

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ METAL YOĞUNLUĞU
HARİTALANDIRMA SİSTEMİ GERÇEKLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet AKGÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU

Aralık 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

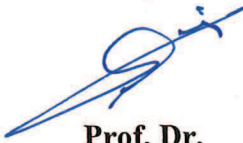
**BİLGİSAYAR DESTEKLİ METAL YOĞUNLUĞU
HARİTALANDIRMA SİSTEMİ GERÇEKLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet AKGÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Abdullah FERİKOĞLU
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Durmuş KARAYEL
Üye



Prof. Dr.
Ali ÖZTÜRK
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Ahmet AKGÖZ

12.12.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca desteğini eksik etmeyen ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli eşim Havva Tuğba AKGÖZ'e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Metal Dedektörlerinin Genel Çalışma Prensipleri	3
2.1.1. Sürekli dalga metal dedektörlerinin çalışma sistemi	3
2.1.2. Darbe indüksiyon metal dedektörünün genel çalışma sistemi..	8
2.1.3. Her iki sistemin avantajları ve dezavantajları	16
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Tasarımda kullanılan araç ve gereçler	17
3.1.2. Analizde kullanılan araç ve gereçler	18
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Araştırma bobini	19
3.2.2. Darbe üretici	22
3.2.3. Yükselteç	25

3.2.4. Mikrodenetleyici (kontrol)	30
3.2.5. Veri toplama	34
3.2.6. Bilgisayar ortamı	35
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	39
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu
EMI	: Elektromanyetik İndüksiyon
IB	: Induction Balance
MD	: Metal Dedektörü
PI	: Pulse Induction
SDMD	: Sürekli Dalga Metal Dedektörü
us	: Mikro Saniye
VLF	: Very Low Frequency

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sürekli dalga metal dedektörü blok diyagramı	3
Şekil 2.2. Sürekli dalga metal dedektörü konsantrik bobin yapısı	4
Şekil 2.3. Garrett firmasının AT-Pro ürünü için konsantrik bobini.	5
Şekil 2.4. Minelab X-Terra 305	5
Şekil 2.5. Çift D (DD) bobin yapısı	6
Şekil 2.6. Minelab CTX-3030	6
Şekil 2.7. Omega bobin yapısı	7
Şekil 2.8. Whites firmasının TM-808 adlı ürünü	7
Şekil 2.9. Darbe indüksiyon metal dedektörü blok diyagramı.....	8
Şekil 2.10. Örnek bir bobin sürücü	8
Şekil 2.11. Akım zaman grafiği.....	9
Şekil 2.12. Metal objenin bobine göre konumu	10
Şekil 2.13. Metal obje üzerindeki eddy akımı oluşması	12
Şekil 2.14. Bobinde oluşan sinyaller.....	13
Şekil 2.15. Örnek sönümlenme eğrileri.....	14
Şekil 2.16. Garrett ATX.....	15
Şekil 2.17. Minelab GPX-5000.....	15
Şekil 3.1. Atmel ICE debugger.....	18
Şekil 3.2. Darbe indüksiyon blok diyagramı.....	19
Şekil 3.3. Lorenz firmasına ait 150cm x 150 cm araştırma bobini.	20
Şekil 3.4. Tübitak ETMTS-2 araştırma bobini.....	20
Şekil 3.5. Lorenz 1mx1m araştırma bobini.	21
Şekil 3.6. 38cm çaplı araştırma bobini.....	21
Şekil 3.7. Bobin sürücü	22
Şekil 3.8. LTSpice bobin sürücü simülasyon devresi.....	24
Şekil 3.9. Darbe ve akım eğrileri	24

Şekil 3.10. Sönümlenme eğrisi.....	25
Şekil 3.11. Alıcı yükselteç devresi	26
Şekil 3.12. Verici alıcı simülasyon çizimi	28
Şekil 3.13. Yükseltilmiş alıcı çıkışı.....	29
Şekil 3.14. Kontrol	30
Şekil 3.15. Örneklem zamanlamaları	31
Şekil 3.16. Darbe indüksiyon metal dedektörü PCB tasarımı.....	32
Şekil 3.17. PCB 3D modeli	33
Şekil 3.18. Üretilmiş ve dizgisi yapılmış kart	33
Şekil 3.19. Arazi tarama düzeni	34
Şekil 3.20. 2m x 2m test alanı metal obje yerleşimi	35
Şekil 3.21. Test alanından alınan 10x10 ölçümler	35
Şekil 3.22. 10x10 örneklemeli metal yoğunluğu haritası.....	36
Şekil 3.23. 2m x 2m test alanı metal boru.....	37
Şekil 3.24. 10x10 test alanından alınan örnekler	37
Şekil 3.25. 10x10 test alanı metal yoğunluğu haritası	38
Şekil 4.1. 1024x1024 çözünürlükteki harita	40
Şekil 4.2. Elde edilen bit dizisinin görüntüsü	40
Şekil 4.3. "imclose" fonksiyonu uygulanmış görüntü.....	41
Şekil 4.4. Bit dizisi ile örneklenmiş verinin çarpımı.....	42
Şekil 4.5. Filtrelenerek elde edilmiş nihai veri	42
Şekil 4.6. Ortada metal bulunan alandan elde edilen harita	43
Şekil 4.7. Rögar kapakları bulunan bir yol	43
Şekil 4.8. İki adet rögar kapağı görüntüsü	44
Şekil 4.9. Duvarda yer alan kolon	44
Şekil 4.10. Duvardaki kolondan elde edilen görüntü	45
Şekil 4.11. Kolon ölçümünün işlenmemiş görüntüsü	45

ÖZET

Anahtar kelimeler: Metal dedektörü, darbe indüksiyon, görüntü işleme, sinyal işleme, haritalama

Bu çalışmada darbe indüksiyon sisteminde çalışan bir metal dedektörü gerçekleştirilmiş, elde edilen metal yoğunluğu bilgileri bilgisayar ortamına aktararak çeşitli sinyal ve görüntü işleme teknikleri ile metal yoğunluğu haritalandırılması yapılması amaçlanmıştır.

Metal yoğunluğu haritaları askeri alanda, arkeolojik araştırmalarda ve inşaat sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde bu tür cihazlar çoğunlukla yüksek meblağlarla yurtdışından ithal edilmektedir. Özellikle askeri alanda yurtdışına bağımlılık oldukça riskli bir durumdur. Bu çalışmanın asıl amacı yurtdışına olan bağımlılığımızı ve maliyetlerimizi düşürmek yönündedir.

Sistem genel olarak; darbe indüksiyon sisteminde çalışan bir metal dedektörü elektronik birimi, algılayıcı olarak çalışan bir araştırma bobini ve sinyal işleme amacıyla MATLAB ortamından oluşmaktadır. Araştırma bobini metal dedektörüne bağlıdır ve mobil bir düzendir. Araştırma yapılacak bölge belli sıklık ve düzende örneklenerek elde edilen metal yoğunluğu bilgisi Bluetooth üzerinden MATLAB ortamına aktarılmıştır. Elektriksel gürültü, atık metal parçacıkları, toprak mineral etkisi gibi olumsuzluk oluşturabilecek etkenleri en aza indirmek için çeşitli sinyal ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak olabildiğince temiz ve doğru bir haritalama yapılmaya çalışılmıştır.

Çalışma sonrası elde edilen ölçüm sonuçlarına göre çevre koşullarından oldukça az etkilenen, doğruluğu yüksek metal yoğunluğu haritaları elde edildiği gözlemlenmiştir.

COMPUTER AIDED METAL DENSITY MAPPING SYSTEM

SUMMARY

Keywords: Metal detector, pulse induction, image processing, signal processing, mapping

In this study, a metal detector working in the pulse induction system is implemented. The purpose of the study is mapping the density of the metal by using different signal and image processing techniques through transferring the obtained metal density data to computer environment.

Metal density maps are used extensively in the military field, in archaeological surveys, and in the construction sector. In our country, such devices are mostly imported from abroad with high costs. Especially, military dependency abroad is a very risky situation. The main purpose of this study is to reduce our dependence on abroad and to reduce our costs.

The system generally consists of a metal detector electronic unit working in pulse induction system, a research coil working as a sensor and a MATLAB environment for signal and image processing. Research coil is connected to metal detector and is a mobile unit. The desired region for the investigation is sampled in certain frequencies and the obtained metal density data is transferred to MATLAB environment through Bluetooth. Clean and correct mapping is obtained by using various signal and image processing techniques to minimize unfavorable factors such as electrical noise, waste metal particles and soil mineral effect.

According to study measurements, results show that achieved metal density mapping is highly accurate and is slightly affected from environmental conditions.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde metal dedektörleri askeri amaçlı mayın ve el yapımı patlayıcıların (EYP) tespitinde, arkeolojik araştırmalarda metalik tarihi kalıntıların tespitinde ve metal yoğunluğu haritalamalarında aktif olarak kullanılmaktadır [1].

Metal yoğunluğu haritalama sistemleri askeri alanda arazide metal objelerin arazideki dağılımlarının tespiti amacıyla kullanılabilmektedir. Arkeolojik kazı çalışmalarda da eski yerleşim alanlarının arazideki dağılımlarının görselleştirilmesi gibi işlerde önemli roller oynamaktadır. Ayrıca inşaat sektöründe betondaki demirlerin yerleri ve yoğunluklarının tespiti gibi işlerde de kullanılabilmektedir.

Metal dedektörlerinde Darbe İndüksiyon, sürekli dalga, çoklu frekans gibi çeşitli farklı çalışma sistemleri mevcut olup bu çalışmada Darbe İndüksiyon sistemi üzerinde çalışılmıştır. Metal dedektörleri ile ilgili temel bilgileri içeren pek çok çalışma mevcuttur [16-40].

Toprak içerisinde metalik birçok mineral bulunmaktadır. Araştırma esnasında metal dedektöründen topraktaki mineral oluşumlarından etkilenmeden işlevini düzgün bir şekilde yerine getirmesi beklenmektedir. Bu çalışmada bu tür problemlerin çeşitli sinyal işleme teknikleriyle düzeltilmesi amacıyla da çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan benzer çalışmalarda opampli integratörler kullanılarak metal dedektörü devreleri gerçekleştirilmiştir [1]. Örnekleme zamanlamaları direnç ve kapasitörlerden oluşan zamanlayıcı devreler ile ayarlanmıştır. Analog olarak yapılan donanımsal

işlemlerde ortam sıcaklığı ve nem oranının değişmesi sonuçları değiştirmektedir. Kullanılan bu komponentlerin belli bir toleransa sahip olmaları nedeniyle de üretilen devrelerin birbirleri arasında farklılıklar göstermesi de olası bir durumdur. Ayrıca elektriksel ve manyetik gürültüler de bu yapılarda olumsuz etkiler oluşturmaktadır [2].

Bu çalışmada Microchip firmasının üretmiş olduğu Atmel Atmega128AU modeli bir mikrodnetleyicinin kontrolünde çalışan bir Darbe İndüksiyon metal dedektörü devresi gerçekleştirilmiştir. Bu mikrodnetleyici 8 Bitlik bir mimariye sahiptir ve 16MHz hızında çalışabilmektedir. Ayrıca dahili olarak 10Bit'lik bir analog-sayısal dönüştürücü (ADC) modülüne sahiptir. Bu modül çevrimini yaklaşık olarak 15us'de tamamlamaktadır. ADC yardımıyla sayısal olarak elde edilen ham veriler mikrodnetleyicinin hafızasına kaydedilmiş ve bilgisayar ortamına bir bluetooth modül yardımıyla aktarılmıştır. Böylece hem donanımsal karmaşıklık ortadan kaldırılmış, hem de ortam koşullarından oldukça az etkilenen bir tasarım elde edilmiştir. Örnekleme zamanlamaları yine yazılımsal olarak elde edilerek hem donanımsal karmaşıklık en aza indirgenmiş hem de esneklik sağlanmıştır.

Sinyal işleme programı olarak MATLAB programı kullanılmıştır. Bilgisayar ortamına alınan veriler MATLAB ortamına açılarak çeşitli sinyal işleme teknikleri kullanılarak işlenmiş, sonuçlar kullanıcıya görsel olarak 2B ve 3B grafiklerle sunulmuştur.

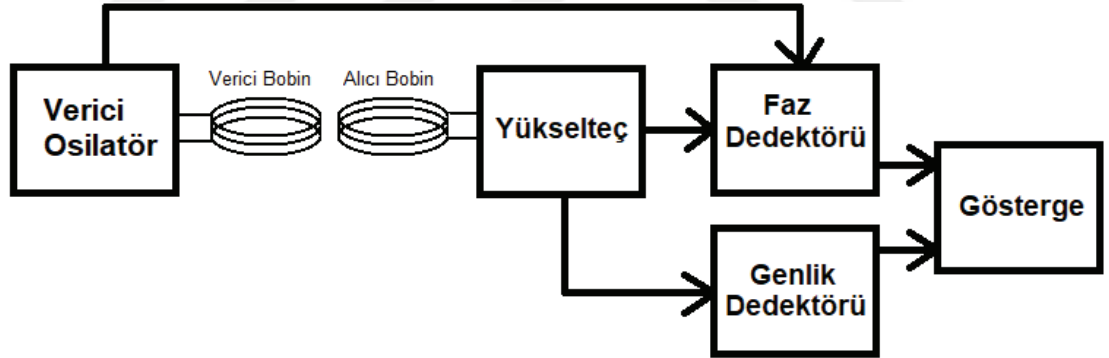
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Metal Dedektörlerinin Genel Çalışma Prensipleri

Metal dedektörlerini genel olarak Sürekli dalga ve Darbe indüksiyon olarak iki farklı sistem üzerinde inceleyebiliriz [3]. Bu çalışmada Darbe İndüksiyon sistemi üzerinde durulacaktır.

2.1.1. Sürekli dalga metal dedektörlerinin çalışma sistemi

Sürekli dalga metal dedektörleri Şekil 2.1.'de gösterilen kısımlardan oluşmaktadır.

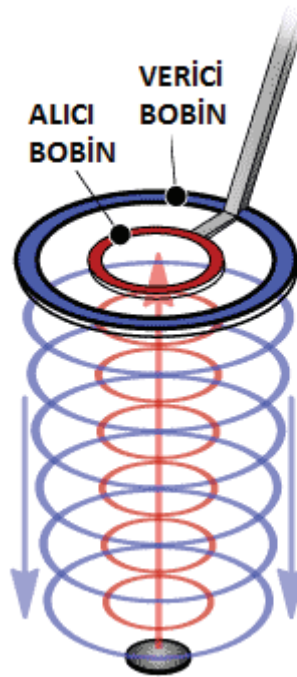


Şekil 2.1. Sürekli dalga metal dedektörü blok diyagramı

Sürekli dalga metal dedektörlerinde iki ayrı bobin bulunmaktadır. Bunlardan birisi verici bobin diğeri ise alıcı bobindir. Verici bobine verici devresi tarafından sürekli olarak belli bir veya birkaç frekansta sinyal gönderilir ve aynı anda alıcı bobinden elde edilen sinyaller yükseltilerek alıcı devre tarafından değerlendirilir. Eğer ortamda metal bir obje varsa alıcı devre çıkışında gerilimin genliğinde ve vericiye göre olan fazında değişimler meydana gelir.

Sürekli dalga metal dedektörlerinde metal tespiti alıcı devrenin çıkışındaki gerilim değişimleri sayesinde tespit edilir. Faz kayması ise tespit edilen metalin cinsine göre farklı yönlerde olur. Bu yön tespit edilerek de metal ayrımı işlemi gerçekleştirilir.

Alıcı bobinden alınan sinyaller kuvvetlendirilebilmesi için alıcı ve verici bobin arasında kuplaj olabildiğince düşürülerek alıcı bobinin verici bobinin sinyallerinden yalıtılması gerekmektedir. Aksi takdirde verici bobinden gönderilen sinyaller alıcı bobinde aynen görülecek, dolayısıyla da yükseltme işlemi doyuma gitme problemlerinden dolayı yapılamayacaktır. Bu sebeple alıcı bobin ile verici bobinin birbirine göre duruşu oldukça önemlidir. Şekil 2.2.'de konsantrik bir araştırma bobini yapısı görülmektedir [4].



Şekil 2.2. Sürekli dalga metal dedektörü konsantrik bobin yapısı [4].

Bu yapıda içteki alıcı bobin dıştaki verici bobinin çapına göre belli bir oranda küçük sarılarak iç tarafa ortalanarak yerleştirilmiştir. Bu yerleşim ortamda metal bir obje yok iken alıcı bobine verici bobin yaydığı sinyallerin ulaşmasını büyük ölçüde engellemektedir. Bu durum bobin çaplarının tam bir denge durumunda olmasıyla

sağlanmaktadır. Garrett firmasının AT-Pro modeli ürününe ait konsantrik bobin Şekil 2.3.'te görülmektedir [5].



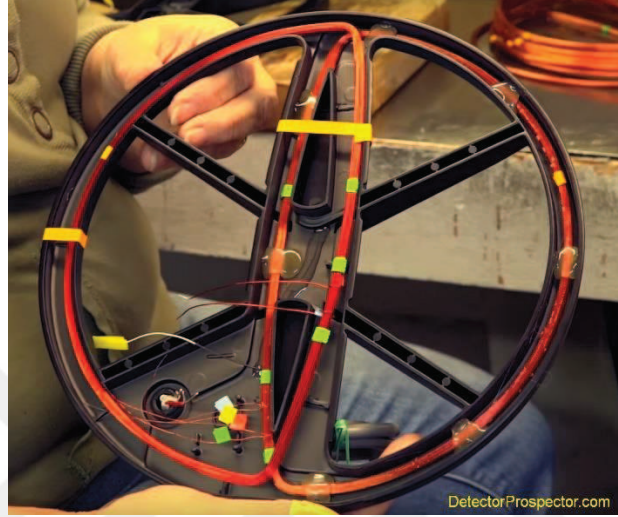
Şekil 2.3. Garrett firmasının AT-Pro ürünü için konsantrik bobini [5].

Minelab firmasının X-Terra 305 ürünü de konsantrik bobin kullanmaktadır [6].



Şekil 2.4. Minelab X-Terra 305 [6].

Çift D (DD) ve Omega gibi daha farklı kuplaj indirgeme teknikleri de mevcuttur. DD bobin yerleşiminde alıcı ve verici bobinlerin çapları ve şekilleri genellikle birbiri ile aynıdır. Tur sayıları farklılık gösterebilir. Her iki bobin Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi bir miktar iç içe sokularak denge durumuna getirilir ve kuplaj en aza indirgenir.



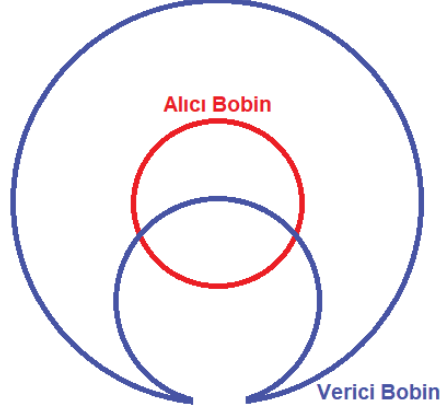
Şekil 2.5. Çift D (DD) bobin yapısı [7].

Minelab firmasının CTX-3030 ürünü DD araştırma bobini kullanmaktadır [6].



Şekil 2.6. Minelab CTX-3030 [6].

Omega Tipi bobinlerde ise Verici bobinin yapısının Omega işaretine benzemesinden dolayı bu ismi almıştır.



Şekil 2.7. Omega bobin yapısı

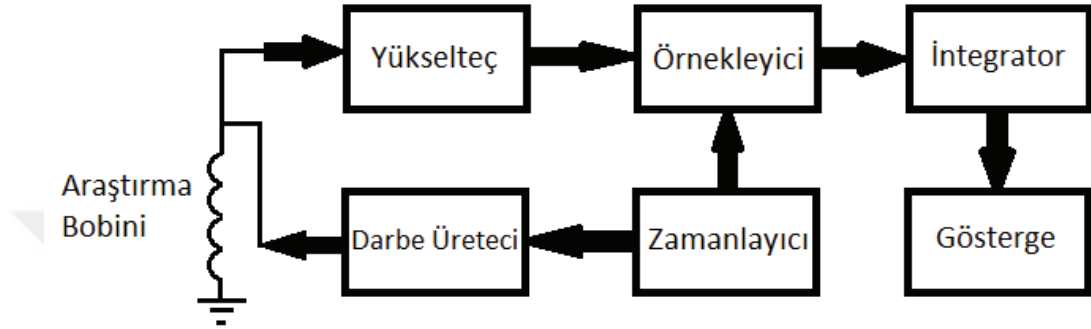
Bir başka bobin yapısı ise birbirine dik olarak yerleştirilmiş bobin yapılarıdır. Alıcı bobin verici bobine göre dik yerleştirilerek verici bobinden etkilenmesi en aza indirgenir. Whites firmasına ait örnek bir ürün Şekil 2.8.'de görülmektedir [8].



Şekil 2.8. Whites firmasının TM-808 adlı ürünü [8].

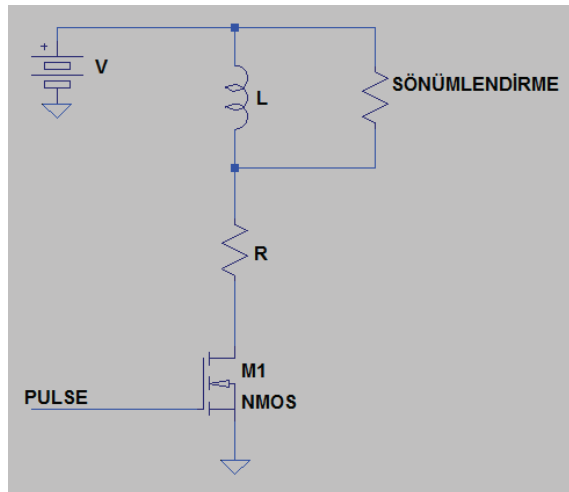
2.1.2. Darbe indüksiyon metal dedektörünün genel çalışma sistemi

Bir Darbe İndüksiyon (EMI) metal dedektörü Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi araştırma bobini, darbe üretici, yükseltici, zamanlama, örnekleme ve integratör katlarından oluşmaktadır [1].



Şekil 2.9. Darbe indüksiyon metal dedektörü blok diyagramı [1].

Darbe Üretici birimi araştırma bobininden kısa bir süreliğine akım akıtır ve ardından akımı keser. Darbe süresi ve örnekleme noktaları Zamanlayıcı birimi tarafından belirlenmektedir. Anahtarlama işlemi genel olarak bir mosfet elemanı kullanılarak yapılır. Örnek bir şema Şekil 2.10.'da görülmektedir.

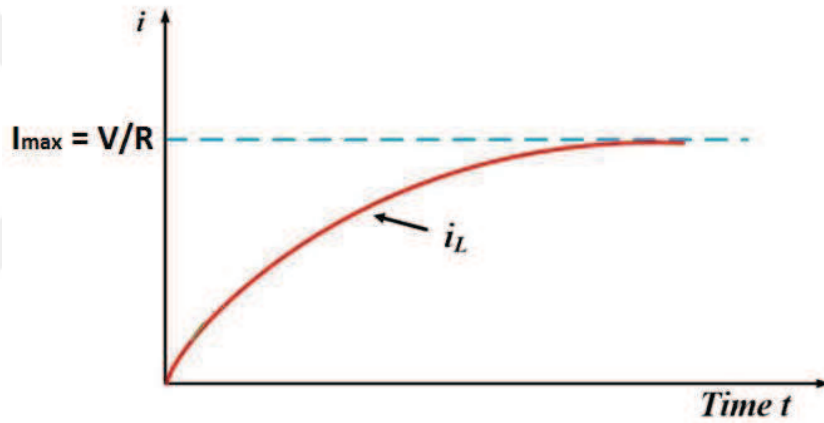


Şekil 2.10. Örnek bir bobin sürücü

Anahtarlama elemanına “Zamanlayıcı” biriminden gelen tetikleme sinyali ile bobinden bir süreliğine akım akıtılır. Bu esnada bobinden geçen akımın denklemi aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.1) ifade edilmiştir.

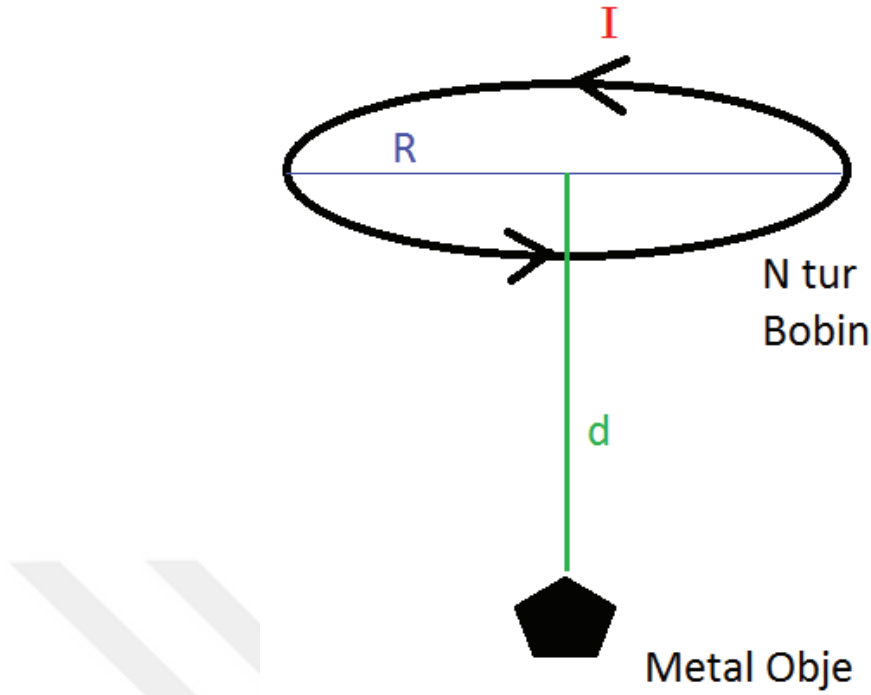
$$I(t) = \frac{V}{R} \times (1 - e^{-R.t./L}) \quad (2.1)$$

V=besleme gerilimini, R=iletim hattının DC empedansını, L=bobinin endüktansını, t=zamanı ve I=akımı göstermektedir. Şekil 2.11.’de görüldüğü üzere t=0 anında bobinden hiç akım akmamakta, zamanla akım t=∞ durumunda $I = V/R$ kadar olmaktadır [9].



Şekil 2.11. Akım zaman grafiği [9].

Bu esnada araştırma bobininden d kadar uzakta oluşan manyetik alanın denklemi aşağıda (Denklem 2.2) verilmiştir. Burada N=bobin tur sayısını, R=bobin çapını, d=metal objenin bobinin merkezine olan uzaklığını, I=bobinden geçen akımı ve B=oluşan manyetik alan yoğunluğunu göstermektedir [10].



Şekil 2.12. Metal objenin bobine göre konumu

$$B_z(d) = \frac{NI\mu_0}{2} * \frac{R^2}{\sqrt{(R^2 + d^2)^3}} \quad (2.2)$$

Akım V/R durumuna yaklaştıktan sonra kesilmektedir. Bu süre bobinin endüktansına ve DC empedansına göre değişmektedir. Genellikle L/R kadar zaman sonra maksimum akım olan V/R değerinin %63,2'si bobin üzerinden akmaktadır. Akım kesildiği anda bobinde anlık olarak sönümlenen ters bir gerilim oluşur ve hızlı bir şekilde sönümlendirme direnci üzerinden bu gerilim sönümlenir. Bu esnada Şekil 2.10.'daki sönümlendirme direnci üzerinden geçen akımın denklemi aşağıdaki eşitlikte (Denklem 2.3) belirtilmiştir. Burada V =besleme gerilimini, R =iletim hattının DC empedansını, $R_{SÖNÜM}$ =sönümlendirme direncini, L =bobinin endüktansını, t =zamanı ve $I(t)$ =sönümlenme akımını göstermektedir.

$$I(t) = \frac{V}{R} \times e^{-R_{SÖNÜM} \cdot t / L} \quad (2.3)$$

Bobin üzerindeki sönümlenmekte olan gerilimin denklemi de aşağıdaki eşitlikte (Denklem 2.4) gösterilmiştir. Burada $R_{SÖNÜM}$ =sönümlendirme direncini, V_L =bobin üzerinde oluşan gerilimi ve $I_{(t)}$ =sönümlenme akımını göstermektedir.

$$V_L = -R_{SÖNÜM} \times I_{(t)} \quad (2.4)$$

Bobinden geçen akımın yaklaşık V/R kadar olduğunda kesilmesinin amacı ortamda değişken bir manyetik alan olmasını sağlamaktır. Darbe İndüksiyon sistemindeki indüksiyon işleminin gerçekleşmesi değişken bir manyetik alan olmasıyla gerçekleşir. Bobinden geçen akım ne kadar fazla olursa akım kesildiği anda akım farkı o kadar fazla olacağından manyetik alan değişimi de orantılı olarak fazla olacaktır. Bu sebeple bobinden akım kesilmeden önce olabildiğince yüksek akım akıtıp ardından hızlı bir şekilde kesime gitmek akım türevinin dolayısıyla indüksiyonun yüksek olması açısından oldukça önemlidir. Bu durum aşağıda verilen Maxwell denklemleriyle açıklanır (Denklem 2.5, Denklem 2.6, Denklem 2.7, Denklem 2.8). Burada $\vec{H}$ manyetik alan, $\vec{E}$ elektrik alan, $\vec{D}$ elektriksel yer değiştirme alanı, $\vec{J}$ serbest akım yoğunluğu ve ρ uzaysal yük yoğunluğunu temsil etmektedir.

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.5)$$

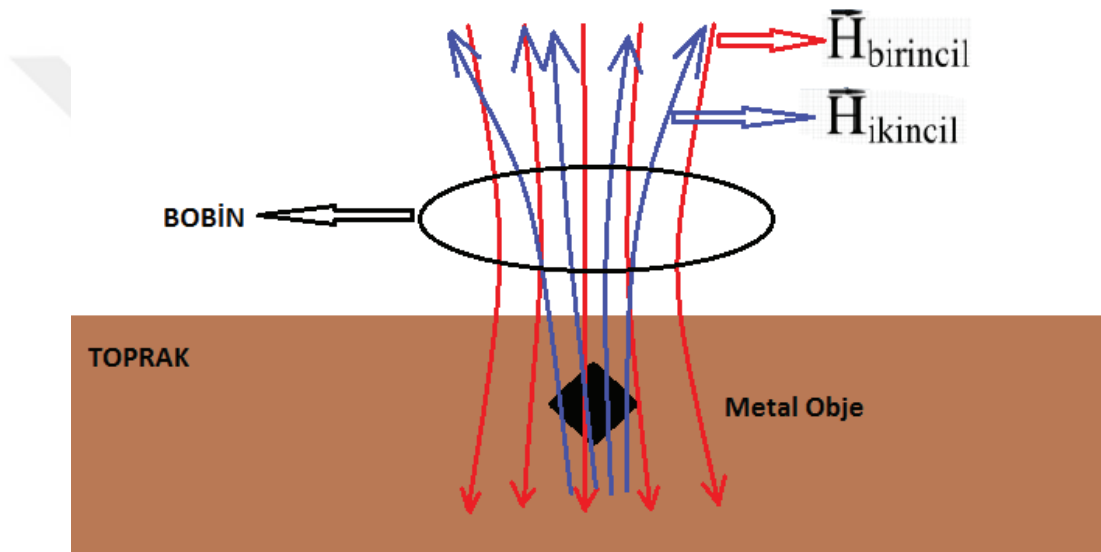
$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.6)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.7)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.8)$$

Araştırma bobini aynı zamanda bir alıcı olarak da kullanılabileceği gibi istenilirse alıcı bobin olarak ikinci bir bobin de kullanılabilmektedir. Gönderme ve dinleme işlemleri farklı zamanlarda gerçekleşen işlemler olduğundan genellikle tek bir bobin hem verici hem alıcı olarak kullanılmaktadır. Bu üretim kolaylığı sağlamaktadır.

Bir darbe indüksiyon metal dedektörünün araştırma bobininden darbe üretici birimi vasıtasıyla yüksek bir akım akıtılır. Bu esnada bobin etrafında $H_{birincil}$ Manyetik alanı oluşur. Zamanlayıcı birimi tarafında kontrol edilen darbe üretici birimi kısa bir süre sonra bobinden akımı keser ve araştırma bobini alıcı devre tarafından kullanılmaya başlanır. Akım kesildiği anda Lenz kanununa göre metal obje üzerinde zamanla sönümlenen Eddy akımları meydana gelir. Bu akımlar da zamanla azalan $H_{ikincil}$ manyetik alanını oluşturur. Şekil 2.13.'te $H_{birincil}$ ve $H_{ikincil}$ manyetik alanlarının gösterimi yer almaktadır.



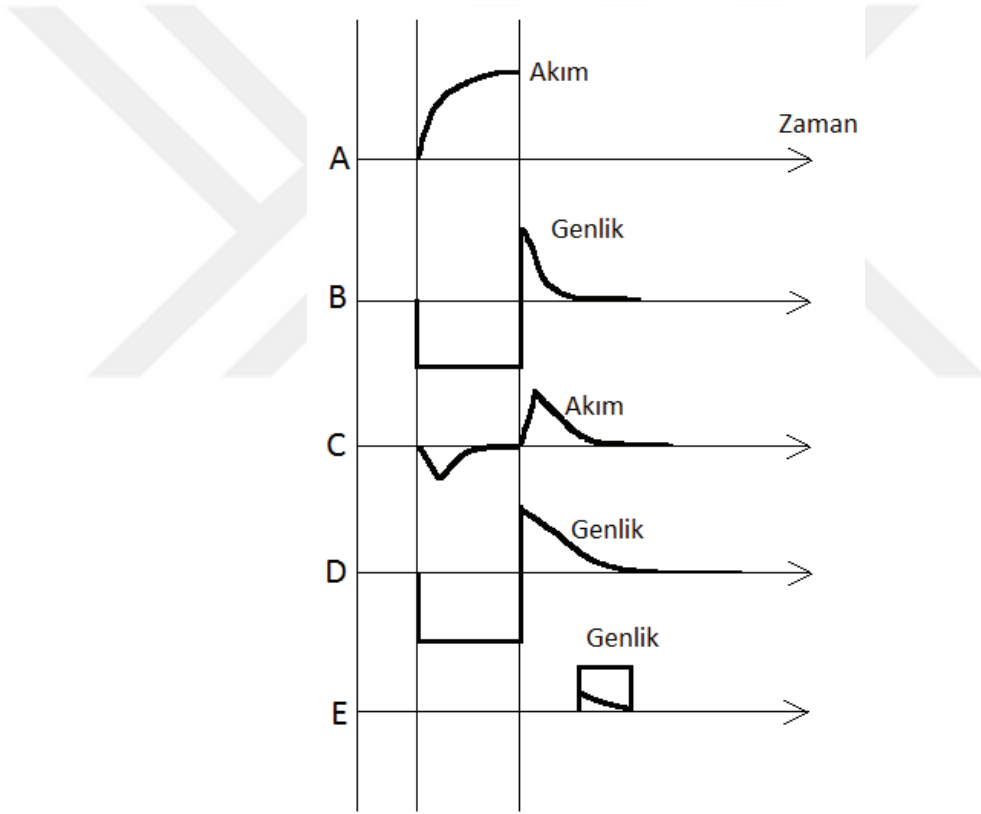
Şekil 2.13. Metal obje üzerindeki eddy akımı oluşması

Eddy akımlarının sönümlenme süresi metal objenin metal cinsine, şekline ve boyutlarına göre değişiklik gösterir.

Sönümlenmekte olan bu akımın varlığı araştırma bobininde toplamsal bir etki oluşturarak araştırma bobininin sönümlenmesinin uzamasına sebep olur.

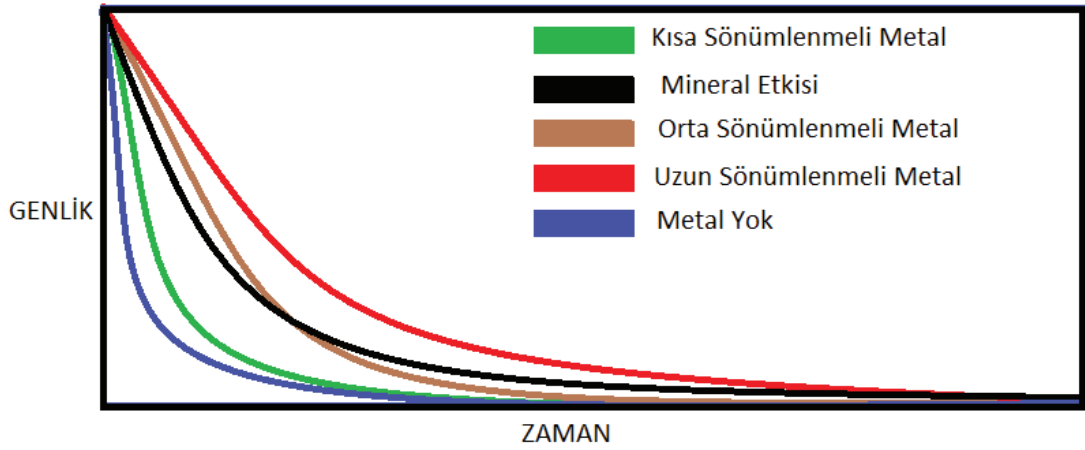
Darbe indüksiyon metal dedektörlerinde metal tespiti sönümlenme eğrisinin uzamasında bakılarak yapılmaktadır. Sönümlenme eğrisi üzerinden alınan en az bir örnek referans bir değer ile karşılaştırılarak örnekteki değişimler izlenir. Örnekteki değişimler metalin tespitini göstermektedir. Şekil 2.14.'teki A grafiğinde gösterildiği gibi araştırma bobininden kısa bir süreliğine akım akıtılır ve ardından akım kesilir.

Şekil 2.14.'teki B grafiğinde gösterildiği gibi bobinde anlık olarak sönümlenen ters bir gerilim oluşur ve hızlı bir şekilde sönümlendirme direnci üzerinden bu gerilim sönümlenir. Bu işlemler sırasında eğer ortamda metalik bir obje varsa bu obje üzerinde eddy akımları oluşur ve bu akımlarda zamanla Şekil 2.14.'teki C grafiğinde gösterildiği gibi sönümlenir. Sönümlenmekte olan bu akımın varlığı araştırma bobininde toplamsal bir etki oluşturarak Şekil 2.14.'teki D grafiğinde gösterildiği gibi sönümlenme eğrisinin uzamasına sebep olur. Şekil 2.14.'teki E grafiğinde gösterildiği gibi sönümlenme eğrisi üzerinden alınan bir örnek metalin tespitini gösterir.



Şekil 2.14. Bobinde oluşan sinyaller

Metal ayrımı ise sönümlenme eğrisinin eğiminden yola çıkılarak yapılmaya çalışılmaktadır. Örnek sönümlenme eğrileri Şekil 2.15.'te görülmektedir.



Şekil 2.15. Örnek sönümlenme eğrileri

Fakat sönümlenme eğrisin eğimi sadece metalin cinsine bağlı bir parametre olmadığından metal ayrımı darbe indüksiyon metal dedektörlerinde oldukça güç bir problemdir. Bu problem alıcı ve verici kısımlarının bobinlerini ayrı ayrı kullanarak üstesinden gelinebilmektedir. Her iki bobinin birbirinden ayrılmasındaki amaç darbe gönderme esnasında da alıcı bobinde oluşan sönümlenme eğrisini ölçebilmektir. İndüksiyon işlemi akım değişimleri anlarında gerçekleştiğinden hem darbe başladığı anda hem de kesildiği anda metal obje üzerinde Şekil 2.14. C’de gösterildiği şekilde eddy akımları oluşur. Alıcı ile verici bobinler birbirinden ayrıldığında darbe anındaki Eddy akımları da alıcı bobinden ölçülebilmektedir. Hem gönderme hem de dinleme anındaki alıcı bobindeki sinyaller değerlendirilerek metal ayrımı işlemi yüksek doğrulukla yapılabilmektedir.

Alıcı bobinin verici bobinin gönderdiği sinyallerden etkilenmemesi yükseltme işlemindeki doyum problemlerinden dolayı oldukça önemlidir. Bu sebeple darbe indüksiyon metal dedektörü üreticileri metal ayrımını sağlamak konsantrik ya da Çift D (DD) bobin tekniklerini kullanmaktadır.

Garrett firmasının metal ayrımı için üretmiş olduğu konsantrik bobin yapısını kullanan ATX modeli Şekil 2.16.’da yer almaktadır [5].



Şekil 2.16. Garrett ATX [5]

Minelab firmasının GPX-5000 modeli ürünü de DD bobin yapısını kullanmaktadır [6].



Şekil 2.17. Minelab GPX-5000 [6].

2.1.3. Her iki sistemin avantajları ve dezavantajları

Darbe İndüksiyon metal dedektörleri iletkenliği yüksek topraklarda neredeyse hiç derinlik kaybetmezler. Araştırma bobini hem alıcı hem verici olarak kullanılabildiğinden çeşitli boylarda araştırma bobini üretmek kolaydır.

Darbe İndüksiyon metal dedektörlerinde fazla güç tüketimi vardır. Araştırma bobinine uygulanan anlık yüksek akımlar güç tüketimini arttırmaktadır.

Darbe indüksiyon metal dedektörlerinde metal ayrımı doğruluğu düşüktür. Metal ayrımı sönümlenme eğrisin eğimine bakılarak yapılmaktadır. Fakat bu eğim metalin cinsi ile birlikte metalin büyüklüğü şekli ve duruşuyla da değişmektedir. Bu da metal ayrımını zorlaştırmaktadır. Ancak balans edilmiş çiftli bobin sistemleri ile birlikte bu sıkıntı aşılabilmektedir. Fakat bu bobin sistemlerinin üretimi tekli bobin sistemlerine göre daha zordur.

Sürekli dalga metal dedektörleri mineral oranı yüksek topraklardan olumsuz etkilenerек algılama derinliklerinde kayıplar yaşamaktadırlar. Bununla birlikte metal ayrımı kalitesi de düşmektedir.

Sürekli dalga metal dedektörlerinin güç tüketimleri oldukça düşüktür. Verici bobine rezonans frekansında sürekli sinyal uygulandığından güç tüketecek bir birim bulunmamaktadır. Bazı sürekli dalga metal dedektörü tek şarj ile haftalarca kullanılabilmektedir.

Sürekli dalga metal dedektörlerinin metal ayrımı kalitesi darbe indüksiyon sistemine göre daha yüksektir. Bu sistemde faz kayması prensibine göre metal ayrımı yapılmaktadır. Genlik seviyesi değişimleri ile faz kayması değerleri birbirine göre oranlanarak oldukça yüksek doğrulukta metal cinsi tanımlamaları mümkün olabilmektedir. Ayrıca birden fazla frekansta bu sistemler çalıştırılabilmektedir. Bu da metal ayrımı performansını arttıran bir etkidir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada, metal boru, rögar kapağı gibi metal içeriklerin bulunduğu sahalarda tasarlanan metal dedektörü kullanılarak araştırmalar yapılmıştır.

3.1.1. Tasarımda kullanılan araç ve gereçler

Şematik tasarım esnasında Linear Technology firmasına ait LTSpice simülasyon programı kullanılmıştır. Bu program Spice temelli, ücretsiz ve oldukça basit bir programdır. Spice temelli olması kullanılmak istenilen malzemelerin spice modellerini üreticilerinin sağlıyor olması sebebiyle oldukça avantajlıdır.

Sinyal işleme tarafında Matlab simülasyon programı kullanılmıştır. Matlab ile kolayca veriler işlenebilmekte ve görsel olarak grafikler elde edilebilmektedir. Dokümantasyonu oldukça iyi olduğundan oldukça hızlı bir şekilde tasarımlar modellenip simüle edilebilmektedir [11].

Şematik tasarım sonrası PCB tasarımı için Altium Designer 2016 adlı PCB tasarım programı kullanılmıştır. Bu program 90'lı yıllarda “Protel” ismiyle piyasaya çıkmış günümüzde ise “Altium Designer” ismiyle varlığını sürdürmektedir [12]. Oldukça profesyonel bir program olup birçok profesyonel firmalar bu programı kullanmaktadırlar. Özellikle birçok Avrupa ve Uzak Doğu ülkesinde Altium Designer tercih edilmektedir.

Gömülü yazılım için MICROCHIP firmasına ait Atmel Studio programı kullanılmıştır. Microchip, Atmel firmasını 2015'te satın almıştır [13]. Atmel Studio

programında C dili kullanılarak yazılımlar yazılmıştır. Programlama için ise Atmel ICE programlayıcı ve debugger aracı kullanılmıştır [13].



Şekil 3.1. Atmel ICE debugger [13].

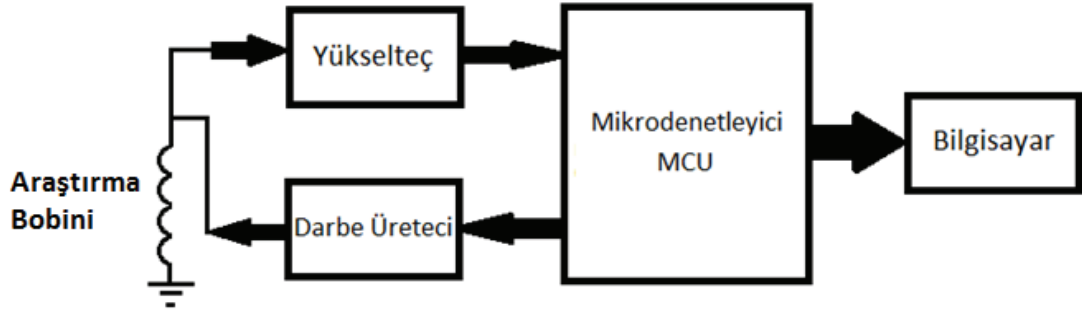
Tasarım esnasında kullanılan test ve ölçüm cihazları ise Fluke 107C, Tektronix TDS3054B osiloskop TT-Technic Sinyal Jeneratörü cihazlarıdır.

3.1.2. Analizde kullanılan araç ve gereçler

Çalışmada kullanılan başlıca donanımlar, Darbe indüksiyon metal dedektörü ve üzerinde Matlab koşan bir bilgisayardır.

3.2. Yöntem

Çalışmada Zamanlayıcı, örnekleyici, integratör ve gösterge bölümleri bir mikrodenetleyici tarafından gerçekleştirilerek tasarım karmaşıklığı azaltılmıştır. Tüm sistem sadece iki adet buton yardımıyla kullanılmaktadır. Tasarlanacak sistemin blok diyagramı Şekil 3.2.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. Darbe indüksiyon blok diyagramı

3.2.1. Araştırma bobini

Bobinler ortamda değişken bir manyetik alan oluşturmak ve objelerin oluşturduğu ikincil manyetik alanı algılamak amacıyla kullanılmaktadır.

Darbe indüksiyon metal dedektörlerinde gönderme ve alma işlemleri için ayrı ayrı bobinler kullanılabileceği gibi her iki işlemi de gerçekleştiren tek bir bobin de kullanılabilmektedir.

Araştırma bobini performansı etkileyen oldukça önemli bir bileşendir. Bunun için bobinden gönderme esnasında olabildiğince yüksek bir akım akıtmak gerekmektedir. Bunun için bobinin DC empedansının olabildiğince düşük olması gerekmektedir. Bobinin fiziksel büyüklüğü de performansı doğrudan etkileyen bir parametredir. Bobinin çapı arttıkça büyük metal objeler daha derinlerden algılanabilmekte bununla birlikte küçük yüzeysel objelere olan hassasiyet düşmektedir. Patlamamış mühimmat aramalarında (UXO) genellikle büyük araştırma bobinleri kullanılmaktadır. Şekil 3.3.'te Lorenz firmasının 1.5m x 1.5m araştırma bobini görülmektedir [14].



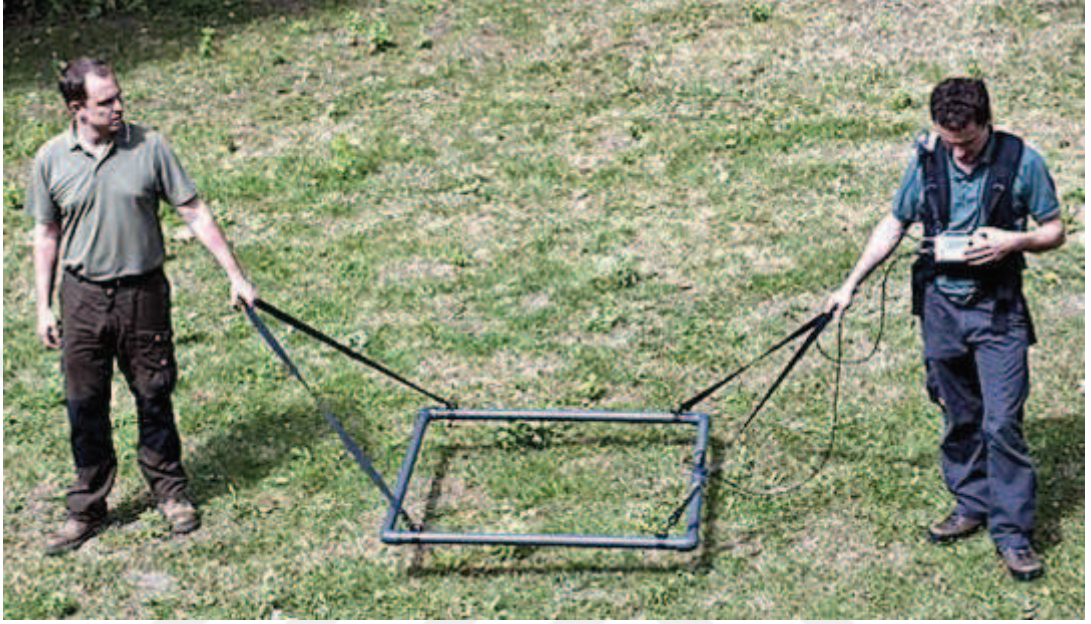
Şekil 3.3. Lorenz firmasına ait 150cm x 150 cm araştırma bobini [14].

Bobinin çapı küçültüldüğünde ise maksimum derinlik de düşecek fakat yüzeysel küçük objelere olan hassasiyet artacaktır. Mayın gibi içinde oldukça küçük bir metal parçası olan objeler genellikle küçük araştırma bobinleri kullanılarak aranmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.4.'te fotoğrafı görülen TÜBİTAK ETMTS-2 ürününün araştırma bobini gösterilebilir [15].



Şekil 3.4. Tübitak ETMTS-2 araştırma bobini [15].

Bu çalışmada derine inebilmek amacıyla Lorenz firmasının 100cm x 100cm boyutundaki kare araştırma bobini kullanılmıştır. Bobinin endüktansı 300uH'dir ve DC empedansı yaklaşık 1Ω civarındadır.



Şekil 3.5. Lorenz 1mx1m araştırma.

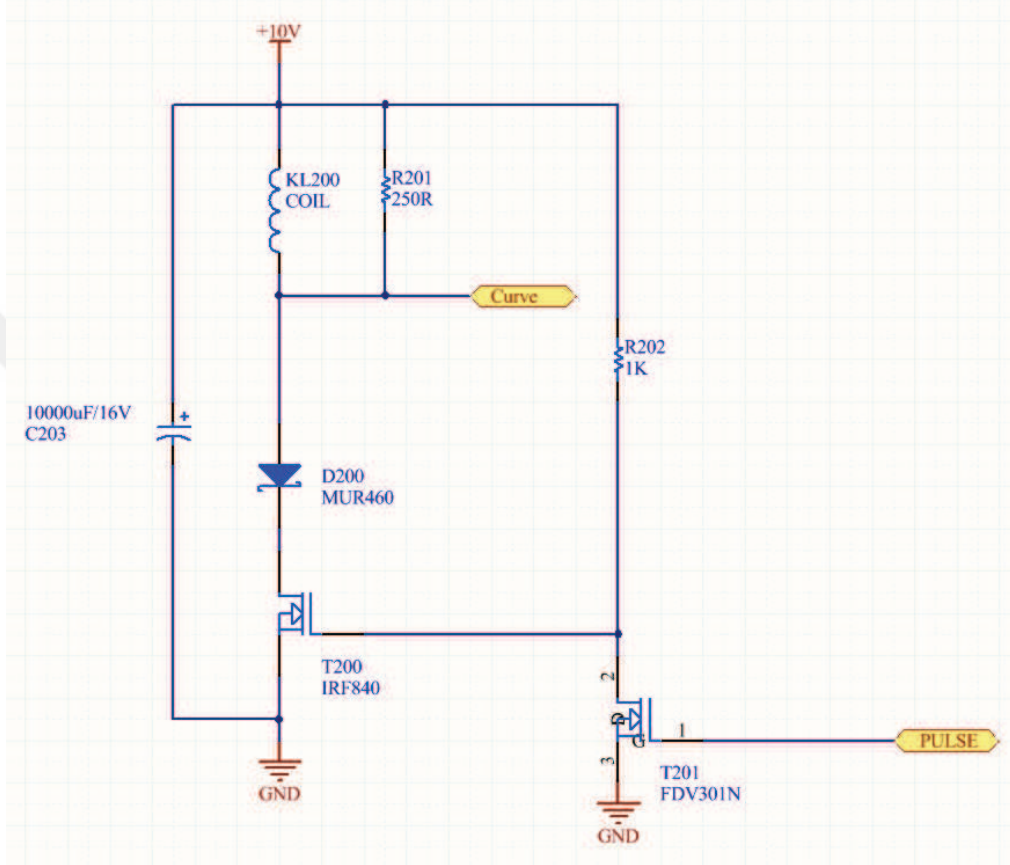
Yüzeysel araştırmalarda ise 35cm çaplı yuvarlak araştırma bobini kullanılmıştır. Bobinin endüktansı 300uH'dir ve DC empedansı 1Ω civarındandır.



Şekil 3.6. 38cm çaplı araştırma bobini [14].

3.2.2. Darbe üretici

Darbe üreticiye ilişkin şema Şekil 3.7.'de görülmektedir. Bu devre aslına bir bobin sürücüdür.



Şekil 3.7. Bobin sürücü

Araştırma bobinini anahtarlayacak eleman olarak IRF840 isimli N kanal bir mosfet tercih edilmiştir. Bu mosfetin iletim durumundaki direnci 0.850ohm civarındadır. Drain-Source gerilimi ise 500V'dur. Bu yüksek dayanım bobinden akım kesildikten sonra oluşacak ters yüksek gerilim anında yalıtımı koruyabilmesi için gereklidir. Gate-Source gerilimi 10V olduğu durumda mosfetin tam iletim durumunda olduğu üretici tarafından belirtilmektedir. Mikrodenetleyici 5V genliğinde darbe sinyalleri ürettiğinden FDV301N isimli küçük bir mosfet anahtarlama gerilimini 10V olacak şekilde ayarlaması için kullanılmıştır.

MUR460 kodlu diyot ise mosfetin pinleri arasındaki kapasitif oluşumların bobin üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için kullanılmıştır. Bobinden akım kesildikten sonra kapasitif etkiler sönümlenme durumlarında osilasyonlara sebebiyet vermektedir. Fakat seri olarak bağlanan MUR460 diyotu oldukça küçük kapasitif etkisinden dolayı eşdeğer kapasitif etkiyi oldukça düşürerek osilasyon problemini ortadan kaldırmaktadır.

Oluşan son durumda hattın DC empedansı Bobinin empedansı, mosfetin ve seri bağlanan diyotun iç dirençleri toplamına eşit olacaktır.

$$V=10V, R= 1+0,850+0,1 = 2\Omega.$$

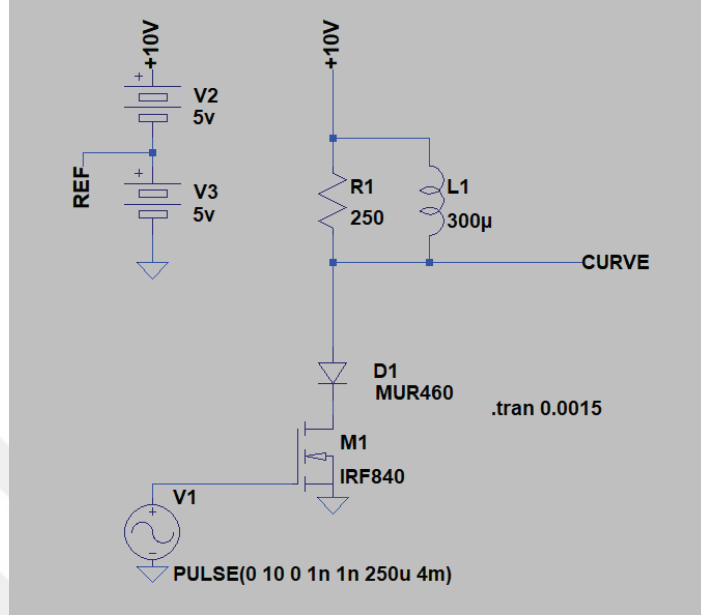
$T=\text{Sonsuz}$ durumunda bobinden V/R kadar akım akacaktır. Bu da yaklaşık 5 Amper civarındır.

Yaklaşık 250uS sonra 4 Amper civarı bir akım aktığı akım formülünden hesaplanabilmektedir. Bu akım doyum akımına yakın bir değer olduğundan, sistemin çektiği ortalama akımı enerji sarfıyatı açısından düşük tutabilmek için yeterli görülmüştür. 250uS'lik darbeler oluşturarak 4 Amperlik akım darbeleri oluşması sağlanmıştır.

Beslemeden çekilen anlık yüksek darbe akımları besleme üzerinde gerilimde çökmelere sebebiyet verebilmektedir. Bu olumsuz etkiyi düşürebilmek için akım desteği amacıyla kondansatör kullanılmaktadır. Bobin ve anahtarlama elemanı olarak kullanılan mosfetin olabildiğince yakınına büyük bir kapasite sayılabilecek 10000uF 16V'luk bir kondansatör eklenmiştir.

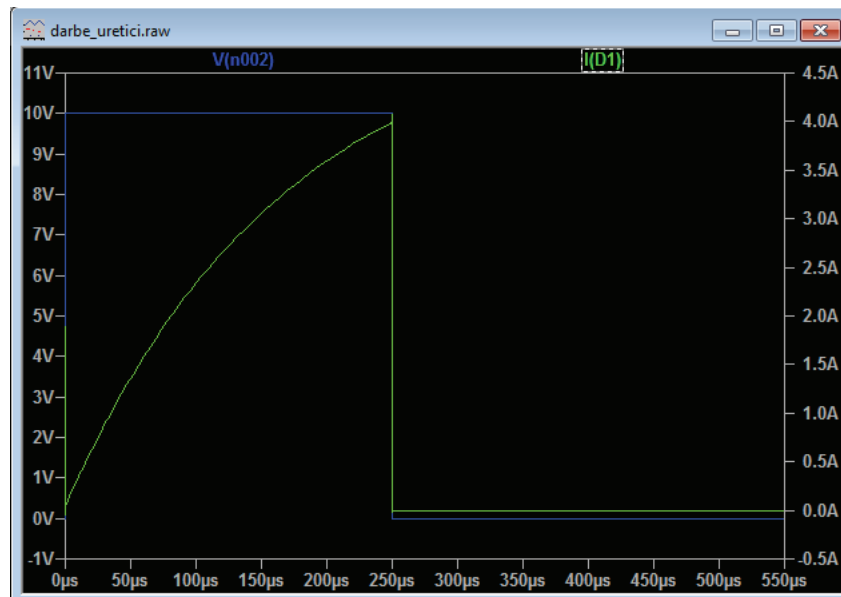
Araştırma bobinine paralel bağlanan direnç ise akım kesildikten sonra oluşan yüksek ters gerilimin osilasyon yapmadan düzgün bir şekilde sönümlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu direnç değeri Lorenz firmasının araştırma bobini için 250 Ω civarı seçilmiştir.

LTSpice programında çizilmiş simülasyon şematiği ve simülasyon çıktısı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.8. LTSpice bobin sürücü simülasyon devresi

V1 kaynağı ile bobine 250Hz frekansında 250uS darbe genişliğinde sinyal uygulanmaktadır.



Şekil 3.9. Darbe ve akım eğrileri

Mavi mosfetin anahtarlama sinyalidir sarı ise bobinden geçen akımı belirtmektedir. 25uS sonra “curve” noktasında oluşan sönümlenme eğrisi de aşağıdaki gibidir.



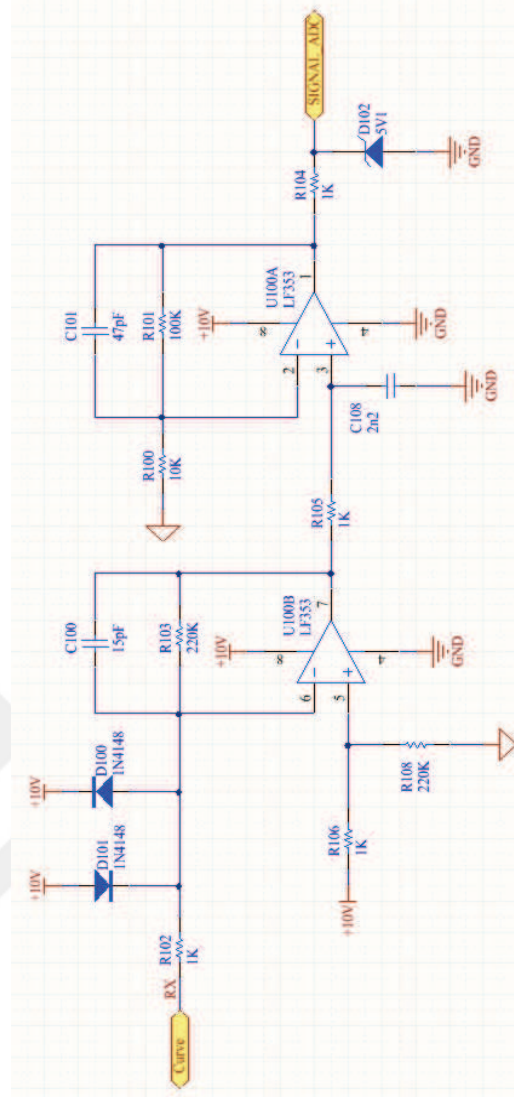
Şekil 3.10. Sönümlenme eğrisi

Şekil 3.10.’da görüldüğü gibi darbe sonrası bobinde oldukça yüksek anlık bir gerilim oluşmakta ve bu gerilim yaklaşık 10uS içerisinde sönümlenmektedir.

Eğer ortamda metal bir obje bulunuyorsa bu sönümlenme eğrisinin eğiminde ve sönümlenme süresinde değişimler meydana gelmektedir. Fakat bu değişimleri bir yükseltme yapılmadan görmek mümkün değildir. Bu sebeple oluşan bu sönümlenme sinyalini yükseltmek gerekmektedir.

3.2.3. Yükselteç

Yükselteç birimine ilişkin şema Şekil 3.11.’de görülmektedir.



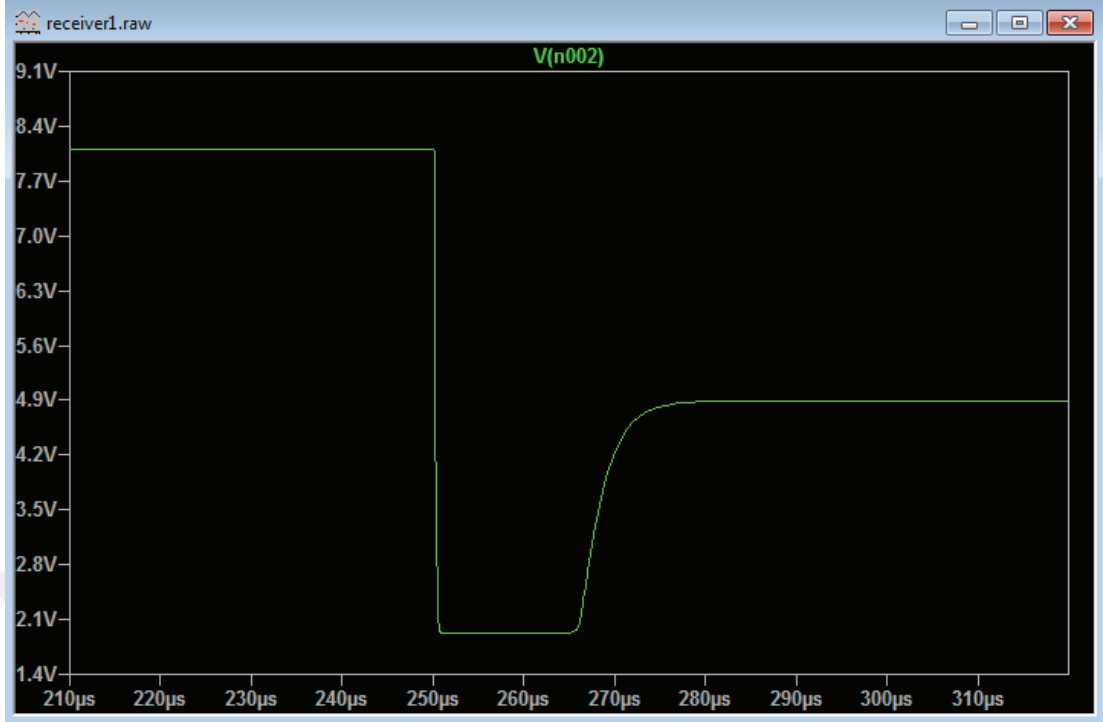
Şekil 3.11. Alıcı yükselteç devresi

Kullanılan LF353 kodlu çiftli opampın bant genişliğinin sınırlı olmasından dolayı yükseltme işlemi iki opamp kullanılarak yapılmıştır. Birinci opamp 221 kat ikinci opamp da 11 kat yükseltme işlemi yaparak araştırma bobininde oluşan sinyali 2431 kat yükseltmektedir.

Opampın girişlerindeki diyotlar ise kırpıcı olarak çalışmaktadır. “Curve” isimli noktada Şekil 3.10.’da görülen yüksek gerilimli bir sinyal bulunmaktadır. Bu yüksek gerilimin opampa zarar vermesini engellemek amacıyla giriş gerilimi diyotların iletim durumundaki gerilimleri olan yaklaşık 0.6V civarına sınırlandırılmıştır.

Devredeki kondansatörler yüksek frekanslı gürültüleri filtrelemek amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan testlerde en hızlı sönümlenme süresi 10uS civarlarındadır. Bu sebeple periyodu 5uS'den az olan gürültüleri (200KHz ve üstü) bastıracak şekilde kapasiteler ayarlanmıştır.

LTSpice programında çizilmiş alıcı devresi ve darbe üreticinin çizimi Şekil 3.12.'de görülmektedir. M1 mosfeti ile 250uS süresince L1 bobininden akım akıtılmakta ve sonrasında mosfet yalıtıma götürülmektedir. Bu esnada bobinden geçen akımın grafiği Şekil 3.9.'da verilmiştir. 250uS sonra mosfet yalıtıma götürülerek bobinden geçen akım hızlı bir şekilde kesilir. Bu esnada bobinde anlık yüksek bir ters gerilim oluşur ve bu gerilim hızlı bir şekilde sönümlenir. Bu esnada bobinde oluşan bu sinyal alıcı opamp devresi tarafından yaklaşık 2431 kat yükseltildiğinden ikinci opamp çıkışı bu süreç içerisinde sürekli doyumda kalacaktır. Ancak darbe sonrası sönümlenmekte olan sinyalin 2431 katı 5V opamp besleme geriliminden küçük olduğunda opamp doyumdan çıkar ve biz de sönümlenme sinyalinin kuvvetlenmiş halini ikinci opampın çıkışında görmeye başlarız.



Şekil 3.13. Yükseltilmiş alıcı çıkışı

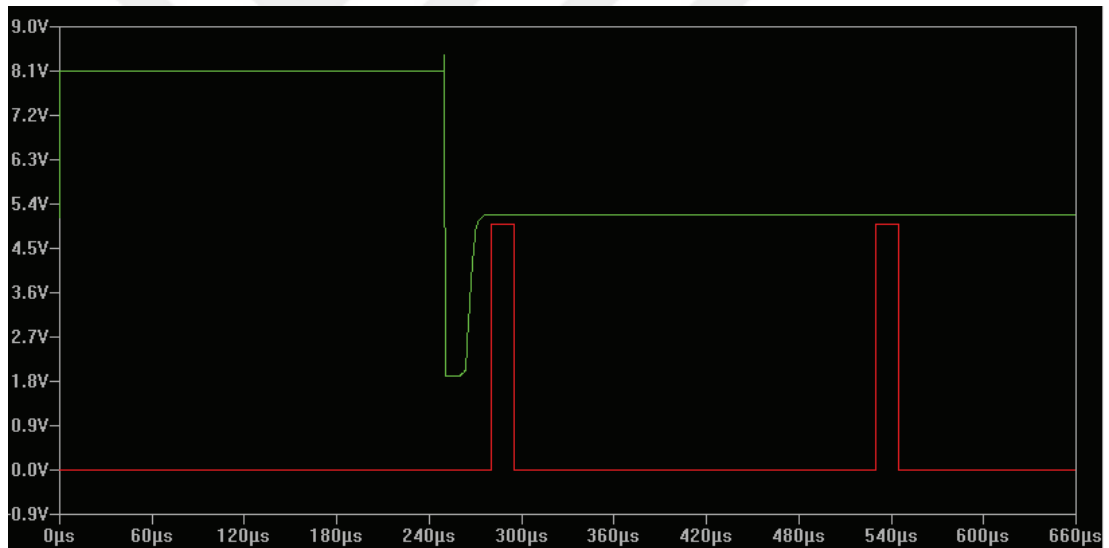
Şekil 3.13.'te yükseltilmiş opamp çıkışında bu değişim net olarak gözlemlenebilmektedir. Araştırma bobinine bir metal obje yaklaştırıldığında sönümlenme süresi ve sönümlenme eğiminde değişikliklere sebebiyet verecektir.

Bundan sonraki süreç kuvvetlendirilmiş sönümlenme eğrisi üzerinden örnekler almaktır. Sinyal üzerinden iki adet örnek alınmaktadır. Örnekleme zamanlamaları Şekil 3.15.'te verilmiştir.

Alınan ilk örnekten ikinci örnek çıkarılmaktadır. Bunun amacı sistemin statik manyetik alan etkilerinden etkilenmesini en aza indirmektir. Araştırma bobini hareket ettirildiğinde dünyanın var olan manyetik kutupları veya ferromanyetik metalik objeler sönümlenme sinyali üzerinde çok düşük frekanslı oynamalara sebebiyet vermektedir. Farksal olarak alınan bu örnek bu problemi büyük ölçüde engellemektedir.

Kullanılmakta olan mikrodnetleyici ile “PORTB 4” pininden Darbe sinyalleri üretip darbe üretici devreyi sürmektedir. Alıcı devrenin çıkışı “PORTF 4” isimli ADC girişine uygulanmıştır. Üzerinde koşan yazılım saniyede 250 adet darbe üretmekte ve ardından alıcı devrenin çıkışında oluşan sönümlenme eğrilerinden örnek almaktadır. Bu örneklerin ortalama bir değerini “PORTE1” portuna bağlı “ÖRNEKLE” butonuna her bastığında hafızasına alır. Tarama işlemi bittikten sonra da “PORTE0” portuna bağlı “Transfer” butonuna basıldığında kaydettiği örnekleri seri porttan bilgisayara gönderecek şekilde çalışmaktadır.

Mikrodnetleyici üzerinde 10Bit ADC bulunmaktadır ve bir çevrimi yaklaşık olarak 15uS kadar sürmektedir. İki adet örnek Şekil 3.15.’te gösterildiği zamanlarda alınmaktadır.



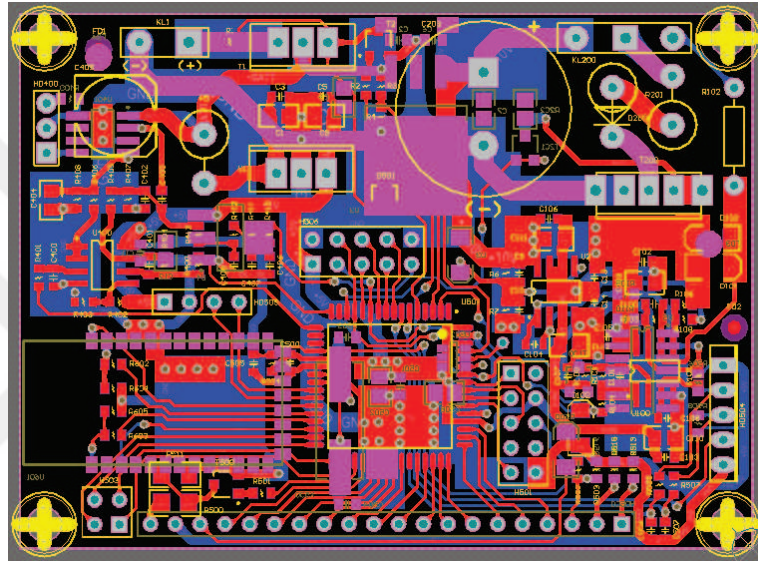
Şekil 3.15. Örnekleme zamanlamaları

İlk örnek 250uS’lik darbe kesildikten 30uS sonra ikinci örnek ise 300uS sonra alınmıştır. İki örnek birbirinden çıkarılarak örneklenmiş veri elde edilmektedir. Bu işlem saniyede 250 kez tekrarlanmaktadır. Veriler elektriksel gürültüleri azaltmak amacıyla 128 elemanlı bir windowing filtreden geçirilmektedir.

“Transfer” butonuna her basıldığında ortalama ADC değeri seri port üzerinden bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Seri porttan gönderilen ADC verisi çözünürlüğün

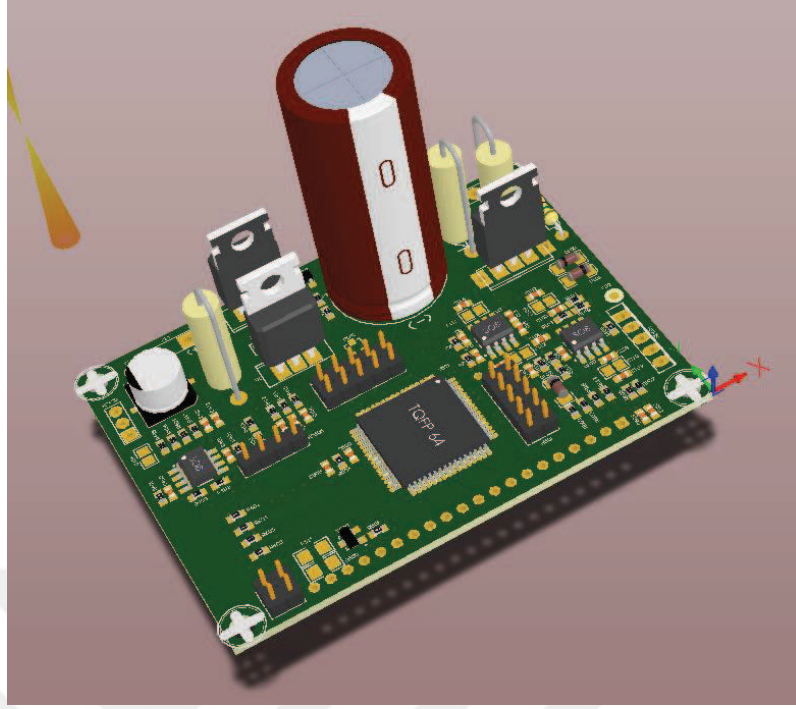
10 Bit olmasından dolayı 0 ile 1023 arasında değişmektedir. Bu değer “ADC\r\n” formatında seri porttan gönderilmektedir. Bu dizideki “\r\n” karakterleri paketin bittiğini belirtmektedir.

Tüm donanımsal tasarımlar Altium Designer adlı programda çizilip çift taraflı PCB tasarımı yapılarak üretimi yaptırılmıştır. PCB Tasarımından ve 3D modelinden görüntüler Şekil 3.16.’da ve Şekil 3.17.’de yer almaktadır.



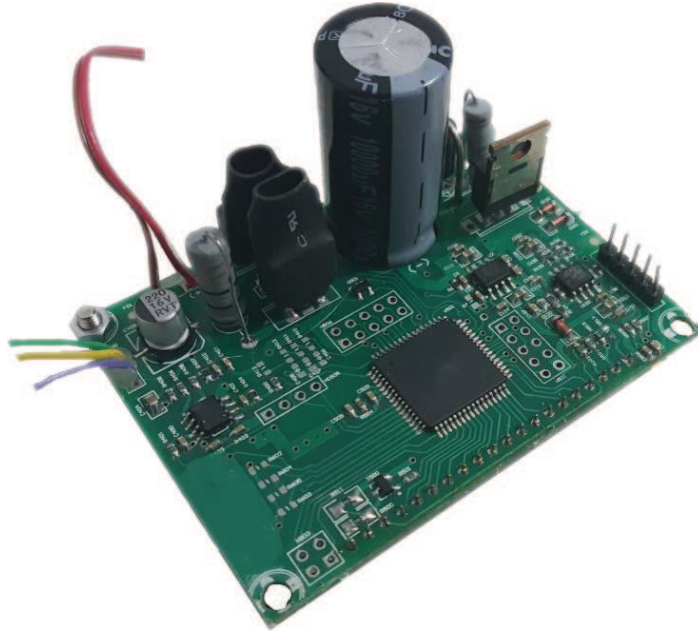
Şekil 3.16. Darbe indüksiyon metal dedektörü PCB tasarımı

Devre 128x64 grafik LCD modülü, ses çıkışı gibi donanımlar da eklenmiştir fakat bu çalışmada ihtiyaç duyulmadığından kullanılmamıştır. Devreye eklenen bir bluetooth modülü yardımı ile bilgisayar ortamına veri aktarılmaktadır. Bluetooth modül 115200 baudrate hızında Atmega128 mikrodenetleyicisi ile haberleşmektedir.



Şekil 3.17. PCB 3D modeli

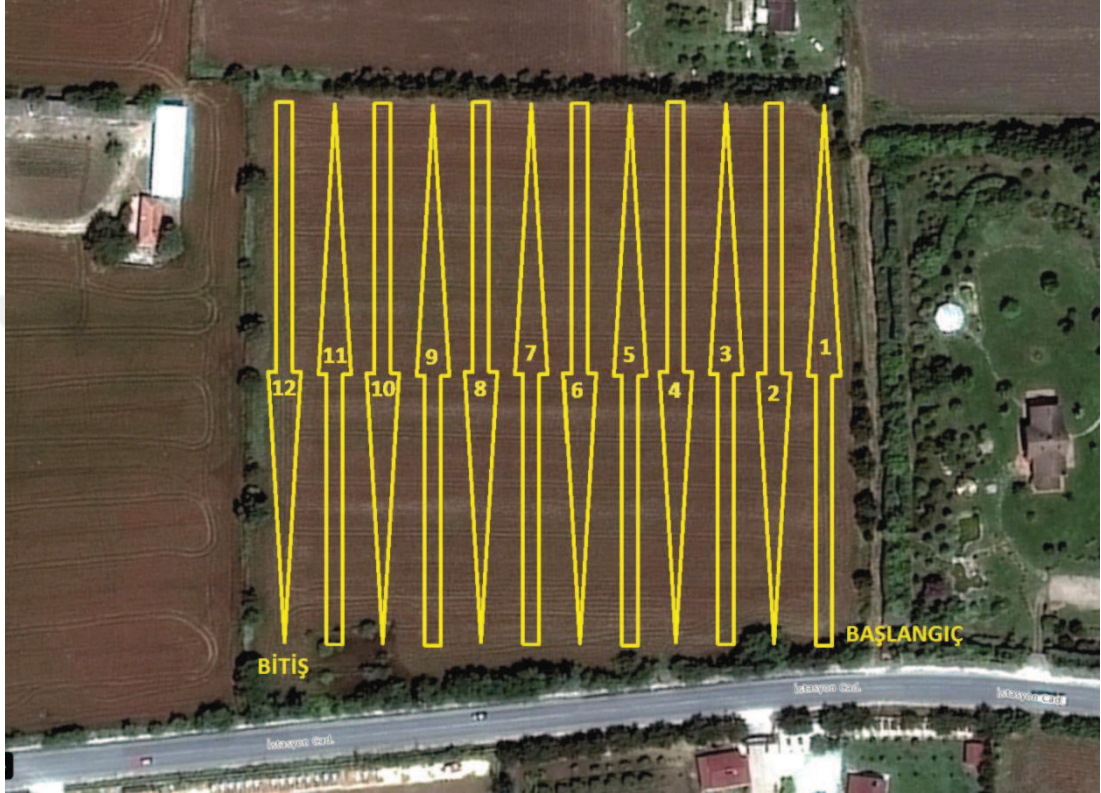
Tamamlanmış ve tüm komponentleri lehimlenmiş devrenin fotoğrafı Şekil 3.18.’de yer almaktadır.



Şekil 3.18. Üretilmiş ve dizgisi yapılmış kart

3.2.5. Veri toplama

Örnekleme işlemi örneklenecek arazinin kuşbakışı görüntüsünde sağ alt kısmından başlayıp Şekil 3.19.'da gösterildiği gibi zikzak şekilde örneklemler yapılmaktadır.



Şekil 3.19. Arazi tarama düzeni

Operatör başlangıç noktasından başlar ve ileri doğru istediği sıklıkta örnekler alarak ilk yolunu tamamlar. Geri dönerken artık ilk yolunda kaç örnek almış ise o kadar örnek alarak ikinci yolunu da tamamlar ve bu şekilde taranmak istenilen arazi olabildiğince düzgün aralıklarla taranarak bitiş noktasına gelinir.

Alınan tüm örnekler bilgisayar ortamına “Transfer” butonuna basılarak gönderilir ve MATLAB ortamında veriler işlenmeye başlar.

3.2.6. Bilgisayar ortamı

Bilgisayar ortamında MATLAB Programı kullanılarak veriler alınmış ve işlenmiştir. İlk etapta 2x2 4metrekarelik bir test alanı oluşturulup 10x10 olarak 100 örnekleme bu test alanı taranmıştır. Alanın orta noktasına metal bir obje yerleştirilmiştir. Örnek test alanının fotoğrafı aşağıda yer almaktadır.



Şekil 3.20. 2m x 2m test alanı metal obje yerleşimi

Elde edilen örnekler Matlab ortamına aktarıldıktan sonra alınan örnekler Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.

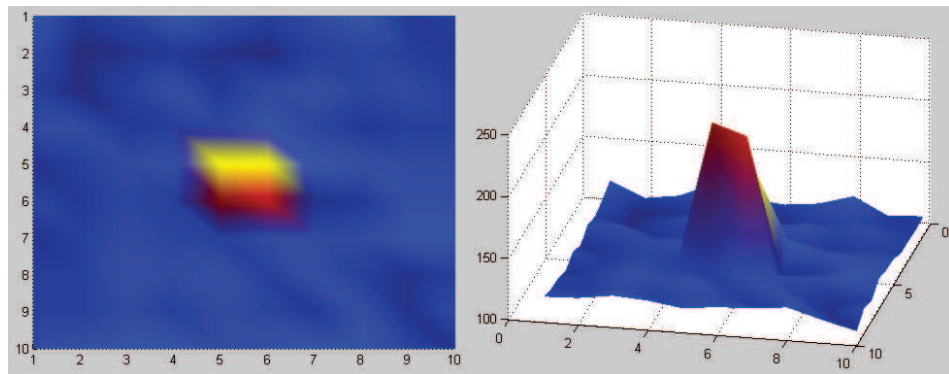
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	126	121	117	120	113	118	112	116	117	121
2	114	110	111	121	117	114	116	116	116	122
3	118	113	117	114	121	119	121	123	121	126
4	130	114	122	117	123	117	118	121	116	124
5	120	113	114	119	184	231	117	122	120	120
6	117	111	121	124	185	222	120	116	119	123
7	120	116	122	119	128	112	121	123	115	124
8	128	119	118	114	122	115	121	116	123	127
9	114	117	121	116	121	123	124	113	112	119
10	116	115	116	116	121	122	125	117	121	112

Şekil 3.21. Test alanından alınan 10x10 ölçümler

Tablodan görüldüğü üzere orta bölgelerde yüksek değerler yer almaktadır. Elde edilen bu verilerle en düşük değeri mavi, en yüksek değer ise kırmızı olacak şekilde interpolasyon kullanılarak 2 ve 3 boyutlu olarak metal yoğunluğu haritası elde edilmiştir. İlgili Matlab kodu aşağıda ve çıktısı Şekil 3.22.'de yer almaktadır.

```
adim_sayisi = 10;
fileID = fopen('10x10_test_alani_capraz_boru.dat');
C = textscan(fileID, '%f');
ornek_sayisi = size(C{1},1);
veri = C{1};
harita = zeros
(adim_sayisi,ceil(ornek_sayisi/adim_sayisi));
k=1;
ortalama=0;
while k<=ornek_sayisi

    if (mod(floor((k-1)/adim_sayisi),2)==0)
        harita(adim_sayisi-mod(k-
1,adim_sayisi),(ceil(ornek_sayisi/adim_sayisi)-floor((k-
1)/adim_sayisi))) = veri(k);
    else
        harita(mod(k-
1,adim_sayisi)+1,(ceil(ornek_sayisi/adim_sayisi)-
floor((k-1)/adim_sayisi))) = veri(k);
    end
    ortalama = ortalama+veri(k);
    k=k+1;
end
ortalama = ortalama/ornek_sayisi;
surf(harita,'FaceColor','interp',...
'EdgeColor','none',...
'FaceLighting','gouraud')
view(90,90);
```



Şekil 3.22. 10x10 örneklemeli metal yoğunluğu haritası

Aynı test alanına bu kez çapraz bir metal boru yerleştirilerek tekrar 10x10 olarak örneklenmiştir. Örneklenen test alanı fotoğrafı aşağıdaki yer almaktadır.



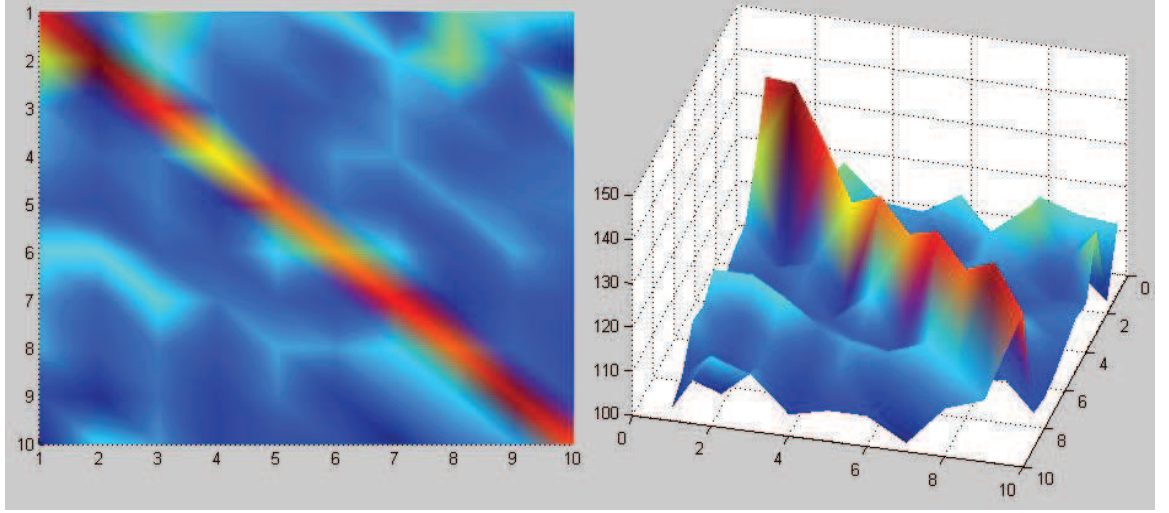
Şekil 3.23. 2m x 2m test alanı metal boru

Elde edilen örnekler Matlab ortamına aktarıldıktan sonra alınan örnekler Şekil 3.24.'te gösterilmiştir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	139	125	114	113	110	117	113	114	106	103
2	111	143	105	110	107	117	110	109	103	116
3	122	117	136	112	112	110	118	112	111	113
4	114	111	111	127	105	109	112	108	105	105
5	113	112	107	108	134	116	110	114	112	107
6	118	108	110	113	111	131	107	113	105	107
7	108	115	113	113	109	115	137	116	112	102
8	120	122	112	109	113	107	104	134	115	111
9	117	111	107	110	111	114	109	110	141	114
10	116	103	123	111	112	110	108	107	108	135

Şekil 3.24. 10x10 test alanından alınan örnekler

Ham verilerden elde edilen metal yoğunluğu haritası Şekil 3.25.'te gösterildiği şekilde elde edilmiştir.



Şekil 3.25. 10x10 test alanı metal yoğunluğu haritası

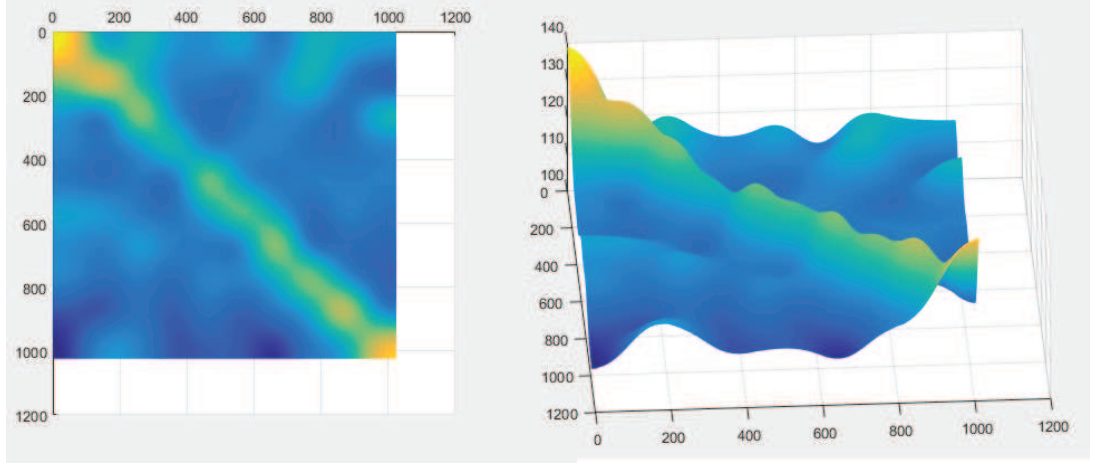
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan arazi ölçümlerinde metal yoğunluğu olmayan bölgelerde de küçük değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Bu değişimler ortamdaki elektriksel gürültülerin alıcı bobin üzerindeki girişimlerinden ve toprağın doğal metalik mineral yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tür küçük değişimleri düzeltecek çeşitli düzeltme algoritmaları üzerinde incelemeler yapılmış, Şekil 3.24.'te alınmış olan örnekler kullanılarak bu konu üzerinde çalışılmıştır.

İlk etapta 10x10 veya 20x20 gibi alınan örneklerin çözünürlüğünün sinyal işleme için oldukça küçük olduğu tespit edilmiştir. Bunun için alınan örneklerin 1024x1024 bir diziye yayılması sağlanmıştır.

```
j=1;
while(j<=size(array,2))
    k=1;
    while k<=size(array,1)
        array(k,j) =
harita(ceil((k/(size(array,1)/adim_sayisi))),ceil((j/(size(array,2)/
adim_sayisi))));
        k=k+1;
    end
    j=j+1;
end
array = imgaussfilt(array,50);
```

Elde edilen yeni dizi gaussian filtreden geçirilerek veriler arası geçişler yumuşatılmıştır. Bu durumda elde edilen grafik Şekil 4.1.'deki gibidir.

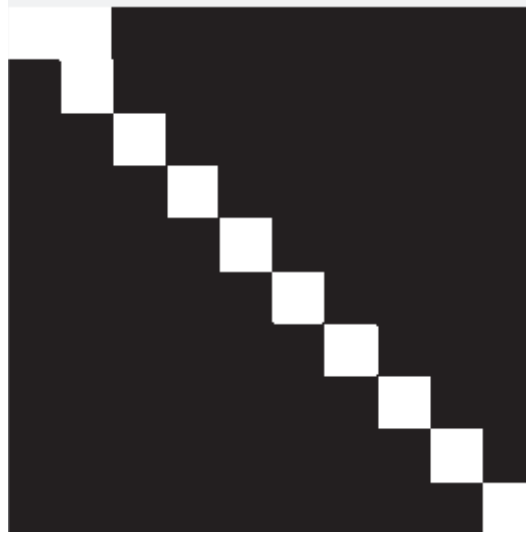


Şekil 4.1. 1024x1024 çözünürlükteki harita

Küçük değişimleri filtrelemek amacıyla elde edilen dizinin ortalama değerinin 1.1 katı eşik değeri olarak seçilmiş ve bu eşik değerine göre 1 bitlik dizi elde edilmiştir.

```
bit_array = imbinarize(array,ortalama*1.1);
figure
imshow(bit_array);
```

Elde edilen bit dizisinin görüntüsü Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Elde edilen bit dizisinin görüntüsü

Matlab morfolojik fonksiyonlardan olan “imclose” fonksiyonu kullanılarak bit dizisindeki lojik 1 (beyaz) olan bölgelerin birbirleri ile birleşmesi sağlanmıştır.

Bunun için bir örneğin yaklaşık kaç örnek çapında olduğu hesaplanarak sonuç “disk_cap” değişkenine kaydedilmiş, “imclose” fonksiyonu bu değişkene bağlı olarak çalıştırılmıştır.

```
disk_cap =
ceil(((size(array,1)/size(harita,1))+(size(array,2)/size(harita,2))
/2);
se = strel('disk',disk_cap);
bit_array= imclose(bit_array,se);
figure
imshow(bit_array);
```

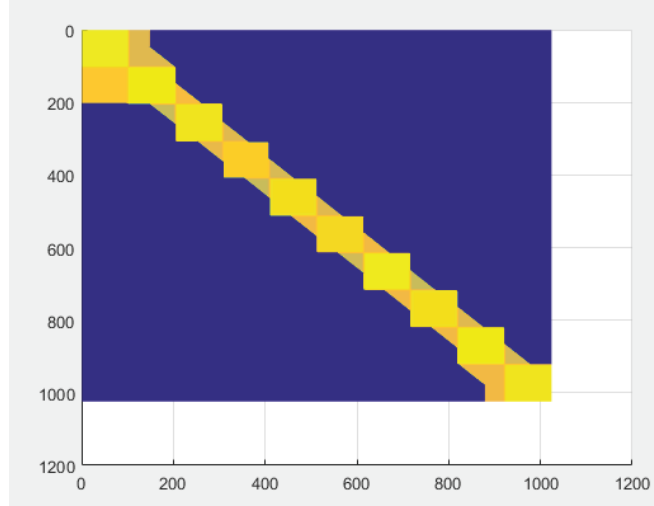
Elde edilen çıkış Şekil 4.3.’te görülmektedir.



Şekil 4.3. "imclose" fonksiyonu uygulanmış görüntü

Elde edilen bit dizinde beyaz görülen bölgelerde lojik “1”, siyah görülen yerlerde ise lojik “0” yer almaktadır. Bu dizi Şekil 4.1.’deki filtrelenmiş dizi le çarpıldığında bit dizisindeki lojik “0” (siyah) olan bölgelerdeki değişimler yok olacak sadece lojik “1” (beyaz) olan kısımlardaki veriler aynen kalacaktır.

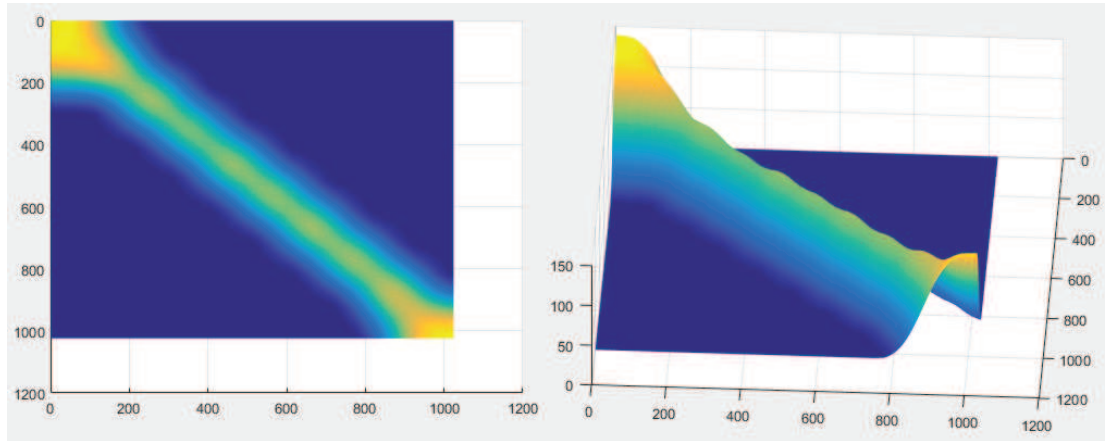
```
array = array.*bit_array;
figure
surf(array,'FaceColor','interp',...
      'EdgeColor','none',...
      'FaceLighting','gouraud')
view(90,90);
```



Şekil 4.4. Bit dizisi ile örneklenmiş verinin çarpımı

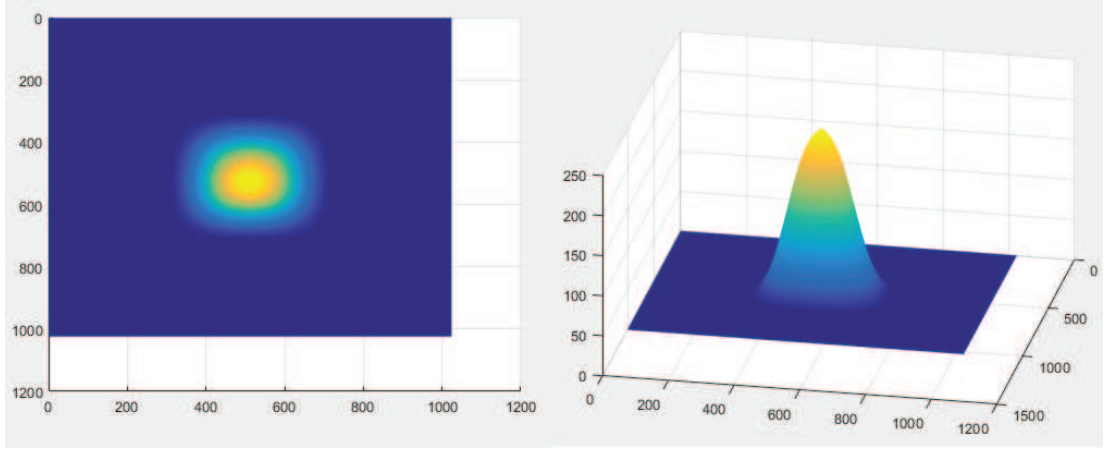
Şekil 4.4.'te çarpım sonucundan görüldüğü üzere görüntüde bit dizisinin sebep olduğu kare şeklinde izler mevcuttur. Bu izleri silmek için çarpım sonucu gaussian filtreden geçirerek yumuşaması sağlanmıştır. İşlem çıktısı Şekil 4.5.'te verilmiştir.

```
array = imgaussfilt(array,disk_cap/2);
figure
surf(array,'FaceColor','interp',...
      'EdgeColor','none',...
      'FaceLighting','gouraud')
view(90,90);
```



Şekil 4.5. Filtrelenerek elde edilmiş nihai veri

Yapılan tüm bu işlemler Şekil 3.22.'de alınan örnekler için de tekrarlanmış olup elde edilen çıktı Şekil 4.6.'da yer almaktadır.



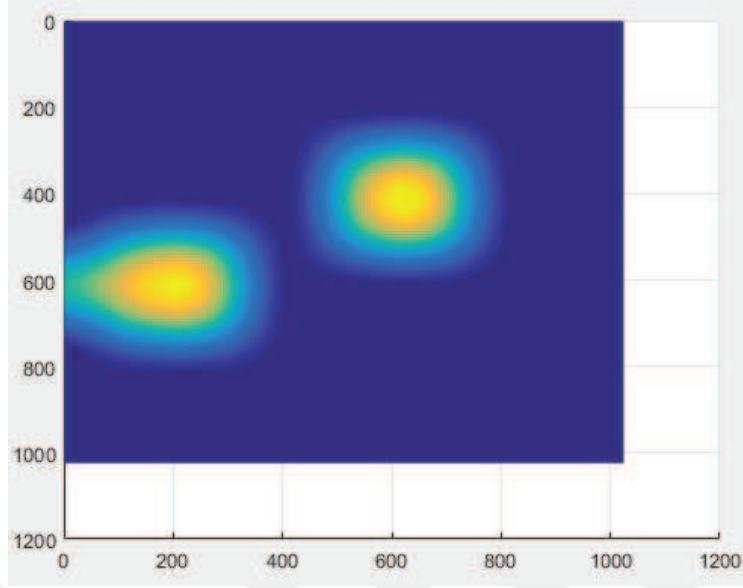
Şekil 4.6. Ortada metal bulunan alandan elde edilen harita

Bir sokak arası yolda üzerinde iki adet rögar kapağı bulunan bir bölgede 10x10 örneklemeli bir ölçüm yapılmıştır. Ölçüm yapılan alanın örnekleme alanını gösteren fotoğraf Şekil 4.7.'de yer almaktadır.



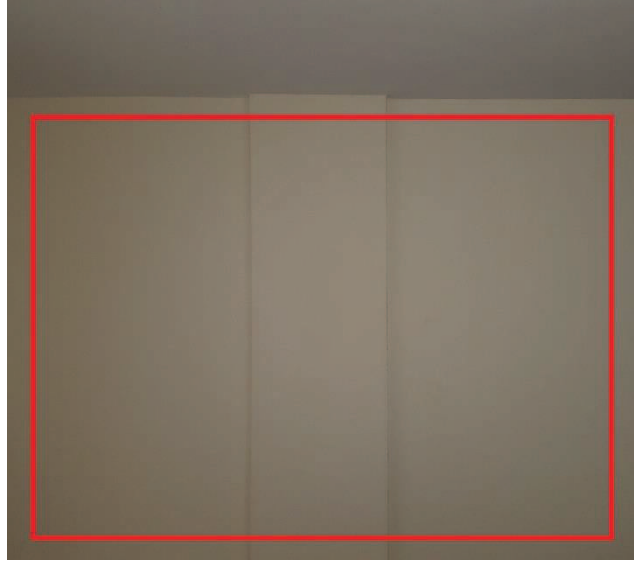
Şekil 4.7. Rögar kapakları bulunan bir yol

Toplanan verilerden elde edilen çıktı Şekil 4.8.'de verilmiştir.



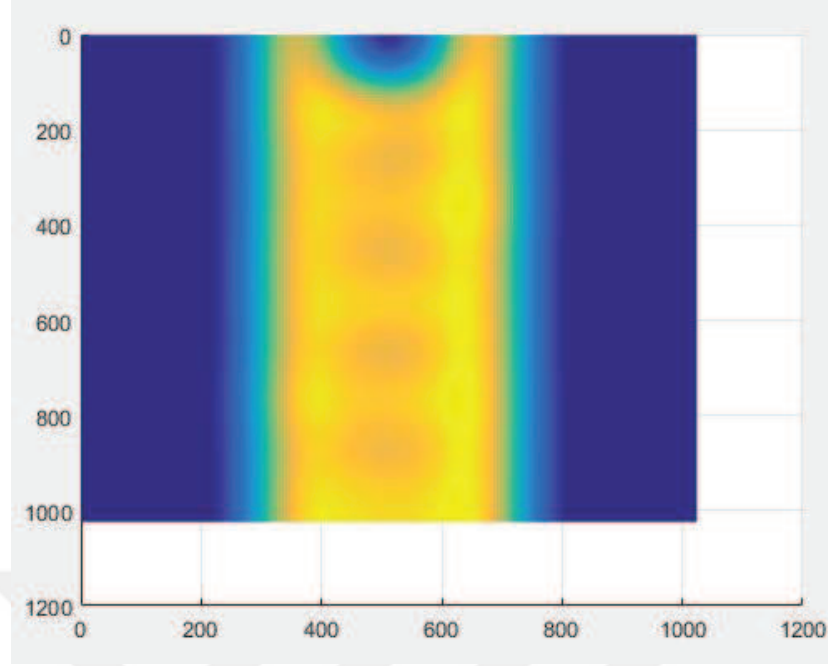
Şekil 4.8. İki adet röggar kapağı görüntüsü

Yapılan prototip ile bir evdeki kolonun 10x10 örneklemeli bir ölçümü yapılmıştır. Ölçümü yapılan kolonun ve ölçüm alanının belirtildiği fotoğraf Şekil 4.9.'da yer almaktadır.



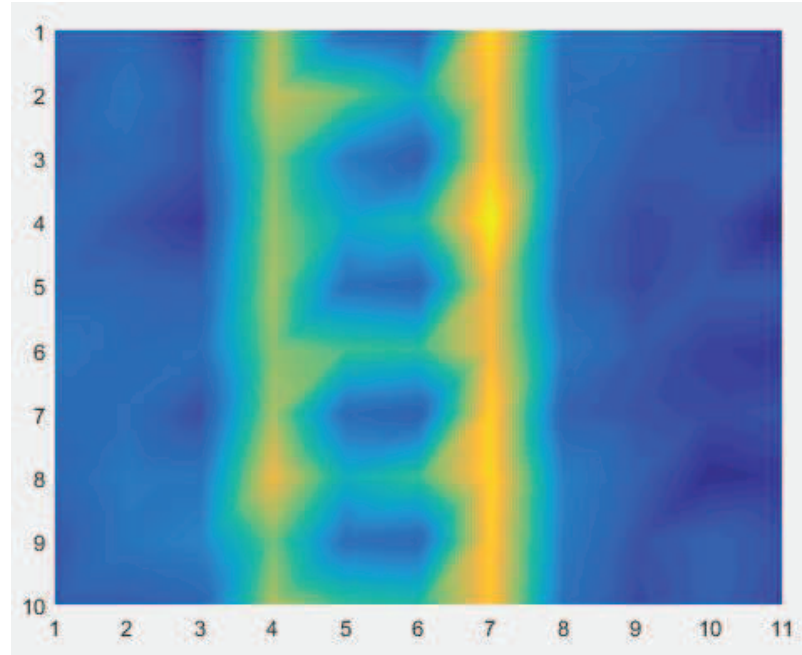
Şekil 4.9. Duvarda yer alan kolon

Toplanan verilerden elde edilen çıktı Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Duvardaki kolondan elde edilen görüntü

Yapılan bu ölçümde kullanılan yumuşatma filtrelerinin bazı ayrıntıları yok ettiği tespit edilmiştir. Filtre uygulanmamış çıktı Şekil 4.11.'de verilmiştir. Bu çıktıda yatay demir yoğunluklarının daha net görüldüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Kolon ölçümünün işlenmemiş görüntüsü

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Darbe İndüksiyon sisteminde çalışan, mikrodenetleyici kontrollü bir metal dedektörü tasarlanmış, araştırma yapılacak olan araziden veriler toplanarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamına alınan bu veriler çeşitli yöntemlerle işlenip görselleştirilerek metal yoğunluğu haritaları elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile araziye dağılmış metal objeler başarılı bir şekilde haritalandırılmıştır. Asfalt altında kalmış, yerleri bilinmeyen rögar kapakları, menfez demirleri gibi anomalileri tespit edebilmenin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan bu çalışmayla kolonlardaki ve perde betonlardaki yoğunluk farklılıkları tespit edilebilmesi bu çalışmanın inşaat sektöründe de kullanım alanlarının olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile yurtdışına olan bağımlılığımızın azalması yönünde bir adım atılmış, ithal ürünlere oranla oldukça düşük bir maliyetle muadil bir prototip ürün elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] B. H. Candy and B. Range, "Pulse Induction Time Domain Metal Detector," U.S. Patent 5 576 624, 1996.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_signal_processing., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [3] Ripka, P., Lewis, A., Eddy current metal detectors – pulse vs. CW. Journal of Electrical Engineering, Vol 57., No 8/S, 175-177, 2006.
- [4] <http://www.cabelas.com/product/Metal-Detector-Buyers-Guide/531663.uts>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [5] <http://www.garrett.com/>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [6] <https://www.minelab.com/>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [7] <http://www.detectorprospector.com>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [8] <https://www.whiteselectronics.com>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [9] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/indra.html>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [10] Bellikli, H., Çoklu Frekans Metal Dedektörü Tasarımı ve Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [11] <https://www.mathworks.com>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [12] www.altium.com., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [13] www.atmel.com., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [14] www.metalldetectors.de., Erişim Tarihi 18.22.2017.
- [15] <https://www.tubitak.gov.tr/en/rd-activities/products-projects/content-landmine-detection-by-3d>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [16] E. Ott and J. H. Ott, "Ground piercing metal detector having range, bearing and metal Type Discrimination," US 6,326,790 B1, 2001.
- [17] G. Paltoglou, "Metal detector method and apparatus," US 6,586,938 B1, 2003.

- [18] C. V. Nelson, "Digital nulling pulse inductive metal detector," US 6,927,577 B2, 2005.
- [19] E. Ott and J. H. Ott, "Method for detecting the metal type of a buried metal target," US 6,452,396 B2, 2002.
- [20] D. Emery, "Resonant pulse induction metal detector that transmits energy from high voltage flyback pulses," US 7,710,118 B2, 2010.
- [21] B. H. Candy, "Ground mineralization rejecting metal detector (power saving)," US 6,686,742 B2, 2004.
- [22] B. H. Candy, "Ground mineralization rejecting metal detector (Transmit signal)," US 6,653,838 B2, 2003.
- [23] B. H. Candy, "Ground metal detector with improved magnetic soil response cancellation," US 8,106,770 B2, 2012.
- [24] B. H. Candy, "Ground metal detector for salt soils," US 2010/0148960 A1, 2010.
- [25] https://www.minelab.com/___files/f/11043/KBA_METAL_DETECTOR_BASICS_&_THEORY.pdf, Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [26] <http://www.vallon.de/products.lasso?a=uxo-detection>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [27] <http://anibal.gyte.edu.tr/dosya/102/~saksoy/Metal%20Detectors/Advanced%20Metal%20Detectors%20-%20Book.html>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [28] <http://yhgfdmuor.net/block-diagram-of-metal-detector-5525-wiring-block.html>., Erişim Tarihi: 18.11.2017.
- [29] Kim, B., Yoon, J., Lee, S., Han, S., Kim, K., Pulse-induction metal detector with time-domain bucking circuit for landmine detection. Electronic Letters 22nd January, Vol. 51, No. 2, pp. 159-161, 2015.
- [30] Jameii, M., Nekoui M., Improving the performance of the PI system through The use of neural network. 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Application. Vol. 1, Pages: 561-566, 2010.
- [31] Rerkratn, A., Petchmaneelumka, W., Kongkauropham J., Kraisoda K., Kaewpoonsuk, A., Pulse Induction Metal Detector Using Sample and Hold Method. 11th International Conference on Control, Automation and Systems, 45-48, 2011.
- [32] Das, Y., Effects of soil electromagnetic properties on metal detectors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, 1444-1453, 2006.

- [33] Vega, J., Gauthier, A., On the Signal Features Analysis of a Pulse Induction Metal Detector Prototype. Spring Congress on Engineering and Technology, 1-4, 2012.
- [34] Kaneko, A., Endo, G., Fukushima. E., Landmine buried depth estimation by curve characterization of metal mine detector signals. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 5327 – 5332, 2013.
- [35] Kruger, H., Ewald, H., Handheld metal detector with online visualisation and classification for the humanitarian mine clearance, SENSORS, IEEE, 415-418, 2008.
- [36] Krueger, H., Ewald, H., Fechner, T., Bergeler, S., Advanced Signal Processing for Reduction of False Alarm Rate of Metal Detectors for Humanitarian Mine Clearance, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1452-1456, 2006.
- [37] Ewald, H., Krueger, H., Inductive sensors and their application in metal detection, International Conference on Sensing Technology, New Zealand, 2005.
- [38] Weaver, B.C., Podhrasky, R.J., Nemat, A.: Metal detector for identifying target electrical characteristics, depth and size, patent number: US 5,786,696, 1998.
- [39] Krüger, H., Ewald, H., Krüger, Th., Schulze, S., van Rienen, U., Glock, H.-W., Appliance of imaging methods for metal detection in the humanitarian mine clearance (in German), proceedings –DGZfP - annual conference, Germany 2005.
- [40] Sharawi S., Sharawi M., Design and Implementation of a Low Cost VLF Metal Detector with Metal-Type Discrimination Capabilities, IEEE International Conference on Signal Processing and Communications, 480 – 483, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet AKGÖZ, 16.09.1985'te İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2003 yılında Pendik Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Öğretmenliği Bölümü'nü 2010 yılında bitirdi. 2011'de TÜBİTAK Bilgem'de işe başladı ardından 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Tübitak Bilgem'de görevine devam etmektedir.