

T. C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ

ÖZEL KONU



SIVI AYNALI TELESKOPLAR

SERTAÇ SERKAN DOĞRU

97050011

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. FEHMİ EKMEKÇİ

ANKARA 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
1. GİRİŞ.....	1
2. SIVI AYNALARIN TASARIMI.....	2
2.1. Mekanik Tasarım.....	2
2.2. Yapı Analizi.....	4
2.3. Yapım Teknikleri.....	8
2.4. Sıvı Aynalı Teleskopların Bilinen Optik Teleskoplardan Farkı.....	9
3. UBC/LAVAL SIVI AYNALI TELESKOBU VE ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1. Teleskobun Yapısı ve Donanım Özellikleri	11
3.2. Teleskobun Performansı	14
3.3. Gözlem Programı.....	16
KAYNAKÇA.....	18

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Türkiye’de adından çok bahsedilmeyen “Sıvı Aynalı Teleskoplar” tanıtılmaktadır. Bilinen optik aynalarla çok büyük çaplı bir teleskop yapmanın maliyeti oldukça yüksektir. Sıvı aynalı teleskoplar ise, maliyetleri bakımından diğer optik teleskoplardan daha ucuza mal edilebilirler. Ancak onların Zenit noktası teleskobu olmaları, yapılabilecek astronomik çalışmaları oldukça sınırlandırmaktadır.

Bu çalışmada, sıvı aynalı teleskopların tanıtılmasının yanında, onların yapım teknikleri, kullanım amaçları ve bilinen diğer optik teleskoplara göre avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Özel olarak UBC/Laval 2,7m’lik sıvı aynalı teleskobu anlatılmıştır.

Yapmış olduğum bu çalışmada; literatür taraması için bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Sacit ÖZDEMİR’e, bazı makalelerin Türkçe’ye çevrilmesinde emeği geçen ve manevi desteğini yanımdan eksik etmeyen Doç. Dr. Osman GÜREL’e ve değerli vaktini benden esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fehmi EKMEKÇİ’ye teşekkürü bir borçbilirim.

1.GİRİŞ

Parabolik bir platform üzerinde döndürülen sıvılar için yerçekimi ve merkezci ivme vektörlerinin toplamı sonucu, yüzey, parabolik bir şekil alır. Optik teleskopların birincil aynaları parabolik aynalardır. Dolayısıyla döndürülen bir sıvının, bir optik teleskopun birincil aynası olarak kullanılabilir. Bu teleskopun çapı, sıvının konulduğu döner platformun çapı kadardır. Odak uzaklığı ise

$$f = g/2\omega^2$$

denkleminde hesaplanmaktadır. Burada f aynanın odak uzaklığı, g yerçekimi ivmesi, ω ise dönen platformun açısal dönme hızıdır.

Geniş aynalar için dönme dönemi 10 sn mertebesinde ve aynanın kenarlarının çizgisel hızı 5 ile 20km/s arasındadır.

Döndürülen sıvıların mükemmel bir parabolit oluşturacağı fikrini ilk önce Sir Isaac Newton ileri sürmüştür. Fakat özellikle dönmenin hızı ve düzgünlüğü için gereken şartlar 19. yy'ın ikinci yarısına kadar bir prototip oluşturulmasına yeterli olmadı. Bir sıvı aynalı teleskop çalışmasının açıklaması ilk kez 1872 yılında Skey tarafından verildi. Skey, 35 cm'lik bir teleskop kurdu ve dönen sıvının açısal hızına göre aynanın odak uzaklığının ilk detaylı hesaplamalarını yaptı.

1909'da bir optik fizikçi olan Robert Wood, 51cm'lik bir sıvı aynalı teleskop kullanarak, bir dizi başarılı makale yayınladı. O, titreşimlerin ana kaynaklarını dikkatlice inceledi ve yıldızların fotoğrafik izlerini elde edebildi. Aralarındaki uzaklık 2,3 kadar küçük olan bir çift yıldızı bile ayırdedebildi. Ayna yüzeyindeki dalgalanmayı durdurmak amacıyla yağ tabakası kullanmayı denedi. Başarısına rağmen Wood, sıvı aynalı teleskoplardan vazgeçmeye karar verdi. Çünkü sıvı aynalı teleskoplardan sadece Zenit gözlemlerinde kullanılabilirdi ve bu özellik astronomik uygulamaları çok fazla sınırlıyordu.

Yakın tarihte sıvı aynalı teleskoplar araştırmaları, Ermanno Borra'nın sıvı aynalı teleskoplar için 1982 yılında yayınladığı makalesi ile başlamıştır. Borra, Wood'un zamanından beri teknolojik gelişmelerle sıvı aynalı teleskopların kullanışlı astronomik aletler haline geldiklerini anlatan makalesinde sıvı aynalı teleskoplar için teorik ve

pratik sınırlamalar verdi. Son birkaç yılda teknolojideki gelişmeler sayesinde sınırlı kırınımına sahip bir 1,5m'lik sıvı aynalı teleskop yapılabilmektedir.

Ondan sonra UBC'den (University of British Columbia) Paul Hickson ve Borra arasında verimli bir ortaklık başladı. Hickson, 3m'lik sıvı aynalar tasarladı ve UBC ile NASA için birkaç tane inşa etti. Bu teleskoplarda kullanılan tasarım üç ana parça içermektedir. Bunlar; sıvıyı bükülmeden taşıyabilecek kadar sert fakat olabildiğince hafif olarak yapılacak olan parabolik tabak, bu tabağı sarsmadan döndürebilecek bir havalı mil yatağı ve titreşimlere izin vermeden bu dönmei sağlayacak bir motordur. Bu tasarımı kullanan Luc Girard (Laval Üniversitesi) bir 2,5m'lik sınırlı kırınımına sahip bir sıvı aynalı teleskop inşa etti. Hickson ve arkadaşları şu anda UBC Sıvı Ayna Gözlemevi'ne konulmak üzere 6m'lik bir sıvı aynalı teleskop inşa etmektedirler.

Aslında astronomik araştırmalar için geliştiren sıvı aynalar Lidar (Radar tekniğine benzer bir yöntem kullanarak Lazer ışınıyla atmosfer araştırmaları) , optik testler ve uzay çalışmaları gibi diğer bilim alanlarında kullanılabilir olduğu çok geçmeden ispatlandı.

Astronomik araştırmalarda sıvı aynalı teleskoplar kesinlikle klasik aletlerin yerine geçemezler, fakat maliyet bakımından çok avantajlıdır.

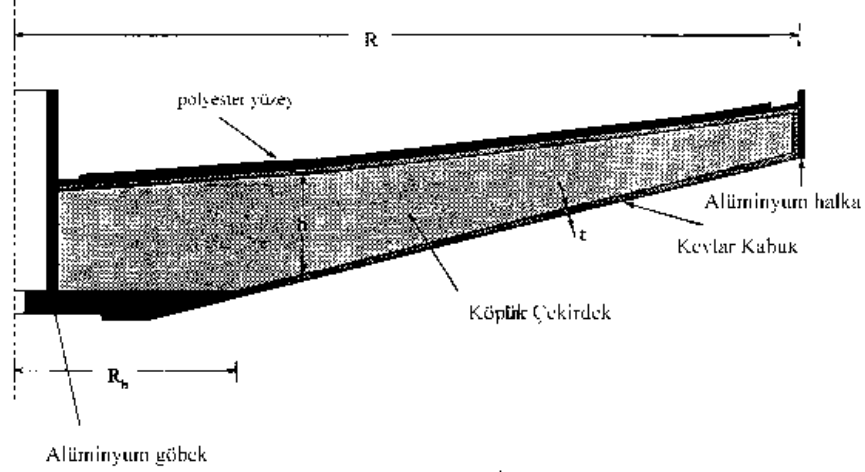
2.SIVI AYNALARIN TASARIMI

Bu bölümde aynaların genel tasarım özellikleri ve imal teknikleri üzerinde durulacaktır. Bu aynaların esneklik, titreşim ve denge özelliklerini veren yaklaşık analitik formüller de gözden geçirilecektir. Bu aynaların tasarımı, ince bir yansıtıcı sıvı yüzey katmanını taşıyabilecek kadar sert, ama sıvının yüzey üzerindeki dağılımını sağlayabilmek için döndürmeye elverişli olan hafif bir yapıyı dikkate almaktadır. Bir örnek olarak UBC/LAVAL Gözlemevi'ndeki 2,7m'lik sıvı ayna ele alınmıştır.

2.1. Mekanik Tasarım:

Tasarımının temel yapısı Şekil 1 de gösterilmektedir. Aynanın birleşik yapısı hafif bir çekirdeği kuşatan güçlü bir kabuk örtüsünden ibarettir. Bir Alüminyum göbek, aynanın merkez bölgesini tutmakta ve havalı mil yatağı ve motor sistemi üzerinde

aynanın tam olarak merkezlenmesini sağlamaktadır. Aynanın kenarına bağlanan bir Alüminyum halka cıvayı tutmaya yarar. Ayrıca kenarda da ağırlık dengelemesi yapılabilmesi için belirli noktalar vardır. Aynanın üst yüzeyi, Cıva' yı taşıyan 1cm derinlikte polyester reçine kaplaması ile kaplanmıştır.



Sekil 1: Aynanın mekanik tasarımı

Aynanın, gerilebilen ve sıkıştırılabilen kabuk örtüsü, bir epoxy tabana sahip yapısal fiberlerden ibarettir. Kuvvetlendirici fiberler olarak kullanılabilen birkaç madde türü vardır. En uygun olan dokuma kumaşlar Grafit, Kevlar veya Cam liflerden ibarettir. Cam lif asgari pahalılıktadır ve kolay işlenebilir, fakat diğer kumaşlardan daha düşük performans verir. Örneğin Kevlar Cam lifinkinden yaklaşık %50 daha büyük bir esneklik modülüne sahiptir ve %15 daha hafiftir. Bununla birlikte onun maliyeti cam lifinkinin yaklaşık üç katıdır. Grafit Kevlarinkinden yaklaşık %30 daha büyük olan bir esneklik modülüne sahiptir ama yoğunlukları yaklaşık aynıdır. Onun maliyeti, Kevlarinkinin yaklaşık üç katıdır. Küçük aynalar için Kevlar muhtemelen en uygun seçimdir. Büyük aynalar için grafit, yüksek özsertliğinden dolayı daha uygun olabilir. Bütün bu maddeler tekyönlü veya çift yönlü dokuma türleri olarak mevcuttur. Çift yönlü dokumalar, paralel ve dikey dokuma yönlerinde karşılaştırılabilir sertlik ve dayanıklılığa sahiptir ve ilgili eğri yüzeylerin kaplanmasında çok uygun olan dokumalardır.

Çünkü bu kumaşlar anizotropiktir ve kabaca homojen mekanik özelliklere sahip olan bir kabuğu sağlamak için çeşitli katmanlar farklı yönelme açılarıyla

kullanılmalıdır. 2,7 m' lik aynanın alt ve üst kabukları birbirine göre 22°,5 yönlenmiş dört kat Kevlar 49, tip 281 çift dokumadan oluşmuştur. Bu dokumalar aynanın kenarında 10cm ve Alüminyum göbeğin üzerinde 5cm kalınlığı oluşturacak şekilde üst üste yerleştirilmiştir. İki ilave dokuma aynanın merkezinden yarıçapın 2/3'üne kadar yayılmakta ve bundan başka iki dokuma daha merkezden yarıçapın 1/3'üne kadar yayılmaktadır.

Makas gerilimleri hafif bir maddeden oluşan aynanın merkezindeki çekirdek kısmı tarafından karşılanmaktadır. Bu merkezi çekirdek kısmını oluşturabilecek çeşitli madde türleri vardır. Küçük aynalar için Dow köpük belki de en uygundur. Bu hafif bir maddedir ve sertliği, biçimlendirmenin ve monte etmenin görelisi olarak kolay yapılabildiği bir avantaj özelliği verecek düzeydedir. Çok daha büyük aynalar için köpük yerine daha yüksek makas modüllü bir madde kullanılmalıdır.

Şekil 1 den görülebileceği gibi, aynanın teknesi konik bir şekle sahiptir. Bu şekil bir minimum ağırlığı koruduğu sürece sertliğin artmasını sağlar. Ayrıca bu konik biçim aynanın kalınlığını, üst yüzeyin parabolik biçiminden dolayı yaklaşık olarak sabit kılar ki, bu , yapısal analizi kolaylaştırır.

2.2. Yapı Analizi:

Aynanın silindirik simetrisi analitik olarak kestirilebilen yapısal özellikler için bir anahtar işlevi görür. Bu yaklaşım, çekirdekteki makaslama bozulmasının ihmal edilebileceğini sağlayan elverişli bir yaklaşımdır. Eksene göre simetrik bozulmalar için

$$htE_s(1 - \sigma_c) / R^2 E_c \ll 1 \quad (1)$$

koşulu sağlanmalıdır. Burada R aynanın yarıçapı, t ve E_s kabuğun kalınlığı ve Young modülü, h , E_c ve σ_c çekirdeğin sırasıyla kalınlığı, Young modülü ve Poission oranıdır. Dipol bozulmalar için (bir eksen eğimine karşılık gelen) merkez kısmın sertliği önemlidir ve ince plak koşulu;

$$\frac{htE_s(1 - \sigma_s)}{R_h^2 E_c} \ll 1 \quad (2)$$

dir ki burada R_h metal göbeğin yarıçapıdır. Yukarıdaki koşullar sağlandığı zaman aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

Aynanın maksimum (dönme) sapmasının cıva katmanının kalınlığına oranı (saçılma katsayısı),

$$\frac{\zeta_{\max}}{t_{Hg}} = \frac{7 + 3\sigma_s}{64D(1 + \sigma_s)} \rho_{Hg} g R^4 \eta(\mu) \quad (3)$$

formülü ile verilir. Burada ρ_{Hg} cıvanın yoğunluğu ($0^\circ C$ de $13,596 kg m^{-3}$), g çekim ivmesi ve D de sertlik katsayısı olup;

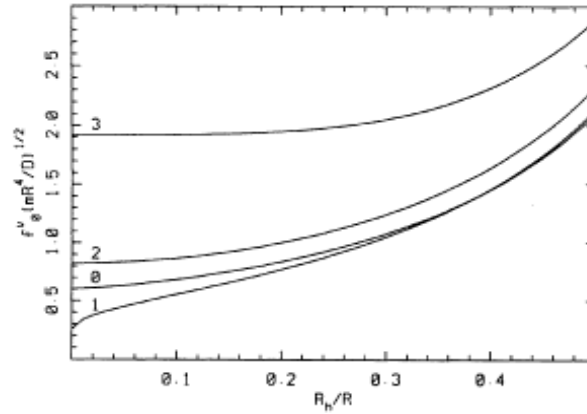
$$D = \frac{E_s h^2 t}{2(1 - \sigma_s^2)} \quad (4)$$

formülü ile verilir. (3) denklemindeki $\eta(\mu)$ ise sapmanın $\mu = R_h/R$ (göbek yarıçapının ayna yarıçapına oranı) oranına bağlılığını içeren bir fonksiyondur (Şekil 1). $2,7 m$ 'lik ayna için $\mu = 0,15$ ve $\eta(\mu) = 0,67$ dir. Aynanın temel rezonans frekansı

$$f_0^v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\lambda_0^v D}{m}} \quad (5)$$

denkleminde kestirilebilir. Burada m , ayna ve cıvanın birim yüzey alanı başına kütlesidir. λ_0^v ise μ ye ve azimutal mod sayısı ν ye bağlıdır. Boyutsuz rezonans frekansları $\hat{f}_0^v = f_0^v (mR^4 / D)^{\frac{1}{2}}$ çeşitli modlar için, Şekil 2 de noktalanmıştır. $2,7m$ 'lik ayna için en düşük frekans modu $\nu = 1$ ve $\hat{f}_0^v = 0,656$ olan dipoldür.

Şekil 2: Göreli göbek çapının bir fonksiyonu olarak en düşük dört



azimutal mod için boyutsuz rezonans frekansları

Cıvanın akmasına yol açacak kararsızlıklardan kaçınmak için hem ayna hem de taşıma sistemi yeterince sert olmalıdır. Kararlılık için şart:

$$\gamma^1 + \gamma_s \leq 1 \quad (6)$$

şeklindedir. Burada γ^1 ayna için dipol eğrilik katsayısıdır ve

$$\gamma^1 = \frac{g \rho_{Hg} R^4}{(2\pi \hat{f}_0^1)^2 D} \quad (7)$$

denklemleri ile belirlenir. γ_s ise kaldırma sistemi için eğrilik katsayısı olup,

$$\gamma_s = \frac{4\kappa}{\pi g \rho_{Hg} R^4} \quad (8)$$

ile ifade edilir. Burada κ kaldırma sisteminin moment sertliğidir. Yani eksen eğilmesinin radyan başına dönme momentini düzenler. Burada sunulan ayna dizaynı için eğrilik katsayısı Şekil 2'deki $\nu = 1$ eğrisinden herhangi bir μ değeri için hesaplanmış olabilir. 2,7m'lik ayna için $\gamma^1 = 0,06 g \rho_{Hg} R^4 / D = 0,07$ dir. UBC/Laval'daki 2,7 m'lik aynanın mekanik karakteristikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. (3) denkleminde saçılma katsayısının tahmini değeri 0,11 olarak bulunur. Lâboratuvar ölçümlerinde ise bu değer 0,13 olarak ölçülmüştür. Bu küçük farklılık bu aynanın ilk kullanımından beri makaslama bozulmasının olası bir sonucudur. 2,7 m'lik ayna için ince plak yaklaşımı, $htE_s(1 - \sigma_c) / R_h^2 E_c \cong 9$ olduğundan dipol saçılması için çok başarısızdır. Bir sonuç olarak yukarıda belirtilen dipol eğrilik katsayısı da ($\gamma^1 = 0,07$), 0,22'lik ölçüm değerinden çok küçüktür.

Çizelge 1: 2,7 m'lik UBC/Laval sıvı aynalı teleskobunun mekanik özellikleri.

<u>PARAMETRE</u>	<u>DEĞER</u>
Yarıçap (R)	1,33 m
Göbek Yarıçapı (R_h)	0,20 m
Çekirdek Kalınlığı (h)	0,12 m
Kabuk Kalınlığı (t)	2,0 mm
Odak Uzaklığı	5,00 m
Ağırlık (boşken)	120 kg
Ağırlık (2mm kalınlıklı Hg yüklü iken)	270 kg
Saçılma katsayısı (ζ_{\max}/t_{Hg})	0,13
Dipol Eğrilik Katsayısı (γ^1)	0,22
Rezonans Frekansı (boşken)	27 Hz
Rezonans Frekansı (Hg yüklüken)	18 Hz

Dipol titreşimleri için rezonans frekansı çok küçük olmaktadır. 2,7 m' lik ayna için ince plak yaklaşımı, cıva yüklenmeden önce 48Hz'lik bir rezonans frekansını, 2mm kalınlığında bir cıva tabakasıyla yüklüken 32Hz'lik bir rezonans frekansını belirtir. Makaslama bozulması sebebiyle doğru değerlerin $1,8(\sqrt{0,22/0,07})$ kat daha küçük olması beklenmektedir.

Dayanma gücünü belirleyen başlıca etkenler çekirdek ve kabuğun kalınlığı, kabuğun dayanma gücü ve göbeğin çapıdır. Yukarıdaki formüllerden görüldüğü gibi verilen bir ayna çapı için bükülmezlik çekirdek kalınlığının karesi ve kabuk kalınlığı ile

orantılı olarak artar. Eğrilik ve saçılma katsayıları bükülmezlikle ters orantılıdır, fakat rezonans frekansı sadece bükülmezliğin kareköküyle artar. İnce plak koşulları (1) ve (2) sağlandığı sürece, kabuğun kalınlığı ayna yarıçapının karesi ile orantılı olduğunda ($t \propto R^2$), saçılma, eğrilik katsayıları ve rezonans frekansı (yaklaşık olarak) sabit kalır. Büyük aynaların dizaynında, örneğin görelî kalınlık h/R 'ın artışı gibi yapılacak küçük değişiklikler onların daha kullanışlı olmalarını sağlayabilir. Alüminyum göbeğin çapının arttırılması aynanın performansını önemli ölçüde arttırır. Dolayısıyla göbek olabildiğince geniş tutulmalıdır.

2.3.Yapım Teknikleri:

Aynanın üretimi, birleşik yapıların standart tekniklerini izler. Sıvı aynaların imali için 2,7m'lik aynanın yapım tekniklerinin anlatılması iyi bir örnek olabilir.

2,7 m'lik geniş sıvı aynanın çekirdek kısmı, bir sıcak tel kesici kullanılarak köpük bloklarından kesilmiştir. Bu kesme işlemi, 1,2m uzunluklu, 1mm çaplı paslanmaz çelik bir telin, hafif sert iskelet üzerine gerilmesi ve bir değişken dönüştürücünün ikincil elektrik devresine bağlanmasıyla yapılır. Kesme işleminden sonra, kesilen ayrı parçalar aynı hizaya getirilir ve iki bileşen köpük polyurethane reçine ile zamklanır. Bu zamklama işleminden sonra köpük çekirdek alüminyum göbeğe monte edilir. Tüm çekirdek mil yatağı üzerinde döndürülürken sıcak bir tel aynanın kenarında dikey bir pozisyonda yerleştirilir. Yerleştirilen bu sıcak tel dönen köpük çekirdeğin kenarlarına dairesel bir şekil verir. Benzer bir şekilde, köpük çekirdeğin dip yüzeyi de konik şekilde biçimlendirilir.

Kevlar kabuk örtüsünün yaprak biçiminde katmanlaştırılma işlemi alt yüzeyle başlar. Kabuk örtüsünün bağlanabilmesi için ayna tersine çevrilir ve çekirdekte bulunan herhangi küçük çukur ve çatlaklar polyurethane köpük ile doldurulur. Sonra hem metal göbek, hem de çekirdeğin kenarları ile bütün alt yüzey kumlanarak hazırlanır. Köpükteki gözenekler epoxynin bir hafif karışımı ve cam mikrosferler ile doldurulur. Sonra kevlar kumaşın peş peşe gelen katmanları kullanılır ve Hexcel tip 2410 reçine ve

tip 2183 sertleştirici ile ince tabakalara ayrıştırılır. Bu reçine görel olarak daha az zehirlidir, düşük egzotermik ısı üretir ve kuruma nedeniyle minimum fireye sahiptir.

Alt Kevlar kabuk örtüsü kurutulurken (25°C da yaklaşık 24 saat), ayna mil yatağı üzerinde uygun bir konumda yerleştirilir. Köpük çekirdeğin üst yüzeyi tam bir parabol oluşturarak şekillendirilir. UBC 'nin 2,7m'lik ve Nasa'nın 3m'lik aynaları için bu, dönen bir kesiciyi taşıyan bir iki eksen dönüştürücüsü ile yapılmıştır.

Sonra, aynanın üst yüzeyi alt yüzeye aynı çeşit Kevlarla kaplanır ve hazırlanır. Üst ve alt kabuk örtüleri kenarın üzerinde 10cm kalınlık oluşturur. Epoxy kurduğu zaman, metal kenar ve ağırlık çıkıntılarına ilişkin ek noktaları sağlamak üzere kör vidalar takıldı. 2,7m'lik ayna için olan vida somunları 2,5 cm çaplı, paslanmaz çelik disklerden yapılmıştır. Bu diskler aynanın metal kenarını tutacak vidaları almak için delinmiş deliklerden oluşur. Bu deliklere ek olarak daha geniş delikler, ağırlık dengesinin vidalarının takılması için vardır. Bunlar daha büyük deliklerle baştan başa Kevlar kabuk örtüsüne ve aynanın çevresindeki kabuğun içine yerleştirildi. Aynanın kenarları ve kör vida somunları, aynanın kenarına floxla (pamuk lifleri ve epoxynin bir karışımı) yapıştırılmıştır. Kenarı sağlam bir şekilde bağlamak için son bir Kevlar parçası, metal kenarın üzerine sürerek üst yüzeye yapıştırılmıştır.

Aynanın son yüzü, geniş aynalar için çok uygun olduğu Borra tarafından belirtilen Hexel tip 3138 polyrehane reçine ile kaplanmıştır. Reçine ve sertleştirici, oluşabilecek hava kabarcıklarını ortadan kaldırmak için elle karıştırılır ve ayna dönerken bir seferde uygulanır.

2.4. Sıvı Aynalı Teleskopların Bilinen Optik Teleskoplardan Farkı

Sıvı aynaların yansıtıcı elemanının sıvı cıva olduğunu daha önce söylemiştik. Bu aynaların bilinen, alüminyum sırlı optik aynalardan farklarını araştırırken öncelikle, alüminyum ve cıvanın yansıtıcılık bakımından bir karşılaştırmasının verilmesi uygun olacaktır.

Sıvı cıva, ışığın yansıtılması için mükemmel bir yüzey sağlayabilir. Dalga boyuna göre cıvanın yansıtıcılık sıralaması 3100 \AA da % 79 ve 13000 \AA da % 90 şeklindedir. O halde cıva, özellikle tayfin kırmızı bölgesinde alüminyum ile rekabet halindedir. Cıvanın alüminyuma göre kendine özgü başka bazı avantajları da vardır.

Bunların başında sıvı cıvanın yüzeyinin düzenli temizlenebilmesi gelir. Bu sayede cıva, yüksek yansıtıcılığını koruyabilir. Oysa geniş alüminyum aynalar ortalama yılda bir kere sırlanabilir ve aynanın yüzeyinde meydana gelecek olan oksitleme ve tozlanma yansıtıcılık kalitesini oldukça düşürür.

Ancak cıvanın en büyük dezavantajı cıva buharının zehirli oluşudur. Bu özellik, cıva üzerine birkaç saat için buharlaşmayı belirli limitler altında yok eden saydam bir yüzey katmanının oluşturulmasıyla ciddi bir sorun olmaktan çıkarılır.

Sıvı aynalı teleskoplarla bilinen optik teleskoplar maliyetleri bakımından karşılaştırıldığında sıvı aynalı teleskopların çok ekonomik olduğu görülür. Çizelge 2’de 2,7m’lik UBC/Laval Sıvı aynalı teleskopunun parça başına kabaca maliyetleri gösterilmiştir. Teleskopun tüm maliyeti benzer büyüklükteki geleneksel teleskopların maliyetinin sadece yüzde birkaçı kadar olan 100.000\$ civarında kestirilir. Bu bütçe CCD detektörün ve her teleskopta ihtiyaç duyulan veri alma sisteminin maliyetini kapsamaz.

Çizelge 2: 2,7 m’lik UBC/Laval sıvı aynalı teleskobunun parça başına maliyetleri ve toplam yaklaşık maliyeti.

Ayna	18000\$
Havalı Mil Yatağı Sistemi	17000\$
Motor Sistemi	4000\$
Cıva	3000\$
Düzeltilici Mercekler	30000\$
Taban, Üç Ayak ve Adaptör	10000\$
Gözlemevi Binası	20000\$
Toplam	102000\$

Sıvı aynalı teleskoplar, gerek maliyetleri, gerek yansıtıcılık kaliteleri bakımından avantajlı da olsalar, onların Zenit teleskopu olması çok büyük bir sorundur. 2,7m'lik UBC/Laval sıvı aynalı teleskopu Zenit yöresinde yarım derece çaplı bir daire içinde gözlem yapılabilirken bilinen optik teleskoplarla gökyüzünün tamamında gözlem yapılabilir.

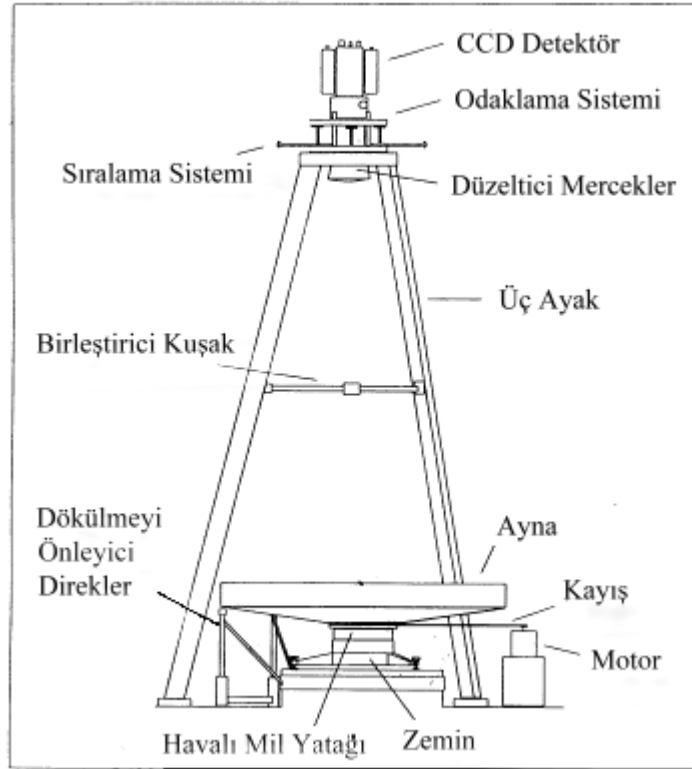
3.UBC/LAVAL SIVI AYNALI TELESKOBU VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde 2,7m'lik astronomik sıvı aynanın temel özellikleri, yapısı, donanımı ve gözlem programı anlatılmıştır. Bu teleskop bilinen bir optik teleskopun maliyetinin küçük bir dilimi ile inşaa edilmiştir. O, Zenitte yarım derece çaplı bir alanı merkezlenecek şekilde görüntüledi. Teleskop 2 dakika integrasyon zamanı ile gök yüzünde 20' lık geniş bir bantta sürekli görüntü üreten, TDI (Time Delay Integration) modunda çalışan düşük gürültülü bir 2048 x 2048 pixel CCD dedektör ile donatılmıştır. FWHM si 2" veya daha az olan görüntüler düzenli olarak Vancouver British Columbia yöresinde elde edilmiştir. Bu görüntü kalitesi yalnız atmosferik görüş ve yıldız ışığının eğriliği tarafından sınırlandırılır. Teleskop, tüm araştırılan cisimlerin 0,4 den 1,0 μ m dalga boyuna kadar tayflarını alabilecek 40 adet dar bant filtrelerinin bir dizisi ile donatılmıştır. Bunlar, parlaklık sınırı $R=21$ e kadar yalaşık 10^4 galaksi ve 10^3 kuasarın sınıflandırma ve kırmızıya kaymalarının araştırılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır.

3.1.Teleskobun Yapısı ve Donanım Özellikleri

Teleskobun en kritik elemanı birincil aynasıdır. Bu ayna, minimum bükülme ve titreşimlerle taşıdığı ağır cıvayı, sarsmamalıdır. Ayna, bir Kevlar kabuk örtüsü tarafından sarılan alüminyum ve köpük çekirdekten ibarettir. Kabuk örtüsü için Kevların seçilmesinin sebebi, onun yüksek esneklik modülü ve nemlilik katsayısıdır. Kevlar kabuk örtüsünün üst yüzeyi polyurethane reçine tabakası tarafından kaplanarak pürüzsüz bir yüzey haline gelmesi sağlanmıştır. Milimetrenin küçük bir kesri kadar hatalı bir parabolik şeklinde elde edilen yüzey, 2mm kalınlıklı cıva tabakası tarafından

örtülür. Aynaya 150kg cıva yüklendiğinde yüzey sapması 0,3mm den daha az olur. Cıvanın yüzeyi üzerindeki ince bir oksit tabakası, yüzey dalgalarını ve cıvanın buharlaşmasını minimum hale getirir. Dönme, dakikada 6 devirde iken, ayna 5,00m odak uzaklığına sahip ve odak oranı 1,89 olur. Aynanın tamamı, cıvanın ağırlığı da dahil olmak üzere 270kg ağırlığındadır. Şekil 3 de teleskopun bir krokisi gösterilmiştir.



Şekil 3: UBC/Laval 2,7m'lik sıvı aynalı teleskobunun krokisi

Ayna ,eşzamanlı dönmeyi sağlayan bir motor tarafından döndürülür ve bir havalı mil yatağı tarafından taşınır. Kararsızlıkları önlemek için aynanın tüm taşıma sistemi aşırı derecede sert olmalıdır. Bu aynada kullanılan havalı mil yatağı, bir beton kemere yapıştırılmış çelik koruyucunun üzerinde eşit düzeye getirilen üç hareketsiz vida ile 10cm kalınlıklı, 70kg ağırlığındaki bir alüminyum disk tarafından taşınır. Vidalar, mil yatağının yapacağı yalpalama hatasının 2" içinde sınırlı kalmasını sağlar. 5,5m yüksekliğinde bir üç ayak, bir adaptör ve lazer sıralama sistemini taşır. Üç ayak, alüminyum kirişlerden yapılmıştır. Adaptör, bir 2048 x 2048 piksel Loral CCD kamera, bir elektrokimyasal odaklama mekanizması, filitre ve düzeltici merceği birlikte

çalıştırır. Düzeltici mercek Dominion Astrofizik Gözlemevi'ndeki C. Morbey tarafından tasarlanmış ve Alberta'da ki Arnold Optikleri tarafından yapılmıştır. Düzeltici mercek beş parçadan oluşur ve alan bozulması dahil tüm optik aberasyonları görsel ve yakın kırmızı öte dalga boyları için $0,5$ alan üzerinden $1''$ den az olacak şekilde azaltır.

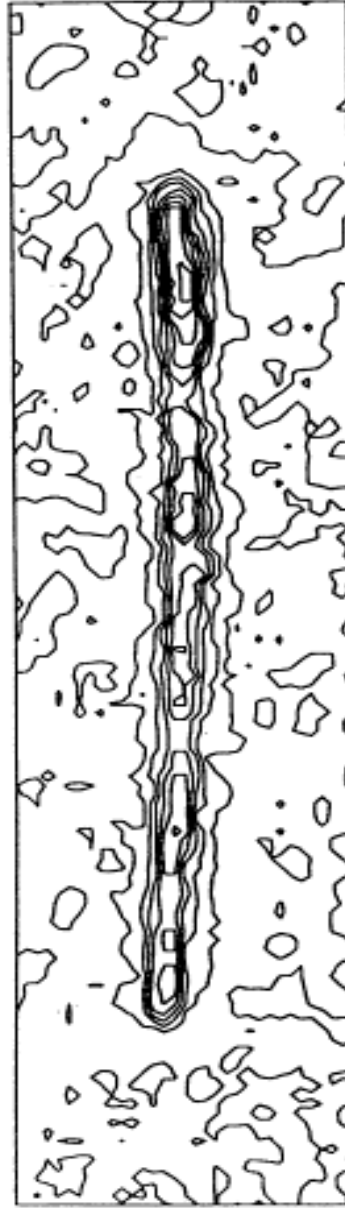
Sıvı aynalı teleskoplar Zenit noktası teleskoplarıdır. Kullanılan CCD detektör sürekli veri alımı ile zaman gecikmesi integrasyonu (TDI) modunda çalıştırılır. CCD, $0,62 \text{ piksel}^{-1}$ lik bir örnek aralık ile gökyüzünü $21'$ genişliğindeki bir şeridin taranmasını sağlar. $32,382 \text{ piksel s}^{-1}$ lik çıktı oranı, gecelik verilerin 2 gigabyte'ın üzerinde olmasına neden olur. Ayrıca teleskop, CCD kameradan veri alan bir Sun 386i/250 bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Görüntüler, gözlemevindeki 8mm dijital video kasetlere kaydedilir ve real-time da görüntülenir. Veri UBC'de HP 9000/730 bilgisayarla tekrar işlenmekte ve kalibre edilmektedir.

Adaptör ayrıca, bir lazer sıralama sistemi içerir. Bu sistem aynanın asal eksenine paralel lazer ışınları gönderir, ışınlar aynadan yansdıktan sonra aynanın odağında toplanırlar. Bu sayede aynanın asal ekseninin durumu ve odaklama sistemi denetlenebilir. Bu sistemle, optik eksenin durumu $0,3\text{mm}$ 'den daha az hata ile belirlenebilir.

Odak mekanizması, bir takip motoru, vidalar ve dedektörün hareketi için lineer yataklar ve bilgisayar denetimi altında dikey montajlı düzeltici merceği çalıştırmaktadır. kullanır. Isısal genleşmeyi karşılamak için bir otomatik odaklama mekanizması tasarlanmıştır. Adaptör için, düzeltici merceğin ikinci ve üçüncü parçaları arsına yerleştirilen 4 inç (10cm) çaplı cam filitreler uyumludur. Bir döndürücü bölüm yıldız hareketinin yönü ile CCD kolonlarının tam sıraya dizilmesini kolaylaştırmaktadır. İlk testler ve gözlemler 120m yüksekliğinde, Vancouver'in 40km güneydoğusunda bir yerden yapılmıştır. Yeni bir gözlemevi Vancouver'in 60km kuzeydoğusunda, UBC Araştırma Alanında küçük bir dağın tepesinde inşa edildi. Bu bölge, 400m yükseklikte karanlık bir gökyüzü ve iyi görüşe sahiptir. $2,7\text{m}$ 'lik teleskobun ilk evi olacak olan bu gözlemevi, 6m kadar genişliğinde aynaların gelecekteki test ve gelişmelerini sağlayacaktır.

3. 2. Teleskobun Performansı:

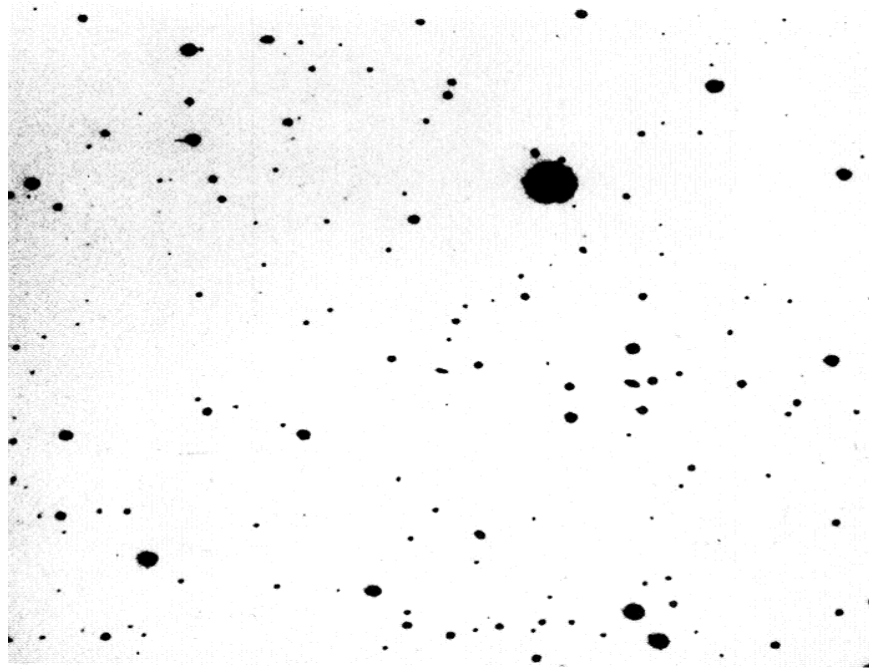
Teleskop performansını değerlendirmek için izlenen birkaç yıldız görüntüsü, yıldız zamanı ilerlemesinden biraz daha hızlı olan bir hızda CCD taraması yapılarak elde edildi. Şekil 4 de bir örnek gösterilmiştir. Atmosferik görüş, yıldız izlerinin görüntüsünü bulanıklaŐtırmaktadır. Görüş, görüntünün Kuzey-Güney doğrultusundaki geniŐlięinden kestirilebilir. Birkaç ay süren gözlemler için bu geniŐlik hemen hemen her zaman 2" FWHM den azdır.



Şekil 4: İzlenen bir yıldız görüntüsü

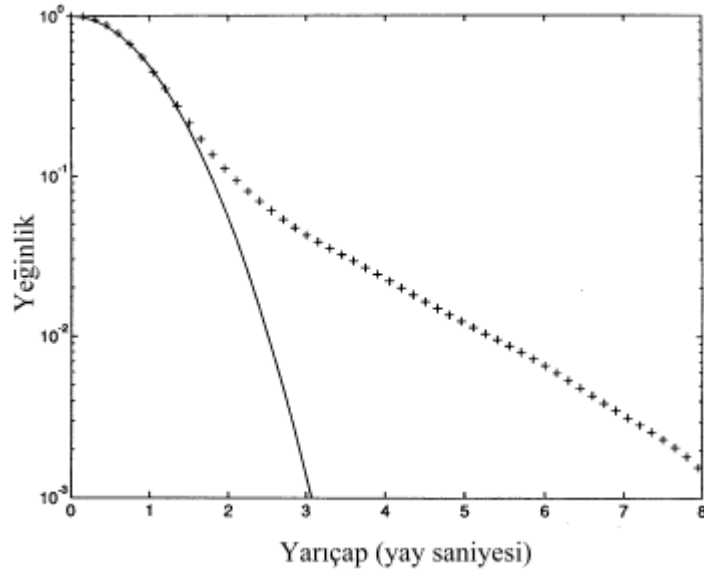
Düzeltilici veya aynanın yanlış sıralanması gibi teleskoptan kaynaklanan aberasyonlar, görüntünün bulanıklaşmasına bağlı bir alan açısı gibi görünür. Aberasyonlar 1" den hayli aşağıdadır ve böylece görüşle karşılaştırılmayacak kadar önemsizdir. Eğer ayna uygun bir şekilde dengelenmezse bir ikinci etki, yıldız izlerinde düzenli hareket gibi görünen yıldız görüntüsünün dönemli hareketi şeklinde oluşabilir. Bu dönemli hareketin oluşturduğu hata, ayna kenarına eklenen bir küçük ağırlık dengeleyici sayesinde, 1 yay saniyesinin bir kesrine kadar düşürülebilir.

Görüntü bozulmasının son bileşeni TDI işleminin sonucundan ileri gelir. Yıldız izlerinin eğriliğinden ve deklinasyon ile yıldız izleme hızının değişiminden dolayı iki ayrı etki vardır. Bu hatalar enleme bağlıdır ve bakışın açisal alanının karesi oranında artar. Bu teleskop için (49° yükseklikte), bu hatalar cismin deklinasyonuna bağlı olarak görüntüde 1" – 2" 'lik bulanıklığa neden olurlar. Yıldız iz eğriliği, düzelticinin hatsından kaynaklanan bozulma gibi diğer tür problemlerden ayırt edilebilir ki bu izlerin tümü hafifçe Kuzey yönünde tüm alan boyunca sabit olan bir miktar kadar iç bükeydir. Şekil 3 (plak 18), merkezi dalga boyu 702,4nm ve bant genişliği 33,3nm olan bantta alınmış tipik bir 2048x2048 piksel TDI görüntüsünü göstermektedir. Gök parlaklığı $19^m,2 \text{ } \text{mag} \text{sn}^{-2}$ olmuştur. Bu görüntüdeki en sönük cismin parlaklığı $R \cong 21^m$ dir.



Şekil 5: $15^{\text{sa}} 29^{\text{dk}} + 49^\circ 14'$ bölgesinin dar bant TDI görüntüsü. Görüntüdeki en parlak yıldız SAO 045572'dir. Görüntü 129sn poz süresi verilerek kaydedilmiştir.

Şekil 6’da tipik bir yıldız görüntüsünün yeğinlik profili noktalanmıştır. Düz (kesiksiz) çizgi aynı FWHM’li bir Gauss profilidir. Görüntünün Gauss merkezi yöresinde keskin bir kenara sahip olduğu görülmektedir, fakat birkaç yay saniyesinden daha büyük yarıçaplarda önemli bir fazlalığa sahiptir. Bu ayça sıvı aynalar ya da diğer bilinen aynalar için beklenenden daha güçlü olmaktadır.



Şekil 6: Tipik bir yıldız görüntüsünün yeğinlik profili

3.3. Gözlem Programı

Kuasar ve galaksilerin oluşum ve evrimi, evrenin yapısı ve geniş ölçekli geometrisi gibi birçok soru, uzak cisimlerin incelemeleri tarafından yanıtlanabilir. Onların gözlenebilmesi için, çok büyük açıklığa sahip olan teleskoplar gereklidir. Böyle bir teleskobun maliyeti ise çok yüksektir. Bu tür gözlemler için sıvı aynalı teleskoplar bilinen optik teleskoplara ekonomik olarak alternatif teşkil ederler.

2,7m’lik sıvı aynalı teleskop ile, dar bant görüntüleme yöntemiyle uzak galaksiler ve kuasarlar incelenebilmektedir. Bu teleskop 40 adet dar bant filtresine sahiptir ve bu filtrelerin her biri %4,6 lık (0,02 dex) bir bant genişliğine sahiptir. Bu filtreler, düzgün logaritmik ölçekle tayfin 0,4-1,0 μ m aralığını kapsamaktadır. Her

gece bir tek filtre kullanılır. 40 gecedan sonra her cisim için bir tayfsal enerji dağılımı elde edilir. Fotometrik kalibrasyon ikinci spektrofotometrik standartlardan elde edilecektir. Bu veriler cisimleri sınıflandırmak ve onların kırmızıya kaymalarını kestirmek için kullanılacaktır

Bu teleskopla $V=20^m$ veya daha parlak yaklaşık 2500 adet galaksinin incelenmesinin yapılabileceği beklenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Borra, E. F. Content, R. Drinkwater, M. J. Szapiel, S. 1989. "A Diffraction Limited f/2 1,5 Meter Diameter Liquid Mirror". The Astrophysical Journal, Vol. 346, S. L41.
2. Gibson, B. K. Hickson, P. Hogg, D. W. 1993. "Large Astronomical Liquid Mirrors". Publications of the Astronomical Society of Pacific, Vol. 105, S. 501.
3. Borra, E. F. Cabanac, R. Content, R. Gibson, B. K. Walker, G. A. H. 1994. "UBC/LAVAL 2,7 Meter Liquid Mirror Telescope". The Astrophysical Journal, Vol. 436, S. L201.
4. <http://www.astro.ubc.ca/LMT/lmt.html>