

ZAMANI GERİ DÖNDÜREN AYNA

Dr. Hanaslı GÜR

- Işık ışınları kendi yolları üzerinden geri gönderilirse, zamanın yönü "ters döner". Şimdiden, bu ilkenin, "Süperlaser"lerin yapımı, bilgi iletişimi ve fotoğrafların kalitesini geliştirme gibi sonsuz sayıda sivil ve askerî uygulamaları olacağı öngörülüyor.



Son zamanlarda bulunan yeni bir tür ayna, verdiği oldukça şaşırtıcı sonuçlarla, ABD'nin stratejik savunma girişimlerinde, ya da başka deyimle, "Yıldız Savaşları"nda uygulama alanı bulabilecektir.

Önce, aynanın ne olduğunu fiziksel bakımdan ele alalım. Bu terim, ışığı yansıtan ve katı, sıvı, hatta gaz olabilen her ortam için kullanılır. Ayrıca bu yazıda ilgileneceğimiz durum için de geçerlidir.

Yazımızda inceleyeceğimiz ayna, evlerimizdeki aynalardan birçok yönden farklıdır. Aslında, sıradan aynaların işleyişi, fizikçiler için artık sır olmaktan çıkmıştır. Işığın aynadan, duvara çarpan bir top gibi geri döndüğünü biliyoruz; başka deyişle, ayna yüzeyine herhangi bir açı ile çarpan bir ışık ışını, ayna yüzeyine dik bir eksene göre yine aynı açı ile yansır.

Oysa yeni tür aynanın yepyeni bir davranışı vardır. Işığı başka bir doğrultuda yansıtmak yerine, onu

kendi geliş doğrultusu üzerinde yansıtır; ayrıca, özelliklerini de değiştirir. Böylece ışık demetindeki kimi kusurlar düzeltilebilecek, hatta yansımadan sonra, öncekinden çok daha fazla enerji elde edilebilecektir. Uzmanlar, bu sisteme *faz eşlenikleme aynası* adını vermişlerdir.

Bu terimin anlamını ortaya çıkarmak için, küçük bir geri dönüş yaparak, ışığın doğasına bakmak gerekir. Işığın, iki farklı görünüme bürünebildiğini biliyoruz. İncelenmiş olan çeşitli olayların gösterdiği gibi, ışık ışınlarını, *foton* denen parçacıklardan oluşan bir demete (ışığın *parçacık türü* doğası) ya da radyo dalgaları ve X-ışınları gibi elektromanyetik dalgalara (ışığın *dalga türü* doğası) benzetebiliriz. Işığın dalga özelliklerinden biri, onun frekansı, yani saniyedeki titreşim sayısıdır; ışığın frekansı radyo dalgalarından, görünür ışığa, sonra morötesine ve en sonra da X-ışınlarına giden bir sırayı izleyerek büyür.



İşık ışınlarındaki bozulmaları düzeltmek, faz eşleniklemeye aynasının başlıca uygulamalarından biridir. Küçük resimde: Bir kedinin, normal bir aynadan yansıyan görüntüsü. Yanında: Faz eşleniklemeye aynasından yansıyan görüntüde, daha iyi bir netlik elde edilmiştir. Ortada: Işık ışınlarının yolu üzerine sapırtıcı bir



ortam konulursa, görüntü tümüyle bozulur. En sağda: Bir faz eşleniklemeye aynası, ekran üzerinde yenden çok net bir görüntü oluşmasını sağlamıştır, sapırtıcı ortamdan ileri gelen tüm bozukluklar düzeltilmiştir.

Bir tek değil, birçok ışık dalgası birarada olduğu zaman bir problem ortaya çıkar; bu durumda, fizikçilerin, her dalganın titreşimleri arasındaki *faz kayması* denen gecikmeyi belirlemeleri gerekir. Her elektromanyetik dalganın titreşimleri her an birbirlerine ekleniyorsa, ya da başka deyimle, titreşimler kendi maksimum ve minimumlarına aynı anda ulaşıyorlarsa, böyle titreşimlere "*aynı fazdadır*" denir; bu, görünür ışık için çok aydınlık bir noktaya karşılık gelir. Tersine olarak titreşimlerden biri kendi minimumuna ulaştığında, öbürü kendi maksimumuna ulaşıyorsa, böyle titreşimlere ise "*karşıt fazdadır*" denir; böyle iki dalga her an birbirlerine karşıttır, etkileri birbirlerini yok eder ve birlikte ulaştıkları nokta karanlık olur.

Şimdi yazımızın konusu olan aynaya dönelim ve ışıkla ilgili davranışını gözlemleyelim: Aynamıza bir ışık ışını gönderilsin; ışın, hangi geliş açısı ile olursa

olsun, tıpkı duvara dik olarak çarpan bir top gibi, kendi üzerine yansyarak geri dönecek ve başlangıçtaki yörüngesini izleyecektir.

Bu olay, bu özelliği ile, kendi başına oldukça şaşırtıcıdır; ancak deneyimlerimiz arttıkça, şaşırtıcı olayların bu kadarla bitmediğini göreceğiz. Silindirik biçimli bir demet görünümünde olan bir laser ışını göndermek yerine, bildiğimiz ışık gibi davranan, yani bir koni oluşturacak biçimde iraksayan bir ışın gönderelim. Gelen dalganın fazı ters çevrilir ve yansıyan ışın gelene göre tümüyle ters döner. Yansıyan dalgaya gelen dalganın *eşleniği* adı verildiğinden, ele aldığımız sisteme de *faz eşleniklemeye aynası* denir.

Sonuçta ışık ışınının ilk durumu yeniden elde edildiğinden, fizikçiler, zamanın "geri döndüğünü" ya da ters döndüğünü söylerler. Böyle bir özelliğin geniş bir uygulama alanı olacağını bekleriz. Örne-

ğın, bir uydudan gönderilen bir laser ışını düşünelim. Açıkça bellidir ki, atmosferdeki düzensizlikler, ışın özelliklerini, Dünya'ya ulaşmasına dek değiştireceklerdir. Oysa bu ışın iletişimi sağlamak için kullanıldığından, haberin niteliğini korumak da önemlidir; öyleyse, bu düzensizliklerden kurtulma yollarını aramak gerekir. İşte, uydular ya da optik lifler gibi yeni iletişim teknikleri alanında çalışan uzmanların açıkladığına göre, faz eşlenikleme aynası bu amaç için çok uygundur. Deneyler, atmosferdeki 200 m'lik bir yolun sonunda oluşan bozuklukları düzeltmenin, şimdiden, teknik olarak mümkün olduğunu göstermiştir.

FAZ EŞLENİKLEME ARAŞTIRMALARININ TARİHÇESİ

Faz eşlenikleme konusunun sonsuz sayıda uygulamaları, günümüz fiziğinin en canlı alanlarından birini oluşturmakta, birçok sanayi ve askerî laboratuvarlarda araştırılmakta ve her yıl bu alanda yaklaşık yüz makale yazılmaktadır. Ancak, bu alandaki çalışmalar başlangıçta biraz yavaş yürümüştür.

1970 tarihini taşıyan ilk deneyde Sovyet araştırmacısı Boris Zel'dovich, bir gaz içinde bir eşlenik dalga üretmeyi başarmıştır. O sıralarda, bilim çevreleri bu buluşla hiç ilgilenmemişler ve konu kapanmıştır.

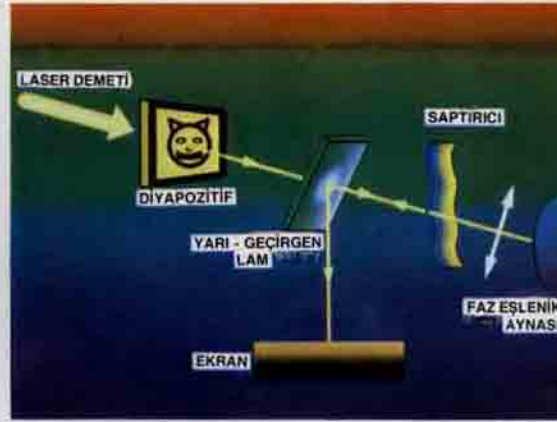
Faz eşlenikleme konusuna ilginin yeniden doğması için, 1977 yılını beklemek gerekmiştir. Aynı hafta içinde, Los Angelesli iki araştırmacı olan Robert Hellwarth ve Amnon Yariv, birbirlerinden bağımsız olarak, olayın kuramsal geçerliliğini kanıtlamışlar ve hatta, faz eşlenikleme aynalarının bozulmuş ışık ışınlarını düzeltmek için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, Yariv, kendi makalesinde, bu aynaların çoğaltma gücünü ortaya çıkarmıştır: Yansıyan ışık, gelen ışıktan daha çok olabilir.

O zamandan beri, bu çok özel aynalarla ilgili, hepsi birbirinden ilginç pek çok özellik bulunmuştur. Fransa'da bu konuda çalışmaların yapıldığı ilk laboratuvarın 1980'de Villetaneuse Üniversitesi'nde açılmasını, 1982'de Pierre et Marie Curie Üniversitesi'nde açılan laboratuvar izlemiştir.

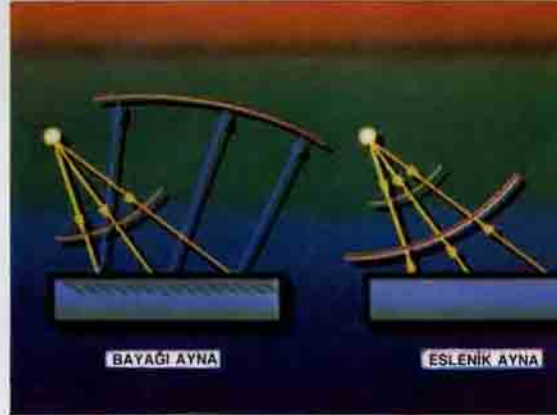
YENİ AYNANIN İŞLEYİŞİ

Aynayı oluşturan ortama (katı, sıvı ya da gaz olabilir), "pompa dalgalan" denen iki başvuru laser demeti gönderilir. Bunların kaşımı olan demete, "sondaj demeti" denen herhangi bir laser demeti gönderilirse, başvuru laserleri son gönderilene etki edecek ve eşlenik demeti oluşturacaktır.

Demetlerin nasıl etkileştiğini anlamak için, her dalganın fotonları düzeyinde neler olup bittiğine bakmak gerekir. Birçok dalga bir ortamda karşılaştıkları zaman, foton değiş tokuşu yaparlar: Toplam enerji



Işık ışınlarının düzeltilmesinde faz eşlenikleme aynasının görevini açıklamaya yarayan kurgu. Bir kedi görüntüsünün bulunduğu bir diyapozitif, bir laser demeti ile aydınlatılmıştır. Yarı-geçirgen bir lamdan geçen görüntü yansımak üzere bir aynaya gelir. Dönüştürme, bu görüntü yarı-geçirgen lamdan yansır ve ekran üzerinde yeniden elde edilir.



Iraksayan bir demet üzerinde, normal bir ayna ile faz eşlenikleme aynasının etkilerinin karşılaştırılması. Normal aynanın, demeti basitçe yansıtmasına karşılık, faz eşlenikleme aynası, geliş açısı ne olursa olsun, geriye yakınsayan bir demet gönderir.

korunacak biçimde, fotonların bazılarını soğurulur, bazıları da yayınlanır. İncelediğimiz durumda ise, gaz içine bir sondaj demeti gönderildiği zaman, başvuru demetlerinden her birinin birer foton yitirdikleri ve sondaj demetinin ise ek bir foton kazandığı görülür.

Ancak, her fizik deneyinin belirli temel ilkelere ve özellikle enerji korunumu ilkesine uyması gerekir. Burada ise, bu ilkeye uymanın tek koşulu, iki foton soğurulmasına iki foton yayınlanmasının eşlik etmesidir. Bunlardan birinin sondaj demetinde yayınlandığını görmüştük; ikincisi ise, eşlenik foton olacaktır. Eşlenik fotonların topluluğu da, yansıyan ya da eşlenik demeti oluşturacaktır. İşte, faz eşlenikleme aynasının temel ilkesi budur.

Bu arada, kuantum mekaniği yasalarına da bir göz atalım. Bir fotonun soğurulması sırasında, fotonun enerjisi ortamın atomlarınınca soğurulur. Atomlar, enerjileri iyice belirli olan kesikli enerji düzeylerinde bulduklarından, yalnızca, tam olarak iki enerji düzeyi arasındaki farka karşılık gelen belirli enerji miktarlarını soğurabilirler. Aslında bu, yalnızca kararlı düzende (zamanla değişmeyen) tam doğrudur.

Öte yandan, fotonun taşıdığı enerjinin, ışık dalgasının frekansına bağlı olduğunu biliyoruz ($E_{\text{fot}} = h \nu$; burada $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ joule —s, Planck sabiti, ν ise, ışığın frekansdır). Böylece, ayna olayı yalnızca belirli bir frekansın yakınlarında oluşabilir. Ayrıca, aynayı oluşturan madde de, belli bağ koşullarına uyabilir.

"GERÇEK ZAMANDA" HOLOGRAFI

İki dalganın üstüste gelmesinin girişimlere yol açtığını biliyoruz; öyle ki, iki titreşimin birbirine eklenmesi ile (aynı fazda titreşimler) aydınlık ve iki titreşimin birbirini söndürmesi ile (karşıt fazda titreşimler) de karanlık çizgiler oluşur. Kısacası, aydınlanma şiddetleri, iki dalga arasındaki faz kaymasına bağlı olan noktalar gözlemlenir.

Holografide, bu olaydan yararlanır. Bir laser demeti ikiye ayrılarak, elde edilen demetlerden biri bir fotoğraf filmine gönderilir; öbürü ise, fotoğrafı çekecek cismi aydınlatır.

Böylece, fotoğraf filmine doğrudan gelen demet ile cisimden yansarak gelen arasında, cismin biçimine bağlı olarak çeşitli faz kaymaları oluşur ve özel bir girişim deseni elde edilir. Bu girişim deseninin fotoğraf filmi üzerindeki kaydına *hologram* denir. Acaba cismin görüntüsü nasıl elde edilebilecektir? Kayıt için kullanılan benzer bir laser demeti yardımıyla, fotoğraf filmi yeniden okumak gerekecektir. Laser demeti, girişim deseninin çeşitli bölgelerinden farklı biçimde yansıtılacağından, yansıyan laser demetinin çeşitli kesimlerine bakılarak, hologramı alınan cisim, çeşitli yanlarından görülebilecektir. Öyleyse bir cismin hologramını almak, onun üç-boyutlu bir görüntüsünü sağlar.

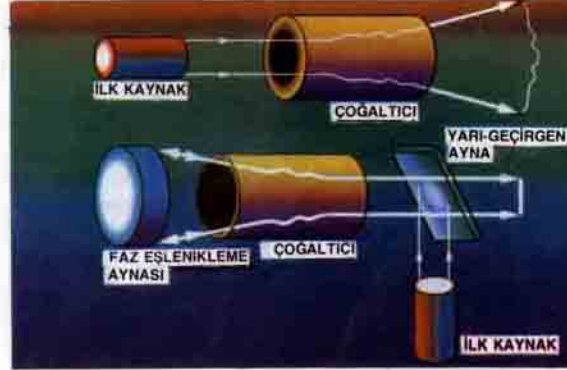
Şimdi yeniden özel aynamıza dönelim. Bir cismin yansıttığı ışık, bir faz eşlenikleme aynasına gönderilirse, bu demetin ilk başvuru laseri ile üstüstegelmesi ve karanlık bölgeler oluşturacaktır.

Bir de ikinci başvuru ışınına bakalım. Girişim deseninin çeşitli bölgelerinden farklı biçimde yansıyarak, hologramın okunuşunu etkileyebilir mi? Cevap evettir; çünkü faz eşlenikleme aynasında, bir gaz içinde yer alan bir hologram söz konusudur ve bu hologram her an değişir (örneğin, gelen demetin hareketli bir cismin görüntüsü gibi bir bilgi taşıdığını düşünelim). Burada, cismin görüntüsü ile ilgili tüm

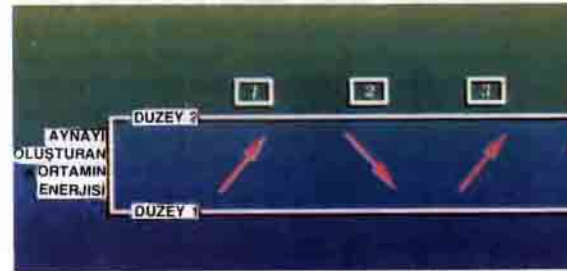
bilgiyi, eşlenik dalga taşımaktadır. Özellikle, zaman içinde cisim üzerinde oluşan tüm değişiklikler, her an eşlenik dalgada okunacaktır. Böylece, bir fotoğraf filminin aracı olarak kullanıldığı holografinin tersine, bu yeni yöntemle, bir tür "dinamik hologram" elde edilmiş olur.

GELECEKTEKİ UYGULAMALARI

En basit süreçler (fizikçilerin *çizgisel* dedikleri), ortamın bir tek foton soğurup bir tek foton yayınladığı süreçlerdir. Oysa eşlenik demetin oluşum sürecinde, ortam, pompa dalgalarından iki foton soğurur ve iki tane de yayınlar (biri gelen demetin,



Faz eşlenikleme yöntemi, laserlerin niteliklerinin düzeltilmesini de sağlar. Şiddeti zayıf bir ışın demeti çoğaltıcı bir ortamdan geçirilerek, güçlü bir ışın demeti elde edilir. Ancak, güçten kazandıkça, doğrultudan yitirilir. Çoğaltıcı ortamın çıkışına bir faz eşlenikleme aynası yerleştirilirse, ışın demeti, gelirken taşıdığı ile aynı bozukluklara yeniden uğrayarak kendi üzerine geri döner. Böylece tüm bozukluklar düzeltilerek hem güçlü, hem de doğrultusu tam belirli bir demet elde edilir.



İlk demetin bir fotonu, aynanın bir atomunca soğurulur. Bu atomun enerjisi Düzey 1'den Düzey 2'ye geçer. Ayna, yeniden sondaj demeti içine bir foton yayınlar; enerjisi yeniden Düzey 1'e düşer. Başvuru demetlerinden ikincisinin bir fotonu ortamın bir atomunca soğurulur; enerji yeniden Düzey 2'ye çıkar. Enerjinin korunması gerektiğinden yeni bir foton yayınlanır. Momentumun korunumu koşulunu sağlamak için ise, fotonun yayınlanma yönü sondaj demetindekinin karşıtı olmalıdır; bu nedenle bu fotona eşlenik denir. Eşlenik ışın ise, tüm eşlenik fotonların "toplama"dır.

öbürü eşlenik demetin içinde). Dolayısıyla, fizikçilerin çizgisel olmayan dedikleri bir etki söz konusudur.

Tasarlanan ilk uygulamalardan biri, "süperlaserler" in yapımıdır. Gerçekten güçlü ve doğrultusu iyice belirli laserlerin kullanılması gereken çok büyük sayıdaki laboratuvar ve sanayi, şimdiye dek, içinden çıkılması zor bir problemden yakınıyordu: Bir ışının gücünü artırmak için, ışını büyük boyutlu bir çoğaltıcı ortamdaki geçirmek gerekiyordu; ancak enerji kazanımlıkça, doğrultu keskinliği yitiriliyordu. Çünkü ışın, çoğaltıcı ortamda, biçimini bozacak yoğunlukta birçok kusurla karşılaşılıyordu. Bu nedenle, hem güçlü, hem de doğrultusu ve sınırları iyice belirli laser demetleri elde edilemiyordu.

Faz eşlenikleme yönteminin getirdiği tersine çevirme olayı, güzel umutlar sağlamıştır; çünkü bir çoğaltıcı ortamın sonuna bir faz eşlenikleme aynası yerleştirildiği zaman, laser demeti yalnız zamanca ters dönmüş (ilk durumunu yeniden bulmuş) olma- yacak, güç artışı da korunacaktır. Daha da iyisi, baş- vuru laserlerinden enerji soğurarak, aynanın kendisinin de bir çoğaltıcı ortam gibi davranması sağ- lanabilecektir.

Bu ilkedan yola çıkılarak, hem çok güçlü, hem de ışın demetinin sınırları tam belirli laserler yapılabilir. Ordudan tıba dek uzanan çok çeşitli uygulama alanları, bu gelişmelerden er ya da geç yararlanacaktır.

Faz eşlenikleme yöntemi, atmalı (pulsu) laserlerin kararlılığını düzenlemek için de kullanılabilir. Malzeme üretimi gibi bazı alanlarda, bir miktar kararsızlık bir engel oluşturmasa da, askerî araçlara yerleştirilmiş radarlarda olduğu gibi, bazen de, frekans tam belirli ve tam kararlı olan laserler gerekebilir. Örneğin bir cismin uzaklığını ölçmek için, bir atma gönderilerek, cisimden yansıyıp dönmesi için geçen zamanı ölçmek gerekir. Burada, pek büyük sorun yoktur. Fakat hızın belirlenmesi, daha fazla in- celik ister; çünkü frekanstaki, Doppler olayından ileri gelen kaymayı tam olarak ölçmek gerekir (Hareketli bir trenin düdüğ sesinin frekansındaki değişimin nedeni de, Doppler olayıdır). Öyleyse, laser atmasının yayınlanma frekansının çok iyi bilinmesi zorunludur. Bu soruna şöyle bir çözüm bulunmuştur: Yansıma, gelen ışının yalnız özel bir frekansı ("pompa" dal- galarının frekansına eşit olması gereken) için oluştuğundan aynayı bir süzgeç sistemine benzetebiliriz. Böylece, yayınlanan atmanın frekansı, "pompa" dalgalanınınkine ayarlanabilir. Doppler kaymasının belirlenmesi ile de hız bulunabilir.

Bir laseri bir faz eşlenikleme aynası ile donata- rak, çok kısa süreli (50 nanosaniye = 5×10^{-8} saniye'lik), çok güçlü (1 megawatt = 10^6 watt'lık) ve son derece kesin frekanslı atmalar üretilebilir.

Faz eşlenikleme yönteminin başka uygulamaları da araştırılmaktadır ve er ya da geç günlük ya-

OTOMATİK WC DOKTORU

Japon bilim adamları "akıllı tuvaletler" geliştirdiler. Orijinal ismi olan "Asa İşiban" "sabah yapılan ilk iş" anlamına gelen bu tuvalet, sabah- lan uğrayanları sağlık kontrolünden geçiriyor.

"Dijital doktor", vücudun klozete temas et- mesiyile otomatik olarak tansiyonu, vücut sıcak- lığını stres miktarını ölçüyor; bu sırada gelmişken idrar tahlilini de yapıyor.

Elde edilen değerler alıcılarda kaydedilip, di- rekt bir hatla en yakın hastanenin bilgisayarına aktarılıyor. Birkaç saniye sonra tuvaleti "ziyaret" eden kişi ölçüm ve tahlillerin sonucunu alıyor; hat- ta gerekirse (örneğin ateş yüksekse vs.) o gün na- sıl davranması gerektiğini de bilgisayardan öğreniyor.

Bu "High - Tech Tuvalet" in geliştirilmesin- de üç dev şirket işbirliği yapmıştır. Bu şirketler, sağlık malzemeleri şirketi olan Toto, haberleşme şirketi NTT ve bir ölçü aletleri şirketi olan Tate - ishi - Electric'tir. Halen bu tuvaletler çeşitli klinik- lerde denenmektedir.

Hobby'den çev.: Recep ÖZTOP

şamımıza gireceklerdir. Örnek olarak, fotoğraf tekniklerini ele alalım.

Bir cisimden çıkan ışık ışınları, fotoğraf filmine varıncaya dek, birçok mercekle karşılaşır ve görü- ntü her mercekte bozulur. Bu da, fotoğrafın netliğini sınırlar. Acaba, film üzerine kaydedilmeden önce, cismin görüntüsü bir faz eşlenikleme aynasına gön- derilirse, durum ne olacaktır? Tüm bozukluklar or- tadan kalkacak, görüntü netliğine kavuşacaktır. Böyle bir sistemle, şimdiye dek erişilmemiş nitelik- teki fotoğraflar elde edilebilecektir.

Kısacası, faz eşlenikleme yönteminin sonsuz sa- yıda uygulaması olacaktır; ancak birkaç onyıdan ö- nce kullanılabileceğini sanmak gerçekçi değildir. Şimdilik, faz eşlenikleme aynasında en çok kullani- lan ortam gazdır; belki gelecekte, sanayi uygulamaları bakımından daha ilginç özellikleri olan, yaniletkenler gibi, çizgisel olmayan başka malzeme- ler de gazın yerine geçebileceklerdir. □

Bu yazı Sciences et Avenir'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

**KENDİ NOKSANINI BİLMEK
KADAR İRFAN OLMAZ.**

Türk Atasözü