aralığının son iki saatinde ortaya çıkan en yıkıcı rüzgarlar hafifletilmiştir. Bu denemede 4DVAR, fırtına gözünün yakınlarında en mükemmel sıcaklık değişimlerini belirleyerek rüzgar zararını sınırlandıracak en iyi yöntemi belirlemiştir. Burada simülasyon birkaç konumda iki ya da üç derecelik sıcaklık değişimleri üretmiştir. Bu da fırtına gözünden 500-600 mil kadar uzakta daha düşük sıcaklık değişimleri yapılarak başarılmıştır. Bu pertürbasyon özelliği ısınma halkalarının sıra sıra ve kasırga merkezinde bir soğutucu bölgenin olduğu dalgamsı yapısından kaynaklanmaktadır. Başlangıçta sadece sıcaklığın değiştirilmesine rağmen, diğer anahtar değişkenler çok kısa bir zaman sonra bundan etkilenmiştir. Simüle edilmiş kasırga ile orijinal kasırga karşılaştırıldığında, orijinalde altı saat sonunda yıkıcı rüzgarlar, Doğu Florida'daki yaşam alanlarını vurmuştu, fakat değiştirilmiş modelde böyle bir şey meydana gelmedi.

Bu sonuçların sağlamlığının denemesi amacıyla aynı pertürbasyon, bu modelin daha ileri ve yüksek ayrıncılık bir şekline uygulanmıştır. Böylelikle, uygun model konfigürasyonunu seçimine orta derecede duyarız olduğunu gösteren sonuçlar elde edilmiştir.

Kim Yağmuru Durdurabilir?

Sonuçlar kasırganın iç yapısında ya da çevre dokusunda yapılan küçük sıcaklık değişimleriyle rotasının belirlenen bir güzergaha doğru değiştirilebileceği ya da rüzgar hızının azaltılabileceğini göstermiştir. Bundan sonraki asıl problem gerçekleştirilebileceğidir. Hiç şüphesiz kasırga boyutundaki durumlarda böyle bir değişiklik anında yapılamaz. Bununla beraber bir kasırga etrafındaki havayı ısıtarak sıcaklığın zamana göre ayarlanması da mümkün olabilir.

Araştırmacılar, kasırganın şiddetini azaltmak ya da rotasını değiştirmek için gerekli atmosferik ısınmanın kesin şekli ve gücü belirlenmesi ile ilgili deneyler planlanmaktadır. Hiç şüphesiz, böyle bir iş için gereken enerji de oldukça büyüktür. Sonuç olarak dünya-yörüngeli güneş enerji istasyonları bu iş için kullanılabilir. Bu enerji üreten uydular dev aynalar kullanarak güneş enerjisini solar hücrelere odaklayabilirler ve toplanan enerji zemindeki mikrodalga alıcılara aktarılabilir. Uzay güneş enerjisi istasyonları, söz konusu