

Yıldız Leke Modellerinde Çözümün Tekliği Problemi

Zeki EKER

Department of Astronomy, King Saud University, Riyadh 11451, Saudi Arabia
e-mail: eker@ksu.edu.sa

ÖZET: Çözümün tekliği problemi göz önünde tutulup, leke hipotezinin bilimsel geçerliliği test edilmiştir. Bu çalışmadaki iki analiz tekniğine (genel ve özel yaklaşımlar) göre leke hipotezi bir tutarlı fizik problemidir. Yani, leke hipotezinin bilimsel değerini düşürecek özel bir teklik problemi yoktur. “Uniqueness” (teklik) kelimesinin farklı anlamlarının bir birine karıştırılması problemin başlangıç noktasıdır. Leke modellerinde tek çözüm olmadığını ima eden enlemin belirlenmesindeki zorluk, ve bu nedenle sabit enlem kullanma ve aynı verilerden farklı sonuçlar elde etme gibi empirik deliller aslında leke modeline has özel bir teklik probleminden değil, gözlem verilerinin yeterince duyarlı olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, leke modellerinin değeri en az sefeit türü ve örten değişen yıldız ışık eğrileri çözümlerine eşit olmalıdır. Çünkü, gözlem hataları ile ilgili teklik problemi gözleme dayanan bütün bilimsel çözümlerde mevcuttur. Parametreleri belli bir lekenin ışık eğrisi veya spektral çizgi profili üstünde kendine özgü (unique), eşi benzeri olmayan etki yaptığını ispatlayan çalışmalar gözden geçirilmiş, leke hipotezi ve teklik problemi tarihi gelişim içinde kritik edilmiştir.

1. Giriş:

Asrımızın ünlü bilim felsefecilerinden Sir Karl Popper (1972)'nin “Eğer bir teori her şeyi açıklayabiliyorsa, o teori işe yaramaz bir teoridir, ve bilimsel değildir.” ünlü sözü dikkate alınrsa, Bopp ve Noah1980; Vogt 1981; Kopal 1982; Vogt, Penrod ve Hatzes 1987; Huenemoerder ve Ramsey 1987; Neff 1990; Sarma ve ark. 1991; Anders, Coates ve Thompson 1992; Dempsey ve ark.1992; Huenemoerder ve ark. 1993; Maceroni ve van't Veer 1993; Hall 1994; Patkos ve Hempelmann 1994; Elias ve ark.1995; Byrne ve ark.1995; Raveendran ve Mohin 1995; Hempelmann ve ark.1997; Olah ve ark.1997 gibi çoklarının açıkladığı tarzda, yani lekeli yıldızların ışık eğrileri, lekelerin sayısı, büyüklük, şekil, konum ve sıcaklığının sonsuz sayıdaki kombinasyonuna bağlı olarak, sonsuz sayıda çözüm veriyorsa, ciddi anlamda bir sorun var demektir. Bu durum, son otuz yıldır saygın bilimsel makalelerde yayınlanan leke modeli sonuçlarının anlamsız, leke hipotezi de terkedilmesi gereken bilim dışı spekülasyonlardan ibarettir gibi bir anlama işaret eder ki, ciddi bir analiz ve bilimsel değerlendirmeyi gerektirmektedir.

Problemi çözmeyi amaçlamış daha geniş kapsamlı makalem (Eker 1999a) New Astronomy dergisinde kabul edilmiş, şu sıralarda yayına hazırlanmaktadır. Burada özet mahiyetinde önce leke hipotezi ve teklik probleminin gelişim tarihçesi, sonra teklik probleminin analizi, konuyla ilgili kritik ve yorumlar ve nihayet leke hipotezinin bilimselliğini tehit eden bir teklik

(uniqueness) probleminin olmadığı sonuçlar kısmında belirtilecektir.

2. Problemin Ortaya Çıkışı (Tarihçe)

Leke hipotezinin yaklaşık 400 yıllık bir geçmişi vardır. 17.nci yüzyılda değişen yıldızların keşfinden sonra 20.nci yüzyıl başlarına kadar lekeler bütün değişen yıldızların, hatta nova ve süpernovaların ışık eğrilerini açıklamakta kullanılan yeterli ve tek açıklama tarzıydı (Hall 1994, Kopal 1982). Leke modeli 1900 lü yıllar başıyınca önemini kaybetti. Hatta yaklaşık 50 yıl RT And, RS CVn, YY Gem ve AR Lac yıldızlarının ışık eğrilerini açıklayabilmek için Kron (1947, 1950, 1952) tarafından kullanılmasına kadar tamamen terkedildi. Kron'un çalışmaları 20 yıl sonrasına kadar da dikkat çekmedi. Ancak 1970 li yıllarda kantatif tek lekeli modeller (Hall 1972; Bopp ve Evans 1973; Torrez ve Ferraz Mello 1973; Budding 1977) ortaya çıktı. Tek leke modeli asimetrik ışık eğrilerini açıklamakta yetersiz kaldığı için, sonra çift lekeli modeller (Bopp ve Noah 1980; Dorren ve ark.1981; Poe ve Eaton 1985; Dorren 1987; Lodenquai ve McTavish 1988) standart leke modeli oldular.

Gelişmelerin devamında ILOT (Information Limit Optimization Technique, Budding ve Zeilik 1987) ve En küçük kareler yöntemi (Kang ve Wilson 1989; Samec ve ark.1993) gibi metodlar leke modelleri için geliştirildi. Bu arada lekelerle ilgili spektroskopik çalışmalar da başladı. Doppler imaging tekniği (Vogt ve Penrod 1983) Vogt,

Penrod ve Hatzes 1987) ve TiO molekül bantları (Saar ve Neff 1990; Neff, O'neal, ve Saar 1995) leke araştırmalarında kullanılır oldular.

Ama, leke hipotezi ile ilgili teklik (uniqueness) problemi son 30 yılda her fırsatta dile getiriliyordu. Felsefeci Popper (1972)'in ifade ettiği felsefik problem, yani leke hipotezinin her türlü ışık eğrisini açıklıyabiliyor olması 20.nci yüzyılın başlarında farkedildi. Problemin farkedilmesi iki önemli sebebe bağlanmaktadır.

Birincisi; β Lyrae (örtlen değişen) ve δ Cep (sefeit) yıldızlarının tayflarında radyal hız değişimleri 1893 ve 1895 yıllarında Belepolsky tarafından keşfedildi. Yıldız ışığının değişimine sebep olabilecek lekelerden başka sebeplerin de olabileceği ortaya çıktı. Çift yıldız hipotezi (tutulmalar) hem parlaklık hem radyal hız değişimlerini açıklayabildiği için ilk akla gelen açıklama oldu. Zonklayan yıldız δ Cep in bile çift yıldız olduğu düşünülüyordu. Sonra zonklama yani tek bir yıldızın çap olarak periyodik büyüyüp küçülmesi tartışmaya katıldı. Çift yıldız-zonklama (pulsation) tartışması Shapley (1914)'e kadar sürdü.

İkincisi de Russell (1906)'ın leke hipotezi hakkında yaptığı teorik çalışmadır. Bu çalışmanın etkisi ile leke hipozenin bilimsel değeri düştüğü, bu yüzden 1950 lere kadar terkedildiği, bu nedenle 1970 li yıllara kadar lekelerle itibar edilmediği (Kopal 1982) söylenmektedir. Russell (1906)'ın hesapları ve teorik sonuçlarına göre: 1) Leke modeli her türlü ışık eğrisini açıklamakta yetersizdir. 2) kesikli olmamak (ışık eğrisi ve birinci türevinin her noktada tanımlı ve sonlu olması) şartı ile her türlü ışık eğrisi lekelerle açıklanabilir. Russell aslında dikkatleri lekelerden çok başka tür açıklamalara, özellikle çift yıldız modeline çekmek istiyordu. Russell'in vur dediğini devrin astronomları öldür olarak algıladılar. Her türlü ışık eğrisini açıklayabilmek (teklik problemi) bilim felsefecisi Popper (1972)'in ifadesine göre bilimselliğe gölge düşüren bir problemdir. Ama, Russell (1906)'ın açıkladığı ilk sonuç hipotezi bilimselliğe yaklaştıran ilk adımdır aslında. Russell (1906)'ın uniqueness (teklik, özgünlük) konusunda yanlış anlaşıldığı daha önceki bir başka makalede de (Eker 1996) açıklanmıştır.

Leke hipotezinin tamamen terkedildiği dönemlerde (20. yüzyılın ilk yarısı) elde edilen ışık eğrileri tutulmalar (çift yıldız), patlamalar (nova, süpernova), radyal veya non-radyal zonklamalar, yıldız çevresi maddenin örtmesi gibi bir veya birkaç sebeple açıklanıyor veya benzeri fizik nedenler araştırılıyordu. Leke hipoteziyle ilgili bir teklik probleminin var olması, lekelerin var olmadığı anlamına gelmez diyen Hall (1994), bu dönemde lekeli yıldızların gözlenmemiş

olmasını bir şansızlık olarak niteleyip, leke modellerinin gelişimini olumsuz etkilediğini söylemektedir. Öte yanda, Vogt (1981) lekeli modellerin astronomlar arasında çok geç ve yavaş yavaş kabul edilmesinin arkasında teklik problemi olduğunu ifade etmektedir. Zaten leke modellerinin tekrar ortaya çıkışı da gözlem verilerinin zorlamasıyla olmuştur. Bir başka ifade ile, 1950 lerde ve sonra gözlenen lekeli yıldızların ışık eğrilerini zonklama, tutulma vb leke hipotezi dışında fiziksel nedenlerle açıklamak yetersiz kalmıştır.

Terkedilmiş bir hipotezin tekrar canlandığını gören, değişen yıldızlarda özellikle çift yıldızlarda devrin otoritesi Kopal (1982), teklik problemini ve leke hipotezinin bu nedenle terk edildiğini, lekelerle ilgili bilgilerin ve leke modellerinin bilimsel olmadığını hatırlatan bir makale yazmış ve gelişmelerden duyduğu rahatsızlığı belirtmiştir. Modellerdeki lekelerin varlığından bile şüphe eden Kopal (1982)'in itirazları maalesef leke modellerinin gelişimini engelliyememiştir.

Yıldız lekeleriyle ilgili çalışmalar günümüzde hızı yavaşlamış gibi görünse de devam etmektedir. Ancak, göz ardı edilen teklik problemi ve modellerle ilgili problemler hemen hemen her fırsatta dile getirilmiştir. Bu çözüm bekleyen problemleri aşağıdaki maddeler halinde özetlemek mümkündür.

1. Çokçözümlülük (non-uniqueness) (Bopp ve Noah 1980; Vogt 1981; Kopal 1982; Vogt ve ark.1987; Huenemoerder ve Ramsey 1987; Neff 1990; Sarma ve ark.1991; Anders ve ark.1992; Dempsey ve ark.1992; Huenemoerder ve ark.1993; Maceroni ve van't Veer 1993; Hall 1994; Patkos ve Hempelman 1994; Elias ve ark.1995; Byrne ve ark.1995; Raveendran ve Mohin 1995; Hempelman ve ark.1997; Olah ve ark.1997).
2. Leke enleminin belirlenmesinde zorluk (Torrez ve Ferraz Mello 1973; Bopp ve Noah 1980; Poe ve Eaton 1985; Stauffer ve ark.1986; Dorren 1987; Budding ve Zeilik 1987,1995; Kang ve Wilson 1989; Zeilik ve ark.1989, 1990,1994; Strassmeier 1990; Neff 1990; Banks ve Budding 1990;Banks 1991;Banks ve ark.1991; Strassmeier ve Olah 1992 ;Anders ve ark.1992; Eaton ve ark.1993; Olah ve ark.1994; Patkos ve Hempelman 1994; Heckert ve Ordway 1995; Raveendran ve Mohin 1995;Summers ve Heckert 1997; Hempelmann ve ark.1997).
3. Sabit enlem kullanma (Torrez ve Ferraz Mello 1973; Stauffer ve ark.1986; Dorren 1987; Kang ve Wilson 1989; Zeilik ve ark.1989; Eaton ve ark.1993; Heckert ve Ordway 1995; Summers ve Heckert 1997).

4. Fiziksel olmayan modeller (Hall, Henry ve Sowell 1990; Hall ve ark.1990,1991, 1995; Hall ve Henry 1992; Fekel ve ark.1993; Henry ve ark.1995; Crews ve ark.1995; Eaton ve ark.1996; Kaye ve ark.1996).
5. Yüzey leke dağılımı (Eker 1995,1996,1999c; Eker ve Al-Malki 1999)

Bu problemlerden sonuncusu hariç, hepsi ya doğrudan veya dolaylı olarak birinci maddede belirtilen teklik problemiyle ilgilidir. Örneğin, ikinci maddedeki leke enleminin belirlenmesindeki zorluk, ve bu yüzden sabit enlem kullanmak (madde 3) teklik problemine işaret eder. Çünkü sabit kabul edilen enlem belli aralıkta hatta bazan 0° den 90° ye varan sınır içinde bütün potansiyel çözümleri temsil etmektedir. İşte bu zorluğu gören bazı araştırmacılar (madde 4) fiziksel olmayan modelleri kullanmayı tercih etmişlerdir. Çünkü çok çözümlülük nedeniyle elde edilen parametrelerin anlamı yoktur diye düşünmektedirler. Teklik probleminin analiz edilmesi leke hipotezi ve devam eden modelleme çalışmaları bakımından ne kadar önemli olduğu ortadadır.

3. Problemin Analizi

Yayınlanmış bir başka çalışmamın (Eker 1999b) giriş bölümünde belirtildiği gibi önce İngilizce "uniqueness" (teklik, özgünlük) kelimesinin unique yani özgün ve tek bir anlamının olmadığını bilmesi gerekmektedir. Karıştırılmaması gereken konuyla ilgili en az 4 tane "uniqueness" vardır.

- 1- Gözlem noktalarına (data) en iyi uyan eğri ile elde edilen çözümün tekliği.
- 2- Bir lekenin ışık eğrisi (veya tayf) üstündeki etkisinin unique (özgün) olması.
- 3- İdeal çözümün (sıfır hata) tek (unique) olması.
- 4- Görüntüleme kusurlarından etkilenmeyen uniqueness. Fotoğrafların unique (özgün) oluşu gibi.

Genellikle karıştırılan birinci ve üçüncü anlamdaki tekliktir. Örneğin, en küçük kareler yöntemi ile fit edilen eğrinin verdiği sonuçlar hatalı olabilir ama tektir. Çünkü, en küçük kareler yöntemi datalardan geçen en iyi (sapmaların minimum olduğu) eğriyi belirler. Yöntem tek çözüm verir ve bu çözüm özgündür. Yani aynı verilerle bir başkası da aynı sonuca ulaşacaktır. Çözümün hatalı olması tek ve özgün olmasına engel değildir. Hatalı çözüm elbette ideal çözümden farklıdır. Ama, çözümün tek olması başkadır, ideal (sıfır hata) çözümün tek olması başkadır. Tıpatıp benzerleri olsa bile her varlık

özü itibarı ile de tektir. Tek yumurta ikizlerine uzaktan bakan herhangi biri için ayırt etme (non-uniqueness) problemi olabilir. Ama isimleri farklıdır, konuları farklıdır veya birini diyerinden ayırt edecek özgün (unique) bir ayırt edici özellik mutlaka vardır. Aynı şekilde lekeli bir yıldızın ikiz benzerleri olabilir. Ama bu yıldızların en azından konuları farklıdır. Sadece konuları farklı benzer lekeli yıldızların aynı ışık eğrisi, aynı çizgi profilli tayf vermesi de bir başka tür tekliğe örnektir. Bu durum ancak ve ancak özgün (unique, parametreleri belli) bir lekenin ışık eğrisi ve tayf çizgi profili üstündeki etkisinin özgün olmasına bağlıdır. Fotoğraflar da tayf gibi kime veya nereye ait olduğu bilinirse sahibinin bazı özgün özelliklerini yansıtırlar. Astigmatizm, aberasyon ve resolution (ayırma gücü) gibi optik düzenden kaynaklanan hatalar sebebi ile ideal (hiç hatasız, sonsuz resolution) bir fotoğraf yoktur. Ama kimse kimliklerdeki fotoğrafların özgün olmadığını (non-unique) iddia etmez.

Kavramların yerli yerine oturtulması problemin analizi için ilk adımdır. Burada, kavramları ayırt edici tarif ve sorgulamaya dayanan iki analiz tekniği ile leke hipotezini ilgilendiren özel bir teklik veya özgünlük probleminin olmadığı ispat edilecektir. Birincisine genel yaklaşım adı verilmiştir çünkü bu teknik, fit işlemi ile çözüm arayan her fizik probleme uygulanabilir. İkincisi özellikle leke hipotezini ilgilendirdiği için özel yaklaşım olarak isimlendirilmiştir.

A. Genel yaklaşım:

- 1. tip teklik - Fit edilecek eğriyi üreten matematik fonksiyonun tek olması.
Soru: Fit edilecek eğri (fonksiyon) tek midir?

Benzer birçok fizik problemin çözümünde fonksiyon seçimi sorun değildir. Belli problemler için belli fonksiyonlar vardır. Örneğin, serbest düşme probleminde hız ve konum birinci ve ikinci derece polinomların ürettiği doğru ve parabol ile ifade edilmektedir. Sıcak bir cismin radyasyon enerjisinin dalga boyundaki dağılımı Plank eğrisi ile belirlenir. Ama, o şekilde bir durumla karşılaşmak mümkündür ki, gözlem verileri var, fonksiyon ise belirsizdir. Böyle durumlar bir grafik üstüne işaretlenmiş gözlem noktalarının dağılımına bakıp, dağılımı açıklayacak matematik fonksiyonun (eğri) seçimini gerektirir. Kitaplarda listelenen matematik fonksiyonların birçokları aynı verilere fit edilebiliyorsa, yani kısaca yukarıdaki soruya evet cevabı veremiyorsak birinci tip teklik (uniqueness) problemimiz var demektir.

- 2. tip teklik - Fit işlemi ile ilgili teklik.

Soru: Aynı veriler, aynı fonksiyon (eğri) ile herkesin aynı tek bir sonuca (aynı fite) ulaşması mümkün müdür?

Diyelim ki birinci tip teklik sorunumuz yok. Eğri üreten bağıntılarımız (fonksiyonumuz) belli ama fit işlemi özgün tek bir sonuca ulaşmıyorsa, yani yukarıdaki soruya da evet cevabı veremiyorsak, ikinci tip teklik sorunumuz var demektir.

- 3. tip teklik - Parametre uzayındaki teklik.

Soru: Eğriyi üreten parametre seti tek midir?

Birinci ve ikinci tip teklik ile ilgili yukarıdaki soruların her ikisine de evet cevabı versek bile bu üçüncü soruya da evet cevabı veremiyorsak teklik probleminden kurtulmak mümkün değildir.

B. Özel yaklaşım:

Leke hipoteziyle ilgili teklik probleminin analizinde genel yaklaşımdaki üçüncü tip tekliğin araştırılması en can alıcı noktadır. Problemin varlığı veya yokluğu aşağıdaki iki soruya verilecek cevaplara bağlıdır.

- Fiziksel parametreleri (büyüklüğü, şekli, konumu ve sıcaklığı) belli bir lekenin ışık eğrisi (veya çizgi profili) üstündeki etkisi (imzası) tek midir?
- Işık eğrisi (veya çizgi profili) üstündeki etkiyi ölçüp, tekenin fizik parametrelerini belirlemek mümkün müdür?

Bu soruların her ikisine de verilecek “evet” cevapları şüphe bırakmadan leke hipotezinin başarı ile testten geçmesini yani bilimselliğini tehdit eden özel bir teklik probleminin olmadığını gösterecektir. Çünkü özel yaklaşımdaki bu sorular başlı başına problemin analizi için yeterlidir. Eğer lekelerin fiziki parametrelerini (büyüklüğü, şekli, konumu ve sıcaklığı) ifade edebileceğimiz bir fonksiyonumuz yoksa bu soruları sormak anlamsız olur. Eğer sorabiliyorsak demekki leke hipoteziyle ilgili genel yaklaşımda ifade edilen 1.nci tip teklik sorunu yok demektir. 2.nci tip teklik ile ilgili sorun, sadece lekeleri değil bir çok bilimsel problemi ilgilendirdiği için lekelerden bağımsız zaten çözülmüştür. Bu gün fit işlemlerinde kullanılan en küçük kareler, maksimum entropi, χ^2 veya rms minimization gibi özgün, unique ve tek çözüm veren hesaplama teknikleri mevcuttur. 3. Tip teklik sorununun olmadığı da, özel yaklaşımdaki sorulara verilecek evet cevaplarıyla belli olacaktır. Eğer parametre uzayında bir teklik sorunu varsa, yani ışık eğrisinde aynı etkiyi veren farklı parametreler mevcutsa özellikle ikinci soruya evet cevabı vermek mümkün değildir.

Öte yanda, lekelerin fizik parametreleri ile ışık eğrisi üretilebiliyorsa, fiziksel olmayan fonksiyonları kullanmanın da anlamı yoktur. Fourier açılımında olduğu gibi sinüs ve cosinüslerden oluşan harmonik fonksiyonlarla, gözlenen ışık eğrisi üretilebilir. Ama bu tür fonksiyonlarla lekelerin fizik parametrelerini özgün bir şekilde (unique) belirlemek zor belkide mümkün olmayabilir. Bir lekenin sebep olduğu ışık kaybını sinüs eğrisinin alt yarı kısmıyla ifade eden Hall grubunun (Hall, Henry ve Sowell 1990; Hall ve ark.1990,1991, 1995; Hall ve Henry 1992; Fekel ve ark.1993; Henry ve ark.1995; Crews ve ark.1995; Eaton ve ark.1996; Kaye ve ark.1996) belirledikleri sadece sinüs eğrilerinin minimumlarına denk düşen leke boylamıdır. Lekelerin büyüklükleri, sıcaklıkları ve enlemleri Hall grubunun modelleme tekniğinde anlamsız kalmıştır.

Zannedildiğinin aksine leke hipotezinin bilimsel değerini tehit eden herhangi bir teklik problemi yoktur. Teklik probleminin varlığını iddia edenler ya kavram kargaşasından doğruyu görememişler veya yaptıkları araştırmanın sonuçlarını doğru analiz edememişler veya genel kanıya kapılıp uzman bildiklerinin sözlerini tekrarlamışlardır. Bu problemin doğru bir analizi tarih sırası içinde uzman otoritelerin görüşlerinin kritiği ile birlikte gelecek bölümde ele alınacaktır.

4. Kritikler ve Yorumlar

4.1. Russell (1906)'ın Problemi

Lekeleri ifade edebilmek için Russell (1906) önce yıldız yüzeyinde parlaklık dağılımını verecek, sinüs ve cosinüslerden oluşan sonsuz ama belli bir noktada kesilebilen $B(\theta, \phi)$ sembolü ile gösterdiği bir harmonik fonksiyon düşündü. İki önemli noktayı özellikle vurguladı. 1) Fourier serilerinde olduğu gibi yüzey parlaklık dağılımı kesikli olabilir (fotosfer üstünde lekeler). Ama, 2) sonuçta elde edilecek ışık eğrisi ve birinci türevi sonlu ve sürekli olmalıydı. Bu şartlar doğrultusunda Russell, her türlü ışık eğrisini lekelerle üretmenin mümkün olmadığını gösterdi. Algol (tutulmalar) gibi yıldızların ışık eğrilerinde “V” şeklindeki ayırık minimumların leke hipoteziyle açıklanamayacağını izah etti.

Radyasyon transferi ve model atmosferlerle ilgili bilgiler ortada yok iken Russell'in bu çalışması harika olarak nitelenmelidir. Ancak, bu gün böyle harmonik fonksiyonların leke modeli için uygun olmadığı görülmektedir. Russell $B(\theta, \phi)$ fonksiyonunun sonsuz olmamasına, ve sadece sıfır veya sıfırdan büyük değerler almasına

dikkat ediyordu. Oysa bu harmonik fonksiyon içinde negatif değer üreten alt fonksiyonlar kaçınılmaz olarak vardır. Ama Russell negatif değerlerin pozitif değerlere eşit veya daha az olmasını şart koşuyordu. Bu gün güneş lekelerinden biliyoruz ki lekelerin ışık eğrilerine katkıları hep tek yönlü, yani hep azaltıcı biçimdedir. Pozitif ve negatifli değerlerle üst üste binen eşzamanlı harmonik fonksiyonların ise yıldız sismolojisinde başarı ile kullanıldığını görüyoruz.

Russel (1906)'ın gözüyle teklik problemi analiz edilir, genel yaklaşımdaki sorular sorulursa Russell'in 1.tip teklik problemiyle sorunu olmadığı anlaşılır. Sonsuz bir seri şeklinde de olsa Russell (1906) tek bir fonksiyon ile yüzey parlaklık dağılımını (lekeleri) ifade etmiştir. 2.tip teklik problemine gelince, bunu aklına bile getirmemiştir. Fit problemlerinde tek çözüm üreten en küçük kareler yöntemi o kadar eski ve meşhurdur ki bundan veya benzer metotlardan Russell'in habersiz olması mümkün değildir. Yani, Russell'a göre 2.tip teklik problemi de yoktur. Peki nedir Russell'in problemi? Russell'in problemi 3.tip teklik problemidir ama Russell ondan bile emin değildir. Russell (1906)'ın "B(θ, ϕ) ifadesinin formu gözlemlerle tam olarak belirlenebilir.Bir gezegenin ışık eğrisi yüzeyindeki işaretleri (lekeler) belirleyebilir, ama şekillerini değil" sözleri bu durumu açıkça göstermektedir. Elbette, fiziksel olmayan fonksiyonlarla lekelerin fiziksel parametrelerini eksiksiz belirlemenin imkanı yoktur.

4.2. Kopal (1982)'in Problemi

Russell (1906)'dan 76 yıl sonra Kopal (1982) tekrar gelişme eyilimine giren leke hipotezinin bu yüzyıl başındaki başarısızlığını ve teklik problemi nedeniyle bilimsel arenadan dışlandığını hatırlatıyor ve diyor ki: "Parlaklık değişimlerini açıklamak için lekeler hem olağanüstü basit, hem de fiziksel değildir. ...Varlıkları ve yüzey dağılımları ışık eğrilerinden bağımsız elde edilemediği takdirde, gözlenmiş ışık eğrileri özgün (unique) bilgi üretmezler." (Kopal 1982)

Bu sözlerden sadece ışık eğrileri ile lekelerin varlığı gösterilemez anlamı çıkmaktadır. Kopal'a göre parlaklık değişimine sebep olan fizik nedenler ışık eğrilerinden bağımsız bir delil veya ispat yoksa bilinemezler. Işık eğrisi üretebilecek farklı farklı nedenler, fonksiyonlar (eğriler) olabilir. Açıkça anlaşılır ki, Kopal 1.tip teklik problemine takılıp kalmıştır. Kendi açısından haklıdır, neden haklı olduğu da ortadadır. Çünkü, sefeit türü (zonklayan) veya çift yıldız (örtün değişen) hipotezini destekleyen sadece ışık

eğrileri değil, değişime sebep gösterilen yorumu destekleyen radyal hız eğrileri de mevcuttur. Lekeli yıldızların renk eğrilerinde ışık eğrisine paralel lekelerin en etkin olduğu minimum evrede az da olsa kırmızılaşma olayını bağımsız bir delil kabul etmemiş olmalı ki, Kopal (1982) leke hipotezinin diğer hipotezler gibi şansı olmadığını düşünmektedir.

Oysa henüz leke hipotezine karşı sıraladığı itirazların üstünden çok geçmeden, ışık eğrileriden tam bağımsız lekelerle ilgili delil üreten Doppler imaging ile ilgili makale Vogt ve Penrod (1983) tarafından yayınlanmıştır. Zamanla lekelerin varlığını destekleyen çalışmalar arttı. Bunlar içinde Doppler leke haritaları, TiO bantları (Saar ve Neff 1990; Neff, O'Neal ve Saar 1995) gibi lekelerin doğrudan spektroskopik gözlemlerini, ve lekelerle ilişkili olan manyetik aktivite belirteçleri kromosferik Ca II H ve K , ve H α gözlemlerini, hatta leke ışık eğrileri ile uyumlu UV, radio ve X-Ray gözlemlerini de saymak mümkündür.

4.3. Doppler Imaging ve Teklik Problemi

Tersini, yani çok çözümlülüğü (non-uniqueness) savunmasına rağmen, Doppler imaging ile elde edilen leke haritalarında teklik probleminin olmadığını gösteren en iyi çalışma Vogt, Penrod ve Hatzes (1987) tarafından yapılmıştır. Bu yazarlar önce "vogtstar" adını verdikleri teorik bir yıldız düşünmüşler, ve bu yıldızın üstüne lekeler ile V-O-G-T yazısını yerleştirmişler, sonra farklı evreler (phases) için sentetik tayf çizgi profilleri üretmişlerdir. Daha sonra bu sentetik çizgi profillerini girdi verisi (data) olarak kullanıp, orijinal leke haritasının Doppler imaging tekniğinde maksimum entropi tekniğinin uygulandığı iterasyonlar ile tekrar elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Test o kadar başarılıdır ki, sıfırdan (görüntüsüz) veya rasgele hiç alakasız bir ön görüntü ile başlayan iterasyonlar sonunda doğru görüntüyü üretebilmekte ve V-O-G-T yazısı aynen okunabilmektedir, öyleki O ile G harfinin bir biriden farkı bile açıkça seçilmektedir. Demekki lekelerin çizgi profilleri üstündeki etkisi özgündür (unique) ve leke etkisini taşıyan çizgi profillerine teorik profiller fit edilerek lekelerin konumları, şekilleri, büyüklük ve sıcaklıkları elde edilebilmektedir. O halde, özel yaklaşımdaki sorulara verilecek cevaplar "evet" "evet" olacaktır. Özel yaklaşımla ilgili bölümde açıklandığı gibi bu olumlu cevaplar aslında başlı başına Doppler imaging ve lekeler ile ilgili herhangi bir teklik probleminin olmadığı

garantisini verir. Ama yine de açıklyabiliriz ki genel yaklaşıma göre de teklik problemi yoktur.

Önce, özel yaklaşım genel yaklaşımdaki 3.tip teklik ile doğrudan ilişkili olduğu için 3.tip teklik problemi olmadığını hemen söyleyebiliriz. Eğer parametre uzayında çok çözümlülüğe imkan tanıyan bir non-uniqueness problemi olsaydı, bu test başarısız olurdu. Olmadığına göre böyle bir problem yoktur. 2.tip teklik problemine gelince böyle bir problem de yoktur çünkü maksimum entropi metodu yazarlarında (Vogt, Penrod ve Hatzes 1987) özellikle izah ettikleri gibi tek çözüm üretmek için geliştirilmiş bir metottur ve Vogt ve ark.(1987) tarafından da kullanılmıştır. Son olarak, 1.tip teklik problemi de yoktur çünkü teorik çizgi profili üreten fonksiyon, radyasyon ilkeleri, radyasyon transferi, çizgi genişlemesini içeren bir dizi özgün bağıntılardan oluşmaktadır. Karmaşık (basit değil) da olsa yıldızın ve lekelerin fiziksel parametreleri ile çizgi profili üreten bir fonksiyon vardır. Fit edilen çizgi profili matematik listeden rasgele seçilmez.

Ancak, ön yargılarına yenik düşen Vogt, Penrod ve hatzes (1987) leke hipotezi ile ilgili teklik problemini ısrarla vurgulamışlardır. Maximum entropi metodunun neden ve nasıl tek çözüm verdiğini anlatan bu yazarlar, çelişkilerinin farkına bile varmadan elde ettikleri sonucun neden unique (tek ve özgün) olmadığını da izaha çalışmışlardır. Maksimum entropi metodunun verdiği tek çözümü, ideal (sıfır hata) çözüm değildir diye, özgün olmadığını (non-unique) düşünmektedirler. Lekelerin Doppler görüntülenmesini anlatan ve literatürde non-uniqueness atıflarının (citation) en çok işaret ettiği Vogt ve ark.(1987)'nin bu makalesi okuyucuyu yanlış yönlendirmektedir, mantık hatası ve çelişkilerle doludur. Okuyucunun nasıl yanlış yönlendirildiğini, ne çeşit mantık hatası yapıldığını, ne tür çelişkilerle hangi kavramların bir birine karıştırıldığını merak edenler Vogt ve ark.(1987)'nin makalesiyle birlikte Eker (1999a) daki ilgili bölümü okurlarsa doğru olanı göreceklerdir.

4.4. Fotometrik Imaging ve Teklik Problemi

“Fotometrik imaging” sözcüğü “Doppler imaging” sözcüğüne paralel olması bakımından, fotometrik veriler ile yapılan leke modeli çalışmalarını ifade etmek için ilk defa Eker ve Al-Malki (1999) tarafından ortaya atılmış, Eker (1999b) ile de literatürde ilk defa yer almıştır. Teklik (uniqueness) probleminin fotometrik modeller açısından çözümü spektroskopik (Doppler imaging) modellere göre biraz daha karmaşıktır. Çünkü, mevcut negatif önyargıları

desteklemiş gibi görünen argümanlar daha çoktur. Tarihçe bölümünde bazıları belirtilen bu argümanlar sırasıyla: 1) Leke enleminin belirlenmesindeki zorluk; 2) Bu nedenle sabit enlem kullanma; 3) Fiziksel olmayan modeller; 4) Aynı verilerden (aynı datalardan) farklı araştırmacıların farklı sonuçlar elde etmesi yanında 5) Russell, Kopal, Hall, Vogt gibi otorite tanınanların bu konudaki beyanları ve bir de 6) hemen hemen herkeste “küçük soğuk bir leke ile daha büyük ve sıcak bir başka leke ışık eğrisi üstünde aynı etkiyi yapar” gibi yanlış bir kanının varlığıdır.

Leke alanı (veya büyüklüğü) ve leke sıcaklığını bir birinin etkisini yok edici parametreler olarak yorumlayan Vogt (1981), Bopp ve Noah (1980), ve Huenemörder ve ark.(1993) bu durumun fotometrik modeller için çokçözümlülük sebebi olduğunu iddia etmiştir. Anders ve ark.(1992) ise leke alanı ve leke enlemi arasındaki benzer ters etkileşimi çokçözümlülüğe sebep olarak göstermiştir. Nihayet, Hempelmann ve ark.(1997) üçlü etkileşimi (alan - enlem - sıcaklık) çokçözümlülüğün sebebi olarak açıklamıştır.

Oysa tam tersine bir teorik çalışmamın (Eker 1996) sonucuna göre parametreleri (büyüklüğü, şekli, konumu, ve sıcaklığı) belli bir leke ile üretilen ışık eğrisini biraz daha büyük ama sıcakça, veya biraz daha küçük ama soğukça bir başka leke ile veya orijinal lekenin aynı konumdaki kendi parçaları hariç başka lekelerle üretmenin imkanı yoktur. Yani ışık eğrisini üreten parametre seti içinde herhangi bir parametrenin değiştirilmesiyle ışık eğrisinde meydana gelen değişiklik bir başka veya birkaç değişik parametreyi değiştirerek yok edilemez. Daha açık söylemek gerekirse, Eker (1996) ışık eğrisini üreten parametre uzayının özgün (unique) olduğunu göstermiştir. Evet, tek bir evredeki ışık kaybını üreten sonsuz ihtimal mevcuttur, ama bütün evrelerde aynı ışık eğrisini üretecek farklı iki veya ikiden fazla parametre seti mevcut değildir. İşte yukarıdaki yazarlar tek evredeki çokçözümlülüğü ışık eğrisindeki çokçözümlülükle karıştırmışlardır. Önceki doğru sonraki ise yanlıştır.

“Vogtstar” testine benzer şekilde, Eker (1996) parametreleri farklı farklı olan 9 model için sentetik ışık eğrileri elde etmiştir. Sonra, bu sentetik eğrilerin minimumunda ve bir başka evrede kadir cinsinden ışık kayıplarını (her model için V ve R renklerinde ikişer değer) ve sentetik eğrilerdeki iki ölçüm arasındaki evre farkını girdi verisi olarak kullanmış, analitik olarak formüllerle leke parametrelerini hesaplamıştır. Bilgisayar işlemlerindeki yuvarlama hatalarından kaynaklanan çok küçük hatalar ile orijinal model parametreleri hesaplanmıştır. Yani, Eker (1996)

parametreleri belli, özgün bir lekenin ışık eğrisi üstündeki etkisinin de özgün (unique) olduğunu analitik olarak ispatlamıştır. Bu durumda özel yaklaşımdaki sorulara verilecek cevap tabii ki “evet” ve “evet” dir.

Analiz işleminin genel yaklaşımında da sorun olmadığı kolayca gösterilebilir. 1.tip teklik sorunu yoktur çünkü lekelerin fizik parametreleri ile nasıl ışık eğrisi hesaplanacağı (Eker 1994), ve ışık eğrisinden nasıl leke parametreleri hesaplanacağı (Eker 1996) formüller ile bellidir. Bu formüllerin tamamı bir arada bir bütünlük içinde Eker (1999c) tarafından özetlenmiştir. 2.tip teklik problemi yoktur çünkü bu sorun benzer fizik problemler için lekelerden bağımsız halledilmiştir. 3.tip teklik sorunu olmadığı da özel yaklaşımdaki sorulara verilen “evet”, “evet” cevaplarından bellidir.

Eker (1996)'nın devamı bir başka analitik çalışma (Eker 1999b), fotometrik imaging ile ilgili çokçözümlülüğü destekler tarzındaki diğer argümanların herhangi bir teklik veya özgünlük (uniqueness) probleminden değil gözlemlerin yeterince duyarlı olmamasından kaynaklandığını göstermektedir. Bu çalışmaya göre duyarlılığı ± 0.0001 kadir (milikadir) veya daha iyi ışık eğrileri olmalıdır ki başarılı bir leke modeli yapılabilsin. Eker (1999b)'in hata analizi hesapları ± 0.005 kadir duyarlılıktaki günümüz ışık eğrilerinden elde edilen leke enleminin hatasını ± 90 dereceden daha büyük vermektedir. Yani elinizde böyle bir ışık eğrisi varsa lekeyi istediğiniz enleme yerleştirebilirsiniz. Sonuçta teorik ışık eğrisinde enlem hatasının sebep olduğu değişim gözlem hatası sınırları içinde kalacaktır.

5. Sonuçlar

I. Yıldız lekelerinin varlığında şüphe yoktur. Lekelerinin var olduğuna işaret eden sadece güneş analogisi değildir. Yıldız lekelerin varlığına işaret eden gözleme dayanan deliller mevcuttur. Bunlar :

- 1) Fotometrik gözlemler - Işık eğrileri ve ışık eğrileriyle uyumlu renk değişimleri. Soğuk leke en etkin olduğu minimum evrede kırmızılaşmaya sebep olur.
- 2) Spektroskopik gözlemler - Işık eğrileriyle uyumlu Doppler leke haritaları ve TiO molekül bandı gözlemleri vardır.
- 3) Dolaylı deliller -
 - a) Lekelerle ilgili manyetik aktiviteyi destekleyen kromosferik Ca II H and K ve H α gözlemleri;
 - b) kromosfer üstü geçiş bölgesini ilgilendiren UV, ve koronadan gelen X-Ray ve radyo gözlemleri.

II. Leke hipotezi tutarlı bir fizik problemidir çünkü:

- 1) Belli fizik parametrelere sahip (büyüklük, şekil, konum ve sıcaklık) lekeler ile sentetik ışık eğrisi ve tayf çizgi profili hesaplanabilir.
- 2) Lekelerin fizik parametrelerini lekeli yıldızların ışık eğrilerinden veya tayf çizgi profillerinden çıkarmak mümkündür.

III. Leke hipotezinin tutarlı bir fizik problem olduğu genel yaklaşımdaki sorulara verilen evet cevaplarıyla de gösterilebilir.

- 1) Fonksiyon seçme problemi yoktur. Fonksiyonun adı “maculation wave function” olarak literatürde geçmektedir.
- 2) Bu fonksiyonun fit problemi de yoktur. En küçük kareler, χ^2 minimizasyonu, maksimum entropi gibi meşhur bilinen metodlar vardır ki tek çözüm ürettikleri bilinmektedir.
- 3) Bu fonksiyonun parametre uzayı da özgün (unique) dür. Yani aynı ışık eğrisini veya aynı çizgi profilini üreten farklı leke haritaları (parametre setleri) yoktur.

IV. Fakat yine de özgün çözüm kargaşası (non-uniqueness ambiguities) pratik uygulamalarda karşımıza çıkabilir.

- 1) İterasyonlar ideal fit şartlarına ulaşmadan kesilirse.
- 2) Işık kaybının özgün (unique) olmaması, ışık eğrilerinin özgün (unique) olmaması ile karıştırılırsa. Farklı lekeler aynı ışık kaybını üretebilir ama aynı ışık eğrisini asla.
- 3) “unique” kelimesiyle ilgili kavram kargaşasına dikkat edilmesse.

V. İdeal çözüme ulaşmak (sıfır hata) imkansızdır. Ama bilimin bu genel problemini de teklik (uniqueness) problemi diye, özellikle leke hipotezi için, öne sürmek hatadır. Aynı problem, benzeri fizik problemler gibi çift ve sefeit türü ışık eğrileri için de geçerlidir.

VI. Lekeli yıldızların güvenilir leke haritalarının üretilmesi yüksek kaliteli, yüksek duyarlı gözlem verileri gerektirmektedir. Parlaklık ölçümlerinin ± 0.0001 kadir veya daha iyi olması gerekir (Eker 1999b)

Kaynaklar

Anders G.J., Coates D.W., Thompson, K., 1992, *PASau*, **10**, 33.
Banks T., 1991, *PASau*, **9**, 148.

- Banks T., Budding E., 1990, *Ap&SS*, **167**, 221.
- Banks T., Kilmartin P.M., Budding E., 1991, *Ap&SS*, **183**, 309.
- Bopp B.W., Evans D.S., 1973, *MNRAS*, **164**, 343.
- Bopp, B.W., Noah P.V., 1980, *PASP*, **92**, 717.
- Budding E., 1977, *Ap&SS*, **48**, 207.
- Budding E., Zeilik M., 1987, *ApJ*, **319**, 827.
- Budding E., Zeilik, M., *Ap&SS*, **232**, 355.
- Byrne P.B., Panagi P.M., Lanzafame A.C., Avgoloupis S., Huenemoerder D.P., Kilkenny D., Marang F., Panov K.P., Roberts G., Seriadakis J.H., van Wyk F., 1995, *A&A*, **299**, 115.
- Crews J.L., Hall D.S., Henry G.W., Lines R.D., Lines H.C., Fried R.E., 1995, *AJ*, **109**, 1346.
- Dempsey R.C., Bopp B.W., Strassmeier K.G., Granados A.F., Henry G.W., Hall D.S., 1992, *ApJ*, **392**, 187.
- Dorren J.D., 1987, *ApJ*, **320**, 756.
- Dorren J.D., Siah M.J., Guinan E.F., McCook G.P., 1981, *AJ*, **86**, 592.
- Eaton J.A., Henry G.W., Fekel F.C., 1996, *ApJ*, **492**, 888.
- Eaton J.A., Henry G.W., Bell C., Okorogu, A., 1993, *AJ*, **106**, 1181.
- Eker Z., 1994, *ApJ*, **420**, 373.
- Eker Z., 1995, *ApJ*, **445**, 526.
- Eker Z., 1996, *ApJ*, **473**, 388.
- Eker Z., 1999a, *New Astronomy*, (in press).
- Eker Z., 1999b, *ApJ*, **512**, 386.
- Eker Z., 1999c, *Tr. J. of Physics*, **23**, 357.
- Eker Z., Al-Malki M., 1999, *Ap&SS*, **262**, 411.
- Elias N.M., Quirrenbach A., Witzel A., Noundorf C.E., Wegner R., Guinan E., McCook, G.P., 1995, *ApJ*, **439**, 983.
- Fekel F.C., Browning J.C., Henry G.W., Morton M.D., Hall, D.S., 1993, *AJ*, **105**, 2265.
- Hall D.S., 1972, *PASP*, **84**, 323.
- Hall D.S., 1994, *I.A.P.P.P. Comm.*, No:54, p1.
- Hall D.S., Henry G.W., 1992, *IBVS*, No:3693.
- Hall D.S., Fekel F.C., Henry G.W., Barksdale W.S., 1991, *AJ*, **102**, 1808.
- Hall D.S., Fekel F.C., Henry G.W., Eaton J.A., Barksdale W.S., Dadonas V., Eker Z., Kalv P., Chambliss C.R., Fried R.E., Fortier G.L., Landis H.J., Louth H.P., Powell H.D., McFaul T.G., Miles R., Nielsen P., Renner T.R., Robb S.P., Slauson D.M., Stelzer H.J., Wasson R., Wood J.E., 1995, *AJ*, **109**, 1277.
- Hall D.S., Gessner S.E., Lines H.C., Lines R.D., 1990, *AJ*, **100**, 2017.
- Hall D.S., Henry G.W., Sowell J.R., 1990, *AJ*, **99**, 396.
- Heckert P.A., Ordway J.I., 1995, *AJ*, **109**, 2169.
- Henry G.W., Eaton J.A., Hamer J., Hall D.S., 1995, *ApJS*, **97**, 513.
- Hempelmann A., Hatzes A.P., Kurster M., Patkos L., 1997, *A&A*, **317**, 125.
- Huenemoerder D.P., Ramsey L.W., 1987, *ApJ*, **319**, 392.
- Huenemoerder D.P., Ramsey L.W., Buzasi D.L., Nations H.L., 1993, *ApJ*, **404**, 316.
- Kang Y.W., Wilson R.E., 1989, *AJ*, **97**, 848.
- Kaye A.B., Hall D.S., Patterson L.R., Nations H.D., Heckert P.A., Summers D.L., 1996, *AJ*, **111**, 1322.
- Kopal Z., 1982, *Ap&SS*, **87**, 149.
- Kron G.E., 1947, *PASP*, **59**, 261.
- Kron G.E., 1950, *AJ*, **55**, 69.
- Kron G.E., 1952, *ApJ*, **115**, 301.
- Lodenquai J., McTavish J., 1988, *AJ*, **96**, 741.
- Maceroni C., van't Veer F., 1993, *A&A*, **277**, 515.
- Neff J.E., 1990, in *Active Close Binaries*, (ed. C. İbanoğlu), Dordrecht:Kluwer, p.809.
- Neff J.E., O'Neal D., Saar S.H., 1995, *ApJ*, **452**, 879.
- Olah K., Budding E., Kim H.J., Etzel P.B., 1994, *A&A*, **291**, 110.
- Olah K., Kovari Zs., Bartus J., Strassmeier K.G., Hall D.S., Henry G.W., 1997, *A&A*, **321**, 811.
- Patkos L., Hempelmann A., 1994, *A&A*, **292**, 119.
- Poe C.H., Eaton J.A., 1985, *ApJ*, **289**, 644.
- Popper K.R., 1972, in *Objective Knowledge*, Oxford University Press, Oxford.
- Raveendran A.V., Mohin S., 1995, *A&A*, **301**, 788.
- Russell H.N., 1906, *ApJ*, **24**, 1.
- Saar S.H., Neff J.E., 1990, in *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (ed. G. Wallerstein), *ASP Conf. Ser.*, Vol:9, p.13.
- Samec R.G., Su W., Terrel D., Hube D.P., 1993, *AJ*, **106**, 318.
- Sarma C.V.S.R., Vivekananda Rao P., Sarma M.B.K., 1991, *A&A*, **12**, 49.
- Shapley H.M., 1914, *ApJ*, **40**, 448.
- Stauffer J.R., Dorren J.D., Africano J.L., 1986, *AJ*, **91**, 1443.
- Strassmeier K.G., 1990, *ApJ*, **348**, 682.
- Strassmeier K.G., Olah K., 1992, *A&A*, **259**, 595.
- Summers D.L., Heckert P.A., 1997, *AJ*, **113**, 2242.
- Torrez C.A.O., Ferraz Mello S., 1973, *A&A*, **27**, 231.
- Vogt S.S., 1981, *ApJ*, **250**, 327.
- Vogt S.S., Penrod G.D., 1983, *PASP*, **95**, 565.
- Vogt S.S., Penrod G.D., Hatzes A.P., 1987, *ApJ*, **321**, 496.
- Zeilik M., Cox D.A., De Blasi C., Rhodes M., Budding E., 1989, *ApJ*, **345**, 991.
- Zeilik M., Gordon S., Jaderlund E., Ledlow M., Summers D.L., Heckert P.A., Budding E., Banks T.S., 1994, *ApJ*, **421**, 303.
- Zeilik M., Ledlow M., Rhodes M., Arevalo M.J., Budding E., 1990, *ApJ*, **354**, 352.