

# Shack - Hartmann Dalga Cephesi Sensör Tabanlı Adaptif Optik Sistemi ve Laboratuvar Sonuçları

Seda Baştürk <sup>a,b</sup>, Ebru Uzunçam <sup>a</sup>, Derya Öztürk Çetni <sup>a</sup>, Gizay Yolalan <sup>a</sup>, Kemal Rüzgar <sup>a</sup>, Bülent Güçsav <sup>a</sup>, Cahit Yeşilyaprak <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Türkiye Ulusal Gözlemevleri, ATASAM-DAĞ, 25050, Erzurum

<sup>b</sup> Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Optik ve Fotonik Bölümü, 25050, Erzurum

## Özet

Bu çalışmada, Türkiye Ulusal Gözlemevleri, optik laboratuvarında bulunan Shack – Hartmann adaptif optik (SH - AO) enstrümanının mekanik kurulumu ve hassas optik hizalaması yapıldıktan sonra, optik yola statik ve dinamik aberasyon kaynakları entegre edilmesiyle, sistemin dalga cephesi düzeltme performansı ile ilgili sonuçlar paylaşılacaktır.

## Giriş

1953 yılında ilk kez Horace W. Babcock tarafından ortaya atılan modern adaptif optik (AO) konseptiyle, dalga cephesi sensörleri AO sistemlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Kapalı çevrim kontrol sistemi ile geri besleme mekanizması olarak görev yapan algoritma üzerinden dalga cephesi sensörü (WFS) ile alınan ölçümler, deforme olabilen aynanın (DM) aktüatörlerine gönderilecek komutlara dönüştürülür. [1] Figür 1'de AO sistemlerinin temel bileşenleri görülmektedir.

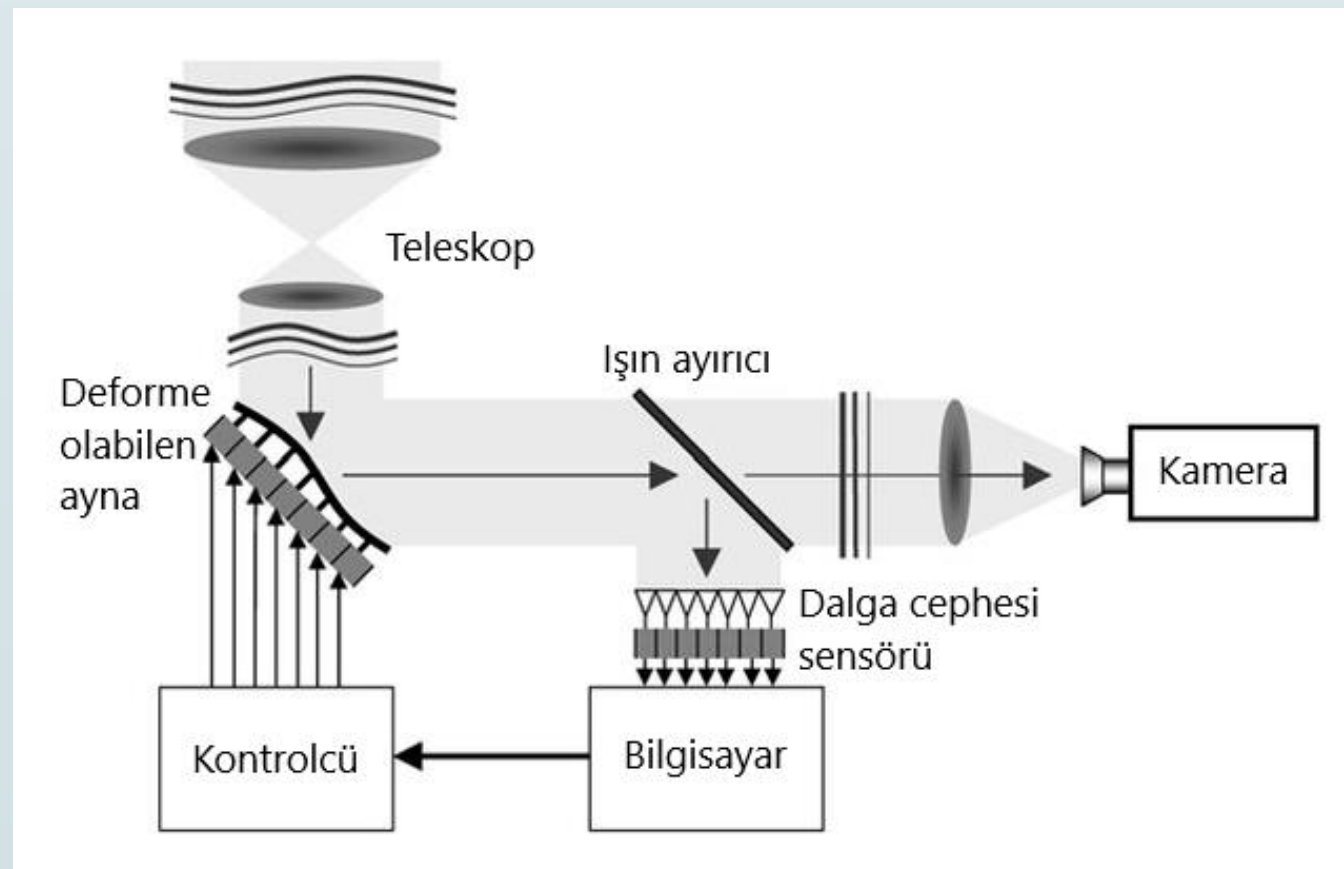


Fig 1. Adaptif optik sisteminin çalışma prensibi ve kapalı döngü kontrol sistemi. (Zhu vd., 2006)

## Materyal ve Yöntem

Laboratuvarda bulunan SH - AO sisteminin bileşenleri ana olarak 9 kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla lazer kaynağı, ışın genişletici, faz plakası, röle lens 1, DM, röle lens 2, ışın ayırıcı, kamera ve WFS'dir. WFS ölçümleri kapalı döngü kontrol yazılımında analiz edilerek, dalga cephesi yeniden oluşturulur. Böylece DM'in aktüatörlerine ne kadar voltaj uygulanacağı hesaplanır. Atmosferi simüle eden faz plakasının oluşturduğu aberasyonu, diğer deyişle optik yol farkını telafi etmek için, DM aktüatörleri ileri ya da geri hareket ederek, dalga cephесinin yeniden düzlem dalga olarak bilimsel kameraya ulaşmasını sağlar.

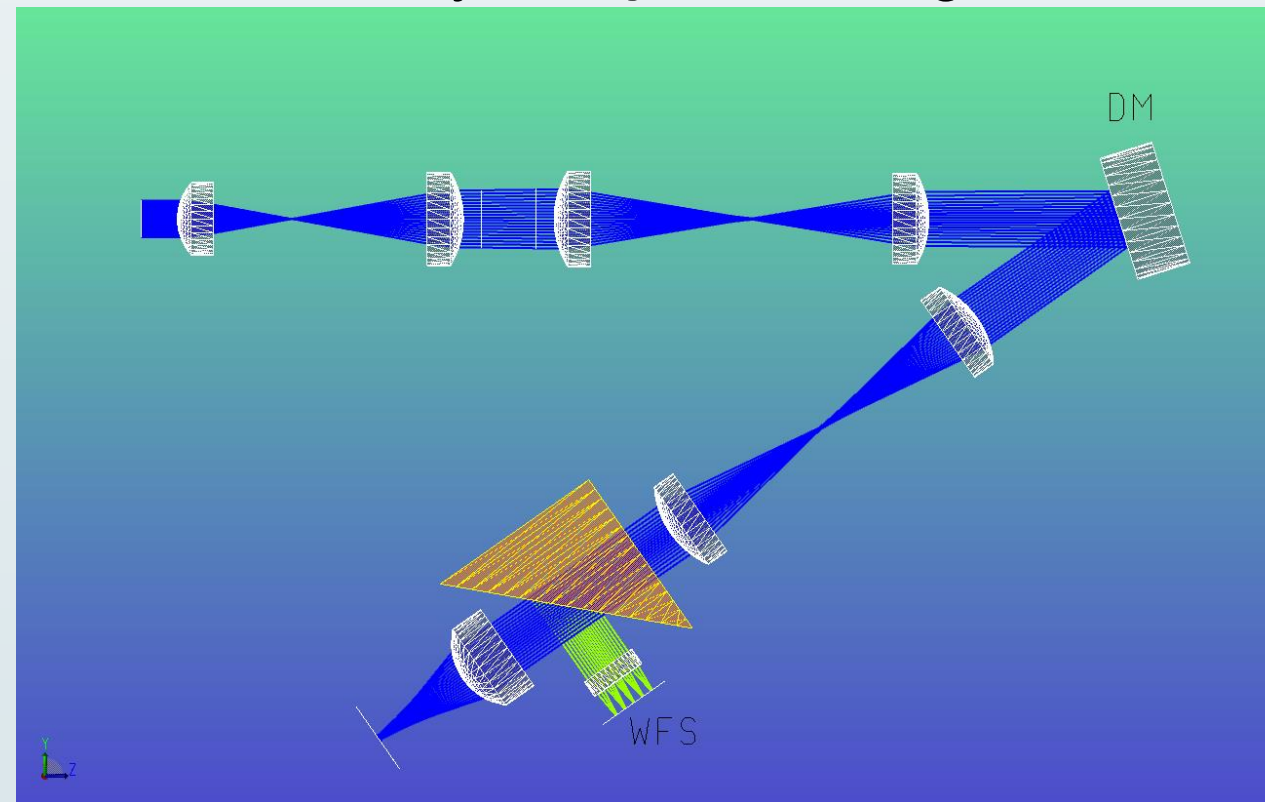


Fig 2. Zemax'ta modellenen SH - AO optik dizilimi.

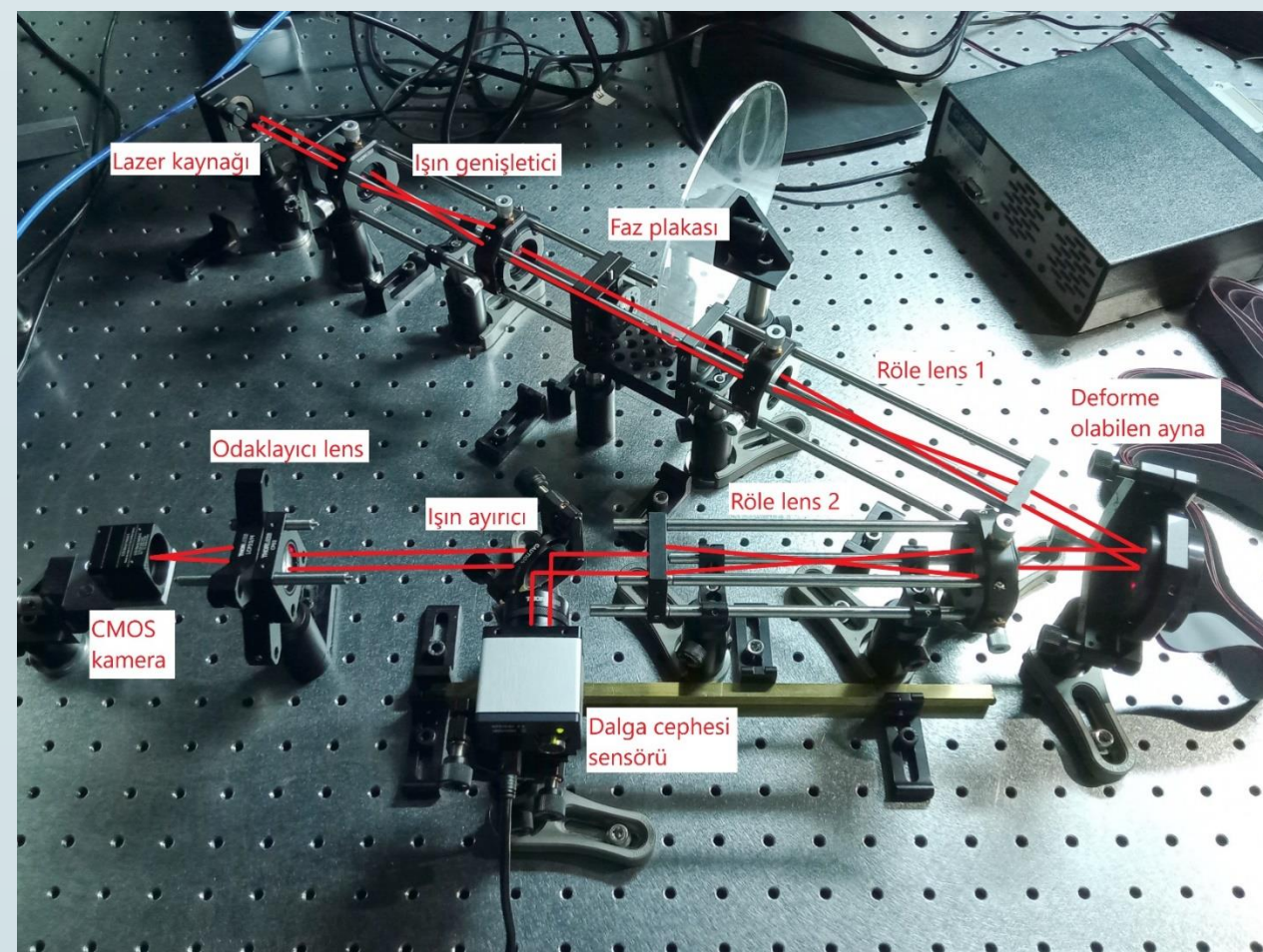


Fig 3. Laboratuvarda kurulumu yapılan SH - AO düzeneği.

SH dalga cephesi sensöründe yer alan mikrolens dizisiyle, sensöre gelen dalga cephesi alt açıklıklara ayrılır. Her bir mikrolens bölgesindeki nokta dağılımı fonksiyonu (PSF) konumu ile mikrolenslerin optik eksenini üzerinde yer alan referans noktadan sapma miktarı hesaplanarak dalganın yerel fazı belirlenir. Ölçülen dalga cephesi algoritma ile yeniden oluşturulur, buradan elde edilen bilgi deforme olabilen aynanın aktüatörlerine gönderilir. Ayna yüzeyi, yeniden oluşturulan dalga cephесinin eşleniği olacak şekilde yüzey formuna bürünür. Bu geri bildirim mekanizması kapalı çevrimde sürekli devam eder. [2]

Hassas optik hizalama sonrasında elde edilen, tepe çukur (PV) değeri  $0,406 \mu\text{m}$ 'ye eşit olan dalga cephesi ile sistem kalibre edilmiş, sonrasında optik yola faz plakası entegre edilmiştir. Faz plakası eklendikten sonra PV değeri  $1,054 \mu\text{m}$ 'ye ulaşmıştır. Kapalı döngü çalıştırılıp DM düzeltilmesi sonrası PV değerinin  $0,643 \mu\text{m}$ 'ye düştüğü izlenmiştir. Figür 4'te belirtilen aşamalara ait PSF grafikleri yer almaktadır.

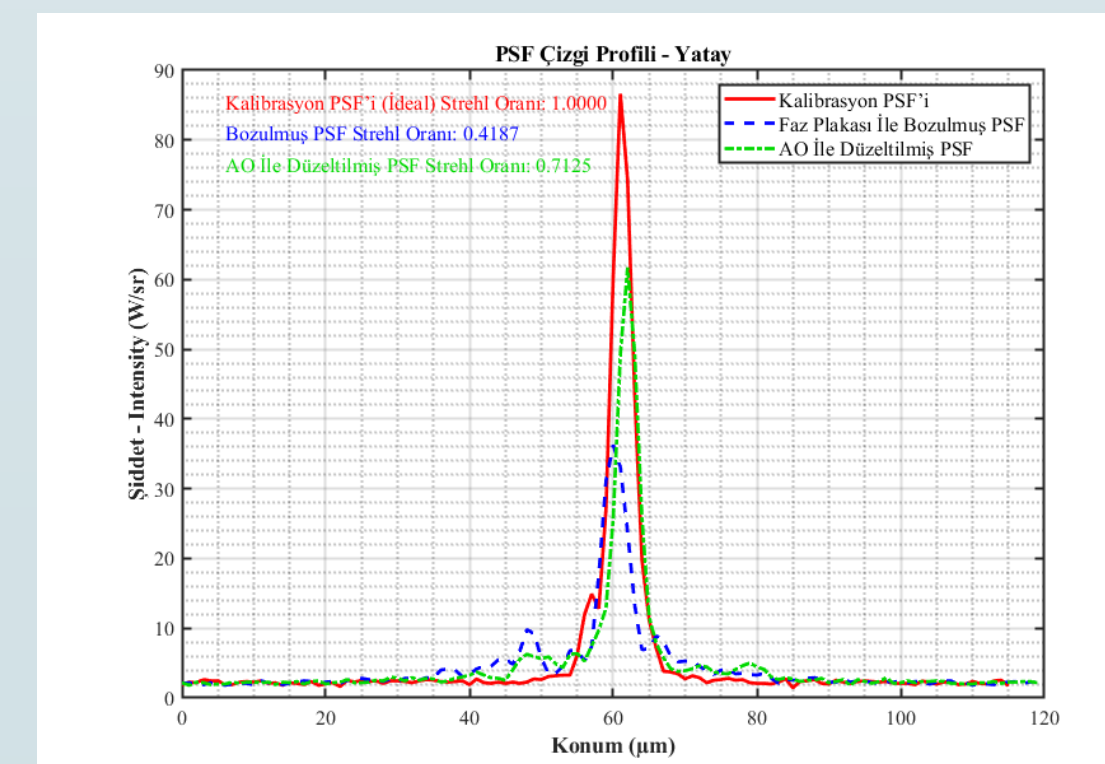


Fig 4. Çizgi profili verilerinden elde edilen PSF grafikleri.

## Sonuçlar ve Değerlendirme

Sistemi kalibre ettiğimiz PSF'i ideal olarak kabul edersek, Strehl oranı 1'e eşit olacaktır. Baz aldığımız kalibrasyon PSF'ine göre, bozulmuş PSF'in Strehl oranı 0,42 iken, DM ile düzeltilmiş PSF'in Strehl oranının 0,71 olduğunu görmekteyiz. Figüre 5'te, adaptif optik sisteminin enerjinin büyük bir kısmını merkeze toplamayı başardığı, orijinal PSF'e yaklaştırdığı görülmektedir.

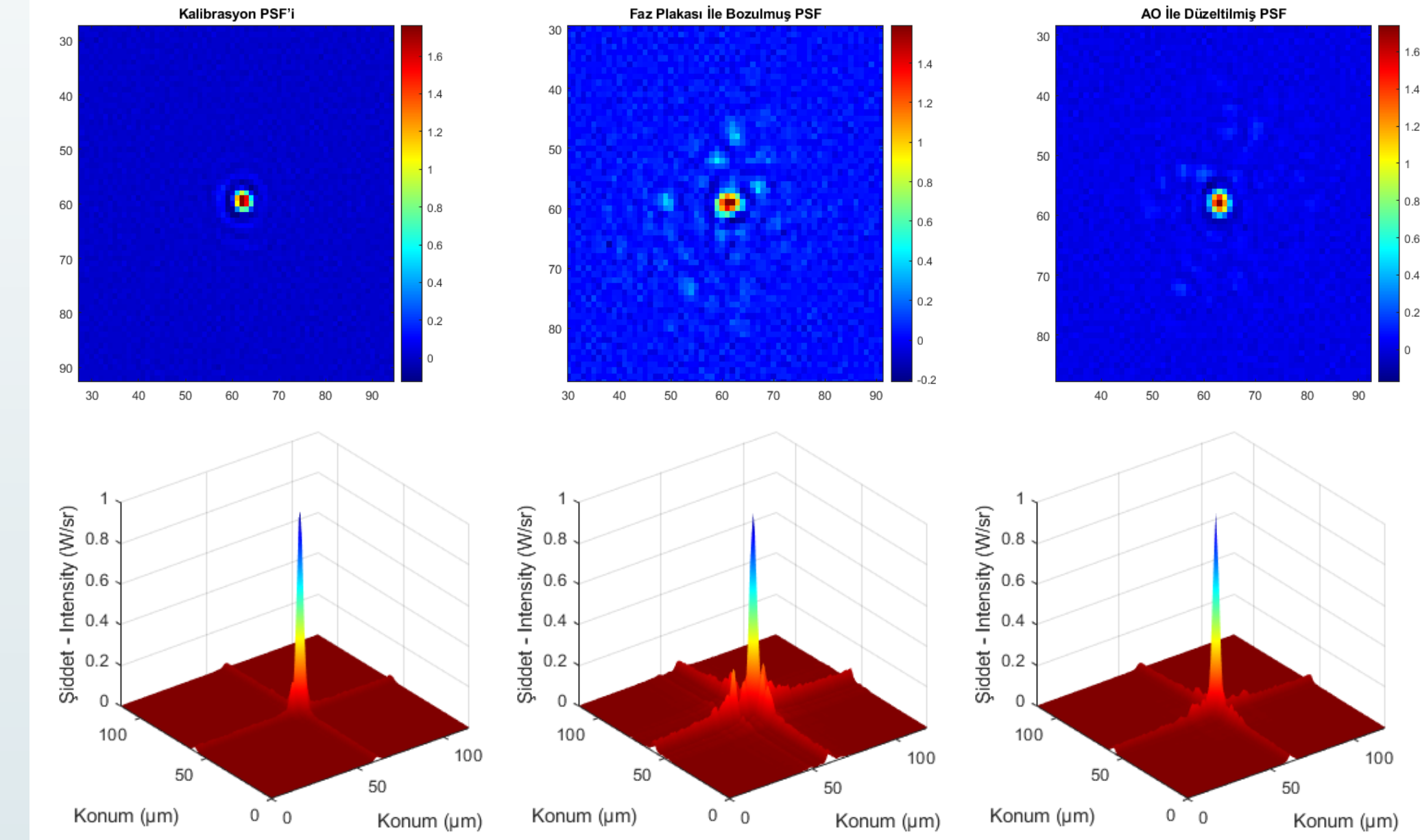


Fig 5. Kalibrasyon, bozulmuş ve düzeltilmiş PSF görüntüleri ve 3B grafikleri.

ANSI Z80 standardına göre, Z1 Zernike katsayısı Y eksenindeki eğime karşılık gelmektedir. Figür 6'dan görüldüğü gibi, düzeltme sonrası Y eksenindeki eğimin bir miktar arttığı ancak belirgin ölçüde X eksenindeki eğimin (Z2) ve astigmatizmin (Z3) azaldığı görülmektedir. Coma, trefoil, quadrafoil aberasyonlarının da düşüşte olduğu görülmektedir.

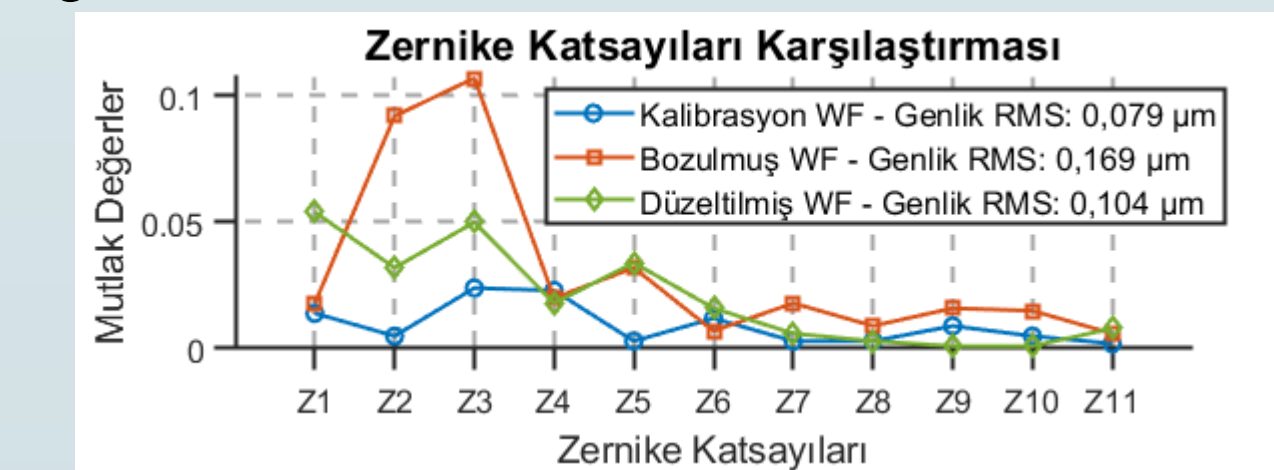


Fig 6. 3 farklı durum için Zernike katsayılarının karşılaştırılması.

## Kaynaklar

- [1] Carillet, M., et al. "Wavefront sensing: from historical roots to the state-of-the-art." *European Astronomical Society Publications Series 22* (2006): 165-185.  
[2] Geary, Joseph M. Introduction to wavefront sensors. Vol. 18. Spie Press, 1995.