İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRA YÜKSEK VAKUM TARAMALI TÜNELLEME MİKROSKOP SİSTEMİ KURULUMU VE GRAFİTİK YÜZEYLERE UYGULAMALAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Esen KUŞLUOĞLU

Anabilim Dalı : Fizik Mühendisliği

Programı : Fizik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Oğuzhan Gürlü

EYLÜL 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRA YÜKSEK VAKUM TARAMALI TÜNELLEME MİKROSKOP SİSTEMİ KURULUMU VE GRAFİTİK YÜZEYLERE UYGULAMALAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hasan Esen KUŞLUOĞLU
(509061108)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Eylül 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Eylül 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan GÜRLÜ (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Orhan Kamer (İTÜ)
Yard. Doç. Dr. Nuri Solak (İTÜ)

EYLÜL 2011

Erkenden göçüp giden kader yoldaşım Engin Abat'ın sıcak anısına,

ÖNSÖZ

Günümüzde yüzey fiziği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Tarama Tünelleme Mikroskobu, tasarımcılarının ürettiği ilk örnekten buyana elektronik ve yazılımsal olarak pek çok aşama kaydetmiştir. Günümüzde nanoteknoloji konusundaki çalışmaların hızla ilerlemesi ve atomik düzeyde madde davranışlarının incelenmesi konusunda TTM düzeneklerinin etkisi yadsınamayacak kadar büyüktür.

Bu çalışmayı yapmaktaki amacımız, Hollanda Twente Üniversitesinden elimize hibe yoluyla geçmiş olan, Ultra Yüksek Vakum ortamında çalışabilecek şekilde tasarlanmış bir TTM düzeneğini geri kazanmak olmuştur. Bu yolda ilerlerken, hiç şüphesiz, elimizdeki düzeneğin maddi değerinden çok daha kıymetli olan daha başka kazanımlarımız olduğu muhakkaktır. Bunlar, teknik bilgi ve deneyimdir.

Bugün, böyle bir çalışmanın içinde bulunabilmenin, sadece basit bir kullanıcı olmanın ötesine geçebilmenin, gerçekten de herkese denk gelmeyecek bir imkân olduğunu düşünüyor ve bu imkâna sahip olmanın mutluluğunu yaşıyorum. Bana bu imkânı sağladığı, bilgisi ve deneyimiyle bana her zaman yol gösterdiği, bana laboratuvarının tüm imkânlarını açtığı için danışmanım Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Gürlü'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son derece zor maddi ve zamansal şartlar altında yaptığım bu çalışmayı bitirebilmem için benden desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Gülçin Uygur, Dilek Yıldız, Kıvanç Esat, Rıfat Yılmaz'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bana ve çabalarıma gösterdikleri büyük sabır, müsama, destek için değerli müdürlerim Mehmet Fatih Üreten ve Hakan Atalay'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

En karanlık günümde bana tutunacak bir el uzatan sevgili arkadaşım Alper Özerden ve her zaman yanımda olduklarını bildiğim hayat yoldaşlarım İlkehan Vardarlı ve Kutay Atabay'a sıcak dostluklarından dolayı en derin sevgilerimle teşekkürlerimi sunarım.

Hayattaki en büyük talihim olan sevgili aileme, koşulsuz sabır ve sevgileri için, beni yolumda yalnız bırakmadıkları için, en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2011

Hasan Esen Kuşluoğlu

Fizikçi / Ağ ve Sistem Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. ULTRA YÜKSEK VAKUM TARAMA TÜNELLEME MİKROSKOBU **3**
2.1 TTM Çalışma Prensibi 3
2.2 Kuantum Tünelleme ve TTM 5
2.3 Mekanik Aksam 9
2.4 Elektronik – Elektromekanik aksam 15
2.5 Kullanım Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar 19
3. ONARIMLAR VE AYARLAMALAR **21**
3.1 Mekanik Aksam Ayarları ve Onarımı 21
3.2 Elektronik Aksam, Bağlantıları ve Yapılan Onarımlar 27
3.3 Yazılım Desteği ve Yapılan Düzeltmeler 28
3.3.1 TTM Yazılımında tespit edilen hatalar ve önerilen geliştirmeler 29
3.3.2 Veri depolama ve yedekleme 34
3.4 Ölçüm ve Kalibrasyon Sorunları 35
3.4.1 Elektromanyetik gürültüler 35
3.4.2 Mekanik gürültüler 38
3.4.3 Piezo kalibrasyonu 39
3.4.3.1 X-Y Piezo 40
3.4.3.2 Z Piezo 40
4. ÖLÇÜMLER **41**
4.1 Oda Koşullarında Alınan Ölçümler 41
4.1.1 X-Y Piezo için alınan ölçümler 42
4.1.1.1 Yüzey #1 43
4.1.1.2 Yüzey #2 46
4.1.1.3 Yüzey #3 48
4.1.1.4 Yüzey #4 50
4.1.1.5 Z Piezo için alınan ölçümler 52
4.1.1.6 Yüzey #1 52
4.1.1.7 Yüzey #2 54
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **59**
6. GELECEKTE PLANLANAN ÇALIŞMALAR **61**

KAYNAKLAR **63**
EKLER **65**
ÖZGEÇMİŞ **83**

KISALTMALAR

HOPG : Highly Oriented Pyrolitic Graphite
STM : Scanning Tunneling Microscope
UHV : Ultra High Vacuum
TTM : Tarama Tünelleme Mikroskobu
UYV : Ultra Yüksek Vakum
AFM : Atomic Force Microscopy
AKM : Atomik Kuvvet Mikroskobu
ADC : Analog Digital Converter
DAC : Digital Analog Converter
DAQ : Data Acquisition
I/V : Current / Voltage (Akım / Voltaj)
kx : 300°K sıcaklıkta X piezo uzama katsayısı (Å/V)
ky : 300°K sıcaklıkta Y piezo uzama katsayısı (Å/V)
kz : 300°K sıcaklıkta Z piezo uzama katsayısı (Å/V)
$\mathbf{I_t}$: Tünelleme akımı
$\mathbf{V_z}$: Z piezoyu uygulanan gerilim
$\mathbf{V_{bias}}$: Örnek yüzeyi ve TTM iğnesi arasına uygulanan gerilim
LDOS : Local Density of States

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : TTM'lerde sık kullanılan malzemelerin iş fonksiyonları. 7
Çizelge 3.1 : Bozulan rulman ve yerine alınan rulmanın özellikleri. 25
Çizelge 4.1 : X-Y Piezo Yüzey #1 Normalize ve işlenmiş verileri 45
Çizelge 4.2 : X-Y Piezo Yüzey #2 Normalize ve İşlenmiş verileri. 47
Çizelge 4.3 : X-Y Piezo Yüzey #3 Normalize ve İşlenmiş verileri. 49
Çizelge 4.4 : X-Y Piezo Yüzey #4 Normalize ve İşlenmiş verileri. 51
Çizelge 4.5 : Z Piezo işlenmiş verileri 52
Çizelge 4.6 : Z Piezo için İşlenmiş veriler ve Hata payları. 58
Çizelge A.1: X-Y Piezo Yüzey #1 – Bölge 1 65
Çizelge A.2: X-Y Piezo Yüzey #1 – Bölge 2 66
Çizelge A.3: X-Y Piezo Yüzey #2 67
Çizelge A.4: X-Y Piezo Yüzey #3 67
Çizelge A.5: X-Y Piezo Yüzey #4 68
Çizelge A.6: Z Piezo Yüzey #1 69
Çizelge A.7: Z Piezo Yüzey #2 – İleri Tarama (Sol) 71
Çizelge A.8: Z Piezo Yüzey #2 – Geri Tarama (Sol) 72
Çizelge A.9: Z Piezo Yüzey #2 – İleri Tarama (Sağ) 73
Çizelge A.10: Z Piezo Yüzey #2 – Geri Tarama (Sağ) 74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : UHV TTM, Çalışma standına vidalı durumda. 1
Şekil 2.1 : TTM Genel çalışma prensibi. 4
Şekil 2.2 : Kare potansiyelden tünelleme 5
Şekil 2.3 : Metal-boşluk-metal tünelleme olayı 7
Şekil 2.4 : Vakum kazanı kapağına vidalanmış TTM düzeneği. 10
Şekil 2.5 : TTM Düzeneğinin mekanik yapısı. 11
Şekil 2.6 : Titreşim filtreleme ve frekans cevapları 12
Şekil 2.7 : TTM Düzeneğinin üstten görünüşü. 13
Şekil 2.8 : Yaklaştıma mekanizması. 14
Şekil 2.9 : Optik masa üzerine kurulu TTM 15
Şekil 2.10 : X-Y ve Z Piezo düzeneği 16
Şekil 2.11 : TTM Elektronik Kontrol Ünitesi 17
Şekil 2.12 : UYV-TTM Elektroniği Genel Bağlantı Şeması 18
Şekil 3.1 : Titreşim sönümlendirici platform yayları 22
Şekil 3.2 : Sabitleme telinin şekillendirilmesi ve takılması 24
Şekil 3.3 : Sabitleme düzeneğine ait T-Çubuk 25
Şekil 3.4 : Sabitleme düzeneği rulmanının kopan pulu 26
Şekil 3.5 : Rulmanın temizlenme ve kaynak aşamaları 27
Şekil 3.6 : TTM Kontrol elektroniği bağlantıları yapılmış halde 28
Şekil 3.7 : TTM Yazılımı grafik arabirimi 29
Şekil 3.8 : Faraday Kafesi 36
Şekil 3.9 : Faraday kafesinin ölçüme etkileri 37
Şekil 3.10 : Titreşim sönümlendirici platformların kesiti 38
Şekil 3.11 : HOPG Yapısı 39
Şekil 4.1 : X-Y Piezo Yüzey #1 Ölçüm Çizgileri 43
Şekil 4.2 : X-Y Piezo Yüzey #1 Ölçüm Grafikleri 44
Şekil 4.3 : X-Y PiezoYüzey #2 Ölçüm ve Grafikleri 46
Şekil 4.4 : X-Y Piezo Yüzey #3 Ölçüm ve Grafikleri 48
Şekil 4.5 : X-Y Piezo Yüzey #4 Ölçüm ve Grafikleri 50
Şekil 4.6 : Z Piezo Yüzey #1 Ölçüm ve Grafikleri 53
Şekil 4.7 : Z Piezo Yüzey #2 İleri tarama, sağ taraf 54
Şekil 4.8 : Z Piezo Yüzey #2 geri tarama sağ taraf. 55
Şekil 4.9 : Z Piezo Yüzey #2 İleri tarama, sol saraf 56
Şekil 4.10 : Z Piezo Yüzey #2 geri tarama sol taraf. 57
Şekil 6.1 : Kaynağı bulunamamış olan dip gürültü 61
Şekil 6.2 : Altın film üzerinde grafen (Optik ve TTM) 62
Şekil A.1 : Laboratuvarımızın ağ topoloji haritası 81

ULTRA YÜKSEK VAKUM TARAMA TÜNELLEME MİKROSKOP SİSTEMİ KURLUMU VE GRAFİTİK YÜZEYLERDE UYGULAMALAR

ÖZET

IBM araştırmacıları ve Taramalı Tünelleme Mikroskobunun mucitleri Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer 1986 yılında, tasarladıkları bu düzenekten dolayı Nobel Fizik ödülüne layık görülmüşlerdi. Yaptıkları çalışma ve araştırmalar, bugünkü yüzey bilimi çalışmaları ve nanoteknoloji alanının vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, çalışmaları, günümüzde yine atomik boyutta yapılan araştırmalarda oldukça önem arz eden Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve türevlerinin geliştirilmesine de önayak olmuştur.

Bu çalışmada, "Ultra Yüksek Vakum" ortamı için tasarlanmış, mekanik yaklaştırma kontrollü "Tarama Tünelleme Mikroskobu" incelenecektir. Ele alınan mikroskop, yurt dışından (Hollanda Twente Üniversitesi) hibe olarak ülkemize gelmiştir. Uzun yıllar atıl kalmış ve pek çok kez yer değiştirmiş olduğundan dolayı, mekanik aksamının ayarları bozulmuş, elektronik aksamı ise beraberinde getirilmemiştir. Yüksek vakum ortamına uyumlu olduğundan dolayı oldukça kıymetli olan bu donanımın çalışır hale getirilmesi, ayarlarının yapılması, aldığı ölçümlerin tutarlılığının değerlendirilmesi, bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışma dâhilinde mikroskop için elektronik aksam ve uygun yazılım temin edilmiş, mekanik aksamı elden geçirilip ayarları yeniden yapılmış, eksik parçaları tamamlanmıştır. Düzeneğin sağlıklı çalışması ve dış mekanik gürültülerden etkilenmemesi için, kendi titreşim sönümlendirici düzeneğinin yanı sıra, bir optik masa kurulmuştur. Mikroskop için ayrıca bir "Ultra Yüksek Vakum" odası oluşturulacaktır ve oda koşullarında alınan ölçümlerin yanında, bu ortamda da ölçümler alınması ileriye yönelik çalışmalar içindedir. Bu çalışmadaki tüm ölçümler, bağ uzunlukları literatürde tam olarak bilinen, ve çok düzgün yüzeylere sahip olan "Yüksek Düzenlilikte Pirolitik Grafit" (Highly Orineted Pyrolitic Graphite (HOPG)) yüzeyi üzerinde alınmıştır.

SETUP OF AN ULTRA HIGH VACUUM SCANNING TUNNELING MICROSCOPE AND ITS APPLICATIONS ON GRAPHITIC SURFACES

SUMMARY

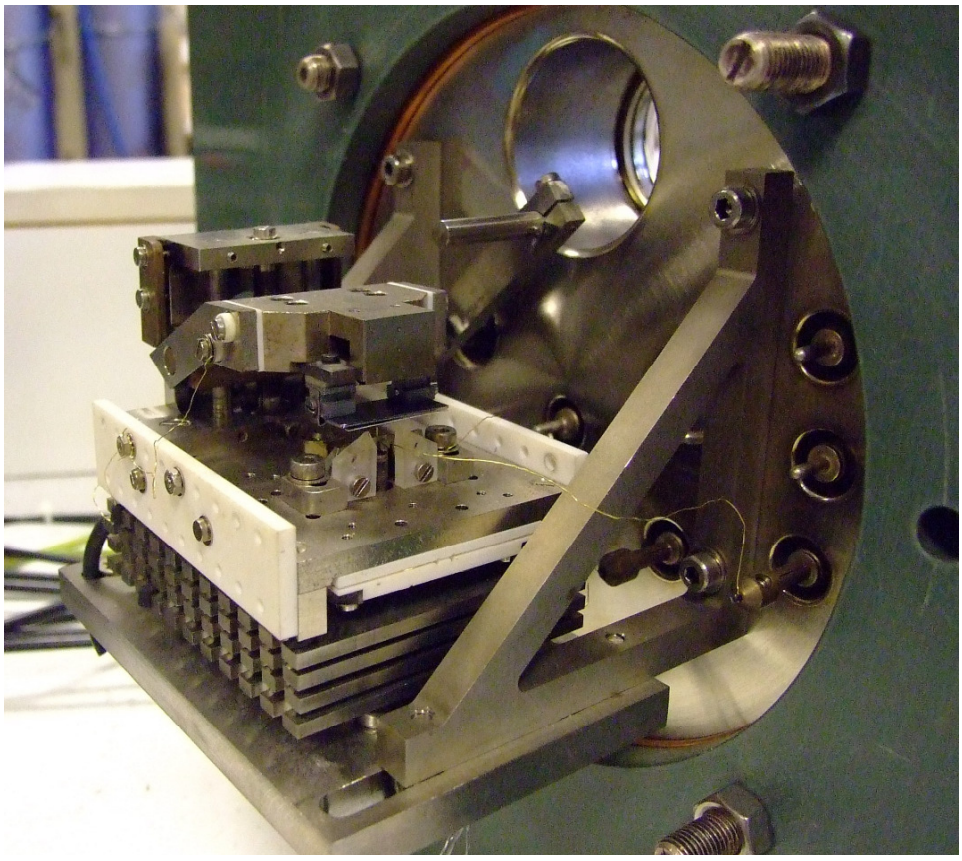
In 1986, IBM researchers and inventors of the Scanning Tunneling Microscope (STM), Gerd Binnig and Heinrich Rohrer, were chosen Nobel laureates in physics field. Today, their invention, has become an indispensable instrument for surface science and nanotechnology researchers. Nevertheless, their invention also led the same researchers to come with new microscopy ideas like "Atomic Force Microscopy" and many others with other derivatives, which are also indispensable instruments for today's surface science researchers.

In this work, a Scanning Tunneling Microscope with manual approach mechanism, designed for "Ultra High Vacuum" environment has been taken as subject. The STM relevant to this work, had been brought into our country as a donation from University of Twente, Netherlands. Unfortunately, it has not been used for years, changed many times its location, and also did not have any of required electronics. In this context, the primary focus of this work has been chosen to get this quite valuable Ultra High Vacuum compatible equipment in a working state, and also, obtain successful measurements with it. To achieve our goals, new electronics and suitable software were adapted, also mechanical parts were repaired and realigned. An Ultra High Vacuum chamber has also been built and whole system has been placed on a vibration-damping table to improve system stability against mechanical vibrations. All measurements were taken in room conditions and also as a future work, they shall be taken in Ultra High Vacuum conditions. To verify the accuracy of the results in atomic scale, Highly Ordered Pyrolitic Graphite (HOPG) crystals with smooth surfaces and well known lattice parameters were taken as calibration samples.

1. GİRİŞ

Tarama Tünelleme Mikroskobu (TTM), 1986 yılında çalışmaları için Nobel ödülü alan Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer, tarafından IBM laboratuvarlarında geliştirilmiştir. TTM ve türevleri bugün yüzey fiziğiyle ilgilenen araştırmacıların en çok başvurduğu yüzey haritalama sistemlerinden birisidir. Sistem mekanik, elektronik, yazılım gibi üç ana başlık altında incelenebilir ve geliştirilebilir yapıdadır. Bu çalışmada, elektronik ve yazılımsal kısımlar dış kaynaklarca (NanoMagnetics Instruments Ltd.) sağlanmıştır. Elektronik ve yazılımsal sorunların aşılması ile ilgili olarak ilgili firmayla sürekli iletişim halinde kalınmıştır.

Bu çalışma çerçevesinde, sistemin kurulumu, çevresel etkenlerden izole edilmesi, aldığı ölçümlerin tutarlılığı ve eniyileştirilmesi konusunda takip edilen yöntemler tarif edilecektir.



Şekil 1.1 : UHV TTM, Çalışma standına vidalı durumda.

2. ULTRA YÜKSEK VAKUM TARAMA TÜNELLEME MİKROSKOBU

Ultra Yüksek Vakum Tarama Tünelleme Mikroskobu (UYV-TTM) ile yüzey haritalama yöntemi, yüzey fiziği ile ilgilenen araştırmacılar tarafından (yarı)iletken yüzeylerin elektronik yapılarını atomik çözünürlükte incelemek için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir.

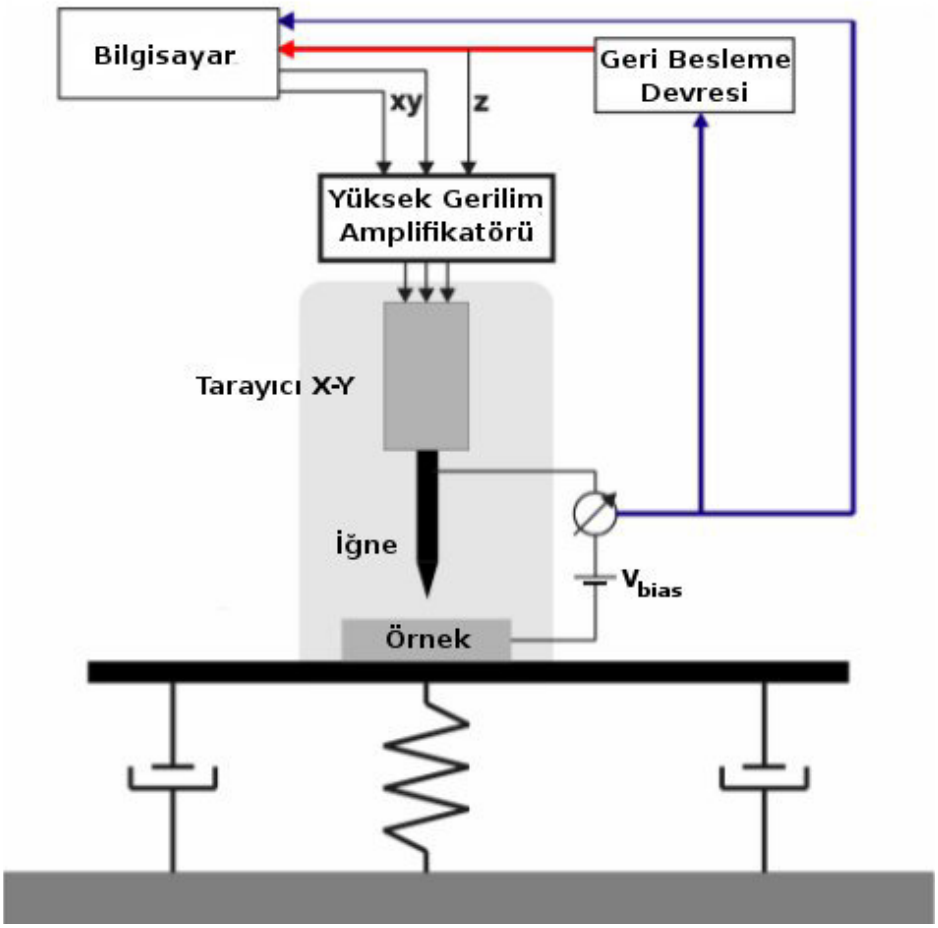
Bu sistemin hava (atmosfer) koşullarında çalışan TTM sisteminden en önemli farkı, şüphesiz, UYV ortamında çalışmasıdır. TTM sistemi, UYV ortamında, dış ortamın ısıl ve elektromanyetik değişikliklerinden kalkanlanmış bir şekilde çalışma imkanı bulur. Bu sayede TTM iğnesi, piezo kontrolleri ve incelenen yüzeydeki anlık değişiklikler ve titreşimler en aza indirgenmiş olur.

UYV ortamında çalışmak, TTM düzeneğinin, bu ortam için uygun olan malzemelerden yapılmış olmasını gerektirir. Bu çalışmada ele alınan TTM, Hollanda'dan gelmiştir. Ultra yüksek vakum uyumlu Kontrol kollarının işçiliği İtalya'da yapılmıştır. Gövdesi Molibden (Mo) ve Tantal (Ta) alaşımdandır. Bu metallerin bilimsel amaçlara yönelik olarak işçiliğini yapmayı bilen az sayıda yetişmiş insan bulunduğundan, elimizdeki TTM oldukça kıymetlidir. UYV-TTM yapımında kullanılan malzemelerin, UYV şartlarında gaz salımı yapmayan; 200-300°C sıcaklık değişimleri karşısında birbiriyle uyumlu davranan ve düşük genleşme katsayılı malzemelerden yapılması gerekir. Kullanılan tüm malzemelerin söz konusu sıcaklıklara dayanıklı olması öncelikli şarttır. Piezo tarayıcı PZT'den, ana gövde ve vakum kazan parçası (flanş) 304 çelikten üretilmiştir.

2.1 TTM Çalışma Prensibi

Tarama Tünelleme Mikroskobu, özel olarak sivriltilmiş metal bir iğnenin, incelenmek istenen (yarı)iletken bir yüzeye birkaç angström mesafeye kadar yaklaştırılması sonucunda oluşan kuantum tünelleme olaylarının kayıt edilmesi ve işlenmesi için tasarlanmış bir düzenektir. Metal iğne ile incelenmek istenen iletken

yüzey arasına bir gerilim uygulanır. TTM düzeneği iğneyi yüzeye önce büyük adımlarla, daha sonra daha küçük adımlarla yaklaştırır. İğne yüzeye, kuantum tünelleme etkisiyle akım geçecek kadar yaklaştığında TTM düzeneği yaklaşma işlemini durdurur. Kuantum tünelleme etkisiyle yüzey ve iğne arasında oluşan tünelleme akımı nA mertebesindedir. TTM düzeneğinin elektronik aksamı, bu



Şekil 2.1 : TTM Genel çalışma prensibi.

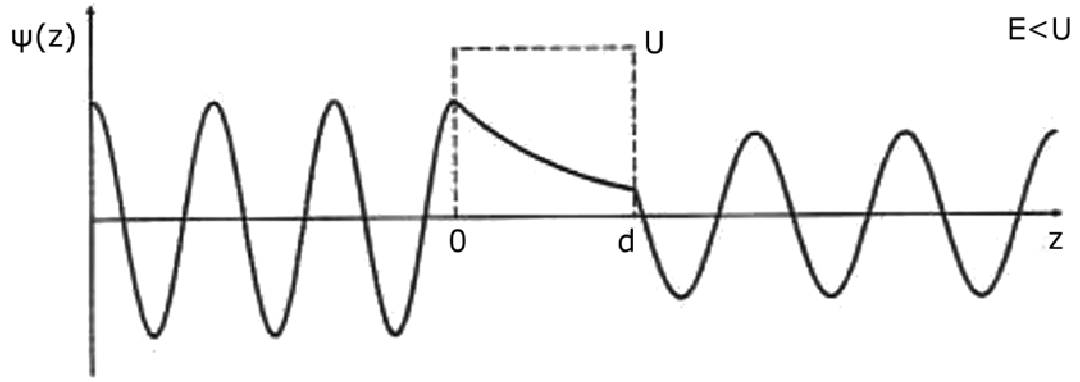
akımdaki değişimleri takip ederek iğnenin yüzeye yakınlığını ayarlar ve yüzeye çarpmasını engelleyecek şekilde Z ekseninde hareket ettirir. İğne X-Y ekseninde satır satır hareket ettirilerek incelenmek istenen yüzey taranır. İğneden geçen tünelleme akımındaki değişimler pA mertebesinde duyarlığa sahip bir Akım/Voltaj dönüştürücü yardımıyla seçilmiş bir aralıktaki gerilim değerlerine dönüştürülür. Son aşamada ise bu gerilim değerleri, bir osiloskopta görüntülenebilir, ya da uygun bir ADC kartı ve bu kart için yazılmış bir analiz programı yardımıyla bilgisayarda analiz edilmek üzere depolanabilir.

Bu kısımda, çok Genel itibariyle TTM düzeneğinin nasıl çalıştığından bahsedilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde, bu çalışmada ele alınacak olan UYV-TTM'nin kendine

özgü yapısından yola çıkarak TTM düzeneklerinin ayrıntılarına değinilecektir. TTM konusunda benzer prensiplere dayanan, pek çok farklı tasarım söz konusudur. Her tasarımın diğerlerine göre üstün ya da zayıf yönleri vardır [1-3].

2.2 Kuantum Tünelleme ve TTM

TTM'nin çalışma prensibi klasik mekanik kanunlarınca mümkün olmayan, fakat kuantum mekaniği çerçevesinde çok önemli bir yer arz eden "Kunatum Tünelleme" olayına dayanır. Klasik mekanik açısından bakıldığında, E_0 enerjisine sahip bir cisim, $E_1 > E_0$ enerjisine sahip bir potansiyel engelini kesinlikle aşamayacaktır. Kuantum mekaniği açısından bakıldığında ise, böyle bir olayın gerçekleşmesi olasılığının, küçük de olsa olduğu bilinmektedir. İşte bu küçük olasılık, günümüzde yüzey fiziği araştırmacılarının vazgeçilmez araçlarından biri olan TTM'nin çalışmasını sağlayan temel kavramı temsil etmektedir.



Şekil 2.2 : Kare potansiyelden tünelleme [4]

Bir TTM düzeneğinde, metal iğnenin ucundaki atomlar ile örnek yüzeyinin atomları arasında bir potansiyeller sistemi oluşur. Yüzey ve iğne arasında uygulanan V_{bias} geriliminin kutuplarına göre, iğne atomlarından yüzeye, ya da yüzey atomlarından iğneye doğru tünelleme elektronlarının atlaması mümkündür. Uygulanan V_{bias} gerilimi, iğneyi yüzeye çarptırmadan, normalde olacağından daha uzak bir mesafeden (10 Å nominal) tünelleme elektronlarının potansiyel bariyerlerini aşmasını sağlar [5]. V_{bias} gerilimi sayesinde net bir akım yönü de belirlenmiş olur. V_{bias} gerilimi uygulanmadığı takdirde tünelleme akımı her iki yönde de ortalama olarak eşit şiddette oluşur. Bu sebepten dolayı net tünelleme akımı sıfır olur.

Bu kısımda, tek boyutlu model üzerinden tünelleme olayını kuramsal olarak incelemek yerinde olacaktır. Klasik mekanikte U(z) potansiyelinde E enerjisiyle hareket eden bir elektron,

$$\frac{p_z^2}{2m} + U(z) = E \qquad \textbf{(2.1)}$$

İfadesiyle tarif edilebilir. Burada m elektronun ($9{,}1 \times 10^{-31}$ kg) kütlesidir. $E>U(z)$ olan bölgelerde elektronun sıfırdan farklı bir p_z momentumu vardır. Diğer taraftan elektron $E<U(z)$ durumunda olduğu hiçbir bölgeye giremez. Kuantum mekaniğinde ise, aynı elektronun durumu, Schrödinger denklemini sağlayan bir Ψ_z dalga fonksiyonuyla ifade edilir.

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dz^2}\psi(z) + U(z)\psi(z) = E\psi(z) \qquad \textbf{(2.2)}$$

Klasik fizik açısından izin verilen $E>U(z)$ bölgesinde denklem (2.2)'nin

$$\psi(z) = \psi(0)e^{\pm ikz} \qquad \textbf{(2.3)}$$

şeklinde çözümleri vardır. Burada,

$$k = \frac{\sqrt{2m(E-U)}}{\hbar} \qquad \textbf{(2.4)}$$

dalga vektörüdür. Elektron, aynı klasik mekanikte olduğu gibi, pozitif ya da negatif yönde $p_z = \hbar k = [2m(E-U)]^{1/2}$ momentumuyla ya da $v_z = p_z/m$ sabit hızıyla hareket etmektedir. Ancak klasik mekanikten farklı olarak Schrödinger denkleminin klasik olarak yasaklı olan $E<U(z)$ bölgesinde de

$$\psi(z) = \psi(0)e^{-\kappa z} \qquad \textbf{(2.5)}$$

şeklinde bir çözümü vardır. Burada,

$$\kappa = \frac{\sqrt{2m(U-E)}}{\hbar} \qquad \textbf{(2.6)}$$

şeklindedir. Hareket eden elektronun, $+z$ yönünde ilerlerken genliği zayıflayan dalga fonksiyonunu tarif eder. Bir z noktası yakınlarında bir elektron gözlenmesinin olasılık yoğunluğu, bariyer bölgesinde sıfırdan farklı bir değeri olan $|\psi(0)|^2\, e^{-2\kappa z}$ ile doğru orantılıdır. Bir diğer çözüm olan $\psi(z) = \psi(0)e^{\kappa z}$ ifadesi de $-z$ yönünde hareket eden bir elektronun dalga fonksiyonunun değişimini tarif eder.

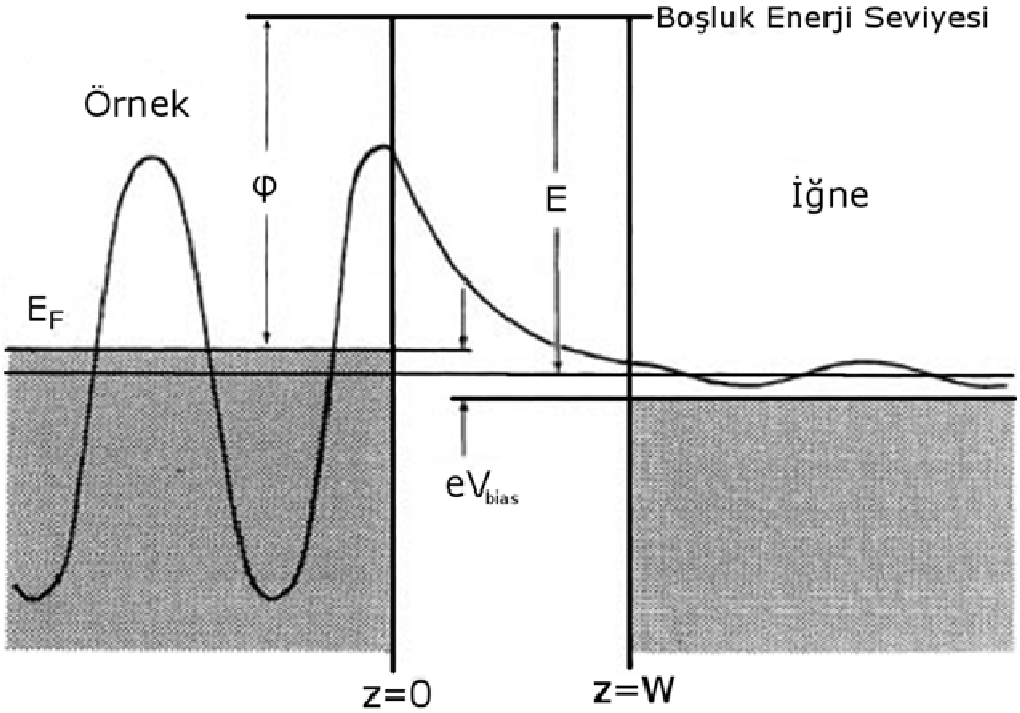
Bu temel modelden yola çıkılarak, metal-boşluk-metal şeklindeki bir sistemin bazı temel özelliklerini açıklayabiliriz. Bir örnek yüzeyinden boşluğa elektron koparabilmek için gerekli olan φ enerji miktarı "iş fonkisyonu" (work function)

olarak tanımlanır. Genelde, iş fonksiyonu yalnızca malzemeye değil; aynı zamanda malzemenin kristalografik yönlenim özelliklerine de bağlıdır. TTM düzeneklerinde sıklıkla kullanılan bazı malzemelere ait φ değerleri Çizelge(1.1)'de belirtilmiştir. (Alkali metaller için iş fonksiyonu değerleri bu değerlere göre belirgin şekilde düşüktür, genelde 2-3 eV civarındadır.) [2]. Isıl uyarılmaları göz ardı edersek, *Fermi enerji seviyesi* bir metalde işgal edilmiş durumların üst limitini ifade eder. Boşluğu referans olarak alırsak $E_F = -\varphi$ olacaktır. Olayı basitleştirmek için örnek ve iğnenin iş fonksiyonlarının eşit olduğunu da varsayalım. Yüzey elektronları bu şartlar altında iğneye tünelleme yoluyla geçebilirler. Bunun tersi de olabilir; ancak daha önce de belirtildiği gibi, bir net tünelleme akımına sebebiyet vermezler.

Çizelge 2.1 : TTM'lerde sık kullanılan malzemelerin iş fonksiyonları.

	Tipik "İş Fonksiyonu" Değerleri							
Element	Al	Au	Cu	Ir	Ni	Pt	Si	W
φ (eV)	4.1	5.4	4.6	5.6	5.2	5.7	4.8	4.8

Örnek ile iğne arasında bir V_{bias} gerilimi uygulandığı takdirde, net bir tünelleme akımı elde edilir. Örnek yüzeyinde E_n enerjisine sahip olan ve "$E_F - eV_{bias}$" ile E_F arasında bulunan bir elektronun, iğneye doğru tünelleme yapma ihtimali vardır. Burada V_{bias} değerinin, iş fonksiyonu yanında çok küçük bir değerde olduğunu varsaydığımızı da göz önünde tutmamız gerekir ($eV << \varphi$). Bu durumda, ilgilendiğimiz tüm örnek yüzeyine ait enerji durumları, Fermi enerji seviyesine çok



Şekil 2.3 : Metal-boşluk-metal tünelleme olayı

yakın olacaktır ($E_n \approx -\varphi$). Örnek yüzeyinin *n*'inci enerji seviyesinde bulunan bir elektronun, iğne yüzeyinde ($z=W$) bulunma olasılığı *w* olursa,

$$w \propto |\psi_n(0)|^2 \, e^{-2\kappa W} \qquad \textbf{(2.7)}$$

ifadesini yazabiliriz. Burada $\psi_n(0)$ örnek yüzeyindeki n'inci enerji seviyesine ait dalga fonksiyonunu temsil etmektedir; bununla birlikte,

$$\kappa = \frac{\sqrt{2m\varphi}}{\hbar} \qquad \textbf{(2.8)}$$

ifadesi de, Fermi enerjisine yakın bir örnek yüzeyi enerji durumunun, boşluk bariyeri civarındaki zayıflama sabiti olmaktadır. İş fonksiyonu için eV_{bias} ve zayıflama sabiti için $Å^{-1}$ birimlerini kullanırsak önceki denklem,

$$\kappa = 0{,}51 \sqrt{\varphi(eV)} \ Å^{-1} \qquad \textbf{(2.9)}$$

şeklinde ifade edilebilir. Bir TTM deneyinde, iğne örnek yüzeyini tarar. Tarama esnasında, TTM elektroniği iğnenin şartlarının değişmemesini sağlamak üzere ayarlanmıştır. z=W yüzeyine erişen elektronlar sabit hızla hareket etmektedirler. Tünelleme akımı, örnek yüzeyinde eV_{bias} enerji aralığında bulunan enerji durumlarının sayısıyla doğru orantılıdır. Bu durum sayısı örnek yüzeyinin yerel yapısına bağlıdır. Bu sayı metaller için sonludur. Yarıiletkenler ve yalıtkanlar için çok küçük ya da sıfırdır. Yarı metaller için ise ikisinin arasında bir değerdedir. Örnek yüzeyinin eV_{bias} aralığında kalan enerji durumlarını hepsini göz önüne alırsak, tünelleme akımı:

$$I \propto \sum_{E_n=E_F-eV_{bias}}^{E_F} |\psi_n(0)|^2 e^{-2\kappa W} \qquad \textbf{(2.10)}$$

Eğer V_{bias}, elektronik durumların yoğunluğunun belirgin bir şekilde değişemeyeceği kadar küçük bir aralıktaysa, önceki denklemde verdiğimiz toplam ifadesi, Fermi enerji seviyesinde "Yerel Durumlar Yoğunluğu" (Local Density Of States - LDOS) cinsinden, aşağıdaki gibi daha kolayca ifade edilebilir. Bir z konumunda ve E enerjisinde, örneğin yerel durumlar yoğunluğu $\rho_S(z,E)$ şöyledir:

$$\rho_S(z,E) \equiv \frac{1}{\varepsilon} \sum_{E_n=E-\varepsilon}^{E} |\psi_n(z)|^2 \qquad \textbf{(2.11)}$$

Yeterince küçük bir ε değeri için, yerel durumlar yoğunluğu, verilmiş bir enerji ve uzaydaki konum değeri için; birim hacim başına birim enerji başına elektron sayısını verir. Seçilmiş bir durumun olasılık yoğunluğu olan $|\psi_n|^2$ normalizasyon koşuluna

bağlıdır: Tüm uzay üzerinden entegrali 1 vermelidir. Hacim büyüdükçe, bir enerji durumunun olasılık yoğunluğu $|\psi_n|^2$ azalır; fakat birim enerji başına düşen enerji durumu sayısı artar. Bu şartlar altında yerel durumlar yoğunluğu ise sabit olarak kalır. Fermi enerji seviyesi yakınında, yüzeyin yerel durumlar yoğunluğunun değeri, yüzeyin metalikliğinin ya da yalıtkanlığın bir işaretidir.

Tünellme akımının, örneğin yerel durumlar yoğunluğu cinsinden ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$I \propto V\rho_S(0,E_F)e^{-2\kappa W} \approx V\rho_S(0,E_F)e^{-1,025\sqrt{\varphi}W} \quad \textbf{(2.12)}$$

İş fonksiyonunun tipik değeri φ ≈ 4 eV civarındadır. Bu da bize $\kappa \approx 1\text{Å}^{-1}$ gibi tipik bir zayıflama katsayısı değeri verir. göre, akım değeri Å başına $e^2 \approx 7{,}4$ kat küçülmektedir.

TTM iğnesiyle örnek yüzeyini tarayarak ve tünelleme akımını sabit tutarak; örnek yüzeyinin topografyasını gösteren bir TTM görüntüsü elde edilir. Bu bir boyutlu modele göre TTM ile elde edilmiş bir yüzey topografyası görüntüsü, aslında örnek yüzeyinin Fermi enerji seviyesindeki yerel durumlar yoğunluğun (LDOS) bir yükseklik haritasıdır.

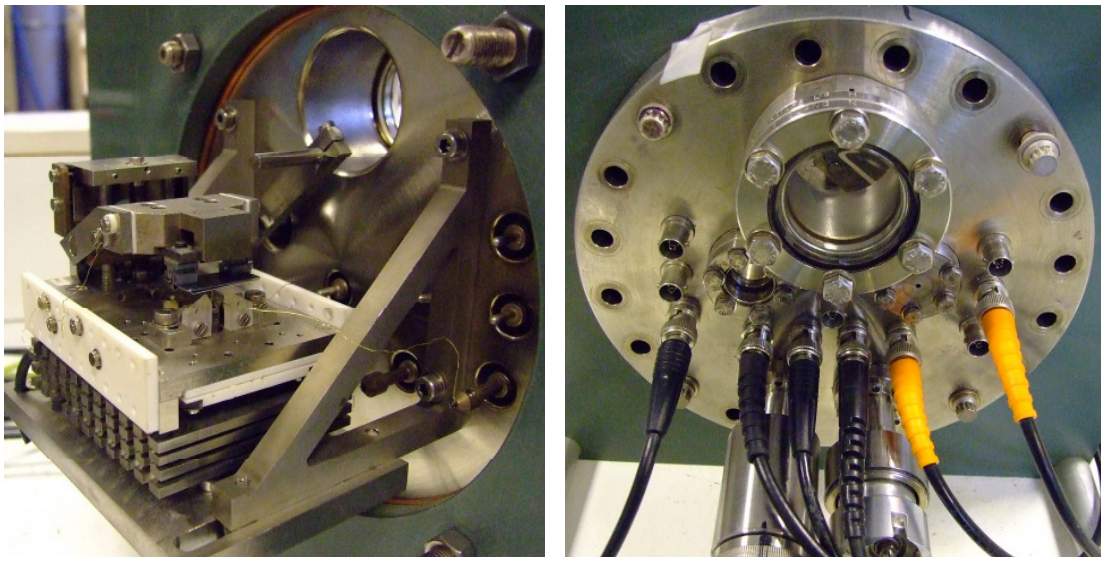
Yine Denklem(2.12)'ye göre, Tünelleme akımı iğne-yüzey mesafesinin anlık değişimlerine karşı son derece duyarlıdır. Buradan, kararlı bir metal-boşluk-metal tünelleme akımı yakalayabilmek için, TTM düzeneğini çevresel titreşim kaynaklarından en üst düzeyde yalıtmamız gerektiği sonuncuna varabiliriz[6].

2.3 Mekanik Aksam

Bu çalışmaya konu olan TTM düzeneğinin mekanik aksamının üstlendiği başlıca üç görev söz konusudur: Titreşim yalıtımı iğne-örnek arası mesafenin ayarlanması ve elektriksel bağlantıların yapılması.

Güncel TTM düzeneklerinde bulunan elektronik yaklaşma mekanizması, elimizdeki nispeten daha yaşlı sayılabilecek olan UYV-TTM düzeneğinde elle yönetilmektedir. Bu sebepten dolayı mekanik aksamın sağlıklı çalışması daha büyük önem taşımaktadır.

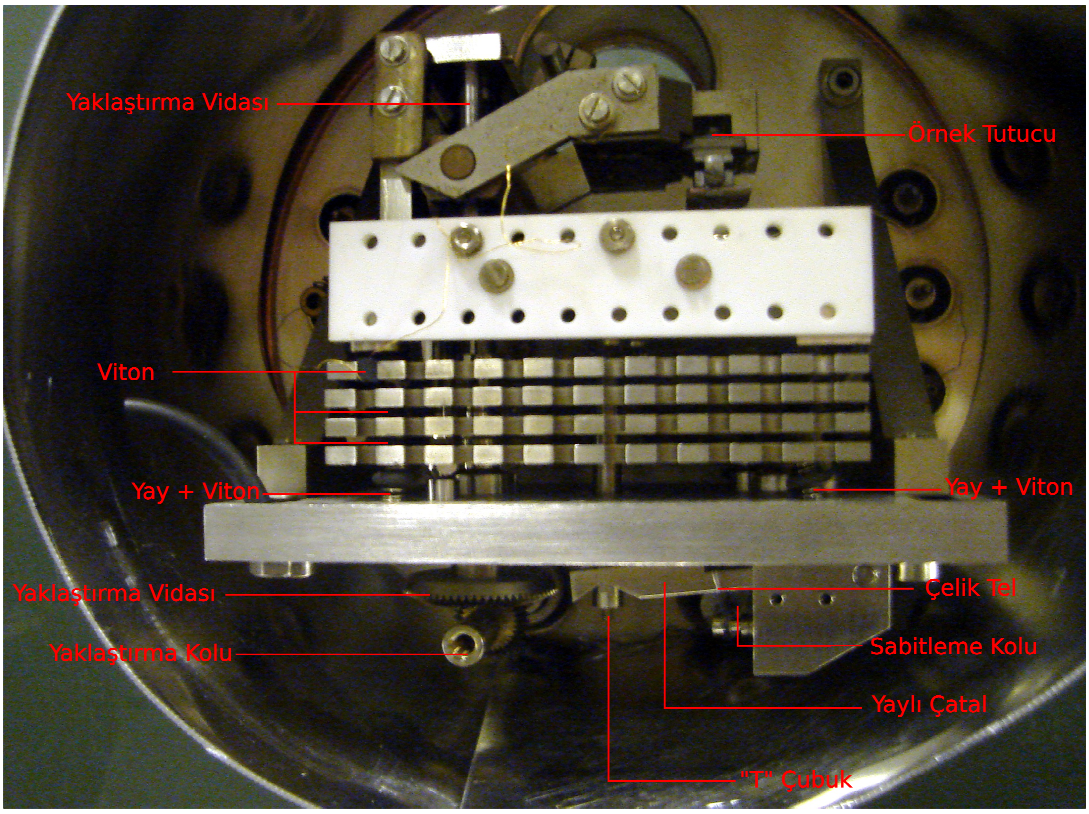
TTM Şekil(2.4)'de görüldüğü üzere, paslanmaz çelikten (304) bir vakum kapağının üzerine vidalı haldedir. Vakum kapağı, gerekli elektriksel bağlantıların BNC bağlantı noktaları yardımı ile yapılmasına olanak sağlayacak biçimde özel olarak tasarlanmıştır. TTM düzeneğinin elektrik bağlantıları yüksek saflıkta 5 mikronluk altın (Au) tellerle yapılmıştır. Bunun sebebi, altının bir soy metal ve yüksek elektriksel iletkenlik gösterme yeteneğidir. Altın teller hassastırlar, gerekmedikçe bükülmemelidirler. TTM çalıştırılmadan önce mutlaka tellerin birbirlerine temas etmediklerinden emin olunmalıdır. Piezo kontrolünde kullanılan teller 200 V değerine varan gerilimler taşırlar. Bir kısa devre oluşması, onarması ve temizlemesi çok zor olabilecek zarara sebep olabilir.



Şekil 2.4 : Vakum kazanı kapağına vidalanmış TTM düzeneği.

Şekil(2.5)'de TTM düzeneğinin titreşim yalıtımı için kullanılan bileşenleri görülmektedir. Düzenek, yaylar üzerine oturtulmuş dört çelik platformdan oluşan bir yığının üzerinde durmaktadır. Platformlar arasında Viton contalardan kesilmiş parçalar bulunmaktadır. Burada kullanılan yaylar mekanik titreşimler açısından düşük-geçirgen filtre görevini görürler. Yayların kesme frekansının altında bir filtreleme özelliği bulunmaz. Olağan kesme frekansları bu tür yaylar için 2 Hz civarındadır. Kesme frekansı çevresinde bir rezonans tepe noktası oluşur. Bu rezonanstan kurtulmak için sönümlendiriciler kullanılır. Sıklıkla kullanılan sönümlendirme metodu -bu çalışmada ele aldığımız TTM düzeneğinde de görülebileceği üzere- yaylara seri olarak yerleştirilmiş, ağırlık yapıcı metal platformlar ve Viton bağlantılar kullanmaktır. Yayların üzerine oturan metal platformların arasına yerleştirilen Viton parçaları, yaylara nazaran daha yüksek

frekansları sönümlendirme özelliği gösterir [7]. Yine de platformlar ne kadar çok olursa o kadar iyi sonuç alacağımızı söyleyemeyiz. Yığını oluşturan platformların artışı, TTM düzeneğinin dış dünya ile bağlantısını da artıracaktır. Bir noktadan sonra

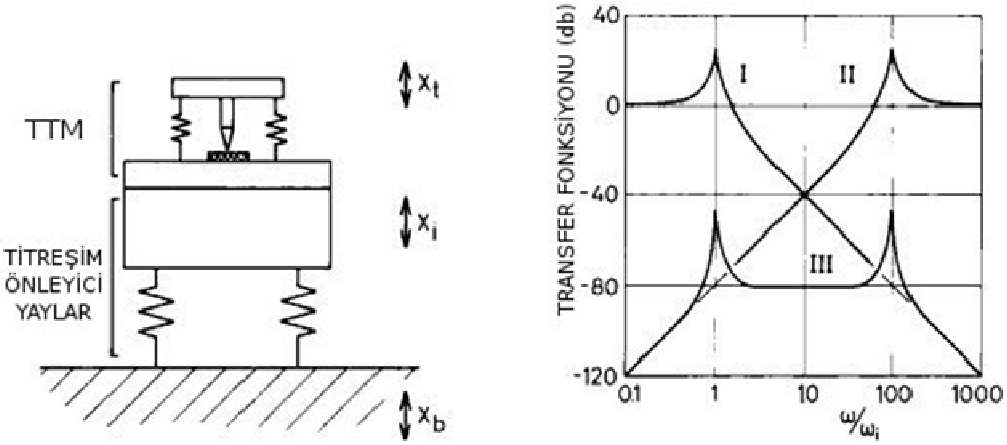


Şekil 2.5 : TTM Düzeneğinin mekanik yapısı.

bu durum, istenmeyen başka karmaşık parametrelerin sisteme etki etmesi sebebiyle yüksek frekanslardaki filtrelemenin zayıflaması sonucunu doğurabilir. Viton malzemesinin yüksek sertliği sebebiyle en azından beş sönümlendirici plaka kullanılması önerilmektedir [7]. Sönümlendirici plakaların gittikçe azalan ağırlıkta tasarlanması da, aralara konulan Viton parçaların daha geniş bir frekans bandını filtrelemesine olanak sağlayacaktır. Böyle bir düzeneğin tipik rezonans frekansı 16 Hz çevresindedir [7].

Pohl (1986) ve Okano ile çalışma arkadaşlarının (1987) TTM düzeneğinin frekans cevabı hakkındaki tespitleri, mekanik düzenekte olup bitenlerin anlaşılması açısından aydınlatıcıdır. Bir TTM düzeneğinin frekans cevabı, dış yalıtımının düşük-geçirgen etkisiyle, içinde kullanılan yüksek-geçirgen filtrenin ortak etkilerinin ürünüdür. Bu bileşke, iki filtrenin kesme-frekansları arasında kalan ve sabit genlikte frekans cevabı veren bir düzlük oluşturur [7]. Bu düzlüğün frekans cevabı, sözünü ettiğimiz iki

filtrenin kesme-frekansları arasındaki uzaklığa bağlıdır. Ele aldığımız TTM düzeneğinin sönümlendirme mekanizması, Gerber ve çalışma arkadaşlarının 1986'da tasarladıkları düzeneğe oldukça benzerdir [5,8].

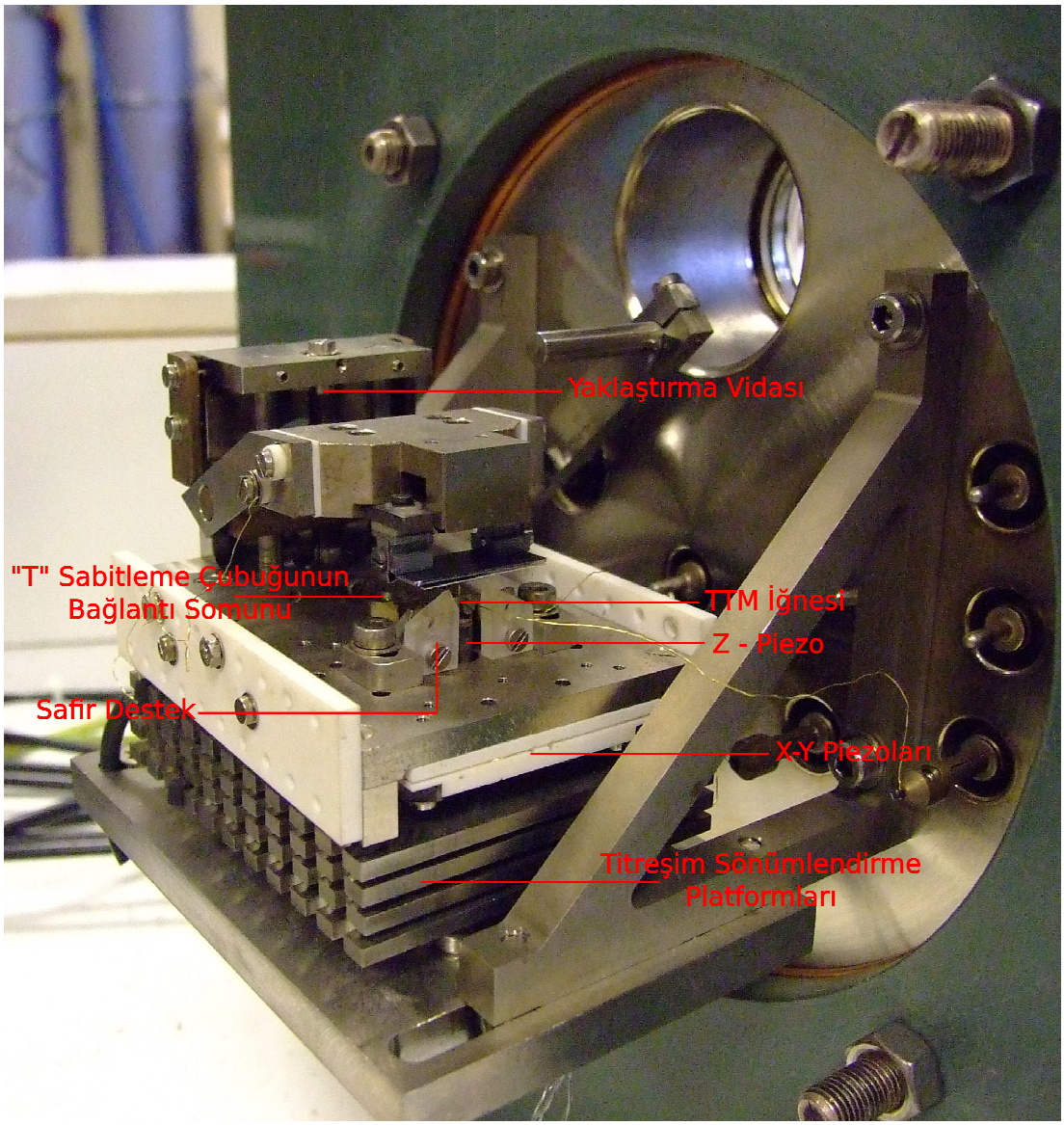


Şekil 2.6 : Titreşim filtreleme ve frekans cevapları

Titreşim sönümlendirmede kullanılan Viton malzemesi Dupont markasının tescilli ismidir ancak yine de pek çok bilimsel kılavuz ve kitapta bu isim geçer. Esasen Viton adıyla satılan contalar, kimyasal olarak fluoroelastomer [9] gurubu içinde bulunur. Yüksek oksijenli ortamlara dayanıklı olan bu malzemeler, pek çok gaz sızdırmazlık ortamında kullanılmaktadırlar. Vakum ortamında gaz salımı düşüktür ve vakum ortamında ısıl bozunma sıcaklığı 300°C civarındadır. İzopropanol ile temizlenebilir. Aseton Viton'un çözünmesine sebep olur, bu sebepten dolayı temizlik için kullanılmamalıdır. UYV ortamına sokulmadan önce Viton'un fırınlanarak gazlarından arındırılması UYV odasının temizliği açısından gereklidir [10].

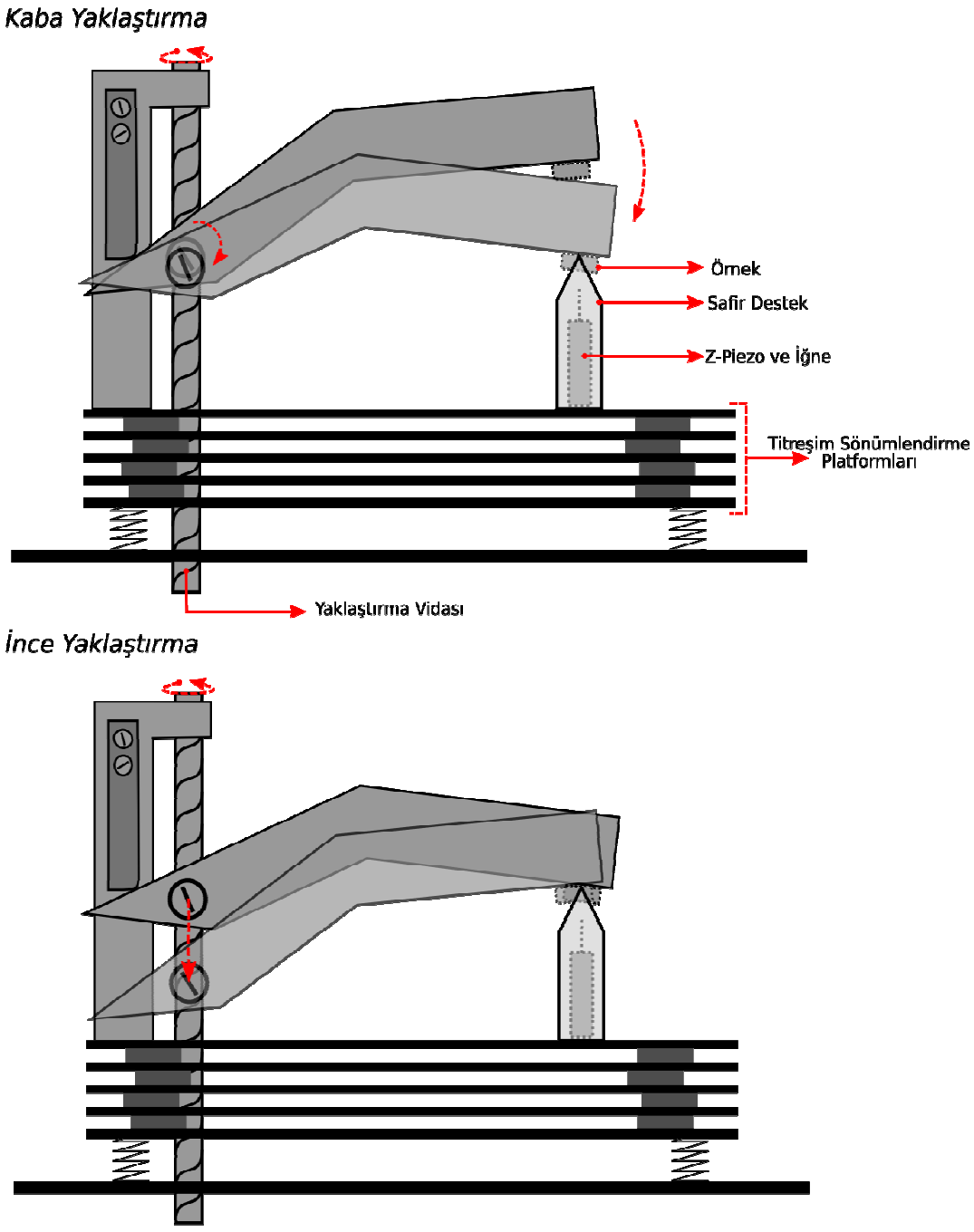
TTM sisteminin mekanik kontrol kolları Şekil(2.4)'de görülmektedir. Düzeneğin, bir "yaklaştırma kolu", bir de "sabitleme kolu" vardır. Yaklaştırma kolu Şekil(2.5)'de görülen yaklaştırma vidasını çevirerek, örnek tutucunun başının üst platforma yerleştirilmiş Şekil(2.7)'de görülen safir desteklerin üzerine yerleşmesini sağlar. Buraya kadarki kısım "Kaba Yaklaştırma" kısmıdır. Safir yüzeyin örnekle temasından sonra yaklaştırma kolu çevrilmeye devam edildiğinde, örnek tutucunun baş kısmı aşağı inmeye devam edemeyeceğinden dolayı, destek aldığı uzun yaklaştırma vidası tarafında bulunan kısmı aşağıya doğru hareket etmeye devam eder. Safir desteklere temastan sonra devam eden yaklaştırma hareketi "İnce Yaklaştırma" aşamasıdır Şekil(2.8). Tünelleme akımı bu aşamada yakalanmalıdır. Eğer kaba yaklaştırma sırasında tünelleme akımı yakalanırsa iğne örnek yüzeyine

çarpacak ve bozulacaktır. Bu durumda iğneyi yeniden kesip, öncekinden daha alçak bir konuma sabitlemek gerekir.



Şekil 2.7 : TTM Düzeneğinin üstten görünüşü.

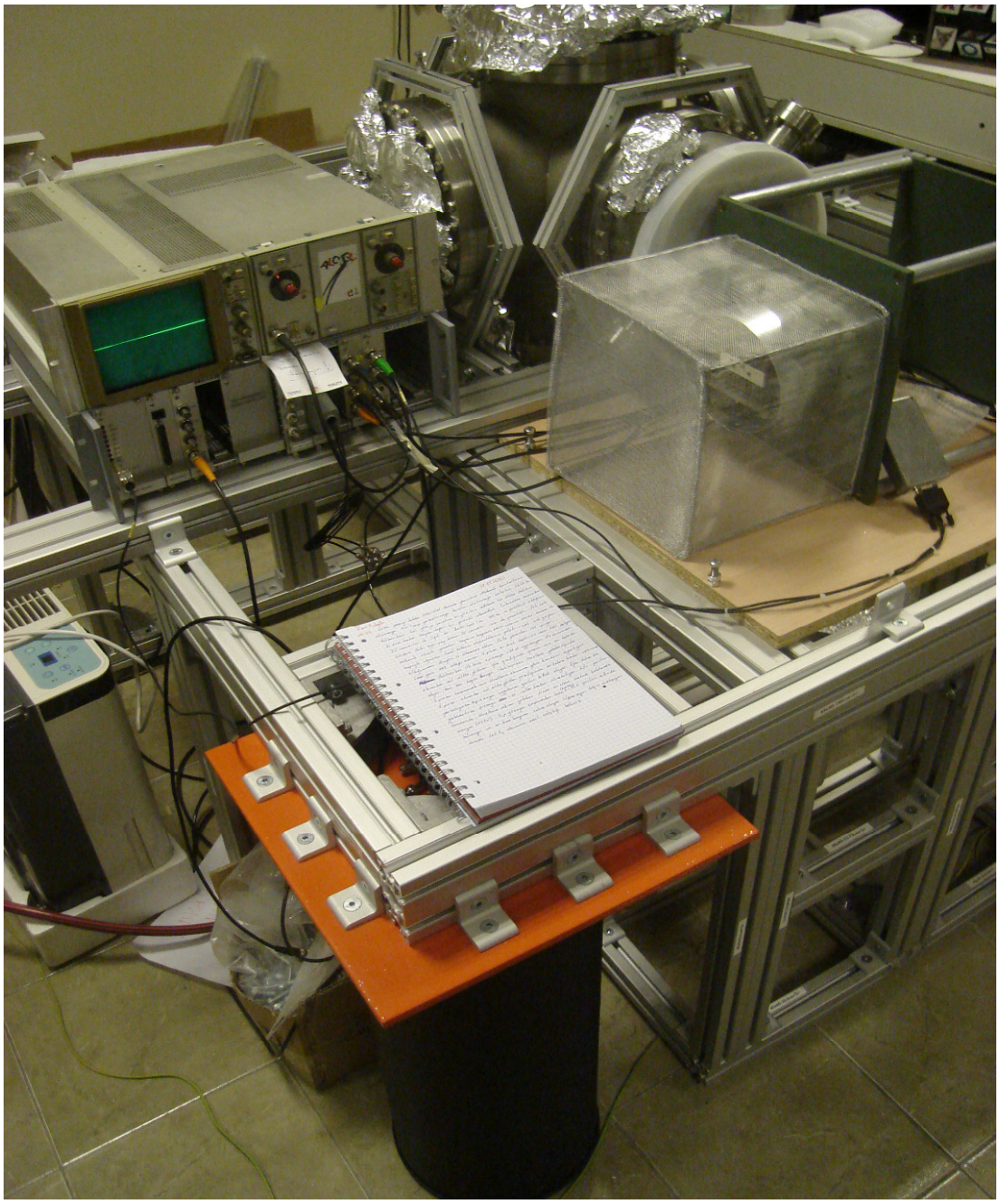
TTM düzeneğinin diğer kontrol kolu platformu sabitlemek için yapılmıştır. Şekil(2.5)'de görüldüğü üzere kolun TTM tarafına bakan kısmına bağlı bir çelik tel vardır. Çelik tel, küçük bir rulman üzerinden geçerek, rulmanın hemen üzerindeki yaylı çatala bağlanır. Şekil(2.5)'de görülen vidalı "T" çubuk, Şekil(2.7)'de görülen platformun ortasında bulunan somuna bağlıdır. Bu çubuk yalnızca en üst platforma bağlıdır, diğer platformlara temas etmeden platformlar üzerindeki deliklerin içinden geçer ve üst platformdaki somuna bağlanır. Sabitleme kolu sıkılaştırma yönünde çevrildikçe tel gerilir ve yaylı çatalı aşağıya doğru çeker. Çatal da, üst platforma bağlı "T" çubuğa temas eder ve bu sayede tüm titreşim giderici düzenek aşağıya



Şekil 2.8 : Yaklaştıma mekanizması.

doğru baskılanmış olur. Bu kol sayesinde, bir taşıma ya da iğne değiştirme işi sırasında, TTM düzeneğinin birbirine yapışık ya da vidalı olmayan titreşim sönümlendirici yığınının düzeninin bozulmaması sağlanır.

Üzerinde çalıştığımız TTM düzeneği hakkındaki diğer önemli bir ayrıntı da, düzeneğin, tüm bileşenleriyle birlikte (UYV kazanı da dahil olmak üzere), bir optik masa üzerine kurulmuş olmasıdır. Bu sayede, zeminden gelebilecek gürültü ve titreşimlere karşı önemli bir yalıtım engeli daha oluşturulması hedeflenmiştir.

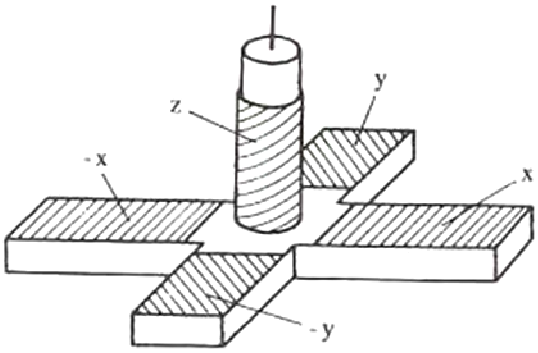


Şekil 2.9 : Optik masa üzerine kurulu TTM

2.4 Elektronik – Elektromekanik aksam

Bir TTM düzeneğinin en önemli bileşenlerinden biri, aldığı elektriksel işaretleri 0,1 angström kadar duyarlı mekanik hareketlere dönüştürerek tarama iğnesinin hareketini sağlayan piezo seramiklerdir. Bu çalışmaya konu olan TTM'de kullanılan piezo seramikler, günümüzde sık kullanılan PZT (Pb[ZrxTi1-x]O3 $0 \leq x \leq 1$) Kurşun Zirkonat Titanat kökenlidir [11-12]. TTM düzeneğinde, en üst platformun altına yerleştirilmiş "+" şeklinde bir çift X-Y tarama piezosu üzerine bağlanmış tüp

şeklinde bir Z-Piezo dan oluşmaktadır. Bir üç-boyutlu yüzey haritası, bu elektromekanik piezo düzeneğin, uygun gerilim değerleriyle uyarılması yardımıyla çıkarılır. Burada X-Y düzlemi, örnek yüzeyinin düzlemidir. Artı şeklindeki piezo eksenindeki piezo ise, iğne üzerinden geçen akıma göre kısaltılıp uzatılarak yüzeydeki yükseklik değişimlerinin takip edilmesini sağlar.



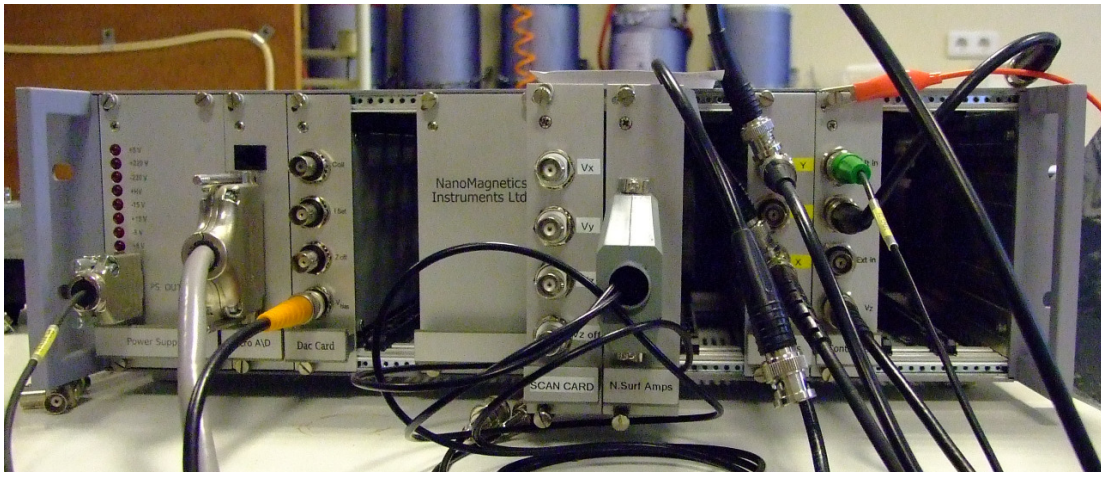
Şekil 2.10 : X-Y ve Z Piezo düzeneği

İncelemekte olduğumuz TTM düzeneğinde kullanılan "+" biçimli tarama ünitesi, özellikle piezo seramiklerinin ısıl kayma etkilerini azaltmada oldukça başarılıdır. Düzeneğin X-Y kontrolü (–x;x) ve (-y;y) bağlantı noktalarından aynı genlikte fakat ters kutuplu işaretler gönderilerek yapılır [13]. Bu sırada geri besleme ve işaret yükseltici devrelere bağlı olan Z ekseni piezosu yüzeyden gelen akım değerlerine göre uzar ya da kısalır. Z ekseni piezosunun bir kutbu TTM düzeneğinin şasisine ve buradan toprağa bağlıdır. Aynı toprağa kontrol ünitesi de bağlıdır. Dolayısıyla kontrol ünitesinden gelen işaretlerin doğru biçimde aktarılabilmesi için temiz ve kuvvetli bir toprak bağlantısı oldukça önemlidir.

Z-eksenindeki yüzeye çarpmadan yükselti ve çukurları takip etmeyi sağlayan hareketin yönetilmesi ve X-Y eksenlerindeki tarama hareketinin düzenli tekrarı için bazı elektronik donanım gereksinimleri söz konusudur. Genel itibariyle, yazılım destekli bir elektronik yükseltici devresi ile geri besleme ve kontrol devrelerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, gerekli donanım ve yazılım "NanoMagnetics Instruments Ltd." tarafından sağlanmıştır Şekil(2.11).

Bu noktada, kısaca TTM düzeneğinin elektronik yapısına değinmek gerekmektedir. Üzerinde çalışmakta olduğumuz TTM düzeneğinin çalışma biçimini anlamak için, örnek yüzeyine yaklaşma ve tarama aşamalarını açıklamak gerekir. İncelemekte olduğumuz düzeneğin ana elektronik bileşenlerine ait bağlantı şeması Şekil(2.12)'de

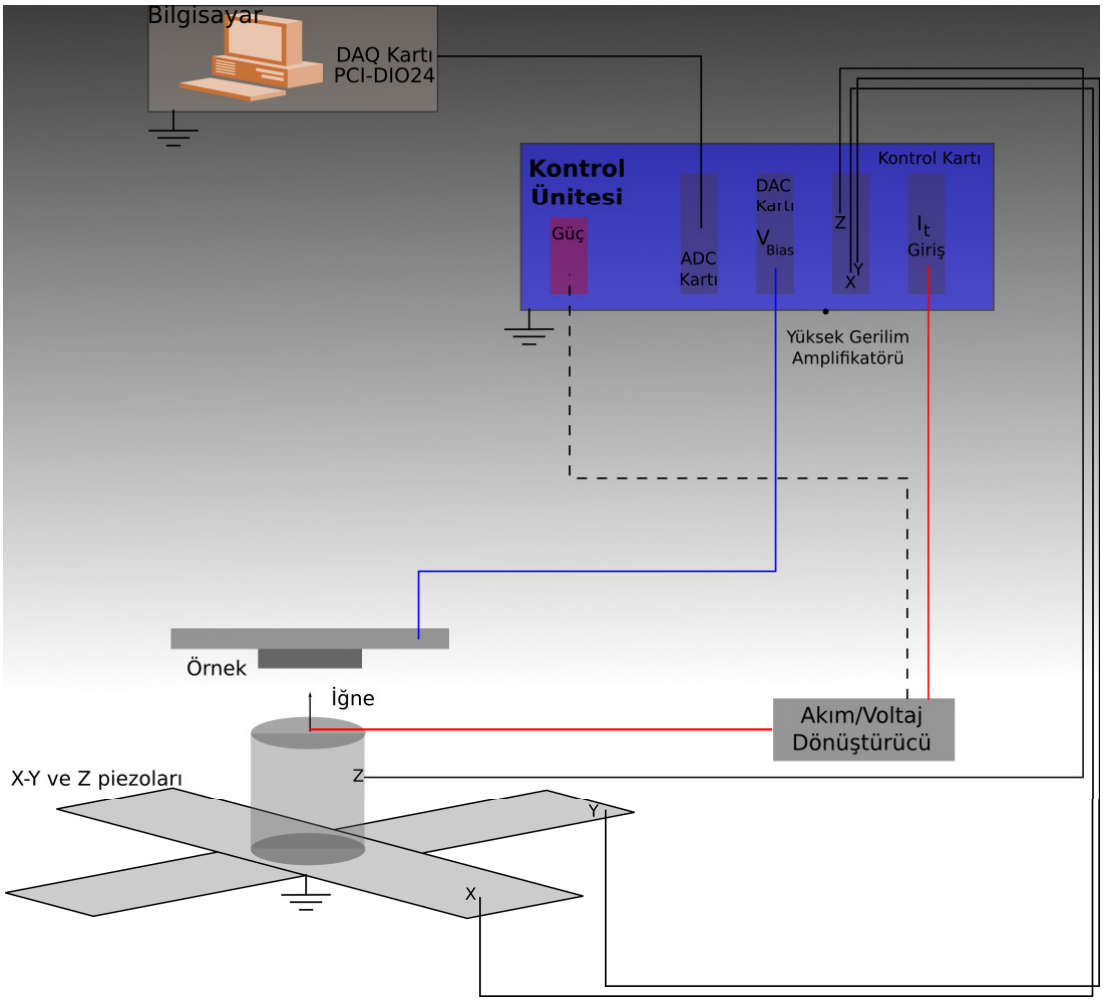
gösterilmiştir. Başlamadan önce, TTM düzeneğinin kısa devre kontrolü yapıldıktan sonra, düzenek BNC kablolar aracılığıyla kontrol elektroniğine bağlanır. Örnek, örnek tutucuya, kaba yaklaşma tamamlandığında iğneye çarpmayacak biçimde



Şekil 2.11 : TTM Elektronik Kontrol Ünitesi

yerleştirilir. Bilgisayardaki ilgili yazılım ve kontrol ünitesi açılır. TTM düzeneğinin elektronik kontrolü ilk açıldığı zaman, kontrol kartı Z piezoyu yönetmek için +11V değerinde bir gerilim uygular, uygulanan bu gerilim, yüksek gerilim amplifikatörünce +216V değerine yükseltilerek Z piezoya gönderilir. Uygulanan bu ilk gerilim sayesinde Z piezo en uzun konumuna ulaşır. Yaklaştırma kolu çevrilerek örnek yüzeyi iğneye yaklaştırılır. Yüzeyle iğne arasında, tünelleme akımının geçebileceği kritik uzaklığa erişildiğinde, oluşan tünelleme akımı pA mertebesindedir. Bu tünelleme akımının ilk uğradığı bileşen Akım/Voltaj dönüştürücüsüdür. Bu dönüştürücü, üzerinden geçen pA mertebesindeki tünelleme akımındaki değişiklikler, 0-10V arası gerilim değerlerine dönüştürülürler. Tünelleme akımı elde edilir edilmez kontrol ünitesindeki geri besleme devresi, Z piezoya uygulanan gerilim değerini, yüzey yaklaştırıldıkça -11V değerine doğru azaltır. Yine yüksek gerilim amplifikatörü, kontrol karının uyguladığı –11V değerindeki gerilimi -200V değerine dönüştürerek Z piezoya uygulamaktadır. Mekanik kolla yapılan ayarlama tünelleme akımı yakalandığı andan itibaren oldukça güçleşir; iğneyi yüzeye çarptırmadan kontrol ünitesinin Z piezoya uyguladığı gerilim 0V çevresine çekilmeye çalışılır. HOPG gibi çok düzgün yüzeyler için bu şart mutlaka sağlanmak zorunda değildir, ancak çukur ve tümseklerden oluşan zor bir yüzeyde iğneye daha geniş bir hareket menzili sağlayacağı da unutulmamalıdır. Eğer TTM iğnesi örnek yüzeyine temas ederse, devreden maksimum akım geçer ve Akım/Voltaj dönüştürücünün çıkışında 10V değerinde sabit bir gerilim okunur.

TTM iğnesinden gelen tünelleme akımındaki değişiklikler şüphesiz X-Y piezolarının satır satır tarama hareketleriyle birlikte bir anlam ifade eder. Yüzey üzerinde X-Y piezolarına gönderilen tarama işaretleri sonucunda iğnenin ucu örnek yüzeyi üzerinde hareket eder. Piezolar, kontrol ünitesinin yüksek gerilim amplifikatörü tarafından sürülmektedirler. X-Y piezoları -200 +200 Volt arasında düzenli değişen gerilim değerleri sayesinde maksimum 200 nm büyüklüğünde bir alanı tarayabilmektedir. Bu hareket sırasında oluşan tünelleme akımı değişiklikleri, kontrol



Şekil 2.12 : UYV-TTM Elektroniği Genel Bağlantı Şeması

ünitesinde bulunan geri besleme devresi tarafından yorumlanarak Z piezoya uygulanan gerilimdeki değişimler belirlenir. Bununla birlikte yine iğneden dönüştürülerek gelen işaretler bilgisayardaki DAQ kartına da gönderilir ve gelen işaretler, kontrol ünitesinin yazılımı tarafından sayısal olarak kaydedilirler. Yapılan yüzey haritalama işlemleriyle ilgili tüm parametreler, DAQ kartının takılı olduğu bilgisayara kurulmuş olan yazılım aracılığıyla ayarlanır.

2.5 Kullanım Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Bir UYV-TTM sistemini kullanırken en çok dikkat edilmesi gereken konulardan biri temizliktir. UYV kazanı içine girebilecek kirlilikler, incelenen örnek yüzeylerinin kirlenmesine sebep olabilir. UYV-TTM parçalarına dokunmadan önce mutlaka uygun bir eldiven takılmalıdır (lateks ya da vinil). Kullanılan cımbız, tornavida vb. aletler de kir ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Bu aletler hiçbir zaman çıplak elle tutulmamalıdır. Aletleri temizlemek için önce aseton, ardından izopropil alkol kullanılabilir. Herhangi bir bez ya da kağıt havlu gibi bir malzemeyle aletler silinmezler. Yalnızca sözünü ettiğimiz kimyasallarla, bir piset yardımıyla yıkanabilirler. UYV-TTM parçalarına dokunulan eldivenlerle başka yerlere dokunmamak gerekir. Özellikle eldeki eldivenlerle bilgisayar kullanmak, sık yapılan bir yanlıştır. Bilgisayar klavyeleri ellerden bulaşmış yağ ve kirin en çok bulunduğu yerlerdendir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, istemsiz olarak parçaları üfleyerek temizlemeye kalkmaktır. Bir parça üzerindeki tozu temizlemek için yüksek saflıkta azot ya da argon gazları üflenebilir. Gerekli görüldüğü takdirde parçalar, fırınlanarak temizlenip kirlerinden ve içindeki gazlardan arındırılabilirler.

UYV sistemlerinde ısıtıldıkça ya da ortam basıncı düştükçe gaz salımı yapan malzemeler kullanmaktan daima kaçınılır. Bu tür kirlilik kaynaklarına engel olmak için UYV ortamına girecek parçalar dikkatle seçilmelidir. Kullanılan parçaların hangi koşullarda ne tür gaz salımı yaptıkları hakkında her zaman kesin bilgi sahibi olunmalıdır[10].

3. ONARIMLAR VE AYARLAMALAR

Çalışmamıza konu olan TTM düzeneğinin onarımı konusunda yapılanlara genel olarak kısaca değindikten sonra, konuyu daha ayrıntılı olarak ele almak yerinde olacaktır.

Mekanik aksam açısından TTM düzeneğinin ilk durumu, hemen kullanılmasını olanaksız kılmıştır. Bu bağlamda, ilk olarak TTM düzeneği mekanik olarak onarılmış ve eksik parçaları tamamlanmıştır.

TTM düzeneği, elektronik donanım ya da yazılımdan yoksun ve de dış elektromanyetik etkileşimlere karşı tamamen korumasız durumda iken üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Tüm bu sorunlara ilişkin olarak yapılan çalışmalar bu bölümün ilerleyen alt başlıklarında ele alınacaktır.

Mekanik, elektronik ve yazılım konusunda yapılan düzeltmeler, çalışmalarımız boyunca, elimizdeki TTM düzeneğinin işleyiş biçiminin ve davranışlarının daha iyi anlaşılması konusunda aydınlanmamızı ve pratik bilgi kazanmamızı sağlamıştır. Yapılan tüm bakım ve onarımların yanında daima ana hedefimiz olan kalibrasyon çalışmalarını sonuçlandırmak olmuştur. Çalışmalarımızın başında, kalibrasyondan ziyade, sağlıklı tünelleme ve tarama yapabilmek ve bu konuda ki yeteneklerimizi geliştirmek yönünde hareket edilmiştir. TTM düzeneği üzerinde kazanılan pek çok deneyim ve düzeltmenin son aşamasında kalibrasyon çalışmaları da sonuç vermeye başlamıştır.

3.1 Mekanik Aksam Ayarları ve Onarımı

Mekanik aksamda bulunan bozukluklar aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

- TTM düzeneğini ve sönümlendirme platformlarını taşıyan yayların yerlerinin kaymış olduğu ve 4 yaydan 2'sinin devrilerek platformlarla zemin arasına sıkışmış olduğu görülmüştür.

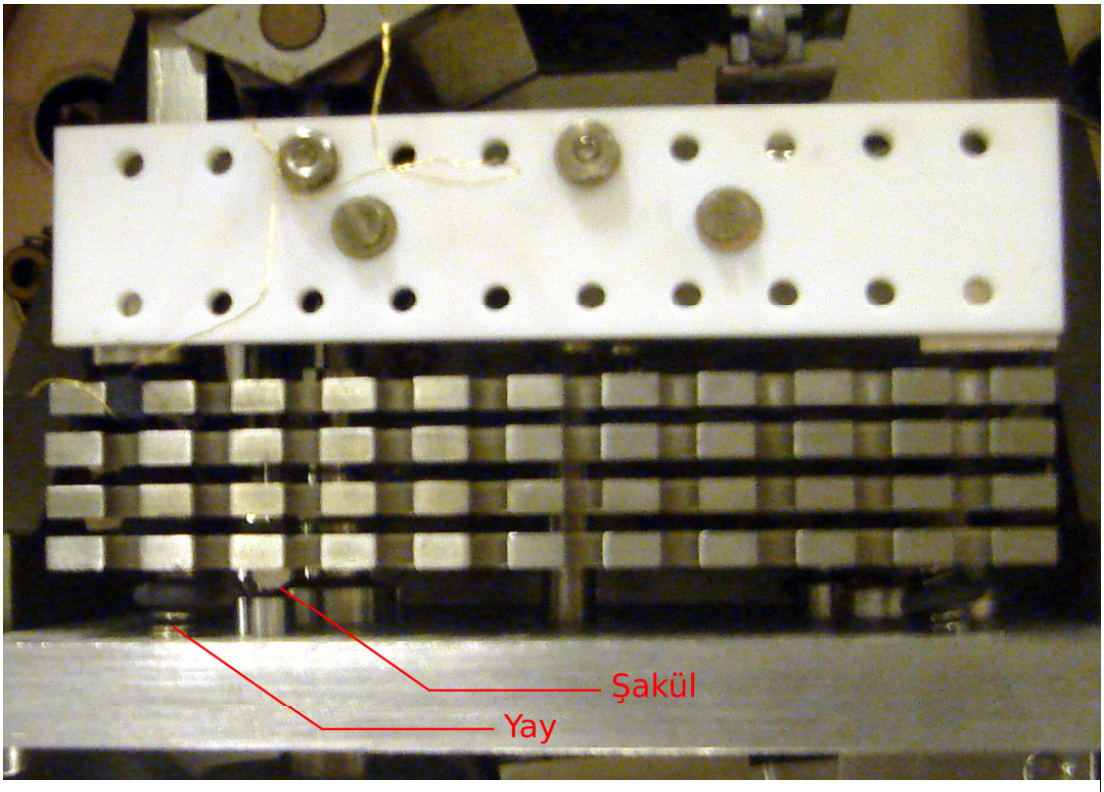
- Titreşim sönümlendirme düzeneğinin ayarları bozuk ve platformlar arasındaki viton parçaların bir kısmının eksik olduğu tespit edilmiştir

- Yaklaştırma mekanizması içinde istenmeyen sürtünmeler oluştuğu; bundan dolayı, iğnenin örnek yüzeyine yaklaştırılması sırasında düzeneğin yalpaladığı gözlemlenmiştir.

- Sabitleme mekanizmasının teli kopuk ve teli sabitleme koluna bağlayan bir vidasının eksik olduğu tespit edilmiştir.

- Sabitleme mekanizmasının çelik telini taşıyan rulmana punto kaynak ile kaynatılmış olan pul, kullanım esnasında rulmandan kopmuştur.

Mekanik onarımlar yukarıda belirtildiği sırada yapılmıştır. Öncelikle titreşim sönümlendirici platformların yeniden hizalanması ve platformlar arasındaki eksik viton parçalarının tamamlanması üzerinde durulmuştur. Eksik viton parçalarını platformlar arasına yerleştirmek için ince ve yağdan arındırılmış cımbızlar kullanılmıştır. Viton parçaları platformlar arasına yerleştirildikten sonra uzun bir cımbız yardımıyla devrilerek sıkışmış olan yaylar platformu taşıyacak şekilde dik pozisyona getirilmişlerdir. Bu işlemden sonra platformların yeniden hizalanması



Şekil 3.1 : Titreşim sönümlendirici platform yayları

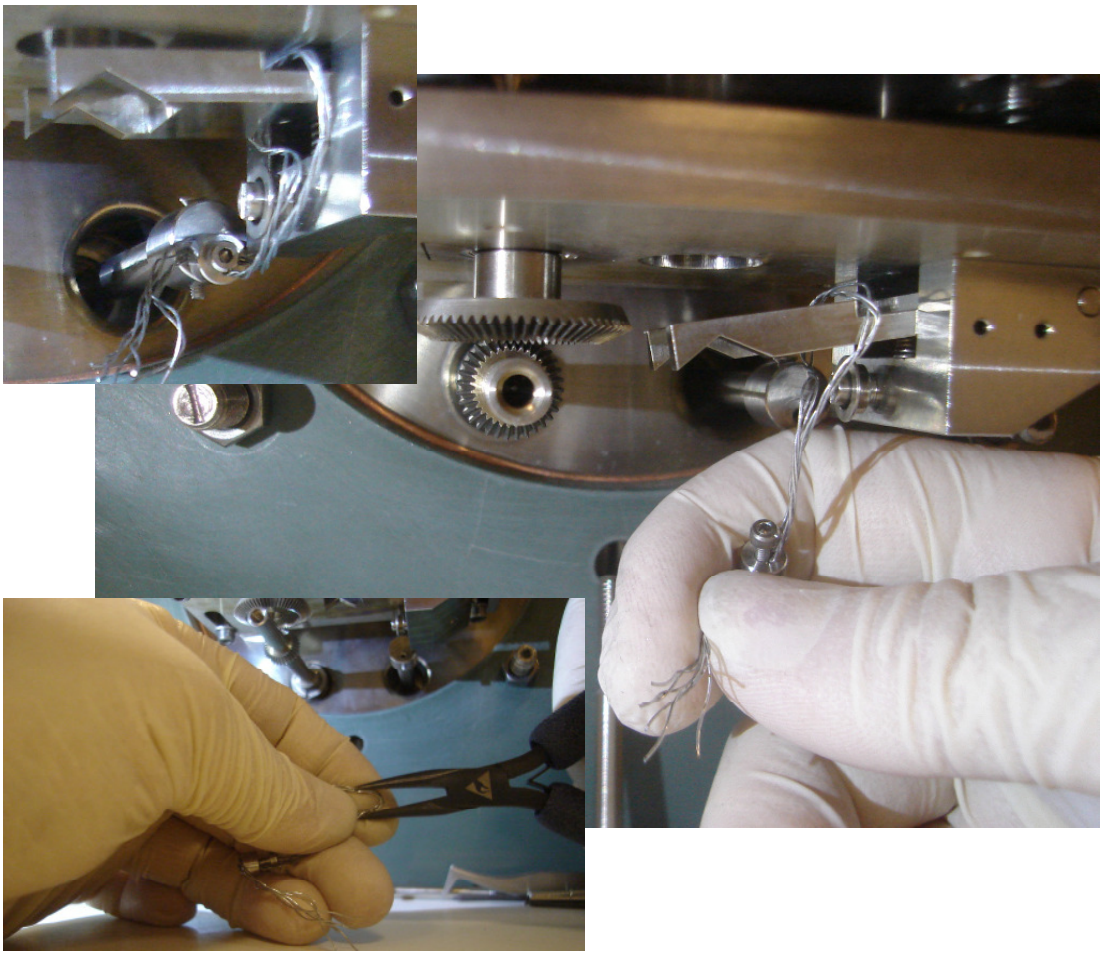
daha kolay olmuştur. Platformların yeniden hizalanması sırasında, en altta platformları taşıyan yayların yeniden devrilmemesine dikkat etmek gerekir Şekil(3.1). Özellikle en alt platformun doğru şekilde konuşlandırılması önem arz etmektedir. Yine Şekil(3.1)'de görülebileceği gibi, yayların üzerinde duran en alt platforma sabitlenmiş üç şakül bulunmaktadır. Bu şaküllerden yalnızca biri Şekil(3.1)'de görülebilmektedir. Şaküller, platformun altına bir üçgen oluşturacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, platformları sabitleyen tel gevşetilip, düzenek yayların taşımasına bırakıldığında, şaküllerin, taşıyıcı alt platformda bulunan yuvalarını ortalamaları gerektiğidir. Aksi takdirde, taşıyıcı platformla temas durumu oluşabilir; bu durum da titreşim sönümlendirme mekanizmasının etkinliğini önemli ölçüde düşürür. Başlarken bahsettiğimiz bir diğer sorun olan, yaklaştırma mekanizması içinde oluşan istenmeyen sürtünmeler ve yaklaşma sırasında yaylar üzerinde duran düzeneğin yalpalaması durumu da yine şaküllerin dikkatle ortalanmasıyla yakından ilgilidir.

Sabitleme mekanizması, örnek tutucunun bulunduğu en üst platform da dahil olmak üzere tüm platformları zemindeki taşıyıcı platforma doğru sıkıştırır. Sabitleme kolunun bu işi yapmasına aracı olan tel yenilenmiştir. Bunun için kolaylıkla herkesin temin edebileceği bisiklet fren telinden faydalanılmıştır. Bu teller, her şart altında vermeleri gereken hizmet sebebiyle paslanmaz çelikten yapılırlar. Uygun uzunlukta tel kesildikten sonra, kesilen parçanın içinden iki lif alınmıştır (Tek başına fren teli bu iş için olması gerekenden kalındır).

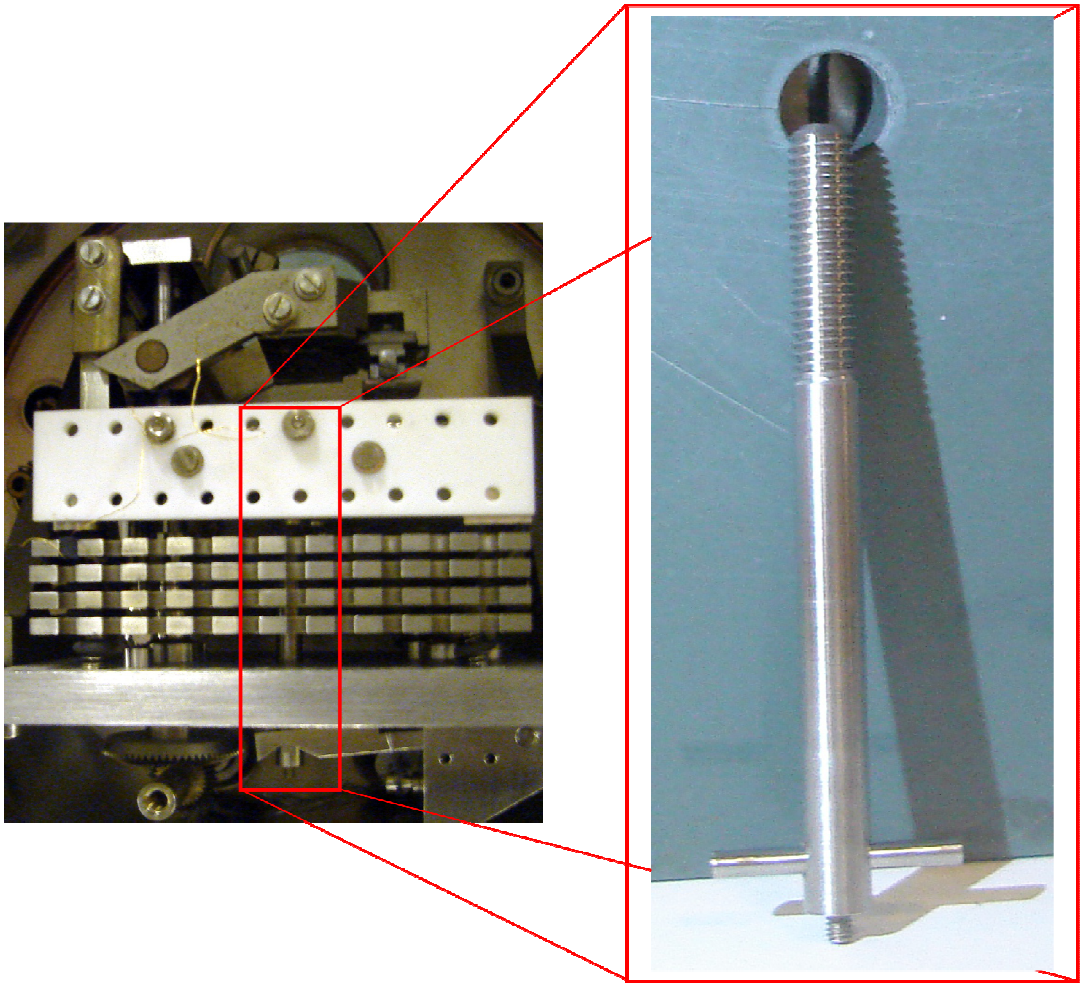
Kesilen tel UYV ortamına giremeyecek kadar kirli olduğundan, bir beher yardımıyla %99.9 saflıkta sikloheksan içine daldırılmış biçimde ultrasonik havuza sokulmuştur. Ultrasonik havuzun sıcaklığı 60 °C olarak ayarlanmıştır. Sikloheksan kanserojen, uçucu ve yanıcı bir sıvıdır. Uygun çeker ocak altında çalışılmaya ve buharı solumamaya özen gösterilmelidir. Kullanılan beher ya da tüpün ağzı gaz sızdırmayacak biçimde kapatılmalıdır. Petrol ürünlerinin çoğu üzerinde çözücü bir etkisi vardır. Kullanılması düşünülen film, kapak vb. petrol ürünlerinin sikloheksandan etkilenip etkilenmediğini çalışmaya başlamadan önce sınamak yerinde bir davranış olacaktır. Temizleme işlemi için, sözü edilen koşullar altında 10 dakika yeterli görülmüştür. Ultrasonik banyodan sonra, tel, saf azot ile üflenerek kurutulmuştur.

Sabitleme teli uygun biçime sokulduktan sonra, sabitleme koluna bağlanmıştır Şekil(3.2). Sabitleme telinin şekillendirilmesinde ve takılmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da yine Şekil(3.2)'de sol üst fotoğrafta görülmektedir. Takılmış olan tel hem gereğinden fazla kalın, hem de iyi şekil verilmemiş olduğundan dolayı bombelidir. Bunun sonucu olarak, yaylı çatalı çeken tel boşta olmasına rağmen üstündeki düzleme temas etmemektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Sabitleme kolu tamamen gevşetildiğinde, çatal kollarının, Şekil(3.3)'de görülen "T-Çubuk" ile temasının kesilmiş olması gerekir. Bu koşul sağlanmadığı takdirde TTM düzeneğinin titreşim sönümlendirme yeteneği önemli ölçüde etkisiz hale gelecektir.

Mekanik olarak yapılan bir diğer onarım da Şekil(3.2)'de sol üstte ve büyük resimde görülen rulmanın yenilenmesi işidir. Rutin kullanım sırasında bu rulman üzerine punto kaynak ile sabitlenmiş olarak duran pul kopmuştur Şekil(3.4). Bu pulun görevi, yaylı çatalı aşağı çeken çelik telin yerinden kaymasını engellemektir. Pul ve rulmanı tekrar punto kaynakla birleştirmek için yapılan ilk girişim, rulmanın zayi



Şekil 3.2 : Sabitleme telinin şekillendirilmesi ve takılması



Şekil 3.3 : Sabitleme düzeneğine ait T-Çubuk

olmasıyla sonuçlanmıştır. Punto kaynak cihazının akım ve zamanlama ayarlarının yapılmasının önemli bir deneyim işi olduğu anlaşılmıştır. Aynı boyutlarda ve uygun alaşımda yeni 10 adet rulman yurtdışından "www.vxb.com" sitesinden satın alınmıştır. Bozulan rulman ve yerine alınan rulmanlara dair ayrıntılar Çizelge(3.1)'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Bozulan rulman ve yerine alınan rulmanın özellikleri.

Rulman	**İç Çap**	**Dış Çap**	**Kalınlık**	**Alaşım**	**Türü**	**Yağlama**
Eski	2,5 mm	6 mm	1,75 mm	Bilinmeyen Çelik	Sabit Bilyalı / Kalkansız	Yok
Yeni	2,5 mm	6 mm	2,6 mm	Paslanmaz Çelik 440C	Sabit Bilyalı / Kalkanlı	Gres Yağlı

Çizelge(3.1) incelendiğinde, elimizdeki rulmanın eskisiyle arasında bazı önemli farklar vardır. Boyutlar konusunda, "kalınlık" kısmının önemli bir sorun yaratmayacağına kanaat edildiğinden ve uygun minyatür rulman adayı bulmanın

zorluğundan dolayı; alınan rulmanın daha kalın olmasına göz yumulmuştur. Alaşım olarak UYV ortamına en iyi uyum sağlayacağı bilinen 440C paslanmaz çelik (%16-18 Cr ; %0,95-1,20 C ; %0,75 Mo ; %0.04 P ; %0.03 S) seçilmiştir. Burada en önemli sorun arzeden nokta, bulunabilen yeni rulmanların "kalkanlı" ve fabrika çıkışı yağlanmış olarak üretilmiş olmalarıdır. Bu şartlar altında, elimize ulaşan rulmanların kalkanlarını söktükten sonra, yağlarından arındırmamız gerekmiştir. Son olarak kopan pul, punto kaynak yardımıyla temizlenmiş olan rulmana kaynatılmıştır.



Şekil 3.4 : Sabitleme düzeneği rulmanının kopan pulu

Zayi olan rulmanın yerine takılan yeni rulman, aşağıdaki işlemlerden geçirilmiştir:

- Rulmanın yan taraflarında bulunan ve içerideki bilyeleri gizleyen kalkanları ultrasonik havuzda daha etkin bir temizlik elde edebilmek için çıkarılmıştır Şekil 3.5 a ve b).

- Kalkanları çıkarılmış rulman ağzı kapalı bir deney tüpüne koyulup üzerine sikloheksan eklenmiştir Şekil 3.5 c).

- Tüpün içindeki sikloheksan her seferinde yenilenmek suretiyle 7 dakikalık 3 banyo yapılmıştır. Ultrasonik banyo sıcaklığı 60 °C'de sabit tutulmuştur.

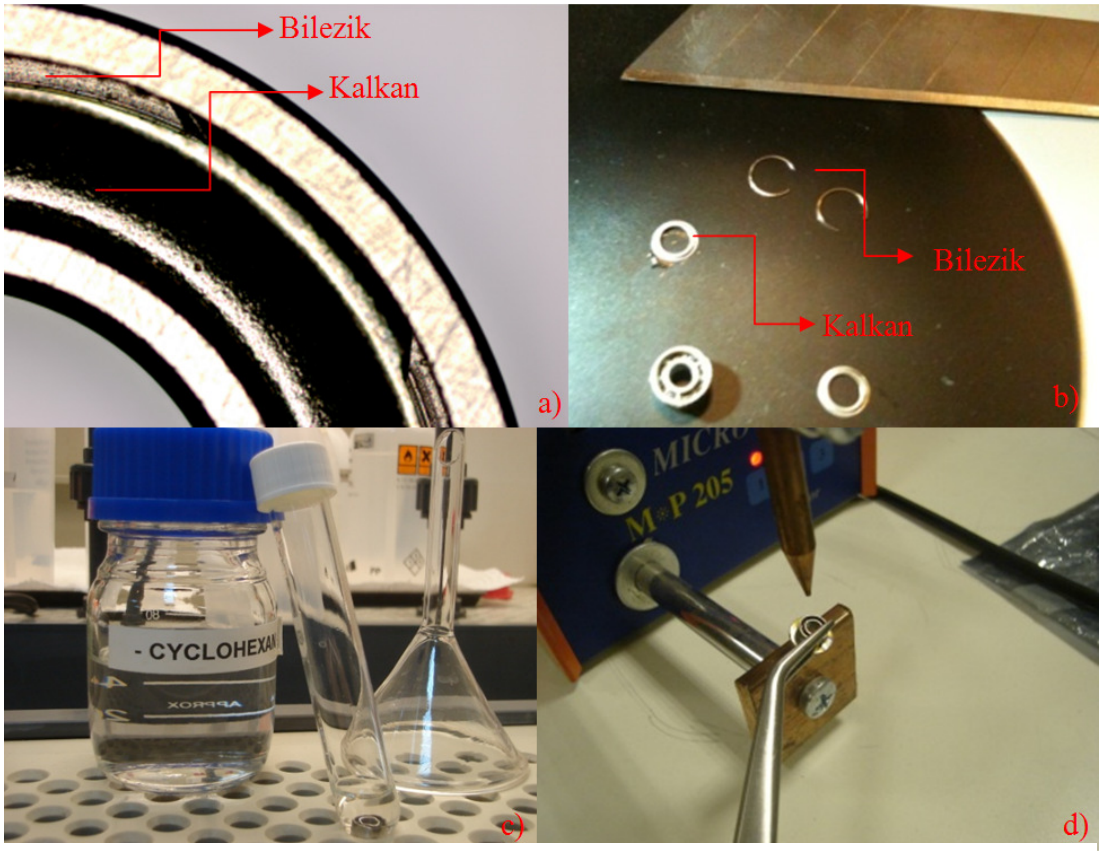
- Rulman bu aşamadan sonra saf azot üflenerek kurutulmuştur.

- Son olarak, kopan pul, rulmanın üzerine kaynatılmıştır. Rulmanın kalkanları, punto kaynak yaparken iç çeperlere kaynayabileceğinden dolayı geri takılmamıştır Şekil 3.5 d).

- Punto kaynak için LENA M*P205 marka kaynak aleti kullanılmıştır. Bu iş için bulunan en uygun ayarlar 0,1s boyunca 2 numaralı akım şiddetinde kaynak yapmak olmuştur.

- Kaynak işlemi için mutlaka koruyucu gözlük takılmalıdır. Yüksek uygulanmış bir akım değeri kaynak yapılmaya çalışılan malzemenin yanarak patlamasına sebebiyet verebileceği deneyimlerle sabittir.

TTM düzeneğinde yapılan sözünü etmiş olduğumuz onarımların ardından düzenek daha tutarlı ve çevresel mekanik etkenlerden en az düzeyde etkilenir bir şekilde çalışmaya başlamıştır.



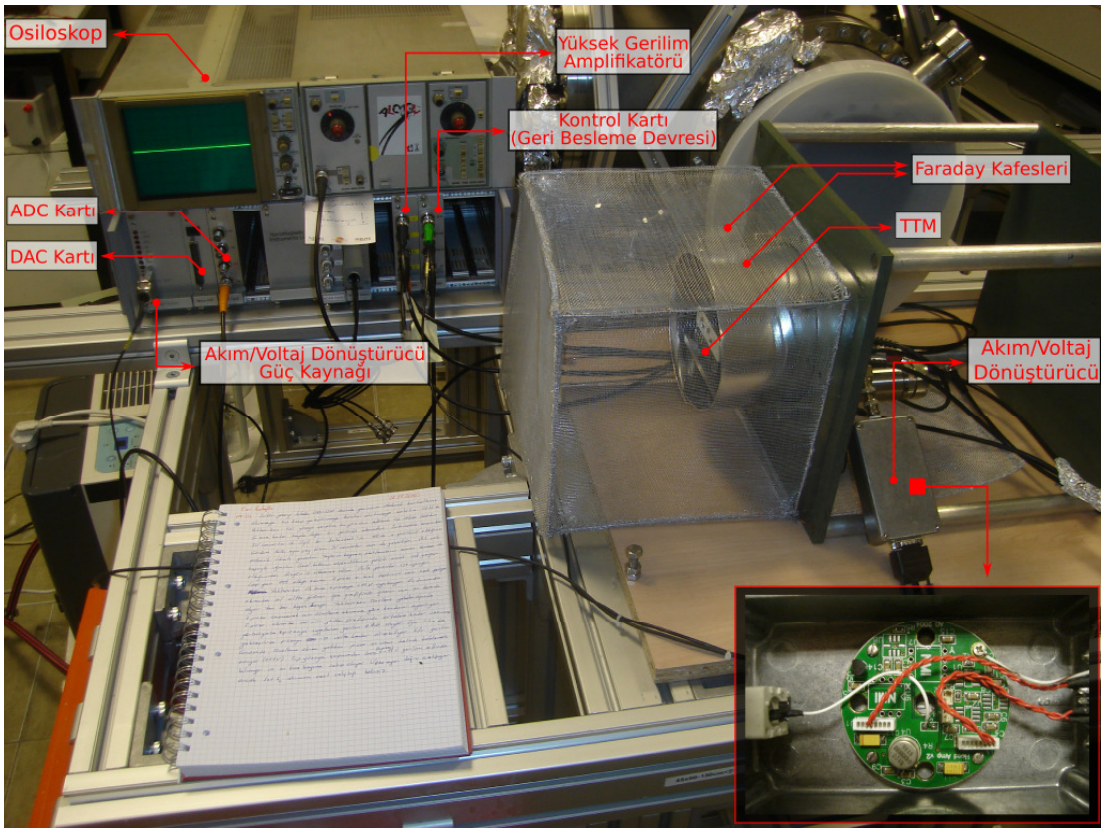
Şekil 3.5 : Rulmanın temizlenme ve kaynak aşamaları

3.2 Elektronik Aksam, Bağlantıları ve Yapılan Onarımlar

TTM düzeneği, kontrol elektroniğine BNC kablolar aracılığıyla bağlanmaktadır. Düzenek için yeni BNC kablolar onarım işleri çerçevesinde yapılmıştır. Bu tür sistemler için en iyi sonucu RG-58 50Ω empedanslı eşeksenli (koaksiyel) kablolarla

almak mümkündür [14]. Düzeneğin kurulu ve bağlantıları yapılmış hali Şekil(3.6)'da gösterilmiştir.

Kullanılan Akım/Voltaj dönüştürücüsü yine kontrol elektroniğini ve yazılımı sağlayan NanoMagnetics Ltd. firmasından satın alınmıştır. Kontrol elektroniğinde yapılmış önemli düzeltmelerden biri, elektroniğin örnek ile iğne arasında uyguladığı "Bias Voltage" değerine ait ofsetin düzeltilmesi olmuştur. Yazılımdan belirlenen V_{bias} değeri 0V olsa dahi elektroniğin uyguladığı değer +0,45V civarında olmaktaydı. Bu değer, donanım üreticisi tarafından +0,005V değerine çekilmiştir.

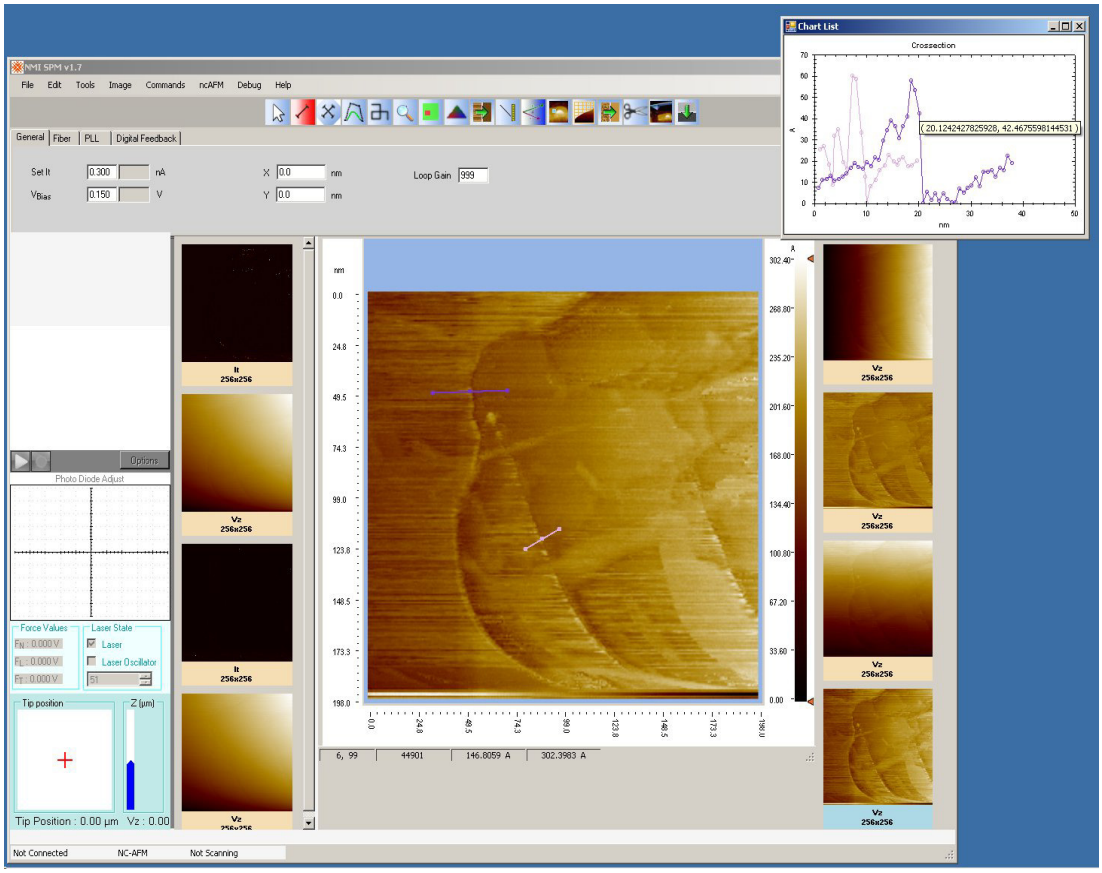


Şekil 3.6 : TTM Kontrol elektroniği bağlantıları yapılmış halde

3.3 Yazılım Desteği ve Yapılan Düzeltmeler

Düzeneğin yazılım desteği kontrol elektroniğiyle birlikte aynı firmadan satın alınmıştır. Yazılım, elimizdeki TTM düzeneğine uyacak şekilde NanoMagnetics firması tarafından değiştirilmiştir. Yazılımın geliştirilmesi uzun bir süreç olmuştur. Geliştirilen her sürümdeki yazılım hataları (gerek ergonomik, gerekse ölçüm hataları) tarafımızdan bulunarak firmaya iletilmiş ve düzeltilmesi sağlanmıştır. Bu kısımda yazılım desteği konusunda tespit ettiğimiz sorunlar ve eksikler

listelenecektir. Bununla birlikte, çok kullanıcılı veri depolama ve yedekleme işleri için yapılan çalışmalar özet olarak tarif edilecektir.



Şekil 3.7 : TTM Yazılımı grafik arabirimi

3.3.1 TTM Yazılımında tespit edilen hatalar ve önerilen geliştirmeler

- "Cross Section" (Kesit alma) penceresinin yeniden boyutlandırılmaz durumda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum veri noktaları çok olan bir grafikteki tepe noktalarını saymayı oldukça güçleştirmektedir.

- "Set It" (İğne yüzey arası elektrik akımı) için ayarlanan değer ile ölçülen arasında x3 x5 mertebelerinde doğrusal olmayan bir fark oluşmaktadır. Bu tutarsızlığı bilmeyen birisi kolayca iğneyi ve yüzeyi bozabilir. Sorunun elektronik donanımla da ilişkisi olduğu düşünülmektedir.

- "Scan Image" (Resim tarama) kısmındaki tarama hızına ilişkin ayar doğrusal bir şekilde değişmemektedir. Alt ve üst sınırları belirsizdir. Bunlarla birlikte yanında yazan birimin de yanlış olduğu tespit edilmiştir.

- Yazılım dahilinde genel olarak elle girilen ayarların tümünün limitlerine dair bir üst-alt limit bilgisi olmaması yazılıma aşina olmayan kullanıcıyı yanlış yönlendirmektedir.

- Yazılımda Akım/Voltaj (I/V) spektroskopisi alınabilecek bir fonksiyon bulunamamıştır.

- Yazılım çalışırken başka bir yazılım (web tarayıcı vb.) çalıştırılırsa, z-piezo geri beslemesinin zaman zaman işlemediği ve iğnenin yüzeye çarptığı tespit edilmiştir.

- Ölçüm alma sırasında, x-y eksenindeki yüzey eğimi belli bir üst limitten fazla ise, gelen veri tarama esnasında renk skalası limitlerini aşmakta ve bu sebepten dolayı görüntü dümdüz olarak görünmektedir. Yüzeydeki gerçek durum ancak tarama bittikten sonra "Plane Correction" (Düzlem düzelmesi) gibi fonksiyonlar kullanıp ölçüm verileri işlendikten sonra görülebilmektedir. Çalışma rahatlığı ve hızı açısından, yazılıma, gerçek zamanlı olarak bu işlemleri yapmayı sağlayan fonksiyonlar eklenmelidir.

- Tarama esnasında pencereyi simge durumuna düşürülüp yeniden açıldığında, yüzeyin o ana kadar taranan kısmının ekranda tamamen beyaz bir şekilde göründüğü tespit edilmiştir.

- Yazılım dahilindeki resim analiz uygulamasına dair bir kullanım kılavuzunun hazırlanması gerektiği fikrine varılmıştır. Üretici firma yetkilisinin yazılımı biz son kullanıcılardan çok daha etkin kullandığı ve yazılımın ilk bakışta fark edemediğimiz pek çok kullanışlı özelliğinin olduğu anlaşılmıştır.

- Tarama esnasında tarama özelliklerine (tarama açısı, tarama alanı… vs.) müdahil olunamamaktadır. Tarama esnasında bu parametreleri değiştirebilmek yüzeyin davranışını ve iğnenin durumunu anlayabilmek açısından çok yardımcı olacaktır.

- Yazılım tarama işini aşağıdan yukarı yapmaktadır. Tarama tamamlandıktan sonra tekrar en aşağıya inip taramaya devam etmektedir. Tarama işi aşağıdan yukarıya doğru yapıldıktan sonra, yukarıdan aşağıya doğru ara verilmeden

devam edebilecek şekilde yazılımın değiştirilmesi önerilmiştir. Bu sayede tarama sebebiyle yüzeyde oluşmuş olan değişiklikleri gözlemlemek daha kolaylaşacaktır.

- TTM iğnesini yüzey üzerinde istenen herhangi bir noktaya yöneltmek ve o noktadan I/V spektroskopisi alabilmek için gerekli arayüz elemanları yazılıma eklenmelidir.

- Alınan ölçüm görüntüsü üzerinde bir alan işaretleyerek, işaretli kısmı taratabilmek için gerekli grafik arabirim elemanları eksik bulunmuştur. Tüm yapılan taramalar için (X,Y) offset değerlerini ve taranacak alanın boyutlarını girmek gerekmektedir. Bu durum, taranmak istenen bölgenin elle hesaplanmasını gerektirmekte ve zaman kaybına yol açmaktadır.

- Alınmış ölçüm görüntüsünün üzerinde gezinirken, fare imlecinin ucunda birbirini dik kesen yatay-dikey bir çift çizginin açılabilmesi gibi bir fonksiyonun, çalışma ergonomisinin iyileştirilmesi açısından olumlu olacağı düşünülmüştür.

- Yazılımın dosyalara kaydettiği künye bilgisi (metadata) içinde "Döndürme açısı" değerini içermemektedir.

- Ölçümlerin künye bilgisi kısmına kaydedilen değerlerin, kullanıcı tarafından elle girilmiş olan değerlerden ibaret olduğu fark edilmiştir. Ancak yazılımdaki daha önce bahsedilen sorunlar sebebiyle elle girilen değerler gerçek ölçülenlerden (Set I_t değerlerinin durumu gibi) önemli ölçüde sapmaktadır. Ölçülen değerlerin, ölçüm süresince belli zaman aralıklarıyla (aralıklar kullanıcının seçimine bırakılabilir) biriktirilmesi ve ağırlıklı ortalamalarının alınması sağlanabilir. Elle girilen değerlerin yanında künye bilgisine bu değerler de eklenmelidir.

- Dosyaların künye bilgilerinde eksik olan bir diğer nokta, ölçümün başlangıç zamanının olması; fakat bitiş zamanının olmamasıdır. Bunun yanında ölçümün toplam süresinin de hesaplanıp künye bilgisinin içine işlenmesinin de kullanışlı olacağını düşünülmektedir.

- Yazılımın kaydettiği dosyaların, Gwyddion (http://gwyddion.net/) gibi açık kaynak kodlu yazılımların desteklediği formatlardan birini desteklemesi alternatif analiz yöntemlerinin kullanılması açısından olumlu olacaktır. Gwyddion, ticari satılan STM ve AFM sistemlerinin pek çoğunun kaydettiği dosyaları açıp işleyebilen sürekli geliştirilen başarılı bir analiz yazılımdır.

- Döndürme işi konusunda önemli olan bir diğer nokta, bu işin kullanıcının seçtiği bir rastgele bir karenin merkezi çevresinde yapılabilmesidir. Yazılıma bu yeteneğin eklenmesi çalışma kolaylığı konusunda önemli bir ilerleme olacaktır.

- Yazılımın, x-y düzleminde döndürme yapabilmekle ilgili sorunları olduğu tespit edilmiştir. Yazılımın hangi merkez nokta etrafında döndürme yaptığı tam olarak anlaşılamamıştır. Bunu belirten bir referans noktasının programın uygun bir yerine ya da ölçüm alanında görünen bir yere yerleştirilmesi gerekmektedir.

- TTM ile alınan ölçüm 1024x1024 nokta içeren büyükçe bir görüntü ise, alınan ölçümün 1:1 oranında gösterilen hali yazılım penceresine sığmayabilmektedir. Buna benzer bir durum yakınlaştırma yapıldığı takdirde de doğal olarak ortaya çıkmaktadır. Yazılım bu durumlarda yatay-dikey kaydırma çubukları çıkartmalı ya da ölçüm üzerinde "fare ile sürükleme" yöntemiyle gezinilebilmeyi sağlamalıdır.

- Yazılım penceresinin sol alttaki "Tip Position" değeri okunur durumda olmasına rağmen hemen yanındaki Vz değeri hem alana sığmadığı için okunamamakta olduğu, hem de "Yüksek Gerilim Amplifikatörü" üzerinden gerçekte uygulanan gerilimle ilgisiz bir değer göstermekte olduğu tespit edilmiştir.

- Yazılıma x-y düzleminde bir döndürme açısı verildiğinde, yazılım verilen açıda döndürme yapıp yapamayacağını tespit edebilecek şekilde güncellenmelidir. Örneğin, 200x200nm maksimum tarama limiti olan bir x-y piezo için 150nm×150nm bir kareyi merkez (0;0) noktası çevresinde 45° döndürmenin mümkün olmadığı konusunda yazılım kullanıcıyı uyarmalıdır.

- TTM düzeneği tarama yaparken ya da bekleme halindeyken admin paneline giriş yapıldığında, o anda ayarlanmış olan V_{bias} değerinin kendiliğinden 0.000V değerine ayarlandığı fark edilmiştir. Bu sebepten dolayı TTM tarama halindeyken tünellemeden çıkabilmektedir.

- İşletim Sisteminin "Regional Settings" ayarları Türkiye için ayarlı olduğu takdirde TTM yazılımının açılmadığı ve doğrudan çöktüğü tespit edilmiştir. Yazılımın çalışması için mutlaka işletim sistemi İngilizce (A.B.D.) bölgesel ayarında çalışıyor hale getirilmelidir. Bu önemli bir sıkıntı olarak göze batmaktadır. Bu çökme sorununun temel sebebinin, ondalık ayraçlar için Türkiye'de, Avrupa'nın benimsemiş olduğu yapıyı kullanmakta olmamızdır. Yazılımın derleme aşamasında İngilizce bölgesel ayarlar temel alınarak derlenmiş olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı, ingilizce dışı bölgesel ayarlar yapılmış olan işletim sistemlerinde yazılım açılamadan çökmektedir. Diğer taraftan, TTM yazılımıyla aynı sistemde "Origin" gibi başka bir hesaplama programı kullanırken, her seferinde "Regional Settings" değişimi yapmak durumunda kalınması kullanıcı için oldukça sıkıntılı bir durum teşkil etmektedir.

- Yazılım ilk açıldığında Set I_t, V_{bias} ve Gain Loop değerlerini kaydetmiş görünmesine karşın, hemen yanındaki anlık ölçülen değerlerin, ayarlanmış değerlerle uyuşmadığı tespit edilmiştir. Ancak her yazılabilir alan üzerine gelip enter'a basılınca değerler olması gereken aralıklara çekiliyor. (Set I_t değeri 0.250 olarak ayarlandığı takdirde, 1 nA çevresinde ölçüm alındığını daha önce tespit etmiştik. Program ilk açıldığında "Set I_t" 0.250 olarak görünmesine rağmen, anlık akım değerlerinin 2 nA çevresinde olduğu gözlemlenmiştir. Her hangi bir değişiklik yapılmadan, ayar değerlerinin girildiği metin kutusu etkinleştirilip, klavyeden Enter'a basılınca, ölçülen akımın, 1nA mertebesine indiği tespit edilmiştir).

- Uzunluk ölçüm araçlarının hatalı çalıştığı tespit edilmiştir. Yalnızca "Crossection" (Kesit) aracının X ekseni üzerinde doğru değerleri gösterdiği görülmüştür. "Curve Crossection" (Eğimli Kesit) ve "Path Crossection" (Yol Kesiti) araçlarının çizdiği grafikte, X ekseninindeki değerlerin gerçek uzunluklarla tamamen alakasız değerler göstermekte olduğu tespit edilmiştir.

- Admin panelindeki “Downward Piezo Direction” kutucuğunun ilk tıklamada çalışmamakta olduğu tespit edilmiştir.

- Bias Pulse Generator penceresi her açılışında olması gerekene göre 5-6 kat büyük açılmaktadır. Her seferinde yeniden boyutlandırılması gerekmektedir.

- Yazılım Windows Explorer uygulamasına kendini kayıt ettirmediğinden dolayı, alınmış ölçümlerin küçük resimleri Windows Explorer içinde gösterilememektedir. Bunun önemli bir ergonomi kusuru olduğu düşünülmektedir.

- İğnenin durumunu gösteren grafik üzerinde çalıştığımız TTM düzeneği için yanıltıcı bir görüntü sergilemektedir. Düzenek tünellemede değilken, iğnenin uzanımını gösteren mavi çubuğun en uzun konumda olması; tünelleme akımı yakalandıktan sonra, örnek yaklaştırıldıkça kısalması, düzeneğin çalışma biçimi göz önüne alındığında daha anlamlı bir görüntü sergileyeceği düşünülmektedir.

3.3.2 Veri depolama ve yedekleme

TTM Düzeneğinin ürettiği ölçüm verilerinin depolanması ve birden fazla kullanıcıya hizmet verirken kullanıcıların kişisel ayarlarının birbirine karışmamasını sağlamak için laboratuvarımızda çok kullanıcılı bir sistem oluşturulmuştur.

Oluşturduğumuz sistem, kabaca tarifiyle, laboratuvar bilgisayarlarını birbirine bağlayan bir yerel bilgisayar ağı ve tüm bilgisayarların kullanıcı bilgilerinin ve hesaplarının depolandığı bir Linux çekirdeği tabanlı sunucudan oluşmaktadır.

Oluşturduğumuz laboratuvar bilgi işlem alt yapısı dahilinde, tüm kullanıcılar, kendilerine ait olan kullanıcı adı ve şifrelerle yerel ağ dahilindeki bilgisayarlara giriş yaparlar. Yapılan tüm çalışmalar, laboratuvar sunucusundan paylaştırılmış olan proje dizinlerine belli isimlendirme kurallarına uyarak kayıt edilirler. Yapılan tüm çalışmaların periyodik olarak yedeğinin alınmasının yanında, ayrıca sunucu işletim sisteminin de yedeğinin alındığı betikler de yapılan çalışmalar dâhilinde geliştirilmiştir.

Kullanıcıların laboratuvar kaynaklarına kablolu, kablosuz ya da internet üzerinden kriptolu uzaktan erişim yöntemleri ile erişimleri de yaptığımız çalışmalar dâhilinde sağlanmıştır.

Bu konuya ilişkin daha ayrıntılı bilgiler EKLER bölümünün A.2 Kısmında verilmiştir.

3.4 Ölçüm ve Kalibrasyon Sorunları

Bu bölümde ölçüm kalitesinin artırılması ve TTM düzeneğinin piezo kalibrasyonunu yapmak konusunda yapılmış olan çalışmalar anlatılacaktır. Ölçümlerdeki elektromanyetik ve mekanik gürültülerin en aza indirilmesi için dikkat edilmesi gereken noktalar ve yapılan çalışmaların yanında, X-Y ve Z piezolarının kalibrasyon parametrelerinin tespit edilmesinde kullanılmış olan yöntemler ilerleyen alt bölümlerde gösterileceklerdir.

3.4.1 Elektromanyetik gürültüler

Üzerinde çalışmakta olduğumuz TTM düzeneği, oda koşullarında tamamen dış elektromanyetik gürültülere karşı açık durumda iken ilk deneme ölçümlerini almıştır. Her ne kadar elimizdeki TTM, UYV kazanına bağlandığında elektromanyetik gürültülerin büyük bir kısmından korunacak olsa da, düzeneğin kalibrasyonu ve diğer ayarlarının, oda koşullarında çalışırken de sınanabilmesi gerektiği için, çalışmalarımız süresince, çevresel elektromanyetik etkenlere karşı önlemler alınması gerekmiştir.

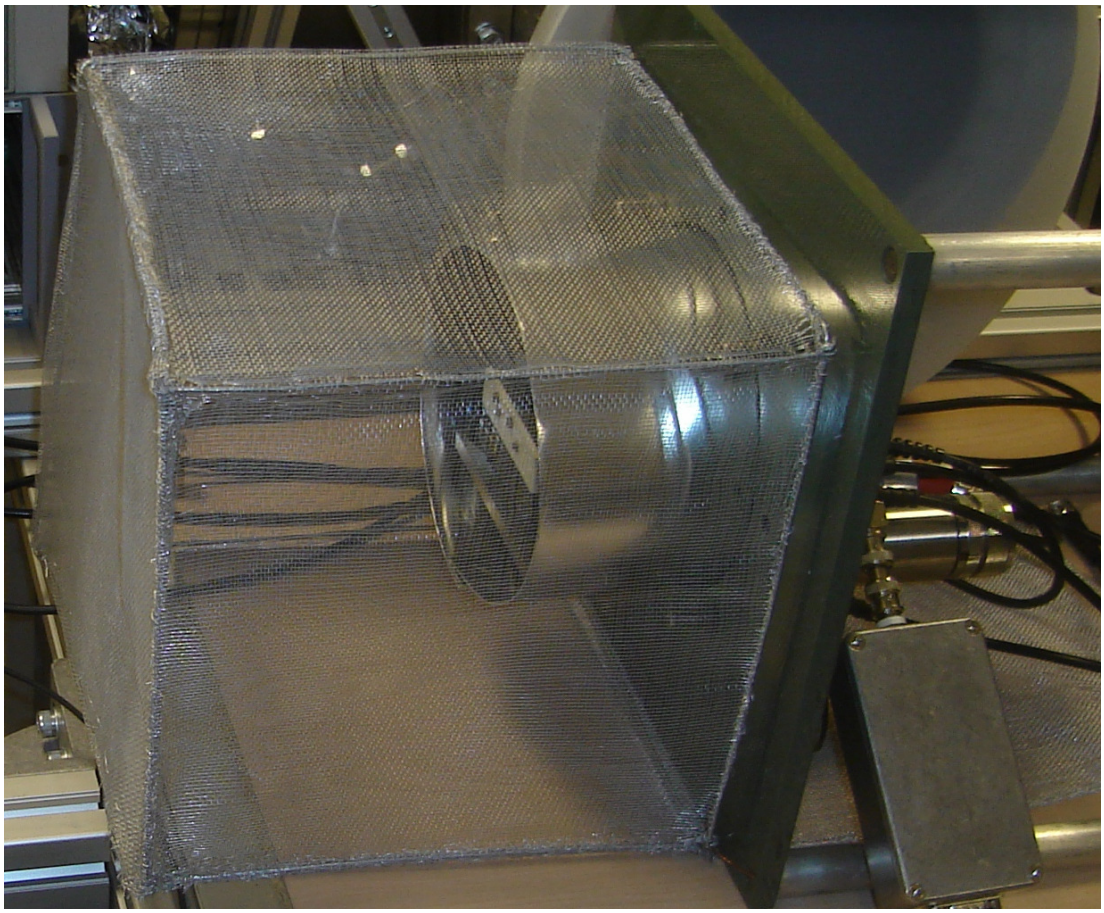
Bu bağlamda, TTM düzeneği ve buna bağlı olan her elektronik bileşen ortak bir toprak hattına bağlanmıştır. Bununla yetinilmeyip, TTM düzeneğini dış elektromanyetik etkilerden korumak için bir “faraday kafesi” yapılmıştır.

Yaptığımız faraday kafesi, herhangi bir nalburdan kolaylıkla temin edilebilecek malzemelerden oluşmaktadır. Şekil(3.8)’de de görülebileceği gibi, 2,5mm kalınlığında alüminyum telden yapmış olduğumuz bir küp iskeletinin çevresine yine alüminyum telden örülmüş bir ağ dikilmiştir. Düzeneğin bağlı olduğu vakum kazanı kapağı, Şekil(3.8)’de de görülen, yeşil renkli bir taşıyıcı iskelete vidalı durumdadır.

Bu iskelet, faraday kafesinin tüm TTM düzeneğini içine almasını engellediğinden dolayı, ikinci bir önlem olarak 1mm kalınlığında alüminyum levhadan kesilmiş olan silindir, düzeneğin çevresine yerleştirilmiştir. Faraday kafesi ve kesilen alüminyum silindir, önceden topraklı olan vakum kapağına bağlanarak topraklanmaları sağlanmıştır.

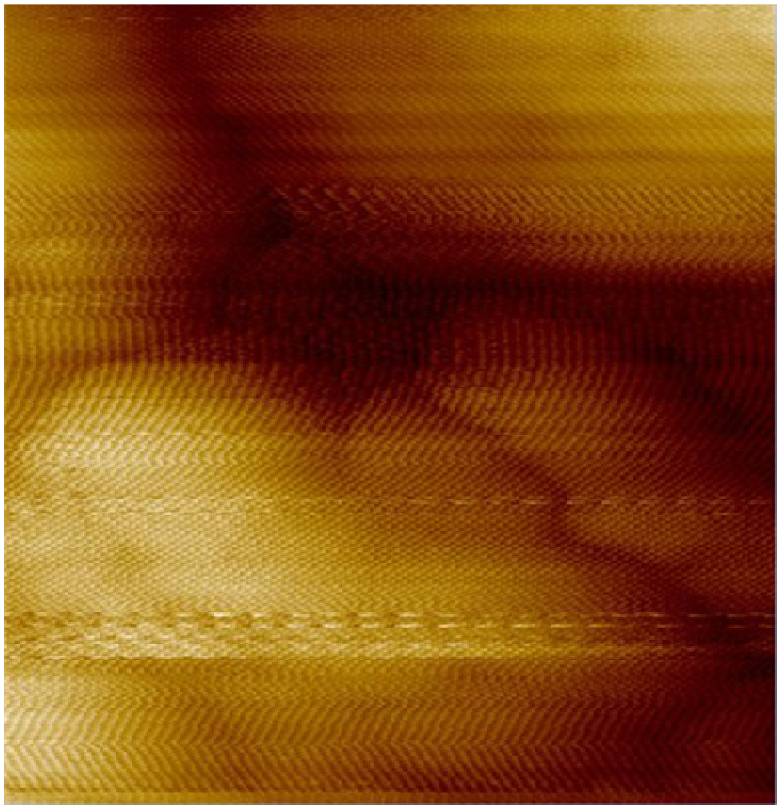
SiO_2 üzerine kaplanmış Altın film yüzeyinde almış olduğumuz ölçümler, faraday kafesinin olumlu etkilerini açıkça gözler önüne sermektedir Şekil(3.9).

Alınmış olan iki ölçüm arasındaki fark açıkça görülmektedir. Özellikle çevrede çalışan tüm elektrikli aletlerin yaymakta olduğu 50Hz şebeke gürültüsü ve ona bağlı olan harmoniklerin neredeyse tamamen kaybolduğu tespit edilmiştir. Özellikle atomik çözünürlük alınmak istenen ölçümlerde, faraday kafesinin büyük fayda sağladığı, bu güne kadar yapılan yüzlerce yüzey ölçümünün sonuçlarından da açıkça görülmüştür.

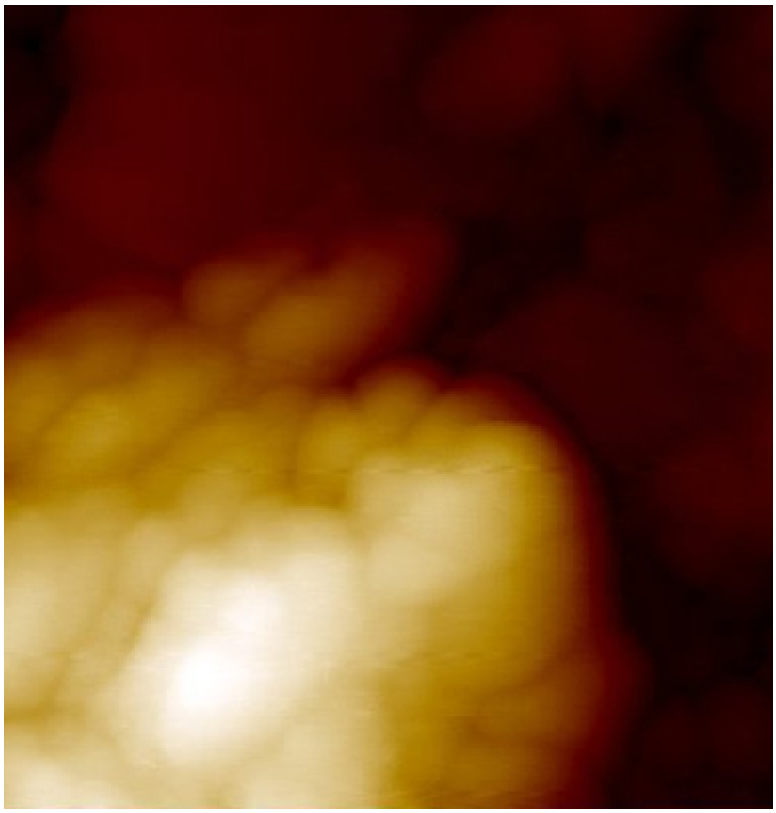


Şekil 3.8 : Faraday Kafesi

Faraday Kafesi olmadan alınan yüzey haritası



TTM, Faraday Kafesi içindeyken alınan yüzey haritası



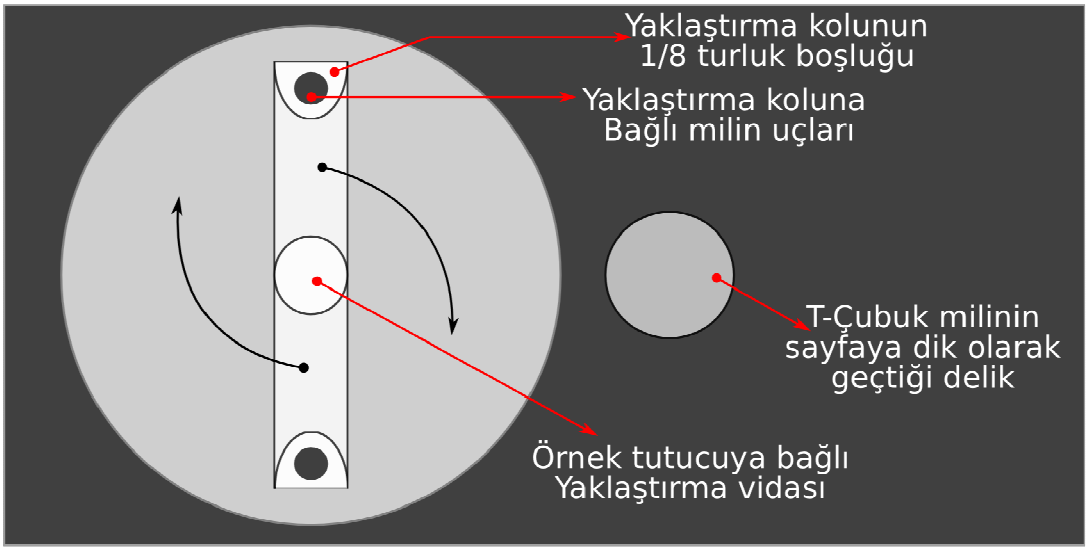
Şekil 3.9 : Faraday kafesinin ölçüme etkileri

3.4.2 Mekanik gürültüler

Mekanik gürültülerin ölçüm sırasında düzeneğe etkimesi konusunda daha önce sözünü etmiş olduğumuz onarımların büyük etkisi gözlemlenmiştir. Yine de düzeneğin kendi sönümlendirme mekanizmasının yanında, ikincil önlem olarak laboratuvarımıza gaz pistonlu ayakları olan bir "optik masa" kurulmuş ve TTM bu optik masanın üzerine yerleştirilmiştir.

Bu sayede elimizdeki TTM düzeneği, gün içinde laboratuvara yapılan giriş çıkışlardan ileri gelen çeşitli titreşimlerden, ya da komşu odalarda yapılabilecek ağır işlerin yarabileceği titreşimlerden en üst düzeyde korunmuş duruma getirilmiştir.

TTM düzeneği kullanılırken, mekanik gürültülerin engellenmesi açısından dikkat edilmesi gereken çok önemli fakat oldukça küçük bir ayrıntı, zaman içinde edinilen deneyimler sayesinde fark edilmiştir. Elimizdeki düzeneğin yaklaştırma mekanizmasının çalışma biçimi bölüm 2.2'de daha önce tarif edilmiştir. Yaklaştırma işlemi sırasında, tünelleme akımı yakalandığı anda, yaklaştırma kolunu 1/8 tur kadar geri çevirmenin, sönümlendirme platformları ile yaklaştırma kolunun temasını kestiği fark edilmiştir. Tarif edilen işlem yapılmadığı takdirde, düzeneğin çevredeki seslerden önemli ölçüde etkilendiği, elektronik kontrol ünitesine bağlanan bir osiloskop yardımıyla tespit edilmiştir. Bu davranışın esas sebebi, en üst platform üzerinde bulunan örnek tutucuyu kontrol eden yaklaştırma vidasının, doğrudan bir mil ile yaklaştırma koluna bağlı olmamasından kaynaklanmaktadır. Dışarıdan bakıldığında açıkça görülemeyen bir tasarım ayrıntısının, sönümlendirici platformlar



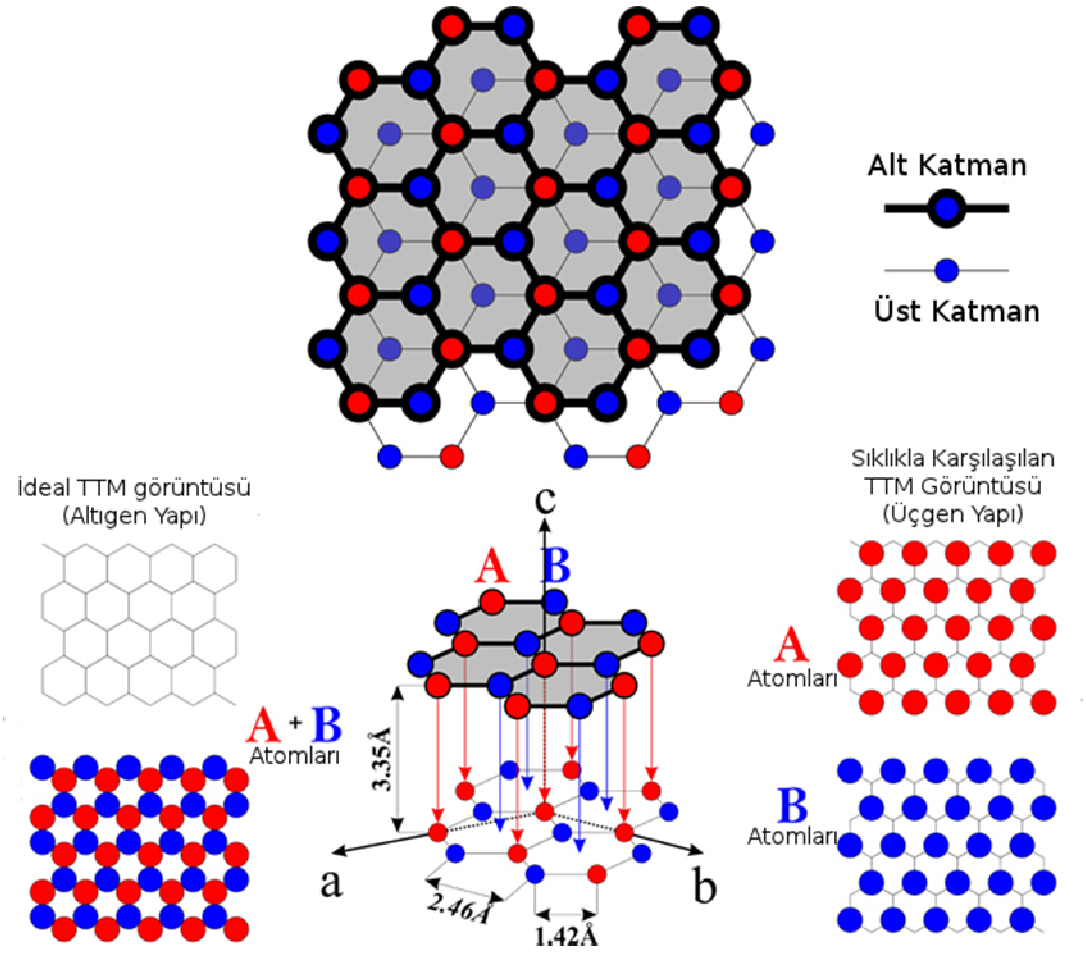
Şekil 3.10 : Titreşim sönümlendirici platformların kesiti

ile yaklaştırma kolunun bağlantısını kestiği fark edilmiştir. Bunun olabilmesi için, daha önce de bahsettiğimiz üzere, tünelleme akımı yakalandığında, yaklaştırma kolunu 1/8 tur kadar geri çevirmek gerekmektedir. Şekil(3.10)'da yaklaştırma vidasının sönümlendirici platformlar içinde gizli kalan kısmı kesit olarak çizilmiştir. Çizimde görülen kesit yere paraleldir, 4 dikdörtgen titreşim sönümlendirici platformdan herhangi birinin şeklini göstermektedir.

3.4.3 Piezo kalibrasyonu

Çalışmamıza konu olan TTM düzeneğinin, onarımı ve gürültü izolasyonu sağlandıktan sonra, son adım olarak düzeneğin atomik mesafeleri doğru biçimde ölçüp ölçmediği sınanmış ve gerekli ayarlamalar yapılmıştır.

Bu işi gerçekleştirebilmek için HOPG kristalinin atomik uzaklıkları ölçüt alınmıştır. HOPG kristali, son derece düzenli altıgen halkalardan oluşan katmanlı simetrik yapısıyla ve iyi bilinen bağ uzunluklarıyla bu tür bir kalibrasyon işi için en uygun



Şekil 3.11 : HOPG Yapısı [15]

yüzeydir. Pek çok ticari TTM satıcısının da kalibrasyon işlerini HOPG üzerinde yaptıkları, ve hatta ürünleri yanında HOPG kristalleri göndermeleri alışılmış bir durumdur. Şekil(3.11), HOPG kristalinin yapısını tarif etmektedir.

TTM Kalibrasyon denemelerine, elimizdeki piezoların türü hakkında kayıtlı kesin bir bilgi bulunmadığından dolayı, tahmini piezo parametrelerini TTM yazılımına girerek denemelere başlanmıştır. X-Y piezolarının çapraz (cross) piezo -Şekil (2.10)- olduğu bilgisinden yola çıkarak, X-Y piezo için verilen değerler daima birlikte aynı değeri alacak şekilde değiştirilmişlerdir. Z piezo, X-Y piezodan bağımsız silindir formda başka bir piezo olduğundan, Z piezo için girilen parametreler ayrıca sınanmıştır.

Değiştirdiğimiz kalibrasyon parametreleri, piezoların 300°K ortam sıcaklığında, uygulanan gerilim başına uzama katsayılarıdır. Birimi Å/V şeklindedir. Bu katsayılar kısaca, X Y Z eksenlerine atfen, kx ky kz olarak da yazılabilirler.

Başlangıç olarak X-Y piezolara 5 Å/V ve Z piezoya 15 Å/V değeri atanmış ve ilk ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler, HOPG kristalinin literatürde bilinen bağ uzunlukları ve basamak yükseklikleriyle karşılaştırılmıştır.

3.4.3.1 X-Y Piezo

X-Y Piezo için girdiğimiz değerleri sınamak HOPG yüzeyinde özel bir durum gerektirmediğinden dolayı kolay olmuştur. HOPG yüzeyi üzerinde alınan ölçümler çalışmamızın 4. bölümünde gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

3.4.3.2 Z Piezo

Z Piezo kalibrasyonu, X-Y piezoya nazaran daha güç bir iştir. Öncelikle, oldukça pürüzsüz olan HOPG yüzeyinde basamaklı bir kısma denk gelmek gerekmektedir.

Bu durumda, öncelikle yüzeyde basamaklı bir alana denk gelmek; Z-Piezo'nun verdiği değerleri olması gerekenlerle karşılaştırmak; sonuçları değerlendirip, yeni bir piezo parametresi tahmini yapmak gerekmiştir. Tahmin edileceği gibi, bu zaman alıcı ve şans eseri denk gelmeye bakan bir süreçtir. Bu konuyla ilgili olarak alınan ölçümler de, yine çalışmamızın 4. bölümünde gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

4. ÖLÇÜMLER

Bu kısımda piezo kalibrasyonu için HOPG yüzeyi üzerinde alınmış ölçümler incelenecektir. Bu çalışma yazıldığı sırada UYV sistemi maddi ve zamansal imkansızlıklar sebebiyle birleştirilememiş olduğundan, UYV ortamında alınacak ölçümler daha sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

4.1 Oda Koşullarında Alınan Ölçümler

Şekil(3.11)'dan da anlaşılabileceği üzere, her komşu altıgenin merkezleri arasında ya da paralel olan kenarlar arasında 2,46 Å mesafe bulunmaktadır. Yüzey üzerinde aldığımız ölçümler HOPG altıgenlerinin 3 yöndeki simetri eksenleri üzerinden alınmıştır. Alınan tüm veriler her 3 yönde 1 nm ila 1,2 nm uzunluktadır. Bir altıgenin, merkezinden geçen iki set simetri ekseni bulunur. Bunlardan bir üçlü set kenar ortalarından, diğer üçlü set ise köşelerden geçer. Her üçlü set, altıgeni 60°'lik altı eş parçaya böler. Ölçümlerimizde göz önünde tuttuğumuz simetri eksenleri, kenarların ortalarından geçen eksenlerdir.

Aşağıdaki alt bölümlerde, piezoların durumunu değerlendirmek için almış olduğumuz pek çok ölçümden en iyi olanları incelenmiştir. İncelenen ölçümler, bazı yüzeylerde iki ayrı bölgeden, bazı yüzeylerde ise tek bölgeden alınmışlardır. Her yüzeyden ve -varsa- bölgeden 3'er ölçüm alınmıştır. X-Y piezo için yukarıda ifade ettiğimiz simetri eksenleri doğrultusunda 3'er ölçüm; Z piezo için basamak çizgilerine dik olacak doğrultuda birbirine paralel 3'er ölçüm alınmıştır. Alınan tüm ölçümlerin konumları ilgili görsellerde gösterilecektir.

Bu noktada, almış olduğumuz ölçümlerde görmeyi hedeflediğimiz değerler ve "ölçüm doğrultuları" konularını biraz daha irdelemek yerinde olacaktır.

X-Y piezo için 3 simetri ekseni doğrultusunda aldığımız ölçümlerin, ortalama her 0,246 nm uzunlukta bir ekstremum (tepe ya da çukur noktaları) vermesini

beklemekteyiz. Yine Şekil(3.11)'de görülebileceği gibi, bu beklentimizin sebebi, HOPG yüzeyinin periyodik davranışıdır. HOPG altıgenlerinin kenar ortayı olan simetri eksenleri doğrultusunda, her 0.246 nm uzunlukta bir, yüzeyin elektronik durum yoğunluğu kendini tekrar etmektedir. Yüzeyin bu davranışı, bize X-Y piezo düzeneğini sınamak için en iyi ortamı sağlamaktadır.

Z piezo davranışını test etmek için ise, düzgün iki yüzey arasında oluşmuş bir basamağa ihtiyaç duyarız. Bu sayede, HOPG'nin bilinen basamak yüksekliklerini göz önünde tutarak, Z piezoyu kontrol eden mekanizmanın doğru bir şekilde yükseklik ölçüp ölçmediğini sınama imkanı bulmuş oluruz.

Bu çalışmada almış olduğumuz tüm ölçümlere ait ham veri, "OriginPro 8" adlı veri analizi programı yardımıyla işlenmiştir. X-Y piezolar için alınmış olan ölçümlere ait tepe ve çukur noktaları için "Çok Pikli Gauss Eğri Uydurma" (Multi-Peak Gaussian Curve Fitting) ve Z piezolara ait basamak verilerinin ortalama yüksekliklerini hesaplamak için Doğrusal Eğri Uydurma (Linear Curve Fitting) fonksiyonlarından faydalanılmıştır. Çok pikli Gauss eğri uydurma fonksiyonu, az miktarda veri noktası ile iyi sonuç vermediğinden dolayı, "Çizgi Aradeğerleme" (Trace Interpolation) fonksiyonu yardımıyla nokta sayısı 100'e çıkarılmıştır. Z piezoya ilişkin ölçümlerde, basamakların yatay düzlemler olduğu bilindiğinden dolayı, Doğrusal eğri uydurma işleminde "doğrusal eğilim" (linear regression) çizgisine ait eğim parametresi serbest bırakılmayıp, 0 olarak zorlanmıştır. Alt bölümlerdeki tablolarda ifade edilen veriler, "Normalize" ve "İşlenmiş" olarak iki gurupta incelenecektir.

4.1.1 X-Y Piezo için alınan ölçümler

X-Y Piezo için almış olduğumuz ölçümlere ait görseller sırasıyla aşağıda verilecektir. Bu kısmın en sonunda ise, işlenmiş veriler üzerinden hesaplanmış ortalama "tepeden tepeye" uzaklıklar, bir çizelge halinde düzenlenmiş olarak gösterilecektir.

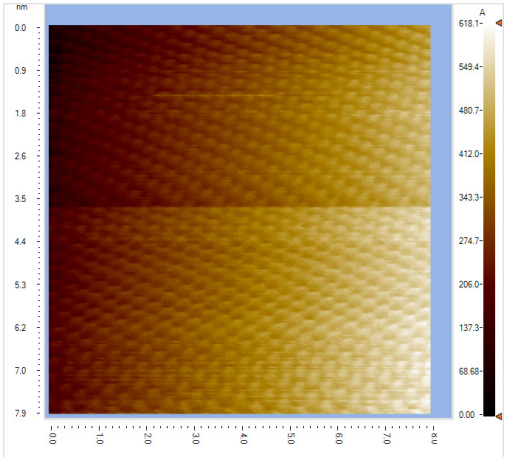
- Tüm ölçümler sabit tünelleme akımı kipinde alınmıştır.
- Tüm ölçümler 1nA hedef tünelleme akımı çevresinde alınmıştır.

- Tüm ölçümlerde, X-Y düzleminin eğimi, TTM yazılımının "X-Y Equalize" fonksiyonu ile ölçümlerden çıkarılarak ölçüm verisi normalize edilmiştir. Yalnızca "Yüzey #4" ölçümüne ait veride bunu uygulamak mümkün olmamıştır; çünkü bu veri I_t tünelleme akımı verisidir.

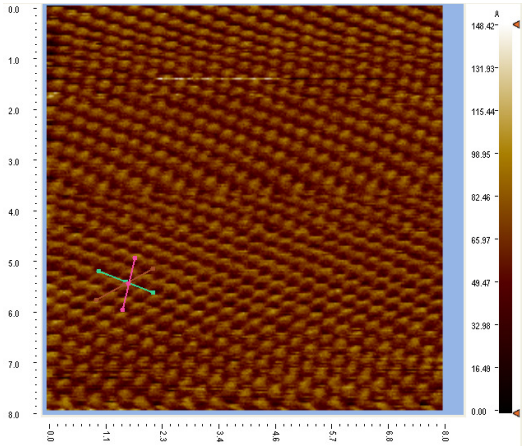
- Çalışmamızdaki tüm ölçümler, Pt-Ir bir iğne telininin (%80 Pt, %20 Ir) yan keski ile kesilmesi yöntemiyle yapılmış olan iğnelerle alınmıştır.

4.1.1.1 Yüzey #1

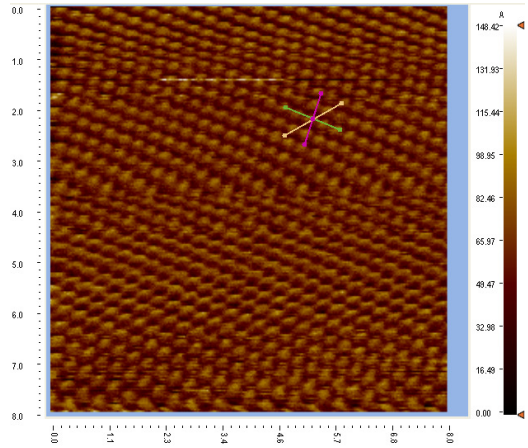
Bu yüzey üzerinde iki ayrı bölge görülmektedir. Her iki bölgede de ölçüm alınmıştır. Ölçüm V_{bias}= 0,05V gerilim altında 8nm×8nm alan üzerinde alınmıştır. Ölçüm çözünürlüğü 256×256 pikseldir. Piezo uzama katsayıları kx=5 Å/V, ky=5 Å/V, kz=15 Å/V olarak ayarlanmıştır. Ölçüm başlangıcında altıgen yüzey biçimi



Eğim Normalizasyonsuz Yüzey



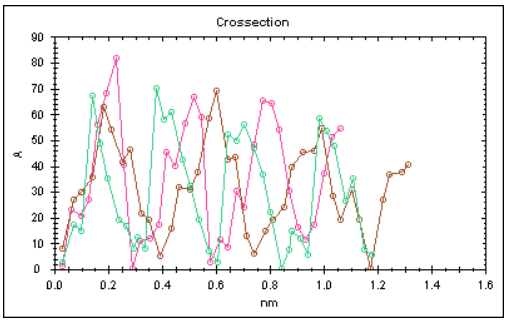
X-Y Normalize - Bölge 1



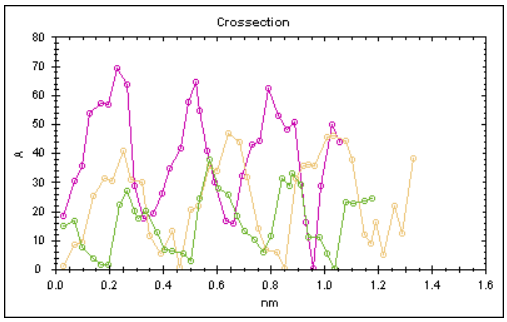
X-Y Normalize - Bölge 2

Şekil 4.1 : X-Y Piezo Yüzey #1 Ölçüm Çizgileri

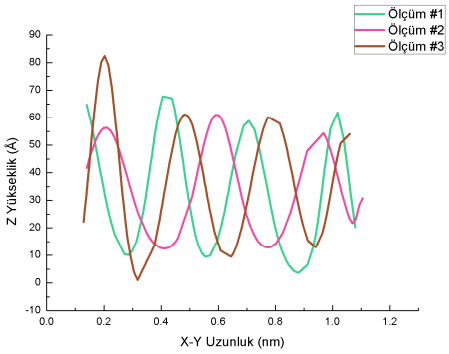
görülmesine rağmen, sonuna doğru üçgen yüzey biçimine dönmüştür Şekil(3.11). Bunun sebebi, bölgelerin birleştiği sınırda 20 ms boyunca uygulanmış olan 3V genliğindeki gerilim darbesidir. Bu darbe, iğnenin ucunun şeklinin değişmesine sebep olmuştur ve ölçümün altıgen biçimden üçgen biçime dönmesine sebebiyet vermiştir. Alınan ölçümler Çizelge(4.1)'de sunulmuştur.



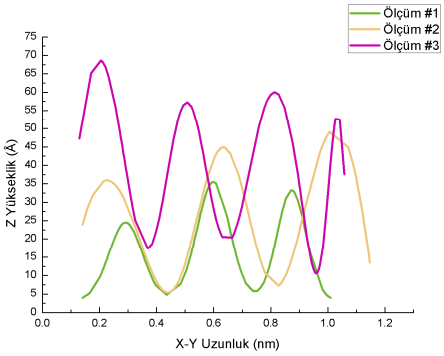
X-Y Normalize Ölçüm - Bölge 1



X-Y Normalize Ölçüm - Bölge 2



Gauss Eğri Uydurma - Bölge 1



Gauss Eğri Uydurma - Bölge 2

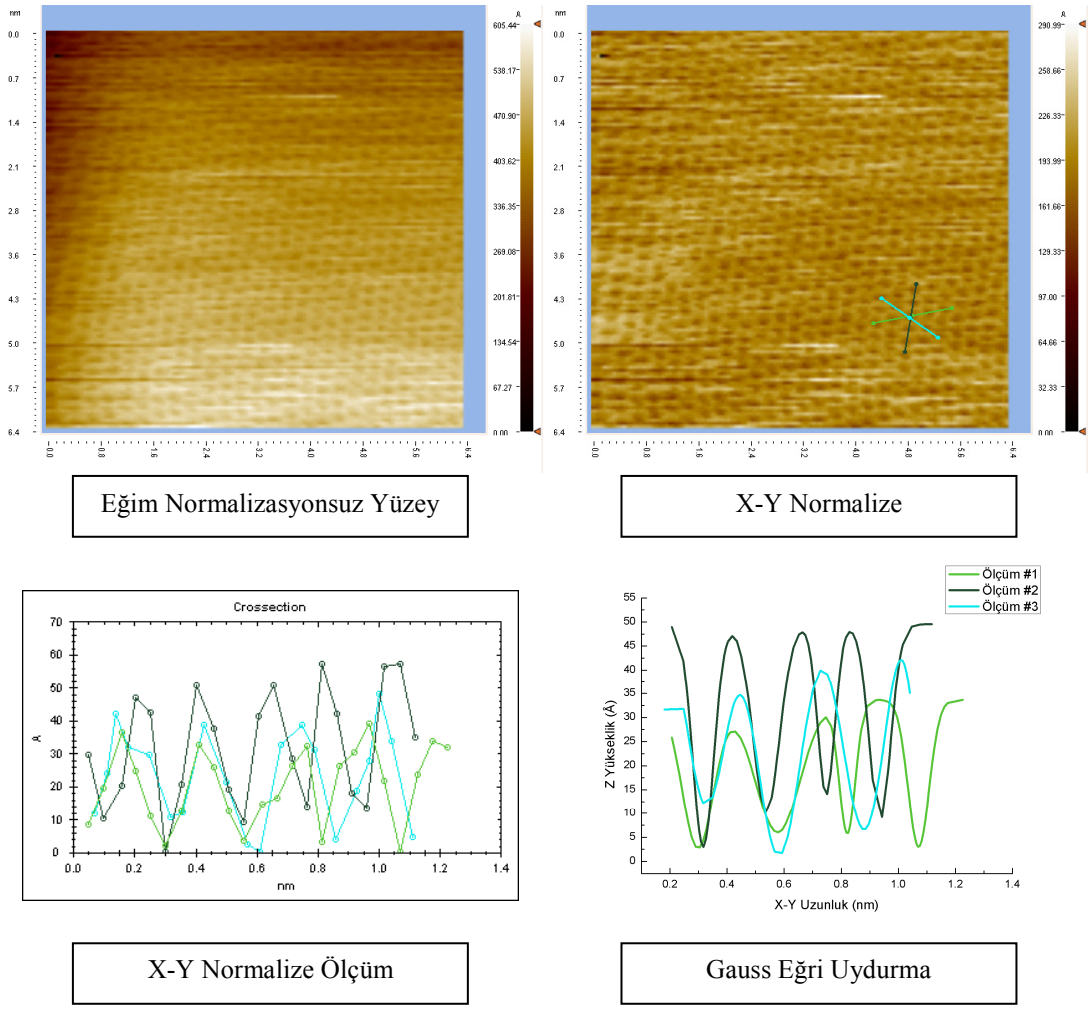
Şekil 4.2 : X-Y Piezo Yüzey #1 Ölçüm Grafikleri

Çizelge 4.1 : X-Y Piezo Yüzey #1 Normalize ve İşlenmiş verileri

X-Y Piezo		Alınan Ölçümlerden Gauss Eğri Uydurma Yöntemi Hesaplanmış Ekstremum Noktaları										
		Ekstremum #1		Ekstremum #2		Ekstremum #3		Ekstremum #4		Ekstremumlar Arası Uzunluk (X)		% Hata
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Ölçüm Ortalaması (nm)	Ölçümler Ortalaması (nm)	0.246 nm üzerinden
Yüzey #1 - Bölge 1 X-Y Normalize Veri	Ölçüm #1	0.13975	66.2607	0.43526	65.5275	0.70226	59.3518	1.00972	58.7935	0.290	0.319	29.8
	Ölçüm #2	0.20963	58.2199	0.60111	62.062	0.96522	50.585			0.378		
	Ölçüm #3	0.19009	79.1548	0.48513	63.5928	0.80344	63.8325	1.06112	54.4535	0.290		
Yüzey #1 - Bölge 1 İşlenmiş Veri	Ölçüm #1	0.13975	64.8432	0.40565	67.7663	0.70688	58.8894	1.01732	61.9258	0.293	0.318	29.2
	Ölçüm #2	0.21024	56.3161	0.59807	61.0688	0.96806	54.4044			0.379		
	Ölçüm #3	0.21573	78.9542	0.48234	61.2644	0.77421	60.1895	1.06112	54.1141	0.282		
Yüzey #1 - Bölge 2 X-Y Normalize Veri	Ölçüm #1	0.13975	3.73066	0.43526	4.63284	0.7428	6.07233	1.00972	3.90184	0.290	0.337	37.2
	Ölçüm #2	0.20963	34.6344	0.64348	45.803	1.03503	49.0048			0.413		
	Ölçüm #3	0.12885	55.9127	0.49411	54.1761	0.83033	55.8223	1.05743	55.7452	0.310		
Yüzey #1 - Bölge 2 İşlenmiş Veri	Ölçüm #1	0.13975	3.93866	0.43543	4.78024	0.59867	35.5283	0.87132	33.2504	0.244	0.305	23.9
	Ölçüm #2	0.22253	35.9271	0.63013	44.8766	1.00629	49.1443			0.392		
	Ölçüm #3	0.20502	68.6817	0.50811	57.3002	0.81395	60.0559	1.0415	52.5571	0.279		

4.1.1.2 Yüzey #2

Bu ölçüm V_{bias}= -0,07V gerilim altında 6,4nm×6,4nm alan üzerinde alınmıştır. Ölçüm çözünürlüğü 128×128 pikseldir. Piezo uzama katsayıları kx=5 Å/V, ky=5 Å/V, kz=15 Å/V olarak ayarlanmıştır. Yine bu ölçümde de altıgen yapı görülmektedir.



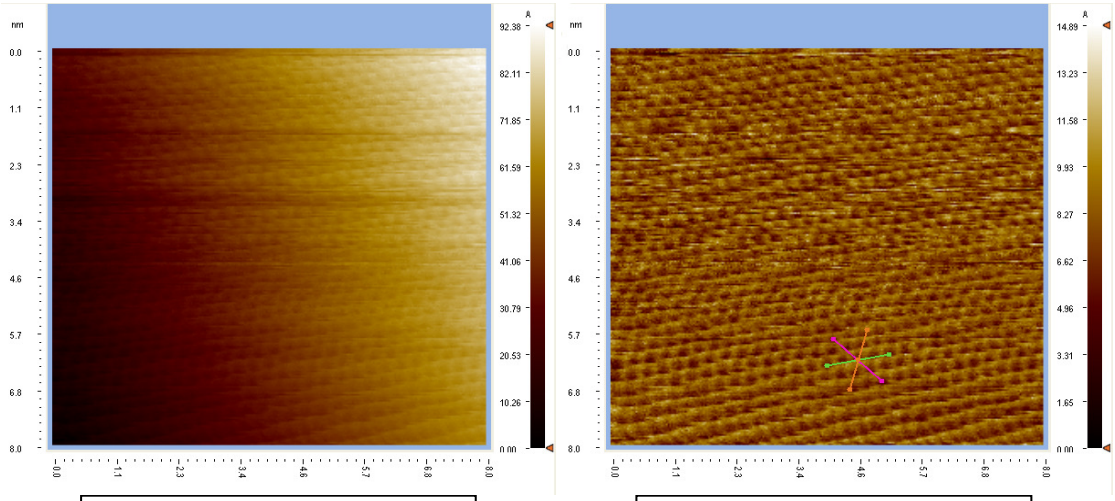
Şekil 4.3 : X-Y PiezoYüzey #2 Ölçüm ve Grafikleri

Çizelge 4.2 : X-Y Piezo Yüzey #2 Normalize ve İşlenmiş verileri.

X-Y Piezo		Alınan Ölçümlerden Gauss Eğri Uydurma Yöntemi Hesaplanmış Ekstremum Noktaları										
		Ekstremum #1		Ekstremum #2		Ekstremum #3		Ekstremum #4		Ekstremumlar Arası Uzunluk (X)		% Hata
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Ölçüm Ortalaması (nm)	Ölçümler Ortalaması (nm)	0.246 nm üzerinden
Yüzey #2 X-Y Normalize Veri	Ölçüm #1	0.30414	1.9449	0.55902	3.43219	0.81394	3.37498	1.06888	0	0.255	0.249	1.3
	Ölçüm #2	0.18028	32.0337	0.43012	38.6693	0.75	38.6121	1	47.9934	0.219		
	Ölçüm #3	0.30414	0	0.55902	9.2097	0.76485	13.9003	0.96177	13.4999	0.273		
Yüzey #2 İşlenmiş Veri	Ölçüm #1	0.30383	2.88707	0.57925	6.03035	0.82434	5.91959	1.06921	3.05008	0.255	0.239	2.8
	Ölçüm #2	0.24779	31.8146	0.44774	34.6719	0.72703	39.9234	1.00897	42.129	0.208		
	Ölçüm #3	0.31724	2.95791	0.53719	10.3447	0.75031	14.0648	0.94252	9.15335	0.254		

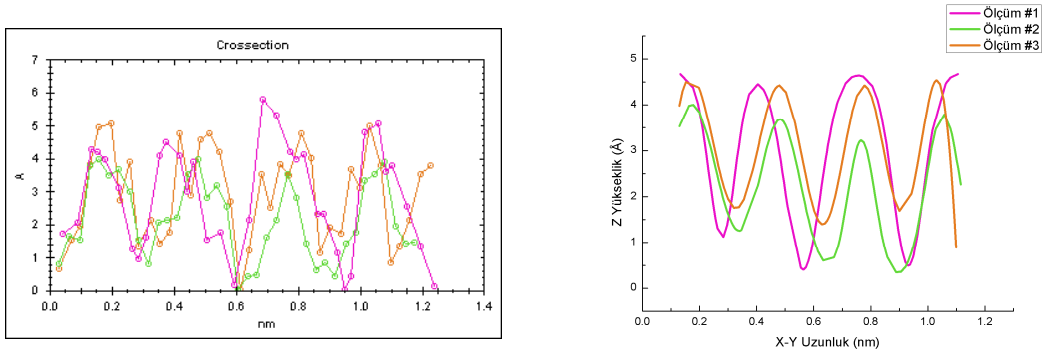
4.1.1.3 Yüzey #3

Bu ölçüm V_{bias}= 0,05V gerilim altında 8nm×8nm alan üzerinde alınmıştır. Ölçüm çözünürlüğü 256×256 pikseldir. Piezo uzama katsayıları kx=5 Å/V, ky=5 Å/V, kz=1,5 Å/V olarak ayarlanmıştır.



Eğim Normalizasyonsuz Yüzey

X-Y Normalize



X-Y Normalize Ölçüm

Gauss Eğri Uydurma

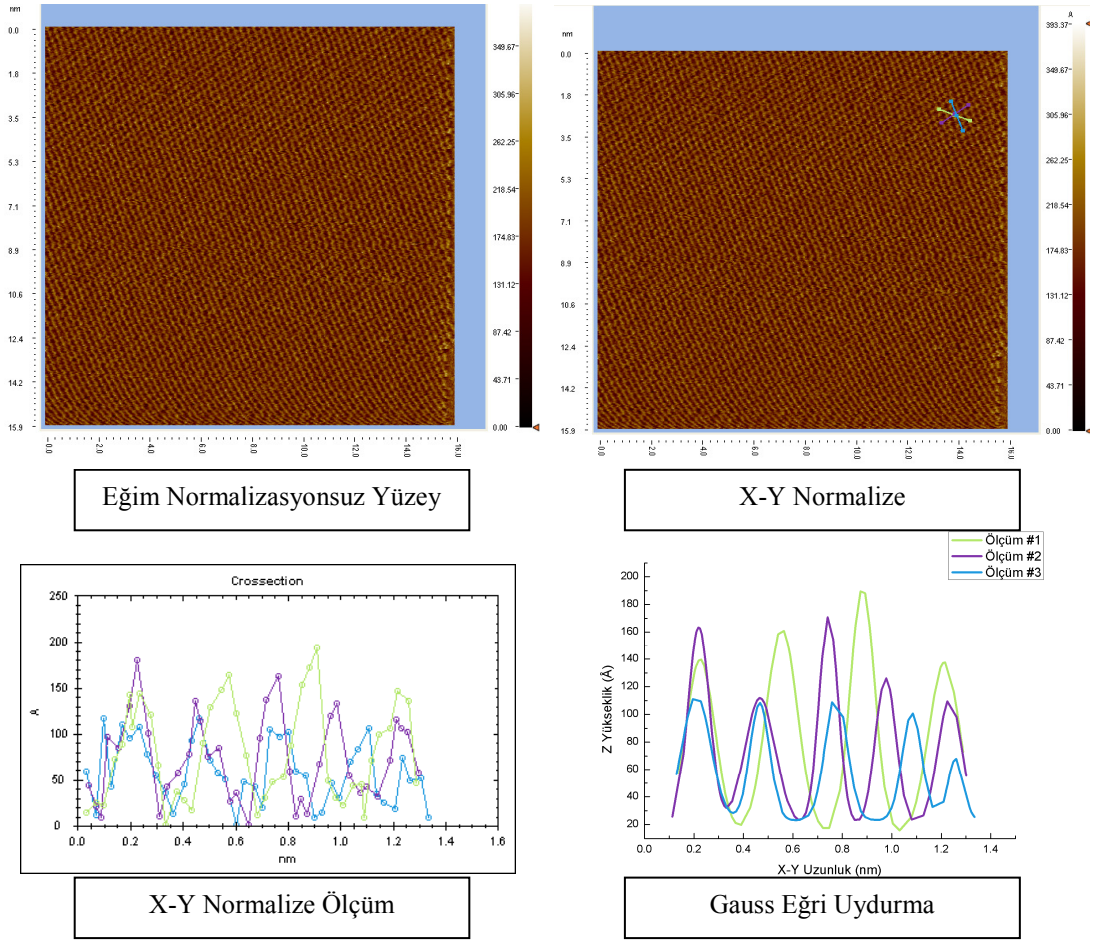
Şekil 4.4 : X-Y Piezo Yüzey #3 Ölçüm ve Grafikleri

Çizelge 4.3 : X-Y Piezo Yüzey #3 Normalize ve İşlenmiş verileri.

X-Y Piezo		Alınan Ölçümlerden Gauss Eğri Uydurma Yöntemi Hesaplanmış Ekstremum Noktaları										
		Ekstremum #1		Ekstremum #2		Ekstremum #3		Ekstremum #4		Ekstremumlar Arası Uzunluk (X)		% Hata
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Ölçüm Ortalaması (nm)	Ölçümler Ortalaması (nm)	0.246 nm üzerinden
Yüzey #3 X-Y Normalize Veri	Ölçüm #1	0.13258	4.27116	0.3763	4.51523	0.68537	5.79658	1.06158	5.06438	0.310	0.298	21.1
	Ölçüm #2	0.15934	3.96608	0.47803	3.96608	0.66805	0.48813	1.07892	3.90506	0.307		
	Ölçüm #3	0.19764	5.06438	0.51539	4.75929	0.8113	4.75929	1.03078	5.00336	0.278		
Yüzey #3 İşlenmiş Veri	Ölçüm #1	0.13258	4.67636	0.40445	4.45368	0.76066	4.64388	1.10574	4.67408	0.324	0.306	24.3
	Ölçüm #2	0.17842	4.00381	0.4826	3.68571	0.76592	3.22457	1.07862	3.4893	0.300		
	Ölçüm #3	0.15203	4.50203	0.47975	4.42707	0.7776	4.42594	1.03037	4.53753	0.293		

4.1.1.4 Yüzey #4

X-Y Piezo için değerlendirdiğimiz bu son ölçüm I_t tünelleme akımı verisi üzerinden alınmıştır. Ölçüm, V_{bias}= 0,05V gerilim altında 16nm×16nm alan üzerinde alınmıştır ve çözünürlüğü 512×512 pikseldir. Piezo uzama katsayıları kx=5 Å/V, ky=5 Å/V, kz=1,5 Å/V olarak ayarlıdır. Sabit akım kipinde I_t üzeriden alınan ölçüm, Z yüksekliği için önceki ölçüme göre daha büyük değerler göstermiştir Çizelge(4.4). İki ölçümün de "kz" katsayıları aynı olmasına rağmen, I_t akımı üzerinden alınan bu ölçümde Z değerlerinin tek önemi tepe ve çukur noktalarını göstermesidir. Bunun sebebi, görülen yüzey görüntüsünün aslında geri besleme devresini tetikleyen 1nA evresindeki küçük akım değişimlerini temsil etmesidir. Bu değerler kz katsayısına bağlı değillerdir; esasen geri besleme devresi, bu değerlere (I_t) dayanarak Z piezonun uzunluğunu yönetir. Gerçek yükseklik bilgisi ise kz piezo katsayısına bağlıdır. Gerçek yüzey yüksekliklerini bu ölçümden okumak mümkün olmasa da, X-Y düzleminde verdiği değerler önceki ölçümlerdekilerle aynı anlama gelmektedir.



Şekil 4.5 : X-Y Piezo Yüzey #4 Ölçüm ve Grafikleri

Çizelge 4.4 : X-Y Piezo Yüzey #4 Normalize ve İşlenmiş verileri.

X-Y Piezo		Alınan Ölçümlerden Gauss Eğri Uydurma Yöntemi Hesaplanmış Ekstremum Noktaları										
		Ekstremum #1		Ekstremum #2		Ekstremum #3		Ekstremum #4		Ekstremumlar Arası Uzunluk (X)		% Hata
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Ölçüm Ortalaması (nm)	Ölçümler Ortalaması (nm)	0.246 nm üzerinden
Yüzey #4 X-Y Normalize Veri	Ölçüm #1	0.23799	139.095	0.54576	162.042	0.88223	188.06	1.21875	138.716	0.327	0.290	18.1
	Ölçüm #2	0.22535	180.182	0.45069	134.847	0.76291	162.243	0.98821	133.016	0.254		
	Ölçüm #3	0.19764	110.603	0.46457	115.026	0.77182	109.916	1.068	95.9052	0.290		
Yüzey #4 İşlenmiş Veri	Ölçüm #1	0.22936	139.603	0.56446	160.925	0.89208	188.222	1.21544	137.512	0.329	0.293	19.1
	Ölçüm #2	0.21761	163.449	0.46657	111.882	0.74068	170.742	0.97765	126.159	0.253		
	Ölçüm #3	0.19528	110.993	0.46721	108.381	0.7581	108.804	1.08543	100.724	0.297		

4.1.1.5 Z Piezo için alınan ölçümler

Z Piezo için almış olduğumuz ölçümlere ait görseller sırasıyla aşağıda verilecektir. Bu ölçümleri almaktaki amacımız, kz piezo katsayısının doğru luğunu sınamaktır. Başlangıç olarak kz=15 Å/V değeri denenmiştir. Bu değerle alınmış ilk HOPG basamak ölçümü Yüzey #1 olarak adandırılmıştır. Alınan ikinci ölçüm de ise kz=1,5 Å/V değeri, piezo katsayısı olarak yazılıma tanımlanmıştır. Sözünü ettiğimiz iki ölçüm, çalışmamızın "Sonuçlar ve Tartışma" kısmında değerlendirilecektir.

Yine X-Y piezo için alınmış ölçümlerde olduğu gibi, bu ölçümlerde de Pt-Ir telden kesilmiş iğneler kullanılmıştır. İleri ve geri taramalarda, basamak diplerinde oluşan karanlık kısımlar, iğnenin asimetrik yapısından ve hareket hızından dolayı tünelleme akımını kaybettiği kısımlardır. Ortalama basamak yükseklikleri hesap edilirken, bu karanlık kısımlar, ilgili ölçüm grafiklerinde de görülebileceği gibi göz ardı edilmiştir.

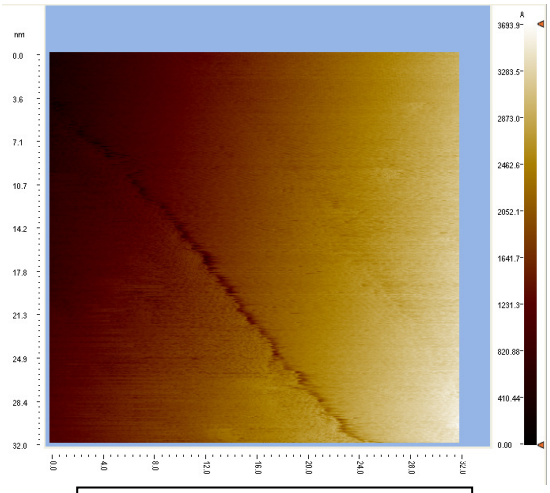
4.1.1.6 Yüzey #1

Bu ölçüm V_{bias}= 0,05V gerilim altında 32nm×32nm alan üzerinde alınmıştır. Ölçüm çözünürlüğü 512×512 pikseldir. Piezo uzama katsayıları kx=5 Å/V, ky=5 Å/V, kz=15 Å/V olarak ayarlanmıştır.

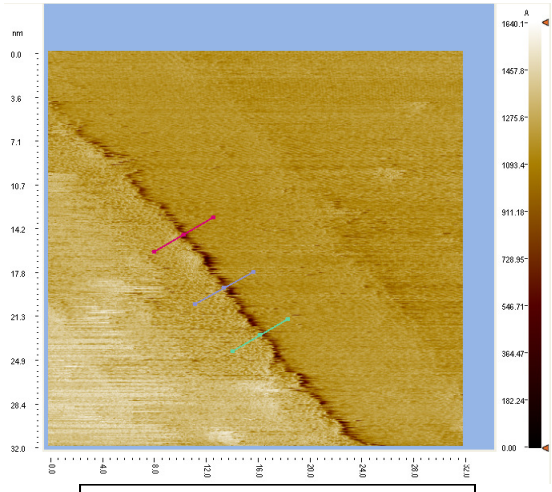
Alınmış olan ölçüm, gürültülü olmasına rağmen, Z piezo ölçümlerinin kz=15 Å/V değerinde hatalı sonuçlar verdiğini anlamamız için yeterli olmuştur. Ölçümde ayrıca çift başlı iğne (Double Tip) etkisi de seçilebilmektedir. Ölçüm yapılan basamağın sağında basamağa paralel olarak oluşmuş belli belirsiz çizgi iğnedeki çift baş kusurundan kaynaklanmaktadır. Yüzey üzerindeki ölçümlerimizin tamamını ve ortalama basamak yükseklilerini Çizelge(4.5) bir araya toplamaktadır.

Çizelge 4.5 : Z Piezo işlenmiş verileri

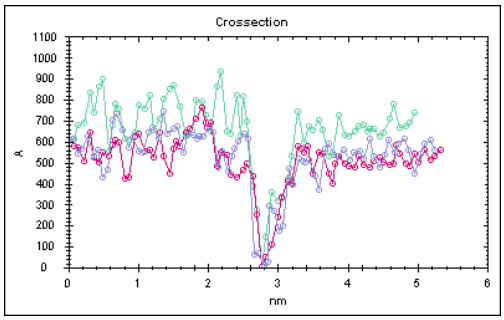
Z Piezo		Doğrusal Eğri Uydurma ile belirlenmiş HOPG basamak yükseklikleri				
		Üst basamak Ortalama Konum (Å)	Alt Basamak Ortalama Konum (Å)	Yükseklik (Å)	Ortalama Yükseklik (Å)	İleri/Geri Taramalar Ortalaması (Å)
Yüzey #1 İleri Tarama Kz=15 Å/V	Ölçüm #1	601.71086	553.72567	47.98519	59.349	
	Ölçüm #2	566.23408	514.62738	51.6067		
	Ölçüm #3	741.53479	663.07964	78.45515		



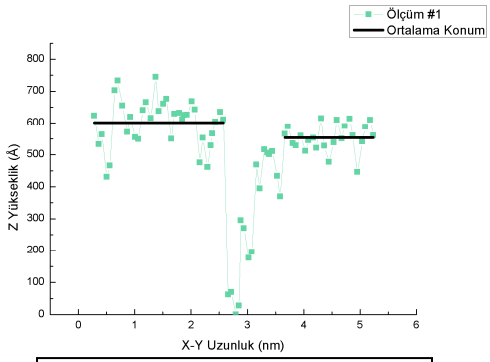
Eğim Normalizasyonsuz Yüzey



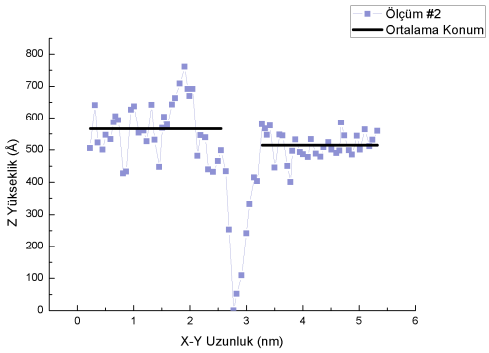
X-Y Normalize



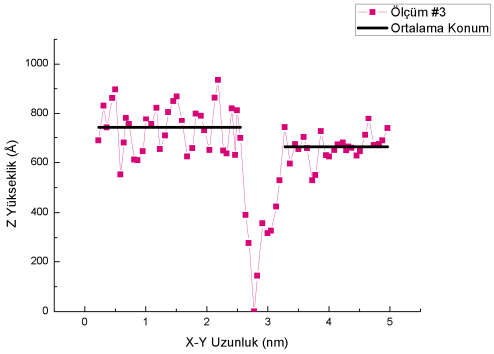
X-Y Normalize Ölçüm



Doğrusal Eğri Uydurma



Doğrusal Eğri Uydurma

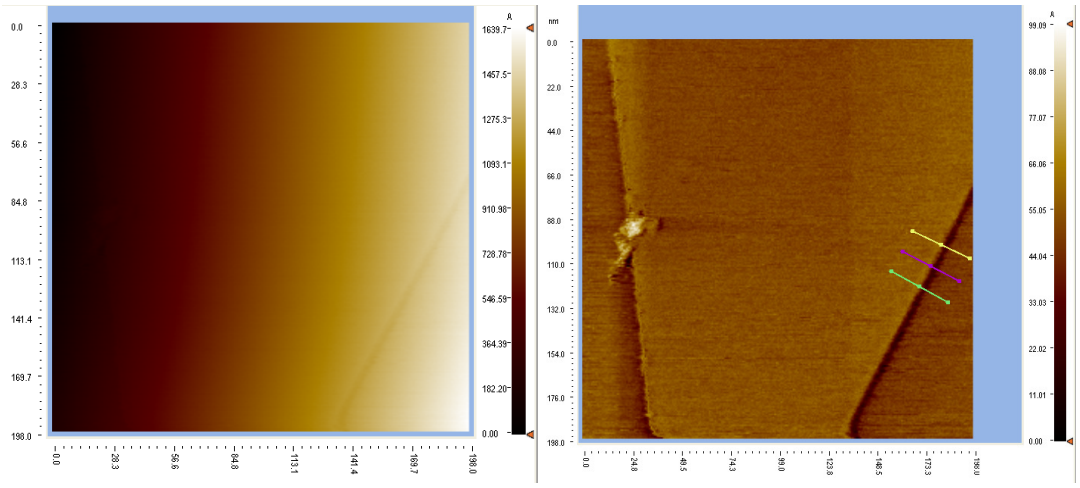


Doğrusal Eğri Uydurma

Şekil 4.6 : Z Piezo Yüzey #1 Ölçüm ve Grafikleri

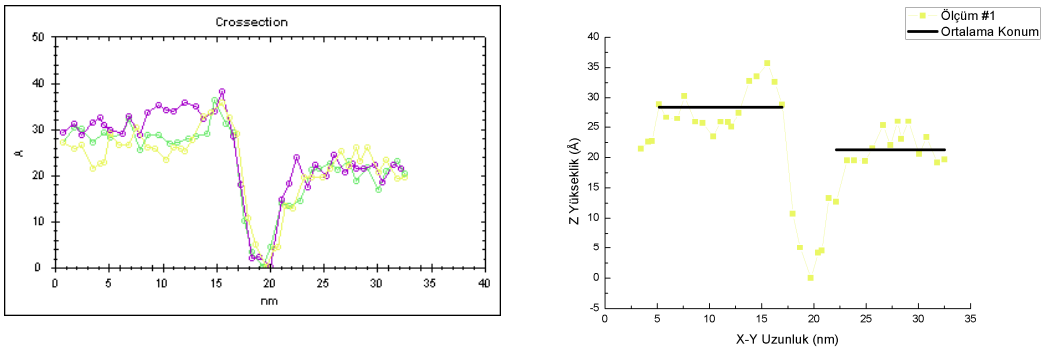
4.1.1.7 Yüzey #2

Bu ölçüm V_{bias}= 0,05V gerilim altında 198nm×198nm alan üzerinde alınmıştır. Ölçüm çözünürlüğü 256×256 pikseldir. Piezo uzama katsayıları kx=5 Å/V, ky=5 Å/V, kz=1,5 Å/V olarak ayarlanmıştır.



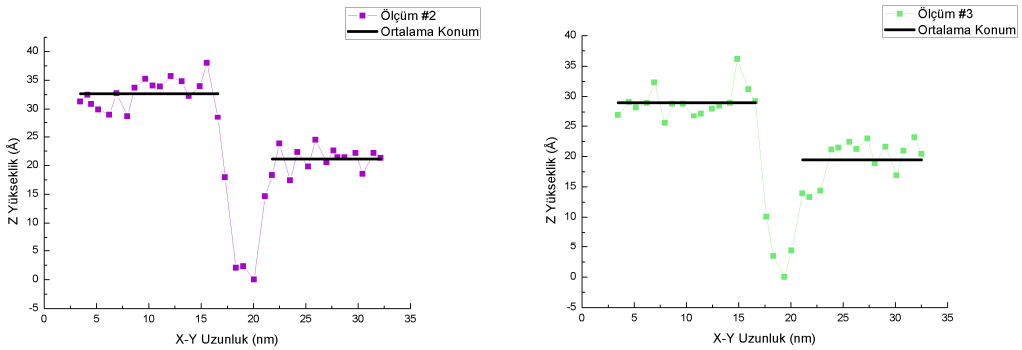
Eğim Normalizasyonsuz Yüzey

X-Y Normalize



X-Y Normalize Ölçüm

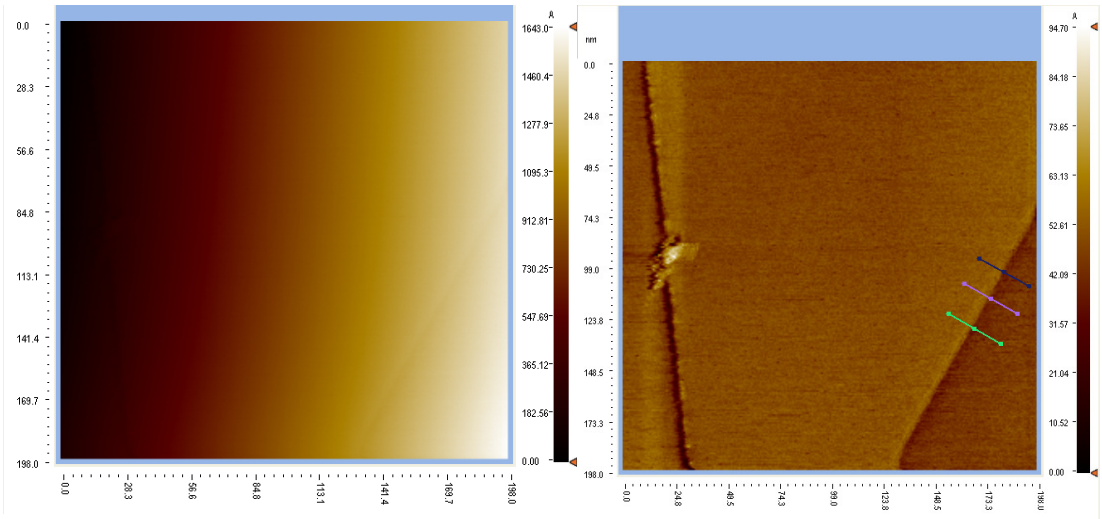
Doğrusal Eğri Uydurma



Doğrusal Eğri Uydurma

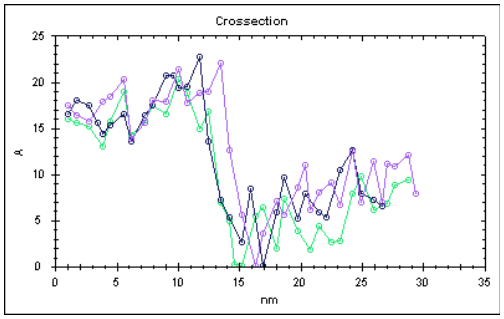
Doğrusal Eğri Uydurma

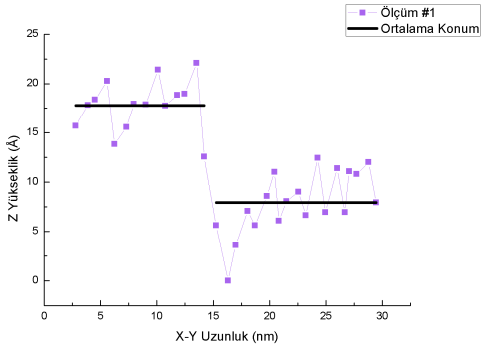
Şekil 4.7 : Z Piezo Yüzey #2 İleri tarama, sağ taraf



Eğim Normalizasyonsuz Yüzey

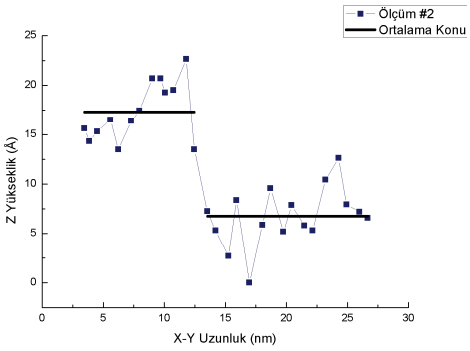
X-Y Normalize

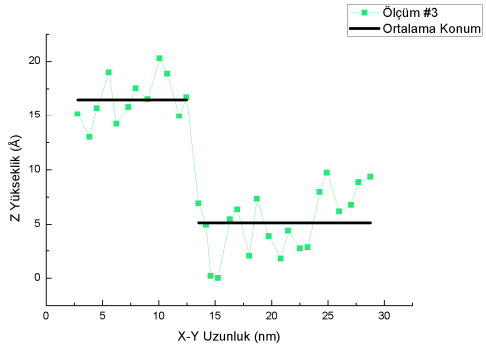




X-Y Normalize Ölçüm

Doğrusal Eğri Uydurma

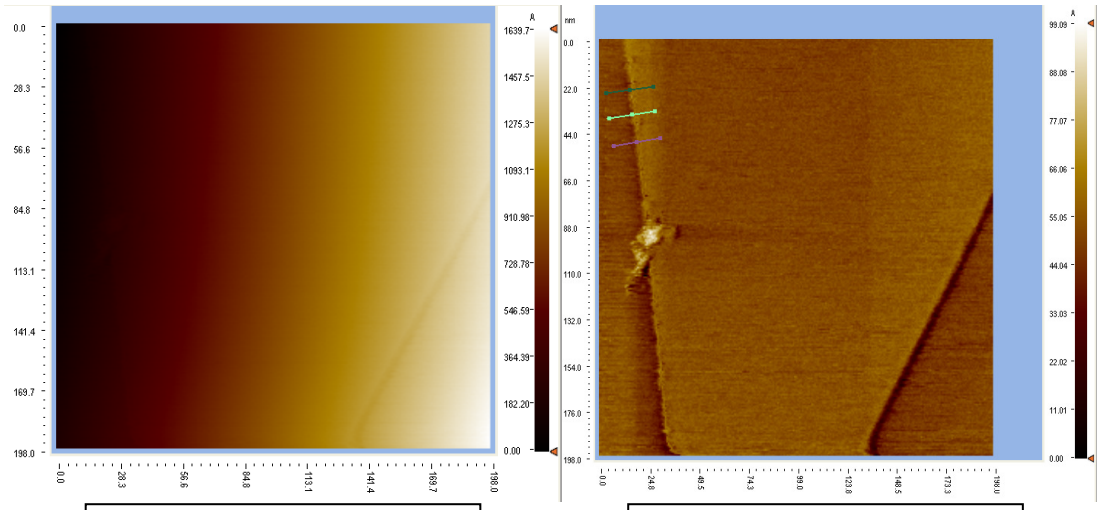




Doğrusal Eğri Uydurma

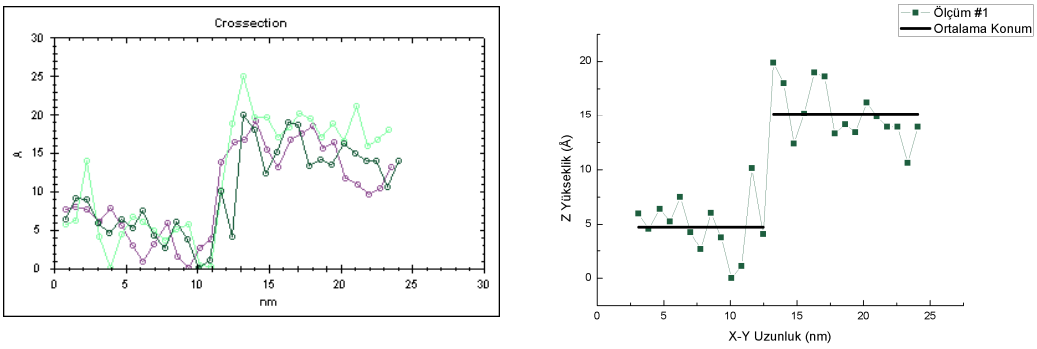
Doğrusal Eğri Uydurma

Şekil 4.8 : Z Piezo Yüzey #2 geri tarama sağ taraf.



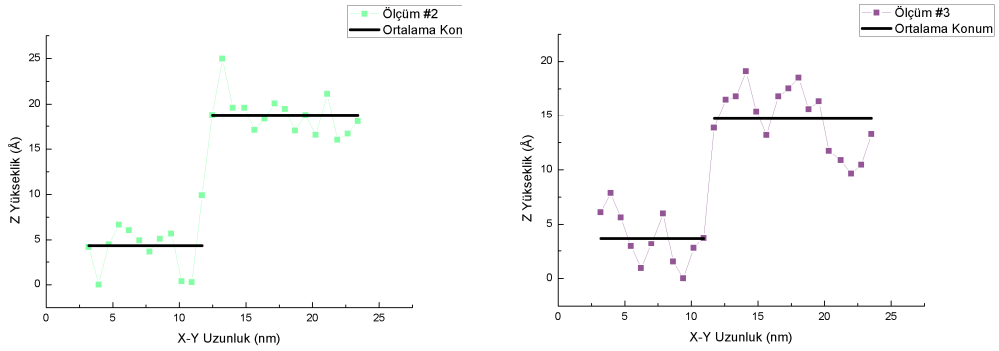
Eğim Normalizasyonsuz Yüzey

X-Y Normalize



X-Y Normalize Ölçüm

Doğrusal Eğri Uydurma

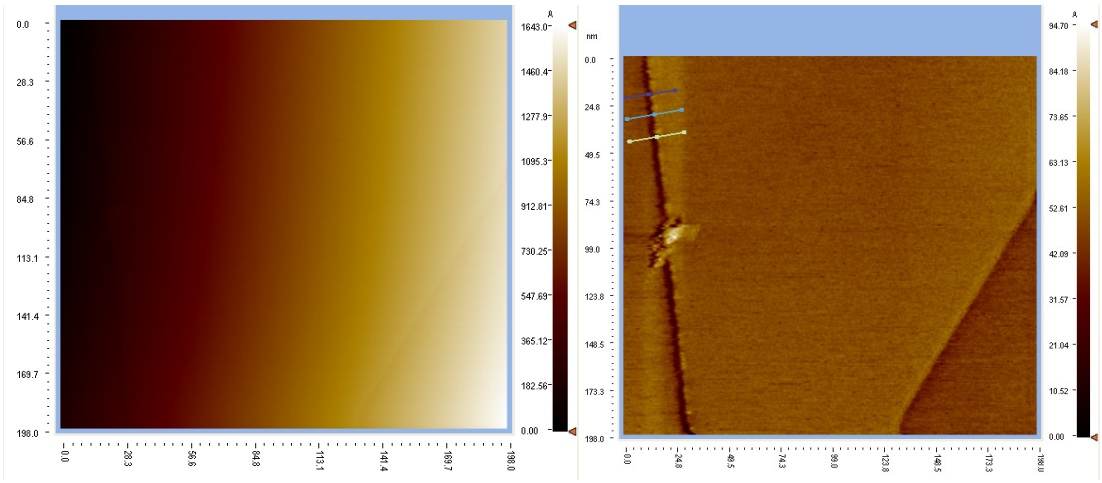


Doğrusal Eğri Uydurma

Doğrusal Eğri Uydurma

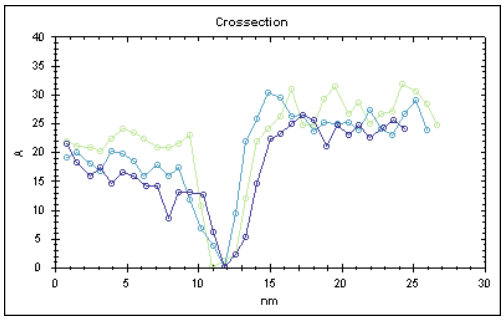
Şekil 4.9 : Z Piezo Yüzey #2 İleri tarama, sol saraf

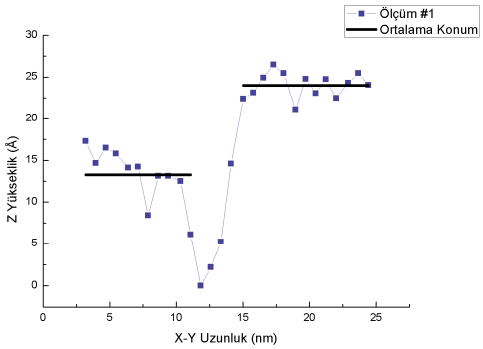
Yüzey, yapısı itibariyle, düzeneğin ileri-geri taramalar esnasındaki davranışını da incelemeye olanak vermektedir. Ortadaki yüksek parçanın kenarları, sol aşağı kısımda alt yüzeyden hafifçe ayrılmış ve Z ekseninde iğneye doğru yükselmiştir. Bu durumun, Z – yükseklik ölçümlerini etkileyebileceği düşünüldüğünden, ölçümler için sol üst köşe uygun görülmüştür.



Eğim Normalizasyonsuz Yüzey

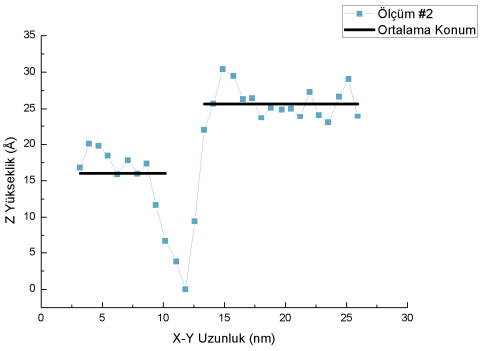
X-Y Normalize

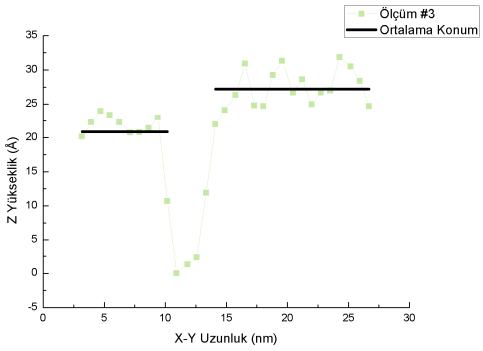




X-Y Normalize Ölçüm

Doğrusal Eğri Uydurma





Doğrusal Eğri Uydurma

Doğrusal Eğri Uydurma

Şekil 4.10 : Z Piezo Yüzey #2 geri tarama sol taraf.

Çizelge 4.6 : Z Piezo için İşlenmiş veriler ve Hata payları.

Z Piezo		Doğrusal Eğri Uydurma ile belirlenmiş HOPG basamak yükseklikleri					% Hata 3 Katmanlı HOPG Basamağına Göre (3x3.35 Å)
		Üst basamak Ortalama Konum (Å)	Alt Basamak Ortalama Konum (Å)	Yükseklik (Å)	Ortalama Yükseklik (Å)	İleri/Geri Taramalar Ortalaması (Å)	
Yüzey #2 - Bölge 1 (Sağ) İleri Tarama Kz=1.5 Å/V	Ölçüm #1	28.44518	21.27736	7.16782	9.406	9.998	0.516
	Ölçüm #2	32.63671	21.15969	11.47702			
	Ölçüm #3	29.03628	19.4643	9.57198			
Yüzey #2 - Bölge 1 (Sağ) Geri Tarama Kz=1.5 Å/V	Ölçüm #1	17.78634	7.94822	9.83812	10.591		
	Ölçüm #2	17.3428	6.74996	10.59284			
	Ölçüm #3	16.4694	5.1286	11.3408			
Yüzey #2 - Bölge 2 (Sol) İleri Tarama Kz=1.5 Å/V	Ölçüm #1	15.16059	4.74991	10.41068	11.992	10.457	4.050
	Ölçüm #2	18.80125	4.26099	14.54026			
	Ölçüm #3	14.71263	3.68873	11.0239			
Yüzey #2 - Bölge 2 (Sol) Geri Tarama Kz=1.5 Å/V	Ölçüm #1	24.01707	13.2517	10.76537	8.923		
	Ölçüm #2	25.69517	16.03516	9.66001			
	Ölçüm #3	27.20982	20.86768	6.34214			

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma dahilinde, bir Ultra Yüksek Vakum Taramalı Tünelleme Mikroskobu, mekanik olarak onarılmış, eksik parçaları tamamlanmıştır, mekanik ayarları yapılmıştır. TTM düzeneğine elektronik kontrol ünitesi ve yazılım sağlanmıştır. Elektronik kontrol ünitesi ve yazılımdaki hatalar tespit edilmiş ve üretici firmayla iletişim kurularak gerekli düzeltmelerin yapılması sağlanmıştır. Çalışır hale getirilen düzenek ile X Y ve Z eksenlerinde ölçüm tutarlılığını sınamak için bir dizi ölçüm alınmıştır.

TTM düzeneği ile almış olduğumuz ölçümler göz önüne alındığında, ilk bakışta X-Y piezo ölçümlerinin, kabul edilebilir %10 hata payının üzerinde olduğu açıkça göze çarpmaktadır. Yüzey #2 için alınmış ölçümler oldukça iyi sonuçlar göstermesine rağmen, diğer yüzeylerde yapılmış ölçümler açıkça X-Y piezonun kontrolüne dair bir sorun olduğunu göstermektedir. Yüzey #2 ölçümünün verdiği iyi sonuçların, diğer ölçümler göz önüne alındığında, HOPG yüzeyindeki bir buruşuk alan sebebiyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. %20 - %30 büyüklüğünde hatalara, piezo ve örnek yüzeyinin ortam sıcaklığından etkilenmesi, yüksek gerilim amplifikatörü çıkışlarındaki ayarsızlıklar sebep olmuş olabilir. Bu bağlamda, oluşan hata payının, çok bileşenli sebepleri olduğu düşünülmektedir. X-Y piezoya ait olan kx ve ky piezo uzama katsayılarının değiştirilmesi doğrudan taranabilecek olan örnek yüzeyi alanını da değiştirmektedir; yine de ondalık mertebede katsayıların değiştirilmesinin olumlu sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Özetle, bu katsayılarda ondalık değer değişiklikleri yapılarak ölçümler iyileştirilmeye çalışılabilir. Yüzey #3 ve Yüzey #4 ölçümleri de %20 çevresinde içerdikleri hata paylarıyla çok başarılı uzunluk ölçümleri değildirler; ancak Yüzey #1'e nazaran daha iyi çevresel ortam koşullarında alınmış oldukları düşünülmektedir. Ortam koşullarının etkisi, düzeneğin UYV koşullarında da sınanmasının ardından daha iyi anlaşılabilecektir. TTM düzeneğinin X-Y piezo kontrolündeki bu miktardaki hata payları elektronik ya da yazılımda henüz bulamadığımız bir hataya işaret ediyor olabilir. "kz" piezo sabitinin Yüzey #3

ve Yüzey #4'de 1,5 Å/V değerine çekilmiş olması, Yüzey #1 ölçümlerine nazaran %10 daha düşük hata payları elde edilmesine sebep olmuş olabileceği düşünülmektedir.

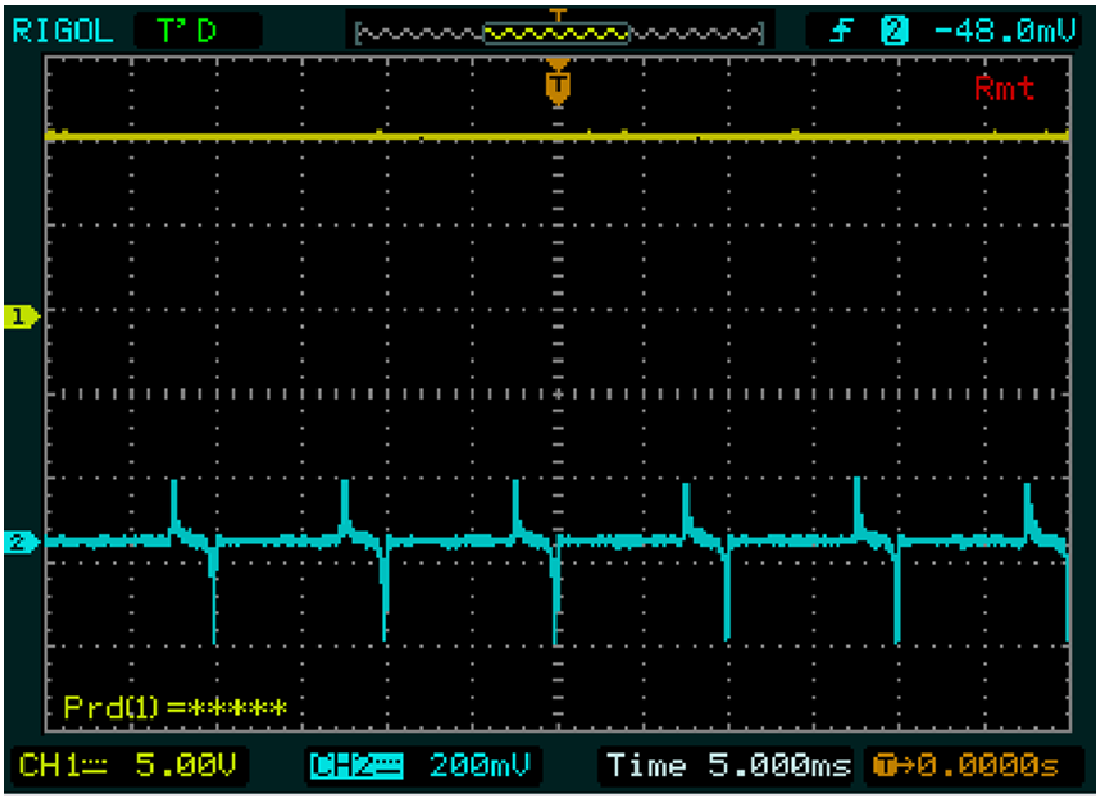
Z piezo için alınmış olan ölçümler X-Y piezo için alınmış olanlardan daha tutarlı ve başarılı sonuçlar vermiştir. Z piezo için alınmış olan Yüzey #1 ölçümünde, kz piezo uzama katsayısı 15 Å/V olarak ayarlıdır. Ölçümde, düzgün alanlar üzerindeki yükseklik değişimleri bile 50-100Å'ler mertebesindedir. Düzgün bir HOPG basamağı üzerinde, 0.3 nm kadar kısa mesafede bu kadar büyük değişikler olması mümkün değildir. Diğer taraftan, bölüm 2.2'de de belirtildiği üzere, iğne ile yüzey arasındaki takip mesafesi de, TTM elektroniği tarafından, 10 Å civarında sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Bu sebepten dolayı, 0,2-0,3 nm kadar bir mesafede 50-100 Å yüksekliğinde sürekli iniş çıkışların, tünelleme akımının kaybolmasına ya da iğnenin yüzeye çarpmasına sebebiyet vermesini bekleriz. Tüm bunlardan vardığımız sonuç, kz uzama sabitinin yanlış değerinden dolayı, TTM yazılımının, gelen veriyi yanlış yorumlamakta olduğudur. Bu bilgiler ışığında kz değerinin 10 kat küçük alınmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Z piezo için atanan son kz değeri 1.5 Å/V olarak ayarlanmıştır. Bu değerle alınmış olan yüzey ölçümlerinin kendi içinde tutarlı olduğu görülmektedir. Ölçülen basamak yükseklikleri, tek bir HOPG katmanının neredeyse tam 3 katı değerindedir. Z- piezo Yüzey #2 ölçümlerinden 3 katmanlı bir HOPG basamağı üzerinde ölçüm almakta olduğumuz anlaşılmaktadır. İleri-geri taramalar ve iki farklı taraftan alınmış basamak yükseklikleri birbirleriyle uyum içindedir. Alınan veriler incelendiğinde, düzgün basamak yüzeylerindeki iniş ve çıkışlarında 5-10 Å arasında değerlere düştüğü görülmektedir. Bu da sistemin çalışma prensipleri göz önüne alındığında, kabul edilebilir, tutarlı bir değerdir. Tüm yaptığımız değerlendirmelerin sonucu olarak Z piezonun gereken duyarlıkta ölçüm aldığını kabul etmek mümkündür.

6. GELECEKTE PLANLANAN ÇALIŞMALAR

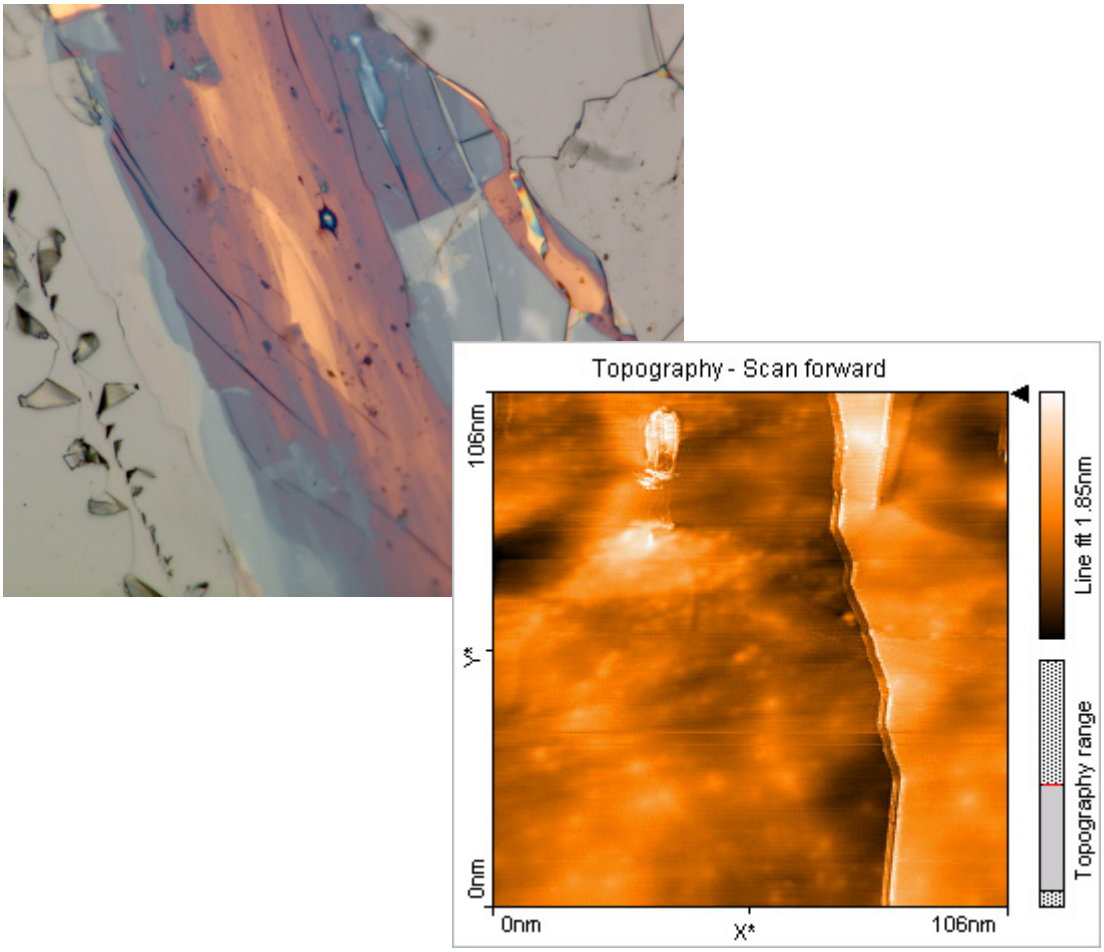
Bu çalışma çerçevesinde bir TTM düzeneğini büyük oranda çalışır duruma getirmiş bulunuyoruz. Ancak sonuçlara göz attığımız zaman, bizi beklemekte olan ileriye yönelik pek çok çalışma olduğunu görmekteyiz. Bu bağlamda, X-Y piezo kalibrasyonlarının daha iyileştirilmesi, Z piezonun değişik yüzey ve iğne türleriyle (tungsten, altın kaplama, aşındırmayla (etch) yapılmış iğneler) sınanması, UHV ortamında ölçümlerin tekrar edilmesi gibi ana başlıkları sayabiliriz.

Alınan tüm topraklama ve elektromanyetik kalkanlama önlemlerine rağmen hiçbir şekilde yok edilememiş olan 100 Hz civarında bir frekansa sahip bir gürültü de düzenekte bulunmuştur. Gürültünün kaynağının, akım/voltaj dönüştürücüde kullanılan operasyonel amplifikatörün iç gürültüsü olabileceği düşünülmektedir. Yeni bir akım/voltaj dönüştürücü tedarik edilerek durumun değişip değişmediğine bakılacaktır Şekil(6.1).



Şekil 6.1 : Kaynağı bulunamamış olan dip gürültü

Laboratuarımızda daha önce başlamış olduğumuz altın film üzerinde grafen katmanlarının incelenmesi ile ilgili çalışmaların sonuçları, bu TTM düzeneği yardımıyla UHV ortamında tekrar edilmeye ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaya çalışılacaktır.



Şekil 6.2 : Altın film üzerinde grafen (Optik ve TTM)

KAYNAKLAR

[1] **Chen, C. J.,** 1993: Introduction to Scanning Tunneling Microscopy: *IBM Research Division, Thomas J. Watson Research Center*, Yorktown Heights, New York, Oxford University Press. 1-2

[2] **Binnig G. and Rohrer H.,** 1986: Scanning Tunneling Microscopy: *IBM Journal of Research and Development*, Vol. **30**, No. 4

[3] **Binnig G. and Rohrer H.,** 1987: Scanning Tunneling Microscopy - From Birth to Adolescence: *Reviews of Modern Physics*, Vol. **59**, No. 3, Part I

[4] **Karaoğlu, B.,** 1998: Kuantum Mekaniğine Giriş: Güven Yayınları 4. Basım.

[5] **Chen, C. J.,** 1993: Introduction to Scanning Tunneling Microscopy: *IBM Research Division, Thomas J. Watson Research Center*, Yorktown Heights, New York, Oxford University Press. 3-10

[6] **Dürig, U., Gimzewski J. K. and Pohl D. W.,** 1986: Experimental Observation of Forces Acting during Scanning Tunneling Microscopy: *Physical Review Letters* Vol. **57**, number 19 , 10 November. 2403-2406

[7] **Hawkes, P.,** 1990: Advances in Electronics and Electron Physics: Vol. **79** Academic Press Inc. 170, 176-179

[8] **Pohl, D. W.,** 1986: Some design criteria in scanning tunneling microscopy: *IBM Journal of Research and Development*. Vol. **30** No. 4, July.

[9] **Yoshimura, N.,** 2008: Vacuum Technology, Practice for Scientific Instruments: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 148-155

[10] **Birnbaum, K. M. and The Quantum Optics Group,** 2005: Ultra-High Vacuum Chambers: *Norman Bridge Laboratory of Physics*, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125. 12-33

[11] **Günaydın, U.,** 2007: Sensörlerde Kullanılabilecek Polimer/PZT Kompozitlerin Geliştirilmesi: *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Metalürji ve Malzeme Müh. İstanbul

[12] **Etzold, K. F.,** 2000: Ferroelectric and Piezoelectric Materials: *The Electrical Engineering Handbook*, IBM T. J. Watson Research Center by CRC Press LLC. Chapter 49

[13] **Çırak, Ç.,** 2005: Taramalı Tünelleme Elektron Mikroskop Yapımı ve Temel Bilimlere Uygulamaları: *Süleyman Demirel Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Fizik Anabilim Dalı, Isparta. 42-44

[14] **Engdahl, Tomi** : Introduction to Coaxial Cables: Alındığı tarih 01.09.2011 http://www.epanorama.net/documents/wiring/coaxcable.html

[15] **AIST-NT** : Advanced Integrated Scanning Tools for Nanotechnology: Alındığı tarih 01.09.2011 http://nanoprobes.aist-nt.com/apps/HOPG info.htm

EKLER

EK A.1 Ham Deney Verileri

Bu çalışmada sunmuş ve değerlendirmiş olduğumuz yüzey ölçümlerine ait işlenmemiş veriler bu kısımda verilmiştir.

EK A.1.1 X-Y Piezo

Çizelge A.1: X-Y Piezo Yüzey #1 – Bölge 1

X-Y Piezo - Yüzey #1 - Bölge 1					
Ölçüm #1		**Ölçüm #2**		**Ölçüm #3**	
X	**Z**	**X**	**Z**	**X**	**Z**
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.139754251	67.11825752	0.139754251	35.8472538	0.128847048	26.69475937
0.168286398	48.96582222	0.139754251	35.8472538	0.15934436	55.98272705
0.197642356	35.08454323	0.18221724	62.84709358	0.190086335	68.0335083
0.237992913	19.2202282	0.209631369	54.30477333	0.227503434	81.60969543
0.267000109	16.93210411	0.251945555	41.33875084	0.257694095	40.27095795
0.296463519	7.932157516	0.279508501	46.52515602	0.288110763	0
0.307776809	12.50839806	0.321738452	21.50835228	0.31868872	11.13553238
0.336572796	7.779615402	0.349385619	19.2202282	0.356304824	12.05077744
0.377595186	70.01654243	0.391561389	5.186410904	0.386541158	17.08464813
0.40625	57.8132267	0.391561389	5.186410904	0.41692701	45.30482483
0.435262144	61.01659584	0.434138864	15.55923271	0.447431922	39.8133316
0.475985825	42.40653419	0.461400717	31.72863197	0.485130459	56.28781128
0.504859209	32.49133873	0.50389111	30.96592522	0.515388191	66.66062927
0.534000218	19.2202282	0.53125	37.52521324	0.545757771	58.72847748
0.574524283	7.016908646	0.573673725	58.42339516	0.576221526	2.593206406
0.603537738	2.745744705	0.60110575	68.94875526	0.613965094	11.28807068
0.644235253	52.01664925	0.643476903	42.2539959	0.644235253	8.542324066
0.673145592	49.57598305	0.643476903	42.2539959	0.67459482	30.50829697
0.702256382	56.13526344	0.67096597	43.32178688	0.70503217	24.10155869
0.74280405	46.83024025	0.713294506	12.8134861	0.74280405	48.05057526
0.771818042	36.45741463	0.740829349	5.949119568	0.773082316	65.13522339
0.801000357	22.27105904	0.783122778	14.64398384	0.803435028	64.37251282
0.841431975	0	0.810695112	19.2202282	0.83385402	54.30477905
0.870524287	7.321989059	0.852958977	23.94901466	0.871645391	30.35576248
0.882224619	14.94906425	0.880562663	39.35570717	0.901929379	16.16939926
0.911086261	11.74569511	0.922801435	45.30482674	0.932277143	11.59315491

Çizelge A.1 (devam): X-Y Piezo Yüzey #1 – Bölge 1

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.940100551	5.491491318	0.922801435	45.30482674	0.962682605	17.38973236
0.980772197	58.27085304	0.965215325	45.91499519	1.000488162	37.06758499
1.009718418	53.69460487	0.99264878	54.76239967	1.030776381	51.40648651
1.038798094	47.89802742	1.035030961	28.2201786	1.061120391	54.76239777
1.079369783	26.23713875	1.0625	19.2202282		
1.108384252	35.08454323	1.104854345	30.96592522		
1.149048567	7.321989059	1.132354379	19.2202282		
1.178004861	5.491491318	1.174684167	0		
		1.174684167	0		
		1.217146397	26.84730339		
		1.244519234	36.76250267		
		1.286953807	37.67774773		
		1.31435883	40.42349815		

Çizelge A.2: X-Y Piezo Yüzey #1 – Bölge 2

XY Piezo - Yüzey #1 - Bölge 2					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.139754251	3.813537598	0.139754251	25.16934586	0.128847048	53.69460487
0.168286398	1.677955627	0.139754251	25.16934586	0.168286398	57.05051613
0.197642356	1.372871399	0.18221724	31.11846161	0.197642356	56.7454319
0.237992913	22.11851883	0.209631369	30.20321655	0.227503434	69.25383949
0.267000109	27.15238571	0.251945555	40.8811264	0.267000109	63.60981178
0.296463519	20.13547897	0.279508501	30.6608429	0.296463549	28.67780113
0.307776809	17.38972855	0.321738452	30.05067444	0.326259583	17.38973045
0.336572796	19.98293686	0.349385619	11.44061279	0.36577189	19.37277031
0.377595186	12.50840378	0.391561389	5.186412811	0.395284712	26.23713875
0.40625	6.711826324	0.391561389	5.186412811	0.425045967	34.77946281
0.435262144	6.406742096	0.434138864	12.96603012	0.464564651	41.49128914
0.475985825	5.338951111	0.461400717	0.610164642	0.494105905	57.50814247
0.504859209	2.745746613	0.50389111	20.4405632	0.523845434	64.52504921
0.534000218	24.2541008	0.53125	21.8134346	0.534000218	54.60985756
0.574524283	37.5252037	0.573673725	35.69470978	0.563367367	40.88112068
0.603537738	27.61001205	0.60110575	34.01675415	0.592927098	30.05067635
0.644235253	25.77951431	0.643476903	46.83023834	0.63276428	16.47447777
0.673145592	18.30498123	0.643476903	46.83023834	0.662175655	15.71177483
0.702256382	13.27111435	0.686078072	43.93195343	0.691748261	32.1862545
0.74280405	10.22027969	0.713294506	31.57608795	0.731543779	42.86416054
0.771818042	5.644035339	0.755836666	14.18635941	0.760987222	44.38957405
0.801000357	11.44060898	0.783122778	6.864368439	0.790569425	62.23693275
0.841431975	31.42354965	0.825615287	5.796573639	0.830333173	52.6268177
0.870524287	28.83034134	0.852958977	0	0.859801054	48.05056953
0.882224619	33.10149765	0.895409286	31.42354584	0.889390588	50.79631996
0.911086261	29.13542557	0.922801435	35.69470978	0.929129303	16.32194328
0.940100551	11.13552475	0.938020706	35.84725189	0.958616376	0
0.980772197	10.98298264	0.965215325	35.69470978	0.988211811	28.83034325

Çizelge A.2 (devam): X-Y Piezo Yüzey #1 – Bölge 2

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
1.009718418	5.338951111	1.007782221	45.30482483	1.02793026	49.88106728
1.038798094	0	1.035030961	46.06752777	1.057432771	43.62687111
1.079369783	23.186306	1.077558756	44.38957977		
1.108384252	22.72867966	1.104854345	37.83029175		
1.149048567	23.64393234	1.14734745	11.74569702		
1.178004861	24.40664291	1.174684167	8.999950409		
		1.189964533	16.16939926		
		1.217146397	5.033870697		
		1.259727836	21.66089249		
		1.286953807	12.20331955		
		1.32950294	38.28791809		

Çizelge A.3: X-Y Piezo Yüzey #2

X-Y Piezo - Yüzey #2					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.206155285	24.8261261	0.206155285	47.0209198	0.180277571	32.03370667
0.25495097	11.04019165	0.25495097	42.44467163	0.25	29.74559021
0.304138124	1.944900513	0.304138124	0	0.320156217	10.92578125
0.353553385	12.52746582	0.353553385	20.53590393	0.360555142	12.35586548
0.41231057	32.49133301	0.403112888	50.73912048	0.430116266	38.66926575
0.460977226	25.74137878	0.460977226	37.35360718	0.430116266	38.66926575
0.509901941	12.47026062	0.509901941	19.04862976	0.5	21.45114136
0.559017003	3.432189941	0.559017003	9.209701538	0.570087731	2.574142456
0.618465841	14.41517639	0.608276248	41.472229	0.61032778	0
0.667083263	16.3028717	0.657647312	50.91072083	0.680073559	32.49133301
0.715891063	26.08459473	0.715891063	28.65873718	0.680073559	32.49133301
0.764852941	32.43414307	0.764852941	13.90034485	0.75	38.61206055
0.813941061	3.374984741	0.813941061	57.31747437	0.790569425	31.29006958
0.873212457	26.19900513	0.863133848	41.92984009	0.860232532	3.775405884
0.921954453	30.26042175	0.912414372	17.79016113	0.930053771	18.53379822
0.970824361	39.12689209	0.961769223	13.49992371	0.97082442	27.7434845
1.019803882	21.73716736	1.019803882	56.34501648	1	47.99336243
1.068877935	0	1.068877935	57.14585876	1.040432572	33.74980164
1.1280514	23.51045227	1.118034005	35.00827026	1.110180259	4.747848511
1.176860213	33.80700684				
1.225765109	31.97651672				

Çizelge A.4: X-Y Piezo Yüzey #3

X-Y Piezo - Yüzey #3					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.132582515	4.27116251	0.128847048	3.783029079	0.128847048	3.844046116
0.15625	4.210145473	0.15934436	3.966079235	0.15934436	4.942345142

Çizelge A.3 (devam): X-Y Piezo Yüzey #3

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.176776692	3.966079235	0.190086335	3.477946281	0.197642356	5.064378262
0.220970869	3.111847401	0.220970869	3.660996914	0.227503434	2.745747089
0.265165031	1.281348705	0.257694095	2.989813805	0.257694095	3.905063152
0.288110763	0.976265907	0.288110763	1.525415421	0.288110763	1.342365742
0.309359223	1.586431503	0.31868872	0.793216228	0.326259583	2.135581017
0.353553385	4.088112354	0.349385619	2.074564457	0.356304824	1.403381824
0.376299828	4.515228748	0.38017267	2.135581017	0.386541158	1.769481659
0.420425743	4.088112354	0.411029577	2.196598053	0.41692701	4.759294987
0.441941738	2.989813805	0.447431922	3.538963318	0.455006868	2.867780685
0.464564651	3.905062199	0.478033066	3.966079235	0.485130459	4.576245785
0.508713126	1.525414944	0.508713126	2.806763649	0.515388191	4.759294987
0.552868962	1.769481659	0.539458632	3.172863483	0.545757771	4.210145473
0.552868962	1.769481659	0.570258975	2.562697411	0.58379817	2.684731007
0.597030401	0.183050156	0.60676527	0	0.613965094	0
0.64119637	2.135581493	0.637377441	0.427116394	0.613965094	0
0.685366035	5.796576977	0.66804868	0.488132954	0.644235253	1.220332146
0.685366035	5.796576977	0.698771238	1.58643198	0.682510316	3.538963318
0.72953862	5.3084445	0.72953862	2.135581017	0.712609649	2.501680851
0.773713648	4.210145473	0.766103148	3.538963318	0.74280405	3.844046116
0.796721816	3.966079235	0.796721816	2.806763649	0.773082316	3.477946281
0.817890763	4.149129391	0.827387631	1.403381824	0.811297178	4.759294987
0.862069666	2.318631172	0.858095646	0.61016655	0.841432035	4.027096272
0.884987652	2.318631172	0.888841391	0.854232788	0.871645391	1.159315586
0.929129303	1.159316063	0.91962117	0.427116394	0.901929379	1.891514778
0.950431645	0	0.956066132	1.403381824	0.940100551	1.708465576
0.973275721	0.427116394	0.986728311	1.769481659	0.970260918	3.660996914
1.017426252	4.820312023	1.017426252	3.355913639	1.000488162	3.111846924
1.061580539	5.064378262	1.048156857	3.538963318	1.030776381	5.003362179
1.082982779	3.599979877	1.078917265	3.905063152	1.068914533	3.783029079
1.105737925	3.783030033	1.115410566	1.952531815	1.099094152	0.854232788
1.149898052	2.562697411	1.146070004	1.403381824	1.129331946	1.342365742
1.194060802	1.342365265	1.176760674	1.464398384	1.159623504	2.135581017
1.194060802	1.342365265			1.197735548	3.538963318
1.238225818	0.122033119			1.227930188	3.783029079

Çizelge A.5: X-Y Piezo Yüzey #4

X-Y Piezo - Yüzey #4					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.139754251	72.36568451	0.112673476	96.40622711	0.128847048	42.04042816
0.168286398	88.90119171	0.15625	84.56900787	0.168286398	110.1349564
0.197642356	142.6568069	0.200097635	130.3924637	0.197642356	95.18590546
0.209631369	107.2671738	0.225346953	180.1820297	0.237992913	107.2061691
0.237992913	143.0229111	0.26882267	100.4333267	0.267000109	77.79616547
0.279508501	120.6908188	0.26882267	100.4333267	0.296463549	55.15900421
0.307776809	65.83690643	0.3125	9.640617371	0.336572796	35.99979401

Çizelge A.5 (devam): X-Y Piezo Yüzey #4

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.336572796	0	0.338020444	42.28450775	0.336572796	35.99979401
0.377595186	37.58621979	0.381454855	57.05052948	0.36577189	12.264328
0.40625	28.18966675	0.425045967	77.3690567	0.40625	44.60312653
0.435262144	17.26768494	0.450693905	134.8466873	0.435262144	92.01302338
0.475985825	89.38930511	0.46875	114.0400314	0.464564651	115.9315414
0.504859209	128.5009689	0.494105875	74.86736298	0.504859209	70.4131546
0.545757771	147.2330551	0.53764534	84.44696808	0.534000218	56.92848969
0.574524283	163.7075272	0.581283629	26.4812088	0.563367367	50.15563202
0.603537738	122.3382797	0.60676527	35.51166534	0.603537738	0
0.644235253	75.47753143	0.650270402	0	0.63276428	47.22684479
0.644235253	75.47753143	0.650270402	0	0.673145592	42.52855682
0.685366035	11.10501862	0.693862617	95.30792999	0.702256441	20.19648743
0.713978708	30.81336975	0.719429016	136.6771774	0.731543779	104.3383865
0.74280405	48.14208221	0.76290971	162.2431259	0.771818101	96.95537567
0.783746004	53.08443451	0.80646801	59.12509918	0.801000357	101.2875595
0.8125	87.43677521	0.832095444	9.640617371	0.830333173	58.94203949
0.853531241	153.2126694	0.850091934	28.98288727	0.870524287	54.24375153
0.882224619	171.8837662	0.87555784	12.56941986	0.89976126	9.030456543
0.911086261	193.0565262	0.919090092	66.26403046	0.929129303	14.64398193
0.95197165	49.72852325	0.962682605	119.1044083	0.969253898	46.98278046
0.980772197	30.32524109	0.988211751	133.0161819	0.998534083	30.87439728
1.009718418	22.57614136	1.03172338	54.60985565	0.998534083	30.87439728
1.050483465	44.2980423	1.03172338	54.60985565	1.038798094	69.13179779
1.079369783	45.64040375	1.07529068	35.08454132	1.068000436	82.92156219
1.091515541	8.176216125	1.100869656	43.07772064	1.108384252	105.1926193
1.120215535	71.38942719	1.144364595	31.91168976	1.137517214	33.80318451
1.149048567	98.72486115	1.187911153	70.4131546	1.166759729	25.01679993
1.189964533	105.8637924	1.21353054	114.6501999	1.207075477	18.79310608
1.21875	146.5008621	1.231503844	105.7417679	1.236252546	73.64702606
1.259727836	135.8839645	1.257011533	101.5316238	1.26552856	49.48445892
1.288470507	46.73870087	1.300540805	56.80644989	1.305786371	52.53528595
				1.335000634	8.603340149

EK A.1.2 Z Piezo

Çizelge A.6: Z Piezo Yüzey #1

Z Piezo - Yüzey #1					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	Nm	Å
0.279508501	623.2846069	0.225346953	505.2175293	0.225346953	688.267334
0.279508501	623.2846069	0.3125	640.6743164	0.3125	831.9614258
0.364434481	532.6749878	0.364434481	522.6071777	0.364434481	739.5212402
0.419262737	562.8781128	0.450693905	500.6412354	0.450693905	862.1646729
0.50389111	430.1670532	0.50389111	546.4036865	0.50389111	896.9440918

Çizelge A.6 (devam): Z Piezo Yüzey #1

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
0.559017003	465.8617554	0.589623809	532.6749268	0.589623809	551.8951416
0.643476903	702.9113159	0.643476903	585.7593994	0.643476903	680.0300293
0.698771238	733.1144409	0.676040888	604.9796143	0.676040888	781.6226807
0.783122778	654.4030151	0.728868961	593.0814209	0.728868961	754.1652832
0.783122778	654.4030151	0.814900279	426.5061035	0.814900279	611.3863525
0.868277729	571.1154175	0.868277729	431.9975586	0.868277729	609.5559082
0.922801435	619.6235962	0.954021096	626.0303955	0.954021096	644.3353271
1.007782221	554.6409302	1.007782221	637.0133057	1.007782221	776.1312256
1.0625	549.1494751	1.093303442	552.8104248	1.093303442	755.9957275
1.14734745	640.6743774	1.093303442	552.8104248	1.093303442	755.9957275
1.202211499	665.3860474	1.179247618	559.2171631	1.179247618	822.80896
1.286953807	615.9625854	1.232692719	526.2681885	1.232692719	653.487793
1.286953807	615.9625854	1.318439007	641.5895996	1.318439007	707.4875488
1.372156143	745.0127563	1.372156143	530.8444824	1.372156143	805.4191895
1.426589012	637.9285278	1.457737923	446.6414795	1.457737923	849.3510742
1.511673331	660.8097534	1.511673331	568.3696289	1.511673331	868.5714111
1.566245556	675.4537964	1.543636084	603.1491699	1.59711659	769.7244873
1.651230574	550.0646362	1.59711659	578.4373779	1.59711659	769.7244873
1.705917954	628.776062	1.682863951	642.5048828	1.682863951	624.1998291
1.790818572	631.5217896	1.736555457	662.6402588	1.768871427	657.1488037
1.84560287	612.3015747	1.822172523	708.40271	1.822172523	799.0124512
1.876041412	625.1150513	1.908042192	760.5718994	1.908042192	790.7751465
1.930430651	626.0303345	1.961544394	691.0130615	1.961544394	728.538208
2.015564442	668.1317749	1.994132042	669.0469971	2.047292471	649.8267822
2.070061922	642.5048218	2.047292471	691.0130615	2.047292471	649.8267822
2.155117512	475.0142212	2.133255959	481.4210205	2.133255959	863.9951172
2.209708691	552.8103638	2.186606884	545.4884033	2.186606884	935.3845215
2.294694901	461.2854614	2.272457361	538.1663818	2.272457361	647.0810547
2.349368334	529.0139771	2.325974226	439.3195801	2.325974226	636.0981445
2.379929066	565.6239624	2.41172266	431.0822754	2.41172266	820.0631104
2.434292793	604.0643921	2.41172266	431.0822754	2.465385437	629.6914063
2.519455671	635.1828003	2.497655153	464.9465332	2.497655153	812.7412109
2.573907614	611.3864136	2.551041365	497.8955078	2.551041365	698.335083
2.65900588	62.23693848	2.636878014	432.9128418	2.636878014	389.8961182
2.713536739	69.55889893	2.690405369	252.6087036	2.690405369	278.2357178
2.798576593	0	2.776154041	0	2.776154041	0
2.853178024	27.4574585	2.829807758	51.25396729	2.829807758	142.7788696
2.883817911	294.7102051	2.915475845	108.9146118	2.915475845	356.9471436
2.938164711	269.9984741	2.915475845	108.9146118	2.915475845	356.9471436
3.023346663	176.6430664	3.001301765	241.6257324	3.001301765	317.5914307
3.077768087	195.8632813	3.054837465	332.2354126	3.054837465	327.6591797
3.162895203	468.6074829	3.140586138	414.6077881	3.140586138	423.7603149
3.217384338	394.4723511	3.194233179	402.7095947	3.194233179	528.0986938
3.302461147	516.2005005	3.279910564	579.3526611	3.279910564	741.3516846
3.357012272	506.1327515	3.333658934	565.6239014	3.365727901	595.8271484
3.387707472	501.5564575	3.365727901	546.4036865	3.365727901	595.8271484
3.442042351	510.7089233	3.4192698	575.6916504	3.451675415	672.7080078

Çizelge A.6 (devam): Z Piezo Yüzey #1

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	Nm	Å
3.527237892	432.9127808	3.505018711	444.8110352	3.505018711	653.487793
3.581637144	369.7606201	3.590895653	547.3189697	3.590895653	701.0808105
3.666785002	564.7086792	3.644345045	543.657959	3.644345045	657.1488037
3.721243858	589.4203491	3.730155945	449.3873291	3.730155945	528.0986938
3.806347609	535.4207153	3.78370285	399.9638672	3.78370285	550.0646973
3.860861301	529.0139771	3.816084385	496.0649414	3.869451761	724.8773193
3.945923567	559.2172241	3.869451761	531.7596436	3.869451761	724.8773193
3.945923567	559.2172241	3.955316782	492.4039307	3.955316782	628.776123
4.031128883	511.6242065	4.008779526	485.9971924	4.008779526	623.284668
4.085511684	545.4884644	4.094584942	476.8447266	4.094584942	649.8267822
4.170675278	552.8103638	4.148135662	532.6749268	4.148135662	671.7928467
4.225111008	520.7766724	4.233884811	487.8277588	4.233884811	680.0300293
4.310235023	615.0473022	4.233884811	487.8277588	4.287518024	647.9963379
4.364719868	528.0986938	4.319740295	477.7600098	4.319740295	663.555542
4.44980669	476.8447876	4.373213768	507.9632568	4.373213768	658.9793701
4.44980669	476.8447876	4.459014893	523.5224609	4.459014893	626.9455566
4.535019875	538.1664429	4.512569427	499.7259521	4.512569427	644.3353271
4.589389801	609.5558472	4.5983181	489.6582031	4.5983181	710.2332764
4.674565315	550.9799194	4.651948452	496.9802246	4.651948452	778.8769531
4.728982925	590.3356323	4.684165478	584.8441162	4.737648487	669.0471191
4.814123154	614.1321411	4.737648487	543.657959	4.737648487	669.0471191
4.868585587	560.1323853	4.82344532	497.8955078	4.82344532	672.7080078
4.953691959	445.7262573	4.877002716	485.0820313	4.877002716	688.267334
4.953691959	445.7262573	4.962751865	542.7426758	4.962751865	737.6907959
5.038911343	540.9121704	5.016379356	499.7259521		
5.093270779	587.5899048	5.102082729	562.8781738		
5.17845583	609.5558472	5.102082729	562.8781738		
5.232859135	560.1323853	5.187876701	510.7089844		
		5.241436481	530.8444824		
		5.327185631	558.3018799		

Çizelge A.7: Z Piezo Yüzey #2 – İleri Tarama (Sol)

Z Piezo - Yüzey #2 - İleri Tarama (Sol)					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	Nm	Å
3.09375	5.979629517	3.188964605	4.088111877	3.188964605	6.101661682
3.8671875	4.576248169	3.943772793	0	3.943772793	7.871147156
4.704636574	6.406742096	4.704636574	4.515228271	4.704636574	5.61353302
5.46902895	5.247428894	5.46902895	6.650810242	5.46902895	2.928798676
6.235652447	7.50504303	6.235652447	6.040645599	6.235652447	0.915252686
7.003774643	4.27116394	7.003774643	4.942344666	7.003774643	3.172863007
7.772950649	2.623710632	7.772950649	3.599983215	7.887545586	5.979629517
8.542896271	6.040641785	8.542896271	5.125392914	8.647294044	1.525417328
9.313421249	3.783027649	9.409273148	5.674545288	9.409273148	0
10.08439159	0	10.17298222	0.366100311	10.17298222	2.745750427
10.85571289	1.098300934	10.9380579	0.244068146	10.9380579	3.722015381

Çizelge A.7 (devam): Z Piezo Yüzey #2 – İleri Tarama (Sol)

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	Nm	Å
11.62731552	10.12875748	11.70423317	9.884689331	11.70423317	13.85076904
12.47130489	4.088111877	12.47130489	18.79311371	12.59065056	16.47448349
13.23911762	19.89141083	13.23911762	24.95579147	13.3516016	16.77956772
14.00754929	17.999897	14.00754929	19.58633041	14.11390972	19.09819794
14.77650261	12.38637161	14.87736702	19.58633041	14.87736702	15.37618637
15.5459013	15.19313431	15.64180565	17.08464813	15.64180565	13.17958832
16.31568146	18.97616577	16.40708733	18.30498505	16.53420448	16.77956772
17.08579254	18.61006546	17.17309952	20.07446289	17.29458809	17.51176453
17.85619164	13.30162048	17.93974876	19.46429443	18.05607986	18.48803329
18.6268425	14.15585327	18.70695686	17.02363205	18.8185463	15.6202507
19.39771461	13.42365265	19.47465897	18.79311371	19.58187294	16.35245514
20.24279594	16.23041534	20.24279594	16.53549957	20.34596443	11.71519089
21.01132393	14.88805008	21.11073494	21.11174774	21.23786736	10.8609581
21.78019714	13.91178894	21.8761158	15.98635101	21.99882507	9.640625
22.54938507	13.91178894	22.64204407	16.65753174	22.76062393	10.43383789
23.31885147	10.61688995	23.40846634	18.06091309	23.52318382	13.24060822
24.08857346	13.91178894				

Çizelge A.8: Z Piezo Yüzey #2 – Geri Tarama (Sol)

Z Piezo - Yüzey #2 - Geri Tarama (Sol)					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
3.188964605	17.26769829	3.188964605	16.77956581	3.188964605	20.13548088
3.943772793	14.64398766	3.943772793	20.07446098	3.943772793	22.27105904
4.704636574	16.47448158	4.704636574	19.76937675	4.704636574	23.97952461
5.46902895	15.80329704	5.46902895	18.42701149	5.46902895	23.36935616
6.377929211	14.0948391	6.235652447	15.86431313	6.235652447	22.27105904
7.130741596	14.21686745	7.130741596	17.81684685	7.130741596	20.74564552
7.887545586	8.420293808	7.887545586	15.92533302	7.887545586	20.80665779
8.647294044	13.11857033	8.647294044	17.32871437	8.647294044	21.41682625
9.409273148	13.11857033	9.409273148	11.65416908	9.409273148	23.00325966
10.31894302	12.50840187	10.17298222	6.711824417	10.17298222	10.67790413
11.07393932	6.101659775	11.07393932	3.783025742	10.9380579	0
11.83131886	0	11.83131886	0	11.83131886	1.281347275
12.59065056	2.19659996	12.59065056	9.396554947	12.59065056	2.318630219
13.3516016	5.247426987	13.3516016	21.96597862	13.3516016	11.89823723
14.11390972	14.58296776	14.11390972	25.68798637	14.11390972	21.96597481
15.01743984	22.3930912	14.87736702	30.38626671	14.87736702	24.10155678
15.77509117	23.12529564	15.77509117	29.47101784	15.77509117	26.29815483
16.53420448	24.89477348	16.53420448	26.29815483	16.53420448	30.874403
17.29458809	26.48120689	17.29458809	26.420187	17.29458809	24.7727375
18.05607986	25.44392204	18.05607986	23.6744442	18.05607986	24.71172523
18.96105385	21.11174583	18.8185463	25.13883781	18.8185463	29.22695351
19.71886444	24.77274132	19.71886444	24.89477348	19.58187294	31.30151558
20.47784424	23.06427574	20.47784424	25.01680565	20.47784424	26.66425514
21.23786736	24.71172523	21.23786736	23.85749245	21.23786736	28.61678886

Çizelge A.8 (devam): Z Piezo Yüzey #2 – Geri Tarama (Sol)

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
21.99882507	22.4541111	21.99882507	27.27441978	21.99882507	24.95578957
22.90472221	24.28460503	22.76062393	24.10155678	22.76062393	26.66425514
23.66263771	25.44392204	23.52318382	23.00325966	23.52318382	26.96933937
24.42152596	24.0405407	24.42152596	26.66425514	24.28643036	31.85066414
		25.18130112	29.04390526	25.18130112	30.50829887
		25.94188309	23.91850853	25.94188309	28.37272072
				26.7032032	24.71172523

Çizelge A.9: Z Piezo Yüzey #2 – İleri Tarama (Sağ)

Z Piezo - Yüzey #2 - İleri Tarama (Sağ)					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
3.458917618	21.41683006	3.458917618	31.30151558	3.458917618	26.96933937
4.165088177	22.57613945	4.165088177	32.4608326	3.458917618	26.96933937
4.509876728	22.69817543	4.509876728	30.874403	4.509876728	29.10491753
5.188376427	28.92186928	5.188376427	29.89813423	5.188376427	28.18966866
5.890324593	26.66425514	6.235652447	28.98288918	6.235652447	28.98288918
6.917835236	26.48120689	6.917835236	32.70489693	6.917835236	32.27778435
7.617475986	30.26423454	7.963026524	28.73882484	7.963026524	25.50494194
8.647294044	25.93205833	8.647294044	33.6811657	8.647294044	28.79983711
9.345480919	25.68798637	9.69114399	35.20658302	9.69114399	28.79983711
10.37675285	23.43037224	10.37675285	34.04726601	9.69114399	28.79983711
11.07393932	25.93205833	11.07393932	33.86421394	10.74493694	26.72527504
11.78064919	25.81002235	12.10621166	35.6947155	11.4196682	27.2134037
12.10621166	25.07782555	12.10621166	35.6947155	12.47130489	28.00662041
12.80266857	27.51848793	13.1484375	34.77946281	13.1484375	28.49475288
13.83567047	32.76591301	13.83567047	32.21676826	14.19842529	28.98288918
14.53157139	33.49811363	14.87736702	33.92523003	14.87736702	36.12182808
15.56512928	35.69471169	15.56512928	38.01334572	15.92605305	31.17948341
16.26059151	32.58286476	16.60640717	28.43374062	15.92605305	31.17948341
16.96280861	28.8608532	17.29458809	17.93888283	16.60640717	29.22695351
17.9896965	10.73892021	18.33552551	2.013549805	17.65403938	10.06773949
18.69096184	5.064374924	19.02404785	2.318632126	18.33552551	3.416929245
19.71886444	0	20.0647049	0	19.38228798	0
20.41933632	4.149129868	20.0647049	0	20.0647049	4.332180023
20.75350571	4.515226364	21.11073494	14.64398384	21.11073494	13.91178322
21.44807816	13.30161858	21.79392624	18.30498314	21.79392624	13.30161858
22.14787865	12.69145012	22.48296547	23.79647636	22.8393364	14.33889961
23.17733002	19.52531242	23.52318382	17.38973427	22.8393364	14.33889961
23.8765564	19.52531242	24.21242332	22.33207893	23.88908005	21.11174202
24.90660858	19.40328026	25.25246811	19.83039665	24.56805611	21.41682625
25.60533714	21.47784233	25.94188309	24.4676609	25.61701584	22.39309502
26.63591194	25.32188988	26.98177528	20.56259346	26.296875	21.233778
27.33420563	22.02699089	27.67134094	22.57614326	27.34514427	22.94224358
28.0364418	26.05408669	28.02577209	21.41682625	28.02577209	18.85412788
28.36523438	23.06427574	28.71109962	21.41682625	29.07343292	21.59987831

Çizelge A.9 (devam): Z Piezo Yüzey #2 – İleri Tarama (Sağ)

Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
29.06314278	26.05408669	29.75473404	22.14902687	29.07343292	21.59987831
30.09457207	20.56259727	30.44044113	18.54904747	30.12437248	16.90159798
30.79213905	23.36935997	31.4837513	22.14902687	30.80185127	20.92869377
31.82392311	19.15921593	32.16979218	21.2947979	31.85210609	23.12529182
32.52118301	19.64734459			32.53038025	20.44056129

Çizelge A.10: Z Piezo Yüzey #2 – Geri Tarama (Sağ)

Z Piezo - Yüzey #2 - Geri Tarama (Sağ)					
Ölçüm #1		Ölçüm #2		Ölçüm #3	
X	Z	X	Z	X	Z
nm	Å	nm	Å	nm	Å
2.788668633	15.6812706	3.458917618	15.6202507	2.788668633	15.13211441
3.8671875	17.81684875	3.8671875	14.33890152	3.8671875	12.99653625
4.509876728	18.36599731	4.509876728	15.31516647	4.509876728	15.68126297
5.577337265	20.25751495	5.577337265	16.53549576	5.577337265	18.97615814
6.235652447	13.85076904	6.235652447	13.48466873	6.235652447	14.21686554
7.29659462	15.55923462	7.29659462	16.41346741	7.29659462	15.80329895
7.963026524	17.93888474	7.963026524	17.45074844	7.963026524	17.51176453
9.019753456	17.87786484	9.019753456	20.68462753	9.019753456	16.53549576
9.019753456	17.87786484	9.69114399	20.68462753	9.019753456	16.53549576
10.08439159	21.41683197	10.08439159	19.28124619	10.08439159	20.25751114
10.74493694	17.75583649	10.74493694	19.52531433	10.74493694	18.85412979
11.8060112	18.85413361	11.8060112	22.63716125	11.8060112	14.94906616
12.47130489	18.97616577	12.47130489	13.48466873	12.47130489	16.71854401
13.52963066	22.0880127	13.52963066	7.260974884	13.52963066	6.894874573
14.19842529	12.56942368	14.19842529	5.308444977	14.19842529	4.942344666
15.25457191	5.613529205	15.25457191	2.68473053	14.59318924	0.183048248
15.25457191	5.613529205	15.92605305	8.359272003	15.25457191	0
16.31568146	0	16.98043251	0	16.31568146	5.430473328
16.98043251	3.599983215	16.98043251	0	16.98043251	6.345726013
18.03950691	7.077926636	18.03950691	5.857593536	18.03950691	2.01354599
18.70695686	5.613529205	18.70695686	9.579605103	18.70695686	7.321990967
19.76431656	8.603343964	19.76431656	5.186412811	19.76431656	3.905059814
20.43397903	11.04400635	20.43397903	7.871139526	19.76431656	3.905059814
20.82544136	6.101661682	21.48987389	5.796577454	20.82544136	1.769477844
21.48987389	8.054195404	22.16138077	5.308444977	21.48987389	4.393192291
22.54938507	9.030456543	23.21601295	10.43383789	22.54938507	2.68473053
23.21601295	6.650810242	23.21601295	10.43383789	23.21601295	2.806762695
24.27411079	12.4473877	24.27411079	12.63043594	24.27411079	7.932159424
24.94260979	6.95589447	24.94260979	7.932159424	24.94260979	9.701637268
25.99946785	11.41010666	25.99946785	7.199954987	25.99946785	6.16267395
26.66957855	6.95589447	26.66957855	6.589794159	25.99946785	6.16267395
27.05926132	11.10502243			27.05926132	6.772842407
27.72533417	10.79994202			27.72533417	8.84740448
28.78393173	12.02027512			28.78393173	9.335540771
29.45162201	7.932159424				

EK A.2 Laboratuvar Veri Depolama, Yedekleme ve Erişim Sistemi

Üzerinde çalıştığımız UYV-TTM gibi bir sistemin ve diğer bilgisayar destekli laboratuar donanımlarının (Optik mikroskop, afm, laboratuarımızdaki diğer TTM'ler) sağlıklı bir şekilde birden çok kullanıcı tarafından kullanılması ihtiyacı; zaman içinde artan laboratuar donanımları ve araştırmacı sayısıyla birlikte önemli bir sorun teşkil etmiştir. Bu bağlamda, laboratuarımız bünyesinde bir yerel ağ ve ağ sunucusu yapılandırması çalışmalarına başlanmıştır.

Günümüzde, bilgiye erişim için herkesin sık kullandığı internet ortamına güvenli ve hızlı bir erişim sağlamak gereksinimi de doğmuştur. Internet güvenliğinin sağlanması ve yerel ağ bilgisayarlarının korunması için virus, worm, trojan gibi zararlı yazılımların, "Squid Vekil Sunucu" üzerinden geçerken taranması ve engellenmesi sağlanmıştır. Zararlı yazılımların bilgisayarlara bulaşması, önemli miktarda zamanın ve kıymetli verilerin kaybolmasına sebep olabilmektedir. Bu soruna bir diğer önlem olarak, laboratuar bünyesinde yapılandırdığımız yerel ağ üzerinden, tüm verilerin ve kullanıcı ayarlarının depolanmasını sağlayan bir sunucu sistemi (Gentoo Linux dağıtımı kullanılarak) yapılandırılmıştır. Yapılandırdığımız sistemin, otonom bir şekilde kendi yedeklerini alması için bash kabuk betikleri (bash script) yazılmıştır. Laboratuarımızda yapılan araştırma çalışmalarından dolayı oluşan hacimli verinin düzenli zaman aralıklarıyla yedeklenmesi için de yine bash kabuk betikleri yazılmıştır. Bir örnek vermek gerekirse, aşağıda, düzenli sistem yedeği alan ve hali hazırda çalışmakta olan betiğimizi görebilirsiniz.

```
#!/bin/bash

# This script is intended to take a raw and compressed system backup.
# The algorithm is made of the following steps:
#
#  1. Change directory to BACKUP_MOUNT_POINT/BACKUP_FOLDER.
#  2. Check if the first directive is correctly done.
#     2a. if it is not, try to mount BACKUP_MOUNT_POINT and cd to BACKUP_FOLDER
#     2b. check again if we are in the correct folder.
#     2c. if not, then fail and exit.
#  3. Check if the BACKUP_NAME_1 and BACKUP_NAME_2 exists @ BACKUP_MOUNT_POINT
#  4. If one of the files at 3rd directive does not exist, non-existent one is
#  selected as new backup file name.
#     4a. Begin Backup sequence using the DECIDED_BACKUP_NAME variable.
#  5. If both files exist at 3rd directive, then find out which one is older by
#  date.
#  6. Decicde BACKUP_NAME_1 or BACKUP_NAME_2 according to 5th statement.
#  7. Begin backup sequence using the DECIDED_BACKUP_NAME variable.
#
# The variables are defined for my own system's needs.  and  are necessary for
# XFS filesytem to sync itself
# and deny writing operations during backup sequence. This is a nice feature of
# XFS, you may not take an on-the-fly backup of
```

```
# reiserfs or ext3 etc. You can still take a backup copy but as your filesystem
# is not closed and suspended there shall likely be
# writing attempts by your system; so anyway your backup shall probably be
# corrupted. Considering the latter, I guess this script
# is meaningful only for XFS. I made this script to define a cron job to take
# weekly system backup of my server. It manages two
# files alternately so that there always exist a previous backup.
#
### Written by Esen Kusluoglu 10-05-2009
# You may redistribute or modify this script as you like.
#
### Edit by Esen Kusluoglu 10-05-2009
# Compression method changed from bzip2 to lzma
#
### Edit by Esen Kusluoglu 11-03-2010
# Enhanced mount point status check.
# New warning_selector () function added for status reporting.
#
### Edit by Esen Kusluoglu 07-04-2010
#
# Almost totally rewritten.
# Added backup_procedure () function.
# Added backup sets depth logic. From now on it is possible to specify how many
# backup sets are to be rotated.
# Added find most aged file set logic.
# If a missing file set exists, First, It shall be created.
# If all sets within the $DEPTH range are ok; then the oldest one is
# overwritten.
#

######################################################################
################ DEFINING NECESSARY VARIABLES ########################
######################################################################

BACKUP_MOUNT_POINT="/mnt/STORAGE"
BACKUP_FOLDER="SystemBackups"
SOURCE_DEVICE="/dev/hda2"
## SOURCE_MOUNT_POINT="/"                #This Option is not needed for XFS
backup since we use xfs_freeze instead of unmounting.

   ###### Backup Commands ######
   XFS_FREEZE="xfs_freeze -f /"
   XFS_UNFREEZE="xfs_freeze -u /"
   DD_COMMAND="dd if=$SOURCE_DEVICE bs=2M"
   COMPRESS_COMMAND="/usr/bin/lzma -1 -c"
   SPLIT_COMMAND="split -b2000m - "

ERROR_NOT_MOUNTED_1="Specified mountpoint is not mounted"
ERROR_NOT_MOUNTED_2="BACKUP_FOLDER does not exist or perhaps your
BACKUP_MOUNT_POINT is not correctly defined in your /etc/fstab file. Exiting."
EXIT_SWITCH="2"            # You may need the script end, after unmounting the
backup destination... Then set the below variable to "1"

   ###### BACKUP FILE NAME GENERATION & DEPTH CONTROL ######
   DEPTH=6                      #This means that $DEPTH many different backup
sets are to be rotated.
   BASE_NAME="NanoNest.System.xfs"
   EXTENSION="lzma.aa"
   declare -a BACKUP_NAME

   for i in $(seq 1 $DEPTH); do
      BACKUP_NAME[${i}]="$BASE_NAME.0${i}.$EXTENSION"
   done

######################################################################
######################### SET NECESSARY FUNCTIONS ####################
######################################################################

#############################################
######## Set EXIT Selector Function #########
#############################################
```

```
exit_selector () {

if (($EXIT_SWITCH == 1))

   then
   cd /root
   echo "unmounting $BACKUP_MOUNT_POINT"
   umount $BACKUP_MOUNT_POINT
   echo -e "\n...All Done... \n \a \a \a"
   echo "--------------------------------------------------------------------------
----"
   date
   echo -e "--------------------------------------------------------------------------
-------\n"
   exit

fi

if (($EXIT_SWITCH == 2))

   then
   cd /root
   echo -e "\n...All Done... \n \a \a \a"
   echo "--------------------------------------------------------------------------
----"
   date
   echo -e "--------------------------------------------------------------------------
-------\n"
   exit

fi

}

################################################
######## Set WARNING Selector Function #########
################################################

warning_selector () {

if [ $1 == 1 ]
   then
      echo "Target backup directory is selected as:
$BACKUP_MOUNT_POINT/$BACKUP_FOLDER/"
      echo -e "--------------------------------------------------------------------
----------\n...Checking & Comparing backup filenames and creation dates...\n
   Decided backup file name is $DECIDED_BACKUP_NAME \n     WARNING! above file
shall be created. \n-------------------------------------------------------------
----------------\n\n...Starting... \n \a"

fi

if [ $1 == 2 ]
   then
      echo "Target backup directory is selected as:
$BACKUP_MOUNT_POINT/$BACKUP_FOLDER/"
                echo -e "-----------------------------------------------------------
--------------------\n...Checking & Comparing backup filenames and creation
dates...\n  Decided backup file name is $DECIDED_BACKUP_NAME \n
WARNING! No missing files in the backup set. \n                  Then the file
specified above, shall be overwritten. \n-------------------------------------
-----------------------------------\n\n...Starting... \n \a"

fi

}

################################################
######## Set BACKUP PROCEDURE Function ##########
################################################

backup_procedure () {
```

```
STRIPPED_BACKUP_NAME=${DECIDED_BACKUP_NAME%aa}                  # Getting rid of
last "aa" extension,
DECIDED_BACKUP_NAME=${STRIPPED_BACKUP_NAME##*/}                 # split command
below will add "aa" again.

IFS=" "                    # We had chosen the Inter Field Separatror as "!" in
the loop below that calls this function.
                        # Now we reverse it to its default value in order to be
able to use command variables defined

# echo "$DECIDED_BACKUP_NAME !!!!!!Fake Backup!!!!!!!!!!!!!!!Fake
Backup!!!!!!!!!!!!!!!Fake Backup!!!!!!!!!!!!!!!"    #FOR DEBUGGING PURPOSES

/etc/init.d/mysql stop
/etc/init.d/apache2 stop
sync
$XFS_FREEZE && $DD_COMMAND | $COMPRESS_COMMAND | $SPLIT_COMMAND
$DECIDED_BACKUP_NAME && $XFS_UNFREEZE
/etc/init.d/mysql start
/etc/init.d/apache2 start

exit_selector

}

############################################################################
#################### END OF FUNCTION DEFINITIONS ###########################
############################################################################

############################################################################
######################### BEGIN BACKUP SCRIPT ##############################
############################################################################


######### CD to Backup Folder & Check BACKUP_MOUNT_POINT ##########
echo
"#############################################################################"
date

cd "$BACKUP_MOUNT_POINT/$BACKUP_FOLDER" 2> /dev/null
CURRENT_DIR="$(pwd)"

if [[ "$BACKUP_MOUNT_POINT/$BACKUP_FOLDER" != "$CURRENT_DIR" ]]
   then
   echo $ERROR_NOT_MOUNTED_1
   echo "mounting $BACKUP_MOUNT_POINT"
   mount $BACKUP_MOUNT_POINT  2> /dev/null
   cd $BACKUP_MOUNT_POINT/$BACKUP_FOLDER 2> /dev/null
   CURRENT_DIR="$(pwd)"

   if [[ "$BACKUP_MOUNT_POINT/$BACKUP_FOLDER" != "$CURRENT_DIR" ]]
   then
   echo $ERROR_NOT_MOUNTED_2
   exit_selector
   fi
fi

############################################################################
######## Check if SOURCE_MOUNT_POINT is mounted, if mounted UNMOUNT it ########
############## This might be useful for non-XFS filesystems ################
############################################################################

## echo "Checking source mount point $SOURCE_MOUNT_POINT current status:"
## cat /etc/mtab | grep  $SOURCE_MOUNT_POINT  1> /dev/null
## cat /etc/mtab | grep  $SOURCE_DEVICE  1> /dev/null
##
## if [ $? == 1 ]
##        then
##
##    echo "Source mount point $SOURCE_MOUNT_POINT is already unmounted."
## echo "Happily Proceeding Backup Sequence... =)"
```

```
##
## else
##    echo "$SOURCE_MOUNT_POINT is mounted. Unmounting..."
##    umount $SOURCE_MOUNT_POINT
##    cat /etc/mtab | grep  $SOURCE_MOUNT_POINT  &> /dev/null
##    cat /etc/mtab | grep  $SOURCE_DEVICE  &> /dev/null
##
##    if [ $? == 0 ]
##    then
##    echo "Source mount point $SOURCE_MOUNT_POINT is busy. You have to unmount
##    it manually."     #  NOT MOUNTED AS /
##    EXIT_SWITCH="2"
##    exit_selector
##
## fi
##
## echo "Source mount point $SOURCE_MOUNT_POINT is unmounted."
## echo "Proceeding Backup Sequence..."
##
## fi
################################################################################

#############################################################
########## Filename Checks & Start Backup Sequence ###########



#############################################################
##### Check if folder is empty or not ########################

ls ./* &> /dev/null
if   [ $? == 2 ]
   then
        DECIDED_BACKUP_NAME=$(echo ${BACKUP_NAME[1]})
   warning_selector 1
   backup_procedure
fi

#############################################################
##### Check if there is a missing file in the backup set #####

IFS=!               #INTER FIELD SEPARATOR bash internal variable; check man
                    #page and "bash special parameters" for further info.
                    #Be careful about that, you have been warned! :)

CURRENT_FILES=(`find ${BACKUP_NAME[*]} -printf %f! 2> /dev/null`)
COUNTER=0
for i in ${BACKUP_NAME[*]}; do
   let COUNTER++
   if [[ ${i} != ${CURRENT_FILES[$COUNTER-1]} ]]
      then
      DECIDED_BACKUP_NAME="${BACKUP_NAME[$COUNTER]}"
      warning_selector 1
      backup_procedure
   fi
done

#############################################################
########### Find the oldest set in the backup sets ############

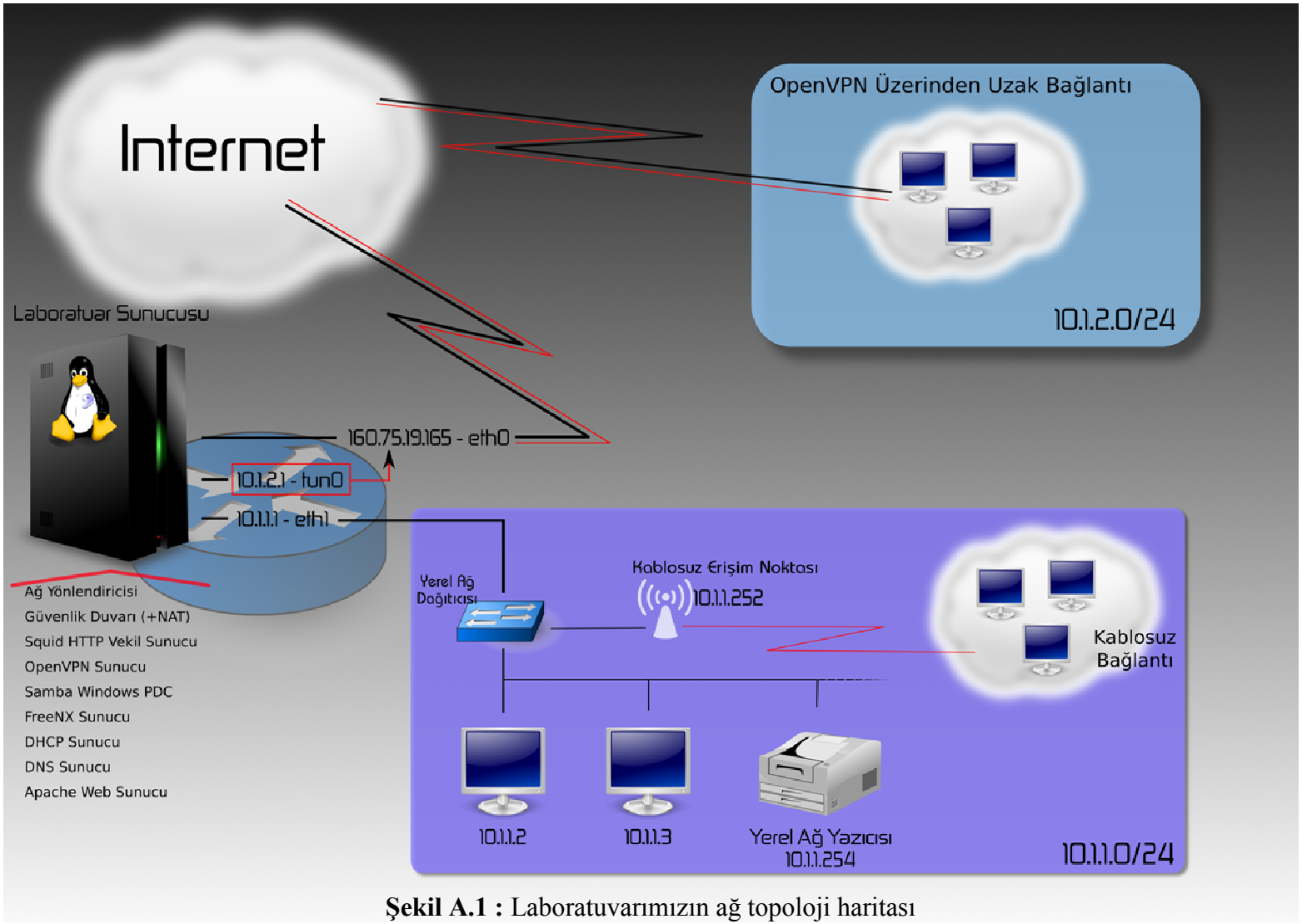
### What the heck is that?
### CURRENT_FILES variable is the list of current backup sets on the disk (this
### is a 1 dimensional array), based on the first file of the set (.aa files)
### MOST_AGED_FILE variable -as its name depicts- is what we need to fill out
### correctly at the end of the for loop.
### The algorithm begins by assigning the creation date (in UNIX Time) of the
### first entry of CUREENT_FILES to FILE_1_BIRTH
### CURRENT_FILES variable's second entry (those are file names by the way..) is
### assigned to FILE_2-BIRTH
### DEPTH_COUNTER breaks the loop where it needs to end. Otherwise, the final
###entry is compared to "null" which is . (Current Directory)
### The algorithm here extracts creation times of existing backup files (Based
```

```
### on BASE_NAME variable at the very beginning.) and compares 1 with 2 then 2
### with 3 and 3 with 4 and so on.. To put it another way, it basically walks &
### compares step by step all time data extracted depending on CURRENT_FILES
### array order.
### The tricky part is, when it finds that FILE_1_BIRTH is greater than
### FILE_2_BIRTH, it transfers FILE_2_BIRTH value to FILE_1_BIRTH. As you may
### have noticed FILE_1_BIRTH is not in the for loop. By this fashion, the value
### it holds is only modified when FILE_1_BIRTH is greater than FILE_2_BIRTH.
### So, what we do here is merely keeping the smallest value while we walk step-
### by step; and comparing it with the next coming time value extracted using
### the CURRENT_FILES array.

IFS=!               #INTER FIELD SEPARATOR bash internal variable; check man
                    #page and "bash special parameters" for further info.
                    #Be careful about that, you have been warned! :)
CURRENT_FILES=(`find ${BACKUP_NAME[*]} -printf %f! 2> /dev/null`)
COUNTER=0
DEPTH_COUNTER=$[$DEPTH-1]
MOST_AGED_FILE=${CURRENT_FILES[0]}
FILE_1_BIRTH=$(stat -c%Y ./${CURRENT_FILES[0]})
for i in ${CURRENT_FILES[*]}; do
   let COUNTER++
   let DEPTH_COUNTER--
   ## DEBUG  echo ${i}
   ## DEBUG  echo ${CURRENT_FILES[$COUNTER]}
   FILE_2_BIRTH=$(stat -c%Y ./${CURRENT_FILES[$COUNTER]})
   ## DEBUG  echo -e "File_1 BIRTH $FILE_1_BIRTH"
   ## DEBUG  echo -e "File_2 BIRTH $FILE_2_BIRTH \n"
   if [[ $FILE_1_BIRTH > $FILE_2_BIRTH ]]
      then
      ## DEBUG  echo $[$FILE_1_BIRTH-$FILE_2_BIRTH]
      FILE_1_BIRTH=$FILE_2_BIRTH
      MOST_AGED_FILE=${CURRENT_FILES[$COUNTER]}
      ## DEBUG  echo -e "Most aged file (else): $MOST_AGED_FILE \n--------------
----------------------------------------"
   fi

   if [[ $DEPTH_COUNTER == 0 ]]
      then
      DECIDED_BACKUP_NAME=$MOST_AGED_FILE
      warning_selector 2
      backup_procedure
   fi
done
echo "A Real Stupid Thing Happened. Check The Script"
return 1
exit
```

Yapılandırmış olduğumuz sunucuya ve yerel ağımıza kablosuz olarak erişmek mümkün olduğu gibi, internet üzerinden VPN yada SSH bağlantısıyla erişim sağlanabilmektedir. Kullanıcılarımıza sunmuş olduğumuz bu erişim imkanları, laboratuvardan uzakta olsalar bile çalışmalarını görmelerine ve İTÜ üzerinden makale taraması yapmalarına da olanak tanımaktadır.



Şekil A.1 : Laboratuvarımızın ağ topoloji haritası

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hasan Esen Kuşluoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul /17-09-1979

Lisans Üniversite: Anadolu Üniversitesi / Fen Fakültesi / Fizik Bölümü