

**HOLOGRAFİK DEFORMASYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİYLE NÜVE
MALZEMELERİN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

Ufuk ŞAN


**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Ocak 2015**

KABUL:

Ufuk ŞAN tarafından hazırlanan "HOLOGRAFİK DEFORMASYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİYLE NÜVE MALZEMELERİN PERFORMANSININ ÖLÇÜLMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 08/01/2015

Başkan : Doç. Dr. Zehra SARAÇ
Bülent Ecevit Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Muhammet UZUNTARLA
Bülent Ecevit Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ERKAYMAZ
Bülent Ecevit Üniversitesi



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım. .../.../2015



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Ufuk ŞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HOLOGRAFİK DEFORMASYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİYLE NÜVE MALZEMELERİN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Ufuk ŞAN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra SARAÇ

Ocak 2015, 93 Sayfa

Holografik deformasyon ölçüm yöntemleri kullanılarak nüve malzemelerin performansının araştırılmasının amaçlandığı bu çalışmada dijital holografinin iki farklı uygulaması kullanılmıştır. Manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemelerde meydana gelen güç kayıpları, nüve malzemenin kalınlığına ve hacmine bağlı olarak değişen bir yapıdadır. Yapılan çalışmada manyetik alanın etkisiyle deformasyona bağlı olarak nüve malzemelerin yapmış oldukları iş miktarları hesaplanmıştır. Nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarının bilinmesi hangi malzemenin daha iyi bir nüve malzeme karakteristiği göstereceğinin tespit edilmesi açısından önemlidir.

Yapılan çalışmada iki farklı teknik kullanılmıştır. Dijital holografik interferometri yöntemi ile deformasyon işlemi uygulanmadan nüve örneğinin holografik görüntüsü kaydedilmiştir. Daha sonra örneğe manyetik alan uygulanmış ve örneğin manyetik alan etkisi altındaki yeni

ÖZET (devam ediyor)

holografik görüntüsü kaydedilmiştir. Her iki holografik görüntü arasındaki faz farkı tespit edilmiştir. Elde edilen faz farkı kullanılarak ve çeşitli algoritmalar geliştirilerek statik manyetik alanın nüve örneğine yaptırmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir.

Faz kaydırmalı dijital holografik interferometri tekniği ile cisme deformasyon işlemi uygulanmadan nüve örneğinin 4 farklı holografik görüntüsü kaydedilmiştir. Daha sonra örneğe manyetik alan uygulanmış ve nüve örneğinin manyetik alan etkisi altındaki 4 farklı hologramı kaydedilmiştir. Örneğin her iki durumu arasındaki faz farkı tespit edilmiştir. Elde edilen faz farkı kullanılarak ve çeşitli algoritmalar geliştirilerek statik manyetik alanın nüve örneğine yaptırmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir. Daha sonra statik manyetik alan şiddetinin değeri değiştirilmiştir ve daha önce uygulanan işlemler yeni durum için tekrar uygulanmıştır. İki farklı yöntemle elde edilen sonuçlar her iki durum için birbirleriyle karşılaştırılmış ve bu çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nüve malzeme, Dijital holografik interferometri, Faz kaydırmalı dijital holografik interferometri, Manyetik alan etkisi

Bilim Kodu: 609.04.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATING PERFORMANCE OF CORE MATERIALS BY USING HOLOGRAPHIC DEFORMATION MEASUREMENT METHODS

Ufuk ŞAN

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Zehra SARAÇ

January 2015, 93 Sayfa

Investigating performance of core materials is intended by using holographic deformation measurement methods in this study, two different applications of digital holography are used. Power losses occur in the core materials which are exposed to effect of magnetic field, is a changing structure depends on thickness and volume of core materials. In this study, amount of work due to deformation is done by core materials under effect of magnetic field, is computed. Knowing the amount of work done by core samples is important for detection of which sample has better core material characteristic.

Two different techniques are used in this study. The holographic image of core sample which isn't applied deformation process is recorded by digital holographic interferometry method. Then, magnetic field applied to sample and new holographic image of sample under effect of magnetic field is recorded. It is identified phase difference between both holographic images. The amount of work done by core sample due to effect of magnetic field is computed by using phase difference which is obtained and improving different algorithms.

ABSTRACT (continued)

The 4 different holographic images of core sample which isn't applied deformation process are recorded by phase shifting digital holographic interferometry method. Then, magnetic field applied to sample and new 4 holographic images of sample under effect of magnetic field are recorded. It is identified phase difference between both situation of sample. The amount of work done by core sample due to effect of magnetic field is computed by using phase difference which is obtained and improving different algorithms. After that the value of static magnetic field intensity is changed and previously procedures is applied again for this new condition. The results obtained both different methods are compared each other and proposed in this study

Keywords: Core material, Digital holographic interferometry, Phase shifting digital holographic interferometry, Magnetic field effect

Science Code: 609.04.01

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşturulma aşamasında her tÜrlÜ katkı ve desteğini benden esirgemeyen, bilgi ve birikimlerini benimle paylaŐarak eksiklerimi görmemde büyük katkısı olan, çalışma azmi ve kararlılığı ile bana yön veren, yüksek lisans öğrencilerinden biri olmaktan onur duyduğum danıŐman hocam Sn. Hocam Doç. Dr. Zehra SARAÇ'a sonsuz minnet ve Őükranlarımı sunarım.

Sabır ve büyük bir özveriyle beni yetiŐtiren, hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyerek her an yanımda varlıklarını hissettiren çok kıymetli aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR..... | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xvii |
| | |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 HOLOGRAFİ VE TEMEL PRENSİPLERİ | 5 |
| | |
| 2.1 IŞIK VE ÖZELLİKLERİ | 5 |
| 2.1.1 Işığın Girişimi..... | 9 |
| 2.1.2 Işığın Kırınımı | 12 |
| 2.2 HOLOGRAFİ NEDİR..... | 15 |
| 2.2.1 Holografinin Gelişimi | 15 |
| 2.2.2 Holografinin Temel Prensipleri..... | 19 |
| 2.2.3 Dijital Holografî ve Prensipleri | 21 |
| | |
| BÖLÜM 3 İNTERFEROMETRE..... | 27 |
| | |
| 3.1 HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİ | 27 |
| 3.2 DHİ VE DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ..... | 29 |
| 3.3 FKDHİ VE DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ | 31 |

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| BÖLÜM 4 NÜVE KAYIPLARI..... | 33 |
| 4.1 NÜVE KAYIPLARININ ÇEŞİTLERİ | 33 |
| 4.1.1 Histerisiz Kayıpları..... | 34 |
| 4.1.2 Girdap Akımı Kayıpları | 37 |
| 4.1.3 Anormal Kayıplar | 38 |
| 4.2 TEST SİSTEMİNDEKİ NÜVE MALZEMENİN PERFORMANSI İLE GÜÇ KAYIPLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ | 40 |
| BÖLÜM 5 DENEYSEL OLARAK STATİK MANYETİK ALANIN ETKİSİ İLE NÜVE MALZEMELERİN YAPMIŞ OLDUĞU İŞ MİKTARLARININ ÖLÇÜLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI | 43 |
| 5.1 İŞ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ İÇİN KULLANILAN DHİ SİSTEMİ | 47 |
| 5.2 İŞ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ İÇİN KULLANILAN FKDHİ SİSTEMİ | 50 |
| 5.3 İŞ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ İÇİN KULLANILAN İŞARET İŞLEME ALGORİTMASI | 51 |
| 5.3.1 DHİ Sisteminde Kullanılan İşaret İşleme Algoritması | 51 |
| 5.3.2 FKDHİ Sisteminde Kullanılan İşaret İşleme Algoritması | 53 |
| 5.3.3 Faz Bilgisi Bulunan Dijital Hologramlar Kullanılarak Nüve Malzemenin Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespit Edilmesi | 56 |
| 5.4.1 M3 Kalite Sacın Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespiti..... | 57 |
| 5.4.2 M4 Kalite Sacın Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespiti..... | 64 |
| 5.4.3 M5 Kalite Sacın Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespiti..... | 71 |
| BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 81 |
| KAYNAKLAR | 85 |
| ÖZGEÇMİŞ | 93 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Yapıcı girişim..... | 10 |
| 2.2 Bozucu girişim | 10 |
| 2.3 Michelson girişimölçeri..... | 11 |
| 2.4 Young girişimölçeri..... | 12 |
| 2.5 Huygens prensibi..... | 13 |
| 2.6 Işığın kırınımı $\lambda \geq d$ | 13 |
| 2.7 Fresnel kırınımı | 14 |
| 2.8 Fraunhofer kırınımı | 15 |
| 2.9 Gabor'un hologram kaydetme düzeneği..... | 16 |
| 2.10 Holografının temel prensipleri (a) Hologram kaydetme; (b) Yeniden oluşturma | 17 |
| 2.11 a) Hologram kaydetme, b) Kaydedilen hologramdan görüntünün yeniden oluşturulması..... | 19 |
| 2.12 Eksen dışı holografide yeniden yapılandırma işlemi | 21 |
| 2.13 a) Dijital holografik kayıt, b) Görüntünün yeniden elde edilme şeması | 22 |
| 2.14 Dijital hologramın geometrik düzeneği..... | 23 |
| 3.1 Holografik interferometri kaydı ve yeniden oluşturulması | 28 |
| 3.2 DHİ uygulaması | 30 |
| 3.3 Faz kaydırmalı dijital holografi düzeneği..... | 31 |
| 4.1 180 ⁰ lik domain duvarları | 34 |
| 4.2 Histerisiz eğrisi..... | 35 |
| 4.3 Histerisiz çevrimindeki enerji değişimleri..... | 36 |
| 4.4 Girdap akımlarının oluşumu, a) Bütün haldeki manyetik malzeme, b) Yalıtılmış ince saclardan oluşan manyetik malzeme | 37 |
| 4.5 Elektrik çeliklerinin uygun frekanslardaki mıknatıslanma eğrisi | 39 |
| 4.6 Frekansa Bağlı Kayıp Bileşenleri..... | 40 |
| 5.1 DHİ kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarının tespit edilmesi algoritması..... | 45 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.2 FKDHİ yöntemi ile nüve malzemelerin yaptığı iş miktarının tespit edilmesinin akış şeması. | 46 |
| 5.3 Cismin dijital hologramının kaydedilmesi. | 47 |
| 5.4 Cismin manyetik alan etkisi altındaki dijital hologramının kaydedilmesi. | 47 |
| 5.5 Cismin dijital hologram kaydı. | 48 |
| 5.6 Cismin manyetik alan etkisi altında hologram kaydı. | 49 |
| 5.7 Holografik görüntüsü çekilen bir nüve örneği. | 50 |
| 5.8 FKDHİ kayıt düzeneği. | 51 |
| 5.9 a) Nüve örneğinin deformasyondan önceki hologramı, b) Nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakıldığı durumdaki hologramı. | 51 |
| 5.10 Faz kaydırmalı dijital holografi kullanılarak manyetik alanın etkisine maruz bırakılmayan malzeme için sadece referans dalganın fazı 4 farklı şekilde değiştirilerek elde edilen hologramlar. | 54 |
| 5.11 Faz kaydırmalı dijital holografi kullanılarak manyetik alana maruz bırakılan nüve malzeme için sadece referans dalganın fazı 4 farklı şekilde değiştirilerek elde edilen hologramlar. | 55 |
| 5.12 M3 kalite nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramı. | 57 |
| 5.13 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M3 nüve örneğinin dijital hologramı. | 58 |
| 5.14 DHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 59 |
| 5.15 DHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 60 |
| 5.16 M3 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramları. | 61 |
| 5.17 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M3 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen hologramları. | 62 |
| 5.18 FKDHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 63 |
| 5.19 FKDHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 64 |
| 5.20 M4 kalite nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramı. | 65 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.21 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M4 nüve örneğinin dijital hologramı | 65 |
| 5.22 DHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 66 |
| 5.23 DHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 67 |
| 5.24 M4 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramları..... | 68 |
| 5.25 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M4 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen hologramları..... | 69 |
| 5.26 FKDHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 70 |
| 5.27 FKDHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 71 |
| 5.28 M5 kalite nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramı. | 71 |
| 5.29 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M5 nüve örneğinin dijital hologramı. | 72 |
| 5.30 DHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M5 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı..... | 73 |
| 5.31 DHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı..... | 74 |
| 5.32 M5 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramları..... | 75 |
| 5.33 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M5 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen hologramları..... | 76 |
| 5.34 FKDHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M5 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 77 |
| 5.35 FKDHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M5 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı. | 78 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Geleneksel holografi ile dijital holografi arasındaki farklar | 18 |
| 4.1 Nüve malzemelerin kalınlığa bağlı kayıp değerleri..... | 41 |
| 5.1 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemelerin (M3 M4 M5) yaptıkları iş miktarlarının ortalama değerleri. | 79 |
| 5.2 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemelerin (M3 M4 M5) yaptıkları iş miktarlarının ortalama değerleri. | 79 |
| 5.3 Nüve malzemelerin farklı manyetik alan etkisi altındaki kayıp değerleri | 79 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| w | : Açısal frekans |
| λ | : Dalga boyu |
| E | : Elektrik alan şiddeti |
| φ, ϕ, θ | : Faz sabitleri |
| h | : Hologram fonksiyonu |
| c | : Işığın yayılma hızı |
| k | : Dalga sayısı |
| ∇^2 | : Laplas operatörü |
| τ | : Pozlama süresi |
| h_0 | : Genlik geçirgenliği |
| I | : Işığın şiddeti |
| E_c | : Cisim dalgasının genliği |
| E_r | : Referans dalganın genliği |
| H | : Manyetik alan şiddeti |
| σ | : Elektriksel iletkenlik |
| B_m | : Maksimum manyetik akı yoğunluğu |
| J | : Akım yoğunluğu |
| P_h | : Histerisiz kaybı |
| k_h | : Histerisiz kayıp katsayısı |
| P_g | : Girdap akımı kaybı |
| k_g | : Girdap akımı kaybı katsayısı |
| P_a | : Anormal kayıplar |
| k_a | : Anormal kayıp katsayısı |
| P_t | : Toplam kayıp |
| f | : Frekans |
| n | : Steinmetz sabiti |
| Im | : Karmaşık sayının sanal kısmı |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

| | |
|---------|--|
| Re | : Karmaşık sayının gerçek kısmı |
| ζ | : Tork |
| F | : Manyetik alan kuvveti, Fresnel katsayısı |
| a | : Yarık genişliği |
| L | : Gözlemlenen noktanın yarığa uzaklığı |
| T | : Tesla |
| * | : Kompleks eşlenik |

KISALTMALAR

| | |
|----------|---|
| DHİ | : Dijital Holografik İnterferometri |
| FKDHİ | : Faz Kaydırmalı Djital Holografik İnterferometri |
| CCD | : Charged Coupled Devices |
| CMOS | : Complimentary Metal Oxide Semiconductor |
| 3B | : 3 Boyut |
| FDA | : Fourier Dönüşüm Algoritması |
| DC | : Direct Current |
| Off-axis | : Eksen dışı |
| On-axis | : Eksen içi |
| IB | : Işın Bölücü |
| NYF | : Nötr Yoğunluk Filtresi |
| Si-Fe | : Silisyum – Demir karışımı |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerjiye olan bağımlılık her geçen gün artmaktadır. Dünyada üretilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmı elektrik makineleri tarafından tüketilmektedir. Dünyadaki enerji kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Bundan dolayı enerji verimliliği önemli bir konu haline gelmiştir. Elektrik makinelerinin verimliliğinde yapılacak olumlu bir düzenleme bu cihazlarda büyük miktarda enerji tasarrufuna neden olacaktır. Verimliliğin artırılması için bu cihazlarda meydana gelen güç kayıplarının azaltılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar güç kayıplarının önemli bir kısmının elektrik makinelerinin çekirdek kısmını oluşturan nüve malzemelerden kaynaklandığını ortaya koymuştur (Alkar 2009). Bu çalışmada özellikle transformatör gibi cihazlarda kullanılan nüve malzemelerin statik manyetik alan etkisinde nasıl davrandıklarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Nüve malzemenin manyetik alanın etkisi ile yapmış olduğu mekanik iş miktarı dijital holografik interferometri (DHİ) ve faz kaydırmalı dijital holografik interferometri (FKDHİ) yöntemleri ile ayrı ayrı hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Güç kayıplarının ölçümü için literatürde elektriksel yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntem ile literatürde kullanılan yöntemler arasında teorik olarak bir bağlantı bulunmamaktadır (Zhong et al. 2007, Alkar 2009). Bu çalışmada kullanılan sistemde manyetik özellik gösteren nüve malzemeye statik bir manyetik alan uygulanmıştır ve uygulanan kuvvet cismin bir miktar dönmesine neden olmuştur. Deneysel olarak kurulan sistem ve bilgisayar ortamında geliştirilen algoritmalar kullanılarak nüve malzemenin dönmesi sonucu meydana gelen mekanik enerji miktarı hesaplanmıştır. Manyetik özellik gösteren nüve malzemelerin statik bir manyetik alan altında yapmış oldukları iş miktarının tespit edilmesindeki amaç hangi nüve malzemenin daha iyi olduğunun tespit edilmesidir. Literatürde var olan kayıp sonuçları kullanılarak ve kurulan sistemden elde edilecek sonuçlar göz önüne alınarak hangi nüve malzemenin iyi bir nüve malzeme özelliği göstereceği ve güç kayıplarının hangi malzemelerde daha az meydana geleceği tahmin edilecektir.

Bu çalışmanın temelini dijital holografının uygulamaları olan DHİ ve FKDHİ yöntemleri oluşturmaktadır. Dijital holografi yönteminin kullanılmasındaki amaç ise nüve malzemenin yaptığı iş miktarının hassas ve doğru bir şekilde belirlenmesine olanak sağlaması, pratik şekilde kurulabilir ve kullanılabilir olması ayrıca temassız bir ölçme yöntemi olmasıdır. Diğer çalışmalardan farklı olarak statik bir manyetik alanın nüve malzemeye yaptırmış olduğu iş miktarı ilk kez dijital holografının farklı yöntemleriyle hesaplanmıştır. Holografi, ilk olarak Denis Gabor tarafından 1948 yılında keşfedilmiş olan üç boyutlu bir görüntüleme tekniğidir (Schnars and Jueptner 2005). Holografi yöntemiyle bir dalga alanının şiddet ve faz bilgileri kaydedilebilir ve yeniden oluşturma işlemi gerçekleştirilebilir (Gabor 1948, 1949, 1951). Holografi yöntemi, cisme ait üç boyutlu görüntü elde edilmesinin yanında interferometrik olarak hassas ölçüm yapılmasına imkân tanır (Bayraktar ve Özcan 2008). Holografi, cisme ait şiddet ve faz bilgisini kaydedebilmektedir ve bu yönüyle normal bir fotoğraftan ayrılır (Kreis 2005). Holografik olarak kaydedilen görüntü nesneden yansıyan dalga ile referans dalga olarak isimlendirilen eş fazlı bir dalganın girişim deseni oluşturmuş halidir. Cisme ait tüm bilgiler bu girişim deseninde mevcuttur ancak yüksek uzaysal frekanstan dolayı insan gözüyle görülebilmesi mümkün değildir. Girişim deseni holografik bir ortama kaydedilir (Hariharan 2002) ve kaydedilen ortam yine referans dalgasıyla aydınlatılırsa cisme ait dalga yeniden oluşturulabilir. Herhangi bir gözlemci yeniden oluşturulan dalgadan üç boyutlu cisme ait tüm perspektif ve derinlik bilgilerini gözlemleyebilir (Schnars and Jueptner 2005).

Holografının temel uygulamalarından birisi de Stetson ve Powell tarafından geliştirilen holografik interferometridir (Powell and Stetson 1965, Stetson and Powell 1965). Holografik interferometri pürüzlü yüzeylerdeki mesafe değişimlerini doğru bir şekilde ve mikrometre mertebelerindeki hassasiyetle ölçüm yapmaya imkan tanır. Ayrıca farklı zamanlarda kaydedilmiş cisme ait dalgaların interferometrik olarak ölçümü gerçekleştirilebilir (Schnars and Jüptner 2005). Gelişen teknolojiyle birlikte dijital cihazlar kullanılarak üç boyutlu (3B) cismin holografik görüntüsü kaydedilebilir ve dijital ortamda yeniden oluşturulabilir (Ripoll et al. 2004, Abookasis and Rosen 2006, Schnars and Jueptner 2002).

Dijital holografi, cisme ait holografik görüntünün bir CCD kamera veya CMOS kamera kullanılarak dijital ortama kaydedilmesi olarak adlandırılmaktadır (Seebacher et al. 1998). Dijital holografi geniş bir kullanım alanı olan bir ölçüm tekniğidir. Holografik görüntüsü kaydedilen cismin faz bilgisinden yararlanılarak cisim üzerine etkiyen kuvvete bağlı olarak cisimde meydana gelen değişimler ölçülebilmektedir. Yapılmış olan çalışmalarda (Bayraktar

ve Özcan 2008, Seebacher et al. 1997, Seebacher et al. 1998, Schnars 1994, Schnars and Juptner 1994) elde edilen sonuçların doğru ve hassas olmasının yanı sıra kolay bir biçimde uygulanabilir olması bu yöntemin tercih edilme sebebidir. Kullanılan test sistemi ilk kez Seebacher ve arkadaşları tarafından manyetik kuvvetin yaratmış olduğu deformasyon miktarını belirlemek için kullanılmıştır (Seebacher et al. 1997, Seebacher et al. 1998). DHİ kullanarak manyetik kuvvete bağlı olarak cisimde meydana gelen bükülme miktarını hesaplamışlardır. Bu çalışmanın esas yapısını da bu fikir oluşturmuştur. Bu çalışmanın farklı olduğu nokta ise cismin yaptığı mekanik iş miktarı tespit edilecektir ve elde edilen veriler sonucunda test edilecek nüve malzemenin kalitesi hakkında bilgiye sahip olmak amaçlanmıştır.

Aynı ebatlara sahip nüve örneklerine manyetik bir kuvvetin uygulanması sonucunda nüve malzemelerde dönme meydana gelecektir. Bu dönme miktarına bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı hesaplanacaktır. Çalışmanın ilk aşamasında DHİ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle öncelikli olarak örneğin deformasyona uğramamış durumdaki holografik görüntüsü kaydedilecektir. Daha sonra örneğe manyetik alan uygulanacaktır. Cisme manyetik alan şiddeti uygulanmasıyla birlikte cismin yeni durumdaki holografik görüntüsü kaydedilecektir. Her iki görüntünün faz bilgisi ayrı ayrı Fourier Dönüşüm Algoritması (FDA) kullanılarak çıkarılacaktır (Takeda and Mutoh 1983, Takeda et al 1996) Elde edilen faz bilgileri interferometrik olarak birbirleriyle karşılaştırılacak ve iki görüntü arasındaki faz farkı hesaplanacaktır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve cisme uygulanan manyetik alan şiddetinden yola çıkılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilecektir.

Yapılan çalışmanın ikinci aşamasında ise örneğe herhangi bir etki uygulanmadan 4 farklı hologramı çekilecektir. 4 farklı hologram elde edebilmek için Faz Kaydırma Dijital Holografi tekniği (Yamaguchi and Zhang 1997, Zhang and Yamaguchi 1998) kullanılarak referans dalgaının fazları sırasıyla $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ olacak şekilde kaydırılarak elde edilen dört hologramdan tek bir hologram ifadesi çıkarılacaktır. Daha sonra aynı işlemler örneğe manyetik alan uygulandıktan sonra tekrar edilecektir ve örneğin her iki durumdaki faz ifadeleri ayrı ayrı çalışmada önerilen FDA yöntemi kullanılarak bulunacaktır. Elde edilen faz bilgileri interferometrik olarak birbirleriyle karşılaştırılacak ve iki görüntü arasındaki faz farkı hesaplanacaktır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve cisme uygulanan manyetik alanın şiddetinden yola çıkılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilecektir.

Çalışmanın son aşamasında ise uygulanan manyetik alan şiddetinin miktarı değiştirilecektir. Farklı manyetik alan etkisi altındaki nüve örneklerinin yapmış olduğu iş miktarları her iki yöntemle hesaplanacaktır. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olup olmadığı tespit edilecek ve elde edilen değerler tablo halinde sunulacaktır. Sonuçta denilebilir ki manyetik alanın nüve malzemeyi döndürme miktarı ve buna bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu mekanik iş miktarı ne kadar fazla ise o nüve malzeme o kadar iyi bir nüve malzemedir. Çünkü nüvenin hacmi literatürde kayıplarla doğru orantılıdır. Aynı kesitlerde fakat kalınlıkları farklı nüve malzemelerden kalınlığı en fazla olan nüve malzemedeki kayıp daha çok meydana gelir ve aynı zamanda daha kalın malzeme daha zor döneceğinden dolayı daha az iş yapmış olacaktır. En ince malzeme olan nüve malzeme ise en küçük hacme sahip olduğundan daha az kayba neden olacaktır. Manyetik alanın etkisiyle ince malzeme daha fazla döneceğinden daha fazla iş yapmış olacaktır. Dolayısıyla nüve malzemelerde meydana gelen kayıplarla malzemelerin statik bir manyetik alan etkisi altında yapmış oldukları iş miktarları ters orantı göstermesi beklenmektedir.

BÖLÜM 2

HOLOGRAFİ VE TEMEL PRENSİPLERİ

Holografi ve holografik interferometriyi incelemeden önce holografıyı meydana getiren girişim ve yayılım gibi olaylara neden olan ışığın yapısını incelemek oldukça önemlidir. Holografik kaydı ve yeniden oluşturma işleminin daha iyi anlaşılabilmesi için ışığın dalga özelliklerinin verilmesi yerinde olacaktır. Holografide iki dalga alanı vardır. Bunlardan birisi referans dalga olarak adlandırılan dalga alanı, diğeri ise cisim dalgası olarak adlandırılan dalga alanıdır (Kreis 2005). Bu kompleks dalga alanlarının elektromanyetik dalga olarak meydana getirdikleri girişim olayı bizi ilgilendiren ana husustur. Optik devreyi düşündüğümüzde ise girişim meydana gelene kadar dalgaların serbest uzayda yayılımı Maxwell denklemlerine ve skaler dalga denklemine göre olacaktır. Öte yandan ışığa optik elemanların verdiği yanıtta önemlidir. Girişim olayı meydana gelene kadar devredeki optik elemanlarda kırınım olayı da önem arz etmektedir. Bu olaylara burada kısaca değinilecektir.

2.1 IŞIK VE ÖZELLİKLERİ

Işık hem tanecik hem de dalga özelliği gösteren bir yapıya sahiptir. 1700'lü yıllarda ışık için iki ayrı teori geliştirilmiştir. Newton, ışığın tanecik yapısına sahip olduğu teorisini geliştirirken Huygen ise ışığın dalga özelliğini gösterdiği teorisini geliştirmiştir (Wilson and Hawkes 2000). Enerji arttıkça ve dalga boyu küçüldükçe artık ışık dalga doğasını bırakıp parça gibi davranmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dalga boyu görünür bölgededir ve meydana gelen olaylar ışığın dalga doğası göz önüne alınarak düşünülecektir. Işık uzayda enine doğru yayılan bir elektromanyetik dalga olarak düşünülebilir. Çünkü elektrik ve manyetik alanlar birlikte yayılırlar. Elektrik ve manyetik alanlar hem birbirlerine dik bir şekilde hem de ışığın ilerlediği doğrultuya dik bir şekilde zamana bağlı olarak değişen bir yayılıma sahiptir (Hariharan 2007). Işığın boşluktaki yayılımı Maxwell eşitliklerindeki dalga denklemleri kullanılarak ifade edilebilir. Bunun yanında elektromanyetik dalgalarda Maxwell

eşitliklerinde uyarlar. Öyleyse ışığın boşluktaki yayılımını şu şekilde tarif edilebilir (Kreis 2005):

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (2.1)$$

Elektrik alanı \mathbf{E} ile ifade edilirken, t zaman ifadesi, c ise dalganın yayılma hızı olarak adlandırılan boşluktaki ışık hızı demektir.

$$c \cong 3 \times 10^8 \left(\frac{m}{s} \right) \quad (2.2)$$

Laplas operatörü ∇^2 sembolüyle gösterilir;

$$\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Elektriksel alan \vec{E} vektörel bir niceliktir. Yani ışığın yayılım doğrultusuna dik bir şekilde her hangi bir yönde salınım yapar. Buna rağmen birçok uygulamada dalga sadece tek bir alanda salınır. Bu şekilde salınım yapan dalga lineer olarak kutuplanmış dalga olarak isimlendirilir. z yönünde yayılan lineer kutuplanmış bir dalgaya ait skaler dalga eşitliği;

$$\frac{\partial E}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad (2.4)$$

Bu denklemin çözümü lineer olarak kutuplanmış harmonik bir düzlem dalga olursa;

$$E(z, t) = E_0 \cos(kz - wt) \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir.

Genlik kuvveti E_0 olarak ifade edilir ve $(kz - wt)$ ise dalganın faz ifadesini vermektedir. Dalga sayısının k dalga boyu ile ilişkisi ise

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.6)$$

Şeklinde gösterilmektedir. Görülebilen ışığın dalga boyu 400 nm (mor) ile 780 nm (koyu kırmızı) arasında değişmektedir. Bu dalga boylarına bağlı olarak frekans ise yaklaşık olarak $7,5 \times 10^{14}$ ile 4×10^{14} arasında değişmektedir. Örneğin, kırmızı ışıklı helyum-neon lazer için λ dalga boyu $632,8 \text{ nm}$ dir (Schnars and Jueptner 2005).

Açısal frekans ışık dalgasının frekansı ν ile ilişkilidir ve şu şekilde ifade edilir:

$$\omega = 2\pi\nu \quad (2.7)$$

ν frekans olarak adlandırılır ve bir saniyedeki periyot sayısı olarak ifade edilir. Frekansın dalga boyu olan λ ile ışık hızı c kullanılarak ilişkilendirilmesi,

$$c = \lambda\nu \quad (2.8)$$

Eğer $t = 0$ anında ve $x = 0$ konumunda genlik ifadesi maksimum genliğe eşit değilse o zaman eşitlik 2. 5'e faz φ eklenmelidir. Yeni ifade;

$$E(z, t) = E_0 \cos(kz - \omega t + \varphi) \quad (2.9)$$

Eğer bu ifade periyoda T bağlı olarak yeniden ifade edilecek olursa,

$$E(z, t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}z - \frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (2.10)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. Kompleks matematiksel işlemler yapmaktansa Euler formülü kullanılarak elde edilen ifade yeniden düzenlenecek olursa;

$$e^{i\alpha} = \cos \alpha + i \sin \alpha \quad (2.11)$$

Sanal birim olan $i = \sqrt{-1}$ eşitliği kullanılırsa, kosinüslü ifade yeniden yazılabilir:

$$\cos \alpha = \frac{1}{2}(e^{i\alpha} + e^{-i\alpha}) \quad (2.12)$$

ve harmonik dalga elde edilen nicelikler kullanılarak yeniden düzenlenirse;

$$E(z, t) = \frac{1}{2} E_0 e^{i(kz - wt + \varphi)} + \frac{1}{2} E_0 e^{-i(kz - wt + \varphi)} \quad (2.13)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki birinci kısım ilerleyen bir elektromanyetik dalgayı gösterirken ikinci toplam yansıma miktarını göstermektedir. Bu yüzden eşitliğin sağ kısmındaki yansıyan kısım istenmediğinden sadece ilerleyen dalganın elektriksel alanı denklem (2.14) ile verilebilir.

$$E(z, t) = \frac{1}{2} E_0 e^{i(kz - wt + \varphi)} \quad (2.14)$$

Düzgün düzlem bir dalganın fazı herhangi bir zamanda dalganın yayılma doğrultusuna dik ve sabittir. Dalganın uzaysal dağılımı ifade edilirken $t = 0$ olarak kabul edilir. Üç boyutlu uzayda uzaysal vektör $r = (x, y, z)$ ve dalga vektörü $k = (k_x, k_y, k_z)$ olarak tanımlanır ve düzlem dalga (Kreis 2005) eşitlik 2.15 ile verilir.

$$E(r, t) = E_0 e^{i(kr - wt + \varphi)} \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.15 düzlem bir dalganın uzayda yayılımını ifade etmektedir. Ama nokta bir kaynaktan çıkan ışık her yöne doğru ışın yapacaktır, ışık dalgası ise küresel bir şekilde yayılacaktır. Küresel dalganın ifadesi ise;

$$E(r, t) = \frac{E_0}{r} e^{i(kr - wt + \varphi)} \quad (2.16)$$

Kaynaktan uzaklaştıkça $1/r$ değeriyle paralel olarak genlik kuvveti E_0/r azalmaktadır. Çok uzak mesafede küresel dalga düzlem dalga gibi davranır (Hariharan 2007).

Işık sadece şiddet olarak ölçülebilen bir parametredir. Bunun sebebi ışın dalgalarının çok yüksek frekanslarda olması ve insan gözü, fotodetektör, fotodiyot gibi ışık algılayıcılarının gerek fiziksel gerekse yapısal nedenlerle bu ışın dalgalarını algılayamamasıdır. Şiddet, ışın süzmesinin birim alanında birim zamanda meydana gelen enerji değişimi olarak tanımlanır (Saleh and Teich 1991).

$$I = \epsilon_0 c E^2 \quad (2.17)$$

Şiddet elektrik alanın karesiyle doğru orantılı olarak değişen bir parametredir. Şiddetin tam değeri hesaplanırken sadece elektrik alanın tam değerinin karesine eşit olarak alınır. Bunun sebebi ise sensörlerin frekansı algılayamamasıdır. Bu yüzden eşitliğin diğer kısmı ihmal edilir (Bateman 1995).

$$I = E_0 E_0^* = |E_0|^2 \quad (2.18)$$

2.1.1 Işığın Girişimi

Girişim, iki veya daha fazla ışık dalgasının uzayda üst üste gelmesi olarak adlandırılır. Her hangi bir noktada bu dalgaların birbirlerini kuvvetlendirmesi veya sönmlemesi sonucu elde edilen şiddet girişim desenini yaratır (Hariharan 2007). Frekansları aynı olan, tek renkli ve aynı dalga boyuna sahip iki dalganın girişim oluşturması için dalgaların aynı zamanda kutuplanma doğrultularının da aynı yönde olması gerekmektedir. Dalgalar, kompleks bileşene sahip denklemler olarak tanımlanacak olunursa;

$$A_1(x, y, z) = a_1 \exp(i\phi_1) \quad (2.19)$$

$$A_2(x, y, z) = a_2 \exp(i\phi_2) \quad (2.20)$$

Her iki dalganın ayrı ayrı toplanmasıyla elde edilen toplam genlik,

$$A = A_1 + A_2 \quad (2.21)$$

eşitlik 2.18'e göre şiddet

$$I = |A_1 + A_2|^2 = (A_1 + A_2)(A_1 + A_2)^* \quad (2.22)$$

$$= a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)$$

$$= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi$$

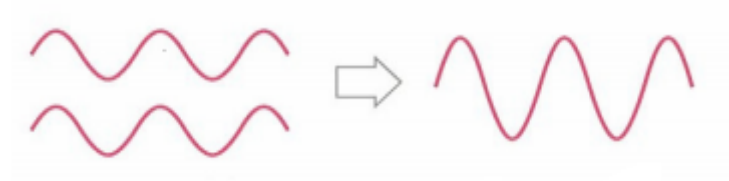
I_1 ve I_2 ışık şiddetleridir ve

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad (2.23)$$

sonuçta elde edilen şiddet, dalgalar arasındaki faz farkına bağlı olan girişim ifadesi $2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$ ile dalgaların şiddetlerinin toplamı olarak tanımlanır. Şiddet maksimum değerine ulaştığı nokta;

$$\Delta\varphi = 2\pi n \quad n = 0,1,2, \dots \quad (2.24)$$

şiddetin maksimum olduğu bu ifadeye yapıcı girişim denilmektedir. Yapıcı girişimin bir örneği şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 Yapıcı girişim (Kaya 2010).

şiddetin minimum değerine ulaştığı nokta ise;

$$\Delta\varphi = (2n + 1)\pi \quad n = 0,1,2, \dots \quad (2.25)$$

şiddetin minimum değerine ulaştığı bu durum ise bozucu girişim olarak adlandırılmaktadır. n tam sayısı girişim derecesi olarak adlandırılmaktadır. Bozucu girişim şekil 2.2’de görülmektedir.



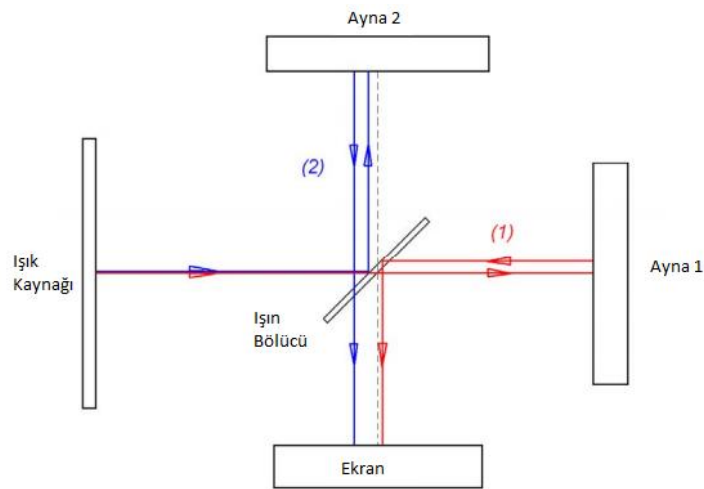
Şekil 2.2 Bozucu girişim (Kaya 2010).

Girişim deseni, yapıcı ve bozucu girişimlerin bir sonucu olarak birbirini takip eden aydınlık ve karanlık saçaklardan oluşur (Schnars and Jueptner 2005).

İyi bir hologram elde etmek için öncelikli olarak iyi bir girişim deseni oluşturmak gerekmektedir. Bu yüzden girişim deseni oluşturmak için ışık kaynağı olarak lazer ışını kullanılmaktadır. Bunun sebebi lazer ışığının çok şiddetli, eş fazlı ve tek renkli bir ışık olmasından kaynaklanmaktadır. Lamba ışığı ile girişim deseni oluşturulması oldukça zordur. Eğer iki farklı ışık kaynağı bir ekran üzerine eklenecek olursa ekranda bir girişim deseni yerine aydınlık bir alan oluşacaktır (Hecht 2005).

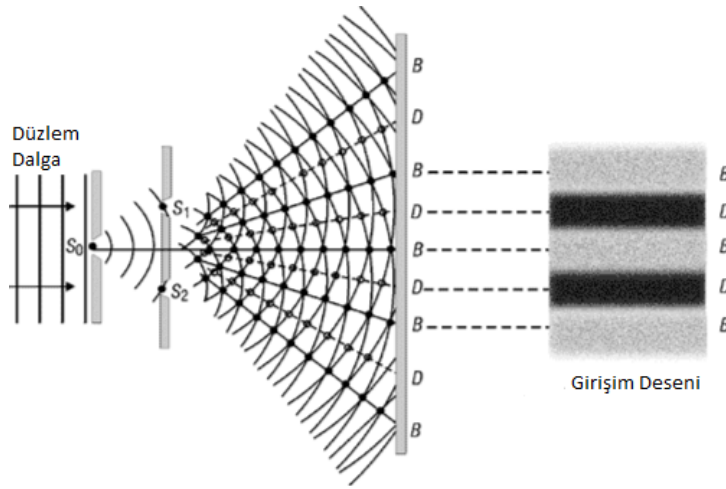
Işık kaynaklarının fazları öyle özel bir şekilde ilişkilendirilmeli ki girişim deseni oluşabilsin. Bu ilişkilendirme işlemi ise eş fazlılık (koherens) anlamına gelmektedir. Eş fazlılık, ışığın girişebilme yeteneğidir ve iki şekilde görülebilir. Zamansal eş fazlılık, dalganın farklı anlarda yine kendisiyle çakışmasıdır. Michelson Girişimölçeri zamansal eş fazlılık gerektirir. Diğeri ise uzaysal eş fazlılık yani ışık dalgasının farklı kısımlarının çakışmasıdır. Young Girişimölçeri ise uzaysal eş fazlılık esasına göre çalışır (Goodman 1968, Lauterborn et al. 1993).

Dalğanın genliğinin bir ışın bölücü kullanılarak bölünmesi işlemi ile oluşturan girişim yöntemi Michelson Girişimölçeri olarak adlandırılır. Şekil 2.3 Michelson Girişimölçeri ile girişim meydana getirmenin deneysel düzeneği gösterilmektedir. Işık kaynağından çıkan ışık ışın bölücü kullanılarak genliği ikiye bölünür. Işın bölücüyle ayrılan iki eş fazlı ve aynı genliğe sahip ışın dalgaları aynalardan yansırarak ışın bölücü üzerinde birleştirilir ve ekranda girişim olayının gözlemlenmesi sağlanır.



Şekil 2.3 Michelson girişimölçeri (URL-3 2014).

Dalga cephesinin bölünerek girişim oluşturulması işlemi ise Young Girişimölçeri olarak adlandırılır. Young Girişimölçerinin oluşumu şekil 2.4'te gösterilmektedir. Düzlem dalgalar S_0 yarığından geçtikten sonra S_1 ve S_2 yarıklarına aynı anda ulaşır. S_1 ve S_2 boşluklarından geçen dalgacıklar aynı cepheden üretilmiş ve uyumlu olmuş olurlar. Bu yarıklardan çıkan dalga cephesi ekranda girişim deseni oluştururlar. Girişim desenindeki aydınlık noktalar yapıcı girişimin oluşturulduğunu, karanlık noktalar ise bozucu girişim oluşturulduğunu anlamına gelmektedir.



Şekil 2.4 Young girişimölçeri (URL-4 2014).

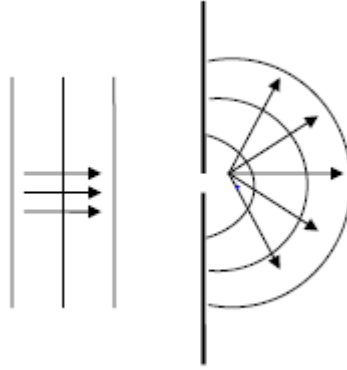
2.1.2 Işığın Kırınımı

Kırınım, ışığın hareketi sırasında yeterince dar bir aralıktan veya engelden geçerken aralığın ya da engelin köşelerine yakın yerlerde bükülme özelliği göstermesi olarak tanımlanır (URL-1 2014). Yani ışık dalgasının bir engelle karşılaşması durumunda dalga cephesinin fazında veya genliğinde meydana gelen değişme kırınım olayını ortaya çıkarır (URL-2 2014). Huygens prensibine göre kırınımın temel özellikleri şu şekilde açıklanır. Işık dalgasının ilerlerken dalga yüzeyinin her noktasının ikinci bir nokta kabul edilmesi ile tahmin edilebilir. Bu ikinci dalgacıklar paketi yeni dalga cephesidir. Her bir nokta kaynaktan çıkan küresel dalgalar üst üste toplanması bir sonraki dalga cephesini ortaya çıkarır (Wilson and Hawkes 2000). Şekil 2.5'te olduğu gibi herhangi bir t anında bir dalga cephesinin konumu bilirse $t + \Delta t$ anındaki konumu, t anında dalgayı oluşturan noktaların yaydığı dalgacık yüzeylerinin toplamıdır (URL-2 2014).



Şekil 2.5 Huygens prensibi (Schnars and Jueptner 2005).

Kırınım olayının gözlenebilmesi için yarıktan geçen dalganın boyunun yarığın boyu ile yaklaşık olarak aynı veya daha büyük olması gerekir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi dalga boyu (λ) yarık aralığından (d) daha büyük olması durumunda daha belirgin bir kırınım gözlemlenmek mümkündür (URL-1 2014).



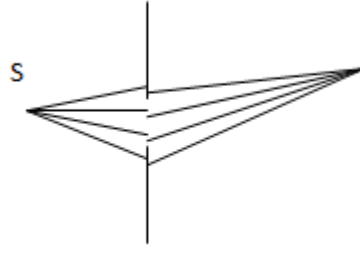
Şekil 2.6 Işığın kırınımı $\lambda \geq d$ (URL-1 2014).

Holografik kayıt gerçekleştirilebilmesi için kullanılan aynalar, mercekler ve diğer optik elemanların kusurları hiçbir zaman giderilemez. Bu yüzden hologram kaydı gerçekleştirilirken kullanılan tüm optik elemanlarda ışık kırınımına maruz kalmaktadır. Kırınım, yakın alan kırınımı (Fresnel kırınımı) ve uzak alan kırınımı (Fraunhofer kırınımı) olarak iki farklı durumda gerçekleşir.

Fresnel kırınımı ya da yakın alan kırınımı, dalganın yarıktan geçerken ekran ile yarık arasındaki mesafeye bağlı olarak ekranda meydana gelen kırınım deseninin yakın alanda oluşmasıdır. Şekil 2.7’de S nokta kaynaktan çıkan her ışın nokta kaynak gibi davranır. Fresnel sayısının 1’den büyük olduğu durumlarda kırınıma uğrayan dalgaların yayıldığı kısa mesafeden dolayı oluşur. Fresnel sayısının nasıl hesaplanması gerektiği denklem 2.26’da gösterilmektedir.

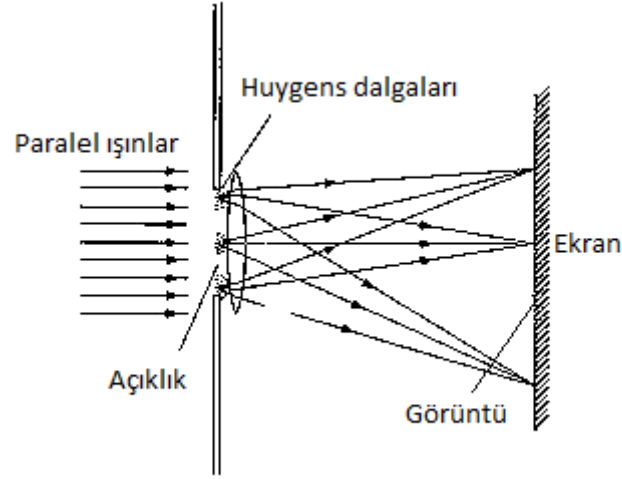
$$F = \frac{a^2}{L\lambda} \quad (2.26)$$

Bu denklemde a yarığın genişliğini, L gözlemlenen noktanın yarığa uzaklığını, F fresnel sayısını ve λ ise dalga boyunu ifade eder (Born and Wolf 1999).



Şekil 2.7 Fresnel kırınımı (URL-2 2014).

Fresnel sayısının 1’den çok küçük olduğu durumlarda yani uzak alanda oluşan kırınım deseni ise Fraunhofer kırınımı olarak adlandırılır. Sonsuz uzaklıktaki noktasal kaynaktan çıkan ışınlar mercekle vasıtasıyla paralel hale getirilir. Paralel gelen ışınlar kırınımına uğrayınca uzakta bulunan ekrana görüntünün oluşumu Şekil 2.8’de gösterilmektedir (Hecht 1987, Jenkins and White 1976).



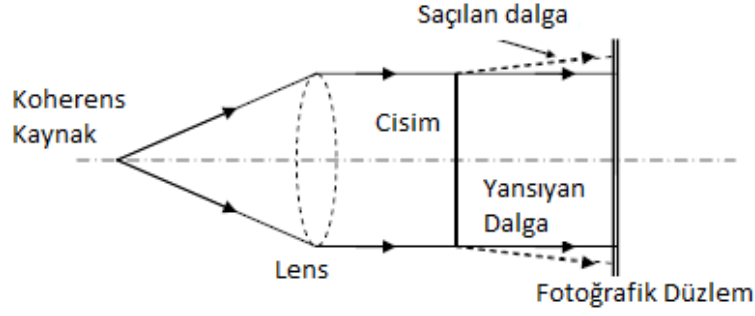
Şekil 2.8 Fraunhofer kırınımı (URL-2 2014).

2.2 HOLOGRAFİ NEDİR

3B ölçüm sistemlerinde optik metotlar uzun zamandır yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar temassız, ölçümü yapılacak cisme zarar vermeyen ve yüksek doğrulukla ölçüm yapmaya imkân veren sistemlerdir. Bilgisayar ve diğer elektronik cihazların kullanımıyla birlikte aynı zamanda daha hızlı, daha güvenilir, daha kullanışlı ve daha sağlam sistemlere dönüştüler. Endüstride üretim kalitesini artırmak, ürün gelişimin hızlanması ve doğru ölçüm ihtiyacının olması bu 3B görüntüleme tekniklerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Aynı zamanda tıbbi görüntüleme sistemlerinde de bu tekniklerin kullanılması yaygındır. Bu bölümde 3B görüntüleme tekniği olan holografî ve onun uygulamaları olan farklı yöntemlerden bahsedilecektir.

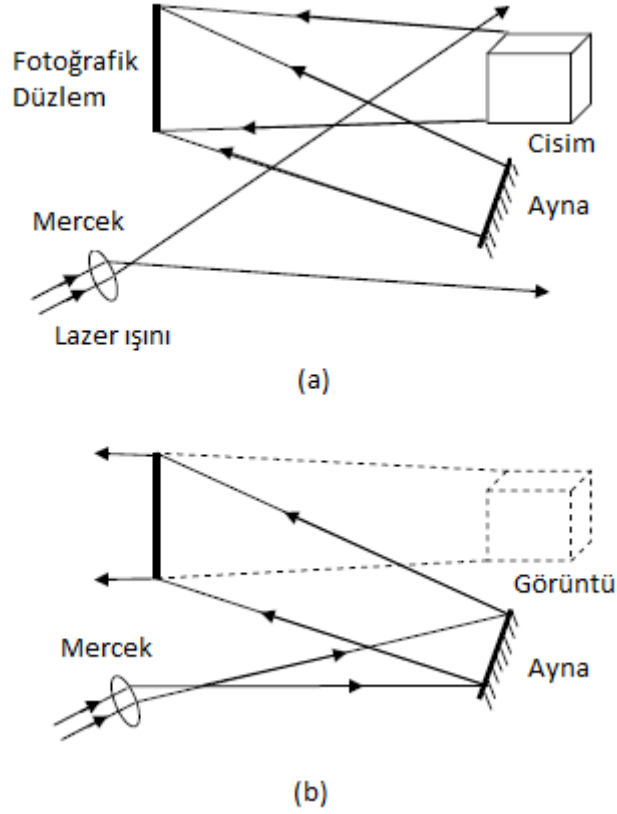
2.2.1 Holografînin Gelişimi

Hologram kelimesi Yunanca kelimelerden tam veya bütün anlamına gelen ‘holos’ kelimesinden ve yazmak anlamına gelen ‘graphien’ kelimesinden ortaya çıkan bir kavramdır (Yan 2009). Dennis Gabor elektron mikroskobunun çözünürlüğünü geliştirmeye yönelik yaptığı çalışmalarda holografînin oluşumunu sağlamıştır (Hecth 2005).



Şekil 2.9 Gabor'un hologram kaydetme düzeneği (Yan 2009).

Eksen içi (on axis) olarak adlandırılan Şekil 2.9'daki holografik düzenekte fotoğrafik düzlem düşük yoğunluklu geçirgen bir cisimden geçen düzlem bir dalgayla aydınlatılmıştır. Cisim dalgası ve referans dalgaların eksenleri birbirlerine doğrusaldır. Referans ve cisim dalgasının girişimi, girişim deseni (hologramı) oluşturmak için fotoğrafik bir düzlem tarafından kaydedilmiştir. Gabor bu yöntemi elektron mikroskobuna uyguladığı zaman, çeşitli sorunlarla karşılaşmıştır. En ciddi sorun yeniden oluşturma işleminde çift görüntü sorunuydu. Bu görüntülerden birisi cismin gerçek görüntüsü diğeri ise hologramın simetrik olarak arkasında olan cismin simetrik bir görüntüsüdür. Yeniden oluşturma işleminde ise cisim dalgası sanal görüntü tarafından oluşturulan sanal cisim dalgasıyla karışıyor ve bu durum cisim dalgasının bozulmasına sebep oluyordu. Çeşitli araştırmacılar bu sorunu çözmek için çalışmalar yapmıştır. (Gabor 1949, Bragg and Rogers 1951, Gabor 1951, Baez 1952). Leith ve Upathnieks (1962, 1963) eksen dışı (off axis) hologram kaydetme düzeneğini kurarak gerçek ve sanal görüntüyü birbirinden ayırmayı başarmışlardır. Kurulan düzeneğin geometrik olarak görünüşü Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10 Holografinin temel prensipleri (a) Hologram kaydetme; (b) Yeniden oluşturma (Yan 2009).

Holografi iki bölümden oluşmaktadır: Hologramın kaydedilmesi ve kaydedilen hologramın yeniden oluşturulmasıdır. Hologramın kaydedilme aşaması Şekil 2.10 (a)'da görülmektedir. Aslında kaydedilen cismin yüzeyinden yansıyan ışık dalgasıyla ve eş fazlı (koherens) olan referans dalganın girişim desenidir. Eğer kaydedilen hologram plakası kullanılan referans dalgayla aydınlatılırsa cisme ait görüntü yine aynı yerde belirecektir. Cisimden yansıyan ışıkla şekillenen bu görüntü cisme ait derinlik ve perspektif özelliklerinin aynısına sahip olacaktır. Holografi bilimsel ve mühendislik çalışmalarında birçok alana uygulanmıştır. Yapılan çalışmalardan bazıları örneklendirilecek olursa, havadaki kimi bileşenlerin yüksek çözünürlükte görüntülenmesi (Thompson et al. 1967), birden çok görüntüleme işlemi (Lu 1968, Groh 1968), bilgisayarda hologram üretilmesi (Lohmann and Paris, 1967), optik elemanların üretilmesi ve hataların düzeltilmesi (Upatnieks et al. 1966), bilgi depolama ve işleme (Stroke et al. 1965, VanderLugt et al. 1965).

Bu yapılan çalışmalar içerisinde holografik interferometri ise holografinin en temel ve en önemli uygulamalarından bir tanesidir. Birbirinden bağımsız çalışan gruplar tarafından hemen hemen aynı zamanda keşfedilmiştir (Brooks et al. 1965, Burch 1965, Collie et al. 1965, Haines and Hildebrand, 1965, Powell and Stetson, 1965). Böylece pürüzlü yüzeylerdeki pürüzlülük mikrometre mertebelerindeki hassasiyetle ölçülebilmektedir. Aynı zamanda farklı zamanda kaydedilen dalgaların birbirleriyle karşılaştırabilmesine zemin hazırlamıştır.

Hologramın CCD kameralar kullanılarak kaydedilmesinin keşfedilmesiyle birlikte kayıt ortamı dijital bir hal almıştır (Schnars and Jueptner 2002). Hologramın yeniden yapılandırma işlemi kimyasal işlemlere gerek duyulmadığından daha hızlı ve kolay bir biçimde yapılabilmektedir. Bir cisimde meydana gelen değişimlerin veya bozulmaların CCD kamera kullanılarak ölçülmesi Dijital Holografik İnterferometri (DHİ) olarak adlandırılmaktadır ve girişim desenindeki faz, direkt olarak dijital olarak kaydedilmiş hologramlardan hesaplanmaktadır. Geleneksel holografiyle dijital holografi arasındaki farklar Çizelge 2.1 de gösterilmiştir.

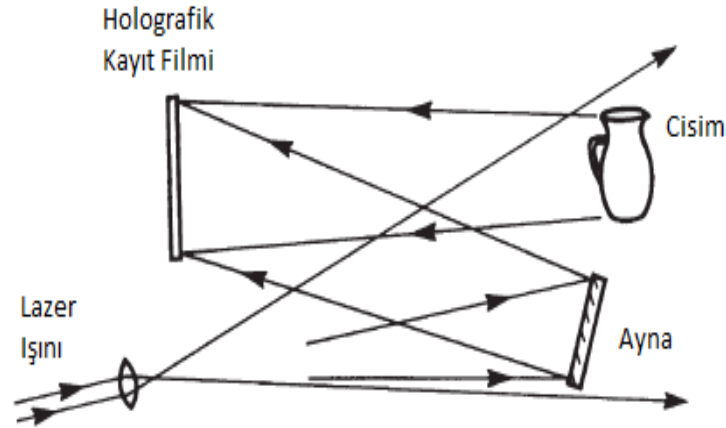
Çizelge 2.1 Geleneksel holografi ile dijital holografi arasındaki farklar.

| Geleneksel Holografi | Dijital Holografi |
|---|--|
| Girişim desenini kaydetmek için fotoğrafik film kullanılır. Görüntünün yeniden yapılandırma işlemi optiksel olarak gerçekleştirilir. | Fotoğrafik filmin yerini CCD veya CMOS kameralar almıştır. Görüntünün yeniden yapılandırma işlemi bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. |
| Islak kimyasal bir işleme ihtiyaç duyulur. | Islak kimyasal işlem iptal edildiğinden holografik işlemin daha hızlı ve kolay bir şekilde oluşması sağlanır. |
| Fotoğrafik film kaydedilen ortam için önemlidir. Çünkü hassasiyeti yüksek olan bir kayıt ortamı kullanmak yüksek kaliteli yeniden oluşturma işlemini sağlarken, kimyasal işlem de zorunludur. | Hologram ilk olarak CCD kamera kullanılarak kaydedilir ve daha sonra sayısal olarak bilgisayarda yeniden oluşturulur. |

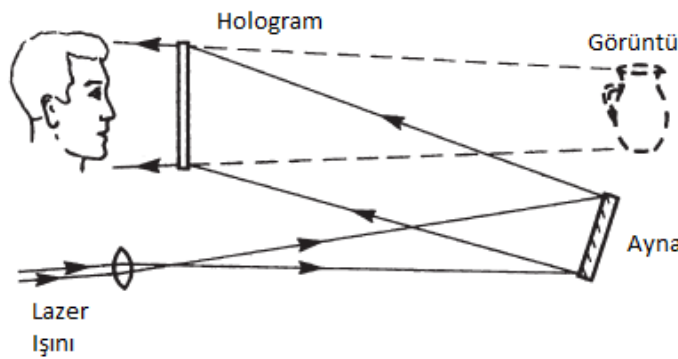
Dijital holografinin geleneksel holografiye oranla avantajları daha fazladır. Birçok açıdan avantaj sağlaması dijital holografinin günümüzde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

2.2.2 Holografinin Temel Prensipleri

Hologramlar genellikle ışık kaynağı (lazer), ışığı yönlendirmek için ayna ve merceklerden ve kayıt yapılacak cihazdan oluşan deney düzeneği kullanılarak oluşturulur. Örnek bir deney düzeneği Şekil 2.11'de görülmektedir (Hariharan 1996, Kreis 1996). Işın bölücü kullanılarak ışık kaynağından çıkan ışın dalgası iki parçaya ayrılmıştır. Bir kısmı cisimi aydınlatırken, ikinci kısım ise referans dalgası olarak adlandırılır ve direkt olarak ışığa duyarlı kayıt ortamını aydınlatmaktadır. Her iki dalga girişim olayını gerçekleştirir ve holografik girişim saçığı fotoğrafik düzleme kaydedilir. Kaydedilen girişim saçığı hologram olarak adlandırılır. Cisim dalgası, hologramın referans dalgasıyla aydınlatılmasıyla Şekil 2.11.(b)'de görüldüğü gibi yeniden oluşturulur. Gözlemci gerçek cisimden ayırt edilemeyen sanal bir görüntü görür.



(a)



(b)

Şekil 2.11 a) Hologram kaydetme, b) Kaydedilen hologramdan görüntünün yeniden oluşturulması (Hariharan 2002).

Holografik işlem matematiksel eşitliklerle ifade edilecek olursa,

$$E_C(x, y) = H_C(x, y)\exp(i\varphi_C(x, y)) \quad (2.31)$$

H_C ve φ_C cisim dalgasının genliğini ve fazını ifade eder.

$$E_R(x, y) = H_R(x, y)\exp(i\varphi_R(x, y)) \quad (2.32)$$

H_R ve φ_R ise referans dalğanın genliğini ve fazını ifade eder.

Her iki dalga kayıt ortamında girişim oluşturur. Şiddet hesaplanacak olursa;

$$\begin{aligned} I(x, y) &= |E_C(x, y) + E_R(x, y)|^2 \\ &= (E_C(x, y) + E_R(x, y))(E_C(x, y) + E_R(x, y))^* \\ &= H_C^2 + H_R^2 + 2H_C H_R \cos(kz + (\varphi_R - \varphi_C)) \end{aligned} \quad (2.33)$$

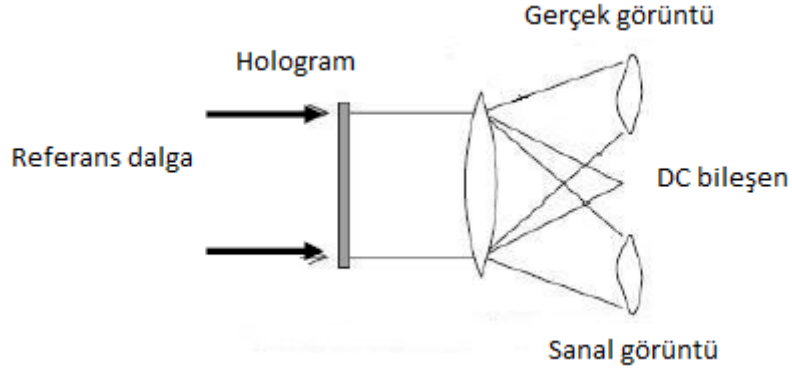
Hologram fonksiyonu $h(x, y)$ yani kayıt ortamındaki genlik geçirgenliği şiddetle ($I(x, y)$) orantılı olarak değişmektedir.

$$h(x, y) = h_0 + \beta\tau I(x, y) \quad (2.34)$$

h_0 genlik geçirgenliğidir. β sabit ve τ ise pozlama süresidir. Dijital holografide CCD kamera kullanıldığından kayıt ortamının genlik geçirgenliği olan h_0 ihmal edilir. Hologramın yeniden oluşturulmasında referans dalga tarafından aydınlatılması gereken fotoğrafik düzlem matematiksel olarak ifade edilmesi;

$$E_R(x, y)h(x, y) = [h_0 + \beta\tau(H_C^2 + H_R^2)]E_R(x, y) + \beta\tau H_R^2 E_C(x, y) + \beta\tau E_R^2(x, y)E_C^*(x, y) \quad (2.35)$$

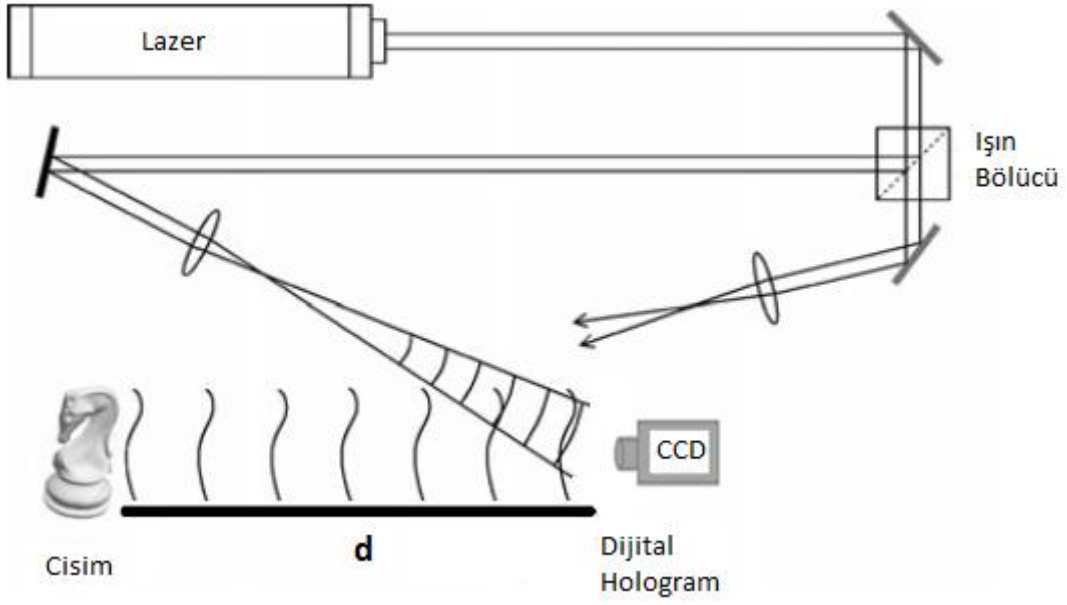
Eşitliğin sağ kısmındaki ilk ifade DC bileşen olarak adlandırılan kırınımına uğramamış dalgadır. İkinci ifade sanal görüntüyü şekillendiren yeniden yapılandırılmış cisim dalgası ve üçüncü ifade ise cismin deformasyona uğramış gerçek görüntüsüdür. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi eksen dışı holografide cismin DC bileşeni, sanal görüntüsü ve gerçek görüntüsü birbirinden ayrılmış bir şekilde bulunmaktadır (Kreis 2005).



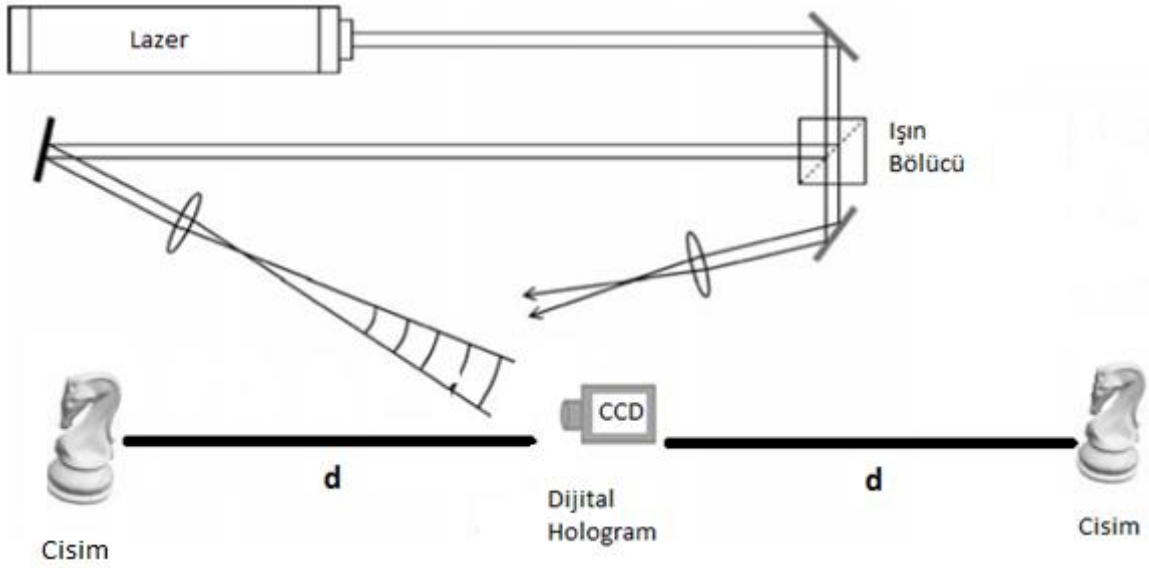
Şekil 2.12 Eksen dışı holografide yeniden yapılandırma işlemi (Hariharan 2002).

2.2.3 Dijital Holografî ve Prensipleri

Dijital holografî de klasik holografideki gibi aynı sisteme sahiptir ancak kayıt için kayıt malzemesi değil CCD veya CMOS kameralar kullanılır (Seebacher et al. 1997). Örnek bir dijital holografî düzeneği Şekil 2.13.a'da görülmektedir. Referans dalga olarak adlandırılan bir düzlem dalga ile cisimden yansıyan dalga CCD kamera yüzeyi üzerinde girişim oluştururlar. Elde edilen girişim deseni elektronik olarak kaydedilir ve saklanır. Cisim genel olarak 3 boyutlu yapıya sahip ve CCD kameradan d mesafesi kadar uzakta bir yerde bulunur. Yeniden oluşturma aşamasında ise sanal görüntü cismin bulunduğu yerde görülürken, gerçek görüntü CCD kameradan d mesafe uzakta ama zıt yönde bulunmaktadır ve Şekil 2.13.b'de görülmektedir.



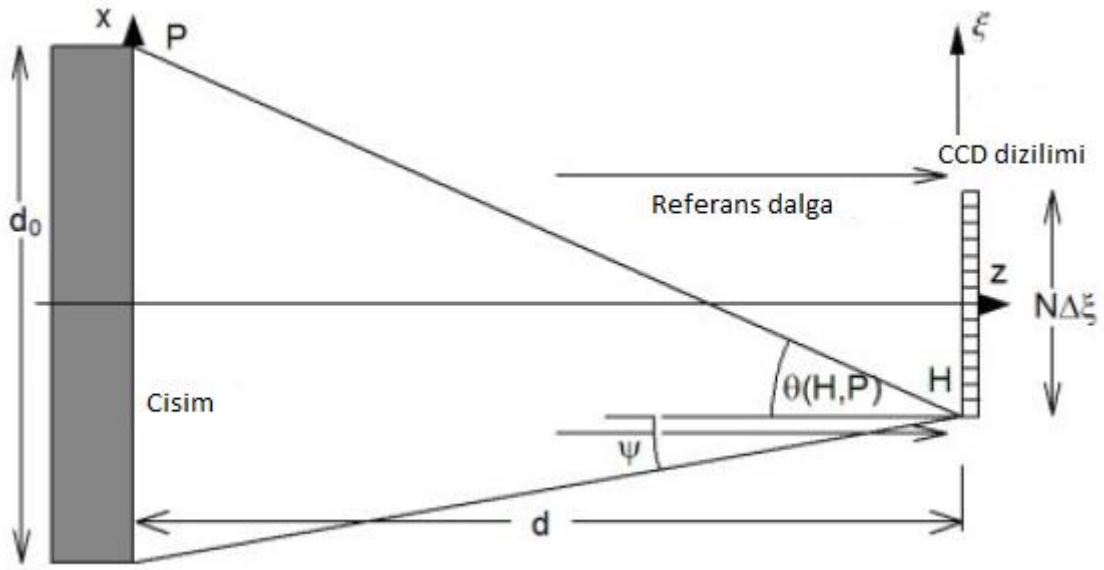
(a) Dijital hologram kaydı



(b) Dijital hologram yeniden oluşturma

Şekil 2.13 a) Dijital holografik kayıt, b) Görüntünün yeniden elde edilme şeması (Schnars and Jueptner 2005).

Bir cismin dijital olarak hologram kaydının yapılabilmesi için bazı parametrelerin doğru bir şekilde hesaplanması ve bu parametreler temel alınarak hologram kaydının yapılması holografik kaydın daha iyi olmasını sağlar. Dijital holografinin klasik holografiye göre birçok avantajı olduğu belirtilmiştir ama bu yeni teknik bazı önemli kısıtlamalar içermektedir. Dijital hologram kaydının yapılması için gerekli düzeneğin bir örneği Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Dijital hologramın geometrik düzeneği (Kreis 2005).

$N \times M$ ışığa duyarlı piksellere sahip CCD kamera düzeneğine sahip olunduğu varsayılırsa, x ve y doğrultularındaki her bir piksel arasındaki mesafeleri $\Delta\xi$ ve $\Delta\eta$ ise özel durumlar hariç $N = M$ ve $\Delta\xi = \Delta\eta$ olduğu düşünülür. x ve y doğrultuları ξ ve η doğrultularıyla aynı olduğundan dolayı işlemin x - z düzleminde gerçekleştirilmesi yeterli olacaktır. θ , P noktasındaki cisimden yayılan cisim dalgası ile referans dalgası arasında kalan H noktasındaki açıdır. H noktasında hologramı oluşturan girişim deseninin birbirini izleyen iki saçak arasındaki mesafe p tanımlanacak olursa;

$$p = \frac{\lambda}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (2.36)$$

Şeklinde gösterilmektedir. Örnekleme teorisine p periyodu iki pikselin uzunluğundan daha büyük olması gerektiğinden;

$$p > 2\Delta\xi \quad (2.37)$$

Bu ifade aynı zamanda holografik saçakların uzaysal frekansı olan f kullanılarak da açıklanabilir;

$$f < \frac{1}{2\Delta\xi} \quad (2.38)$$

CCD kameraların $N, M, \Delta\xi, \Delta\eta$ gibi parametrelerinin değerleri verilmektedir. Bu yüzden θ açısı bu değerlere göre belirlenir. Tüm uygulamalarda θ açısı küçük kaldığından $\sin\frac{\theta}{2} = \tan\frac{\theta}{2} = \frac{\theta}{2}$ şeklinde tanımlanabilir. Eğer θ açısının alabileceği maksimum değer belirlenecek olursa;

$$\theta < \frac{\lambda}{2\Delta\xi} \quad (2.39)$$

veya

$$f < \frac{2}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta_{maks}}{2}\right) \quad (2.40)$$

Cismin boyutu hologram kaydetmek için önemli unsurlardan bir tanesidir. Optik eksene simetrik olarak yerleştirilmiş x ekseninde uzanan d_0 uzunluğundaki cisimle, optik eksen boyunca uzanan referans dalga Şekil 2.14'te görüldüğü gibi CCD kamera üzerinde dik olarak kesişmektedir. Cismin boyutu d_0 ile d mesafesi arasındaki ilişkinin bağıntısı;

$$\tan\theta = \frac{\frac{d_0 + N\Delta\xi}{2} + \frac{N\Delta\xi}{2}}{d} \quad (2.41)$$

Şeklindedir. Bu denklem, maksimum açıyla bağıntılı şekilde yazılmak istenirse;

$$\frac{\frac{d_0 + N\Delta\xi}{2} + \frac{N\Delta\xi}{2}}{d} < \frac{\lambda}{2\Delta\xi} \quad (2.42)$$

d_0 'a bağlı olarak yazılacak olursa;

$$d_0(d) < \frac{\lambda d}{\Delta\xi} - N\Delta\xi \quad (2.43)$$

Minimum mesafe cisimle CCD kamera arasındaki ifade yazılacak olursa;

$$d(d_0) > \frac{(d_0 + N\Delta\xi)\Delta\xi}{\lambda} \quad (2.44)$$

Sonuç olarak cisimle CCD arasındaki mesafe kabaca en az

$$d > d_0 \frac{\Delta\xi}{\lambda} \quad (2.45)$$

şeklinde olmalıdır. Formülden de anlaşılacağı gibi piksel uzunluğu cisimle referans dalganın arasındaki açının belirlenmesinde ve cisimle CCD arasındaki uzaklığın hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Kreis 2005).

BÖLÜM 3

İNTERFEROMETRE

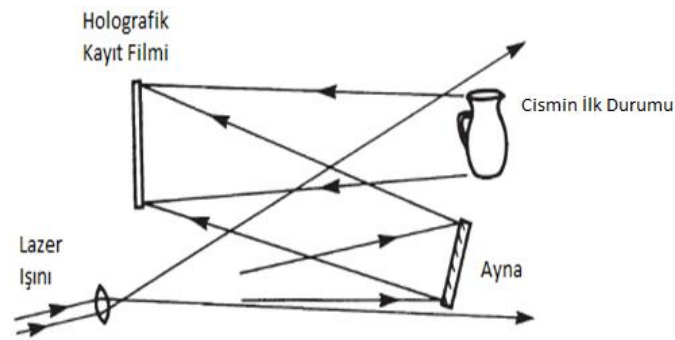
İnterferometre veya girişimölçer ışığın girişim özelliği kullanılarak cisimlerde meydana gelebilecek fiziksel değişimleri ölçmek için kullanılan yüksek hassasiyetli optik tabanlı bir ölçüm yöntemidir (Hariharan 2007). Bölüm 2’de anlatıldığı gibi en yaygın interferometre yöntemleri Michelson girişimölçeri ve Young girişimölçeridir. Bunun yanında Rayleigh girişimölçeri, Mach-Zehnder girişimölçeri, Sagnac girişimölçeri ve Fabry-Perot girişimölçeri diğer tanınan girişim ölçme tekniklerinden bazılarıdır (URL-5 2014).

İnterferometre, bilim dünyasında ve endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan bir yöntemdir. Özellikle küçük mesafe değişimlerinin ölçülmesinde, kırılma indisi değişimlerinin belirlenmesinde, yüzeysel bozuklukların veya deformasyonların tespitinde, malzemelerin gerginlik ve esneklik kapasitesinin belirlenmesinde gibi birçok değişik alanda kullanılan ölçüm mekanizmasıdır. Bu çalışmada yapılacak olan ölçümlerin hassasiyetinin önemli olması, temassız bir yöntem olması ve pratik bir şekilde ölçüm alınmasına olanak tanınmasından dolayı DHİ yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada tercih edilen yöntemin temelini ise holografik interferometri yöntemi oluşturmaktadır.

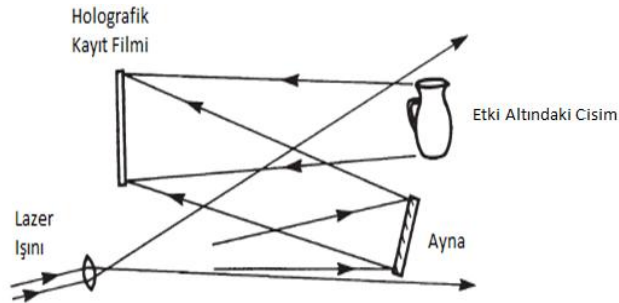
3.1 HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİ

Holografik interferometri, ışık geçirmeyen cisimlerde deformasyondan kaynaklanan veya ışık geçiren cisimlerde ise kırılma indisi değişimlerinden kaynaklanan optik yol uzunluğundaki değişimi ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (Ostrovsky, Butosov and Ostrovskaja 1980). Holografik interferometri yüksek hassasiyetle birlikte temassız ve tahribatsız bir yöntemdir. Kısaca bir tanım yapılacak olursa, holografik interferometri en az birisi holografik olarak yeniden yapılandırılmış iki veya daha fazla dalga alanının girişimölçer olarak karşılaştırılmasıdır (Vest 1979).

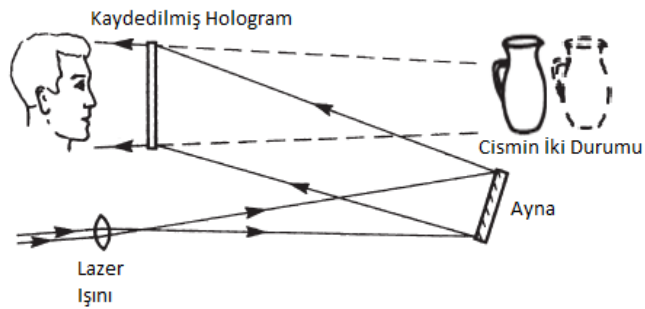
Cismin iki farklı durumdaki pozisyonundan yansıyan iki eş fazlı dalga alanı birbirleriyle girişim olayını gerçekleştirirler. Bu durum Şekil 3.1’de örnek olarak gösterilen çift pozlamalı holografî olarak adlandırılan yani bir holografik alana iki tane ayrı holografik görüntünün kaydedilmesi durumunu ifade eden yöntemiyle gerçekleştirilir. İlk pozlama cismin herhangi bir etkiye maruz bırakılmaması durumunu temsil ederken, ikinci durum ise cisme bir etki olması halindeki durumu temsil eder. Hologram, referans dalga ile aydınlatılmasıyla yeniden yapılandırılır. Sonuç olarak birbirinden ufak farklılıklar gösteren cismin her iki durumuna ait cisim dalgaları girişim deseninde görülebilir. Deformasyondan veya diğer etkilerden meydana gelen optik yol farkı bu holografik desenden gözlemlenebilir.



(a) Cismin deformasyon öncesi hologramı



(b) Cismin etki altındaki hologramı



(c) Hologramın yeniden yapılandırılması

Şekil 3.1 Holografik interferometri kaydı ve yeniden oluşturulması (Schnars and Jueptner 2005).

Holografik interferometri matematiksel ifadeler kullanarak tarif edilebilir. Başlangıç durumundaki cisim için sanal kısma sahip genlik ifadesi;

$$E_1(x, y) = a(x, y) \exp[i\varphi(x, y)] \quad (3.1)$$

$a(x, y)$ cisim dalgasının genliğini, $\varphi(x, y)$ ise cisim dalgasının fazını ifade etmektedir.

Cismin yüzeyinde meydana gelen deformasyondan kaynaklı optik yol değişimi faz ifadesinin φ 'den $\varphi + \Delta\varphi$ ifadesine dönüşümü olarak gösterilmektedir. $\Delta\varphi$ referans ve gerçek faz arasındaki farkı ifade eder ve girişim fazı olarak adlandırılır. Bu yüzden cisim dalgasının faz ifadesini yeniden yazılacak olursa;

$$E_2(x, y) = a(x, y) \exp[i(\varphi(x, y) + \Delta\varphi(x, y))] \quad (3.2)$$

Holografik girişim deseninin şiddeti sanal ifadeye sahip genlik toplamlarının karesi olarak ifade edilir ve şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} I(x, y) &= |E_1 + E_2|^2 = (E_1 + E_2)(E_1 + E_2)^* \\ &= 2a^2(1 + \cos(\Delta\varphi)) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Girişim deseninin şiddet ifadesine bağlı olarak genel tanımı yazılacak olursa;

$$I(x, y) = A(x, y) + B(x, y) \cos \Delta\varphi(x, y) \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanır (Kreis 2005).

3.2 DHİ VE DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ

Klasik bir holografik interferometri cismin farklı durumlarından yansıyan iki dalganın üst üste binmesiyle üretilir. İnterferometri karanlık ve aydınlık saçaklar şeklindeki dalgalar arasındaki faz farkı bilgisini taşır. Farklı anlarda çekilen holografik görüntülerin birbirleriyle karşılaştırılmasıyla girişim fazı elde edilir. Dijital holografi normal holografiye göre farklı bir yol izler (Schnars 1994). Cismin farklı durumları için her iki durumdaki cismin hologramı

ayrı ayrı olarak kaydedilir. Bu görüntüler tek bir holografik düzlemde birleştirilmesinin yerine dijital hologramlar ayrı ayrı olarak yeniden yapılandırılır. Sonuç olarak sanal ifadeye sahip genlikleri $\Gamma_1(\xi, \eta)$, $\Gamma_2(\xi, \eta)$ olan ve bu ifadelerle ait faz değerleri şu şekilde hesaplanır;

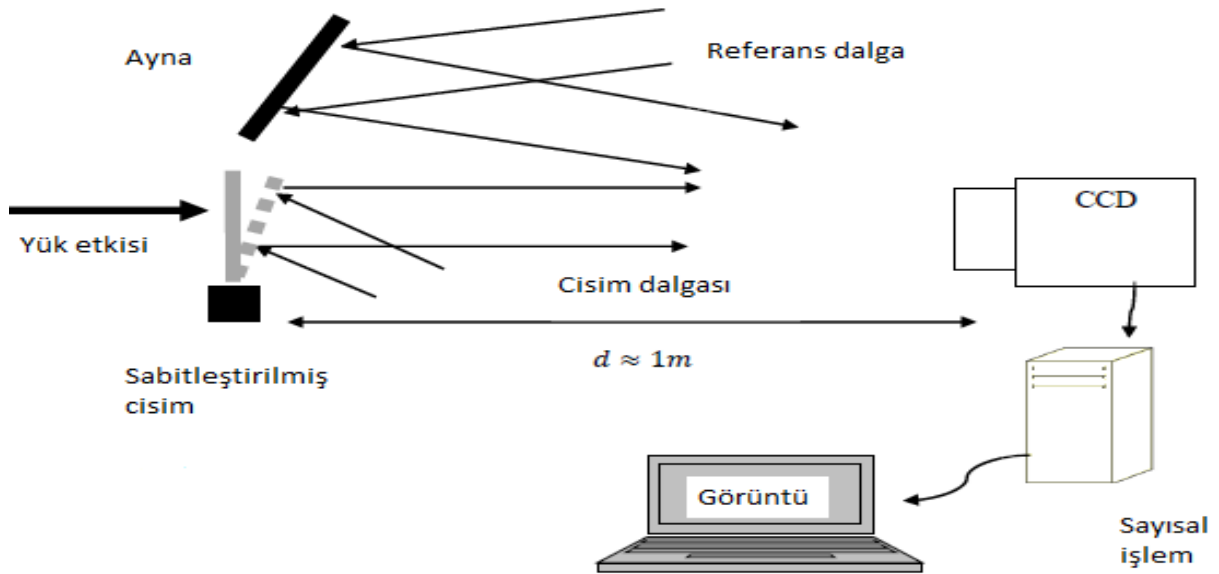
$$\varphi_1(\xi, \eta) = \arctan \frac{\text{Im } \Gamma_1(\xi, \eta)}{\text{Re } \Gamma_2(\xi, \eta)} \quad (3.5)$$

$$\varphi_2(\xi, \eta) = \arctan \frac{\text{Im } \Gamma_2(\xi, \eta)}{\text{Re } \Gamma_2(\xi, \eta)} \quad (3.6)$$

Cismin ilk durumdaki ve ikinci durumdaki görüntüleri sırasıyla 1 ve 2 indisleri ile ifade edilmiştir. Eşitlik 3.5 ve eşitlik 3.6'daki faz değerleri $-\pi$ ile π arasında değer alırlar. Girişim fazı ise direkt olarak hesaplanabilir;

$$\Delta\varphi = \begin{cases} \varphi_1 - \varphi_2 & \text{Eğer } \varphi_1 \geq \varphi_2 \\ \varphi_1 - \varphi_2 + 2\pi & \text{Eğer } \varphi_1 < \varphi_2 \end{cases} \quad (3.7)$$

Bu eşitlik dijital hologramlardan elde edilen girişim fazının $0 - 2\pi$ 'lik açı bölgesinde değerler almasına izin verir (Schnars 2011).



Şekil 3.2 DH uygulaması (Yong et al. 1998).

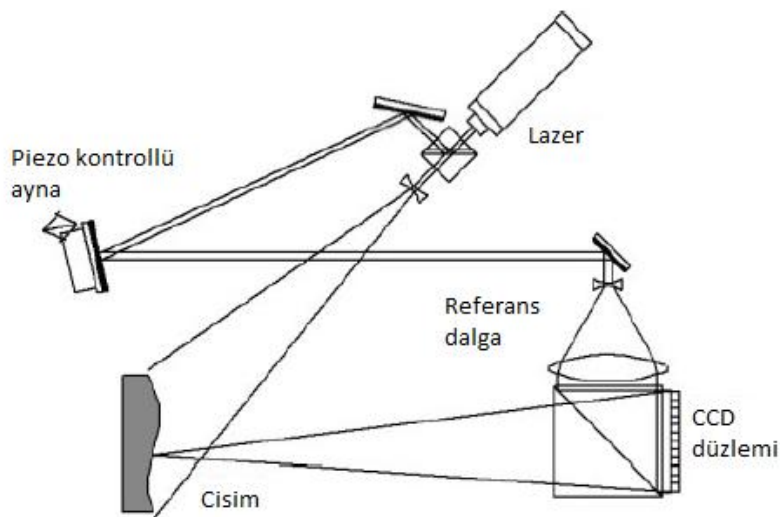
DH yönteminin uygulamasının bir örneği Yong ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir (Yong et al. 1998). Şekil 3.2'de gösterilen deneysel düzeneğe göre sabitleştirilmiş cismin

holografik görüntüsü ilk olarak kaydedilmiştir. Daha sonra dışarıdan bir gücün etkisiyle cisimde mikron boyutlarında CCD'ye doğru bir bükülme meydana gelmiştir. Bu yeni durum için de holografik kayıt gerçekleştirilmiş ve daha sonra geliştirilen algoritmalar kullanılarak cisimde meydana gelen etki ölçülmüştür.

3.3 FKDHİ VE DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ

Tek bir hologramdan ışığın faz ve genlik olarak yeniden yapılandırılması gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanında tamamen farklı yeni bir bakış açısı Skarman tarafından sunulmuştur (Skarman et al. 1996, Wozniak 1994). Skarman ve arkadaşları, başlangıçtaki fazı ve sanal bileşene sahip genlik ifadesini herhangi bir alanda hesaplamak için faz kaydırma algoritması kullanmıştır. Daha sonra ise Yamaguchi tarafından faz kaydırmalı dijital holografi geliştirilmiş ve ışık geçirmeyen cisimler üzerine de uygulanmıştır (Inomato and Yamaguchi 2001, Yamaguchi 1969, Yamaguchi and Zhang 1997, Yamaguchi et al. 2001, 2001, Zhang 1998, Zhang 1998).

Faz kaydırmalı holografide referans dalganın fazında meydana getirilen kaydırma işlemleriyle en az 3 adet dijital hologramın kaydedilmesiyle gerçekleşir. Referans dalganın fazındaki kaydırma işlemini gerçekleştirmek için Şekil 3.3'te görüldüğü gibi aynaya piezo kontrol ünitesi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Faz kaydırmalı dijital holografi düzeneği (Kreis 2005).

Referans dalganın genliği $E_r(x, y)$ ve fazı $\psi(x, y)$ olan düzlem bir dalga olduğu kabul edilsin. Genliği $E_c(x, y)$ ve fazı $\varphi(x, y)$ olan bir cisim dalgasına var olduğu kabul edilirse (Kim 2010),

$$E_c(x, y) = E_c(x, y) \exp[i\varphi(x, y)] = E_0(x, y) [\cos\varphi + i \sin\varphi] \quad (3.8)$$

Bu iki dalganın girişim deseni oluşturmasıyla elde edilen şiddet ise,

$$I_\psi(x, y) = [E_0 + E_R]^2 = E_R^2 + E_0^2(x, y) + 2E_R E_0(x, y) [\cos\varphi(x, y) + \psi] \quad (3.9)$$

Faz kaydırma işlemi $\psi = \pi/2$ 'lik adımlarla yapıldığında elde edilen 4 adet holograma ait denklemler,

$$\begin{aligned} I_0 &= A_c^2 + A_r^2 + 2A_c A_r \cos\varphi \\ I_{\pi/2} &= A_c^2 + A_r^2 - 2A_c A_r \sin\varphi \\ I_\pi &= A_c^2 + A_r^2 - 2A_c A_r \cos\varphi \\ I_{3\pi/2} &= A_c^2 + A_r^2 + 2A_c A_r \sin\varphi \end{aligned} \quad (3.10)$$

Elde edilen dört adet hologram ifadesi denklem 3.10'da belirtilmiştir. Bu dört adet hologram tek bir hologram ifadesine indirgenmek istenirse ve bu yeni ifadenin genlik bilgisi ve faz ifadesi denklem 3.11'de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} E_1(x, y) &= [\{I(0) - I(\pi)\} + \{I(\pi/2) + I(3\pi/2)\}] / 4E_r \\ \varphi_1(x, y) &= \tan^{-1} \left[\frac{I_{3\pi/2} - I_{\pi/2}}{I_0 - I_\pi} \right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

Faz kaydırmalı dijital holografının avantajı cismin yeniden yapılandırılması aşamasında sadece gerçek görüntü elde edilmesidir (Kreis 2005). Yani DC terim ve eşlenik görüntü yok olmaktadır.

BÖLÜM 4

NÜVE KAYIPLARI

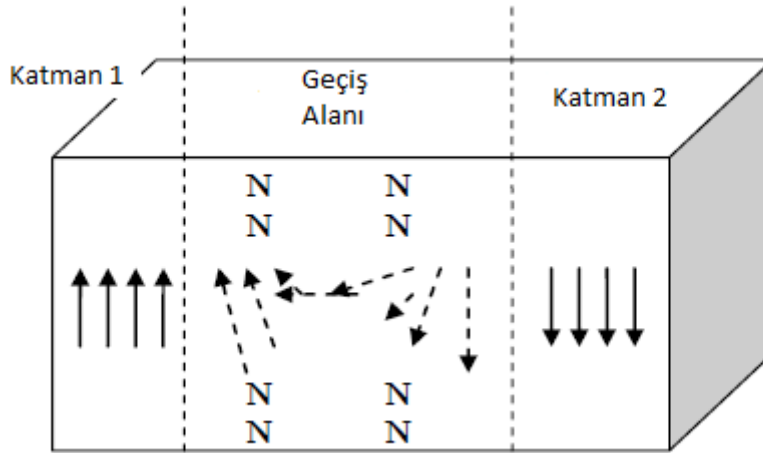
Elektrik makinelerinin 19.yy'da keşfiyle bu cihazların çekirdek kısmını oluşturan nüve maddelerin seçimi önemli bir konu haline gelmiştir. Şimdiye kadar birçok madde elektrik makinelerinin çekirdeği olarak kullanılmıştır. Bu maddelerin manyetik özellikleri bu cihazların performanslarını önemli bir ölçüde etkilemektedir (Belkasim 2008). Bilim adamları ve makine üreticileri güç kayıplarının büyük bir miktarının ferromanyetik maddelerin göstermiş oldukları manyetik karakteristikle ilgili olduğunu tespit etmişlerdir. Bu yüzden ferromanyetik maddelerin manyetik alan bileşenlerini iyi bir şekilde anlamak ve analiz etmek herhangi bir uygulamada kullanılacak olan maddenin tespit edilmesinde önemli bir faktör oluşturmaktadır. Manyetik indüksiyon altındaki ferromanyetik maddelerin özellikleri üzerine yapılacak araştırmalar güç kayıplarını azaltabilecek bir maddenin üretilmesine olanak tanıyabilir (Alkar 2009).

Gücün doğru tespit edilmesi için yapılan çalışmalar 1897 yılına Charles Steinmetz'e kadar dayanmaktadır. Onun yaptığı çalışmalar güç kayıplarının ve histersiz kayıplarının nasıl meydana geldiğinin tespitinin yapılmasında etkin bir rol oynamıştır. Bu çalışmalardan sonra birçok yöntem ve model bu kayıpların doğru bir şekilde tespitinin yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Buna rağmen güç kayıplarını meydana getiren etkenler kesin olarak tespit edilememektedir (Dunlop 2008).

4.1 NÜVE KAYIPLARININ ÇEŞİTLERİ

Elektromekanik cihazların yapısını oluşturan temel maddelerden birisi çekirdek kısmında bulunan manyetik özellik gösteren malzemelerdir. Bu malzemelerde meydana gelen güç kayıplarının nedenini açıklamak zordur. Bu kayıpların oluşma aşamalarını açıklamak için çeşitli teoriler bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi Del Toro (1985) tarafından yapılmıştır. Elektrik makinelerinin içerisinde bulunan bir parça manyetik malzeme birçok elektromanyetik

domaininden oluşmuştur. Dışarıdan manyetik bir kuvvet uygulandığında manyetik malzeme enerji kazanır. Bu enerji, dışarıdan uygulanan manyetik alan yükseldikçe manyetik domainlerin yeniden yönlenmesi için kullanılır (Del Toro 1985). Şekil 4.1’de gösterildiği gibi manyetik bir kuvvet uygulandığında aynı doğrultuya yönelmiş domainler kendilerinin yönünü manyetik alanın uygulandığı yöne doğru adapte etmeye çalışırlar. Manyetik kuvvet net bir şekilde etki ettiğinde ise domaindeki mıknatıslanma yönü manyetik alanın yönüyle aynı olur. İki katman geçiş bölgesi olarak tarif edilen Bloch Duvarı olarak adlandırılan bir alanla ayrılır (Pyrhönen 2008). Bu bölümde manyetizma yönü 0^0 ile 180^0 arasında değişir. Bu değişim maddenin içerisinde bulunan atomların birbiriyle çarpışmasına neden olur. Bu durumda manyetik malzeme içerisinde bir ısınma meydana getirir. Dışsal manyetik kuvvetin davranışı ve şiddeti kayıplar üzerinde önemli bir etki yapmaktadır. Bu kayıplar nüve kayıpları veya manyetik kayıplar olarak adlandırılır. Genel olarak nüve kayıpları histerisiz kayıpları, kaçak akım kayıpları ve anormal kayıplar olarak ayrıştırılırlar (Nasar 1995).

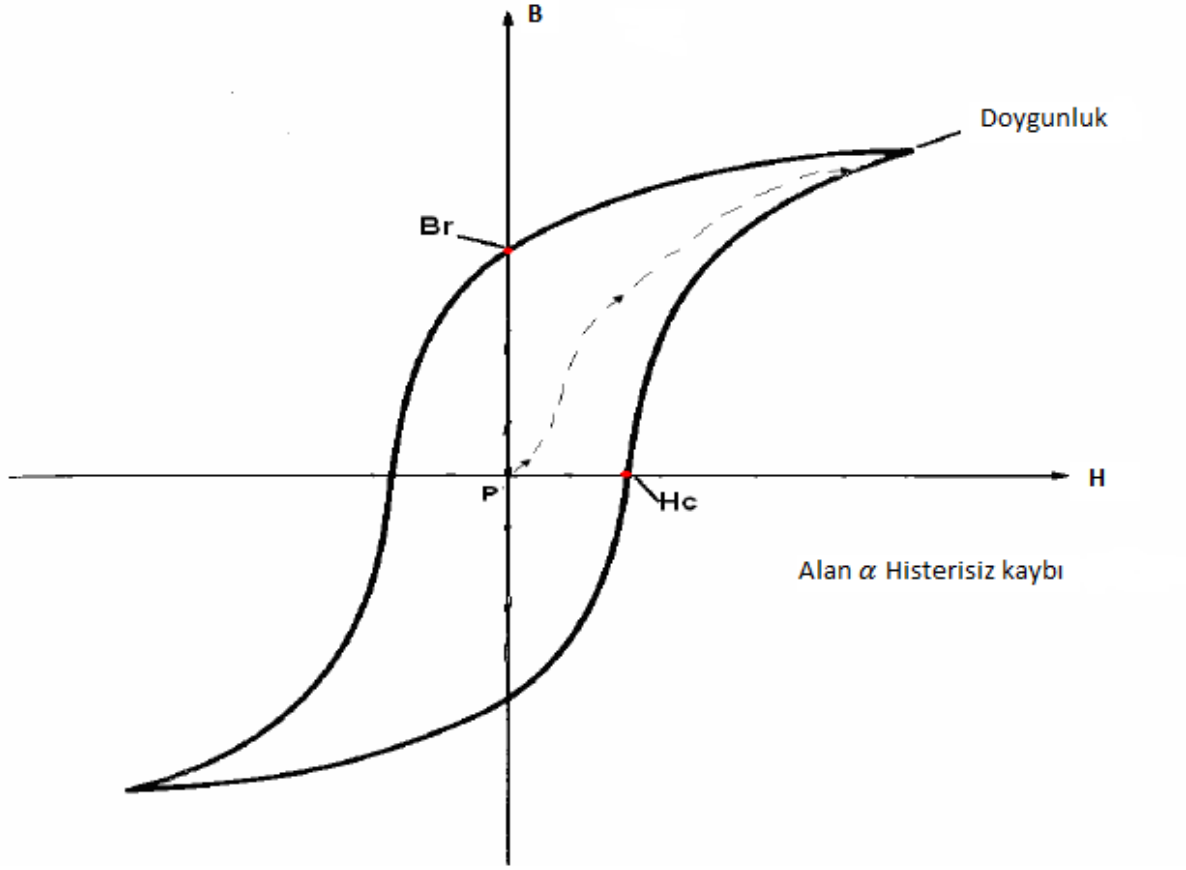


Şekil 4.1 180^0 lik domain duvarları (Goodenough 2002).

4.1.1 Histerisiz Kayıpları

Histerisiz kaybı, bir manyetik malzemenin aynı doğrultuda kutuplanmış domainlerinin yön değiştirmesi süresince kaybettiği enerji miktarı olarak adlandırılabilir (Dunlop 2008). Şekil 4.2’de görüldüğü gibi P noktasında manyetik alan etkisi altında olan ferromanyetik bir maddenin manyetik alan vektörü ve akı yoğunluğu artar. Uygulanan manyetik alan kaldırıldığında bile akı yoğunluğu sıfır olmayacaktır ve sabit bir akı yoğunluğu (B_r) olacaktır. Akı yoğunluğunu sıfıra düşürmek için ters yönde bir manyetik alan uygulanmalıdır.

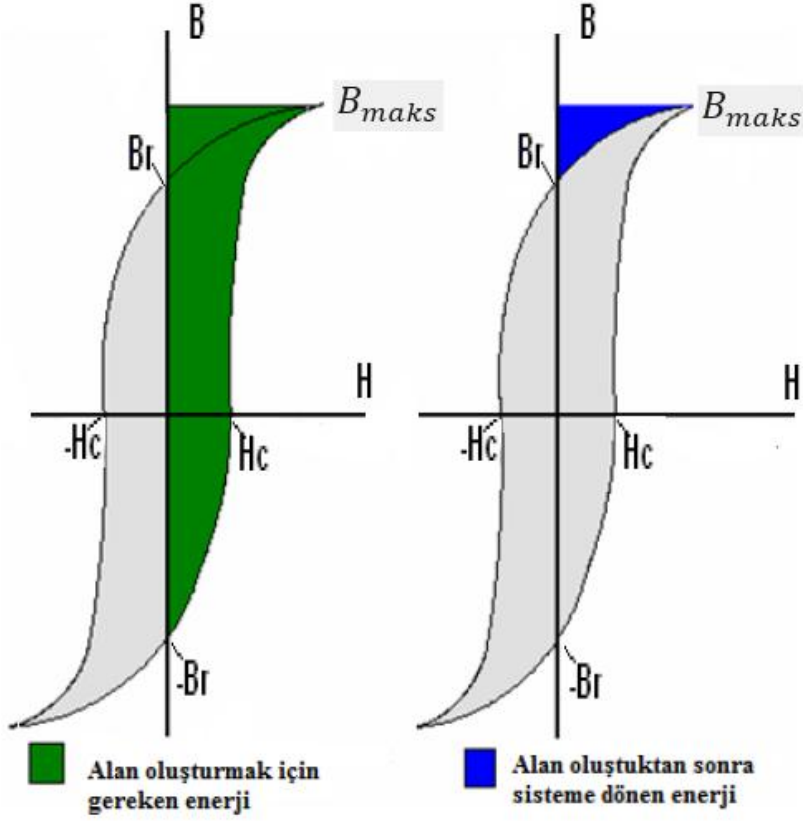
Bu durumdaki manyetik alan vektörüne ise zorlayıcı alan (H_c) denir. Ters yönde uygulanan manyetik alan artırılırsa, manyetik alan vektörü ve akı yoğunluğu bu kez ters yönde artış gösterir ve doyumluğa ulaşmıncaya kadar devam eder. Şekillenen eğri ise histerisiz eğri olarak adlandırılır (Alkar 2009).



Şekil 4.2 Histerisiz eğrisi (Chapman 2005).

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi güç kayıplarında incelendiğinde histerisiz kayıplarının önemli bir payı vardır. B-H eğrisi ile B doğrultusu arasındaki boyalı alan yapılan işi göstermektedir (Bertotti 1998).

$$W = \int_0^B H dB \text{ J/m}^3 \quad (4.1)$$



Şekil 4.3 Histerisiz çevrimindeki enerji değişimleri (Demir 2012).

Nüve malzemenin akı yoğunluğunu $-B_r$ 'den B_{maks} 'a getirmek için gerekli enerji B_{maks} 'dan B_r 'ye dönüşteki enerjiden daha büyüktür. Bu enerjiler arasındaki fark kaybolan enerji anlamına gelmektedir. Kaybolan enerji her bir manyetik alan vektöründeki (H) değişim döngüsü boyunca ısı olarak nüve maddede ortaya çıkar. Diğer bir deyişle histerisiz eğrisinin alanı her bir döngüdeki kaybolan enerji demektir. Bu yüzden bir döngü üzerindeki toplam güç kaybı histerisiz eğrisinin kapalı alanıyla doğru orantılıdır (Sen 1997). Bunlar matematiksel ifadeye dönüştürülmek istenirse;

$$P_h = k_h B_m^n f \quad (4.2)$$

Bu ifadeye P_h histerisiz kaybı olarak adlandırılır, k_h manyetik malzemenin özelliğine bağlı bir katsayıyı ifade eder, f frekans, B_m manyetik malzemedeki akı yoğunluğunun maksimum değeridir ve n ise Steinmetz sabitidir.

4.1.2 Girdap Akımı Kayıpları

Girdap akımı kaybı, zamanla değişen manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemedey meydana gelen kayıplar olarak adlandırılır. Nüve malzeme üzerinde indüklenen akı yoğunluğunun zamana göre değişmesinden dolayı akının geçtiği yola dik olan kesitte gerilim indükleyecektir (Bertotti 1998).

$$\nabla \times E = \frac{-dB}{dt} \quad (4.3)$$

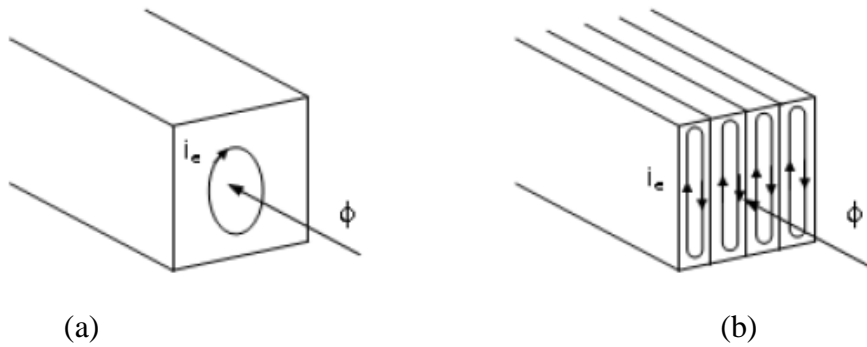
Gerilim, iletken kesitinin kapalı devre olmasından dolayı girdap akımı olarak adlandırılan akımın oluşmasına sebep olur. Faraday yasasına göre (Chapman 2005),

$$J = \sigma E \quad (4.4)$$

Bu akımdan kaynaklanan kayıplar ise girdap akımı kaybının nedenidir. Girdap akımı kaybını matematiksel ifadelerle tanımlanacak olursa;

$$P_g = k_g B_m^2 f^2 \quad (4.5)$$

P_g girdap akımı kaybı olarak ifade edilir. Eşitlikte f frekansı, B_m maksimum akı yoğunluğunu, k_g ise manyetik malzemenin kalınlığına ve cinsine bağlı bir katsayıyı göstermektedir. Bu gereksiz güç kaybını engellemek için manyetik malzemeyi tek parça halinde kalın bir sac olarak kullanmaktansa malzemeyi ince dilimli saclar halinde kullanmak gereklidir. Bu durum malzemenin direnç değerini azaltacağından dolayı güç kayıplarının azalmasını sağlar. Şekil 4.4'te örnek bir nüve malzemenin bütün ve ince dilimli halleri gösterilmektedir (Küçük 2002).



Şekil 4.4 Girdap akımlarının oluşumu, a) Bütün haldeki manyetik malzeme, b) Yalıtılmış ince saclardan oluşan manyetik malzeme (Küçük 2002).

Şekil 4.4'te gösterildiği gibi bütün haldeki malzeme yerine yalıtılmış ince sac kullanımı girdap akımı kayıplarını azaltır. Bu durum elektrik makinelerinde ince ve birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış sac kullanılmasının sebebidir. Ayrıca iletkenliği düşük manyetik malzeme seçimi de bu kayıpların azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Elektrik makinelerinde kullanılan Si-Fe alaşımının tercih edilmesinin sebebi demirin içine katılan %3 silisyum malzemesinin demirde oluşan iletkenliği azaltmasına bağlı olarak girdap akımı kaybını azaltmasıdır (Demir 2012).

4.1.3 Anormal Kayıplar

Uygulamalarda ölçülen toplam manyetik güç kayıpları ile histerisiz ve girdap akımı kayıplarının toplamı arasında özellikle de yüksek frekanslarda büyük bir fark vardır. Bu kayıplar anormal kayıplar veya fazladan kayıplar olarak adlandırılır. Mıknatıslanma sırasında domainleri çevreleyen duvarların hareketleriyle oluşan mikroskobik girdap akımları anormal kayıpların nedenidir. Diğer bir ifadeyle de aşırı girdap akımı olarak da isimlendirilmektedir. Tanecikleri yönlendirilmiş malzemelerde bu kayıpların etkisi daha fazladır (Bahmani 2011).

1983 ve 1984 yıllarında Bertotti mıknatıslanmanın tanımını temel alarak istatistiksel bir kayıp teorisi sunmuştur (Bertotti 1988, 1998). Bu teoriye göre malzemede aktif alanlar karışık olarak dağıtılmış şekilde bulunduğu düşünülmektedir. Bu aktif alanlar cismin tanecikleri boyutundaki mikro yapılarca özelleştirilmişlerdir. Genel olarak malzemelerde meydana gelen anlık aşırı akım kayıpları için uygun eşitlik ise şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$P_a = k_a B_m^{1,5} f^{1,5} \quad (4.6)$$

Bu eşitlikte k_a elektrik çeliğinin şekil ve elektriksel özelliklerine bağlı bir katsayı, B_m akı yoğunluğunun maksimum değeri ve f ise mıknatıslanma frekansı olarak adlandırılır. Anormal kayıp katsayısı k_a matematiksel bir eşitlik olarak ifade edilecek olunursa;

$$k_a = \sqrt{\sigma G S V_0} \quad (4.7)$$

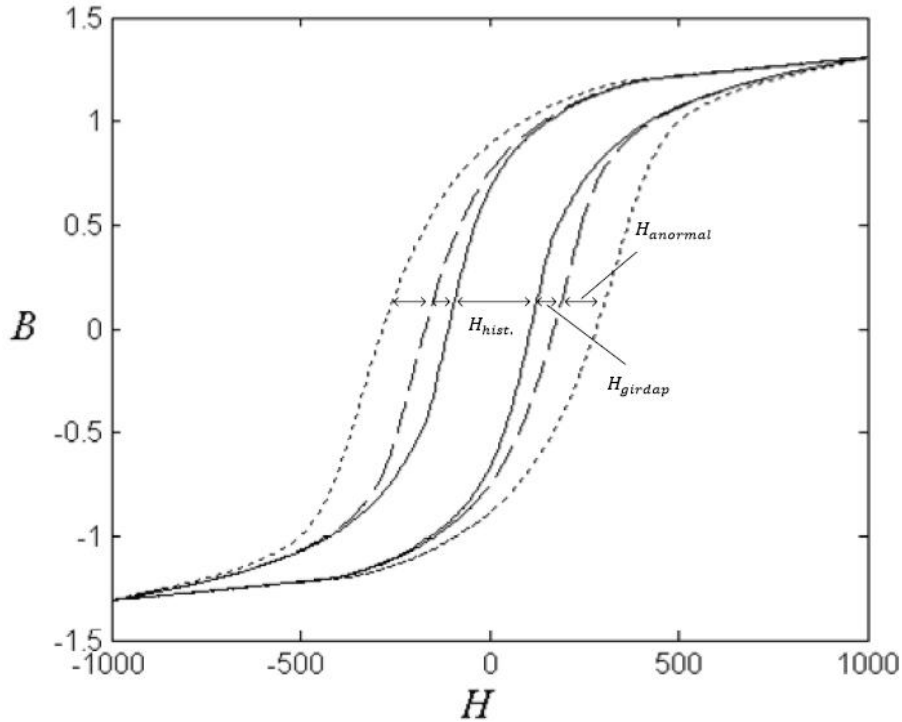
Bu eşitlikte S laminasyonun kesit alanı, V_0 aktif alanların sayısına bağlı mikro yapısal özellikleri etkileme miktarı, σ elektriksel iletkenlik, G ise manyetik malzemenin sönümlenme

frekansdır. Bu denklemde V_0 değeri üreticiler tarafından verilemediğinden ve küçük bir değer olduğundan k_a katsayısı eğri uydurma ve kayıp dağılımı yöntemleriyle hesaplanır (Şimşir 2007).

Elektrik makinelerinde demir kaybı olarak nitelendirilen nüve kayıpları stator dişlisinde, stator çekirdeğinde ve rotor çekirdeğinde meydana gelen kayıplardır (Klings and Soulard 2010). Bu yüzden makinelerin bu kısımlarında kullanılan manyetik malzemelerin iyi seçilmesi verimliliği artıracığından kayıpların azalmasını sağlar. Birçok durumda manyetik malzemeler hakkındaki bilgiler sinüsoidal olarak değişen akı yoğunluğunun farklı indüksiyon değerlerindeki kayıp şekilleri olarak verilmektedir. Genel olarak kayıp hesaplama yöntemi matematiksel olarak ifade edilirse;

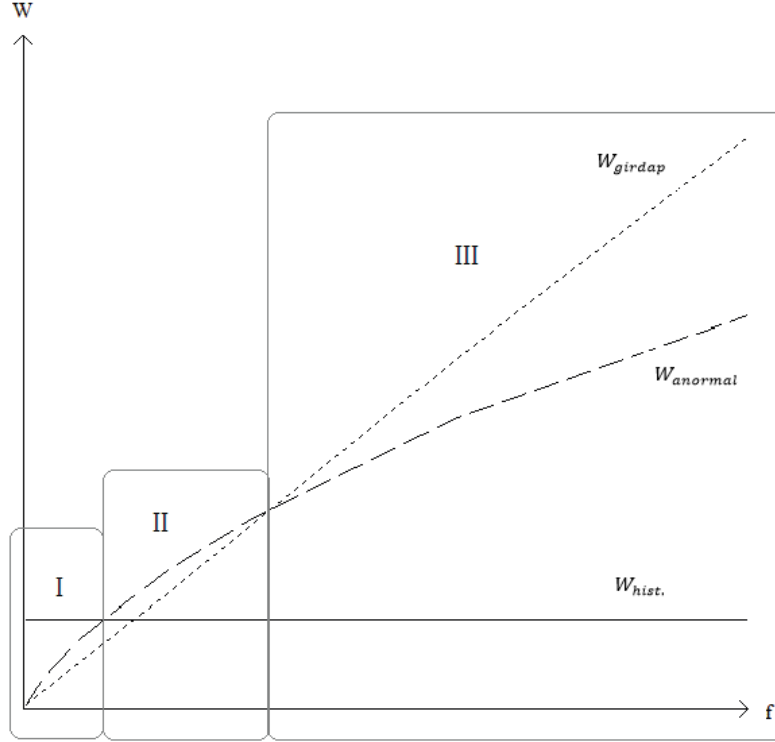
$$P_t = P_h + P_g + P_a \quad (4.8)$$

şeklinde gösterilir (Muhit 2011). Histerisiz kayıpları statik kayıplar olarak adlandırılır yani akı yoğunluğunun değişmesinden bağımsız bir kayıp türüdür. Girdap akımı kayıpları ve anormal kayıplar ise Şekil 4.5'te gösterildiği gibi yüksek bir oranda bağımlı kayıplardır.



Şekil 4.5 Elektrik çeliklerinin uygun frekanslardaki mıknatıslanma eğrisi (Ribbenjard 2010).

Kayıplar frekansın değişimine göre analiz edilecek olursa Şekil 4.6'da gösterildiği gibi düşük frekanslarda histerisiz kaybı baskınken, orta frekanslarda anormal kayıpların baskınlığı bulunmaktadır. Yüksek frekanslarda ise girdap akımı kaybı baskın bir hal almaktadır.



Şekil 4.6 Frekansa Bağlı Kayıp Bileşenleri (Ribbenjard 2010).

4.2 TEST SİSTEMİNDEKİ NÜVE MALZEMENİN PERFORMANSI İLE GÜÇ KAYIPLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Dijital hologram kaydı yapmaya imkân tanıyan deney düzeneği laboratuvar ortamında kurulmuştur. Performansı ölçülecek nüve malzeme öncelikle holografik kayıt yapılabilmesi için gerekli boyutlara getirilmiş ve test örneğine herhangi bir işlem yapılmamıştır. Test sisteminin diğer elektriksel yöntemlerden farkı ise performansı ölçülecek örneğe herhangi bir müdahalede bulunulmaksızın test işleminin başarıyla gerçekleştirilmesidir. Performansı ölçülecek nüve malzeme holografik kayıt gerçekleştirilebilecek boyutlara getirildikten sonra cisme ait dijital holografik kayıt gerçekleştirilmiştir. Daha sonra test edilen nüve malzemeye statik bir manyetik alan kuvveti uygulanmıştır ve bu manyetik alanın etkisine bağlı olarak nüve malzemede belli bir miktar dönme meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik kaydı gerçekleştirilmiştir. Bilgisayarda düzenlenen algoritmalar kullanılarak test edilen nüve malzemenin dönme miktarına bağlı olarak yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir.

Elektromekanik cihazlarda meydana gelen güç kayıplarının büyük bir kısmının bu cihazların çekirdek yapısını oluşturan nüve malzemelerden kaynaklandığı bölüm 4.1’de anlatılmıştır. Kayıplar incelenecek olursa aynı malzemedeki yapılmış nüve malzemelerin kalınlığına bağlı olarak kayıp miktarının da doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir (Ionel 2006, 2006).

Çizelge 4.1 Nüve malzemelerin kalınlığa bağlı kayıp değerleri (Alboyacı et al. 2011).

| Kalınlık (mm) | 50 Hz | |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 1.5 T’da W/kg | 1.7 T’da W/kg |
| 0.23 (M3) | 0.73 | 1.10 |
| 0.27 (M4) | 0.89 | 1.40 |
| 0.30 (M5) | 0.97 | 1.50 |

Çizelge 4.1’den anlaşılacağı üzere aynı yapıdaki nüve örneği olabilecek malzemelerden hangi malzeme daha kalın bir yapıya sahipse o nüve malzemedeki güç kayıpları daha fazla meydana gelecektir. Test sisteminde elde edilen sonuçlarda ise statik bir manyetik alan kuvvetinin aynı yapıya sahip nüve malzemelerden en kalın yani en ağır olanına iş yaptırmayı daha zor olduğu anlaşılmaktadır. Yani test edilecek nüve malzemelerden kalın olan nüve malzeme daha az iş yapacaktır. Dolayısıyla en az iş yapan yani en kalın olan nüve malzemedeki en fazla kayıp meydana gelecektir. Diğer yandan ise en ince malzeme olan nüve malzemenin test sisteminde elde edilen sonuçlardan daha fazla iş yapması beklenmektedir. Dolayısıyla performansı ölçülen nüve malzemelerden en ince olan nüve malzeme en fazla iş yapmış olacaktır. Sonuç olarak en az kayıp en fazla iş yapan malzemedeki meydana gelecektir.

Amaçlanan test sistemi kullanılarak elektromanyetik özellikleri aynı olan özdeş nüve malzemelerden en fazla iş yapan malzeme tespit edilebilir hangi nüve malzemenin daha az kayba neden olacağı tahmin edilerek o nüve malzeme elektrik makinelerinde kullanılabilir. Ayrıca bu test sistemi kullanılarak farklı yapılardaki manyetik özellik gösteren nüve malzemeler test edilerek hangi nüve malzemenin elektromekanik cihazlar için kullanılmaya elverişli olduğu söylenebilir. Buna ek olarak test edilen malzemeler hakkında manyetik karakterizasyon açısından genel bilgilere sahip olunabilir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL OLARAK STATİK MANYETİK ALANIN ETKİSİ İLE NÜVE MALZEMELERİN YAPMIŞ OLDUĞU İŞ MİKTARLARININ ÖLÇÜLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde manyetik alanın nüve malzemelere yaptırmış olduğu iş miktarını belirlemek amacıyla kurulan deney düzeneği tanıtılacak ve iki farklı yöntemin uygulanma aşamaları açıklanacaktır. Performansı ölçülecek örnek malzemeler M3, M4 ve M5 kalite saclar olarak bilinen %3 Si-Fe lamine saclardır. Transformatör gibi elektrik makinalarında nüve malzeme olarak tercih edilen bu saclar ince yapılarından dolayı daha az kayıplara neden olmaktadır.

Bu çalışmanın ilk kısmında test edilecek örneklerin holografik olarak görüntüsünün çekilebilmesi için gerekli boyutlara ve standartlara getirilme işlemleri yapılmıştır. Elde edilen örnekler ilk aşamada herhangi bir etki uygulanmadan yani deformasyona uğramamış durumundaki hologram kaydetme işlemi CCD kamera kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra aynı örnekler statik manyetik alan uygulanmıştır. Etki altındaki cisimlerin holografik olarak kaydedilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise ilk defa 1982 yılında Takeda tarafından optik profilometri için kullanılan FDA (Takeda and Mutoh 1983) kullanılarak bu iki holografik görüntünün fazları ayrı ayrı olarak bulunmuştur. FDA ile faz bilgisi bulunan cisimler dijital ortamda karşılaştırılarak iki görüntünün fazları arasındaki fark elde edilmiştir. Elde edilen faz farkı ve manyetik alanın etkisiyle oluşan döndürme kuvvetinin neden olduğu tork kuvveti kullanılarak her bir örnekte oluşan nüve kaybı hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci kısmında ise ilk olarak Yamaguchi ve Zhang tarafından kullanılan FKDHİ Tekniği ile referans dalgaının fazının aynaya monte edilmiş bir piezoelektrik çevirici ile değiştirilmesine bağlı olarak nüve örneklerinin her birisine ait dört farklı hologram oluşturulmuştur ve her bir örneğe ait bu dört hologram ifadesinden tek bir hologram ifadesi çıkarılmıştır (Yamaguchi and Zhang 1997, Matoba et al. 2002 a,b). Elde edilen örnekler

bu hologramların faz bilgisi FDA kullanılarak çıkarılmıştır. Aynı işlemler örneklerin manyetik alana maruz bırakılması durumunda da gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğe ait elde edilen fazların aralarındaki fark hesaplanmış ve daha sonra yine bu faz farkları ve manyetik alanın etkisiyle oluşan döndürme kuvvetinin neden olduğu tork kuvveti kullanılarak her bir örnekte oluşan nüve kaybı hesaplanmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise uygulanan manyetik alan şiddetinin miktarı değiştirilmiştir. Farklı manyetik alan etkisi altındaki nüve örneklerinin yapmış olduğu iş miktarları her iki yöntemle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olup olmadığı tespit edilmiş ve elde edilen veriler tablo halinde sunulmuştur.

Nüve örneklerine ait holografik görüntülerin oluşturulma aşaması ve bu görüntülerden nüve kayıplarına ulaşmak için kullanılması gerekli olan algoritmaların akış şeması Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



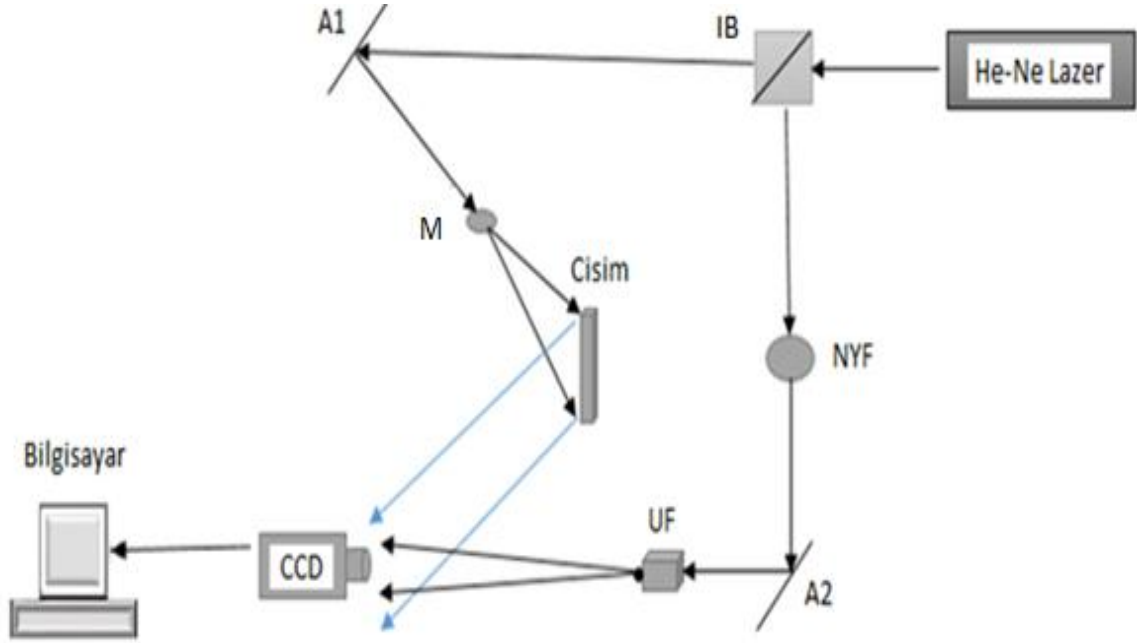
Şekil 5.1 DHİ kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarının tespit edilmesi algoritması.



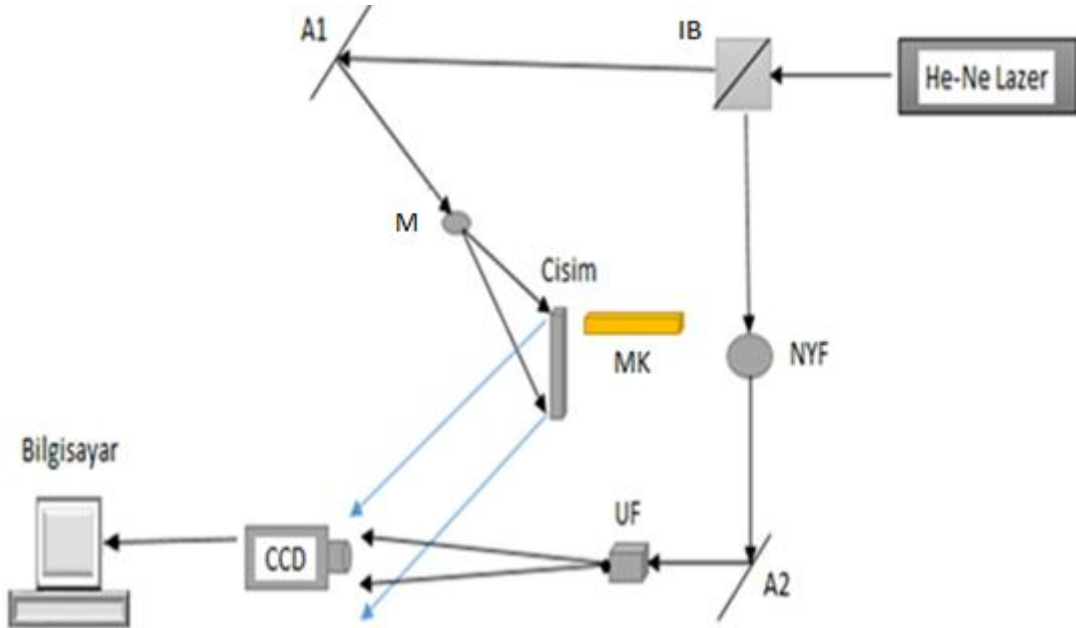
Şekil 5.2 FKDHİ yöntemi ile nüve malzemelerin yaptığı iş miktarının tespit edilmesinin akış şeması.

5.1 İŞ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ İÇİN KULLANILAN DHİ SİSTEMİ

DeneySEL olarak yapılan çalışmada eksen dışı (off-axis) olarak adlandırılan holografî kayıt düzeneği kullanılmıştır.



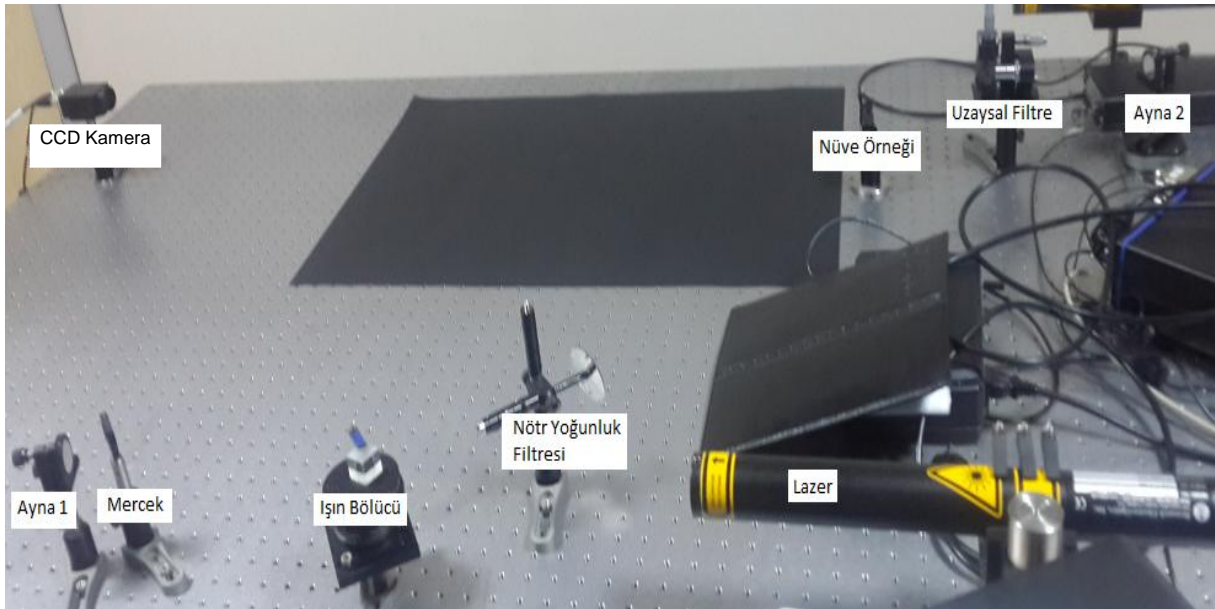
şekil 5.3 Cismin dijital hologramının kaydedilmesi.



şekil 5.4 Cismin manyetik alan etkisi altındaki dijital hologramının kaydedilmesi.

Hologram kaydı için gerekli olan ışık kaynağı 12 mW güce, 633 nm dalga boyuna sahip bir He-Ne lazer kaynağından elde edilmiştir. Referans ve cisim dalgaları lazerden çıkan ışının kübik bir ışın bölücü (IB) kullanılarak ikiye bölünmesiyle sağlanmıştır. Referans dalgadaki ışının şiddetini ayarlamak için nötr yoğunluk filtresi (NYF) kullanılmıştır. Aynalar, üzerlerine düşen ışını yansıtmakla görevlidir. Işını paralel hale getirmek ve iyi bir gauss dağılımı yaratmak için üç eksenli uzaysal filtreden yararlanılmıştır. Cisim üzerine düşürülecek ışını genişletmek için ise ince kenarlı mercek kullanılmıştır.

DHİ yöntemini uygulamak için öncelikle cismin deformasyondan önceki hologramının dijital olarak kaydedilmesi gerekir. Cismin deformasyondan önceki hologramının kaydedildiği deney düzeneği Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

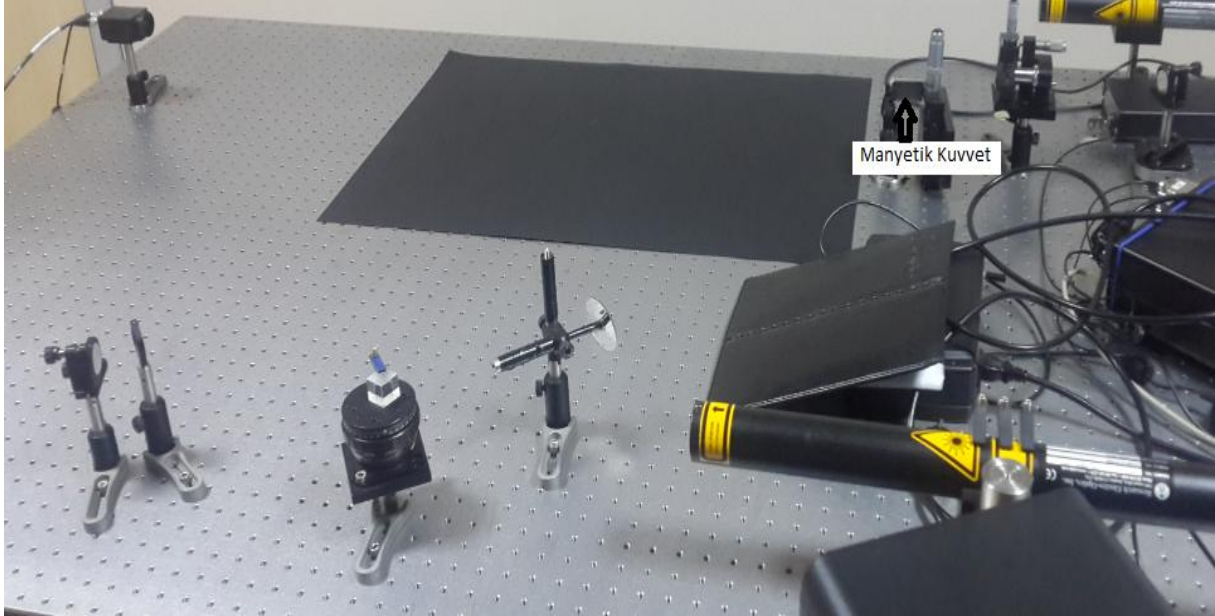


Şekil 5.5 Cismin dijital hologram kaydı.

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi optik masadan yansımaları engellemek için siyah karton kullanılmıştır. Işın yansımaları holografik görüntünün net çıkmasını engellemekte ve gürültüye sebep olmaktadır. Yapılan ölçümlerin doğru ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi için ortam şartlarının en uygun şartlara getirilmesi gerekmektedir.

Holografik interferometri yöntemini uygulayabilmek için nüve örneğine manyetik bir kuvvet uygulanması gerekmektedir. Uygulanan manyetik alan kuvveti; uzunluğu 40 mm , genişliği 20 mm ve yüksekliği 5 mm olan dikdörtgenler prizması şeklinde N42 çeşidi bir neodyum

mıknatıstır. Bu mıknatısın seçilme sebebi hem mesafeye bağlı olarak ürettiği manyetik alanın üretici tarafından verilmiş olması hem de uygulanacak nüve örneğine iş yaptrabilecek güce sahip bir ürün olmasıdır. Şekil 5.6'da görülen deney düzeneğinde nüve örneğine manyetik alan uygulanmıştır ve cismin manyetik alan etkisi altındaki hologramı kaydedilmiştir.



Şekil 5.6 Cismin manyetik alan etkisi altında hologram kaydı.

Her iki holografik görüntü çekiminde şekil 5.5 ve şekil 5.6'da görüldüğü gibi lazerden çıkan ışın IB kullanılarak ikiye ayrılmıştır. Ayna 1'den yansıyan ışın ince kenarlı bir mercek kullanılarak genişletilmiş ve cisim üzerine düşürülmüştür. Cisimden yansıyan ışın cisim dalgası olarak adlandırılır ve CCD kamera üzerine düşürülecek şekilde ayarlamalar gerçekleştirilir. İkinci ışın ise referans dalga olarak adlandırılır ve öncelikle NYF'den geçirilir. Buradaki amaç referans dalgasının şiddetini ayarlamaktır. Daha sonra ayna 2 kullanılarak yansıtılır ve paralel bir şekilde ilerlemesi ve iyi bir gauss dağılımı elde edilebilmesi için üç eksenli uzaysal filtreden geçirilir. UF'den geçen referans dalga CCD kameraya dik şekilde gelmektedir. Cisim dalgası ve referans dalga CCD üzerinde girişim olayını meydana getirirler. Her iki dalganın oluşturduğu girişim deseni CCD kamera kullanılarak ve bir ara yüz vasıtasıyla bilgisayara kaydedilir. Nüve örneğinin her iki durumdaki holografik görüntüsü bu şekilde kaydedilmiş olur. Hologram kaydı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli koşullardan bir tanesi bölüm 3'te anlatıldığı gibi referans dalga ve cisim dalgasının CCD kameraya kadar aldıkları mesafenin eşit olması gerekliliğidir. Her iki dalganın ışın bölücüdenden itibaren almış oldukları mesafe 190 cm'dir. Cismin kameraya

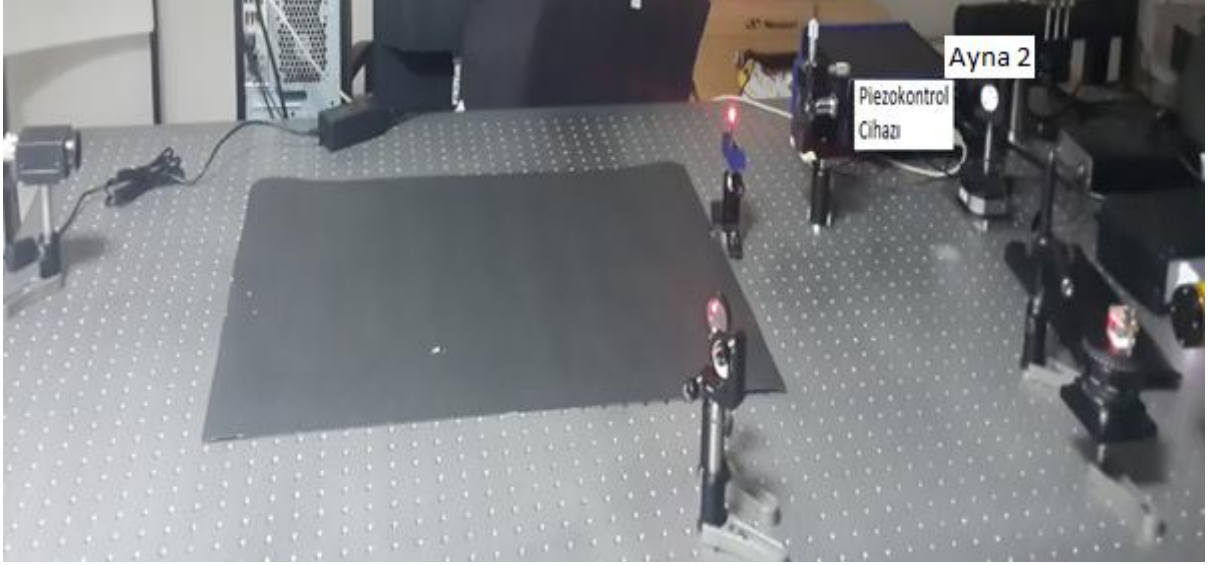
olan uzaklığı ise yaklaşık olarak 100 cm olarak konumlandırılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre hologramı çekilecek nüve örneğinin boyutu ise 0.8 cmx0.8 cm olarak ayarlanmış ve maddeler ışık yansıtıcı filmle kaplanmıştır. Holografik görüntüsü çekilen nüve örneğine ait bir resim şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7 Holografik görüntüsü çekilen bir nüve örneği.

5.2 İŞ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ İÇİN KULLANILAN FKDHİ SİSTEMİ

FKDHİ ile cismin holografik görüntüsünden faz bilgisini çıkarmak için gerekli olan holografik kayıt düzeneği Şekil 5.8’de gösterilmiştir. DHİ yöntemiyle holografı kaydı gerçekleştirmek için hazırlanan düzeneğin aynısıdır ama ayna2 Piezokontrol cihazıyla kontrol edilmekte ve referans dalga $\frac{\lambda}{4}, \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{4}$ ve λ kadar kaydırılarak cismin deformasyondan önceki hologramı ve cisme manyetik alan uygulandıktan sonraki hologramları ayrı ayrı kaydedilir. Her bir nüve örneğine aynı işlem uygulanır. Hologram görüntüleri her bir örnek için kaydedilir.



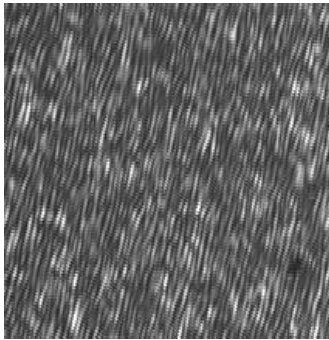
Şekil 5.8 FKDHİ kayıt düzeneği.

Her bir nüve örneğine ait 4 adet deformasyona uğramamış hologram ve 4 adet nüve örneğinin manyetik alan etkisi altındaki hologramı dijital ortamda saklanır.

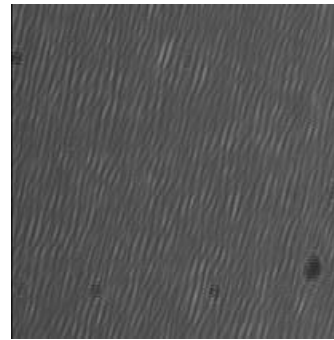
5.3 İŞ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ İÇİN KULLANILAN İŞARET İŞLEME ALGORİTMASI

5.3.1 DHİ Sisteminde Kullanılan İşaret İşleme Algoritması

DHİ yöntemi kullanılarak kaydedilen nüve örneğinin herhangi bir etkiye maruz kalmadan elde edilmiş holografik görüntüsü Şekil 5.9.a'da ve manyetik alan etkisi altındaki görüntüsü ise Şekil 5.9.b'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.9 a) Nüve örneğinin deformasyondan önceki hologramı, b) Nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakıldığı durumdaki hologramı.

Bölüm 3'te anlatıldığı gibi hologram referans ve cisim dalgası olarak adlandırılan iki dalganın girişim deseni ile oluşur. Hologram, şiddete bağlı olarak ifade edilecek olursa (Kreis 2005, Önal Tayyar et al. 2011),

$$I(x, y) = [E_c(x, y) + E_r(x, y)]^2 = [A_c(x, y)]^2 + [A_r(x, y)]^2 + 2[A_c(x, y)][A_r(x, y)]\cos(kz + \varphi(x, y)) \quad (5.1)$$

Bu denklemde, $E_c(x, y)$ cisim dalgasını ve $E_r(x, y)$ ise referans dalgayı ifade eder. (x, y, z) hologram düzlemi koordinatlarını, $A_c(x, y)$ cisim dalgasının genlik ifadesini, $A_r(x, y)$ referans dalganın genlik ifadesini, k dalga sayısı, φ ise her iki dalga arasındaki faz olarak adlandırılır. Denklem 5.1'de eşitliğin sağ tarafındaki ilk iki ifade cisim dalgası ve referans dalganın şiddeti ile ilişkilirken üçüncü ifade ise onlar arasındaki faz ilişkisini tanımlamaktadır. Denklem 5.1 yeniden düzenlenecek olursa,

$$I(x, y) = d(x, y) \quad (5.2)$$

$$d(x, y) = b(x, y) + c(x, y) \quad (5.3)$$

Denklem 5.3'te $b(x, y)$ genlik ifadesi, $c(x, y)$ ise hologramın faz ifadesidir. Bu ifadeler eşitlik 5.1 kullanılarak yeniden tanımlanacak olursa,

$$b(x, y) = [A_c(x, y)]^2 + [A_r(x, y)]^2 \quad (5.4)$$

$$c(x, y) = 2[A_c(x, y)][A_r(x, y)]\cos(\varphi(x, y)) \quad (5.5)$$

Holografik görüntüye ait faz bilgisini elde etmek için FDA kullanılmıştır. Optik profilometri için girişim deseni analizi yapan Takeda istenen faz bilgisini bulmak için denklem 5.3'ün Fourier dönüşümünü almıştır (Takeda and Mutoh 1983, Takeda et al. 1996).

$$D(k_x, y) = \mathfrak{F}\{d(x, y)\} \quad (5.6)$$

Satır satır Fourier Dönüşümü alınan holografik görüntünün faz ve genlik bilgisini gösteren ifade yeniden düzenlenecek olursa,

$$D(k_x, y) = A(k_x) + B(k_x - k_0, y) + B^*(k_x - k_0, y) \quad (5.7)$$

ifadesi elde edilir.

Bu denklemde $A(k_x)$ DC bileşen olarak adlandırılan genlik ifadesidir. $B(k_x - k_0, y)$ ve $B^*(k_x - k_0, y)$ ifadeleri ise fazın reel ve sanal kısmını ifade etmektedir. Dolayısıyla fazın reel kısmını elde etmek için hologram görüntüsüne ait DC bileşen ve faz bilgisinin sanal kısmının filtrelenmesi gerekmektedir. Filtreleme işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen yeni görüntünün satır satır Ters Fourier Dönüşümü alınarak holografik görüntüye ait faz bilgisi elde edilmiştir (Takeda and Mutoh 1983).

$$e(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}\{D(k_x, y)\} \quad (5.8)$$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}\{e(x, y)\}}{\text{Re}\{e(x, y)\}} = \varphi(x, y) \quad (5.9)$$

Bu işlemler hem deformasyona uğramamış hologram için hem de manyetik alan altındaki örneğe ait hologram için ayrı ayrı uygulanmış ve her iki görüntüye ait fazlar elde edilmiştir. Faz bilgisi bulunan hologramlar kullanılarak statik manyetik alanın etkisiyle nüve malzemede meydana gelen değişimi faz açısı olarak ifade edebilmek için cismin iki durumu arasındaki faz farkının hesaplanması gerekmektedir. Faz farkı matematiksel ifade edilecek olursa (Schnars 1994),

$$\Delta\varphi(x, y) = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (5.12)$$

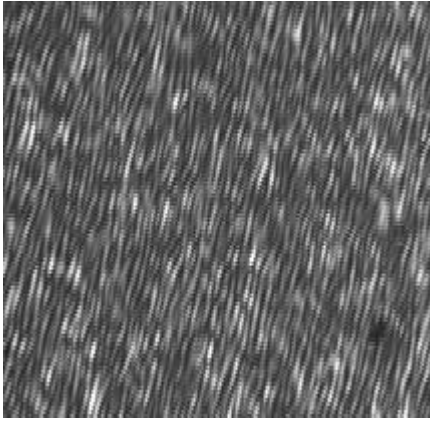
φ_1 ve φ_2 cisme herhangi bir etki olmadığı durumu ve manyetik kuvvet altındaki nüve örneğinin fazlarını ifade eder. Faz farkı $-\pi$ ile π arasındaki değerleri alır. MATLAB programındaki unwrap algoritması kullanılarak elde edilen faz farkının açısal değeri sürekli hale getirilmiştir.

5.3.2 FKDHİ Sisteminde Kullanılan İşaret İşleme Algoritması

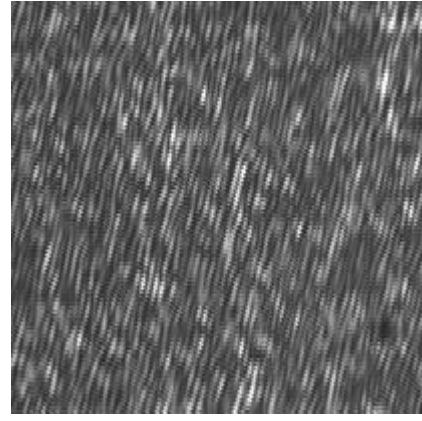
Faz kaydırmalı dijital holografî tekniğinde referans dalganın fazının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ kadar kaydırılarak 4 farklı hologram oluşturulur (Kim 2010, Iwasa et al. 2012, Lai et al. 1999, Kreis 2005).

$$\begin{aligned}
I_0 &= A_c^2 + A_r^2 + 2A_c A_r \cos \varphi \\
I_{\pi/2} &= A_c^2 + A_r^2 - 2A_c A_r \sin \varphi \\
I_\pi &= A_c^2 + A_r^2 - 2A_c A_r \cos \varphi \\
I_{3\pi/2} &= A_c^2 + A_r^2 + 2A_c A_r \sin \varphi
\end{aligned} \tag{5.10}$$

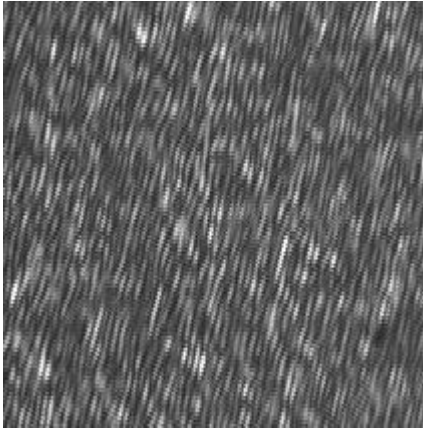
Faz kaydırmalı dijital hologram tekniği kullanılarak çekilen 4 adet deformasyona uğramamış hologram Şekil 5.10'da ve manyetik alan etkisi altındaki nüve örneğine ait 4 adet hologram Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



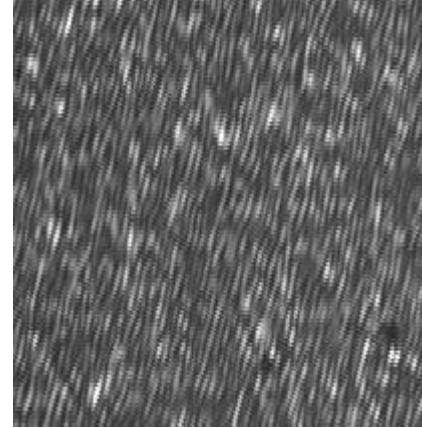
(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$

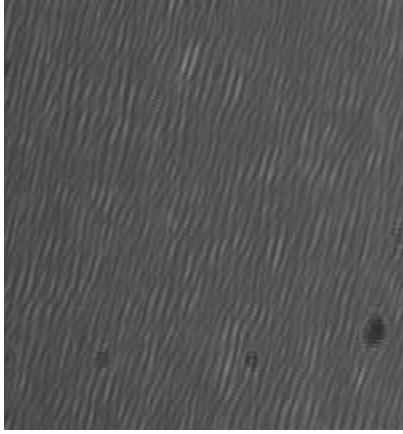


(c) Referans fazı $\varphi = \pi$

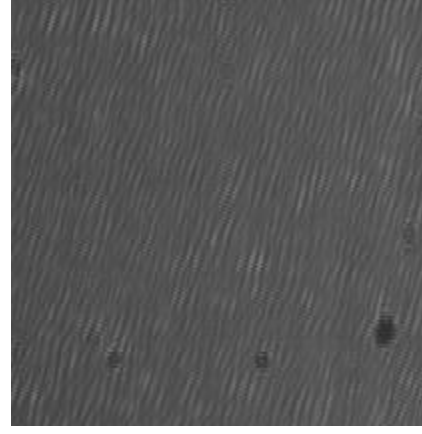


(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

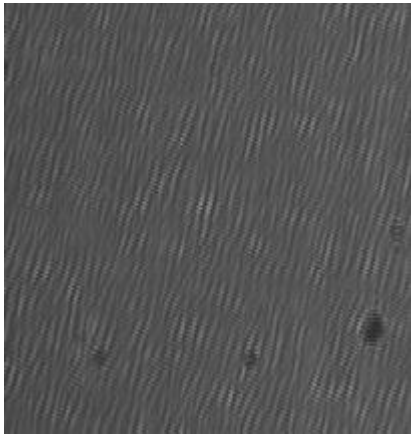
Şekil 5.10 Faz kaydırmalı dijital holografi kullanılarak manyetik alanın etkisine maruz bırakılmayan malzeme için sadece referans dalğanın fazı 4 farklı şekilde değiştirilerek elde edilen hologramlar.



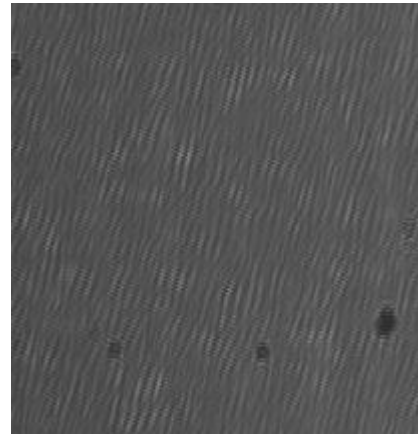
(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

Şekil 5.11 Faz kaydırmalı dijital holografi kullanılarak manyetik alana maruz bırakılan nüve malzeme için sadece referans dalganın fazı 4 farklı şekilde değiştirilerek elde edilen hologramlar.

Faz kaydırmalı dijital holografi tekniğinde 4 farklı hologram tek genliğe sahip bir hologram ifadesine dönüştürülecek olursa (Kim 2010),

$$c_1(x, y) = [\{I(0) - I(\pi)\} + \{I(\pi/2) + I(3\pi/2)\}]/4E_r \quad (5.11)$$

Elde edilen ifadenin faz bilgisi ise bölüm 5.3.1’de anlatılan FDA yöntemi ile çıkartılmıştır. Bu işlemler her iki durumdaki görüntüler için ayrı ayrı uygulanmış ve iki görüntü arasındaki faz farkı elde edilmiştir.

5.3.3 Faz Bilgisi Bulunan Dijital Hologramlar Kullanılarak Nüve Malzemenin Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespit Edilmesi

Faz farkı ifadesi bölüm 5.3.1’de anlatıldığı şekilde her iki yöntem için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu kısımda her iki yöntemle elde edilen faz farkı ifadesi kullanılarak statik manyetik alanın nüve örneğine yaptırmış olduğu iş miktarının nasıl hesaplandığı anlatılmıştır.

Manyetik alan etkisi nüve örneğine belli bir noktadan uygulanmaktadır. Uygulanan manyetik alan kuvveti nüve örneği üzerinde dönme etkisi meydana getirecektir. Tork olarak adlandırılan bu etki matematiksel olarak ifade edilirse,

$$\zeta = Fxr \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.13’te ζ tork ifadesi, F manyetik alan kuvveti ve r ise nüve örneğinin uzunluğudur. Bir başka deyişle tork, kuvvetin kuvvet koluyla çarpımı olarak ifade edilir.

Nüve örneği manyetik kuvvetin etkisiyle ilk durumundan farklı konuma gelmesi aşamasında belli miktarda iş yapmış olur. Nüve örneğinin faz farkına ve tork miktarına bağlı olarak yaptığı iş miktarı ise denklem 5.14’te gösterilmiştir.

$$W = \zeta * \Delta\varphi \quad (5.14)$$

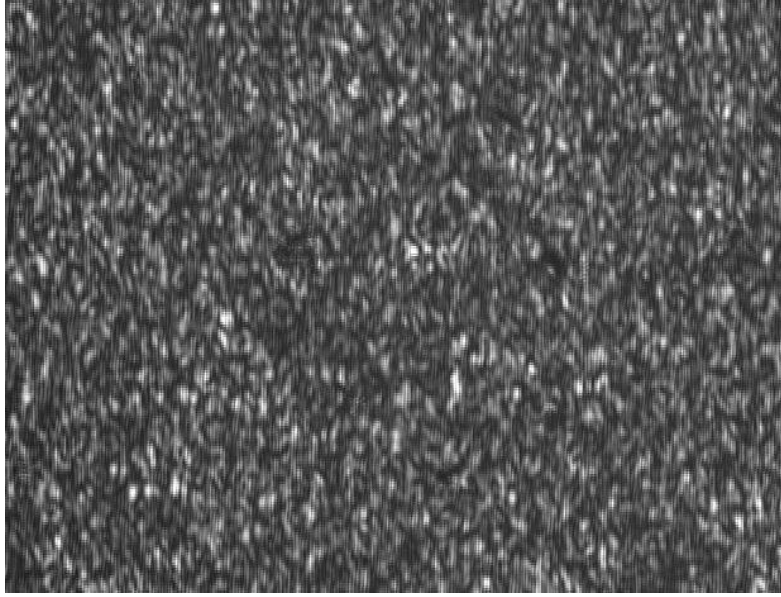
W nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarıdır, $\Delta\varphi$ ise faz farkıdır (Chapman 2005).

5.4 STATİK MANYETİK ALANLARIN ETKİSİYLE NÜVE MALZEMELERİN YAPMIŞ OLDUĞU İŞ MİKTARININ DHİ VE FKDHİ YÖNTEMLERİYLE ÖLÇÜLMESİ

Nüve malzemelerin yapmış olduğu iş miktarlarının ölçülmesi için kullanılan malzemeler M3(0.23 mm), M4(0.27 mm), M5(0.30 mm) kalite %3 Si-Fe katkılı nüve malzemelerdir. Bu saclar özellikle transformatör gibi elektromekanik cihazlarda kullanılırlar. Yapılarının ince olması girdap akımları kayıplarını azaltacağından dolayı bu saclar tercih edilmektedir.

5.4.1 M3 Kalite Sacın Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespiti

M3 kalite Si-Fe elektrik çeliği 0.23 mm kalınlığa sahiptir. Diğer kalite saclara göre daha ince bir yapıya sahiptir. DHİ yöntemi kullanılarak ve FKDHİ tekniği kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı ayrı ayrı tespit edilmiştir. İlk olarak M3 kalite saca ait nüve örneğinin herhangi bir manyetik alana maruz kalmadan holografik görüntüsü kaydedilmiştir ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



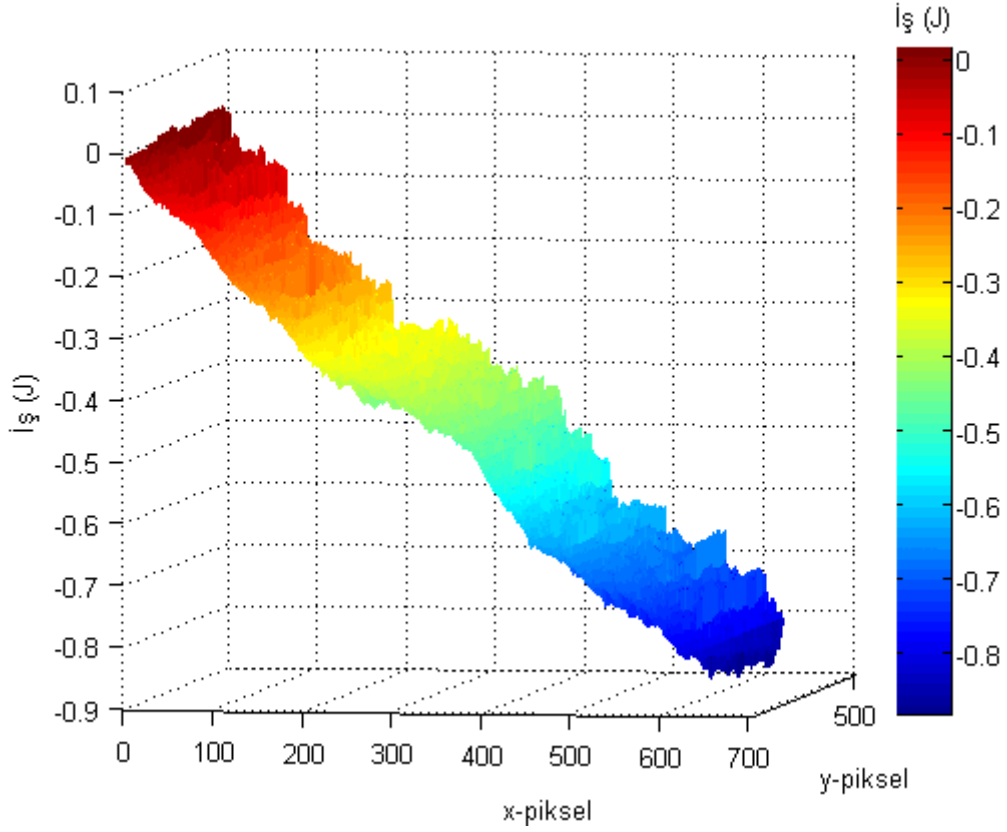
Şekil 5.12 M3 kalite nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramı.

Boyutları 40 * 20 * 5 mm olan N42 tip mıknatıs kullanılarak nüve malzeme üzerinde statik bir manyetik alan etkisi yaratılmıştır. Uygulanan statik manyetik alanın yoğunluğu yaklaşık olarak 0.2 T’dir. Manyetik alanın etkisiyle nüve örneğinin yüzeyinde bir değişim meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik görüntüsü kaydedilmiştir ve Şekil 5.13’te gösterilmiştir.



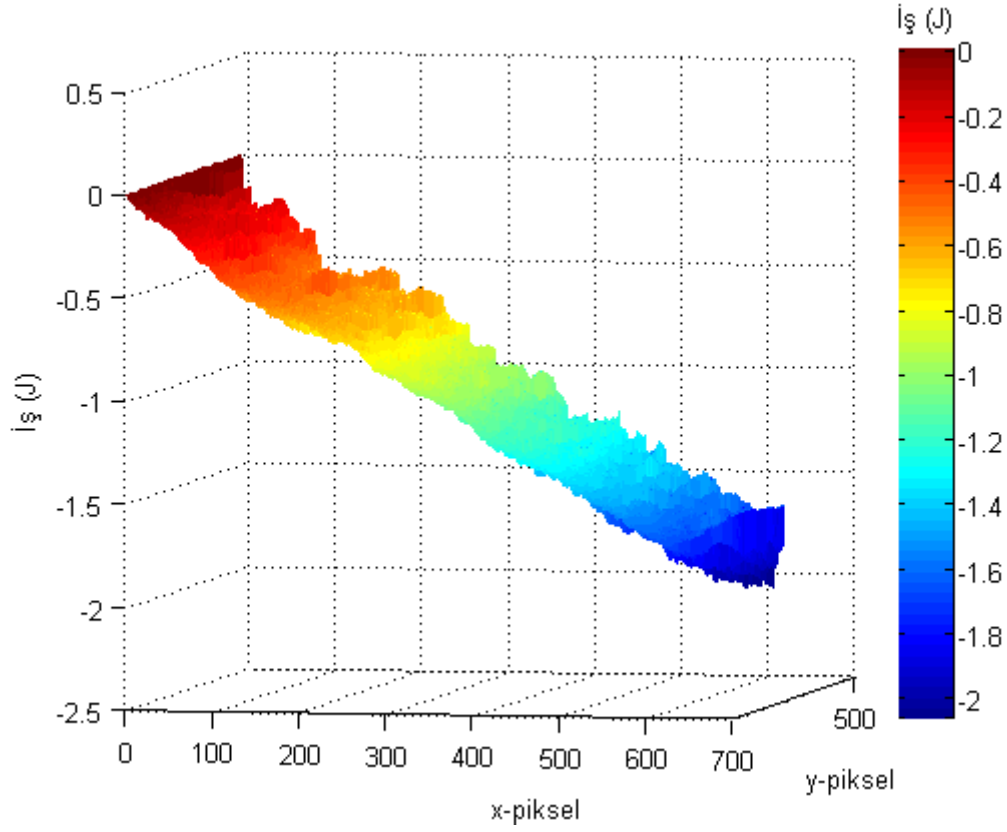
Şekil 5.13 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M3 nüve örneğinin dijital hologramı.

Manyetik alanın etkisi nüve örneğinde bir dönme meydana getirmiştir ve bu dönmeye bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı DHİ yöntemiyle hesaplanmıştır. Holografik görüntüler kullanılarak öncelikle her iki görüntünün faz bilgileri tespit edilmiş ve elde edilen faz bilgileri kullanılarak faz farkı hesaplanmıştır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve manyetik alan şiddetinin yaratmış olduğu tork miktarı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir. M3 kalite nüve malzemenin statik bir manyetik alan etkisi altında yapmış olduğu iş miktarının DHİ yöntemiyle tespiti Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



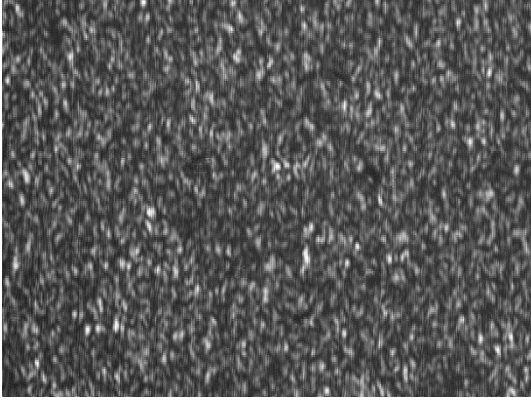
Şekil 5.14 DHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

M3 nüve örneğine statik manyetik alan şiddeti farklı olan farklı bir mıknatıs uygulanmıştır. Uygulanan statik manyetik alan boyutları $40 * 25 * 10 \text{ mm}$ N42 tip neodyum mıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 T 'dir. DHİ yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 5.15'te görülmektedir.

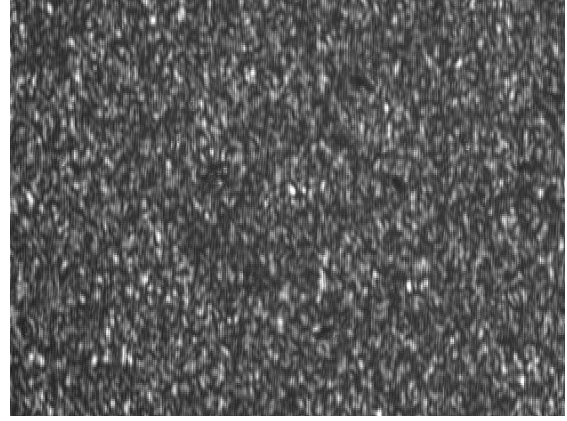


Şekil 5.15 DHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

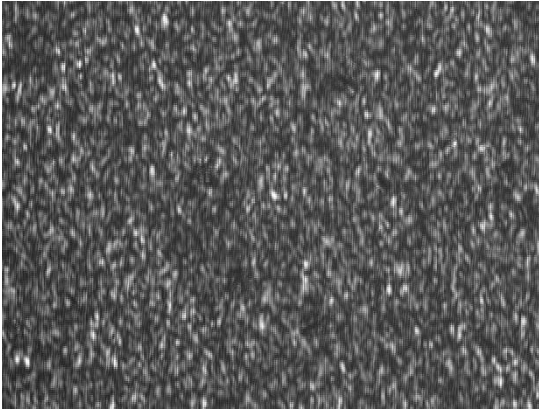
Bu çalışmada kullanılan bir diğer yöntem olan FKDHİ yöntemiyle ise M3 kalite nüve malzemeye herhangi bir kuvvet uygulanmadan referans fazının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ açıları kadar kaydırılmasıyla holografik görüntüleri kaydedilmiştir. Şekil 5.16'da referans dalganın faz açısının kaydırılmasıyla örneğe ait deformasyona uğramamış hologramlar gösterilmiştir.



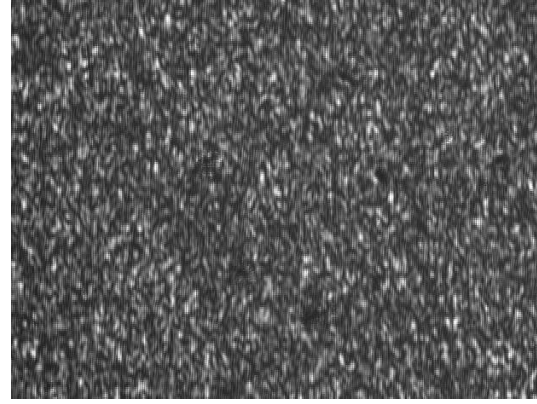
(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

Şekil 5.16 M3 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramları.

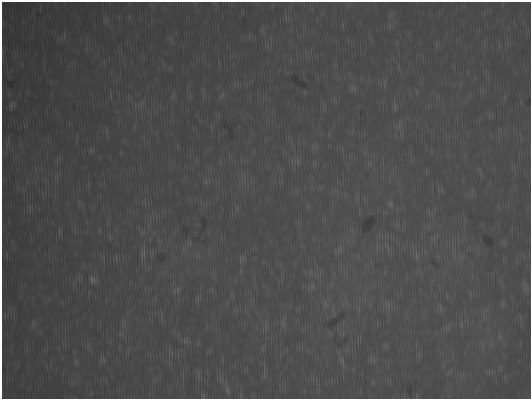
Boyutları $40 * 20 * 5 \text{ mm}$ olan N42 tip mıknatıs kullanılarak nüve malzeme üzerinde manyetik bir etki yaratılmıştır. Uygulanan statik manyetik alanın yoğunluğu yaklaşık olarak 0.2 T 'dir. Manyetik alanın etkisiyle nüve örneğinin yüzeyinde bir değişim meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik görüntüsü FKDHİ yöntemi kullanılarak referans dalganın faz açısının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ değerleri kadar kaydırılmasıyla holografik görüntüleri kaydedilmiştir ve Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



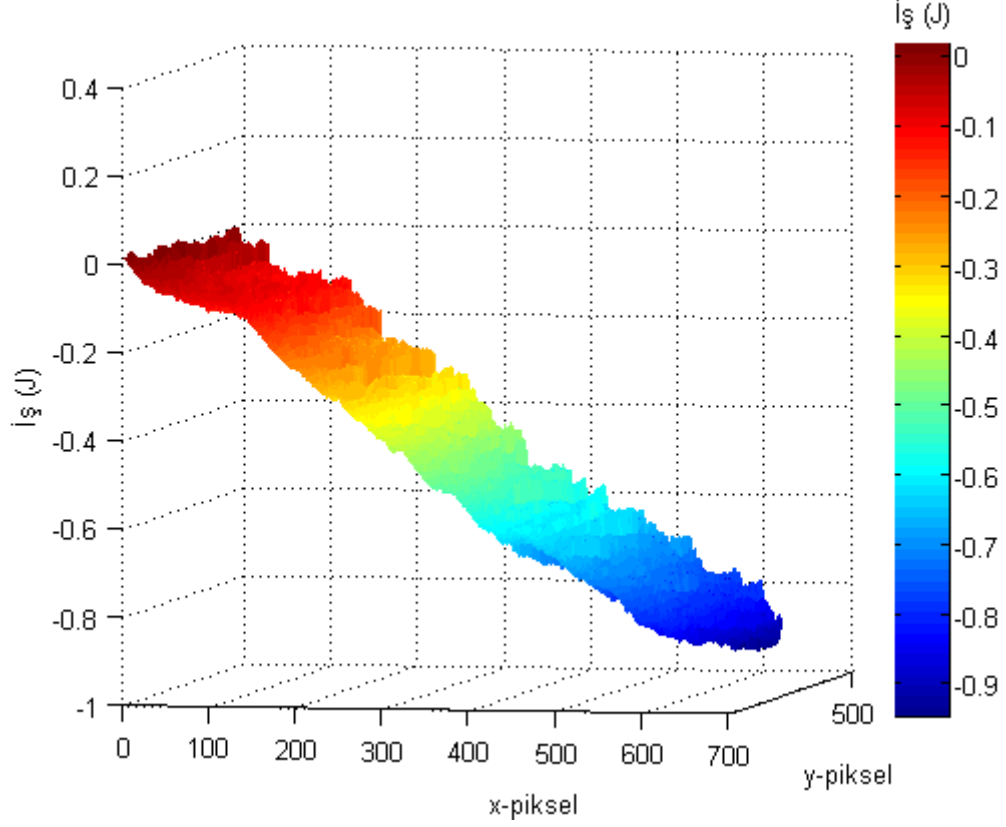
(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

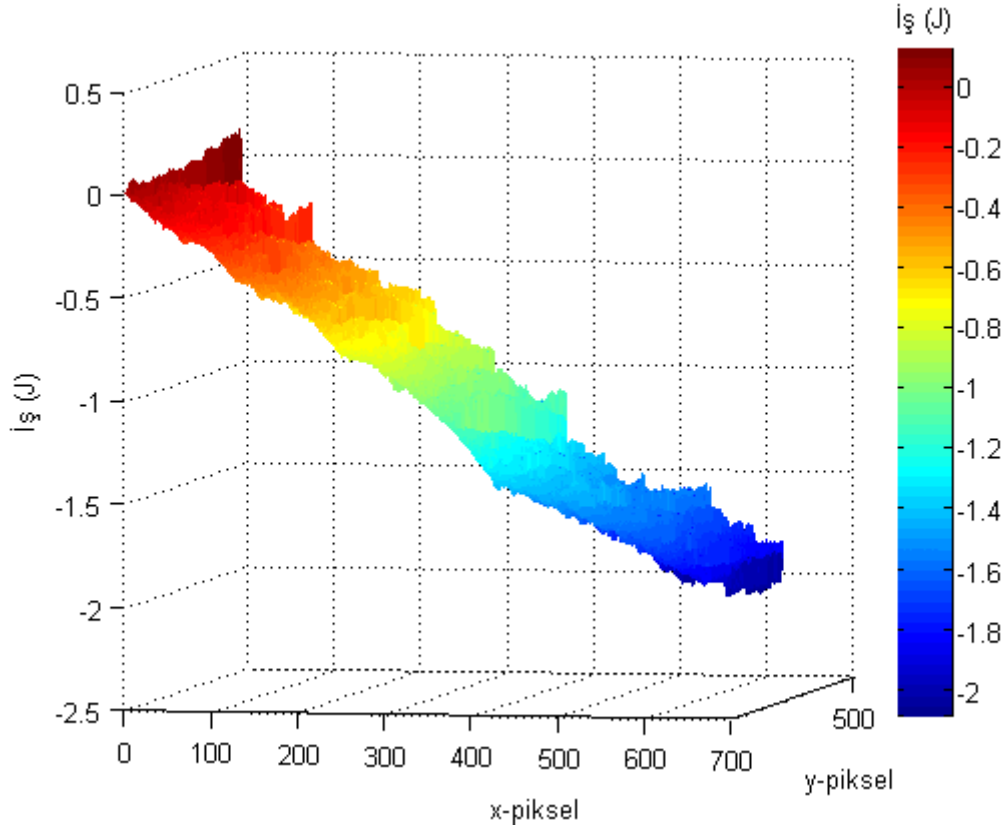
Şekil 5.17 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M3 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen hologramları.

Manyetik alanın etkisi nüve örneğinde bir dönme meydana getirmiştir ve bu dönmeye bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı FKDHİ yöntemiyle hesaplanmıştır. Holografik görüntüler kullanılarak öncelikle her iki görüntünün faz bilgileri tespit edilmiş ve elde edilen faz bilgileri kullanılarak faz farkı hesaplanmıştır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve manyetik alan şiddetinin yaratmış olduğu tork miktarı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir. M3 kalite nüve malzemenin statik bir manyetik alan altında yapmış olduğu iş miktarının FKDHİ yöntemiyle tespiti Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 FKDHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

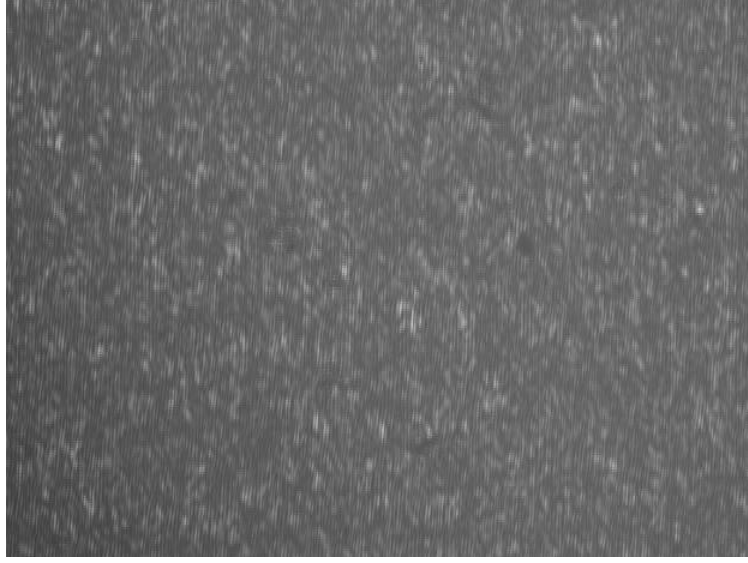
M3 nüve örneğine statik manyetik alan şiddeti farklı olan farklı bir mıknatıs uygulanmıştır. Uygulanan statik manyetik alan boyutları $40 * 25 * 10 \text{ mm}$ N42 tipinde neodyum mıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 G 'tur. FKDHİ yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 5.19'da görülmektedir.



Şekil 5.19 FKDHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M3 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

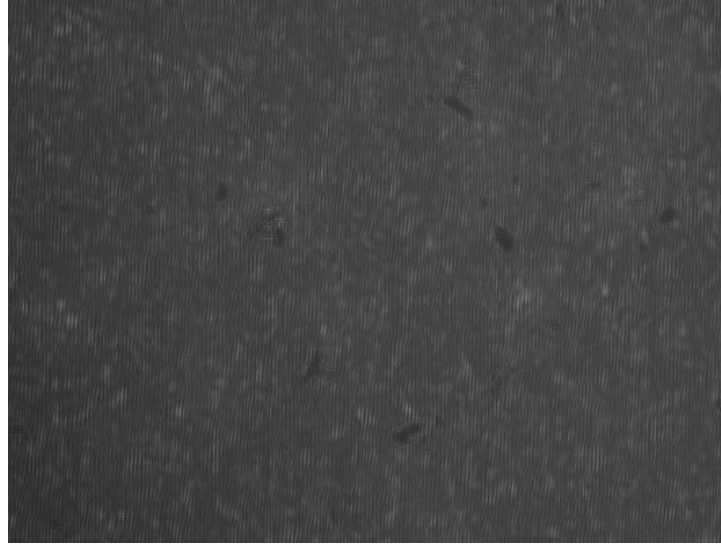
5.4.2 M4 Kalite Sacın Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespiti

M4 kalite Si-Fe elektrik çeliği 0.27 mm kalınlığa sahiptir. M3 kalite saca göre daha kalın bir yapıya sahipken M5 kalite saca göre ise daha ince bir yapıya sahiptir. DHİ yöntemi kullanılarak ve FKDHİ tekniği kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı ayrı ayrı tespit edilmiştir. İlk olarak M4 kalite saca ait nüve örneğinin herhangi bir manyetik alan etkisine maruz kalmadan holografik görüntüsü kaydedilmiştir ve Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 M4 kalite nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramı

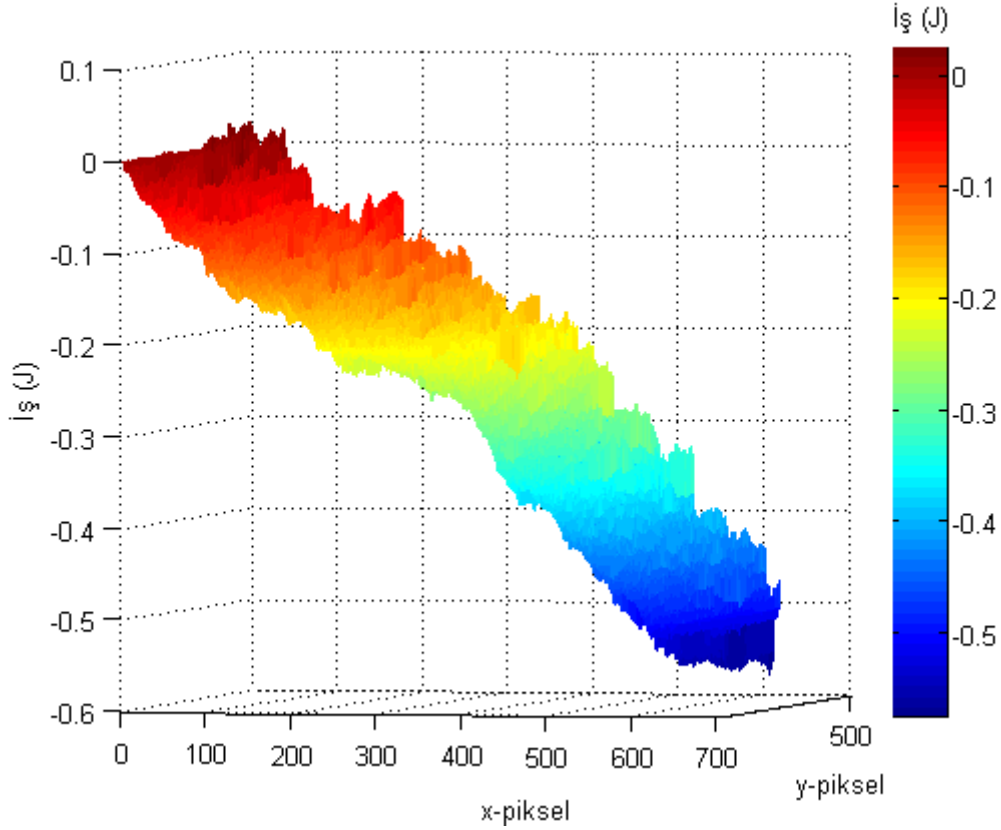
Boyutları $40 * 20 * 5 \text{ mm}$ olan N42 tip neodyum mıknatıs kullanılarak nüve malzeme üzerinde statik bir manyetik alan etkisi yaratılmıştır. Uygulanan statik manyetik alanın yoğunluğu yaklaşık olarak 0.20 T 'dir. Manyetik alanın etkisiyle nüve örneğinin yüzeyinde bir değişim meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik görüntüsü kaydedilmiştir ve Şekil 5.21'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M4 nüve örneğinin dijital hologramı

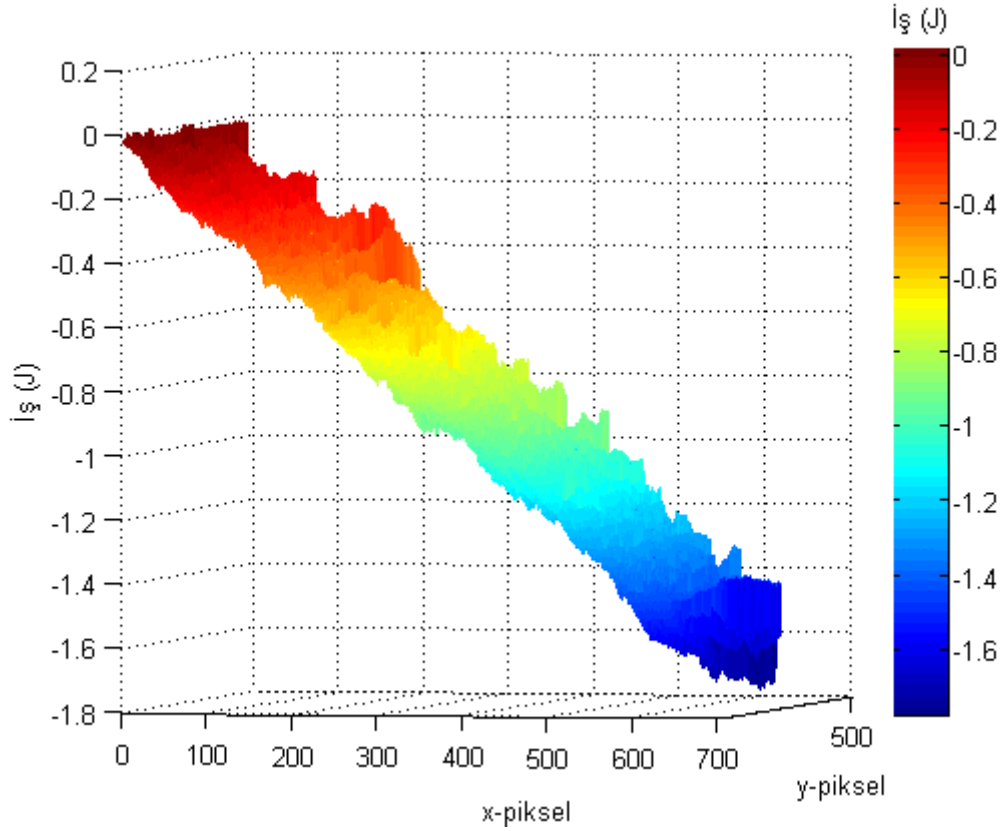
Manyetik alanın etkisi nüve örneğinde bir dönme meydana getirmiştir ve bu dönmeye bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı DHİ yöntemiyle hesaplanmıştır. Bölüm 5.3.2'de anlatıldığı gibi holografik görüntüler kullanılarak öncelikle her iki görüntünün faz

bilgileri tespit edilmiş ve elde edilen faz bilgileri kullanılarak faz farkı hesaplanmıştır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve manyetik alan şiddetinin yaratmış olduğu tork miktarı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir (Bakınız bölüm 5.4). M4 kalite nüve malzemenin statik bir manyetik alan altında yapmış olduğu iş miktarının DHİ yöntemiyle tespiti Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 DHİ yöntemi ile 0.2 T’lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

M4 nüve örneğine statik manyetik alan şiddeti farklı olan farklı bir mıknatıs uygulanmıştır. Uygulanan statik manyetik alan boyutları $40 * 25 * 10 \text{ mm}$ N42 tip neodyum mıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 T’dır. DHİ yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 5.23’te görülmektedir.

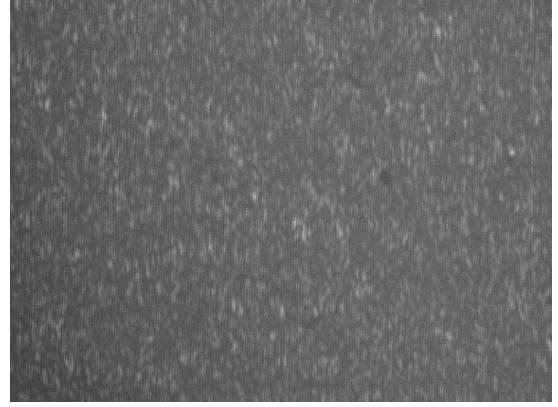


Şekil 5.23 DHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

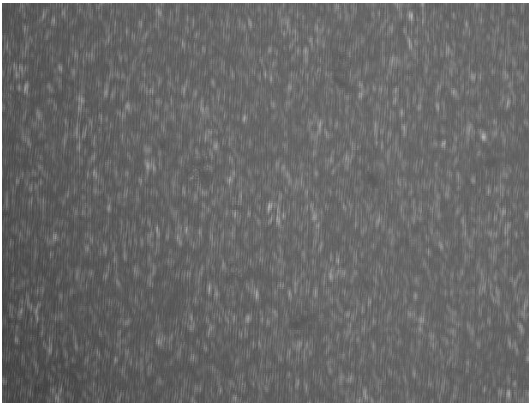
Bu çalışmada kullanılan bir diğer yöntem olan FKDHİ yöntemiyle ise M4 kalite nüve malzemeye herhangi bir kuvvet uygulanmadan referans fazının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ açıları kadar kaydırılmasıyla holografik görüntüleri kaydedilmiştir. Şekil 5.24'te referans dalganın faz açısının kaydırılmasıyla örneğe ait deformasyona uğramamış holografik görüntüler gösterilmiştir.



(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

Şekil 5.24 M4 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramları.

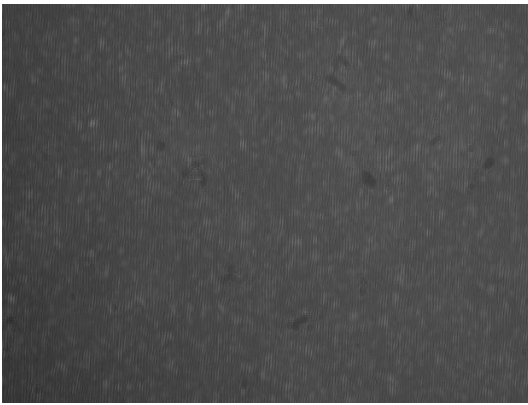
Boyutları $40 * 20 * 5 \text{ mm}$ olan N42 tip mıknatıs kullanılarak nüve malzeme üzerinde statik bir manyetik alan etkisi yaratılmıştır. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.20 T 'dir. Manyetik alanın etkisiyle nüve örneğinin yüzeyinde bir değişim meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik görüntüsü FKDHİ yöntemi kullanılarak referans dalganın faz açısının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ değerleri kadar kaydırılmasıyla holografik görüntüleri kaydedilmiştir ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



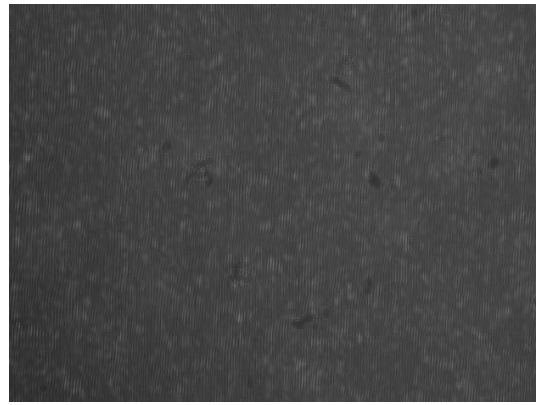
(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



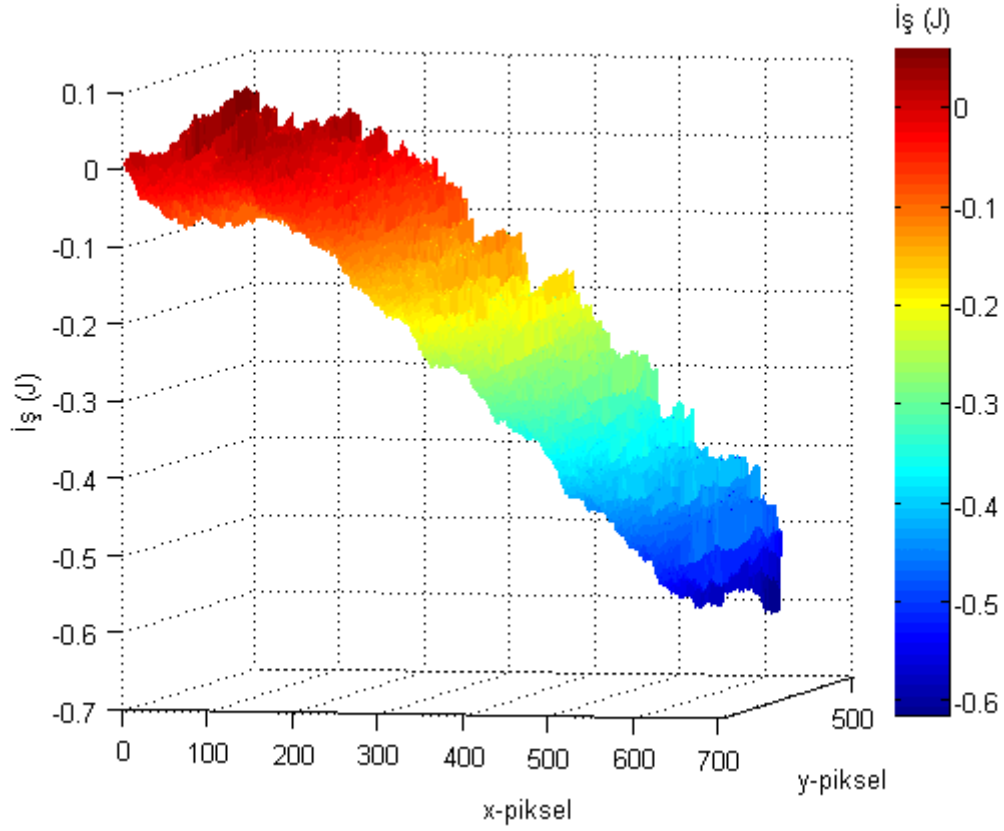
(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

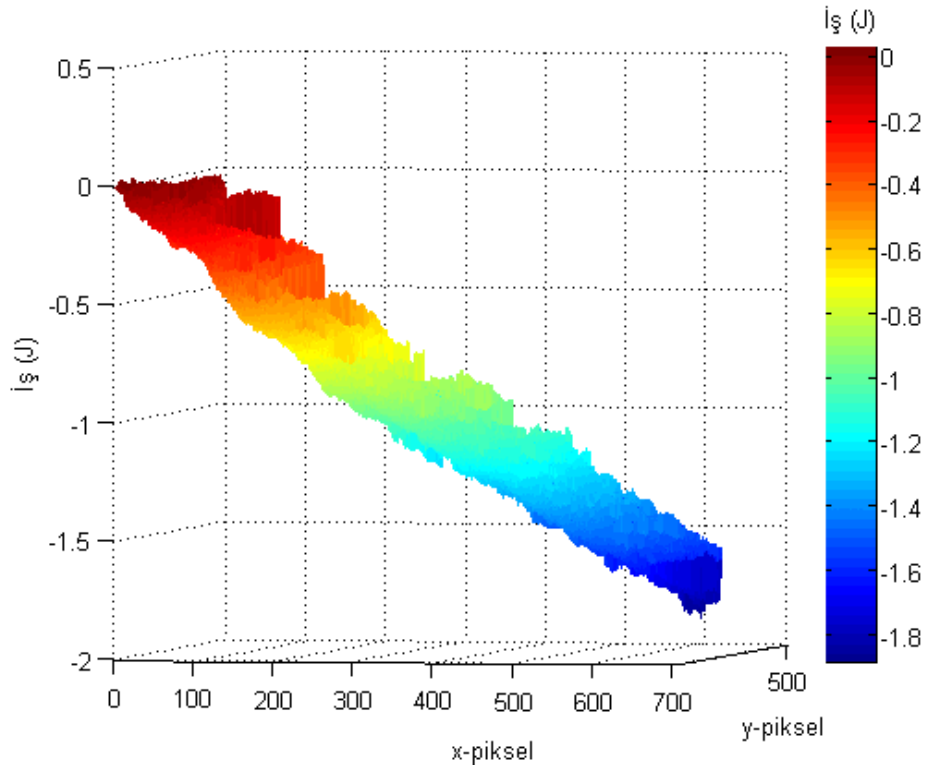
Şekil 5.25 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M4 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen hologramları.

Manyetik alan etkisi nüve örneğinde bir dönme meydana getirmiştir ve bu dönmeye bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı FKDHİ yöntemiyle hesaplanmıştır. Bölüm 5.3.2’de anlatıldığı gibi holografik görüntüler kullanılarak öncelikle her iki görüntünün faz bilgileri tespit edilmiş ve elde edilen faz bilgileri kullanılarak faz farkı hesaplanmıştır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve manyetik alan şiddetinin yaratmış olduğu tork miktarı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir (Bakınız bölüm 5.4). M4 kalite nüve malzemenin statik bir manyetik alan etkisi altında yapmış olduğu iş miktarının FKDHİ yöntemiyle tespiti Şekil 5.26’da gösterilmiştir.



Şekil 5.26 FKDHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

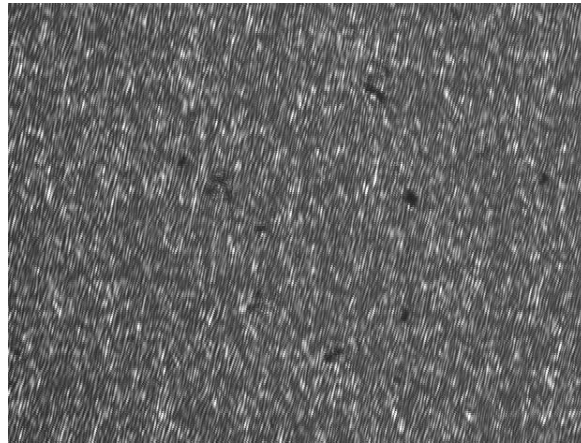
M4 nüve örneğine statik manyetik alan şiddeti farklı olan farklı bir mıknatıs uygulanmıştır. Uygulanan statik manyetik alan boyutları $40 * 25 * 10 \text{ mm}$ N42 tip neodyum mıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 T 'dir. FKDHİ yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 5.27'de görülmektedir.



Şekil 5.27 FKDHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

5.4.3 M5 Kalite Sacın Yapmış Olduğu İş Miktarının Tespiti

M5 kalite Si-Fe elektrik çeliği 0.30 mm kalınlığa sahiptir. M3 ve M4 kalite saca göre daha kalın bir yapıya sahiptir. DHİ yöntemi kullanılarak ve FKDHİ tekniği kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı ayrı ayrı tespit edilmiştir. İlk olarak M5 kalite saca ait nüve örneğinin herhangi bir manyetik alan etkisine maruz kalmadan holografik görüntüsü kaydedilmiştir ve Şekil 5.28'de gösterilmiştir.



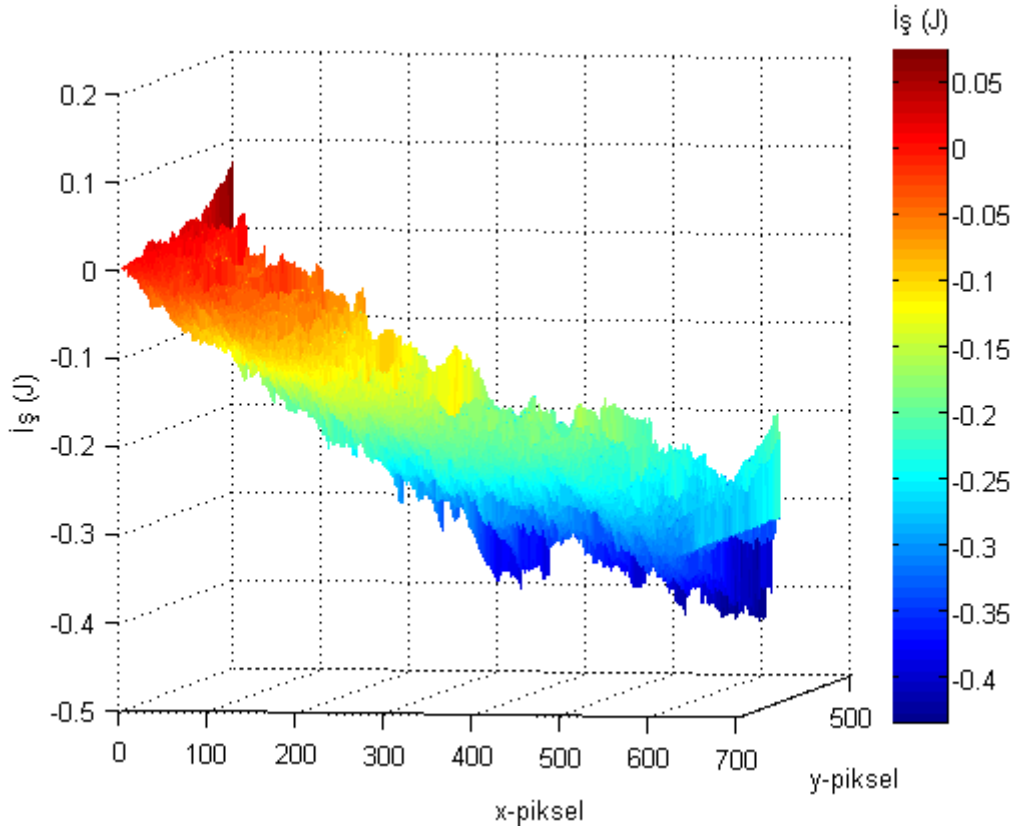
Şekil 5.28 M5 kalite nüve örneğinin manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramı.

Boyutları $40 * 20 * 5 \text{ mm}$ olan N42 tip mıknatıs kullanılarak nüve malzeme üzerinde statik bir manyetik alan etkisi yaratılmıştır. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 T 'dir. Manyetik alanın etkisiyle nüve örneğinin yüzeyinde bir değişim meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik görüntüsü kaydedilmiştir ve Şekil 5.29'da gösterilmiştir.



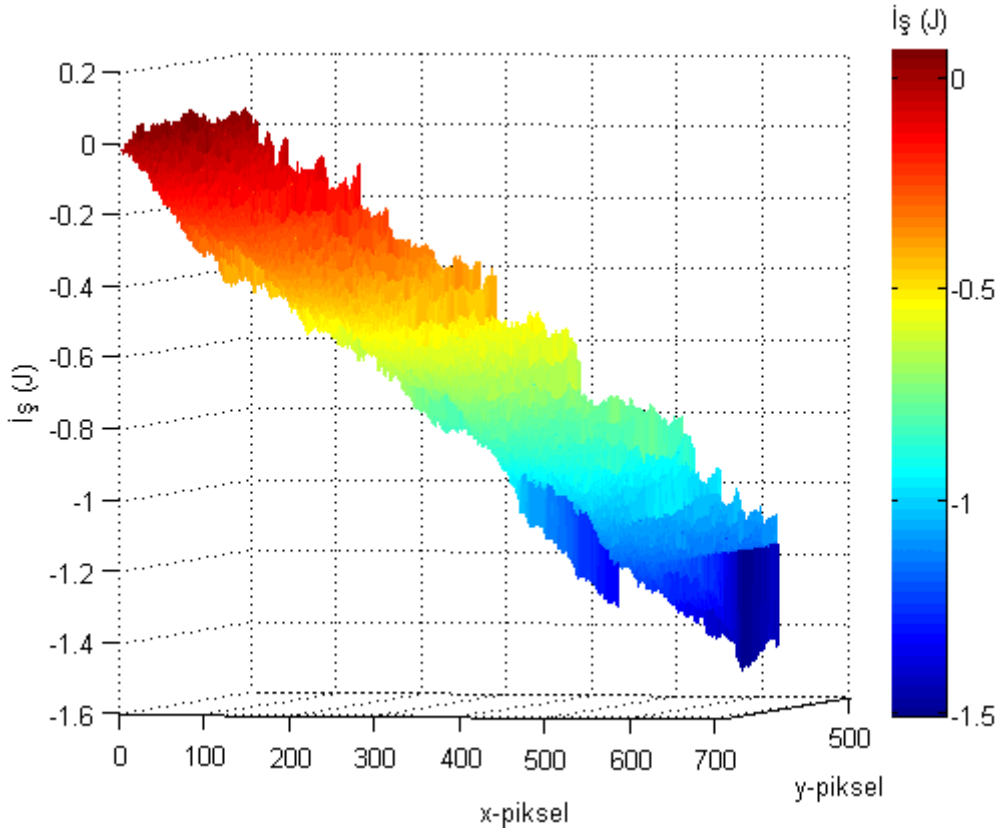
Şekil 5.29 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M5 nüve örneğinin dijital hologramı.

Manyetik alanın etkisi nüve örneğinde bir dönme meydana getirmiştir ve bu dönmeye bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı DHİ yöntemiyle hesaplanmıştır. Bölüm 5.3.2'de anlatıldığı gibi holografik görüntüler kullanılarak öncelikle her iki görüntünün faz bilgileri tespit edilmiş ve elde edilen faz bilgileri kullanılarak faz farkı hesaplanmıştır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve manyetik alan şiddetinin yaratmış olduğu tork miktarı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir (Bakınız bölüm 5.4). M5 kalite nüve malzemenin statik bir manyetik alan altında yapmış olduğu iş miktarının DHİ yöntemiyle tespiti Şekil 5.30'da gösterilmiştir.



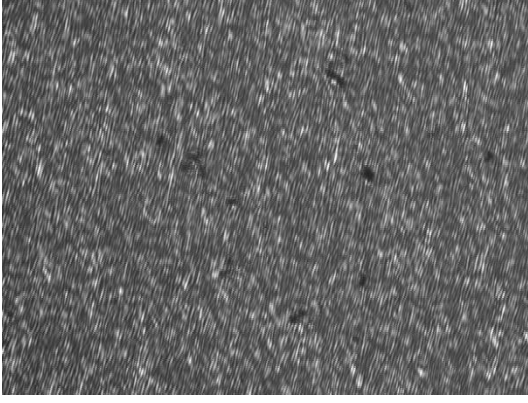
Şekil 5.30 DHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M5 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

M4 nüve örneğine statik manyetik alan şiddeti farklı olan farklı bir mıknatıs uygulanmıştır. Uygulanan statik manyetik alan boyutları $40 * 25 * 10 \text{ mm}$ N42 tip neodyum mıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 T 'dir. DHİ yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 5.31'de görülmektedir.

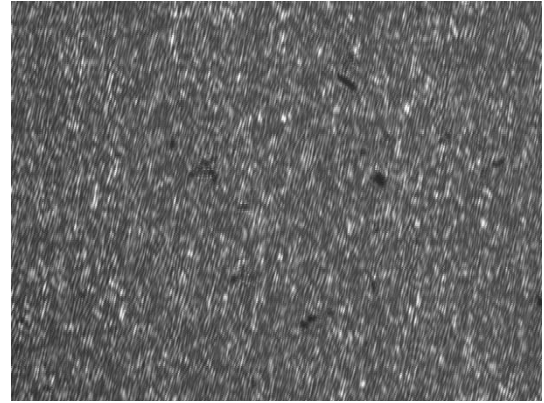


Şekil 5.31 DHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M4 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

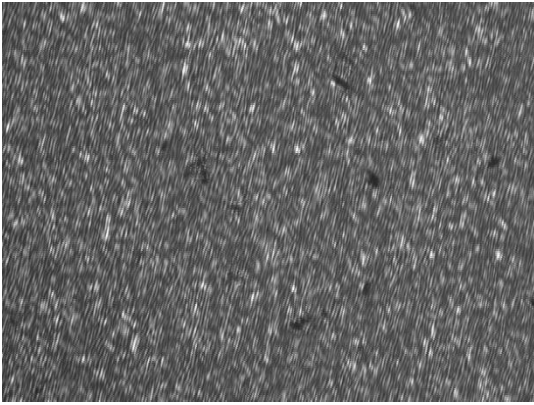
Bu çalışmada kullanılan bir diğer yöntem olan FKDHİ yöntemiyle ise M5 kalite nüve malzemeye herhangi bir manyetik alan uygulanmadan referans fazının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ açıları kadar kaydırılmasıyla holografik görüntüleri kaydedilmiştir. Şekil 5.32'de referans dalganın faz açısının kaydırılmasıyla örneğe ait deformasyona uğramamış holografik görüntüleri gösterilmiştir.



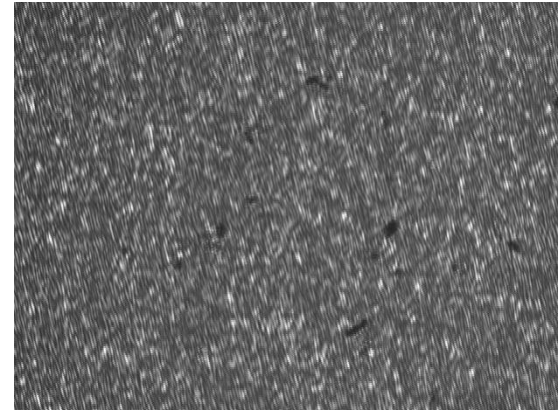
(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



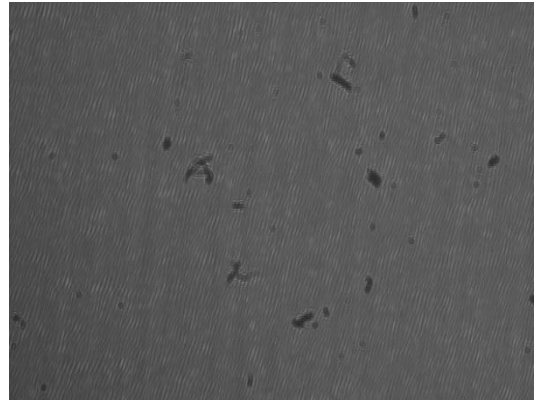
(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

Şekil 5.32 M5 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen manyetik alana maruz bırakılmadan önceki hologramları.

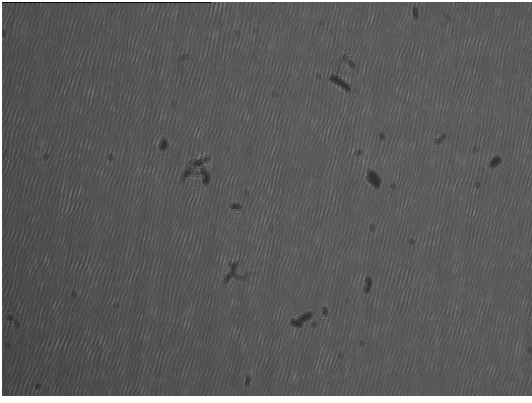
Boyutları $40 * 20 * 5 \text{ mm}$ olan N42 tip mıknatıs kullanılarak nüve malzeme üzerinde statik bir manyetik alan etkisi yaratılmıştır. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.20 T 'dir. Manyetik alanın etkisiyle nüve örneğinin yüzeyinde bir değişim meydana gelmiştir. Cismin bu yeni durumdaki holografik görüntüsü FKDHİ yöntemi kullanılarak referans dalganın faz açısının sırasıyla $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ değerleri kadar kaydırılmasıyla holografik görüntüleri kaydedilmiştir ve Şekil 5.33'te gösterilmiştir.



(a) Referans fazı $\varphi = 0$



(b) Referans fazı $\varphi = \pi/2$



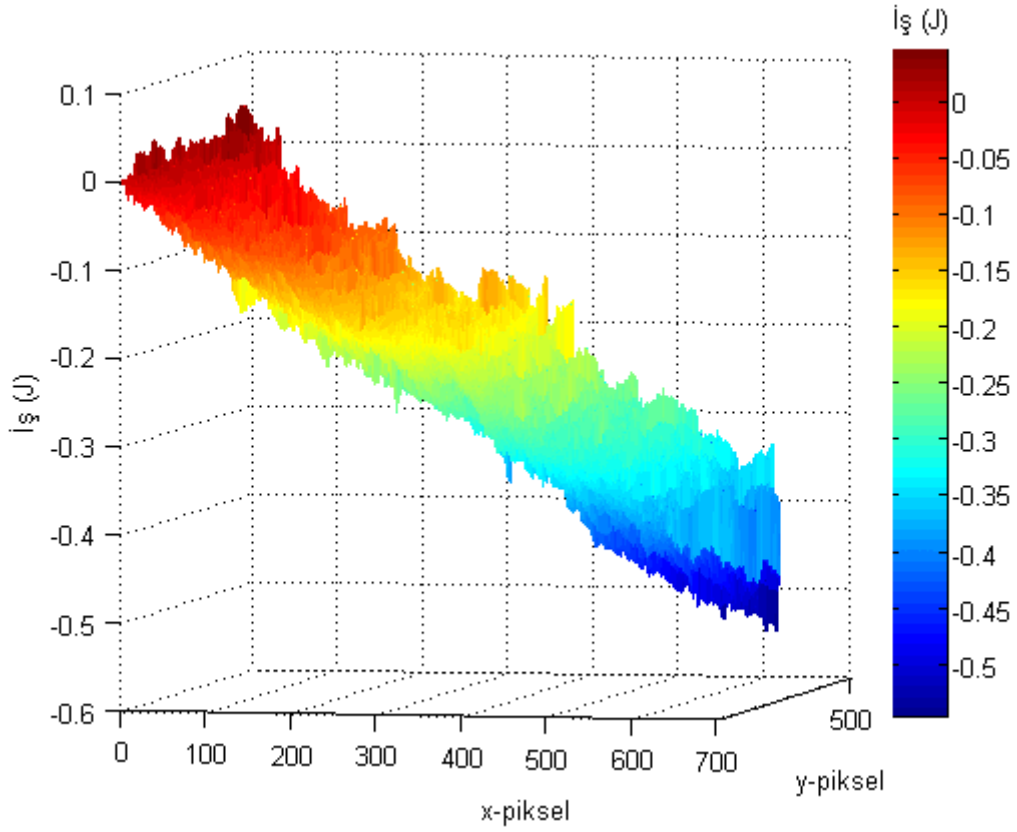
(c) Referans fazı $\varphi = \pi$



(d) Referans fazı $\varphi = 3\pi/2$

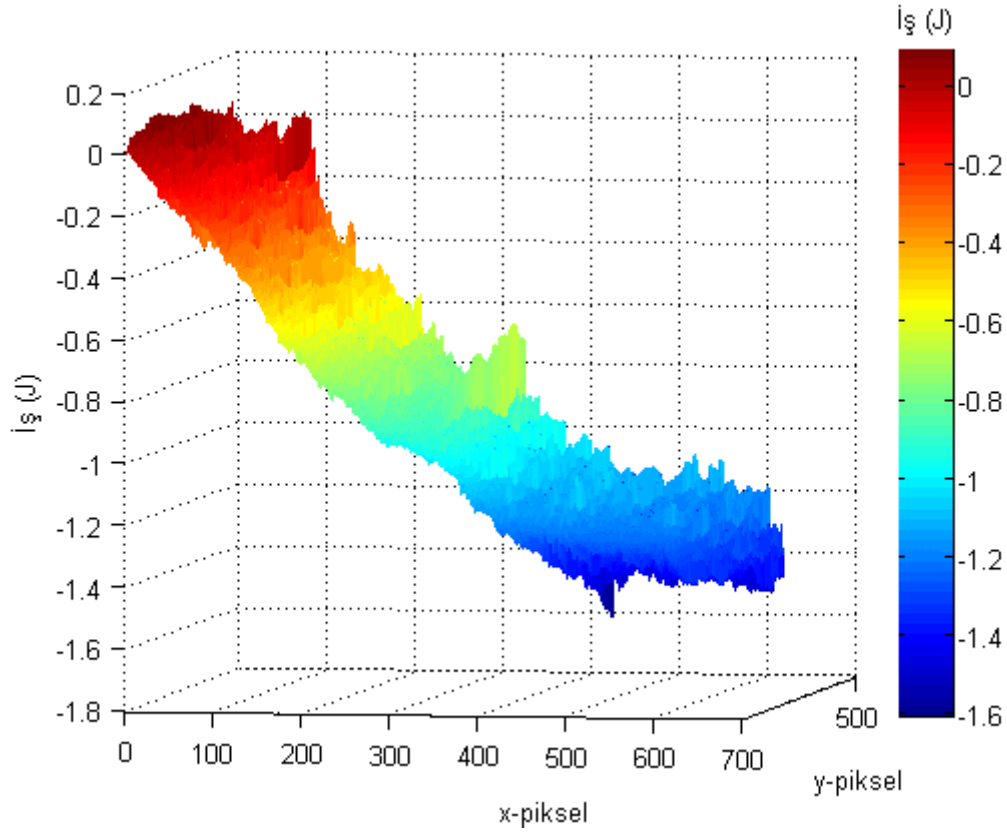
Şekil 5.33 Manyetik alan etkisine maruz bırakılan M5 kalite sacın FKDHİ yöntemi ile sadece referans fazı kaydırılarak elde edilen hologramları.

Manyetik alanın etkisi nüve örneğinde bir dönme meydana getirmiştir ve bu dönmeye bağlı olarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı FKDHİ yöntemiyle hesaplanmıştır. Bölüm 5.3.2’de anlatıldığı gibi holografik görüntüler kullanılarak öncelikle her iki görüntünün faz bilgileri tespit edilmiş ve elde edilen faz bilgileri kullanılarak faz farkı hesaplanmıştır. Hesaplanan faz farkı kullanılarak ve manyetik alan şiddetinin yaratmış olduğu tork miktarı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir (Bakınız bölüm 5.4). M5 kalite nüve malzemenin statik bir manyetik alan altında yapmış olduğu iş miktarının FKDHİ yöntemiyle tespiti Şekil 5.34’te gösterilmiştir.



Şekil 5.34 FKDHİ yöntemi ile 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M5 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

M4 nüve örneğine statik manyetik alan şiddeti farklı olan farklı bir mıknatıs uygulanmıştır. Uygulanan statik manyetik alan boyutları $40 * 25 * 10 \text{ mm}$ N42 tip neodyum mıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan statik manyetik alan yoğunluğu yaklaşık olarak 0.33 T 'dır. FKDHİ yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 5.35'te görülmektedir.



Şekil 5.35 FKDHİ yöntemi ile 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan M5 nüve örneğinin yapmış olduğu iş miktarı.

İş miktarının belirlenmesinde manyetik alan etkisiyle oluşan faz farkı önem taşımaktadır. Nüve malzemelerin kalınlıklarının birbirine çok yakın değerler olmasından dolayı manyetik alan etkisi sonucunda oluşan faz farkı hesaplamasının hassasiyetinin mümkün olduğunca doğru ve itinalı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Nüve malzemelerin yapmış olduğu iş miktarı daha önce grafiksel olarak ortaya konulmuştur. Çizelge 5.1'de ve Çizelge 5.2'de sırası ile 0.2 T ve 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemelerin yukarıda sunulan iki farklı yöntem kullanılarak yaptıkları iş miktarlarının değerleri karşılaştırma yapmak için sunulmuştur. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar paralellik göstermektedir.

Çizelge 5.1 0.2 T'lık manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemelerin (M3 M4 M5) yaptıkları iş miktarlarının ortalama değerleri.

| Nüve Malzemenin Cinsi | Manyetik Alan Şiddeti | Holografik İnterferometri Kullanılarak Elde Edilen Sonuç (Joule) | Faz Kaydırmalı Dijital Holografik İnterferometri Kullanılarak Elde Edilen Sonuç (Joule) |
|------------------------------|------------------------------|---|--|
| M3 | 0.20 T | 0.8986 | 0.9660 |
| M4 | 0.20 T | 0.6006 | 0.6745 |
| M5 | 0.20 T | 0.5096 | 0.5933 |

Çizelge 5.2 0.33 T'lık manyetik alana maruz bırakılan nüve malzemelerin (M3 M4 M5) yaptıkları iş miktarlarının ortalama değerleri.

| Nüve Malzemenin Cinsi | Manyetik Alan Şiddeti | Holografik İnterferometri Kullanılarak Elde Edilen Sonuç (Joule) | Faz Kaydırmalı Dijital Holografik İnterferometri Kullanılarak Elde Edilen Sonuç (Joule) |
|------------------------------|------------------------------|---|--|
| M3 | 0.33 T | 2.0691 | 2.2145 |
| M4 | 0.33 T | 1.7936 | 1.9157 |
| M5 | 0.33 T | 1.5741 | 1.7007 |

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde iki farklı statik manyetik alan altında M3 nüve malzemesi en çok mekanik iş yapan malzemedir. En az mekanik işi yapan malzeme ise M5 nüve malzemesidir. Literatürde M3, M4 ve M5 nüve malzemesine ait kayıp değerleri Çizelge 5.3'te sunulmuştur.

Çizelge 5.3 Nüve malzemelerin farklı manyetik alan etkisi altındaki kayıp değerleri (Alboyacı et al. 2011).

| Kalınlık (mm) | 50 Hz | | |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 1.3 T'da W/kg | 1.5 T'da W/kg | 1.7 T'da W/kg |
| 0.23 (M3) | 0.49 | 0.73 | 1.10 |
| 0.27 (M4) | 0.64 | 0.89 | 1.40 |
| 0.30 (M5) | 0.68 | 0.97 | 1.50 |

Çizelge 5.3'e göre kayıplar incelendiğinde ise en fazla kaybın M5 nüve malzemesinde meydana geldiği gözlemlenmektedir. En az kayıp ise M3 nüve malzemedede gerçekleşmektedir. Elde edilen nüve malzemelerin yapmış oldukları iş miktarları ile nüve malzemelerde meydana gelen kayıplar arasında ters bir orantı olduğu görülmektedir. En çok iş yapan nüve malzeme aynı zaman en az kayıp değerini vermektedir. Dolayısıyla en çok iş yapan malzeme daha iyi nüve karakteristiği göstermektedir. Doğal olarak en az iş yapan malzeme ise en fazla kayıp değerini vereceğinden daha kötü bir nüve malzeme karakteristiği göstermektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Statik bir manyetik alanın nüve malzemeye yaptırmış olduğu iş miktarının araştırıldığı bu çalışmada örnek olarak alınan nüve malzemelere statik bir manyetik alan uygulanmış ve uygulanan manyetik alan şiddetinin nüve malzemeye yaptırmış olduğu iş miktarı optik metotlar kullanılarak tespit edilmiştir. Örnek olarak kullanılan nüve malzemeler M3, M4 ve M5 kalite sac olarak adlandırılan ve özellikle transformatör gibi elektromekanik cihazlarda kullanılan örnek malzemelerdir. İnce yapılarından dolayı tercih edilen bu malzemelerin tercih edilme sebepleri ise düşük güç kayıplarına neden olmalarıdır.

Çalışmanın ilk aşamasında DHİ yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle örnek olarak kullanılacak nüve malzemeler özdeş boyutlara getirilmiştir. Uygun boyutlara indirgenemeyen nüve malzemelerin holografik görüntüsünün kaydı yapılamaz. Bu yüzden cismin holografik görüntüsünün kaydedilebilmesi için uygun boyutlara indirgenmesi gereklidir. Örnek malzemelere herhangi bir manyetik alan uygulanmadan cisimlerin holografik görüntüleri dijital olarak kaydedilmiştir. Nüve örneklerine statik ve sabit bir manyetik alan uygulanmıştır. Manyetik alan etkisi altındaki nüve örneklerinin holografik görüntüleri kaydedilmiştir. Her iki durumda kaydedilen nüve malzemelere ait holografik görüntülerin faz bilgilerine daha önce optik profilometride girişim deseni analizi için kullanılan FDA ile ulaşılmıştır. Elde edilen faz bilgileri interferometrik olarak karşılaştırılmış ve iki görüntü arasındaki faz farkı tespit edilmiştir. Nüve malzemeye uygulanan manyetik alan şiddeti ve faz farkı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise daha önce çeşitli çalışmalarda kullanılan FKDHİ yöntemi kullanılmıştır. Referans dalgaının faz açısı 90^0 artırılarak 4 farklı hologram kaydedilmesi prensibine dayanan bu yöntemle çalışmanın ilk aşamasından farklı olarak nüve örneğine herhangi bir kuvvet uygulanmadan 4 adet hologramı çekilmiştir. Oluşturulan 4 hologram ifadesi denklem 5.11 kullanılarak tek bir hologram ifadesine indirgenmiş ve bu ifadenin fazı

yine FDA kullanılarak bulunmuştur. Daha sonra nüve malzemeye statik manyetik alan uygulanmıştır. Referans dalga yine 90^0 artırılarak nüve malzemenin yeni durumdaki 4 adet hologramı kaydedilmiştir. Daha sonra 4 hologram ifadesi tek bir holograma indirgenmiş ve bu ifadenin faz bilgisine FDA kullanılarak ulaşılmıştır. Elde edilen faz bilgileri interferometrik olarak karşılaştırılmış ve iki görüntü arasındaki faz farkı tespit edilmiştir. Nüve malzemeye uygulanan manyetik alan şiddeti ve faz farkı kullanılarak nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü ve son aşamasında ise uygulanan manyetik alan şiddetinin miktarı değiştirilmiştir. Farklı manyetik alan etkisi altındaki nüve örneklerinin yapmış olduğu iş miktarları her iki yöntemle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olup olmadığı tespit edilmiştir.

İki farklı yöntem kullanılarak nüve malzemelerin performansının tespit edilmesinin amaçlandığı çalışmada her iki yönteminde performansı doğru şekilde sonuçlandırdığı görülmüştür. DHİ yöntemi kullanılarak yapılan performans ölçüm sonuçlarının FKDHİ yöntemi ile elde edilen sonuçlardan çok az farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen grafikler yorumlandığında ise DHİ yöntemiyle elde edilen sonuçların ortamın gürültüsünden daha fazla etkilendiği görülmektedir. Bu yüzden FKDHİ yöntemiyle elde edilen sonuç grafikleri daha pürüzsüz bir şekildedir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçların paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde elde edilen sonuçların nüve malzemelerin kalınlıklarıyla ters orantılı bir şekilde dağılım gösterdiği görülmektedir. En çok iş yapan nüve malzemenin aynı zamanda en ince yapıya sahip olan M3 kalite saca ait olduğu görülmektedir. En az iş yapan malzeme olan M5 kalite sac malzemenin ise en çok kayıp verdiği tespit edilmiştir. Farklı bir statik manyetik alan altında gerçekleştirilen performans ölçüm işleminde de sonuçların bu doğrultuda olduğu anlaşılmıştır. Güç kayıplarının kalın yapıya sahip malzemelerde daha fazla olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla oluşturulan optik düzenek, performansı ölçülecek malzemelerin yapmış olduğu iş miktarına bağlı olarak hangi malzemenin daha çok kayba neden olacağını tespitinin yapılmasına imkân tanımıştır. Ayrıca bu sistemin bir diğer avantajı, hakkında herhangi bir bilgi olmayan nüve malzeme olabilecek malzemelerin performanslarının araştırılması aşamasında önemli bir rol oynamasıdır. Yeni bir malzemeye statik manyetik alan uygulanarak bu malzemenin yapmış olduğu iş miktarı tespit edilebilir ve elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak bu malzemenin nüve malzeme olarak kullanılması durumunda ne kadarlık bir kayıp vereceği önceden tahmin edilebilir.

Mevcut yöntemlerle gerçekleştirilen test işlemlerinde alınan örnek malzemeler kimi işlemlerden geçirildikten sonra test edilebilmektedir (Zhong et al. 2007). Bu da nüve malzemelerin test işleminin gerçekleştirilebilmesi için hem maliyeti artırmaktadır hem de zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca mevcut yöntemleriyle yapılan işlemlerin uygulanabilmesi ve pratikliği çok zor olmaktadır. Test edilecek malzemeler birçok işlemden geçirilmek zorundadır. Bu durum hem özellikle elektrik makineleri üreticileri için büyük bir sorun olmaktadır. Yapılan çalışmada kurulan test düzeneğinin pratik bir şekilde kurulabilir olması, nüve örneğinde herhangi bir ön işlem yapma gerekliliği olmaması, test edilecek örneğin küçük boyuttaki ebatlarla gerçekleştirebilmesi, hızlı bir şekilde sonuç alma gibi özelliklerden dolayı test işlemini optik bir yöntemle gerçekleştirmenin yararları olarak özetlenebilir.

Bu çalışmada nüve malzemeye manyetik alan uygulayabilmek için statik bir manyetik alan yaratan mıknatıs tercih edilmiştir. Eğer uygulanan manyetik alan şiddeti frekansa bağlı olarak değişen bir kuvvet olursa nüve malzemenin yapmış olduğu iş miktarının değişen frekanslardaki tespiti yapılabilir ve elde edilen sonuçlardan ise nüve malzemelerde meydana gelen kayıplara ulaşılabilir. Frekansa bağlı olarak nüve malzemelerde meydana gelen kayıplar hesaplanabilir. Nüve malzemelerin üretici tarafından verilen kayıp değerleri genel olarak 50 Hz frekansındadır. Dolayısıyla malzemelerin farklı frekanslarda nasıl bir kayıp dağılımı göstereceği tam olarak tespit edilememiştir. Bu yüzden gelecek çalışmalar için kullanılacak olan manyetik alan yoğunluğu frekansa bağlı değişen bir üreteç kullanılarak yapılması planlanmaktadır. Böylece hem değişik frekanslarda nüve malzemelerde meydana gelen değişimler gözlemlenebilecektir. Buna bağlı olarak nüve malzemelerde meydana gelen kayıplar hesaplanabilecek ve hangi kayıp çeşidinin hangi frekansta daha etkin olduğu tespit edilecektir. Böyle bir sonuca ulaşılabilmesi literatürde mevcut olan elektriksel yöntemlere alternatif bir yöntem olmasının yanında pratik ve uygulanabilirliği tercih edilme sebebi olacaktır. Buna bağlı olarak kayıpların analizinin detaylı bir şekilde yapılabilmesine imkan tanınacaktır ve literatüre önemli katkılar sunması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abookasis D and Rosen J** (2006) Three types of computer-generated hologram synthesized from multiple angular viewpoints of three-dimensional scene, *App. Opt.*, 45: 6533-6538.
- Alboyacı B, Çınar M A ve Şengül M** (2011) Transformator manyetik devre yapısının boşta çalışma akımına etkisi, 4. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu EVK 2011*, 88-91.
- Alkar K** (2009) Measuring power losses of electrical steel sheets in one and two dimensional magnetic fields, M.Sc. Thesis, Helsinki University of Technology, Department of Electrical Engineering, Helsinki.
- Almaro P F and Daza M R H** (1998) Measurement of microscopic deformations using double-exposure holographic interferometry and the fourier transform method, *Sci. Dil.*, 10:2, 55-61.
- Baez A V** (1952) Study in Diffraction Microscopy with Special Reference to X-Rays, *J. Opt. Soc. Amer.*, 42, 756-762.
- Bahmani M A** (2011) Core loss calculation in amorphous high frequency high power transformers with different topologies, Master of Science Thesis in Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Department of Materials and Manufacturing Technology Division of High Voltage Engineering, Gothenburg, Sweden.
- Baily F G** (1896) The hysteresis of iron and steel in a rotating magnetic field, *Phil. Trans. Royal Soc. A.*, vol. 187, pp. 715-746.
- Bayraktar M ve Özcan M** (2008) Holografik İnterferometri Kullanarak Yüzey Sapmalarının ve Titreşimlerinin İncelenmesi, *Eleco*.
- Bateman H** (1995) The mathematical analysis of electrical and optical wave motion on the basis of Maxwell Ps equations, *Dov. Pub.s*, USA.
- Belkasim M** (2008) Identification of Loss Models from Measurements of the Magnetic Properties of Electrical Steel Sheets, M.Sc. Thesis, Helsinki University of Technology, Department of Electrical Engineering, Helsinki.
- Bertotti G** (1998) Hysterisis in magnetism, San Diego, Academic Press.
- Bertotti G** (1988) General properties of power losses in soft ferromagnetic materials, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 24, No. 1, pp 621-630.
- Born M and Wolf E** (1999) Principles of Optics, Cambridge, 7th ed., 0 521 642221, Cambridge University Press, Cambridge, 936 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bragg W L and Rogers G L** (1951) Elimination of the unwanted image in diffraction microscopy, *Nature*, 167, 190-191.
- Brooks R E, Heflinger L O and Wuerker R F** (1965) Interferometry with a holographically reconstructed comparison beam, *App. Phys. Let.*, 7, 248-249.
- Burch J M** (1965) The application of lasers in production engineering, *The Production Engineer*, 44, 431-442.
- Chapman S J** (2005) Electrical Machinery Fundamentals, New York, 4th ed., 0-07-246523-9, Mc Graw Hill., New York, 737 pp.
- Collier R J, Doherty E T and Pennington K S** (1965) Application of moire techniques to holography, *App. Phys. Let.*, 7, 223-225
- Dunlop C J** (2008) Modelin magnetic core loss for sinusoidal waveforms, M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering, Massachusetts.
- Del Toro V** (1985) Electric Machines and Power Systems, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, pp. 12-14.
- Demir A** (2012) SST yöntemi ile nüve malzemelerin manyetik kayıplarının ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak
- Gabor D** (1948) A new Microscopic Principle, *Nature*, 161: 777-778.
- Gabor D** (1949) Microscopy by reconstructed wave-fronts, *Proc. R. Soc, London*, 197: 454-487.
- Gabor D** (1951) Microscopy by reconstructed wavefronts, 2. *Proc. Phys. Soc.*, 64:449-469.
- Goodman J W** (1968) Introduction to Fourier Optics, McGraw-Hill, 17-19.
- Graham C D** (1982) Physical origin of losses in conducting ferromagnetic materials (invited), *J. Appl. Phys.*, 53(11).
- Goodenough J B** (2002) Summary of Losses in Magnetic Materials, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 38, No. 5, September, pp. 3389-3408.
- Groh G** (1968) Multiple imaging by means of point holograms, *Appl. Opt.*, 7, 1643-1644.
- Haines K and Hildebrand B P** (1965) Contour generation by wavefront reconstruction, *Phys. Let.*, 19, 10-11.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hariharan P** (1996) *Optical Holography Principles, Techniques and Applications*, Cambridge, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 406 pp.
- Hariharan P** (2002) *Basics of Holography*, Cambridge, 1st ed., 978-0-511-07643-5, Cambridge University Press, Cambridge, 166 pp.
- Hariharan P** (2007) *Basics of Interferometry*, Oxford, Elsevier Inc., ISBN-13: 978-0-12-373589-8, 2nd ed., 226 pp.
- Hecht** (2005) *Optics*, Çeviri: Prof. Dr. Nizamettin Armağan, Doç. Dr. Nurdoğan Can, Akademi Yayın Hizmetleri, Ankara.
- Ionel D, Popescu M, Dellinger S J, Miller T J E, Heinemann R J and McGilp M I** (2006) Computation of core losses in electrical machines using improved models for laminated steel, *Conf. Rec. Of IEEE IAS 2006*, 827-835
- Ionel D, Popescu M, Dellinger S J, Miller T J E, Heinemann R J and McGilp M I** (2006) On the variation with flux and frequency of the core loss coefficients in electrical machines, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 42 (2006), 658-667
- Inamoto O, Yamaguchi I** (2001) Measurements of Bernard-Marangoni waves using phase-shifting digital holography, *SPIE*, vol 4416:124-127
- Iwasa T, Ohtani K and Baba M** (2012) Correcting phase unwrapping errors with color phase shifting method, *In SICE Ann. Conf. Akita Universty*, Akita, Japan, 1248-1251
- Jenkins F and White H** (1976) *Fundamentals of Optics*, New York, 4th ed., 0-07-032330-5, McGraw-Hill INC., New York
- Kaya H** (2010) Optik faz eldesinde Hartley Dönüşümünün kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak
- Kim Myung K** (2010) Principles and techniques of digital holographic microscopy, *SPIE Reviews* 1st ed. 50.
- Kreis T** (1996) *Holographic Interferometry*, Berlin, 1st ed., Wiley VCH, Akademie, Berlin.
- Kreis T** (2005) Handbook of holographic interferometry, optical and digital methods, 3-527-40546-1, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, pp. 9-12,23-24,81-84,100-101.
- Krings A and Soulard J** (2010) Overview and comparison of iron loss models for electrical machines, *Jour. of Elect. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 162-169.
- Küçük F** (2002) Manyetik Malzemelerde Kayıpların Ölçülmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Lai S, King B and Neifeld M A** (2000) Wave front reconstruction by means of phaseshifting digital in-line holography, *Opt. Commun.*, 173: 155-160.
- Lauterborn W, Kurz T and Wiesenfeldt M** (1993) Coherent Optics, Berlin, Springer (In German), Berlin, pp. 17-19,52,61.
- Leith E N and Upatnieks J** (1962) Reconstructed wavefronts and communication theory, *J. Opt. Soc.Amer*, 52: 1123-1130.
- Leith E N and Upatnieks J** (1963) Wavefront reconstruction with continuous-tone objects, *J. Opt. Soc.Amer*, 53: 1377-1381.
- Lohmann A W and Paris D P** (1967) Binary fraunhofer holograms generated by computer, *Appl. Opt.*, 6, 1739-1748
- Lu S** (1968) Generating multiple images for integrated circuits by Fourier-transform holograms, *Proceedings of the IEEE*
- Matoba O, Naughton T J, Frauel Y, Bertaux N and Javidi B** (2002a) Three-dimensional object reconstruction using phase-only information from a digital hologram, *Phot.*, Boston
- Matoba O, Naughton T J, Frauel Y, Bertaux N and Javidi B** (2002b) Real-time three dimensional object reconstruction by use of a phase-encoded digital hologram, *Appl. Opt.*, 41:29, 6187-6192
- Muhit M S** (2011) Magnetic of electric characterization of materials for electrical machines, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology School of Electrical Engineering, Electrical Machines and Power Electronics, Stockholm
- Nasar S A** (1995) Electric Energy Systems, Prentice Hall, 0023861118
- Ostrovsky Y I, Butosov M M and Ostrovskaja G V** (1980) Interferometry by Holography, Springer, New York
- Önal Tayyar D, Saraç Z and Ecevit F N** (2011) Real-time optical reconstruction of the diffused 3D object using phase information calculated by continuous wavelet transform, *Opt. Commun.*, 284: 5460-465.
- Pedro J, Bastos A and Sadowski N** (2003) Electromagnetic modeling by finite element methods, Ebooks Corporation, Marcel Dekker.
- Powell R L, Stetson K A** (1965) Interferometric Vibration Analysis by Wavefront Reconstructions. *J. Opt. Soc. Amer.* 55:1593-1598
- Pyrhönen J, Jokinen T and Hrabovcova V** (2008) Design of rotating electrical machines, Chichester: Wiley.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ribbenfjard D** (2010) Electromagnetic transformer modeling including the ferromagnetic core, Phd. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm
- Ripoll O, Kettunen V and Herzig H P** (2004) Review of iterative Fourier-transform algorithms for beam shaping applications, *Opt. Eng.*, 11: 2549.
- Saleh B and Teich M** (2007) Fundamental of Photonics. 2nd ed., John Wiley and Sons., 2007
- Schnars U** (1994) Direct phase determination in holography interferometry with use of digitally recorded holograms, *JOSA A*, Vol. 11, Issue 7, pp. 2011-2015
- Schnars U and Jueptner W P O** (2002) Digital recording and numerical reconstruction of holograms, *Mess. Sci.Technol*, 13: 85-101
- Schnars U and Jueptner W** (2005) Digital holography: Digital hologram recording, numerical reconstruction and related techniques, 3-540-21934-x, Springer, Berlin, Germany 1: 164
- Seebacher S, Osten W, Jüptner W** (1997) 3D-deformation analysis of micro-components using digital holography, *SPIE*, Vol. 3098, 0277-786X/97.
- Seebacher S, Osten W, Jüptner W** (1998) Measuring shape and deformation of small objects using digital holography, *SPIE*, Vol. 3479, 0277-786X/98.
- Sen P C** (1997) Principles of electrical machines and power electronics, 2nd. ed., John Wiley & Sons, 640 pp.
- Skarman B, Becker J and Wozniak K** (1996) Simultaneous 3D-PIV and temperature measurements using a new CCD-based holographic interferometer, *Flow. Meas. Instrum.*, 7(1):1-6
- Stetson K A and Powell R L** (1965) Interferometric hologram evaluation and real-time vibration analysis of diffuse objects, *J Opt Soc Amer* 55:1694-1695
- Stroke G W, Restrick R, Funkhouser A and Brumm D** (1965) Resolution-retrieving compensation of source effects by correlation reconstruction in high resolution holography, *Phys. Let.*, 18, 274-275
- Şimşir M** (2007) Elektronik olarak üretilen dalga şekilleri altında manyetik aygıtlarda meydana gelen ilave demir kayıplarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak
- Takeda M and Mutoh K** (1983) Fourier transform profilometry for the automatic of 3D object shapes, *Appl. Opt.* 22 (24): 3977-3982
- Takeda M, Taniguchi K, Hirayama T and Kohgo H** (1996) Single-transform Fourier/Hartley fringe analysis for holographic interferometry, In Z. Fuzessy, W. Jueptner and W. Osten, edit., *Simul. and Exp. Laser Met.*, 67-73

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Thompson B J, Ward J H and Zinky W R** (1967) Application of hologram techniques for particle size analysis, *Appl. Opt.*, 6, 519-526
- Upatnieks J, Vanderlugt A and Leith E N** (1966) Correction of lens aberrations by means of holograms, *Appl. Opt.*, 5, 589-593
- Vanderlugt A, Rotz F B and Klooster Jr A** (1965) Character reading by optical spatial filtering, In Tippet J.T., Berkowitz D.A., Clapp L.C., Koester C.j. and Vanderburgh Jr. A. (Eds), *Opt.&Electro-opt. Inf. Proc.*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Vest C M** (1979) Holographic Interferometry, John Wiley and Sons, 1979, {45, 185, 195, 204, 206, 211, 214, 224, 311, 313-315, 318, 329, 330, 367, 370, 372, 374, 376, 383}
- Wilson J and Hawkes J F B** (2000) Optoelektronik, Çeviri: Dr. İbrahim OKUR, Değişim Yayınları
- Yamaguchi I and Zhang T** (1997) Phase-shifting digital holography, *Opt. Lett.*, 22(16):1268-1270
- Yamaguchi I, Kato J, Ohta S and Mizuno J** (2001) Image formation in phase-shifting digital holography and applications to microscopy, *Appl Opt*, 40(34):6177-6186
- Yamaguchi I, Inamoto O and Kato J** (2001) Surface shape measurement by phase shifting digital holography. In: Jüptner W, Osten W (eds) *Proc 4th International Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns*, Akademie, Berlin, pp 365-372
- Yamaguchi I, Matsumura T and Kato J** (2002) Phase-shifting color digital holography, *Opt. Lett.*, 27(13):1108-1110
- Yan L** (2009) Digital holography and optical contouring, Ph.D. Thesis, Liverpool John Moores University, Liverpool
- Yong T K, Low K S and Kwek K H** (1998) Digital recording and application to laser metrology, *Proceeding of International Meeting of Frontiers of Physics*, 433-436
- Zhang T and Yamaguchi I** (1998) Three-dimensional microscopy with phase-shifting digital holography, *Opt. Lett.* 23(15):1221-1223
- Zhang T and Yamaguchi I** (1998) 3D microscopy with phase-shifting digital holography, In:Proc SPIE vol 3479:152-159
- Zhong J, Guo Y, Zhu J, Lu H and Jin J** (2007) Development of measuring techniques for rotational core losses of soft magnetic material, *Nat. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 1-12
- URL-1** (2014) 80.251.40.59/science.ankara.edu.tr/aozansoy/girisim.pdf (Erişim Tarihi: 23.11.2014)
- URL- 2** (2014) fizikmetu.com/fizik/soru_bankasi/KIRINIM.doc (Erişim Tarihi: 23.11.2014)

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL-3 (2014) <http://www.physics.umanitoba.ca/undergraduate/phys2260/Lectures/Intro> (Erişim Tarihi: 26.11.2014)

URL- 4 (2014) <http://www.astro.uni-bonn.de/~wucknitz/gravlens/> (Erişim Tarihi:26.11.2014)

URL-5 (2014) <http://www.yildiz.edu.tr/~oseg/dersnotlari/holografi/D4.pdf> (Erişim Tarihi: 18.11.2014)

ÖZGEÇMİŞ

Ufuk ŞAN Adıyaman Besni ilçesinde doğdu; ilk ve orta öğrenimini Besni’de tamamladı. 2006 yılında girdiği Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2011-2012 (6 ay) kısa dönem askerlik görevini İstanbul Harp Akademilerinde tamamladı. 2012 (2 ay) yılında Erdemoğlu Holding Merinos Halı Fabrikasında elektrik bakım mühendisi olarak çalıştı. 2012 Eylül ayından itibaren Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. Halen BEÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Elektromanyetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : BEÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği
İncivez – ZONGULDAK

Tel : 0372 257 40 10 – (2356)

E-posta : ufuksaan@gmail.com