

Matematik, Fizik ve Mühendislikte Tekil Dalgalar

Dalgalardan söz açılınca çoğumuzun bir yorumu ve aklımıza takılan çeşitli sorular vardır.

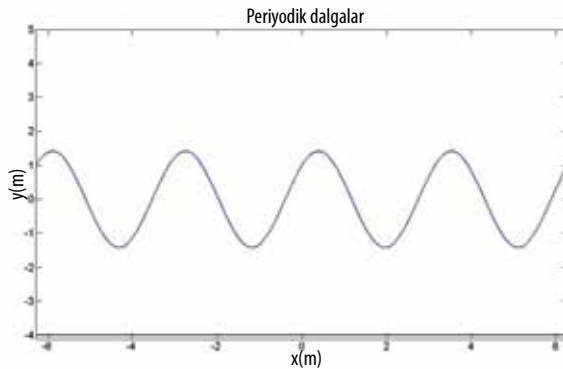
Bazılarımız denizi izleyişini anlatır, bazılarımız lisede yaptığı ışık deneylerini. Ses tellerinin ve kulağın çalışma ilkeleri hepimizde merak uyandırır. Telli ve vurmali müzik aletleri hangi koşullarda istediğimiz tınıyı üretir? Sıkışık trafikte otomobilimizi kullanırken önümüze çıkan bir engel, arkamızdaki trafiğin akışını nasıl değiştirir? Şanslıyız ki dalgalar ve dalga kuramı bilim tarihinin her sayfasında kendisine yer edinmiş ve birçok benzer soru büyük bilginlerce de sorulmuştur.

Ses, ışık ve benzeri birçok niteliğin anlaşılması ve tahmin edilmesi ancak hareketi açıklayan denklemlerle yani matematik modelleriyle mümkündür. Bu denklemler genelde türevsel denklemlerdir. Dalga kuramı, denklem tiplerine göre iki genel başlık altında incelenebilir. Bunlar doğrusal ve doğrusal olmayan kuramlardır. Herhangi bir yakınsama yapılmamış denklemlerin çözülmesi zor olduğundan belirli koşullar altında denklemlerde yakınsamalar yapılır veya bazı kısımlar göz ardı edilir. Yani doğrusal olmayan türevsel denklemler doğrusallaştırılır. Doğrusallaştırılan denklemlerden elde edilen çözümler çoğumuzun bildiği en basit trigonometrik fonksiyonlar olan sinüs ve kosinüsler cinsindedir. Bunlar doğrusal-periyodik dalgalar olarak da adlandırılır.

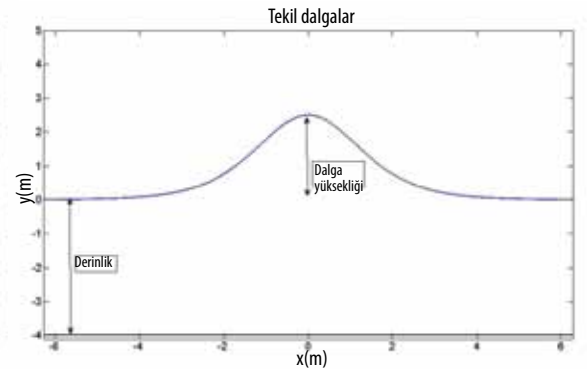
Doğrusal olmayan türevsel denklemlerin dalgaları açıklayan çözümleri ise hiperbolik sekant, Jakobi'nin cn , sn ve dn fonksiyonları gibi daha karmaşık çözümlerdir. Tekil dalgalar ise doğrusal olmayan dalga kuramının bir parçasıdır.

Tekil dalgaların tarihi Ağustos 1834'te başladı. İskoç mühendis John Scott Russell Edinburgh yakınındaki bir kanalda gezinti yaptığı sırada "ilerleyen büyük bir su kütlesi" olarak tanımladığı bir dalganın, yüksekliğinde ve şeklinde görülebilir bir değişme olmaksızın 2 km kadar ilerlediğini tespit etti. 10 yıl sonra Russell bu tespitini İngiliz Bilim İlerleme Kurumu'na rapor etti. Ünlü hidrodinamik bilgini Airy'nin 1845'te yayımlanan eseri Gelgit ve Dalgalar'daki ifadesiyle "dalga yüksekliğinin su derinliğine oranla küçük olmadığı durumlarda, her dalga şekil değiştirerek ilerler" saptamasına aykırı olan bu örnek, Airy'nin bu konudaki düşüncelerinin yanlışlığını gösteren bir kanıt oldu.

John Scott Russell'in gözlemi kuramsal olarak 1895'te Hollandalı iki matematikçi Korteweg ve deVries tarafından ispatlandı ve elde ettikleri denklem Korteweg-deVries denklemi olarak kabul gördü. Bu gelişmeden sonra yaklaşık 70 yıl süreyle tekil dalgalar kuramında kayda değer bir gelişme olmadı. 1962 yılında kuantum mekaniği, manyetizma kura-



Şekil 1. Doğrusal periyodik dalgalara bir örnek



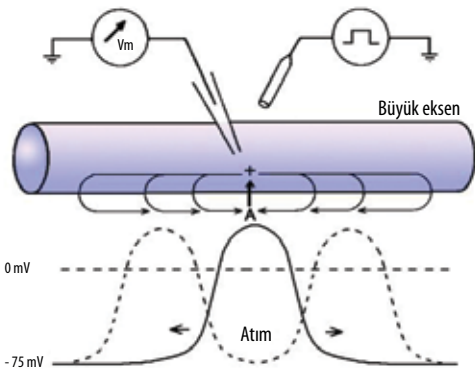
Şekil 2. Tekil dalgalara bir örnek ve özellikleri



Şekil 3. Russell'ın gözleminin tekrarlanması

mı, süperiletkenlik, optik ve türevsel geometri alanlarında karşılaştığımız sinüs-Gordon denkleminin tekil dalga çözümünün bulunmasıyla birlikte araştırmacıların ilgisi tekrar bu alana odaklandı. Kruskal ve Zabusky 1965 yılında bilgisayar yazılımıyla Korteweg-deVries denklemi üzerine gerçekleştirdikleri deneyler sayesinde, iki tekil dalganın çarpışmasının iki atom parçacığının çarpışmasına eşdeğer olduğunu yani çarpışma sonucunda iki dalganın da çarpışma öncesi özelliklerini, şekillerini ve yüksekliklerini koruduğunu gözlemlerler. 1972 yılında Zakharov ve Shabat kuantum kuramında, hidrodinamik ve plazma fiziğinde büyük önem taşıyan, doğrusal olmayan Schrödinger denkleminin de tekil dalga biçiminde çözümlerinin olduğunu gösterdiler. Hidrodinamik alanında tekil dalga modelleri, askeri kara çıkarmaları, dalgaların gemi ve deniz inşaatlarına etkilerinin saptanmasının yanı sıra sualtı akustik çalışmaları ve elektromanyetik dalgaların deniz yüzeyinden yansımaları için de büyük önem taşıyor. Ayrıca kıyı hattını tehdit eden tsunamilerin modellenmesi ve erken uyarı çalışmaları için de tekil dalga modelleri akla ilk gelen yöntemlerdir.

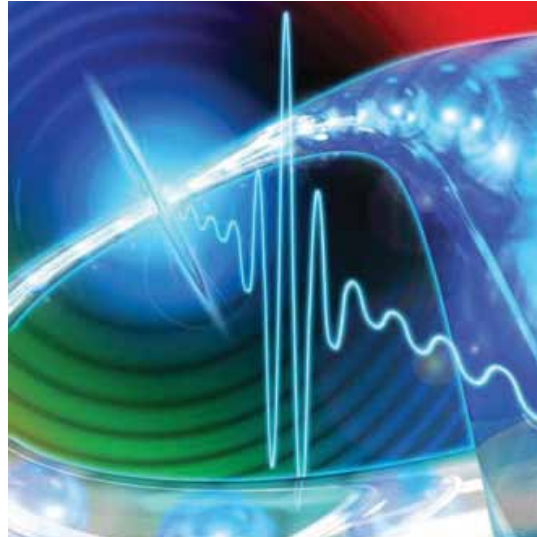
1972 yılında Hasegawa ve Tappert doğrusal olmayan Schrödinger denkleminin, tekil dalga çözümlerinin optik kablolardaki ışığın iletilmesinde kullanılabileceğini gösterdiler. Optik tekil dalgaların varlığı



Şekil 4. Optikte tekil dalgalar

ğı ise ilk olarak 1980 yılında Bell Laboratuvarları'nda gözlemlendi. Hasegawa ve Tappert'in önerisini takiben günümüzde optik iletişim teknolojisi önemli ölçüde ışığın ve dolayısıyla bilginin tekil dalgalar şeklinde iletilmesi fikrine dayanmaktadır.

Tekil dalgalar biyoloji çalışmalarında ise sinir sistemindeki uyarı iletimini açıklamak için kullanılmaktadır. Sinir hücrelerinde tekil dalga şeklinde olan iyon akışı Hodgkin ve Huxley tarafından ortaya konulan kuramla modellendi ve büyük ilgi toplayan bu çalışma 1963 Fizyoloji veya Tıp Nobel Ödülü'nü bu iki isme kazandırdı. Yine bu konuya açıklık getirmek amacıyla ortaya konulan Fitzhugh-Nagumo denklemi tekil dalga şeklinde olan çözümleriyle sinir sisteminde uyarı iletilmesi araştırmalarına ışık tuttu. Hodgkin-Huxley ve Fitzhugh-Nagumo denklemleri telgraf iletişimini açıklayan klasik telgraf denklemleriyle de ilintilidir.



Şekil 5. Sinir hücresi modeli ve tekil dalga ilerleyişi

Bilim tarihi boyunca gözlem ve deneylerle tetiklenen araştırmalar, kuramların genişletilerek yenilenmesine neden oldu ve olmaktadır. Doğrusal olmayan dalga kuramının kullanımı ile önem kazanan tekil dalga araştırmaları, birçok matematik, fizik ve mühendislik probleminin aşılmasını sağladı. Tekil dalga araştırmaları önemini ve hızlı gelişimini gelecekte de koruyacağına benziyor.

Kaynaklar

Ablowitz, M. J. ve Segur, H., *Solitons and Inverse Scattering Transform*, SIAM, 1981.
Drazin, P. G. ve Johnson, R. S., *Solitons: An Introduction*, Cambridge University Press, 1989.
Engelbrecht, J., *An Introduction to Asymmetric Solitary Waves*, John Wiley & Sons Inc., 1991.

<http://www.ceptualinstitute.com/genre/scott/solitoncanalAS.htm>
http://www.ofcfoec.org/media_center/ofc_releases/2009/09release3_clip_image002.jpg
http://electroneubio.secy.gov.ar/Electric_processes_in_neurons.htm



2007'de Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Yüksek lisans derecesini Delaware Üniversitesi kıyı ve okyanus mühendisliği bölümünden 2009'da aldı. Georgia Teknoloji Enstitüsü'nde inşaat mühendisliği bölümü hidrolik kürsüsünde doktora çalışmalarına başlayan Cihan Bayındır bu çalışmalarının yanı sıra aynı üniversitede elektronik ve bilgisayar mühendisliği bölümünde sinyal işleme dalında yüksek lisans derecesi için çalışmalarını sürdürmektedir.